

室蘭工業大学研究報告 第4巻第1号 全1冊

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 室蘭工業大学
	公開日: 2014-05-15
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者:
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/2934

室工大研報, 中4卷中1号 正誤表

頁		行	正	誤
2		15	the	th
3	↑	13	Hokkaido	Hakkaido
7	1	17	augite	auginte
11	1	8	lower	lowest
13	1	16	chayagawa	Chyagawa
18	Tab.	11	freycinettiu	freydinettiu
20	¥	6	Sea	Sae
_ 24	1	2	5	7
9	ł	9	7	5
1	T	8	Quaternary	Quarternary
25	1	9	Clay	Caly
"	↑	20	Hakodate	Hakodane
30	1	11	subsidence	subdidence
31	1	22	separately	separatley
33	1	16	deposits	deposipts
35	¥	2	Fuzioka	Нијгока
36	1	9	Kitaura	Kitaura
37		10	environs	envions
41	12	3	Fuzioka	Fujtoka
44	1	13	half	falf
45	1	13	Neohaustator	Neohaustater
- 46	1	11	The	Thr
56	1↑	3	······································	, 1602
59	T	2	P1.2, fig.6. 揮入	
65	T I	- 4	Pliocene	Pliocenr
66	Î	8		a 立削除
72	1	8	apread angle	apical and angle
127	T	13	中央矣	中庆矣
161	+	9	.06	0.4
164	↑	3	$\nabla_s / \Sigma DA$	$\nabla s' / \Sigma D A$
166	Î.Î.	17	considered	consid ered
170	1	19	(8)	(9)
180	1	5	factory	tactory
182	¥	6	of 1)	of 1
L	L	L		

頁		行	Ē	諉
183	ł	12	dp/dt	dp/da
183	1	3	炭煤	炭 媒
183	1	1	dp/dt	dp/da
184	¥	5	緩かに燃焼	緩かに爆発
248	1	10	設けられている	設けられている
252	个	偏外	252	152
4	¥	"	(252)	(152)
279	¥	10	the	a.
282	1	4	ue σ΄	ル ラ び
301	ł	7	En and Ex	≛r and ≛µ
309	1	11	与之れば"	チシルは
315	ł	5	E. L. M. 34 (1932)	E. u. M. 34 (1932
323	¥	2	稍々RLの	稍 RLの
11	¥	9	既往の藤田らに)の	既住の藤田らっの
326	¥	12	管内圣 (m)	管内経 (m)
330	1	З	比較した結果,略々	比较 计 結果略,
339	+	12	我 要 孝 俊	我要孝 侯
341	1		ぎねかった 4) ことから	ぎやかった4, ことから
361	+	16	災害科学総合研究	贝害科学総会研究

室蘭工業大学

研 究 報 告

第四卷 第一号 昭和三十七年六月

MEMOIRS

OF

THE MURORAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

VOL. 4 NO. 1 June 1962

MURORAN HOKKAIDO

it. . . . mile

JAPAN

Editing Committee

K.	Otsubo	President	-Chairman of the Committee
Т.	Zusho	Prof.	Electrical Engineering.
М.	Morita	Prof.	Industrial Chemistry
Y.	Sawada	Asst. Prof.	Mining Engineering.
S.	Nakamura	Asst. Prof.	Civil Engineering.
s.	Chiya	Prof.	Mechanical Engineering.
S.	Kawamura	Prof.	Metallurgical Engineering.
н.	Kimura	Prof.	Chemical Engineering.
Y.	Ishiyama	Asst. Prof.	Literature.
Ÿ.	Nagata	Asst. Prof.	Mathematics.
T.	Sakai	Prof.	Chief Librarian.

All communications regarding the memoirs should be addressed to the chairman of the committee.

These publications are issued at irregular intervals. When they amount to about 800 pages, they form one volume.

室蘭工業大学研究報告 第四卷 第一号

次

目

The Geology and Paleontology of the Setana	頁
Hokkaido, Japan	1
節点剛性と変形の影響を考慮せる一般トラス橋の	
厳密解法とその計算方法について 中 村 作 太 郎 1 (111)	111
ローレン・トラス橋の模型実験について	127
Ein Beitrag zur Berechnung der	
Fachwerkträger mit parallelen gurtungen S. G. Nomachi 1 (145)	145
A Study of the Snow-melt Runoff of Rivers T. Sakai 1 (157)	157
ディゼル機関における表面蒸発燃焼に関する	
基礎実験 赤 木 盈 1 (183) 林 重 信 1 (183)	183
高分子材料の被削性に関する研究 菊 地 千 之 1 (197) 田 下 和 男 1 (197)	197
ヒドラジンの電位差滴定	211
高炉ライニングの溶食変形原因に関する研究(第4報)	
タイノトト いわよび 外版 いの ノイニング の 溶食におよぼす水冷の影響について 田 中 章 彦 1 (217)	217
アメリカにおける社会階層と教育の諸問題 武本昌三1(241)	241
マルクス主義の国家および法理論研究への序説 山 村 恒 雄 1 (267)	267
On Normed Spaces and Modulared Semi-ordered Linear Spaces K. Honda 1 (279)	279
Orthogonal Projection of the Space X of Univoque Functions	297
誘電体の絶縁破壊機構とその類似性について 沢 茂 夫 1 (309)	309

滞壁塔による石炭酸ソ−ダ溶液に 対する炭酸ガスの吸収について	竹岳宮佐木	内 隆 広 城 宏 石 村	男光吉昭一	(317)	317
充填塔による石炭酸ソーダ水溶液に対する 炭酸ガスの吸収について	向字竹米木	井 田 健 克 隆 健 村	一志男次一	(329)	329
泥炭のオゾン酸化に関する研究	· 佐 平	々木満 野晴	雄 望 1	(341)	341
クロム鉱石焼成物よりクローム酸ソーダの抽出(第2素 固定層抽出に於ける粒径および 流速の影響について	報) ・ 杉本	田治八 田重	郎 司	. (349)	349
昭和 36 年度研究業績	••••		1	. (359)	359

The Geology and Paleontology of the Setana and Kuromatsunai Areas in Southwest Hokkaido, Japan

Yoshio Sawada

(With tables 1-13, figs. 1-9 and plates 1-8)

Abstract

As the result of the studies, it was found that a significant unconformity separates the so-called Setana from the older rocks of the Neogene System in both the Setana and Kuromatsunai areas in southwest Hokkaido, that the so-called Setana of authors actually included rocks ranging from early Miocene to late Pliocene in age. The distinguished formations and members are characteristic in thier lithological and paleontological characteristics as well as in geological structure.

Correlation of the formations in the two areas is made with northern Honshu, especially of the oilfield region and with important localities in Hokkaido. Comparison of the formations correlated revealed significant similarity in lithology and paleontological features, which suggests their having been deposited in a similar or same sedimentary basin influenced.

Besides interpretation of the geological history of the Setana and Kuromatsunai areas, paleontological analysis of the molluscan and brachiopod fauna resulted in the distinguishing of a total 84 species of Mollusca and 4 of Brachiopoda. Among the former, 51 species are Pelecypoda (32 genera) and 33 are Gastropoda (27 genera). Among the molluscs, five species or subspecies are new to science.

From the molluscan fauna it is inferred that the age of the Chinkope and Nakanokawa formations is Pliocene and of the Kuromatsunai, Yakumo and Kunnui formations is Miocene.

From the uppermost marine formation in the Kuromatsunai area there were discovered fossils of molluscs suggesting either latest Pliocene or possibly earliest Pleistocene age.

Contents

Introduc	ction			 •	2
Acknow	legements .				3
Historic	al review of t	e works on the geology and paleontology			
		of the Setana and Kuromatsunai area	s		3
Part I.	Geology			 	6
I.	Geology of th	e Setana area		 	6
	A. Pre-Te	tiary basement			6
	B. Neogen	e Tertiary formations			7
	B–1.	Kunnui formation			7
	B-2.	Yakumo formation			8
	В-3.	Kuromatsunai formation		 •	9
	B-4.	Chinkope formation		 	10
	В-5.	Minamitoshibetsu formation		 	10
	C. Quatern	ary formations		 	11
	Terra	ce deposits		 	11

D.	Geological structure
	D-1. Unconformity
	D-2. Fold
	D-3. Fault
E.	Igneous activity
F.	Summary of the geological history of the Setana area 15
II. Geol	ogy of the Kuromatsunai area
А.	Pre-Tertiary basement
В.	Neogene Tertiary formations
	B-1. Kunnui formation
	B-2. Yakumo formation
	B-3. Kuromatsunai formation
	B–4. Nakanokawa formation
	B-5. Soibetsugawa formation
С.	Quaternary formations
	C-1. Shamanbedake and Kuromatsunaidake volcanics 24
	C-2. Terrace deposits
D.	Geological structure
	D-1. Unconformity
	D-2. Fold
	D-3. Fault
Е.	Summary of the geological history of the Kuromatsunai area 29
III. Sum:	mary of the geological history of the Setana and
	Kuromatsunai areas in southwestern Hokkaido 30
IV. Geol	ogical age of the stratigraphic units and their correlation
	with northeast Honshu 31
Part II. Pale	eontology
Systemat	c description
· List of th	n fossil locality
Bibliography	

Introduction

Although stratigraphical and paleontological studies of southwestern Hokkaido have progressed in recent years there still remain problems concerning the stratigraphical subdivision of the so-called Setana Series, previously accepted as of Pliocene age and of the paleontology. Since the Setana and Kuromatsunai areas are the main region of distribution of the so-called Setana Series and where details of its stratigraphical relationship with subjacent and superjacent stratigraphical units can be studied, they have been selected for interpretation of the problem.

Stratigraphical and paleontological studies show that the so-called Setana Series comprises rocks ranging from early Miocene to late Pliocene, and that the series includes two group with a significant unconformity between them.

In the present work clear cut stratigraphical subdivisions and the molluscan paleontology of the respective units were undertaken and the results are described.

Bi

Since paleontological works have been carried out by other authors, their results are mentioned and compared with the author's and correlation is made with previously published stratigraphical classifications.

Based upon the correlation from stratigraphical relationships, faunal analysis and lithological similarity, the writer made an attempt to interpret the physical conditions of the separated areas during the mentioned chronological range.

Because the nature of the chronological boundaries, particularly of the Mio-Pliocene and Plio-Pleistocene are of prime importance in the given interpretation, some remarks are given concerning them.

Acknowledgements

The writer expresses his deep gratitude to Professor Kotora Hatai of the Institute of Geology and Paleontology, Tohoku University, for his kind guidance throughout the course of his present study. Deep appreciation is due to Professors Enzō Kon'no and Kiyoshi Asano, both of the Institute of Geology and Paleontology, Tohoku University for their kind encouragements. The writer deeply appreciates the kindness and encouragement of Professor Fumio Sato of the Muroran Institute of Technology. During the course of the present work the writer has recieved valuable support from the following persons to whom he takes this opportunity to express his deep gratitude, Drs. Nobu Kitamura, Tamio Kotaka, Shozo Hayasaka, Masafumi Murata and Mr. Kimiji Kumagai of the Institute of Geology and Paleontology, Faculty of Science, Tohoku University; Dr. Kôichiro Masuda of the Department of Geology, Faculty of Education, Tohoku University; Dr. Rikii Shôji of the Institute of Mining, Faculty of Technology, Tohoku University.

Historical Review on the Geology and Paleontology

The works concerning the geology and paleontology of the Tertiary strata in southwest Hakkaido are given in this section.

A. Geology.

In 1892, Jimbo suggested that the diatom deposits in Setana-gun, Shiribeshi province may be Pliocene in age.

Watarase (1929) wrote on the tectonic lines in Hokkaido, with special attention to the ones in western Hokkaido. The Hakodate-Chiretsu Line of roughly north to south direction is the extension of the geosynclinal zone of North Japan. He notes that the structure of the Paleozoic rocks on both sides of the tectonic lines are remarkably differrent, and those of the Tertiary are parallel with the abovementioned. This line developed at the end of the Neogene and the stress was from the north or northwest.

Nagao (1932) proposed a number of new stratigraphic names. He finds that upon the basement of granitic rocks, there is developed the Miocene Kunnui and

Yakumo formations unconformably covered with the Pliocene Kuromatsunai and Setana formations. He correlated the Kunnui formation to the Innai group, the Yakumo to the Ogasima group and the Kuromatsunai to Yuri group of the Akita Oil-fields in northeast Japan. He listed the fossils from the Setana formation and correlated them with the Takanosu group of the Akita Oil-field and the Daishaka formation of Aomori Prefecture.

Nagao and Sasa (1933–34) in their work on the Cenozoic strata and recent geological history of southwestern Hokkaido, gave details on the stratigraphic units making up the Neogene System. The fossils from the respective horizons are listed and correlation is undertaken between the different areas. They discussed the relation between diastrophism and volcanism in the present area as related with the stratigraphic subdivision and geological ages.

Fukutomi, Yajima and Rikugawa (1936) reported on the economical resources of Hokkaido and appended a geological map in the scale of 1:50,000.

Yajima and Rikugawa (1939) published an explanatory text to their geological map of the Oshamanbe Sheet in the scale of 1:100,000.

Matsui (1955) reported on the Neogene deposits in the vicinity of Pirika in Imagane-cho, and classified the Miocene Kunnui formation into seven parts designated as KI to K7, and states that KI, and K2 belong to the Yoshioka formation. This is covered with conformably by the Yakumo which is covered with the Kuromatsunai formation which he divided into three parts called M1–M3.

Fujie, Tanai, Matsui, Matsuno, Kakimi and Uozumi (1957), studied the sedimentary basins of the Cenozoic deposits of Hokkido. They claim that there is no evidence for an unconformity between the Yakumo and Kunnui formations, and that the Yakumo is conformable with the Kuromatsunai formation.

Uozumi and Fujie (1958), in their work on the correlation of the Neogene strata in Hokkaido mentioned the problems existing in the stratigraphy of south-western Hokkaido.

Hashimoto (1958), in the explanatory text to the geological map of Hokkaido in the scale of 1:200,000, correlated the Setana Series with other parts of Hokkaido.

Minato and Hasegawa (1959), in their work on welded tuffs of Neppu, stated that the tuff beds of Nagao and Sasa are welded tuff and that the tuff was deposited at about 25,000 years ago.

Shimada and Yazaki (1959), described the geological structure and distribution of the rocks in the vicinity of Oshamanbe. The Kuromatsunai formation shows small folding with north to south axis of the anticlines and synclines. The next younger Setana shows smaller dip angles.

Kanno (1960), classified the rocks in the Setana area into, in ascending order, the Kunnui formation, Yakumo formation, Tanekawa formation and Setana formation. Of these, the upper part of the Yakumo is called the Meppu sandstone, and the upper part of Tanekawa formation is named the Tanekawa gray mudston member. He distinguished from the so-called Setana formation fossils belonging to the Yakumo, Tanekawa and Setana formation (proper). He made public the list of the fossil Pelecypods and Brachiopods from seven localities in the area.

B. Paleontology.

Matsumoto (1916) described the occurrence of *Desmostylus japonicus* from the Toshibetsu, Kunnui-mura, Iburi province, Hokkaido.

Yokoyama (1931) studied the Neogene shells collected from Karafuto and Hokkaido by Jimbo and Watarase. He listed 48 species from 12 localities in Karafuto and 63 species from 27 localities in Hokkaido, and 33 species from two localities of Kuromatsunai-mura and Tarukishi-mura in Suttu-gun, Hokkaido.

Nagao and Sasa (1933-34) listed 18 species of molluscs from the Kunnui formation, seven plant fossils, 22 of diatoms from the Kuromatsunai formation and 54 species of molluscs from the Setana formation.

Nomura and Hatai (1936) discussed the environments of the Nakanokawa beds of Setana series at Nakanokawa and Kaigarasawa, Kuromatsunai-mura, Suttu-gun.

Asano (1936) reported on the foraminifera from Kuromatsumai-mura, Suttugun, Hokkaido listed 102 species and subspecies from the Setana group at Kaigarasawa and Nakanosawa in Kuromatsunai-mura.

Asano (1937) studied the foraminifera from the Setana Beds of Kuromatsunai, Hanaishi and Setana districts in the southwestern part of Hokkaido.

Asano (1937) presented the details of the Pliocene foraminifera from the Setana Beds which was studied in 1936, he listed 121 species from 21 localities in the Kuromatsuhai, Hanaishi and Setana districts, and described seven new species.

Kanehara (1942) studied some molluscan remains from the Setana series of Hokkaido and from the Taga series of the Jôban coal-field of Iwaki. In his work, he described and figured four species, a new form of *Crepipatella*, a new variety of *Pododesmus*, *Tellina* and *Chlamys* which were collected from one locality, Yunosawa, Kuromatsunai-mura, Suttu-gun, Shiribeshi province, Hokkaido.

Kubota (1950) illustrated 17 species of pectinids from the Setana series in the Setana and Kuromatsunai areas, and described one new species and three new varieties.

Shirai (1960) made a geological survey of the Setana series distributed in the Kuromatsunai region and studied the foraminifera from 21 localities. He listed 95 species of foraminifera.

Kanno (1960) listed of the fossil Pelecypods and Brachiopods from seven localities in the Setana area.

Masuda (1960) stated that the geological age of the so-called Setana formation in part is Early Miocene.

Masuda and the present writer (1961) studied the Tertiary pectinids from the present area and discribed and figured five new species of *Chlamys*.

Part I. Geology

In this section the geology of two separate areas, namely, the Setana area and the Kuromatsunai area situated in the central part of Southwestern Hokkaido are described. The former area is the environs of Setana which occupies the central part and extends across the Oshima Peninsula in east or west directions, and the latter from Kuromatsunai in the central part and also extends across the peninsula in south to north direction as above-mentioned.



Fig. 1. INDEX MAP

I. Geology of the Setana area

The Setana area in which is the type locality of the so-called Setana series (Nagao and Sasa, 1934) has been studies both geologically and paleontologically, yet there remain problems still unsolved. It is not yet known what the Setana really comprises, the stratigraphical subdivision of its various parts, the chronological range of and kinds of fossils it yields, and the geological age is yet in question. In the following the stratigraphy will be described from the older to the younger units (**Table 1; Figs. 2–3**).

A. Pre-Tertiary

6

The rocks comprises granodiorite, hornfels and black slate; the latter is older than the former. The latters are of hornfels and black slate, the former a metamorphic facies distributed in the marginal portions of the intruded granodiorite. The distribution is along the upper course of the Toshibetsu River in the northern central part of the area on the eastern side of the intruded granodiorite. The black clayslate is intercalated with layers of graywacke, the general strike is almost N–S with the dips of about 70° towards the west. The clayslate is crushed and shows schistosity. No fossils are known from it.

The granodiorite intrudes the black clayslate and is distributed on the eastern

Table 1. Stratigraphical Classification of the Rocks Distributed in the Setana Area.

		•••••				
Age	Formation	Lithological characteristics	Thickness (in meters)			
Holocene	Alluvial deposits	Gravel, sand and clay.				
	Lower terrace deposits	Gravel, sand and clay.	15 - 20			
Pleistocene	Higher terrace deposits	Gravel, sand and clay.	20 - 25			
Late Pliocene	Minami-toshibetsu formation	Brownish gray fine sandstone intercalated with medium to coarse sandstone.	150 - 250			
Early Pliocene	Chinkope formation	Upper with bluish gray fine to medium sandstone with gray siltstone and pebbly conglomerate. Lower with thick alternation of gray siltstone and gray medium to coarse sandstone, intercalated with conglom- erate.	150 - 180			
	Hanaishi conglomerate member	Conglomerate of pebble to cobble size, intercalated with medium or coarse sandstone.				
Late Miocene	Kuromatsunai formation	Upper with gray lapilli tuff, gray tuffaceous siltstone and light yellowish tuff. Lower with gray tuffaceous massive siltstone, dark brownish gray scoria sandstone and light yellowish gray andesitic fine tuff.	100 400			
	Yakumo formation	Upper with alternation of gray tuffaceous shale interca- lated with gray tuffaceous medium grained sandstone and greenish gray siltstone, bluish gray tuffaceous silt- stone and dark gray shale with gray tuffaceous siltstone layers. Middle with alternation of dark gray shale, tuffaceous siltstone and tuffaceous sandy siltstone; the lower with several thin gray hard shale layers. Lower with alternation of dark greenish gray tuffaceous shale, green tuffaceous medium grained sandstone and dark greenish gray tuffaceous siltstone with dark gre- enish gray lapilli tuff and light yellowish gray fine tuff beds.	0 700			
	Kaigara- bashi rhyo- sandstone lite member member	Coarse arkose sandstone and Rhyolite Conglomerate.				
Early Miocene	Kunhui formation	Blackish brown rhyolitic tuff breccia; alternation of dark green coarse tuff, light greenish gray fine compact tuff and alternation of gray siltstone and gray tuffaceous fine sandstone; alternation of light green tuff, brownish green laminated medium tuff with gray tuff, siltstone and gray hard shale, bluish green fine tuff and brownish green pumiceous coarse tuff; alternation of dark greenish gray medium grained sandstone and dark greenish gray fine sandstone with light green tuff, and sandy siltstone; alternation of green tuff, medium grained to coarse grained sandstone and greenish tuff breccia; dark green andesitic tuff breccia with greenish gray tuffaceous me- dium grained sandstone, and andesitic agglomerate; alternation of green rhyolitic tuff breccia and light green	30 - 1,150			
	Chinkope- gawa andesitic agglomerate S member	tuffaceous medium grained sandstone with gray tuf- faceous siltstone and andesitic agglomerate. Upper with dark gray or black augite andesitic agglo- merate and lower with porous dark or black augite andesitic lava altered by hydrothermal actions.				
	Kitaizawa conglo- merate member	Conglomerate and arkose coarse sandstone.				
Pre-Tertiary	Pre-Tertiary basements	Black slate, graywacke, hornfels and granodiorite.				

side of the Toshibetsu River and in the high hilly region in the north of the same river. There is an unconformity at the contact with Tertiary formations, but where in contact with the black claystate there is a hornfels zone. The granodiorite is also distributed in the east of the Hanaishi Station along the Setana Railway.

B. Neogene Tertiary formations

B-1. **Kunnui formation**. The type locality of the Kunnui formation is the cliff between the Chayagawa and Pirika Stations along the Setana Railway, but the original name is taken from Kunnui Station at the junction of the Setana Railway and the Hakodate Main Line. Here the formation is about 1,150 meters in thickness and the base is not exposed. It is overlain with conformity by the Yakumo formation.

The lowermost part of the formation is named *Kitaizawa conglomerate member*. This member has its type locality in the upper reaches of the Kitaizawa about four kilometers northeast of the Hanaishi Railway Station, Imaganecho. It is about 80 meters in thickness, and consists of an alternation of conglomerate and coarse grained sandstone. The conglomerate comprises rounded to subrounded pebbles to cobbles of andesite, granodiorite, hornfels and slate with a 1.5 to 2.0 meters thick granodiorite boulder conglomerate at the base. This alternation becomes thinner towards the upper part. The member is distributed along the eastern margin of the granodiorite in the east of Hanaishi Railway Station.

Chinkope-gawa andesitic agglomerate member. This member has its type locality in the upper reaches of the Chinkope River about two kilometers east of Chinkope, Imagane-cho. It is about 200 meters in thickness. Its base overlies with conformity the alternation of sandstone and siltstone of the formation, which in turn overlies the above mentioned member of arkose sandstone and conglomerate, all with conformity. The andesitic agglomerate consists of auginte andesite and the breccia range from ten to about 30 centimeters in diameter being cemented with andesitic tuff. This member forms an anticlinal structure at the type locality. Its distribution is confined to the eastern part of the field, south and east of the Setana Railway. The member grades laterally into the main part of the Kunnai formation and is local in distribution and development.

Upwards the member is covered with dark green andesitic tuff breccia intercalated with three to four meters thick greenish gray tuffaceous medium grained sandstone and two to two and a half meters thick augite andesite agglomerate. It is underlain with two to four meters thick thin alternation of green tuff breccia and light green tuffaceous medium grained sandstone intercalated with gray tuffacous siltstone and one to one and a half meters thick andesitic agglomerate.

The green tuff, sandstone and tuff breccia form an alternation of thick bedded and thin bedded layers and comprise the major part of the Kunnui formation; the details are shown in **Fig. 5**. This part of the formation is superposed on the Chinkope-gawa member with conformity and overlain by the **Kayano rhyolite** *member* in the eastern part of the field along the Setana Railway. The latter is

7

distributed in north to south direction.

The major part of the formation attains about 700 meters in thickness and occurs only in the eastern part of the field east of the Toshibetsu River and west of the *Kayano rhyolite member*. The general structure is of two anticlines in the areas south of Setana Railway and of faults in the northeast to northwest parts of distribution. The trends vary from northwest to southeast to east-west or northeast to southwest, and the dips vary from about 10 to less than 50 degrees and their directions change according to places.

The major part of the formation is covered in part with extruded rhyolite flows called the *Kayano rhyolite member*. The locality of this member is the cliff of the Setana Railway about one kilometer east of Kayano. The rhyolite is gray, compact, and shows a metamorphic contact with the green tuff breccia below and is covered with conformity by the lower part of the Yakumo formation. The rhyolite extends in north to south direction and is cut by a fault of northwestsoutheast trend along its middle part in longitudinal direction. This rhyolite is estimated to measure about 300 meters in general.

Kaigarabashi sandstone member. This member has its type locality in the cliff of the Meppu River about three kilometers from the mouth in the central area, and the lower is an arkose sandstone and conglomerate measuring about 80 meters in thickness. The arkose sandstone is coarse grained with sporadic distribution of andesite pebbles which are rounded to subrounded, being massive in the lower and laminated in the upper. The conglomerate comprises round to subround pebbles to cobbles of andesite, granodiorite, hornfels and slate with a 1.5 meters thick granodiorite boulder conglomerate at the base. The arkose sandstone and conglomerate form an alternation which become thinner towards the upper part. Molluscan fossils have been collected from the lowest part of the member along the Meppu River above mentioned. The fossils distinguished are, Chlamys arakawai (Nomura), Ch. kumanodoensis Musuda, Ch. otukae Masuda and Sawada, Patinopecten kagamianus (Yokoyama), Placopecten setanaensis (Kubota), Pl. wakuyaensis Masuda and Nanaochlamys notoensis (Yokoyama).

B-2. Yakumo formation. The type locality is the vicinity of Yakumo-cho in the south of the present area. In the present area the Yakumo formation is defined by the rocks typically exposed along the Daishibunnai River about two kilometers east of Shibunnai, Imagane-cho in Setana-gun. Here it measures 750 meters in thickness, it is lies without break upon the Kunnui with conformity and underlies the Kuromatsunai formation. In the present area the rocks of the Yakumo comprise from the lower a thin alternation of greenish gray tuffaceous shale, green tuffaceous medium grained sandstone and dark greenish gray tuffaceous siltstone intercalated with dark greenish gray lapilli tuff and light yellowish fine andesitic tuff layers. The middle part consist of a thin alternation of dark gray shale, gray tuffaceous siltstone and gray tuffaceous sandy siltstone intercalated in the lower part with gray hard shale layers. The upper comprises a thick alternation

The Geology and Paleontology of the Setana and Kuromatsunai Areas

of gray tuffaceous shale, bluish gray tuffaceous siltstone and dark gray hard shale intercalated with gray tuffaceous medium grained sandstone and gray tuffaceous siltstone layers. *Makiyama chitanii* occurs from the middle and upper parts, especially from the hard shale and siltstones. The formation in this locality strikes N 10°-30° E with dips of 20°-30° towards the west.

The distribution of the formation is wider than that of the underlying Kunnui, being found in the eastern part of the field in north-south distribution immediately west of the Kunnui Station at the junction of the Setana Line and the Hakodate Main Line, a small area in the northeast of the Pirika Station on the Setana Line, and in the east of the Toshibetsu River also in longitudinal extension. In the eastern area the formation has strikes of N 20°-30° E with dips of 30°-40° towards the southeast, however N 20° W with 40° eastward dips are also found. In the northern part of the Pirika Station the strike is N 10° E with dips of 30°-35° westwards on the eastern wing and of N 16° E with 20° eastward dips of the western wing. In the area west of the Toshibetsu River the strikes are almost N-S with dips of 25°-30° eastward along the eastern wing of the anticline and N 5°-6° W and dips of 8°-10° northwest along the western wing.

This formation overlies the granodiorite basement in the area about five kilometers northeast of Kami-meppu with unconformity and also with the same relation in the northwest of the Kami-hakaimappu River and also at about three kilometers northwest of Pirika Station. Elsewhere the formation is superposed upon the Kunnui with conformity.

Fossils from the formation are only the planktonic sponge called *Makiyama* chitanii.

B-3. **Kuromatsunai formation**. The type locality is along the Soibetsu River northwest of Kuromatsunai and two kilometers east of the same along the Shubuto River in the Kuromatsunai area. In the present area the typical exposures of the formation is the cliff of the Shimo-hakaimappu River at about three and a half kilometers northeast of Kami-meppu. Here it comprises in the lower, gray tuffaceoius siltstone intercalated with a thin scoria sandstone and light yellowish gray andesitic fine grained tuff layers. The upper part comprises gray andesitic lapilli tuff intercalated with gray tuffaceous siltstone and light yellowish gray tuffaces. The strike at this locality N 8° E with dips of 6° northwest in general and the formation here is cut with a fault trending N 35° W with the western side thrown down. Only *Makiyama chitanii* was found from the siltstone.

The formation is distributed from the easternmost part of the studied area in the north of the Kunnui Railway Station, on both sides of the Toshibetsu River, between Pirika and Shibunnai, and in the vicinity of Kami-hakaimappu in the central part and also in the north and south of Ishibuchi, Kitahiyama-cho in the eastern part of the area. In the western part of the area the general strikes N $17^{\circ}-25^{\circ}$ E with dips of $38^{\circ}-50^{\circ}$ SE, in the vicinity of Kami-hakaimappu the trends of N $7^{\circ}-10^{\circ}$ W with dips of $6^{\circ}-10^{\circ}$ SW occur, and along the Toshibetsu River between

9

Pirika and Shibunnai the strikes are N $16^{\circ}-20^{\circ}$ E with dips of $13^{\circ}-20^{\circ}$ NW for the eastern wing, the western wing strikes N 18° E with dips of 60° SE, and in the easternmost locality the strike is N $22^{\circ}-33^{\circ}$ E with dips of $30^{\circ}-40^{\circ}$ SE.

The Kuromatsunai is conformable to the subjacent Yakumo but is succeeded upwards with cunconformity by the basal conglomerate of the *Hanaishi conglomerate member* of the Chinkope formation, and terrace deposits.

B-4. Chinkope formation. The type locality is the cliffs of the Babagawa about four kilometers south of Imagane-cho. Here it is superposed with unconformity upon the Kuromatsunai and is covered with Minami-toshibetsu with conformity. At the type locality the Chinkope is about 150–180 meters in thickness and consists of two parts, the lower half begins with the **Hanaishi conglomerate member** followed upwards with a thick alternation of gray siltstone and gray medium to coarse grained sandstone intercalated with pebbly conglomerate, which are rounded to subrounded pebbles of andesite and hard shale. The upper half comprises bluish gray fine to medium grained sandstone intercalated with gray siltstone and pebbly conglomerate, which are of rounded to subrounded andesite and hard shale. The strike in the type locality is N 60° E and dips of 5° SE. No fossils have been found from the type locality.

The formation is distributed in the western half of the field in its larger part but is also found along the Toshibetsu River between Pirika and Shibunnai and along the easternmost marginal part of the field in the north and south of Kunnui Station. In the latter two regions the lower part or the Hanaishi conglomerate member only is distributed with the upper part missing. In the first mentioned area all parts of the formation are well developed and found on both sides of the Toshibetsu River.

The formation covers the Kuromatsunai with erosion unconformity and also the Kunnui where the Kuromatsunai is lacking. In places the unconformity is angular and elsewhere it is structural as will be mentioned in later.

Fossils of molluscs are found between Pirika and Shibunnai along the Toshibetsu River in the central part of the field. The stratigraphic position of the fossils are shown in Fig. 5, from which it can be noticed that their horizons are almost equivalent or nearly so where they occur.

B-5. *Minami-toshibetsu formation*. This formation is superposed on the Chinkope with conformity and is covered with unconformity by terrace deposits. The type locality is the road side cuttings between Minami-toshibetsu and Imaganecho. Here it attains about 150-200 meters in thickness and comprises light brownish gray fine grained sandstone intercalated with brownish gray medium to coarse grained sandstone and with cross-lamination structures in its middle part. The strike at the type locality is N 30° W with dips of 6° SW.

The distribution of the formation is restricted to the small area south of Toshibetsu River with Ocharappe in its central part south of Imagane-cho. The structure in this area is a broad syncline with the western wing trending N 15° -

The Geology and Paleontology of the Setana and Kuromatsunai Areas

22° W with dips of 2°-10° toward the east and the eastern wing strikes N–S to N 8°-20° E with dips of 3°-5° NW although slight deviations due to local disturbances are found and the strike changes to N 71° E with 4° NW dips, N 15° E with 10° SE, N 60° E, 5° SW, N 30° W, 56° SW, and N 40° E with 4° NW dips. This shown the existence of undulating structures, probably reflected from an older preexisting structure. No fossils have been found from the formation.

C. Quarternary formations

Terrace deposits. Theses consist of sand and gravel sometimes with intercalated clay and are distributed at two levels here called the Higher terrace deposits and Lower terrace deposits. The deposits attain about 10–15 meters form the higher one and 10–15 meters for the lower one in thickness.

The higher terrace compires gravel, sand and clay. The gravels are of pebble to cobble size, rounded to subrounded, andesite, slate, hornfels, quartzite, green tuff and hard shale. The distribution is at about the 70–220 meters level, extending from along the eastern side of the Toshibetsu River between Pirika and Shibunnai westwards to the vicinity of Imagane-cho and in the north where they become 100–150 meters in height above sea-level. Near the Japan Sea they are about 70–150 meters in height, their lower limit being higher along the coast than inland, which also is an evidence of some movement.

The lower terrace measures about 20 meters along the Funkawan and along the Toshibetsu River it attains about 15 meters in height, in the north and south of Imagane-cho it measures 15–50 meters in height, whereas in the south of Setanacho it measures 15–60 meters in height. The sediments comprise gravels sand and clay, the gravels are pebble size, rounded to subrounded andesite, slate, hornfels, quatzite and hard shale.

D. Geological structure

The geological structure of the Setana area can be classified into unconformities, folding and faults as the major ones (Fig. 4).

D-1. Unconformities. These are found between the basement of granodiorite and the Kunnui formation (inclusive of the Kaigarabashi sandstone member and Kitaizawa conglomenate member), between the granodiorite and the Yakumo formation, between the granodiorite and the Kuromatsunai formation and the Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, between the Kuromatsunai formation and the Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, between the higher and lowest terraces and the Tertiary rocks.

In all cases the unconformity represents an erosive phase, whereas between the basement and Tertiary rocks it is also structural as it is between the Miocene Kuromatsunai formation and the Pliocene Chinkope formation and the same can be said for the one between the Pliocene Minami-toshibetsu and Chinkope formations and the deposits of Pleistocene age. Within the Cenozoic rocks the most significant structural unconformity occurs between the Pliocene and Pleistocene that is to say it is post-Chinkope and pre-higher terrace in age.

11

D-2. **Folds**. The folding structures comprise anticlines and synclines aside from the homoclinal ones.

D-2-1. **Anticlines**. Three anticlines are found in the present field, two in the distribution area of the Kunnui formation and one in the area of the Yakumo formation.

Yamadayama anticline. This occurs in the western part of distribution of the Kunnui formation. This trend almost in north to south direction with slight divergence towards the east. Taking part in this folding are the Chinkopegawa andesitic agglomerate member of the Kunnui formation, the major part of the Kunnui and a part of the Yakumo formation. The eastern wing dips at about 10–20 degrees towards the east whereas the western wing at about 15–40 degrees towards the west. Southwards the axis of the anticline grades into the green pyroclastics of the Kunnui formation and northwards it is lost in the northern extension of the Chinkopegawa andesitic agglomerate member of the formation.

Chayagawa anticline. This occurs in the central part of distribution of the Kunnui formation almost parallel with the Setana Railway Line. The axis trends NWW-SSE and dies out it its northwestern and southeastern extensions, being lost in the green pyroclastics of the Kunnui formation. Taking part in the folding is the major part of the Kunnui and its Chinkopegawa member. The eastern wing dips at about 23–34 degrees towards the east or northeast whereas the western wing dips at about 24–26 degrees towards the southwest.

Kami-hakaimappu anticline. This extends almost parallel with the Toshibetsu River between Pirika and Kitasumiyoshi Station along the Setana Railway Line, trending in NNE–SSW then to SSW, its northern and southern extremities dies out into the homoclinal folding of the Yakumo formation. In the northern part of the anticline the eastern wing dips at about 25–30 degrees eastwards whereas the western wing dips at about 8–12 degrees westwards, the central part of the anticline has its eastern wing dipping at about 30 degrees eastwards and the western one at about 8 degrees westwards, whereas in the southern part of the anticline the eastern wing dips at 10–15 degrees eastwards except near the Hanaishi fault where the dip become 60 degrees, and the western wing dips at 10 degrees towards the west. The Yakumo, Kuromatsunai formations and Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation are folded.

D-2-2. Synclines. Four synclines can be recognized in the present field.

A syncline occurs in the Kunnui area between the Yamadayama and Chayagawa anticlines. Its axis trends northwest to southeast with divergence in the southern part towards the southwest.

Tsuribashi syncline. This occurs in the longitudinal valley incised by the Toshibetsu River between Pirika and Shibunnai. The axis is almost parallel with the Yamadapama anticline in its east and the Kami-hakaimappu anticline in the west. However, since its western side is cut by the Hanaishi fault of NNE-SSW trend the dips become steep near it measuring about 60–80 degrees.

Minami-kunahara syncline. This occurs in the southern part of the western area, extending in almost north to south direction with its northern extremity extending under or obliterated by the alluvial deposits and the southern extension has not been traced. The eastern wing dips at about 3–5 degrees westwards and the western one at about the same towards the east. Taking part in the movement are the Chinkope and Minami-toshibetsu formations.

Meppu syncline. This occurs in the immediate east of Imagane-cho and extends in southeast-southwest direction with the southern extremity extending under or obliterated with the alluvial deposits and the northern one into the homoclinal folded Kuromatsunai formation. The southeastern wing dips at about four degrees westwards and the western one at about five degrees eastwards. Both the Meppu and Minami-kanahara synclines are broadly folded and seem to be more of a warping than a true synclinal fold because the dip angles are very low and it is even difficult to determine the position of the axis in the field.

D-3. **Faults**. Faults are rather common in the present area and the major ones have been named because of their importance in the structure of the area.

Kunnui fault. This reverse faults occurs in the eastern part of the field west of the Kunnui Station on the Hakodate Main Railway Line. The strike is N 20° – 25° W, with dip of 80° – 85° NE and the western side is thrown down. This cuts both the Kayano rhyolite member of the Kunnai formation and the Yakumo formation. The alternating layers of the Yakumo formation are crushed, making a crushed zone of about four meters where the Yakumo is in contact with the rhyolite and where the fault cuts only the rhyolite the fault zone consists of brecciated and crushed volcanics measuring several meters in width. This fault shows that the Yakumo originally covered the Kayano rhyolite.

Kami-kunnui fault. This reverse fault occurs whithin the Kunnui formation at Chyagawa, its strike extending in N $35^{\circ}-45^{\circ}$ W with dips of more than 30° degrees with the southwestern side thrown down. Northwards the fault extends beyond the surveyd area and southwards it is lost in the massive green pyroclastics which show homoclinal folding.

Shibunnai fault. This reverse fault occurs on the eastern side of the Toshibetsu River extending in N $15^{\circ}-20^{\circ}$ E in the northern part and almost N–S in the northern part the dip is $80^{\circ}-85^{\circ}$ E, whereas in the southern part the dip is almost the same with the western side thrown down. By this fault the Kunnui, Yakumo, and Kuromatsunai formations and granodiorite are cut. Where the granodiorite and Kunnui formation are in contact, there is a nearly two meters wide crushed belt in which the Kunnui rocks are sheared with the shearing nearly parallel with the direction of the fault. Where the Yakumo and Kunnui are in fault contact, there is developed a crushed zone several meters in width in which the alternation of gray shale and siltstone of the Yakumo and the green pyroclastics of the Kunnui are radomly mixed, being crushed. Northwards the fault extends into the boundary between the Yakumo and Kunnui formations, whereas southwards the fault extends

beyond the surveyed area.

Hanaishi fault. This is a fault extending longitudinally almost parallel with the Toshibetsu River between Pirika and Shibunnai. The strike in N $15^{\circ}-20^{\circ}$ E with dips of $80^{\circ}-90^{\circ}$ W and is a reverse fault with the western side thrust upon the eastern. This faults cuts the Yakumo, Kuromatsunai, and Chinkope formations and is situated near the core of the Tsuribashi syncline. The fault has a nearly 30 centimeters thick fault clay or a similarly thick crushed belt following its general trend.

Shimo-hakaimappu fault. This fault extends from the Meppu Mine southwestwards to the south cliff of Meppu, therefrom westwards to beyond Kasugai in Imagane-cho. The strike changes from N 40° - 50° E with unknown dip in the western part. By this reverse fault the Yakumo, Kuromatsunai, and the Chinkope formations join in the movement. The fault has a nearly ten meters wide crushed zone in which siltstone and hard shales are deformed. The northern extension of the fault is lost into the homoclinal structure of the Kuromatsunai formation and southwestwards it is covered in party by the alluvial deposits.

Tomayachi fault. This fault occurs in the western part of the field in the vicinity of Tomayachi, Kitahiyama-cho. The strike is N $30^{\circ}-40^{\circ}$ W with dip almost vertical and the western side is thrust upon the eastern. From that the silt-stone of the Kuromatsunai formation are distorted, cracked and show differences in dips it is judged that is or the western side was thrust upon the Chinkope formation which does not show such features. Southeastwards the fault extends into the homoclinal structure of the Chinkope formation and northwestwards the fault extends under the alluvial deposits.

Makomanai fault. This fault occurs in the northwest of the one just mentioned, extending from Nabezaka in Kitahiyama-cho southwards in the same township, the trend being N 30° - 35° E with dips almost vertical and is thought to be a normal fault with the eastern side thrown down. This fault cuts the Kunnui and Kuromatsunai formations and the Yakumo formation is missing here. The northwards extension is covered with terrace deposits and the southern part is covered with alluvial deposits to reappear near Ishibuchi in Kitahiyama-cho where the Kunnui and Kuromatsunai formations without the development of the Yakumo are in contact. Further southwards the fault extends under the alluvial deposits. The fault is determined from the differences in strike and dip, the missing of the Yakumo formation which is superposed on the Kunnui formation with conformity in other areas, and by the abrupt change in rock facies near the contact.

The ages of folding of the anticlinal and synclinal structures and judged to be post-Minamitoshibetsu and pre-terrace deposits or Plio-Pleistocene in age. The faults on the other hand are judged to be pre-Kuromatsunai, and post-Minamitoshibetsu in age or Mio-Pliocene and Plio-Pleistocene. The homoclinal bedding may be associated with both folding and faults, so far as the dips near the latter are concerned.

The Geology and Paleontology of the Setana and Kuromatsunai Areas

E. Igneous activity.

The oldest ingeous activity in the present area is represented by the large masses of granodiorite rocks exposed in different parts of the field as already stated. These are batholithic rocks which intruded the clayslates probably of Paleozoic age and formed at the contact areas hornfels.

The Chinkopegawa andesitic agglomerate member of the Kunnui formation. The next ingeous activity is the andesite agglomerate intercalated in the Kunnui formation, which occurs in the lower part. Its distribution is restricted to the eastern part of the field. It is associated with augite andesite lava flows and also tuff-breccia.

Kayano rhyolite. This flow occurs in the upper part of the Kunnui formation in the eastern part of the field and is distributed in roughly north to south direction. A small dike of rhyolite occurs at about 2.5 kilometers north-northeast of the Hanaishi Station along the Setana Railway Line cutting the lower part of the Kunnui formation. This is thought to have been formed at the same time as the Kayano rhyolite although the areas of distribution are different.

Dikes of andesite and basalt are found in the western part of the field, and both cut the lower part of the Kunnui formation. These dikes trend in almost north to south direction, the andesite one occurring about 500 meters north of Setana-cho and at about 600 meters south of Soikoshi in Kitahiyama-cho, and the basalt dike is found at about 300 meters east of Ishibuchi in the same township.

From the above it is evident that the period of igneous activity can be dated as pre-Tertiary (granodiorite), post-Kunnui or Kunnui (Kayano rhyolite and rhyolite dike), post-Kunnui (andesite and basalt dikes) or late Kunnui time.

F. Summary of the geological history of the Setana area.

After batholithic intrusion of the granodiorites into the pre-existing clayslates and the development of hornfels along the contact zone, the present area was uplifted and subjected to a long period of subaerial denudation. It is upon the eroded surface that the Tertiary sediments were deposited.

The deposition of the Miocene rocks in the present area commenced with the first marine transgression. This first penetration of marine waters was associated with violent volcanic eruptions in the eastern part of the field of thick accumulations of green pyroclastics intercalated with augite andesite flows and their agglomerates as well as tuff breccias. In the eastern part of the field there was periodic invasions of the sea which deposited siltstones and sandstone layers in which the planktonic sponge *Makiyama chitanii* (Makiyama) occurs sporadically.

Continued volcanic eruptions resulting in the thick accumulations of pyroclastic deposits ended with an eruption of rhyolite flows and dikes. And this period is considered to have been one of gradual subsidence leading to the flooding of the whole area and the deposition of the Yakumo formation, which although not fossiliferous, yielded some fossils. Continued sinking of the area and the development of siltstone, sandstone and tuffaceous layers of the Yakumo also preserved such

15

planktonic sponges as *Makiyama chitanii* (Makiyama) and some benthonic foraminifers, although molluscan fossils are not common.

During deposition of the Yakumo formation it is thought that the center of the sedimentary basin was subjected to change, that is to say, the central area was gradually uplifted and the basin migrated both westwards, the maximum subsidence being in the west, and this period of instability continued throughout the Miocene as may be seen from the distribution of the Kuromatsunai formation, which finds its area of distribution chiefly in the west of the areas of distribution of the older formations with which it is conformable.

Gradual subsidence continued throughout the larger part of the Kuromatsunai time being continuous with that of the earlier stages and the basin shifted slightly westwards although the one occupied by the Yakumo was still flooded. During the latter part of the Kuromatsunai time the whole area seems to have commenced gradual uplift leading finally to complete uplift whereby the land surface was eroded and this marks the Miocene to Pliocene break in the present area.

During the uplift of the Kuromatsunai deposits and regression of the seas it is inferred that considerable crustal movements occurred in association such as tilting and faulting although no intense folding seems to have taken place at this time.

Upon the eroded surface of the Kuromatsunai and worn out areas adjacent to the granodiorite mountains there occurred another marine transgression by which the initial phase of the Chinkope formation was deposited, being represented by the Hanaishi conglomerate member of the formation. The areas in which the Chinkope formation was deposited is considered to have extended over the whole are from the present day Japan Sea to Funka-wan, but whether the area in which the Kunnui formation is distributed was entirely covered with the Chinkope seas is questionable because that area may have been retained as a land at that time, being the source of the sediments making up the formation.

This Pliocene sea brought into the present area a rich marine fauna represented by many scallops (**Tables 2–5**), foraminifers, brachiopods and others. However, this sea was not long-lasting because there seems to have occured gradual emergence of the flooded area soon after the deposition of the Hanaishi conglomerate member in the east-central part of the field gradually towards the western part, that is to say, the central eastern part was emerging whereas the western part was still submerged and subjected to sedimentation leading to the development of the major part of the Chinkope formation and the whole of the Minami-toshibetsu formation, which is also of marginal origin. Throughout the Pliocene the seas were of neritic nature as may be deducted from the molluscan fauna, excellent development of cross-bedding structures and coarse grained sediments which all reveal the instability of the area the nature of the source rocks and the depth of the seas.

Gradual uplift and regression of the seas was beginning at the time of deposition of the Minami-toshibetsu formation, which appears to be a regressive facies.

Table 2.	List of the	Molluscan	Fossil	from	the	Setana	and	Kuromatsunai	areas.

Area	``````````````````````````````````````					Se	ana	A	rea						T			Ku	romats	unai	Area	. <u> </u>					Т			Geo	logical	Rang	e J*	
Formation		T								Т	<u></u>						Kaiga	rabuch	i .		Γ.			E		1	30.	Mioc	cene	P	liocene	ŢF	Neisto-	Recent
Come and Species	Kunnui F.	20 20	Hana	usm C	ongiome	and an	ember	1 90	27 2	6 95	Chine	ope	Forma	10 19	17		inglome	rate	Membe	r	۲ ۰	vakan	okawa	T A	mation	n F 2	m. 1	Early	Lat	e Ea	ly La	se (cene	
Amething nobilie A Adams	41 40	55 30	57 50	35 3	4 <i></i>	32 31	30 2.	20		0 23	24 23	22 2	1 20	13 10	++	10 1.		13 12	┝╨┼		ť	H++	Ť	+-	c	┭	c l			1=	===	==		
Homalopoma anusita ikum (Gould) Turbo sp Littorina (Litorinaga) brevicula (Philippi) Turritella (Nechaustator) nipponica Yokoyama	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·				R											R						F	A	С	A					E	=	+		
Turritella (Neohaustator) fortilirata habei Kotaka Bittium yokoyamai Otuka Cerithium kochi Philippi Scala (Boreoscala) aomoriensis (Iwai) Scala (Boreoscala) yabei echigonum (Kanehara)	······································	F C	с		C R	С										с						с		A	A R							Ŧ		
Cingulina cingulata (Dunker) Crepidula grandis Middendorff Tectonatica janthostoma (Deshayes) Trophonopsis (Austrotrophon), candelabrum Reeve Trophonopsis (Boreotrophon) sasae Sawada n. sp	······	F				с							с									A	R		FA							Ŧ		
Nucella cf. freycinetti (Deshayes) Mitrella (Mitrella) burchardi (Dunker) Plicifusus yanamii (Yokoyama) Neputunea iuati Hatai, Masuda and Suzuki Barbitonia arthritica (Bernardi)	·····										R	F													R R R							╡		
Barbilonia ar thritica hirosakiensis (Iwai) Buccinum leucostoma Lischke Hinia (Tritonella) japonica (A. Adams) Latirus (9 sp	······································	F F														R								A R	F						╡			
Admete japonica lischkei (Yokoyama) Gramotoma kotakae Sawada n. sp. Antiplanes contraria (Yokoyama) Antiplanes (Rectiplanis) sanctitioannis (Smith) Oenopota kagana toyotsuensis Sawada n. subsp	·····	R				R	-						F							с		F			A R F	j						╡		
Oenopota kuromatsunaiensis Sawada n. sp Eocylichna musashiensis (Tokunaga) Acila (Truncacila) insignis (Gould) Acila (Truncacila) nakazimai Otuka Yohlia (Cnesterium) johanni Dall					c c	A C	C C					R C (c	CR								r R C A	C R	RR	R F	R						╪		
Arca boucardi Jousseaume Pseudogrammalodon d alli (Smith) Glycymeris (Ghycymeris) yessoensis (Sowerby) Linopsis tokajensis Yokoyama Modiolus diffeilis (Kuroda and Habe)					R		R				A	C (с		R						R	R A	A C c	RR		A C C					1			
Mvtilus gravanus Dunker Polymemamussium, alaskense (Dall) Chlamys arakawai (Nom u Pa) Chlamys, chinkopensis Masiuda and Sawada Chlamys cosibensis (Yokoyama)	R	C C C	A										F		R	с				сс	R			F						F				
Chiamys daishakaensis Masuda and Sawada Chiamys islandica erythrocomata (Dall) Chiamys kumanodoensis Masuda Chiamys osugii Kuroda Chiamys osugii Kubota	A A	FC	AR	R				F	Η C				С	P		F C	A	A	F	A			C			A	с			T		╡		
Chlamys otukae Masuda and Sawada Chlamys tamurae Masuda and Sawada Placopecten setanaensis (Kubota) Placopecten sakuyaensis Masuda Swiftopecten swiftü (Bernardi)	A A C				F			F	FF	R	A										C		A	F	с	R				1	1			
Nanaochamys notoensis (Yokoyama) Patinopecten kagamianus (Yokoyama) Patinopecten tokunagai (Yokoyama) Patinopecten tokunagai (Yokoyama) Patinopecten vessoensis (Jay)	с с	C.	F		A				F		с			F						F		A	A . A	C		c	A F			-	╞	\downarrow		
Lima (Acesta) goliath Sowerby Monia macroschisma (Deshayes) Monia macroschisma ezoana (Kanehara) Monia umfonata (Gould) Astarte (Tridonta) alaskerisis Dall	·····			F	R	R.	C F		C	R	R	F	R		c c	R A R	R A	с	R		г. F		R R F			с ,	A R R					4		
A starte (Tridonta) borealis (Schumacher) Venericardia (Cyclocardia) crebricostata (Krause) Venericardia (Cyclocardia) paucicostata (Krause) Felaniella usta (Gould) Lucinoma amulatum (Reeve)	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	F							R R		R R	R R			R						C .A	F	A R A F	F C A	c c		C R			Ē		#		
Clinocardium californiense (Deshayes) Papyridea (Fulvia) kurodai Hatai and Nisiyama Ezocallista breoisiphoneta (Carpenter) Sazidomua purpuratus (Sowerby) Liocyma fluctuosa (Gould)							R					R			с			R			A		F A R	۲ C	A F A	A I	R			T	‡	#		
Callithaca (Protocallithaca) adamai (Reeve) Psammocoda cfr. kazusgensis (Yokoyama) Spisula (Spisula) sachalinensis(Schrenck) Macoma (Macoma) uncongrua (ú. Marteris) Macoma (Macoma) tokyoensis Makiyama	·····				R	Ŕ	R		R R				R									A		R R	R R R					ŧ	#	╡		
Panope japonica A. Adams Myadora proxima (Smith) Pleetodon (Pleetodon) ligula (Yokoyama) Hemithyris psittacea woodwardi (A. Adams) Terebratalia coreanica (Adams and Reeve)				J					с												0		A F F		R A A		F F			E				
Terebratalia gouldii (Dall) Cop iothyris grayı (Davidson)	F																						RR				F		F	Ŧ	\top	\uparrow		

c

Frequency (Individuals): R (Rare), 1; F (Few) 2-5; C (Common), 6-10; A (Abundant), more than 11.

The Geology and Paleontology of the Setana and Kuromatsunai Areas

Continued uplift resulted in the whole once flooded area becoming land whose surface was incised and drained by several streams or rivers. These land drainages are considered to have resulted in the formation of the terrace deposits and also of the alluvial deposits now extensively distributed along the drainages of the present streams in the Setana area.

During the Miocene stage the first major sinking or sedimentary basin was developed in the eastern part of the area whereafter it gradualy migrated westwards, shifting finally to the present coast lines of the Japan Sea and of Funka-wan, the former in the west and the latter in the east. The major migrations seem to have been accompanied with uplift of the previously water covered area and also associated with crustal disturbances as faults.

Crustal disturbances in the present area seem to have first commenced with marine transgression and subsidence associated with volcanic activity which indicated the opening of the Miocene in the present area. The next crustal disturbance seems to have been at the end of the Miocene when marine regression associated with relative uplift of the land occurred and this was associated with faulting but not intense folding. However, at the end of the Pliocene or after the deposition of the Minami-toshibetsu formation there occurred marine, regression associated with relative uplift of the land and faulting as well as intense folding by which the entire once flooded area become land with high relief and may have made a complex mountainland. Although evidence of crustal movement continuing to the present day could not be found, it is evident that erosive and depositional forces are still active as shown by the development of extensive alluvial deposits and broad shores facing the Japan Sea and of a narrow but probably upbuilt shore fringing Funka-

Areas	Setan	a area	Kuro	matsunai	Area
Fossil Scallops Formations	На	Ch	Kab	Na	So
Polynemamussium alaskensis (Dall)	*	*		*	
Chlamys chinkopensis Masuda and Sawada	*				
Chlamys cosibensis (Yokoyama)	*	*	*		
Chlamys daishakaensis Masuda and Sawada	*	*	*	*	
Chlamys islandica erythrocomata (Dall)	*	*	*		
Chlamys nipponensis Kuroda				ļ	*
Chlamys osugii Kubota		ļ	*		
Chlamys tamurae Masuda and Sawada		*			
Swiftopecten swiftii (Bernardi)	*	*		*	*
Patinopecten tokunagai (Yokoyama)	*	*		*	
Patinopecten tokyoensis (Tokunaga)					*
Patinopecten yessoensis (Jay)	*	*	*	*	

Table 3. Pliocene Scallops from the Setana and Kuromatsunai Areas

Ha: Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation; Ch: Chinkope formation; Kab: Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation; Na: Nakanokawa formation; So: Soibetsugawa formation.

				a,			
Table 4.	Molluscan	fauna	from	the	Chinkope	formation	$_{\mathrm{in}}$
	the Setana	area a	and the	e Na	akanokawa	formation	in
	the Kuroi	natsun	ai are	a.			

	Area				Seta	na a	irea				Í	Kur	oma	sun	ai ai	rea	
	Formation			Chir	icope	for	mat	ion :			1	Nak	anok	awa	for	matic	011
Fossils	Locality number	+-	24	23	22	21	20	19	18	17	8	7	6	5	4	3	2
Amathina nobilis A. Adams Homalopoma anusitatum (Gould)		Ť										F	А		С	C A	
Turritella (Neohaustator) nipponica Cerithium kochi Philippi Scala (Boreoscala) yabei echigonum	(Kanehara)											С			A	A R	
Cingula cingulata (Dunker) Amathina nobilis (A. Adams) Crepidula grandis Middendorff Tectonatica janihostoma (Deshayes) Tecoponesis (Austratronhomican/da	ibrum Beeve	-					с					A	'R		F	F F A	
Nucella cf. freydinettiu (Deshayes) Mitrella (Mirella) burchardi (Dun Plicifusus yanami: (Vokoyama) Neputumer iwaii Hatai, Masuda and	ker) Suzuki			R			F									R F R	-
Barbitonia arthritica (Bernardi) Hinia (Tritonella) japonica (A. Ad Latirus (?) sp	lams)											E			A R	F	
Adamete japonica lischkei (Yokoyan Granotoma kotakue Sawada n. sp ··· Antiplanes contraria (Yokoyama)	na)						F									R	
Oenopota kuromatsunaiensis Sawada Eocylichna musashiensis (Tokunaga Acila (Truncacila) insignis (Gould Acila (Truncacila) nakazimai Otuka Yoldia (Cnesterium) johanni Dall	n, sp				R C	с		С	R			F R C A	C C	R	R R	F R F	R
Arca boucardi Jousseaume Pseudogrammatodon dalli (Smith) Glycymeris (Glycymeris) yessoensis Límopsis tokaiensis Yokoyama Mytilus grayanus Dunker	(Sowerby)			A	с		с			C R	R R	R A	A	с	R R A		A C C C
Polynemamussium alaskensis (Dall) Chlamys cosibensis (Yokoyama) ··· Chlamys daishakaensis Masuda and S Chlamys islandica erythrocomata (I Chlamys tamurae Masuda and Sawad	Sawada Dall) a			A		F	с		R	R		с			F	A	A
Swiftopecten swiftii (Bernardi) Patinopecten tokunagai (Yokoyama) Patinopecten yessoensis (Jay) Monia macroschisma (Deshayes) Monia macroschisma czoana (Kanch	ara)	R	с					F		с	с с	A	A A R R	A		С	R C C
Monia urbonata (Gould) Astarte (Tridonta) alaskensis Dall Astarte (Tridonta) brealis (Schur Venericardia (Cyclocardia) crebrico Venericardia (Cyclocardia) naucicos	nacher) stata (Krause) ista (Krause)	R	R R R		F R R	R				C R	F C A		F A A		FCA	с	
Felaniella usta (Gould) Lucinoma annulaium (Reeve) Clinocardium californiense (Deshay Papyridea (Fulvia) kurodai Hatai an	res)											F	F			A	
Ezocallista bravisiphonata (Carpon Sazidomus purpuratus (Sowerby):- Liocyma fulctuosa (Gould)	(Reeve) /ama)				R					С	A		A	R	C R F	A R R	A C
Macoma' (Macoma) incongrua (V. N. Macoma (Macoma) incongrua (V. N. Macoma (Macoma) incongrua (N. M. Myadora proxima (Smith) Hemithvris psitacea woodwardi (A Terebratalia coreanica (Adams and	fartens) yama . Adams) Keeve)						R					C A	A F	F	R R	R A A	
Terebratalia gouldii (Dall)													R	R			
			1		_												

Frequency (Individuals): R(Rare), 1; F(Few), 2-5; C(Common), 6-10; A(Abundant), more than 11.

	<u> </u>				0		 ∪ <	(L		
	1. IWa	0								
	mem anoka	Ē							~	
g	slo. Naki	2 1	·····							
i arc	cont	3 1	·			······································	~			~
suna	uchi o f	L +							~~	
omat	arab	1						· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	~~~~	
Kur	Kaig	6 1	~	0 ~			0 44			
┝─		6 1							~0 ~~	~~ ()
	e	7 2						(r. (±.)[±.		
	natio	8 2			····			fr.		
	form	9 2				<u>к</u> к			ы. Т.	~
	ope	2 08				0				~
	hink		0	0	 œ	0				~~~~
	C O	22				<			 Z	
	f the	8	ж.О	<u> </u>		<u> </u>		L. <		~
· ~	er o	2							~	
area	hemb	5	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·				<u>ســــــــــــــــــــــــــــــــــــ</u>		[T.	
113	ю. п	1.9	0							
Seta	cong	120			······					
	ishi	33				<u></u>	00.0			
	Hant	68	· · · ·		· · · · ~					
-			щO	بند <u>می ریادی میں میں میں میں میں م</u>			о ц 		<u>لتر</u>	
Area	Formation	Fossils	Turbo sp	Scala (Boreoscala) aomoriensis (Ivai)	Baccinum leucostoma Lischko	cela (Trancacila) insignis (Gould)	olynemamussium ulaskensis (Dalli)	hlamys niponensis Kuroda hlamys osugii Kubota witopeteten swifti (Bernardi) ditopeeten swenazii (Yokoyama) atinopeeten yessoensis (Jay)	ima (Acesta) goliath Sowerby lonia macroschisma (Deshayes) starte (Tridoni alaskensis Daal enericardia (Cyclocardia) crebricostata (Krause) emericardia (Cyclocardia) paucicostata (Krause)	zocallista brevisiphonala (Carpenter) lareoma (Macoma) ricongrua 'p. Martens) lareoma (Macoma) lokyoensis Makyama erebratalia coreanica (Adams and Reeve)

Molluscan fauna from the Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation in the Setana area

Table 5.

19

wan. From these features it is considered that uplift may still be continuing in the present area.

II. Geology of the Kuormatsunai area

The township of Kuromatsunai occupies the central part of this area which stretches roughly northwest to southeast with Funka-wan in the former to the Japan Sae in the latter. This area, called Kuromatsunai area, was chosen particularly because it includes the type locality of the Kuromatsunai formation and shows the distribution of most of the stratigraphic units already described in the Setana area. In the Kuromatsunai area the following stratigraphical units have been recognized (**Table 6**), and their descriptions are given below.

A. Pre-Tertiary basements

The basement rocks in the present area comprise granodiorite, which is distributed in the northeastern part of this field where it is overlian with unconformity by the Garogawa andesitic agglomerate member of the Kuromatsunai formation on its eastern and western sides, and with the Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation on its northern and southern sides also with unconformity.

B. Neogene Tertiary formation

B-1. Kunnui formation. The rocks of the Kunnui formation consist of rhyolitic tuff breccia and andesite flows and its agglomerate. The type locality of the Kunnui formation is in the Setana area and typical rocks such as the thick accumulations of green pyroclastic with interbedded siltstone and sandstone layers so not occur in the present area. However, the Kayano rhyolite in the uppermost part of the Kunnui in the Setana area is represented by rhyolitic tuff breccia below the Yakumo formation with conformity in the upper reaches of the Soibetsu River west of the Nakanokawa in Kuromatsunai-cho; this has been given no formal name in this area.

Futamata andesite. The type locality is the cliffs along the Futamata River in the west of Futamata in Oshamanbe-cho. Here the andisite consists of dark greenish gray augite-andesite flows and agglomerate more than 200 meters in thickness. This andesite continues from about one kilometer southwest of Inaho pass in slightly arcuate from southwards to near Furano along the eastern side of the Futamata fault.

The Futamata andesite is referred to a part of the Kunnui and is thought to correspond to the Chinkopegawa andesitic agglomerate in the lower part of the Kunnui formation in the Setana area.

B-2. **Yakumo formation**. The type locality was already mentioned and will not be repeated in this place. In the present field the Yakumo comprises from the lower a thin alternation of dark gray hard shale and gray tuffaceous siltstone intercalated with light greenish gray and sitic tuff and light brownish green medium grained sandstone, the middle of thick alternation of gray tuffaceous siltstone and

Age.	Formation	Lithological characteristics	Thickness (in meters)
Holocene	Alluvial deposits	Gravel, sand and clay.	
	Lower terrace deposits	Gravel, sand and clay.	15 - 20
Pleistocene	Higher terrace deposits	Gravel, sand and clay.	20 - 25
	Younger volcanics	Two-pyroxine andesite, andesitic agglomerate and ash.	150
Late Pliocene	Soibetsugawa formation	Brownish gray fine sandstone, brownish gray medium to coarse sandstone, and cross-laminae.	90 — 95
Early Pliocene	Nakanokawa formation	Upper with bluish gray siltstone and lignite layers, and lower of alternation of bluish gray siltstone with lignite layer, bluish gray medium sandstone and conglomerate beds.	250 - 280
	Kaigarabuchi conglomerate member	Conglomerate of pebble to cobble size.	
	Garogawa andesitic agglomerate member	Dark gray of black two-pyroxene andesitic aggglomerate with light yellowish gray andesitic fine tuff beds, dark gray or black coarse scoria sandstone and dark gray andesitic tuff breccia beds.	
Late Miocene	Kuromatsunai formation	Upper with alternation of dark gray or black scoria sandstone and bluish gray tuffaceous siltstone with dark gray tuffaceous shale and light yellowish gray andesitic fine tuff beds. Middle with alternation of gray or black scoria sand- stone and bluish gray tuffaceous siltstone with light yellowish gray andesitic fine tuff deds. Lower with alternation of dark gray or black scoria sandstone and bluish gray tuffaceous siltstone, and dark gray hard shale beds.	160 — 850
Early Miocene	•Yakumo formation	Upper with alternation of dark gray hard shale, gray tuffaceous siltstone and dark brownish gray medium scoria sandstone. Middle with alternation of gray tuffaceous siltstone and dark gray hard shale and gray tuffaceous siltstone with light greenish gray andesitic fine tuff beds. Lower with alternation of dark gray hard shale and gray tuffaceous siltstone with light green gray andesitic fine tuff and light brownish green medium tuffaceous sandstone.	400+
	Kunnui formation	Light greenish gray tuff breccia with brownish gray medium sandstone beds.	260+

— fault –

---- unconformity -

Greenish gray altered augite andesite.

Granodiorite.

Futamata andesite

Pre-Tertiary basement

Pre-Tertiary

Table 6.Stratigraphical Classification of the Rocks Distributedin the Kuromatsunai Area

•

21

thin alternation of dark gray hard shale and gray tuffaceous siltstone intercalated with light greenish gray andesitic fine grained tuff, and the upper of a thin alternation of dark gray hard shale, gray tuffaceous siltstone and dark brownish gray medium grained scoria sandstone. The siltstone in the middle and upper have yielded *Makiyama chitanii* (Makiyama) only.

The formation lies upon the rhyolitic tuff breccia of the Kunnui formation in the southwestern part of the field and is in fault contact with the Futamata andesite which is referred to the Kunnui formation. The distribution of this formation is rather limited, being the northwestern part of the field from about 5.0 kilometers southwest of Nakanokawa from where it is distributed in southward direction, being covered in places with the Shamanbedake volcanics. Its southern limit of distribution in this northwestern area is about five kilometers southwest of Kuromatsunaicho. Here the formation has a strike of N 20° W for the anticlinal axis and the eastern wing dips at about 20° – 23° E and the western one dips at about 12° – 14° towards the west. On its eastern flank the Kuromatsunai is superposed with conformity.

In the southwestern area of distribution the formation is in fault contact with the Futamata andesite of the Kunnui formation and the Garogawa andesitic agglomerate member of the Kuromatsunai formation. In this area the general strike in N 20°-22° W with dips of 24°-26° NE and of N 10°-20° E with dips 25°-40° SE, showing that the area is disturbed by the faults bounding it from other units.

Only Makiyama chitanii has been found from the siltstone of this formation.

B-3. Kuromatsunai formation. The type locality is the cliff of the Soibetsu River at about 4.5 kilometers southwest of Kuromatsunai-cho in Suttu-gun. Here the formation is about 120 meters in thickness and lies upon the Yakumo with conformity and is covered with unconformity by the Nakanokawa. At the type locality the formation is subdivided into two parts, the upper consisting of the Garogawa and esitic agglomerate member and the lower of normal sedimentaries. The rocks in the type locality consist of in the lower part of the thin alternation of dark gray scoriaceous medium grained sandstone and bluish gray tuffaceous siltstone intercalated with dark gray hard shale, the middle part of a thick alternation of dark gray to black scoria medium grained sandstone and bluish gray tuffaceous siltsone intercalated with light yellowish gray and esitic fine grained tuff, and upper part with a thin alternation of dark gray to black scoriaceous medium grained sandstone and bluish gray tuffaceous siltstone intercalated with dark gray tuffaceous shale and light yellowish gray andesitic fine grained tuff. This is overlain with conformity by the Garogawa andesitic agglomerate member, which is dark gray to black, two pyroxene andesitic agglomerate intercalated with light yellowish gray andesitic fine grained tuff, dark gray to black two pyroxene andesite lava, dark gray to black scoria coarse grained sandstone and dark gray andesitic tuff breccia.

At the type locality there is a synclinal structure with the axis trending N $15^{\circ}-20^{\circ}$ W, and the western wing strikes N 30° W with dips of 20° NE and the

eastern wing strikes at N 30° E with dips of 35° SW.

This formation, especially the lower half is distributed from the type locality southwards in belt form to 4.5 kilometers southwest of Kuromatsunai-cho, but is cut at two places and covered by the Shamanbedake volcanic detritus. Along this area it is covered with the Garogawa andesitic agglomerate member. It is also found about two kilometers northeast of Kuromatsunai-cho from where it extends southwards to one kilometer north of Kamiutasai forming there an anticlinal structure whose axis trends NNE–SSW, its eastern wing strikes N 35° W with dips of 30°–35° NE and the western wing strikes at about N 20°–22° E and dips at about 65°–70° NW. The Garogawa member shows belt form distribution along the southern part of the western wing whereas along the eastern wing the Garogawa member is missing and the Nakanokawa is superposed upon the Kuromatsunai with unconformity.

It is also distributed from about 700 meters north of Shimobabasawa from where it extends southwards to 1.5 kilometers south of Toyohoro, its eastern side being limited by the Toyohoro fault and the western one dipping under the Nakano-kawa with unconformity. The general strike of the formation in this area N $10^{\circ}-20^{\circ}$ W with dip of $25^{\circ}-30^{\circ}$ SW. The Garogawa member is missing in this area.

The Kuromatsunai is also found in the southwestern part of the field from 1.5 kilometers north of Kurioka from where it extends southwestwards to 4.5 kilometers southsouthwest of Oshamanbe-cho but is interrupted by the Futamata fault. Here the formation makes an anticline with axis trending roughly northeast to southwest. The strike along the eastern wing is N $10^{\circ}-35^{\circ}$ W with dip of $50^{\circ}-60^{\circ}$ SE, the western wing trends N–S with deviation towards the west and the dip is about $20^{\circ}-50^{\circ}$ W.

Only *Makiyama chitanii* has been found from the siltstones of the formation. In the just mentioned area the Garogawa andesitic agglomerate member occurs on its western side whereas on its eastern the Nakanokawa is superposed upon it with unconformity.

B-4. Nakanokawa formation. This formation is subdivided into two parts, the lower consisting of the Kaigarabuchi conglomerate member and the upper of the major part of the formation. This formation overlies the Kuromatsunai with unconformity and is covered with Soibetsugawa with conformity. The just mentioned unconformity is a significant one as will be mentioned later.

The type locality of the Nakanokawa is the cliff of the Soibetsu River, 3.5 kilometers southwest of Nakanokawa. Here it is about 230 meters in thichness and is divisible into two parts, of which the lower comprises the *Kaigarabuchi conglomerate member*. The type locality of the member is the cliff of the Shubuto River about 500 meters southwest of Kaigarabuchi, Kuromatsunai-cho. Here it comprises a 150 meters thick alternation of conglomerate of pebble to cobble size rounded to subrounded andesite, siltstone and hard shale with brownish gray medium to coarse

grained sandstone. In the lowermost part is a three meters thick boulder conglomerate of rounded to subrounded boulders of andesite about one meter in diameter.

At the type locality of the formation the Kaigarabuchi conglomerate member occurs in the lower part, being superposed upon the Kuromatsunai with unconformity. The major part of the formation or that above the member begins with an alternation of bluish gray siltstone, bluish gray medium grained sandstone and pebbly conglomerate of rounded to subrounded pebbles of andesite and hard shale, this is overlain with bluish gray siltstone intercalated with one lignite layer. This formation is overlain with the Soibetsugawa with conformity at the type locality.

The general strike of the Nakanokawa at the type locality, N 7°-10° W with dips of 10°-12° NE. From the type locality the formation is distributed in belt from southwards to the Futamata fault at about 2.5, kilometers southsouthwest of the Inao pass. By this fault the formation is displaced northwards from where it is distributed slightly in arcuate form southwards to 3.5 kilometers southsouthwest of Oshamanbe-cho. Throughout this belt like area of distribution the formation shows strikes of N 10°-30° W with dips of 10°-15° NE in the northern part, of N 20°-50° W with dips of 15°-20° NE in the northern part of the southern area, N 20°-40° E with dips of 10°-35° SE. Although the dips are generally homoclinal the strikes show some divergence.

The formation is also formed in the eastern central part of the field forming there anticlinal and synclinal structures with axis trending northwest to southeast. The general strikes of the formation in this area confirm almost with the trends of the folding axis and the dips of them vary within the range of 10–20 degrees in general except near the fault. Nearing the fault the strata dip at angles as high at 70 degrees.

In the just mentioned area the Nakanokawa and Soibetsugawa formation are both found and these lie upon the Kuromatsunai formation either with unconformity or with fault contact, in the former case the Kuromatsunai formation forms the core of the anticline and in the latter it is in fault contact with the Nakanokawa, in the western and eastern parts of this area respectively. In the northern part of this central area the Nakanokawa and Soibetsugawa formations are covered with unconformity by the terrace deposits under which they dip with trends of about N 30° - 10° W and dips of about 15° - 30° NE, although the former vary according to places and become N 20° E with westwards dips of about 30° because of being near a faulted area.

The Nakanokawa formation is also distributed in the northeastern part of the field where its Kaigarabuchi conglomerate member lies directly upon the granodiorite and also upon the Garogawa andesitic agglomerate member of the Kuromatsunai formation. The Nakanokawa formation and its member trend about N 10° W in the south and N 20° E in the north, showing a shallow synclinal structure and the dips in both north and south are about 10–20 degrees. Eastwards the Nakanokawa formation is covered with unconformity by the terrace deposits.

Fossils of molluscs and others occur from the Nakanokawa formation as shown in **Tables 4** and **7**.

B-5. Soibetsugawa formation. The type locality along the Soibetsu River at about 1.5 kilometers southwest of Nakanokawa, Kuromatsunai-cho. It is about 90 meters in thickness and comprises brownish gray fine grained sandstone intercalated with brownish gray medium to coarse grained sandstone in the lower and with crosslaminated sandstone in the middle part, and of fine grained sandstone in the upper part. Fossil molluscs occur from the upper part of the formation as shown in Table 5.

This formation is distributed only in the vicinity of its type locality and is superposed upon the Nakanokawa with conformity and overlain with unconformity by the terrace deposits. The trend of its rocks are N $35^{\circ}-40^{\circ}$ W with dips of about 5° in the southwestern part, but change to N $5^{\circ}-30^{\circ}$ E in the northern part with dips of about 5°-10° towards the northwest, thus showing a small basin structure.

 Table 7.
 Molluscan fauna from the Soibetsugawa formation in the Kuromatsunai area. (Loc. No. 1)

Amathina nobils A. Adams
Glycymeris (Glycymeris) yessoensis (Sowerby)
Polynemamussium alaskensis (Dall)
Chlamys nipponensis KurodaC
Swiftopecten swiftii (Bernardi)
Patinopecten tokyoensis (Tokunaga)
Monia macroschisma (Deshayes)
M. macroschisma ezoana (Kanehara)
<i>M. umbonata</i> (Gould)
Astarte (Tridonta) borealis (Schumacher)
Venericardia (Cyclocardia) paucicostata (Krause)
Ezocallista brevisiphonata (Carpenter)
Panopa japonica A. Adams
Plectodon (Plectodon) ligula (Yokoyama)

Frequency (Individuals): R (Rare), 1; F (Few), 2-5; C (Common), 6-10; A (Abundant), more than 11.

C. Quarternary formations

C-1. Shamanbedake and Kuromatsunaidake volcanics. These volcanics are distributed in the areas of their type localities. The Shamanbedake is in the western central part of the present area and the Kuromatsunaidake is in the southeastern part. The former and latter comprise the same kind of two-pyroxene and esite flows and its agglomerate and volcanic ash. The Shamanbedake volcanics cover in part the Futamata and esite member of the Kunnui formation in its southern part, the Yakumo and Kuromatsunai formations along the eastern border and also in part the Garogawa andesitic agglomerate member of the kuromatsunai formation. The Kuromatsunaidake volcanics cover the Garogawa andesitic agglomerate member of the Kuromatsunai formation, a part of the major part of the same formation, the Nakanokawa formation and its Kaigarabuchi conglomerate member, but not the Soibetsugawa formation. The Shamanbedake and Kuromatsunaidake volcanics are not covered with any sedimentaries, even by the higher terraces.

C-2. Terrace deposits. The terrace deposits are classified into lower and higher, the latter being about 80–180 meters and the former 10–60 meters in heights. The higher one comprises gravel, sand and caly measuring 10–15 meters in thickness. The gravels are pebble to cobble size, rounded to subrounded, and esite, slate, hornfels, quartzite and hard shale. The lower terrace comprises gravels, sand and clay, about 10–15 meters in thickness. The gravels comprises gravels, sand and clay, about 10–15 meters in thickness. The gravels comprise pebble to cobble size, rounded to subrounded and esite, slate, hornfels, and hard shale.

The higher terrace is distributed in dissected form on the southern slope of the Kuromatsunaidake, sporadically at Inao pass in Kuromatsunai-cho and at about three kilometers southeast of Kuromatsunai-cho. It also occurs sporadically in the north of Shiraigawa, extensively in the north of Kami-babasawa from where it extends northwards along the western slope of the Horobetsudake in the northern part of the field, and along the western slope border of Taiheizan where it also has broad distribution. The areas of distribution of the higher terraces and the lower terraces are not the same. In the southern part of the field the lower terraces are developed in the north and northwest of Oshamanbe-cho, in a narrow area only along the western part of the Hakodake Main Railway Line both north and south of the Futamata Railway Station, sporadically along the southwestern and northwards to the Suttsu bay being more extensively in the area from Inao pass northwards to the Suttsu bay being more extensive and continuous along the western than the eastern side of the broad valley through which the railway line passes.

The alluvial deposits are now found bordering the drinages or filling the valleys distributed within the present area.

D. Geological structures

The geological structures of the present area comprise faults, folding and unconformities.

D-1. Unconformities. These are found between the granodiorite basement and the Garogawa and sitic agglomerate member of the Kuromatsunai formation, between the granodiorite and the Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation, between the Kuromatsunai formation and the younger Nakanokawa formation (inclusive of the Kaigarabuchi conglomerate member), between the Shamanbedake and Kuromatsunaidake volcanics and the Tertiary rocks, and between the valcanics and higher terraces and the lower terraces.

In all cases the unconformity represents an erosive phase, whereas between the granodiorite and Tertiary rocks it is also structural as it is between the Miocene Kuromatsunai formation and the Pliocene Nakanokawa formation and the same can

25

be said for the one between the Pliocene Soibetsugawa and Nakanokawa formations and the deposits of Pleistocene age. Within the Cenozoic rocks the most significant structural unconformity is post-Soibetsugawa and pre-Shamanbedake Kuromatsunaidake Volcanics in age.

D-2. Folds. Folding structures are anticlinal and synclinal folds which may be rather broad to somewhat narrow aside from the homoclinal foldings.

Kyoritsu syncline. This occurs in the southeastern marginal part of the field. The axis trends northeast to southwest with the dips of the eastern wing being about 15 degrees towards the west and ones of the western wing dipping at about 10 degrees eastwards. The northern extension is covered with the high terrace deposits and its southern one is covered with the alluvial deposits.

Sakaibara anticline. This small anticline occurs in the immediate west of the one just mentioned and almost with similar trend of its axis, the dips of its wings are about 10 degrees, but become steeper in the northern part where it is thought to plunge and southwestwards it may flare upwards.

Furano anticline. This occurs in the northwest of Oshamanbe-cho and its axis like the Kyoritsu syncline is northeast to southwest with the Kuromatsunai formation, its Garogawa andesitic agglomerate member and the Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation partaking in the folding. The eastern wing dips eastwards at 18–68 degrees whereas its western one at 15–60 degrees westwards, being steeper in general near the axis. The northern extension is cut by a small northeast-southwest directed fault and its southern one is thought to be cut by the Futamata fault, which is a major reverse fault.

Kurioka syncline. This occurs in the west of the just mentioned anticline and with axis quite parallel. The northern and southern extensions of this axis become obliterated, the northern dying out into the agglomerate facies and the latter probably cut by the Futamata fault. The eastern wing dips at about 35 to 64 degrees westwards whereas the western at 30° - 60° eastwards, the dips being stronger than the aforementioned anticline in general.

Warabitai syncline. This is of sigmoidal trend along the margin of the valley between Futamata in the south and the south of Kuromatsunai-cho in north although it is cut by the Futamata fault in the west of the Inao pass. Being sigmoidal the trend changes from northwest to southeast in the north then to southwest. Its northward extension is covered with the lower terrace deposits and its southern one is covered with the Shamanbedake volcanics. Throughout its distribution on the eastern wing dips at 10–20 degrees and the eastern one at 8–30 degrees eastwards, the dips changing locally due to local crustal disturbances. The Nakanokawa formation is folded by this syncline.

Nakanokawa syncline. This occurs in the northwest of the just mentioned syncline. Its axis trends in northnorthwest to southsoutheast almost parallel with the southern part of the just mentioned syncline and the northern extension is covered with the lower terrace deposits and its southern one is cut by the Futamata
fault. The east wing dips at about 10–15 degrees westwards while the western one at 20–28 degrees eastwards because of disturbances.

Neppu anticline. This occurs in the northeast of the syncline just mentioned and east of the Futamata fault and of the town of Kuromatsunai. Its axis trends in northnorthwest to southsoutheast almost parallel with the northern part of the aforemented syncline and the dips of its western wings are stronger than the eastern one. The eastern wing dips at about 20–30 degrees eastwards while the western one at 65–70 degrees westwards because of disturbances.

Nakazato syncline. This occurs in the immediate east of the syncline just mentioned and almost with similar trend although of linear extention because the latter is covered in its north by alluvial deposits and the former by the lower terrace deposits. However, southwards the extends of both syncline and anticline are covered with alluvial deposits. The eastern wing of the Nakazato anticline dips at about 10–20 degrees westwards and the western one at about the same towards the east. By the syncline and anticlines just mentioned the Kuromatsunai formation and its Garogawa andesitic agglomerate member and the Nakanokawa formation and its Kaigarabuchi conglomerate member are folded, whereas the higher terrace deposits are not affected by the movement.

A small anticline of northwest-southeast trend and western wing of 10 and the eastern of about 20 degrees to the west and east respectively is found in the western marginal part of the west of Kuromatsunai-cho. The southern extension is covered by the Shamanbedake volcanics and the northern one has not been traced.

Synclinal and anticlinal foldings are found along the upper course of the Soibetsu River with trends of northwest-southeast, but could not traced for any noteworthy distance. The syncline with dips of about 25°-30° for its wings occurs in the Garogawa andesitic agglomerate of the Kuromatsunai formation, and the anticline also in the same member but with the next younger Kaigarabuchi conglomerate member also affected. The anticline has lower dip on its eastern side and steeper ones on its western, the latter being about 25–30 degrees westwards and the former about 20 degrees eastwards, thereon eastwards the structure becomes homoclinal.

A shallow basin like structure occurs in the area of distribution of the Soibetsugawa formation and this is thought to have had relation with the folding of post-Pliocene-pre-Pleistocene age. A similar shallow or another broadly downwarped partially synclinal structure occurs in the northeastern part of the field, the Nakanokawa formation being folded.

All of the folding structures show nearly the same trends at least in the northern half of the field, whereas in the southern half of the field they are characteristically northeast-southwest in general and all are thought to have been developed penecontemporaneously. The shallow synclinal structure in the southeastern part of the field has its axis trend similar to the ones in the southern part

of the field and dissimilar with those in the northern western half of the field. The interrelationship of these trends, where similar or dissimilar may be of significance in attempting interpretation of the tectonic of the area.

D-3. **Faults**. Minor faults in the present area are generally associated with the major ones which have been named as shown in the annexed map.

Futamata fault. This fault extends from the southern to northern extremities of the present field. Throughout its extension the strike change considerably because it is a reverse fault with angles of 60-65 degrees towards the west. The stratigraphic units affected by this fault are the Futamata andesite member of the Kunnui, the Garogawa andesitic agglomerate member of the Kuromatsunai, the major part of the same formation, the Yakumo, the Nakanokawa and its Kaigarabuchi conglomerate member and the Soibetsugawa, whereas all deposits younger than the Tertiary deposits are undisturbed, showing that the age of this fault is post-Soibetsugawa and pre-Shamanbedake and Kuromatsunaidake volcanics and the terrace depotits, thus being post-Pliocene-pre-Pleistocene in age. The Futamata fault accompanies a 15-20 meters wide crushed zone of rocks along its extension. The Futamata fault cuts the Kuromatsunaigawa fault in the central western part of the field at about 1.7 kilometers southeast of Warabitai. The fault trends in N 50°-60° W with dips 60–65 degrees to the northeast and is a reverse fault with the northeastern side thrust upon the southwestern one. There is a nearly 20 meters wide crushed zone. This fault is covered in its northwestern extension by the Shamanbedake volcanics and its southeastern extremity is cut by the Futamata fault as already mentioned. It may be added that the Garogawa andesitic agglomerate member of the Kuromatsunai formation is also deformed.

Igarashi fault. This fault occurs in the northern part of the field at about one kilometer west of Igarashi in Kuromatsunai-cho. The general strike of this fault is N 20° W with dips almost vertical with the eastern side thrown down. By this fault the Garogawa and estic agglomerate member of the Kuromatsunai formation, the Nakanokawa formation and its member are disturbed whereas the terrace deposits cover the southeastern extension of the fault. The fault is preterrace and post-Nakanokawa in age.

Toyohoro fault. This one occurs in the central part of the field at about 500 meters west of Toyohoro in Kuromatsunai-cho. Its trend is N $20^{\circ}-25^{\circ}$ W with dips of $80^{\circ}-85^{\circ}$ SW, its northern extension is covered by the Kuromatsunai-dake volcanics. The fault cuts the Kuromatsunai, Nakanokawa and its member and is almost parallel with the axis of the anticlines and synclines developed in this area. There is a nearly ten meters wide crushed zone along the fault.

Another minor fault which is indicated in the geological map but not named occurs in the southern part of the field at about 2.5 kilometers northwest of Kurioka, Oshamanbe-cho. Its trend is N 60° E with dips almost vertical and with the northern side thrown down. The northeastern extension of this fault is covered with alluvial deposits and its southwestern extension is lost in the Garo-

gawa andesitic agglomerate member of the Kunnui formation. There are several meters wide crushed zone along this fault. The Kuromatsunai and its Garogawa member and the Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa are cut by this fault.

All of these fault are judged to be post-Pliocene to pre-Pleistocene in age, being developed probably at nearly the same time as the anticlinal and synclinal foldings and prior to the eruptions of the Shamanbedake and Kuromatsunaidake volcanics.

E. Summary of the geological history of the Kuromatsunai area

The basement granodiorite rocks occupy only a small area in the northeastern part of the field and have only the Futamata andesite member of the Kunnui formation as the Tertiary formations in this area.

Following the intense volcanic activity which lead to the deposition of the Futamata andesite member of the Kunnui formation cover almost the entire southwestern part of the field, there seems to have been a gradual westward tilting of the area which was transgressed by shallow seas. These shallow waters filled and formed the basin of deposition of the marine Yakumo formation which had free connection with the open sea as may be judged by the occurrence of the planktonic sponge called *Makiyama chitanii* (Makiyama).

The marine transgression was interrupted by another more intense volcanic eruption leading to the development of the widespread Garogawa andesitic agglomerate member of the Kuromatsunai formation nearly throughout the entire area, covering in part even the Yakumo formation. This agglomerate which interfingers in its upward parts with the lower part of the major portion of the Kuromatsunai formation was followed by continued subsidence of the area in which the major part of the Kuromatsunai was deposited. The Kuromatsunai yields abundant foraminifers, the planktonic sponge already mentioned but is very poor in its molluscan fauna. During this stage the center of the sedimentary basin is thought to have been near the central part of the present field and to have extended in southwestward direction where it may have been shallower.

After a short period of uplift of the sedimentary basin and associated with minor crustal disturbances, the whole area was subjected to subsidence with the center of the sedimentary basin being formed in the area previously occupied with the basin of the Kuromatsunai formation. With the transgression of the Pliocene sea there was deposited the Kaigarabuchi conglomerate member, the basal part of the Nakanokawa formation. In the conglomerate member there have been found abundant molluscan remains particularly of the pectinids, which shows that the seas were not only shallow but also with clear bottom. Continued subsidence of the sedimentary basin lead to the building of the major part of the Nakanokawa formation.

During the deposition of the upper part of the Nakanokawa formation in the sedimentary basin which is considered to have been near the central part of the

present field, there had already commenced shifting of the basin towards the northwest and it is in this newly formed basin that the Soibetsugawa formation was deposited. During shifting of the sedimentary basin there had already commenced uplift of the southern area and southern parts of the field where the Soibetsugawa formation is missing.

After deposition of the Soibetsugawa formation there occurred extensive uplift associated with folding, faulting and extensive erosion of the entire area. This period of crustal disturbance is dated at post-Pliocene-pre-Pleistocene in good accordance with the geological history of Southwestern Hokkaido and Northeastern Honshu. This eroded area was subjected to violent volcanism of the Shamanbedake and Kuromatsunaidake volcanics and almost at the same time there had already been brought into existence some drainages on the land surface. These drainages are considered to have resulted in the deposition and construction of both the high and lower level river terraces. From the distributions of the heights of the higher and lower river terraces it appears that some warping had continued to the present day.

III. Summary of the geological history of the Kuromatsunai and Setana areas in southwestern Hokkaido

The geological history of the two areas, both of which are situated in the central part of southwestern Hokkaido may be as given in the following lines.

1. Gradual submergence of the peneplaned land surface which exposed the Paleozoic clayslates and hornfels intruded with younger granitic rocks.

2. Partial marine transgression indicated by marine scallops near Meppu of the Kunnui formation, and extensive volcanism resulting in deposition of thick pyroclastic deposits interbedded with flows and andesite lava and agglomerate as well as of their tuff breccia.

3. Continued subsidence of both areas leading to deposition of the Yakumo formation which had free connection with the open sea; the seas were with islands and some barriers of older rocks.

4. Second period of intense volcanism of andesitic agglomerate in the lower parts of the Kuromatsunai formation in both areas and continued subdidence resulting in deposition of siltstone, sandstone, and tuffaceous sediments forming the major part of the formation. Free connection with the open sea still continued.

5. Uplift of both areas and withdrawl of the seas and a short disturbances (faults) particularly in the Setana area and less so in the Kuromatsunai area.

6. Subsidence of the land and marine transgression bringing into both areas a very rich scallop fauna associated with many other kinds of univalves and bivalves. These shallow waters had many islands and barriers of preexisting rocks by which the distributions of the marine fauna was differentiated and the sediments subjected to considerable lateral variations in facies as well as vertically in thickness.

7. Gradual uplift of the two areas and shifting of the sedimentary basin

northwards resulting in small sedimentary basins as mere relics of the major developments of the Nakanokawa and Chinkope formations in the Kuromatsunai and Setana areas respectively.

8. Uplift of the entire region of both areas associated with strong folding, faulting and followed with subaerial denudation by which the land surface of probably high relief was again lowered.

9. Intense outbursts of volcanic activity and the development of Shamanbedake and Kuromatsunaidake in the Kuromatsunai area and of tuffaceous depotits in the Setana area where are also found volcanic rocks having good development and rather extensive distribution.

10. Continued uplift of the areas resulting in the formation of the higher and lower level river terraces. This uplift was accompanied with local warping resulting in the differences in heights of the two terraces levels within their areas of distribution.

IV. Geological Age of the Stratigraphic Units and Correlation with Northeast Honshu

In this section the geological ages of the basement rocks of clay slate, hornfels and granodiorite are left out of consideration and emphasis is given only to the rocks refered to the Tertiary System of the Setana and Kuromatsunai areas. Since the same stratigraphic names can be used for the formations in the two areas they will be treated together whereas because the Pliocene formations have been given different stratigraphic names they will be dealt with separatley.

The geological age of the Kunnui formation which is the lowest stratigraphic unit of the Tertiary System in the two areas can be determined only in part because the major part of the formation comprise pyroclastic sediments interbedding agglomerate or lava flows of andesite. From the basal part of the formation just above the unconformity separating it from the granodiorite basement there have been discovered many scallops (**Table 8**) among which characteristic and important

Table 8.Molluscan fauna from the Kaigarabashi sandstone member
of the Kunnui formation in the Setana area

														Lo	oc. n	.0.
														40		41
Chlamys arakawai (Nomura)											•					R
Ch. kumanodoensis Masuda														А		А
Ch. otukae Masuda and Sawada	•		•													С
Patinopecten kagamianus (Yokoyama)		•				•							•			С
Placopecten setanaensis (Kubota)						•								А		А
Pl. wakuyaensis Masuda					•			•	•	•		•				С
Nanaochlamys notoensis (Yokoyama).				•		•			•			•				С

Frequency (Individuals): R (Rare), 1; F (Few), 2-5; C (Common), 6-10; A (Abundant), more than 11.

ones for age determination are recognized.

From these scallops (**Table 8**) and their distributions in the Tertiary System of Japan and from their situations in the geological column it is evident that they indicate the early Miocene Series. For this reason it may be safe to say that the Kunnui at least its lower part is early Miocene in age, whereas its unfossiliferous greater part has yielded no paleontological evidence by which the precise age can be determined.

The green pyrocalstic facies interbedding flows of lava and agglomerate of andesites and with marine fossils at its lower part is a characteristic feature found in many early Miocene formation of the Japanese Islands, particularly of Northeast Honshu, where Kitamura (1959) has done extensive work.

The Yakumo formation which is superposed upon the Kunnui formation with conformity is also of pyroclastic nature so far as its origin is concerned, but differs considerably from the Yakumo formation in having abundant normal sedimentaries as sandstones, siltstones, which may be tuffaceous, conglomeratic, muddy or calcaleous according to places and horizons within the formation. However, unlike the Kunnui formation which yielded abundant scallops, the Yakumo is almost devoid of megafossils.

The Kuromatsunai formation in both areas yielded foraminifers and the planktonic sponge *Makiyama*, but no other megafossils have been found by the writer. Although the lower part of the formation still shows evidence of subsidence, the upper part is a regressive phase ending with the uplift of the formation and regression of these as form the two areas. The foraminifers from this formation have been described by several persons and the age is considered to correspond to the Kitaura formation of the Oga Peninsula in Akita Prefecture, Northeast Honshu, or to be late Miocene.

Separated with unconfomity from the Kuromatsunai formation is the Nakanokawa formation in the Kuromatsunai area and the Chinkope formation in the Setana area. Both of these formations are fossiliferous and their yield of scallops is noteworthy. From the fossils (**Table 4**, **Table 7**) of these two formations which have similar relation to their underlying stratigraphic units as well as with the superjacent ones, it is inferred that the age is Pliocene.

Based upon these fossils it is quite evident that their molluscan fauna may be equivalent with the Daishaka fauna in southwestern Aomori Prefecture, the Hamada fauna in the Shimokita Peninsula in the same Prefecture and probable also with a part of the Wakimoto and Shibikawa formations in the Oga Peninsula in Akita Prefecture, all in Northeast Honshu. Details of the correlation between central Southwestern Hokkaido and Northern Honshu will be given later.

From the early Pliocene age of the Nakanokawa and Chinkope formations which are superposed upon the Kuromatsunai formation with unconformity, it is certain that the latter is older than the formers and therefore pre-Pliocene in age. Also from that the Kunnui formation is early Miocene and Yakumo and Kuro-

matsunai formations are inserted between the Kunnui and Nakanokawa formations and its correspondents, it is evident that those two formations are of Miocene age. Because of the foraminifers from the Kuromatsunai formation indicating a late Miocene age, it can be inferred that the Yakumo formation may belong to a horizon near to the middle Miocene.

Because the molluscan fauna of the Soibetsugawa formation and its correspondent in the Setana area yielded *Patinopecten tokyoensis* (Tokunaga), it is judged that those two formations may belong to late Pliocene if actually not to the Pleistocene. They are considered to belong to late Pliocene for several reasons, one of which is the significant unconformity between those two formations and the younger deposits in the areas. The crustal disturbance indicated by the unconformity is significant not only in Southwest Hokkaido and Northeast Honshu, but also in other areas within the Japanese Islands. Another reason is that the fully mature specimens of *Patinopecten tokyoensis* date back to late Pliocene and range up into the Pleistocene, and is known to occur from the Shibikawa formation in the Oga Peninsula in Akita Prefecture, in sediments situated below the significant unconformity already referred to.

Thus as already mentioned above, the geological ages of the respective formations or members distinguished in the two areas can be determined from paleontological evidence, stratigraphical position within the geological column of the area, geological structure and interstratigraphical relationships and from the significance of the unconformity within Southwestern Hokkaido and also in Northern Honshu.

The writer made an attempt to correlate the Tertiary strata developed in the southwestern part of Hokkaido with those in the northern part of Honshu. Since the northern part of Honshu consists of Tertiary sediments such as geosynclinal and epicontinental, direct comparison is rendered defficult.

Neogene deposipts are well developed in Southeastern Hokkaido, and these correspond to the those well developed in Northern Honshu and extend farther southwards to Kyushu.

In southern Honshu the Neogene deposits may be classified into two major groups of geosynclinal and epicontinental environments. The former are typically developed along the eastern borderland of the Japan Sea and those of the latter occupy the western borderland of the Pacific Ocean.

It is thought best to treat the geosynclinal and epicontinental sedimentary envilonments separately and then correlate them with one another based upon control sections.

A. Geosynclinal sedimentary environment

In Akita Prefecture which is one of the important centers of the oil-fields in Northwest Honshu, opinions have diverged to some extent concerning the stratigraphical sequence and their grouping. Recently Huzioka (1959) established for the strata developed on the Oga Peninsula, Akita Prefecture, the sequence shown in **Table 9**.

Geological age		Stratigraphy	Crustal movements
Recent	Alluvial deposits		
Pleistocene	Terrace deposits 1	unconformity Megata volcanics Kampu volcano unconformily	
	Katanishi formation	unconformity	Folding and
Late Pliocene	Sibikawa formation	(130 m+) Toga pumice beds	faulting
		unconformity Wakimoto form. (780 m)	faulting
Early Pliocene	Funakawa group	Kitaura form. (400 m)	Upheaval
Late Miocene		Onnagawa form. (195–300 m)	Geosynclinal
Middle Miocene	Daijima group	Nishikurosawa form. (20–150 m) unconformity Daijima form. (250 m+) unconformity	Subsidence, folding and faulting
		Monzen form. (900 m) Shinzan rhyolite (300 m) Shiosenomisaki conglomerate sandstone (60 m)	
Early Miocene	Monzen group	Kamo lavas (300 m)	
		Akashima form. (200 m)	
		Nyudozaki ig. rock	
		Akashima lavas	
Pre-Tertiary	Adamellite	unconformity	

Table 9.	Stratigraphic Sequence of the Cenozoic Deposits of the Oga
	Peninsula, Akita Prefecture (after K. Huzioka, 1959)

It may be added that previously the Geological Survey of Japan (1956) used the name of Takanosu group to include the Shibikawa formation, the name of Yuri group for the Wakimoto and Kitaura formations, the name of Ogashima group for the Funakawa-, Onnagawa-, and Daijima formations, and the name of Innai group for the Monzen group given in the above table. Huzioka's classification is interesting in that he makes no reference to the subdivisions of previous workers, removes the Wakimoto and Kitaura formations from the Yuri group which he does not recognize and refers them to his Funakawa group regardless of that the groups contains the Funakawa formation. He proposed a new group called the Daijima and includes into it the Nishi kurosawa and Daijima formations which are separated by an unconformity and retain the same name as that of the group. This procedure causes considerable confusion in stratigraphic terminology.

In 1959, Kitamura classified the Neogene strata of the Oga Peninsula into eight

stages, each of which is numbered. His classification differs considerably from that of Hujioka (1959) in that he recognizes no unconformity between the Daijima and Nishi-kurosawa formation, inserts a new unit called the Minami-hirasawa tuff (50 m) between the Onnagawa and Funakawa formations, and uses the name of Nishioga group for what Huzioka calls the Monzen group.

With regard to the strata developed in the Oga Peninsula, Akita Prefecture,

Table 10. Correlation of the Tertiary Formations Developed in Akita and Yamagata Prefectures with their Stages (after N. Kitamura, 1959)

$ \ $	Ar	r0a	Oga Peninsula	Shonai Area	Yokote Basin	Shinjo Basin	
Ag	e)		Akita Prefecture	Yamagata Prefecture	Akita Prefecture	Yamagata Prefecture	
:	0000	VII	Shibikawa Formation 130 2000/20044400400400400	Shongi Group 400		Fundgata Formation 100 December 2000	
	110			Jozenji Formation 250		Shibakurayana Form, 120 Motoaikai Formation 320	
	٩	VI	Wakimoto Formation 800	Kannonji Formetion 250	Nunomata Formation 200	Yomuke Formation 250	
				Maruvama Earmation		Sokekawa Formation 200	
		v	Kitaura Formation	270	Kabasawa Formation	Nakawatari Formation 280	
			550 - 600	Tateyama Formation 300	180-200	Noguchi Formation	
		- IV	Funakawa Formation 850	Kitemata Formation 5 00	loko Formation 150 - 200	Furukuchi Formation 400	
	riary ne		Minamihirasowa tutt 80				
r tiory			Ohnagawa Formation 150	Kusanagi Formation 150-350	Nilyama Formation 800-700	Kusanogi Formation 450 - 5	
T 0 1	NIOCO	11	Nishikurosawa Formation 280	Kamigo Group	Sugota Formation 180 11210101010101010101010101010101010101	Nekeno- Nekeno- Okawa Matagewa	
			Doljima Formation 600. 2307-070-070-070-070-070-070-070-070-070-	300-500	innel Formation 300-500	Poymidtion	
		-	Nishioga Group	Atsumi Group 1200-1500	Nozoki Formetion 600	Nozoki Formation 800-900	
⊢							
	Pre - Tertiary		Granitic Rocks	Granitic Rocks	Granitic Roöks.	Granitic Rockø	

the Wada Basin and Yokote Basin also in Akita Prefecture, and in the Shônai Area and Sinjô Basin in Yamagata Prefecture, the present writer follows Kitamura (1959) and reproduces his correlation table as shown in **Table 10**.

The characteristic features of the Neogene formations developed in the Prefectures of Akita and Yamagata, which also are found in Aomori and Niigata Prefectures are briefly outlined in the following lines.

Everywhere the lowest of the Neogene formations are found to be unconformable to basement rocks which may consist of granite as in parts of Yamagata, Akita and Niigata Prefectures, of unknown Paleozoic sedimentaries as in parts of Aomori and Niigata Prefectures, or of rocks of unknown geological age as the pyrocalastics in Sado Island, Niigata Prefecture, the sediments of doubtful age in parts of Akita and Aomori Prefectures.

It is upon this basement that the first marine transgression took place to deposits conglomerate, sandstones with interbedded siltstones accompanied with thick pyroclastic deposits and volcanic effusives with which they may interfinger in part. These sediments, distinguished into formations are referred to the Stages I and II of Kitamura (1959). These formations are characterized with *Lepidocyclina japonica* Yabe, *L. katoi* Hanzawa, *Miogypsina kotoi* Yabe, *Echinolampas yoshiwarai* P. de Loriol, *Chlamys kaneharai* (Yokoyama), *Nanaochlamys notoensis* (Yokoyama), *Dosinia chikuzenensis* Nagao, *Vicarella tyosenica* Yabe and Hatai, and numerous other marine molluscs. The *Comptoniphyllum-Liquidambar* flora of wide distribution in Japan also belongs here. The *Eostegodon pseudo-latidens* (Yabe), *Stegolophodon miyakoae* Hatai and other mammals also occur in this position.

Stage III of Kitamura is not rich in fossils, but fish scales are common throughout, foraminifers of such genera as *Martinottiella*, *Cyclammina*, the sponge *Makiyama*, molluscs as *Flavamussium* and others are characteristic because of their wide and rather uniform distribution. Marine diatoms have been recorded by Kanaya (1959) from this stage.

In the next stage designated by the number IV, there occurs such fossils as *Cardium iwashiroense* Nomura, *Serripes yokoyamai* Otuka, *Thracia hitosaoensis* Nomura, *Cultellus izumoensis* Yokoyama, *Mya cuneiformis* (Böhm) and others. *Conchocele nipponica* Yabe and Nomura, *Yoldia hurukutiensis* Nomura and Zinbo, *Yoldia aokii* Nomura and Zinbo may also be mentioned.

In the kitaura formation and its equivalents along the eastern borderland of the Japan Sea which in stage V of Kitamura (1959) there occur *Lucinoma hanezawaensis* Nomura and Zinbo, abundant species of *Serripes*, many Buccinids, *Linthia yoshiwarai* P. de Loriol, many foraminifers, and the correspond plant fossils inclued *Acer pictum* Thumb., *Glyptostrobus europaeus* Heer, *Fagus americana* Sweet, *Liquidambar formosana* Hance, besides many others.

The Wakimoto and its correlative formations have yielded abundant fossils at several well known localities and correspond to Stage VI of Kitamura. Foraminifers are abundant almost everywhere and the molluscan fossils are such as *Acila*

insignis (Gould), Anadara ommaensis (Yokoyama), Turritella saishuensis Yokoyama, besides many others. Plant fossils corresponding to this stage are such as Alunus japonica Sieb. et Zucc., Carpinus honsyuensis Endô, Fagus japonica Maxim., Juglans cinerea L. and others.

In stage VII, which is the Shibikawa formation, foraminifers, molluscs and other fossils are at places commonly found.

Being of geosynclinal character the sediments deposited in the environment show rather uniform distribution although there exist change in the sedimentary facies, but within recogniziable limits. Further the fossil fauna of the respective stratigraphic units show fairly wide distribution. Most intense change in the lithological facies and faunal elements occur in the marginal parts of the geosynclinal environment as already pointed out by Kotaka (1958).

As pointed out by Hatai and Kotaka (1961), the evidence for distinguishing between the Miocene and Pliocene may be arranged into several categories as of volcanism associated with marine regression and transgression which are intimately related with uplift and subsidence, differences in the faunal elements composing the different assemblages, and local diastrophic movements. Such features are mutual to all of the areas of the geosynclinal sediments. These differences can be recognized even where no unconformity separates the formations brought into consideration as on the Oga Peninsula, Akita Prefecture, where the boundary of the Miocene and Pliocene falls between the Kitaura and Wakimoto formations. Although no stratigraphical break is observed there, evidence for uplift of the Kitaura and subrequest subsidence of the Wakimoto without appearing above sealevel is a good example of local diastrophism in the form of gradual uplift followed by subsidence and a renewed marine transgression associated with the westward migration of the sedimentary basin. Where unconformities exist and a sharp break in the faunal assemblage occur as in part of the marginal areas of the geosynclinal seas, distinction between the ages and evidence for drawing the Miocene-Pliocene boundary is rendered more simple.

B. Epicontinental sedimentary environment

The epicontinental sedimentary environment is developed along the western borderland of the Pacific particularly in Northern Honshu. In this area especially in the envious of Sendai City there are deloped typical epicontinental deposits, which have been classified by Hanzawa et al. (1953) into the following way, modified according to the recent field data of the members of the Institute of Geology and Paleontology, Tohoku University, as shown in **Table 11**.

Although some modifications have been made in the stratigraphic sequence of the different rocks, especially of the Yumoto tuff, Hayama green tuff and of the Moniwa formation, the stratigraphic positions of the fossils remain unaltered. Therefore, we may take into consideration the fossils already reported by Nomura (1935, 1938), Yabe and Hatai (1938), Okutsu (1955) and others concerning the paleontology of Sendai and the environs. Since full faunal and floral lists have

Table 11.Stratigraphic classification on the Tertiary Strata in Sendaiand the Environs (according to Hanzawa, et al., 1953. Hatai,1960, Shibata, 1961)

Geological age	Stratigraphy
Recent	Alluvial deposits
Pleistocene	Terrace deposits (1-5 m)
Late Pliocene Se	Dainenji formation (30-130m) Yagiyama formation (20-30 m) Hirosegawa tuff (12-15 m) Kitayama formation (1-10 m) Tatsunokuchi formation (30-60 m)
Early	Kameoka formation (15-20 m)
Pliocene	Mitaki andesite (200 m)
Late Miocene	Shirasawa formation (330 m) Unconformity Tsunaki formation Unconformity
Early Nat	tori (130 m) (150 m)
Miocene	Hatatate formation (130 m)
	Tsukinoki formation (60-130 m) Takadate andesite (60-250 m)
Pre-Te	rtiary rocks

been already published by Hanzawa et al. (1953) of the respective stratigraphic units developed in and around Sendai City, repetition of them seems not necessary and only the more important or characteristic ones will be given for the sake of the discussion to follow.

The Moniwa member of the Hatatate formation has yielded *Lepidocyclina japonica* Yabe, *Chlamys kaneharai* (Yokoyama), *Placopecten akihoensis* (Matsumoto), *Nanaochlamys notoensis* (Yokoyama), *Sinum yabei* Otuka, *Apollon yabei* Nomura and Hatai, and numerous other Mollusca. In the Hatatate there occur such as *Clinocardium shinjiense* (Yokoyama), *Lyropecten kagamianus* (Yokoyama), and others. Whereas in the terrestrial facies with which the Takadate andesite interfingers, there occur such plants as the *Comptoniphyllum-Liquidambar* flora and mammals as *Eustegodon pseudolatidens* Yabe and *Stegolophidon miyakoae* Hatai. Foraminifera are also common in the Hatatate, from where Takayanagi (1952) has recorded such as *Marsinulina sendaiensis* Asano, *Nonion nicobarense* Cushman, *Sigmomorphina notoensis* Asano beside numerous others. Crustaceans, Porifera, Echinoidea and Mollusca are common aside from the Foraminifera in this formation.

The Tsunaki formation into which the Yumoto tuff and Hayama green tuff are included has yielded such as *Anadara ninohensis* (Otuka), *Glycymeris matumoriensis* Nomura and Hatai, *Chlamys crassivenia* (Yokoyama), *Neptunea hukusimensis* Nomura and Hatai beside others.

It is quite evident these epicontinental molluscan and others are typical Miocene elements, generally referred to horizons of the middle to early Miocene. Unconformably superposed upon these Miocene marine sediments is the Shirasawa formation, a lacustrine deposit which has yielded numerous plant fossils studied by Okutsu (1955).

The important plants from the Shirasawa are such as *Glyptostrobus europeus* Heer, *Sequoia sempervirens* Endl., *Fagus americana* Sweet, *F. paleocrenata* Endô and Okutsu, *F. lanceolata* Okutsu, *Liriodendron honsyuensis* Endô, *Sassafras yabei* Endô and Okutsu, *Hydrangea sendaiensis* Okutsu, *Acer Nomurai* Okutsu, *A. yabei* Endô and Okutsu, and numerous others (180 species being known to occur). This flora is of late Miocene age and is quite different from the flora of the Sendai group, mentioned in the following lines.

The Sendai group in its lowest part has yielded plant fossils from the Kameoka formation and the interesting or important ones are such as, *Sequoia japonica* Endô, *Taxodium distichum* Rich., *Pseudosasa purpurascens* Makino, *Alnus japonica* Seib. et Zucc., *Carpinus laxiflora* Bl., *Acer pictum* Thunb., and a number of others among the recorded 51 species. This plant bearing formation is superposed with a marine formation which has yield the well known *Fortipecten takahashii* (Yokoyama), a large scallop which extends its range northwards to Saghalien, being restricted everywhere as known to the early Pliocene deposits.

The marine formation just mentioned is the Tatsunokuchi formation and has yielded abundant thick shelled, large size molluscs among which Anadara tatsunokutiensis Nomura and Hatai, Glycymeris gorokuensis Nomura, Clinocardium pseudofastosum Nomura, Dosinia tatsunokutiensis Nomura, Pitar sendaica Nomura, Ezocallista brevisiphonata (Carpenter), beside other are characteristic. These fossils are known from early Pliocene deposits but not from those assigned to the late Miocene or to ones younger than the middle Pliocene. Therefore they bave been generally accepted as belonging to the early Pliocene.

Fossils of marine and land plants also occur in the formations younger than the Tatsunokuchi formation, but since they are not related with the probblem of the boundary between the Miocene and Pliocene, at least directly, they can be omitted from the discussion.

Since the Pliocene Sendai group lies on the Shirasawa, Tsunaki and Hatatate formations it is evident that an unconformity exists between it and the older rocks. Also there can be found many faults cutting the older but not the Sendai group, and the dip of the strata underlying the Sendai group are steeper, thus it is evident that local diastrophic movement occurred in the Sendai area. The volcanism associated with the uplift and folding of the pre-Sendai group seems not to have been intense at least from the view of development of flows, because such are not com-However, with the renewed transgression the volcanic activity associated mon. therewith was in the form of lava flows, agglomerates and tuffs, thus being more intense compared with the upper parts of the pre-Sendai group series. The differences in the flora, for example Fagus americana Sweet occur in the pre-Sendai group but not in the Sendai group even though other species of that genus are common. The molluscan fauna is remarkably different and there are only a few in common, and these mutual ones extend their range to the present and thus may be considered as species having little or no relation to changes in thermal conditions.

From the foregoing lines it is evident that the boundary between the Miocene and Pliocene deposits may be drawn at the base of the Sendai group and at the top of the Shirasawa formation. The evidences in corporated into the determination of the time-boundary are in good agreement with the data observed in the geosynclinal environment where unconformities are not common at the said boundary line. For such reasons it is interpreted that the Wakimoto is equal to the Kameoka plus the Tatsunokuchi formation in age and may be ascribed to the Pliocene, while the Kitaura and Shirasawa are taken to be equivalent deposits of different facies, the former marine and the latter terrestrial.

Accepting that the boundary between the Miocene and Pliocene can be drawn at the aformentioned stratigraphic position, the relation between the geosynclinal and epicontinental sediments may be correlated as shown in **Table 12**.

Since the relation of the strata developed in the two different major sedimentary environments has been outlined on the foregoing pages, it now becomes necessary to show the relation of the deposits developed in Southwestern Hokkaido with those of Northern Honshu.

From the relationships of the stratigraphic sequences established by different authors in Southwestern Hokkaido it is quite evident that the one of the present writer may be used for the correlation between Southwest Hokkaido and Northern Honshu as shown in **Table 13**.

The above given correlation between Southwest Hokkaido and Northeast Honshu is established from faunal evidence, stratigraphic succession and diastrophic movements. And in the following will be given the evidences for the geological ages of the respective formations and then a summary of the geological history of Southwest Hokkaido as related with Northeast Honshu.

Table 12.Correlation of the Geosynclinal and Epicontinental Sediments
of the eastern Borderland of the Japan Sea and the western
one of the Pacific Ocean in Northern Honshu

		Oga peninsula Akita Prefecture (Fujioka, 1959)	Sendai Miyagi Prefecture (Hanzawa, et al.,1953.Hatai, 1960, Shibata,1961)					
Rec.		Alluvial deposits	Alluvial deposits					
eisto-	cene	Terrace Megata Kampu deposits volcan- vol- ics cano	Aobayama formation					
Ы		Katanishi formation						
			Dainenji formation					
	0	Shihikawa formation	Yagiyama formation •					
le	Lat	Dilbikara i Sima Sion	Hırosegawa tuff					
ocel			Kitayama formation					
Ρli	А		Tatsunokuchi formation					
	arl	Wakimoto formation	Kameoka formation					
	曰 ——		Mitaki andesite					
	Ŀ.	Kitaura formation	Shirasawa formation					
		FunaKawa formation	Tsunaki Yumoto formation formation					
		Onnagawa formation	Hatatate					
сепе		Nishikurosawa formation	formation Tsukinoki formation					
Mio	rly	Daijima formation	sandstone					
	Ë	Monzen formation	Takadate andesite Pre-Tertiary rocks					
		Akashima formation						
Pre-	Ter.	Pre-Tertiary rocks						

Ichinohe Area Iwate Pretecture	KITAMURA, N. 1954		Togawa Formation 204 Shimotomai Formation 1004	Suenomatsuyama Formation 200-300 Andesite	Kadonosawa	100-200 Shikonai	Shir atori Mantea	Yotsuygku Formation	60-400 Kiseitõge Andesite	
Shimokita Peninsula Acmori Prefecture	HANZAWA, S. 1954 a wai, J. KITANAA, N. 2055 MILLK, 1959		Henda Formation 150 + Sunagometa Formation 150 - 400	Sarugamori Formation 120 Tomari 350± Andesitic Aggi		Formation 350		Yagen Formation	800- 1000	
Ajigosowo Arec Aomori Prefecture	KITAMURA, N., 1957		Narusawa Formation 100 +	Maido Formation 400	Akaishi Formation 700	Ödöji Formation 300		Tanosawa Formation 600	Ödose Formation 300 +	20 0 2 2 2 2 2
Sendai Area Miyagi Preteoture	HAWZAWA, S. et ol., (modified) 1953	Deinenyi Formation 30-132 Yagiyama Formation Progegama Tufa Kitayama Formation Kitayama Formation	Tetarrowuch 30-90 Formation Formation Formation Formation Formation Barlow Barl	Enirasewa Formation 330	Tsuncki Form. Form. Form. Iso	Hotodate Formation	130	Anniwa (13)	Takadate Andesite 300	λ.
Oga Peninsula Akita Prefecture	FUJIORA . K 1859	Shibikawa Formation 130 +	Wckimoto Formation 780 +	Kitaura Formaŝion 400 +	Funakawa Formation 600-865	Onnagawa Formation 195 - 300	Nishikurosawa Formation 20-150	Dajima Formation 260+	Monzen 800 Formation Akashima 200 Formation	Pre - Terrior
Kuromatsungi Ared Southwest Hokkaido	ao A , Y 1 paper)	Solbersupared Farmation 80-95	Nakanokawa Formation Kalgarabuah 250- Kalgarabuah 250- Nember (30-260)	Barogowa Andestitic Agai Nember 160-860 180-6501 Kuromotsunai Kuromotsunai	Yakumo Formation	400		2600 2600		
Setana Area Southwest Hokkaido	SAWI (presen	Minganitoshibetsu Formation 150 - 200	Chincope Formation 60-180, Hanaishi Conglomerate Member (75-120)	Kuromatsuna: Formation 100-400	Yokumo Formation	0-750				
Region		Ø 1 Ø 7	EOLIN	\$107			X 10	3		K#0 _13 <u>1</u>
2	> _	9 4 9 0 6	2/1d			e ü	0001	W		~21d

Table 13. Correlation of the Tertiary Formation of Southwest Hokkaido and Northeast Honshu

Part II. Paleontology

Systematic Description

Phylum Mollusca

Class Gastropoda

Family Amaltheidae

Genus *Amathina* Gray, 1842

Type-species : Patella tricarinata Linné, 1758. Recent, Indo-Pacific Region.

Amathina nobilis A. Adams, 1867

Pl. 5, figs. 6–7, Pl. 7, fig. 2

Amathina nobilis A. Adams, 1842, p. 312, pl. 19, fig. 27; Tryon, 1886, vol. 8, p. 133, pl. 40, fig. 91; Yokoyama, 1931, p. 194, pl. 11, Fig. 4; Kira, 1959, p. 30, pl. 13, fig. 4.

Dimensions (in mm): Specimen Height Length Length of aperture no. 10-6a 10.5 19.5 5.5×5.6

Remark: — The species was first described from Cape Notora, South Saghalien. It agrees with the present one in shape and sculpture of the shell. *Amathina tricarinata* (Linné) also resembles the present form, but it is distinguishable therefrom in the tricarinate surface sculpture and is a representative of the southern seas.

Geologic and geographic distribution :—Pliocne to Recent. Northern Japan Sea and the Sea of Okhotsk.

Occurrence:-Loc. 4 (few) of the Nakanokawa formation.

Family Turbinidae

Subfamily Liotiinae

Genus Homalopoma Carpenter, 1864

Type-species : Turbo sanguinea Linné, 1758. Recent, Mediterranean and Adriatic Sea.

Homalopoma amussitatum (Gould), 1861

Pl. 4, figs. 15–16.

Turbo amussitata Gould, 1861, vol. 8.

Trochus (Gibbula) corallinus Smith, 1875, p. 109.

Collonia purpurascens Dunker, 1882, p. 129, pl. 12, figs. 1-3.

Leptothyra amussitata, Pilsbry in Tryon, 1891, vol. 10, p. 250, pl. 55, figs. 71, 72; Yokoyama, 1920, p. 85, pl. 5, fig. 21; Taki in Hirase, 1951, pl. 75, fig. 1; Okada and Taki, 1960, p. 177, pl. 82, fig. 13.

Leptothyra purpurascens, Yokoyama, 1920, p. 86, pl. 5, fig. 22,

Dimensions (in mn	n) :Specimen	Height	Diameter	Height of aperture
	no. 10–13	7.0	8.0	2.7
	no. 2804–5	11.2	10.1	3.5

Remarks :--- Several good specimens, some of them preserve the original light pinky coloration.

Geolagic and geographic distribution :--Pliocene to Recent. Pacific and Japan

Sea sides of Northern Honshu and Hokkaido to off Saghalin.

Occurrence:-Loc. 3 (abundant), Loc. 4 (common) and Loc. 6 (abundant) of the Nakanokawa formation.

Subfamily Turbininae

Genus Turbo Linné, 1758

Type-species (Subsequent designation by Montfort, 1810): *Turbo petholatus* Linné, 1758. Recent, Indo-Pacific Region.

Turbo sp.

Pl. 7, figs. 16–17.

Remarks:—One broken specimen was obtained from the conglomerate of the Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation at the river cliff of Kaikarazawa, three kilometers west of Kaikara, Rankoshi-mura, Isoya-gun. Although two and a falf volutions are preserved, the present form is characterized by its low spire and body whorl sculptured with 12 closely arranged spiral cords, wider than the interspaces, square in profile and subequal in strength, the penultimate one with five spiral cords, narrower than their interspaces and the umbilicus which is covered with rather thick functe. The aperture could not be examined.

Turbo setosus Gmelin (Sowerby, 1887; Tryon, 1888; Kira, 1959) is closely allied to the present one, but it differs from the latter by its numerous spiral cords on the last whorl. *Turbo argyrostomus* Linné (Sowerby, 1887; Tryon, 1888; Taki, 1954; Kira, 1959) is an allied species of the present one but it differs by its numerous spiral cords which become stronger on the shoulder and base of the body whorl with squamated interspaces and lack of umbilicus.

The present form is characterized by its spiral cording and the feature of the suture. Although we have no species identifiable with the present form, either fossil or Recent, the writer reserves the proposal of a new specific name because of its unfavorable state.

Geologic distribution :—Pliocene.

Occurrence:-Loc. 16 (rare) of the Nokanokawa formation.

Family Littorinidae

Genus *Littorina* Férussac, 1821

Type-species (Subsequent designation by Rang, 1829): *Turbo littoralis* Linné. Recent, North Pacific Region.

Subgenus *Littorivaga* Dall, 1918

Type-species: Littorina (Littorivaga) sitkana Philippi, 1846. Recent, North Pacific Region.

Littorina (Littorivaga) brevicula (Philippi), 1844

Pl. 5, figs. 15–16.

Littorina brevicula Philippi, 1844, p. 166 (fide Reeve, 1857); Reeve, 1957, vol. 10, Littorina, pl. 10, figs. 51a-b.

Littorina sitchana var. brevicula, Tryon, 1888, p. 241, pl. 41, fig. 89, pl. 45, fig. 12 (not pl. 41,

fig. 90).

Leptothyra cf. paucicostata, Yokoyama, 1920, p. 86, pl. 5, fig. 5 (not Dall, 1871). Littorivaga brevicula, Kuroda in Honma, 1931, p. 71, pl. 9, figs. 64, 65. Littorina (Littorivaga) brevicula, Nomura, 1938, p. 272, pl. 38. figs. 1a-b; Taki in Hirase, 1951, pl. 79, fig. 8; Taki and Oyama, 1954, pl. 6, fig. 15; Okada and Taki, 1960, p. 170, pl. 80, fig. 4.

Dimensions (in mm) :---Specimen Height Diameter Height of aperture no. 33-8 5.5 5.5 2.5

Remarks :—A small, slightly swollen specimen with slightly fractured round aperture. It is characterized by its low spire with small nucleus and two whorls, the body whorl which is about four times of that of the spire in height, surface with three more or less prominent spiral cords and two rather fine spirals on both sides of the abapical prominent cords with three or four very fine interstitial spiral striae.

The present species resembles *Leptothyra paucicostata* Dall (Tryon, 1888), but differs by having more or less prominent callus tubercle at the end of the columella.

Geologic and geographic distribution :—Pliocene to Recent. Kurile Islands to Formosa, and Philippines.

Occurrence:-Loc. 33 (rare) of the Chinkope formation.

Family Turritellidae Woodward

Subfamily Turritellinae Woodward

Genus *Turritella* Lamarck, 1799

Type-species : Turbo terebra Linné, 1758. Recent, Indo-Pacific Region.

Subgenus Neohaustator Ida, 1952

Type-species : *Turritella nipponica* Yokoyama, 1920. Pliocene, Koshiba formation of the Miura Peninsula, Kanagawa Prefecture.

Turritella (Neohaustator) nipponica Yokoyama, 1920

Pl. 3, figs. 9–10.

Turritella nipponica Yokoyama (in part), 1920, p. 71, pl. 4, fig. 16 (not figs. 17-19).

Turritella (Neohaustator) nipponica, Ida, 1952, p. 48, pl. 5, figs. 12, 13.

non Turritella nipponica, Yokoyama, 1925c, p. 13, pl. 2, fig. 8 (=Turritella (Neohaustater) iwakiensis Kotaka, 1951); Yokoyama, 1925d, p. 13, figs. 4, 5 (=Turritella (Hataiella) omurai Kanehara, 1937); Kanehara, 1942a, p. 131, pl. 3, figs. 11a-b, 13a-b, 16a-b (=Turritella (Neohaustator) nomurai Kotaka, 1951).

Dimensions (in m	<i>um</i>) :—Specimen	Height	Diameter	Height of aperture
	no. 2905–4a	23.2	10.5	3.5

Remarks :-- A single specimen. The geographical distribution is limited to the Tôhoku Region. The occurrence of the form form the present area, therefore, is important, and the migration route of it during the Pliocene time in northern Japan must be reconsidered.

Geologic and geographic distribution :--Pliocene to Recent. Only known from the off the Sanriku coast, Miyagi and Iwate Prefecture.

Occurrence:-Loc. 7 (few) of the Nakanokawa formation.

Turritella (Neohaustator) fortilirata habei Kotaka, 1952

Pl. 2, figs. 5, Pl. 3, fig. 8.

Turritella fortilirata multilirata Kotaka (in part) (non Adams and Reeve, 1849), 1951, p 6, pl. 1, figs. 2, 3.

Turritella fortilirata habei Kotaka (n. n. for multilirata Kotaka, 1951), 1952, no. 4, p. 87.

non Turritella fortilirata multilirata Kotaka (non Adams and Reeve, 1849), no. 3, p. 71, pl. 11, figs. 3, 4, (figured specimen only) (=Turritella (Neohaustator) huziokai Ida, 1950).

Turritella (Neohaustator) fortilirata habei, Kotaka, 1960, p. 73, pl. 4, figs. 2, 4-8.

Dimensions (in mm) :---Specimen Height Diameter Height of aperture no. 33-7a 77.4 23.2 13.5

Remarks: Several fractured specimens are in the collection. The present form was formerly reported as *Turritella nipponica* Yokoyama or *Turritella fortilirata* Sowerby by many authors, however, Kotaka (1951, 1952) discriminated the present subspecies from the species now living off the coast of eastern Hokkaido and occurring from the Pliocene Takikawa formation of central Hokkaido by the differences in the whorl profile and the secondary spiral cording. The present form is the northern representative of the south western region.

Geologic and geographic distribution :---Pliocene to Recent. Japan Sea coast of Hokkaido.

Occurrence :-- Loc. 31 (common), Loc. 33 (common) and Loc. 36 (common) of the Chinkope formation.

Family Cerithidae

Genus Bittium Leach (in Gray), 1847

Type-species : Strombiformis reticulatus da Costa, 1863. Recent. Eastern Atlantic.

Bittium yokoyamai Otuka, 1936

Pl. 2. figs. 10-11

Bittium binodulosum Yokoyama, 1926*a*, p. 270, pl. 32, fig. 15 (non Yokoyama, 1920). Bittium yokoyamai Otuka, 1936, p. 733, pl. 42, fig. 12.

Dimensions (in	mm) :—Specimen	Height	Diameter	Height of aperture
	no. M 10–3a	13.0	3.9	2.1
	no. M 10–3b	12.5	3.5	ca. 2.0

Remarks:—Thr present species was first discriminated by Otuka (1936) from *Bittum binodulosum* Yokoyama, 1920, from the Koshiba Pliocene of the Muira Peninsula, Kanagawa Prefecture, in having rather large shell and smaller apical angle. The present form agrees with Otuka's species in the shell size, the surface sculpture and the apical angle. *Bittium binodulosum* Yokoyama recorded and il-lustrated from the Sawane Pliocene of Sado Island, Niigata Prefecture (Yokoyama, 1926) is conspecific with the present species in outline and the sculptures, but the one from the Onma Pliocene in the environs of Kanazawa City, Ishikawa Prefecture (Yokoyama, 1927) is quite different from the present species in the surface sculptures.

Geologic distrubution :—Pliocene.

Occurrence:-Loc. 39 (few) of the Chinkope formation.

Genus *Cerithium* Bruguiére, 1789

Type-species : Cerithium nodulosum Bruguiére, 1789. Recent. Indo-Pacific Region.

Subgenus **Proclava** Thiele, 1929

Type-species : Cerithium pfefferi Dunker, 1877. Recent, Indo-Pacific Region.

Cerithium (Proclava) kochi Philippi, 1848

Pl. 2, figs. 17.

Cerithium kochi Philippi, 1848, Zeitsch, fur Malak., vol. 5 (non *vidi*, *fide* Kuroda and Habe 1952); Philippi, 1851, p. 2. pl. 1, fig. 3; Sowerby, 1855, vol. 2, Monogr. *Cerithium*, p. 853, pl. 176, figs. 13, 14; Tokunaga, 1906, p. 24, pl. 1, fig. 49; Nomura, 1935e, p. 181; Nomura and Zinbo, 1936, p. 260; Taki in Hirase, 1951, pl. 83, fig. 5.

Vertagus kochi, Reeve, 1866, vol. 15, Monogr. Vertagus, pl. 5, figs. 26a-b.

Cerithium (Vertagus) kochi, Tryon, 1887, vol. 9, p. 147, pl. 28, figs. 48, 49.

Cerithium (Clava) kochi, Yokoyama, 1922, p. 71, pl. 3, fig. 13.

Cerithium (Proclava) kochi, Otuka, 1935a, p. 858, pl. 54, fig. 78; Taki and Oyama, 1954, p. 10, pl. 23, figs. 13; Oyama, 1957, *Cerithium*, pl. 1, figs. 3, 4; Oyama, 1958, *Cerithium*, pl. 2, fig. 6. *Proclava kochi*, Okada and Taki. 1960, p. 165, pl. 78, fig. 20.

Dimensions (in	mm) :Specimen	Height	Diameter	Height of aperture
	no. 38-24	29	6.0	3.5
	no. 10–11	21.5	6.0	
	no. 2905-12	ca. 24.5	6.5	

Remarks:—Several Specimens. The general feature of the spire and ornamentations on the surface of the whorls and state of the columellar allocate the present form to Philippi's *kochi*. According to Okada and Taki (1960) the present species is said to dwell on the sandy bottom in the low tidal zone.

Geologic and geographic distribution :—Pliocene to Recent. Northern Honshu to the Southwestern Tropical region.

Occurrence:—Loc. 3 (abundant), Loc. 4 (abundant) and Loc. 7 (common) of the Nakanokawa formation; Loc. 39 (common) of the Chinkope formation.

Family Scalidae

Genus Scala Bruguiére, 1792

Type-species : Turbo scalaris Linné, 1758. Recent, China, Australia, Moluccas.

Subgenus Boreoscala Kobelt, 1902

Type-species: Turbo (Clathrus) groenlandica (Chemnitz) Reeve, 1874. Recent, Newfound-land, Greenland.

Scala (Boreoscala) aomoriensis (Iwai), 1959

Pl. 2, fig. 24.

Epitonium (Boreoscala) aomoriensis (Iwai), 1959, p. 48, pl. 1, figs. 14a-b, 15a-b.

Remarks:—Several slightly swollen and fractured specimens. The interspaces between the longitudinal riblets are narrower in the present one than in Iwai's specimen. This species resembles *Scala* (*Boreoscala*) *yabei echigonum* (Kanehara)

(1940), but by its whorls being sculptured with stout, elevated and distinctly recurved axial varices and its interspaces much broader than the varix, and the distinct spiral threads on the surface of the whorls.

Geologic distribution :---Pliocene.

Occurrence:--Loc. 16 (common) of the Nakanokawa formation.

Scala (Boreoscala) yabei echigonum (Kanehara), 1940

Pl. 1, figs. 19–20, Pl. 5, figs. 12.

Epitonium (Boreoscala) yabei echigonum Kanehara, 1940, p. 14, pl. 6, figs. 6a-b; Kanehara, 1940, p. 130, pl. 12, figs. 13-16.

Remarks:—The present subspecies resembles *Scalaria groenlandica* figured and described by Reeve in 1874, but it differs from the present one by lacking the keel that bounds the basal disc. *Epitonium angulatosimile* Otuka (1935) is an allied species of the present one, but has faint and fewer spiral threads on the ultimate whorl.

Geologic distribution :---Pliocene.

Occurrence:--Loc. 3 (rare) of the Nakanokawa formation; Loc. 33 (rare) of the Chinkope formation.

Family Pyramidellidae

Genus Cingulina A. Adams, 1860

Type species : Cingulina circinata A. Adams, 1860. Recent, Japan.

Cingulina cingulata (Dunker), 1860

Turbonilla cingulata Dunker, 1860, p. 239 (fide, Dall and Bartsch, 1906); Dunker, 1861, p. 16, pl. 1. fig. 10.

Turbonilla (*Cingulina*) *cingulata*, Tryon, 1886, vol. 8, p. 338, pl. 76, fig. 35; Dall and Bartsch 1906, p. 344, fig. 1; Yokoyama, 1927*a*, p. 453, pl. 51, fig. 6.

Dimensions (a	in	<i>mm</i>) :—Specimen	Height	Diameter	Height of aperture
		no. 38–39a	ca. 10.0	2,2	ca, 1.0
		no. 38–39b	8.0	1.8	ca. 0.8
		no. 38–39c	5.5	1,5	ca. 0.5

Remarks:—Three speciemens. The whorls are chracterized by the three prominent, rounded, spiral cords arranged in subequal interspaces. There is a slight difference in the rather slender and straight sided spire of the shell compared with that of the living one.

Geologic and geographic distribution :--Pliocene to Recent. The fossil form is also known from the Pleistocene deposits of the Bôsô Peninsula, Chiba Prefecture. Honshu, Shikoku and Kyushu.

Occurrence:-Loc. 3 (few) of the Nakanokawa formation.

Family Calyptraeidae

Genus Crepidula Lamarck, 1977

Type-species: Patella fornicata Linné, 1758. Recent, Atlantic and Gulf Coast of North America.

Crepidula grandis Middendorff, 1801

Pl. 3, figs. 14-15.

Crepidula aculeata, Tryon, 1866, vol. 8, p. 128, pl. 37, fig. 33 (in part).

Crepidula grandis, Oldroyd, 1927, p. 116; Kuroda in Honma, 1931, p. 73, pl. 10, fig. 73; Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 6, pl. 3, fig. 25: Taki in Hirase, 1951, pl. 89, fig. 15; Habe, 1958, p. 11, pl. 3, fig. 17, pl. 5, figs. 5, 6; Kira, 1959c. p. 33, pl. 13, fig. 3; Okada and Taki, 1960, p. 163, pl. 77, fig. 9.

Dimensions	(in	mm) :Specimen	Length	Height	Breadth
		no. 38–9a	49.8	49.8	36.0

Remarks:—This species is characterized by its slipper shape, very small, prominent and curved beak, and the internal septum which is solid and nearly half of the longer diameter of the aperture. The present species is related to *C. navia* Yokoyama (1925) from the Pliocene Shigarami formation of North Nagano, but the latter species differs from the former in having the radial riblets on the shell surface and the shell smaller than the present one. *C. jimboana* Yokoyama (1931) resembles the present species, but has the parallel margins of the shell, of which "Breadth" is nearly equal to the "Height" or half of the "Length".

Geologic and geographic distribution :---Miocene to Recent. Northern Honshu, Hokkaido, Saghalien, Alaska and Arctic Sea.

Occurrence:-Loc. 3 (few) of the Nakanokawa formation.

Family Naticidae

Subfamily Naticinae

Genus *Tectonatica* Sacco, 1890

Type-species: Natica tectura Bonelli. Pliocene of Italy.

Tectonatica janthostoma (Deshayes), 1839

Pl. 5, figs. 13–14.

Natica janthostoma, Philippi, 1853, p. 53, pl. 8, fig. 8; Reeve, 1855, vol. 9, Natica, pl. 13, sp. 79; Sowerby, 1855, vol. 5, p. 82, pl. 457, fig. 52; Yokoyama, 1920, p. 76, pl. 5, figs. 3, 4.

Natica clausa janthostoma, Tryon, 1886, vol. 8, p. 31, pl. 9, fig. 68.

Cryptonatica janthostoma, Dall, 1921, p. 164, pl. 14, fig. 12.

Natica (Tectonatica) janthostoma, Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 7, pl. 4, fig. 27; Nomura and Hatai, 1935c, p. 128, pl. 9, fig. 4.

Tectonatica janthostoma, Habe, 1958c, p. 13, pl. 1, fig. 23.

Dimensions (in	<i>mm</i>) :—Specimen	Height	Diameter	Height of aperture
	no. 38–38a	11.0	12.0	7.5
	no. 38–38b	8.2	8.5	6.0
	no. M13-1	13,0	10.5	7.0
	no. 2905–1a	13.0	12.5	7.5
	no, 2905–1b	20.0	ca. 17.5	ca. 10.9

Remarks:—Abundant and well preserved specimens are in the collection. Although all of the specimens are small or medium in size, the character of the funicle easily distinguishes them from Kuroda and Habe's (1949) *janthostomoides*, the southern type of the group in the Recent community.

Geologic and geographic distribution :--Pliocene to Recent. Akkeshi Bay (Hokkaido) to Bering Sea.

'Occurrence: Loc. 3 (abundant) and Loc. 7 (abundant) of the Nakanokawa formation; Loc. 20 (common) and Loc. 31 (common) of the Chinkope formation.

Family Muricidae

Subfamily Muricinae

Genus **Trophonopsis** Buquoy, Dautzenberg and Dallfus, 1882

Type-species: Murex muricata Montagu, 1803. Recent, Atlantic Coast of England, France and Mediterranean Sea.

Subgenus *Austrotrophon* Dall, 1902

Type-species (Subsequently designated by Grant and Gale, 1931): Trophon cerrosensis Dall, 1891. Recent, Off Cerros Island, Lower California.

Trophonopsis (Austrotrophon) candelabrum Reeve, 1847

Pl. 7, figs. 4–5.

Fusus candelabrum Reeve, 1847, vol. 4, Monogr., Fusus, pl. 19, sp. 79; Adams and Reeve, 1850, Moll. Voy. Samarang (non vidi, fide Reeve. 1847).

Trophon clathratus, Tryon (in part), 1880, vol. 2, p. 140, pl. 31, fig. 317.

Trophon candelabrum, Sowerby, 1880, vol. 4, Monogr., Trophon, pl. 404, fig. 11.

Trophon subclavatus Yokoyama, 1920, p. 60, pl. 3, figs. 2, pl. 6, figs. 13, 14; Yokoyama, 1923*b*, p. 64, pl. 3, fig. 2.

Trophonopsis candelabrum, Kanehara, 1942a, p. 130.

Trophonopsis (Boreotrophon) candelabrum, Hatai and Nisiyama, 1952, p. 259; Kira, 1959, p. 60, pl. 24, fig. 4; Okada and Taki, 1960, p. 196, pl. 89, fig. 4.

Trophon (Austrotrophon) candelabrum, Taki and Oyama, 1954, p. 20, pl. 4, fig. 2, pl. 7, figs. 13, 14, pl. 23, fig. 2.

 Dimensions (in mm):--Specimen
 Height
 Diameter
 Height of aperture

 no. 2804-13
 20.0
 9.0
 10.5

 no
 M10-1a
 44.0
 ca. 22.0
 ca. 20.0

Remarks :— Two well preserved specimens. One of them has very large shell and rather sharp angle of the varices on the shoulder compared with the typical form of the species.

Geologic and geographic distribution :---Pliocene to Recent. Pacific coast of the northern Honshu, Northern Japan Sea.

Occurrence:--Loc. 6 (rare) of the Nakanokawa formation; Loc. 39 (rare) of the Chinokope formation.

Subgenus Boreotrophon P. Fischer, 1884

Type-species: Murex clathratus Linné, 1758. Recent, Arctic Region.

Trophonopsis (Boreotrophon) sasae Sawada, n. sp.

Pl. 2, figs. 12–13.

Description :—Shell medium in size, elongate ovate-fusi-form, with rather long curved anal canal. Protoconch with a globose nucleus and two and a half volutions which are smooth on younger but sculpture in adult with sharp, rounded varices with no angle at shoulder, ten varices on the body whorl, sharp separated widely from one another; penultimate whorl with well defined longitudinals and fine spiral interstitial striations; four weak spirals on body whorl among which abapical one weakest and appearing rather later, base with six to seven spirals. Aperture elongately oval in form, canal rather long and curved, height of aperture and canal subequal with that of spire.

Holotype:-MEMIT*, Reg. No. 60001. Paratype:-MEMIT, Reg. No. 60002.

Dimensions	(in	mm):Specimen	Height	Diameter	Height of aperture
		no. 60001 (Holotype)	23.0	10.5	11.0
		no. 60002 (Paratype)	23,5	12.0	13.0

Remarks :—The present form is sometimes confused with water worn specimens of *Trophonopsis* (*Austrotrophon*) candelabrum (Reeve) in the shape, but the present one is distinguished from the latter in having spiral sculpture and varices without angles at the shoulder. It seems that the state of the varices in this group of gastropods is very important in classification and according to Wenz (1941), the roundness or angles of the varices in the genus of *Trophonopsis* are important criterion of subgeneric value. Another specimen differs from the holotype in having stronger spirals, larger shell and a thin callous deposit on inner lip. In the younger stage the longitudinals are somewhat stronger and incipient beads are formed at the intersection of the spirals and longitudinals but these become weaker and disappear with growth. This difference may be included within the range of variation of a single species.

The type species of the subgenus, *Boreotrophon clathratus* (Linné) (Reeve, 1847; Tryon, 1880) is somewhat similar to the present one, but the true *clathratus* has no spiral sculptures. In 1902, Dall discriminated *Trophon beringi* (Oldroyd, 1927; Grant and Gale, 1931) from *Boreotrophon clathratus* (Linné) but his species is different in having a short and broad shell. The species in named after Dr. Yasuo Sasa Professor of Geology, Hokkaido University, who has written many articles on the geology of Hokkaido.

Geologic distribution :---Pliocene.

Occurrence :-- Loc. 39 (few) of the Chikope formation.

Genus Nucella (Bolten) Röding, 1798

Type-species (Subsequent designation by Dall, 1909): Buccinum filosa Gmelin, 1792. =Buccinum lapillus Linné, 1758. Recent.

^{*} MEMIT :-- Abbreviation for Mining Engineering Department, Muroran Institute of Technology, Muroran, Hokkaido.

Nucella cf. freycineti (Deshayes), 1839

Pl. 4, figs. 1–2.

Compared with:

Purpura freycinetii, Reeve, 1846, vol. 3, Purpura, pl. 10, fig. 51; Lischke, 1871, p. 40, pl. 4, figs. 15-19.

Thais (Nucella) freycinetii, Dall, p. 571.

Ploytropa freycineti, Habe, 1961, p. 51, pl. 26, fig. 10.

Dimensions (in mm):—Specimen Height Diameter Height of aperture no. 38-37 10.5 5.3 5.5

Remarks:—The present form is characterized by its low spire with two prominent spirals and one fine secondary spiral which occurs on the first post-nuclear whorl and becomes scaly on the body whorl, forming a node-like elevation with prominent longitudinal ribs, and by the long and narrow aperture with weakly and closely rugated outer lip, canal with thin callus deposits. The present form is allied to *Nucella freycinetii* (Deshayes) (Reeve, 1846; Lischke, 1871; Dall, 1915; Habe, 1961), but differs from the latter in having a higher spire with distinctly elevated axial ribs which become scaly on the body whorl and with longer and narrower aperture. *Nucella freycyneti heyseans* (Dunker) (Habe, 1961) resembles the present form, but has distinct axial ribs which become scaly on the body whorl and longer and narrower aperture. *Pollia mollis* (Gould) illustrated by Taki (1961) resembles the present form, but Taki's form has the excavation situated on the inner side of the canal fasciole.

Geologic distribution :---Pliocene.

Occurrence:-Loc. 3 (rare) of the Nakanokawa formation.

Family Pyrenidae

Genus Mitrella Risso, 1826

Type-species (Subsequent designation by Cox, 1927): Mitrella flaminea Risso, 1826=Murex scripta Linné, 1758. Recent, Mediterranean.

Mitrella burchardi (Dunker), 1877

Pl. 1, fig. 17.

Amycla Burchardi Dunker, 1877, Malak. Blat., vol. 24, p. 67 (non vidi, fide Dunker, 1882); Dunker, 1882, p. 55, pl. 4, figs. 3, 4.

Columbella (Mitrella) Burchardi, Tryon, 1883, vol. 5, p. 129, pl. 49, fig. 17.

Columbella (Atilia) burchardi, Yokoyama, 1920, p. 59, pl. 3, fig. 7.

 Mitrella Burchardi, Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 9, pl. 5, fig. 41; Taki and Oyama, 1954, p.

 20, pl. 4, fig. 7; Habe, 1958c, p. 27, pl. 1, fig. 17; Okada and Taki, 1960, p. 193, pl. 88, fig. 19.

 Dimensions (in mm):—Specimen Height Diameter Height of aperture

 no. 38-23
 11.8
 1.0
 5.5

Remarks:—The present single specimen coincides well with the description and figures of the original author, especially the varicose fold of the outer lip and fine spiral ornamentation on the body whorl. Kira (1959) stated that his species has no dentitions on the inner periphery of the outer lip, the figure shows the smooth surface of the body whorl, Kira's specimen is, therefore, considered to be

a different species.

Geologic and geographic distribution :—Pliocene to Recent. Pacific side of Japan and further north to the Okhotsk Sea.

Occurrence:-Loc. 3 (few) of the Nakanokawa formation.

Family Buccinidae

Genus *Plicifusus* Dall, 1902

Type-species : *Fusus kroyeri* Möller, 1842, Recent, Greenland, Bering Sea, Labrador, Banks of Newfoundland (*fide* Tryon, 1881), Hokkaido, Saghalien, Japan Sea.

Plicifusus yanamii (Yokoyama), 1926

Pl. 2, figs. 20-21.

Bela yanamii Yokoyama, 1926a, p. 261, pl. 32, fig. 11.

Lora yanamii, Nomura and Hatai, 1935*c*, p. 123, pl. 13, fig. 2; Nomura, 1937, p. 174, pl. 24, figs. 11a-b.

Plicifusus yanamii, Hatai and Nisiyama, 1952, pp. 174, 211.

Mohnia yanamii Makiyama, 1958, pl. 44, fig. 11.

Dimensions (in mm):—Specimen Height Diameter Height of aperture no. 38-27 20.5 9.5 ca. 11

Remarks:—The present form agrees quite well with the original description and the illustration of *Plicifusus yanamii* (*Bela yanamii* Yokoyama, 1926) in size, shape and surface sculpture. *Plicifusus yanamii tenuis* Hatai and Nisiyam from the Onma formation of Ishikawa Prefecture (Hatai and Nisiyama, 1938) is an allied form, but it can be distinguished in having rather slender spire of the shell.

Geologic distribution :---Pliocene.

Occurrence:-Loc. 3 (rare) of the Nakanokawa formation.

Genus Neptunea Bolten Röding, 1798

Type-species (Subsequent designation by Cossmann, 1901): Murex antiqua Linné, 1758. Recent, Atlantic.

Neptunea iwaii Hatai, Masuda and Suzuki, 1961

Pl. 2, figs. 8-9.

Neptunea iwaii Hatai, Masuda and Suzuki, 1961, p. 29, pl. 3, figs. 15a-b.

Remarks:—Although the present specimens lack the protoconch, the anal and outer lip of the aperture and the majority of the penultimate whorl, the shape of the spire and whorls, and the surface sculpture can be examined. The present one resembles *Neptunea frater* Pilsbry (1901) now living off Northeast Honshu and the Kanto Region, but can be distinguished from it in the arrangement and order of the appearance of the spiral sculptures on the surface of the whorls. The most important difference between the two forms mentioned above is the stage of the appearance of the secondary spiral cords in the younger shells; in the present species, the secondary spiral cords between each primary cord appear to occur in a rather younger stage of growth of the shell than *frater*.

Geologic distribution :---Pliocene.

Occurrence :-- Loc. 22 (few) and Loc. 23 (rare) of the Chinkope formation.

Genus Barbitonia Dall, 1916

Type-species: Fusus arthriticus Bernardi, 1858. Recent, Japan and Northern Pacific Region.

Barbitonia arthritica (Bernardi), 1858

Pl. 1, fig. 18, Pl. 2, fig. 25.

Fusus arthriticus Bernardi, 1858, p. 386, pl. 12, fig. 3 (non vidi, fide Yokoyama, 1922); Valenciennes, 1858, p. 761 (non vidi, fide Dunker, 1882).

Tritonium (Fusus) arthriticum, 1867, Schrenck, p. 421.

Neptunea arthritica, Lischke, 1869, p. 37; Brauns, 1881, p. 28, pl. 2, fig. 1; Dunker, 1882, p. 14. Fusus arthriticus, Sowerby, 1880, Fusus, p. 88, pl. 415, fig. 121.

Neptunea despecta fornica, Tryon (in part), 1881, vol. 3, p. 116, pl. 47, figs. 262-264.

Neptunea despecta, Tokunaga (non Linné), 1906, p. 7.

Chrysodomus arthriticus, Yokoyama, 1922, p. 53, pl. 2, fig. 12.

Barbitonia arthritica, Wenz, 1941, p. 1163, fig. 3308.

Neptunea (Barbitonia) arthritica, Kira, 1959, p. 71, pl. 27, fig. 17; Okada and Taki, 1960, p. 193, pl. 88, fig. 16.

Dimensions (in mm) :---Specimen Height Diameter Height of aperture no. 38-25 20.5 9.5 12.0

Remarks :-- A single well preserved young specimen is in the collection.

Geologic and geographic distribution :---Pliocene to Recent. Northern Honshu to Hokkaido, north to the Okhotsk Sea.

Occurrence:—Loc. 3 (rare) and Loc. 6 (rare) of the Nakanokawa formation; Loc. 39 (rare) of the Chinkope formation.

Barbitonia arthritica hirosakiensis (Iwai) 1959

Neptunea arthritica hirosakiensis Iwai, 1959, p. 50, pl. 1, figs. 17a-b.

Remarks:—An imperfect shell is now at hand. This form is characterized by the large protoconch, narrowly elongated spire and smooth surface of the whorls. These characteristics assign the present form to Iwai's *arthritica hirosakiensis* of the Pliocene Higashimeya formation distributed in the environs of Hirosaki City, Aomori Prefecture.

Geologic distribution :---Pliocene.

Occurrence :-- Loc. 16 (rare) of the Nakanokawa formation.

Genus Buccinum Linné, 1758

Type-species (Subsequent designation by Montfort, 1810): Buccinum undatum Linné, 1758. Recent, North Sea.

Buccinum leucostoma Lischke, 1872

Pl. 2, fig. 1, Pl. 7, fig. 3.

Buccinum leucostoma Lischke, 1872 (*non vidi, fide* Lischke, 1874), Mal. Blätt., vol. 19, p. 101; Lischke, 1874, p. 38, pl. 1, figs. 7, 8; Hirase, 1908, p. 3, pl. 26, fig. 42; Yokoyama, 1920, p. 55, pl. 2, fig. 2; Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 10, pl. 7, fig. 51; Taki in Hirase, 1951, pl. 104, fig. 1; Kira, 1959, p. 69, pl. 26, fig. 1.

Dimensions (in mm):-Specimen Height Diameter Height of aperture no. M10-2a 27.3 16.5 ca. 11.5

Remarks :—The shell is of medium size, and lacks its protoconch and younger whorls. Judging from the general features of the whorls, spire and preserved surface sculpture, the present specimen is a variant of *leucostoma*.

Geologic and geographic distribution :—Pliocene to Recent. Pacific side of Northern Honshu and Southern Hokkaido.

Occurrence:-Loc. 39 (few) of the Chinkope formation.

Family Nassariidae

Genus Hinia Leach, 1847

Type-species (Subsequent designation by Cossmann, 1901): Buccinum reticulata Linné, 1758. Recent, European Region.

Subgenus *Tritonella* A. Adams, 1853

Type-species: Tritonium incrassatum Müller, 1776. Recent, European Seas.

Hinia (Tritonella) japonica (A. Adams), 1851

Pl. 5, figs. 18–19.

Nassa japonica A. Adams, 1851, p. 110; Lischke 1874, p. 37, pl. 2, figs. 20-23.

Nassa (Hima) japonica, Yokoyama, 1920, p. 56, pl. 3, figs. 5a-b.

Nassarius (Tritonella) japonicus, Otuka, 1935b, p. 870, pl. 53, fig. 37.

Nassarius (Hima) japonicus, Kanehara, 1940, p. 17, pl. 4, figs. 4a-b.

Nassarius japonicus, Taki in Hirase, 1951, pl. 106, fig. 12.

Tritia (Tritonella) japonica, Taki and Oyama, 1954, p. 22, pl. 4, figs. 5a-b.

Tritia (Reticunassa) japonica, Kira, 1959, p. 73, pl. 28, fig. 13; Okada and Taki, 1960, p. 193, pl. 88, fig. 14.

non Nassa japonica, Reeve, 1855 (non Reeve, 1851), vol. 8, Monogr., Nassa, pl. 29, fig. 192.

Dimensions (in	mm) :—Specimen	Diameter	Height of aperture
	no. 10–12a	10.0	3.2
	no. 10–12b	9.0	3.0
	no, 10–12c	ca. 10.0	ca. 3.5
	no. 10–12d	7.5	2.0
	no. 38–39a	8.5	2.2
	no. 38–39b	7.5	2.1

Remark :—Many well preserved specimens. The present form agrees with the illustrations of Lischke (1874), a living form of Tokyo Bay, but slightly differs from the living one illustrated by Kira (1959) in having somewhat prominent axial ribs and interspaces. The present specimens also coincide with the fossil ones from the younger Cenozoic deposits in Japan.

Geologic and geographic distribution :--Pliocene to Recent. Matsushima Bay on the Pacific side and Toyama Bay on the Japan Sea side, and further south to Shikoku, Kyushu, and Formosa.

Occurrence :--- Loc. 3 (few) and Loc. 4 (abundant) of the Nakanokawa formation.

Family Fasciolariidae

Subfamily Fasciolariinae

Genus Latirus Montfort, 1810

Type-species: Latirus suranticus Montfort, 1810=Murex gibulus Gmelin, 1792, Recent, Australia.

Latirus (?) sp.

Pl. 4, fig. 9, Pl. 5, figs. 4.

Remarks:—Although the present form may belong to the named genus based upon the shape of the shell and the characters of the surface sculptures, precise generic and specific discrimination is reserved until additional specimens are obtained.

Geological distribution :---Pliocene.

Occurrence:-Loc. 4 (rare) of the Nakanokawa formation.

Family Volutidae

Genus Volutomitra H. and A. Adams, 1853

Type-species: Mitra grönlandica Möller, 1842. Recent, Arctic Atlantic Ocean.

Volutomitra hataii Sawada, n. sp.

Pl. 2, figs. 18–19.

Description :---Shell medium in size, spire fusiform, composed of protoconch and five whorls. Protoconch of one smooth, globose whorl with small nucleus. Whorls five, slightly convex in profile, whorl surface rather smooth, minutely spirally striated on younger whorls, but become obsolete with growth of spire. Body whorl sculptured with rather distinct growth lines, aperture elongate oval in shape and longer than half of total length, outer lip simple. Callus rather thicker on columellar lip than on parietal one. Canal straight and rather wide, with well marked siphonal fasciole. Collumella with four-folds among which second and third ones rather stronger than others, rather distinct. Nucleus slightly eroded.

Holotype :---MEMIT, Reg. No. 60003. Paratype :---MEMIT, Reg. No. 60004. Dimensions (in mm) :---Specimen Height Diameter Height of aperture

,.	1	0		0 1
	no. 60003 (Holotype)	20.0	9.0	11.0
	no. 60004 (Paratype)	20,5	8.5	11.5

Remarks:—The paratype specimen has only three columellar folds, but judging from the other characteristics, it is conspecific with the holotype. The type species of the genus which is known from the Arctic region of the Atlantic Ocean (Reeve, 1843; Sars, 1878; Sowerby, 1880) is very similar to the present one but the former is distinguishable from the latter by having a rather convex round whorl, larger proportion of diameter to the total length of the shell and minutely spiral striations on the early whorls. His *Volutomitra alaskana* Dall, 1602 is also allied to the present one, but it differs by having a large shell with minute spiral striations on the surface, and a more larger proportion of diameter to the total length of

the shell. The species is named after Dr. Kotora Hatai, Professor of Paleontology, Tohoku University, who has written many articles on the Paleontology of Japan. *Geologic distribution* :---Pliocene.

Occurrence :-- Loc. 39 (few) of the Chinkope formation.

Family Cancellariidae

Genus Admete Kroyer, 1842

Type-species: Admete crispa Möller, 1842. Recent, Circumpolar Region.

Admete japonica lischkei (Yokoyama), 1926

Pl. 6, fig. 28.

Cancellaria lischkei Yokoyama, 1926a, p. 264, pl. 32, figs. 16, 17. Admete japonica, Hatai and Nisiyama, 1952, p. 182 (non Smith, 1879). Admete japonica lischkei, Makiyama, 1958, pl. 44, figs. 16, 17. Admete lischkei, Iwai, 1959, p. 51, pl. 1, figs. 5a-b.

i turc

Remarks:—The present subspecies was first proposed by Yokoyama as a new species of the genus *Cancellaria*, but in 1952 Hatai and Nisiyama transfered it to *Admete*, and considered it as synonymous with the species *japonica* Smith from Ojika Bay of Wakamatsu Island of the Goto Islands, Minami-Matsura-gun, Nagasaki Prefecture. The present subspecies is somewhat similar to *japonica* as pointed out by Hatai and Nisiyama, but Smith's species has rather prominent and broad longitudinal ribs on the surface of the whorls compared with the present form which has rather narrow longitudinal ribs and sharp and prominent spiral cords. The writer, therefore, accepts Makiyama's opinion (1958), and allocates the present form into the subspecies of *japonica*.

Geologic distribution :---Pliocene.

Occurrence :--- Loc. 3 (abundant) and Loc. 7 (few) of the Nakanokawa formation.

Family Turridae

Subfamily Brachytominae

Genus Granotoma Bartsch, 1941

Type-species (Subsequent designation by Bartsch, 1941): Bela krausei Dall, 1886. Recent, Bering Sea.

Granotoma kotakae Sawada, n. sp.

Pl. 1, figs. 21-22.

Description :---Shell medium in size, elongate fusiform, spire rather slender with protoconch of small, smooth younger whorls, and five sculptured ones. Whorls, convex with strong shoulder on adapical one third of whorls, decussate

sculptures with closely spaced prominently elevated growth lines, more or less deep sinus on shoulder of whorls, very fine spiral threads at adapical half of each whorl, three distinct and rather broad spiral cords at abapical half, and both form decussate sculptures, last and penultimate whorls partly form nodulose sculptures. Base of body whorl slightly convex, ornamented with five spirals and numerous grouth lines, aperture elongated fusiform, outer lip rather thin with narrow but rather deep sinus on shoulder of whorls, callus very thin, anal canal broad.

Holotype:--MEMIT, Reg. No. 60005.

Dimensions (in mm):—Specimen Height Diameter Height of aperture no. 60005 17.0 7.5 7.5

Remarks :—The present species is characterized by its spire with distinct shoulder, decussate sculptures with numerous growth lines, and fine and closely spaced spiral threads at the adapical half, three narrower than their interspaces, and by the spiral cords at the abapical half of the whorls. The present species resembles *Grantoma dissoluta* (Yokoyama) (1920) from the Pliocene Sawane formation of Sado Island, but can be distinguished by its rather round whorls sculptured with oblique, slightly curved backward longitudinal ribs which are generally separated by rather wide interspaces and the fine spirals which are numerous and most distinct in the valleys, and cut the ribs so as to render the spaces between the spirals finely nodulose. The specific name is dedicated to Dr. Tamio Kotaka, Tohoku University, who has written many articles on the Paleontology of the Cenozoic formations of Japan.

Geologic distribution :---Pliocene.

Occurrence:-Loc. 39 (rare) of the Chinkope formation.

Subfamily Turrinae

Genus Antiplanes Dall, 1902

Type-species: *Pleurotoma (Sucrula) perversa* Gabb, 1865. Post-pliocene of San Pedro, Los Angeles County, U.S.A.

Antiplanes contraria (Yokoyama), 1926

Pl. 2, figs. 14-15.

Pleurotoma contraria Yokoyama, 1926b, p. 383, pl. 44, figs. 2a-b.

Antiplanes kamchatica, Otuka (non Dall, 1919), 1935b, p. 873.

Antiplanes perversa contaria, Otuka, 1936, p. 734, pl. 42, fig. 11.

Antiplanes contraria, Taki in Hirase, 1951, pl. 115, fig. 11 (only left fig., right fig. Antiplanes kamchatica Dall, 1919); Kira, 1959, p. 90, pl. 35, fig. 2; Iwai, 1959, p. 52, pl. 1, figs. 13a-b; Okada and Taki, 1960, p. 193, pl. 88, fig. 5 (non Yokoyama, 1926 Antiplanes kamchatica Dall, 1919).

Dimensions (in	(mm): —Specimen	Height	Diameter	Height of aperture
	no. M13-a	43.0	15.0	16.2
	no. 301–5a	48.5	17.0	20.0

Remarks:—The specimen from near Tsuribashi, Imagane-cho, Setanagun is almost complete except for the outer lip of the aperture, eleven and a half volutions are preserved, and the other four specimens lack their protoconchs, but the

shape of the whorls, the sutures and the depth of the sinus of the growth lines well agree with Yokoyama's *contraria*. *Antiplanes perversa* Gabb, know from the west coast of North America is very similar to the present species, but is distinguishable from the present one in having rather more slender spire. *Antiplanes kamchatica* Dall (1919) is also, sometimes, confused with the present species, but the present one has a smooth shell except for the growth line traces, rather slender spire and rather narrow aperture.

Geologic and geographic distribution :—Pliocene to Recent. Northern Honshu to Hokkaido.

Occurrence :—Loc. 9 (common) of the Nakanokawa formation : Loc. 20 (few) of the Chinkope formation.

Subgenus *Rectiplanis* Bartsch, 1944

Type-species : Pleurotoma (Antiplanes) santarosana Dall, 1920, Recent, California.

Antiplanes (Rectiplanis) sanctaioannis (Smith), 1875

Pl. 4, fig. 10, Pl. 5, fig. 17.

Pleurotoma sanctaioannis Smith, 1875, p. 416. Antiplanes yessoensis Dall, 1925, p. 4, pl. 21, fig. 3. Pleurotoma sadoensis Yokoyama, 1926a, p. 259, pl. 13, fig. 16; Otuka, 1949, p. 306, pl. 13, fig. 16. Antiplanes sadoensis, Nomura, 1937b. p. 174, pl. 24, figs. 5a-b. Spirotropis (Antiplanes) sadoensis, Kanehara, 1940, p. 19, pl. 4, figs. 2a, 2b. Rectiplanis sanctaioannis, Hatai and Nisiyama, 1952, p. 170, p. 232. Antiplanes (Rectiplanes) sanctaioannis, Habe, 1958c, p. 30. Antiplanes (Rectiplanes) sadoensis, Chinzei, p. 117, pl. 9, figs. 6-9. Dimensions (in mm) :--- Specimen Height Diamerer Height of aperture 30.1 10.5no. 31-1 12.8

Remerks:—The present form is similar to Antiplanes perversa Gabb of western North America but the latter is a sinistral shell. According to the original description of Smith (1875) sanctioannis is said to have smooth shell surface, but obsolete alternations of wide and narrow spiral striae cover the surface of the whorls. Although Antiplanes thaleaea (Dall, 1902), a Recent species of California (fide Dall, 1925) is also similar to the present one, the furrowed sutures and the presence of the selenizone-like sculpture on the whorl surface at the bottom of the sinus distinguish the former from the latter. In 1925 Dall described Antiplanes yessoensis from the south coast of Hokkaido, judging from the original description and figure, his species is assumed to be synonymous with the present species.

Geologic and geographic distribution :—Pliocene to Recent. Hokkaido. Occurrence :—Loc. 31 (rare) of the Chinkope formation.

Genus Oenopota Mörch, 1852

Type-species (Subsequent designation by Dall, 1919): Fusus pleulotomaria Couthouy, 1839. Recent, Massachusetts Bay.

Oenopota kagana toyotsuensis Sawada, n. subsp.

Description :-- Shell medium in size, elongate fusiform, spire rather slender

with protoconch of small, smooth globose nucleus and one smooth younger whorl, and sculptured with five whorls. Whorls convex, first nepionic whorl with three fine spiral striae equally spaced, these become obsolete instead and disappear on succeeding whorls; longitudinal ribs 13 on body whorl and slightly inclined opischoclinally. Aperture elongated fusiform, outer lip with shallow sinus on its adapical, callus very thin, anal canal distinct but short.

Holotype:—MEMIT, Reg. No. 60006.

Dimensions (in mm):—Specimen Height Diameter Height of aperture no. 60006 16.0 6.0 7.0

Remarks:—The present subspecies is distinguishable from the species in the rather slender spire and smaller proportion of the height of aperture to the total height. *Plicifusus yanamii tenuis* Hatai and Nisiyama (1939) from the Onma formation of Ishikawa Prefecture resembles the present one but differs by its distinct spiral cords at the base, smaller proportion of the height of aperture to the total height, and its outer lip with shallow sinus. The specific name is originated from the geographic name of the type locality of the present form.

Geologic distribution :—Pliocene.

Occurrence:-Loc. 39 (rare) of the Chinkope formation.

Oenopota kuromatsunaiensis Sawada, n. sp.

Pl. 3, fig. 7, Pl. 4, figs. 19–21.

Description:—Shell medium in size, elongate fusiform, spire slender with protoconch of small, smooth globose nucleus and one young whorl with three fine spiral striae, and five whorls. Whorls, convex, with round axial ribs extremely elevated at shoulder and obsolete near distinctly abapical to suture continues with these main ribs, spirals become broad and extremely low with growth and it becomes fine threads. Aperture elongated fusiform, outer lip with distinct sinus at shoulder, callus very thin, anal canal rather short and straight.

Holotype :---MEMIT, Reg. No. 60007. *Paratype* :---MEMIT, Reg. No. 60008, 60009, 60010.

Dimensions	(in	mm):Specimen	Height	Diameter	Height of aperture
		no. 60007 (Holotype)	14.5	6.0	5.5
		no. 60008 (Paratype)	17.0	ca. 11.0	7.0
		no, 60009 (Paratype)	6.2	ca. 6.5	6.0
		no. 60010 (Paratype)	ca. 12.5	ca. 5.0	5.0

Remarks :—The present form resembles *Propebela turricula* Montagu (Bartsch, 1941), but differs by its protoconch with three fine spiral striae and the spiral cords which become broad and extremely low with growth and by the axial ribs which become obsolete near the suture. *Granotoma kotakae* Sawada is similar to the present new species in the shape and the surfece sculptures of the whorls, but the former has the protoconch with smooth younger whorls and the spire with decussate sculptures with numerous growth lines, and fine and closely spaced spiral threads

at the adapical half, three rather narrow spiral cords at the abapical half of the whorls and form nodulose sculpture on the last and penultimate whorls. The other speicmens of this species differ from the holotype in having many axial ribs on the last whorl (three or four) and slightly less elevated shoulder, but this difference may be included within the range of variatin of a single species. The specific name is originated from the geograpical name of the type locality of the present form.

Geologic distribution :—Pliocene.

Occurrence :- Loc. 3 (few) and Loc. 7 (few) of the Nakanokawa formation.

Family Schphanderidae

Genus *Eocylichna* Kuroda and Habe, 1952

Type-species: *Cylichna braunsi* Yokoyama, 1920. Pliocene, the Naganuma formation of the Miura Peninsula, Kanagawa Prefecture.

Eocylichna musashiensis (Tokunaga), 1906

Pl. 6, fig. 32

Bulla cylindracea, Brauns, 1881, p. 35 (non Pennant, 1776).

Cylichna musashiensis Tokunaga, 1906, p. 32, pl. 2, fig. 12; Yokoyama, 1920, p. 27, pl. 1, fig. 4; Yokoyama, 1922, p. 27, pl. 1, fig. 10.

Eocylichna musashiensis Kuroda and Habe, 1952, p. 55; Hatai and Nisiyama, 1952, p. 196; Habe, 1961, p. 91, pl. 43, fig. 16.

 Dimensions (in mm):---Specimen
 Height
 Diameter

 no. 38-29
 7.0
 3.0

 no. 10-15
 6.5
 2.7

Remarks:—In 1906 Tokunaga proposed the name *musashiensis* for Brauns's (1881) *cylindracea* from the environs of Tokyo. Kuroda and Habe proposed a new genus *Eocylichna* in 1952 based upon *Cylichna braunsi* Yokoyama (1920) from the Pliocene Naganuma formation of a road-side cutting at Naganuma, Totsuka Ward, Yokohama City, Kanagawa Prefecture, and allocated Tokunaga's *musashiensis* into this new genus. The present speices is closely allied to *Adamnestia Japonica* (A. Adams) (Habe, 1961), but it can be distinguished from the latter by its distinct folds on the columella lip and the apex sunken into a pit encircled by steeply elevated margin.

Geologic and geographic distribution :---Pliocene to Recent. Japan Sea coast of Honshu and Kyushu.

Occurrence:-Loc.3 (rare) and Loc. 4 (rare) of the Nakanokawa formation.

Class Pelecypoda

Family Nuculidae

Genus Acila H. and A. Adams, 1858

Type-species (Subsequent designation by Stoliczka, 1871): Nucula divaricata Hinds, 1843. Recent, Northern and Tropical Pacific.

Subgenus *Truncacila* Grant and Gale, 1931

Type-species (Original designation): Nucula castrensis Hinds, 1843. Recent, Sitka, Alaska.

Acila (Truncacila) insignis (Gould), 1861

Pl. 6, figs. 30-31.

Nucula (Acila) insignis Gould, 1861, p. 36 (fide Schenck, 1936); Kuroda, 1929, vol. 1, no. 3, p. 7, Appendix p. 8, fig. 5; Nomura and Hatai, 1935a, p. 49.

Nucula insignis, Tokunaga, 1906, p. 56; Yokoyama, 1911, p. 4; Yokoyama, 1920, p. 179, pl. 19, figs. 7, 8.

Acila (Truncacila) insignis, Schenck, 1936, p. 99, pl. 11, figs. 1–8, 12, text-fig. 7; Nagao and Huzioka, 1941, p. 120, pl. 29, figs. 22, 22a; Habe, 1951, p. 20; Ozaki, 1958, p. 107, pl. 22, figs. 2, 3; Yamamoto and Habe, 1958, p. 2, pl. 2, fig. 6; Habe, 1958a, p. 243, pl. 12, fig. 8; Habe, 1960, p. 2, pl. 1, fig. 1.

Dimensions	(in	mm):Specimen	Length	Height	Width or Depth	Valve
		no. 2804–1a	13.0	12.0	7.8	intact
		no. 2804–1c	14.0	14.5	4.2	left
		no. 33–3c	21.0	17.5	10.0	intact

Remarks:—The morphological characters of the present species are; shell rather small in size, elongated oval in outline, surface with regulary diverging fine ribs, and lack the ear-like process at the posterior end of the dorsal margin. On some of the present specimens, the radial ribs become obsolete near the posterior-ventral margin. But it is judged to be merely individual variation among the present species.

Geologic and geographic distribution :--Pliocene to Recent. All around Japan from Kyushu to Southern Hokkaido.

Occurrence:—Loc. 2 (rare), Loc. 3 (few), Loc. 5 (rare), Loc. 6 (common), and Loc. 7 (rare) of the Nakanokawa formation; Loc. 18 (rare), Loc. 19 (common), Loc. 22 (rare), Loc. 30 (common), Loc. 31 (common), Loc. 32 (abundant) and Loc. 33 (common) of the Chinkope formation.

Acila (Truncacila) nakazimai Otuka, 1939

Acila (Truncacila) nakazimai Otuka, 1939, p. 24, pl. 2, figs. 11, 12; Nagao and Huzioka, 1941, p. 126, pl. 29, figs. 5-9.

Remarks :—According to the original author this species is characterized by "its rather large, moderately thick, elongate-oval shell outline", "vertically arranged three middle adductor scars on the inner surface of both valves", and "a weak long narrow S-shaped ridge runs from umbone to slightly upper center of inner surface" of the left valve. These characteristic features are observed in the specimens at hand.

Geologic distribution :--Pliocene.

Occurrence:—Loc. 6 (common) and Loc. 7 (common) of the Nakanokawa formation; Loc. 21 (common), Loc. 22 (common), Loc. 30 (common) and Loc. 33 (common) of the Chinkope formation.

Family Nuculanidae

Genus Yoldia Möller, 1842

Type-species (Subsequent designation by Gardner, 1916): Nucula arctica Möller non Gray, Recent, Greenland.
Subgenus Cnesterium Dall, 1898

Type-species : Yoldia scissurata Dall, 1897. Recent, St. Paul, Kodiak Island, Alaska.

Yoldia (Cnesterium) johanni Dall, 1925

Yoldia (Cnesterium) johanni Dall, 1925, p. 32, pl. 29, fig. 7; Habe, 1951, p. 26, fig. 27; Kira, 1959, p. 108, pl. 41, fig. 13.

Yoldia johanni, Kuroda, 1929, vol. 1, no. 4, Appendix p. 12, no. 42, fig. 16; Nomura, 1935b, p. 104, pl. 5, fig. 3.

Yoldia cf. johhani, Yokoyama, 1932, p. 16, pl. 3, fig. 1.

Yoldia cooperi ochotoensis Otuka, 1934, p. 609, pl. 47, figs. 17, 18 (not of Khomenko, 1930).

Cnesterium johanni, Habe, 1955, p. 2, pl. 2, fig. 9; Habe, 1958a, p. 251, pl. 7, fig. 4; Yamamoto and Habe, 1958, p. 3, pl. 2, fig. 5, pl. 4, fig. 1.

Dimensions	(in mr	n) :Specimen	Length	Height	Depth	Valve
		no. 2905–8a	11.0	8.2		right
		no. 2905–8b	21.0	11.5		right

Remarks :--- The present species has the posterior end slightly rostrate and recurved and the basal margin evenly arcuate. It is characterized by its middle part of shellsurface which is covered by striae oblique to the growth lines. This species is closely allied to Yoldia (Cnesterium) keppeliana notabilis Yokoyama (Otuka, 1936), but the latter has a shell with narrowed posterior end which is turned, whereas the former has a broad posterior which is not turned upwards. The concentric grooves on the shell surface of the latter reach the anterior margin.

Geologic and geographic distribution:-Pliocene to Recent (Japan). Japan Sea, Okhotsk Sea and northern Japan.

Occcurence :-- Loc. 2 (common), Loc. 4 (rare), Loc. 6 (abundant), Loc. 7 (rare) and Loc. 8 (rare) of the Nakanokawa formation; Loc. 17 (rare) of the Chinkope formation.

Family Arcidae

Genus Arca Linnaeus, 1758

Type-species: Arca noae Linné, 1758. Recent, Mediterranean Sea.

Arca boucardi Jousseaum, 1894

Pl. 6, figs. 3-4.

Arca boucardi Josseaum, 1894, The Humming Bird, 4, fig. 14 (fide Yamamoto and Habe, 1958); Kanehara, 1942a, p. 130, pl. 3, figs. 9a-b; Taki in Hirase, 1951, pl. 2, fig. 1; Yamamoto and Habe, 1958, p. 4, pl. 4, fig. 6; Habe, 1960, p. 2, pl. 5, fig. 12.

Arca kobeltiana Pilsbry, 1904, p. 559, pl. 40, figs. 16-19.

Arca rectangularis Tokunaga, 1906, p. 61, pl. 3, figs. 23a-b.

Dimensions (in mm) :—Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 10–7a	30.5	15.5	8.0	right

Remarks:—The present species is chracterized by having an ark shape, the radial ribs which are bifurcate near the beak on the posterior area, and the flat and wide ligamental area between the umbones, the prominent chevron-shape ligamental grooves. The dorsal hinge line is straight and bear many small teeth.

Geologic and geographic distribution :--Pliocene to Recent. Formosa to Hok-

63

(63)

kaido, common in northern Japan.

Occurrence:—Loc. 2 (abundant) and Loc. 4 (rare) of the Nakanokawa formation; Loc. 17 (common) and Loc. 29 (rare) of the Chinkope formation.

Genus *Pseudogrammatodon* Arkell, 1930

Type-species: Arca adversidentata Deshayes, 1860. Recent, Chaussy.

Peudogrammatodon dalli (Smith), 1885

Parallelodon obliquatus, Yokoyama, 1920, p. 170, pl. 18, figs. 9–11 (not pl. 17, fig. 6); Yokoyama, 1922, p. 191.

Pseudogrammatodon dalli, Nomura and Hatai, 1935*a*, p. 4, pl. 2, figs. 14a-b; Nomura and Hatai, 1936*a*, p. 119, pl. 13, fig. 9; Habe, 1951, p. 34, fig. 50; Yamamoto and Habe, 1958, p. 2, pl. 2, fig. 13.

Pseudogrammatodon dalli obliquata, Kanehara, 1942a, p. 120, pl. 3, figs. 2a-b.

Dimensions (in	mm):Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 2804–11a	29.5	15.5	5.5	right
	no. 2804-11b	28.0	14.5	5.5	left

Remarks :—The shell is transversely and longly ovate with the narrower end directed anteriorly, strongly inequilateral, with the posterior side three times as long as the anterior. Surface somewhat depressed in the middle, radiately ribbed, the ligamental area is narrow; dentition consists generally of three subhorizontal, parallel, transversely striated teeth in the posterior portion and two in the anterior, with a few crenular teeth behind the anterior horizontal ones. The middle of the three posterior teeth is longest and the lower one the shortest.

Geologic and geographic distribution :---Miocene to Recent. Northern and Central Japan.

Occurrence :--- Loc. 6 (abundant) of the Nakanokawa formation.

Family Glycymeridae

Genus Glycymeris Da Costa, 1778

Type-species: Glycymeris orbicularis Da Costa, 1778=Arca glycymeris Linné, 1758. Recent, England.

Subgenus Glycymeris s.s.

Glycymeris (Glycymeris) yessoensis (Sowerby), 1886

Pl. 4, figs. 12–13.

Pectunculus yessoensis, Yokoyama, 1920, p. 168, pl. 18, figs. 1, 2; Yokoyama, 1922, p. 189, pl. 16, figs. 6, 7; Yokoyama, 1925a, p. 20, pl. 4, fig. 4.

Pectunculus rotundus, Yokoyama, 1920, p. 167, pl. 17, figs. 10, 11 (non Dunker, 1882).

Glycymeris yessoensis, Kuroda, vol. 1, no. 6, Appendix p. 20; Makiyama, 1930, p. 192, text-figs. 1–9; Kuroda, 1933, p. 51, text-fig. 31; Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 12, pl. 9, fig. 63; Nomura and Hatai, 1935c, p. 93, pl. 9, fig. 14; Nomura and Hatai, 1936a, p. 118, pl. 13, fig. 8; Habe, 1951, p. 41, figs. 65, 66; Habe, 1955, p. 3, pl. 2, figs. 1, 2; Taki and Oyama, 1957, pl. 19, figs. 1, 2, pl. 36, figs. 6, 7; Habe, 1958a, p. 256, pl. 12, fig. 16; Iwai, 1959, p. 55, pl. 2, figs. 5a-b; Kira, 1959, p. 113, pl. 44, fig. 10; Habe, 1960, p. 3, pl. 1, figs. 6, 7.

Glycymeris (Glycymeris) yessoensis, Ozaki, 1958, p. 113, pl. 23, fig. 6; Okada and Taki, p. 91, pl. 46, fig. 2.

Dimensions (in	mm):Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 36–4a	52.8	49.6	13.0	right
	no. 36–4b	52.7	50.0	12,2	left
	no. 36–4c	52.2	47.8	12.3	right
	no. 36–4d	53.0	47.0	13.0	left

Remarks:—The present specimens are common along the coast of Northern Japan. This species is characteristic in the rather flattened valve with regular and distinct radial ribs and the characteristic cheveron shaped sculptures in the ligamental area. There are two types of shell outline, some of them are the rounded and equilateral, but others are not and unequilateral being a little longer along the postero-dorsal margin than the antero-dorsal one, and most of them are of the former. Several specimens of the latter from Loc. 1 of the Soibetsugawa formation have more elongated shell outline than the specimens from other regions.

Geologic and geographic distribution :---Upper Miocene to Recent. Northern and Central Honshu.

Occurrence:—Loc. 1 (abundant) of the Soibetsugawa formation; Loc. 2 (common), Loc. 4 (abundant), Loc. 5 (common) and Loc. 6 (common) of the Nakano-kawa formation.

Family Limopsidae

Genus *Limopsis* Sassi, 1827

Type:species: Arca aurita Brocchi.

Limopsis tokaiensis Yokoyama, 1910

Pl. 6, figs. 7-8.

Limopsis tokaiensis Yokoyama, 1910, p. 1, pl. 9, figs. 1, 3, 5–7; Yokoyama, 1920, p. 172, pl. 18, figs. 14–16; Yokoyama, 1926, p. 307; Makiyama, 1927, p. 28; Habe, 1951, p. 44; Ozaki, 1958, p. 111, pl. 11, fig. 6; Iwai. 1959, p. 55, pl. 2, figs. 8a–b, 9a–b.

Dimensions (in	mm) :Specimen	Length	Height	Deptn	Valve
	no. M13–1a	22,0	23,0	6.0	right
	no. 96–3b	16.0	15.9	4.0	left
	no. 96–3c	15.0	13.0	4.0	left
	no. 96–3d	13.0	12.0	3.2	right
	no. 96–3g	6.5	6.0	1.5	left

Remarks:—This species is distinguishable from the allied ones by the strongly unequilateral, oblique, ovate to oblong, compressed and somewhat elongate form of the shell. It is also characterized by its ligamental pit, which is very broadly triangular with the breadth thrice the height, and is simply bounded by two shallow grooves on both sides of the triangle. *Limopsis pelagica* Smith (Nomura and Hatai, 1935) is similar, but differs in having a more prominent beak, less oblique shell and conspicuous posterior wing.

Geologic and geographic distribution :—Pliocent Cnetral Japan and northwards.

Occurrence:-Loc. 7 (abundant) of the Nakanokawa formation; Loc. 20 (common), Loc. 22 (common) and Loc. 23 (abundant) of the Chinkope formation.

Family Mytilidae

Genus Modiolus Lamarck, 1799

Type-species (Subsequent designation by Gray, 1847): Mytilus modiolus Linné, 1758. Recent, European Seas.

Modiolus difficilis (Kuroda and Habe), 1950

Modiola modiolus, Yokoyama, 1920, p. 145, pl. 11, fig. 21 (non Linnaeus, 1758); Yokoyama, 1925a, p. 15, pl. 2, fig. 2.

Volsella modiolus, Kinoshita and Isahaya, 1934, pl. 10, fig. 71.

Volsella difficilis Kuroda and Habe, 1950, pl. 30; Taki in Hirase, 1951, pl. 18, fig. 9; Habe, 1955, p. 4, pl. 4, figs. 1, 2.

Volsella (Volsella) difficilis, Habe, 1951, p. 50; Taki and Oyama, 1954, pl. 12, fig. 21.

Modiolus difficilis, Kira, 1959, p. 116, pl. 45, fig. 21; Habe, 1960, p. 3, pl. 1, fig. 11, pl. 5, fig. 5. Modiolus (Modiolus) difficilis, Okada and Taki, 1960, p. 87, pl. 44, fig. 1.

Remarks:—The present species is characterized by its thick shell, anteriorly situated beak. the parallel sides in the posterior portion and straight ventral margin. The present one resembles *Modiolus nitidus* (Reeve) (Okada and Taki, 1960), but is distinguishable by having a thick shell and straight ventral margin.

Geologic and geographic distribution :---Miocene to Recent. Northern Honshu, Hokkaido, Saghalien and the Kuriles.

Occurrence:-Loc. 33 (rare) of the Chinkope formation.

Genus *Mytilus* Linnaeus, 1758

Type-species (Subsequently designated by Anton, 1839): *Mytilus edulis* Linnaeus, 1758. Recent, Cosmopolitan.

Mytilus grayanus Dunker, 1853

Pl. 2, fig. 22.

Mytilus grayanus Dunker, 1853, p. 84; Lischke, 1871, pl. 145; Dunker, 1882, p. 221; Clessin in Martini u. Chemnitz, 1890, vol. 8, pt. 3, p. 68, pl. 7, figs. 1, 2; Yokoyama, 1925c, p. 25, pl. 2, fig. 10; Yokoyama, 1925a, p. 15, pl. 2, fig. 1; Yokoyama, 1926a, p. 135, pl. 20, fig. 1; Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 13, pl. 9, fig. 68; Nomura and Hatai, 1935c, p. 109; Taki in Hirase, 1951, pl. 17, fig. 4; Kira, 1959, p. 116, pl.45, fig. 22; Okada and Taki, 1960, p. 90, pl. 45, fig. 1. Mytilus giganteus, Yokoyama, 1920, p. 145, pl. 11, fig. 20.

Mytilus (Crenomytilus) grayanus, Habe, 1960, p. 4, pl. 1, figs. 14, 15.

Dimensions	(in	<i>mm</i>) :—Specimen	Length	Height	Depth	Valve
		no. 36–3a	82,5	ca. 148.5	29.0	left

Remarks:—The present species is characterized by the heavy, thick shell, the acute and prosogyrate beak and arcuate a anterior dorsal margin. It is similar to *Mytilus corscus* Gould (Okada and Taki, 1960), but differs by the acute and prosogyrate beak and the arcuate dorsal margin. The ligamental area of *grayanus* is broader than *corscus*.

Geologic and geographic distribution :---Miocene to Recent. Northern Japan, Saghalien, Philippines.

Occurrence:--Loc. 1 (abundant) of the Soibetsugawa formation; Loc. 2 (common) and Loc. 8 (rare) of the Nakanokawa formation.

Family Pectinidae

Subfamily Propeamussiinae

Genus **Polynemanussium** Habe, 1951

Type-species: Pecten intuscostatus Yokoyama, 1920. Pleistocene Miyata formation of Kanagawa Prefecture.

Polynemamussium alaskense (Dall), 1872

Pecten (Pseudoamussium?) alaskensis Dall, 1872, p. 155, pl. 16, fig. 4.

Pecten alaskensis, Küster and Kobelt in Martini und Chemnitz, vol. 7, pt. 2, p. 245, pl. 64, figs. 7, 8.

Pecten (Propeamussium) alaskensis, Arnold, 1906, p. 133, pl. 53, figs. 2, 2a; Oldroyd, 1924, p. 63, pl. 12, fig. 3.

Propeamussium alaskense, Dall, 1921, p. 20, pl. 1, fig. 2; Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 14, pl. 11, fig. 78.

Pecten (Pseudoamussium) intuscostatus, Nomura and Hatai, 1935c, p. 104, pl. 11, figs. 9, 10 (non Yokoyama, 1920).

Polynemamussium alaskense, Itoigawa, 1958, pl. 1, fig. 3.

Remarks:—This species is characterized by the thin, fragile, compressed shell with regularly densely lamellated, fine concentric growth lines, and auricles with distinct byssal notch in the right valve, and by the left valve having slightly inflated, finely scaled radial threads, finely scaled, fine intercalary threads and concentric growth lines. It is allied to *Pecten (Propeamussium) riversi* Arnold (1906), but it differs from the latter by its right valve with less developed internal ribs and the left valve having more prominently imbricated radial ribs.

Geologic and geographic distribution:—Pliocene to Recent. Pacific side of Japan, Japan Sea and Bering Sea to Panama Bay.

Occurrence :—Loc. 4 (few) of the Nakanokawa formation; Loc. 17 (rare) and Loc. 39 (common) of the Chinkope formation.

Subfamily Pectininae

Genus Chlamys (Bolten) Röding, 1798

Type-species (Subsequent designation by Herrmannsen, 1846): Pecten islandicus Müller, 1776. Recent, Iceland.

Chlamys arakawai (Nomura), 1935

Pl. 6, fig. 20.

Pecten islandicus, Matsumoto, 1930, p. 104, pl. 40, fig. 9 (non Müller, 1776). Pecten (Pecten) arakawai Nomura, 1935c. p. 41, pl. 4, figs. 1, 2. Pecten (Chlamys) arakawai, Nomura, 1940, p. 17, pl. 2, figs. 1-3. Coralichlamys shigemai Hirayama, 1954, p. 51, pl. 3, fig. 2. Chlamys arakawai, Masuda, 1954, p. 150, pl. 19, figs. 1-6. Dimensions (in mm):—Specimen Length Height Depth Valve

no. 74-3a

Remarks:—The present species is characterized by having moderately inflated shell which is higher than long, with about 28 imbricated, flatly round-topped radial ribs nearly equal to their interspaces in breadth and fine intercalary threads, and

44.2

54.2

6.0

left

(67)

67

by the auricle being larger and longer anteriorly than the posterior. It resembles *Chlamys ingeniosa* (Yokoyama) (1929), but it can be distinguished by the larger number of radial ribs and broader interspaces.

Geologic distribution :---Early to Middle Miocene.

Occurrence :-- Loc. 40 (rare) of the Kunnui formation.

Chlamys chinkopensis Masuda and Sawada, 1961

Pl. 4, figs. 3–4.

Chlamys chinkopensis Masuda and Sawada, 1961, p. 21, pl. 4, figs. 6, 7.

Dimensions	(in	mm):-Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	•	no. 42–3a	65.9	72.5	14.9	right

Remarks:---Many well preserved specimens are in the collection.

Geologic and geographic distribution :---Pliocene to Recent. Off Paramushiro Island, Kurile Islands.

Occurrence :-- Loc. 37 (abundant) and Loc. 38 (common) of the Chinkope formation.

Chlamy cosibensis (Yokoyama), 1911

Pl. 6, fig. 24.

Pecten cosibensis Yokoyama, 1911, p. 4, pl. 1, figs. 3, 4; Yokoyama, 1920, p. 156, pl. 13, figs. 7, 8; Yokoyama, 1923, p. 7, pl. 1, fig. 5.

Pecten tigerrinus, Yokoyama, 1911, p. 3, pl. 1, figs. 11, 12 (non Müller, 1776); Yokoyama, 1920, p. 153, pl. 14, figs. 5, 6 (non Müller, 1776).

Pecten swiftii Yokoyama, 1920, p. 154, pl. 14, fig. 11 (non Bernardi, 1858).

Pecten heteroglyptus var. cosibensis, Yokoyama, 1926b. p. 304, pl. 33, figs. 6, 7.

Chlamys cosibensis, Kuroda and Honma, 1930, p. 36, pl. 3, fig. 12.

Chlamys swiftii etchegoini, Otuka, 1935b, p. 886, pl. 55, fig. 140 (non Anderson, 1905).

Pecten (Pallium) cosibensis, Nomura and Hatai, 1935c, p. 97, pl. 12, figs. 5-9, pl. 13, figs. 4-7.

Pecten (Pallium) heteroglyptus, Nomura and Hatai, 1935c, p. 99, pl. 11, fig. 7 (non Yokoyama, 1926).

Chlamys islandica var. *swiftii* form *etchegoini*, Kubota, 1950, p. 15, pl. 8, fig. 54, pl. 9, fig. 68, (non Anderson, 1905).

Chlamys cosibensis cosibensis, Masuda, 1959b, p. 122, pl. 13, figs. 1-9.

Dimensions (in mm):Specimen	Length	Height	Depth	Valve
no. 66–1a	39.6	42.7	1.8	right
no. 66–1b	55.0	56.3	—	left

Remarks:—This species is allied to *Chlamys swiftii* (Bernardi) Schrenck, 1867), but is distinguishable by its posteriorly contorted shell which is much higher than long, smaller apical angle, triangular anterior auricle, hinge with rather simple cardinal crura and rather flat hinge plate.

Geologic distribution :---Middle Miocene to Pliocene.

Occurrence:-Loc. 9 (common) and Loc. 16 (common) of the Nakanokawa formation; Loc. 21 (few) and Loc. 39 (common) of the Chinkope formation.

Chlamys daishakaensis Masuda and Sawada, 1961

Pl. 1, fig. 1, Pl. 4, fig. 11.

Pecten (Pecten) iwakianus, Nomura and Hatai, 1935c, p. 102, pl. 12, fig. 3, pl. 13, fig. 8 (non

Yokoyama, 1925).

Chlamys (Chlamys) iwakiana, Kanehara, 1942b, p. 137, pl. 15, fig. 5, pl. 16, fig. 6 (non Yokoyama, 1925).

Chlamys hastatus iwakiana, Kubota, 1950, p. 14, pl. 8, fig. 52, pl. 9, fig. 64 (non Yokoyama, 1925).

Chlamys iwakiana, Itoigawa, 1958, pl. 1, fig. 12 (non Yokoyama, 1925). Chlamys daishakaensis Masuda and Sawada, 1961, p. 23, pl. 4, figs. 8, 9.

Dimensions (in	mm):Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 7–1b	91.0	99.5	21.1	right
	no. 7–1c	78.9	88.1	20.0	right
	no. 38–5a	31.3	36.0	5.5	right
	no. 38–5b	63,4	71.1	15.5	left
	no. 66–2a	102.0	119.9	_	right

Remarks :—Abundant well preserved specimens were collected from several localities in the present area. The present species is characterized by having ratner thick, subequilateral shell with about 24, elevated, prominent, imbricated radial ribs which are accompanied with fine radial threads, narrow anterior auricle which is much larger and longer than the posterior and very deep byssal notch in the right valve, and with the very similarly sculptured left valve.

Geologic distribution :- Late Miocene to Pliocene.

Occurrence :---Loc. 2 (abundant), Loc. 3 (abundant), Loc. 6 (common), Loc. 7 (common), Ioc. 9 (abundant), Loc. 14 (abundant) and Loc. 16 (abundant) of the Nakanokawa formation; Loc. 26 (common), Loc. 27 (few) and Loc. 39 (few) of the Chinkope formation.

Chlamys islandica erythrocomata (Dall), 1907

Pl. 4, figs. 8.

Pecten (Chlamys) erythrocomatus Dall, 1907, p. 170.

Chlamys erythrocomata, Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 14, pl. 11, fig. 75.

Chlamys islandica, Kubota, 1950, p. 96, pl. 8, fig. 53, pl. 9, fig. 65 (non Müller, 1776).

Chlamys islandica var. pilikaensis Kubota, 1950, p. 97, pl. 8, fig. 56, pl. 9, figs. 67-71.

Chlamys (Chlamys) islandica erythrocomata, Habe, 1951, p. 73, figs. 140, 141.

Chlamys islandica erythrocomata, Kira, 1955, p. 124, pl. 49, fig. 13; Oyama, 1958, *Chlamys* (5), figs. 4, 5.

Dimensions (in	(<i>mm</i>):—Specimen	Length	Height	Width or Depth	Valve
	no. 42–1a	73.9	81.5	16.9	right
	no. 42–1b	68.3	72.1	9.0	left
	no. 42-1c	75.1	78.0	26.4	intact
	no. 42–2a	75.2	80.0	15.0	right
	no. 42–2b	74.3	77.4	12.2	left
	no ` 25–1a	78.2	82.2	18.9	right

Remarks :---*Chlamys islandica* var. *pilikaensis* described by Kubota from the present area in 1950, and characterized by its irregular radial ribs gathered into several fascicular bundles may be referred to the present species. According to Dall (1907, p. 170), the present species differs from *islandica* in the following details. "From *islandica* its radii are smaller, keeled and minutely spinose instead of smooth and flat on top and laterally rounded; the minor reticular sculpture is

more oblique and rough, the channels between the radii relatively wider; the radii themselves are gathered obscurely into fascicular bundles, which as a whole are rasied like wide obsolete ribs". *Chlamys cosibensis* (Yokoyama) (1911) is an allied species of the present one, but is distinguishable from the latter by the larger shell, more radial ribs, and much less distinct concentric constrictions.

Geologic and geographic distribution :---Pliocene to Recent. North Pacific, Bering Sea and Okhotsk Sea.

Occurrence:—Loc. 11 (few), Loc. 12 (abundant), Loc. 15 (common), Loc. 16 (few) and Loc. 20 (common) of the Nakanokawa formation; Loc. 18 (rare), Loc. 28 (rare), Loc. 35 (rare), Loc. 36 (rare), Loc. 37 (abundant) and Loc. 38 (common) of the Chinkope formation.

Chlamys kumanodoensis Masuda, 1953

Pl. 1, fig. 12, Pl. 6, figs. 21-23

Chlamys kumanodoensis Masuda, 1953, p. 85, pl. 8, figs. 9-11

Dimensions (in	<i>mm</i>) :Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 74–4a	47.5	50.1	9.0	right
	no. 74–4b	28.1	32.0	4.8	right
	no. 74–4c.	28.0	30.5	5.0	left

Remarks:—The present species is characterized by the moderately thick and convex shell with about 50 smooth radial ribs which are much broader than their interspaces, rarely divide into two or three riblets, and faint, fine, concentric growth lines, undulations by the rest of growth, and auricle much longer anteriorly than posterior, furnished with deep byssal notch. It resembles *Chlamys cosibensis heteroglypta* (Yokoyama) (1926), but it is distinguishable from the latter by its many and rather smooth and flated radial ribs.

Geologic distribution :- Early Miocene.

Occurrence :-- Loc. 40 (abundant) and Loc 41 (abundant) of the Kunnui formation.

Chlamys nipponensis Kuroda, 1932

Pl. 1, figs. 8-9.

Pecten laetus, Lischke, 1869, p. 169, pl. 12, figs. 6, 7 (non Gould, 1861); Küster and Kobelt in Martini und Chemnitz, vol. 7, p. 134, pl. 37, figs. 4, 5 (non Gould, 1861); Yoshiwara, 1902, p. 143, pl. 2, figs. 4a-b (non Gould, 1861); Tokunaga, 1906, p. 65, pl. 4, fig. 2 (non Gould, 1861); Yokoyama, 1920, p. 152, pl. 14, figs. 1, 2 (non Gould, 1861).

Chlamys farreri nipponensis Kuroda, 1932, vol. 3, no. 2, Append., p. 91; Kuroda, 1933, p. 55, fig. 37; Habe, 1960, pl. 5, figs. 16, 17.

Chlamys farreri akazara Kuroda, 1932, vol. 3, no. 2, p. 92, fig. 105.

no. 36-9b

Chlamys nippoenesis, Taki in Hirase, 1951, pl. 13, fig. 4; Kira, 1955, p. 99, pl. 49, fig. 11; Oyama, 1957, *Chlamys* (2), figs. 3, 4, *Chlamys* (3), figs. 2, 4–6.

Valve

right

left

Chlamys nippoensis akazara, Oyama, 1957, Chlamys (2), figs. 5, 6, Chlamys (3), fig. 3. Chlamys (Chlamys) nipponensis, Ozaki, 1958, p. 115, pl. 20, fig. 2.

Dimensions (in mm):--Specimen Length Height Depth no. 36-9a -- 36.8 6.0

4.25

Remarks :---The present one is closely related to *Chlamys farreri* (Jones and Preston) (Kuroda, 1932), but it can be distinguished from *nipponensis* by its very unequal radial ribs which are more prominently scaled in the right valve. *Chlamys iwakiana* (Yokoyama) (1925) is a closely allied species, but the present one differs from *iwakiana* by its less inflated right valve, larger number of somewhat unequal radial ribs which bi- or tri-furcated.

Geologic and geographic distribution :---Late Pliocene to Recent. Pacific and Japan Sea.

Occurrence :-- Loc. 1 (common) of the Soibetsugawa formation.

Chlamys osugii Kubota, 1950

Pl. 1, fig. 4, Pl. 3, fig. 6.

Chlamys islandica var. osugii Kubota, 1950, p. 16, pl. 8, fig. 57.

Dimensions (in	mm) :—Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 66–4a	71.0	63.5	ca. 7.0	right
	no. 66–4b	57.5	53.0	7.0	right
	no. 66–4c	50.5	47.0	7.5	left
	no. 66–4d	74.0	69.0		left

Remarks:—*Chlamys chinkopensis* Masuda and Sawada (1961) is closely allied to the present species, but it differs from the present one by its fewer number of radial ribs which usually divide into two parts. Some of the present specimens show subequilateral shape and radial ribs compared with Kubota's type specimen.

Geologic distribution :--Pliocene.

Occurrence :-- Loc. 16 (abundant) of the Nakanokawa formation.

Chlamys otukae Masuda and Sawada, 1961

Pl. 1, figs. 6–7.

Chlamys sp., Otuka, 1935b, p. 887, pl. 55, fig. 142.

? Patinopecten sp., Hirayama, 1954, p. 55, pl. 3, fig. 6.

Chlamys cf. hataii Masuda and Akutsu, 1956, p. 131, pl. 20, figs. 7-9.

Chlamys otukae Masuda and Sawada, 1961, p. 19, pl. 4, figs. 1-5.

Dimensions	(in	mm) :Specimen	Length	Height	Depth	Valve
		no, 73–1c	42.0	44.1	8.0	right
		no, 73–1d	41.7	43.0	6.8	right

Remarks:—The present species closely resembles *Chlamys kumanodoensis* Masuda (1953), but it can be distinguished from the latter by its more elevated, flatly round-topped and fewer number of radial ribs of the valve.

Geologic distribution :- Early to Middle Miocene.

Occurrence :-- Loc. 40 (common) of the Kunnui formation.

Chlamys tamurae Masuda and Sawada, 1961

Pl. 1, fig. 2, Pl. 4, fig. 18.

Chlamys tamurae Masuda and Sawada, 1961, p. 27, pl. 4, figs. 12-15.

Dimensions (in mm):-Specimen	Length	Height	Depth	Valve
no. 96–1a		35.5	4.9	right
no. 96–1b	28.4	36.0	5.1	right

71

Dimensions	(in mm) :Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 96-1c	·		5.5	right
	no. 96-1c	ca. 33.5		ca. 3.5	right

Remarks:—The present species is similar to *Chlamys opuntia* (Dall) (1898), but it is distinguishable from the latter by the undivided radial ribs which are narrower than the interspaces and folded surface. *Chlamys mollita* (Reeve) (1853) is an allied species of the present one, but it differs from the latter by its suborbicular and equilateral shell, larger apical and angle and unfolded surface.

Geologic distribution :---Pliocene.

Occurrence :---Known only from the type locality (Loc. 23, abundant) of the Chinkope formation.

Genus Placopecten Verrill, 1897

Type-species: *Pecten clintonius* Say, 1824. Miocene Yorktown formation of St. Marys, Maryland, U.S.A.

Placopecten setanaensis (Kubota), 1950

Pl. 1, figs. 25–26.

Pecten (Placopecten) setanaensis Kubota, 1950, p. 184, pl. 7, figs. 1-4; Kubota, 1950, p. 96, pl. 9, fig. 63.

Dimensions (in	mm) :Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 74–5a	81.5	84.0		left
	no. 74–5b		68.7	6.0	right
	no. 74–5c	54.0	54.0		right

Remarks:—Abundant well preserved specimens were collected from the arkose medium-grained sandstone of the Kunnui formation. This species is characteristic and known only from the present locality. The present species closely resembles *Placopecten protomollitus* (Nomura, 1935), but the former differs from the present one by having larger shells with imbricated intercalarly threads in the right valve, and finely imbricated radial ribs and intercalary threads in the left valve.

Geologic distribution :- Early Miocene.

Occurrence :-- Loc. 40 (abundant) and Loc. 41 (abundant) of the Kunnui formation.

Placopecten wakuyaensis Masuda, 1956

Pl. 1, fig. 10.

Placopecten wakuyaensis Masuda, 1956, p. 23, pl. 3. figs. 1-4.

Dimensions (in mm):Specimen	Length	Height	Depth	Valve
no. 74–2b	ca. 81.0	ca. 83.0	ca. 9.1	right
no. 74–2c	ca. 30.5		ca. 3.7	left

Remarks:—Several large slightly swollen and fractured valves, and young small valves are at hand. The present species is characterized by the moderately thick, compressed and oribicular shell with about 22, faint, very low, round-topped radial ribs which are much broader than their interspaces and obsolete towards ventral margin, apical angle of about 100° and a little larger anterior auricle furnished with

wide and shallow byssal notch.

Geologic distribution :- Early Miocene.

Occurrence :-- Loc. 40 (common) of the Kunnui formation.

Genus Swiftopecten Hertlein, 1935

Type-species: Pecten swiftii Bernardi, 1858, Recent, Northern Japan.

Swiftopecten swiftii (Bernardi), 1858

Pl. 1, fig. 3, Pl. 2, fig. 3, Pl. 3, fig. 4.

Pecten swiftii, Schrenck, 1867, p. 487, pl. 21, figs. 1-3; Kochibe, 1882, p. 75, pl. 5, fig. 2; Küster and Kobelt in Martini und Chemnitz, 1888, vol. 7, pt. 2, p. 142, pl. 40, fig. 3; Yoshiwara, 1902, p. 144, pl. 2, figs. 6a-b; Yokoyama, 1925c, p. 27; Yokoyama, 1926b, p. 303, pl. 37, figs. 5, 6.

Pecten (Pallium) swiftii, Grant and Gale, 1931, p. 171, pl. 10, figs. 5, 6; Nomura and Hatai, 1935c, p. 98, pl. 9, fig. 8, pl. 10, figs. 3, 4, pl. 11, fig. 8, pl. 13, figs. 8.

Chlamys swiftii, Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 14, pl. 10, fig. 74; Taki in Hirase, 1951, pl. 12, fig. 5.

Chlamys islandica var. swiftii, Kubota, 1950, p. 12, pl. 9, figs. 66, 67.

Chlamys swifti, Habe, 1951, p. 74, fig. 150; Habe, 1955, p. 6, pl. 2, fig. 7; Kira, 1955, p. 99, pl. 49, fig. 14.

Chlamys (Swiftopecten) swifti, Habe, 1958, pl. 12, fig. 18; Habe, 1960, p. 4, pl. 1, fig. 16. Chlamys (Swiftopecten) swiftii, Masuda, 1959a, p. 87, pl. 9, figs. 1-7.

Swiftoecten swiftii, Masuda, 1960, p. 380, pl. 39, figs. 9, 10.

Dimensions (in	mm) :—Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 38–1a	75.2	89.0	16.5	right
	no. 38–1b	63.0	72.8	14.5	left
	no. 38-1c	50.1	63.5	10.0	left
	no. 38–1d	14.0	15.8	2.0	right
	no. 7–2a	50.0	61.0	19.0	left
	no. 36–1a	23.2	27.2	3.6	left

Remarks:—Abundant and well preserved specimens are in the collection. The present species is characterized by the rather large and thick shell with apical angle of about 70°, four rather prominent, round-topped radial ribs which are broader than their interspaces, rather distinct fine network on the whole surface of the right valve, and by the left valve having conspicuously nodosed radial ribs. The present one is closely similar to *Swiftopecten swiftii kindlei* (Dall) (1920), but it differs from the latter by the concentric waves.

Geologic and geographic distribution :---Middle Miocene to Recent. Northern Honshu, Hokkaido, Kurile Islands, Saghalien, West coast of Amurland, Mamiya Strait, North-western Korea, Korea Strait, Off Alaska.

Occurrence :--Loc. 1 (abundant) of the Soibetsugawa formation; Loc. 2 (rare), Loc. 3 (common), Loc. 4 (few), Loc. 6 (abundant) and Loc. 8 (common) of the Nakanokawa formation; Loc. 24 (rare), Loc. 25 (few), Loc. 26 (few), Loc. 27 (few), Loc. 28 (few) and Loc. 33 (few) of the Chinkope formation.

Genus Nanaochlamys Hatai and Masuda, 1953

Type-species : Pecten notoensis Yokoyama, 1929. Miocene Nanao formation of Ishikawa Prefecture.

.Nanaochlamys notoenssi (Yokoyama), 1929

Pl. 3, fig. 1.

Pecten notoensis Yokoyama, 1929, p. 4, pl. 3, figs. 1-4, pl. 4, figs. 1, 2, pl. 5, fig. 1.

Pecten natoriensis Matsumoto, 1930, p. 104, pl. 40, figs. 10, 11.

Pecten natoriensis subovalis Matsumoto, 1930, p. 105, pl. 40, fig. 12.

Pecten natoriensis inequilateralis Matsumoto, 1930, p. 105, pl. 40, figs. 13, 14.

Velopecten survivans Matsumoto, 1930, p. 106, pl. 40, figs. 16-18.

Pecten (Pecten) notoensis, Nomura and Zinbo, 1935, p. 161, pl. 15, fig. 27.

Pecten (Chlamys) notoensis, Nomura, 1940, p. 18, pl. 1, figs. 4-7.

Chlamys islandica notoensis, Kubota, 1950, p. 17, pl. 9, fig. 74.

Nanaochlamys notoensis, Hatai and Masuda, 1953, p. 77, pl. 7, figs. 1-7; Masuda, 1960, p. 378, figs. 1-5.

Dimensions	(in	mm) :Specimen	Length	Height	Depth	Valve
		no. 74–6a	80.0	79.5	24.0	right

Remarks:—This species is characterized by having rather large, thick shell which is flat in earlier stage of left valve, forming an angle of about 90° at apex and six, prominent, rounded smooth or finely straited radial ribs which becoming numerous ventrally by bifurcation. The young shell of this species is difficult to distinguish from the one of *Swiftopecten swiftii* (Bernardi) (Masuda, 1960), but it differs from the latter by having larger apical angle, not contorted shell and narrower byssal area.

Geologic distribution :---Early Miocene.

Occurrence:-Loc. 40 (common) of the Kunnui formation.

Genus *Patinopecten* Dall, 1898

Type-species: Pecten caurinus Gould, 1850. Recent, California, U.S.A.

Patinopecten kagamianus (Yokoyama), 1923

Pl. 3, fig. 13.

Pecten kagamianus Yokoyama, 1923a, p. 8, pl. 1, figs. 1a-b; Nomura and Ônisi, 1940, p. 190, pl. 19, fig. 4.

Pecten plicicostulatus Matsumoto, 1930, p. 105, pl. 40, fig. 15.

Pecten (Pecten) kagamianus, Nomura, 1940, p. 16, pl. 2, fig. 15.

Pecten (Lyropecten) kagamianus, Kubota, 1950. p. 14, pl. 9, fig. 62.

Patinopecten kagamianus kagamianus, Masuda, 1958, p. 274, pl. 40, figs. 4, 5.

Dimensions	(in	mm) :Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	,	no. 74–1a	145.5	144.2	15.3	right
		no. 74–1b	32.5	34.0	4.9	left
		no. 74–1c	26.0	28.5	2.9	left
		no. 74–1d	29.5	30.5	4.1	left

Remarks:—The present one is similar to *Patinopecten yamasakii* (Yokoyama) (1925), but the latter has a fewer number of low and rather flat radial ribs which tri- or bifurcate and a few or several intercalary threads in the right varle.

Geologic distribution :---Early Miocene.

Occurrence: Loc. 40 (common) of the Kunnui formation.

Patinopecten tokunagai (Yokoyama), 1911

Pl. 7, fig. 1.

Pecten tokunagai Yokoyama, 1911, p. 4, pl. 1, fig. 2; Yokoyama, 1920, p. 158, pl. 12, fig. 1. Pecten plebejus Yokoyama, 1926b, p. 305, pl. 36, figs. 1, 2.

Dimensions	(in	mm):Specimen	Length	Height	Depth	Valve
		no. 25–3a	ca. 124.1	ca. 123.0	ca. 6.5	left

Remarks :—A slightly swollen and partly fractured left valve is at hand. The present species is characterized by its nearly flat and slightly concaved inwards shell with rather distinct, low, fine radial ribs which are much narrower than the interspaces and distinct in upper part of disc but become obsolete towards ventral margin, and distinct network on the whole surface in the left valve. The present species is closely allied to *Patinopecten yessoensis* (Jay) (1857), but it differs from the latter by the left valve which has distinct, low, very fine radial ribs which tend to become obsolete towards ventral margin and characteristic network on the whole surface.

Geologic distribution :--Pliocene.

Occurrence :---Loc. 4 (common) of the Nakanokawa formation; Loc. 19 (few), Loc. 27 (few) and Loc. 39 (common) of the Chinkope formation.

Patinopecten tokyoensis (Tokunaga), 1906

Pl. 7, fig. 21.

Pecten plica, Brauns, 1881, p. 48, pl. 7, fig. 30 (non Linné, 1761).

Pecten tokyoensis Tokunaga, 1906, p. 65, pl. 5, figs. 1–10; Yokoyama, 1920, p. 158, pl. 14, figs. 7, 8.

Pecten (Patinopecten) tokyoensis, Kuroda, 1933, p. 55, fig. 36; Niino, 1936, p. 359, pl. 3, figs. 1-4, pl. 4, figs. 1-21; Kubota, 1950, p. 13, pl. 8, fig. 51.

Patinopecten (Pecten) tokyoensis, Niino, 1952, pl. 4, figs. 1-4.

Patinopecten (Patinopecten) tokyoensis, Ozaki, 1958, p. 117, pl. 20, fig. 7.

Dimensions (in	mm) :—Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 36–2a	130.1	ca. 135.0	22.0	right
	no. 36–2b		—	ca. 14.5	left
	no. 36–2c	14.8	15.8	1.8	right
	no. 36–2d	10.2	11.3	1.1	left

Remarks :—Abundant well preserved specimens were collected from the fine grained sandstone of the Soibetsugawa formation in the present area. This species is characterized by its large shell with eight to nine round-topped, rather low, broad radial ribs which divide into several unequal riblets and usually tend to become obsolete towards the ventral margin in the right valve, and by the left valve having slightly inflated somewhat curved upwards, rather low, roof-like shaped radial ribs which are narrower than their interspaces.

Geologic distribution :---Late Pliocene to Pleistocene.

Occurrence :--- Loc. 36 (abundant) of the Soibetsugawa formation.

Patinopecten yessoensis (Jay), 1857

Pl. 3, fig. 5, Pl. 7, fig. 10.

Pecten yessoensis Jay, 1857, p. 393, pl. 3, figs. 3, 4, pl. 4, figs. 1, 2; Schrenck, 1867, p. 484, pl. 20, figs. 1-4; Lischke, 1869, p. 165, pl. 10, figs. 3, 4; Küster and Kobelt in Martini und Chemnitz, 1888, vol. 7, pt. 2, p. 139, pl. 38, fig. 7; Yoshiwara, 1902, p. 142, pl. 1, figs. 2a-b; Yokoyama, 1911, p. 2, pl. 1, figs. 13, 14; Yokoyama, 1920, p. 159, pl. 13, figs. 14, 15; Yokoyama, 1931, p. 195, pl. 11, fig. 9; Taki in Hirase, 1951, pl. 14, fig. 1.

Pecten (Patinopecten) yessoensis, Kuroda. 1932, vol. 3, no. 2, Append., p. 99, fig. 110; Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 14, pl. 11, fig. 77; Kubota, 1950, p. 13, pl. 8, fig. 50; Oyama, 1958, Pecten, figs. 3–11.

Pecten (Patinopecten) plebejus, Kubota, 1950, p. 13, pl. 9, fig. 61 (non Yokoyama, 1926).

Patinopecten yessoensis, Habe, 1951, p. 82, fig. 161; Habe, 1955, p. 7, pl. 14, fig. 6; Kira, 1955, p. 99, pl. 49, fig. 16; Habe, 1960, pl. 5, fig. 13.

Dimensions (in	mm):Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 38–2a	26.0	27.1	3.1	right
	no. 38–2b	24.5	26.0	2.8	left
	no. 38–2c	120.0	119.8	24.1	right
	no. 38–2d	130.0	126.0	9.2	left

Remarks:—This species is characterized by its large shell, right valve having usually with 21 to 28, rather low, flatly round-topped, smooth radial ribs which are somewhat broader than their interspaces, and by the left valve having nearly flat or slightly inflated or rarely concaved inward. According to Kinoshita (1937) the number of radial ribs of the right valve from Hokkaido varies from 15 to 32, 21 to 24 being the frequent number, and that of the left valve varies from 13 to 31 and the most frequent number is 20. The number of radial ribs of the present specimens varies from 21 to 28 and 22 to 24 are the frequent number. The present species is a very common scallop in Northern Japan.

Geologic and geographic distribution :--Pliocene to Recent. Pacific and Japan Sea.

Occnrrence :—Loc. 2 (common), Loc. 4 (abundant), Loc. 5 (abundant), Loc. 6 (abundant), Loc. 8 (abundant) and Loc. 9 (few) of the Nakanokawa formation; Loc. 24 (common), Loc. 27 (few), Loc. 33 (abundant) and Loc. 37 (few) of the Chinkope formation.

Family Linidae

Genus *Lima* Bruguieré, 1797

Type-species : Ostrea lima Linné, 1758. Recent, Indo-Pacific.

Subgenus Acesta H. and A. Adams, 1858

Type-species: Ostrea excavata Fabricius, 1779. Recent, Norwegen.

Lima (*Acesta*) *goliath* Sowerby, 1883

Lima goliath Sowerby, 1883, p. 30, pl. 7, fig. 3; Yokoyama, 1920, p. 147, pl. 16, figs. 7, 8; Yokoyama, 1925c, p. 26, pl. 2, figs. 1, 4; Yokoyama, 1927b, p. 188, pl. 50, fig. 1; Taki in Hirase, 1951, pl. 16, fig. 4; Habe 1951, p. 88, figs. 176, 177.

Lima (Acesta) goliath, Oyama, 1943, p. 39, pl. 3, figs. 1a-b, pl. 14, fig. 8.

Lima (Acesta) goliath yagenensis, Ozaki, 1958, p. 117, pl. 12, fig. 6 (non Otuka, 1939).

Acesta goliath, Yamamoto and Habe, 1958, p. 16, pl. 3, figs. 13, 14, pl. 4, fig. 16; Kira, 1960, p. 129, pl. 52, fig. 10; Habe, 1960, p. 4, pl. 5, fig. 9.

Remarks :—A swollen and fractured right valve of which dimensions are unknown is in the collection. The present species is characterized by its somewhat obliquely ovate and rather flattened shell with straight antero-dorsal margin, broadly rounded postero-dorsal one and anteriorly situated umbo with 104° umbonal angle, and the deeply excavated cardinal area.

Geologic and geographic distribution :- Early Miocene to Recent. Northern and Central Honshu.

Occurrence:—Loc. 11 (rare), Loc. 14 (rare) and Loc. 16 (rare) of the Nakanokawa formation; Loc. 26 (rare) and Loc. 35 (few) of the Chinkope formation.

Family Anomiidae

Cenus Monia Gray, 1850

Type-species (Subsequent designation by Kobelt, 1881): Anomia zealandica Gray, 1843. Recent, New Zealand.

Monia macroschisma (Dashayes), 1839

Pl. 6, figs. 1–2.

Anomia macroschisma, Philippi, 1850, p. 132, pl. 1, fig. 4.

Placunanomia macroschisma, Reeve, 1859, vol. 11, pl. 2, fig. 7.

Placunanomia alope, Reeve, 1859, vol. 11, pl. 3, figs. 11a-b.

Placunanomia cepio, Reeve, 1859, vol. 11, pl. 3, figs. 12a-b.

Placunanomia macroschisma, Fischer, 1887, p. 932, pl. 16, fig. 4.

Monia macroschisma, Arnold, 1909, p. 75, pl. 14, fig. 1; Arnold and Anderson, 1910, p. 110, pl. 36, fig. 1.

Pododesmus macroschisma, Oldroyd, 1924, p. 65, pl. 26, figs. 1a-b; Grand and Gale, 1931, p. 241, pl. 12, figs. 3, 4a-b; Nomura, 1935c, p. 48; Nomura and Hatai, 1935c, p. 109, pl. 9, figs. 2, 3. *Anomia densicostulata* Yokoyama, 1925*a*, p. 16, pl. 2, fig. 3.

Placunanomia ingens Yokoyama, 1925a, p. 16, pl. 4, fig. 1.

Placunanomia macroschisma, Yokoyama, 1926b, p. 301, pl. 35, figs. 7, 8.

Pododesmus (Monia) macroschisma, Kuroda in Honma, 1931, p. 40, pl. 3, fig. 16, pl. 4, fig. 18; Kuroda, 1932, vol. 3, no. 4, Append., p. 121, figs. 134, 135: Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 13, pl. 9, fig. 66; Nomura and Hatai, 1937, p. 131, pl.19, figs. 7, 8.

Monia macrochisma, Habe, 1951, p. 90: Habe, 1955, p. 8, pl. 7, figs. 16, 17; Habe, 1958a, p. 271, pl. 12, fig. 20; Kira, 1959, p. 118, pl. 46, fig. 9; Okada and Taki, 1960, p. 75, pl. 38, fig. 6; Habe, 1960, p. 5, pl. 3, figs. 15, 16.

Dimensions (i	in mm):S	pecimen	Length	Height	Width or Depth	Valve
	n	io. 36–6a	58.0	57.5	13.0	right
	n	o. 36–6b	57.5	56.7	10.5	left
	n	io. 25–2	63.0	62.5	25.0	intact

Remarks:—Several well preserved intact and isolated valves were collected from several localities in the present area. This is a well-known cold water form and fossils are also not rare in the Tertiary deposits of Northeast Honshu and Hokkaido. *Anomia chinensis* Philippi (1850) is closely allied to the present one, but differs from the latter by having two muscle scars and one byssal scar.

Geologic and geographic distribution:--Miocene to Recent. Northern Honshu, Hokkaido to the North Pacific.

Occurrence: Loc. 1 (abundant) of the Soibetsugawa formation; Loc. 2 (com-

mon), Loc. 6 (rare), Loc. 8 (common), Loc. 13 (common), Loc. 14 (abundant), Loc. 15 (rare) and Loc. 16 (abundant) of t1e Nakanokawa formation; Loc. 26 (common), Loc. 27 (common), Loc. 29 (few), Loc. 30 (common) and Loc. 34 (rare) of the Chinkope formation.

Monia macroschisma ezoana (Kanehara), 1942

Pl. 2, fig. 26.

Pododesmus macroschisma (Deshayes) var. ezoanus Kanehara, 1942, p. 136, pl. 15, figs. 1, 2, pl. 16, fig. 1; Hatai and Nisiyama, 1952, p. 131.

Dimensions (ir	<i>n mm</i>) :Specimen	Length	Height	Width or Depth	Valve
	no. 36–7	42.0	44.2	15.0	intact
	no. 2804–12	39.0	45.9	12.8	left

Remarks:—The present form is characterized by the development of fine but distinct, very close-set radial striations, which are partly restricted in occurrence between the thicker radial ribs of nearly the same appearance as that of the species, but in the greater part of the shell surface covering even the surface of the ribs give a rough appearance. The present form was just described by K. Kanehara (1942) from the Pliocene of the present area as a variety of *Pododesmus macroschisma*. This is the first record of the present form from localities other than the type locality (Yunosawa, Kuromatsunai-cho, Suttsu-gun, Hokkaido).

Geologic distribution :--Pliocene (Nakanokawa and Soibetsugawa formations). Occurrence :--Loc. 1 (rare) of the Soibetsugawa formation; Loc. 6 (rare) of the Nakanokawa formation.

Monia umbonata (Geould), 1861

Pl. 1, figs. 13-14.

Placunanomia umbonata Gould, 1861, p. 39 (fide Habe, 1958).

Anomia sematana, Yokoyama, 1922, p. 177, pl. 14, figs. 20, 21.

Anomia lunulata, Yokoyama, 1922, p. 177, pl. 14, figs. 22, 23.

Pododesmus (Monia) radiatus, Nomura and Zinbo, 1936, p. 288, pl. 11, figs. 5a-b.

Monia radiata, Habe, 1951, p. 90, figs. 182-185.

Monia umbonata, Kuroda, 1953, vol. 1, no. 24, p. 199, pl. 27, fig. 14, pl. 28, fig. 19; Yamamoto and Habe, 1958, p. 19, pl. 3, fig. 9; Habe, 1958a, p. 271, pl. 12, figs. 12, 19; Okada and Taki, 1960, p. 75, pl. 38, fig. 5.

Dimensions (in	mm) :Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 36–8a	21.3	22.1	2.0	left
	no. 2804–3a	27.5	25.0	4.0	left
	no. 2804–3b	20.0	19.1	2.5	left

Remarks:—Several well preserved shells are in the collection. The specimens examined are nearly circular, flat and thin, the fine concentric striations cover the shell surface and low radial ribs develop near the shell margin, the flat beak is situated slightly inward from the shell margin and one muscle scar and one byssal scar is on the inside of the left valve.

Geologic and geographic distribution :--Pliocene to Recent. Northern Honshu to Kyushu. Japan Sea.

Occurrence--: Loc. 1 (rare) of the Soibetsugawa formation; Loc. 6 (few) of

78

the Nakanokawa formation.

Family Astaritdae

Genus Astarte Sowerby, 1816

Type-species (Subsequent designation by Stoliczka, 1871): Astarte lurida Sowerby, 1916. Jurassic, Foxhill Quarries, Gloucester, England.

Subgenus Tridonta Schumacher, 1817

Type-species: Tridonta borealis Schumacher, 1817. Recent, Polar Sea.

Astarte (Tridonta) alaskensis Dall, 1903

Pl. 6, fig. 18.

Astarte alaskensis Dall, 1903, p. 944, pl. 63, fig. 2; Dall, 1921, p. 30; Oldroyd, 1924, p. 106, pl. 13, fig. 20; Grant and Gale, 1931, p. 268, pl. 13, figs. 3a-b; Nomura and Hatai, 1935*c*, p. 113, pl. 7, figs. 6, 7; Otuka, 1935, p. 890, pl. 57, fig. 195; Otuka, 1939, p. 27, pl. 2, figs. 1, 2. Astarte sulcata, Yokoyama, 1926*b*, p. 298, pl. 37, figs. 9, 10 (non Da Costa, 1778).

Remarks :—Several broken specimens are in the collection. The present specimen is characterized by its about 20, regular very distinct, coarse concentric lines and wide and concave-bottomed interspaces between concentric lines.

Geologic and geographic distribution:—Pliocene to Recent (Pleistocene of Herscal Island, Alaska). Herscal Island, Arctic Coast; Southern Bering Ser, the Aleutians and south to Puget Sound (Dall), Japan Sea.

Occurrence:—Loc. 8 (few) of the Nakanokawa formation; Loc. 17 (common), Loc. 21 (rare), Loc. 22 (few), Loc. 24 (rare), Loc. 25 (rare), Loc. 29 (rare) and Loc. 32 (rare) of the Chinkope formation.

Astarte (Tridonta) borealis (Schumacher), 1817

Pl. 6, fig. 29.

Astarte borealis, Dall, 1903, p. 941; Yokoyama, 1922, p. 163, pl. 10, fig. 11; Oldroyd, 1924, p. 106; Yokoyama, 1926b, p. 298, pl. 37, figs. 2, 3; Yokoyama, 1931, p. 6, no. 196; Grant and Gale, 1931, p. 267; Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 15, pl. 11, fig. 79; Nomura and Hatai 1935c, p. 114, pl. 10, figs. 1, 2, 7; Iwai, 1959, p. 57, pl. 2, figs. 3a-b.

Astarte (Tridonta) borealis, Hatai and Nisiyama, 1952, p. 31; Habe, p. 162, pl. 23, figs. 18, 19.

Dimensions (i	n mm):—Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 36–5a	33.0	29.2	7.2	left
	no. 36–5b	29.4	27.0	8.9	right
	no. 10–4a	57.0			right

Remarks:—The present species resembles A. aomoriensis Nomura and Hatai (1935) and A. hakodatensis Yokoyama (1920), but it differs from the latter by the somewhat elongate shape, surface sculpture with more distinct concentric lines and the somewhat forwardly directed beak. The present one differs from A. arctica Gray (Dall, 1903), in having longer shell, more convexity and sooth surface. A. alaskensis (Nomura and Hatai, 1935) is distinguishable from the present one in having about 12 regular and coarse concentric lines.

Geologic and geographic distribution :--Pliocene to Recent (Japan); Miocene of Alaska. Bennet Island, Polar Sea; North Europe and the Baltic, Atlantic, Ice-

ladn and Greenland, and south of Massachusetts Bay (in 15 to 100 fathoms). Bering Sea and Strait (Dall).

Occurrence :---Loc. 1 (common) of the Soibetsugawa formation; Loc. 4 (few) of the Nakanokawa formation.

Family Carditidae

Genus Venericardia Lamarck, 1801

Type-species (Subsequent designation by Schmidt, 1818): Venus imbricata Gmelin, 1790. Eocene of the Paris Basin.

Subgenus Cyclocardia Conrad, 1867

Type-species: Cardita borealis Conrad, 1832. Recent, Circumboreal, Northern Pacific.

Venericardia (Cyclocardia) crebricostata (Krause), 1885

Pl. 2, fig. 27, Pl. 6, figs. 13-15.

Venericardia crebricostata Krause, 1885, p. 30, pl. 3, fig. 4 (fide Otuka, 1939).

Venericardia (*Cyclocardia*) *crebricostata*, Otuka, 1939, p. 28, pl. 2, figs. 3, 4; Habe, 1951, p. 108, figs. 210-212; Okada and Taki, 1960, p. 70, pl. 35, fig. 15.

Dimensions (in	mm) :Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 10–9a	12.2	11.2	5.5	right
	no. 38–15a	26.5	23.2	14.4	intact
	no. 10–2a	30.0	25.5	16.0	intact

Remarks:—This species is related to V. (C.) ferruginea (Clessin in Martini und Chemitz, 1888), but differs in having a small shell with more acute posteroventral margin and larger convexity. It also resembles V. (C.) paucicostata (Krause) (Habe, 1959) but is easily discriminated in having a rather compressed and subtrigonal shell outline, a larger number of radial ribs on the surface, and a narrow depression of the anterior margin of the small beak.

Geologic and geographic distribution :—Pliocene to Recent. Monterey (California), Alaska to Nemuro (Hokkaido).

Occurrence:—Loc. 3 (common), Loc. 4 (common), Loc. 5 (rare), Loc. 6 (abundant) and Loc. 8 (common) of the Nakanokawa formation; Loc. 22 (rare), Loc. 24 (rare) and Loc. 26 (rare) of the Chinkope formation.

Venericardia (Cyclocardia) paucicostata (Krause), 1885

Pl. 6, figs. 9–12.

Cardita borealis paucicostata Krause, 1885, p. 30, pl. 3, fig. 5 (fide Habe, 1955).

Venericardia (Cyclocardia) crebricostata, Habe, 1951, p. 108, figs. 210-212.

Venericardia (Cyclocardia) paucicostata, Habe, 1955, p. 9, pl. 2, figs. 22, 23; Kira, 1955, p. 131, pl. 52, fig. 21.

Cyclocardia paucicostata, Yamamoto and Habe, 1959, pl. 6, figs. 22, 23.

Dimensions (in	mm) :Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. M10-9	15.1	15.5	4.1	left
	no. M10–10	15.5	16.5	6.0	left

Remarks:—The present species may be a close ally of V. (C.) ferruginea (Clessin in Martini und Chemnitz, 1888), but the former is distinguishable from

81

the latter in point of the larger number of its radial ribs, and more rounded posteroventral corner V. (C.) kiiensis (Sowerby) (Okada and Taki, 1960) resembles the present species, but the former has an elongate shell with more acute posteroventral margin and granular radial ribs.

Geologic and geographic distribution :---Pliocene to Recent. Bering Sea; Kurile Islands and Hokkaido.

Occurrence:—Loc. 1 (rare) of the Soibetsugawa formation; Loc. 4 (abundant) Loc. 6 (abundant) and Loc. 8 (abundant) of the Nakanokawa formation; Loc. 17 (rare), Loc. 22 (rare), Loc. 24 (rare), Loc. 26 (rare) and Loc. 39 (few) of the Chinkope formation.

Family Ungulinidae

Genus *Felaniella* Dall, 1899

Type-species: Felania usta Gould, 1861. Recent, Japan.

Felaniella usta (Gould), 1861

Pl. 6, figs. 25–26.

Mysis (Felania) usta, Gould, 1862, p. 170.

Diplodonta usta, Yamakawa, 1909, p. 14, figs. 1–10; Yokoyama, 1920, p. 130, pl. 9, figs. 14–16; Yokoyama 1922, p. 159, pl. 13, fig. 3.

Diplodonta (Felaniella) usta, Kuroda, 1931, p. 49, pl. 5, fig. 27; Taki and Oyama, 1954, pl. 10, figs. 14-16.

Felaniella usta, Habe, 1951, p. 124, figs. 256, 257; Kira, 1959, p. 132, pl. 52, fig. 31; Habe, 1960, p. 6, pl. 4, figs. 12, 13.

Dimensions (in	<i>mm</i>) :Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 2804–9	10.5	9.7	2.0	left
	no. 2905–11	15.0	12.5	. <u> </u>	left

Remarks:—The present one is closely allied to *Joannisiella cumingi* (Hanley) (Habe, 1951), but the latter has a curved beak, whereas that of the former has not.

Geologic and geographic distribution :— Miocene to Recent. Northern and Central Japan.

Occurrence :--- Loc. 6 (few) and Loc. 7 (few) of the Nakanokawa formation.

Family Lucinidae

Genus *Lucinoma* Dall, 1901

Type-species: Lucina filosa Stimpson, 1851. Recent, Newfoundland to North Florida and the Gulf States.

Lucinoma annulatum (Reeve), 1850

Pl. 6, figs. 16-17.

Lucina annulata Reeve, 1850, vol. 6, Lucina, pl. 4, fig. 17.

Lucinoma annulata, Habe, 1951, p. 129, figs. 277, 278; Kira, 1959, p. 133, pl. 53, fig. 2; Yamamoto and Habe, 1959, p. 90, pl. 6, figs. 24, 25.

Lucinoma annulatum, Oyama, 1960, Lucinoma (1), figs. 13-15.

Dimensions (in	mm) :Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 38–13c	29.5	26.7	7.3	right
	no. 38–13d			9.2	left
	no. 38–13e	ca. 30.3	ca. 28.1	9.1	right

Remarks :—The present one is closely similar to *Lucinoma spectabilis* (Yokoyama) (1920), but differs from the latter by its more smaller size, rough and irregular concentric lines. It also resembles *Lucinoma acutilineatum* (Conrad) (Ozaki, 1958), but can be distinguished from the latter in having rougher concentric lines and more distinct posterior radial sulcus.

Geologic and geographic distribution :---Miocene to Recent. Kyushu to Honshu; Alaska to Southern California (after Abbott, 1953).

Occurrence :-- Loc. 3 (common) of the Nakanokawa formation.

Family Cardidae

Genus Clinocardium Keen, 1936

Type-species: Cardium nuttalli Conrad, 1838. Recent, Northern Pacific.

Clinocardium californiense (Dehayes), 1839

Pl. 2, fig. 7.

Cardium californiense Deshayes, 1839, p. 360 (*fide* Grant and Gale, 1931); Tokunaga, 1906, p. 50, pl. 3, figs. 9a-b; Yokoyama, 1920, p. 127, pl. 9, fig. 10.

Cardium pseudo-fossile Reeve, 1844, vol. 2, pl. 10, fig. 52.

Cardium (Cerstoderma) californiense, Dall, 1921, p. 39, pl. 14, fig. 8; Oldroyd, 1924, p. 143, pl. 2, fig. 3; Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 15, pl. 11, fig. 78; Nomura, 1935*b*, p. 111, pl. 6, fig. 4; Taki in Hirase, 1951, pl. 29, fig. 5.

Laevicardium (Cerastoderma) californiense, Grant and Gale, 1931, p. 309, pl. 19, fig. 16.

Clinocardium californiense, Habe, 1951, p. 150, figs. 334, 335; Habe, 1955, p. 11, pl. 1, fig. 5; Kira, 1959, p. 138, pl. 55, fig. 4; Yamamoto and Habe, 1959, p. 93, pl. 7, fig. 21; Habe, 1960, p. 7, pl. 3, fig. 12.

Remarks:—*Clinocardium uchidai* (Habe) (Kira, 1959) is allied to the present one, but the former is distinguishable from the latter in point its many radial ribs which are crossed by concentric growth lines, and two cardinal teeth.

Geologic and geographic distribution :---Miocene to Recent. Northern Honshu; Hokkaido; Kurile Islands; Saghalien and Kamtchatka.

Occurrence:-Loc. 3 (abundant) of the Nakanokawa formation.

Genus *Papyridae* Swainson, 1840

Type-species (Subsequent designation by Gray, 1847): Cardium soleniforme Bruguiére 1789.

Subgenus *Fulvia* Gray, 1853

Type-species: Cardium apertum Bruguiére, 1792.

Papyridea (Fulvia) kurodai Hatai and Nisiyama, 1952

Pl. 1, figs. 15–16.

Papyridea (Fulvia) nipponica, Yokoyama, 1926b, p. 294, pl. 34, fig. 16.

Papyridea (Fulvia) kurodai, Hatai and Nisiyama, 1952, p. 105; Makiyama, 1960, pl. 46, fig. 16.

Dimensions (in	mm) :Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 38–16a	ca. 79.0	63.0		left
	no. 38–17a	40.0	28.1	8.5	right

Remarks:-Papyridea (Fulvia) nipponica was first described by Yokoyama (1924) from the Asagai formation in the Jôban Coal Field and compared with Papyridea harrimani Dall from Alaska. According to Yokoyama, the differences between *nipponica* and *harrimani* are the number of ribs, that is, the former has about 50 ribs and the latter 35, subsequently Makiyama (1934) collected perfect specimens from the Asagai sandstone at Yotsukura and stated that his specimen coincides with Dall's description and figure. Moreover, he stated that the ribs of his specimens vary from 35 to 50 and shells are not more transverse than harrimani. In 1952, Hatai and Nisiyama stated that Yokoyama's nipponica from the Asagai formation (1924) may be conspecific with harrimani Dall. Yokoyama described and figured (1926) a fine perfect left valve from the Pliocene Sawane formation in Sado Island, under the specific name *nipponica*. According to his description and figure his specimen with 50 radiating ribs is closely similar to nipponica from the Asagai sandstone (1926), but the shape and strength of the radial ribs are somewhat diffeerent from one another. Thus Hatai and Nisiyama (1952) proposed a new name for Yokoyama's nipponica from the Sawane formation as kurodai. The full discription of *kurodai* is already given by Yokoyama as *nipponica*, so that the new name of Hatai and Nisiyama's kurodai is of course valid. Makiyama also revised Yokoyama's specimens from Sado Island to kurodai in 1960.

A right valve from the Nakanokawa formation is characterized by unequilateral shape of which posterior dorsal margin is horizontal, about 48 radiating ribs which are roof-shaped and distinct on the most part of the shell, and four to five ribs in the posterior area are very distinct and coarse.

Geologic and geographic distribution :---Pliocene. Sado Island, Jôban Coal-Field.

Occurrence :-- Loc. 3 (few) and Loc. 6 (few) of the Nakanokawa formation.

Family Veneridae

Genus *Ezocallista* Kira, 1959

Type-species: Saxidomus brevisiphonata Carpenter, 1850. Recent, Vancouver, Canada.

Ezocallista brevisiphonata (Carpenter), 1865

Pl. 5, figs. 8–9.

Saxidomus brevisiphonata Carpenter, 1865, p. 203 (fide Nomura, 1938).

Meretrix (Callista) chinensis, Yokoyama, 1922, p. 140, pl. 11, fig. 5.

Macrocallista brevisiphonața, Makiyama, 1927, p. 48; Nomura, 1938, p. 259, pl. 36, figs. 1, 2ab. 3.

Macrocallista (Paradione) brevisiphonata, Kuroda in Honma. 1931, p. 56, pl. 8, figs. 53, 54.

Callista brevisiphonata, Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 16, pl. 12, fig. 87; Taki in Hirase, 1951, pl. 34, fig. 4; Habe, 1955, p. 12, pl. 3, figs. 7, 8; Yamamoto and Habe, 1959, p. 94, pl. 8, figs. 8, 9; Habe, 1960, p. 7, pl. 3, figs. 5, 6.

Ezocallista brevisiphonata, Kira, 1959, p. 141, pl. 56, fig. 4.

83

Callista (Callista) brevisiphonata, Okada and Taki, 1960, p. 59, pl. 30, fig. 11.

Dimensions (in mm) :Specimen	n Length	Height	Width or Depth	Valve
no. 38–6:	a 98.3	80.0	53.8	intact
no. 38–7	a 99.0	80.0	24.0	right

Remarks :--- The present species resembles *Callista chinensis* (Holten) (Kira, 1959), but it differs from the latter by the larger shell, the rather narrower lunule, and by the stronger and more distinct concentric ribs of the surface.

Geologic and geographic distribution :--Pliocene to Recent. Northern Honshu, Hokkaido, Kurile Island, Saghalien and Martime Province of Russia.

Occurrence:—Loc. 1 (rare) of the Soibetsugawa formation; Loc. 2 (abundant), Loc. 3 (abundant), Loc. 4 (common), Loc. 5 (rare), Loc. 6 (abundant), Loc. 8 (abundant) and Loc. 13 (rare) of the Nakanokawa formation; Loc. 17 (common), Loc. 22 (rare) and Loc. 30 (rare) of the Chinkope formation.

Genus Saxidomus Conrad, 1837

Type-species : Saxidomus nuttalli Conrad, 1837. Recent, Northern Pacific.

Saxidomus purpuratus (Sowerby), 1852

Pl. 7, fig. 6.

Tapes purpuratus Sowerby, 1852, vol. 2, p. 692, pl. 150, figs. 124, 125.

Saxidomus purpuratus, Lischke, 1869, p. 127, pl. 4, figs. 4, 5; Brauns, 1881, p. 40, pl. 5, fig. 20; Yokoyama, 1920, p. 127, pl. 9, figs. 8, 9; Yokoyama, 1922, p. 153, pl. 12, fig. 9; Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 16, pl. 12, fig. 88; Taki in Hirase, 1951, pl. 37, fig. 1; Ozaki, 1958, p. 128, pl. 23, fig. 1; Yamamoto and Habe, 1959, p. 95, pl. 7, figs. 7, 8; Kira, 1959, p. 142, pl. 56, fig. 9; Habe, 1960, p. 7, pl. 3, figs. 1, 2.

Dimensions	(in mm) :Specimen	Length	Height	Depth	Valve
		no. 10–5a	—	36.1	12.2	left

Remarks :— The present one is easily distinguished from other venerid by having four cardinal teeth even in the young stage.

Geologic and geagraphic distribution :—Pliocene to Recent. Kyushu, Shikoku, Honshu, Hokkaido and Korea.

Occurrence :--- Loc. 2 (common) and Loc. 4 (rare) of the Nakanokawa formation.

Genus *Liocyma* Dall, 1870

Type-species : Venus fluctuosa Gould, 1841. Recent, North Atlantic and Arctic Oceans.

Liocyma fluctuosa (Gould), 1841

Pl. 1, figs. 27-28, Pl. 7, figs. 11-12.

Venus fluctuosa Gould, 1841, p. 87, fig. 5 (non vidi fide Grant and Gale, 1931).

Liocyma fluctuosa, Dall, 1870, p. 256 (non vide, fide Habe, 1951).

Dimensions (in mm):—Specimen Length Height Depth Valve no. 10-1 35.0 26.5 15.5 intact

Remarks :---Three forms are, hitherto, known from the Japanese waters, among which *Liocyma fluctuosa* (Gould) is identical with the present from in the shape of the shell and the detailed surface features. *Liocyma aniwana* Dall (Habe, 1955)

is also a closely allied from but it can be distinguished from the present from in having rather low shell and slender posterior margin.

Geologic and geographic distribution :---Miocene of Alaska, Pliocene and Recent. Okhotsk coast of Hokkaido.

Occurrence :-- Loc. 4 (few) of the Nakanokawa formation.

Genus Callithaca Dall, 1902

Type-species : Tapes tenerrima Carpenter, 1856. Recent, Panama.

Callithaca (Protocallithaca) adamsi (Reeve), 1850

Pl. 5, figs. 1-2.

Venus adamsi Reeve, 1950, vol. 14, pl. 17, fig. 77.

Venus rigida, Yokoyama, 1927a, p. 430, pl. 50, figs. 3, 4; Matsumoto, p. 96, pl. 39, fig. 3.

Protocallithaca adamsi, Nomura, 1937, p. 10, pl. 3, figs. 4a-b.

Callithaca adamsi, Habe, 1951, p. 180, figs. 391, 392; Okada and Taki, 1960, p. 63, pl. 32, fig. 5. *Protothaca adamsi*, Taki in Hirase, 1951, pl. 41, fig. 2.

Protothaca (Callithaca) adamsi, Taki and Oyama, 1954, p. 44, pl. 47, figs. 3, 4; Ozaki, 1958, p. 129, pl. 22, fig. 1.

Callithaca (Protocallithaca) adamsi, Habe, 1955, p. 14, pl. 5, figs. 1, 2; Kira, 1959, p. 143, pl. 56, fig. 19; Yamamoto and Habe, 1959. p. 98, pl. 7, fig. 16; Habe, 1960, p. 8, pl. 2, figs. 5, 6.

Dimensions (in mm):—Specimen Length Height Depth Valve no. 38-11 72.3 78.5 49.0 intact

Remarks :—This species is characterized by having a large thick shell with distinct and lamellate growth lines crossed by numerous fine and close-set radial striations, obsolete crenulation in the inner ventral margin and th deep pallial sinus.

Geologic and geographic distribution :---Pliocene to Recent. Hokkaido and Northeastern Honshu; Saghalien.

Occurrence:-Loc. 3 (rare) of the Nakanokawa formation.

Family Asaphidae

Genus **Psammocola** Blainville, 1824

Type-species (Subsequent designation by Sacco, 1901): *Psammocola cespertinalis* Blainville, 1842. Tertiary of Italy.

Psammocola cf. kazusensis (Yokoyama), 1922

Compared with:

Psammocola kazusensis Yokoyama, 1922, p. 136, pl. 9, fig. 4.

Remarks :—An imperfect right value is in the collection.

Geologic and geographic distribution: Pliocene to Recent. Northern Honshu and Hokkaido.

Occurrence :-- Loc. 3 (rare) of the Nakanokawa formation.

Family Mactridae

Genus Spisula Gray, 1837

(85)

Type-species (Subsequent designation by Gray, 1847): Cardium solidum, Linné, 1758.

Subgenus Spisula, s.s.

Spisula (Spisula) sachalinensis (Schrenck), 1867

Pl. 5, figs. 10–11.

Mactra sachalinensis Schrenck, 1867, p. 575, pl. 23, figs. 3-7; Tokunaga, 1906, p. 39, pl. 2, figs. 25a-b; Kuroda, 1947, p. 1216, fig. 3453.

Mactra sachalinensis imperialis, Yokoyama, 1922, p. 129, pl. 7, figs. 9, 10.

Mactra semiana Yokoyama, 1925a, p. 11, pl. 4, fig. 5.

Spisula sachalinensis, Kuroda in Honma, 1931, p. 62, pl. 8, fig. 52; Habe, 1951, p. 194, figs. 453, 454; Taki in Hirase, 1951, pl. 51, fig. 1; Habe, 1955, p. 16, pl. 5, figs. 8, 9.

Mactra (Spisula) sachalinensis, Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 18, pl. 14, fig. 101.

Spisula (Pseudocardium) sachalinensis, Okada and Taki, 1960, p. 55, pl. 28, fig. 7; Habe, 1960, p. 8, pl. 4, figs. 16, 17.

Dimensions	(in	<i>mm</i>) :—Specimen	Length	Height	Depth	Valve
		no. 38–19a	103.5	85.0	30.0	left

Remarks:—This species is characterized by the, large, thick and triangular shell, very rough unequal and irregular concentric grooves on the surface and large and broad resilifer pit. These characteristic features are observed in the present specimen.

Geologic and geographic distribution :---Miocene to Recent. Northern Honshu, Hokkaido and Saghalien.

Occurrence:--Loc. 3 (rare) of the Nakanokawa formation.

Family Tellinidae

Genus *Macoma* Leach, 1819

Type-species: Macoma tenera Leach, 1819 (=Tellina calcarea Gmelin, 1791). Recent, North America.

Subgenus Macoma, s.s.

Macoma (Macoma) incongrua (v. Martens), 1865

Pl. 6, fig. 19.

Tellina rotundata, Reeve, 1867, vol. 17, pl. 27, fig. 146.

Tellina inquinata, Lischke, 1871, p. 117, pl. 10, figs. 12, 13.

Tellina incongrua, Römer in Martini und Chemnitz, 1871, vol. 10, pt. 4, p. 225.

Macoma dissimilis, Yokoyama, 1920, p. 116, pl. 7, figs. 19, 20 (non Martens, 1865).

Macoma inquinata, Yokoyama, 1920, p. 117, pl. 8, figs. 1, 2 (non Deshayes, 1854).

Macoma incongrua, Oldroyd, 1924, p. 170, pl. 42, fig. 10; Oinomikado, 1934, p. 356, pl. 8, figs. 16, 17, text-figs. 8, 9; Nomura, 1935*d*, p. 218, pl. 17, figs. 36, 37; Taki in Hirase, 1951, pl. 45, fig. 3; Kira, 1959, p. 155, pl. 59, fig. 18.

Macoma (Macoma) incongrua, Habe, 1952, p. 219, fig. 546; Taki and Oyama, 1954, pl. 8, figs. 19, 20, pl. 9, figs. 1, 2; Okada and Taki, 1960, p. 50 pl. 25, fig. 4.

no. 33–5a — 33.1 —	left
no. 102–1 19.5 13.5 —	left
no. 2905–10a 23.8 15.5 —	right
no. 290510b 16.5 12.5 —	left

Remarks :--- Several partly fractured specimens are in the collection.

Geologic and geographic distribution :—Miocene to Recent. Japan and North America within the North Pacific regions.

Occurrence:—Loc. 4 (rare) and Loc. 7 (common) of the Nakanokawa formation; Loc. 26 (raae), Loc. 29 (rare), Loc. 31 (rare) and Loc. 33 (rare) of the Chinkope formation.

Macoma (Macoma) tokyoensis Makiyama, 1927

Pl. 7, figs. 22-23.

Tellina nasuta var. dissimilis, Lischke, 1871, p. 115, pl. 10, figs. 15–17 (non Martens, 1865). Tellina (Macoma) dissimilis, Martini und Chemnitz, 1888, vol. 10, pt. 4, p. 232, pl. 44, figs. 12–14 (non Martens, 1865).

Macoma nasuta, Tokunaga, 1906, p. 45, pl. 3, figs. 2a-b (non Conrad, 1837).

Macoma dissimilis, Yokoyama, 1922, p. 143, pl. 10, fig. 4 (non Martens, 1865); Yokoyama, 1925*c*, p. 20, pl. 5, fig. 9 (non Martens, 1865); Yokoyama 1925*d*, p. 9, pl. 1, fig. 19 (non Martens, 1865); Yokoyama, 1926*a*, p. 133, pl. 16, fig. 4 (non Martens, 1865); Yokoyama, 1926*b*, p. 221, pl. 28, fig. 10 (non Martens, 1865).

Macoma tokyoensis Makiyama, 1927, p. 50; Oinomikado, 1934, p. 355, figs. 1–3; Numura, 1935*a*, p. 88, pl. 4, fig. 12; Taki in Hirase, 1951, pl. 45, fig. 1; Makiyama, 1957, pl. 20, fig. 9, pl. 22, fig. 19; Makiyama, 1958, pl. 34, fig. 4, pl. 39, fig. 10; Ozaki, 1958, p. 133, pl. 23, fig. 5; Yamamoto and Habe, 1959, p. 104, pl. 14, figs. 9–11; Kira, 1959, p. 155, pl. 59, fig. 19.

Macoma (s.s.) tokyoensis, Taki and Oyama, 1954, pl. 30, fig. 4; Itoigawa, 1958, pl. 2, fig. 3.

Dimensions	(in	mm):—Spe	ecimen	L	ength	F	Height	I	Depth	Valve
		no.	10-3a		42.5		30.5		8.0	left
		no.	2905-9a	ca.	58.0	ca.	39.5	ca.	9.5	right

Remarks :-- Several intact and isolated valves are in the collection.

Geologic and geographic distribution :---Miocene to Recent. Northeast Honshu to Kyushu.

Occurrence:—Loc. 4 (rare) and Loc. 7 (abundant) of the Nakanokawa formation; Loc. 20 (rare) and Loc. 26 (rare) of the Chinkope formation.

Family Hiatellidae

Genus Panope Menard, 1807

Type-species : Panope aldrovandi Menard, 1807. Recent, Mediterranean Sea.

Panope japonica A. Adams, 1850

Panope generosa, Brauns, 1881, p. 36, pl. 3, fig. 14 (non Gould, 1850); Yokoyama, 1922, p. 121, pl. 6, figs. 14, 15 (non Gould, 1850); Yokoyama 1925c, p. 16, pl. 6, fig. 6 (non Gould, 1850).
Panope japonica, Kuroda in Honma, 1931, p. 65, pl. 8, fig. 56; Kinoshita and Isahaya, 1934, p. 18, pl. 15, fig. 105; Nomura and Hatai, 1935a, p. 20, pl. 15, figs. 2a-b; Nomura, 1938, p. 263, pl. 36, figs. 7a-b; Taki in Hirase, 1951, pl. 53, fig. 6; Habe, 1952, p. 233, figs. 603, 608; Habe, 1955, p. 21, pl. 5, figs. 5, 6, pl. 6, fig. 12; Ozaki, 1958, p. 134, text-figs. a-b; Tomizawa in T. and K. Yagi, 1958, p. 388, pl. 10, fig. 43; Kira, 1959, p. 162, pl. 61, fig. 16; Habe, 1960, p. 10, pl. 2, figs. 3, 4.

Remarks :—This species is one of the most widely distributed species in the Neogene and latter deposits in Japan.

Geologic and geographic distribution :--Miocene to Recent. Hokkaido to Setouchi in Japan, ? North America from Puget Sound to San Diego, California. Occurrence :--Loc. 1 (few) of the Soibetsugawa formation.

Family Myochamidae

Genus Myadora Gray, 1840

Type-species : Pandora brevis Sowerby, Recent, Indo-Pacific region.

Myadora proxima (Smith), 1880

Pl. 7, figs. 13–14.

Myodora proxima Smith, 1880, p. 586, pl. 53, figs. 8, 8a-b; Habe in Kuroda, 1950, p. 27, pl. 4, figs. 1-3 (non figs. 19-21); Okada and Taki, 1960, p. 43, pl. 22, fig. 8. *Myodora triangularis* Dunker, 1882, p. 181, pl. 7, figs. 11, 12.

Dimensions (ir	n mm):—Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 38–28	14.5	11.5	13.5	left

Remarks :---A well preserved left valve is in the collection. The present species is closely allied to *Myadora fluctuosa* Gould (Habe, 1952), but it differs from the latter having a broader apical angle (98°) and higher shell outline.

Geologic and geographic distribution :--Pliocene to Recent. Kyushu, Shikoku and Honshu.

Occurrence:-Loc. 3 (rare) of the Nakanokawa formation.

Family Cuspidariidae

Genus *Plectodon* Carpenter, 1864

Type-species: Plectodon scabra Carpenter, 1864.

Subgenus *Plectodon* s.s.

Plectodon (Plectodon) ligula (Yokoyama), 1922

Pl. 6, figs. 5–6,

Cuspidaria ligula Yokoyama 1922, p. 169, pl. 14, figs. 3, 4; Kuroda, 1, 1948, vol. 15, no. 1, p. 23, pl. 2, figs. 11, 11a; Taki and Oyama, 1954, pl. 3, figs. 3, 4.

Plectodon (Plectodon) ligula, Habe, 1952, p. 276.

Dimensions (:	in mm)	:Specimen	Length	Height	Depth	Valve
		no. 36–11	6.1	4.2	1.3	left

Remarks:—A small left valve is in the collection. The present species is closely allied to *Cuspidaria chinensis* (Griffith and Pidgeon) (Kuroda, 1948), but the latter differs from the former by having longer and rather convex shell with longer rostrum, and the absence of the keel running from beak to postero ventral corner.

Geologic and geographic distribution :--Pliocene to Recent. Southern and Central Honshu.

Occurrence :-- Loc. 1 (rare) of the Soibetsugawa formation.

Phylum Brachiopoda

Class Teleotremata

Family Rhynchonellidae

Genus *Hemithyris* d'Orbigny, 1847

Type-species : Anomia psittacea Gmelin, 1792. Recent, Mari Groenlandiae.

Hemithyris psittacea woodwardi (A. Adams), 1863

Pl. 1, fig. 23, Pl. 3, figs. 11-12, Pl. 5, fig. 3.

Rhynchonella woodwardi A, Adams, 1863, p. 100.

Rhynchonella psittacea woodwardi, Davidson, 1887, p. 168, pl. 24, figs. 12, 13; Yokoyama, 1922, p. 200, pl. 17, fig. 13.

Hemithyris psittacea woodwardi, Yokoyama, 1925*a*, p. 22, pl. 1, fig. 7; Yokoyama, 1926, vol. 1, pt. 8, p. 310; Hayasaka, 1931, vol. 3, no. 1, p. 2, fig. 2; Hayasaka, 1932, p. 4, pl. 1, figs. 2a-c, pl. 2, figs. 2a-b; Nomura and Hatai, 1936*b*, p. 186; Hatai, 1936*a*, p. 66; Hatai, 1937, p. 64; Hatai, 1940, p. 203, pl. 6, figs. 50, 51, 55–63, 68, 74–76; Makiyama, 1958, pl. 25, fig. 7.

Dimensions (in	mm) ;—Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 38–21a	ca. 14.0	16.2	4.2	dorsal
	no. 2804–7	22.0	19.3	12.0	intact
	no. 2804-9	ca. 14.8	20.0	6.5	dorsal

Remarks :-- The intact well preserved fractured specimens are in the collection. Geologic and geographic distribution :-- Miocene to Recent. Seas around Japan (fide Hatai, 1940).

Occurrence :---Loc. 3 (abundant) and Loc. 6 (abundant) of the Nakanokawa formation.

Family Terebratellidae

Subfamily Dallininae

Section Transversae

Genus Terebratalia Beecher, 1893

Type-species: Terebratalia transversa Sowerby, 1846. Recent, Puget Sound, Washington.

Terebratalia coreanica (Adams and Reeve), 1850

Pl. 1, fig. 24.

Terebratella coreanica, Davidson, 1852, p. 367 (*fide* Hatai, 1940); Reeve, 1861, vol. 13, pl. 7, figs. 28a-b; Schrenck, 1867, p. 468, pl. 18, fig. 7; Lischke, 1869, p. 181; Davidson, 1871, p. 304, pl. 31, figs. 4, 5 (*fide* Hatai, 1940); Hatai, 1940, p. 276, pl. 2, figs. 1–9, 11, 20, 21, pl. 3, figs. 36, 47-49, 54.

Terebratella bouchardi Davidson, 1852, p. 367 (fide Hatai, 1940); Davidson, 1852, pl. 14, figs. 4-7 (fide Hatai, 1940).

Dimensions (in	mm):—Specimen	Length	Height	Depth	Valve
	no. 38–14a	ca. 57.0	ca. 58.0	ca. 21.0	ventral
	no. 38–14b	ca. 55.0	ca. 58.0	ca. 31.0	dorsal
	no. 2804–8	29,5	28.9	12.2	intact
	no. 24-1a	ca. 33.5	29.5	10.5	ventral
	no. 24–1b	35.8	28.2	11.0	ventral
	no. 24–1c	36.0	25.5	13.5	intact

Remarks :—Abundant well preserved and partly fractured specimens were collected from several localities in the present area.

Geologic and geographic distribution :--Miocene to Recent. Gulf of Tartiary, Tsingtao and Shantung, China, Hokkaido, Tsugaru Strait to Chiba on the Pacific side, Korea Strait north to the Tsugaru Strait on the Japan Sea Side (*fide* Hatai, 1940).

Occurrence :---Loc 3 (abundant), Loc. 5 (few) and Loc. 6 (few) of the Nakanokawa formation; Loc. 26 (common) of the Chinkope formation.

Terebratalia gouldi (Dall), 1891

Pl. 7, fig.7.

Terebratella gouldi Dall, 1891, p. 167, pl. 4, figs. 4, 5; Pilsbry, 1895, p. 153, pl. 11, figs. 7, 8. *Terebratalia gouldi*, Dall 1895, p. 729, pl. 7, fig. 5; Hayasaka, 1922, p. 150, pl. 7, fig. 5; Nagao and Sasa, 1934, p. 232; Nomura and Hatai, 1936b, p. 178, pl. 18, figs. 14, 15, p. 192, pl. 19, figs. 10–12; Hatai, 1936c, p. 305, pl. 35, fig. 27; Hatai, 1940, p. 285, pl. 7, figs. 23, 24; Makiyama, 1958, pl. 49, fig. 4.

Terebratulina quantoensis Yokoyama, 1910, p. 2. pl. 5, figs. 4–9; Yokoyama, 1920, p. 183, pl. 19, figs. 19–24; Hayasaka, 1922, p. 148, pl. 7, figs. 23, 24.

Remarks :—An intact and a fractured specimens are in the collection.

Geologic and geographic distribution:—Miocene to Recent. Coast of Kii, north of Tokyo Bay on the Pacific, and Japan Sea and Hakodate in the Japan Sea side. Probable extending further southward in deep water (*fide* Hatai, 1940).

Occurrence :---Loc. 5 (rare) and Loc. 6 (rare) of the Nakanokawa formation.

Genus Coptothyris Jackson, 1916

Type-species: Terebratula grayi Davidson, 1852. Recent, Korea Strait.

Coptothyris grayi (Davidson), 1852

Pl. 5, fig. 5.

Terebratula (Waldheimia) grayi, Reeve, 1860, vol. 13, pl. 2, figs. 5a-c.

Waldheimia grayi, Adams, 1863, p. 99 (fide Hatai, 1940); Davidson, 1871, p. 304, pl. 31, figs. 7, 8 (fide Hatai, 1940); Davidson, 1887, p. 54, pl. 10, figs. 1-4; Tokunaga, 1906, p. 69, pl. 4, figs. 8a-b.

Eudesia grayi, Pilsbry, 1895, p. 152; Yokoyama, 1922, p. 199, pl. 17, figs. 11, 12.

Waldheimia elongata Tokunaga, 1906, p. 69, pl. 4, figs. 9a-b.

Pereudesia grayi, Hayasaka and Nomura, 1922, p. 29.

Pereudesia grayi var. transversa Hayasaka, 1922, p. 154, pl. 8, figs. 13, 14.

Terebratalia smithi, Hayasaka, 1922, p. 151, pl. 8, fig. 6 (non Arnold, 1909).

Terebratalia smithi var. brevis Hayasaka, 1922, p. 151, pl. 8, fig. 7.

Coptothyris sinanoensis Kuroda in Honma, 1930, p. 89, pl. 13, figs. 117, 118.

Coptothyris grayi aomoriensis, Hayasaka, 1932, p. 9, pl. 1, figs. 5a-b, 6, 7.

Coptothyris grayi, Nomura and Hatai, 1934, p. 13, pl. 1, figs. 1–8; Hatai, 1936b, p. 81, pl. 14, figs. 11–14, 18, 19; Nomura and Hatai, 1937, p. 144, pl. 21, figs. 1, 2; Hatai, 1940, p. 302, pl. 3, figs. 17, 50, 53, 55–60, pl. 4, figs. 43, 48; Taki and Oyama, 1954, pl. 37, figs. 11, 12.

Dimensions	(in	mm):Specimen	Length	Width	Depth	Valve
		no. 74–7a	22.5		6.0	dorsal
		no. 74–7b	30.3	33.1	10.0	ventral

Remarks :---Two rather swollen and isolated dorsal and ventral valves are in the collection.

Geologic and geographic distribution :--Miocene probably Oligocene to Recent. Kyushu to the Tsugaru Strait of the Japan Sea, Hokkaido, south to central Japan on the Pacific side of Japan (*fide* Hatai, 1940).

Occurrence :---Loc. 40 (few) of the Kunnui formation.







FIG. 5, STRATIGRAPHIC SECTIONS OF THE SETANA AREA



91

List of the fossil localities

I. Kuromatsunai area

A. Horizon III, Soibetsungawa formation. Late Pliocene.

Ą

١

Loc. no. 1: River cliff of the Soibetsu-gawa, 900 m SW of Nakanokawa railway station, Kuromatsunai-cho, Suttu-gun. Lat. 42° 42′ 50″ N., Long. 140° 17′ 08″ E.

B. Horizon II, Nakanokawa formation. Early Pliocene.

- Loc. no. 2 : Stream cliff of the Yunosawa, 1,900 m SW of Nakanokawa railway station, Kuromatsunai-cho, Suttu-gun. Lat. 42° 41′ 30″ N., Long. 140° 16′ 10″ E.
- Loc. no. 3 : River cliff of the Soibetsu-gawa, 2,700 m SW of Nakanokawa railway station, Kuromatsunai-cho, Suttu-gun. Lat. 42° 40′ 55″ N., Long. 140° 16′ 50″ E.
- Loc. no. 4 : Stream cliff of the Kaigarazwa, 3,000 m SWW of Kuromatsunai raiway station, Kuromatsunai-cho, Suttu-gun. Lat. 42° 39′ 30′′ N., Long. 140° 16′ 25′′ E.
- Loc. no. 5 : Stream cliff of the Nakanokawa, 3,000 m SW of Kuromatsunai raiway station, Kuromatsunai-cho, Suttu-gun. Lat. 42° 38′ 55″ N., Long. 140° 16′ 30″ E.
- Loc. no. 6 : Railway-cutting, 1,000 m S of the Kuromatsunai railway station, Kuromatsunai-cho, Suttu-gun. Lat. 42° 39′ 25″ N., Long. 140° 18′ 10″ E.
- Loc. no. 7: River cliff of the Byakutan-gawa, 1,500 m E of Byakutan, Kuromatsunai-cho, Suttu-gun. Lat. 42° 42′ 25″ N., Long. 140° 18′ 55″ E.
- Loc. no. 8: River cliff of the tributary of Yunosawa, 3,200 m SWW of Nakanokawa railway station, Kuromatsunai-cho, Suttu-gun. Lat. 42° 41′ 15″ N., Long. 140° 15′ 20″ E.

C. Horizon I, Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation. Early pliocene.

- Loc. no. 9: Road side cliff, 300 m N of Neppu, Kuromatsunai-cho, Suttu-gun. Lat. 42° 41′ 20″ N., Long. 140° 18′ 10″ E.
- Loc. no. 10: River cliff of the Neppu-gawa, 1,250 m NEE of Kuromatsunai railway station, Kuromatsunai-cho, Suttu-gun. Lat. 42° 40′ 20″ N., Long. 140° 19′ 20″ E.
- Loc. no. 11: River side cliff of the Shubuto-gawa, 1,900 m SEE of Nakanokawa railway station, Kuromatsunai-cho, Suttu-gun. Lat. 42° 39′ 40″ N., Long. 140° 19′ 35″ E.
- Loc. no. 12: River cliff of the Shubuto-gawa, 250 m W of Nakazato, Kuromatsunai-cho, Suttu-gun. Lat. 42° 39' 10" N., Long. 140° 19' 55" E.

- Loc. no. 13 : River cliff of the Shubuto-gawa, 750 m S of Nakazato, Kuromatsunai-cho, Suttu-gun. Lat. 42° 38′ 45″ N., Long. 140° 19′ 55″ E.
- Loc. no. 14 : River cliff of the Shubuto-gawa, 200 m W of Kaigarabuchi, Kuromatsunai-cho, Suttu-gun. Lat. 42° 38′ 15″ N., 140° 20′ 15″ E.
- Loc. no. 15 : River side cliff of the Utasai-gawa, 1,100 m E of Warabitai railway station, Kuromatsunai-cho, Suttu-gun. Lat. 42° 37′ 55″ N., Long. 140° 19′ 35″ E.
- Loc. no. 16 : Stream cliff of the Kaigarazawa, 3,000 m W of Kaigara, Rankoshimura, Isoya-gun. Lat. 42° 44′ 45″ N., Long. 140° 24′ 10″ E.

II. Setana area

A. Horizon II, Chinkope formation. Early Pliocene.

- Loc. no. 17: River cliff of the Toshibetsu-gawa, 750 m SW of Pirika railway station, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 27′ 55″ N., Long. 140° 11′ 45″ E.
- Loc. no. 18: River cliff of the Toshibetsu-gawa, 2,000 m SW of Pirika railway station, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 27′ 25″ N., Long. 140° 11′ 00″ E.
- Loc. no. 19: River cliff of the Toshibetsu-gawa, 1,300 m NE of Hanaishi railway station, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 27′ 25″ N., Long. 140° 10′ 45″ E.
- Loc. no. 20 : River cliff of the Pon-Shibunnai-gawa, 500 m SE of Tsuribashi, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 25′ 20″ N., Long. 140° 09′ 40″ E.
- Loc. no. 21: Road side cliff, 500 m N of Maruyama, Kitahiyama-cho, Setana-gun. Lat. 42° 24′ 25″ N., Long. 139° 55′ 0″ E.
- Loc. no. 22: Road side cliff, 250 m N of Maruyama, Kitahiyama-cho, Setana-gun. Lat. 42° 24′ 05″ N., Long. 139° 55′ 00″ E.
- Loc. no. 23 : Road side cliff, 150 m N of Maruyama, Kitahiyama-cho, Setana-gun. Lat. 42° 23′ 50″ N., Long. 139° 54′ 55″ E.
- Loc. no. 24: Road side cliff, 750 m S of Maruyama, Kitahiyama-cho, Setana-gun. Lat. 42° 23' 30" N., Long. 139° 54' 50" E.
- Loc. no. 25 : Road side cliff, 1,000 m SE of Maruyama, Kitahiyama-cho, Setanagun. Lat. 42° 24′ 00″ N., Long. 139° 54′ 50″ E.

B-1. Horizon I, Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation. Early Pliocene.

Loc. no. 26 : River cliff of the Toshibetsu-gawa, 100 m N of Pirikabashi, Pirika, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 28′ 35″ N., Long. 140° 11′ 40″ E.

Loc. no. 27 : River cliff of the Toshibetsu-gawa, 750 m SW of Pirika railway station, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 27' 55" N., Long. 140° 11' 55" E. Loc. no. 28 : River cliff of the Toshibetau-gawa, 1,100 m SE of Pirika railway

station, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 27′ 45″ N., Long. 140° 11′ 35″ E. Loc. no. 29 : River cliff of the Toshibetsu-gawa, 1,800 m SW of Pirika railway

station, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 27′ 25″ N., Long. 140° 11′ 15″ E. Loc. no. 30 : River cliff of the Toshibetsu-gawa, 1,000 m NEE of Hanaishi railway

station, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 26′ 40″ N., Long. 140° 10′ 15″ E. Loc. no. 31 : River cliff of the Toshibetsu-gawa, 500 m W of Hanaishi railway

- station, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 26′ 35″ N., Long. 140° 09′ 50″ E. Loc. no 32 : River cliff of the Toshibetsu-gawa, 550 m SW of Hanaishi railway
- station, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 26′ 25″ N., Long. 140° 09′ 45″ E.
- Loc. no. 33 : River cliff at Hanaishi railway-bridge, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 26′ 05″ N., Long. 140° 09′ 40″ E.
- Loc. no. 34 : Eastern Entrance of the Hanaishi-tunnel, 1,800 m Sw of Hanaishi railway station, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 25′ 50″ N., Long. 140° 09′ 05″ E.
- Loc. no. 35 : River cliff of the Toshibetsu-gawa, 750 m S of Tsuribashi, Imaganecho, Setana-gun. Lat. 42° 24′ 05″ N., Long. 140° 09′ 15″ E.
- Loc. no. 36 : River cliff of the Toshibetsu-gawa, 1,200 m SSE of Tsuribashi, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 24′ 55″ N., Long. 140° 09′ 10″ E.
- Loc. no. 37: River cliff of the Toshibetsu-gawa, 1,500 m S of Tsuribashi, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 24′ 45″ N., Long. 140° 09′ 15″ E.
- Loc. no. 38: River Cliff of the Toshibetsu-gawa, 2,00 m S of Tsuribashi, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 24′ 40″ N., Long. 140° 08′ 45″ E.

Loc. no. 39: Road side cliff, 1,200 m NNW of Kitatoyotsu railway station, Oshamanbe-cho, Yamakoshi-gun. Lat. 42° 25′ 30″ N., Long. 140° 18′ 23″ E.

B-2. Horizon M, Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation. Early Miocene.

- Loc. no. 40: Road side cliff, 150 m N of Kaigarabashi, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 26′ 55″ N., Long. 140° 10′ 20″ E.
- Loc. no. 41 : River cliff of the Hidarimata-gawa, 400 m SSW of kaigarabashi, Imagane-cho, Setana-gun. Lat. 42° 35′ 00″ N., Long. 140° 04′ 15″ E.

Bibliography

- Adams, A., 1863: On the Genera and Species of Recent Brachiopoda found in the Seas of Japan. Ann. Mag. Nat. Hist., ser. 3, vol. 11, pp. 98–101.
- ------, 1867: Descriptions of New Species of Shells from Japan. Proc. Zool. Soc. London, 1867, pp. 309-315, pl. 19.
- Arnold, R., 1906: Tertiary and Quaternary Pectens of California. U. S. Geol. Surv., Prof. Papers, no. 47, pp. 3–264, pls. 2–53, text-figs. 1–2.
- Asano, K., 1936: Foraminifera from Kuromatsunai-mura, Suttu-gun, Hokkaido. Jour. Geol. Soc. Japan, vol. 43, no. 515, pp. 615-622, pls. 32-33.
 - , 1937: Foraminifera from Setana Series of Hokkaido (in Japanese). Jour. Geol. Soc. Japan. vol. 44, no. 525, pp. 509–512.
- , 1938: On Some Pliocene Foraminifera from the Setana Beds, Hokkaido. Jap. Jour. Geol. Geogra., vol. 15, nos. 1-2, pp. 87–103, pls. 9–11.

Bartsch, P., 1941 : The Nomenclatorial Status of Certain Northern Turritid Mollusks. Proc. Biol. Soc. Washington, vol. 54, pp. 1–13, 1 pl.

Brauns, D., 1881: Geology of the Environs of Tokio. Mem. Sci. Dep., Tokio Daigaku (Univ. Tokio), no. 4, pp. 1–82, pls. 1–8.

Chinzei, K., 1959: Molluscan Fauna of the Pliocene Sannohe Group of Northeast Honshu, Japan.
1. The Faunule of the Kubo Formation. Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, sec. 2, vol. 12, pt. 1, pp. 103–132, pls. 9–11.

Dall, W. H., 1873: Catalogue of the Recent Species of Brachiopoda. Proc. Acad. Nat. Sci. Phila., pp. 177–204.

_____, 1886: Supplementary Notes on Some Species of Mollusks of the Bering Sea and Vicinity. Proc. U. S. Nat. Mus., vol. 9, pp. 279-309, pls. 3-4.

------, 1891: On Some New or Interesting West American Shells obtained from the Dredge of the U. S. Fish Commission Steamer "Albatross" in 1888, and from Other Sources. Pro. U. S. Nat. Mus., vol. 14, pp. 173–191.

, 1895: Scientific Results of Exploration of the U.S. Fish Commission Steamer "Albatross". vol. 34. Report on the Mollusca and Brachiopoda dredged in Deep Waters, chiefly near the Hawaiian Islands, with Illustrations of hitherto Unfigured Species from North-east America. Proc. U. S. Nat. Mus., vol. 17, pp. 675–733, pls. 22–32.

-----, 1902a: A New Species of Volutomitra. Nautilus, vol. 15, pp. 102–103.

, 1902b : Illustrations and Descriptions of New, Unfigured or Imperfectly Known Shells chiefly American in the U. S. National Museum. Proc. U. S. Nat. Mus., vol. 24, pp. 499–566, pls. 27–90.

and Bartsch, P., 1906: Note on Japanese, Indo-Pacific, and American *Pyramidellidae*. Proc. U. S. Nat. Mus., vol. 30 pp. 321–369, pls. 17–26.

, 1915: Note on the Species of the Molluscan Subgenus *Nucella* inhabiting the Northwest Coast of America and Adjacent Regions. Proc. U. S. Nat. Mus., vol. 49, pp. 557–572, pls. 74–75.

, 1919: Descriptions of New Species of Mollusks of the Family Turritidae from the West Coast of America and Adjacent Regions. Proc. U. S. Nat. Mus., vol. 56. pp. 1-86. pls. 1-24.

———, 1920: Annotated List of the Recent Brachiopoda in the Collection of the United States National Museum, with Descriptions of Thirty-three New Forms. Proc. U. S. Nat. Mus., vol. 57, no. 2313, pp. 261–377.

, 1921: Summary of the Marine Shellbearing Mollusks of the Northwest Coast of America, from San Diego, California to the Polar Sea, Mostly Contained in the Collection of the United States National Museum, with Illustrations of Hitherto Unfigured Species. U. S. Nat. Mus. Bull., vol. 112, pp. 1–217, 22 pls.

Davidson, T., 1886-1888: A Monograph of Recent Brachiopoda. Trans. Linn. Soc. Zool., ser. 2, vol. 4, pts. 1-3, 248 pp. 30 pls.

Doi, S., 1955: Ist die Misumai-Formation der Kuromatsunai-Serie vergleichbar ? Bull. Geol. Comm. Hokkaido, no. 30, pp. 1-4, figs. 1-4.

Dunker, G., 1861: Mollusca Japonica, Descripta et Tabulis Tribus Iconum. pp. 1-36, pls. 1-3.

-----, 1882: Index Molluscorum Maris Japonici. pp. 1-301, pls. 1-16.

Fujie, T., 1958: Illustrated Cenozoic Fossils, 26; On the Takikawa and Honbetsu Faunas and the distribution of their representative species *Patinopecten takahashii* (Yokoyama) (in Japanese). Shinseidai-no-Kenkyu, no. 26, pp. 34–38, 1 pl.

-, Tanai, T., Matsui, M., Matsuno, H. and Kakimi, T., 1957: The Sedimentary Province and

(94)
their Transformation in the Japanese Cenozoic Era. Especialy Reference to the Miocene Epoch (1) (in Japanese). Shinseidai-no-Kenkyu, nos. 24-25, pp. 51-58.

- -----. and Uozumi, S., 1957: Illustrated Cenozoic Fossils, 25, The Transformation of the Neogene Faunas of Hokkaido (preliminary note) (in Japanese). Part 1, The General View and Geological Distribution. Shinseidai-no-Kenkyu, no. 23, pp. 32-37.
- Fujioka, K., 1959: Explanation Text of the Geological Map of Japan, Scale 1:50,000, Toga and Funakawa (in Japanese). pp. 1-61, pls. 1-7, figs. 1-4, tables 1-13.
- Fukutomi, T., Yazima, C. and Rikukawa, M., 1936: The Exploration of the Useful Mineral Resources of Hokkaido (9) (in Japanese). Rep. Gov. Chem. Indust. Res. Inst., Hokkaido, pp. 1–44, figs. 1– 16, tables 1–2, 1 Map (1:50,000).
- Glen, W., 1959: Pliocene and Lower Pleistocene of the Western Part of the San Francisco Peninsula. Univ. Calif. Publ. Geol. Sci., vol. 36, no. 2, pp. 147–198, pls. 15–17, 5 figs.

Gould, A. A., 1846-1862: Otia Conchologica. Description of Shells and Mollusca. pp. 1-256.

Grant, U. S. and Gale, H. R., 1931: Catalogue of the Marine Pliocene and Pleistocene Mollusca of Callifornia and Their Adjacent Regions. Mem. San Diego Soc. Nat. Hist., vol. 1, pp. 1–1036, pls. 1–32, 15 text-figs.

Habe, T., 1951–1953: Genera of Japanese Shells (in Japanese). pp. 1–326, text-figs. 1–770.
, 1955: Fauna of Akkeshi Bay, 21. Pelecypoda and Scaphopoda. Publ. Akkeshi Mar. Biol. Stat., no. 4, pp. 1–31, pls. 1–7.

, 1958a: Report on the Mollusca collected by the S. S. Soyo-Maru of the Imperial Fisheries Experimental Station of the Continental Shelf Bordering Japan During the Years 1922-1930.

Pt. 3, Lamellibranchia (1). Publ. Seto Mar. Biol. Lab., vol. 6, no. 3, pp. 241–280, pls. 11–13. ———, 1958b: Report on the Mollusca Chiefly Collected by the S. S. Soyo-Maru of the Imperial

Fisheries Experimental Station on the Continental Shelf Bordering Japan During the Years 1922–1930. Pt. 4, Lamellibranchia (2). Publ. Seto Mar. Biol. Lab., vol. 7, no. 1, pp. 19-52, pls. 1–2.

- ——, 1958c: Fauna of Akkeshi Bay, 25, Gastropoda, Publ. Akkeshi Mar. Biol. Sta., no. 8, pp. 1–39, pls. 1–5.
- and Flora of the Sea around the Shirikishinai Marine Station, no. 2, pp. 1–10, pls. 1–5.

, 1961: Colured Illustrations of the Shells of Japan (in Japanese). pp. 1–183, pls. 1–66.

- Hashimoto, W., 1958: Explanation Text of the Geological Map of Hokkaido (in Japanese). Scale 1:200,000, pp. 1–26.
- Hanzawa, S., 1954 : Geology of Japan (Tohoku Province) (in Japanese), pp. 1–329, figs. 1–69, Asakura Book Co. Tokyo.

Hatai, K., Iwai, J., Kitamura, N. and Shibata, T., 1953: The Geology of Sendai and its Environs. Sci. Rep. Tohoku Univ., ser. 2, vol. 25, pp. 1–50, 2 Geological Maps, 1 Table, 1 Profile, 1 Index Map, 1 Tectonic Map, tables 1–14.

Hatai, K., 1936a: The Geographic Distribution of Brachiopoda. Pt. 1. Recent Brachiopoda of Japan. Bull. Biogeogr. Soc. Jap., vol. 6, no. 8. pp. 63–70.

——, 1936b: Fossil Brachiopoda from the Ninohe District, Mutu Province, Japan. Jap. Jour. Geol. Geogr., vol. 13, pp. 71–81, 1 pl.

, 1936c: Neogene Brachiopoda from Japan. Jap. Jour. Geol. Geogr., vol. 13, nos. 3-4, pp. 293-324, 2 pls.

, 1937: The Stratigraphic Significance of Tertiary Brachiopoda. Jap. Jour. Geol. Geogr., vol. 14, pp. 53-65.

, 1940: Cenozoic Brachiopoda from Japan. Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., ser. 2, vol. 20, pp. 1-413, text-figs. 1-25, tabs. 1-7, pls. 1-12.

, 1960: Japanese Miocene Reconsidered. Sci. Rep. Tohoku Univ., ser. 2, Spec. vol. no. 4, (Hanzawa Memorial volume), pp. 127-153.

-----. and Kotaka, T., 1961: Remarks on the Boundary between the Miocene and Pliocene in Northeast Honshu, Japan. (1). Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 30, pp. 7-12.

- ------. and Nisiyama, S., 1952: Check List of Japanese Tertiary Marine Mollusca. Sci. Rep. Tohoku Univ., ser. 2, Spec. vol., no. 3, pp. 1–381.
- ------, Masuda, K. and Suzuki, Y., 1961: A note on the Pliocene megafossil fauna from the Shimokita peninsula, Aomori Prefecture, northeast Honshu, Japan. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 30, pp. 18–38, text-fig. 1, tabs. 1–3, pls. 1–4.

-------. and Yoshida, S., 1941: On the Occurrence of *Dosinia tatunokuchiensis* Nomura from Hokkaido. Bull. Biogeogr. Soc. Japan, vol. 11, no. 7, pp. 31–35.

- Hayasaka, I., 1922: On Some Tertiary Brachiopods from Japan. Tohoku Imp. Univ., ser. 2, vol. 6, no. 2, pp. 139–164, pls. 1–2.
 - _____, 1932 : Brachiopoda of Mutu Bay. Tohoku Imp. Univ., ser. 4, vol. 7, no. 1, pp. 1–14, pls. 1–2.
- Hirayama, K., 1954: Miocene Mollusca from the Arakawa group, Tochigi Prefecture, Japan. Sci. Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku, sec. C, vol. 3, no. 18, pp. 43-75, pls. 1-3.
- ———, 1955: The Asagai Formation and its Molluscan Fossils in the Northen Region, Joban Coal-field, Fukushima Prefecture, Japan. Sci. Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku, Sec. C, no. 29, pp. 61–65, 1 text-fig.
- Ida, K., 1952: A Study of Fossil Turritella in Japan. Geol. Surv. Japan, Rep. no. 150, pp. 1-62, pls. 1-7.
- Isozaki, Y., 1955: The Geology of the Northeastern Part of Miyagi Prefecture near the Boundary between Miyagi and Iwate Prefectures (in Japanese). Thesis of the Graduate School of Tohoku University, pp. 1–38, 12 figs., 2 tables, 1 Map (1:50,000) (MS).
- Itoigawa, J., 1958: Molluscan Fossils from the Niitsu, Higashiyama and Takezawa Oil-fields, Niigata Prefecture, Japan. Mem. Coll. Sci., Univ. Kyoto, ser. B., vol. 24, no. 4, pp. 249–263, pls. 1–2.
- Iwai, J., 1949: The Cenozoic Formations in Sendai and its environs (in Japanese). Chikyu-Kagaku, no. 1, pp. 23-27, 1 table.
- Iwai, T., 1959: The Pliocene Deposits and Molluscan Fossils from the Area southwest of Hirosaki City, Aomori Prefecture, Japan. Rep. Fac. Ed. Hirosaki Univ., no. 5, pp. 39-61, pls. 1-2.
- Iwai, J., Kitamura, N. and Fujioka, K., 1959: Geology of the Eastern Area of Tanabe-cho, Shimokita Peninsula. On the Geology of Aomori Prefecture (in Japanese). Pt. 3, pp. 15–23.

Jay, J. C., 1857: Report on the Shells Collected by the Japan Expedition, under the Command of Commodore M. C. Perry, U. S. N., together with a List of Japanese Shells. pp. 291–297, 4 pls.

Kanaya, T., 1959: Miocene Diatom Assemblages from the Onnagawa Formation and Their Distribution in the Correlative Formations in Northeast Japan. Sci. Rep. Tohoku Univ., ser. 2, vol. 30, pp. 1–130, pls. 1–11, text-figs. 1–2, cherts 1–7, 1 table.

Kanbe, N., 1959: Geological Map (in Japanese). Scale 1: 200,000, Ishinomaki.

- Kanehara, K., 1937a: Pliocene Shells from the Teshio Oil-fields, Hokkaido. Jour. Geol. Soc. Japan, vol. 44, no. 526, pp. 703-708, pls. 1-22.
 - ———, 1937b: Miocene Shells from the Joban Coal Field. Bull. Geol. Surv. Japan. vol. 27, no. 1, pp. 1–21, pls. 1–5, tables 1–2.

—, 1940: Neogene Fossils from South Echigo. Bull. Imp. Geol. Surv. Jap., vol. 27, no.

2, pp. 1-19, pls. 1-5.

_____, 1942a: Fossil Mollusca from Tayazawa, Wakimoto-mura, Katanishi Oil-field. Jour. Geol. Soc. Japan, vol. 49, no. 581, pp. 130–133, 1 pl.

——, 1942b: Some Molluscan Remains from the Setana Series of Hokkaido and from the Taga Series of the Joban Coal field of Iwaki. Jap. Jour. Geol. Geogr., vol. 18, no. 4, pp. 133–140, pls. 15–16.

Kato, I., 1955: Petrogenetic Consideration of the Green Tuffs found in the Lower Part of the Neogene developed in the Yokote Basin in Akita Prefecture and the Shinjo Basin in Yamagata Prefecture. Sci. Rep., Tohoku Univ., ser. 3, vol. 5, no. 1, pp. 1-94, tables 1-33.

Kinoshita, T. and Isahaya, T., 1934: Catalogue of Marine Mollusca from Hokkaido (in Japanese). Rep. Fish. Surv., Hokkaido Fish. Exp. Sta., no. 33, pp. 1–19, pls. 1–15.

Kira, T., 1955: Coloured Illustrations of the Shells of Japan (in Japanese). pp. 1-204, pls. 1-67.

- ——, 1959: Coloured Illustrations of the Shells of Japan (Enlarged and Revised Edition, in Japanese). pp. 1–239, pls. 1–71.
- Kitamura, N., 1957: Geology of the Ajigasawa Oil-field (in Japanese): Report of the Oil-field of Aomori Prefecture, 1957, Aomori Prefectural Gov., pp. 12–20, 1 text-fig., tables 1–4.

------, et al., 1954: Geology of the Neogene Strata between the Western Part of Kitakami Massif and the Ou Backbone Ranges. Tohoku Kozan, no. 10, pp. 1–97, figs. 1–20.

(in Japanese). Shinseidai-no Kenkyu, no. 26, pp. 1–15, text-figs. 1–8, tables 1–2.

———, 1959: Tertiary Orogenensis in Northeast Honshu, Japan. Contri. Inst. Geol. Paleont. Tohoku Univ., no. 49, pp. 1–98, figs. 1–23, tables 1–10.

Kochibe, T., 1882: Tohoku Chishitsu Hen (Geology of Northern Hitachi) (in Japanese). Rika Kaishi, Tokyo Univ., Press. no. 4, pp. 1–150, pls. 1–9.

Kotaka, T., 1951: Recent *Turritella* of Japan. Short Papers Inst. Geol. Paleont. Tohoku Univ., no. 3, pp. 70–90, pl. 4.

——, 1954 : *Turritella* Zonules in the Pliocene Deposits of Akita (Studies on the Fossil Mollusca from the Neogene Deposits of Northeast Japan) (in Japanese). Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 23, pp. 8–10, 1 text-fig., 1 table.

, 1957: Preliminary Note on the Distribution of the Miocene Molluscan Fauna in the Green tuff Region of Northern Honshu, Japan. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 26, pp. 41–42, 1 table.

, 1958a: "Fossil Mollusca Fauna of Northeast Japan", in the Syllabus for the Symposium of the Neogene Tertiary of Japan, held by Geol. Soc. Japan, 1958, Tokyo, pp. 54–57, 2 tables.
 , 1958b: Faunal Consideration of the Neogene Invertebrates of Northern Honshu, Japan.

Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 27, pp. 38-44, 1 text-fig., tables 1-3.

, 1959: The Cenozoic Turritellidae of Japan. Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., ser. 2, vol. 31, no. 2, pp. 1–135, pls. 1–15, text figs. 1–10.

Kubota, K., 1950: Illustrated Cenozoic Fossils, 9, Fossil Pectinidae of Setana Series (in Japaneses). Shinseidai-no-Kenkyu, no. 6, pp. 94-100, pls. 8-9.

- Kuroda, T., 1929–1935: An Illustrated Catalogue of Japanese Shells. (in Japanese). Parts 1–16, Venus, vols. 1–5, Append., pp. 1–154, text-figs. 1–165.
- ------, 1931: Fossil Mollusca in F. Honma, Shinano Chubu Chishitsu-shi (Geology of Central Shinano) (in Japanese). pp. 1–90, pls. 1–13, text-figs. 1–7.

-----, 1933: Gastropoda and Lamellibrachiata (in Japanese), in Iwanami Koza. Geology and Palaeontology, pp. 1–74, text-figs. 1–54.

-----, 1948: Studies on Japanese Species of Cuspidaria. Jap. Jour. Malac., vol. 15, nos. 1-4,

pp. 1–28, pls. 1–2.

, et al.: Illustrated Encyclopedia of the Fauna of Japan (in Japanese). pp. 1-1898, pl. 1-12, figs. 1-5213.

------. and Habe, T., 1949a: On the Gastropod Genus *Cocculina* from Japan. Venus, vol. 15, nos. 5-8, pp. 58-68, 1 pl, 1 text-fig.

-------. and --------, 1949b: On *Natica janthostoma* and an Allied Species which was confused with it. Venus, vol. 15, nos. 5-8, pp. 69-72.

_____, and ____, 1952: Check List and Bibliography of the Recent Marine Mollusca of Japan. pp. 1–210.

Kuster, H. C. and Kobelt, W., 1888: In Martin and Chemnitz, Systematisches Conchylien-Cabinet. vol. 7, Die Gattungen Spondylus und Pecten. pp. 1-296, pls. 1-72.

Lischke, C. E., 1869: Japanische Meeres-Conchylien. vol. 1, pp. 1-192, pls. 1-14.

, 1871: Japanische Meeres-Conchylien. vol. 2, pp. 1–184, pls. 1–14.

———, 1874: Japanische Meeres-Conchylien. vol. 3, pp. 1–123, pls. 1–9.

Makiyama, J., 1926 : Boundary of the Pliocene and Pleistocene Deposits in Japan. Proc. Third. Pan-Pacific Sci. Congr., vol. 2, pp. 1798–1800.

------, 1927: Molluscan fauna of the Lower Part of the Kakegawa Series in the Province of Totomi, Japan. Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., ser. B., vol. 3, no. 1, art. 1, pp. 1–147, pls. 1–6.

, 1930 : On the Variation of the Fossil *Glycymeris yessoensis* (in Japanese). Venus, vol. 2, no. 3, pp. 107–116, 1 pl. text-figs. 1–3, tables 1–3.

, 1931a: The Pleistocene Deposits of South Kwanto, Japan. Jap. Jour. Geol. Geogr., vol. 9, pp. 21–55.

Imp. Univ., ser. B, vol. 7, no. 1, art. 1, pp. 1-53, pls. 1-3, text figs. 1-4.

, 1958: Matajiro Yokoyama's Tertiary Fossils from various localities in Japan. Part 2, Palaeont. Soc. Japan, Spec. Papers no. 4, pls. 25–57.

Martini und Chemnitz, 1838-1920: Systematisches Conchylien Cabinet. vols. 1-11.

Masuda, K., 1953: On the Miocene Pectinidae from the Environs of Sendai. Part 3, Two Miocene Pectens. Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S., no. 12, pp. 83-87, pl. 8.

, 1954: On the Miocene Pectinidae from the Environs of Sendai. Part 5, On "Pecten" arakawai Nomura. Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S., no. 14, pp. 149–153, pl. 19.

, 1956: Some Fossil Pectinidae from the Oido formation, Wakuya-machi, Tôda gun, Miyagi Prefecture, Northeast Japan. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 25, pp. 22-26, pl. 3.
, 1958: On the Miocene Pectinidae from the Environs of Sendai; Part 12, On Pecten kagamianus Yokoyama. Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S., no. 32, pp. 271-284, pls. 40-41.

-----, 1959a: On the Miocene Pectinidae from the Environs of Sendai; Part 14, On Pecten swiftii Bernardi. Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S., no. 34, pp. 86-96, pl. 9.

-----, 1959b: On the Miocene Pectinidae from the Environs of Sendai; Part 15, Pecten cosibensis Yokoyama and its Related Species. Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S., no. 35,

(98)

pp. 121-132, pl. 13.

-----, 1960a: On Morphogenesis of Nanaochlamys. Sci. Rep. Tohoku Univ., ser. 2, Spec. vol., no. 4 (Hanzawa Memorial Volume), pp. 371–383, pl. 39, text-figs. 1–10.

——, 1960b: On the Miocene Pectinidae from the Environs of Sendai; Part 17, Summary. Trans. Proc. 17, Palaeont. Soc. Japan, N. S., no. 39, pp. 293–300.

- Japan. Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S., no. 21, pp. 129–132, pl. 20.
- ______. and Sawada, Y., 1961: Some New Tertiary Pectinids from Southwestern Hokkaido, Japan. Jap. Jour. Geol. Geogr. vol. 32, no. 1, pp. 19–27, pl. 4.
- Matsue, M., 1955: The Neogene Deposits in the Pirika and its environs of Imagane-cho, Setana-gun (in Japanese). Bull. Geol. Comm. Hokkaido, no. 30, pp. 28-29.

Doi, S., Takeda, H., Uozumi, S., Fujie, T., Akiba, T., Yoshimura, K., Obara, T. and Odagiri, T., 1955: Report on the Geology and Ore Deposits of the Northeastern Part of Imagane-cho, Shiribeshi Province, Hokkaido (in Japanese). pp. 1–25, figs. 1–8, 1 Map (1:50,000).

- Matsumoto, H., 1930: On the Marine fauna of Three Fossil Zones of the Upper Miocene of Natori District, Province of Rikuzen. Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., ser, 2, no. 3, pp. 95-109, pls. 39-40.
- Matsuno, H., and Yamaguchi, N., 1955: New Discovery of *Pecten (Fortipecten) takahashii* Yokoyama from Enbetsu Formation (Oiwake Stage) (in Japanese). Bull. Geol. Comm., Hokkaido. no. 30, pp. 5-8, figs. 1-2.

-------. and Hata, M., 1956: On the Occurrence of *Cyclamina japonica* Nomura from the Oiwake formation. Bull. Geol. Comm. Hokkaido. no. 31, pp. 9-10, 1 map.

- Minato, M. and Hasegawa, Y., 1959: Studies of the Welded Tuffs in Japan. On the Neppu Welded Tuff, its Report. Jour. Geol. Soc. Tokyo, vol. 65, no. 761, pp. 66-70, text figs. 1-5, 1 table.
- Nagao, T., 1932: Latest Recent Geologic History and Cainozoic Formations of the Southwestern Hokkaido (in Japanese). Jour. Geol. Soc. Tokyo, vol. 39, no. 465, pp. 320–322.

------. and Huzioka, K., 1941: Fossil *Acila* from Hokkaido and Karafuto (Saghalin). Jour. Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ., ser. 4, vol. 6, no. 2, pp. 113–141, pls. 29–31, 1 table.

- ———. and Inoue, J., 1941: Myarian Fossils from the Cenozoic Deposits of Hokkaido and Karafuto. Jour. Fac. Sci. Imp. Univ., Hokkaido, ser. 4, vol. 6, no. 2, pp. 143–158, pls. 32–34.
- ------. and Sasa, Y., 1934: Latest Recent Geologic History and Cainozoic Formations of the Southwestern Hokkaido (in Japanese). Jour. Geol. Soc. Tokyo, vol. 40-41 nos. 480, 483, 485, 488.
- Niino, H., 1936: Pecten (Patinopecten) tokyoensis Tokunaga found from the Sediments on Continental Shelf at Southwestern Coast of Japan (in Japanese). Jour. Geogr., vol. 48, no. 570, pp. 359– 362, pls. 3–4.
- (abstract) (in Japanese). Jour. Geol. Soc. Tokyo, vol. 54, no. 639, p. 199.
- Nomura, S., 1932: Mollusca from the Raised Beach Deposits of the Kwanto Region. Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., ser. 2, vol. 15, no. 2, pp. 65–141, pl. 10.

, 1933 : Fossil Mollusca from the Island of Paramushiro, Chishima (Kurile Islands). Jap. Jour. Geol. Geogr., vol. 11, no. 1, pp. 1–10, pl. 1.

——, 1935a: On Some Tertiary Mollusca from Northern Honsyu, Japan. Part 1. Fossil Mollusca from the Vicinity of the Narusawa Hot Spring, Northeastern Part of the Kurikoma Volcano, Iwate-ken. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 5, pp. 71–100, pls. 3–4.

-----, 1935b: Fossil Mollusca from the Vicinity of Ogino, Yama-gun, Hukushima-ken. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 5, pp. 101-125, pls. 5-7.

------, 1935c: Miocene Mollusca from the Nisi-Tugaru District, Aomori-ken, Northeast Honsyu,

Japan. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 6, pp. 19-74, pls. 2-8.

———, 1935 d: Miocene Mollusca from Siogama, Northeast Honsyu, Japan. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 6, pp. 193–234, pls. 16–17.

, 1937a: On Some Recent Venerid Mollusks from Northeast Honsyu, Japan. Saito Hoon Kai Mus., Res. Bull., no. 13, pp. 7–10, pl. 3.

-----, 1937b: On Some Neogene Fossils from along the Upper Course of the Nikko-gawa, Akumi-gun, Yamagata-ken, Northeast Honshu, Japan. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 13, pp. 174-177, pl. 24.

-----, 1938: Molluscan Fossils from the Tatunokuti Shell Bed exposed at Goroku Cliff in the Western Border of Sendai. Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., ser. 2, vol. 19, no. 2, pp. 235–275, pls. 33–36, 1 text-fig.

——, 1940: Molluscan Fauna of the Moniwa Shell Beds exposed along the Natori-gawa in the Vicinity of Sendai, Miyagi Prefecture. Sci. Rep. Tohoku Univ., ser. 2, vol. 21, no. 1, pp. 1-46, pls. 1-3.

-----. and Hatai, K., 1934: On Some Recent Brachiopods from Northeastern Japan. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 2, pp. 1–20, 2 pls.

and ——, 1935a: Catalogue of the Shellbearing Mollusca collected from the Kesen and Motoyosi Districts, Northeast Honshu, Japan, immediately after the Sanriku Tunami, March 3, 1933, with the Descriptions of Five New Species. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bul., no. 5, pp. 1–48, pls. 1–2.

. and _____, 1935b: On two species of Brachiopoda from the Daishaka Shell-beds of Daishaka, Aomori-ken. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 5, pp. 55-60.

------. and -------, 1935c: Pliocene Mollusca from the Daishaka Shell-beds in the Vicinity of Daishaka, Aomori-ken, Northeast Honshu, Japan. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 6, pp. 83-142, pls. 9-13, 1 text-fig.

———. and ———, 1935d: On the Variation of Certain Internal Features of the Fossil *Terebratalia coreanica* from Hokkaido. Jour. Mal. Soc. Japan, vol. 5, no. 1, pp. 10-13.

———. and ———., 1936a: Fossils from the Tanagura Beds in the Vicinity of the Town Tanagura, Hukusima-ken, Northeast Honsyu, Japan. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 10, pp. 109–155, pls. 13–17.

_____, and _____, 1936b: Fossils from Yazawagi-mura, Ugo Province, Northeast Honsyu, Japan. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 10, pp. 157–181, 1 tab., pl. 18.

———. and ———, 1936c: On Some Fossil Brachiopods from Akita Prefecture, Northeast Honsyu, Japan. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 10, pp. 183-194, pl. 19.

. and _____, 1936d: A Note Concerning Data on the Bathymetric Range of Certain Marine Animals and Remarks on the Geology of the Neogene Formation in Northeast Honsyu, Iapan and Their Depth of Sedimentation as Indicated by the Fossil Fauna. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 10, pp. 232-334.

-----. and -----, 1937: A List of the Miocene Mollusca and Brachiopoda Collected from the Region Lying North of the Nanakita River in the Vicinity of Sendai, Rikuzen Province, Japan. Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull., no. 13, pp. 121-145, pls. 17-21.

------. and Jinbo, N., 1936: Molluscan Fossils from the Simaziri Beds of Okinawa-Zima, Ryukyu Islands. Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., ser. 2, vol. 18, no. 3, pp. 229–266, pl. 11.

Japan. Jap. Jour. Geol. Geogr., vol. 17, nos. 3-4, pp. 181-194, pls. 17-19.

Oinomikado, T., 1934: On the Pallial Sinus of the Genus Macoma. Venus, vol. 4, no. 6, pp. 353–356, 1 plate, text-figs. 1–11.

, 1935: On the Fossil Shells from the Setana Series in Ponseiyobetsu and Natsuro, Yamakoshi-gun, Shiribeshi-no-kuni, Hokkaido (in Japanese). Chikyu, vol. 23, no. 4, pp. 289–293.

, 1937: Molluscan Fossils from the Pliocene Deposits of Sisinai in Tôbetsu-mura, Isikari-gun, Hokkaido. Jour. Geol. Soc. Japan, vol. 44, no. 520, pp. 65-70. (Trans. Palaeont. Soc. Japan).

Okada, K. and Taki, I., 1960: Encyclopedia Illustrated in Colours (in Japanese). vol. 3, pp. 1–33, 1–200, 1–38, pls. 1–91.

Okutsu, H., 1951: Geology and Qualitative Characteristics of Lignite in Miyagi Prefecture. Tohoku Kozan, no. 3, pp. 11–20, text-figs. 1–14, 1 table.

Area. Sci. Rep., Tohoku Univ., ser. 2, vol. 26, pp. 1–114, pls. 1–8, figs. 1–34, tables 1–14.

Ôtuka, Y., 1934: Tertiary Structure of the Northeastern End of the Kitakami Mountainland, Iwate Prefecture, Japan. Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo Imp. Univ., vol. 12, Part 3, pp. 566-638, 7, pls. 1 Map.

-----, 1935a: The Oti Graben in Southern Noto Peninsula, Japan. Part 2, Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Imp. Univ., vol. 13, pt. 4, pp. 806-845, figs. 11-20, tables 2-7.

——, 1935b: The Oti Graben in Southern Noto Peninsula, Japan. Part 3, Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Imp. Univ., vol. 13, pt. 4, pp. 846-909, pls. 53-57, text-figs. 220-226.

——, 1936: Pliocene Mollusca from Manganzi in Kotomo-Mura, Akita Prefecture, Japan. Jour. Geol. Soc. Japan, vol. 43, no. 516, pp. 726–736, pls. 41–42.

------, 1938: Catalogue of the Japanese Species of Genus *Turritella* (in Japanese). Venus, vol. 8, no. 1, pp. 37-44, text-figs. 1-31.

———, 1939 : Mollusca from the Cainozoic System of Eastern Aomori Prefecture, Japan. Jour. Geol. Soc. Japan, vol. 44, no. 544, pp. 23–31, pl. 2.

Oldroyd, I. S., 1924: The Marine Shells of the West Coast of North America. vol. 1, Stanford Univ. Publ., Geol. Sci., vol. 1, no. 1, pp. 5–249, pls. 1–57.

------, 1927: The Marine Shells of the West Coast of North America. Stanford Univ. Publ., Geol. Sci., vol. 2, pt. 3, pp. 7-341, pls. 73-108.

Ôyama, K., 1952: On the Vertical Distribution of Marine Mollusca. Jour. Malac. Soc. Japan, vol. 17, no. 1, pp. 27-36.

-----, 1957: The molluscan shells, 1, Sci. and Photog. Club, Tokyo.

-----, 1958: The molluscan shells, 2, Sci. and Photog. Club, Tokyo.

-----, 1959: The molluscan shells, 3, Sci. and Photog. Club, Tokyo.

Ozaki, H., 1958 : Stratigraphical and Paleontological studies on the Neogene and Pleistocene Formations of Tyoshi District. Bull. Nat. Sci. Mus. (Tokyo), vol. 4, no. 1, pp. 1–182, pls. 1–24, textfigs. 1–16, lists 1–17, tables 1–2, maps 1–3, 4 fossil text-figs.

Pilsbry, H. A., 1895: Catalogue of the Marine Mollusks of Japan. pp. 1-196, pls. 1-11.

———, 1901: New Mollusca from Japan, the Loo-choo Islands, Formosa and the Philippines. Proc. Acad. Nat. Sci. Phila., vol. 53, pp. 193–210.

Reeve, L. A., 1843–1878: Conchologia Iconica, Figures and Descriptions of the Shells of Mollusks; with Remarks on Their Affinities, Synonymy, and Geographical Distribution. vols. 1–17, vols. 18–20 (continued by G. B. Sowerby).

Sawada, Y., 1961: The Neogene Deposits in the North of Imagane-cho, Setana-gun, Hokkaido (in Japanese). Mem. Muroran Inst. Technol., vol. 3, no. 4, pp. 635–644, 2 pls. 2 figs. 1 table.

Shibata, T., Yazaki, K. and Matsui, K., 1961: An Interesting Sedimentary Structure observed in the

Tomiya-Nanakita Area in the North of Sendai City, Miyagi Prefecture. Sci. Rep. Tohoku Univ., ser. 2, vol. 32, no. 2, pp. 273–281, pls. 38–39, text-figs. 1–3, 1 table.

Shimada, T., 1953: Reconnaissance Note on Natural Gas of the Oshamanbe District, Hokkaido.

Jour. Jap. Asso. Petro. Technol. pp. 347-350, 3 text-figs., tables. 1-2.

. and Yazaki, K., 1959: Report on the Survey of the Natural Gas at Oshamanbe-cho, Hokkaido (in Japanese). Research Materials, Underground Resources, Hokkaido, no. 48, pp. 61-65, 1 Map (1:50,000).

- Shôji, R., 1954: On the Lignite Coal-field near the Yakurai-zan and Sanbongi-cho, Miyagi Prefecture (in Japanese). pp. 1–27, figs. 1–12, tables 1–6, maps 1–2.
 - , 1958: The Geology of the northwestern area of Miyagi Prefecture. Studies on the cyclothem developed in the Pliocene Series (in Japanese). Tohoku Kozan, vol. 5, no. 1, pp. 1–25, figs. 1–13, tables 1–4.
- Shirai, T., 1959: Geology in the Kuromatsunai district, with a special reference to the Fossil Foraminifera of the Pliocene Setana Formation. A Study of the Neogene Fossil Foraminifera in northern Japan (in Japanese). Bull. Geol. Comm. Hokkaido, no. 38, pp. 1–12, text-figs. 1–3, 1 table.
- Shrenck, L. V., 1867: Mollusken des Amur-Landes und des Nordjapanischen Meeres, im Reisen und Forschungen im Amur-Lande. pp. 259–976, pls. 12–30.
- Smith, E. A., 1875: A List of the Gastropoda collected in Japan Seas by Commander H. C. St. John, R. N. Ann. Mag. Nat. Hist., ser. 4, vol. 15, pp. 414-427.

, 1879: On a Collection of Mollusca from Japan. Proc. Zool. Soc. London, pp. 181–218, pls. 19–20.

Sowerby, G. B., 1847-1887: Thesaurus Conchyliorum. vols. 1-5.

- Taki, I. in Hirase, S., 1951: An Illustrated Handbook of Shells in Natural Colour from the Japanese Islands and Adjacent Territory (in Japanese). pp. 1–24, pls. 1–134, Bunkyô-kaku, Tokyo.
- Taki, I. and Oyama, K., 1954: Matajiro Yokoyama's Pliocene and later Faunas from the Kwanto Region in Japan. Palaeont. Soc. Japan, Spec. Papers no. 2, pp. 1-68, pls. 1-46.

Tokunaga, S., 1906: Fossils from the Environs of Tokyo. Jour. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo, vol. 21, art. 2, pp. 1–96, pls. 1–6, text-figs. 1–5.

, 1927: Geology of the Joban Coal-Field. Mem. Fac. Sci. Eng., Waseda Univ., no. 5, pp. 15–16.

Tomlin, J. R. L., 1923: On the Identity of *Saxidomus brevisiphonata* Carpenter. The Nautilus, vol. 37, p. 26.

Tryon, G. W., 1879-1898: Manual of Conchology. vols. 1-9, vols. 10-16 (continued by Pilsbry, H. A.) vol. 17 (by Pilsbry, H. S. and Sharp, B.).

- Uozumi, S. and Fujie, T., 1958: Correlation of the Tertiary Formation of Hokkaido. On the Tentative Plan of the Neogene Tertiary (in Japanese). Shinseidai-no-Kenkyu, no. 26, pp. 24–33.
- Watanabe, M., 1930: The Geotectonics and the Distribution of the Volcanos in the Western Hokkaido (in Japanese). Jubi. Publ. Comm. Prof. Takuji Ogawa's 60th Birthday, pp. 235–241, figs. 1–2.

Watarase, S., 1929: A Consideration on the Geotectonics of Hokkaido (in Japanese). Jour. Jap. Asso. Miner. Petro. Econ. Geol., vol. 2, no. 6, pp. 269–277.

Weaver, C. E., 1916: Tertiary Faunal Horizons of Western Washington. Univ. Washington Publ. Geol. vol. no. 1, pp. 1-67.

-----, 1937: Tertiary Stratigraphy of Western Washington and Northwestern Oregon.

Univ. Washington Publ. Geol., vol. 4, pp. 1-266, pls. 1-15.

-----, 1942: Paleontology of the Marine Tertiary Formations of Oregon and Washington.

Univ. Washington Publ. Geol., vol. 5, pp. 1-790, pls. 1-104.

- Wenz, W., 1938-1944 : Gastropoda, Parts 1-7, Handbuch der Palaeozoologie. vol. 6, pp. 1-1639, textfigs. 1-3903.
- Yamamoto, G. and Habe, T., 1958: Fauna of Shell-bearing Mollusks in Mutsu Bay. Lamellibranchia (1). Bull. Mar. Biol. Sta., Asamushi, vol. 9, no. 1, pp. 1–19, pls. 1–5.
- (2). Bull. Mar. Biol. Sta., Asamushi, vol. 9, no. 3, pp. 85–122, pls. 6–14.
- Yajima, C. and Rikukawa, M., 1939: Explanation Text of the Geological Map of Japan, Scale 1:100,000. Oshamanbe (in Japanese). pp. 1-17, 1 fig.
- Yokoyama, M., 1910: On Species of *Limopsis* found in the Neogene of Koshiba. Jour. Geol. Soc. Tokyo, vol. 17, no. 205, pp. 1-6, pl. 5.
 - , 1911: Pecten from the Koshiba Neogene. Jour. Geol. Soc. Tokyo, vol. 18, no. 208, pp. 1-5, pl. 1.
 - , 1920: Fossils from the Miura Peninsula and Its Immediate North. Jour. Coll. Sci., Imp. Univ. Tokyo, vol. 39, art. 6, pp. 1–193, pls. 1–20.
 - Imp. Univ., Tokyo, vol. 44, art 1, pp. 1-200, pls. 1-17.
 - , 1923a: On Some Fossil Mollusca from the Neogene of Izumo. Jap. Jour. Geol. Geogr., vol. 2, no. 1, pp. 1–9, pls. 1–2.

Jour. Coll. Sci., Imp. Univ. Tokyo, vol. 44, art 7, pp. 1–9, pl. 1.

_____, 1924: Molluscan Remains from the Lowest Part of the Jo-Ban Coal-Field. Jour. Coll. Sci., Imp. Univ., Tokyo, vol. 45, art 3, pp. 1-22, pls. 1-5.

, 1925a: Tertiary Mollusca from Shinano and Echigo. Jour. Fac. Sci., Imp. Univ. Tokyo, sec. 2, vol. 1, pt. 1, pp. 1–23, pls. 1–7.

, 1925b: Mollusca from the Tertiary Basin of Chichibu. Jour. Fac. Sci., Imp. Univ. Tokyo, sec. 2, vol. 1, pt. 3, pp. 111–126, pls. 14–15.

, 1925c: Molluscan Remains from the Uppermost Part of the Jo-Ban Coal-Field.

Jour. Coll. Sci., Imp. Univ. Tokyo, vol. 45, art. 5, pp. 1-32, pls. 1-6.

- , 1925d: Molluscan Remains from the Middle Part of the Jo-Ban Coal-Field. Jour. Coll. Sci., Imp. Univ., Tokyo, vol. 45, art 7, pp. 1–23, pls. 1–3.
- , 1926*a* : Tertiary Mollusca from Shiobara in Shimotsuke. *ibid.*, vol. 1, pt. 4, pp. 127–138, pls. 1–20.

- - , 1927a: Mollusca from the Upper Musashino of Tokyo and its Suburbs. Jour. Fac. Sci., Imp. Univ. Tokyo, sec. 2, vol. 1, pt. 10, pp. 390-437, pls. 46-50.
- , 1927b: Fossil Mollusca from Kaga. Jour. Fac. Sci., Imp. Univ. Tokyo, sec. 2, vol. 2, pt. 4, pp. 165–182, pls. 47–49.
 - , 1929: Pliocene Shells from near Nanao, Noto. Imp. Geol. Surv. Japan, Rep. no. 104, pp. 1–7, pls. 1–6.
- _____, 1931: Neogene shells from Karafuto and Hokkaido. Jour. Fac. Sci., Imp. Univ. Tokyo, sec. 2, vol. 3, pt. 4, pp. 185–196, pl. 11.
- Yoshikawara, S., 1902: Japanese Shells (Lamellibranches). Zool. Mag. Tokyo, nos. 162, 164, 168, pp. 141-145, 208-212, 356-358, 5 pls.

Explanation of Plates

Plate 1

- Fig. 1. Chlamys daishakaensis Masuda and Sawada $\times 1/2$. right valve Loc. no. 16, Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 2. *Chlamys tamurae* Masuda and Sawada × 1. right valve. Loc. no. 23. Chinkope formation, Pliocene.
- Fig. 3. Swiftopecten swiftii (Bernardi) × 1.5 right valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 4. *Chlamys osugii* Kubota × 1. right valve. Loc. no. 16. Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 5. *Chlamys otukae* Masuda and Sawada × 1. right valve. Loc. no. 41. Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation, Miocene.
- Figs. 6-7. *Chlamys otukae* Masuda and Sawada × 1. right valve. Loc. no. 41. Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation, Miocene.
- Figs. 8–9. Chlamys nipponensis Kuroda \times 1. right valve. Loc. no. 1. Soibetsugawa formation, Pliocene.
- Fig. 10. *Placopecten wakuyaensis* Masuda \times 1. left valve. Loc. no. 40. Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation, Miocene.
- Fig. 11. Patinopecten yessoensis (Jay) \times 1. left valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 12. Chlamys kumanodoensis Masuda × 1. right valve. cardinal area. Loc. no. 49. Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation, Miocene.
- Figs. 13-14. Monia umbonata (Gould) × 1. left valve. 13; external surface, 14; internal surface. Loc. no. 6. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 15–16. Papyridea (Fulvia) kurodai Hatai and Nisiyama × 1. right valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 17. *Mitrella* (*Mitrella*) *burchardi* (Dunker) × 3. apertural view. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 18. Barbitonia arthritica (Bernardi) × 1. juvenille form. apertural view. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 19-20. Scala (Boreoscala) yabei echigonum (Kanehara) × 1. 19; apertural view, 20; dorsal view. Loc. no. 33. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Figs. 21–22. Granotoma kotakae Sawada, n. sp. × 2. 21; dorsal view, 22; apertural view. Loc. no. 39. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Fig. 23. *Hemithyris psitacea woodwardi* (A. Adams) \times 1.5. ventral view. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 24. *Terebratalia coreanica* (Adams and Reeve) × 1.5. dorsal view. Loc. no. 6. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 25-26. Placopecten setanaensis (Kubota) × 1. 25; right valve, 26; left valve. Loc. no. 40. Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation, Miocene.
- Figs. 27-28. Liocyma fluctuosa (Gould) × 1. left valve. Loc. no. 4. Chinkope formation, Pliocene.

Plate 2

- Fig. 1. Buccinum leucostoma Lischke × 1. dorsal view. Loc. no. 39. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Fig. 2. *Placopecten wakuyaensis* Masuda \times 1. right valve. Loc. no. 40. Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation, Miocene.
- Fig. 3. Swiftopecten swiftii (Bernardi) × 1. left valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 4. Chlamys kagamianus (Yokoyama) × 1. left valve. Loc. no. 40. Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation, Miocene.
- Fig. 5. Turritella (Neohaustator) fortilirata habei Kotaka × 1. apertural view. Loc. no. 33. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Fig. 6. Oenopota kagana toyotsuensis Sawada, n. subsp. × 2. apertural view. Loc. no. 39. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Fig. 7. *Clinocardium californiense* (Deshayes) × 1. right valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 8-9. Neptunea iwaii Hatai, Masuda and Suzuki × 1. 8; apertural view, 9; dorsal view. Loc. no. 22. Chinkope formation, Pliocene.
- Figs. 10-11. Bittium yakoyamai Otuka × 3. 10; dorsal view, 11; apertural view. Loc. no. 39. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Figs. 12-13. Trophonopsis (Boreotrophon) sasae Sawada, n. sp. × 1.5. 12; dorsal view, 13; apertural view. Loc. no. 39. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Figs. 14–15. Antiplanes contraria (Yokoyama) × 1. 14; apertural view, 15; dorsal view. Loc. no. 20. Chinkope formation, Pliocene.
- Fig. 16. Cerithium kochi Philippi \times 2. apertural view. Loc. no. 4. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 17. Cerithium kochi Philippi × 1.5. apertural view. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 18–19. Volutomitra hataii Sawada, n. sp. × 5. 18; apertural view, 19; dorsal view. Loc. no. 39. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Figs. 20–21. Plicifusus yanamii (Yokoyama) × 1.5. 20; apertural view, 21; dorsal view. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 22. Mytilus grayanus Dunker \times 1/2. left valve. Loc. no. 1. Soibeltsugawa formation, Pliocene.
- Fig. 23. Yoldia (Cnesterium) johanni Dall × 1.5. left valve. Loc. no. 7. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 24. Scala (Boreoscala) aomoriensis (Iwai) \times 1. apertural view. Loc. no. 16. Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation. Pliocene.
- Fig. 25. Barbitonia arthritica (Bernardi) × 1.5. juvenille form. dorsal view. Loc. no. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 26. Monia macroschisma ezoana (Kanehara) \times 1. left valve. Loc. no. 1. Soibetsugawa formation, Pliocene.
- Fig. 27. Venericardia (Cyclocardia) crebricostata (Krause) × 1. right valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.

Plate 3

- Fig. 1. Nanaochlamys notoensis (Yokoyama) × 1. left valve. Loc. no. 40. Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation, Miocene.
- Figs. 2-3. Astarte (Tridonta) borealis (Schumacher) \times 1. right valve. Loc. no. 1. Soibetsugawa formation, Pliocene.
- Fig. 4. Swiftopecten swiftii (Bernardi) × 1.5. right valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 5. Patinopecten yessoensis (Jay) \times 2/3. left valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 6. *Chlamys osugii* Kubota × 1. left valve. Loc. no. 16. Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 7. Oenopota kuromatsunaiensis Sawada, n. sp. × 2. Paratype. dorsal view. Loc. no. 7. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 8. *Turritella* (*Neohaustator*) *fortilirata habei* Kotaka × 1. dorsal view. Loc. no. 3. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Figs. 9–10. Turritella (Neohaustator) nipponica Yokoyama × 2. 9; apertural view 10; dorsal view, Loc. no. 7. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 11–12. Hemithyris psitacea woodwardi (A. Adams) × 1. 11; lateral view, 12; ventral view. Loc. no. 6. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 13. Patinopecten kagamianus (Yokoyama) \times 1/2. right valve. Loc. no. 40. Kaigarabashi conglomerate member of the Kunnui formation, Miocene.
- Figs. 14–15. Crepidula grandis Middendorff × 1. 14; dorsal view. 15; apertural view. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.

Plate 4

- Figs. 1–2. Nucella cfr. freycinetti (Deshayes) × 2. juvenille form. 1; dorsal view, 2; apertural view. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 3-4. Chlamys chinkopensis Masuda and Sawada, × 1. 3; right valve, 4; left valve. Loc. no. 32. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Figs. 5-6. Venericardia (Cyclocardia) crebricostata (Krause) × 2. right valve. Loc. no. 4. Chinkope formation, Pliocene.
- Fig. 7. Chlamys islandica erythrocomata (Dall) \times 1. left valve. Loc. no. 38. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Fig. 8. Ditto. \times 1. right value.
- Fig. 9. Latirus (?) sp. × 2. apertural view. Loc. no. 4. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 10. Antiplanes (Rectiplanes) sanctaiioannis (Smith) \times 1. apertural view. Loc. no. 31. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Fig. 11. Chlamys daishakaensis Masuda and Sawada × 1/2. left valve. Loc. no. 14. Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 12-13. Glycymeris (Glycymeris) yessoensis (Sowerby) × 1. left valve, 12; external surface, 13; internal surface. Loc. no. 1. Soibetsugawa formation, Pliocene.
- Fig. 14. Patinopecten yessoensis (Jay) \times 1. right valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 15–16. Homalopoma amusitatum (Gould) × 2. 16; apertural view, 15; dorsal view. Loc. no. 6. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 17. Turritella (Neohaustator) fortilirata habei Kotaka × 1. Loc. no. 33. Hanaishi con-

glomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.

- Fig. 18. *Chlamys tamurae* Masuda and Sawada × 1. left valve. Loc. no. 23. Chinkope formation, Pliocene.
- Figs. 19-20. Oenopota kuromatsunaiensis Sawada. n. sp. × 2. Holotype, 19; dorsal view, 20; apertural view. Loc. no. 7. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 21. Oenopota kuromatsunaiensis Sawada, n. sp. × 2. Paratype, apertural view. Loc. no. 7. Nakanokawa formation, Pliocene.

Plate 5

- Figs. 1-2. Callithaca (Protocallithaca) adamsi (Reeve) × 1. left valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 3. *Hemithyris psitacea woodwardi* (A. Adams) × 1. dorsal view. Loc. no 6. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 4. Latirus (?) sp. × 2. dorsal view. Loc. no. 4. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 5. Coptothyris grayi (Davidson) × 1. ventral view. Loc. no. 40. Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation, Miocene.
- Figs. 6-7. Amathina nobilis (A. Adams) × 1.5. 6; apertural view, 7; dorsal view. Loc. no. 4. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 8–9. Ezocallista brevisiphonata (Carpenter) × 2/3. left valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 10-11. Spisula (Spisula) sachalinensis (Schrenck) \times 2/3. left valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 12. Scala (Boreoscala) yabei echigonum (Kanehara) × 1.5. apertural view. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 13–14. *Tectonatica janthostoma* (Deshayes) ×2. 13; apertural view, 14; dorsal view. Loc. no. 7. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 15–16. Littorina (Littorivaga) brevicula (Philippi) × 3. 15; dorsal view, 16; apertural view. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 17. Antiplanes (Rectiplanes) sanctaiioannis (Smith) \times 1. dorsal view. Loc. no. 31. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Figs. 18-19. Hinia (Tritonella) japonica (A. Adams) × 3. 18; apertural view, 20; dorsal view. Loc. no. 4. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 20. *Ezocallista brevisiphonata* (Carpenter) × 2/3. right valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.

Plate 6

- Figs. 1-2. Monia macroschisma (Deshayes) × 1. 1; left valve, 2; right valve. Loc. no. 1. Soibetsugawa formation, Pliocene.
- Figs. 3–4. Arca boucardi Jousseaum × 1.5. right valve. 3; external surface 4; internal surface. Loc. no. 4. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 5–6. Plectodon (Plectodon) ligula (Yokoyama) × 3. left valve. 5; external surface, 6; internal surface. Loc. no. 1. Soibetsugawa formation, Pliocene.
- Figs. 7-8. Limopsis tokaiensis Yokoyama × 1.5. left valve 7; external surface, 8; internal surface, Loc. no. 20. Chinkope formation, Pliocene.
- Figs. 9-10. Venericardia (Cyclocardia) paucicostata (Krause) × 1.5. right valve. 9; external surface, 10; internal surface. Loc. no. 39. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.

- Figs. 11-12. Venericaldia (Cyclocardia) paucicostata (Krause) \times 1.5. left valve. 11; external surface, 12; internal surface. Loc. no. 39. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Fig. 13. Venericardia (Cyclocardia) crebricostata (Krause) × 1. right valve. Loc. no. 4. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 14–15. Venericardia (Cyclocardia) crebricostata (Krause) × 1. left valve. Loc. no. 4. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 16-17. Lucinoma annulatum (Reeve) \times 1.5. 16; right valve. 17; left valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 18. Astarte (Tridonta) alaskensis Dall × 1.5. right valve. Loc. no. 22. Chinkope formation, Pliocene.
- Fig. 19. Macoma (Macoma) incongrua (v. Martens) × 1. left valve. Loc. no. 33. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Fig. 20. Chlamys arakawai (Nomura) × 1. left valve. Loc. no. 40. Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation, Miocene.
- Fig. 21. Chlamys kumanodoensis Masuda \times 1. right valve. external surface, Loc. no. 40. Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation, Miocene.
- Fig. 22. Chlamys kumanodoensis Masuda × 1. right valve. Loc. no. 40. Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation, Miocene.
- Fig. 23. *Chlamys kumanodoensis* Masuda × 1. left valve. external surface. Loc. no. 40. Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation, Miocene.
- Fig. 24. Chlamys cosibensis (Yokoyama) × 1. right valve. Loc. no. 40. Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation, Miocene.
- Figs. 25-26. Felaniella usta (Gould) × 2. left valve, 25; internal surface, 26; external surface. Loc. no. 6. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 27. Patinopecten tokyoensis (Tokunaga) ×1.5. left valve. Loc. no. 1. Soibetsugawa formation, Pliocene.
- Fig. 28. Admete japonica lischkei (Yokoyama) × 2. apertural view. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 29. Astarte (Tridonta) borealis (Schumacher) × 1. right valve. Loc. no. 4. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 30-31. Acila (Truncacila) insignis (Gould) \times 2. right valve. 30; external surface, 31; internal surface. Loc. no. 6. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 32. *Eocylichna musashiensis* (Tokunaga) × 3. apertural view. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.

Plate 7

- Fig. 1. Patinopecten tokunagai (Yokoyama) $\times 2/3$. left value. Loc. no. 27. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.
- Fig. 2. Amathina nobilis (A. Adams) × 1.5. lateral view. Loc. no. 4. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 3. Buccinum leucostoma Lischke × 1. apertural view. Loc. no. 39. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.

Figs. 4-5. Trophonopsis (Austrotrophon) candelabrum Reeve × 1. 4; apertural view, 5; dorsal view. Loc. no. 39. Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation, Pliocene.

Fig. 6. Saxidomus purpuratus (Sowerby) × 1. left valve. Loc. no. 4. Chinkope formation, Pliocene.

- Fig. 7. Terebratalia gouldii (Dall) × 2. dorsal view. Loc. no. 6. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 8-9. Astarte (Tridonta) borealis (Schumacher) × 1. left valve. Loc. no. 1. Soibetsugawa formation, Pliocene.
- Fig. 10. Patinopecten yessoensis (Jay) \times 2/3, right valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 11–12. Liocyma fluctuosa (Gould) \times 1. right valve. Loc. no. 4. Chinkope formation, Pliocene.
- Figs. 13-14. Myadora proxima (Smith) \times 1.5. right valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 15. Soletellina (Nuttallia) petri (Bartsch) × 1. right valve. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Figs. 16-17. Turbo sp. × 1. 16; apertural view, 17; dorsal view. Loc. no. 22. Chinkope formation, Pliocene.
- Fig. 18. Patinopecten tokyoensis (Tokunaga) × 1.5. right valve. Loc. no. 1. Soibetsugawa formation, Pliocene.
- Figs. 19–20. Amathina nobilis A. Adams × 3. 19; dorsal view, 20; lateral view. Loc. no. 3. Nakanokawa formation, Pliocene.
- Fig. 21. Patinopecten tokyoensis (Tokunaga) \times 1/2. right valve. Loc. no. 1. Soibetsugawa formation, Pliocene.
- Figs. 22-23. Macoma (Macoma) tokyoensis Makiyama × 1. left valve. Loc. no. 4. Chinkope formation, Pliocene.

Plate 8

- Fig. 1. Showing the alternation of the green tuff and the small scale alternation of gray coloured sandstone and gray coloured siltstone of the Kunnui formation, along the railway side cutting of the Setana line, about 4 km W of Kayano, Yamakoshigun.
- Fig. 2. The crushed zone of the Shimo-Hakaimappu fault (the left side) cutting the Kuromatsunai formation, about 200 m NE of the Meppu Mine, Imagane-cho, Setana-gun.
- Fig. 3. The cross-bedded coarse grained sandstone of the Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation and the gravel bed of the lower terrace deposits (the uppermost part of the cliff) exposed along the Shubuto-gawa, 200 m W of Nakazato, Kuromatsunai-cho, Suttsu-gun.
- Fig. 4. The clino-unconformity between the Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation and the Garogawa andesitic agglomerate member of the Kuromatsunai formation observed at the cliff along the Warabitai-zawa, a small tributary of the Shamanbe-gawa, 500 m SW of the Warabitai railway station of the Hakodate main line, Kuromatsunai-cho, Suttsu-gun.
- Fig. 5. The cliff showing the upper of the Yakumo formation. The alternation of gray coloured siltstone and small scale alternation of gray coloured siltstone and dark gray coloured shale. The cliff facing the Kami-Hakaimappu-gawa, about 1 km NNE of the Kita-Sumiyoshi railway station of the Setana line, Imagane-cho, Suttsu-gun.
- Fig. 6. The cliff of the siltstone intercalating the thin layer of the coarse to medium grained sandstone of the Kuromatsunai formation, along the side of the Pirika-gawa 500 m SW of the Pirika railway station of the Setana line, Imagane-cho, Setana-gun.
- Fig. 7. The Garogawa andesitic agglomerate member of the Kuromatsunai formation exposed along the road side about 4.5 km W of the Kuromatsunai railway station of the Hakodate

main line, Kuromatsunai-cho, Suttsu-gun.

- Fig. 8. The Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation exposed along the road side cliff, 600 m N of Neppu, Kuromatsunai-cho, Suttsu-gun.
- Fig. 9. The Soibetsugawa formation exposed along the cliff of the Soibetsu-gawa, 600 m SW of the Nakanokawa railway station of the Suttsu line, Kuromatsunai-cho, Suttsu-gun.
- Fig. 10. *Chlamys daishakaensis* Masuda and Sawada in the Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation exposed along the river side cliff of the Soibetsugawa, 100 m SW of Kaigarabuchi, Kuromatsunai-cho, Suttsu-gun.
- Fig. 11. The squeezed out structure preserved in the Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation, exposed in the cliff of the Soibetsu-gawa, about 3.5 km SE of the Nakanokawa railway station of the Suttsu line, Kuromatsunai-cho, Suttsu-gun.
- Fig. 12. The Hanaishi conglomerate member of the Chinkope formation exposed along the cliff of the Toshibetsu-gawa, 1 km SW of the Pirika railway station of the Setana line, Imagane-cho, Setana-gun.
- Fig. 13. The same locality as shown in Fig. 9.
- Fig. 14. The pectinid fossils in the Kaigarabashi sandstone member of the Kunnui formation exposed along the road side cutting, about 3.5 km upperstream of the junction of the Meppu-gawa, a tributary of the Toshibetsu-gawa, Meppu-kukaku, Imagane-cho, Setana-gun.
- Fig. 15. The Kaigarabuchi conglomerate member of the Nakanokawa formation exposed along the cliff of the Shubuto-gawa, 500 m S of Nakazato, Kuromatsunai-cho, Suttsugun.

















節点剛性と変形の影響を考慮せる一般トラス橋の 厳密解法とその計算方法について(第1報)

中村作太郎

On the Exact Solution and the Calculating Method of the General Truss Bridge with Special Reference to the Rigidity of its Panel Points and the Deformation of its Members (No. 1)

Sakutaro Nakamura

Abstract

This paper is written regarding the fact that the present writer induced the fundamental solution of the truss bridge on the theory of deformation including the overloading case, taking into consideration the rigidity of panel points and the deformation of members, and that he made the analytical equations of the stress, the end moment and the shear of any member and induced the general solution of the deflection at any point of the truss bridge by the virtual-work's law of deformation, referring to the exact calculating method of them.

1. 緒 言

最近,トラス橋における節点の部材結合は主として鋲結または溶接結合の混用の事が多く 単純なビン結合を用いる事は極めて少ない。また将来は完全な溶接結合に移行する可能性も充 分考えられる。然るに従来は、これらの節点剛性の中途半端なトラス橋の計算に、節点を完全 な鉸と仮定せる単純トラス橋の解法を用いたり、また節点を完全なる剛結と仮定せる剛節不静 定トラスの解法をそのまま用いたりしているが、これらは何れも妥当ではなく、当然節点剛性 の度合を考慮すべきであると思う。また過荷重を受け変形量が大きくなった場合を考慮すれば 従来のように変形を無視せる単純なる解法は到底当嵌まらない事になる。これは著者等が節点 剛性と変形の影響を調べるため行なったトラス橋の模型実験"の結果より見ても明かなところ である。

先に、小西博士²⁾が "一般剛節構造物の解法及びその極限状態附近における性状につい て"と題し、平面剛節構造物の解法と考察について、土木学会論文集に発表しているが、著者 は更にこれを拡張し、節点剛性の影響を考慮し、ピン結合より剛節結合まで含む一般トラス橋 について厳密解法を試みた。すなわち、本文は節点の剛性を考慮に入れ、過荷重を受ける場合 をも包含した相対変形理論によってトラスの基礎方程式をたて、これによって、部材応力、材 端曲げモーメント, 剪断力などを求める解式を誘導し, 更にトラスの任意の点におけるタワミ を求める一般解式を可能変形法則に基づいて誘導し, 部材応力, 材端曲げモーメント, 剪断力, タワミなどについての厳密計算方法を述べんとするものである。

2. 一般トラス橋における基礎方程式の誘導

A. 任意の一部材におけるタワミ曲線、タワミ角、材端モーメント、剪断力の誘導

第1回において,任意の圧縮材(または引張材)ABの圧縮力(または引張力)をS,端モ ーメントを Mab, Mba とすれば,タワミ曲線は次式の通りになる。

$$y = \frac{M_{ab}}{S} \left\{ \frac{\sin k(l'-x)}{\sin kl'} - \frac{l'-x}{l'} \right\} + x \cdot \tan \left(M_{ab} \cdot Z_{ab} \right)$$
$$- \frac{M_{ba}}{S} \left\{ \frac{\sin kx}{\sin kl'} - \frac{x}{l'} \right\} - (l'-x) \tan \left(M_{ba} \cdot Z_{ba} \right)$$
$$(1)$$
$$(1)$$

J

I = 圧縮材 (または引張材) AB の断面二次モーメント



第1図 一部材における基礎変形の図

従って、支点 A および B におけるタワミ角は (1) 式のタワミ曲線を参照し、圧縮材では、 (2)、 (3) 式、引張材では、 (4)、 (5) 式によって表わす事が出来る。

圧縮材においては

$$\tau_{ab}' = \tau_{ab} + \mathcal{A}_{ab} = \frac{1}{6EK} (2\psi M_{ab} - \varphi M_{ba}) + M_{ab} \cdot Z_{ab}$$

$$\tau_{ba}' = \tau_{ba} + \mathcal{A}_{ba} = \frac{1}{6EK} (2\psi M_{ba} - \varphi M_{ab}) + M_{ba} \cdot Z_{ba}$$

$$(2)$$

$$\begin{aligned} \zeta \subset \mathcal{K} &= \frac{I}{l} = \mathbb{M}\underline{\mathfrak{g}} \\ \varphi &= \frac{6}{kl'} \left(\frac{1}{\sin k l'} - \frac{1}{kl'} \right) \\ \psi &= \frac{3}{kl'} \left(\frac{1}{kl'} - \frac{1}{\tan kl'} \right) \end{aligned}$$

$$(3)$$

$$\tau'_{ab} = \tau_{ab} + \mathcal{A}_{ab} = \frac{1}{6EK} \left(2\Psi M_{ab} - \varPhi M_{ba} \right) + M_{ab} Z_{ab}$$

$$\tau'_{ba} = \tau_{ba} + \mathcal{A}_{ba} = \frac{1}{6EK} \left(2\Psi M_{ba} - \varPhi M_{ab} \right) + M_{ba} Z_{ba}$$

$$\left. \left(4 \right) \right\}$$

$$K = \frac{1}{l'} = \mathbb{M}\mathfrak{E}$$

$$\emptyset = \frac{6}{kl'} \left(\frac{1}{kl'} - \frac{1}{\sinh kl'} \right)$$

$$\Psi = \frac{3}{kl'} \left(\frac{1}{\tanh kl'} - \frac{1}{kl'} \right)$$
(5)





第2図の如く,任意の圧縮材 (または引張材) AB の変形前の位置を AB,変形後の位置を A'B' とすれば, A'B'については,(2)式 (または(3)式) をそのまま用いる事が出来る。

また,幾何学的関係より,

$$\tau_{ab}^{\prime} + R = \tau_{ab} + M_{ab}Z_{ab} + R = \theta_{ab}$$

$$\tau_{ba}^{\prime} + R = \tau_{ba} + M_{ba}Z_{ba} + R = \theta_{ba}$$

$$(6)$$

(6) 式に(2) および(3) 式を用いれば圧縮材に関する(7) 式が得られ, また(4) および(5) 式を 用いれば引張材に関する(8) 式が得られる。すなわち

圧縮材 AB については

$$\theta_{ab} = \frac{1}{6EK} \left(2\psi M_{ab} - \varphi M_{ba} + 6EK \cdot M_{ab} Z_{ab} + 6EKR \right) \\ \theta_{ba} = \frac{1}{6EK} \left(2\psi M_{ba} - \varphi M_{ab} + 6EK \cdot M_{ba} Z_{ba} + 6EKR \right)$$

$$\left. \right\}$$

$$(7)$$

引張材 AB については

$$\theta_{ab} = \frac{1}{6EK} \left(2\Psi M_{ab} - \varPhi M_{ba} + 6EK \cdot M_{ab} Z_{ab} + 6EKR \right)$$

$$\theta_{ba} = \frac{1}{6EK} \left(2\Psi M_{ba} - \varPhi M_{ab} + 6EK \cdot M_{ba} Z_{ba} + 6EKR \right)$$

$$\left. \right\}$$
(8)

そこで,(7)式または(8)式をそれぞれ,端モーメント M について解けば,圧縮材については,(11)および(12)式,引張材については,(15)および(16)式が得られる。すなわち,

圧縮材 AB については、(7) 式より

$$6EK \cdot \theta_{ab} = 2\psi M_{ab} - \varphi M_{ba} + 6EK \cdot M_{ab} \cdot Z_{ab} + 6EKR$$

故に

$$M_{ab}\left(2\psi + 6EK \cdot Z_{ab}\right) - \varphi M_{ba} = 6EK\left(\theta_{ab} - R\right) \tag{9}$$

また

$$6EK \cdot \theta_{ba} = 2\psi M_{ba} - \varphi M_{ab} + 6EKM_{ba}Z_{ba} + 6EKR$$

故に

$$\varphi M_{ab} - M_{ba} \left(2\psi + 6EK \cdot Z_{ba} \right) = 6EK \left(R - \theta_{ba} \right) \tag{10}$$

 $(9) \times (2\psi + 6EK \cdot Z_{ba}) - (10) \times \varphi$

$$M_{ab} \{ (2\psi + 6EK \cdot Z_{ab}) (2\psi + 6EK \cdot Z_{ba}) - \varphi^2 \}$$

= $6EK (\theta_{ab} - R) (2\psi + 6EK \cdot Z_{ba}) - 6EK (R - \theta_{ba}) \cdot \varphi$

故に

$$M_{ab} = \frac{6EK \left\{ \theta_{ab} - R \right\} (2\psi + 6EK \cdot Z_{ba}) + (\theta_{ba} - R)\varphi \right\}}{(2\psi + 6EK \cdot Z_{ab}) (2\psi + 6EK \cdot Z_{ba}) - \varphi^2}$$
(11)

更に

 $(9) \times \varphi - (10) \times (2\psi + 6EKZ_{ab})$

$$-M_{ba} \left\{ \varphi^2 + (2\psi + 6EK \cdot Z_{ba})(2\psi + 6EK \cdot Z_{ab}) \right\}$$

= 6EK \left\{(\theta_a - R)\varphi - (R - \theta_{ba})(2\varphi + 6EK \cdot Z_{ab})\right\}

故に

$$M_{ba} = -\frac{6EK \left\{ \theta_{ab} - R \right) \varphi + \left(\theta_{ba} - R \right) \left(2\psi + 6EKZ_{ab} \right) \right\}}{\varphi^2 + \left(2\psi + 6EK \cdot Z_{ba} \right) \left(2\psi + 6EK \cdot Z_{ab} \right)}$$
(12)

引張材 AB については、(8) 式より

(114)

$$6EK \cdot \theta_{ab} = 2\Psi M_{ab} - \Phi M_{ba} + 6EK \cdot M_{ab} Z_{ab} + 6EKR$$

故に

$$M_{ab}\left(2\Psi + 6EK \cdot Z_{ab}\right) - \mathcal{O}M_{ba} = 6EK\left(\theta_{ab} - R\right) \tag{13}$$

また

$$6EK\theta_{ba} = 2\Psi M_{ba} - \mathbf{\Phi} M_{ab} + 6EK \cdot M_{ba} Z_{ba} + 6EKR$$

故に

$$\mathcal{P}M_{ab} - M_{ba} \left(2\Psi + 6EKZ_{ba} \right) = 6EK \left(R - \theta_{ba} \right) \tag{14}$$

$$(13) \times (2\Psi + 6EK \cdot Z_{ba}) - (14) \times \mathbf{0}$$

$$M_{ab} \{ (2\Psi + 6EK \cdot Z_{ab}) (2\Psi + 6EK \cdot Z_{ba}) - \boldsymbol{\vartheta}^2 \}$$

= 6EK \{ (\mathcal{d}_{ab} - R) (2\Psi + 6EK \cdot Z_{ba}) - (R - \mathcal{d}_{ba}) \boldsymbol{\vartheta} \}

故に

$$M_{ab} = \frac{6EK \left\{ (\theta_{ab} - R) \left(2\Psi + 6EKZ_{ba} \right) + (\theta_{ba} - R) \theta \right\}}{(2\Psi + 6EKZ_{ab}) \left(2\Psi + 6EKZ_{ba} \right) - \theta^2}$$
(15)

更に

 $(13) \times \mathcal{O} - (14) \times (2\Psi + 6EKZ_{ab})$

$$-M_{ba} \{ \theta^2 + (2\Psi + 6EK \cdot Z_{ba}) (2\Psi + 6EKZ_{ab}) \}$$

= 6EK {((\theta_{ab} - R) \theta - (R - \theta_{ba}) (2\Psi + 6EK \cdot Z_{ab}) }

故に

$$M_{ba} = -\frac{6EK \left\{ \left(\theta_{ab} - R\right) \mathcal{Q} + \left(\theta_{ba} - R\right) \left(2\Psi + 6EKZ_{ab}\right)\right\}}{\left(2\Psi + 6EKZ_{ba}\right) \left(2\Psi + 6EKZ_{ab}\right) + \mathcal{Q}^2}$$
(16)

次に、剪断力Qは、第2図において、モーメントの釣合条件より次の通りになる。

$$\left.\begin{array}{c}
Q_{a} = \frac{1}{V}(M_{ab} + M_{ba}) \\
Q_{b} = -Q_{a}
\end{array}\right\}$$
(17)

故に, 圧縮材 AB については, (11), (12) 式を用い次式が得られる。

$$Q_{a} = \frac{1}{\mathcal{V}} \left[\frac{6EK \left\{ (\theta_{ab} - R) \left(2\psi + 6EKZ_{ba} \right) + (\theta_{ba} - R) \varphi \right\}}{\left(2\psi + 6EKZ_{ab} \right) \left(2\psi + 6EKZ_{ba} \right) - \varphi^{2}} - \frac{6EK \left\{ (\theta_{ab} - R) \varphi + (\theta_{ba} - R) \left(2\psi + 6EKZ_{ab} \right) \right\}}{\left(2\varphi + 6EKZ_{ba} \right) \left(2\psi + 6EKZ_{ab} \right) + \varphi^{2}} \right]$$

$$= \frac{6EK}{\mathcal{V}} \left[\frac{\left(\theta_{ab} - R \right) \left(2\psi + 6EKZ_{ba} \right) + \left(\theta_{ba} - R \right) \varphi}{\left(2\psi + 6EKZ_{ab} \right) \left(2\psi + 6EKZ_{ba} \right) - \varphi^{2}} - \frac{\left(\theta_{ab} - R \right) \varphi + \left(\theta_{ba} - R \right) \left(2\psi + 6EKZ_{ab} \right) - \varphi^{2}}{\left(2\psi + 6EKZ_{ba} \right) \left(2\psi + 6EKZ_{ab} \right) - \varphi^{2}} \right]$$
(18)

中村作太郎

$$Q_{b} = -Q_{a} = -\frac{6EK}{l'} \left[\frac{(\theta_{ab} - R)(2\psi + 6EKZ_{ba}) + (\theta_{ba} - R)\varphi}{(2\psi + 6EKZ_{ab})(2\psi + 6EKZ_{ba}) - \varphi^{2}} - \frac{(\theta_{ab} - R)\varphi + (\theta_{ba} - R)(2\psi + 6EKZ_{ab})}{(2\psi + 6EKZ_{ba})(2\psi + 6EKZ_{ab}) + \varphi^{2}} \right]$$
(19)

また, 引張材 AB については, (15), (16) 式を(17) 式に用い

$$Q_{a} = \frac{6EK}{\mathcal{V}} \left\{ \frac{(\theta_{ab} - R)\left(2\Psi + 6EKZ_{ba}\right) + (\theta_{ba} - R)\boldsymbol{\vartheta}}{\left(2\Psi + 6EKZ_{ab}\right)\left(2\Psi + 6EKZ_{ba}\right) - \boldsymbol{\vartheta}^{2}} - \frac{(\theta_{ab} - R)\boldsymbol{\vartheta} + (\theta_{ba} - R)\left(2\Psi + 6EKZ_{ab}\right)}{\left(2\Psi + 6EKZ_{ba}\right)\left(2\Psi + 6EKZ_{ab}\right) + \boldsymbol{\vartheta}^{2}} \right\}$$
(20)

$$Q_{b} = -Q_{a} = -\frac{6EK}{l'} \left\{ \frac{(\theta_{ab} - R)(2\Psi + 6EKZ_{ba}) + (\theta_{ba} - R)\boldsymbol{\theta}}{(2\Psi + 6EKZ_{ab})(2\Psi + 6EKZ_{ba}) - \boldsymbol{\theta}^{2}} - \frac{(\theta_{ab} - R)\boldsymbol{\theta} + (\theta_{ba} - R)(2\Psi + 6EKZ_{ab})}{(2\Psi + 6EKZ_{ba})(2\Psi + 6EKZ_{ab}) + \boldsymbol{\theta}^{2}} \right\}$$
(21)

上述のように、剪断力 Q_a, Q_b を求めるには、圧縮材では(18),(19)式、引張材では(20), (21)式を用いて計算すればよい。 然るに、既にあげた(1)~(21)式には、総べて、節点の接合係 数^{3),4)}, Z_{ab}, Z_{ba} が含まれている事に注意しなければならない。すなわち、タワミ曲線、タワミ 角、材端モーメント、剪断力の何れを計算するにも、係数 Z_{ab}, Z_{ba} (正確に云うと、単位モー メントによる角変化を意味する)を決定するのが先決問題である。Z_{ab}, Z_{ba} は、剛節、鉸節に よって次の如く表わす事が出来る。すなわち、

剛節とすれば

$$Z_{ab} = \frac{\varDelta_{ab}}{M_{ab}} = 0, \qquad Z_{ba} = \frac{\varDelta_{ba}}{M_{ba}} = 0$$

鉸節とすれば

$$Z_{ab} = \frac{\varDelta_{ab}}{M_{ab}} = \infty$$
 $Z_{ba} = \frac{\varDelta_{ba}}{M_{ba}} = \infty$

となり、鋲結溶接結合では、その中間の値になる。

B. 応力法形による解式

第3図において,未知力 S, M は次にあげる釣合および節点条件式によって,総べてを求める事が出来る。

いま、節点 i に作用する集中荷重の x, y 方向の分力を、それぞれ $P_{xi'}$, $P_{yi'}$ また、モー メントを $M_{i'}$ とすれば、釣合条件式は次の如く表わされる。

$$\begin{cases} \sum_{k'=1}^{n'} S_{i'k'} \cos \alpha_{i'k'} + \sum_{k'=1}^{n'} Q_{i'k'} \sin \alpha_{i'k'} + \sum_{i'} P_{xi'} = 0 \\ \sum_{k'=1}^{n'} S_{i'k'} \sin \alpha_{i'k'} - \sum_{k'=1}^{n'} Q_{i'k'} \cos \alpha_{i'k'} + \sum_{i'} P_{yi'} = 0 \\ \sum_{k'=1}^{n'} M_{i'k'} + \sum_{i'} M_{i'} = 0 \end{cases}$$

$$(22)$$

(116)



ただし,(22)式中の Q はその部材の性質に応じて,(18),(19)式または(20),(21)式を用いる。次に節点条件式は,節点 *i* に集まる部材 *i* 1′, *i* 2′…, *i k*/……*i* n′ について

$$\theta_{i'1'} = \theta_{i'2'} = \dots = \theta_{i'k'} = \dots = \theta_{i'n'} = \theta_{i'} \tag{23}$$

(23) 式に,部材の性質に応じて(7) または(8) 式を用いれば,節点条件式は *M*, *R* によって 表わされる。

C. 変形法形による解式

次に変形法形^{2),5)} によって部材力を求めて見る。 すなわち,未知量として,各節点について x および y 方向の変位をそれぞれ, u_a , v_a および u_b , v_b とすれば,長さの歪 4l は,高次の 微小量を無視すれば

$$\mathcal{\Delta}l = (u_b - u_a) \frac{\cos \alpha}{l'} + (v_b - v_a) \frac{\sin \alpha}{l'}$$
(24)

部材の受ける曲げモーメントによって生ずる部材長の変化は、2次的の極めて微小量であ るから、これを無視すれば、部材の長さの変化は軸力および温度変化によるものと考える事が 出来る。すなわち、

$$\Delta l = \frac{S}{E \cdot F} + \omega t$$

ここに $\omega = 部材材料の線膨脹係数$
(24), (25)式より

(117)

(25)

中村作太郎

$$\frac{S}{EF} + \omega t = (u_b - u_b) \frac{\cos \alpha}{l'} + (v_b - v_a) \frac{\sin \alpha}{l'}$$
(26)

温度変化がない場合には

$$S = \frac{EF}{l} \Big\{ (u_b - u_a) \cos \alpha + (v_b - v_a) \sin \alpha \Big\}$$
(27)

次に、部材回転角Rは、高次の微小量を無視すれば

$$R = (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} - (u - u) \frac{\sin \alpha}{l'}$$
(28)

従って、端モーメントは、節点条件式(23)を考慮に入れて、(11)、(12)式、または、(13)、 (14)式より、次の如く求める事が出来る。

圧縮材 AB については

$$M_{ab} = \frac{6EK}{(2\psi + 6EKZ_{ab})(2\psi + 6EKZ_{ba}) - \varphi^2} \left[\left\{ \theta_{ab} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} (2\psi + 6EKZ_{ba}) + \left\{ \theta_{ba} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} \varphi \right]$$

$$M_{ba} = -\frac{6EK}{(2\psi + 6EKZ_{ab})(2\psi + 6EKZ_{ba}) + \varphi^2} \left[\left\{ \theta_{ab} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} \varphi + \left\{ \theta_{ba} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} (2\psi + 6EK \cdot Z_{ab}) \right]$$

$$(29)$$

(30)

$$M_{ab} = \frac{6EK}{(2\Psi + 6EKZ_{ab})(2\Psi + 6EKZ_{ba}) - \boldsymbol{\vartheta}^2} \left[\left\{ \theta_{ab} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} (2\Psi + 6EK \cdot Z_{ba}) + \left\{ \theta_{ba} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} \boldsymbol{\vartheta} \right]$$

$$(31)$$

$$M_{ba} = -\frac{6EK}{(2\Psi + 6EKZ_{ab})(2\Psi + 6EKZ_{ba}) + \mathcal{Q}^2} \left[\left\{ \theta_{ab} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} \mathcal{Q} + \left\{ \theta_{ba} - (v_b - v_a) \frac{\cos \alpha}{l'} + (u_b - u_a) \frac{\sin \alpha}{l'} \right\} (2\Psi + 6EKZ_{ab}) \right]$$

$$(32)$$

いま,節点*i*が*i*′に変位し,*i*に連らなる部材*i*1,*i*2,…*in*が,第3図の通り,*i*1′,*i*2′… *i*′*n*′に変位したとする。そこで、節点*i*の変位を $u_{i'}$, $v_{i'}$,回転角を $\theta_{i'}$ とし、節点*i*′について 釣合条件式(22)式に、(18),(19)または、(20),(21)および(27)式並びに(29),(30)または、(31),(32) 式を代入すれば、次式が得られる。(22)式の第1公式より、

圧縮材 AB に対しては

節点剛性と変形の影響を考慮せる一般トラス橋の厳密解法とその計算方法について(第1報) 119

$$\frac{EF}{l'} \sum_{k} \left\{ (u_{k'} - u_{i'}) \cos \alpha_{i'k'} + (v_{k'} - v_{i'}) \sin \alpha_{i'k'} \right\} \cos \alpha_{i'k'} + \frac{6EK}{l'} \sum_{k'} \left\{ \frac{(\theta_{i'k'} - R)(2\psi + 6EKZ_{k'i'}) + (\theta_{k'i'} - R)\varphi}{(2\psi + 6EKZ_{i'k'})(2\psi + 6EKZ_{k'i'}) - \varphi^2} - \frac{(\theta_{i'k'} - R)\varphi + (\theta_{k'i'} - R)(2\psi + 6EKZ_{i'k'})}{(2\psi + 6EKZ_{ki})(2\psi + 6EKZ_{ik'}) + \varphi} \right\} \sin \alpha_{i'k'} + \sum_{i'} P_{xi'} = 0$$
(33)

引張材 AB に対しては,

$$\frac{EF}{l'} \sum_{k'} \left\{ (u_{k'} - u_{i'}) \cos \alpha_{i'k'} + (v_{k'} - v_{i'}) \sin \alpha_{i'k'} \right\} \cos \alpha_{i'k'} \\
+ \frac{6EK}{l'} \sum_{k'} \left\{ \frac{(\theta_{i'k'} - R)(2\Psi + 6EKZ_{k'i'}) + (\theta_{k'i'}R) - \emptyset}{(2\Psi + 6EKZ_{i'k'})(2\Psi + 6EKZ_{k'i'}) - \theta^2} \\
- \frac{(\theta_{i'k'} - R) \vartheta + (\theta_{k'i'} - R)(2\Psi + 6EKZ_{k'i'}) + \theta^2}{(2\Psi + 6EKZ_{i'k'}) + \theta^2} \right\} \sin \alpha^{i'}_{k'k'} + \sum_{i'} P_{zi'} = 0 \quad (34)$$

また,(22)式の第2公式より

圧縮材 AB に対しては

$$\frac{EF}{l'} \sum_{k'} \left\{ (u_{k'} - u_{i'}) \cos \alpha_{i'k'} + (v_{k'} - v_{i'}) \sin \alpha_{i'k'} \right\} \sin \alpha_{i'k'} \\
- \frac{6EK}{l'} \sum_{l'} \left\{ \frac{(\theta_{i'k'} - R)(2\psi + 6EKZ_{k'k'}) + (\theta_{k'k'} - R)\varphi}{(2\psi - 6EKZ_{i'k'})(2\psi + 6EKZ_{k'k'}) - \varphi^2} - \frac{(\theta_{i'k'} - R)\varphi + (\theta_{k'k'} - R)(2\psi + 6EKZ_{i'k'})}{(2\psi + 6EKZ_{kk})(2\psi + 6EKZ_{ikk}) + \varphi} \right\} \cos \alpha_{i'k'} + \sum_{i'} P_{yi'} = 0 \quad (35)$$

.

引張材 AB に対しては

$$\frac{EF}{l'} \sum_{k'} \left\{ (u_{k'} - u_{i'}) \cos \alpha_{i'k'} + (v_{k'} - v_{i'}) \sin \alpha_{i'k'} \right\} \sin \alpha_{i'k'}
- \frac{6EK}{l'} \sum_{k'} \left\{ \frac{(0_{i'k'} - R)(2\Psi + 6EKZ_{k'i'}) + (\theta_{k'i'} - R) \boldsymbol{\vartheta}}{(2\Psi + 6EKZ_{i'k'})(2\Psi + 6EKZ_{k'i'}) - \boldsymbol{\vartheta}^2}
- \frac{(\theta_{i'k'} - R) \boldsymbol{\vartheta} + (\theta_{k'i'} - R)(2\Psi + 6EKZ_{k'i'})}{(2\Psi + 6EKZ_{i'k'}) + \boldsymbol{\vartheta}^2} \cos \alpha_{i'k'} + \sum_{i'} P_{yi'} = \mathbf{0} \quad (36)$$

ただし、上述の (24) 式~(36) 式における $u_{i'}$ 、 $v_{i'}$ および $u_{k'}$ 、 $v_{k'}$ は、圧縮材、引張材の別、 座標 x、y に対する i および i' 点の関係位置などにより、正、負二通りの場合が考えられるか ら数値計算に際しては充分注意する必要がある。次に、(22) 式の第3公式より、

圧縮材に対しては

$$\sum_{k'} \frac{6EK}{(2\psi + 6EKZ_{i'k'})(2\psi + 6EKZ_{k'i'}) - \varphi^2} \left[\left\{ \theta_{i\cdot k'} - (v_{k'} - v_{i'}) \frac{\cos \alpha_{i'k'}}{l'} + (u_{k'} - u_{i'}) \frac{\sin \alpha_{i'k'}}{l'} \right\} (2\psi + 6EKZ_{k'i'}) + \left\{ \theta_{k'i'} - (v_{k'} - v_{i'}) \frac{\cos \alpha_{i'k'}}{l'} + (u_{k'} - u_{i'}) \frac{\sin \alpha_{i'k'}}{l'} \right\} \varphi \right] + \sum_{i} M_{i'} = 0$$
(37)

引張材に対しては

中村作太郎

$$\sum_{k'} \frac{6EK}{(2\Psi + 6EKZ_{i'k'})(2\Psi + 6EKZ_{k'i'}) - \boldsymbol{\varphi}^2} \left[\left\{ \vartheta_{i'k'} - (v_{k'} - v_{i'}) \frac{\cos \alpha_{i'k'}}{l'} + (u_{k'} - u_{i'}) \frac{\sin \alpha_{i'k'}}{l'} \right\} (2\Psi + 6EKZ_{k'i'}) + \left\{ \vartheta_{k'i'} - (v_{k'} - v_{i'}) \frac{\cos \alpha_{i'k'}}{l'} + (u_{k'} - u_{i'}) \frac{\sin \alpha_{i'k'}}{l'} \right\} \boldsymbol{\varphi} \right] + \sum_{i'} M_{i'} = 0$$
(38)

上述の (33) 式~(38) 式は, 節点剛性の影響を考慮せる一般トラス橋の変形理論によって誘 導した基礎方程式である。未知量 u, v, θ の総数と条件式の総数が相等しいから, (33), (35), (37) 式および (34), (36), (38) 式によって総べての未知量を計算する事が出来る。F, sin, α , cos α , K, l などは, 何れも橋の形状, 大さ, 各部材の寸法などが与えられれば定まるが, 一般基 礎方程式の φ , ψ , θ , Ψ などは, 何れも部材の軸力 S の函数であるから, (27) 式より明らかな ように, u, v によって決まるものであり, 繰返し漸近法によって解く事が出来ると考える。

3. 一般トラス橋における基礎方程式の解法

節点剛性の影響を考慮せる一般トラス橋の基礎方程式において、 材端モーメント Mの作用は、軸力 Sの作用に比し小さいから、Mに随伴して生ずる Qの作用も小さい。従って、第 1次近似値として、 釣合条件式(22)中の Q 項を無視した条件式の解を採用する事が出来る。 この場合の基礎方程式(33), (35), (37)式および(34), (36), (38)式は次のように簡単になる。

圧縮材 AB に対しては

$$\frac{EF}{l'}\sum_{k'}\left\{(u_{k'}-u_{\ell'})\cos\alpha_{\ell'k'}+(v_{k'}-v_{\ell'})\sin\alpha_{\ell'k'}\right\}\cos\alpha_{\ell'k'}+\sum_{\ell'}P_{x\ell'}=0$$
(39)

$$\frac{EF}{l'} \sum_{k'} \left\{ (u_{k'} - u_{i'}) \cos \alpha_{i'k'} + (v_{k'} - v_{i'}) \sin \alpha_{i'k'} \right\} \sin \alpha_{i'k'} + \sum_{i'} P_{yi'} = 0$$
(40)

$$\sum_{k'} \frac{6EK}{(2\psi + 6EKZ_{i'k'})(2\psi + 6EKZ_{k'i'}) - \varphi^2} \left[\left\{ \theta_{i'k'} - (v_{k'} - v_{i'}) \frac{\cos \alpha_{i'k'}}{l'} + (u_{k'} - u_{i'}) \frac{\sin \alpha_{i'k'}}{l'} \right\} (2\psi + 6EKZ_{k'i'}) + \left\{ \theta_{k'i'} - (v_{k'} - v_{i'}) \frac{\cos \alpha_{i'k'}}{l'} + (u_{k'} - u_{i'}) \frac{\sin \alpha_{i'k'}}{l'} \right\} \varphi \right] + \sum_{i'} M_{i'} = 0$$
(41)

引張材 AB に対しては

$$\frac{EF}{\mathcal{U}}\sum_{k'}\left\{\left(u_{k'}-u_{i'}\right)\cos\alpha_{i'k'}+\left(v_{k'}-v_{i'}\right)\sin\alpha_{i'k'}\right\}\cos\alpha_{i'k'}+\sum_{i'}P_{xi'}=0$$
(42)

$$\frac{EF}{l'} \sum_{k'} \left\{ (u_{k'} - u_{i'}) \cos \alpha_{i'k'} + (v_{k'} - v_{i'}) \sin \alpha_{i'k'} \right\} \sin \alpha_{i'k'} + \sum_{i'} P_{yii'} = 0$$
(43)

$$\sum_{k'} \frac{6EK}{(2\Psi + 6EKZ_{i'k'})(2\Psi + 6EKZ_{k'i'}) - \boldsymbol{\varphi}^2} \left[\left\{ \theta_{i'k'} - (v_{k'} - v_{i'}) - \frac{\cos \alpha_{i'k'}}{l'} \right\} \right]$$

$$(120)$$

$$+ (u_{k'} - u_{i'}) \frac{\sin \alpha_{i'k'}}{l'} \Big] (2\Psi + 6EKZ_{k'i'}) + \Big\{ \theta_{k'i'} - (v_{k'} - v_{i'}) \frac{\cos \alpha_{i'k'}}{l'} + (u_{k'} - u_{i'}) \frac{\sin \alpha_{i'k'}}{l'} \Big\} \Phi \Big] + \sum_{i'} M_{i'} = 0$$

$$(44)$$

上述の(39), (40), (41)式および(42), (43), (44)式よりそれぞれ, 未知量 u, v, t を求める 事が出来る。

4. 一般トラス橋の座屈または弾性破壊荷重に関する解法

第4図に示すような一般トラス橋の節点 *i*について,節点結合条件式を作って見れば, 次のように3つになる。

$$\theta_{ig} = \theta_{ih}, \quad \theta_{ig} = \theta_{ij}, \quad \theta_{ig} = \theta_{ik}$$
(45)

いま, 圧縮部材 *ig*, *ik* について, 節点の 結合条件式(45)の第3式に(7)に相当する式 を作って代入すると次式のようになる。



第4図 節点剛性を考慮せる一般トラス橋の座屈 または弾性破壊に関する図

$$\frac{1}{6EK_{ig}} (2\psi_{ig}M_{ig} - \varphi_{ig}M_{gi} + 6EK_{ig}M_{ig}Z_{ig} + 6EK_{ig}R_{ig}) \\ = \frac{1}{6EK_{ik}} (2\psi_{ik}M_{ik} - \varphi_{ik}M_{ki} + 6EK_{ik}M_{ik}Z_{ik} + 6EK_{ik}R_{ik})$$

両辺に $6EK_{ig}K_{ik}$ を乗じ,整理すれば,

$$K_{ik}\varphi_{ig}M_{gi} - 2K_{ik}\psi_{ig}M_{ig} + 2K_{ig}\psi_{ik}M_{ik} - K_{ig}\varphi_{ik}M_{ki}$$

= $6EK_{ig}K_{ik} \{(M_{ig}Z_{ig} - M_{ik}Z_{ik}) + (R_{ig} - R_{ik})\}$ (46)

同様にして,他の上弦材節点における圧縮部材についても節点の結合条件式を求める事が 出来るから,必ず未知の材端モーメントの数と同数だけの式が得られる事になる。荷重 Pを 次第に増加すると、トラスにおける圧縮部材は座屈するか、弾性破壊を生ずる。座屈を生じた 場合には、部材の材端モーメントは ∞ になる筈である。すなわち、座屈の条件式は(46)式と 同形の節点結合条件式の材端モーメントの係数で作った行列式を0に等しいとおいた式で表わ される。この座屈条件式より、軸力 S 従って、座屈に必要な荷重 P が求められる事になる。ト ラスにおける圧縮部材の細長比が小さい場合には、座屈を生ずる前に部材応力が弾性限度を超 過して弾性破壊を生ずる事がある。この場合には、基礎方程式の解法に従って部材力 S、モー メント Mを求め、これから部材応力度を計算し、弾性限度との相対関係について吟味して見 る必要がある。

また,節点 h に対し, 引張材 fh, hj について, 節点の結合条件式を作ると次の通りである。

$$\theta_{hf} = \theta_{hg}, \quad \theta_{hf} = \theta_{hi}, \quad \theta_{hf} = \theta_{hj}$$
(47)

圧縮材の場合と同様にして、(8)式に相当する式を作って(47)式の第3公式に代入すると、

$$\frac{1}{6EK_{hf}} (2\Psi_{hf}M_{hf} - \boldsymbol{\theta}_{hf}M_{hf} + 6EK_{hf}M_{hf}Z_{hf} + 6EK_{hf}R_{hf})$$
$$= \frac{1}{6EK_{hj}} (2\Psi_{hj}M_{hj} - \boldsymbol{\theta}_{hj}M_{jh} + 6EK_{hj}M_{hj}Z_{hj} + 6EK_{hj}R_{hj})$$

両辺に、6EK_{hf}K_{hj}を乗じ、整理すると次式が得られる。

$$K_{hj}\boldsymbol{\vartheta}_{hf}M_{hf} - 2K_{hj}\boldsymbol{\mathscr{Y}}_{hf}M_{hf} + 2K_{hf}\boldsymbol{\mathscr{Y}}_{hj}M_{hj} - K_{hf}\boldsymbol{\vartheta}_{hj}M_{jh}$$
$$= 6EK_{hf}K_{hj} \left\{ (M_{hf}Z_{hf} - M_{hj}Z_{hj}) + (R_{hf} - R_{hj}) \right\}$$
(48)

同様に、他の下弦材節点における引張部材についても、節点の結合条件式を求める事が出 来るから未知の材端モーメントの数と同数だけの式が得られる事になる。 荷重 P を次第に増 加すると、トラスにおける引張部材は弾性限度を超過して弾性破壊を生ずる。この場合は基礎 方程式の解法に従って、部材力 S, モーメント M を求め、これから部材応力度を計算し、弾

性限度との相対関係について吟味しなければなら ない。

5. 一般トラス橋の厳密タワミ解法^{6),7)}

第5図の如き一般トラス橋の任意の点におけ るタワミ解式を作って見る。いま,可能変形法則⁹⁾ において,仮想荷重 $P_{i}=1$ および実験荷重による

変位状態を想定すれば、任意の点iにおけるトラス橋のタワミー般式は、次の如く表わされる。

$$1 \cdot \delta_{i} = \sum \bar{S} \cdot S \cdot \mu \frac{s}{EA} + \sum \bar{M} \cdot M \cdot \nu \frac{s}{EI} + \kappa \sum \bar{Q} \cdot Q \cdot \lambda \frac{s}{GA} + \sum \cdot \bar{S} \cdot \varepsilon \cdot t \cdot \mu \cdot s + \sum \cdot \bar{M} \cdot \varepsilon \frac{\Delta t}{h} \cdot \nu \cdot s$$

$$(49)$$

いま,温度変化を無視すれば,(50)式が得られる。

$$1 \cdot \delta_i = \sum \bar{S} \cdot S \cdot \mu \frac{s}{EA} + \sum \bar{M} \cdot M \cdot \nu \frac{s}{EI} + \kappa \sum \bar{Q} \cdot Q \cdot \lambda \cdot \frac{s}{G \cdot A}$$
(50)

(50) 式において

- δ_i : 任意の点 i における垂直タワミ
- s: 部材の全長(節点間距離)

E: 弾性係数

A: 部材の断面積

I: 断面の慣性モーメント


節点剛性と変形の影響を考慮せる一般トラス橋の厳密解法とその計算方法について(第1報) 123

S: 部材の実軸力

S: i点に P=1 が作用するときの部材の仮想軸力
Mmn, Mnm: 部材の左,右節点における材端実モーメントの平均値
M: 部材における左右材端実モーメントの平均の値
(51)
M: i点に P=1 が作用するときの部材における左,右材端仮想モーメントの平均値
Q: 部材の実剪断力
Q: i点に P=1 が作用するときの部材の仮想剪断力
G: 剪断弾性係数
μ, ν, λ: 部材の軸力,曲げモーメント,剪断力に関する節点の剛性による係数
κ: 剪断弾性補正係数の逆数
se: 有効部材長

μ, ν, λ などの係数は, 節点の剛性によって定まるから模型実験などによって決定すべき であるが, 理論的にこれを算定するには次の如き計算公式を用いるのも一方法であると考え る。

A. 部材に軸力のみ作用する場合の節点剛性による係数 µ

i. 軸圧縮力を受けるとき

全部材長
$$s = \sqrt{2.5} \pi \sqrt{\frac{EI}{S_k}} = 1.58\pi \sqrt{\frac{EI}{S_k}}$$

部材有効長 $s_e = \pi \sqrt{\frac{EI}{S_k'}}$
 S_k : 節点が鉸の場合の軸圧縮座屈荷重⁹⁾
 S_k' : 節点がある程度の剛性を有する場合の軸圧縮座屈荷重
係数 $\mu = \frac{s_e}{s} = 0.633 \sqrt{\frac{S_k}{S_k'}}$
ii. 軸引張力を受けるとき
部材有効長 $s_e = \frac{1}{2} \left(s + \pi \sqrt{\frac{EI}{EI}} \right)$

$$\mu = \frac{s_e}{s}$$

s: 部材の全長

S'_+: (52) 式の記号参照

B. 部材に、材端モーメント、剪断力などが作用する場合の節点剛性による係数 ν, λ

(53)

(52)

中村作太郎

部材有効長 $s_e = \pi \sqrt{\frac{s \cdot G \cdot I_{\min}}{M_k}}$

 I_{\min} : 断面の最小慣性モーメント

 M_k : 部材の両端に曲げモーメントを受ける場合の横座屈曲げモーメント 9

 $\nu, \lambda = \frac{s_e}{s}$

尚, (52)~(54) におけるその他の記号は, (51) の記号参照の事。

以上の公式によるか模型実験などによって μ , ν , λ の係数が決定したならば, (49) または (50) 式によって任意の点におけるタワミを算出する事が出来る。ただし, (49), (50)の解式に含 まれる \overline{S} , S, \overline{M} , M, \overline{Q} , Q などの計算は,前述の変形理論によって誘導した解式 (1)~(48) な どを用いて厳密に行なうべきである。

6. 結 言

一般に構造物が過荷重を受け極限状態にある場合の解法は,場合によっては更に基礎的な 有限変位理論¹⁰⁾または塑性理論などに基づいて行なわれるべきものと思うが,節点剛性の性質 鋼材の強度などより考察し,トラス橋の解法としては,節点の相対変位と部材の弾性変形を考 慮した厳密解法,すなわち前述の解式(1)~(54)を用いて計算すれば充分間に合うものと思う。 またトラス橋の節点は,鋲結であっても溶接結合とするも,その接合状態から見て鉸結と剛結 との中間的構造を示し,所謂"不完全剛結,と見なす事が出来る。この場合節点の接合状態に 関する係数 Z および μ,ν, λ などの決定方法が問題となる。これらの係数は原則としては模 型実験などによって定むべきものと思うが,それについてはトラス橋の厳密計算例などと共に 次の機会に譲る事とする。

尚,本論文を纒めるに当っては,次に挙げる参考文献に負う処多く,それらの著者に深謝 すると共に,この一連の研究に常に御支援下さった北大工学部,今俊三教授,酒井忠明教授, 東大工学部,奥村敏恵教授,日本国有鉄道技術研究所,同構造設計事務所,室蘭工業大学土木 工学教室の教職員各位などに対し謝意を表するほか,論文における図面のトレースに御協力頂 いた本学土木工学教室,渡部公治君に感謝する次第である。

最後に本研究は文部省科学研究交付金を受けた研究の一部であり、心から謝意を表すると 共に今後もこの一連の研究を続行する予定なる事を付記する。

(昭和37年4月30日受理)

文 献

中村作太郎・番匠 動・志村政雄: 土木学会第16回年次学術講演会講演概要, II-53, 119, 120 (1961).
 小西一郎: 土木学会論文集, No. 9, 1~9 (1950).

(124)

- 3) 山崎徳也: 九州大学工学集報, 25-1, 5~8 (1952).
- 4) 山崎徳也: 土木学会誌, 46-2, 9~17 (1961).
- 5) 成岡昌夫·山本知弘: 土木学会誌, 46-2, 9~17 (1961).
- 6) 中村作太郎・番匠 勳: 土木学会北海道支部技術資料, No. 18, 14~25 (1962).
- 7) 中村作太郎: 室蘭工業大学研究報告, 3-3, 73~89 (1960).
- 8) 成瀬勝武: 弾性橋梁,3版,15~49 (東京,1953).
- 9) 長柱研究委員会: 弾性安定要覧, 2版, 101~258 (東京, 1960).
- 10) 倉西正嗣: 弾性学,2版,31~41 (東京,1957).

ワーレン・トラス橋の模型実験について

中村作太郎·番匠 勲·志村政雄

On the Experiment of the Warren Truss Bridge Models

Sakutaro Nakamura, Isao Bansho and Masao Shimura

Abstract

This paper is written regarding the fact that the present writers loaded concentrically by use of a Amsler type compression tester on the centre of some models (span length, about $l \doteq 80$ cm) of the deck Warren truss bridge and the through one, and that they measured the stress and the deflection within the limits of backling or elastic failure of the models, and explained the influcences of the deformation of the truss and the rigidity of its panel points by comparing with the theoretical values.

1. 緒 言

第1図のような下路式のワーレン・トラス橋の模型5種類¹⁾(溶接結合2種類, ピン結合1 種類, ボールト締め結合1種類, リベット結合1種類, 支間 *l*=80 cm. 高さ *h*=13.83 cm)と 第2図のような上路式のワーレン・トラス橋の模型2種類(溶接結合1種類, ピン結合1種類, 支間 *l*=79.8 cm, 高さ *h*=18.0 cm)について,それぞれ下弦材および上弦材の中失点に,最大 力量 20 t および 150 t のアムスラー式圧縮試験機を用いて載荷し,荷重の増加にともなう部材 応力およびタワミの変化状況を抵抗線歪測定器,ダイアルゲージおよび特殊歪測定器などによ って測定し,理論計算値と比較吟味した。

尚,何れの模型共,座屈または弾性破壊するまで荷重を増加し,その極限状態附近の現象 を精密に観測し,部材の変形および応力の変化状態を明かならしめた。

2. 模型製作

A. 下路式ワーレン・トラス橋の模型

第1図の通り,5種類の模型すなわち,溶接結合その1(部材の断面を縦に用いたもの,上 下弦材共0.6 cm×1.8 cm 1枚,垂直材,斜材共0.3 cm×1.8 cm 1枚使用する。(a)図参照),溶接 結合その2(部材の断面を平に用いたもの,上下弦材共18 cm×0.6 cm 1枚,垂直材,斜材共 1.8 cm×0.3 cm 1枚使用する。(b)図参照),ピン結合(部材を2枚合せにしたもの,上下弦材共 0.3 cm×1.8 cm 2枚,垂直材,斜材共0.3 cm×1.8 cm 1枚使用する。ボールトの径6 mm,(c)図



第1図 下路式ワーレン・トラス橋の模型図

参照), ボールト締め結合 (ガセットプレートを当ててビスナットにて接合したもの,上下弦材 共 0.6 cm×1.8 cm 1 枚, 垂直材, 斜材共 0.3 cm×1.8 cm 1 枚使用する。ビスナット径 3 mm, (d) 図参照), リベット結合 (ガセットプレートを当てて一つの接合に 2 本ずつのリベットを使用 する。上下弦材共 0.6 cm×1.8 cm 1 枚, 垂直材, 斜材共 0.3 cm×1.8 cm 1 枚使用し, リベット 径 3 mm とする) などの模型を構造用平鋼を用いて本学土木工学教室の手で製作した。

B. 上路式ワーレン・トラス橋の模型

第2図の通り,2種類の模型すなわち,溶接結合(上下弦材共,箱形断面0.6 cm×4.2 cm 2枚,0.6 cm×2.2 cm 2枚使用,垂直材,斜材共0.6 cm×2.2 cm 1枚使用,(a),(b),(c)図参照) とピン結合(上下弦材共箱形断面0.6 cm×4.2 cm 2枚,0.6 cm×2.2 cm 2枚使用,垂直材,斜材 共0.6 cm×2.2 cm 1枚使用し,ボールトの径8 mmを用いた。(d),(e),(f)図参照)の模型を構造 用平鋼を用い,函館ドック室蘭製作所に依頼して作製した。

3. 実験装置

A. 下路式ワーレン・トラス橋の模型実験

i. Strain Gage

K-13-1, Gage Length 31 mm Gage Resist. 602.2±0.2 2, Gage Factor 2.11±1% 以上の条件を持った Strain Gage を各模型について,部材の約中央部に1枚づつ計16枚,



合計 80 枚を使用した。

130

ii. Strain Meter

SM-4J抵抗線歪測定器を使用する。

iii. スイッチボックス

24 点スイッチボックスを使用し、各模型16 点あるから一度に一つの模型の測定が出来る。

iv. ダイアルゲージ

中央部のタワミの測定のためまたはキャリブレーション曲線作成のために使用する。精度 …1/100 mm。

v. 特殊歪測定器

ダイアルゲージをすえられない模型の時に、中央部のタワミ測定のために使用する。これ は予め、ダイアルゲージを使ってキャリブレーション曲線を画いてそのグラフよりタワミを換 算して値を求める。

vi. アムスラー式圧縮試験機

20tのアムスラー式圧縮試験機を使用し、座屈または弾性破壊するまで測定した。

B. 上路式ワーレン・トラス橋の模型実験

i. Strain Gage

K-19-1, Gage Length 3 mm, Gage Resist. 120.0±0.3 2, Gage Factor 2.09±1.5%

以上の条件を持った Strain Gage を二つの各模型について上下弦材では一部材につき8枚 ずつ, 垂直材, 斜材では一部につき4枚ずつ計76枚使用した。

ii. Strain Meter

SM-4J抵抗線歪測定器を使用する。

iii. スイッチボックス

24 点スイッチボックス3個と6点スイッチボックス1個を使用し、76 点測定した。

iv. ダイアルゲージ

中央点のタワミの測定のために使用する。精度…1/100 mm。

v. アムスラー式圧縮試験機

150 t のアムスラー式圧縮試験機を使用し座屈または弾性破壊するまで測定した。

4. 試験方法

A. 下路式ワーレン・トラス橋の模型実験

i. 試験準備

a). 5 個の模型各々に左右対称であるから片側にだけ 16 枚ずつストレーンゲージを 第1 図の通りはる。 b). ゲージにターミナルおよびリード線を接続する。 このリード線を 24 点スイッチボックスに接続し、タミーゲージには実験を行なわない模型のゲージを使用する。

c). 初平衡調整を行なう。スイッチボックスの $A_1, A_2 \cdots A_n$ を順次スイッチ1,2,3…n と 切換えて一点毎に調整する。 先ず A_1 の初調整を例として記述すると,スイッチボックスのス イッチを1にする。インジケーターのダイアルを0にし,Range 500 にして Sen. Min. から少 し右に廻わすとメーターが振れるからスイッチボックスの A_1 の例にある平衡調整ネジをドラ イバーで静かに廻し,メーター0になるようにし,Max. で0になるようにする。この時 Range 500 で振れ過ぎる場合は,Range 1500, 5000, 15000 などの感度の低い処で0 にして順次感度を あげ Range 500 Sen. Max. でダイアル0 にしてメーター0 になるようにする。以下順次ダイア ルを切換えて同様の方法を繰返えして初調整を行なう。

d). 全部の調整が終ったら,測定準備完了である。

ii. 測定方法

a). 集中荷重は、20tのアムスラー式圧縮試験機によって下弦材の中央点にかける。

b) 初荷重を 50 kg とし,以下 50 kg ずつ順次増して行き,50 kg 毎に測定値を記録する。 部材応力の測定の最終荷重を 350 kg とし,別に破壊荷重を測定し破壊状態を観測記録した。ま た,中央点には特殊歪測定器を取りつけ,破壊するまで 50 kg 毎にタワミ値を測定する。

B. 上路式ワーレン・トラス橋の模型実験

i. 実 試 準 備

a). 2個の模型各々に76枚ずつストレンゲージを第2図の通りはる。

b). ゲージにターミナルおよびリード線を接続する。 このリード線を24 点スイッチボックス3個と6点スイッチボックスに接続し、タミーゲージには実験を行なわない模型のゲージ を使用する。その他下路式ワーレン・トラス橋の模型の場合と同じ。

ii. 測 定 方 法

a). 集中荷重は150tアムスラー式圧縮試験機によって上弦材の中央点にかける。

b) 初荷重を500 kg とし,以下 500 kg ずつ荷重を順次増して行き,500 kg 毎に測定値を 記録する。荷重は破壊するまで続け,部材応力および中央点のタワミを測定した。タワミ測定 にはダイアルゲージを下弦材中央点にとりつけ,破壊するまでの各荷重毎の変形状態を明らか ならしめた。

その他、下路ワーレン・トラス橋の模型の場合と同じ要領で測定する。

5. 実験結果と理論計算値との比較

下路式および上路式のワーレン・トラス橋の模型何れについても,節点を完全な鉸結と仮 定した従来の単純トラス橋の解法による一次応力の計算と節点を完全な剛結と仮定した二次応 132

力並びに合成応力の計算を行ない実験値と比較吟味した。更に何れの模型についても従来の単 純トラス橋としてのタワミ計算を行ない実験値との差異を明かならしめた。また特に上路式ワ ーレン・トラス橋の模型については、節点剛性の影響を考慮した厳密計算法^{3),3)}並びに測定の 結果得た実験応力による計算法によってタワミを算出し、ダイアルゲージによって測った値と 比較検討した。尚参考のため、各種模型の諸数値を比較表示すれば第1表の通りとなる。

A. 下路ワーレン・トラス橋の模型における部材応力・タワミの比較(第3図~第7図参照)





55図 鉛直材の何重・応力度田 (各模型の比較) V₁~V₄

第6図 斜材の荷重・応力度曲線 (各模型の比較) D₁~D₄





(b) 荷重範囲 0~500 kg 付近の拡大図

第7図 荷 重―タ ワ ミ (下弦材中央点) 図

	第	1表	ワーレン・ト	ラス	橋の各	種模型の部材	寸法に	関する諸	皆数值表		
	部		上弦		材	下了	玄 柞	オ	鉛頂	i.	材
模	型	材	断 面 帮 (cm ²)	Ę	部材長 (cm)	断 面 (cm ²)	積	部材長 (cm)	断面和 (cm ²)	費	部材長 (cm)
	模型 1 (溶接	No. 1)	0.60×1.80	1.08	10.0	0.60×1.80	1.08	10.0	0.30×1.80	0.54	13.83
7	模型 2 (溶接	No. 2)	1.80×0.60	"	"	1.80×0.60	"	"	1.80×0.30	"	"
路	模型 3 (ピ	ン)	$2 \times 0.30 \times 1.80$	"	"	$2 \times 0.30 \times 1.80$	"	"	0.30×1.80	"	"
7=	模型 4 (ボー	ルト)	0.60×1.80	"	"	0.60×1.80	"	"	0.30×1.80	"	"
14	模型 5 (リ ベ	ット)	0.60×1.80	"	"	0.60×1.80	"	"	0.30 imes 1.80	"	"
上殿	模型 6 (溶	接)	$2 \times 0.60 \times 4.20$ $2 \times 0.60 \times 2.20$	7.68	13.3	$2 \times 0.60 \times 4.20$ $2 \times 0.60 \times 2.20$	7.68	13.3	0.60×2.20	1.32	18.0
m 定	模型 7 (ピ	ン);	$2 \times 0.60 \times 4.20$ $2 \times 0.60 \times 2.20$	"	"	$2 \times 0.60 \times 4.20$ $2 \times 0.60 \times 2.20$	"	"	0.60×2.20	"	"

-						
	部	斜	材	端 新	斗 木	<u></u>
模	材 型	断 面 積 (cm ²)	部材長 (cm)	断 面 (cm ²)	積	部材長 (cm)
	模型 1 (溶接 No.1)	0.30×1.80	0.54 17.068	0.60×1.80	1.080	17.067
	模型 2 (溶接 No. 2)	1.80×0.30	" "	1.80×0.60	"	"
路	模型 3 (ピン)	0.30×1.80	" "	$2 \times 0.30 \times 1.80$	"	"
Ŧ	模型 4 (ボールト)	0.30×1.80	" "	0.60×1.80	"	"
	模型 5 (リ ベ ッ ト)	0.30×1.80	" "	0.60×1.80	"	"
上敗	模型 6 (溶 接)	0.60×2.20	1.32 22.38			
式	模型 7 (ピン)	0.60×2.20	" "			

(注) 模型1,2,4,5では各部材共矩形単断面であり,模型3では,上弦材,下弦材,端斜材だけ矩形の 複断面を用いた。また,模型6,7では,上弦材,下弦材共箱形断面とした。





(135)



第9図 下弦材の荷重・応力度曲線 (各模型の比較) L₁~L₃









ワーレン・トラス橋の模型実験について



第12図 荷重―タワミ(下弦材中央点)曲線図

6. 考 察

A. 下路式ワーレン・トラス橋の模型

i. 部 材 応 力

何れの模型も弾性限度以内と考察される 0~400 kg の範囲の荷重について部材応力を測定 せるもので、これ以上の荷重については変形が大きくなって部材応力のばらつき、増大が激し く、理論計算値とは著しく離れて行く傾向にある事が確かめられた。

a). 模型1 (溶接結合その1)

この模型の荷重応力曲線は腹材などにおける2,3の例外を除き,節点を剛結と仮定し二次 応力を考慮した最大,最小の合成応力曲線の中間附近に存在する傾向にあった。すなわち,理

(139)

中村作太郎・番匠 勳・志村政雄

論計算による一次応力に可成り接近する模様が認められた。しかし詳細に観測すると荷重の小 さい 0~150 kg の範囲では実験値の方が遙かに小さくなっているようであり、また荷重 150~ 400 kg の範囲では、実験値が段々と理論値に接近する傾向にあった。

b). 模型2(溶接結合その2)

多少の例外を除き,模型1と同様,実験値は理論計算に可成り接近しているが詳細に観察 すれば少しく実験値の方が小さくなる傾向にあった。これらは模型1,模型2共節点が溶接結 合なるため節点剛性が増加し,変形による部材応力のばらつきと増大が防止される結果である と思われる。

c). 模型3(ピン結合)

この模型においては実験値の方が理論計算値よりも大きく出ている部材が可成りある点, 特に荷重の増大につれてばらつきが多く,変形による応力が加算されて来る傾向のある事など は注目に価すると思う。

d). 模型4(ボールト締め結合)

大部分の部材応力実験値が模型5同様理論計算値よりも小さく出ている。しかし、荷重の 増大につれてばらつきが多く不規則な荷重応力曲線を示す部材が可成りあるのは、荷重の300 kg 附近でボールト破壊を起した部材があった事に起因していると考える。

e). 模型5(リベット結合)

大部分の部材においては,実験値が理論計算値より小さく出ている。これはリベット結合 のため,節点の剛性が幾分増加されたためと考える。しかし不規則な荷重応力曲線も多少見ら れ,節点の結合が溶接よりも充分ではない事を示していた。

以上を総合すると、ピン結合の模型3が最も荷重の増減によって不安定な応力状態を示し 著しく部材応力が大きく出る傾向があり変形の影響が顕著に現われたものと考える事が出来 る。また、模型4(ボールト)と模型5(リベット)は節点剛性に多少の差異はあっても、その他 の条件は殆んど同じであるため似かよった実験曲線となっているものと判断する事が出来る。 模型1と模型2は節点が溶接のため節点モーメントによる縁端二次応力は増加するが部材中間 部の応力は安定性を保ち、荷重の増加によっても余りばらつきが見られず好ましい状態であっ た。しかも中間の部材応力は理論計算値に比べ少しく小さくなりタワミの減少にも役立つもの と考えられる。

ii. タワミと座屈現象⁴について

模型1 (溶接その1), 模型2 (溶接その2) は共に, 荷重が 400~450 kg 以下では実験タワミ の方が理論タワミ値よりも遙かに小さく, 節点剛性の利き目が有効に働いているものと考察さ れた。しかし, 模型1の方は 500~600 kg 以上の荷重になると急激にタワミ出し, 横座屈現象 を呈した。 これに対し模型2の方は, 1000 kg の荷重附近まで理論タワミ曲線に沿って少しず

つタワミの増大を示し、1200 kg 附近の荷重によって座屈した。(垂直材が長柱の座屈現象を呈 した) 模型3(ピン), 模型4(ボールト), 模型5(リベット) は共に荷重の増大にともなって著し いタワミをともない座屈した。すなわち, 模型3は650 kg で上弦材 U₃の局部座屈を起し模型 4は350 kg でボールトが破損し横振れ座屈現象を呈した。次に, 模型5 も 600 kg で矢張り横 捩れ座屈を起したが、この模型は特にリベット結合であるため節点剛性の効果が現われ、100~ 250 kg 程度の小さな荷重の範囲では実験タワミ値が理論タワミ値よりも幾分小さくなってい た。いま、300 kg の荷重のもとにおける節点剛性の影響を考慮せる厳密タワミ計算法によって 求めたタワミを実験値と比較して見ると、模型1 では理論計算値 0.025 cm に対し実験タワミ値 0.019 cm, 模型3 では理論計算値 0.031 cm に対し実験タワミ値 0.033 cm, 模型5 では理論計算 値 0.0289 cm に対し実験タワミ値 0.029 cm となり、厳密タワミ計算法は従来の計算法よりも遙 かに合理的であり将来性ある事を示した。またタワミの結果より見て、節点の溶接結合は剛性 増加の上において頗る役立ち、今後に期待される処が多い。

B. 上路式ワーレン・トラス橋の模型

i. 部 材 応 力

a). 模型6(溶接結合)

節点を剛結と仮定せる理論によって部材応力を計算し実験値と比較すれば,最大合成応力 では2,3の例外を除き理論計算値の方が相当に大きく,一次応力だけでは,理論計算値に可成 り接近して来る傾向のある事がわかった。何れにしても理論値の方が大なる事はタワミの比較 より見ても明かなところである。

b). 模型7(ピン結合)

節点をピンと仮定せる理論計算値との比較の結果,殆んどの部材で理論値よりも実験値の 方が大きく出ている。これはタワミにおいても如実に表われているところである。

次に,溶接結合の模型6とビン結合の模型7を比較して見ると,溶接結合の場合の方が規 則正しい荷重応力曲線の形状を示し,ビン結合の場合の荷重応力度曲線は可成り不規則な形状 を呈し,変形による応力の不安定性を示している。特に荷重の載荷点附近の部材においてこの 傾向が著しい。例えば,U₃,L₃,D₃,V₄などの部材では部材応力が著しく大きくなっており, これは局部的な応力集中によって剛性に乏しいビン結合の部材が変形量を増大し,偏心モーメ ントなどの影響を受けて著しく大きな応力状態となるのだと判断する事が出来る。

ii. タ ワ ミ

a). 模型6(溶接結合)

従来の理論計算値,節点剛性の影響を考慮せるトラス橋の厳密タワミ計算値,ダイアルゲ ージの読みより得たタワミの実験値の三つの場合を比較して見ると,従来の理論計算値は実験 値よりも可成り大きく,厳密タワミ計算値は実験値よりも少しく小さくなっている。しかしそ の曲線の形は非常に実験曲線に似かよっているので,係数の取り方如何によってはもっと近接 させる事が出来ると思う。以上のタワミの結果より判断して,溶接結合はトラス橋の剛性増加 上非常に役立つ事がわかった。

b). 模型7(ピン結合)

ダイアルゲージの読みによる実験タワミは従来の理論計算値よりも遙かに大きく、ピン結 合トラスの計算方法に対し検討の余地を与えるものである。実験より求めた部材応力を使用し て厳密にタワミを計算して見ると矢張り従来の理論計算値よりは遙かにタワミの値が大きくな り、荷重が1t位までは実験値と大差なかった。何れにしてもピン結合トラスのような変形の 大きなトラス橋では、変形を考慮に入れた厳密計算方法によってタワミを計算すべきであると 思う。

二つの模型のタワミを比較すると、ピン結合トラスに対し溶接結合トラスでは著しいタワ ミの減少を見、溶接結合が剛性増加上非常に役立ち、ピン結合は橋梁の結合方法として甚だ好 ましくないと云う事が今更ながら再確認させられた。

iii. 座屈または弾性破壊現象について⁴⁾

模型6 (溶接結合) は模型7 (ピン結合) に比べ, その破壊荷重も遙かに大きく, ピン結合ト ラスの模型が4t で破壊したのに対し, 溶接結合トラスの模型では8t まで荷重を増して漸く破 壊した。何れの模型も、斜材 D₁, 続いて D₃ が破壊した。そこで, ピン結合トラス模型の斜材 D₁ について, 両端鉸結合単一材に関する Tetmejer 氏および J. B. Johnson 氏の公式を用いて 座屈応力度 σ_k を計算すると, 模型材料の弾性限度 3.74 t/cm² を用い, σ_k =4.2 t/cm² を得た。こ れよりトラス中央点の載荷座屈荷重 P_k を求めると, P_k =8.92 t となり, 実験における破壊荷 重 P_k =4.0 t に比べ, 約 120% 大きくなった。また D₁ 部材が座屈する時の部材応力は実験の結 果 σ =2,336 kg/cm² であり,素材の弾性限度 σ =3,740 kg/cm² 以下であり,単純なる圧縮応力に よって破壊したものとも考えられない。破壊荷重のときの変形状況より見ても横捩り座屈を起 したものと考えられ、変形を考慮したトラス全体としての座屈応力度の計算をやって見る必要 があると思う。尚座屈現象を調べる実験においては横変形を生じた側面にも数箇所ストレーン ゲージをはって見る必要があったように思う。

尚,模型実験中の状況および座屈後における変形状況の一部を示せば,写真1,2の通りに なる。

また、上路式ワーレン・トラス橋の模型に使用した構造用軟鋼 (SS 41 に準ずる)の降伏点 応力度および破壊応力を5本づつの素材 (規格寸法のもの)につき、万能試験機により試験した 結果、平均値が次のよにになったので参考のため掲載する。

 引張降伏点応力度
 平均約2,920 kg/cm²
 引張破壞応力度
 平均約4,480 kg/cm²

 圧縮降伏点応力度
 平均約3,740 kg/cm²
 圧縮破壞応力度
 平均約8,150 kg/cm²

ワーレン・トラス橋の模型実験について



(a) 模型1(溶接,下路式ワーレン)



(b) 模型3(ピン,下路式ワーレン)



(c) 模型6(溶接,上路式ワーレン)写真1 模型実験中の状況



これに対し、破壊時における応力度の特に大きな部材を2,3あげれば、ピン結合では、L₃, U₃, D₁, D₃ などであり、溶接結合では、D₂, D₁, U₁, D₃ などであった。これを見ると、ピン結 合トラスでは荷重点付近の弦材に局部応力集中の影響が現われたものと考えられ、また何れの 模型も、斜材に可成りの応力度が生じた事は、横捩り座屈による変形と合せ考える時、妥当な ものと頷ける次第である。しかし、最大の応力度は横変形を起した D₁ 部材の側面 (ストレー ン・ゲージをはらなかった)に生じたのではないかと推察される。

7. 結 言

本研究を総合すると、トラス橋の溶接結合はタワミを減少させ、トラス全体としての剛度 を増す上において他の何れの結合方法よりも力学的に安定性があり、優れているものと思う。 温度脆性その他に関する溶接工学上の研究技術の進歩と相俟って、極めて将来性ある結合方法 であると考える。ビン結合トラスはタワミが荷重と共に著しく増大し、部材応力も極めて不安 定で大きくなり、結合方法としては甚だ好ましくないと思う。リベット結合はその中間的存在 になるわけであるが、ガセットプレートを相当大きくし、リベットの数を増せば、溶接に準ず る結合方法となる。ただし、何れの結合方法を用いても、各部材の断面形は、箱形または円形 のような、任意の中立軸に関し、等しい慣性モーメントを有するような断面が望ましいと考え る。それから、部材応力、タワミ、座屈荷重、破壊応力度などに関する計算は、当然節点剛性 の影響と変形を考慮に入れた厳密解法によるべきであると思う。

尚,本研究は文部省科学研究交付金を受けた研究の一部にして心から謝意を表すると共に 研究に協力下さった室蘭工業大学土木工学科卒業生,工藤一行,近江英樹,岡野拓雄,柳生雅 規,松下慶一の諸君と図面のトレースを手伝って頂いた本学土木工学教室渡部公治君に感謝す るほか,研究に御支援,御援助下さった北大工学部,今俊三教授,酒井忠明教授,東大工学部 奥村敏恵教授,国鉄技術研究所,北海道開発局土木試験所,函館ドック株式会社室蘭製作所, 本学土木工学教室の教職員各位に対し心から御礼を申し上げる次第である。

(昭和 37 年 4 月 30 日受理)

文 献

1) 中村作太郎·番匠勳·志村政雄: 土木学会第16回年次学術講演会講演概要, II-53, 119, 120 (1961).

2) 中村作太郎·番匠勳: 土木学会北海道支部技術資料, No. 18, 14~25 (1962).

3) 中村作太郎: 室蘭工業大学研究報告, 3-3. 73~89 (1960).

4) 長柱研究委員会: 弾性安定要覧, 2版, 101~258 (東京, 1960).

(144)

Ein Beitrag zur Berechnung der Fachwerkträger mit parallelen Gurtungen

Sumio G. Nomachi

Abstrakt

Ein Auflösung der Spannungen ins Fachwerkträger ist hier dargestellt und das berücksichtigte Tragwerk ist Warrenschen Typus parallele Gurtungen. Der Verfasser drückt die Stützmomente an den Knotenpunkten der oberen Gurtungen, bezw. die angegriffenen Spannkräfte in den unteren Gurtungen mit "Drei Momente" bezw. "Drei Spannkräfte-Gleichung" aus, wie die bekannte Clapeyronische Gleichung. Bei den Fällen, wenn obere Balken, Diagonale und Untergurte bezw. jeden konstanten Querschnitte haben, werden die Stützmomente und Spannkräfte durch die Formeln der Einwicklung von "Affinlastgruppen" zum Ausdruck gebracht.

1. Einleitung

Ein Tragwerk, das den Balken der Obergurte oder der Untergurte des Fachwerkes resetzt, wollen wir hier "Fachwerkträger" nennen, welche Benennung K. Hirschfeld in seinem Buche [1] eingeführt hat. Wenn die Stützweite des Stegbleches eine bestimmte Länge überschreitet, ist sie noch nicht sparsam und es müssen dann gewöhnlich Tragwerke anderer Typen übernommen werden. Der Fachwerkträger, der aus der Kreuzung des Fachwerkes mit dem Balken gemacht ist, mag den Fehler des Stegbleches, das zu langere Stützweite hat, verbessern. Wenn man die Stahlbetonplatten mit dem Fachwerke verbindet, ergeben sich die Fachwerkträger, von denen die nachfolgenden Berechnungen ein günstiges Ergebnis liefern können. Führt man überdies Vorspannungen mittels eines entsprechenden Verfahrens in die Untergurtungen, dann kann die angegriffene Spannung sich bei der Belastung vermindern. Die Einführung des Fachwerkträgers ist beherrschend, wenn auch dessen Berechnung leichter oder schwerer ist, denn der Fachwerkträger mit n Knotenpunkte der obern Gurtungen ist n-2 fach statisch unbestimmt.

Der Verfasser drückt die Stützmomente an den Knotenpunkten der oberen Gurtungen, bezw. die angegriffenen Spannkräfte in den unteren Gurtungen mit "Drei Momente" bezw. "Drei Spannkräfte-Gleichung" aus, wie die bekannte Clapeyronsche Gleichung. Bei besonderen Fällen, wenn obere Balken, Diagonale, und Untergurte bezw. jeden konstanten Querschnitte haben, werden die Stützmomente und Spannkräfte durch die Formeln der Entwicklung von "Affinlast-gruppen" zum Ausdruck gebracht.

2. Erklärung der verwendeten Bezeichnungen

Setzt man voraus, dass alle äusseren Kräfte in den Knotenpunkten angreifen,

Sumio G. Nomachi

die Achse der Diagonale mit der Achse des Balkens zusammentrifft und an dieser Stelle durch ein Gelenk miteinander verbunden werden, dass ferner jeder Abstand zwischen den einander naheliegenden Knoten gleich ist und das hier berücksichtigte Tragwerk des Warrenschen Typus parallele Gurtungen hat, dann ergibt sich das in Nr. 1 eingezeichnete Bild.



Bild. 1. Warrenschen Fachwerkträger

- F_{x_0} der Querschnitt des obere Balkens zwischen den Knotenpunkten (x-1, x)
- J_x das Trägheitmoment des oberen Balkens zwischen den Knotenpunkten (x-1, x)

 F_{xd} bezw. F'_{xd} der Querschnitt der Diagonale (x'-1', x-1) bezw. (x'-1', x)

 F_{xu} der Querschnitt der unteren Gurtung (x'-1', x')

 U_x die Spannkraft im Balken (x, x-1)

 L_x die Spannkraft in der Gurtung (x', x'-1')

 D_x bezw. D'_x die Spannkräfte in der Diagonale (x'-1', x-1) bezw. (x'-1', x)

 m_x das Angriffsmoment am x'

 M_x das Stützmoment am x

 S_x die Querkraft am x

 P_x die Einzellast am x

h die Höhe des Fachwerkträgers

 λ der Abstand von einem Knotenpunkt zum naheliegenden anderen

 ε_x bezw. ε'_x die waagerechten Verschiebungen am x bezw. x': dieselbe Richtung zu x beteutet positiv

 δ_x bezw. δ'_x die senkrechten Verschiebungen am x bezw. x': dieselbe Richtung zu Unten bedeutet positiv

3. Die Beziehung zwischen Spannkräften und Formänderungen

Durch einen irgendwie belasteten Fachwerkträger werde ein Schnitt t-t geführt, welcher den Knotenpunkt x trifft, Bild 2 bezw. 3. Die Summe der statischen Momente aus den am linken Trägerteile angreifenden äusseren Kräften sei Null;

$$M_x + hL_x = m_x \tag{1}$$

bezw.

$$M_x + M_{x+1} - 2hU_x = m_x + m_{x+1}.$$
 (2)



Das Gleichgewicht davon ersetzt sich

$$2U_x + L_x + L_{x+1} = 0. (3)$$

Die Gleichgewicht von x'-1' lautet

$$\cos\theta \times (D_x - D'_x) = L_x - L_{x-1}, \qquad (4)$$

$$D_x + D'_x = 0. (5)$$

Die Vergleichung der Spannkräfte mit denselben Formänderungen liefert

$$\varepsilon_{x} - \varepsilon_{x-1} = \frac{U_{x}\lambda}{EF_{x0}}$$

$$\varepsilon_{x}' - \varepsilon_{x-1}' = \frac{L_{x}\lambda}{EF_{xu}}$$
(6)

Die Formänderungen der Diagonalen (x-1, x'-1'), (x, x'-1'), (x, x'), und (x-1, x') nehmen die Form an :

$$\sin\theta \times (\delta_{x-1} - \delta'_{x-1}) - \cos\theta \times (\varepsilon_{x-1} - \varepsilon'_{x-1}) = -rD_x/EF_{xd}$$
(7)

$$\sin\theta \times (\delta'_{x-1} - \delta_x) - \cos\theta \times (\varepsilon_x - \varepsilon'_{x-1}) = + r D'_x / EF'_{xd}$$
(8)

$$\sin\theta \times (\delta_x - \delta'_x) - \cos\theta \times (\varepsilon_x - \varepsilon'_x) = -rD_{x+1}/EF_{x+1d}$$
(9)

$$\sin\theta \times (\delta'_x - \delta_{x+1}) - \cos\theta \times (\varepsilon_{x+1} - \varepsilon'_x) = + r D'_{x+1} / EF'_{x+1d}$$
(10)

Hier sammelt man jene Ergebnisse als cosec $\{(9) + (10) - (8) - (7)\}$, dann mit sin $\theta = h/r$ und cot $\theta = \lambda/2h$, ersetzt sie

$$2\delta_{x} - \delta_{x+1} - \delta_{x+1} + \frac{\lambda}{2h} \left\{ \varepsilon_{x+1} - \varepsilon_{x-1} - 2 \left(\varepsilon_{x}' - \varepsilon_{x-1}' \right) \right\}$$

= $-2h \cos \theta \left(D_{x+1} \gamma_{x+1} - D_{x} \gamma_{x} \right),$ (11)

wo

$$\Upsilon_x = rac{\Upsilon^3}{Eh^2\lambda}\left(rac{1}{F_{xd}}+rac{1}{F_{xd}'}
ight).$$

Die rechte Seite der Gleichung (11) mit (4) liefert

$$2\cos\theta \left(D_{x+1}\widetilde{\gamma}_{x+1}-D_{x}\widetilde{\gamma}_{x}\right) = L_{x-1}\widetilde{\gamma}_{x}-L_{x}\left(\widetilde{\gamma}_{x}+\widetilde{\gamma}_{x+1}\right)+L_{x+1}\widetilde{\gamma}_{x+1}.$$
(12)

Zunächst $\varepsilon_{x+1} - \varepsilon_{x-1}$ bezw. $\varepsilon'_x - \varepsilon'_{x-1}$ darstellen mit der Hilfe von (3) und (6)

Sumio G. Nomachi

$$\frac{\lambda}{2h} \left(\varepsilon_{x+1} - \varepsilon_{x-1} \right) = -h \left\{ L_{x-1} \beta_x + L_x \left(\beta_x + \beta_{x+1} \right) + L_{x+1} \beta_{x+1} \right\}$$
(13)

bezw.

$$\frac{\lambda}{h} \left(\varepsilon_x' - \varepsilon_{x-1}' \right) = L_x \beta_x' h , \qquad (14)$$

wo

$$eta_x=rac{\lambda^2}{4Eh^2F_{x^0}}\,,\qquadeta_x'=rac{\lambda^2}{Eh^2F_{xu}}\,.$$

Die Einsetzung von (12), (13), und (14) in die Gleichung (11), folgt

$$\frac{1}{h} (2\delta_{x} - \delta_{x-1} - \delta_{x+1}) - L_{x-1}(\beta_{x} - \gamma_{x}) - L_{x}(\beta_{x} + \beta_{x+1} + \beta_{x}' + \gamma_{x} + \gamma_{x+1}) - L_{x+1}(\beta_{x+1} - \gamma_{x+1}) = 0.$$
(15)

Aus der Clapeyrnische Gleichung erhält man

$$\alpha_{x}M_{x-1} + 2 (\alpha_{x} + \alpha_{x+1}) M_{x} + \alpha_{x+1}M_{x+1} = 2\delta_{x} - \delta_{x+1} - \delta_{x-1}$$
(16)

wo

$$lpha_x = rac{\lambda^2}{6EJ_x}$$

Eliminiert man $2\delta_x - \delta_{x+1} - \delta_{x-1}$ zwischen (15) und (16), dann findet man

$$L_{x-1}H_{x} + L_{x} (K_{x} - H_{x} - H_{x+1}) + L_{x+1}H_{x+1}$$

$$= \frac{1}{h} \{m_{x-1}\alpha_{x} + 2m_{x} (\alpha_{x} + \alpha_{x+1}) + m_{x+1}\alpha_{x+1}\}, \qquad (17)$$

hieraus

$$M_{x-1}H_x + M_x (K_x - H_x - H_{x+1}) + M_{x+1}H_{x+1} = m_{x-1} (H_x - \alpha_x) + m_x (K_x - H_x - H_{x+1} - 2\alpha_x - 2\alpha_{x+1}) + m_{x+1} (H_{x+1} - \alpha_{x+1}),$$
(18)

wo

Bei $H_x=0$, oder

$$\begin{aligned} H_x \left(L_{x-1} - L_x \right) - H_{x+1} \left(L_x - L_{x+1} \right) &= 0 \\ H_x \left(M_{x-1} - M_x \right) - H_{x+1} \left(M_x - M_{x+1} \right) &= 0 \\ H_x \left(m_{x-1} - m_x \right) - H_{x+1} \left(m_x - m_{x+1} \right) &= 0 \end{aligned}$$

welche oft annäherungsweise der wirklichen Bedingung genügen, gelten (17) und (18) die folgenden Umformungen

$$hL_xK_x = m_x\alpha_x + 2m_x(\alpha_x + \alpha_{x+1}) + m_{x+1}\alpha_{x+1}, \qquad (20)$$
(148)

Ein Beitrag zur Berechnung der Fachwerkträger mit parallelen Gurtungen

$$M_x K_x = -m_x \alpha_x + m_x \left(K_x - 2\alpha_x - 2\alpha_{x+1} \right) - m_{x+1} \alpha_{x+1} , \qquad (21)$$

woraus man leicht finden kann die Spannkraft der Gurtung bezw. das Stützmoment am Knotenpunkt.

4. Obere Balken, Diagonale, Untergurte bezw. mit jedem Konstanten Querschnitte

In diesen Fälle, ergeben sich (17) bezw. (18)

$$\begin{split} L_{x-1}H + L_x(K-2H) + L_{x+1}H &= \frac{\alpha}{h} \{m_{x-1} + 4m_x + m_{x+1}\},\\ M_{x-1}H + M_x(K-2H) + M_{x+1}H &= m_{x-1}(H-\alpha) \\ &+ m_x(K-2H-4\alpha) + m_{x+1}(H-\alpha), \end{split}$$

welche, mit den Abkürzungen

$$\Delta^2 f_x = f_{x-1} + f_{x+1} - 2f_x \,,$$

würde nur

$$H \cdot \varDelta^2 L_x + K L_x = \frac{\alpha}{h} \left\{ \varDelta^2 m_x + 6 m_x \right\}, \qquad (22)$$

$$H \cdot \varDelta^2 M_x + K M_x = \varDelta^2 m_x (H - \alpha) + m_x (K - 6\alpha)$$
(23)

betragen. Die bekannte Formel von dem Balken, hält

$$\Delta^2 m_x = -p_x \lambda \tag{24}$$

worauf man die Umkehrungsformel von "Affinlastgruppen": d. h.

$$\left. \begin{array}{l} p_x = \sum_{i=1}^{n-1} \overline{p}_i \sin \frac{\pi i x}{n} \\ \overline{p}_i = 2 \sum_{n=1}^{n-1} p_x \sin \frac{\pi i x}{n} \end{array} \right\}$$
(25)

anwendet, dann

$$m_x = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\overline{p}_i \sin \frac{\pi i x}{n}}{2\left(1 - \cos \frac{i\pi}{n}\right)} \,. \tag{26}$$

Auf anlicher Weise erhält man

$$L_x = \frac{6\alpha m_x}{hK} + \frac{\alpha}{h} \left(\frac{6}{K} - \frac{1}{H}\right) \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\overline{p}_i \lambda \sin \frac{\pi i x}{n}}{\frac{K}{H} - 2\left(1 - \cos \frac{\pi i}{n}\right)},\tag{27}$$

$$M_x = \frac{m_x(K-6\alpha)}{K} - \frac{\alpha}{h} \left(\frac{6}{K} - \frac{1}{H}\right) \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\overline{p}_i \lambda \sin \frac{\pi i x}{n}}{\frac{K}{H} - 2\left(1 - \cos \frac{\pi i}{n}\right)}.$$
 (28)

Sumio G. Nomachi

Die Senkung δ_x konnte aus der Gleichung

$$\varDelta^2 M_x + 6M_x = -\frac{1}{\alpha} \,\varDelta^2 \delta_x \,, \tag{29}$$

gefunden werden, und also

$$\delta_{x} = \alpha m_{x} \left(\frac{12\alpha}{K} - \frac{36\alpha H}{K^{2}} - 1 \right) + \frac{6\alpha (K - 6\alpha)}{K} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\overline{p}_{i} \lambda \sin \frac{\pi i x}{n}}{4 \left(1 - \cos \frac{\pi i}{n} \right)^{2}} - \frac{\alpha^{2} (6H - K)^{2}}{K^{2} H} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\overline{p}_{i} \lambda \sin \frac{\pi i x}{n}}{\frac{K}{H} - 2 \left(1 - \cos \frac{\pi i}{n} \right)}.$$
(30)

5. Einzelne Belastung p am Knoten ξ

In den Fällen, wenn die einzelne Belastung p am ξ angreift, erhält man

$$m_{x} = \begin{cases} \frac{p\lambda x (n-\xi)}{n} & x \leq \xi \\ \frac{p\lambda \xi (n-x)}{n} & x \geq \xi \end{cases}$$
(31)

und nach mühsamer Berechnung

$$\sum_{i=1}^{n-1} \frac{\overline{p}_i \lambda \sin \frac{\pi i x}{n}}{\frac{K}{H} - 2\left(1 - \cos \frac{\pi i}{n}\right)} = \begin{cases} -p\lambda \frac{\operatorname{\mathfrak{Sin}} \eta x \cdot \operatorname{\mathfrak{Sin}} \eta (n - \xi)}{\operatorname{\mathfrak{Sin}} n\eta \cdot \operatorname{\mathfrak{Sin}} \eta} & x \leq \xi \\ -p\lambda \frac{\operatorname{\mathfrak{Sin}} \eta \xi \cdot \operatorname{\mathfrak{Sin}} \eta (n - x)}{\operatorname{\mathfrak{Sin}} \eta \eta} & x \geq \xi \end{cases}$$
(32)

wo

$$2\,\, {\rm Cof}\, \eta = 2 - \frac{K}{H}$$

d. i. für

$$\begin{split} \frac{K}{2H} &\leq 0 \qquad & \mathbb{Cof} \ \mu = 1 - \frac{K}{2H} \qquad \eta = \mu \ , \\ 0 &\leq \frac{K}{2H} &\leq 1 \qquad & \cos \mu = 1 - \frac{K}{2H} \qquad \eta = \mu j \ , \\ 1 &\leq \frac{K}{2H} &\leq 2 \qquad & \cos \mu = 1 - \frac{K}{2H} \qquad \eta = (\mu + \pi) j \\ 2 &\leq \frac{K}{2H} \qquad & \mathbb{Cof} \ \mu = 1 - \frac{K}{2H} \qquad \eta = \mu + \pi j \ , \end{split}$$

Mit Hilfe der Umkehrungsformel, erhält man

(150)

Ein Beitrag zur Berechnung der Fachwerkträger mit parallelen Gurtungen

$$\sum_{i=1}^{n-1} \frac{\overline{p}_{i} \lambda \sin \frac{\pi i x}{n}}{4 \left(1 - \cos \frac{\pi i}{n}\right)^{2}} = \begin{cases} \frac{p \lambda \xi^{2} (n - \xi)^{2}}{6n} \left\{ \frac{2x}{\xi} + \frac{x}{n - \xi} - \frac{x^{3}}{\xi^{2} (n - \xi)} \right\} & x \leq \xi ,\\ \frac{p \lambda \xi^{2} (n - \xi)^{2}}{6n} \left\{ \frac{2(n - x)}{n - \xi} + \frac{n - x}{\xi} - \frac{(n - x)^{3}}{\xi (n - \xi)^{2}} \right\} & x \geq \xi . \end{cases}$$

$$(33)$$

Wenn man (31), (32), (33) zu (27), (28), bezw. (30) einführt, können die Einflusslinien von L_x , M_x , und δ_x ohne mühsame Berechnung von der Summierung der Affinlastgruppen gefunden werden. Zum Beispiel, für einzelne Belastung am Knotenpunkt n/2, schreibt man jeden maximalen Wert in die folgende Form

$$\begin{split} L_{z}_{x=\frac{n}{2}} &= \frac{3\alpha np\lambda}{2hK} - \frac{p\lambda\alpha}{2h} \Big(\frac{6}{K} - \frac{1}{H}\Big) \frac{\mathfrak{Tan} \frac{n\eta}{2}}{\mathfrak{Sin} \eta} \\ M_{x}_{x=\frac{n}{2}} &= \frac{p\lambda n(K-6\alpha)}{4K} + \frac{p\lambda\alpha}{2} \Big(\frac{6}{K} - \frac{1}{H}\Big) \frac{\mathfrak{Tan} \frac{n\eta}{2}}{\mathfrak{Sin} \eta} \\ \delta_{x}_{x=\frac{n}{2}} &= \frac{p\lambda n\alpha}{4} \Big(12\frac{\alpha}{K} - 36\frac{\alpha H}{K^{2}} - 1\Big) \\ &\quad + \frac{p\lambda}{8K} n^{3}\alpha (K-6\alpha) - \frac{p\lambda}{2} \frac{\alpha^{2}(6H-K)^{2}}{K^{2}H} \frac{\mathfrak{Tan} \frac{n\eta}{2}}{\mathfrak{Sin} \eta} \,. \end{split}$$

6. Volle gleichmässige Belastung

Bedeutet nun die Intensität der Belastung q, dann erhält man

$$\begin{split} L_x &= \frac{3\alpha q \lambda^2 x (n-x)}{hK} + \frac{Hq \lambda^2 \alpha}{hK} \Big(\frac{6}{K} - \frac{1}{H}\Big) \Big\{ 1 - \frac{\mathbb{Cof} \eta (n-x) + \mathbb{Cof} \eta x}{\mathbb{Cof} n\eta + 1} \Big\} ,\\ M_x &= \frac{q \lambda^2 x (n-x) (K-6\alpha)}{2K} - \frac{Hq \lambda^2 \alpha}{K} \Big(\frac{6}{K} - \frac{1}{H}\Big) \Big(1 - \frac{\mathbb{Cof} \eta (n-x) + \mathbb{Cof} nx}{\mathbb{Cof} n\eta + 1} \Big\} ,\\ \delta_x &= \frac{\alpha q \lambda^2 x (n-x)}{2} \Big(12 \frac{\alpha}{K} - \frac{36\alpha H}{K^2} - 1 \Big) + \frac{\alpha q \lambda^2 (K-6\alpha)}{4K} (n^3 x - 2nx^3 + x^4) \\ &\quad - \frac{q \lambda^2 \alpha^2 (6H+K)^2}{K^2 H} \Big\{ 1 - \frac{\mathbb{Cof} \eta (n-x) + \mathbb{Cof} \eta x}{\mathbb{Cof} n\eta + 1} \Big\} . \end{split}$$

7. Die Eigenheit des Fachwerkträgers infolge zahlenmässiger Berechnung

Setzt man die Stützweite l, den Abstand λ , die Knotenzahlen n die Höhe des Fachwerkträgers h, die Länge der Diagonale r, als

$$l=30 m, \lambda=3 m, n=10 h=2 m, r=2.5 m$$

voraus, ermitteln sich die Einflusslinie von L_x für die fünf Arten von Querschnitt-

Sumio G, Nomach.

Та	fe1	1.	
_	_		

	F_d (m ²)	$H(10^{-5}{ m kg^{-1}})$	$K (10^{-5} \mathrm{kg^{-1}})$	Coj 7	η
a	0.001	-11.597	6.782	1.292	0.747
Ъ	0.002	- 5.397	6.782	1.628	1.069
с	0.005	- 1.667	6.782	3.034	1.775
d	0.010	- 0.437	6.782	8.760	2.860
e	0.0154	- 0	6.782	∞	∞

Tafel 2. Einflussline von hL_{∞} $(p\lambda)$

	Bei $x = 1$									
Ę	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
a b c d e	$\begin{array}{c} 0.721 \\ 0.919 \\ 1.167 \\ 1.317 \\ 1.706 \end{array}$	$1.049 \\ 1.246 \\ 1.425 \\ 1.494 \\ 1.516$	$1.105 \\ 1.233 \\ 1.311 \\ 1.325 \\ 1.326$	$1.032 \\ 1.105 \\ 1.134 \\ 1.137 \\ 1.137 \\ 1.137 \\ 1.137 \\ 1.137 \\ 1.137 \\ 1.137 \\ 1.137 \\ 1.000 \\ 1.00$	$\begin{array}{c} 0.898 \\ 0.937 \\ 0.948 \\ 0.948 \\ 0.948 \\ 0.948 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.734 \\ 0.754 \\ 0.758 \\ 0.758 \\ 0.758 \\ 0.758 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.557 \\ 0.567 \\ 0.568 \\ 0.568 \\ 0.568 \\ 0.568 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.374 \\ 0.379 \\ 0.379 \\ 0.379 \\ 0.379 \\ 0.379 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.188\\ 0.190\\ 0.190\\ 0.190\\ 0.190\\ 0.190\end{array}$	
				F	Bei $x = 1$	2				
Ę	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
a b c d e	$1.049 \\ 1.246 \\ 1.425 \\ 1.494 \\ 1.516$	$\begin{array}{c} 1.825 \\ 2.153 \\ 2.477 \\ 2.641 \\ 3.032 \end{array}$	2.081 2.351 2.559 2.631 2.653	$2.003 \\ 2.170 \\ 2.258 \\ 2.273 \\ 2.274$	$\begin{array}{c} 1.767 \\ 1.860 \\ 1.892 \\ 1.895 \\ 1.895 \\ 1.895 \end{array}$	$1.455 \\ 1.504 \\ 1.516 \\ 1.51$	$1.108 \\ 1.133 \\ 1.137 \\ 1.137 \\ 1.137 \\ 1.137 $	$\begin{array}{c} 0.744 \\ 0.757 \\ 0.758 \\ 0.758 \\ 0.758 \\ 0.758 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.372 \\ 0.379 \\ 0.379 \\ 0.379 \\ 0.379 \\ 0.379 \end{array}$	
	Bei $x = 3$									
45	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
a b c d e	$1.105 \\ 1.233 \\ 1.311 \\ 1.325 \\ 1.326$	2.081 2.351 2.559 2.631 2.653	$\begin{array}{c} 2.724 \\ 3.090 \\ 3.425 \\ 3.589 \\ 3.980 \end{array}$	$\begin{array}{c} 2.816 \\ 3.105 \\ 3.317 \\ 3.346 \\ 3.411 \end{array}$	2.560 2.737 2.826 2.841 2.842	$2.140 \\ 2.238 \\ 2.271 \\ 2.274 \\ 2.274 \\ 2.274$	$1.643 \\ 1.694 \\ 1.706 \\ 1.706 \\ 1.706 \\ 1.706 \\ 1.706 \\ 1.706 \\ 1.706 \\ 1.706 \\ 1.00$	$1.107 \\ 1.137 \\ 1.137 \\ 1.137 \\ 1.137 \\ 1.137 \\ 1.137 $	$\begin{array}{c} 0.554 \\ 0.567 \\ 0.568 \\ 0.568 \\ 0.568 \end{array}$	
				E	Sei $x = x$	4				
ξ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
a b c d e	$1.032 \\ 1.105 \\ 1.134 \\ 1.137 \\ 1.137$	2.003 2.170 2.258 2.273 2.274	2.816 3.105 3.317 3.389 3.411	$\begin{array}{c} 3.281 \\ 3.656 \\ 3.993 \\ 4.157 \\ 4.548 \end{array}$	3.190 3.484 3.696 3.725 3.790	2.748 2.927 3.016 3.031 3.032	2.139 2.238 2.271 2.274 2.274	$\begin{array}{c} 1.452 \\ 1.504 \\ 1.516 \\ 1.516 \\ 1.516 \\ 1.516 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.728 \\ 0.754 \\ 0.758 \\ 0.758 \\ 0.758 \\ 0.758 \end{array}$	
				E	Sei $x = 1$	5				
Ę	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
a b c d e	$\begin{array}{c} 0.898 \\ 0.937 \\ 0.948 \\ 0.948 \\ 0.948 \end{array}$	$1.767 \\ 1.860 \\ 1.892 \\ 1.895 \\ 1.895 \\ 1.895$	2.560 2.737 2.826 2.841 2.842	3.190 3.484 3.696 3.768 3.790	$3.468 \\ 3.846 \\ 4.183 \\ 4.347 \\ 4.422$	3.190 3.484 3.696 3.768 3.790	2.560 2.737 2.826 2.841 2.842	1.767 1.859 1.892 1.895 1.895	$\begin{array}{c} 0.898 \\ 0.936 \\ 0.948 \\ 0.948 \\ 0.948 \end{array}$	



Tafel 3.

	F_{I} (m ²)	$H(10^{-5} \mathrm{kg^{-1}})$	$K (10^{-5} \text{ kg}^{-1})$	Coj 7	77
a	0.001	-1.667	15.350	5.604	2.409
b	0.002	-1.667	9.995	3.998	2.063
с	0.005	-1.667	6.782	3.034	1.775
Ь	0.010	-1.667	5.711	2.713	1.655

Tafel 4. Einflusslinie von hL_{α} ($p\lambda$)

	Bei $x = 1$									
Ę	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
a b c d	$0.563 \\ 0.830 \\ 1.167 \\ 1.349$	$\begin{array}{c} 0.653 \\ 0.987 \\ 1.425 \\ 1.671 \end{array}$	$0.584 \\ 0.895 \\ 1.311 \\ 1.550$	$\begin{array}{c} 0.502 \\ 0.770 \\ 1.134 \\ 1.346 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.419 \\ 0.643 \\ 0.948 \\ 1.124 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.335 \\ 0.514 \\ 0.758 \\ 0.900 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.251 \\ 0.386 \\ 0.568 \\ 0.675 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.167 \\ 0.257 \\ 0.379 \\ 0.450 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.084 \\ 0.129 \\ 0.190 \\ 0.225 \end{array}$	
	Bei $x = 2$									
Ę	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
a b c d	$0.653 \\ 0.987 \\ 1.425 \\ 1.671$	$1.148 \\ 1.725 \\ 2.477 \\ 2.900$	$1.155 \\ 1.758 \\ 2.559 \\ 3.017$	$1.003 \\ 1.538 \\ 2.258 \\ 2.674$	0.837 1.285 1.892 2.245	$\begin{array}{c} 0.670 \\ 1.029 \\ 1.516 \\ 1.799 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.502 \\ 0.771 \\ 1.137 \\ 1.350 \end{array}$	0,335 0,514 0,758 0,900	$0.167 \\ 0.257 \\ 0.379 \\ 0.450$	
	Bei $x = 3$									
Ę	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
a b c d	$0.584 \\ 0.895 \\ 1.311 \\ 1.550$	$ 1.155 \\ 1.758 \\ 2.559 \\ 3.017 $	$ \begin{array}{r} 1.566 \\ 2.368 \\ 3.425 \\ 4.025 \end{array} $	$1.490 \\ 2.272 \\ 3.317 \\ 3.917$	1.254 1.924 2.826 3.350	1.005 1.542 2.271 2.695	$\begin{array}{c} 0.754 \\ 1.157 \\ 1.706 \\ 2.024 \end{array}$	$0.502 \\ 0.771 \\ 1.137 \\ 1.350$	$\begin{array}{c} 0.251 \\ 0.386 \\ 0.568 \\ 0.675 \end{array}$	
				Е	Bei $x = x$	4				
ξ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
a b c d	$\begin{array}{c} 0.502 \\ 0.770 \\ 1.134 \\ 1.346 \end{array}$	$1.003 \\ 1.538 \\ 2.258 \\ 2.674$	1.490 2.272 3.317 3.917	$ 1.817 \\ 2.754 \\ 3.993 \\ 4.700 $	$\begin{array}{c} 1.658 \\ 2.530 \\ 3.696 \\ 4.367 \end{array}$	$\begin{array}{c} 1.338 \\ 2.052 \\ 3.016 \\ 3.575 \end{array}$	$\begin{array}{c} 1.005 \\ 1.542 \\ 2.271 \\ 2.695 \end{array}$	0.670 1.029 1.516 1.799	$\begin{array}{c} 0.335 \\ 0.514 \\ 0.758 \\ 0.900 \end{array}$	
				E	Bei $x =$	5				
ξ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
a b c d	$0.419 \\ 0.643 \\ 0.948 \\ 1.124$	0.837 1.285 1.892 2.245	1.254 1.924 2.826 3.350	1.658 2.530 3.696 4.367	$1.901 \\ 2.883 \\ 4.183 \\ 4.925$	1.658 2.530 3.696 4.367	1.254 1.924 2.826 3.350	0.837 1.285 1.892 2.245	$0.419 \\ 0.643 \\ 0.948 \\ 1.124$	



gros der Diagonale, indem der Querschnitt der beiden Gurtungen bestimmt festgehalten wird. Demnach ergeben sich dieselbe Einflusslinie für die fünf Arten von Querschnittsgrös der Untergurte sich ermitteln, indem der Querschnitt von Obergurte und Diagonale festgehalten wird. Bezeichnet man

(A)
$$J=0.01 \ m^4$$
, $F_0=0.03 \ m^2$, $F_u=0.005 \ m^2$,
 $F_d=0.001 \ m^2$, $0.002 \ m^2$, $0.005 \ m^2$, $0.010 \ m^2$, $0.01544 \ m^2$

die Ergebnisse sind in Bild $4 \sim 8$ und in die Tafel 1, 2 eingetragen. Mit

(B)
$$J = 0.01 \ m^4$$
, $F_0 = 0.03 \ m^2$, $F_d = 0.005 \ m^2$,
 $F_m = 0.001 \ m^2$, $0.002 \ m^2$, $0.005 \ m^2$, $0.010 \ m^2$.

sind die Einflusslinie in Bild $9 \sim 13$ und in der Tafel 3, 4 ausgedrückt.

8. Zusammenfassung

Die Versuche haben gezeigt, dass der Fachwerkträger aus der Wirkung des Fachwerks und jener des Balkens besteht. Wenn die Diagonale schwach ist, dann tendiert γ_x in H_x so ungeheuer, dass wir K_x und α_x in (18) vernachlässigen mögen, und also erhält man

d. i.

welches die wirkung des Balkens ausdrückt. Wenn das Trägheitmoment der Obergurte sich vermindert, d. i. sich infinitivem Werte naht, erklärt man

 $K_x = 6\alpha_x , \qquad H_x = \alpha_x ,$

und also (17) ergibt sich

$$\alpha_x(hL_{x-1}-m_{x-1})+2(\alpha_x+\alpha_{x+1})(hL_x-m_x)+\alpha_x(hL_{x+1}-m_{x+1})=0,$$

wobei

 $L_x = m_x/h$

der Wirkung des Fachwerks entspricht.

Zum Entscheide der Versuchsgrosse der Querschnitte, kann man die Formel (20) und (21) mit $H_x=0$ einführen. Für Ökonomische Gesichtspunkte braucht man zwar weitere Erforschungen, aber der Verfasser ist der Ansicht, dass der Fachwerkträger doch in den Besitz der Bautechnik übergehen könne.

(Angenommen am 30. Apr. 1962)

Literatur

1. K. Hirschfeld: Baustatik. Berlin/Göttingen/Heidelberg; Springer 1959.

A Study of the Snow-melt Runoff of Rivers

Takao Sakai*

Abstract

In this paper, the present author has developed a new method of analysing and computing snowmelt runoff using the degree-hour factor. He has found the formulae of determining degree hours only from daily maximum and minimum air temperatures.

He has applied this method for the Saru River Basin and the Ishikari River Basin in Hokkaidô. The computed runoff coincides well with the observed runoff.

1. Introduction

The snow-melt runoff in spring is an important problem not only for flood control because it often brings flood, but also for such water utilization as hydroelectric power, irrigation and other kinds of water supply.

Studies on this subject have been performed actively in U.S.A. since about 1930.^{1),2)} Especially a thermo-dynamical study of snow-melt by Wilson³⁾ was remarkable, and Light⁴⁾ also studied similar subjects. As researches in a field, we must notice those prosecuted at Gooseberry Creek and at Crater Lake on which interesting results were reported⁵⁾. For predicting the total amount of runoff through the snow-melting season, the results of snow survey just before the melting season were used ; for example, Clyde⁶⁾ applied this method for rivers in Uta State. But for forecasting day-to-day runoff, Linsley⁷⁾ adopted the method of degree days and applied it to rivers in California.

In Japan, Sugaya⁸⁾ performed a snow survey and an investigation of runoff in the Chûbetsu River Basin near Mt. Taisetsu in Hokkaidô in 1948, and henceforth similar researches by other investigators were carried out actively.

As known by the previous studies, kinds of heat transfer which cause snowmelt are listed in the order of importance as follows :

1) Convection from turbulent air

2) Heat by condensation of water vapour in air

- 3) Solar radiation
- 4) Heat from warm rain
- 5) Conduction from soil
- 6) Conduction from still air

Above all, important items are 1 > 3, of which thermo-dynamical calculations are possible by Wilson's formulae or others. But the combination of these factors is very complicated, and the meteorological conditions of nature are widely variable;

*境隆雄

therefore, unless the data of observation are offered enough, application of these formulae is difficult.

The practical method which hitherto has been used is that of degree days. This method adopts air temperature as the most important and representative factor which causes snow-melt. The degree day is a quantity of daily mean air temperature which exceeds that at which snow-melt begins (usually taken as 0°C) multiplied by a day. The snow-melt or its runoff per unit degree day is called the *degree-day factor*. The observed values of degree-day factor hitherto reported by various investigators are about $0.02 \sim 0.15$ in./°F day namely $0.09 \sim 0.7$ cm/°C day.

The method using degree-day factor is effective and practical. Nevertheless, it has irrationality that even in the case when the air temperature in the daytime is so high that snow-melt actually happens, if the daily mean air temperature (which is usually taken as the mean of daily maximum and minimum values) is below 0°C, the value of degree days is calculated as zero. (cf. Fig. 1)



ig. 1. Daily mean air temperature and integrated air temperature causing snow-melt.

Therefore, for more accurate treatment, the use of integrated value of air temperature above 0° C should be considered. This is why the author should propose the method using the degree-hour factor.^{9),10}

2. The Author's Method of Computation of Snow-melt Runoff

(1) Method of Computation of Integrated Air Temperature

The integrated value of air temperature above 0°C is obtained from records of thermograph which, however, is not usually obtained at a simple observatory where only daily maximum and minimum air temperatures are observed. As many actual examples show, the daily variation of air temperature is periodic but not as a sine curve; its rising period is shorter while its falling period is longer.

The author has expressed the daily variation of air temperature by the following equation.

$$T = Cte^{-\alpha t^2} \tag{1}$$

where T is an air temperature (°C) measured from the minimum air temperature, t is a time (hr) measured from the time of minimum air temperature, and C and α are constants. This equation is applied from the time of minimum air temperature of a day to ditto of the next day as one division. Taking the time length between the hours of maximum and minimum air temperature as 7 hours, constants in Eq. (1) are determined as follows.

At the time of maximum air temperature,

(158)
dT/dt = 0, hence $\alpha = 1/2t^2$, and putting t = 7 we get $\alpha = 1/98$.

From Eq. (1)

$$C = \frac{T}{t} e^{\alpha t^2} = \frac{T}{t} e^{\frac{1}{2}}$$

Let the temperature difference between daily maximum T_2 and minimum T_1 be ΔT ,

when t=7, $T=\Delta T$.

:.
$$C = \frac{\Delta T}{7} e^{\frac{1}{2}} = \frac{\Delta T}{7} \times 1.649 = 0.2355 \ \Delta T$$

Therefore Eq. (1) becomes

$$T = 0.2355 \, \varDelta T t e^{-t^2/98} \tag{2}$$

The daily variation curve of T by Eq. (2) is as shown in Fig. 2.



Fig. 2. Daily variation curve of air temperature and the integrated air temperature.

For the happening of snow-melt, $T_2 > 0^{\circ}$ C, while T_1 may be $\leq 0^{\circ}$ C. 1) $T_1 < 0^{\circ}$ C: —

In this case, the hours t_1 and t_2 when T = 0°C, are determined by the ratio $T_2/\Delta T$, and integrating T from t_1 to t_2 , the integrated value of air temperature is obtained.

Now denote

$$\begin{array}{c} m = T_2 / \Delta T \\ C = n \Delta T \end{array} \right\}$$
 (3)

then at t_1 and t_2 ,

$$T = \Delta T - T_{2}$$

= $(1 - m)\Delta T = n\Delta T t e^{-\alpha t^{2}}$
$$\therefore \quad t e^{-\alpha t^{2}} - \frac{1 - m}{n} = 0 \qquad (4)$$

Substituting numerical values into constants in Eq. (4), and rewriting it to the form convenient for calculation,

$$\frac{t}{10^{0.00443t^2}} - \frac{1 - m}{0.2355} = 0 \tag{4'}$$

Solving the above equation, t_1 and t_2 may be determined.

Then the integrated air temperature above 0°C i.e. the degree hours D in Fig. 2 may be written

$$D = \int_{t_1}^{t_2} T dt - (\varDelta T - T_2) (t_2 - t_1)$$

$$= \left\{ \frac{n}{2\alpha} \left(e^{-\alpha t_1^2} - e^{-\alpha t_2^2} \right) - (1 - m) (t_2 - t_1) \right\} \varDelta T$$

$$= \left\{ 11.54 \left(10^{-0.00443t_1^2} - 10^{-0.00443t_2^2} \right) - (1 - m) (t_2 - t_1) \right\} \varDelta T$$

$$= \xi \varDelta T$$
(5)

In the above equation, ξ is eventually a function of m only, and is calculated as shown in Table 1.

-									
m	t ₁	t_2	Ę						
.1	4.8	9.4	.29						
.2	4.0	10.6	.86						
.3	3.3	11.5	1.60						
.4	2.8	12.5	2.49						
.5	2.2	13.5	3.55						
.6	1.8	14.5	4.74						
.7	1.3	15.6	6.08						
.8	.9	17.1	7.62						
.9	.4	19.3	9.37						
1.0	0	24.0	11.50						

Table 1.

2) $T_1 = 0^{\circ} \text{C} : --$

In this case, m=1. Denote D in this case as D_0 , then from Table 1,

$$D_0 = 11.50 \varDelta T \tag{6}$$

3)
$$T_1 > 0^{\circ} C : -$$

In this case, m > 1.

$$D = D_0 + 24T_1$$

= {11.50 + 24(m-1)} ΔT
= 24(m-0.521) $\Delta T = \xi \Delta T$ (7)

As seen above, ξ is a linear function of m, namely varies as a straight line. Summarizing the above, $m-\xi$ relation is shown in Table 2 and Fig. 3.

т	.00	.02	.04	0.4	,08
.0	.0	.0	.1	.1	.2
.1	.3	.4	.5	.6	.7
-2	.9	1.0	1.1	1.3	1.5
.3	1.6	1.8	1.9	2.1	2.3
.4	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3
.5	3.6	3.8	4.0	4.2	4.5
.6	4.7	5.0	5.3	5.5	5.8
.7	6.1	6.4	6.6	6.9	7.3
.8	7.6	7.9	8.3	8.6	9.0
.9	9.4	9.8	10.2	10.6	11.0
1.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.4
1.1	13.9	14.4	14.9	15.3	15.8
1.2	16.3	16.8	17.3	17.7	18.2
1.3	18.7	19.2	19.7	20.1	20.6
1.4	21.1	21.6	22.0	22.5	23.0
1.5	23.5	23.9	24.4	24.9	25.3
1.6	25.9	26.3	26.8	27.3	27.8
1.7	28.3	28.7	29.2	29.7	30.2
1.8	30.7	31.1	31.6	32,1	32.6
1.9	33.1	33.5	34.0	34.5	35.0

Table 2. $m-\hat{s}$ Relation

As described above, if only the maximum and minimum air temperatures are given in any day, from Table 2 the value of ξ is found by which degree hours D (°C hr) may be easily computed.

Equations related are summarized as follows.

$$\begin{array}{c} \Delta T = T_2 - T_1 \\ m = T_2 / \Delta T \\ D = \xi \Delta T \end{array} \right\}$$

$$(8)$$

The above-mentioned theory has been composed, assuming that the minimum air temperature of a day is nearly equal to ditto of the next day. Actually, however, there is a little difference between these two, hence some error exists between the computed and the actual values of D. To remove such an error, the minimum air temperature used for calculation should rather be taken as the mean value of the minimum air temperature of a day T_{1a} and that of the next day T_{1b} , namely

$$T_{1} = \frac{1}{2} (T_{1a} + T_{1b}) \qquad (9)$$

Numerical example : ---

 $T_{1a} = -4^{\circ}\mathrm{C} \qquad T_{1b} = -2^{\circ}\mathrm{C}$ $T_{2} = 8^{\circ}\mathrm{C}$

From the above data, D is required.

$$T_{1} = \frac{1}{2}(-4-2) = -3^{\circ}C$$
$$\Delta T = T_{2} - T_{1} = 8 - (-3) = 11^{\circ}C$$
$$m = T_{2}/\Delta T = 8/11 = 0.727$$

From Table 2, $\xi = 6.5$

 $D = \xi \varDelta T = 6.5 \times 11 = 71.5^{\circ}$ C hr

The calculated value of D by the above method nearly coincides with the actual value; its error is less than about $\pm 8\%$ while the former method of degree days may contain an error about $\pm 30\%$, especially larger error when the mean daily air temperature is near 0°C.

(2) Integrated Temperature-Area Causing Snow-Melt

In a river basin, snow-melt happens in the zone between the *snow line* which is the lower limit of snow cover area and the *freezing line* which is defined as the line where the daily maximum air temperature is 0° C.

Fig. 4 shows the *area-elevation curve* for a river basin, on which the snow line elevation h_1 and the freezing line elevation h_2 being indicated, the percentage of area for each of them p_1 and p_2 is easily found graphically. Then the snow-melting area A is expressed by

$$A = (p_1 - p_2) A_0 / 100 \tag{10}$$

where A_0 is the total basin area.



Fig. 3. $m-\xi$ curve.

The snow line, in a snow-melting season, moves up and down as the season advances and is not constant. Moreover, the snow-line does not always coincide with a contour line; it is generally lower on northward or forestcovered slopes and is higher on southward or bare slopes. Nevertheless, it is possible to determine the mean elevation of snow-line of the whole basin and to know its movement following the progress of season in broad view.

Next, the freezing line also moves every day and is not constant. But its elevation is determined by the air temperature at an observatory if the lapse rate of air temperature is known. The lapse rate may be generally assumed as 0.6° C/100 m in the snowmelting season. Then the freezing line elevation h_2 is



melting zone.

$$h_2 = h_0 + \frac{100}{0.6} T_2' \tag{11}$$

where h_0 is the elevation of an observatory and T'_2 is the daily maximum air temperature at the observatory.

The area-elevation curve for a river basin is important for the calculation of snow-melting area; this curve may be drawn by planimetering along contour lines, but that method requires an enormous and troublesome work. As a simpler and also precise and practical method, the author wishes to recommend the method using the elevations of grid intersections over a topographic map.¹¹

The air temperature of a melting area is represented by the air temperature at the median elevation, i.e. 50% elevation h_m of the area. This h_m is the elevation for p_m , the middle point of p_1 and p_2 , and may be found graphically from the area-elevation curve. The temperature difference T' between those at the observatory and at h_m is

$$T' = \frac{0.6}{100} (h_m - h_0) \tag{12}$$

Using the relations above stated, only from daily maximum and minimum air temperatures at the observatory, dittos at h_m are determined; then by Eq. (8) D is computed, and multiplying D by A, we get the integrated temperature-area DA which is a numerical expression of a main element that causes the snow-melt runoff in a river basin.

But when we do such computation extending over many days, it is more convenient to use kD instead of DA in which

$$k = A/A_0 \tag{13}$$

Since k is a dimensionless number of ratio, kD is expressed in degree hours.

(3) Analysis of Runoff and the Ratio of Snow-melt Runoff

As well known, runoff consists of direct runoff and base flow runoff; the former being surface runoff which varies more suddenly by day-to-day causes and the latter being groundwater runoff which varies quite slowly. In a snow-melting season, each of them consists of snow-melt runoff and rainfall runoff.

Their relation may be written

$$Q_s = Q - (Q_r + Q_0) \tag{14}$$

where Q is the whole discharge, Q_s is the discharge due to direct snow-melt runoff, Q_r is that due to rainfall and Q_0 is the base flow discharge.

Runoff at some period is written

$$V_s = \int Q_s dt = \int Q dt - \int (Q_r + Q_0) dt \tag{15}$$

If the discharge is expressed by daily mean discharge, since one day is $24 \times 60 \times 60 = 0.0864 \times 10^6$ seconds, discharge and runoff are exchanged each other by the following Eq. (16).

$$V = \int Q dt = 0.0864 \times 10^6 \sum Q$$

$$\sum Q = V/0.0864 \times 10^6$$
(16)

where V is the runoff (m³) at some period and $\sum Q$ is the sum of daily mean discharges (m³/sec) at the period.

Actual examples show that the day-to-day variations of kD and discharge Q correspond well each other with some lag of time, but the variation of kD is generally more sharp while that of Q is milder. This is because the snow-melt runoff (rainfall runoff also) caused by kD of a day does not end in a day but is distributed over several days and is averaged, and moreover, because the base flow exists.

Then, taking some suitable number of days continuous, and computing V_s by Eqs. (15) and (16) and meanwhile computing $\sum kD$ or $\sum DA$ in the same number of days continuous but preceding by the lag of time formerly mentioned, the ratio of snow-melt runoff i.e. the degree-hour factor f_s or f'_s may be written

$$\begin{cases}
f_s = V_s / \sum kD \\
f'_s = V'_s / \sum DA
\end{cases}$$
(17)

where f_s is in m³/°C·hr and f'_s is in 10⁻³ mm/°C·hr if A is in km². Remembering $k = A/A_0$, f_s is exchanged to f'_s by

A Study of the Snow-melt Runoff of Rivers

$$f'_s = f_s / A_0 \tag{18}$$

165

As already mentioned, when we calculate over many days, it is more convenient to use kD instead of DA, that is to say, to use f_s instead of f'_s .

However, for comparing different basins, it is better to use f'_s .

Using f_s or f'_s , the snow-melt runoff V_s may be computed by

$$\begin{array}{cccc}
V_s = f_s & kD \\
V_s = f_s' & DA \end{array}
\end{array}$$
(19)

(4) Seasonal Variation of the Ratio of Snow-melt Runoff

The result of Linsley's study of rivers in California shows that the value of degree-day factor is small in early spring but increases as the season advances to summer. The result of Work's research at Crater Lake shows that the melt value per degree-day also increases as the season advances, and this is concerned with the quantity of snow-melt itself and does not contain the effect of lag of runoff.

These data show that the ratio of snow-melt runoff increases as the season advances with which coincides the result of analysis in the Saru River Basin by the author.

In computing f_s , the technique of determining base flow discharge is concerned with, and since the base flow itself varies, there exists the complexity of the problem. However, the data at Crater Lake show that the quantity of snow-melt itself varies seasonally, being unrelated to runoff.

As the factors affecting seasonal variation of f_s , the seasonal variation of solar radiation and albedo of snow and the ripening of snow, etc. may be considered.

1) Effect of solar radiation

In the northern semi-sphere of the earth, as the season advances from spring to summer, the altitude of the sun becomes higher and the heat of solar radiation increases. The ratio of intensity of solar radiation J for a horizontal plane to the solar constant J_0 is expressed by

$$J/J_0 = \sin\theta \, p^{1/\sin\theta} \tag{20}$$

where θ is the elevational angle of the sun, p is the transmission coefficient of atmosphere which is $0.8 \sim 0.6$ or nearly 0.7 as the mean value. If we may represent θ by that at noon, for example, at 43° North Latitude (near Sapporo, Hokkaidô), taking p = 0.7, J/J_0 in the middle of each month from March to June may be calculated by Eq. (20) as follows.

Month	March	April	May	June
heta	45° 30′	57°00⁄	66° 00′	70° 20⁄
J/J_0	.432	.547	.617	.645

Table 3. Seasonal Variation of J/J_0 (43° N.L.)

However, since the counter radiation from the surface of snow is supposed nearly equal to the solar radiation in March, assuming that both are equal, the net values of heat of radiation gained by snow are as follows.

Month	March	April	May	June
[<i>J</i> / <i>J</i> ₀] net	0	.115	.185	.213
Ratio to April	0	1.00	1.61	1.85

Table 4. Seasonal Variation of $[J/J_0]_{net}$

Namely, the value of $[J/J_0]_{net}$ becomes nearly twice in June, as compared with that in April.

2) Other effects

It is supposed that as the season advances the ripening of snow makes the value of f_s increase, but it is difficult to express it numerically.

The albedo of newly fallen snow being about 0.85 and that of old snow about $0.4 \sim 0.7$, the ratios of absorption of solar radiation may be approximately compared as follows.

Sort of snow	Albedo	of sol. rad.
Newly fallen snow	0.85	0.15
Old snow	0.50	0,50

Namely, the ratio of absorption of solar radiation of old snow may be more than three times as much as that of newly fallen snow.

Summarizing the above, though the seasonal variation of f_s is considered to be somewhat different according to regions, and though it is difficult to determine its value generally, the results by Linsley and by Work show that the ratios of values of f_s in April, May and June are approximately $1:2\sim3:4\sim6$. According to the considerations already described in this article, these ratios may be said to be almost affirmable. Therefore, in a region at the medium latitude of the northern semisphere, the ratios of values of f_s at each middle day of April, May and June may be assumed as 1:2.5:5.0.

(5) Calculation of Rainfall Runoff

The elevational distribution of precipitation in a snow-melting season should be studied, as shown in Fig. 5, being divided into the following three zones.

- 1) Rainfall in the snowless zone below the snow-line or the unfreezable line
- 2) Rainfall and snowfall in the snow-melting zone
- 3) Snowfall above the freezing line

In the above, the unfreezable line means the line of elevation where the daily minimum air temperature is 0°C, and that does not always coincide with the snow-line but may be regarded as approximately coincident.

Also in regard to the boundary line between 2) and 3), i.e. the coincidence of the upper limit of rainfall zone with the freezing line, the same may be said. In the zone 2), both of rainfall and snowfall may occur, and the percentage



Fig. 5. Elevational distribution of rainfall in a snow-melting season.

of rainfall will increase as the elevation decreases. The boundary line of distribution between the amount of rainfall and that of snowfall may be a curve, but may be regarded approximately as a straight line.

The whole amount of precipitation, as well-known, generally increases as the elevation increases, but its maximum value exists a little below the top of a high mountain; hence its distribution curve will be approximately as shown in Fig. 5.

According to the above consideration, when the observatory exists at a low elevation, it is clear that in order to get the value of rainfall suitable for the whole basin, we find it necessary to correct observed values. In early spring, when the freezing line exists at a lower elevation, the necessity of such correction is great.

The snowfall in the zone 3) above the freezing line remains as snow covers and may be regarded not to run off immediately.

1) Rainfall runoff in the snowless zone below the snow line.

This may be treated similarly as ordinary rainfall runoff, but since near the snow line the ground is very wet, the ratio of runoff is supposed to be large. The drainage area A_1 (km²) below the snow line is

$$A_{1} = \left(1 - \frac{p_{1}}{100}\right) A_{0} \tag{21}$$

Hence the amount of rainfall V_r (m³) is

$$V_r = 10^{-3} f_r R \left(1 - \frac{p_1}{100} \right) A_0 \tag{22}$$

where R (mm) is rainfall and f_r is a coefficient of runoff.

2) Rainfall runoff in the snow-melting zone above the snow line.

Rainfall in this zone may be reserved in the snow cover as water for a long while, therefore the lag of runoff may occur with the same tendency as the snowmelt runoff.

The area of snow-melting zone being given by Eq. (10), the amount of rainfall runoff is

$$V_r = 10^{-3} f_r R(p_1 - p_2) A_0 / 100$$
(23)

3) Rainfall runoff when the snowless and the snowy zones are summarized. In this case, the area of the rainfall zone A_r is

$$A_r = \left(1 - \frac{p_2}{100}\right) A_0 = \alpha_1 A_0 \tag{24}$$

where α_i is a coefficient which shows the ratio of the rainfall area.

Next, in Fig. 5, the rainfall below the snow line being assumed approximately uniformly distributed as R_0 , the mean value of rainfall R_m is computed as follows.

When

$$p_{2} > 0 \text{ i.e. } h_{2} < h_{\max},$$

$$R_{m} = \left\{ (h_{1} - h_{0}) R_{0} + \frac{1}{2} (h_{2} - h_{1}) R_{0} \right\} \frac{1}{h_{2} - h_{0}}$$

$$= \frac{h_{2} + h_{1} - 2h_{0}}{2(h_{2} - h_{0})} R_{0} = \alpha_{2} R_{0}$$
(25)

where α_2 is a coefficient which shows the mean value of rainfall.

When $h_2 < h_{max}$ and $h_1 = h_0$, $\alpha_2 = 1/2$.

When $h_2 > h_{\text{max}}$, α_2 is larger than 1/2 and approaches to 1.

Then the amount of rainfall runoff is

$$V_r = 10^{-3} \alpha_1 \alpha_2 f_r R A_0 \tag{26}$$

The rainfall runoff considered above in various cases never ends in a day but continues for several days. In order to determine its distribution, we may well apply the unit graph method. Such a unit graph, however, from the point of view of its purpose, does not always have to be precise but may be approximate such as composed by triangles. For example, re-





ferring to the distribution graph by Nakayasu¹²), the unit graph as shown in Fig. 6 may be used.

Such a unit graph may be easily drawn only if the basin lag t_g is presumed. Then, from the composite hydrograph, the day-to-day percentage of runoff distribution may be determined.

(6) Calculation of Base Flow

The base flow in the snow-melting season may be said to have the following properties in broad view.

1) The base flow at the beginning of a melting season is nearly equal to the low water discharge in winter.

2) The base flow increases as the melting season advances, and holds larger value during the period when snow melts hard.

3) At the end of the melting season, the base flow decreases gradually but is still larger than the value at the beginning.

In order to determine the value of base flow, the author proposes the following method.

At first, referring to the low water discharge in winter, we should assume a constant base flow Q_0 through the whole melting season, and find f_s in every ten days by Eq. (17). Then the value of f_s will increase as the season advances, and the rate of its increase will generally exceed that already considered in Article (4). (Call it "the standard ratio") Because the snow-melt runoff containing base flow occurs generally a while later than the phenomenon of snow-melt itself, and since the lag accumulates gradually, the apparent value of f_s increases greatly as the season advances. Therefore keeping the seasonal variation of the value of f_s at the standard ratio, increase and correct the value of base flow at every period of ten days. The method of calculation is as follows.

Now, let f_{s_1} be the value of f_s at any period when the base flow is assumed as Q_{s} and let f_{s_2} be the corrected value. Denote

$$\Delta f_s = f_{s1} - f_{s2}$$

To increase Q_0 by ΔQ_0 for correcting f_s is to decrease the direct snow-melt discharge by ΔQ_s which is equal to ΔQ_0 ; hence from Eqs. (16) and (17), the following relation is brought about.

$$\sum \Delta Q_{\circ} = \Delta f_s \sum kD/0.0864 \times 10^6 \tag{27}$$

Namely, the base flow at this period should be increased by $\sum dQ_0$. Then the mean value of base flow which is to be added becomes

$$[\varDelta Q_0]_m = \sum \varDelta Q_0/n \tag{28}$$

where n is the number of days during the period.

(7) Distribution and Composition of Runoff

The distribution of snow-melt runoff is considered to be fundamentally similar to that of rainfall runoff. However, the snow-melt runoff has a tendency of delay as compared with the ordinary rainfall runoff; hence its value of t_q is expected to be larger. That value may be found, in an actual river basin, by the difference of the time of peak flow and the time of antecedent maximum air temperature in a day when the effect of rainfall is negligible.

In applying a unit graph to the snow-melt runoff, the distribution of D is determined by the value of m, which generally increases as the season advances, but in actual examples, during the period of maximum snow-melt, $m = 0.8 \sim 0.9$.

Now, assuming m = 0.8 representatively, the percentage of D in each 4 hrs is found as shown in Fig. 7.



Fig. 7. The integrated air temperature (%) in each 4 hours.

From the hydrograph composed by the unit graph and using % of D in each 4 hrs in Fig. 7, the day-to-day distribution of runoff may be determined. However, even if the unit graph itself is used, the results will not be so different.

Summarizing the above, the discharge Q at any day is written

$$Q = Q_s + Q_r + Q_0 \tag{29}$$

(9) Forecasting Snow-melt Flood

Forecasting the snow-melt flood which is necessary for flood control is possible by applying the above-mentioned method of solution.

In a river basin, by analysis of runoff in the snow-melting season for a year or two the value of f_s proper for the basin and the tendency of base flow may be found. Therefore, if only the meteorological conditions are forecasted, daily mean discharge may be done as well.

But it is rather the value of peak discharge and its time of happening than the daily mean discharge that is necessary for flood forecasting. Now, let the daily mean discharge be denoted by Q, and the maximum discharge by Q_{\max} , and write

$$Q_{\max} = \eta Q \tag{30}$$

The value of η should be previously found in the analysis of runoff. Of course η is not constant, and will vary somewhat owing to the value of Q and others, but its approximate tendency must be found. Then using it, Q_{\max} will be obtained.

Next, the time of happening of maximum discharge, in regard to the snowmelt runoff only, will be generally at midnight in the case of a small basin. In the case of a large basin, using what was obtained in each tributary, the method of flood routing may be applied.

3. Actual Examples of Analysis and Computation

(1) Snow-melt Runoff in the Saru River Basin

The Saru River Basin above Piratori is as shown in Fig. 8. At its riverhead lie the steep Hidaka Mountains which may be called the backbone of Hokkaidô.



Fig. 8. The Saru River Basin.

The drainage area above the Hidaka observatory is 420 km², and its areaelevation curve is as shown in Fig. 9.

On the computation of snow-melt runoff in this river basin in the spring of 1957, the author has formerly published,⁹⁾¹⁰⁾ but adding the correction by the later study, wishes to describe here again. The stage-discharge curve at the Hidaka observatory is as shown in Fig. 10, using which and from the auto-record of water stage the daily mean discharge may be determined.

The actual auto-record of water stage shows that there is diurnal fluctuation by day and night and that peak flow exists near the midnight, therefore in oder to calculate runoff taking the midnight as a center, the daily mean discharge was calculated dividing each day at noon. The day-to-day variation of the snow line elevation in the basin is linear as shown in Fig. 11, and the observed values near Muroran for reference are plotted almost on the same straight line.

Since the maximum elevation of the basin is 1930 m, the snow-melt in the



Saru River Basin above Hidaka.



Fig. 11. Day-to-day variation of the snow line elevation in the Saru River Basin.



Fig. 10. Stage-discharge curve for the Saru River at Hidaka.

basin is supposed to be finished at about June 17. The author performed snow surveying in this basin at $4\sim5$ th of April of the same year. The total runoff during the period from Apr. 5 to June 17 amounted to

 $\int Qdt = 2669 \,\mathrm{m}^3/\mathrm{sec} \cdot \mathrm{day} = 230.6 \times 10^6 \,\mathrm{m}^3$

The result of the snow survey was formerly published by the author.⁹⁾¹³⁾ Generally, when the elevational distribution of water equivalent of snow cover is linear, the total water equivalent of snow cover V_s may be expressed by

A Study of the Snow-melt Runoff of Rivers

$$V_s = C\bar{H}_w A \tag{31}$$

where \overline{H}_w is the water equivalent of snow cover at the median elevation of a basin, A is the total basin area and C is a coefficient of correction due to the effect of forests.

Taking C = 0.9 considering the condition of forests in the basin, the total water equivalent of snow cover as of Apr. 5 becomes

$$V_s = 0.9 \times 0.663 \times 420 \times 10^6$$

= 250.7 × 10⁶ m³

In the next place, the amount of rainfall was taken as the mean value of that of three observatories, i.e. Hidaka (elevation 290 m), Kamichizaka (600 m) and Furenai (87 m). Since the total rainfall during this period is 167 mm, the total volume of rainfall V_r is

$$V_r = 0.167 \times 420 \times 10^6 = 70.2 \times 10^6 \,\mathrm{m^3}$$

Hence, the mean ratio of runoff during the period becomes

$$f = \int Q dt / (V_s + V_r)$$

= 230.6/(250.7 + 70.2) \Rightarrow 0.72

The freezing line elevation h_2 is determined by taking $h_0 = 290$ m in Eq. (11). Then by the author's method, from the day-to-day maximum and minimum air temperatures at the Hidaka observatory, the day-to-day kD was computed. These day-to-day kD, rainfall and discharge are shown in Fig. 12.

In analyzing the runoff, the base flow was at first assumed as $Q_0 = 8.0 \text{m}^3/\text{sec}$ which is equal to the low water discharge just before the snow-melting season and which was assumed as constant during the whole period. The rainfall runoff was calculated at every period of ten days using Eq. (26) where f_r being assumed as 0.75.

The value of f_s at every period of ten days was calculated as shown in Table 5.

In Table 5, the values of $\sum kD$ in June are small and the runoff should be rather regarded as recession, hence the values of f_s (* marked) are not reliable.

Table 5 shows that the values of f_s in April are nearly constant and equal to 0.012 on an average. Hence, taking it as a basis, and applying the standard ratio of 1:2.5:5 for Apr.: May: June, the seasonal variation of f_s as suitable is drawn as a curve shown in Fig. 13.

From Fig. 13, the values of f_s at every period of ten days are shown in Table 6.

Using the above values of f_s , the values of base flow were corrected by Eqs. (27) and (28) as shown in Table 7.

Next, for determining the distribution of runoff, the lag t_q for snow-melt runoff



Data	No.	ΣQ	ΣQ_0	.0864	V_r	V_s	$\sum kD$	f_s
Date	days	(m³/s)	(")	$(20^{-2}0^{-3})^{(10^{6}m^{3})}$	(")	(")	(°C hr)	(10 ⁶ m ³ /°C hr)
4. 5~10	6	73	48	2.2	0.1	2,1	123.4	.0170
» 11 ∼ 20	10	150	80	6.1	0.3	5,8	517.7	.0112
» 21 ~ 30	10	337	80	22.2	11.7	10.5	847.7	.0124
5. 1~10	10	371	80	25.1	7.3	17.8	697.7	.0255
» 11∼20	10	496	80	35.9	6.8	29,1	620.7	.0469
» 21∼31	11	677	88	50.9	10.1	40.8	330.3	.1235
6. 1 ∼ 10	10	391	80	26.9	6.0	20.9	26.5	.789*
<i>»</i> 11∼17	7	174	56	10.2	1.9	8.3	2.7	3.074*
Totals	74	2669	592	179.5	44.2	135.3	3166.7	.0427
	1	1	1	E				1

Table 5. Calculation of f_s



Fig. 13. Seasonal variation of f_s .

Table 6. Values of Js (10 m / C-n	\mathbf{r}	

Month Ten days	April	May	June
First	.012	.022	.049
Middle	.012	.030	.060
Last	.015	.039	

Table 7. Values of mean $Q_0 (m^3/sec)$

Month Ten days	April	May	June
First	8	11	31
Middle	8	20	21
Last	8	37	

was presumed as 10 hrs, and an approximate unit graph was drawn from which runoff percentage was determined as follows:

Order of day	1	2	3
Runoff %	50	30	20

The distribution of rainfall runoff may be considered not so different from that of snow-melt runoff in the case when the snow-melting zone and the snowless zone are treated together, but generally rainfall does not continue every day as snow-melt; hence the number of days of its distribution should be taken more. Here, the runoff distribution was assumed as follows:

Order of day	1	2	3	4
Runoff %	50	25	15	10

As described above, the day-to-day discharges Q_s , Q_r and Q_0 were computed respectively and summed up together as Q, which is shown in Fig. 12.

Comparing both observed and computed discharges, it may be said to have fair accuracy.

(2) Snow-melt Runoff in the upper Ishikari River Basin

The upper Ishikari River Basin above Inô is as shown in Fig. 14.

The drainage area is 3430 km^2 , and its area-elevation curve is as shown in Fig. 15.



Fig. 14. The upper Ishikari River Basin.



Fig. 15. Area-elevation curve for the upper Ishikari River Basin above Inô.



Fig. 16. Day-to-day variation of the snow line elevation of the Ishikari River Basin.

The day-to-day variation of the snow line elevation in the basin is linear as shown in Fig. 16, and in spite of having some differences between the positions of lines every year, its mean velocity of rising is constant indicating 22 m/day while that of the Saru River Basin was 25 m/day.





The lapse rate of air temperature, according to the result of investigation in the basin, indicated 0.6° C/100 m which coincides with what is described in meteorology.

For calculation of kD, as a meteorological observatory, Asahigawa (elevation 113 m) was adopted.

As observatories of rainfall, Asahigawa (113 m), Eoroshi (360 m) and Sôunkyô (625 m) were selected. The mean of observed values at these three places is considered to give the suitable value as the mean of whole basin in view of plane as well as of elevation.



Fig. 18. Stage-discharge curve for the Ishikari River at Inô.

The auto-record of water stage at Inô in the spring of 1957 shows that the main snow-melting period is April, hence analysis was performed from the end of March till 10th of May.

Fluctuation of water stage by day and night is seen also and more prominent than in the case of the Saru River. Fig. 17 shows a part of it.

The stage-discharge curve at Inô is as shown in Fig. 18.

The day-to-day kD, rainfall and discharge are as shown in Fig. 19.

Fig. 19 shows that the day-to-day variation of kD and that of discharge correspond well each other with a lag of half a day.

In analyzing the runoff, the base flow was at first assumed as $Q_0 = 40 \text{ m}^3/\text{sec}$ which is equal to the low water discharge just before the snow-melting season and which was assumed as constant during the whole period. The rainfall runoff was calculated at every period of ten days using Eq. (26) where f_r being assumed as 0.75 referring to the case of the Saru River.

The value of f_s at every period of ten days was calculated as shown in Table 8.

Date	No. of days	$\sum Q$ (m ³ /s)	ΣQ0 (")	$(\sum_{\substack{Q \to \Sigma \\ (10^6 m^3)}}^{.0864} Q_0)$	Vr (")	V ₈ (")	$\sum kD$ (°C hr)	fs (10 ⁶ m ³ /°C hr)
4. 1~10	10	3176	400	240	13	227	462.6	.491
" 11∼20	10	4553	400	359	31	328	543.7	.603
" 21~30	10	4619	400	364	23	341	500.0	.682
5.1~10	10	3195	400	241	12	229	371.9	.616
Totals	40	15543	1600	1204	79	1125	1878.2	.599

Table 8. Calculation of f_s



Fig. 19. Day-to-day kD, rainfall and discharge in the upper Ishikari River Basin.

Table 8 shows that the value of f_s does not indicate great variation during the period; hence, it is considered that it may be constant during the whole period by correcting the base flow properly. The value of f_s is smaller for the first ten days of April and is larger after the middle ten days of April having the peak at the last ten days of April, but there is no great variation from the middle ten days of April till the first ten days of May. Hence, taking the value of f_s after the middle ten days of April together and comparing it to that of the first ten days of April, the value of base flow was corrected to 150 m³/sec after the middle ten days of April.

The corrected value of f_s during the whole period is $0.43 \times 10^6 \text{m}^3$ /°C hr which is converted to 0.125 mm/°C hr. Furthermore, it is equivalent to $0.30 \text{cm/°C} \cdot \text{day}$ which nearly coincides with the value of 0.28 cm/°C day which was found by Ohtsubo and others¹⁴ in the runoff of the Ishikari River at Ebetsu.

The snow-melt runoff distribution was, from a unit graph taking $t_q = 12$ hrs,

determined as follows (the same as for the case of the Saru River):

Order of day	1	2	3
Runoff %	50	30	20

In regard to the rainfall runoff, since the length l of the main river until the source is nearly equal to 120 km, the basin lag t_q is, by Nakayasu's formula¹²⁾

$$t_g = 0.27 l^{0.7}$$

= 0.27 × 120^{0.7} = 7.7 ÷ 8 hr

However, according to the actual data, the difference of time between the peak of rainfall and that of flow is found to be about 12 hrs, which coincides with t_q of the snow-melt runoff. Hence, the runoff distribution was here assumed as follows (the same as for the case of the Saru River):

Order of day	1	2	3	4
Runoff %	50	25	15	10

As described above, the day-to-day discharges Q_s , Q_r and Q_0 were computed respectively and summed up together as Q which is shown in Fig. 19.

Comparing both observed and computed discharges, it may be said to have fair accuracy.

4. Conclusions

From what has been described above, the following conclusions are arrived at.

1) The snow-melt runoff of a river is important for flood control as well as for water utilization.

2) The thermo- dynamical calculation of various factors causing snow-melt is possible, but its application to the snow-melt runoff in an actual and vast river basin is difficult.

3) The method is practical which adopts air temperature as a main factor determining the amount of snow-melt, but the method of degree days formerly used contains some irrationality and shows a great error when the mean daily air temperature is near 0°C.

4) The author has proposed to use degree hours and introduced the formulae to determine degree hours only by daily maximum and minimum air temperatures and shown m- ξ relation for the convenience of calculation.

5) The values of degree hours calculated by the author's theory have satistactory accuracy as compared with values from actual auto-records.

6) In the computation of snow-melt runoff, the area-elevation curve of a basin plays an important part. To draw the curve, the method of grid intersections is found convenient.

7) The integrated temperature-area DA or kD at the median elevation of

the snow-melting zone may be regarded as representative of the quanty which causes snow-melt.

8) The day-to-day variation of the snow line elevation during the melting period is about linear in broad view.

9) The ratio of snow-melt runoff increases as the season advances, but at a shorter period, it may be regarded as constant.

10) The snow-melt runoff has a tendency of delay as compared with ordinary rainfall runoff, and the same is said in regard to the rainfall runoff during a snow-melting period.

11) On the elevational distribution of rainfall during a snow-melting period, special consideration is necessary which should be applied for the calculation of runoff.

12) Runoff distribution may be determined by applying the unit graph method.

13) The base flow increases as a melting season advances, and decreases gradually, after either having a wide peak or keeping a larger value. Its variation may be calculated by assuming a standard ratio of values of f_s in each month.

14) If the meteorological conditions are forcasted, the prediction of snow-melt flood is possible.

15) The computed values of runoff by the author's method in the Saru River Basin and the Ishikari River Basin coincide well with the observed values.

Acknowledgements

The author wishes to express his gratitude to many persons who have assisted him in offering basic data, especially to those concerned in the Muroran and the Asahigawa Divisions of the Hokkaidô Development Bureau, the Asahigawa Meteorological Observatory and the Hidaka Village Office.

He also wishes to express his hearty gratitude to both Dr. K. Ohtsubo, the President of the Muroran Institute of Technology, who has guided him kindly and Dr. T. Kishi, Professor of the Hokkaidô University, who has given him kind suggestions.

References

- 1) Linsley, R. K. and others: Applied Hydrology, 1949, pp. 126-143, 427-443.
- 2) Houk, I. E.: Irrigation Engineering, Vol. I, 1951, pp. 213-240.
- 3) Wilson, W. T.: An Outline of the Thermodynamics of Snow-Melt, Trans. Am. Geop. Union, 1941.
- 4) Light, P.: Analysis of High Rates of Snow-Melting, Trans. Am. Geop. Union, 1941.
- 5) Work, R. A.: Snow-Layer Density Changes, Trans. Am. Geop. Union, 1948.
- 6) Clyde, G. D.: Forecasting Stream Flow from Snow Surveys, Civ. Eng. 1939.
- 7) Linsley, R. K.: A Simple Procedure for the Day-to-day Forecasting of Runoff from Snowmelt, Trans. Am. Geop. Union, 1943.
- 8) Sugaya, J.: Investigations of Water Equivalent of Snow Cover and Runoff near Mt. Taisetsu,

(in Japanese) 1949.

- 9) Sakai, T.: On the Snow-melt Runoff in the Saru River Basin, Memoirs of the Hokkaido Branch of the Jap. Soc. of Civ. Engrs. (in Japanese) 1958.
- 10) Sakai, T.: On the Computation of Snow-melt Runoff in River Basins, Memoirs of the Muroran Inst. of Technology, (in Japanese) 1958.
- 11) p. 248 of 1
- 12) Nakayasu, Y.: On Determining Flood Discharge from Rainfall, (in Japanese) 1950.
- Sakai, T.: On the Snow Survey in the Saru River Basin, A lecture to the Soc. of Hyd. Resear. the Jap. Soc. of Civ. Engrs., (in Japanese) 1958.
- 14) Ohtsubo, K. and Y. Suzuki: A Study of Computing Snow-melt in the Ishikari River Basin, Memoirs of the Hok. Bran. of the Jap. Soc. of Civ. Engrs., (in Japanese) 1957.

ディゼル機関における表面蒸発 燃焼に関する基礎実験

加熱面温度と油滴ならびに油膜の蒸発の測定と算定

赤木 盈*·林 重信

A Study of Surface Combustion in Fuel Injection Engine (I)

Fundamental Experiment in Evaporation of Fuelon Heated Surface

Mitsuru Akagi and Shigenobu Hayashi

Abstract

The "Diesel Knocking" often occurs on a Diesel engine, when much fuel is injected in a combustion chamber before the fuel is autoignited, especially in the case of a Diesel engine of direct injection type.

In this case the rate of pressure rising $dp/d\alpha$ in the combustion chamber becomes very high and the engine runs roughly. It was desirable long ago that the injected fuel did not contact with the surface of a combustion chamber wall.

Recently, however, Meurer (M.A.N) has made the engine which makes mixture gas by evaporating the injected fuel at the surface of the combustion chamber wall, causing slow combustion. He reports that such an engine runs smoothly. Here, attention must be given to the fact that the direction of fuel injection, the temperature of combustion chamber wall and velocity of the air in the combustion chamber sensitively affect the character of that engine.

As a first step, we have examined the relationship between the rate of evaporation for various kinds of fuel and the temperature of heated surface, and the relationship between the rate of reflection of injected fuel and nozzle directions.

By use of this relation we calculated the life time of fuel film on wall, reporting the results that have been obtained.

I. 緒 言

直接噴射式ディゼル機関において,噴射燃料と燃焼室中の空気との混合の分布状態がその 性能に大きく影響をもつので,燃焼室の型状の設計にあたり,噴霧の型状に注意し,燃焼室壁 に噴霧があたると燃焼の中断を起し炭媒の蓄積の原因となるので,壁面にあたることを極力さ けるよう努力して来た。また燃料の着火遅れ時間が大きい程着火までに燃焼室内に噴射される 燃料は多くなり一部の燃料が着火すると同時に今まで噴射された燃料が燃焼を起し *dp/dα* は

* 玉川学園大学工学部教授

非常に大きくなってディゼルノックの原因となる。これに反し予燃焼室式機関等では噴射され た燃料は一旦副室内で壁面にあたり気化して主燃焼室内に噴出しながら燃焼を続けるので比較 的緩慢燃焼を行ないスムーズな運転が出来る。然し大型機関では設計上副室式にすることは多 くの困難があり,これの対策として M.A.N. 社の Meurer 氏が壁面での蒸発時間を与えること により混合気の成生を緩やかに爆発させる方法として新らしく表面蒸発方式を採用して良い成 績を得たことを報告して居る。詳細なるデーターは分らないが,この場合噴霧の壁に対する方 向や壁面温度,または空気渦流の強さ方向等により性能に著しい影響を有すると考えられる。 本実験では噴霧が壁面で油膜を型成した場合壁面温度により蒸発時間に何如なる影響をおよぼ すかを基礎的な実験にて計算による推定を行なった。

II. 噴霧の蒸発と着火

燃焼室に噴射された燃料は霧化してその一部が蒸発をし着火に適する混合比の出来た部分 から着火の核が出来て火焰を発し、一度火焰が発生すれば未蒸発部分も急激に蒸発を起し火焰 は拡がって行くものである。油滴の高温空気中での蒸発および燃焼に関しては多くの報告がな されて居る。また噴油の何如なる部分が着火し易いかということに関しては一定の位置的関係 は定め難いが、筆者の以前の実験によればボッシュの噴射装置でインパルススタータを使用し た場合、ノヅルの先端から20mm以内では全く着火し得ず30mmの距離で主噴霧の稜線の外 側において着火率が一番大であった。普通のカム装置の場合はこの距離も大となると思われ る。

壁面に燃料をフィルム状に噴射し、これが蒸発をして混合気を作る場合主噴霧が壁面に衝 突する以前に着火すれば、燃焼の中断という現象を起し炭煤堆積を生ずるので好ましくないが その着火時期が膜の蒸発部分にて形成される混合気によるものが良いかどうかは問題であるが 長尾教授の報告では蒸発部分の着火が主なものと思われる。

III. 実験装置と実験方法

本実験では壁面温度による油滴の蒸発時間をまず測定し、この熱伝達率より噴射燃料の壁 面での油膜の蒸発時間を各種のノヅル角度に対し推定せんとするもので2段階に分けて実験を 行なった。

1) 油滴の蒸発時間の測定

油滴の皿面での蒸発時間に関しては棚沢教授が詳細に報告されて居るが,われわれの場合 は金属壁面での蒸発を実験するため装置も同氏の場合より僅か異なる。

その装置を図-1に示す。 皿 *a* はアルミニュウムで、これを電熱炉にて加熱し一定の温度に保つようにスライダック*b* にて電流を調整する。 この油滴を 8 mm カメラにて 8 pps の駒数

にて撮影すると同時に肉眼にて秒時計で測定 した。油滴はピペットにて滴下させるが1回 毎の僅かの誤差を生ずるので10滴の量を測 り, これを30回繰りかえして平均を求めそ の1/10を1滴の量とした。これより油滴が 球形となるものとの仮定で平均径d₀を決定 した。その値は1.69 mmである。壁温は皿 の中心で決めた温度になる如く調整し,皿の 一点にて熱電対をつけてこれを監視した。

2) 噴射燃料に関する測定

噴射された燃料が壁面に当った場合,その速度により一部は反射して噴霧となって空気中に浮遊し,一部は壁面にフィルム状に附着するが,その1回の噴射量に対する反射または附着の割合はノヅル角度とノヅルから壁面までの距離により変る筈であるのでその関係を図-2のような装置にて測定した。





図-2 噴射実験装置図

使用噴射ポンプは Bosch A 型単筒用噴射ポンプで、ノヅルは NDN4SD で、燃料は A 重 油および軽油とし、1回の全噴射量は一定重量の脱脂綿に5回噴射して外部への飛散量が無い ようにして秤量し、その1/5を1回の噴射量として30回のものの平均を取った。その値は約 101 mg である。つぎに壁面に重量の既知の薬包紙を密着させこれに燃料を噴射させて5枚を 秤量して平均して1回の附着量を測定した。同時に薬包紙に附着した燃料の面積を測定した。 噴射燃料の噴出速度は噴射圧力をストレインゲーヂ圧力計で測り、圧力からの計算と、噴射を 高速度カメラ 3,000 pps にて撮影し両者より推定した。

IV. 実験経過

1) 初めに油滴の蒸発時間を水,アルコール,水とアルコールの混合液,軽油, n-ヘプタン, i-オクタン, ベンゼン, 重油につき測定した。8mm カメラによる写真の例を 写真1に示す。その結果を t-θ(ライフタイムー温度)曲線にしたものが 図-3 である。同様な曲線は棚沢 教授の実験結果にも得られて居る。

これによれば各燃料ともその沸点より僅か高温部に到るまで低温から温度が上昇するに従ってtは急激に減少して居る。この最小のtを Max. boiling rate point (M.P.) と名づけられて 居る。この点から再びtは増加し或る温度で最大となり再び減少する。この点を Leiden frost point (L.P.) と称する。M.P. までは油滴はレンズ状を呈し対流による熱移動が行なわれる。 M.P. を越えると核沸騰状態となり尚進んで膜沸騰状態となるが油滴の形状は不安定で, 時に より急激に細分して消失したり,球状をなしつつ運動を続けながら蒸発したりするもの等が出 来て一定しない。特に壁面の粗さが大きい場合とか壁面に不純物が附着して居ると, そこで急 激に油滴は拡がり瞬間に蒸発して消失することが多い。



(186)



これに反して L.P. 以上では常に安定な球状をなし、 滴下の条件によっては運動するが大体静止の状態を保ちつつ膜沸騰を起しながら蒸発して行く。

写真-1 による油滴径との時間の関係を線図に示すと 図-4 のようになり、 ほぼ径が時間に 比例すると見ることが出来た。



(188)

ディゼル機関における表面蒸発燃焼に関する基礎実験



(189)

この場合の傾向として、純粋燃料の場合は M.P. と L.P. の間には明らかな差があるが混合 燃料の場合、すなわち種々の炭素数を有する成分からなる石油系統の場合は重質になる程その 両者の差異が明らかでなくなる。L.P. 以下では球状になり難く拡がる傾向にあり重油において 最も甚しい。

2) 噴射燃料の壁面への附着率および反射率

平面壁に燃料を高速度であてると高速度で衝突するため,壁面にて燃料の間で干渉を起す けれども、一種の弾性反射を起して霧散する。他の部分はフィルム状に附着して壁面に残る。 その附着した量を測定した。この場合空気の渦流は考えて居ない。ノヅルから噴出して壁面に



ディゼル機関における表面蒸発燃焼に関する基礎実験



衝突し霧化して行く様子を 写真-2 に示して居る。

この結果を分散率に対しノヅルからの距離と角度に関し点を求めると図-5の如くなる。

これから分る如く距離を一定にして噴射角度を変えて行くと分散率は増大して行くが距離 が大きい程増大の割合が大きい。距離が小さい場合は角度が0°のときも分散率は大きいが角 度の増大にてその増加は比較的少なく、装置の関係で実験し得なかったが70°~80°あたりでは 再び減少するものと思われる。距離が大きい時角度の増大で分散率が増加するのは壁面まで到 達する以前に霧化して飛散するものが増大するものと考えられる。角度が小さい場合距離と共 に分散率が減少するのは噴射の速度が減少するため反動力も減少するためであると考えられ る。油膜面積及び油膜厚さは図-5c,図-5dの様になる。

V. 実験結果とその考察

1) 油滴の蒸発に対する平均熱伝達率

油滴への伝熱中 M.P. 以下では極部的な対流と考えられるが, これは今問題としないでそ れ以上について熱伝達率を計算して見る。この場合微少部分での多くの因子が作用する筈であ るが, 巨視的に一般の熱伝達の式を適用して平均熱伝達率を計算した。

熱伝達の一般式
$$dQ=lpha arDeta arphi Sdt$$

にてαは時間と共に変化しないものとし、40 は壁温とその燃料の沸点の差とし面積 S は時間 と共に変化するが、その時間的平均を取る。球の下半面を伝達面積とする。そうすれば(1)式 は

$$Q = \int_{0}^{t_{1}} \alpha \Delta \theta S_{m} dt = \alpha \Delta \theta S_{m} \int_{0}^{t_{1}} dt = \alpha \Delta \theta S_{m} t_{1}$$
(2)

ここでなは油滴のライフタイムで、油滴の表面積は径が時間に比例する故その時間的な平均表面積は

191

(1)

赤木 盈・林 重信

$$-\frac{d(D)}{dt} = C_1$$

$$D = -C_1 t + C_2$$

$$t = 0 \quad \emptyset \geq \textcircled{B} \quad D = D_0$$

$$t = t_1 \quad \emptyset \succeq \textcircled{B} \quad D = 0$$

$$\therefore \quad D = D_0 (1 - t/t_1) \quad (3)$$

$$S_m = \frac{1}{2t_1} \int_0^{t_1} S dt = \frac{\pi D_0^2}{6} \quad (4)$$

以上の式より

$$\alpha = Q/(T_w - T_d) S_m t_1 \tag{5}$$

この場合 Q は油滴の蒸発熱であるからその重量 m と蒸発潜熱 r が分ればその積として表わされ、純粋焼料では値を求めることが出来る。この様にして求めた熱伝達率を図に表わすと \mathbb{Q} -6 のようになる。

L.P.以上の温度では各燃料共一定に近づいて居る。またライフタイム曲線の如き変曲点も



(192)

無い。この様な膜沸騰領域で熱伝達率に差があることは燃料の物理的性状の熱特性が異なるか らであろう。しかしプランドル数の間には一定の関係は見出されなかった。

2) L.P. に関する考察

各燃料について M.P. および L.P. の各点が生ずる原因について沸騰膜の厚さと、輻射熱の 二つに分けて考察した。微小膜中での対流は無視して、水とアルコールにつきその膜の厚さる を常に一定と仮定して両者に対する熱伝導の式

$$Q_a = \lambda_a \left(\theta - \theta_a\right) S \cdot t_a / \delta$$
$$Q_w = \lambda_w \left(\theta - \theta_w\right) S t_w / \delta$$

両式より

$$\frac{t_a}{t_w} = \frac{Q_a}{Q_w} \cdot \frac{\lambda_w}{\lambda_a} \cdot \frac{\theta - \theta_w}{\theta - \theta_a}$$

この式から水とアルコールに対して t_a/t_w の値 を温度に対し求めると 図-7の実線のようになる。 これに対し実測値より求めたものは図中の×印の如 くその計算値とは一致しない。したがってこの油膜 の厚さが変るものと仮定して、伝熱量から逆に油膜 の厚さを計算して見る。すなわち

$$\delta = \frac{\lambda_{w}\left(t_{1} - t_{2}\right)S \cdot t}{Q_{w}}$$

からるの大きさを各壁温について求めてみると 図-8のようになる。これからいえば油膜の厚さは温度 と共に無限に上昇しなければならないことになるが 油の蒸気膜の厚さは限度があると考えられる。

次に輻射による伝熱量を計算してみると輻射伝 熱量の一般式

$$Q = C \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T^2}{100} \right)^4 \right] S \cdot t$$

ててで

C: 水の輻射係数 (3.3)

S: 受熱面積 (総面積× φ とし φ は面積ファク

ター)

これより各温度にて輻射による伝熱量を計算すると 図-9 のようになる。 伝熱面の面積係 数により輻射熱量は差があるが, φ=0.5 の場合は球の下半面のみを伝熱面と考えた場合に相当



赤木 盈·林 重信

するが、実際の場合はこれ以上と考えられるので、この値を差し引いた残を油膜の伝熱により 伝わるものとすれば各φにつき油膜の厚さを計算すれば 図-8の曲線群のようになる。

これにより分ることは、油膜の厚さの限界は 0.15 mm から 0.19 mm のものであると 推定 出来る。

3) 噴射油膜に関する考察

加熱面に燃料が噴射された場合一部は油膜を作って壁面で蒸発するが、本実験で用いた装置においては、噴霧が壁面で飛散するため写真測定も肉眼測定も困難を感じた。したがって油 滴の場合の熱伝達率を適用出来るものと見て計算による蒸発時間の推定を行なって見た。また 燃料は一般大型ディゼル機関では重油を使用するので重油について行なったが、まえに述べた 如く、複合燃料の蒸発熱、熱伝達率および沸点は一定して居ないので、数値的にこれを使用出 来ないからそれ等の値は油膜のときも油滴のときも変らないと見て両者の場合の熱伝達の式

> $Q_{a} = \alpha_{a} \Delta T_{a} S_{m} t_{a}$ (油滴に対するもの) $Q_{f} = \alpha_{f} T_{f} S_{f} t$ (油膜に対するもの)

にて両者の比

$$t = t_d \frac{Q_f}{Q_d} \cdot \frac{S_d}{S_f}$$

ここで
$$\alpha_a \Delta T_a = \alpha_f \Delta T_f$$
 とし
 $Q_f = m_f \cdot r \quad Q_a = m_a \cdot r \quad (r は蒸発熱, m は重量)$

$$t = t_{d} \frac{m_{f}}{m_{d}} \cdot \frac{S_{d}}{S_{f}} = \frac{m_{f}}{S_{f}} \cdot \frac{S_{d}}{m_{d}}$$

$$t_{i} = \frac{S_{d}}{S_{i}} \cdot \frac{m_{i}}{m_{d}} \cdot t_{d} (z, b) = \frac{S_{d}}{S_{i}} \cdot \frac{m_{i}}{s_{i}} \cdot \frac{S_{d}}{s_{i}} \cdot \frac{S_{d}}{s$$

(194)
この式から噴射面での蒸発時間を求め各ノヅル角に対し一定壁面温度でのライフタイムを 求めると 図-10, 図-11 のようになる。

これによればノヅル角 30° までは角度による変化が大であるが、それを越した場合はほぼ 一定となって来る。重油の場合温度が高い程短くなって居るが軽油の場合 300°C あたりで最も 短くなって居る。一般的に軽油の場合の方が蒸発時間は短いことが予想される。

実際の機関では壁面の熱のみによる蒸発と一旦燃焼した火焰面からの熱伝達および熱輻射 によるものが大きく影響して来る故蒸発時間の絶対値は大きく減少して来るであろう。

VI. 結 論

本実験では Meurer 燃焼の一部を受けもつ壁面での燃料の蒸発が如何なることに影響され るかの基本について測定したもので蒸発に対する壁温またはノヅルの角度距離との関係を求め たもので、実際機関についてはもっと複雑である。つぎの段階で火焰が発した場合および空気 渦流のある場合につき研究の予定であるが、現段階にて得られた結果からの結論を述べると

1) 加熱面で油滴が蒸発する際 M.P. 点および L.P. 点が現われるが純粋燃料程明瞭に認められ複合燃料は成分%により多い成分の形に近づく。したがって両点は燃料の沸点に関係する点であることが明瞭になった。 M.P. 点から温度が高くなるに従い油膜の厚さが影響すると考えられるがその厚さの限界は 0.15~0.19 mm であるらしい。

2) L.P. 点の物理的意味として沸騰膜の熱伝達が大きく伝熱に支配するのと輻射によるものが支配する場合との境界域であると考えられる。また安定した蒸発を生ぜしめるためにはL.P. 点以上において得られる。両点間の温度においては蒸発時間は表面の状態すなわち粗さ、極小部分の形,異物の附着等により影響を受ける。また油滴の形状変化は油滴径が時間に比例して減少すると見る方がより実際的であった。

3) 壁面への噴射燃料のフィルム状形成は同じ少ない噴射角度であれば一般に距離の遠い もの程附着率は大きくなるが、その角度が大きくなる程差が少なくなり35°あたりから50°ま でを境として距離の大きいもの程分散率が増大する。これは壁面に当らないで飛散するものが 増して来るからである。油膜厚さは燃料の物理的性質により、また噴射速度により異るが重油 の場合ほぼ40μ程度と考えられる。 蒸発速度も油滴の場合より2倍ないし10倍程度大とな る。

4) 壁面にあたった燃料は面上で互に干渉し合って居るが噴射速度が速いものは写真で観 測される如く、やはり霧状を呈するが油粒の大きさは不明であるが充分微粒粉でディゼル燃焼 には充分の細かさを持って居る。

以上で単純なる壁面での燃料の蒸発過程の実験を行なってその結果を検討したのであるが 勿論この結果が直ちに実際機関に適合は出来ないが,加熱面での蒸発の機構の一部は分った。

(195)

次の段階で火焰,圧力,渦流速度の問題と各温度での炭煤附着の問題が大きな課題となる。緩 慢なる燃焼を起して如何なる時間に燃えつくすのが最適であるかはやはり実物機関での実験に まつ以外はない訳である。続けてこれ等の問題を解明しようと思って居る。

最後に本実験に終始御教示頂いた北大の黒岩先生の御援助を謝すると共に本学学生宇田川 淳, 堀徳生, 館修の諸君ならびに内燃機関実験室の早川友吉氏のたゆまぬ測定, 装置加工の御 援助に厚く御礼を申します。

(昭和 37 年 3 月 31 日受理)

文 献

 J. S. Meurer: SAE Golden Anniversary Summer Meeting 1955, Iune 12-17, MTZ 1954, April, p. 105, 1955, März p. 63.

2) 赤木 盈: 広大工学部研究報告, Vol. 4, No. 2, p. 229~p. 234.

- 3) 小林清志: 日本機械学会論文集, Vol. 20, No. 100, p. 826~p. 843.
- 4) 長尾不二夫他. 日本機械学会前刷集, No. 45, p. 47~p. 59.
- 5) Tanazawa 他: 7 th Symposium on combustion p. 509~p. 522.
- 6) Hussmann, A. W.: The Film Vaporization Combustor SAE, J. 1961, p. 5~63p. 574.
- (7) 其の他: 熱機関データーブック,化学便覧,機械工学便覧,内燃機関ハンドブック, International critical tables.

高分子材料の被削性に関する研究

菊地千之·田下和男*

A Study of the Machinability of High Polymeric Materials

Kazuyuki Kikuchi and Kazuo Tashimo

Abstract

'High Polymeric Materials' have been recently used, instead of metallic materials, for some parts of the machines and structures. The properties of these materials are very different from those of metallic materials in point of physical or chemical properties. When these materials are used in the mechanical industries, the accuracy and smooth surface of products are, above all things, demanded. But, so long as we follow the conventional molding, they are not to be obtained. When metallic materials are used, on the other hand, the working cost of them becomes too expensive. Then, there naturally arises a question as to the cutting ability of a machine.

Therefore, we tried to make researches on several things as to the machinability of high polymeric materials. As the method of our experiment, we adopted the 'two dimensional-dry cutting', and then we measured the cutting force F_o and F_t with dynamometer, observing the chip formation and frictional phenomena, and calculated 'shear angle'.

The results of our experiment are as follows: the frictional coefficient of high polymeric materials is less than the coefficient of metallic materials; the cutting force F_{ℓ} of the former has negative value; and chip formation is different from the latter.

I. 緒 言

近年プラスチックス工業が時代の脚光をあびるようになり、その性質や製法についての研 究が大いになされている。しかしその加工法については工業材料として比較的新しいために研 究があまりなされておらない。

プラスチックスは金属材料に較べて種々の特性を有しているが、従来の成型加工による製 法では、ある程度までしか製品の精度を得ることができない。成型加工法では金型の製作費が 高価であるため、小数部品の製作には不適当であるため機械加工によらなければならない。し かるに機械加工を行なうについて基礎的な資料となる切削機構についての理論的、実験的研究 はあまりなされておらない。わずかに小林¹⁾、斎藤²⁾、鴨川³⁾等の研究があるのみである。

本研究ではプラスチックスを切削したときどのような機構で切削され,どのようにして切 屑が生成されてゆくかを知るために,切削条件を広範囲に変えた場合の切屑性状の観察と切削 抵抗の測定,すくい面上の摩擦現象等をもとにしてプラスチックスの最適切削条件について検

^{*} 室蘭工業大学短期大学部講師

討を行なった。

II. 実験装置および実験方法

工作機械および切削方式:万能工具研磨盤のテーブル送りを用いた平板端面二次元切削 工具:高速度鋼4種完成バイト(SKH 4),双先形状:[Var., 0, 6, 0, 0, 0] Var.: -20°~50° の12種。

被削材:塩化ビニール樹脂 (PVA),スチロール樹脂 (PSL),ポリエチレン樹脂 (PEL),板厚:1.95 mm。

切削速度: 108, 240, 426, 768 mm/min で使用機 械の関係上高速切削は不可能なため以上4種の切削速 度で行なった。

切込み: 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 mm以上7種の切込みをダイヤルゲージを使用して決定した。切削剤:乾燥。

切削抵抗の測定には弾性リングと電気抵抗線歪計 による工具動力計とペン書オシログラフを用い,各種 切削速度に対応する切屑を採集して其の厚さをマイク ロメーターおよび工具顕微鏡を用いて測定した。これ らの測定値より切削速度と切屑厚さ或いは切屑比とす くい角の関係を求めた。

切屑性状の観察は万能工具顕微鏡を用い拡大投影 してスケッチを行ない,すくい角と切込み或いは速度 との関係を求めた。Phot.1は装置の外観を示した。

Phot. 1. Set-up of two dimensional cutting experiment.

III. 実験結果並びに考察

1) 切削速度のせん断角におよぼす影響

Fig. 1 に示すような二次元切削模型において,切込み 切屑厚さ, すくい角およびせん断角の間には次のような関 係がある。

$$r_c = \frac{t_1}{t_2}$$

$$\tan\phi = \frac{r_c \cos\alpha}{1 - r_c \sin\alpha}$$



Fig. 1. Two dimentional cutting model.

(198)

(1)

(2)

198

 $r_o:$ 切 屑 比 t_1 : 切 込 み mm t_2 : 切屑厚さ mm lpha: すくい角 deg ϕ : せん断角 deg

(1) 式において切込みを一定にして切削を行ない,その切屑を採集して切屑厚さ t₂を測定 すれば切屑比 r_e が求まる。従って(2) 式からせん断角 Ø が計算される。

Fig. 2 に切込み 0.2 mm と一定にとった場合の切屑比の逆数 1/r。と切削速度の関係を示した。これによると切削速度の増加とともに、いずれの切削条件においても 1/r。は減少してい

る。このことは切削速度の増加にともなって 切屑厚さが減少することを示している。従っ てせん断角も増加するということになる。

Fig. 3, Fig. 4 に PVA, PSL を切削した 場合の切削速度とせん断角の関係を示した。 いずれの材料の場合においても Fig. 2 から 明らかのように, せん断角が増加することを 示している。又 Fig. 2 から明らかのように すくい角 α の値が正から負になるにしたがっ て切屑厚さ t_2 は切込み量 t_1 の値よりも大き くなる傾向を示している。このことはすくい 角が負になるほど工具が被削材にくい込む傾 向を示すためではないかと思われる。



Fig. 2. Variation inverse chip thickness ratio with cutting speed for different rake angle.
Cutting condition; Material, PVA. Tool, H.S.S. SKH-4 [Var., 0, 6, 0, 0, 0, 0]. Depth of cut, 0.2 mm. Cutting fluid, dry.

Fig. 5, Fig. 6 にすくい角の値を正から負に変化させた場合せん断角の減少する状態を示した



Fig. 3. Variation of shear angle with cutting speed for different rake angle. Cutting condition; Material, PVA. Tool, H.S.S. SKH-4 [Var., 0, 6, 0, 0, 0, 0]. Depth of cut. 0.2 mm. Cutting fluid, dry.



Fig. 4. Variation of shear angle with cutting speed for different rake angle. Cutting condition; Material, PSL. Tool, H.S.S. SKH-4. [Var., 0, 6, 0, 0, 0, 0]. Depth of cut, 0.2 mm. Cutting fluid, dry.



Fig. 5. Variation of shear angle with rake angle for different depth of cut.

Cutting condition; Material PVA. Cutting speed V=108 mmpm. Tool, HS.S. SKH-4. [Var., 0, 6, 0, 0, 0, 0].





Cutting condition; Material, PVA. Tool, H.S.S. SKH-4. [Var., 0, 6, 0, 0, 0, 0]. Cutting speed V=768 mmpm.



Fig. 7. Variation of cutting force F_c , F_t with cutting speed for different rake angle. Cutting condition; Material, PVA. Tool, H.S.S. SKH-4 [Var., 0, 6, 0, 0, 0, 0]. Depth of cut, 0.2 mm.



Fig. 8. Variation of cutting forcess F_c, F_t with cutting speed for different depth of cut.
Cutting condition; Material. PVA. Tool, H.S.S. SKH-4 [Var., 15, 0, 6, 0, 0, 0, 0].

ものである。

切削速度の切削抵抗におよぼす 影響

Fig. 7, Fig. 8 に切削速度と切削抵 抗の関係を示した。 これによると切削 速度が増加するにしたがい 切削抵抗は 増加する。 しかしすくい角の大きい場 合には増加の傾向がいちぢるしくない。 すなわちすくい角 30°の場合に較べす くい角 0°, -5°の場合に切削速度の増 加につれて切削抵抗の変化が大きい。









このことは材料の受ける変形の大きさおよび変形の起る領域が広がっているためであると思われる。材料の特性としてこの場合には粘弾性変形による破断のためと考えることが出来る。 切削抵抗におよぼす,すくい角の影響を知るために Fig.9 にこれを示した。 これによるとすくい角が負から正に変化するにしたがい切削抵抗は減少している。切込み 量の大きい程減少の度合が大きい。この図から知れるように背分力において金属切削にはみら れない特異な現象がみられる。それはすくい角によって背分力が正から負に変化することであ る。すなわち被削材料を工具が押しつける方向に力が働くことになる。そのため、あらかじめ 与えられた切込み量よりも大きな切削がなされ被削材料は工具によって圧縮変形を受けること になり、被剤材料の一部は工具の刄先下をくぐって逃げることになるため正確な切込み量を維 持することができない。又背分力が正から負にかわるため背分力が零となる場合が存在するこ とになる。この場合には被削材に対して圧縮力が作用しない場合であるため上述のような被削 材料にくいこむと云うような現象が起らなくなる。

3) 工具すくい面における摩擦係数

すくい面上における摩擦現象は金属における摩擦現象と良く似てはいるが、金属の場合は 冷問溶着あるいは凝着が接触部に起きて、この部分をせん断するに要する力が摩擦力となるが 高分子材料においては強い凝着が生じて接合部というよりは軟かい方の材料内部でせん断が起 ると考えられている⁹。

本実験においては被削材料の工具への移着は明りょうではなく工具すくい面上の被削材料 の凝着は認められなかった。

Fig. 1 の二次元切削模型において動力計により測定出来る主分力 F_e と背分力 F_i よりすくい面に働く切線力 F および垂直力 N, その面上での摩擦係数 μ は次式で計算により求められる。

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha}{F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha}$$
(3)

但しαは工具すくい角である。

Fig. 10 は工具すくい角を広い範囲に変 えた場合すくい面に働く切線力 F および垂 直力 N, 摩擦係数 μ との関係を示したもので ある。

これによると高分子材料の摩擦係数は金属材料に比して小さく,その値は 0~0.3 程度 であることが知れる。すくい角が小さくなる につれて垂直力 N は増加し,すくい面摩擦 係数は小さくなる。さらにすくい角を小さく してゆくと,切線力 F は 0 となり負となって





mmpm. Depth of cut 0.5mm. Material, PVA. Tool, H.S.S. SKH-4 [Var., 0, 6, 0, 0, 0, 0].

202

摩擦係数が負となる。すくい角が小さくなることによって工具前面の切削部分において, せん 断領域でのせん断変形が高分子材料の特性として持っている粘弾性変形のためせん断変形が起 りにくくなる。このために接線力 F が零又は負となり, 垂直力が急激に増加することになる。 このため摩擦係数が零又は負になるものと考えられる。

4) 高分子材料における切屑の性状

Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13 は切削時に採集した切屑を観察し, 切込み量と工具すくい角を 変えた場合に切屑の性状がいかに変化するかを示すものである。一般的に云えることはすくい 角を大きくするにしたがい排出される切屑は流れ型となり,切込み量を大きくすると流れ型の 領域が増大する。流れ型の切屑生成に対する速度効果は低い領域においていちぢるしい。

Phot. 2, Phot. 3 は工具すくい角を変えた場合の切屑性状の変化を示したものである。 工 具すくい角が大きい値の場合にはきれいな流れ型を示しているがすくい角 -15°, -20° では せん断型からむしり型になるのがみられる。

PVA の切屑性状は工具すくい角が0°以上の場合,流れ型の切屑を生成するがすくい角が 負になるとせん断型となり,-20°になると切込みの大小には関係なくむしり型となる。又同 じ工具すくい角に対しては切込み量が大きい場合が流れ型に近い切屑を生成する。

PSL では切込み量が 0.3 mm 以下の場合工具すくい角 - 15° から 40° まで広範囲にわたっ て流れ型となるが、 切込み量 0.5 mm 以上の場合には流れ型の切屑を生成する範囲が小さくな る。

PEL では工具すくい角が正の場合ほとんど流れ型の切屑を生成するが、切込み量が小さい 場合にはすくい角 10° 以下でむしり型の切屑となる。 負のすくい角では被削材がやわらかなた めと前項でのべた理由によって切刄の下に逃げて切削が不可能であった。







Fig. 13.

Tri mm mm	0.05	0.1	0.2	03	0.5	0.7	1.0
108	M		*	*	*	<u></u> €r.	\$
240		4	· Q	e).	e Ç		6 9
426		Gi 	Ö	Ø	A	¢	
768		С С	Ċ).	¢,	¢		S

(A) P.V.A. Rake Angle $\alpha = -20^{\circ}$ **Phot. 2.** Photographs of chips produced in machining P.V.A.

11 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	, 0.7	: 1.0 *
108	čh.	G	9		୍	S	9
240	C	10 F	0	୍ର	9	9	0
4 26.	٥	tà.	9	6	9	୬	9
768	. 8		9	1 9	9	୨	9

(B) P.V.A. Rake Angle $\alpha = -15^{\circ}$

A PART	0.05	01	0.2	0.3	0.5	c_7	
10.2	đ	an a		0	д	3	2
240	a :		O	2.	Ø	ð	
42 <i>E</i>	- C.	0	ð	Э	3		
768	Ş.	Ŷ	S	Đ	3		St.

(C) P.V.A. Rake Angle $\alpha = 10^{\circ}$

L'mm d'	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0
-20			Ċ.			and a	
-15		6.2	¢.	9	. D.	0	S. S
-10			ġ,	ß		e S	
-5			9	0	0	9	2





Phot. 3. Photographs of chips produced in machining different materials.

高分子材料の被削性に関する研究

ti mm	0 .05	0.1	0.2	:0.3	0.5	0.7	1.0
-20	B	Ð.1	5	C,	Ċ		7
×15				Ð	J.	P	"T"
-10	9	9.		Э	Э,	2	
- 5	A.	C C	<u>)</u>	5	0	2	



(B) P.S.L. Cutting speed V=768 mm pm.

207



(C) P.E.L. Cutting seed V=768 mmpm.

以上の考察を要約すると次の通りである。

1) せん断角はすくい角の増大に対してかなり大きく変化し、切削速度の増加に対してせん断角は増加し、 すくい角の値が正から負になるにしたがって切屑厚さ t₂ は切込み量 t₁ の値 より大きくなる傾向を示している。

2) 切削抵抗は主分力,背分力ともにすくい角が負から正の方向に増加するにしたがって 減少する。このことは切込み量の大きい程減少している。又背分力について金属切削において みられない特異な現象がみられる。すなわち背分力が零になるすくい角が存在することであ る。

3) 摩擦係数の値は比較的小さな値を示している。 すくい角が小さくなると接線力 F が 零と成り負となって摩擦係数が負の値となる。

4) 切屑性状は被削材の種類によっても異なるが、 PVA においては大部分の切削条件に おいて流れ型となっている。 又比較的軟かい PEL において流れ型の切屑を生成する。 しかし PSL においてはすくい角 -15°~30°の範囲で流れ型の切屑となるが、 すくい角 40° あるいは 50° と大きくなるとせん断型あるいはきれつ型の切屑を生成する。 又すくい角の小さな -10°、

高分子材料の被削性に関する研究

-20°という小さなすくい角になるとむしれ型の切屑が生成される。 軟かい PEL においては +5° 附近になると流れ型から急にむしれ型に変り 0° 以下になるとほとんどがむしれ型になる。

5) 金属切削とかなり異なる点として、工具前方の被削材は工具の進行に伴って圧縮され かなりの変形を示す。従って切込み小なる範囲では切屑が生成されず、工具の下をくぐって工 具の後方へ逃げてしまう現象がみられた。

それならば実際に高分子材料を切削する場合の切削条件はどのようになるか各材料につい て検討してみると次の如くなる。

PSL: 切屑の性状から工具すくい角を変化させると Phot. 2, Phot. 3 から知れるように 切屑の性状は変化する。 すくい角 40°, 50° と大きい場合にはクラックを生じ仕上面を 悪くす る。又すくい角が小さく負の範囲では切屑はむしれ型となる。 それゆえ 30°~10° 位の範囲が 適当な値となる。切削速度の効果を考慮に入れて PSL を切削する場合には切込み量 0.1~0.5 mm で, すくい角は前記の値をとればよい。

PVA: 工具のすくい角が負の領域では切屑はむしり型で仕上面は当然悪くなる。すく い角を大きくすれば流れ型となり仕上面も良くなる。すくい角は 20°~40°の範囲が良い。

PEL: 工具のすくい角が負の領域では切屑は工具の構あるいは下に逃げて切削が不可能 となる。 すくい角が 30° 以上で切込み量は 0.3 mm 以上にとって切削することが必要である。 小さな切込み量で良好な仕上面を得るにはすくい角を 40° 以上にとるべきである。

最後に本研究を実施するに当り種々協力を惜しまなかった日立精機株式会社樋口勲君,東 芝機械株式会社三谷興基君に感謝の意を表する次第である。

(昭和37年4月30日受理)

文 献

- 1) 小林 昭: 精密機械, 20, No. 9 (1955). 精密機械, 21, No. 10 (1955).
- 2) 斎藤勝政: 精機学会昭和 35 年度春季大会学術諸演会前刷.
- 3) 鴨川昭夫: 精機学会昭和 37 年度春季大会学術講演会前刷.
- (2) 荒井溪吉外2名: 機械工業のための繊維・高分子材料,85,共立出版. 高分子学会: 高分子の物性 I),223,共立出版.

ヒドラジンの電位差滴定*

太刀川哲平・上 野 幸 三・柏木民次郎

Potentiometric Titration of Hydrazine

Tetsuhei Tachikawa, Kozo Ueno and Tamijiro Kashiwagi

Abstract

The titration of hydrazine with iodine was potentiometrically carried out by use of six bimetallic electrode couples; platinum-silver, platinum-tungusten, platinum-molybdenum, platinum-palladium, platinum-nickel and platinum-tantalum. The titration curves were constructed and the magnitudes of the potential change at the end point were obtained. The influences of the amount of sodium bicarbonate on them were also investigated.

Platinum-silver couple represented an S-shaped titration curve and the potential at the end point increased abruptly. On the other hand, the other five couples showed the titration curve with a peak and the potential at the end point increased suddenly like the above-mentioned couple.

The magnitudes of potential change at the end point for all couples showed a tendency to decrease in proportion to the increase of added sodium bicarbonate.

The samples containing hydrazine sulfate in the range of 3.2 to $32 \text{ mg per } 50 \text{ m}\ell$ solution can be directly determined satisfactorily by this method.

I. 緒 論

一般に、ヒドラジンは酸性あるいはアルカリ性溶液中において、臭素酸塩、ヨウ素、ヨウ 素酸塩などの酸化滴定法により定量されている。 Krishna Rao¹¹ らは硫酸第二セリウムを用い 硫酸酸性溶液において硫酸マンガンあるいは硫酸クロムを触媒として電位差滴定法により滴定 可能なことを見出すとともに、その滴定条件などについて検討を加えている。しかし、双金属 極を用いた電位差滴定法によりその定量を試みた報告はあまり見当らない。

従って,前報に引き続き,6組合わせの双金属電極すなわち,白金―タングステン,白金 ーモリブデン,白金―パラジウム,白金―ニッケル,白金―銀および白金―タンタルを用い, 電位差法によりヒドラジンのヨウ素滴定を試み,滴定の可能性および滴定可能な場合,おのお のの組合わせはどのような滴定曲線を示すかまた終点における電位変化(*4E/4V*)の大きさを 求めた。さらに,炭酸水素ナトリウム添加量の滴定曲線の形および終点における*4E/4V*の大 きさにおよぼす影響につき比較検討を加え,知見をえたので報告する。

^{*} 本報を双金属極電位差滴定法における電極についての第13報とする。

II.実 験

II·1 試 薬

II-1-1 ヨウ素溶液

0.1Nヨウ素溶液は常法のように、特級試薬(関東化学)ヨウ素約12.7gをはかり取り、これを1ℓのメスフラスコ中でヨウ化カリウム約40gを水100mℓに溶解したものに加え、よくふりまぜて溶解後、水で1ℓに希釈した。0.01Nヨウ素溶液も同じ要領で調製した。

II-1-2 硫酸ヒドラジン溶液

0.025 M 硫酸ヒドラジン溶液は特級試薬硫酸ヒドラジン ($(NH_2)_2H_2SO_4$, 和光純薬) 3.253 g を正確にはかり取り水で1 ℓ にした。0.0025 M 硫酸ヒドラジン溶液は 0.025 M 溶液と同じ要領 で調製した。

II.1.3 炭酸水素ナトリウム

特級試薬炭酸水素ナトリウム (和光純薬) をそのまま用いた。

II·2 電 極

本実験に使用した電極の寸法はつぎのとおりである。(ただし,直径×長さ,mm)。 白金: 1×20 mm,モリブデン:1.1×17 mm,銀:1.1×11 mm,タンタル:1×16 mm,パラジウム: 1×17 mm,ニッケル:0.6×4 mm,タングステン:0.5×20 mm。

おのおのの電極は満定ごとにエメリー研磨紙 0/5~0/6 でよくみがいたのち、ベンゼンで洗い、口紙でふきとった。

II.3 装 置

島津 K-2 型精密級電位差計。

II.4 電位差測定要領

硫酸ヒドラジン溶液 10 mℓ を 200 mℓ ビーカーにとり、水を加えて全容を 50 mℓ とし、これに炭酸水素ナトリウムを加えた。なお炭酸水素ナトリウムの添加量は 0.025 M 硫酸ヒドラジン溶液の場合、2~5 g、0.0025 M 溶液の場合 0.1~0.2 g であった。

これらの調製溶液の pH はつぎのとおりである。

0.025 M 溶液: 原液 (S で表わす); 1.90, S+水 40 mℓ + NaHCO₃ 2 g; 7.96; S+水 40 mℓ + NaHCO₃ 5 g; 8.02

0.0025 M 溶液: 原液; 2.65, S+水 40 mℓ+NaHCO₃ 0.1 g; 7.94, S+水 40 mℓ+NaHCO₃ 0.2 g; 8.07

電位は上述のように調製した試料溶液にあらかじめ処理をした電極をいれ、電位がほぼ安定してから、最初1mℓ,終点付近において0.02mℓ滴下ごとに測定した。とくに終点付近においては反応速度が遅いので、測定時間間隔を1~2分とした。また、滴定中は磁気かきまぜ機で

ヒドラジンの電位差滴定

一定速度でかきまぜた。1回の滴定所要時間は15~20分であった。

III. 実験結果および考察

III·1 滴定曲線

滴定は II・4 の項で述べたように調製した試料溶液すなわち,0.025 M および 0.0025 M 硫 酸ヒドラジン溶液を 0.1 N および 0.01 N ヨウ素溶液でそれぞれ行なった。6 組合わせの滴定開 始あるいは滴定中の電位は滴定のつど一定の値を示さず,数 mV から 50 mV 位の範囲の差が あった。しかし,終点はよく一致し,また,前述の電位の違いに応じ滴定曲線の再現性があっ た。滴定曲線において,電位が正を示す場合,おのおのの組合わせの白金極が電位差計に対し て + (プラス側)に接続され,また,負の場合はその極性が逆になったことを示す。

硫酸ヒドラジンは過剰の炭酸水素ナトリウム存在下でヨウ素とつぎのように反応する。

$(NH_2)_2H_2SO_4 + 2I_2 + 6NaHCO_3 = N_2 + 6CO_2 + 4NaI + Na_2SO_4 + 6H_2O_3$

滴定曲線は6組合わせいずれも0.025 M および0.0025 M ヒドラジン溶液に炭酸水素ナト リウム2gおよび0.1g添加した場合のみを示した。すなわち,滴定曲線の形は炭酸水素ナト リウムの添加量を増しても同じであったので(電位の差はあるが)省略した。

つぎに、白金ー銀、白金ータングステン、白金ーモリプデン、白金ーパラジウム、白金ー ニッケルおよび白金ータンタルの滴定曲線を示すと、 図-1,2,3,4,5 および 図-6 のとおりで ある。



(213)



図より分るように、白金一銀の組合わせのみがS字形の滴定曲線を示し、ほかの5組合わ せはすべてピーク形曲線を示した。前報³⁰のチオ硫酸ナトリウムをヨウ素により滴定した場合 あるいはその逆滴定の場合の結果と比較すると、白金一タンタルおよび白金一パラジウムの2 組合わせをのぞいて、ほかの組合わせはほぼ同じ形の滴定曲線の形を示した。このように、白 金一タンタルおよび白金一パラジウムの組合わせがその形を異にするのはおそらく、滴定中にお ける組成の変化しつつある溶液とタンタル極あるいはパラジウム極が平衡に達するまでの時間 あるいは表面の吸着状態が異なるためと考えられる。この点については今後検討を加えたい。

(214)

III・2 終点における電位変化の大きさ

白金一銀,白金一タングステン,白金一モリブデン,白金一パラジウム,白金一ニッケル および白金一タンタルの6組合わせを用い,0.025 Mおよび0.0025 M硫酸ヒドラジン溶液を 滴定した際,えられた終点における電位変化の大きさを示すと,表-1のとおりである。

		NaHCO ³	極			名			
濃 度	白金一銀		白金―タン グステン	白金―モ リブデン	白金一パ ラジウム	白 金— ニッケル	白 金一 タンタル		
0.025	5 M	2 g 5 g	250~280 180~220	200~250 150~200	. 220~280 200~230	20~30 10~20	290~320 290~320	90 ~ 120 80 ~ 120	
0.002	5 M	0.1 g 0.2 g	200~220 170~190	200~220 180~200	160~190 150~190	30~50 30~50	$160 \sim 200$ $160 \sim 200$	90~120 90~120	

表一1 終点における電位変化の大きさ (*ΔE*/*ΔV*:mV,*ΔV*:0.02 mℓ)

表-1の示すように、白金ーニッケル、白金一銀、白金ーモリブデンおよび白金ータングス テンの各組合わせはよく、白金ータンタルの組合わせはこれらにつぎ、白金ーパラジウムの組 合わせはあまり大きな変化を示さなかった。

炭酸水素ナトリウムの添加量を増加すると、概して、終点における電位変化の大きさは小 さくなる傾向を示した。Kolthoff⁴ はヒドラジンのヨウ素滴定の際、あまり過剰の炭酸水素ナ トリウムの添加はヒドラジンを分解するため、低い値がえられるので、さけるように述べてお り、その適当は約0.1 N ヒドラジン溶液25 mℓ に対して0.5~1g といっている。しかし、硫酸 ヒドラジンの場合、0.025 M 溶液においてはその添加量2~5gの範囲では終点はよく一致し た。一方、0.0025 M 溶液においては0.1~0.2gの添加量の範囲ではよい結果がえられた。しか し、0.5g 以上添加の場合は終点が滴定のたび異なり、かつ、低い値を示した。

白金ーパラジウムの組合わせにおいて,前報⁵⁰のアンチモン (III) およびヒ素 (III) のヨウ素 法による滴定の場合と同様,0.0025 M 溶液の終点における電位変化の大きさは0.025 M 溶液の それより大きかった。この理由についてはさらに検討を加えたい。ほかの5 組合わせは炭酸水 素ナトリウム添加量の違いはあるが,0.025 M 溶液の *4E/4V* の大きさの方が0.0025 M 溶液の それよりやや大きい傾向を示した。

終点の位置は白金ータングステン,白金ーモリブデンおよび白金ーニッケルのおのおのの 組合わせにおいては,0.025 M 溶液の滴定の際,ピークの頂点にあったが,0.0025 M 溶液の場 合はその終点より1 滴前 (0.02 mℓ) のところにあった。一方,白金ーパラジウム,白金ータン タルの組合わせにおいては 0.025 M 溶液の位置と 0.0025 M 溶液の位置と一致し,かつピーク の頂点にあった。

6 組合わせはすべて終点において電位上昇を示した。本実験により求められた終点とデン

216

粉指示薬を用いてえられた終点とは実験誤差範囲内で一致した。

IV. 結 言

実験結果を要約するとつぎのとおりである。

(1) 滴定曲線の形は白金一銀の組合わせのみがS字形を示し、ほかの5組合わせはピーク 形を示した。また、終点において、6組合わせはすべて急激な電位上昇変化を示した。

(2) 炭酸水素ナトリウム添加量は 0.025 M 硫酸ヒドラジン溶液の場合, 2~5g の範囲では デン粉指示薬の終点と一致し, 一方, 0.0025 M 硫酸ヒドラジン溶液の場合は 0.1~0.2g が適量 で 0.5g 以上になると低い値がえられた。また, その添加量増加とともに終点における *4E/4V* の大きさは小さくなる傾向を示した。

(2) 白金ーニッケル,白金一銀,白金ータングステン,白金一モリブデンのおのおのの組 合わせはよく,白金ータンタルはこれらにつぎ,白金ーパラジウムはあまり大きい終点におけ る電位変化の大きさを示さなかった。

(4) 本法により硫酸ヒドラジン 3.2~32 mg/50 mℓを直接定量することができる。

(昭和 36 年 4 月 日本化学会第 14 年会講演)

(昭和 37 年 4 月 30 日受理)

ίt,

文 献

1) Krishna Rao, P. V., Subramanyam, I. and Gopala Rao, G.: Z. anal. Chem., 177, 36 (1960).

2) 高木誠司: 定量分析の実験と計算(第2巻),初版,347(共立出版,昭和34年).

3) 上野幸三·太刀川哲平: 分析化学, 11, 277 (1962).

4) Kolthoff, I. M.: J. Am. Chem. Soc., 46, 2009 (1924).

5) 上野幸三·太刀川哲平: 分析化学, 8, 572 (1959).

高炉ライニングの溶食・変形原因に関する研究 (第4報)

シャフト下部および炉腹部のライニングの溶食に およぼす水冷の影響について

田中章彦

On the Cause of the Erosion and Deformation of the Blast Furnace Lining (IV)

Influences of Water Cooling on Erosion of Lining of the Lower Part of the Shaft and the Belly in a Blast Furnace.

Akihiko Tanaka

Abstract

In his third paper on this subject, the present writer has published the observations and examinations of the erosion of the lining in the under part of the shaft and the belly part in the blown-out blast furnace, and has expressed his opinion on the mechanism of the erosion in these parts. In this paper, he declares the results concerning the erosion of the same parts in another blast furnace which has been water-cooled on the under-part shaft lining.

By comparing these results with the previous deta, he has arrived at the following conclusion :---

1) As the furnace body was enclosed by the steel shell by the establishments of the cooling boxes, the atomosphere in the furnace lining became remarkably reducible. Accordingly, the deposits of the carbon, zinc and others increased, and the lining bricks were embrittled.

2) By the water-cooling, the transmutations by the thermal effect—for example, transformation of the clay materials, grassification of the brick structure, etc.—were delayed, and the erosion by the alkali compounds decreased.

3) The joint materials between bricks were not sintered and became porous. Accordingly, the furnace dust permeated deeply in the lining, the transmutation and the erosion consequently proceeded.

4) As the result of the water cooling, the temperature gradient was steep, and the erosive constituents were concentrated into the distinct narrow band. This led to the formation of cracks and collapse of the lining.

I. 緒 言

著者は前報^{0,3} において,富士製鉄 KK 室蘭製鉄所の第2次第2高炉の解体調査結果にも とづき,従来の内外の諸報告を参照して,シャフト下部および炉腹部のライニングの侵食崩壊 機構を考察し,得られた結果を報告した。つづいてこの炉と全く同一型,同一能力をもちほと んど類似の条件下で作業された同所第2次第1高炉の吹卸し解体にあたり,全く同様の調査を おこない,之を完了した。ただこの2炉の構造上の相異点はシャフト下部の炉壁に炉腹部と同 様な冷却箱を数段設けライニングに水冷をほどこした点にある。したがってこの2炉の解体調 査結果を比較することにより炉壁水冷の効果あるいは得失の大凡が推察し得る点に興味がもた れた。事実,侵食成分の滲透分布状態,顕微鏡組織等に相当の相異が認められ,水冷の影響を 顕著に示していた。最近高炉の操業条件の変化にともない,各所で新設あるいは改築される炉 は多く炉頂部近く迄水冷をほどこす傾向にあり,設計の資料として,この水冷のレンガの溶食 におよぼす影響を知ることはきわめて重要なことと考えられるので,本報では,この解明に重 点を置き本炉の解体調査結果を考察することとする。

富士製鉄第2次第1高炉は、昭和28年5月26日に吹入れされ、同34年8月10日吹卸さ れた。この間炉況その他の原因により時に休風もおこなわれたが、大体順調な経過をたどり、 2260日の操業において総出銑量167.5万屯に達し、従来の各炉の成績と比較して大体良好な成 果を納め得たものということができる。解体修復の直接原因はシヤフト下部および炉腹部のレ ンガ積のはげしい消耗にもとづくガス洩れによるものであり、解体の結果、図-1に示されるご

とくこの部分のライニングが顕著な消 耗を示していることがわかった。この 現象は過去の何れの炉においてもみら れる一般的なものということができる が本炉においては特にシャフト頂部よ りその全高の 2/3 程度の位置において 明瞭な線をなして以下急激な消耗を示 していることおよびこの線が本炉にお いてはじめて実施したシャフト部水冷 の最上端に大体一致することが注目さ れる。

図-2 はこの部分の写真であり,1 つの線を境界としてレンガ壁の厚みが 急激に減少し,冷却箱がその尖端を炉 内に突出しているのが見られる。図-3 は炉腹下部のレンガ積の消耗を示す写 真で,残留するレンガは更にうすく殆 んど全部の冷却箱が炉内に露出してい るのが見られる。



付試料採取位置

II. 研究方法,結果およびその考察

1. 試料とその採取

本炉のこの部分に使用されたレンガは Harbison Walker 社製耐火粘土レンガで, この組成,物理的性質,機械的性質等は記録もなく,未使用の残品も保存されてないので現在これを知ることはできない。

図-1 に見られるごとく試料は最もはげしい侵食を示すシヤフト下部および炉腹部の No.5 6,7の3水準と比較試料としてのシヤフト中部 No.3,および前二者の中間すなわち残留レン ガの厚みに急激な変化を示す境界部の近くにあたる No.4,あわせて5水準について各東西南 北4方向合計 20 系列の試料を炉内の高熱に直接さらされた内面から炉の外壁までとおして幾 枚かづつ採取した。試料番号は著者が従来の報告¹⁾⁻⁶⁾に慣用してきた方向を示す記号 (E,W, S,N)-上下位置を示す番号 (図-1)--外壁より炉内側に向っての該当位置までの深さ (cm)をも って表示した。たとえば N-5-20 は北方向 図-1 における No.5 の水準,外壁から炉内にむかっ て 20 cm の深さの位置より採取した試料であることを示す。 なお外壁からの深さを示す項に Sを用いた試料番号は炉内の高熱にさらされていた表面から採取した試料であることを示す。

以上の外に沈積物,付着物,レンガ 間のメデ,水冷箱との接触面等より数十 個の試料をも合せて採取し,試験をおこ ない参考に供した。

肉眼的観察

採取した各試料の外見は図-4の写 真に示す。

同図にあわせて透視紙を付し破断面の変 色状態,沈積物の分布状態,亀裂の有無 方向等を記した。図において明瞭である ごとく No.4 以下になると急激にその残 存レンガが厚みを減少している。この著 しいレンガの消耗は高熱面からの熱的化 学的溶食により,漸次消耗を重ねたもの でなく,レンガ壁の特定な位置に亀裂が 生成し,更に組織全体が脆化することに よって一時にその位置から崩落したもの



図-2 シャフト下部水冷位置の溶食



図-3 炉腹部下端の溶食

(219)



•





•



図-4(2) レンガの溶食状況



と推定される。したがって No. 4 以下のレンガの溶食状況は崩落前後の溶食条件が重なり, 各 試料についてかならずしも一様でなく, かつ個々の試料については相当複雑な変化を示してい る。高熱にさらされた炉の内表面の肉眼的組織を見ても, 脆弱多孔質のもの, ガラス質の緻密 堅硬なもの, ほとんど崩壊した炭素質砂状のもの等多種の様態を示している。これらは崩落し た個所およびその後の侵食期間に左右されたものと思われる。またシャフト上部にくらべて中 性雰囲気層およびガラス質層がレンガ壁全体の厚みに比してきわめて薄く, 不明瞭であり, 時 にはこれを欠いていることが特徴である。これは炉の水冷にともないレンガ積は鉄皮によって 外気と遮断され, 全体が強い還元性気圏の中にあること, および水冷により炉壁の温度匂配が 急になっているためと思われる。

亀裂内およびメヂにおける析出物は No.5 以下では酸化亜銘を主体とした酸化物系析出物 が漸減し,沈積炭素,金属亜鉛の量が急増する。特に炭素は炉の最外側レンガにまで到達して いる。 レンガ組織の亜鉛の析出による被害はシャフト上部よりも一層いちじるしく 図-5 の写 真に見られるごとく,縦横に無数の小亀裂を生成し,かつレンガ組織を還元脆化せしめている。 •



高炉ライニングの溶食・変形原因に関する研究(第4報)



図-5 亜鉛析出による脆化部(シャフト下部)

析出物の分布はシャフト上部にくらべて幾分不規則であり、かつ急匂配をなして変化してい る。これは前述の崩落前後の雰囲気に関連し、また温度匂配の急なことにも帰因すると思われ る。またメデは前報の第2高炉の2回の調査結果⁰⁻⁰と比較して、シャフト下部では水冷の結 果一般に充分なるガラス化および強固な焼結がおこなわれることなく脆く多孔質であり、その 組織内に多量の炭素を混入している。

3. 化学分析

図-1 に示す総計 20 の位置より採取したレンガ試料について主要溶食成分と推定される M. Fe, FeO, Fe₂O₃, T. C, TiO₂, K₂O, Na₂O の7 成分の化学分析をおこなった。 この結果 を図示したものが 図-6 の(1)から(5)までの分布図である。 この分析試料の採取には特に厳密 な注意をはらい,メデに露出している表面は各種の析出物が密集しているために結果が不安定 になりやすく,これは極力削りおとすこととした。従って得られた結果はレンガの深部の値を 示すものと考えてよい。ただし亀裂が極めて多く,かつ微細にレンガの深部に入りこんでいる ものにあってはこの析出物を除去することが困難であり,多少の混入もやむを得なかった。

223



(224)
高炉ライニングの溶食・変形原因に関する研究(第4報)



(225)

田中章彦



(226)

高炉ライニングの溶食・変形原因に関する研究(第4報)

227

図において特定の成分が異常な高い値を示すのは多くこの理由によるものである。

以下成分別にその分布の特徴をあげ、考察を加えることとする。

(i) 鉄および酸化鉄の分布

比較試料として採取した図-6(1)に示す No.3の4試料系については前報³ 第2高炉のシ ヤフト上部において示された傾向と全く同じく、炉内の強還元性気圏と炉外の大気とのそれぞ れの作用により4試料系とも炉外側から炉内側にむかって Fe₂O₂ は減少し FeO は上昇する一 般的傾向^{3),4)} を示す。特に S-3 はその典型的な曲線ということができる。図-6 (2) に示す No.4 においても、この傾向は多分に残存していると認められるが、この試料はレンガの深部より 採取したため雰囲気の影響は曲線に強く表現されていない。 図-6(3)の No.5 ではレンガ厚が うすく,析出物の状態から見て外側まで 強い 還元性雰囲気にあるため最外側まで FeO が高く Fe,O_aが低く現われることが期待されたが、結果は No.3の未変質層、中性雰囲気層の値をそ のまま、あるいはそれに近く残留し、還元性雰囲気層以上が崩落消失したものとなった。これ は崩落後吹き止めまでの期間が短かかったことを示すように思われる。 しかしながら 図-6(4) の No.6 にいたると炉内側がいちじるしい Fe₂O₂の減少 FeO の上昇を示し崩落後残留したレ ンガ壁内であらためてあらたなレンガの還元が進行していることがわかる。しかもこの変化は レンガ層がうすく、水冷の効果もてつだい、曲線が急匂配をなしている。もし各レンガ試料を 更に表面近くより採取したならば還元はより進行し,No.7 ではほとんど最外側まで FeO が高 い値を示すものと推定される。図-6(5)は実際の No.7 におけるレンガ深部の酸化鉄の還元状 態を示している。下層ほど崩落後の二次的還元が進行しているのは,炉内温度,雰囲気の差と ともに崩落が時期的に下部にはじまり、次第に上方に進行していったものと推定できる。

前報の第2高炉で見られた炉外側の金属鉄の上昇は今回はその傾向がほとんどなく,特に 現象として注目する程のものでないことがわかった。又全鉄量を計算した結果炉内ガスから煙 塵としてレンガ組織内に鉄分が滲透した形跡は表面層を除いてはわづかであり,メデ部および 亀裂内に主として沈積しレンガと作用している。

(ii) 沈積炭素の分布

レンガの深部に滲透した炭素は、ガラスを媒体として伝播し、組織を広い範囲にわたって 暗紫色内至黒色に汚染するが、量的にはきわめて微量にすぎない。図において異常に高い値を 示すのは、レンガの亀裂空洞内に時に密集して蓄積された炭素によるものと思われる。これら の異常な値を除くとシャフト下部以下では炉の内表面に多く密集しているとみなすことができ る。これはひとつには最初のレンガ積の炭素の密集した所謂還元性雰囲気層を中心として崩落 がおこり、炭素の最も濃密な部分が崩落後の表面層として残ったことによるものであることが 推定される。しかしながら崩落の時期、崩落個所、崩落後さらされた雰囲気は採取位置ごとに 相異があり、これが炭素の分布曲線を複雑なものとしている。したがってこの位置では CO₂

(227)

分解の触媒と一般に見なされている Fe₂O₃ 量との関連も明瞭に見出すことは困難である。

(iii) 酸化チタンの分布

228

各試料系のレンガの深部に存在する TiO₂ の量は大体 2~3% 程度に一定したもので、こ れはレンガ自体に最初から含有していたものと考えられ、特に装入物からレンガ中に侵入 した形跡はこの位置では全く認められない。炉の高熱にさらされた表面は多くの試料において かえって若干の低下を示している。これは他の溶食成分の増加、特に炭素および亜鉛量の激増 にともなう百分率としての単なる数値の上の減少であろうと思われる。

(iv) 亜鉛の分布

前節で述べたごとく、ライニング中に亜鉛は酸化亜鉛および金属亜鉛として含まれており シャフト上部においては前者が多くシャフト下部炉腹部と位置がさがるにしたがって前者は減 少し、後者の量が増加する。特に水冷をほどこし、鋼板で被覆した部分になるとこの変化は著 しい。分析値はこの二者の合量を示すものであるが、大粒の金属亜鉛は試料採取にあたり意識 的に取り除いたため、実際より低い値を示すものと考えるべきである。大略の傾向として、亜 鉛は炭素にともなうもので分析値も炭素の分析値に比例する。更に細かく観察すれば、酸化亜 鉛は炭素よりやや深部に至り析出し、金属亜鉛は炭素量の最も多い位置に析出する傾向にあ る。炭素量が前述のごとく崩落の前後の雰囲気の相異により幾分不安定な分布をしているので これにともなう亜鉛も各試料ごとにやや不規則な分布を示している。特にレンガ中の亀裂の多 い部分は ZnO も異常に高い値を示している。

(v) アルカリ金属の分布

シャフト上部にくらべアルカリ金属のレンガ深部への滲透量はむしろ低い結果を示してい る。これは後述の顕微鏡観察の結果と合わせて考えるに、水冷の結果アルカリ金属のガラスへ の溶解が少ないためと推定される。したがってアルカリは表面層およびメヂ内に多くとどまり 深部への滲透はシャフト上部にくらべてきわめて少ない。図-6においても、大体の傾向として K₂O も Na₂O も表面層近くに多く集る傾向にあり、その量は多くて 4~5% 程度が標準である と思われる。この位置では K₂O が Na₂O に比して約2 倍程度の含有量を示す。 ただしこれら の元素も炭素、亜鉛等と同じく、崩落前後の雰囲気の差異および採取位置付近の亀裂、間隙の 有無多少等の諸条件にいちじるしく左右され、時に異常に高い値を示すことがある。この異常 点は炭素、亜鉛の含有量と照合して見るとき大きな関連があることがわかる。

以上各元素の分布を見るに、シャフト下部に水冷を行なった結果これを行なわなかった第 2 高炉の場合と比較^{1),2} して次のような差異を認めることができる。

1. 炉内外の雰囲気を鉄皮により遮断した結果,レンガ壁全体の雰囲気が還元性となり, レンガ組織は変質しやすく,炭素金属亜鉛等の析出量は増大する。しかし酸化亜鉛等の酸化物 系統の析出物はいちじるしく減ずる。

(228)

2. 水冷の結果、メデはガラス化および焼結されず脆弱多孔質となり、メデを通してのガス 成分の滲透が容易におこなわれ、メデ内の析出物量は増大する。

3. 水冷の結果、レンガ内の温度匂配は急になり、レンガの深部は比較的低温にとどまり、 組織のガラス化、侵食成分のガラスへの溶解、レンガ成分と侵食成分との反応が緩漫となり、 アルカリ金属等の深部への拡散速度はおそく、化学的侵食が阻止される。

4. 急な温度匂配のために侵食成分は局部的に一その多くは表面層に一集中しやすく,表面 層の剝離,成分の不均質にもとずくスポーリングの原因をつくりやすい。

4. 顕微鏡組織

シャフト下部ならびに炉腹部の溶食状態をしらべるために、図-1 に示される No.5, No.7 の両水準より4方向, これと比較考察の必要上シャフト中部の No.3 水準より4方向計 12 系 列の試料を採取し,各薄片を製作し,偏光顕微鏡により観察を行なった。検鏡は微細な析出物 およびレンガの組織変化を知る必要上,約 600 倍の高倍率を用い,マトリックス内の微細な変 化も把握することに努めた。

表-1 は比較試料 No.3 水準の主要組織変化の概略を示す表であり, 表-2 はシャフト下部 および炉腹部すなわち No.5, No.7 両水準の試料の同様の表である。また 図-7 はこれらの変 化を実際に示す顕微鏡写真である。

まず、これらの表および図により各水準の試料の一般的な変化を以下説明することとする。

(i) 比較試料 No.3 の変化

レンガの最外側すなわち未変質層は、ガラスと一次ムライトの組織であるが、相当な熱作 用をうけ、一次ムライトはガラスに溶解しつつあり、石英粒も熱歪をうけ、局部的なクリスト バライト化が進行しつつある。メヂとの接触部付近では写真-1に見るごとく微量の炭素が粒 間に沈積しているが組織内にまだ深く滲透していない。微量のアルカリの影響により写真に見 るごとく局部的なガラス化が進行し、二次ムライトの析出を見る。ところによりエヂングサイ トの析出も見られる。中性雰囲気層に近づくと、一次ムライトのガラス化消失、石英のクリス トバライト化、トリヂマイト化が更に進行し、また写真-2に見るごとく周縁部では炭素の沈積 がいちじるしく組織内にも滲透し、アルカリの作用によるガラス化、二次ムライトの析出が多 量におこなわれている。さらに二次ムライトの析出にともないガラス中のアルカリ濃度が増加 し局部的にリユーサイトを生ずる。写真-3 は中性雰囲気層に相当し、ガラス化の傾向いちじる しく、また Fe₂O₃の滲透により、ガラスが褐色に汚染している。炭素量もいちじるしく増大 し、これがガラス内を移動し遮状をなして組織内に深く分布する。アルカリの滲透量も増大し 局部的に縦横に交叉した充分発達した二次ムライトの結晶群を見ることができるとともに、

田中章彦

	粘土粒子内の組織及び析出物	石英粒の晶状	粒間及び亀裂内の析出物
		残留石 英間石 英	
E-3-3	A C C - D D C - C - C - C - C - C - C	всср	С
15	A C C C C - D D	ВСDD	C D C C C C D C
23	A C C - C D B C - C -	В С — В	В D C C B C — — — D D
23s	A B C - B D D D	В С — А	B D C D D D - D D D D D D D
26	A A B D C D C C - C D	— D C A	B D C C C C - C
40	A B C C B D B B - D -	— — — A	B D C B B A C -
43	С	В С — А	С В В В В А С В — — D —
51	— — A B D D A C B D —	— — — A	C C A C A A B D C -
S	- $ A$ C D A D C B D $-$		BACCADBCD - D -
W-3- 2	A B D - C - D D	C C - C	D - C C D D -
15	A B C $-$ C $-$ C $ -$	СС-В	C D C C C D
33	В В С — С D С С — D —	СССВ	$\mathbf{C} \mathbf{C} \mathbf{B} \mathbf{C} \mathbf{C} - \mathbf{D} \mathbf{D} - \mathbf{D} \mathbf{D} \mathbf{D}$
40	В В В D В D В В — D —	СВСВ	$\mathbf{B} \mathbf{C} \mathbf{B} \mathbf{B} \mathbf{B} - \mathbf{D} \mathbf{D}\mathbf{D} - \mathbf{D} - \mathbf{D} \mathbf{D}$
45	ССВАВDВВDDD	— В — В	BCABBADD DD
55	С	— В С В	В В А С В А D — — — — —
68	D D C D B C A C	СССВ	B B A B C C C
68s	— D C D B C B B B C —	ввва	B A B B C D B C - D B
S		DBCA	B A A B C - D D
S-3-15	B B D - C - B A - C -	A B — D	C D B B B C C
33	ССВДСДВСДС—	АСDВ	C D B B C D D D
$33_{\mathbf{S}}$	C C C - B - B B - D -	BCDB	B D B B C D D D -
50	ССВСВСАВ — — —	ВВСВ	ВСВВВВDС
S	D - B - B B A A - C -	- C C A	A B A A B B B C D - C C
N-3-30	B B D - C - B C	CCDC	С
40	$\mathbf{C} \mathbf{C} \mathbf{B} \mathbf{C} \mathbf{C} \mathbf{C} \mathbf{A} \mathbf{C} - \mathbf{C} - \mathbf{C}$	СВDВ	ССВВВАСС— DСD
44	DCBCCBABDD —	ВВDВ	B C A B C A C D
58	D С С С В В А В С — —	СССВ	A B A B B B B B D - D
60s	D — D C B B A C C D D	BBDA	A B A C C C B C D D D -
S	——————————————————————————————————————		

表一1 比較試料 (No. 3) の顕微鏡組織

注 A, B, C, D なる各文字は各組織を構成する結晶の量的比較を示す。 その一応の基準は次の如くで ある。

A: 主要構成組織をなすもの。

B: 試料中広範囲に分布し、または相当多量に存在するもの。

C: 微量,または局部的にわずか認め得るもの。

D: 結晶が微細で光学的に確認し得ぬもの。

高炉ライニングの溶食・変形原因に関する研究(第4報)

リユーサイトや時によりネフェライトも晶出しはじめる。写真-4は二次ムライトが大量に均 ーに発達している状態を示す。この位置の付近では周縁部におびただしくジンサイトが析出し メデとの接触部では厚い層をなし、その一部が空隙にそってレンガの内部に滲透している。

また 写真-5 で見るごとく炭素、ジンサイトとともにアルカリが滲透しリユーサイト、ネフ エライト、カリオフイライトおよびこれらの変質生成物ゼオライト、セリサイト等の結晶群が 見られる。還元性雰囲気層では大量の炭素がメデよりレンガの深部まで滲透し、亜鉛もレンガ の深部まで粒状、樹枝状をなして析出する。写真-6 はメデ内に析出した金属亜鉛(右半黒色部) が酸化亜鉛の脈をへだててレンガと接触している部分を示す。さらに炉内側に至ると炭素は脈 状に多量に侵入し、レンガは一次ムライトをかすかに認め得る程度になる。アルカリの作用に よりこの部分は高温でほとんど全部がガラスよりなるものと推定され、顕微鏡下ではカリオフ イライト、ネフエライト、リユーサイトが主体でアルバイトもわずか認められる。炉内の高熱 にさらされていた表面層は高温ではなかば溶融したガラス質層をなしていたものと考えられ、 その冷却条件の相異により顕微鏡下ではアルカリと粘土成分との化合物すなわちリユーサイト カリオフイライト、ネフエライトおよびプラジオクレース属の諸生成物等が見られる。プラジ オクレース属は主としてアルカリに富むアルバイト側のもので 写真-9 は明瞭な双晶を示すア ルバイト結晶群である。

(ii) シヤフト下部試料 No.5 の変化

未変質層は No.3 と同様ムライトとガラスよりなる組織であるが No.3 よりもムライトの ガラスへの溶解,石英の転移も遅れている。炭素,ジンサイトその他確認不能の微細な析出物 が結晶粒間の空隙を充填しているが、これらとガラスとの間の反応はほとんど見られない。写 真-10 はこの位置の写真である。 中性雰囲気層は No. 3 や前報の第2高炉の場合" にくらべて きわめて薄く、または全然存在せず、これより炉内側に至るにしたがい沈積炭素は急増し、酸 化亜鉛が減少する反面、すでに粒状、板状の金属亜鉛の析出を見る。メデは充分なる焼結がお こなわれず、乾燥収縮によって生じた空隙を炭素や亜鉛がみたす程度できわめて脆弱である。 写真-11 はメデの写真で視野の大部分はジンサイトその他の析出物でわずかな粘土粒を含むが, これと析出物との間の反応生成物としてはリユーサイトおよびわずかなネフエリンを見る程度 である。レンガの横亀裂は無数に存在し、写真-12のごとくこの中にジンサイトが充填し、わ ずかな金属亜鉛粒を含んでいる。このあたりよりアルカリの侵食がいちじるしく、レンガ内の |粘土粒子はガラス化し、 写真-13 に見るごとくネフエリン、リユーサイト、カリオフイライト アルバイトの晶出を認める。ガラスは褐色を呈してくる。表面層に近づくにしたがい,炭素の |折出量が増し, これがガラス巾を移動し, レンガ組織全体にひろがる。 写真--14 に見るごとく 粘土粒はまったくその形態を失い、高温では多量のガラスとして存在するが、顕微鏡下では各 種のアルカリ化合物の析出を認める。表面層では 写真-15 のごとく、炭素は深く滲透し組織は

田中章 彦

	粘土粒子内の組織および析出物	石英粒の晶状 粒間および亀裂内の顕微鏡組織
		残り リカオ ガニ 次 ン ボ オ フ セ セ フ ア デ オ オ フ ス レ フ ス レ フ ア デ オ オ フ ス レ フ ス オ フ フ ス オ フ フ ス オ フ フ ス オ フ フ ス オ ク リ リ フ ス オ フ フ ス オ ク フ ス ス ク フ ス ス ス ク ス ク ス ク ス ク ス ク ス ク
E-5-40	C D C D B D A A C D D	B B C B A D A B C D B C - D
W-5-20 - S S c'	C C C C C C - A B - D - D C B B B D A A C D - C C C A B C B C C	B B C C B D A B B C C D B B D C B C A A B B C D C B B C B C B C D C B B C B D B B A B C
S-5-3 18 S	$\begin{array}{cccccccc} A & B & D & - & C & - & C & C & - & D & D \\ B & C & C & - & B & - & B & B & D & C & - \\ B & C & B & C & B & C & B & B & - & - & - \end{array}$	A C C C C C - B C C D B B C B B D A B C - C C D - C D B B C B B C A B C C C C C D
N-5-12 20 27	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	B B C C B D B B C - C D D C B C B B C B B C - D D B D C B C B B C A B B B D C D D C D
E-7-25 30 38 44	B C C - B D A B D C - B C C - B C A B - B - C C C D B - A C C C B D B D A B D C -	B B D B C A A C D C D C D 'B B C B B C A B D D C B C D C C D B B C B B B B B B C D D C D C B B D B B B B A B C D D
W-7-30 S	C C C D B C B A C D D D B D A C A B C D	B B C B B B B B B D B C D - D - B A C A A B B A A C B C D - D -
S-7-20 S	B B C D B - C C C D - C C C - B D A B D C -	A B D C B D B C B D C C D - B - C B C B B C A C B - D C D
N-7-25 S	$\begin{array}{cccc} C & C & B & - & C & C & B & A & C & - & - \\ C & C & B & D & B & C & A & B & - & C & - \end{array}$	B B C B B B B D B - C C D

表-2 シャフト下部 (No. 5) 炉腹部 (No. 7) 試料の顕微鏡組織

全体がガラス質となる。ただしこの表面層は崩落前後の雰囲気および侵食条件によっていちじ るしくその組織を異にし、各方向毎に幾分の差異がある。

写真--15は大体還元性雰囲気層が崩落の際表面に残り、これが幾分ガラス化をうけた程度の組織と見ることができる。

(iii) 炉腹部試料 No.7 の変化

No.5の組織と全般的に見ていちじるしい差異は認められない。 写真-16 はガラス内に二次ムライトが析出し,残留ガラスの一部がリユーサイトに変じた部分でガラスの中に拡散していた炭素がこれらの再結晶作用にともない細く片状に分裂し,比較的均一に分布している。写真-17 は多量の炭素が密集した部分で粘土粒子もいちじるしくガラス化している。 写真-18 はレンガの周縁部メヂと接触している個所で多量のジンサイトと褐色ガラスからなる。炭素はガ

高炉ライニングの溶食・変形原因に関する研究(第4報)

ラス内を環状をなして拡散している。 写真-19 では粘土粒は全く褐色ガラスに変じ、この間隙 を多量の炭素が充填し、これに沿って多種類のアルカリ化合物の微晶があらたに析出してい る。 写真-20 はさらに炭素は拡散し、ガラスから再び組大な二次ムライトが析出するとともに これがリユーサイト、ネフエライト、カリオフイライトに転じている。

上述の結果から見るに、シャフト下部のレンガの溶食の原因、機構はシャフト上部^{5),6)} と 比較して本質的にはなんら異なった点がなく、レンガ内の析出物も反応生成物も大体同じもの である。しかしながら、さらされる温度およびこれにともなう温度匂配の差は溶食条件をより 苛酷にし、生成物量を増加せしむる。特に炉腹部においてはげしい。さらに操業中のレンガ壁 の崩落はその前の溶食条件に崩落後の条件を加味する結果となり、溶食組織は複雑になり、各 試料間の組織の相異が著しくなっている。

前述のごとく本炉はシャフト下部に冷却箱をそなえ,水冷をほどこしている。この結果は第2 高炉の場合に比べてレンガの溶食組織に若干の影響をあたえている。化学分析結果よりの結論 としても述べたので重複する点もあるが,特に注目すべき差異をのべると次のごとくである。

1. 未変質層は強い還元性雰囲気のために比較的うすくなっているが、水冷の結果熱的な 変質すなわち石英の転移、ガラス化、一次ムライトのガラスへの溶解はシャフト上部より遅れ ている。

2. メヂは全般的に焼結せず,多孔質で脆く炭素,亜鉛等はレンガ壁の最外部まで多量に 滲透している。

3. アルカリ金属はレンガ壁の表面近くに密集し、組織をガラス化し、多量の粘土成分と 反応生成物をつくるが、レンガの深部に滲透しても水冷の結果比較的低温に保たれているため ガラス化および粘土成分との反応は少ない。この意味で水冷はアルカリのレンガに対する溶食 を防止する。

4. 前述のごとく、レンガ壁は外気と遮断されるため雰囲気は全般に還元性となり、中性 雰囲気層もうすく、またはなくなり、酸化亜鉛少く金属亜鉛が深部において析出し、レンガの 結合を弱めている。

5. 水冷の結果ガラス質層はきわめてうすく炉内ガスが滲透しやすい。

6. 温度匂配が急なため、析出物の分布も、変質組織も急変し熱的に横亀裂を生じやすい。

III.結 言

製銑高炉シャフト下部および炉腹部の溶食の機構は,熱的,化学的にはシャフト上部の溶 食機構と類似しているが,その条件は一層苛酷であり,多くの炉においてこの部分は特にはげ しいレンガ壁の消耗を来している。この消耗はさらに著者が既報^{1),2}に論じたこの部分の力学 的条件も考慮せねばならぬが本報告ではこれを除外した。

本報告で特に力点をおいたレンガの消耗におよぼす水冷の影響については、本文において 随所に第2高炉の結果と比較考察してきたので、詳細についてはここで重複をさけるが結論と してこの研究によって得られた結果から著者の所見を述べると次のごとくである。

シャフト下部の水冷は単にレンガの溶食作用の面から見ると、炉の外壁近くの温度を下降 せしめ、その熱転移を遅延せしめ、各炉ガス成分による溶食反応を阻止する面できわめて効果 がある。特に粘土成分のアルカリ金属による溶食は強熱される内表面にとどまり、シャフト上 部にて見るごときレンガ深部での組織のガラス化および溶食反応はいちじるしく減少する。し かしながら水冷によりメデ部のガラス化および焼結も遅れ、表面層の近くに生成するガラス質 層はきわめて薄く炉内の還元性ガスはこの部分より脆く多孔質な結合の弱いメデを通じて深部 に滲透し、レンガを変質せしめるとともに、多量の炭素を析出せしむる結果となる。また水冷 の当然の結果として、レンガ壁内外の温度匂配が急になり、加うるに組織および析出物の分布 の変化がはげしく伝熱面に平行に熱亀裂を生じやすくなる。

以上の外に水冷の得失はさらにいくつかあげることができるが,著者の見解では水冷は第 一次の崩落の時期を早めるが,一二枚残留したレンガの消耗は相当に遅延せしめ得るものと思 う。従って実際の炉の作業如何により影響されるところがきわめて多い。

近時高圧操業,酸素富化操業の採用にともない、シャフト部の水冷は漸次不可欠のものと なる傾向にあるが,水冷にともないあらたに発生するライニングの諸問題は充分に研究され, 築炉上また耐火物の性質の改善など,実際面において充分な対策が講ぜられることが望まし い。本研究はきわめて疎略なものであり,多くの未解決の問題を残しているが今後の研究の一 助となれば幸である。

脱稿にあたって本研究に御後援いただいた富士製鉄 KK 室蘭製鉄所研究所および製銑課の 諸氏,特に研究所長森永氏,前同所員池野氏に深謝する。また組織鑑定には室蘭工業大学地質 教室佐藤教授に負うところが多い。

なお、本研究は富士製鉄 KK 株式会社室蘭製鉄所委託研究として採用いただき、費用その 他の御便宜をいただいたこともあわせて感謝する次第である。 (昭和 37 年4月 30 日受理)

文 献

- 1) 田中章彦: 室工大研報, 3, 769 (1961).
- 2) 田中章彦: 鉄と鋼, 47, 1936 (1961).
- 3) 田中章彥·及川 弘: 室工大研報, 1, 515 (1953).
- 4) 田中章彦: 鉄と鋼, 39, 169 (1953).
- 5) 田中章彦: 鉄と鋼, 46, 1096 (1960).
- 6) 田中章彦: 室工大研報, 3, 135 (1960).

注 溶食におよぼす水冷の影響については特に参照すべき論文は見当らないが、本論文で幾多の溶食機 構に関する内外の論文を参考とした。これらについては 1)において既にに詳記しその末尾に記載してあり、 ここにはこれを省略したので、1)を参照されたい。





写真-3 E-3-23



写真-4 E-3-26

直交ニコル



写真 8 S-3-S 図-7 (2) 恣食試料の顕微鏡組織 (×150)

平行ニコル





写真-16 E-7-30 図-7 (4) 図溶食試料の顕微鏡組織 (×150)



写真-17 W-7-30



写真-18 E-7-38



写真-19 E-7-44



写真-20 N-7-S

アメリカにおける社会階層と教育の諸問題

武 本 昌 三

The Impact of Social Class on Education in the U.S.A.

Shozo Takemoto

Abstract

The American people have never undertaken to provide complete equality of educational opportunity, since absolute equality in this respect would probably entail either complete equalization of income or else the institutionalization, almost from birth, of all children. The basic question in this paper is, therefore, the extent to which the American ideal of equality of educational opportunity has been limited in practice by social class in the public schools.

Although the increase in high-school enrollment has been phenomenal, a large proportion of the youth of secondary-school-age do drop out of school prior to graduation. Most of these dropouts are from the lower socioeconomic groups. Further, more than half of the young people of high intellectual ability, as measured by intelligence tests, do not get a college education. Again, by far the greatest proportion of the young people of college caliber who do not go to college come from the lower socioeconomic groups. The reasons are (1) that the economic and social handicaps faced by the lower socioeconomic groups force many lower-class boys and girls to withdraw from school; (2) that the lower-class culture does not build into the children of this class the expectation and desire for an education : and (3) that the middle-class orientation of the school has led to an educational program which is not adapted to the interest and needs of lower-class pupils.

緒 言

民主主義の中心概念の一つは明らかに「平等」ということであり、人間は誰でも、幸福に 生きるためのさまざまな機会を平等に得たいと希求する。しかし、この機会の平等が教育によ って実現され得るのであるとすれば、民主主義の社会では、何よりも先ず、この教育を受ける 機会の平等の実現が図られなければならない。

では、このいわゆる「教育の機会均等」とは一体どういうことであろうか。人間はそれぞ れに違った個性をもち、勉学能力についても生れつき平等ではない。従って、誰もが一様に同 じ程度の教育を受けることを願い、且つこれを授けることが教育の平等にならないのは自明の 理である。すなわち教育の機会均等とは、「経済状態、人種の別、信条、皮膚の色、男女別、家 柄等に関係なく、各個人の能力に応じた最高限度の教育を可能ならしめること」、であって、 これはとりもなおさず、アメリカ民主主義の追求する主要目標の一つに外ならない。

しかし、現実には、先天的な勉学能力に関係なく、後天的な種々の社会的要因によって教

育上の平等が妨げられていることがあまりに多い。これらの社会的要因とは見体的にはどんな ものか,そして又これらの要因はどの程度にまで不平等を助長せしめているのであるか,これ らの問題を,アメリカの社会階層⁹との関聯性を中心にして解明していこうとするのが本稿の 目的である。以下の叙述はつぎの順序にしたがう。

- I. アメリカにおける社会階層
- Ⅱ. 社会階層とその社会的・文化的背景
 - 1. 社会階層の一般的特徴
 - 2. 社会階層と家庭環境
- Ⅲ. 社会階層と教育の諸問題
 - 1. 社会階層と高校就学率
 - 2. 社会階層と学課課程選択
 - 3. 社会階層と学業成績
 - 4. 社会階層と知能指数
 - 5. 社会階層と大学進学状況
 - 結 言

I. アメリカにおける社会階層

或る一つの社会構造を考える場合,社会階層 (social class) という概念を導入して, 階層に より成立っている社会の様態を考えることは,常識的にも理解し易いことではあるが,それで はこの社会階層をいくつに分けて捉えるべきかという問題は,決して容易に決定出来る性質 のものではない。アメリカの社会階層の場合も,一般にはただ莫然と,上流 (Upper),中流 (Middle),下流 (Lower)の三つの階層に分けて考えられることが多いとしても,客観的な指標 により,すべてのアメリカ人をこの三つに層化分類することには,常に困難が伴なう。

例えば、アメリカの小学校の一教員を例にとってみた場合、彼女又は彼は、何れの社会階 層に属することになるのであろうか。小学校の教員は、収入とか財産とかいうような点だけか ら見れば、一般には、Lower class (下流階層)であるとされることが多いであろうし、教員と いう社会的地位から見れば、Middle class (中流階層)であると考えるのが妥当であるかも知れ ない。更に学歴や知的活動を通じての上流の人々との交際などから、小学校教員が Upper class (上流階層)であると考えられることもある筈である。

Lynd はこのように捉えにくい社会階層をより客観的に捉える試みとして、 社会階層を単 に Working class (労働者階層) と Business class (事業家階層)の二つに分けてしまっている³⁾。 この場合彼は、Business class の中に、商工業経営者等の外、いわゆる専門職の人々をも含め て、Working class と区別しているのであるが、これは職業の種類を主にした層化であって、

Business class の人々が Working class の人々よりも, 必らずしも多くの収入を得ているので ないということは問題にしていない。この方法では,複雑である筈の社会階層を,単純に一面 からしか見られないきらいがあり,客観的に分類し易いという点を除いては種々の欠点がつき まとう。結局,アメリカの社会階層は,若干の例外はあるとしても,又,社会階層を異なった 名称で分類しているものがあるとしても,一般には多くの学者達,例えば Warner などによっ て,5階層又は6階層に分けて捉えられるのが普通である。

Warnerの階層概念は、その当初には経済的序列として観念されていたものであるが、 Yankee city における実証的な研究課程で、社会階層の概念へ移ったと言われている⁹。 階層 を決定するに当って彼は、客観的な社会的特徴——職業、収入、住居、教育程度等——を決し て無視したわけではないが、地域社会の構成員の主観的な相互評価を階層決定の究極的な指標 とした⁵)。その結果、地域社会を先ず Upper, Middle, Lower の三つに層化した上で、Yankee city の場合には、このそれぞれの層を互に upper (上位) と lower (下位) に分けて、Upperupper class (上位上流階層), Lower-upper class (下位上流階層), Upper-middle class (上位中流 階層), Lower-middle class (下位中流階層), Upper-lower class (上位下流階層) の6階層に、又、Jonesville で行なった同様の調査では、上流階層を二つ に分けることが困難であったために、これを一つにして全体を5階層に、それぞれ層化して 図-1⁶, 図-2⁷⁰の如く、各階層の大きさを示す割合を出した。

これらの地域社会の社会構 造が, そのまま, アメリカの他 の地域社会にあてはめることが 出来るものであるかどうかは, 一応疑問の生ずるところである が、これに対して Warner はそ れぞれの地域社会の規模, 歴史 性, 地域性, 産業との関聯性等 により, 異なった特徴を持つ社 会構造を形成することを認めな がらも、同時に、これらの社会 構造が相当程度に普遍性をもつ ところの, アメリカ社会の社会 構造であると主張している。 それならばこれらの主観的な相 互評価から割出した社会構造の



(243)

形態が,他の客観的な調査方法から割出した社会構造と,どの程度一致するかということが次の問題にならなければならない。

もっとも、アメリカにおける階層研究の基本的性格の一つとして、この調査研究上の主観 性と客観性は両極に分化していないのが普通であって、社会経済学者を中心とした客観主義的 な階層概念と、Warner を含めての文化人類学者を中心とする主観主義的な階層概念の二つの 流れが根底にはあるにしても、Warner 自身がこの両者にまたがった階層概念をもっていたと 考える方が妥当である⁵⁰。例えば、社会階層を客観的に決定する指標として、広く一般の社会 科学者達の地域社会研究に用いられるようになった ISC (Index of status characteristics) は、 1949 年に、ほかならぬこの Warner が、Meeker、Eells などと共に考え出したものであった¹⁰⁰。

これは普通,次の六つの指標を用いて,それぞれ最高1点から最低7点に分け,その合計 点により社会階層を機械的に決定する方法である。

							(菆r	尚)	(菆低)
(1.	職	業の)種	類		-	1-2-3-4-5-	-67
	2.	住	宅の)種	類	(大きさ,建築程度,設備,様式等)	-	1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 5	-67
J	3.	居	住	地	域			1-2-3-4-5-	-67
	4.	収	フ		高			1-2-3-4-5-	-67
	5.	収	ア	C .	源	(相続財産,利益所得,月給,賃金等)		1-2-3-4-5-	-6-7
l	6.	教	育	程	度			1-23-4-5-	-67
						合	計 (ç	→ 42

これらの指標を客観的な基準に照らし合わせてそれを点数であらわし、各指標とも1であ れば合計は6となり、これが社会階層の最高をあらわす。反対に各指標とも7であればその合 計は42となり、これが社会階層では最下位となる。この6と42を両極端にしてその中間の点 数を適当に区分し、これを社会階層にあてはめて、階層上の位置を決めようというのである。 前述のような小学校教員の属する社会階層を決定するのに、この ISC を用いて Havighurst は 例えば、次のような例をあげて説明している¹¹。

Mamanus 小学校5年生担任の Gordon 夫人の場合:

Gordon 夫人の小学校教員としての職業は ISC の1から7の中3に相当する。しかし彼 女の夫は無線技師でこの職業は2に相当するから,Gordon 夫人の場合,夫の職業の評価に従 い2である。Gordon 夫妻は1925年に建てられた3階建のアパートの7室を借りて住んでお り、このアパートは広い中庭を中心にして周囲に建てられた20のアパート群の一つである。 アパートの番人により中庭には花壇が作られ、芝生の手入れも行届いて,アパートの各部屋も 毎年少なくともその一部がペンキを塗りかえられたり、模様替えされたりする。このような住 居の評価は3である。居住地域としては、このアパートは市の中で最高の場所に在るのではな いにしても、かなりよい環境にあり、不動産業者やその土地の人々の見方に基づき3と評価す る。彼等の収入の種類は二人共給料であって、これに対する評価は4で、これは、賃金の5ょ

りも上であるが、利益収入、謝礼、手数料等の3よりも下である。(この場合の評価1と2は世 襲財産、或いは一代で蓄積した財産により生ずる利得などである)。 収入高は夫妻の合計が年 間13,000 ドルになるのでこれに対する評価は2である。最後に教育程度では、夫妻とも大学出 であるので、これは最高の1である。これらの評価をまとめると次のようになりその合計は15 となる。

職業の種類	2	収	入	高	2		
住宅の種類	3	収	入	源	4		
居住地域	3	教	育程	度	1	(合計)	15

いろいろな地域社会の階層研究の結果を綜合し た ISC の基準では、6 から 10 までが Upper クラス その次の 11 から 18 までは Upper-middle クラスと されているから、この Gordon 夫人の場合は、Upper-middle クラスの丁度真中に位置することにな ると彼は言う¹²⁾。そして彼は、このような方法によ って研究された人口 5,000 から 100,000 程度のいろ いろな地域社会の構造に関する資料を集め、それら をまとめて 図-3 のような社会階層にあらわしてい る¹³⁾。Warner の二つの調査 (図-1, 図-2) はいずれ も大体この図の割合の範囲内にある。



図-3 Havighurst による社会階層

最近の調査研究では、Bergel が夫々収入、職業、教育を指標として、各指標毎に、アメリカの全国的な統計をくわしく分析することにより独自の層化を試みている¹⁴)。彼はそれに、他の学者達によってすでに発表された研究の成果を加え、それらを次のようにまとめてみた¹⁵)。

1.	 収入を指標とする社会階層 			職業を指標とする社会階	層	
	Upper-upper	1.0%		Upper-upper	1.0%	
	Lower-upper	2.8		Lower-upper	2.8	
	Upper-middle	18.1		Upper-middle	21.2	
	Lower-middle	41.4		Lower-middle	19.0	
	Upper-lower	13.2		Upper-lower	14.0	
	Lower-lower	23.5		Lower-lower	42.0	
3.	教育を指標とする社会階	層	4. 教育を指標とする社会階層			
(1	954 年 ~ 1955 年の男子に	ついて)	(J	汝府の統計から Morris が	割出し	
			た	:もの)		
	Upper クラス	18.2%		Upper クラス	13.2%	
	Middle クラス	43.2		Middle クラス	37.2	
	Lower クラス	38.6		Lower クラス	46.9	

(245)

武本昌三

5. Centers の調査による	6 社会階層	6.	Kahl の調査による褚	t会階層
(自己評価による)				
Upper	3%		Upper	1%
Middle	43		Upper-middle	9
"Working"	51		Lower-middle	40
Lower	1		"Working"	40
(評価を拒否した者)	2		Lower	10

Bergel は以上の外に,前述の Warner の Yankee city 及び Jonesville の調査結果をも加え これらを綜合して精密な検討を加えた上で,アメリカ社会全体の社会階層を大きく三つに層化 し,上流階層 (Upper classes) は 3%,中流階層 (Middle classes) は 37%,下流階層 (Lower classes) は 60% であると結論を下している¹⁶⁾。これは Yankee city の調査結果を三階層に分け た場合の割合と殆んど正確に一致しており (図-4),はじめに述べた Warner の主張を裏づける 結果になった。



- 1) President's Commission on Higher Education, *Higher Education for American Democracy*, Vol. II, U. S. Government Printing Office, 1947, p. 3.
- Class という用語は、一般に用いられている「階級」との混同を避けるため、本稿でも「階層」と訳し 或いは「クラス」と仮名書きする。

尙,ここでいう社会階層には、黒人を含めたいわゆる Minority グループを含めてはいない。黒人 社会の社会構造は、ここに述べるものとはかなり違ったものになるが、これについては本文では触れな いことにする。 例えば Hill と McCall の調査による Georgia Town の白人と黒人の階層別の割合は 下表の如くなり、これを図にあらわすと極端なアンバランスが目立つ。



(246)

アメリカにおける社会階層と教育の諸問題

更に、社会階層における黒人と白人との相違を、教育、収入、職業等の指標別に解説したものとし ては、Broom, Selznick, *Sociology* 2nd. ed. Row, Peterson and Company, 1958, pp. 485-489 を, 又、一般的な、黒人と教育問題については、青木書店、講座「教育」第1巻, 社会体制と教育の中 pp. 133-193 を参照されたい。

- 3) Robert Lynd & Helen Lynd, Midaletown, Harcourt, Brace & Company, Inc., New York, 1929 及び, Middletown in Transition, Harcourt, Brace & Company, Inc., New York, 1937. 社会階層 研究の分野では、この二著書は古典的な価値をもつが、ここでは社会階層は二つに分けられて、アメリ カの中程度の都市に対する明快な構造分析が行なわれている。
- 4) 清水義弘「教育社会学の構造」東洋館出版社, 1955, p. 290. 尚 Warner の社会階層概念についての 招介は, 同書 pp. 277-306 に, Warner の研究方法については, Bendix, Lipset, *Class, Status, and Power*, The Free Press, Glencoe, Ill., 1953, pp. 230-31 にくわしい。
- 5) 社会階層の研究方法としては通常, Reputational Approach, Subjective Approach, Objective Approach の三方法があるが, Warner のこの二つの研究は, Reputational Approach の代表的なものと 言えよう。

尚, この三方法のデータの集め方については, Broom, Selznick, 前掲書 pp. 172-188 を, それらの解釈の仕方については, E. E. Bergel, *Social stratification*, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1962, pp. 257-266 を参照。

- 6) Warner & Lunt, *The Social Life of a Modern Community*, Yale University Press, New Haven: 1941, p. 88.
- 7) Warner & Associates, Democracy in Jonesville, Harper & Bros., New York, 1949, pp.50-51.
- Warner, Havighurst, Loeb, Who Shall Be Educated ?, Harper & Bros., New York, 1944, pp. 29– 32.
- 9) 清水義弘, 前揭書, p. 291.
- Warner, Meeker, Eells, Social Class in America, Science Research Associates, Chicago, 1949, pp. 12, 27, 34, 378.
- 11) Havighurst, Neugarten, Society and Education, Allyn & Bacon, Inc., Boston, 1958, p. 28.
- 12) Havighurst, Neugarten, 同上, p. 28.
- 13) Havighurst, Neugarten, 同上, p. 18. 尚, このような階層分布の図の検討については, Robert W. O'Brien "Comment on Class and Caste Diagrams" *Readings in General Sociology*, 2nd ed. Houghton Miffin Company, Boston, 1957, pp. 334-336 を参照。
- 14) E. E. Bergel, 前掲書, pp. 257-277.
- 15) E. E. Bergel, 同上, pp. 274-275.
- 16) E. E. Bergel, 同上, p. 277.

II. 社会階層とその社会的・文化的背景

1. 社会階層の一般的特徴¹⁾

このようにして捉えられたアメリカの各社会階層は、それぞれ、どのような社会的・文化 的背景を持っているのであろうか。いうまでもなく、異なった社会的・文化的背景が、今まで 述べて来たところの、社会階層を形成して来たとも言えるのであるが、その故にこそ、おのお のの社会階層に附随する社会的・文化的価値判断の基準も、自から異なったものになって来る 筈である。以下社会階層別に、それらの背景を追って、概観を試みることにしたい。

A. Upper classes (上流階層)

上流階層の人々は先ず、多くの年収を持つ富裕な資産家であることにより特徴づけられ

る³。この上流階層が、Upper-upper と Lower-upper との二つに分けられる場合には、前者は 貴族の流れをくむ家柄で、世襲の財産を受継いでいることが多く、後者はこれに対して、貴族 的な家柄という条件を欠き、財産も比較的新らしく、時には一代の中に蓄積されたものである のが普通である。或いは又、Upper-upper につきまとう伝統的な家風とかしきたり、儀式的な 社交や礼儀作法も、Lower-upper の人々には欠けているかも知れない。しかし、上流階層に属 する人々は、すでに見て来たように僅か3%程度であるので、実際にはこの二つの層化は容易 ではなく、Warner の Jonesville の場合のように、この両者を併せて単に Upper クラスとして 見ることが多い。

Upper-upper も Lower-upper も含めて、一般に Upper クラスの人々は、美術館、歌劇協 会、有名大学等の理事や委員であることが少なくない。彼等は、慈善団体、商工会議所、政党 (特に北部で共和党)、所属教会等を進んで支持、援助する傾向があるが³⁾、そのような場合でも 表面的には Upper-middle クラスの人々が活躍して、彼等は普通、背後にかくれた勢力者であ る。彼等の属する教会としては、Protestant Episcopal 教会、長老教会等が多く、カトリック や、ユダヤ教会に属する者は少ない。

B. Upper-middle クラス

この階層に属する人々の中,およそ半分位は,Lower-middle 或いはそれ以下の社会階層 から努力を重ねて現在の地位を築き上げて来た人々であると見られる。従って,この階層の人 々には野心的な活動家が少なくない。

職業としては、中堅的な実業家であったり、会社の幹部であったり、専門職に従事してい たりする。夫人達は家政だけでなく、地域社会のクラブ活動や、学校の PTA 等で活潑な発言 権を持つ。一般に社会的な活動の多くは、この階層の人々の積極的なリーダーシップの下にあ る。

彼等の住む家は、大邸宅ではないが、清潔でよく手入れが行届き、美しい花壇や芝生の庭 などもあって、快適な環境の中にある。住宅の地下室には娯楽室などが設げられていることも 多い。小さな子供達がいる間は、女中を雇うこともあるが、普通は一家の主婦が家政の全部を 切り廻す。収入は十分にあって、3、4 年毎に自動車を買い換えたり、子供達をみな大学へ通わ せたりするのに不自由は感じないが、金銭の重要性についての認識は強い。

この階層の多くの人々は、数週間の夏期休暇や、クリスマス休暇を、家族ぐるみ楽しむ習 慣があり、海外旅行に出かけることも珍らしくはない。教会の運営については、殆んど例外な く熱心であり、長老教会、Congregational-christian、メソヂスト等に多く所属する。彼等は殆 んど生粋のアメリカ人で、父祖の時代からアメリカで生活して来た人達である。

C. Lower-middle クラス

この階層に属する人々は、小規模な事業経営者、いわゆるホワイトカラーとよばれる会社

員等,それに数は多くないが,工場の熟練工,鉄道の技師や車掌なども含まれる。彼等は独立 した生計を営むに足るしっかりした経済的基盤を持っていることに,安心感と誇りを感じてい る。自分で耕作する農地を持つ大多数の農家もこの階層に属する。

彼等の居住地は普通,下流階層の人々の居住地に近く,環境の点から見ればあまりいい所 ではないが,住宅は不自山なく暮せるだけの設備を持ち,手入れも行届いている方である。住 宅の大きさは,中以下が殆んどであろう。この階層の人々は,自動車でアメリカ中を旅行して 廻ることは出来ても,海外旅行にまで足を伸ばすことは無理である。

American Legion などの友愛団体に加入している会員の大半は, これら Lower-middle の 人々で, 夫人達も, 種々の社会活動や PTA などでかなり活潑に活躍する傾向がある。 彼等の 多くはカトリック教徒であり, ユダヤ教徒なども若干見られる。アメリカへ比較的新らしく移 住して来た人々から, 1, 2代目の人々がこの階層には多く, 金銭の消費には慎重で, 一般に体 面を重んじ, 世間の人々から "good common people" と称せられる⁴。

D. Upper-lower クラス

アメリカ社会では最も大きな階層で、工場の労働者やサービス業の従業員、或いは小売商 人などが殆んどを占め、一般に、"勤勉な労働者"、"清潔な貧乏人"などという言葉がこの階層 の人々にはあてはまる⁵。

住宅は町の中でもあまり環境のよくない所にあり、部屋数も少ない小さな家が普通で、狭 くなればひまを見て、自分で部屋をつぎ足そうとしたりする。貧乏ではあるが世間の人々から 軽蔑されるようなことはしない。子供の世話をするために家に残る必要がなくなれば、この階 層の主婦達の多くは、工場や事務所や小売店へ働らきに出て、夫や家族の者といっしょに家計 の維持に努めるであろう。イタリヤ人、ポーランド人、ボヘミヤ人、それに日本人などの移民 の子弟の多くはこの階層に属している。

彼等はカトリック教会や Assembly of God, その他プロテスタント系の教会などのメンバ - であることが多いが,教会に属さず,かえって反感を抱いているような人々も稀ではない。 稼いだ金の殆んどは,生活費の中に注ぎ込まなければならず,経済的な不自由は絶えない。必 要な家具や,テレビなどを買うことは出来るかも知れないが,特に余分の貯えを持っているわ けではなく,年老いてからは,失業保険や養老年金のような社会保障制度に頼らざるを得ない のが普通である。

彼等は労働組合には入っても、地域社会の社会的団体に所属することは少なく、ひまな時 には、テレビを見たり、ラヂオを聞いたり、或いは家の修繕をしたりするのがせいぜいで、旅 行に出かけるような余裕はない⁹。

E. Lower-lower クラス

アメリカ社会の底辺に生きる人々であり、 スラム街などに住んで、"けだもののような連

武 本 昌 三

中""いやらしい奴等""どぶねずみ""人間のくず"等の言葉により世間の人々から冷たい眼 で見られる。アメリカ社会でおこる犯罪の殆んどは、この Lower-lower の人々によるものと 一般の人々は信じているが、実際には、かなりの"まともな"人達も貧困の故にこの階層の中 に入っているものと思われる。

この Lower-lower の人々も,時としては,自分達は他のすべての人々と同じように善良な のだと主張したがるのであるが,全体としては,宿命的なペシミズムに支配されてしまってい る傾向が強い。一定の職業も持っていないのが普通で,生活に不自由し,住宅なども名ばかり の最低の種類のものである。家族数が多くなれば当然暮しに困り,政府や民間からの生活扶助 にすがらなければならない。

彼等は大体二つのグループに分けられる。その中の一つは、何世代にも亘って常に社会の 最下層に下積みとなって生き続けて来た人々であって、このような人々は、Lower-lower クラ スに属することを、宿命的なものとして、当然のように受け容れているように見える。たまに は息子や娘が、この最下層の生活から抜出して、上位の社会階層の生活に入り込んで行くよう なことがあっても、彼等はもう、この最下層の親の前には姿をあらわさなくなる。もう一つの グループは、アメリカへ来たばかりの移民達で、アメリカでの生活や、風俗、習慣、言葉に慣 れるまでの間、かなりの重労働に従事したりするが、やがてはこの階層から抜け出して、上位 の社会階層へ移って行く。

この Lower-lower クラスの中には、一般のアメリカ人の他に、このような移民やその子供達、又多くの黒人、メキシコ人、プエルトリコ人などが含まれている。

以上,アメリカの社会階層の一般的特徴を,便宜的に五つに分けて見て来たが,これらは 常にこのようなはっきりした形で,階層別に区別出来るのでないことは勿論であり,異論もな いわけではない⁷⁰。しかし,いろいろと例外はあるかも知れないにしても,それぞれの社会階 層が比較的強く持っている性格や傾向が大体このようなものであるということは許されるであ ろう。このような社会階層別の性格や傾向の相違は又,例えば家庭環境のさまざまな面におい て特にはっきりした形であらわれ易いのが普通である。

2. 社会階層と家庭環境

それぞれの社会階層が持つ背景の相違が、家庭環境において特にあらわれ易いということ は、各社会階層のそれぞれの家庭が、自分達の階層にふさわしい生活様式や態度を意識的にと ろうとすることによるのであろう。一つの社会階層から他の社会階層へと移動する割合は少な くないにしても、一般には、中流階層は中流階層で、下流階層は下流階層で、それぞれ子供達 に階層的特質を受継がせ、子供達も又、受継いで来た階層的特質の中に、自分達の生活を安定 化させて行こうとするのが普通であり、これが社会階層間の背景の相違を明瞭にすることを助 長する。このような相互的関聯性の中で、それぞれの階層の家庭環境は、その一面を、次のよ

うに浮彫にすることが出来るであろう。

A. 家庭生活

家庭生活は普通,上流階層や中流階層では,安定した落着いたものであるが,下流階層で は内外のさまざまな要因によって動揺が多く不安定である。夫婦の別居や離婚,或いは家族の 者の家出等,家庭的に破綻を来たす割合も下流階層では目立って多く,例えば,A.B. Hollingshead は 1949 年に行なった或る中西部の町の調査で,結婚後 15 年以上を経た家庭生活で,こ のような破綻を起している例は,Upper-middle の 15% に対して,Lower クラスでは,50% か ら 60% に及んでいると述べている⁸。このような家庭生活上の雰囲気の相違は,当然,それぞ れの社会階層の子供達に対する躾けや,親子関係などに反映することが予想される。

それぞれの社会階層の子供達に対する親の態度を比較研究した Bossard は、上流階層では 子供達は、家族の誇りであり希望であるという⁹。 しかし下流階層では子供達は、生れたから 家族の一員であるだけかも知れず、このようにして生まれた子供が増えて来ると、それは経済 的にも生活をおびやかす脅威にもなりかねない。上流階層の人々はあらゆる手段を講じて子供 達の幸福をまもり、子供達が家名を傷つけず、名誉ある家族の一員としてふさわしい人間に成 長して行くことを期待する。下流階層の場合には、子供に対する愛情が欠けているということ は必らずしも言えないにしても、経済的、社会的な理由から教育上の見識と余裕を持てずに、 子供達をなおざりにすることが少なくない。普通父親が大きな権力を持ち、体罰によって、教 えられたり従わせられたりすることがしばしばで、子供達は、腕力にすぐれていることを重ん じ、権威に対しては、反感と恐れを抱くようになる。

中流階層では子供達は家庭生活の中心で、上流階層の子弟が、直接的には住込の家庭教師 や家政婦等によって訓育を受けているのに対し、母親が熱心に躾けに努力する。腕力を用いる ことは許されず、体罰を加えられることもない¹⁰⁾。親に反対の意見を持つことも認められて、 ここでは権威に対しては敬意をはらうことが教えられる。

B. 健康と衛生

社会階層の相違は、食生活に対する態度の上にも変化をもたらす。食生活に不安を感ずる 必要のない上流及び中流階層の人々は、規則正しい食生活を続けるであろう。食べ過ぎは一種 のタブーとして避けられ、食事については不満を持たないのが普通である。

これとは逆に、下流階層、特に Lower-lower の人々にとっては食事は重大関心事で、不衛 生な環境の中で不規則になりがちな食生活を続けながら、不安と不満は常につきまとう。食べ られる時には何時も出来るだけ沢山食べておこうとする傾向があって、健康で合理的な食生活 のあり方を考える余裕はない。

社会階層の相違は更に,平均寿命の上にもあらわれてくる。一般的に,平均寿命は上流階 層から下流階層へ下がるに従って短かくなって行く傾向があり,特に下流階層の男子の平均寿

命は短かい。例えば, Mayer と Hauser は 1940年のシカゴにおける黒人を除いた男女に対す る調査で,上流階層の人々の寿命は平均して7.6年長いと述べている¹¹⁾。下流階層になればな る程,平均寿命が短かくなるということは,恐らく,貧困,不十分な栄養,生活環境の不健全, 過労や不潔,それに病気そのものに対する無知などによるものであろう。下流階層の人々は, 仮りに,健康診断を無料で受けることが出来るとしても,実際に健康を害していなければ進ん で診断を受けようとはしないであろうし,又,医者にかかった時にはもう手遅れであるという ことも多いに違いない。この意味では長寿ということは,上流階層の一つの特権であると言え るかも知れない。

しかし、このような社会階層間の平均寿命の差は、徐々に縮まりつつあるのが現状である。上述のシカゴに於ける調査で、1920年の平均寿命は、上流階層で61.8年、下流階層で51.8年であったのが、1940年にはそれぞれ、67.8年と60.2年に伸びている。1940年の下流階層の寿命は、1920年の上流階層の平均寿命とほぼ同じになっているが、この20年間の平均寿命の増加率は、上流階層が約11%であるのに対して、下流階層は約16%の増加率を示しているのである¹²⁰。

C. 育 児 法

育児の方法が社会階層によりどのように違うかについては、1943年に行なわれた Davis と Havighurst の調査がある。 彼等はシカゴでインタビューによる方法をとり、中流階層と下 流階層との間には、育児法についておよそ次のような相違が見られることを明らかにした¹³)。

一般に、下流階層の婦人達の方が中流階層の婦人達に比べて、子供を母乳で育てる率は多 い。乳離れの時期も、排便のしつけを始める時期も、下流階層に行くほど遅くなる傾向がある。 下流階層では、子供達に規則的な昼寝をさせる習慣も早くから止めてしまい、子供達を勝手気 ままにさせて、幼ない頃から、夜分外出して映画を見に行くようなことがあっても、大目に見 て放置する。

中流階層の婦人達は育児法については強い関心を持ち,子供の成長に応じて目標を樹て合 理的な育て方をしようとする。自分自身で服を着替えさせ,身の廻りの仕末や,簡単な手伝い をさせたりするような躾けは,下流階層の場合よりも早くから行なわれる。子供の頃から,与 えられた役割と責任を果す習慣をつけさせられ,このために下流階層よりも躾けはきびしいの がこの階層の特徴である。

これと同様の調査は、Maccoby と Gibbs によって 1951 年にボストンで行なわれた¹⁴。こ の場合には、換気や排便の躾けなどで、前述の調査結果とはやや異なった結論が出されている が、これは恐らく地域性や、年代の背景を考慮に入れて取上げられるべき問題であろう。けれ ども、このような背景の相違による育児法の変化が見られるとしても、いずれにせよ、社会的 階層の相違が育児の仕方の上に反映されている事実は、動かし難いことに思われる。

アメリカにおける社会階層と教育の諸問題

1) 階層別の特徴を一覧表にしてまとめたものについては, Broom, Selznick, 前掲書, pp. 400-401 (特に 家庭的背景について), 及び同書 pp. 190-191. R. Lynes, "Highbrow, Lowbrow, Middlebrow," Life, 29, 86-88, pp. 25-26. 一般的な記述については, Bergel, 前掲書, 第2章, "Class and Culture" pp. 361-384. Broom, Selznick 同上書 pp.180-181. 特に中流階層と下流階層についてのくわしい分析は, Bryson, Finkelstein, Maclver (eds), Conflicts of Power in Modern Culture, Harper & Bros., 1947, pp. 121-123, 125-126. アメリカ南部の階層別の特徴については, Davis, Gardner, Deep South, the University of Chicago Press, 1941, pp. 73-83. 同じく南部の階層別の特徴を一覧表にまとめたもの としては, Morton Rubin, Plantation County, Univ. of 家庭数 18

年収入額

\$1,000 以下

\$1,000~\$1,999

(単位 千)

52,800

2,688

4,954

セント

100.0

5.1

9.4

11.1

12.9

13.2

12.4

14.0

11.4

6.7

3.8

N.C., 1951, pp. 110-111 及び pp. 124-125 等を参照。

- 2) 例えば 1956 年のアメリカ政府の 調査では年収別の家庭数は右 の表の通りであるが、前述の Bergel の分類では、この中の年 収15,000ドル以上(3.8%)を上流階層であるとしている。
- \$2,000~\$2,999 5,871 3) 例えば Warner の Jonesville における調査では, 一つ或いは \$3,000~\$3,999 6,784 それ以上の社会団体に加入している割合は、上流階層で100% \$4,000~\$4,999 6,941 Lower-middle で 55%, Lower-lower では 30% であるとい \$ 5,000~\$ 5,999 6,540 う。Warner その他, Democracy in Jonesville, Harper & \$ 6,000~\$ 7,499 7,416 Brothers, New York, 1949, 第9章. 又政党に対する態度に \$7,500~\$9,999 6.042\$10,000~\$14,999 3,545 関係するものとして例えば投票率では、1944年の全国調査で \$15,000 以上 2,019上流階層が84%、中流階層が68%、下流階層は53%である。 Connelly, Field, "The Non-voter-Who He Is, What He Thinks," Public Opinion Quarterly, VIII, 1944, p. 178.
- 4), 5) Broom, Selznick, 前掲書, p. 181.
- 6) 例えば 1941 年の South Dakota での調査によれば、一生を通じての旅行範囲は、この階層で半径 145 マイルであって、上流階層の半径 1,100 マイルと対照的である。 Useem, Tangent, "Stratification in a Prairie Town," American Sociological Review, 7, 1942, pp. 331-342.
- 7) 例えば Corey は中流階層を二つに分けることは困難であることを例をあげて述べ, Keuckhohn は中 流階層全体と下流階層全体との比較だけは容易であると述べている。Bryson, Finkelstein, Maclver, 前 揭書, pp. 121-126.
- 8) August B. Hollingshead, "Class Differences in Family Stability," Annals of the American Academy of Political and Social Sciences, November, 1950, pp. 39-46.
- 9) James H. Bossard, The Sociology of Child Development, rev. ed. Harper & Brothers, New York, pp. 91, 104, 127.
- 10) Broom, Selznick, 前掲書, p. 400.
- 11) A. Mayer, P. Hauser, "Class Differentials in Expectations of Life at Birth," Class, Status and Power (Bendix, Lipset ed), Glencoe, Ill., 1953, p. 28.
- 12) A. Mayer, P. Hauser, 同上, p. 283.
- 13) A. Davis, J. Havighurst, "Social Class and Color Differences in Child-Rearing," American Sociological Review, 11, 698-710, 1946, p. 93.

14) Maccoby, Gibs et al. "Methods of Child Rearing in Two Social Classes," Readings in Child Development, (Martin, Stendler, eds.) Harcourt, Brace & Company, New York, 1954, p. 93.

III. 社会階層と教育の諸問題

以上のようにそれぞれ社会階層を異にする人々は、教育に対してはどのような見方をする であろうか。人々が異なった社会的・文化的背景を持つということは、とりもなおさず、教育

武本昌三

に対しても異なった態度を持つことを意味するものにほかならない。

254

先ず上流階層の人々については、学校教育は当然のこととして受取られ、特にこれが重要 であるという認識は強くない^b。 彼等は上流階級としての地位にふさわしい教養を身につける ことの必要性は感じても学校教育そのものを、教養を身につけるための唯一の手段であるとは 考えないであろう。男子の場合には一応、有名大学を終えさせるのが普通であっても、女子の 場合には大学進学の代りに、ヨーロッパ旅行などを含めた学校外の環境で教養を身につけさせ ようとすることも少なくない。要するにこの階層の人々にとっては、学校教育を絶対的な必要 条件と考えなくとも、社会的には安定した地位が保障されていると考えられる。

Upper-middle クラスの人々の子弟は、学校教育の全課程を立派な成績で終えることにより 彼等の将来の社会的地位が安定したものになると教えこまれる。従って一般にこの階層の人々 は、学校教育を非常に重要なものと考える傾向が強く、学課課程のみならず、課外のクラブ活 動等においても、積極的な態度で臨むであろう²⁾。 女子の場合は、男子と同じような教育に対 する真剣な考え方を持たなければならない理由はないが、それでもこの階層では、女子の大学 教育は普通である。

Lower-middle クラスの人々の間では、学校教育を重んずることでは Upper-middle と変り はないが、特にこの階層の人々は、少しでもよい就職口を得るために教育が必要なのだと、就 職に結びつけて教育の重要性を認識する傾向が見られる。少なくとも高校教育を終えさせるこ とはこの階層では普通で、更にその中の半分位は大学へ進学するであろう。

下流階層の人々にとって,教育が小学校の程度以上に必要だということが認識され出して 来たのは,比較的最近のことであると言えよう。現在ではこの階層の子弟も,およそ半分位は 高等学校を終え,更に15%位が大学へ進学する³⁰。この階層では,法律が16歳までの義務教 育を規定しているから⁴⁰,この規定に従って(そして多分,就職のための必要性もあって)学校 へ行くだけだという態度が見られるが,だんだんと高等学校卒業に対する積極性を持ち始めて 来ているのが現状である。

アメリカの教育制度は、このようにそれぞれ異なった背景を持った各階層からの子供達を 単線型の教育機関の中に持ち込んでいるのであるが、この中では各社会階層の人々が共に共通 の教育を受けているにしても、教育を受ける目的や、教育に対する態度などは、今見て来たよ うに同じでないことを理解せねばならない。それでは、このような社会階層の持つ背景は具体 的に教育の上でどのような形をとってあらわれて来るであろうか。以下個別的にこの問題を追 求して行きたい。

1. 社会階層と高校就学率

高校就学率を左右する要因の一つとして、人々はよく地域性をとりあげる。例えば、 Warner が調査した Jonesville でも一般に、田舎の子供の方が町の子供よりも中途退学率が多

(254)

いと信じられていたが,実際はそう ではなく,735人を対象とする調査 の結果では,町からの通学生約75% 田舎からの通学生25%という割合 は,卒業の時にも殆んど変らなかっ た。しかしこれに対して,社会階層 別に見た場合は,就学率の相違がは っきり認められ、"Classes Above

表一1	社会階層と高校就学率				
·	就学者数		未就学	者数	
Upper	(人) 4	(%) 100.0	(人) (人)	(%) 0	
Upper-middle	31	100.0	0	0	
Lower-middle	146	92.4	12	7.6	
Upper-lower ······	183	58.7	129	41.3	
Lower-lower	26	11.3	204	88.7	
	390	53.1	345	46.9	

the Common Man Level" すなわち Upper-middle 以上の階層では、 未就学の者は1人もなく、 Lower-middle の就学率では10人中9人以上、Upper-lower では10人中6人に対し、Lowerlower では10人中1人しか高校に就学していないことが明らかにされている(表-1参照)。

Hollingshead はこれと同様の調査を Elmtown という小さな町で行なった。 彼は社会階層 を高いものから低いものへと順に、 クラス I (第一階層)、クラス II (第二階層)、 ……… クラ ス V (第五階層) と分類し 700 人を対象として次のような結論を出している。

明らかに社会階層は青少年の高校就学状況と深い関連性を持っている。第一階層,第二階 層に属する者についてはその全員,第三階層に属する者については10人中9人以上,第四階 層の場合は10人中6人までというそれぞれの就学率を示しているたのに対し,第五階層に属 する者の中では,就学者は9人中の1人に過ぎない⁵⁰。

Hollingshead は更にこの Elmtown の調査で、クラス V に属する Robert Cambell とい う少年にインタビューした模様を次のように書いている。このインタビューは、この少年が高 校をやめた日の朝、その理由を尋ねるために行なわれたものであった⁶。

"ぼくは学校をやめた。もう学校なんか行かない"

"高等学校はきらいなの"と私 (Hollingshead—筆者注) は尋ねた。

"さあ,よくわからないんだ。好きだとも言えないし,きらいだとも言えない。でもそん なこと,どうでもいいんじゃないかな,ぼくはこの前の土曜日に16歳になった,だから学校 をやめるんだよ。ぼくは何か仕事を見つけようと思っている。あそこの工場で仂らくと,遇給 20ドルくれるって話なんだ。16歳であれば傭ってくれるんだよ,下町の木工場では18歳以上 でなければ傭ってくれない。Frank Burton もこの間学校をやめて,その木工場へ仂らきに行 ってたんだけれど,2,3日仂らいただけで16歳であることがばれてやめさせられてしまった。 だから又学校へ通っている。でも彼は学年末まではいないんじゃないかな,別の仕事が見つか るまで学校にいるだけだと言っていたから。ぼくは17歳になればすぐ,海軍の航空隊に志願 するんだ(「航空隊」を彼は正確に発音出来なかった)"。

ここで彼は一寸口ごもった。そこで私は聞いた。

"どうして学期の最後まで学校にいないんだね"

武 本 昌 三

"そんなことは意味ないからさ、学期の最後までいても、高校を卒業していないということ では同じだもの"

ここで又沈黙する。

"妹さんの May はどう考えているの, 学校は続けたいと言っている?"

"いや,妹も今年中でやめるんではないかな,16歳になれば学校へは行かなくなると思う。 今年の12月で彼女も16歳になるんだ,ぼく達は二人とも、今年は学校へ来たくはなかったん だよ"

先をうながすように私は続けて聞いた。

"何故学校へ来たくなかったの?"

"金銭的なこともあるし,いろいろわけがあって……"

ここで又しばらく沈黙が続いたあと,

"いろいろわけがあるって,どんなこと?"

"それはね,父は年金しか入らないし (彼の父は 67 歳で,老人扶助を受けていた),もう年 寄りで仂らけない。今年のぼくの教科書も,製材所で仂らいている姉の Josie が買ってくれた し,妹のは,田舎にいる叔母が買ってくれたんだ,でなければ,今年だって学校へは来れなか った"。

ここで彼は長い間黙り込んでしまった。私は又質問した。

"学校では楽しかった?"

"楽しかったとは思えない,昨年の秋はフットボールの試合に出ようとしたら,家族の人達 は反対だった。怪我をしたらいけないからと言うんだ。昨年は一年中何の試合にも行かれなか ったし,今年だってバスケットボールの試合一つ見ていない。ダンスには一度行ったきり,そ れも新入生観迎会の。ぼくはディトだって一度もしたことがない。就職してお金を貯めたら, ディトだって出来るようになるんじゃないかな"

"誰とデイトしたいと思ってる?"

"川のそばの東通りに一人いるんだ,ぼくはその子とディトしたいと思っている。ぼくは まだ彼女の名前も知らないけれど,彼女が好きなんだ"

又長い沈黙が続いたあとで私は聞いた。

"若しも君が君の人生を最初からやり直すことが出来て,何でも思いのままになれば,どういうことをしたいと思う?"

"ぼくは山の手に住みたいな、金持になって、服も沢山持ち、デイトもしたい。何時もいい服を着ていたい、そんな奴等がぼく達の学校にもいるんだよ"

又しばらく沈黙が続いて,

"そんな人達とはうまく行っていたの?"

"みんなちゃんと附合ってくれたさ,ぼくに会えば話しかけてくれたし。でも,ぼくはみ んなとは違うし,みんなも,ぼくとは違うんだ"

中流階層の少年達の教育に対する考え方はここでは見られないし、この少年の態度は、家 族の者の教育に対する態度をも反映していると言えるであろう。このようにして多くの下流階 層の少年少女達は、勉学能力とは関係のない他のさまざまな要因によって学校を退学する。

2. 社会階層と学課課程選択コース

アメリカの高等学校には一般に、進学課程、商業課程、職業課程等の選択コースがあって 生徒は自己の希望により、何れかのコースに進むことが出来るのが普通である。時には以上の コースの外に、一般課程(General Curricula)が設けられていることもあって、このコースに は数学や外国語の履習が含まれておらず、大学進学のためには学力が不足で、将来の就職の方 向もはっきりしていないという生徒がこれをえらぶ。この選択コースの取り方も、社会階層の 相違を無視しては考えられない。

Hollingshead が Elmtown で調査した高等学校には、大学進学コースと一般コース、それ に商業コースの三つがあったが、これらのコースの取捨選択は、生徒の属する社会階層が決定 せしめると彼は言うⁿ。 1941 年のこの調査では、第1 階層 (Upper クラスに相当) と第2 階層 (Upper-middle)の者は、大学進学コースに集中してその割合は 64% に達し、商業コースは見向 きもされなかった。第3 階層 (Lower-middle)の者の中では、その 51% が一般コースを、27% が大学進学コースを、そして 21% が商業コースを選択している。 第4 階層 (Upper-lower)の 者の中では 58% が一般コース、33% が商業コースを送択している。 第4 階層 (Upper-lower)の は少なく 9% だけである。 第5 階層 (Lower-lower) については、商業コースの 38%、大学進 学コースの 4% となり、他は大体第4 階層と変りはない⁵⁰。

このような社会階層と選択コースとの強い関聯性から、一般に、大学進学希望者以外の者 までも、大学進学コースを選択しようとする傾向が目立つことを Hollingshead は述べている が、これは容易に想像し得ることである。Elmtown の例でも、女子の大学進学率は男子よりも 低いにもかかわらず、第2階層に属する女生徒14人の中、12人(86%)が、進学コースをえら び、残りの二人も一般コースをえらんで、商業コースは誰もとろうとはしなかったという。商 業コースは第3階層から38%、第4階層から62%選択されてはいるが、この場合にも事務系 統の学科だけに希望が集中して、実際の就職のための教育は、学年末の特別教育で補わざるを 得ない結果になった⁹。このような進学コース偏重についての生徒達の考え方は Hollingshead の調査した高校上級の一女生徒の次のような発言によくあらわされている。

"大学進学コースを選択すれば、それだけで一般コースの人々よりも値打が上がるのです。 一般コースをとる人は、つまらない人だと思われているんですわ。商業コースなんかとれば尚 更ひけ目を感じなければならないでしょう。妙なことだけれども、大学進学コースをとった人 々は他の人々より上だと思っているし、彼等がクラスも支配するのです。私が一年生の時、母 は「家政」をとらせたがりましたが、私はいやでした。肩身の狭い思いをしたくなかったから です。タイプライティングや速記をとるのなら、まだいくらかましだけれど、まるっきり商業 コースでは駄目なんです。それにコースの取り方によって、先生からも区別されるし、最初の 6週間くらいで、生徒の値打は決められてしまうらしいんです。成績もいいのはみな進学コー スの人達がもらってしまって、残りを他の人達でおすそ分けするだけです。……"¹⁰ この引用について Hollingshead は、コース選択についての考え方は、この話にもあるような先生方の態度にも責任があるかも知れないが、結局は第2階層の者の多くが進学コースを えらぶという事実が、進学コース偏重の考え方を作り上げるのであろうと述べている¹¹⁰。

これと同様の調査は、1951 年に Dupre が Rivertown の高校2,3年生を対象にして行っ ている。その結果は上述の Elmtown の場合とほぼ同じ傾向を示しているが、これら二つの調 査をまとめて Havighusst は 表-2 のようにあらわした¹²⁾。この表の解釈には、Lower-lower に 属する生徒の大半が、もうすでに学校をやめてしまっている事実を考慮に入れる必要がある。

		選	択コー	スの種	類	
	進学	コース	商業	コース	一般	コース
E	lmtown (%)	Rivertown (%)	Elmtown (%)	Rivertown (%)	Elmtown (%)	Rivertown (%)
Upper 及び Upper-middle…	6	13	0.3	0	3	· 1
Lower-middle	10	16	8	11	19	13
Upper-lower ······	4	10	15	11	27	14
Lower-lower ·····	0.5	7	3	2	4	2
合 計	20.5	46	26.3	24	53	30

表—2	社会階層と	選択コー	スと	の関係
-----	-------	------	----	-----

3. 社会階層と学業成績

生徒の学業成績も、その所属する社会階層とは無関係ではあり得ない。これについては、 例えば、Abrahamsonは、アメリカ東部の6つの junior ハイスクールにおける調査から表-3 のような報告をしており、これは明らかに社会階層の相違が学業成績に強い影響を及ぼしてい ることを示している¹³)。

			学業	成 績	
	1	A B	С	D	E
Upper middle	∫実際の人数13	35 208	84	17	2
Opper-inidale	し期待された人数 5	59 157	155	62	13
T	∫ 実際の人数	6 444	330	103	15
Lower-made	し期待された人数 14	15 386	382	153	32
Upper-lower	∫実際の人数 5	54 370	519	202	34
Opper-lower	し期待された人数 15	56 414	410	164	34
Lower-lower	∫実際の人数	6 42	121	99	37
	し期待された人数 4	10 107	106	42	9

表-3 社会階層と学業成績の分布状況 (その一)

この表の中,期待された人数とは,各社会階層に属する生徒の数に比例して,成績が配分 された場合に取得すると予想される人数を示したものであって,この表から明らかにされるこ とは,社会階層が上位であればある程,いい成績をとり易く,反対に,下位の社会階層の者は

アメリカにおける社会階層と教育の諸問題

悪い成績をとり易いということであ る。

Hollingshead の Elmtown の調 査でも,社会階層と学業成績との関 聯性については,同じような結果が 出されている。彼の場合は,学業成 績を100 点~85 点,84 点~70 点,

表一4 社会階	「層と学業成績	の分布状況(そ	の二)
(社会階層)	(100~85 点) (%)	(84~70 点) (%)	(69~40 点) (%)
Ι 及び Π	51,4	48.6	0.0
m	35.5	63.2	1.3
IV · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	18.4	69.2	12.4
v	8.3	66.7	25.0
合 計.	23.8%	66.3%	9.9%

69 点~50 点の三段階に分けて 表-4 のようにあらわしているが, 生徒全体の中, 100 点~85 点 をとったものが 23.8%, 84 点~70 点をとったものが 66.3%, 69 点~50 点をとったものが 9.9% という分布を示しているのに対し, これを社会階層別に見ると, 第1 階層 (Upper), 第2 階層 (Upper-middle) の者が 100 点~85 点 半分以上, 全体平均 23.8% の 2 倍以上を占め, 第5 階層 (Lower-lower) の場合は 8.3% で, 全体の 3 分の 1 にも満たないというアンバランスを生ぜし

表-5 社会階層と学科単位不合格者数

全	学生数	単位不合格者 数	不合格の割合
1 及び Ⅱ	35人	1人	2.9%
ш	146	4	2.7
IV ·····	183	18	10.0
v	26	6	23.1
合 計	390人	29人	7.4%

めている14)。

同じく Hollingshead の単位修 得不合格者数の調査では、この社会 階層によるアンバランスは更に大き い。調査の対象になった 390 名の 中、1課目又はそれ以上の課目につ いて単位取得に失敗した人数は 29

名であるが、これを社会階層別にあらわすと、表-5のようになり、下流階層に属する生徒の数が目立って多いことがわかった¹⁵⁾。

このように、社会階層によって学業成績が大きく左右されるということは、どのように考 えればよいのであろうか。前述の女子高校生の言葉のように、先生方がいい成績はみな大学進 学コースの生徒達(従って比較的上位の社会階層の者)にやってしまって、残りを他の生徒達 がもらうからだ、と言ってしまえばそれまでのことではあるが、そのような先生の依怙贔屓よ りも、実際には上位社会階層の家族の方が、学校で好成績をとり易い環境一すなわち勉学のた

めの設備や配慮,勉学の習慣,教育的意欲等で,下 位社会階層の家族より恵まれている点が多いことも 考えられる。しかしそれにもかかわらず,上位の社 会階層の生徒の学業成績が目立ってよいことは,注 目すべきことと言わなければならない。

もう一つ、この学業成績と関聯して考え得るものに補導の問題がある。 前述の Elmtown における

社会階層と補料	尊問題
(学業成績)	(素行問題)
5	2
16	4
11	28
····· 2	9
34	43
	社会階層と補 (学業成績) 5 16 11 2 34

調査では、生徒の父兄が学校に呼出されて、生徒の学業や素行について話合った回数をまとめ たものがあるが、これは社会階層別にすると、表-6のようになり、素行問題の対象となる生徒 は、下位の社会階層の者に多いことがあらわされている¹⁶⁾。学業成績は、その一面から見れば、 生徒達に対する一種の賞罰であるとも考えられないことはないから、このような表から上位の 社会階層の者は賞としていい成績をもらい、下位の社会階層の者は罰として悪い成績をもらう 傾向があるとは言えないであろうか。

4. 社会階層と知能指数

社会階層が下位になればなる程,それが就学率や学業成績の上でハンディキャップとなっ てあらわれるということは,下位の社会階層の者ほど,知能指数も低いからであると言えるで あろうか。ここでこの社会階層と知態指数との相関率についても,検討を加えてみることが必 要であると思われる。

Elmtown の高校では,新入学生507名について知能テストを行ない,表-7の結果を得た が,これは平均すると,アメリカ全国の平均知能指数よりも,かなり高いものであると言え る¹⁷⁾。この高校生達の知能指数が,120以上の区分では全国平均をやや下廻るのに対し,111 から119までの区分では2倍の高率であって,70から90までの区分に至っては全国平均の6 分の1に過ぎないということは興味ある事実であるが,この中仮りに,知能指数90以下の者が 高校卒業の能力がないと仮定すると(これはかなり厳しい仮定であると思われるが)この表で

表—7 Elmtown 高校生の知能指数と全国平均			表一8 知能指数と社会階層					
知能指数 (Elm	Elmtown		社会階層				
	生徒数	百分率	百分率	知能指数	及び [Ш	IV	v
120~139	38人	7.5%	9.0%	$120 \sim 139 \cdots \cdots \cdots$	8人	19人	11人	人0
111~119	180	35.5	16.0	111~119	15	72	82	11
91 ~ 110······	·· 269	53.0	50.0	91~110	12	59	128	70
70 ~ 90	·· 20	4.0	23.0	70~ 90·····	0	2	8	10
合 計…	507人	100.0%	98.0%	合 計	35人	152人	229人	91人

は、20人の生徒が卒業出来ないことになる。社会階層別にこの知能指数の分布状況を調べると (表-8)参照 この20人の中18人は第4階層及び第5階層の生徒達である¹⁸)。更にこの中の、第 5階層だけを例にとってみると、知能指数90以下の者は91人の中10人で、この割合は11% であるが、この11%の者が、1課目又はそれ以上の課目で単位取得に失敗する率は89%にも 上ることが明らかにされた。社会階層と知能指数との相関率は、表-8などにより、或程度は認 められ得るとしても、この相関率は、89%という失敗率を説明するのには、あまりにも低過ぎ ると言わざるを得ないのである。

就学状況や学業成績がこのように、知能指数よりも社会階層に大きく左右されるという事
アメリカにおける社会階層と教育の諸問題

社 会		階	層	高校中途退学 知能指数		高校のみ卒業 知能指数		大学入学者 知能指数		
				(11)	5以上)	(101~114)	(115以上)	(101~114)	(115以上)	(101~114)
Upper 及び	Uppe	er-mid	ldle		0	0	1	0	8	3
Lower-mid	dle ····		•••••	•••••	3	2	13	21	11	6
Upper-low	er 及び	Low	er-lower ·		9	33	24	27	10	7
合			計		12	35	38	48	29	16

表-9 知能指数100以上の者についての社会階層と教育程度

実は、例えば上に掲げた、表-9によっても理解することが出来る¹⁹⁾。

これは1952年に、Havighurst と Rodgers が Prairie 市において調査した結果であるが、 彼等は1926年と1932年に生まれた267人の中から、知能指数101以上の者だけ178人をえら び出し、その学歴の相違を明らかにした。この表では、高等学校中退者は、Upper-middle クラ ス以上の階層には1人も見られないのに対し、下流階層では42名を数え、知能指数115以上 をとってみても、9人が中途退学しているということは注目すべきことである。

Havighurst は更に,知能指数 110 以上の者だけについての 1950 年における資料を集め, 同じように学歴について 表-10 のようにまとめているが²⁰⁾,ここではアメリカの最も有能な青 少年の中,大学を卒業している者の割合は,40% に満たず,7% 程度の者は高校さえ卒業して いないことが示されている。そして又,学校教育を受ける上でのハンディキャップは,社会階 層が下位に向かう程,ここでも,大きい。

社 会	階	層	グループの 冓 成 (%)	高 校 中 退 (%)	高 校 卒 業 の み (%)	大学中退 (%)	4 年 制 大学卒業 (%)
Upper 及び U _I	per-mid	dle·····	·· 20	0	2	3	15
Lower-middle		•••••	·· 35	2	15	5	13
Upper-lower 2	支び Low	er-lower	·· 45	5	26	4	10
合		計	100	7	43	12	38

表-10 知能指数 110 以上の者についての社会階層と学歴

5. 社会階層と大学進学状況

アメリカでの社会階層と、大学入学率についての研究で最も古いものとしては、Koos, Reynolds, Potthoff のものなどがあげられるであろう²¹⁾。1920代のはじめ、Koos の場合は、 公私立の大学 27 校を、又 Reynolds は 55 の大学をえらんで、それぞれ、社会階層と入学率と の相互関係を調査しているが、いずれも下流階層に比べて上流階層の子弟の入学率の方が、圧 倒的に多いことを報告している。

Potthoff の場合はシカゴ大学1 校に限って, 1924 年 10 月の新入学生を対象とする調査を 行ない,上流階層の子弟の数は,下流階層の子弟の数の4倍以上に上ることを述べ,更にシカ

(261)

ゴ大学の学生の中約42% は、いわゆる資産階級 (proprietory class) に属しているが、シカゴ 市全体の人口から見れば、この資産階級の割合は7.8% でしかないことを明らかにしている。 職業的な背景としては、新入学生の中18.6% が専門職の家庭から来ているが、市全体の人口か ら割出した専門職のグループの占める割合は、わずか5.1% であり、これに対して、シカゴ市 民全体の16.1% が一般労働者であるのに、このグループから入学出来た学生はただ1人に過ぎ ないと言う²²⁾。

これと同様の調査で比較的新ら しいものでは、1953年にWisconsin 大学でも行なわれているが、その結 果は表-11の通りである²³⁾。この表 の最初の2行から、専門職及び管理 職に従事するWisconsinの成人男 子人口の比率は16%であるが、こ のグループの中からは、その50%

	衣 ──1	 大	・殿人の 学1年	職乗と氏 生父兄の:	戦せ, 職業	\$ ¥¥	ISCOUSII
職	業 分	類		1年 百	生父! 分	兄の 率	Wisconsin の 一般人の百分率
	門		職		19		6

專	門		職	19	6
事 務	及び	監 理	職	31	10
販	亮	業	等	9	5
書	記	職	等	4	6
農			業	13	22
サー	ビジ	ス 業	等	3	5
熱練工	及び肉	体労働	诸	21	46

が大学入学者を出していることがわかる。農家熟練工及び肉体労働者等の子弟が大学に入る率 は,前述の1924年当時のシカゴ大学入学者の場合に比べ,年代の背景を考慮に入れても数が多 いとは言えない。

この父兄の職業と入学率との相互関係は、女子学生の場合にも例外ではない。1944年から 1945年にかけて行なわれた Mueller による Indiana 大学女子学生対象の調査では、専門職を 持つ人々の割合が、Indiana 州全体の 4.7% であるのに対し、女子学生の中 17.7% がこのグル ープの家庭から入学しており、肉体労働者の家庭の女子学生は 3.4% だけで、州全体の場合の 20% に比べると目立って少ない²⁰。

更に又、この社会階層と大学入学率との関係は、1951年の Rivertown 高等学校2,3年生を 対象とする Dupre の調査によっても理解することが出来る。この調査の結果が発表された時 には、調査の対象となった高校生達は、もうすでに大学生活を2年も続けた後であったが、彼等 の学業成績その他から、卒業出来る者と出来そうもない者とを予想することは可能であった。 その結果、表-12に示されたように、大学卒業を期待し得た者はほとんど全部 Upper-middle か

	X 1	同周こパナパテキ		
社 会 階 層	高校通学時に おける学生数 (人)	大 学 進 学 希 望 者 数 (人)	大学入学者数 (人)	大 学 卒 業 見 込 者 数 (人)
Upper 及び Upper-middle	12	12	11	10
Lower-middle	35	18	13	12
Upper-lower	31	13	3	3
Lower-lower	10	5	1	0

表-12 社会階層と大学入学率

262

(262)

Lower-middleの階層の者ばかりであることが明らかになった²⁵⁾。この場合でも、調査の対象となった高校2,3年生で下流階層に属する者の中、半分以上の生徒達がすでに退学してしまっている後であることを考慮に入れれば、社会階層の大学入学率に対する影響が如何に根強いもの

であるかを改めて感じさせられるのである。

注

- 例えば上流階層で大学教育を受けていない例は珍らしくはない。大学教育に要する費用の何倍もかけて 個人的にすぐれた教師に教育を担当させることも出来るからであるし、又大学卒業の肩書如何によって 教養程度を判断されるような環境ではないか らであろう。
- 例えば Hollingshead は Elmtown の高校生 がいくつの課外活動に参加するかについて、 次のような表を発表している(右表参照)。
 A. R. Hollingshead, *Elmtown Youth*, John Wiley & Sons, Inc., 1949, p. 172.
- 3) この場合、アメリカの大学で新入学生の約半分しか卒業出来ない事実に注目せねばならない。しかも、この途中で脱落して行く者の中には、この階層の子弟が比較的多いと推定される(右表参照)。(表は Havighurst, 前掲書, p. 224 による)
- 4) 周知の如くアメリカでは州により教育制度及び義務教育年限が違う。教育制度で最も多く見られるものが6-3-3制であるが、6-6制、6-4-4制のところも珍らしくはなく、従って義務教育年限は年齢であらわす。7歳で入学して16歳まで就学しなければならないとされ

社 会	階 層	(男生徒) (7	女生徒)
Ⅰ及びⅡ…		1.8 回		3.9 回
JII		1.1		2.0
IV ······		0.8		1.0
v		0.6		0.1
全 体	平 均	1.0		1.4
		1910年	1938 年	1955 年
高 校1年	(14 歳)	310人	800人	910人
〃 3年	(16 歳)	160	580	750
〃 卒業	(18 歳)	93	450	620
大学入学		67	150	320
大学卒業	(学士号)	22	70	140
大学院卒業	(修士号)	1.5	.9	27
"	(博士号)	0.2	1.3	3.5
			(100	0人中)

して 16 歳まで就学しなければならないとされている州が最も多く, 24 州に及んでいるが,最近では, こ れが 18 歳までにのばされて行く傾向 が ある。共立講座,世界の教育 3,共立出版 K.K, 1958, p. 120。 尚教育制度については, G. W. Frasier, *An Introduction to the Study of Education*, Harper & Bros., New York, 1951, pp. 154-173 等を参照。

- 5) W. L. Warner その他, Democracy in Jonesville, Harper and Bros., New York, 1949, pp. 205-206.
- 5/ W. L. Warner et al. 同上書・武本昌三"アメリカにおける就学状況とその社会的背景"中京論叢第6巻 第3号, 1959, 第3章参照.
- 6) A. B. Hollingshead, *Elmtown's Youth*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1949, p. 330. 尚ここで Hollingshead が用いているクラス I, クラス II……等は大体 Warner 達の 5 段階の層化に相応すると思われるが, Hollingshead は彼の用いている階層概念の特徴を次のように記している。
 - クラス I. Wealthy families whose heads are business or professional leaders in the community.
 - $\not n \neq \forall \forall \forall \forall \exists$ II. College graduates in high managerial positions or in the lesser ranking professions; well to do but with no substantial wealth.
 - クラス III. Small proprietors, white-collar workers, salesmen, and "a considerable number" of skilled manual workers.
 - 27×10 . Predominantly semiskilled factory workers with no more than high school education.
 - $2 \overline{2} \times V$. Mostly semiskilled factory hands and unskilled laborers; "most adults have not

武本昌三

completed the elementary grades".

- 7) A. B. Hollingshead, 前掲書, pp. 341-342.
- 8) A. B. Hollingshead, 同上書, pp. 168-169.
- 9) A. B. Hollingshead, 同上書, p. 168.
- 10) A. B. Hollingshead, 同上書, p. 168.
- 11) A. B. Hollingshead, 同上書, p. 169.
- 12) A. B. Hollingshead, 同上書, p. 169.
- 13) 資料: Vladimir Dupre, "Social Status and Education in Rivertown." Unpublished research memorandum, Committee on Human Development, University of Chicago, 1956, pp. 233-235. 及び Hollingshead, 同上書, p. 462, 第10表 (Havighurst, *Society and Education*, Allyn & Bacon, Inc., Boston, 1957, p. 233 による).
- Stephen Abrahamson, "School Rewards and Social Class Status," *Educational Research Bulletin*, 1952, 31, 8-15, p. 237.
- 15) A. B. Hollingshead, 前掲書, p. 169.
- 16) A. B. Hollingshead, 同上書, p. 170.
- 17) A. B. Hollingshead, 同上書, p. 179.
- 18) ここで用いられた知能テストは, The Otis Group Intelligence Test, Advanced Examination; Form A である。A. B. Hollingshead, 同上書, p. 170.
- 19) A. B. Hollingshead, 同上書, pp. 170-171.
- 20) Havighurst and Rodgers, "The Role of Motivation in Attendance at Post-High-School Educational Institutions," Appendix to Who Should go to College, by Byron S. Hollingshead, Columbia University Press, 1952, p. 226.
- 21) Robert J. Havighurst & Bernice L. Neugarten, 前揭書, p. 227.
- 22) これらの人々の研究の招介については, Raymond A. Mulligan, "Social Mobility and Higher Education", Journal of Educational Sociology, 25 (April, 1952), pp. 476-487 を参照。この論文の中には, 以上のほかに, Mueller, Goetsch, Sibley, Warner 等の研究も招介されている。
- 23) R. A. Mulligan, 前掲書, p. 477. による。武本昌三, 前掲論文参照。
- 24) L. J. Lisn, "Comparison of Occupations of Fathers of University of Wisconsin Freshmen and of All Employed Men," *Student Personnel Statistics and Studies*, SPS, No. 53-2. University of Wisconsin, 1953, p. 244. この調査は 1,821 名を対象として行なわれた。
- 25) R. A. Mulligan, 前掲書, pp. 477-478. による。武本昌三, 前掲論文参照。
- 26) 資料: V. Dupre, 前掲書; Havighurst, 前掲書, p. 245, 第19表による。

結 言

教育の機会均等という理想を達成するためには,教育施設をすべて平等に且つ十分に整え るだけでは意味をなさない。教育を受けるということは,毎日規則正しく通学すること以上の 諸問題が背後に潜んでいるのであり,これを抜きにしては教育問題を正しく捉えることは出来 ないであろう。教科書,学用品,服装などのほかに,さまざまな出費が嵩むであろうし,基本 的な価値判断の相違もあって,多くの人々が学校教育により期待し得べき恩恵を享受すること もないままに,教育の場から離れ去って行く。本稿で見て来たものは,そのような,教育の歪 められた姿にほかならなず,そこでは下位の社会階層の者が例外なしに不当なハンディキャッ プを背負わされている。結局,学校とは,中流階層以上の教育機関であって,下流階層の者は

偏見を以て迎え入れられるのに過ぎないのであろうか。

今日,アメリカでは民主主義の旗の下に教育の機会均等が実現されているとは考えられな いし,又十分に理想に近づいていると言うには,未解決の問題が多過ぎる。社会階層が主とし て経済的要素により構成されているとするならば,教育の機会均等を阻む大きな障壁の一つは 疑いもなく,社会の経済構造,すなわち富の配分の不平等にある。この意味において教育の機 会均等は,教育の理想である以上に,政治の理想でなければならない。本稿は一面の教育問題 の所在を明らかにしようとすると共に,そのような教育問題を内在させている国家の政治問題 の所在を示唆することをも希求するものである。

[附 記]

本稿は、アメリカの教育を主として社会学的な種々の角度から捉えて、その全貌を浮彫に しようとする試みの一環をなすものである。

ここで用いた資料の蒐集については、1958 年から 1959 年にかけて筆者がオレゴン大学大 学院で教えを受けた Dr. Graham に負うところが少なくないが、なお不備の点は新らしい資料 を入手次第、補っていかねばならないと考えている。この中、Bergel の Social stratification は、社会階層研究の分野では、もっとも新らしい研究書の一つで、これを、発刊直後に利用出 来たことは幸であった。

なお,一般的なアメリカ教育社会学の文献については,「講座 教育社会学」第4巻(東洋 館出版社,1954年)の巻末に詳細な記載がある。

(昭和37年4月30日受理)

マルクス主義の国家および法理論研究への序説

山村恒雄

An Introductory Treatise on the Marxian Theory of Law and the State

Tsuneo Yamamura

Abstract

According to Marxism, the state is a public organization having a legal monopoly of the use of force. Such an organization is necessary to the existence of any society which is divided into classes with conflicting interests. In the early stages of socialism, the laboring classes need a state as well as their predecessors did.

Viewed in this light, the question arises as to the part the state plays in transitions from capitalism to socialism. As socialism shows its gradual development, however, all classes will disappear and with them will also disappear the need for the use of organized force in social life. Such a society will be free from the gross inequalities which inevitably characterize class system.

The socialist state will gradually wither away together with the law in a future socialist society. Such is the core of the Marxian theory of law and the state.

1. 緒 言

現在、ソ連において樹立されているマルクス主義法学は、わが国の法学にも大きな影響を 与え、その研究は急速な進展を見せていることは否定できない。しかし、わが国の法学研究に おいて最も遅れているものの一つはマルクス主義法学の部門であることは事実である。この領 域における研究は、まず国家と法に関するマルクスおよびエンゲルスの学説を体系的に把握し それがソ連においていかなる発展を示したかについて正しい認識をうることが必要である。マ ルクス主義については、その国家と法に関する理論が、最も大きな弱点とされ、首尾の一貫性 を欠くものと考えられる。特にソ連における国家および法の解釈は、明らかに、マルクスおよ びエンゲルスのそれとは、相違するところが極めて大である。したがって、国家と法に関する マルクス主義理論の起原および発展の問題について、本格的な研究が必要とされる所以が存す るのである。ここに、マルクス主義の国家および法に関すする基礎的な理論を明らかにし、特 にマルクス主義から見た国家と法の将来について総括的な考察を示すものである。

マルクス主義の国家論

マルクス主義の法理論は、本質的にその国家論と密接不可分の関連性をもっている。した がって、その国家論の理解なくしてはその法に関する一般理論の解明は到底不可能であること は論を俟たないところである。マルクス主義において比較的に国家の本質を系統的に論じてい るのは,エンゲルスの著作「家族,私有財産および国家の起原」であるが,その中で、エンゲ ルスは国家の起原とその歴史的発展について,次のように述べている。「国家は,決して外部か ら社会に押しつけられた権力ではない。同様にそれはヘーゲルの主張するような人倫的理念が 現実化したもの,理性が現象化し現実化したものでもない。それはむしろ特定の発展段階にお ける社会の一産物である。それは、この社会が自己自身との解決し難い矛盾にまきこまれ、和 解し難い、自ら駆逐しえない諸対立に分裂したことの告白である。しかしこれらの諸対立が、 即ち相対抗する経済的利害をもつ諸階級が、自己および社会を無益な闘争のうちに消耗させな いために、この衝突に水をかけ、これを秩序の枠の中に保とうとする、外見上社会の上にたつ 一つの権力が必要となった。社会から出て、しかもその上に立ち、それから益々遠ざかってゆ くこの権力が、国家である¹。」「国家は、諸階級の対立を制御する必要から生じたものである から、それは、最も勢力ある³⁾、経済的に支配する階級の国家であるのが普通である。 この階 級は、国家を使って、政治的にも支配する階級となり、こうして被圧迫階級を抑圧し搾取する ための新らしい手段を手に収める。こうして古代国家は,何よりもまず,奴隷を抑圧するため の奴隷所有者の国家であり、封建国家は、農奴および隷属農民を抑圧するための貴族の機関で あり、近代の代議制国家は、資本によって賃労働を搾取するための道具である。」

社会の階級への分化の最初の形態は奴隷制度であった。奴隷所有者と奴隷とへの分化, こ れが人間による人間の搾取の始まりであり,国家はそこから発生したのである。それ以前には 社会が階級に分裂していなかった時代が存在したものとされている。文明社会が生まれる前の 原始社会には土地共有制の共産主義が行なわれていたが,一般に,原始共産体の名をもって呼 ばれているものがこれである。その後,社会が階級に分化したとき,即ち一社会の内部におい て他人の余剰労働を搾取する一群の人間とそれを搾取される一群の人間とが分化したとき,こ の社会は階級社会を形成する。そして,この対抗的な集園が階級であり,その利害の衝突が階 級闘争である。ところで,この階級間の対立抗争はこれを放置するならば,社会は全く分裂し 遂に崩壊してしまう。それを避けるためには,搾取階級はこの衝突を抑止し,自己の地位を確 保し,一定の強制秩序において被搾取階級を抑圧する必要が生じてくるが,その必要をみたす ものが国家である。この場合,搾取階級と被搾取階級との闘争を規制し「秩序の枠の中に」保 つために打ち建てられた権力が国家に外ならないのであって,この秩序というのはいわゆる法 と考えられるが、この意味において、法は国家と本質的に結びついているのである。

(268)

マルクス主義の国家およ法理論研究への序説

要するに、マルクス主義において、国家とはある特定の階級が他の階級の搾取を維持する ための強制的な支配機構である。通常、国家とよばれるものは、権力の組織をいっている場合 と、境界と人口をもつ共同体としての国家を指している場合とがあるが、マルクス主義におい て国家というのは権力組織としての国家をいっているのであって、一つの機構概念である。こ の搾取維持のための支配機構としての国家は、階級対立の産物であり、階級対立と階級闘争の 存在するところにのみ存在するのであって、国家が存在しているということは階級対立が調和 し得られない事実を示すものである。もし階級の和解が可能であるならば、国家は形成されず 維持されることもないのである。これについて、レーニンは、「国家と革命」の中で、次のよう に表現している。「国家は、階級対立の非和解性の産物であり³⁰、その現われである。国家は階 級対立が客観的に和解させることができないところに、又その時に、その限りで、発生する。 逆にまた、国家の存在は階級対立が和解できないものであることを証明している。」

しかし、国家は社会の一定の発展段階において、避くべからざる必然性によって発生した ように、又他の一定の発展段階において、避くべからざる必然性によって死滅するところの一 つの歴史的現象であるとされる。この国家の死滅に関するマルクス主義の基本的見解は又エン ゲルスが雄弁に物語っている。「国家は永遠の昔からあるものではない。国家が⁹なくてもす んでいた社会、国家と国家権力とを予想だにもしなかった社会が、かつて存在した。社会の階 級分裂と必然的に結びついていた経済的発展の一定の段階において、この分裂によって、国家 が一つの必然なこととなったのである。われわれは今急歩調で、これら諸階級の存在が必然で あることをやめるばかりでなく、却って生産の積極的障害となるところの、生産の一発展段階 に近づいている。階級の発生が不可避的であったのと同様に、その消滅も不可避的であるだろ う。階級と共に国家は不可避的に消滅する。生産者の自由平等な結合を基礎にして生産を新ら たにする社会は、国家機構全体を、それがその時所属するであろう場所へ置きかえるのであっ て、即ち、糸車や青銅の斧と合わせて、古代の博物館へ。」

「国家は,全社会の公の代表者であり,目に見える一つの団体に全社会をまとめ上げたも⁵のであった。しかし国家がこうしたものであったのは,ただそれがその時代時代に自ら全社会 を代表した階級の国家であった限りにおいてである。即ち,古代では奴隷所有市民の,中世で は封建貴族の,現代ではブルジョアジーの国家である。それは,結局,事実上全社会の代表者 となることによって,自己自身を不用なものにする。抑圧しておかなければならない社会階級 が全くなくなるや否や,階級支配もろとも,又これまでの生産の無政府状態に根ざした個人的 生存のための闘争もろとも,これらのものから起る衝突や攪乱もまた除去されるや否や,特殊 な抑圧権力たる国家を用いて抑えつけるべきものは,何一つとして存在しなくなる。国家が実 際に全社会の代表者として登場する最初の行為一一社会の名において生産手段を掌握すること 一一それは同時に国家が国家として行なう最後の自治的行為である。社会的諸関係に対する国

(269)

家権力の干渉は一領域ごとに次第に不用なものとなり、次いでひとりでに眠りこんでしまう。 人に対する統治に代って事物の管理と生産過程の指導とが現われる。国家は廃止されるのでは ない。それは死滅するのである。」

国家は一定の領土内の人民に対してその搾取維持の目的のために強制力を振いうる組織さ れた権力であり、経済上の支配階級たる搾取階級は、この権力を掌握することによって政治上 の支配階級となる。しかし、階級社会の産物たる国家は、階級搾取の条件の変化に伴ってその 形態を変化させてゆくのである。マルクスによれば、近世の資本主義社会におけるブルジョア ジーは、人類史上の最後の搾取階級たるべきものであるが、しかし、社会発展の必然的過程に おいて滅亡すべき運命にある搾取階級である。このブルジョアジーの滅亡と共に、もはや社会 には何等の搾取関係もなく,何等の階級も存しなくなる。ここにおいて,国家はその機能を失い 自然に死滅するに至るのである。社会の発展変革の過程は、マルクスの「経済学批判」の序文 において説かれているが、いわゆる史的唯物論によれば⁶⁾、社会の物質的生産力は、その発展 の一定段階において、今迄それがその内に発展してきたところの現存の生産関係、或はその法 的表現に過ぎないところの所有関係と矛盾するに至る。これらの諸関係は生産力の発展形態か らその桎梏に変ずる。ここにおいて社会革命の時代が来る。経済的基礎の変動とともに巨大な 上層建築の全部は、徐々に或いは急激に変革する。要約していえば、社会は生産諸力と生産諸 関係との基本的な矛盾によって発展し、この矛盾は社会革命を通じて、より高い段階において 克服されるというのである。こうして、史的唯物論は、革命一般、特にプロレタリア革命の理 論となるのである。

マルクス主義において、国家は社会発展の必然的過程において死滅するというのであるが それでは、その死滅後国家に代るべきものは何かという問題が提起されるのは当然である。マ ルクスは、すでに「共産党宣言」において、この問題に対して答えているが、この重要な言明は 示唆するところ極めて深いものがあるといわなければならない。「発展の進むにつれて"階級 的差別が消滅し、すべての生産が結合された個人の手に集中されるならば、公的権力は政治的 性質を失う。本来の意味での政治権力は、他の階級を抑圧するための一階級の組織された暴力 である。プロレタリアートがブルジョアジーに対する闘争において必然的に一階級に結集され 革命によって自ら支配階級となり、そして支配階級として暴力的に旧生産関係を廃止するなら ば、この生産関係の廃止と共に、プロレタリアートは、階級対立の存立条件を、階級そのもの を、従ってまた階級としての自己の支配をも廃止する。階級と階級対立とをもった旧ブルジョ ア社会に代って、各人の自由な発展がすべての人の自由な発展の条件となるような共同社会が 現われる。」いわゆる国家死滅説の内容は上述のところによって明らかであるが、この「共産 党宣言」の中の各人の自由な発展がすべての人の自由な発展の条件となるような共同社会は、 無政府主義の理想社会と同一である。

マルクス主義の国家およ法理論研究への序説

社会の生産力は資本主義的方法で非常な発展を見るに至ったが、生産手段の私有制に基づ く資本主義の無政府的生産方法から生産手段を解放しなければ、生産力の不断の発展と、生産 そのものの無制限な増大を促進することはできない。生産手段の社会的所有は生産に対する人 為的な制限を除去するばかりでなく、資本主義の無政府的生産に代り、統一的な高度の計画経 済によって、尨大な生産力の発展をはかることが可能となるのである。この結果、完全な共産 主義社会の「能力に応じて労働し、必要に応じて消費する」という生活原則の実現もまた期待 しうることとなるであろう。マルクスとエンゲルスの文献を通して、これらの事情は、明らか に窺い知ることができる。「共産主義社会のより高い段階で⁵⁰、すなわち個人が分業のもとに奴 隷的に隷属している状態がなくなり、従って又精神労働と肉体労働との対立がなくなったとき、 又労働が単に生活のための手段ではなく、労働そのものが生活の第一の欲求となった後、個人 の全面的な発展とともに、生産力も増大して、協同組合的富のあらゆる噴泉があふれ出るよう になったのち――その時はじめて、狭いブルジョア的権利の地平線は完全に踏み越えられ、社 会はその旗の上にこう書くことができる。各人は能力に応じて、各人はその必要に応じて!」

これはマルクスのゴータ綱領の批判において述べられているところであるが、つづいて、 エンゲルスは、高度の共産主義社会への展望を次のように描いている。 生産手段が社会" によ って掌握されるとともに、商品生産が除去され、それと同時に生産物に対する生産者の支配が 除去される。社会的生産の無政府状態は,計画的,意識的な組織によって取って代られる。個 人的生存のための闘争は止む。こうして初めて人間は、ある意味で、動物界から決定的に分離 し、動物的な生存条件から真に人間的な生存条件には入り込む。今まで人間を支配して来た、 人間をとりまく生活諸条件という外囲は,今や人間の支配と統制との下には入り,人間はここ に初めて自然に対する意識的な本当の主人となる。つまり、人間が自分自身の社会化の主人と なるからであり、又そうなることによってである。彼等自身の社会的行動の法則は、これまで は、彼等を支配する見知らぬ自然法則として、彼等に対立して来たのであるが、今や人間によ って充分な専門知識によって応用され、従って彼等によって支配されるようになる。人間自身 の社会化は、今迄は、自然と歴史とによって無理じいされたものとして人間に対立してきたの であるが、今や彼等自身の自由行為となる。これまで歴史を支配してきた客観的な見知らぬ諸 力は、人間そのものの統制の下には入る。この時から初めて人間は彼等の歴史を、充分な意識 をもって自分でつくるようになる。この時から初めて、人間によって動かされる社会的諸原因 は、主として、ますます素晴らしい程度で、人間の欲するままの結果を生むことになる。これ は必然の国から自由の国への人類の飛躍である。

マルクス主義によれば、本来の国家がこのような理想社会に、いい換れば、資本主義社会 から高度の共産主義社会に、社会革命によって、直ちに達することが可能であるわけではなく、 その過渡期において更に一つの社会形態をとるというのである。これが即ちプロレタリアの独

裁であり、プロレタリアの国家である。 マルクスは、「資本主義社会と共産主義社会¹⁰)との間 には、前者の後者への革命的転化の時期が横たわっている。それに照応するもは又政治上の過 渡期であって、その国家はプロレタリアートの革命的独裁に外ならない。」と明言している。 無政府主義によれば、国家は廃止しうるものであり、且廃止しなければならないとするのであ るが、マルクス主義の説くところでは、国家は廃止しうるものではなく、又廃止してはならな いのである。プロレタリアートがブルジョアジーの支配権力を奪取した後においても、国家は 廃止されるのではなく、なお果すべき重大な任務を持つのである。その任務を果し得てのち、 初めて国家は眠り込んで、ついに枯死するに至るのである。プロレタリアによる国家権力の掌 握,即ちプロレタリア独裁の樹立は,国家そのものの消滅過程における第一歩であるというこ とができる。それでは、プロレタリアートが国家の支配権力を獲得した後において、国家は如 何なる任務を遂行しなければならぬであろうか。プロレタリアの政権掌握は、従来の搾取階級 たるブルジョアジーに代るに、それとは異質的な階級外への政権移動であるが、その目的とす るところは、搾取階級の支配的目的たる搾取の維持にあるのではなく、その廃止にあるのであ る。即ち階級対立の維持にあるのではなく、階級そのものの撤廃にある。国家はその本来の性 質たる搾取的意義を失い,他の特殊な意義が与えられるのであって,単に一階級の利益を目的 とするものではなく、階級対立のない全社会の利益をその目的とするものである。このような 目的は、社会内における階級対立が存在しては実現することができないことは勿論である。し かしながら、プロレタリアートが政権を獲得した直後においては、社会内に異質的な階級たる ブルジョアジーが依然存在し、彼等の社会を回復すべき機会を狙っているので、これらの異質 的な階級を圧迫し、その階級的存在を不可能ならしめるために、プロレタリアートはその従来 の国家を利用するのである。プロレタリアートの独裁はこのような反革命の鎮圧のために用い られる強力な強制支配であるということができる。マルクスおよびエンゲルスによれば、国家 とは階級的搾取の強制的な支配機構であるから、搾取の維持を目的としないプロレタリアート 独裁即ちプロレタリア国家においては,本来の国家の性質は失われ,そこに残るものはただ強 制的支配のみであって、レーニンがこれを半国家と名づけた所以もまた、そこにある。したが って、プロレタリア国家とは単に階級的支配の強制機構であると規定されなければならないこ とになる。

プロレタリア革命は一名社会主義革命ともいわれるように、マルクスは、共産主義社会の 最初の低段階を社会主義の段階としているが、プロレタリア独裁はこの社会主義の段階に相当 するものとされている。それでは、共産主義の第一段階である社会主義社会はいかなる特殊性 をもつ社会であるか。マルクスの指摘するところに従って、正確な理解を得ておかなければな らない。

ここで問題になるのは、それ自身の基礎の上に発展した共産主義社会ではなく、反対に¹⁰

(272)

マルクス主義の国家およ法理論研究への序説

ここでは、明らかに、商品交換が等価の交換である限り、この交換を支配するのと同じ原 則が支配している。内容と形式とは変っている。何故なら、事情が変化しているので誰も自分 の労働よりほかに与えることができないからであり、又他方では、個人的消費財の外には何も のも個人の所有には移り得ないからである。しかし、個人的消費財が個々の生産者の間に分配 されることについては、商品等価の交換のときと同じ原則が支配し、一つの形の労働が、他の 形の同量の労働と交換される。それ故、平等の権利はここでは、依然として、原則においてブ ルジョア的権利である。もっとも、ここでは原則と実際とはもはや対立することはない。しか し、商品交換の下での等価物の交換は、単に平均として存在するに過ぎず、個々の場合にとっ ては存在しないのである。このような進歩にも拘らず、この平等の権利は常にまだブルジョア 的な拘束を受けている。生産者の権利は彼の労働給付に比例する。平等は、平等な尺度即ち労 働で測定する点にある。

だがある者は、肉体的に又は精神的に他の者に優っているので、同じ時間内により多くの 労働を給付し、或はより長い時間労働することができる。そして労働が尺度となるには、それ は大きさと強度とによって規定されなければならない。そうでなければそれは尺度ではなくな る。このような平等な権利は、不平等な労働にとっては不平等な権利である。あらゆる人が他 の人と同じく労働者であるから、それは階級の差別を認めない。しかしそれは、平等でない個 人の天分と、したがって又不平等な給付能力を、自然的特権として暗黙のうちに承認してい る。だからそれは、内容からいえば、すべての権利と同じように、不平等の権利である。権利 は、その性質上、等しい尺度を使う場合にのみ成立し得る。然るに不平等な個人が――不平等 でなければ、別々の個人ではないのだが――等しい尺度で計られるのは、同一の視点の下に置 かれた時、即ちある一定の面からのみ把握された時に限る。例えばこの場合には、すべての人 は皆、労働者としてのみ観察され、彼等についてはそれ以上のことは見られず、その他のこと は一切無視される。更に又、一人の労働者は結婚しており、他の労働者は結婚していないとか、 一人の者は他の者より子供が多い、等々。そこで平等の労働を給付し、従って、社会の消費基

(273)

金に平等の持分を持っているにも拘わらず,実際には,一人の者は他の者よりも多くを受けと り一人は他の人よりも富んでいる,等々。すべてこれらの不公正を避けるためには,権利は平 等でなく不平等でなければならないであろう。

しかし,これらの不公正は資本主義社会から長い陣痛の後やっと生まれたばかりの共産主 義社会の第一段階では,避けることができない。権利は,社会の経済的構成およびこの経済的 構成によって制約される文化の発展よりも高度であることはできない。社会主義社会において は,富の差異と不公正の差別とがまだ存在する。しかし人間による人間の経済的な搾取はもは や見られない。そして消費財の分配が労働に応じて行なわれるのであって,要約すれば,社会 主義社会の生活原則は「各人は能力に応じて働き,労働に応じて受けとる」ということになる のである。共産主義の第一段階たる社会主義社会においては,いわゆる平等の権利に基づく分 配上の不平等はこれを排除することはできない。真の平等を実現しようとすれば,権利は平等 ではなく不平等でなければならないが,それは共産主義社会における極めて高度の生産力の発 展に俟たなければならないであろう。

これまで述べてきたところによって明らかなように、プロレタリア独裁即ちプロレタリア 国家は意識的に自己自身の死滅を目的とする特殊な国家であって、プロレタリアートが国家権 力を獲得し、生産の諸手段を公有に移し、一切の経済的搾取と階級対立とを撤廃することによ って、国家に国家としての終止符を打つことを本来の使命とするものである。それでは現在の ソ連邦の実情はいかに理解されるべきものであろうか。1936年に制定された現行のソ連憲法 の第4条には「ソ連邦の経済的基礎をなすものは資本主義経済制度の清算、生産用具及び生産 手段の私有廃止並びに人による人の搾取廃絶の結果確立した社会主義経済制度並びに生産用具 及び生産手段の社会主義的所有である。」と規定されている。この規定はソ連邦の経済的基礎 が、既に建設され、確立した社会主義制度であって、将来の目標を示す趣旨のものではないこ とは明らかである。社会主義社会を建設したソヴェト国民は、今や、社会主義が共産主義に成 長転化する歴史的発展の新らたなる時期には入っているのである。

しかし、この社会主義国家が死滅してしまうという兆候など少しもないことは疑いの余地 はない。1933年、スターリンはソ連共産党の中央委員会と中央統制委員会との合同総会におい て、次のように述べている。「国家の死滅は、国家権力の弱化によってではなく、その最大限の¹³ 強化によって達せられるであろう。この強化は、死滅しつつある階級の残存物を徹底的に粉砕 するために、又、まだ決して絶滅されていないし、まだ急には絶滅されはしない資本主義的包 囲に対する防衛を組織するために、必要なのである。」

この言明は,資本主義的包囲が解放され,社会主義的包囲が実現されるまでは,たとえ, 共産主義を実現し得ても,依然として, 国家はソ連邦において保持されることを意味するもの に外ならない。これこそは,マルクス主義の国家理論に対し,重大な疑問を投げかけるものと

(274)

いわなければならないのである。

3. マルクス主義の法理論

エンゲルスによれば、国家は特定の発展段階における社会の産物であり、搾取階級と被搾 取階級との闘争を規制し「秩序の枠の中に」保つために打ちたてられた権力であることは既に 述べたところである。この秩序は法を意味するものであって、法と国家とは本質的に密接不可 分の関係にあることは明らかである。国家は、外見上、社会の上に超越し、階級の衝突を抑制 して秩序の限界内に保つことを合法化する権力であるとされるのである。しかし、マルクス主 義において、国家は一階級による他階級の搾取を維持するための強制的な支配機構と見る以上 秩序は常に一階級による他階級の抑圧によって保たれていると説くのである。国家は、その法 とともに、搾取階級の道具であり、搾取階級は国家およびその法を通じて政治上支配的な階級 となるわけである。国家の観念は一般的意思を代表する。そしてこの前提から、各人がこれに 服従せねばならぬところの、法律を制定する機能が生ずる。しかしこの一般的意思の内容を決 定するものは、万人ではなく、社会内における支配階級である。それで法は正に、一般的意思 において書かれた支配階級の特殊的意思に過ぎないとも考えられるのである。

史的唯物論によれば、社会の基礎をなすものは経済であって、社会、政治、法律などの諸 制度,又は哲学,文学,宗教などの観念上もしくは思想上のものは,その社会における生産諸関 係によって規定されるというのである。従って、マルクス主義においては、経済的諸条件と国 家および法との間の依存関係を重視し、これを主眼とする基本的立場をとるのであるが、この 依存関係は、マルクス主義の国家論は勿論、法理論にとって極めて重要な意義をもつものであ る。マルクスはその著作「経済学批判」の序文において次のように記述している。「人間は, 彼等の生活の社会的生産において、一定の、必然的な、彼等13の意志から独立した諸関係を、 即ち彼等の物質的生産諸力の一定の発展段階に照応する生産諸関係を受容する。これらの生産 諸関係の総体は、社会の経済的構造を、即ち、その上に一つの法律的および政治的な上部構造 がそびえ立ち、そしてそれに一定の社会的意識諸形態が照応する現実的な土台を形成する。物 質的生活の生産様式は、社会的・政治的・精神的な生活過程一般を制約する。人間の意識が彼 等の存在を規定するのではなくて,逆に,彼等の社会的存在が彼等の意識を規定するのであ る。」この中で法律的および政治的な上部構造とは法および国家を指すものと理解されるが、 マルクスは、上部構造はこれを人間が社会的現実を意識する場合のイデオロギー的形態を意味 するものと説くのである。次に注意すべき点は、物質的生活の生産様式が、精神的ばかりでは なく、更に社会的および政治的生活過程をも制約し、規定するのに反し、人間の社会的存在が 彼等の意識即ち精神的生活過程のみを規定するとして、社会的および政治的生活過程は人間の 社会的存在の一部と考えられているということである。これは法および国家という社会現象

(275)

山村恒雄

が,社会的現実として社会の下部構造に属するか,又はイデオロギー的形態としてその上部構 造に属するか,という問題を提起することになる。言い換えれば,法および国家という同じ対 象が,あるときは下部構造即ち社会の現実的土台の要素として,又他のときはイデオロギー的 上部構造として表明されることになり,マルクスのイデオロギー論が曖昧である事実を証明す るに充分である。マルクス主義において,国家および法の理論が明確を欠き,曖昧なものとな る根本的な原因はここにそれを見出すことができるのである。

国家理論において既に述べたところであるが、マルクスは、その「経済学批判」の序文の 中で、社会の物質的生産力は、その発展の一定段階において、今までそれがその内に発展して きたところの現存の生産関係、或いはその法的表現に過ぎないところの所有関係と矛盾するに 至ることを説いている。この場合、所有関係は現存の生産関係の法的表現であることから推論 すれば、所有関係即ち財産関係は法関係であり、法関係は、社会的イデオロギーに対する社会 的現実としての生産関係即ち経済関係と同一視される結果となるわけである。マルクス主義法 学者の中には、法関係と経済関係との同一視に基づいて、法を、規範の体系としてではなく、 経済関係の総体として認識し、マルクスの法解釈と完全に一致するものと説く者が現われてく る理由が存するのである。このようなマルクスの立場からは、主権者が経済的条件のために法 をつくるという主張はこれを排斥する傾向となるものと見なければならない。

つづいて論点を共産主義の第一段階即ち社会主義社会の法理論に移すならば、又マルクス のゴータ綱領の批判を採りあげなければならない。ここで問題となるのは資本主義社会から生 まれたばかりの共産主義社会のことであって、この共産主義社会は、あらゆる点で、経済的に も道徳的にも精神的にも、それが生まれでた母胎たる旧社会の母斑をまだつけている。マルク スの比喩的表現で旧社会の母斑とされるものは、勿論資本主義的要素の残存を意味するもので あるが、社会主義社会においては、なおまだ経済的に、資本主義社会の等価交換の原則が支配 し、平等の権利は依然として、原則においてブルジョア的権利である。ブルジョア的権利はブ ルジョア的法と解釈され得るものであって、社会主義法は同化され適応せしめられたブルジョ ア法として解釈することはマルクスの説と合致するものであることは疑いの余地がない。

しかし、今日、ソ連の代表的な学説は、共産主義の第一段階における法はまだ不平等の法 であるので、なおブルジョア法の性格をもつというマルクスの主張を否認し、更に進んで、法 の経済的解釈をすら排除するに至っている。純粋法学の創唱者ケルゼンは、その理由を指摘し て、次のように述べている。「社会主義経済体制が建設され、ソヴェト国家が¹⁴⁾その強力な保 証人として確立された以後においては、ソヴェト政府は、再び政治的理由から、ソヴェト国家 の権威を承認する法理論に強い関心を抱くに至った。換言すれば、ソヴェト国家の法をブルジ ョア法の単なる残存物としてではなくて、特別に社会主義的な法として考え、その規範的性格 即ちその拘束力を承認する法理論が強い関心の対象となった。」

マルクス主義においては、本質的に国家と法とは相互に不可分に関連しているので、国家 の死滅とともに法もまた死滅する運命にあるものと認めているのである。社会主義的規範秩序 としてのソヴェト法も、完全な共産主義社会の段階に至って死滅するのであろうが、訓練によ って人間の性質が根本的に改善され、強制の必要なしに社会秩序に必要な規則に従うまでは、 到底起り得ないものと考えられる。スターリンの言明する如く、資本主義的包囲の存する限 り、第二段階の共産主義社会を実現し得ても、ソ連において国家と法の死滅を期待することは 不可能であろう。

4. 結 言

マルクス主義の国家および法理論の核心をなすものは、強制秩序としての国家は、資本主 義的な搾取の維持のためにのみ必要なもので、階級対立と経済的搾取の撤廃された社会主義が 実現されたときは、必然的に消滅するという社会理論である。マルクスとエンゲルスは、強制 秩序の消滅は、同一の国家の中で、社会主義が実現されれば無条件的に起るものと予言したが ソ連の現実は予言通りにはならなかった。国家と同じく、法もまた、資本主義の包囲の絶滅と 共に、共産主義の最高段階においてはじめて死滅するであろうと主張するが、これは、全く、 マルクスおよびエンゲルスの展開した理論の根本的変革である。

法の一般理論においても,法の経済的解釈を基礎とするマルクス的法理論は,法の規範的 意味を把握することができないという理由で否認せられるに至った。現在,ソ連における支配 的な社会主義法の定義は次のようなものである。

ソヴェト社会主義法は、ソヴェト社会主義国家によって制定或いは裁可され、ソヴェト人 民¹⁵⁾の意思を表現し、その適用がソヴェト社会主義国家の強制力によって保障され、労働 者階級および全勤労者にとって有利にして有益な諸関係および諸秩序の防衛、強化および 発展、ならびに経済、生活様式、人々の意識における資本主義の残滓の完全にして終局的 な根絶、そして共産主義社会の建設という目的に奉仕する行為諸規則(諸規範)の総体であ る。

社会主義法を全人民の意思の表現とするこの定義は、本質的に法を階級法とするマルクスおよびエンゲルスの説とはまさに正反対のものである。

(昭和 37 年 4 月 30 日受理)

文 献

- マルクス・エンゲルス選集,第13巻,家族・私有財産および国家の起原,エンゲルス,p.473 (大月書 店版).
- 2) 前掲選集, 第13巻, 家族・私有財産および国家の起原, エンゲルス, p. 476.
- 3) レーニン全集, 第25巻, 国家と革命, レーニン, p. 417 (大月書店版).
- 4) 前掲選集, 第13巻, 家族・私有財産および国家の起原, エンゲルス, p. 478.

山村恒雄

- 5) 前掲選集, 第14巻, 反デューリング論, エンゲルス, p. 473.
- 6) 前掲選集, 補巻3, 経済学批判, マルクス, p. 3.
- 7) 前掲選集, 第2巻, 共産党宣言, マルクス・エンゲルス, p. 514.
- 8) 前掲選集, 第12巻, ドイツ労働者党綱領評註, マルクス, p. 241.
- 9) 前掲選集, 第14巻, 反デューリング論, エンゲルス, p. 477.
- 10) 前掲選集, 第12巻, ドイツ労働者党綱領評註, マルクス, p. 254.
- 11) 前掲選集, 第12巻, ドイツ労働者党綱領評註, マルクス, p. 241.
- 12) スターリン全集,第13巻,ソ同盟共産党中央委員会・中央統制委員会合同総会での報告,スターリン,
 p. 234 (大月書店版).
- 13) 前掲選集, 補巻3, 経済学批判, マルクス, p. 3.
- 14) H. Kelsen, The communist theory of law, 1955, 邦訳, マルクス主義法理論, p. 165 (ミネルヴァ書 房版).
- 15) ソ同盟科学アカデミイ法研究所,国家と法の理論,上巻, p. 194 (巖松堂版).

On Normed Spaces and Modulared Semi-ordered Linear Spaces

Kôji Honda*

Abstract

To investigate the problems as to what normed spaces become modulared semi-ordered linear spaces, the present writer defines, as his first attempt, the constant modular of which the topology is equivalent to the norm topology in the original normed space R by the family of some operators in R.

§1. Intoduction. The theory of modulared semi-ordered linear spaces have been discussed by H. Nakano^{**}, as the abstract theory of a function spaces including Orlicz spaces⁶⁾ and L_p -spaces, and also discussed by many others. The spaces are condisered as normed spaces, but it is not always true that normed spaces are modulared spaces. Accordingly, we have the problems as to what normed spaces become modulared spaces.

In this paper, to prove the above-mentioned problem we will consider the family of some operators, acting in the normed space \mathbf{R} with a complete element, by which it becomes modulared space conforming to Orlicz space which is topologically equivalent to the original space.

From this point of view, the preliminaries and definitions shall be described in § 2. In § 3 we will give the family \mathfrak{F} of the operators which answer our purpose, and investigate its properties. In § 4 we will construct the modular of which the topology is equivalent to the original topology in the space. In § 5 we will give the example of the space which has the family \mathfrak{F} .

Most of the same notations and terminologies as those in [MSLS] are used in this paper.

In conclusion, the present writer wishes to express his sincere thanks to Prof. S. Yamamuro for his kindly encouragement and advice.

§ 2. Preliminaries and definitions. Let \mathbf{R} be universally continuous semiordered linear spaces, namely conditionally complete vector lattices in the sense of G. Birkhoff², which have a complete element^{*} s.

Many important results on R, especially the spectral theory, are discussed by H. Nakano^{3),4)}.

In the sequel, this book is written by the symbol [MSLS]. *** $s \frown x \neq 0$ if $0 \leq x \in \mathbf{R}$.

^{*} 本田孝二

^{**} Modulared semi-ordered linear spaces⁴⁾, (Tokyo, 1950).

First, preparatory to the next discussion, we will restate some definitions and results in [MSLS].

For a subset M of \mathbf{R} , the set

$$M^{\perp} = \{x; |x| \frown |y| = 0^* \text{ for all } y \in M\}$$

is called the orthogonal complement of M.

Theorem 1. For any subset M of \mathbf{R} , we have the following property: for any $a \in \mathbf{R}$, there exist x and y uniquely such that

a = x + y, $x \in M^{\perp \perp}$ and $y \in M^{\perp}$

proof. Cf. Th. 4.10, 4.3 and 4.4 in [MSLS]. For any subset N, we define a *projection operator* [N] by

[N]a = x, a = x + y, $x \in N^{\perp \perp}$ and $y \in N^{\perp}$ for all $a \in \mathbf{R}$.

In particular, when N consists of only an element p, [p] is called a *projector*. A set \mathfrak{p} of projectors is called an *ideal*, if

1)	p∋0,		
2)	$\mathfrak{p} \ni [p] \leq [q]$	implies	$\mathfrak{p} i [q]$,
3)	$\mathfrak{p} \ni [p], [q]$	implies	$\mathfrak{p} \ni [p][q]$.

An ideal \mathfrak{p} is said to be *maximal*, if every ideal containing \mathfrak{p} coincides with \mathfrak{p} . The set \mathfrak{E} of all maximal ideals becomes a compact Hausdorff space with the neighborhood system $\{U_{[p]}\}$ defining by $U_{[p]} = \{\mathfrak{p}; [p] \ni \mathfrak{p} \ni \mathfrak{E}\}$, and each $U_{[p]}$ is open and closed.

For a set N in \mathbf{R} , we put

$$U_{[N]} = \sum_{x \in N \perp \perp} U_{[x]}$$

Then we have

Theorem 2. $U_{[N]}$ is also open and closed.

proof. Cf. Th. 8.11 in [MSLS].

For any elements a and b, we define the so-called *relative spectra*^{10),11)}

$$\left(\frac{b}{a}, \mathfrak{p}\right) = \begin{cases} \lambda & \text{if } \mathfrak{p} \in \prod_{s>0} \left(A_{\lambda+s} - A_{\lambda-s}\right) \\ +\infty & \text{if } \mathfrak{p} \in \prod_{-\infty < \lambda < +\infty} \left(U_{[a]} - A_{\lambda}\right) \\ -\infty & \text{if } \mathfrak{p} \in \sum_{-\infty < \lambda < +\infty} A_{\lambda} \end{cases}$$

where

$$A_{\lambda} = U_{[\lambda a - b)^+][a^+]} + U_{[\lambda a - b)^-][a^-]} \qquad (-\infty < \lambda < +\infty).$$

Then the following properties become known well.

* $x^+ = x - 0$, $x^- = (-x) - 0$ and $|x| = x^+ + x^-$.

** $U_{[s]}$ for a complete element $s \in \mathbf{R}$ coincides with \mathfrak{G} .

On Normed Spaces and Modulared Semi-ordered Linear Spaces

Theorem 3. $\left(\frac{b}{a}, \mathfrak{p}\right)$ is almost finite in $U_{[a]}$ and continuous in the extended sense^{*}. Moreover, we have the following relations:

$$\left(\frac{\alpha x + \beta y}{a}, \mathfrak{p}\right) = \alpha \left(\frac{x}{a}, \mathfrak{p}\right) + \beta \left(\frac{y}{a}, \mathfrak{p}\right),$$
$$\left(\frac{x - y}{a}, \mathfrak{p}\right) = \operatorname{Max}\left\{\left(\frac{x}{a}, \mathfrak{p}\right), \left(\frac{y}{a}, \mathfrak{p}\right)\right\},$$
$$\left(\frac{x - y}{a}, \mathfrak{p}\right) = \operatorname{Min}\left\{\left(\frac{x}{a}, \mathfrak{p}\right), \left(\frac{y}{a}, \mathfrak{p}\right)\right\}.$$

if those on the right hand have sense, and

$$[p]x \leq [p]y, \text{ if } \left(\frac{x}{a}, \mathfrak{p}\right) \leq \left(\frac{y}{a}, \mathfrak{p}\right) \text{ for all } \mathfrak{p} \in U_{[p]} \leq U_{[a]}.$$

For any almost finite and continuous function $\varphi(\mathfrak{p})$ on $U_{\mathbb{I}N\mathbb{I}}$, we can find a sequence of projectors $[p_n]_{n=1}^{\infty}[N]$ such that $\varphi(\mathfrak{p})$ is bounded on each $U_{\mathbb{I}p_n\mathbb{I}}$ since \mathbf{R} has the complete element s.

The integral

 $\int_{[p_n]} \varphi(\mathfrak{p}) d\mathfrak{p}s$

is defined by the limit of the following partial sums:

$$\sum_{i=1}^{\kappa} \varphi(\mathfrak{p}_i) [p_{n,i}] s$$

where $\mathfrak{p}_i \in U_{[p_n,i]}$, $\sum_{i=1}^{s} U_{[p_n,i]} = U_{[p_n]}$ and $|\varphi(\mathfrak{p}) - \varphi(\mathfrak{p}')| < \varepsilon$ for \mathfrak{p} , $\mathfrak{p}' \in U_{[p_i,n]}$. If

$$\lim \int_{[p_n]} \varphi(\mathfrak{p}) d\mathfrak{p} s$$

exists, the limit is denoted by

$$\int_{[N]} \varphi(\mathfrak{p}) d\mathfrak{p} s$$
.

Furthermore the following relation:

 $x = \int_{[a]} \varphi(\mathfrak{p}) d\mathfrak{p} a$ is equivalent to $\varphi(\mathfrak{p}) = \left(\frac{x}{a}, \mathfrak{p}\right)$ on $U_{[a]}$, is known in [MSLS].

R is said to be a *modulared space*, if it has a functional on m(x) (called a modular) satisfying the following conditions:

- M 1) $0 \leq m(x) \leq +\infty$ $(x \in \mathbb{R})$,
- M 2) if $m(\xi x) = 0$ for all $\xi \ge 0$, then x = 0,
- M 3) for any $x \in \mathbf{R}$ there exists $\alpha > 0$ such that $m(\alpha x) < +\infty$,

^{*} $\varphi(\mathfrak{p})$ is said to be almost finite, if $\varphi(\mathfrak{p})$ is finite on some dense set D in $U_{[a]}$. Moreover, $\varphi(\mathfrak{p})$ is said to be continuous in the extended sense, if $\varphi(\mathfrak{p})$ is continuous in D.

- M 4) $m(\xi x)$ is a convex function of $\xi \ge 0$,
- M 5) $|x| \leq |y|$ implies $m(x) \leq m(y)$,
- M 6) $x \frown y = 0$ implies m(x+y) = m(x) + m(y),
- M 7) $0 \leq x_{\lambda} \uparrow_{\lambda \in A} x$ implies $m(x) = \sup_{u \in A} m(x_{\lambda})$

The modulared space is a *normed space*, namely, we can define two kinds of functionals :

the first norm $\|x\|_1 = \inf_{\xi>0} \frac{1+m(\xi x)}{\xi}$ and the second norm $\|x\|_2 = \inf_{m(\xi x) \le 1} \frac{1}{|\xi|}$

which satisfy the relations $||x||_2 \leq ||x||_1 \leq 2||x||_2$ $(x \in R)$ and the norm conditions

- N 1) $0 \le ||x||_i < +\infty$,
- N 2) $||x||_i = 0$ if and only if x = 0,
- N 3) $\|\alpha x\|_i = |\alpha| \|x\|_i$ for a real number α ,
- N 4) $||x+y||_{i} \leq ||x||_{i} + ||y||_{i}$,
- N 5) $|x| \leq |y|$ implies $||x||_i \leq ||y||_i$.

A normed space \mathbf{R} is called a *continuous normed space*, if it has a continuous norm, i.e., $x_n \bigvee_{n=1}^{\infty} 0$ implies $\lim_{n \to \infty} ||x_n|| = 0$.

R is said to be *regular*, if it has a complete linear functional $\phi \in \mathbf{R}$ (conjugate space* of \mathbf{R}), i.e., $\phi(x)=0$ implies x=0 ($x \in \mathbf{R}$).

Theorem 4. If a continuous normed space \mathbf{R} is semi-regular,^{**} then it is superuniversally continuous.

Proof. Cf. Th. 30. 7 in [MSLS].

In the sequel, let \mathbf{R} be a continuous normed space with a norm $\|\cdot\|$, and be regular.

Let $f(\xi) \ge 0$ be non-decreasing and continuous in $\xi \ge 0$ with f(0)=0, and U be a complete system of enumerable number of orthogonal elements of \mathbf{R} , i.e., for any $0 \le x \in \mathbf{R}$ there exists a $u \ni U$ such that $u \frown x \ne 0$.

R is called the O_* -space, if there exists a family \mathfrak{H} of operators, H_J acting from U into $\mathbb{R}^+ = \{x; 0 \leq x \in \mathbb{R}\}$, which satisfy the following conditions:

(I) for some fixed constants $0 < A \leq 1 \leq B$, if

^{*} A conjugate space \overline{R} of R is a set of universally continuous linear functionals \overline{x} for which $\inf_{x \in A} |\overline{x}(x_{\lambda})| = 0$ if $x_{\lambda}|_{\lambda \in A} 0$.

^{**} **R** is said to be *semi-regular*, if, for any $p \in \mathbf{R}$, $\bar{a}(p)=0$ for all $\bar{a} \in \mathbf{R}$ implies p=0. Also **R** is said to be *superuniversally continuous*, if, for any orthogonal system $0 \le a_{\lambda}$ ($\lambda \in A$) and for any $p \ge 0$, such relations as $a_{\lambda} \frown p=0$ are obtained except for at most enumerable λ .

On Normed Spaces and Modulared Semi-ordered Linear Spaces

$$c = \sum_{\nu=1}^{m} \sum_{k=1}^{n_{\nu}} \alpha_{\nu,k} [N_{\nu,k}] u_{\nu} \text{ where } \alpha_{\nu,k} > 0, \ [N_{\nu,k}] [N_{\nu,j}]^* = 0 \ (k \neq j) \text{ and } \|c\| = 1, \text{ then}$$

we have

$$0 \leq H_J u_{\nu} \in B_{u_{\nu}}^{**} \qquad \text{where} \qquad J = \{u_1, u_2, \cdots, u_m\} \quad (u_{\nu} \in U)$$

and

$$A \leq \sum_{\nu=1}^{m} \sum_{k=1}^{n_{\nu}} \alpha_{\nu,k} f(\alpha_{\nu,k}) \phi([N_{\nu,k}] H_{\mathcal{J}} u_{\nu}) \leq B,$$

(II) for
$$H_{J_1}$$
, $H_{J_2} \in \mathfrak{H}$ there exists a $H_{J_2} \in \mathfrak{H}$ such that

$$H_{J_1}u \smile H_{J_2}u \leq H_{J_3}u \qquad for \quad u \in U,$$

where J_i (i=1,2) are finite subsets of U and $J_3 = J_1 + J_2$.

§3. The family \Im of the operators in R.

In this section, we will deal with the family \mathfrak{F} of the operators which are constructed by H_J in §2.

For each finite subset $J = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ of U, we put

$$\mathfrak{D}(S) = \{x : |x| \frown u_{\nu} = 0 \text{ for all } \nu = 1, 2, \dots, m\} \\ + \left\{ \sum_{\nu=1}^{m} \sum_{i=1}^{n_{\nu}} \beta_{\nu,i} [P_{\nu,i}] u_{\nu}; n_{\nu}, \beta_{\nu,i} \text{ and } [P_{\nu,i}] \text{ are any} \right\}$$

Then, we will make the operator S on $\mathfrak{D}(S)$ in the following manner:

(1) for
$$y = \sum_{\nu=1}^{m} \sum_{\ell=1}^{k_{\nu}} \alpha_{\nu,\ell} [N_{\nu,\ell}] u_{\nu}$$
,
 $Sy = \sum_{\nu=1}^{m} \sum_{\ell=1}^{k_{\nu}} (\pm 1) f(|\beta_{\nu,\ell}|) \int_{[N_{\nu,\ell}]} \left(\frac{H_{j}u_{\nu}}{u_{\nu}}, \mathfrak{p}\right) d\mathfrak{p}s$

where the sign \pm coincides with the sign of $\beta_{\nu,i}$,

(2)
$$S(-y) = -Sy$$
 for $y \in \mathfrak{D}(S)$,

(3)
$$Sx = 0, if |x| \frown u_{\nu} = 0$$
 for all $\nu = 1, 2, \dots, m$.

We will denote by \mathfrak{F} the family of such operators S corresponding to every element of \mathfrak{H} .

Here after, we will give the properties of \mathfrak{F} .

[1]. For any $S \in \mathfrak{F}$, $\mathfrak{D}(S)$ is dense in \mathbb{R} with respect to the order topology. proof. First, for fixed $u \in U$, we will show that if $0 \leq a \in Bu$, i.e., $0 \leq a \leq Ku$ for some constant K, then there exists a sequence $\{x_n\}$ such that $0 \leq x_n \uparrow_{n=1}^{\infty} a$. putting

^{*} $[N_{\nu,k}]$ are projection operators.

^{**} $B_{u_{\nu}} = \{x; |x| \leq \alpha_{x}u_{\nu} \text{ for some } \alpha_{x} > 0\}$ is called the *relative segment* of u_{ν} .

 $U_{[N_i^{(n)}]} = \left\{ \mathfrak{p} \; ; \; \frac{i-1}{n} K < \left(\frac{a}{u} \; , \; \mathfrak{p}\right) < \frac{i}{n} K \right\}^{-*},$

we have

 $\sum_{i=1}^{n} [N_i^{(n)}] \uparrow_{n=1}^{\infty} [u]$

(cf. §8 in [MSLS]).

Now, we put

(#)

$$x_n = \sum_{i=1}^n \frac{i-1}{n} K[N_i^{(n)}] u \, .$$

Then we have, from (\ddagger) ,

$$\lim_{n \to \infty} \left(\frac{x_n}{u}, \ \mathfrak{p}\right) = \sup_{n=1} \left(\frac{x_n}{u}, \ \mathfrak{p}\right) = \left(\frac{a}{u}, \ \mathfrak{p}\right)$$

for some σ -open dense set in $U_{[u]}$.

Furthermore we can find x such that $x_n \uparrow_{n=1}^{\infty} x_0$, because $0 \leq x_n \leq a$ by Theorem 3.

On the other hand, since \mathbf{R} is totally continuous^{**} by Theorem 4, we have

$$\lim_{n\to\infty} \left(\frac{x_n}{u}, \ \mathfrak{p}\right) = \left(\frac{x_0}{u}, \ \mathfrak{p}\right)$$

for some σ -open dense set in $U_{[u]}$. (cf. Th. 16.7 in [MSLS])

Thus we have

$$\left(\frac{a}{u}, \mathfrak{p}\right) = \left(\frac{x_0}{u}, \mathfrak{p}\right)$$
 for some σ -open dense set in $U_{[u]}$.

Therefore, by Theorem 3, we have $x_0 = a$ and hence $x_n \uparrow_{n=1}^{\infty} a$. Next for any $u \in [u] \mathbf{R}^+ = \{[u] : x \in \mathbf{R}\}$ putting

Next, for any $y \in [u] \mathbf{R}^+ = \{[u] x; x \in \mathbf{R}_+\}$, putting

$$U_{[N_j]} = \left\{ \mathfrak{p} \; ; \; \left(\frac{y}{u}, \; \mathfrak{p} \right) < j \right\}^-,$$

we have

$$\lim_{j \to \infty} y_j = y \quad \text{where} \quad y_j = \int_{[N^\ell]} \left(\frac{y}{u}, \ \mathfrak{p} \right) d\mathfrak{p} u \in B_u \frown \mathbf{R}^+ \,.$$

Finally, when S corresponds to $H_J \in \mathfrak{H}$ where $J = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$, $[J] \mathbb{R}^+ \ni x$ is uniquely expressed by the form : $x = \sum_{\nu=1}^m x_{\nu}$ where $x_{\nu} \in [u_{\nu}] \mathbb{R}^+$

* M^- means a ordered-closure of a set M.

The existence of a projection operator [N] satisfying $U_{[N]} = \left\{\mathfrak{p}; \alpha < \left(\frac{a}{u}, \mathfrak{p}\right) < \beta\right\}^{-}$ has been shown by Th. 11.6 in [MSLS].

(284)

^{**} **R** is said to be *totally continuous*, if for any double sequence of projectors $[p_{\nu,\mu}]^{\dagger}_{\mu=1}[p]$ ($\nu=1,2,\cdots$) there exist sequences $[p_{\rho}]^{\dagger}_{\rho=1}[p]$ and $\mu_{\nu,\rho}$ ($\nu=1,2,\cdots$) such that $[p_{\rho}] \leq [p_{\nu}, \mu_{\nu,\rho}]$ ($\nu, \rho=1,2,\cdots$). If **R** is superuniversally continuous, then it is also totally continuous. (cf. Th. 30.11 in [MSLS])

On Normed Spaces and Modulared Semi-ordered Linear Spaces

Therefore, the positive part of $\mathfrak{D}(S)$ is dense in \mathbb{R}^+ and consequently by (2), the proof is completed.

[2]. For any $S \in \mathfrak{F}$, we have the properties:

- (i) $D(S) \ni x, y$ implies $x \smile y \in \mathfrak{D}(S)$,
- (ii) $0 \leq x \leq y \in \mathfrak{D}(S)$ implies $0 \leq Sx \leq Sy$.

Proof. (i) is easily seen. To show (ii), expressed

$$x = \sum_{\nu=1}^{m} \sum_{k=1}^{n_{\nu}} \alpha_{\nu,k} [N_{\nu,k}] u_{\nu} \qquad (\alpha_{\nu,k} \ge 0)$$

and

$$y = \sum_{\nu=1}^{m} \sum_{k=1}^{n_{\nu}} \beta_{\nu,k} [N_{\nu,k}] u_{\nu} \qquad (\beta_{\nu,k} \ge 0) ,$$

we have $\alpha_{\nu,k} \leq \beta_{\nu,k}$ and hence the required relation is obtained from the fact that $f(\xi)$ is non-decreasing.

[3]. For any $S \in \mathfrak{F}$, we have

$$S[N]x = [N]Sx, Sx \in B_s and Sx = Sx^+ - Sx^-$$

for all $x \in \mathfrak{D}(S)$ and all projection operators [N].

Proof. Let S be an element of \mathfrak{F} , corresponding to H_J where $T = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$, and x be expressed with the form:

$$x = \sum_{\nu=1}^{m} \sum_{i=1}^{n_{
u}} lpha_{
u,i} [N_{
u,i}] u_{
u}$$

Then, by (I), there exists a number γ such that

 $H_{\mathcal{J}}u_{\nu} \leq \gamma u_{\nu}$ for all $\nu = 1, 2, \dots, m$.

Therefore, from the definition of the relative spectra, we have

$$|Sx| \leq \gamma_1 s$$
 where $\gamma_1 = Max \{\gamma, f(|\alpha_{\nu,i}|)\}$

Other relations are obvious from the definition of S.

[4]. For any $S \in \mathfrak{F}$, we have

$$SO = 0$$
 and $S(a \simeq b) = Sa \simeq Sb$.

Furthermore, $|a| \frown |b| = 0$ $(a, b \in \mathfrak{D}(S))$ implies

$$|Sa| \cap |Sb| = 0$$
 and hence $S(a+b) = Sa+Sb$.

Proof. SO = 0 is obvious. Putting $p = (a-b)^+$, we have

$$[p](a \smile b) = [p]a \smile [p]b = [p]a$$
 and $(1-[p])(a \smile b) = (1-[p])b$

and hence

$$S(a \smile b) = [p]Sa + (1 - [p])Sb.$$

On the other hand, we have

$$[p](Sa \smile Sb) = [p]Sa \text{ and } (1-[p])(Sa \smile Sb) = (1-[p])Sb.$$

Therefore we have $S(a \smile b) = Sa \smile Sb$.

The relation : $S(a \frown b) = Sa \frown Sb$ is proved similarly.

[5]. For any $S \in \mathfrak{F}$, a_{λ} , $a \in \mathfrak{D}(S)$ and

 $0 \leq a_{\lambda} \uparrow_{\lambda \in A} a \quad implies \quad \sup_{\lambda \in A} Sa_{\lambda} = Sa$.

By Theorem 4, there exists a sequence $\{a_i\}$ such that Proof.

 $0 \leq a_i \bigwedge_{i=1}^{\infty} \alpha$.

From the monotony of S, it is enough to show

$$\sup_{i \ge 1} Sa_i = Sa$$

Let $J = \{u_1, u_2, \dots, u_{n_0}\}$ be a finite set of U corresponding to S. We put, on account of $0 \leq a_i$, $a \in \mathfrak{D}(S)$,

$$a = \sum_{\nu=1}^{n_0} \sum_{k=1}^{n_{\nu}} \alpha_{\nu,k} [N_{\nu,k}] u_{\nu}, \quad [N_{\nu,k}] a_i = b_i, \quad [N_{\nu,k}] a = b$$

and

$$b_{i+1} = \sum_{\lambda=1}^{l_{i+1}} \beta_{i+1,\lambda} [P_{i+1,\lambda}] u_{\nu} + \sum_{\lambda=l_{i+1}+1}^{l_{i+2}} \beta_{i+1,\lambda} [P_{i+1,\lambda}] u_{\nu} + \dots + \sum_{\lambda=l_{i+k}+1}^{l_{i+1,\lambda}} \beta_{i+1,\lambda} [P_{i+1,\lambda}] u_{\nu}$$

where

$$\sum_{\lambda=l_{i,k+1}}^{l_{i,k+1}} [P_{i+1,\lambda}] = [b_{k+1}] - [b_k] \qquad (k = 1, 2, \dots, i-1),$$

$$\sum_{\lambda=l_{i,i+1}}^{l_{i+1,0}} [P_{i+1,\lambda}] = [b_{i+1}] - [b_i] \text{ and } \beta_{i\lambda} \leq \beta_{i+1,\lambda} \qquad (\lambda = 1, 2, \dots, l_{i,i}).$$

Putting $\lim_{i \to \infty} Sb_i = c$, if c < Sb then there exists a $U_{[\nu]}$ such that

$$\left(\frac{Sb_i}{u_{\nu}}, \mathfrak{p}\right) \leq \left(\frac{c}{u_{\nu}}, \mathfrak{p}\right) < \inf_{\mathfrak{p} \in \mathcal{O}[\mathfrak{p}]} \left(\frac{Sb}{u_{\nu}}, \mathfrak{p}\right) \qquad (i=1, 2, \cdots \text{ and } \nu = 1, 2, \cdots, n_0).$$

Therefore, for some small enough $\varepsilon > 0$ we have

 $[p]Sb_i < [p]Sb - \varepsilon [p]u_v$ (by Theorem 3)

and hence by the construction of S

$$(\ddagger\ddagger) \qquad \{f(\alpha_{\nu,k}) - f(\beta_{i,\lambda})\}[p]h_{\nu} > \varepsilon[p]h_{\nu} \quad \text{for} \quad [P_{i,\lambda}][p] \neq 0 \qquad (i=1, 2, \cdots),$$

where

$$h_{\nu} = \int_{[s]} \left(\frac{H_{J} u_{\nu}}{u_{\nu}}, \mathfrak{p} \right) d\mathfrak{p} s \; .$$

On the other hand, from $b_i \uparrow_{i=1}^{\infty} b$, for any $\delta > 0$ we can find a $U_{[q]}$ and i such that

On Normed Spaces and Modulared Semi-ordered Linear Spaces

$$U_{\llbracket q
bracket} \! \subseteq \! U_{\llbracket p
bracket} \hspace{0.5mm} ext{and} \hspace{0.5mm} \left(rac{b_{i_{\mathfrak{o}}}}{u_{\scriptscriptstyle m{
u}}}, \hspace{0.5mm} \mathfrak{p}
ight) \! + \! \delta \! < \! \left(rac{b}{u_{\scriptscriptstyle m{
u}}}, \hspace{0.5mm} \mathfrak{p}
ight) \hspace{0.5mm} ext{for} \hspace{0.5mm} ext{all} \hspace{0.5mm} \mathfrak{p} \in U_{\llbracket q
bracket}$$

and hence

$$0 \leq \{\alpha_{\scriptscriptstyle \nu, \star} - \beta_{i_{\scriptscriptstyle 0}, \star}\}[q] u_{\scriptscriptstyle \nu} < \delta[q] u_{\scriptscriptstyle \nu} \quad \text{for all} \quad [P_{i_{\scriptscriptstyle 0}, \star}][q] \neq 0$$

and consequently

 $0 \leq \alpha_{\nu,k} - \beta_{i_{\nu,k}} < \delta$ for all λ which $[P_{i_{\nu,k}}][q] \neq 0$.

Therefore $(\ddagger \ddagger)$ contradict the continuity of $f(\xi)$.

Thus we have

$$\lim_{i \to \infty} [N_{\nu,k}] Sa_i = [N_{\nu,k}] Sa \quad \text{for each } \nu \text{ and } k,$$

and the required result

$$\lim_{i\to\infty} Sa_i = Sa \; .$$

[6]. \Re is a directed set with respect to the usual order.

Proof. The so-called usual order in \mathfrak{F} is defined by the relation: $S_1 \leq S_2$, if and only if $\mathfrak{D}(S_1) \leq \mathfrak{D}(S_2)$ and $S_1 x \leq S_2 x$ $(x \in \mathfrak{D}(S))$ for $S_1, S_2 \in \mathfrak{F}$.

Let S_i be operators corresponding to H_{J_i} (i=1,2).

Putting $J_3 = J_1 + J_2$, for S corresponding to H_{J_3} we have

 $\mathfrak{D}(S) = \mathfrak{D}(S_1) \smile \mathfrak{D}(S_2)^* + \mathfrak{D}(S_1) + \mathfrak{D}(S_2)$

and hence $S_i \leq S$ (i=1,2), because H_{J_1} , $H_{J_2} \leq H_{J_3}$ by (II).

[7]. We have, for any $S \in \mathfrak{F}$ and for ϕ in §2,

$$\phi(S\xi u_{\nu}) \leq f(\xi) \quad for \quad u_{\nu} \in U, \ \nu = 1, 2, \cdots \quad and \quad \xi \geq 0.$$

Moreover,

$$x \in \mathfrak{D}(S)$$
 and $||x|| \leq 1$ implies $\int_{[s]} \left(\frac{Sx}{s}, \mathfrak{p} \right) \phi(d\mathfrak{p}x)^{**} \leq B$.

Proof. This relation is obvious from (I), the definition of S and Theorem 3. § 4. The construction of the modular on R.

In this section, we will construct a modular of which the topology is equivalent to the norm topology of R. For this purpose, we consider a functional:

(1)
$$\Lambda_{s}(a) = \int_{0}^{1} d\xi \int_{[s]} \left(\frac{S\xi |a|}{s}, \mathfrak{p} \right) \left(\frac{|a|}{s}, \mathfrak{p} \right) \phi(d\mathfrak{p}s)$$

for $S \in \mathfrak{F}$ and $a \in \mathfrak{D}(S)$.

The existence of the integral of (1) is shown in the following process. From $S \xi a \in B_s$, we have

^{*} $M \subseteq N = \{x \subseteq y; x \in M, y \in N\}$ for sets M and N.

^{**} This is a Radon integral with a measure $\phi([p]x)$ to $U_{[p]}$.

 $0 \leq \left(\frac{S\xi|a|}{s}, \mathfrak{p}\right) \leq K \quad (\mathfrak{p} \in \mathfrak{G} \text{ and } 0 \leq \xi \leq 1) \text{ for some constant number } K.$

Then we get a bounded* linear functional \tilde{a}_{ε} on \boldsymbol{R} as

$$\tilde{a}_{\varepsilon}(x) = \int_{[x]} \left(\frac{S \varepsilon |a|}{s}, \mathfrak{p} \right) \phi(d\mathfrak{p} x)$$

for $x \in \mathbf{R}$ and $0 \leq \xi \leq 1$, and denote it

$$\widetilde{a}_{\varepsilon} = \int \left(\frac{S \varepsilon[a]}{s}, \ \mathfrak{p} \right) d\mathfrak{p} \phi \; .$$

Furthermore, we get

$$\begin{split} 0 &\leq \sum_{\nu=1}^{\epsilon} \left(\tilde{a}_{\xi_{\nu}} - \tilde{a}_{\xi_{\nu-1}} \right) \left(|a| \right) \left(\xi_{\nu} - \xi_{\nu-\epsilon} \right) \\ &\leq 2K \sum_{\nu=1}^{\epsilon} \phi(|a|) \left(\xi_{\nu} - \xi_{\nu-1} \right) \to 0 \quad \text{as} \quad \epsilon \to 0 \text{,} \end{split}$$

where

 $0 = \xi_0 < \xi_1 < \cdots < \xi_{\kappa} = 1 \quad \text{and} \quad 0 < \xi_{\nu} - \xi_{\nu-1} < \varepsilon \; .$

Therefore, we have

$$\int_{0}^{1} \tilde{a}_{\xi}(|a|) d\xi = \inf \sum_{\nu=1}^{\epsilon} \tilde{a}_{\xi_{\nu}}(|a|) (\xi_{\nu} - \xi_{\nu-1})$$
$$= \sup \sum_{\nu=1}^{\epsilon} \tilde{a}_{\xi_{\nu-1}}(|a|) (\xi_{\nu} - \xi_{\nu-1})$$

for all partitions $0 = \xi_0 < \xi_1 < \cdots < \xi_{\epsilon} = 1$.

On the other hand, it is obvious that

$$\int_{0}^{1} \tilde{a}_{\varepsilon}(|a|) d\xi = \Lambda_{S}(a) ,$$

because

$$\int_{[s]} \left(\frac{S\xi[a]}{s}, \mathfrak{p} \right) \left(\frac{|a|}{s}, \mathfrak{p} \right) \phi(d\mathfrak{p}s) = \int_{[s]} \left(\frac{S\xi[a]}{s}, \mathfrak{p} \right) \phi(d\mathfrak{p}|a|) = \tilde{a}_{\varepsilon}(|a|) \,.$$

Next, we will show that for any $S \in \mathfrak{F}$ and x > 0, there exists a sequence $0 \leq x_n \in \mathfrak{D}(S)$ such that

 $(2) x_n \uparrow_{n=1}^{\infty} x .$

Let S be the operator corresponding to $J = \{u_1, u_2, \dots, u_s\}$. Putting

$$U_{[N_l^{\nu}]} = \left\{ \mathfrak{p} \; ; \; \left(\frac{[u_{\nu}]x}{u_{\nu}}, \; \mathfrak{p} \right) < l \right\}^{-},$$

* $\sup_{0 \le x \le a} |\tilde{a}_{\varepsilon}(x)| < +\infty$ for each $a \in \mathbf{R}$.

On Normed Spaces and Modulared Semi-ordered Linear Spaces

$$U_{[N_{l,\mu,i}^{\nu}]} = \left\{ \mathfrak{p} \; ; \; \frac{i-1}{\mu} l < \left(\frac{[u][N_{l}^{\nu}]x}{u_{\nu}}, \; \mathfrak{p} \right) < \frac{i}{\mu} l \right\}^{-1}$$

and

$$y_{l,\mu}^{\nu} = \sum_{i=1}^{\mu} \frac{i-1}{\mu} l[N_{l,\mu,i}^{\nu}] u_{\nu}$$
 ($\nu = 1, 2, ..., \kappa$ and $l, \mu = 1, 2,$)

we have

$$y_{l,\mu}^{\nu} \uparrow_{\mu=1}^{\infty} [N_{l}^{\nu}][u_{\nu}]x \qquad (\nu = 1, 2, \cdots, \kappa \text{ and } l = 1, 2, \cdots)$$

and

$$[N_l^{\nu}][u_{\nu}]x\uparrow_{l=1}^{\infty}[u_{\nu}]x \qquad (\nu=1,2,\cdots,\kappa).$$

Therefore, by the total continuity of \mathbf{R} , there exists a subsequence $\{\mu_i\}$ of $\{\mu\}$ such that

$$\mu_1 < \mu_2 < \cdots, \lim_{l \to \infty} \mu_l = +\infty \text{ and } y_{l,\mu_l}^{\nu} \uparrow_{l=1}^{\infty} [u_{\nu}] x \qquad (\nu = 1, 2, \cdots, \kappa).$$

Thus $x_n = \sum_{\nu=1}^{\epsilon} y_{n,\nu_n}^{\nu} + \left[\sum_{\nu=\epsilon+1}^{\infty} u_{\nu}\right]^{*} x$ are the requirements.

Now, we will consider a functional on R:

(3)
$$\Lambda_{s}(x) = \sup_{\substack{x_{n} \in \mathfrak{D}(\mathfrak{S}) \\ 0 \leq x_{n} \uparrow |x|}} \sup_{n \geq 1} \Lambda_{s}(x_{n}) \qquad (x \in \mathbf{R}) \,.$$

Then we have

Theorem 5. The functional $\Lambda_s(x)$ $(x \in \mathbb{R})$ defined by (2) satisfies the modular conditions except for M2).

Proof. M1) is obvious. For any $a \in \mathbf{R}$, putting $\alpha = 1/||a||$, M3) is obtained by the property [7] and the definition of S. M4) is obtained by the monotony of S. M5) is obvious from the property [2]. M6) is shown in the following process. For $x \frown y = 0$, we have, by the property [4],

$$\begin{split} \Lambda_{\mathcal{S}}(x+y) &= \sup_{\substack{z_n \uparrow (x+y) \\ 0 \leq z_n \in \mathfrak{D}(S)}} \sup \Lambda_{\mathcal{S}}(z_n) \\ &= \sup_{\substack{z_n \uparrow (x+y) \\ 0 \leq z_n \in \mathfrak{D}(S)}} \lim_{n \to \infty} \left\{ \Lambda_{\mathcal{S}}[x] z_n \right\} + \Lambda_{\mathcal{S}}([y] z_n) \right\} \\ &\leq \Lambda_{\mathcal{S}}(x) + \Lambda_{\mathcal{S}}(y) \,. \end{split}$$

On the other hand, if $0 \leq x_n \uparrow_{n=1}^{\infty} x$, $0 \leq y_n \uparrow_{n=1}^{\infty} y$ and $x_n, y_n \in \mathfrak{D}(S)$, then we have $z_n = x_n + y_n \in \mathfrak{D}(S)$ and $z_n \uparrow_{n=1}^{\infty} (x+y)$, and hence

$$\Lambda_s(x) + \Lambda_s(y) \leq \Lambda_s(x+y)$$
.

Thus the orthogonal additivity of $\Lambda_s(x)$ is proved. M7) is obtained from the pro-

*
$$\left[\sum_{\nu=\kappa+1}^{\infty} u_{\nu}\right]$$
 means the projection operator $[\{u_{\kappa+1}, u_{\kappa+2}, \cdots\}]$

perty [5]. The theorem is proved.

Moreover, considering a functional m(x):

(4)
$$m(x) = \sup_{s \in \mathfrak{M}} \Lambda_s(x) \qquad (x \in \mathbf{R}),$$

we have

Theorem 6. m(x) is a modular on \mathbf{R} , of which the topology is equivalent to the original topology, namely, the norm topology on \mathbf{R} .

Proof. From the previous theorem and the definition of m(x), it is obvious that m(x) satisfies the modular conditions except for M2) and M6). But M6) is easily derived from the orthogonal additivity of $A_s(x)$ and the property [6].

Now, To show M2), if, for all $\xi > 0$, $m(\xi x) = 0$ and x > 0, then we have $A_s(\xi x) = 0$ for all $\xi > 0$ and all $S \in \mathfrak{F}$.

And also there exists a $u \in U$ such that $[u]x \neq 0$. By (2) and (3), for $S \in \mathfrak{F}$ corresponding to $J = \{u\}$ we can find a sequence $\{y_n\}$ such that

$$0 \leq y_n \uparrow_{n=1}^{\infty} y = [u] x \text{ and } y_n = \sum_{i=1}^{\mu_n} \frac{i-1}{\mu_n} n[N_{n,\mu_n,i}] u \in \mathfrak{D}(S)^*.$$

putting $z_n = t_n x_n$ where $t_n = 1/||x_n||$, we have, on the assumption (I),

$$0 < A \leq \sum_{i=1}^{\mu_n} t_n \frac{i-1}{\mu_n} nf\left(t_n \frac{i-1}{\mu_n} n\right) \phi\left(\left[N_{n,\mu_n,i}\right] H_{\mathcal{J}} u\right)$$
$$\leq \sum_{i=1}^{\mu_n} \int_{-1}^{2} d\xi \int_{\left[N_n,\mu_n,i\right]} f\left(\xi t_n \frac{i-1}{\mu_n} n\right) \left(\frac{H_{\mathcal{J}} u}{u}, \mathfrak{p}\right) \left(\frac{z_n}{s}, \mathfrak{p}\right) \phi(d\mathfrak{p}s)$$
$$\leq A_{\mathcal{S}}(2z_n) \leq A_{\mathcal{S}}(2x) = 0.$$

This is a contradiction. Thus M_2 is proved.

Finally, the topological equivalence is shown in the following process.

We have already described the two norms:

$$\|x\|_{1} = \inf_{\xi>0} \frac{1+m(\xi x)}{\xi}, \qquad \|x\|_{2} = \inf_{m(\xi x) \leq 1} \frac{1}{|\xi|} \qquad (x \in \mathbf{R})$$

and the relations of the equivalence: $||x||_2 \leq ||x||_1 \leq 2||x||_2$.

On account of the property [7] and (4), we get easily that if $||x|| \leq 1$ then $m(x) \leq B$ for B in (I) and hence $||x||_2 \leq 1/C^{**}$ and consequently $||x||_2 \leq ||x||/C$ for all $x \in \mathbf{R}$.

We put $y_{\nu} = [u_{\nu}]x$ for all $u_{\nu} \in U$ ($\nu = 1, 2, \cdots$). Then we can find $0 \leq y_{\nu,k} \uparrow_{k=1}^{\infty} y_{\nu}$ which satisfy $y_{\nu,k} \in \mathfrak{D}(S_{\nu})$ where $S_{\nu} \in \mathfrak{F}$ correspond to u_{ν} for each ν . Furthermore, putting $x_{n,k} = \sum_{\nu=1}^{n} y_{\nu,k}$, we have

$$\lim_{k\to\infty} x_{n,k} = \sum_{\nu=1}^n y_{\nu} \quad \text{and} \quad \lim_{n\to\infty} \sum_{\nu=1}^n y_{\nu} = x \,.$$

^{*} Projection operators $[N_{n,\mu_n,i}]$ are those used in the proof of (2).

^{**} $m(x|B) \leq C = Max\{1|B, 1\}$ by the convexity of $m(\xi x)$ in ξ .

Moreover, there exists a subsequence $\{k_n\}$ of $\{k\}$ such that

 $k_n \uparrow_{n=1}^{\infty} + \infty$ and $x_{n,k_n} \uparrow_{n=1}^{\infty} x$

by the total continuity of \boldsymbol{R} .

Now, using x_n instead of x_{n,k_n} for the sake of the symbols, and considering $S^{(n)} \in \mathfrak{F}$ which correspond to $J_n = \{u_1, u_2, \cdots, u_n\}$, we put

(5)
$$g_{n}(\hat{\varsigma}) = \frac{\sum_{\nu=1}^{n} \sum_{k=1}^{l} \alpha_{\nu,k} f(\hat{\varsigma}\alpha_{\nu,k}) \phi([N_{k,\nu}] H_{J_{n}} u_{\nu})}{\sum_{\nu=1}^{n} \sum_{k=1}^{l} \alpha_{\nu,k} f(\alpha_{\nu,k}) \phi([N_{\nu,k}] H_{J_{n}} u_{\nu})}$$

where $x_n/||x_n|| = \sum_{\nu=1}^n \sum_{k=1}^t \alpha_{\nu,k} [N_{\nu,k}] u_{\nu}$ and $\alpha_{\nu,k} > 0$. Then $g_n(\xi)$ are non-decreasing and continuous in $\xi \ge 0$ with $g_n(1) = 1$. And, for $F_n(\xi) = \int_0^{\xi} g_n(t) dt$, we have

 $1+F_n(\xi)A\geqq \xi A \qquad \ \ {\rm for \ all} \quad \xi\geqq 1\;.$

Because, putting

$$G_n(\xi) = 1 + \{F_n(\xi) - \xi\}A$$

we have

$$G_n(1) = 1 - A \ge 0 \qquad (\because \quad 0 \le A \le 1)$$

and

$$\frac{d}{d\xi}G_n(\xi) = \{g_n(\xi) - 1\} A \ge 0 \qquad \text{for} \quad \xi \ge 1 .$$

Accordingly, by (3), (4), (5) and (I) we have

$$m(\xi x_n / \|x_n\|) \ge A_{S^{(n)}}(\xi x_n / \|x_n\|) = G_n(\xi) \left\{ \sum_{\nu=1}^n \sum_{k=1}^l \alpha_{\nu,k} f(\alpha_{\nu,k}) \phi([N_{\nu,k}] H_{J_n} u_{\nu}) \right\}$$

> $G_n(\xi) A$ for $\xi > 0$

And it is also obvious that

$$1 + m(\xi x_n / ||x_n||) \ge 1 \ge \xi A \qquad \text{for} \quad 0 < \xi < 1 \ .$$

Therefore, we have

$$\frac{\|x_n\|_1}{\|x_n\|} = \inf_{\xi > 0} \frac{1 + m(\xi x_n / \|x_n\|)}{\xi} \ge A$$

i.e., $||x_n||_1 \ge A ||x_n||$.

(6)

Furthermore, by the continuity of the norm $\|\cdot\|$ on R we have

$$\|x\|_1 \ge A \cdot \|x\| .$$

Thus we get the inequalities :

$$\|x\|_{2} \leq \|x\|/C \leq A \cdot \|x\|_{1}/C \leq 2A \|x\|_{2}/C$$

which show the equivalence. The proof is completed.

Theorem 7. The modular m(x) defined by (4) is a constant modular^{*}. *Proof.* By the definition of m(x), we have

$$m(\xi[N]u) = \sup_{s \in \mathfrak{F}} \Lambda_s(\xi[N]u)$$
$$= \sup_{s \in \mathfrak{F}} \int_{\mathfrak{o}}^{\mathfrak{e}} dt \int_{[N]} \left(\frac{Stu}{s}, \mathfrak{p}\right) \left(\frac{u}{s}, \mathfrak{p}\right) \phi(d\mathfrak{p}s)$$
$$= \sup_{J} F(\xi) \phi([N]H_Ju) \quad \text{for} \quad \xi > 0 ,$$

where

$$F(\xi) = \int_0^{\xi} f(t) \, dt \, .$$

Therefore we have

$$\frac{m(\xi[N]u)}{m([N]u)} = F(\xi) \qquad \text{for all } [N][u] \neq 0 \text{ and } \xi > 0.$$

Since $U = \{u's\}$ is the complete manifold of **R**, Theorem 7 is proved.

§ 5. The examples.

In this section, we give the examples of the spaces which satisfy the assumptions (I) and (II), i.e., O_* -spaces.

Let \mathbf{R} be a conjugately similar space, with its conjugately similar correspondence T between a universally continuous semi-ordered linear space \mathbf{R} and its conjugate space $\overline{\mathbf{R}}$, namely, the space satisfying the following conditions:

- T 1) $\mathbf{R} = \overline{\mathbf{R}}$, i.e., reflexive space,
- T 2) T(-a) = -Ta,
- T 3) $Ta \leq Tb$, if and only if $a \leq b$,
- T 4) $(Ta, a) \stackrel{**}{=} 0$ is equivalent to a = 0.

Then we can define a modular m(x) by T as

(7)
$$m(x) = \int_0^{\xi} (T\xi x, x) d\xi \qquad (x \in \mathbf{R}).$$

The following theorems are well known in [MSLS].

Theorem 8.*** The modular $m(\xi x)$ by (7) is finite and strictly convex function of ξ . Furthermore, it is simple and monotone complete.

^{*} m(x) is said to be *constant*, if there exists a complete manifold U in **R** such that $m(\xi[N]a)/m([N]a)=m(\xi a)/m(a)$ for all $\xi > 0$, $a \in U$ and $[N][a] \neq 0$.

^{**} (Ta, a) means the value of Ta at a. And the definition is made in § 60, of [MSLS].

^{***} m(x) is said to be simple, if m(x)=0 implies x=0. It is said to be monotone complete, if $a_{\lambda}\uparrow_{\lambda\in\Lambda}$ and $\sup m(a_{\lambda})<+\infty$ there exists a such that $a_{\lambda}\uparrow_{\lambda\in\Lambda}a$. (cf. Th. 60.10 in [MSLS])

Theorem 9. If m(x) is finite, then the first and second norm by m are continuous norms on \mathbf{R} .

Now, we assume that the modular by T is a constant modular, i.e., there exists a complete system U of orthogonal elements in \mathbf{R} such that

(8)
$$\frac{m(\xi[N]u)}{m([N]u)} = \frac{m(\xi u)}{m(u)}$$

for all $\xi \ge 0$ and projection operators $[N][u] \ne 0$. And the element *u* holding equality (8) is called a constant element in **R**.

Conjugately similar space \mathbf{R} is semi-regular by T1), because *correspondences* $\mathbf{R} \ni a \to \overline{a} \in \overline{\mathbf{R}} : \overline{a}(a) = \overline{a}(\overline{a})$ for all $\overline{a} \in \overline{\mathbf{R}}$: is one-to-one. Therefore, by Theorem 4 and the footnote in p. 6 we get the superuniversal continuity and total continuity of \mathbf{R} and hence we can set $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n, \dots\}$. Accordingly, when we put

$$s = \sum_{\nu=1}^{\infty} \frac{u_{\nu}}{2^{\nu} \|u_{\nu}\|_2}$$

where $\|\cdot\|_{2}$ is the second norm by the modular m, s is a complete element in \mathbb{R} by the monotone completeness of m, because $0 \leq x_{\nu} \uparrow_{\nu=1}^{\infty}$ and $\sup_{\nu} \|x_{\nu}\|_{2} < +\infty$ implies $\sup m(x_{\nu}) < +\infty$. (cf. Th. 40.7 in [MSLS])

Theorem 10. Conjugately similar spaces \mathbf{R} which have the constant modular by the conjugately similar correspondence are O_* -spaces.

To prove this theorem. we set the three lemmas.

Lemma 1. If u is a constant element in R, then

(9)
$$\frac{(T\xi[N]u, [N]u)}{(T[N]u, [N]u)} = \frac{(T\xi u, u)}{(Tu, u)}$$

for all $\xi \geq 0$, $[N][u] \neq 0$.

Proof. By the definition, we have

$$\frac{m(\xi[N]u)}{m([N]u)} = \frac{m(\xi u)}{m(u)} \quad \text{for } \xi > 0 \text{ and } [N]u \neq 0,$$

where

$$m(\xi u) = \int_0^{\xi} (T\xi u, u) d\xi \, .$$

Since $(T \xi x, x)$ is a continuous function of ξ for any x, we have

$$\frac{d}{d\xi} m(\xi x) = (T\xi x, x)$$

and hence

$$\frac{1}{m(u)} \frac{d}{d\xi} m(\xi u) = \frac{1}{m([N]u)} \frac{d}{d\xi} m(\xi [N]u)$$

and consequently

$$\frac{1}{m(u)}(T\xi u, u) = \frac{(T\xi[N]u, [N]u)}{m([N]u)} \quad \text{for all } \xi > 0 \text{ and } [N]u \neq 0.$$

Especially, for $\xi = 1$ we have

$$\frac{(Tu, u)}{m(u)} = \frac{(T[N]u, [N]u)}{m([N]u)} \quad \text{for } [N]u \neq 0.$$

Accordingly we get the equality (9).

Lemma 2. If \mathbf{R} satisfies the assumptions in Theorem 10, then there exists a complete orthogonal system U of constant elements such that

(10)
$$\frac{(T\xi u_{\nu}, u_{\nu})}{(Tu_{\nu}, u_{\nu})} = \frac{(T\xi [N] u_{\nu}, [N] u_{\nu})}{(T[N] u_{\nu}, [N] u_{\nu})} = \frac{(T\xi u_{1}, u_{1})}{(Tu_{1}, u_{1})}$$

for all $\xi > 0$, $\nu = 1, 2, \cdots$ and $[N] u_{\nu} \neq 0$.

Proof. Let V be a complete orthogonal system of constant elements in \mathbf{R} . By Theorem 55.5 in [MSLS], there exist $\alpha > 0$ such that

$$\frac{m(\alpha_{\nu}\xi v_{\nu})}{m(\alpha_{\nu}v_{\nu})} = \frac{m(\xi v_{1})}{m(v_{\nu})} \quad \text{for all } \xi > 0, \ v_{\nu} \in V \text{ and } \nu = 1, 2, \cdots.$$

Therefore Lemma 2 is proved by Lemma 1.

Lemma 3. On the assumptions in Theorem 10, we have

$$1 \le D = \inf_{\|\|x\|\|_{2^{-1}}} (Tx, x) \le B = \sup_{\|\|x\|\|_{2^{-1}}} (Tx, x) < +\infty$$

where T is the conjugately similar correspondence and $\|\cdot\|_2$ is the second norm by the modular which is defined by T.

Proof. If m(x) is finite, simple and monotone complete, then it is uniformly simple⁵⁾, and hence one has $\sup_{||x||_2=1} m(\xi_0 x) < +\infty$ for some $\xi_0 > 1^{10}$. Accordingly we get the inequalities in Lemma 3, by virture of Theorem 8, the convexity of $m(\xi x)$ and

$$(Tx, x) = \frac{d}{d\xi} m(x) \ge 1 \text{ for } ||x||_2 = 1$$

The proof of Theorem 10. For U in Lemma 2, we can put

$$f(\xi) = \frac{(T\xi u, u)}{(Tu, u)} \quad \text{for all } u \in U,$$

Obviously, $f(\xi)$ is non-decreasing and continuous in $\xi \ge 0$. Taking $Ts \in \overline{\mathbf{R}}$ as ϕ , we have

$$\phi = \sum_{\nu=1}^{\infty} f(1/2^{\nu} \| u_{\nu} \|_{2}) T u_{\nu} ,$$

because

$$s = \sum_{\nu=1}^{\infty} u_{\nu}/2^{\nu} ||u_{\nu}||_{2}$$
.

Then \mathbf{R} is the continuous normed space with the norm $||x||_{z}$ and is regular.

On Normed Spaces and Modulared Semi-ordered Linear Spaces

Now, for any finite subset $J = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ in U, we put

$$H_{J}u_{\nu} = \int_{[s]} \left(\frac{T(u_{1}+u_{2}+\cdots+u_{m})}{\phi}, \mathfrak{p} \right) d\mathfrak{p}u_{\nu} \quad \text{for all } \nu = 1, 2, \cdots$$

Obviously, from

$$0 \leq H_{J} u_{\nu} \leq u_{\nu} / f(1/2^{\nu} || u_{\nu} ||_{2}) \quad \text{for} \quad \nu = 1, 2, \cdots, m$$

and

 $H_{\mathcal{J}}u_{\mu}=0 \qquad \text{for} \quad \mu\neq 1,\,2,\,\cdots,\,m\,,$

we have

$$H_J u_{\nu} \in B u_{\nu}$$
.

 \mathbf{If}

$$c = \sum_{\nu=1}^{m} \sum_{k=1}^{n_{\nu}} \alpha_{\nu,k} [N_{\nu,k}] u_{\nu}, \|c\|_{2} = 1 \quad \text{and} \quad \alpha_{\nu,k} > 0 ,$$

then

$$B \ge \sum_{\nu=1}^{m} \sum_{k=1}^{n_{\nu}} \alpha_{\nu,k} f(\alpha_{\nu,k}) \phi([N_{\nu,k}] H_J u_{\nu})$$
$$= (Tc, c) \ge 1.$$

Therefore, putting A=1, (I) is satisfied. (II) is obviously satisfied by the construction of H_J . Thus the proof of Theorem 10 is completed.

(Received Apr. 27, 1962)

References

- 1. I. Amemiya, T. Andô and M. Sasaki: J. Fac. sci. Hokkaido univ., Ser. I, 95, (2, 3, 4) 96-113 (1959).
- 2. G. Birkhoff: Lattice theory, p. 283 (1948).
- 3. H. Nakano: Modern spectral theory, p. 323 (Tokyo, 1950).
- 4. H. Nakano: Modulared semi-ordered linear spaces, p. 288 (Tokyo, 1950).
- 5. S. Yamamuro: Pacific J. Math., 7, (4) 1715-1725 (1957).
- 6. A. C. Zaanen: Linear analysis, (Amsterdam, 1953).

Added reference.

- 7. S. Koshi and T. Shimogaki: Studia Math., 21, 15-35 (1961).
- S. Heckscher: Koninkl. Nederl. Akademil van Wetenschappen, Proceedings, Series A, 64, 2 (1961), 229-241.
- 9. S. Heckscher: ibid., 3 (1961). 280-290. We received them after we had prepared this paper.
Orthogonal Projection of the Space X of Univoque Functions

Yoshio Kinokuniya*

Abstract

Concerning the spatial construction of X, the space of univoque functions $x(\xi)$ ($\xi \in Z$), based on the reaxilization principle, orthogonal projection is defined in an explicit way and some problems are solved and detailed.

1. Introduction

The space X is posited as the aggregation of functions

$$x(\xi)(\xi \in E)$$
,

E being a metric space provided with a normal measure $\tilde{\mu}^{**}$, by which the product (x|y) is defined as

$$(x|y) = \mathop{\mathfrak{S}}_{{\scriptscriptstyle{\xi\in\mathcal{S}}}} x({\scriptscriptstyle{\xi}}) \overline{y({\scriptscriptstyle{\xi}})} \, \mu_{{\scriptscriptstyle{\xi}}} \, .$$

The norm ||x|| is counted by the formula

$$||x||^2 = \langle x|x \rangle$$
,

but, in our theory, vectors x are not always restricted to be of finite norm. $x(\xi)$ is a univolue function of the variable ξ , which is complex-valued, but no more restrictions are given at all. In a previous paper¹ it has been demonstrated that: if a subspace Y in X is a vector space by complex coefficients, then it is a span of the vectors

 $(\rho_{\lambda})_{\lambda \in A}$

which are uniquely determined for \mathbf{Y} such that the supports Ξ_{λ} of ρ_{λ} are mutually disjoint. This destination is called the *reaxilization*. The family (ρ_{λ}) is called the *natural basis* of \mathbf{Y} and is generally denoted by

 $B(\mathbf{Y})$.

To make an analysis by means of an integral of the form

$$F = \tilde{\mu}(f) = \mathfrak{S}f(\xi)\,\mu_{\xi}$$

we conform it to the rule that F is regarded as effective when and only when it

^{*} 紀国谷芳雄

^{**} $\Xi \supset \Gamma \triangleright \tilde{\mu}\Gamma = \underset{\xi \in \Gamma}{\mathfrak{S}} \mu_{\xi} = \mu \cdot \mathfrak{n}(\Gamma); \ \mu_{\xi} = \mu = \text{infinitesimal.}$

Yoshio Kinokuniya

is absolutely convergent, i.e.

 $\mathfrak{S}|f(\xi)|\cdot|\mu_{\xi}|$

is convergent. If to indicate this rule specially, "*Riemann law*" may be the most pertinent name, because he is Riemann who showed for the first time that a not absolutely convergent series of real terms may be counted to take an arbitrarily chosen value if a proper rearrangement of terms is adopted. In addition, when

$$\mathfrak{S}f(\xi)\mu_{\xi} = \mathbb{O}\left(= ext{empty null}
ight)$$

and

 $\mu_{\xi} = \mu \! > \! \bigcirc ,$

then it is thought equivalent to

 $\mathfrak{S}f(\xi) = 0 \; .$

We may have an explicit course of analysis when we adopt the formula

$$P_{\mathbf{y}} x = \bigotimes_{\boldsymbol{\lambda} \in \mathcal{A}} \frac{(\boldsymbol{x} | \boldsymbol{\rho}_{\boldsymbol{\lambda}})}{\| \boldsymbol{\rho}_{\boldsymbol{\lambda}} \|^2} \, \boldsymbol{\rho}_{\boldsymbol{\lambda}} \tag{1, 1}$$

on condition that

 $(P_{\lambda})_{\lambda \in A} = B(\mathbf{Y}),$

to define (orthogonal) projection of a vector $x \in X$ on a (vector) subspace Y in X. If the operator P_Y is found effective for all $x \in X$, Y is said to be a projective subspace. When the space $\ll y \gg$ (which is generated by a single vector y) is projective, y is called a projective vector. Thus classified, linear operators are naturally found to be relative to the projection. As for the case $||x|| = \infty$, the problem is settled of itself afterwards.

In a vector space H generated by an enumerable family of vectors, the theory of Hilbert space offers several results obtained to build up certain models of spatial construction, which are applicable to our analysis if we make any modification for parts of enumerable generation.

2. Projection and Orthogonal Supplements.

When a vector y is projective, by definition it is demanded that

$$P_{y}\partial_{\xi}^{*} = \frac{(\partial_{\xi}|y)}{\|y\|^{2}}y = \frac{\overline{y(\xi)}\mu_{\xi}}{\|y\|^{2}}y = \frac{\overline{y(\xi)}\mu_{\xi}}{\mathfrak{S}|y(\eta)|^{2}\mu_{\eta}} \cdot y \ (\mu_{\xi} = \mu_{\eta} = \mu)$$
$$= \frac{\overline{y(\xi)}}{\mathfrak{S}|y(\eta)|^{2}}y . \tag{2,1}$$

So, if $y \neq 0$, we may have

^{*} $\partial_{\hat{\tau}}$ is the characteristic function of the single point set $\{\partial_{\hat{\tau}}\}$.

Orthogonal Projection of the Space X of Univoque Functions

$$0 < \mathfrak{S} |y(\eta)|^2 < \infty \tag{2,2}$$

because then there must exist at least one ξ for which

$$P_{y}\partial_{\varepsilon} \neq 0^{*}$$

in order that

$$\mathfrak{S} y(\xi) P_y \, \partial_{\xi} = \mathfrak{S} y(\xi) \frac{y(\xi) \, \mu}{\|y\|^2} y = \frac{\|y\|^2}{\|y\|^2} y = y \neq 0$$

and because it should not be that

$$\mathfrak{S}|y(\eta)|^2 = 0$$

in order that $P_y \partial_{\varepsilon} \neq \infty$. We see directly from (2, 2) that such values that $y(\eta) \neq 0$ make at most an enumerable set, so that we may write as

$$P_{y} \partial_{\xi} = \frac{\overline{y(\hat{\xi})}}{\sum_{k} |\overline{y(\eta_{k})}|^{2}} y .$$
(2,3)

In case y=0, we have naturally

 $P_y \partial_{\xi} = 0$ for all $\xi \in \mathcal{Z}$.

To define a projective subspace there may be another way from that shown in Introduction. If

$$B(\mathbf{Y}) = \langle \boldsymbol{P}_{\boldsymbol{\lambda}} \rangle_{\boldsymbol{\lambda} \geq \boldsymbol{\lambda}}$$

and each ρ_{λ} is a projective vector, then **Y** is a projective subspace. By (2, 1) we then have

$$P_{Y}x = \bigotimes_{\lambda} P_{\rho_{\lambda}}x = \bigotimes_{\lambda \in \varepsilon} x(\xi) P_{\rho_{\lambda}}\partial_{\xi} = \bigotimes x(\xi) \mu \cdot \frac{\rho_{\lambda}(\xi)}{\|\rho_{\lambda}\|^{2}} \rho_{\lambda}$$
$$= \bigotimes_{\lambda \in A} \left(\bigotimes_{\xi} x(\xi) \frac{\overline{\rho_{\lambda}(\xi)}}{\|\rho_{\lambda}\|^{2}} \mu \right) \rho_{\lambda} = \bigotimes_{\lambda} \frac{\bigotimes x(\xi) \overline{\rho_{\lambda}(\xi)} \mu_{\xi}}{\|\rho_{\lambda}\|^{2}} \rho_{\lambda}$$
$$= \bigotimes \frac{(x|\rho_{\lambda})}{\|\rho_{\lambda}\|^{2}} \rho_{\lambda}$$

which gives us an induction of (1, 1) from (2, 1).

Now, in view of (2, 3) we may write as

$$\frac{(x|\rho_{\lambda})}{\|\rho_{\lambda}\|^{2}} = \frac{\sum_{k} x(\xi_{\lambda k})\rho_{\lambda}(\xi_{\lambda k})}{\sum_{k} |\rho_{\lambda}(\xi_{\lambda k})|^{2}}$$
(2,4)

where $\Xi_{\lambda} = (\xi_{\lambda 1}, \xi_{\lambda 2}, \cdots)$ ($\lambda \in A$) are respectively the supports of P_{λ} . When **Y** is projective (2, 4) is demanded to be finite, so that in view of (2, 2) which gives us

$$0 < \sum_{k} | \boldsymbol{\rho}_{\boldsymbol{\lambda}}(\boldsymbol{\xi}_{\boldsymbol{\lambda}\boldsymbol{k}}) |^2 < \infty$$
 ,

^{*} This induces that $\mathfrak{S}[y(\eta)]^2 < \infty$.

Yoshio Kinokuniya

the sum

$$\sum x(\xi_{\lambda k}) \rho_{\lambda}(\xi_{\lambda k})$$

must be convergent. Then, by the Riemann law

 $\sum |x(\xi_{\lambda k})| \cdot |\rho_{\lambda}(\xi_{\lambda k})|$

is convergent for all $x \in X$. Besides, by Hölder's inequality

$$\sum |x(\xi_{\lambda k})| \cdot |\rho_{\lambda}(\xi_{\lambda k})| \geqslant \sqrt{\sum |x(\xi_{\lambda k})|^2} \sqrt{\sum |\rho_{\lambda}(\xi_{\lambda k})|^2} \,.$$

So, it must be that

$$\sum |x(\xi_{\lambda\lambda})|^2 < \infty$$
 for all $x \in \mathbf{X}$,

whereas, from our standpoint, we may take a vector x such that

$$x(\xi_{\lambda k}) = \frac{1}{\rho_{\lambda}(\xi_{\lambda k})}$$

whenever

 $\rho_{\lambda}(\xi_{\lambda k}) \neq 0 \; .$

Therefore, we may conclude :

Proposition 1. In order that a vector subspace \mathbf{Y} may be projective, it is necessary and sufficient that each vector $P_{\lambda}(\lambda \in A)$ of $B(\mathbf{Y})$ has its support Ξ_{λ} as a finite set.

Corollary. In order that a vector y may be projective, it is necessary and sufficient that the points η for which

 $y(\eta) \neq 0$

make at most a finite set.

When Y is a projective subspace, let us take

$$z = x - P_Y x$$

for any vector $x \in X$, then we have

$$\begin{split} (z|P_{Y}x) &= \bigotimes_{\lambda} \bigotimes_{\varepsilon} \left(x(\xi) - \frac{(x|\rho_{\lambda})}{\|\rho_{\lambda}\|^{2}} \rho_{\lambda}(\xi) \right) \frac{(\overline{x|\rho_{\lambda}})}{\|\rho_{\lambda}\|^{2}} \overline{\rho_{\lambda}(\xi)} \, \mu_{\varepsilon} \\ &= \bigotimes_{\lambda} \left(\frac{(\overline{x|\rho_{\lambda}})}{\|\rho_{\lambda}\|^{2}} (x|\rho_{\lambda}) - \frac{|(x|\rho_{\lambda})|^{2}}{\|\rho_{\lambda}\|^{4}} \, \|\rho_{\lambda}\|^{2} \right) \\ &= \bigotimes_{\lambda} \left(\frac{|(x|\rho_{\lambda})|^{2}}{\|\rho_{\lambda}\|^{2}} - \frac{|(x|\rho_{\lambda})|^{2}}{\|\rho_{\lambda}\|^{2}} \right) \end{split}$$

so that

 $z \perp P_{Y} x$.

Hence the aggregation

$$Y^{\perp} = \{z : x \in X \text{ and } z = x - P_Y x\}$$

coincides with the orthogonal (or projective) supplement of Y i.r.t. the product (|). **Proposition 2.** If Y is a projective subspace, its orthogonal supplement

 \mathbf{Y}^{\perp} is projective, too.

In effect, as Y is a vector subspace, so is Y^{\perp} . Let it be that

$$B(\mathbf{Y}) = \langle \rho_{\lambda} \rangle_{\lambda \in \Lambda}$$
 and $B(\mathbf{Y}^{\perp}) = (\stackrel{*}{\rho_{\mu}})_{\mu \in M}$

and let the supports of ρ_{λ} and $\overset{*}{\rho}_{\mu}$ be denoted by

 $\overset{*}{\underline{E}}_{\lambda}$ and $\overset{*}{\underline{E}}_{\mu}$

respectively. Then we see that

$$(V\lambda)(\Xi_{\lambda}\cap\overset{*}{\Xi}_{\mu}=\mathrm{void})\triangleright(\Xi_{\hat{\xi}})(\overset{*}{\rho}_{\mu}=\partial_{\xi})$$

which means

$$\overset{*}{E}_{\mu} = \{\xi\}$$

and

$$E_{\lambda} \cap \overset{*}{E}_{\mu} \neq \text{void } \triangleright \overset{*}{E}_{\mu} \subseteq E_{\lambda},$$

because

 $\xi \in E_{\lambda} \triangleright (\text{the support of } \partial_{\xi} - P_{Y} \partial_{\xi} \subset E_{\lambda}).$

Consequently all $\overset{*}{Z}_{\mu}(\mu \in \mathbf{M})$ are finite sets.

The cases $||y|| = \infty$ or $||\rho_i|| = \infty$, are left out of what have been dealt with hitherto, but they may be treated in a simple way. In effect, such vectors may not be allowed to be projective ones on the point that their supports are infinite sets. So, they should be classified in the genre of non-projectivity.

3. Projective Operators

A linear operator L is understood as

 $Lx \in X$ for each $x \in X$,

i.e.

$$L(\mathbf{X}) \subseteq \mathbf{X}.$$

If Lx is found to be a projective vector whenever x is so, then L is said to be a projective operator.

When L is a projective operator and

$$L\partial_{\varepsilon} = \delta_{\varepsilon}(\xi \in E)$$
,

we have

$$\bigvee_{\varepsilon\inarepsilon}\ll\delta_{\varepsilon}\gg\subseteq L(oldsymbol{X})=oldsymbol{R}_{L}$$

Yoshio Kinokuniya

 $(\mathbf{R}_L$ being the range of L). Hence, if

$$B(\boldsymbol{R}_{L}) = (\boldsymbol{\rho}_{\lambda})_{\lambda \in A}$$

and

$$\Xi_{\lambda}$$
 = the support of ρ_{λ} ,

it must be that

 $(V\lambda)$ $(\lambda \in \Lambda)$ $(\mathcal{H}\eta_{\lambda})$ $(\eta_{\lambda} \in \mathcal{B} \text{ and } \mathcal{B}_{\lambda} \subseteq \text{the support of } \delta_{\eta_{\lambda}})$.

Besides, as each ∂_{ε} is a projective vector, by the corollary of Proposition 1, the support of $\delta_{\eta_{\lambda}}$ is at most a finite set. Therefore it follows that \mathcal{Z}_{λ} is a finite set, so that ρ_{λ} is a projective vector. Thus we have :

Proposition 3. When L is a projective operator, its range \mathbf{R}_L is a projective subspace of \mathbf{X} .

Let I denote identity, i.e.

$$Ix = x$$
 for all $x \in X$,

then it is evident that

$$P_Y + P_{Y^\perp} = I \,.$$

4. Proper Spaces and L-Span

Let it be denoted as

$$\widetilde{Z}_{\omega} = \{ x : x \in X \text{ and } Lx = \omega x \}$$

and

$$\widetilde{Z}_L = \bigvee_{\omega \in \mathcal{Q}} \widetilde{Z}_\omega$$

where Ω is the spectrum of L; then \tilde{Z}_{ω} is the proper space of ω ; \tilde{Z}_{L} shall be called the *spectral span* with respect to L or simply *L-span*. Naturally we have

 $\widetilde{Z}_{L} \subseteq X$

but the equality is not always promised. If \widetilde{Z}_{ω} is projective and such that

$$B(\widetilde{Z}_{a}) = (\sigma_{\epsilon})_{\epsilon \in K}; \ L(X) = \mathbf{R}_{L};$$

$$B(\mathbf{R}_{L}) = (\rho_{2})_{c \in L};$$

$$(4, 1)$$

then $L\sigma_s$ is expressed in the form

$$L\sigma_{\kappa} = \bigotimes_{\lambda \in A_{\kappa}} \sigma_{\kappa}(\lambda) \rho_{\lambda}$$

$$= \omega \sigma_{\kappa}$$

where

and

$$\Lambda_{s} = \{\lambda : \sigma_{s}(\lambda) \neq 0\} . \tag{4, 2}$$

Orthogonal projection of the Space X of Univoque Functions

So, we have the representation

$$\sigma_{\scriptscriptstyle \kappa} = \mathop{\mathfrak{S}}_{\scriptscriptstyle \lambda \in \Lambda_{\scriptscriptstyle \kappa}} \sigma_{\scriptscriptstyle \kappa}'(\lambda) \rho_{\scriptscriptstyle \lambda}$$

with

$$\sigma'_{\kappa}(\lambda) = \frac{\sigma_{\kappa}(\lambda)}{\omega}$$
.

This means that

$$\widetilde{Z}_{o} \subseteq R_L$$

and moreover that

$$\bigcup_{\alpha \in A_{\kappa}} \Xi_{\alpha} = ext{the support of } \sigma_{\kappa}$$

 Ξ_{λ} being the support of ρ_{λ} . By the reaxilization law Ξ_{λ} are mutually disjoint and since \widetilde{Z}_{ω} is projective the support of σ_{ϵ} is a finite set. It follows, therefore, that both Λ_{ϵ} and Ξ_{λ} are finite sets. Thus we have :

Proposition 4. When $\tilde{\mathbb{Z}}_{\bullet}$ is a projective subspace, on the notations (4, 1) and (4, 2) both Λ_{ϵ} and Ξ_{λ} (the support of P_{λ}) are finite sets on condition that $\lambda \in \Lambda_{\epsilon}$.

When

$L(\mathbf{Y}) = \mathbf{Y}$

Y may be said to be *precisely invariant* under L, but we will then simply say: Y is *L-invariant*. Since

 \tilde{Z}_{∞} is *L*-invariant in any case, the following formula (4, 3) seems to be possibly verified in some way. Neverthless, in view that we may not be infatuated with a bulky volume of arguments, we will pass by here simply positing it as an axiom, i.e.:

Axiom 1. L be a linear operator of X and Y_{μ} ($\mu \in M$) vector subspaces in X, then

$$L(\bigvee_{\mu \in \mathcal{M}} \boldsymbol{Y}_{\mu}) = \bigvee_{\mu \in \mathcal{M}} L(\boldsymbol{Y}_{\mu}) .$$
(4, 3)

In using this formula we have:

Proposition 5. For any linear operator L, the L-span is L-invariant. By a similar way to the proof of Proposition 4 we can prove :

Proposition 6. When \tilde{Z}_{ω} are projective for each $\omega \in \Omega$, the L-span \tilde{Z}_{L} is projective, too.

5. Hilbertian Interpretation

If

Yoshio Kinokuniya

$$B(\boldsymbol{Y}) = (\boldsymbol{y}_{\boldsymbol{\kappa}})_{\boldsymbol{\kappa} \in K}$$

and

304

 $\|y_{\kappa}\| < \infty$ for each $\kappa \in \mathbf{K}$,

the product of two vectors

$$x = \mathfrak{S}x(\kappa)y_{\kappa}$$
 and $z = \mathfrak{S}z(\kappa)y_{\kappa}$

is proved to be written in the form

$$(x|z) = \mathfrak{S}_{x(\kappa)}\overline{z(\kappa)} \|y_{\kappa}\|^{2}.$$
(5,1)

And if Y is invariant under L, i.e.

$$L(\mathbf{Y}) \subseteq \mathbf{Y}$$

and L is a normal operator of X, L may be evidently thought as a normal operator of Y w.r.t. the formula (5, 1).

In this section we take the special case where Y is a projective subspace, invariant under L and K is an enumerable set. Then, if

$$B(\boldsymbol{Y}) = (\boldsymbol{y}_k)_{k=1,2,\dots}$$

it may be written as

$$Ly_k = \sum_{j=1}^{m_k} \phi(y_k, y_{k_j}) y_{k_j}$$

with the condition that

$$0 < m_k < \infty (k=1, 2, \cdots)$$
.

Moreover, $||y_k||^2$ is representable in the form

$$\|y_k\|^2 = c_k^2 \mu$$

with the condition that

$$0 < c_k < \infty (k=1, 2, \cdots)$$
.

Now, let it be posited so that

$$\dot{y}_{k} = y_{k}/c_{k} \forall \ \mu \ ;$$
 $\Psi(k, k_{j}) = \phi(y_{k}, y_{k_{j}}) rac{c_{k_{j}}}{c_{k}} ;$

and

$$\dot{\boldsymbol{Y}} = \bigvee_{k=1}^{\infty} \ll \dot{\boldsymbol{y}}_k \gg ;$$

and for any two vectors

$$\dot{x} = \sum x'(k)\dot{y}_k$$
 and $\dot{z} = \sum z'(k)\dot{y}_k$

let it be denoted as

Orthogonal projection of the Space X of Univoque Functions

$$[\dot{x}|\dot{z}] = \sum x'(k)\overline{z'(k)}$$
.

Then we have:

$$L\dot{y}_{k} = L\left(\frac{y_{k}}{c_{k}\sqrt{\mu}}\right) = \sum_{j=1}^{m_{k}} \phi(y_{k}, y_{k_{j}}) \frac{y_{k_{j}}}{c_{k}\sqrt{\mu}}$$
$$= \sum_{j=1}^{m_{k}} \Psi(k, k_{j}) \frac{c_{k}}{c_{k_{j}}} \cdot \frac{y_{k_{j}}}{c_{k}\sqrt{\mu}}$$
$$= \sum_{j=1}^{m_{k}} \Psi(k, k_{j}) \dot{y}_{k_{j}}$$

i.e.

$$L \dot{y}_{k} = \sum_{j=1}^{m_{k}} \Psi(k, k_{j}) \dot{y}_{k_{j}}.$$
 (5, 3)

If we introduce a correspondence between the spaces \mathbf{Y} and $\dot{\mathbf{Y}}$ such that $\mathbf{Y} \in x \longleftrightarrow \dot{x} \in \dot{\mathbf{Y}}$ (5, 4)

$$x = \sum x(k) y_k$$
 and $\dot{x} = \sum x'(k) \dot{y}_k$,

by the relation

$$x'(k) = c_k x(k) , (5,5)$$

then

$$egin{aligned} & (x|z) = \sum x(k)\overline{z(k)} \, \|oldsymbol{y}_k\|^2 = \sum x'(k)\overline{z'(k)} \, rac{\|oldsymbol{y}_k\|^2}{c_k^2} \ &= \sum x'(k)\overline{z'(k)} \, \mu = [\dot{x}|\dot{z}] \, \mu \,, \end{aligned}$$

i.e.

$$(x|z) = [\dot{x}|\dot{z}]\,\mu\,,$$

so that

 $||x||^2 = |[x]|^2 \mu$

on condition that $|[\dot{x}]|^2 = [\dot{x}|\dot{x}]$. In addition, we have

$$(Lx|z) = (x|\overline{L}z) \triangleright (L\dot{x}|\dot{z}) = (\dot{x}|\overline{L}\dot{z})$$

 \overline{L} being the adjoint of L w.r.t. (|).

 \dot{Y} will be called the *Hilbertian interpretation* of Y with respect to the operator L. It is remarkable that

$$|[\dot{y}_k]| = 1$$
 for all $k = 1, 2, \cdots$

and when L is a normal operator of X, so is on \dot{Y} . It is greatly different from the others that

$$\|y_{k}\|^{2}$$
(305)

Yoshio Kinokuniya

is an infinitesimal quantity when \mathbf{Y} is a projective subspace. But, by means of the Hilbertian interpretation, the topological structure of \mathbf{Y} is made to be an ordinary object for the theory of Hilbert space.

When \tilde{Z}_L is projective, by Proposition 2 \tilde{Z}_L^{\perp} is projective, too, so that if $\tilde{Z}_L^{\perp} \neq \text{void}$

$$(\mathcal{I} y) (y \in \widetilde{Z}_{L}^{1} \text{ and } y \text{ is projective}).$$

Then, for the space

$$\boldsymbol{Y} = \bigvee_{n=0}^{\infty} \ll L^n \boldsymbol{y} \gg$$
 (5, 6)

 $B(\mathbf{Y})$ is an enumerable set when L is projective, because then each $L^n y$ are projective vectors so that all of their supports are finite sets; hence \mathbf{Y} has its Hilbertian interpretation $\dot{\mathbf{Y}}$ effective. As above remarked, a normal operator L of \mathbf{X} is thought so on $\dot{\mathbf{Y}}$, too. Now, if L is proved to have at least one proper vector

$$\dot{\rho} = \sum \rho'(k) \dot{y}_k$$

$$L\dot{
ho}=\omega\dot{
ho}$$
 ,

then by (5, 3) and (5, 2)

$$\sum_{k} \Psi(k,1) P'(k) = \omega P'(1)$$

i.e.

$$\sum_{k} \phi(\boldsymbol{y}_{k}, \boldsymbol{y}_{1}) \frac{\rho'(k)}{c_{k}} = \omega \frac{\rho'(1)}{c_{1}}$$

$$\sum \phi(y_k, y_1) \rho(k) = \omega \rho(1)$$

where

so that

$$\rho'(k) = c_k \rho(k) \ (k = 1, 2, \cdots).$$

 $\rho = \sum \rho(k) y_k$

Hence, for the vector

we have

$$L\rho = \omega\rho . \tag{5,7}$$

Since by (5, 5) and (5, 4) ρ is the corresponding vector to $\dot{\rho}$,

$$\rho \in \boldsymbol{Y}.\tag{5,8}$$

In addition

$$\rho \in \tilde{\mathbf{Z}}_L \tag{5,9}$$

because by (5, 7) ρ is a proper vector of L in X.

(306)

On the other hand :

Proposition 7. If L is a normal operator and \widetilde{Z}_L is projective, then we have: (i) $L(\widetilde{Z}_L) \subseteq \widetilde{Z}_L$, (ii) $L(\widetilde{Z}_L^{\perp}) \subseteq \widetilde{Z}_L^{\perp}$, (iii) $\overline{L}(\widetilde{Z}_L) \subseteq \widetilde{Z}_L$, and (iv) $\overline{L}(\widetilde{Z}_L^{\perp}) \subseteq \widetilde{Z}_L^{\perp}$.

(i) is involved in Proposition 6, but it is remarkable that this relation can be proved without Axiom (4, 3), whereas its inversive relation may not be so. Let ρ be a proper vector which belongs to the proper value ω , then

$$L\overline{L}
ho = \overline{L}L
ho = \overline{L}(\omega
ho) = \omega\overline{L}
ho$$
,

hence $\overline{L}\rho$ is also a proper vector which belongs to ω . Since \widetilde{Z}_L is the span of proper vectors, (iii) is directly gained from this. Next, let $z \in \widetilde{Z}_L$ and $y \in \widetilde{Z}_L^{\perp}$, then as $\overline{L}z \in \widetilde{Z}_L$

$$(z|Ly) = (\overline{L}z|y) = 0$$

i.e.

$$Ly \in \widetilde{Z}_L^{\perp}$$
,

which verifies (ii). And, by the same ρ

$$(\rho | \overline{L}y) = (L\rho | y) = \omega(\rho | y) \triangleright \overline{L}y \in \widetilde{Z}_L^{\perp}$$
 for any $y \in \widetilde{Z}_L^{\perp}$

so that (iv) is verified.

By (ii) we see that the subspace \mathbf{Y} defined by (5, 6) is included in $\mathbf{\tilde{Z}}_{\mathbf{Z}}^{\perp}$, then (5, 8) is contradictory to (5, 9). So we may consequently have

$$\widetilde{Z}_{L}^{\perp} = \text{void}$$

that means

$$\widetilde{Z}_L = X$$
.

Finally, it is to be remarked that after the above-stated reasoning the following problem is left over: whether is L completely continuous² (on \dot{Y}) or not ?.

Mathematical Seminor in the Muroan Inst. Tech., Hokkaido

(Received Apr. 30, 1962)

References

1) Kinokuniya, Y.: Mem. Muroran Inst. Tech. 3, 809-822 (1961).

2) F. Riesz-Sz.-Nagy: Leçon d'Analyse Fonctionnelle, 229-230 (1952).

誘電体の絶縁破壊機構とその類似性について

沢 茂 夫

On the Similarity of the Electrical Breakdown Mechanism of the General Insulating Materials

Shigeo Sawa

Abstract

The similarity of the mechanism of the electrical breakdown of general insulating materials, which includes gas, liquid and solid, is described in this paper.

The appearance of the trace dealing with the insulating breakdown differs greatly from the insulating materials, such as gas, liquid or solid. Therefore, it seems that the process, the mechanism of the breakdown differs greatly as well. However, by repeating careful experiments, it is made clear that with each kind of the insulator, the insulating breakdown is performed with the streamer mechanism based on the ionization by collision of electron. And, as their orders having one common mechanism, each one of them shows itself a pure electric breakdown phenomenon; nevertheless, it depends on the conditions that a thermal-electric breakdown phenomenon called tracking or treeing follows it in some cases.

The phenomenon mentioned above is also seen to be common in the impulse voltage, D.C. voltage, commercial frequency A.C. voltage and the high frequency electric field of the long wave.

I. 緒 言

気体,液体、固体の絶縁物において,それぞれの中に電極を配置して,破壊するに十分な 高電界を与えれは絶縁物は火花短絡,すなわち絶縁破壊を起す。しかるにこれ等の三態中の絶 縁破壊現象は,それぞれが外観上非常に異なった様相を呈するのが普通である。そのために破 壊機構そのものが三態間において本質的に異なっているかの如く論ぜられている文献が多い。 又気体を扱った論文においては気体中の放電と呼ばれコロナ,火花,グロー,アーク放電等の 名によって分類区別して論ぜられている。これに対して液体,固体の両者における文献はかか る分類をしているものは寧ろ少なく,液体又は固体独自の放電機構として扱われているものが 多い。処でこれ等の文献を要約して総合してみると,気体をのぞけば液体,固体における絶縁 破壊は現象論的に純電気的破壊と,純熱的破壊および熱電気的破壊の三つに大別することがで きるようである。このうち純熱的と考えられているもののうちには電流熱に主体をおくもの と,高周波電界にみられる誘電体損失熱に基ずくものも含まれている。

本文においては主として直流、交流、衝撃電圧を印加した時の放電現象について三態間相

互の類似点や関連性の有無等を整理して、一般絶縁物の絶縁破壊現象を体系づけようとして いる。

II. 気体中の放電

気体中の放電は液体,固体の絶縁破壊に比し電界その他の影響が大きく外観も複雑多岐で ある。したがって一般にコロナ,グロー,火花,アーク等の名称で分類区別せられた個々につ いて論ぜられていることが多く,絶縁破壊機構の立場から論じ,殊に液体,固体の破壊と比較 対照して検討している文献は稀である。

処で気体の絶縁破壊である火花理論を総合してみると、たとえば J. S. Townsend による タウンゼント理論および、これを修正する考え方のものと鳥山、篠原氏等の提唱している如き 所謂ストリーマ理論又はこれに類する考え方のものとに大別することができる。

タウンゼント理論の場合は暗流より出発して、電流の急昇する火花特性を重視してこれを 表式化し、これに電子および正イオンの衝突電離作用を考えて火花条件を導いている。

ストリーマ理論はリヒテンベルヒ像又はこれの応用あるいは霧箱内の飛跡等から導かれる 考え方である。本文では三態間のストリーマの比較を便にするためにリヒテンベルヒ像である 表面電荷図を用いた場合の実験経過を中心にして述べる。今任意の気体,たとえば空気中にお かれた絶縁板上に一対の電極を配して電圧を加え,板上のストリーマの発生ならびに進展の経 過をみると,先ず正,負の両電極より正,負のストリーマが別々に発生して相手電極に向って 成長する。両ストリーマが発展して途中で相会すれば互に交わり正は負の,負は正のストリー マを伝わって相手電極に進む。若し負のストリーマが正電極に到達して,しかも十分な電子流 が負極より放出される場合は,火花音を発し強い輝きをもつ光をともなって短絡する。すなわ ちアーク放電となる。我々は最初のストリーマの初期の短小なる時をコロナと呼び,アーク放 電となる瞬間迄のストリーマの過程を火花放電と呼ぶ。したがってこの火花放電の終る過程の 段階をもって全路の絶縁破壊が終ると定義する。すなわちアーク放電は絶縁破壊後の現象と考 えている。

破壊現象を実用面から考えればコロナと呼ばれる初期のストリーマは既にその部分の局部 破壊現象ではあるが、気体の場合はその対流性によってコロナの生じた部分は分散消失して新 な気体と入れ替わる。したがってこの種のコロナ放電が再び発生し更に進展してストリーマの 形をとらぬかぎり全路破壊となることはない。その意味で絶縁破壊とは区別するのである。

一般にコロナあるいはストリーマは正,負が同時に相対的に両電極から発生するのが普通 であるが,不平等電界の如く電位傾度の配分如何によっては正,負何れか一方のストリーマの みが単独に発生して相手電極に進展するものである。たとえば正又は負の電位側を制御して, 負又は正のストリーマのみを発生発達せしめると,この単性のストリーマのみが相手電極迄橋 絡せしめることができる。しかしこれだけでは火花音は発せず、短絡電流も流れることがない すなわち火花放電とはならない。一般にこの一方的なストリーマが正である場合はこれが負極 に達すると、初めて負のストリーマが誘発されてこの先着の正のストリーマを伝わって正極に 向い、負のストリーマが正極に達すると火花音を発する。又一方的ストリーマが負である場合 はこれが正極に達した瞬間正のストリーマを誘発して先着の負のストリーマが正のストリーマ を負極に誘導する。この場合重要なことは正のストリーマが負極を橋絡することが火花放電 の条件となるのではなくて、負極自体からの電子流が正極に橋絡することである。したがって この場合の初めに現われた負のストリーマは気体中の電離に基ずく電子と負のイオン群が主体 となっているものであって、負極自身の電子放射による電子群を含まぬか、あるいは僅少であ るということである。すなわち気体中のストリーマには気体中の電子による衝突電離を主とす るものと、負極自身からの放射電子流を主とするものとの区別があるということである。した がって前者のストリーマは見掛け上の火花放電を起すが電極間を短絡するアーク放電とはなら ないのが特徴である。故にこれは局部的破壊に属するけれども完全全路破壊とはかなり性質の 違ったものである。この種の放電はボイド放電¹に見られる現象である。

以上は後述する三態間に共通した現象である。この実験は主として衝撃電圧によって観察 されたストリーマの経過であるが交流,直流電圧によっても同様な経過を観察することができ る。ただし交,直流電界の場合は空間電荷と呼ばれるイオン群の放電をともなう。この種の放 電はストリーマの発生,成長に著しい影響を与えるため衝撃波の場合と異なり火花放電の外観 を複雑なものにしている。殊に長波長の高周波電界²⁾においては熱破壊をともなうため更に復 雑な外観を与えている。しかし一般にこの種の放電は直接の絶縁破壊とはならぬもので寧ろ火 花特性に論議せられる電流の急昇現象に関係が深いようである。又この空間電荷群は蓄積する と静電的にその部分の電位を高めることになり,この静電位によって衝撃的な二次放電³⁾が起 ることがある。この二次放電はボイド放電にみられる如き性質のストリーマを生じ,二次的に 局部破壊を起す。又この空間電荷群は電位の分布を変えることがあって火花放電を抑制する作 用をすることがある。

III. 液体中の放電

液体の絶縁破壊すなわち液体中の火花放電の外観は気体中の放電に比して遙に単純であ る。しかるにその火花機構に関する文献の理論は多種多様である。これ等のあるものは実験的 に符合せしめうるものもあるが、これは寧ろ特殊な場合に属し、普遍的妥当性を欠くものが多 い。たとえば電流熱による熱破壊説等は衝撃波による破壊現象にはあてはまらない。又電流一 電圧曲線⁴⁾を元にして論じている考え方は電荷図等によって示されるストリーマ機構にはあて はまらない。

311

(311)

液体絶縁物中においても気体中と同様の帯色粉末を用いて表面電荷図でえられる。これを 利用するか特殊加工電極⁵⁾を使用するリヒテンベルヒ像およびその他の方法を併用して実験を 繰り返えせば、気体中の放電と全く同様の過程をもつストリーマ機構⁶⁾によって火花放電、す なわち絶縁破壊が行なわれることがわかる。しかし液体分子の構成、密度等は気体と異なって いることがそのままストリーマの延び方や形等にも現われ、気体中のそれとは外観は異なって 見える。第1図は液体中の放電図形の一例である。(a)図は気体中のストリーマに相当するも



第1図

(a) Positive Dust Figure on Window Glass in Transformer Oil. Impulse Voltage 39.5 kV. max. R.H. 47% T. 21°C (b) Negative Dust Figure on Window Glass in Transformer Oil. D.C. Voltage 28 kV. R.H. 43% T. 18°C

のでその成因は全く気体中と同様と考えている。(b) 図は絶縁破壊には直接関係しないが空間 電荷的作用をする放電であってこれは電流に関係がある。本文では前者を樹枝状図形と名づけ 後者を木葉状図形と仮りに呼ぶことにする。気体中の放電において直流,交流電界におけるコ ロナが液中のものより複雑に見える原因にこの木葉状図形に相当する放電が影響している場合 が多い。 木葉状図形は 気体中では 拡散する傾向があってこれが空間電荷として作用するので ある。

前にも述べた如く樹枝状図形は交われば火花放電となる性質のもので絶縁破壊を意味す る。木葉状図形は正,負が交っても単に交叉附近の電荷が中和するだけで絶縁破壊とはならな い。しかしこの種の放電は結局電荷の移動作用をするために火花特性に見られる電流急昇の大 きい原因をなしているものと思われる。又この種の電荷が蓄積すればその部分の電位が高まる 結果静電的電源となって衝撃的二次放電⁷を起してストリーマを発生する。これは気体中の二 次放電と全く同様であり局部破壊を意味する。又これ等の空間電荷が火花放電を起さぬような 場合でも,電荷は熱のエネルギーに変って液体の温度を上昇せしめる。したがって木葉状放電

は間接に絶縁油を劣化せしめる原因ともなる。一方においてこの種の電荷は電位傾度の配分を 変えるために寧ろストリーマの発生を抑制することになり、直流電界においてこの現象は特に 著しく見られる。このことは気体中の現象と共通している。

IV. 粉体中の放電

固体中に電極を装置して高電界を与えれば絶縁破壊してアーク短絡となることは、その媒 質が結晶性であると非結晶性であるとを問わず同様である。ただ印加電圧の大小、印加条件の 如何によっては結晶性のものは結晶軸の方向にストリーマが延び固体特有の亀裂が生ずる。若 し印加電圧が急激かつ強大である場合は、結晶軸とは無関係に電界の方向にしたがってストリ ーマがのびて絶縁破壊するのが普通である。この場合固体中に発生するストリーマの性質が気 中、液中のものと同様であるか否かを外部から判断することは困難である。しかし検流計⁹を 用いて徐々にストリーマ、すなわち亀裂を深めて正、負を近ずければ正、負のストリーマは相 接するにいたる。しかしそれだけでは電流は流れない。更に電圧をあげて亀裂を滲透せしめる と急激に電流の流れることを観察することができる。この現象は気体、液体の場合の正、負の ストリーマが単に途中で相会しても絶縁破壊すなわち短絡電流は流れないというのと一致して いる。

この固体中のストリーマを表面電荷図を用いて検する手段として,固体絶縁物を一旦細粉 化してその中に絶縁板と電極を配置して,再び粉体全体に機械的圧力を加えて固型化すれば, 若干の空気を含む准固体すなわち多孔性の固体として扱うことができる。この方法で電圧印加 毎に粉体をのぞけば粉体中の電荷図がえられる。第2図がその一例である。図で明なる如くス トリーマは液体中のものと酷似していることがわかる。したがって帯色粉末を用い,あるいは



第2図 Positiv Figure D.C. Votage

(313)

電流一電圧曲線を求めつつ電荷図と対照すれば粉体中の火花機構を知ることができる。この方 法によって粉体中でも気体,液体中の場合と全く同様なストリーマ機構によって絶縁破壊を起 すものであることを確認し、しかもストリーマ自体の性質も全く気体、液体の中のものと共通 であることが確められる。しかも電流とは殆んど無関係であることが明となった。これは粉体 中の特異な現象として注目されるべきことで、粉体中においては電荷図およびリヒテンベルヒ 像を求める際に印加電圧の波形の如何に関係なく樹枝状図形が容易にえられるという事実と密 接な関係がある。すなわち木葉状図形に相当する放電状態が他の絶縁物中とかなり異なってい るためである。このためにストリーマ機構をより明瞭に確認できるのと絶縁破壊に直接関係の ない木葉状的放電が殆んど電流曲線に影響を与えていないということを意味する。しかし粉体 中の木葉状図形に相当する放電は、破壊機構とは別個に液体の場合より更に媒体の温度上昇を 早める作用をする。これは熱放散のしにくい媒体構造が大きい原因の一つと考えられる。

粉体の場合に気体,液体と著しく相違する点は粉体すなわち固体の場合は一旦コロナが発 生すればその痕跡は旧に復することがなく亀裂状のストリーマ痕を残すことである。したがっ て反復してコロナが発生するような場合は重畳してストリーマの跡は焼損して熱的に劣化して 後発のコロナの延びを助長することになり、比較的低い電圧で絶縁破壊となる。この場合のス トリーマ痕は tracking 又は treeing と呼ばれるもので普通のストリーマとはその成因も性質 も異なり、これは熱電気的破壊と呼ばれるものである。かかるストリーマは電気的破壊に始ま り、熱的破壊をともなう現象で気体や液体中におかれた固体表面や、電力ケーブルの内部絶縁 紙の層間等に屢々見られるものである。

V. 結 論

誘電体の中に発生するストリーマは気体,液体,固体何れの場合も類似した共通性をもつ。 すなわちストリーマの生成機構も大体共通した電離現象に基ずく。したがって誘電体の三態に おける絶縁破壊機構は類似のストリーマ機構による電気的破壊である。

現象論的にいえば絶縁破壊は媒体分子が電子による衝突電離に始まるストリーマの発生に よって局部的な電気的破壊が起り、これが進展延長して電極間を橋絡し、最後に負極よりの電 子流によってアーク短絡となる現象である。

ストリーマは絶縁物の局部的絶縁破壊であるが気体,液体においては破壊電圧が不十分で あれば全路破壊とはならず直ちに消失するが,固体においては亀裂状のコロナあるいはストリ ーマ痕を残し,これが反復重畳すれば tracking あるいは treeing と呼ばれる焼損をともなう熱 電気的絶縁破壊となる。固体におけるストリーマ痕はそれを残すストリーマやコロナの性質が 気体や液体中のものと異なるためではなくて,絶縁体物質の構造の差だけによるものである。 (昭和 36 年 8 月 31 日受理)

(314)

献

1) 沢: 電学論文集 2,8 (1941)

2) 烏山·篠原·沢·市村: 電学誌 55. 567 (1935)

3) 沢: 電学論文集 4,3 (1943)

4) A. Nikuradse: Archiv. f. Elekt. 25 (1931), Ann. d. Phys. 13 (1932), E. u. M. 34 (1932)

文

5) 沢: 電学論文集 2,8 (1941)

6) 前出 5)

7) 前出 3)

8) 沢: 電学論文集 4,7 (1943)

9) 稻田, 副島: 4工大 35 (1940)

濡壁塔による石炭酸ソーダ溶液に対する 炭酸ガスの吸収について

竹内隆男*・岳上広光**・宮城宏吉*** 佐々木信昭****・木村 一

Studies on the Gas Absorption and Chemical Reaction in a Wetted-Wall Columns

--The Absorption of Carbon Dioxide in Water and Sodium Phenolate Solutions--

Takao Takeuchi, Hiromitu Okaue, Kokichi Miyagi, Nobuaki Sasaki and Hajime Kimura

Abstract

Experiments in physical and chemical absorption of carbon dioxide in water and aqueous solutions of sodium phenolate were carried out in wetted-wall column of glass tube, so as to obtain the following two objects: the generalized data at packed column treatments and industrial wetted-wall column treatments.

For the over-all coefficients, K'_{0G} , experimentally determined as follow:

 $K'_{0G} = (1.48) (10^{-6}) (R_e) L e^{1.064N - 0.0277t} \cdot G^{0.14}$

and the liquid-film coefficients, k_L , determined by physical absorption.

The over-all coefficients, $K'_{\alpha}a$, and the chemical reaction factor, β , were slightly different from the theoretical equations.

Consequently, the present equations as well as the Hatta's may safety be applicable to the chemical absorption in continuous equipments.

§1. 緒 言

「石炭酸ソーダ溶液分解塔の化学工学的研究」の一連の研究の中,つぎの目的のため分解 塔として濡壁塔を用いて実験を行なった。すなわち,充填塔における石炭酸ソーダー炭酸ガス 系の反応吸収を取扱うための基礎的資料を得るためと,工場操作において分解塔として濡壁塔 を使用する場合の基礎実験のためである。実験は炭酸ガス一水系で物理吸収を行ない,液境膜 係数 k_Lを求め,ついで石炭酸ソーダー炭酸ガス系で化学吸収実験を行ない,総括物質移動係

^{*} 北海道炭砿汽船株式会社

^{**} 富士セメント株式会社

^{***} 阿寒高校

^{****} 北海道溶剤工業株式会社

数 K₆₀ を, さらに両者より反応係数 β を求める。 これらの諸係数におよぼすガス流量, 液流 量, 溶液濃度, 温度などの因子の影響を調べ, 比較的理論式を満足する実験式を得た。また, これらの結果を充填塔実験に適用した結果, 略々良好な一致が得られた。

§2. 実験装置および方法

実験装置: 使用した装置の概略を図-1 に示す。濡壁塔は内径 0.022 m, 有効長さ 1.14 m の硝子管を使用した。塔頂は水平に研磨し,また塔底部は外部へなめらかな曲率で弯曲させ, 流下液がガス送入口に流れぬようにした。液はヘッドタンクから流量計を経て塔頂に供給され る。塔頂に用いた均一液分布器は 図-2 に示すように,鋭敏なスプリングで支えた金網を用い, 液流量の増加とともに撓み,重力により均一に管内面に沿うて流下するように調節でき,これ により管路断面変化を防止し,かつ波立ちの影響を除いた。

以上の装置で,水一炭酸ガス系で物理吸収実験を,石炭酸ソーダー炭酸ガス系で化学吸収 実験を行なった。実験方法,使用気体,液体試料,分析方法は充填塔の物理吸収実験ⁿおよび



化学吸収実験³ と同じである。また系内の圧力を大気圧以上に保って系外からの空気の混入を防いだ。さらに、ガスおよび液の循環使用はせず、炭酸ガス濃度の変化による追求は行なわず、 工業操作条件³⁾の追試にとどめた。

実験条件はつぎのとおりである。

			物理吸収	化学吸収	
ガ	ス 流	量	400	(28~170)×10 ⁻³	[kg/m²hr]
ガ	ス濃	庱	99.9	$15 \sim 20$	[%]
液	流	量	$100 \sim 1000$	$200 \sim 1000$	[kg/m•hr]
実	験温	度	$0.5 \sim 50$	0~50	[°C]
液	濃	度		$0.0086 \sim 1.73$	[kgmol/m³]

§3. 理論的考察

物理吸収

濡壁塔におけるガス境膜物質移動係数 kg に対しては Gilliland-Sherwood の式

$$k_{g}P_{BM}\frac{D_{T}}{D_{G}}\frac{M_{av}}{\rho_{G}} = 0.023 \ (R_{e})_{G}^{0.83}(S_{c})_{G}^{0.44}$$
(1)

や Linton-Sherwood⁵ の数値があり、その後層流、乱流の広範囲に実験した van Krevelen⁶、 藤田⁷ の式があり、また直接ガス境膜係数を実測して求めた亀井ら⁵ の研究がある。

一方,液境膜物質移動係数 k_L に関しては八田⁹, Miller-Henley¹⁰, Vyazovov¹¹,藤田¹²,の 研究がある。液膜が完全に層流で壁面を流下すると仮定し、かつ液本体濃度が塔の入口から出 口まで一定であると仮定できるような接触時間内であれば、八田⁹,松山¹³,吉田¹⁴)その他の 研究¹⁵ から,k_L に対する理論式は次のようにあらわし得る。

$$k_L = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{D_{AL}}{\theta}} = \sqrt{\frac{6D_{AL}\bar{u}}{\pi z}}$$
(2)

式中 a は液の平均流下速度(表面速度の 2/3 倍)であるが、これに Nusselt の理論式を入れると

$$k_{L} = \sqrt{\frac{1.65}{\pi}} \left[D_{L} (g \nu_{L})^{1/3} / z \right]^{1/2} (R_{e}) z^{1/3}$$
(3)

ただし、 $(R_e)_L = 4\Gamma/\mu_L$ である。

しかして、上記の k_{G} 、 k_{L} と吸収速度の間には、

$$1/K_{0G} = 1/k_G + 1/Hk_L \tag{4}$$

$$N_{A} = (\pi D z) K_{0G}(p_{G} - p_{L}) \tag{5}$$

の関係がある。

竹内隆男·岳上広光·宫城宏吉·佐々木信昭·木村一

化学吸収

濡壁塔に化学吸収の理論¹⁹を応用した研究に藤田ら¹²)の報告がある。 すなわち,充填塔 で述べたごとく²),八田¹⁹, van Krevelen¹⁷,吉田¹⁴)らの研究の結果,吸収速度と総括物質移動 係数および反応係数の間に次の関係式が存在することが明らかにされた。

$$N'_{A} = (\pi Dz) K'_{0G} (p_{G} - p_{L}) \tag{6}$$

$$1/K_{0G} = 1/k_{G} + 1/H_{0}\beta k_{L} \tag{7}$$

また,反応係数βについては

$$\beta = \frac{r}{\tanh r}$$
 (定常拡散に準拠した場合) (8)

$$\beta = \left(r + \frac{\pi}{8r}\right) \operatorname{erf}\left(\frac{2r}{\sqrt{\pi}}\right) + \frac{1}{2}e^{-\frac{4r^2}{\pi}} \qquad (非定常拡散に準拠した場合) \qquad (9)$$

ただし

$$\gamma = \sqrt{k_{\rm II} C_B D_{AI}} / k_L \tag{10}$$



(320)

藤田はこの理論を濡壁塔に応用し、塔頂から入る液が塔底を去るまでの時間を(2)式の *H* と考え、気・液界面の *C*₄ が塔内で一定、かつ 液が塔底を去るときにも液本体中に炭酸ガスが 充分拡散せず、液本体中の炭酸ガスの濃度 C [kgmol/m³]=0 が保たれているとすれば、

$$N_{AG} = \beta k_L C_i \tag{11}$$

で表わし得, βは γの関数で γ<5 でのみ差が表われる。(図-3)

§4. 実験結果および検討

I. 物理吸収

液, ガス分析結果より求めた吸収速度 N_A から (5) 式により総括物質移動係数 K_{04} を計算 しこれと (1) 式による k_a の計算値とから (4) 式で k_L を計算する。この k_L を用いて (3) 式にし たがって $k_L [z/D_{AI}(gv_L)^{1/3}]^{1/2}$ を計算し,これを $(R_e)_L$ に対して点綴したのが図-4 である。

なお、この場合、気相として純炭酸ガスを用いたから、ガス側に分圧匂配はなく、吸収に際して発生する熱量を無視できるとすれば、液境膜物質移動係数 kr は次式で表わされる。



(321)

$$k_{L} = \frac{\Gamma}{\rho_{L}z} \int_{C_{1}}^{C_{2}} \frac{dC}{C_{s} - C} = \frac{\Gamma}{\rho_{L}z} \ln \frac{C_{s} - C_{1}}{C_{s} - C_{2}}$$
(12)

Ez N	cp. o.	Liq. Temp. (°C)	$(R_e)_L$	$\begin{array}{c} \text{Liq.}\\ \text{Conc.}\\ \left(\frac{\text{kgmol}}{\text{m}^3}\right) \end{array}$	Gas. Conc. (%)	$k'_L Y$	<i>k1</i> (m/hr)	$\frac{N_{AG}}{\left(\frac{\text{kgmol}}{\text{m}^2 \text{ hr}}\right)}$	(<i>K</i> ₀ <i>z</i>) (m/hr)	β
W	19	18.0	188,2	0.818	16.43	10.09	0.141	1.716	1.645	3.01
	20	16.5	209.4		16.58	11.3	0.145	2.01	1.85	3.316
	21	17.5	394.8		16.67	14.2	0.184	4.16	3.7	5.28
	22	17.0	544.9		15.84	15.8	0.227	4.18	3.8	4.388
W	23	19.5	106.5	1,726	16.4	7.4	0.0709	2.15	2.065	6.811
	24	19.5	140.8		16.43	10,0	0.0959	2.915	2.75	7.449
	25	15.2	184.4		15.43	12.6	0.109	5.33	4.82	11.66
	26	15.0	263.4		16,06	12,2	0.104	9.56	9.56	25.03
W	50	34.5	281.2	0.0528	16.79	12.5	0.212	0.705	0.81	1.236
	51	29.0	581.4		17.00	16.2	0.259	1.612	1,535	1.961
	52	30.0	914.7		16.29	18,7	0.306	2.91	2,75	2.957
	53	33.0	1287.5		16.06	22.2	0.371	4,32	4.92	4.492
W	31	47.0	429.2	0.481	15.74	14.5	0.276	0.732	0.84	1.447
	32	47.5	855.6		15.36	18.3	0.351	1.835	1.45	2.12
	33	44.0	1128.5		15.81	20.0	0.375	2.765	2,30	3.08
	34	45.5	1552.0		17.02	26.3	0.495	4.18	4.06	4.03
W	35	47.0	416,3	0.804	16.17	13.4	0.206	1.25	1,525	3.56
	36	42.5	590.2		16.26	15.2	0.234	1.878	2,257	4.63
	37	47.0	880.6		16.0	17.0	0.261	2.855	3,53	6.44
	38	43.0	1040.8		16.18	18.5	0.285	3.98	5.54	9.28
W	39	45.5	203.5	1.773	16.40	11.2	0,157	1.21	1.48	4.57
	40	43.0	317.9		16.40	13.2	0.184	2.1	2,25	5.96
	41	43.0	484.9		16.11	15.2	0.212	3.77	4.05	9.327
	42	48.5	714.2		16.25	17.2	0.251	5.73	6,88	13.89
	74	6.0	154.0	0.0818	14.8	10.3	0.121	1.168	1.42	1.815
	75	7.8	228.3		14.3	11.7	0.142	1.732	1.79	1.954
	76	3.0	291.1		15.6	12.6	0.140	4.02	2.7	3.015
	77	4.0	436.5		16.4	14.7	0.165	4.340	4.4	4.231
	78	4.1	130.3	0.806	14.2	9.0	0.098	2.69	2.77	4.431
	79	5.5	193.3		15.2	11.0	0.121	4.0	3,88	5.046
	80	3.8	227.5		16.5	11.6	0.1213	6.86	6.12	8.20
		, 1								

表—1

(322)

(11) 式の k_L と (4) 式よりの k_L はほぼ満足すべき値を得た。

図-4 による結果は、必ずしも良好ではないが、前述の理論式より稍 k_L の値が大きくなっていることは、(*R*_e)_L の小さい時は 塔内壁が完全に濡れなくなるので 有効接触面積が減ずるために k_L が大となるものと思われる。

また,藤田の式12)

 $k_{L}[z/D_{AI}(g\nu_{L})^{1/3}]^{1/2} = 1.90 \, (R_{e})_{L}^{1/3} \tag{13}$

と比較すると (*R_e*)_z>1000 の場合の藤田の実験と直線の傾斜が一致する。これは、Dukler¹⁸の 述べているように波立ちの影響と考えられる。

そのため、化学吸収の結果の整理に用いるの k_L 値としては、既住の藤田ら¹² の結果を平均して用いた。

II. 化学吸収

実験結果からの計算値の一部を表-1に示す。

総括物質移動係数 Kog

吸収速度より(6)式にしたがって総括物質移動係数 K₆₀ を求め,それにおよぼす諸因子の 影響を求めてみる。

ガス質量速度: 図-5 に示されるように、(Re)gの大なる場合のみ次式を得た。

 $K_{0G}' = \alpha G^{0.4}$

(14)

これは、 $\Gamma = 3.161 \times 10^2 \text{ kg/m·hr}$ 、温度 45°C,液濃度 0.8 kgmol/m³ の場合で、矢木ら¹⁰ が 苛性カリウム水溶液による炭酸ガス吸収での平均総括物質移動係数を安定流動区間で得た値と



直線の傾斜が一致している。また (R_e) a の低い場合は, (14) 式より明らかなごとくガス境膜抵抗が波立ちなどのため無視できないゆえ、ガス流速が低くなるに従いその影響が大となり減少するものと考えられる。 なお本条件のもとでのガスの限界速度は $G_c=20\sim22$ m³/hr であり, (u_q) $_c=2.2$ cm/sec である。また本実験結果は Whitman²⁰) のプレート塔の考察を裏付けし得た。

<u>液質量速度</u>,<u>溶液濃度</u>,<u>反応温度</u>: K_{60} に対する (R_e)_L,溶液濃度 N,反応温度 t の影響 を求めてみると 図-6 より N, t に対して直線関係が得られつぎの実験式を得る。

$$K'_{0G} = (1.48)(10^{-6})(R_e)_L e^{1.064N - 0.0277t} G^{0.14}$$
(15)

(*R_e*)_{*L*}の増加に対する *K*₆ の増加はこの化学吸収の反応速度が比較的大であることを意味 し、また 液濃度、液温度については、反応する物質の特性に 影響はあるも、濃度が 大なる程 *K*₆ が増加し、反応温度が大なる程或る程度まで反応速度は大になるが、同時に液の蒸気圧増 加とともに反応抵抗も増加して総体的に *K*₆ が減少する事が考えられた。

反応係数 β

 $(R_e)_{dF}$ を一定にして求めた K'_{0d} と(1)式より計算した k_d (表-1 では一定) とさらにこれらの 値を(9)式に代入して $H_0\beta k_L$ を計算した。 一方図-4 の実線より $(R_e)_L$ に対する k_LY ($Y=[z/D_{AL}(g\nu_L)^{1/3}]^{1/2}$)を求め, Y を計算して k_L を求める。これに I, C, T より H_0 を求めて代入し



て β を求める。つぎに横軸に $\gamma = \sqrt{k_{II}C_{B}D_{AL}}/k_{L}$ 縦軸に β を点綴すれば 図-7 となり実験値は (3) および(10) 式にかなりよく一致する。(この場合 k_{II}²¹⁾, D_{AL}²²) は文献より求めた。)



(Re) たの大なるときは、理論曲線より小さい値が多く現われており、特に温度の高い場合に はなはだしいが、これは有効接触面積の問題より、むしろ理論式の仮定によるもの、または温 度の高い場合に表面蒸発による飛沫同伴で、ガスを吸収した液の減少によるものなどに原因す る。 しかしながら、この程度の誤差を許せば 前記の仮定が実際にも ほぼ満足することが判明 した。

§5. 結 言

工場操作における基礎資料を得るためと、充填塔の予備実験のために、濡壁塔を用いて水 一炭酸ガス系の物理吸収、石炭酸ソーダ水溶液一炭酸ガス系の化学吸収を実験してつぎの結果 を得た。

1. 物理吸収の結果,得た k_L は理論式をほぼ満足した。

2. 化学吸収実験より,総括物質移動係数 K₆₀ に対し,ガス流量,液流量,液濃度および 液温度に対して ±50% の誤差範囲でつぎの実験式を得た。

 $K'_{0G} = (1.48) (10^{-6}) (R_e)_L e^{1.064 N - 0.0277 t} G^{0.14}$

3. 反応係数 βを求め、ほぼ理論式に合致することを認めた。

(なお,工場装置の設計を上式で直ちに行なうことは,本実験範囲では不適当と思われるが 充填塔実験,さらに工場操作充填塔実験の結果より,一応の目安となることを付記する)。

(昭和37年4月30日受理)

引用文字

C	:	液本体の炭酸ガスの濃度 [kgmol/m³]
C_B	:	溶液濃度 [kgmol/m ³]
C_s	:	水中炭酸ガスの飽和濃度 [kgmol/m³]
D_{T}	:	管内経 [m]
D_{G}	:	空気中の炭酸ガスの拡散係数 [m²/hr]
D_{AL}	:	液中の炭酸ガスの拡散係数 [m²/hr]
G	:	ガス質量速度 [kg/m²hr]
g	:	重力の加速度 [m/hr²]
H_{0}	:	溶液中のヘンリー定数 [kgmol/m ³ ·atm]
$K_0 G$:	総括物質移動係数 [kgmol/m ² hr·atm]
k_{II}	:	反応速度定数 [m³/kgmol·hr]
k_{G}	:	ガス側物質移動係数 [kgmol/m ² hr•atm]
k_L	:	液側物質移動係数 [m/hr]
L	:	液質量速度 [kg/m ² ·hr]
N_A	:	吸収速度 [kgmol/hr]
Þ	:	ガス分圧 [atm]
$(R_e)e$	7:	ガスレイノルズ数=DrG/µg [—]
(R_e)	:	液レイノルズ数=4Γ/μι []
t	:	温 度 [°C]
u	:	速 度 [m/hr]
z	:	濡壁塔の高さ [m]
ρ	:	密 度 [kg/m³]
μ	:	粘 度 [kg/m·hr]
ν	:	運動粘度= μ/ρ [m ² /hr]
Г	:	単位濡縁当りの流量速度 [kg/m・hr]
θ	:	反応時間 [hr]

添字 G はガス, L は液を示し、1 は入口、2 は出口を示す。また '印のない場合は物理吸収を、'印のある場合は化学吸収を示す。

文 献

- 1) 木村, et al: 室工大研報, 3, 267 (1959)
- 2) 木村: 学位論文(京都大学)(1962), 本誌投稿中
- 3) 富士鉄化工会議資料
- 4) Gilliland & Sherwood: I. E. C., 26, 516 (1934)

- 5) Linton & Sherwood: C. E. Progress, 46, 258 (1950)
- 6) van Krevelen: Rec. Trav. Chim., 69. 503 (1950)
- 7) 藤田 et al.: 化工, **16**, 399 (1952)
- 8) 亀井 et al.: 化工, **20**, 71 (1956)
- 9) 八田 et al.: 工化, 37, 280 B (1934)
- 10) Miller & Henley: 卒業研究
- 11) Vyazovov: 卒業研究
- 12) 藤田 et al.: 化工, 18, 73 (1954)
- 13) 松山: 化機, 14, 245, 249 (1950)
- 14) 吉田 et al.: 化工協会東北大会発表 (於秋田) (1958)
- 15) Sherwood & Pigford: "Absorption and Extraction" 2 nd. Ed. P 84, 266 (1952)
- 16) 八田: Tech. Report, Tohoku Imp. Unv., 10, 119 (1932)
- 17) van Krevelen & Hoftijzer: C. E. Progress, 44, 529 (1948)
- 18) Dukler: Thesis in Chem. Eng., Univ. of Delaware, 1949.
- 19) 矢木 et al.: 化工, 18, 479 (1954)
- 20) Whitman & Davis: I. E. C. 18, 264 (1926)
- 21) 木村 et al.: 室工大研報, 3, 587 (1961)
- 22) 木村: 化工, 27, 第1号 (1963).



充填塔による石炭酸ソーダ水溶液に対する 炭酸ガスの吸収について

向井田健一*・宇野克志**・竹内隆男*** 米沢健次****・木村 一

Studies on the Gas Absorption and Chemical Reaction in a Packed Columns

-The Absorption of Carbon Dioxide in Sodium Phenolate Solutions-

Ken-ichi Mukaida, Katsushi Uno, Takao Takeuchi, Kenji Yonezawa and Hajime Kimura

Abstract

Experiments in chemical absorption of carbon dioxide in aqueous solutions of sodium phenolate were carried out in several columns packed with 10 mm ceramic Rashig ring, in order that we might obtain the correlations of characterisities between industrial packed column and laboratory packed column, and correspond the theories of chemical absorption for this system.

The present writers calculated the film coefficients of physical absorption, kaa and k_La , from the previous report and suitable experimental equations, and investigated the effects of the several variables on the over-all coefficients K'_{Ga} : rate of liquid flow, gas velocity, liquid concentration and liquid temperature.

We obtained the over-all coefficients, K'_ga, may be expressed by the following equations,

 $K'_{Ga} = (1.2) (10^{-4}) C'_{B}^{0.376} L^{-334/T+1.815} \cdot G^{0.8}$

Furthermore, the value of experimentally corresponds to the theoretical values, apploximately.

§1. 緒 言

「石炭酸ソーダ溶液分解塔の化学工学的研究」の一連の研究の中,タール酸ソーダ溶液分 解塔として現代既に化成工場で使用されている充填塔の諸特性の関係を得るためと,現在まで 使用されている化学吸収の理論に,石炭酸ソーダ水溶液一炭酸ガス系がいかなる対応を示すか を追究する目的で,各種の実験室的小規模の充填塔で実験を行なった。

実験は既報で得た炭酸ガス一水系で物理吸収を行ない基礎的数値を用い且つ今回石炭酸ソ

^{*} 北海道大学工学部応用化学科

^{**} 姫路工業大学助手

^{***} 北海道炭砿汽船株式会社

^{****} 苫小牧市役所水道部

向井田健一·宇野克志·竹内隆男·米沢健次·木村一

ーダ水溶液一炭酸ガス系で化学吸収を行なってそれらを比較検討した。その結果から,総括容量係数に及ぼす諸因子(反応温度,溶液濃度,液質量速度など)の関係式を求めるとともに,反応係数に対する実験値と理論値とを比較した結果略,満足する一致が得られた。

§2. 実験装置および実験条件

実験装置: 使用した装置の概略を図-1 に、また使用した充填塔の種類,特性値は表-1 に 示す。塔頂の液分布器はノズルと開放口の両者を用い、これをガラスサドル、硝子綿、金網な どにより均一に分布する様に工夫した。液は定水位槽を経て、流量調節弁、加温槽、液分布器 を通じて充填塔の頂部で分配され上昇ガスと接触しながら流下、塔底部より排出される。液の 排出には溢流形式をとり、塔内の圧力に応じて溢流部を上下し塔下部水面を一定位置(充填 層下の距離)に保った。また、充填物は 10 mm 磁製 Rashig ring を用い、これを不規則充填し た。更にガス供給部(塔底)の静定部として内径 0.3 cm または 0.5 cm、長さ 10 cm の硝子管を 充填塔に垂直に保持しその上に Rashig ring を充填した。



吸収液は市販の一級水酸化ナトリウムを蒸溜水に溶解し,濃厚溶液をつくり,不純物を濾 過除去した後脱炭酸ガス蒸溜水にて稀釈した。これに市販の蒸溜石炭酸を当量溶解して調製し た石炭酸ソーダ水溶液を24時間放置して液体試料とした。 吸収ガスは市販炭酸ガスをボンベ からニードルバルブ,洗気瓶,流量計を通した後,同様に洗気瓶,流量計を通った空気と混合

Tower No.	Diameter D (m)	Height z (m)	Strainer m (m)	Dry Void (%)	Liquid Distributer
B1	0.037	0.8	0.1	65.9	nozzle
B 2	0.037	0.8	0.1	65.9	open
C1	0.024	0.8	0.075	69.8	nozzle
C_2	0.024	0.5	0.075	69.9	nozzle
C ₃	0.024	0.3	0.075	70.2	nozzle
D_1	0.0547	0.8	0.035	61.8	open
D_2	0.0547	0.5	0.035	61.3	open
D_3	0.0547	0.3	0.035	60.2	open

表—1

瓶で混合させ,溶液温度に調温して塔下部に送入し,塔頂より排出したが,この際送入炭酸ガ スは塔内での吸収量より稍々過剰に送り,この過剰分はガス溜に付設したガス放出管中に気泡 として放出した。また系内の圧力を大気圧以上に保って系外からの空気の混入を防いだ。実験 の操作は,ガス循環を行なわず,先ず液および,ガスの流量を任意に調節し一定時間後に定常 状態に達せしめ,液およびガスの温度,流量,充填塔内の圧力を測定し,両者の分析を行なっ た。ガス分析方法はOrsat 法で,液分析方法は既報¹⁾のごとき総合分析法を用いた。

また,実験条件は

ガ	ス 流	量	23.0~160	kg/m²hr	ガ	ス温	度	17 ~ 20°C
液	流	量	700 ~ 20.000	11	液	濃	度	0.1~20%
ガ	ス 濃	度	約20%		液	温	度	15 ~ 70°C

で,実験は主として試料溶液中のアルカリ濃度,液質量速度,液温度を広範囲に変化させるようにし,ガス流速および入口ガス中の炭酸ガス中の炭酸ガスの濃度は工業的操作条件近い範囲 でほぼ一定に保った。

§3. 理論および計算

吸収が化学反応を伴う場合には吸収速度は拡散の他に反応速度に影響される。多くの場合 は液相反応で、被吸収成分はまずガス境膜を拡散して液に溶解し、液側では拡散とともに反応 が起ると思われる。この場合の吸収速度は次式で与えられる。

(331)

$$N_A' = K_G' a \cdot z \, (\varDelta p)_{
m lm}$$

また物質移動係数については次の関係が成立する。

$$1/K_{G}'a = 1/k_{G}a + 1/H_{0}\beta_{L}k_{L}a$$
(2)

(1)

)

吉田ら²⁾の理論によれば反応係数βは次式で導かれる

$$\beta = \left(\gamma + \frac{\pi}{8\gamma}\right) \operatorname{erf}\left(\frac{2\gamma}{\sqrt{\pi}}\right) + \frac{1}{2}e^{-\frac{4\gamma^2}{\pi}}$$
(3)

また,八田³)の理論によればβは次のようになる。

$$\beta = \gamma / \tanh \gamma$$
 (4)

$$\tau t t \ \ \ \tau = \sqrt{k_{\rm H} \cdot C'_B \cdot D'_{AL}} / k_L \tag{5}$$

(4),(5)両式の差があらわれるのは, 7<5 の範囲である。 いづれにしても,上の両式を導くに 当って次の3つの仮定が前提となっている。

1) 液本体は層流で炭酸ガスが分子拡散によって移動すること。

- 2) 気液界面の液側炭酸ガス濃度 C_i が塔内において一定
- 3) 塔内の液中苛性ソーダ濃度が一定

これらの仮定は

 Higbie の不定常拡散説¹ からの k_La と Sherwood ら⁵ の求めた k_La が共に拡散係数 の平方根に比例する事実

2) 総括抵抗からガス境膜抵抗を差引いたということが液面に純ガスが触れている場合と 同様の条件を意味すると考えること (*C*^{*i*} は溶解度と等しくなる)。

3) 塔内濃度変化が小さい実験事実

などで、以上の仮定が略々是認されると考えてよい。

数値の取扱いについては液ガス分析結果より生成アルカリ量を求め、この生成アルカリ量 が時間的に増加していく線図より吸収速度を求めた。 この吸収速度より、(1)式より K₀a を計 算し、この K₀a に対する液流量、濃度、温度などの影響を追究して 設計資料となる実験式を 求めた。また一方 K₀a と既報⁶ の物理吸収で求めた k_La と、Fellinger⁷ の結果よりの値を換 算して用いたガス側境膜係数 k₀a より (2) で β を算出し、これを 7 に対して点綴し (4)、(5)式 と比較した。 このとき 7 を求める場合の k_L は藤田の方法⁶ と吉田一三浦の方法⁹ によって求 めたものである。 また、k₁₁¹⁰、H₀¹¹、 μ 、 ρ_L 、 D_{AL}^{12} は著者らの実験より求め、H₀、 D_{q} その 他の物性値は I, C, T より引用した。

§4. 実験結果と考察

実験結果の一部を表-2に示す。
充填塔による石炭酸ソーダ水溶液に対する炭酸ガスの吸収について

総括容量係数 Kaa

 ガス流速: 図-2 のごとく K'a 対 G を点綴した結果,温度,濃度により K'a は変化 を受けほぼ次の実験式が得られた。

$K'_{Ga} \propto G^{0.73}$

(6)

厳密に検討すると、濃度が 1 kgmol/m^3 以上になると K_{6a} は濃度、温度の影響はほとんど受けなくなるが、濃度の小なる場合には両方の影響が現われた。 また $G=200 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ より大きくなると、 K_{6a} は G の増加につれて極く僅か減少する傾向も見受けられた。

この附近は所謂 Loading point に相当し, k_{Ga} に対する G の影響を求めた Houston¹⁸, 藤 田¹⁰ の実験と一致する。しかして K_{Ga} に対する k_{Ga} の影響は本実験のようにガス境膜抵抗が 充分考えられるため,相対的に K_{Ga} は k_{Ga} と同様 G の影響を受け,結果として K_{Ga} に対し て G 以外の他の因子 (L, N, t など) が作用をおよぼすものと考えられる。

2) 液流速: 図-3 に K₆a と L との関係を示す。 各線はそれぞれの液濃度,温度について (液流量一定における前述のような K₆a と G の関係を求め), $G = 60.7 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ における 値である。一定温度の場合,各線は大体平行な直線で次の関係式が成り立つ。

 $K_{G}'a = \alpha L^{0.65}$

(7)



Káa が L に比例して増加するのは、液流量が増すと充填物上の液層の厚さが増して、塔

(333)

		Mean	Liq.		Sec.		Liquo	Conc.	а	kīa
E	xp.	Water Temp	Rate	$(R_{a})T$	Area	Height	equil.	Outlet		at 15(°C)
N	lo.	t(°C)	$\left \left(\frac{kg}{m^2 hr} \right) \right $	(IVe)L	(m ²)	(m)	$\left(\frac{kg}{\ kgH_2O}\right)$	$\left(\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{kgH_2O}}\right)$		$\left(\frac{1}{hr}\right)$
В	01	24.75	519	19.7	13.82	0.8	1,521	0.651	32.7	0.293
	02	24.75	1623	40.8			1.521	0.887	49.4	1.2
	03	24.0	3243	65.2			1.542	0.921	60.8	2.75
	04	23.05	5450	90.5			1.561	0.817	72.2	4.2
	05	21.25	12050	155.2			1.669	0.934	88.4	8.0
В	01	12.0	825	21.2	13.82	0.8	2.205	1.470	34.8	1.18
	02	8.0	1670	31.4			2.537	1.728	43.2	2.65
	03	9.65	5780	74.9			2.375	1.759	65.2	10.2
	04	9.0	11420	118.7			2.442	1.715	79.6	17.5
	05	7.5	16720	151.7			2.580	1.672	88.2	24.8
С	01	17.0	1780	38.6	5.71	0.8	1.890	0,988	47.5	1.5
	02	17.0	3990	65,6			1.890	1.048	61.8	3.8
	03	15.5	13440	149.0			1.976	1.152	87.2	14.0
	04	15.0	17500	181.0			2.015	1.129	94.2	17.5
С	01	19.0	2360	48.4	5.71	0.5	1.782	0.774	52,3	2.6
	02	19.0	3760	64.7			1.782	0.851	61.8	4.4
	03	18.5	8820	118.0			1.807	0.925	78.8	12.7
	04	16.0	20350	204.4			1.948	0.935	98.9	25.2
С	01	16.5	1780	37.6	5.71	0.3	1.888	0.919	47.5	3.0
	02	16.5	3810	63.9			1.948	0.946	60.8	8.0
	03	17.0	7980	113.4			1.890	0.956	72,0	17.3
	04	17.0	18100	187.0			1.948	0.894	96.0	34.8
D	01	14.0	896	22.9	30.15	0.8	2.075	1.285	36.7	0.9
	02	14.0	1235	28.0			2.075	1.145	41.3	1,31
	03	12.0	2110	38.4			2,208	1.380	49.0	2.45
	04	11.5	6620	84.5			2.241	1.194	69.0	6.75
D	01	11.5	718	19.0	30.15	0.5	2.244	1.158	33.4	1.02
	02	13.0	1095	25.6			2.120	1.166	39.0	1.70
	03	11.0	2990	49.1			2.277	1.252	53.2	5.4
	04	8.0	4930	161.5			2.537	1.314	62.0	8.0
D	01	12.5	876	22.2	30.15	0.3	2.172	1.145	35.5	1.85
	02	9.7	1542	30.5			2,382	1,099	42.6	3.35
	03	9.2	4230	64.8			2.422	0,943	01.0 70.7	8.2 19.2
	04	8.5	7580	87.9			2.482	1.222	70,7	18.2

表—2



の各断面において液がガスを吸収し易くなり、このため、液中の遊離炭酸ガスの濃度匂配が大



きくなり,その結果吸収速度が大となるものである。また液流量の小さい場合には上述とは反 対に有効接触面積が減少するためである。

 K'_{6a} に対する液流量の影響については,苛性アルカリー炭酸ガス系で Tape & Dodge¹²) が $L^{0.28}$ に比例することや,炭酸アルカリー炭酸ガス系で Furnas-Bellinger¹³) が $L^{0.64}$ に比例する という報告があるが,この石炭酸ソーダー炭酸ガス系も $L^{0.55}$ と後者の系に類似の傾向が得ら れた。なお直線の傾斜 m は,温度の関数であり,αは温度,液濃度の関数である。 さらに濡 壁塔実験¹ の場合と対比すると, $K'_{6a} \propto (R_e)_L^{1.02}$ となり $(R_e)_L$ の指数が大体同じ値をとること は濡壁塔実験の裏付をしたことにもなる。

3) 反応温度: 図-4 に吸収液温度の関係を示す。 すなわち,前項の Káa∝L^mの直線の 傾斜 m は,温度のみの関数であり、この m を温度に対して点綴したもので、次式のような実 験式を得る。

$$m = -\frac{334}{T} - 1.815 \tag{8}$$

(335)

反応温度の影響は,諸研究者^{14),15)}の苛性 アルカリ,炭酸アルカリ溶液の炭酸ガス吸収の 実験で,反応温度 70~80°C の間に吸収速度の 最大の点があると報告されているが,本反応の 場合は 65°C 附近に最大点が見出された。

4) 溶液濃度: 前出の実験式のαは温度,
 試料溶液濃度の関数であるから,実験条件を統
 一してαを求めれば図-5のように直線となる。

しかしてαは温度の影響は極めて小さいゆ え,試料溶液濃度のみの関数としてαを求めれ ば次の関係式を得る。

$\alpha = 0.0032 C_B^{\prime 0.376}$



(9)

苛性アルカリー炭酸ガス系で, Dodge ら¹²⁾ は C'_B の増加につれて K'_da は減少し,また八田ら¹⁶⁾ は C'_B の増加につれ変化はほとんど認められないと報告している。しかし本実験の場合



は矢木ら¹⁷⁾の垂直管内気液二相流動の場合と同様, C'_B の増加とともに K'_{Ga} が増加する傾向が認められた。濡壁塔の場合も K'_{GG} は C'_B に比例して増加し、その増加の影響もほぼ類似している¹)。しかして K'_{Ga} の C'_B について追究すれば、今反応速度定数 k_{II} を既知と考えても反応係数 β は C'_B に正比例しなければならない。 すなわち、藤田⁸⁾の理論では $\gamma = \sqrt{k_{II}C'_B} D'_{AL}/k_L$ で表わされるが、 $\gamma > 5$ であれば、 $\beta \propto \sqrt{C'_B}$ となり、実験と理論の一致が見出される筈である。

5) 実験式の作製: 以上の結果より次の実験式が得られる。

$$K'_{Ga} = (1.2)(10^{-4}) C'_{B^{0,376}} L^{-\frac{334}{T}+1.815} G^{0,8}$$
(10)

この式は誤差 ±20% の範囲内で良く実験結果と一致する。

なお、本実験の K'_{6a} と濡壁塔実験の K'_{6a} との関係を考察してみると、今藤田¹⁰ にならい、 $L/a_t \cdot \mu_L$ 対 a/a_t の線図より充填塔の気液の有効接触面積 a を求める。 つぎに本実験より求め た K'_{6a} を先に求めた a で除し、これより (K'_{66})ealc. を計算し、これと濡壁塔実験の (K'_{66})obs. を 点綴する 図-6 のごとく、ほぼ 45° の直線となる。特に温度の高い時の数値においてはよく一致 する。この値は G=50 kg/m²·hr、(R_e) $_L>100$ の場合の数値である。

また、気液の有効接触面積については最近吉田ら⁹によって明らかにされてきたが、その 方法を本実験にあてはめてみると、 $C'_B>1 \text{ kgmol/m}^3$ 、 $(R_e)_L=100$ で始めて k'_La が $C'_B^{1/2}$ に比例 する。この時 k'_La 対 $\sqrt{k_{II}}C'_B D'_{AL}$ を点綴すると直線になり、かっ $a_{et}=k'_La/k'_L$ となるが、これ



(337)

を濡壁塔の K'_{0L} と組合せれば、 $K'_{0L} \times a_{et} = k'_{La}$ となることが判明した。

しかして本反応系において溶液濃度の高い場合の実験は正確な結果を得ることは困難であり、また (*R_e*)*_L* も 300 以下で行なったものであるから明確な結論は得られなかったが、一応定性的には吉田らの理論によく合うように思われる。



反応係数β

前述のごとくして横軸に r' すなわち $a_t\sqrt{k_{II}C_bD_{AI}}/k_ta$ をとり、縦軸に (3) で表わされる β をとって点綴すれば 図-7 のごとくなる。図には苛性ソーダー炭酸ガス系の藤田ら¹⁴)の 1" Rashig ring, Dodge ら¹²)の 1/2" Rashig ring の数値を併載した。 結果は理論式より小さい値が得られ、温度の高い場合には藤田, Dodge の値に近いが、温度の低い場合は少し小さい値が得られた。この点については同じ β に対する $r \ge r'$ との比が a/a_t に相当するものであるという考え方、および理論式に対する仮定の影響などによることは明らかで今後の追究が必要である。

§5. 結 言

充填塔による石炭酸ソーダ溶液に対する炭酸ガスの吸収実験を行ない,総括物質移動係数 に対して液質量速度,溶液濃度,反応温度の影響を表わしたつぎの実験式を得た。

 $K'_{Ga} = (1.2)(10^{-4}) \cdot C'_{B} L^{-\frac{334}{I'}+1.815} G^{0.8}$

実験条件は大体現代の工場操作の範囲で行なったが、塔径や塔高については限定されるた め、この式を直ちに装置設計にスケールアップすることは無理であるが、適当な資料の不足し ている現在、一応の目安として報告した。

又,反応係数βを算出して,理論式との検討を加えた。

なお、大型吸収塔の場合の Káa, β と良く一致したゆえ、この実験結果は装置設計および 工場作業条件の指針を与え得ることを付記する。

(本研究に当り,終始御懇篤な御指導を賜った京大,吉田文武先生,水科篤郎先生に厚く感謝の意を表し ます。また,実験を担当下された,工学士・宮城宏吉,工学士・岡 宏,工学士・我妻孝俟の諸君に感謝致 します。) (昭和 37 年4月 30 日受理)

引用文字

а	:	気液有効接触	面積 [1	m²/m³]		
a_t	:	充塡物の全乾	燥面積	[m²]		
C_B	:	吸収中の溶質	Bの濃度	[kgm	ol/m³]	
D_{AL}	:	被吸収ガス A	の液中にお	おける拡打	 教係数	$[m^2/hr]$
D_{G}	:	気相中におけ	るAの拡	散係数	[m²/h	.r]
G	:	ガス質量速度	[kg/m	²•hr]		
H_0, I	H':	純水および溶	液に対する	ヘンリー	定数	[kgmol/m³•atm]
$K_{^0G}$:	ガス分圧差基	準の総括物	質移動係	数	[kgmol/m ² •hr•atm]
Kga	:	"	総括容	量係数	[kgn	nol/m³hr•atm]
kga	:	"	境膜容	量係数	[kgn	nol/m³hr•atm]
K_{0L}	:	液濃度差基準	の総括物質	移動係数	[m	/hr]
K_{La}	:	"	総括容量	係数	[1/hr]	
kla	:	"	境膜容量	係数	[1/hr]	
k_L	:	"	物質移動	係数	[m/hr]	
L	:	液質量速度	[kg/m²•h	ır]		
N_A	:	被吸収ガス A	の実験吸収	又速度	[kgmo	ol/m²•hr]
$(R_e)_I$:	レイノルズ数	[—]			
T	:	絶対温度	[°K]			
z	:	充塡層高さ	[m]			
α, m	:	実験定数	[—]			
β	:	反応係数	[]			
μ_L	:	液 粘 度	[kg/m•h	r]		
ρ_L	:	液密度	[kg/m³]			

,印のついたものは化学吸収,,印のつかないものは物理吸収の場合を表す。

文 献

- 1) 木村: 学位論文(京都大学) 昭和 37 年
- 2) 吉田, 小柳: 化学工学協会研究発表会(於秋田)1958, 11月
- 3) 八田: 工化, 35, 1389 (1932)
- 4) Higbie: Trans. A. I. Ch. E., 31, 365 (1935)
- 5) Scherwood & Holloway: Trans. A.I. Ch. E., 36, 39 (1940)
- 6) 木村, 岡: 室工大研報, 3, 267 (1959)
- 7) Fellinger: Chem. Eng'r's Handbook (1950)
- 8) 藤田, 谷本, 土方, 中根: 化工, 18, 73 (1954)
- 9) 吉田, 三浦: 三浦学位論文(京都大学) 昭和 36 年
- 10) 木村: 室工大研報, 3, 587 (1961)
- 11) 木村,竹内: 化工投稿中,学位論文(京都大学) 昭和 37 年
- 12) Tape & Dodge: Trans. A. I. Ch. E., 39, 225 (1943)
- 13) Fudsas & Bellinger: Chem. Eng'r's Handbook (1950)
- 14) 藤田, 丹羽: 化学機械, 16, 399 (1952)
- 15) van Krevelen & Hoftijzer: C. E. Progress, 44, 529 (1948)
- 16) 八田: 工化, 37, 280 B (1937); Tech. Report. Tohoku Imp. Univ., 10, 119 (1932)
- 17) 矢木, 佐々木, 小野, 森: 化工, 18, 216 (1954)
- 18) Houston & Walker: I. E. C., 42, 1105 (1950)

泥炭のオゾン酸化に関する研究

佐々木満雄*·平野晴望

On Oxidation of Peat with Ozone

Mitsuo Sasaki and Harumochi Hirano

Abstract

For the purpose of increasing humic acid content in peat, the present writers carried out both contact oxidation with dil. nitric acid and air oxidation. So as to obtain a product humic acid content of about 60%, the former process took 3 hours and the latter 1.5 hours.

In this paper, for the purpose of saving time for oxidation, researches of oxidation with ozone in aqueous suspension of peat are dealt with. On oxidation, humic acid content in peat increasing related to the time and temp., and the maximum content in wich was 60% at 60° C, 40 minutes.

The time was remarkably saved as compared with oxidation by dil. nitric acid or air.

緒 言

石炭の構造ならびに構成成分検索のために各種の酸化剤が古くから使用されて来ているが オゾンも古くから用いられた酸化剤の一つである。Fischer¹⁾は1916年に石炭のオゾン酸化を 行ない,酸化によって蓚酸と水可溶の有機酸を得たと報告している。Kinney 達²⁾は瀝青炭か らオゾン酸化によりフミン酸を得ている。しかしこの場合もオゾン酸化によりフミン酸は分解 されるために,フミン酸量よりは蓚酸量が多かった。なお酸化反応における炭素収支において オゾンが強酸化剤であるため CO₂ の発生の多いことを指摘している。 また Dobinson 達³⁾も 石炭構造研究のためにオゾン酸化を行なっている。以上の外にもオゾン酸化に関する研究が行 なわれているが,乾式オゾン酸化はなく,それぞれ適当な溶媒中で湿式オゾン酸化を行なって いる。溶媒としては,水,酢酸,4塩化炭素およびアルカリ性水溶液が使用されている。

筆者は泥炭中のフミン酸増加を目的とした酸化法としてオゾン酸化を行なった。酸化法と して乾式法と湿式法があるが、乾式法は空気酸化の場合と同様、泥炭とオゾンとの接触をよく しなければならない。そのために回転式か、流動法によらなければならないが、流動法は大量 のオゾンを使用せねばならぬので工業的に不利である。故に回転式酸化法となるが、空気酸化 処理した泥炭をもってアンモニア化した場合製品中の窒素中水溶性なものは僅かに15%に過 ぎなかった⁴。ことから、乾式オゾン酸化も同様の結果になることが予想される。 また乾式で

* 北見工業短期大学教授

(341)

オゾン酸化を行なった場合オゾニドができるために改めてこれを分解し,できるケトンおよび アルデヒド化合物を酸化してカルボキシル化合物にする必要がある。

以上の理由から本研究では水を溶媒として実験を行なった。なお水に対するオゾンの溶解 度は標準状態において水一容に対し約半容である。 故に本研究の場合水 250 cc を使用する故 オゾンの溶解度は僅かに 0.11 g であるから水を溶媒として使用しても殆んど影響はないものと 考えられた。

実験の部

[i] 試 料

石狩金沢産低位泥炭を4カ月風乾したものを30メッシュに粉砕して試料とした。 分析結果は表-1に示す通りである。

水 分	灰 分	揮 発 分	固定炭素	窒素量	フミン酸量	
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
12.53	10.72	55.56	21.19	2.18	27.00	

表一1 工業分析結果

[ii] 装 置

オゾン発生器は北大工学部応用化学科大塚研究室のものを使用させていただいた。オゾン 酸化装置は 図-1 に示す通りである。反応管は硬質ガラス製である。 攪拌装置は設けず,オゾ



ンを反応管底部より細孔を通して放出し,気泡により試料泥炭を水中に浮遊させオゾンと接触 させるようにした。

反応開始直前のオゾン量を決定するために発生器とオゾン排出管との中間にバイパスを設 けた。酸素量および電圧の変化により所定時間中コンスタントなオゾン量を発生させることは 仲々困難であった。そのために反応開始後のオゾン量は、空試験で決めた結果から、酸素流量 計の読みと電流計および電圧計の調節によって一定になるようにした。

[iii] 操 作

オゾンを発生させ オゾン量が一定となった後,反応管に試料泥炭 15gと水 250 cc を投入

し,所定温度で,所定時間酸化を行なった。な お所定温度維持は,反応管を5ℓビーカーに入 れ,温水により加温した。

酸化処理後, 濾過し, 水洗後 80°C で乾燥 した。 フミン酸は 表-2 に示す如き塩酸処理 Fischer 法によった。

なお オゾンの定量は 次の ようにして 求め た。約 200 cc の水に 10% KI 溶液を数滴加え, 緩衡溶液として硼酸溶液 (水 500 cc に硼酸 5.8g 硼砂 0.575 g を溶解したもの)を 2~3 滴加えた 溶液に一定時間 (1 分間)に 発生してくる オゾ ンを吸収させた。これを澱粉溶液を指示薬とし て、N/10 Na₂S₂O₃ で滴定した。

上記の反応は次の式で示す通りである。

 $O_3 + 2KI \longrightarrow O_2 + 2KOH + I_2$

 $I_2 + 2Na_2S_2O_3 \longrightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaI$

そして下記の関係からオゾン量を決定した。

N/10 Na₂S₂O₃. 1 m $\ell \equiv 2.4$ mgO₃

[iv] 濾液中の成分検索

オゾン酸化により生成されるものは糖, 蓚酸, アルデヒドおよび有機酸であると考えられ るのでこれらについて定性および定量を行なった。

糖, 蓚酸および酢酸については前報⁹ で述べた硝酸廃液中の検索と同一方法によった。す なわち糖は Partansky 法により定量し, 蓚酸は過マンガン酸カリ滴定から定量した。酢酸は塩 化第二鉄反応により確認した。この場合も定性的ではあるが, ごく微量であったので定量は行



塩酸処理 Fischer 法

表—2

はなかった。

344

アルデヒドは重亜硫酸法により定量を行なった。すなわち過量の亜硫酸ソーダ溶液に、過 剰な一定量の硫酸標準液を加え、直ちに被検アルデヒドを反応させた。未反応の重亜硫酸ソー ダを水酸化ナトリウム標準溶液で滴定し、アルデヒドを求めた。

上記の反応方程式は次の式で示す通りである。

 $Na_2SO_3+H_2SO_4=NaHSO_4+NaHSO_3$ $NaHSO_3+R\cdot CHO=R\cdot CH < {OH} {SO_3Na}$ $NaHSO_3+NaOH=Na_2SO_4+H_2O$

実験結果

[i] オゾン酸化によるフミン酸量

オゾン酸化によるフミン酸増加に影響を与える因子は、オゾン量、酸化温度および酸化時間である。まずオゾン量の影響をみるために予備実験を行なった。その結果、酸化温度 60°C、酸化時間 60 min が最適であることがわかったので、この条件のもとにオゾン量とフミン酸との関係を求めてみた。

実験結果は 表-3, 図-2 に示す通りで, オゾン量と共にフミン酸量が増加することがわかった。すなわちオゾン量 0.266 g/min ではフミン酸増加率は 135% に過ぎなかった。 それに対し オゾン量 1.938 g/min でフミン酸増加率は 200% に達した。 このフミン酸増加率は筆者の所期 目的に合致するものであった。

酸化温度 (°C)	酸化時間 (min)	オ ゾ ン 量 (g/min)	フミン酸量 (%)	フミン酸増加率 (%)
25	60	0.921	43.0	159
25	60	0.677	33.6	124
60	60	0.266	36.5	135
60	60	0.580	43.3	160
60	60	0.869	49.0	182
60	60	0.938	54.0	200

表─3 オゾン量とフミン酸量との関係

なお、酸化温度および酸化時間による影響をみるために実験を行なった結果は表-4 に示 す通りである。

実験の結果,酸化温度上昇と共に,酸化時間の延長と共にフミン酸量は増加していること がわかった。

以上の結果から酸化温度 60°C,酸化時間 60 min が最適であることがわかった。

(344)

なおオゾン量1g/min までの実験しかしなかったのは, 1.2g/min 以上にするとオゾン発生 器に無理がかかるので実験を行なわなかった。



酸化温度 (°C)	酸化時間 (min)	オ ゾ ン 量 _(g/min)	フミン酸量 (%)	フミン酸増加率 (%)
25	20	1.014	33.2	119
25	40	0.917	41.0	152
25	60	0.921	43.0	159
40	20	0.917	[^] 43,2	160
40	40	0.921	46.8	173
40	60	0.963	51.1	189
60	20	0,927	46.3	171
60	40	0.985	53.0	196
60	60	0.938	54.0	200

表—4

[ii] 濾液中の成分

濾液中の成分として有機酸,アルデヒド,糖および蓚酸が考えられる。その内有機酸は酢酸として塩化第二鉄反応をやったが定性的に少なく,また電導度滴定も行なったが,非常に少ないために定量しにくかった。アルデヒドは重亜硫酸法で定量してみたが,これも量的に非常

(345)

に少なかったので定量は困難であった。

実験結果は表-5に示す通りである。

酸化温	酸化時間	オ ゾ ン 量	糖	彦 酸	
(°C)	(min)	(g/min)	(g/ℓ)	(g/ℓ)	
25	20	1.014	0.146	0.383	
25	40	0.917	0.172	0.675	
25	60	0.921	0.201	0.810	
40	60	0.753	0.213	0.664	
40	60	0.990	0.334	1.996	
60	20	0.541	0.150	0.294	
60	20	0.927	0.218	0.736	
60	40	0.985	0.260	1.956	
60	60	0.586	0.152	0.752	
60	60	0.868	0.378	3.152	
		1	1		

表─5 糖 お よ び 蓚 酸

糖量は一般に少なく,酸化温度 60 °C,酸化時間 60 min が最高であったが,この条件で糖量は 0.378 g/ℓ で硝酸々化に比し 1/10 位であった。これは硝酸により炭水化物が加水分解され糖が大量に生成されたが,オゾン酸化では 加水分解が起らない ために濾液中の 糖量も 少なかった。

これに対し蓚酸はかなり大量に生成されていた。 すなわち酸化温度 40°C 以上,酸化時間 60 min で,おおむね2g/l 以上生成され,酸化温度 60°C では 3.15%で,硝酸々化処理の場合 に近い蓚酸量であった。これは強力酸化剤であるオゾン酸化によりフミン酸の側鎖の裂断およ び炭化水素の酸化により生成するため,短時間で硝酸の場合と同程度の蓚酸が生成されたもの と考えられる。ただし実験は行なわなかったが酸化時間の延長により蓚酸量は若干増加すると 思うが,硝酸々化の場合同様酸化により蓚酸の分解が起る故これ以上の蓚酸量の増加は望めな いものと考えられる。

総 括

フミン酸増加を目的としたオゾン酸化においてフミン酸生成に影響を与える因子は酸化温 度,酸化時間およびオゾン量であるが,1番影響の大きいのはオゾン量であった。オゾン量は できるだけ多い方がよかった。ただし実験は行なわなかったが,しかし強力な酸化剤である故 多くなるとフミン酸の酸化分解が起るためにフミン酸量は減少するものと考えられる。酸化温 度は 60°C が最適であった。酸化時間は酸化温度 60°C の場合は 40 min でほぼフミン酸増加率 は 200% 位に達したので充分であった。ただし本研究では未反応オゾンの循環は行なはなかっ

(346)

たが,循環式にした場合は 蓚酸の回収を考慮すれば 酸化時間 60 min が最適で あると考えら れる。

副産物としての糖およびアルデヒドは量的に非常に少ないものであった。ただ蓚酸のみが 酸化温度 60℃,酸化時間 60 min で 3.15 g/ℓ 生成されていたので,これの回収は酸化コスト低 下に役立つものである。

オゾン酸化と他酸化法とを比較した結果は表-6に示す通りである。

酸化 方法	酸 化時 間	酸 化 温 度 (°C)	フミン 酸 量 (%)	全 窒 素 量 (%)	水溶性 窒素量 (%)	備考
硝酸々化法的(無 触 媒)	6 hr	60	60	9.21	31.0	(1) 原泥炭中のフミン酸
同 上 (触媒として硫化) (鉱シソダー使用)	3 hr	60	62	9.45	33.0	^{重 2170} (2) アンモニア化は 160°Cにて1hr 行っ
空気酸化法")	90 min	100	56	8.01	16.0	た (3) 水溶批空表量は全空
オゾン酸化法	40 min	60	53	8.53	27.0	(5) 小品任重業重は主重 素量に対する百分率

表—6 他酸化法との比較

この結果硝酸々化法に比しフミン酸増加はやや劣っており,空気酸化なみであったが,酸 化時間を非常に短縮することができた点が利点であった。またアンモニア化製品中の全窒素量 はフミン酸量が少ないために硝酸々化よりやや劣っていたが,空気酸化と比較すると全窒素量 は多かった。これは空気酸化が乾式であるためアンモニアと反応しにくかったのに対し,オゾ ン酸化は湿式であるためアンモニアとの反応が容易であったためであると考えられる。更に全 窒素中の水溶性窒素量も同様に硝酸々化よりはやや劣ったが,空気酸化に比し非常に速効性な 有機窒素肥料が得られていた。

次にオゾン酸化の工業化の場合のコスト計算をしてみる。泥炭酸化に使用される消費オゾ ン量は実測していないので、硝酸々化における消費酸素量を消費硝酸量より求め、これよりオ ゾン酸化に要したオゾン量を決定した。この結果、オゾン酸化が発生する酸素の1原子のみが 利用されると仮定すると、オゾン消費量は泥炭1屯処理するのに84kgとなる。オゾンの値段 はオゾン発生装置の種類等によりコストは違うが、東洋高圧工業株式会社で使用している発生 装置を例にとると、オゾンの価格は110円/kgO₃である。これによるとオゾン酸化における酸 化剤としての値段は9240円となる。

なお蓚酸量は泥炭1 屯処理すると30 kg 得られる故, 蓚酸回収により2000 円酸化処理コ ストを底下させることができる。故にオゾン酸化コストは7240 円となる。 硝酸々化処理の場 合は2500 円 (蓚酸回収をした値段である)程度であったから,オゾン酸化コストは硝酸々化に 比し約3倍位になった。もしもオゾン酸化において発生する酸素分子と酸素原子が共に酸化に 使用されるものとすれば1/3のコストになり,硝酸々化の場合と同一程度になる。上述の計算

(347)

佐々木満雄・平野晴望

からしてオゾン酸化処理に要するコストは硝酸々化処理の場合と同等か若干上回ったものであ ろうと推定される。

以上の結果,オゾン酸化はフミン酸増加を目的とし,更に酸化処理泥炭をもってアンモニ ア化した場合,硝酸々化につぐ酸化法であることがわかった。

本研究に対し装置を貸支して下さいました北大工学部応用化学科教授大塚博博士に厚く御 礼申上げると同時に本実験に対し種々御援助を賜りました北大工学部応用化学科の富田宣教官 大学院学生中山雄二郎君並びに実験に従事した吉田哲郎君に対し厚く感謝の意を表するもので ある。 (昭和35年7月18日,日本化学会北海道大会札幌大会発表)

(昭和 37 年 3 月 30 日受理)

文 献

1) F. Fischer: Ber. 49, 1472 (1916)

2) M. D. Ahmed and C. R. Kinney: J. Amer. Chem. Soc., 72, 559 (1950)

C. R. Kinney and L. D. Friedman: ibid, 74, 457 (1950)

3) F. Dobinson, G. J. Lawson and S. G. Ward: Fuel, 35 398 (1956)

4) 佐藤, 佐々木, 八幡, 紀: 室工大研報, 2 632 (1957)

5) 佐々木, 佐藤, 八幡, 室工大研報, 2, 651 (1957)

6) 佐々木, 佐藤, 八幡: 室工大研報, 2, 51 (1957)

7) 佐藤, 佐々木, 八幡, 紀; 室工大研報, 2, 642 (1957)

クロム鉱石焼成物よりクロム酸 ソーダの抽出 (第2報)

固定層抽出に於ける粒径および流速の影響について

杉田治八郎·本田 重 司

Extraction of Sodium Chromate from Chrome Ore Roast (II)

Effects of Particle Size and Water Flow Rate in Fixed-Bed-Type Extraction

Jihachiro Sugita and Shigeji Honda

Abstract

As a continuation of the previous report of the mechanism of solid-liquid extraction of chrome ore roast, attempts were made here to investigate the effects of particle size and water flow rate on the fixed-bed-type extraction of sodium chromate from chrome ore roast. The measured variables were particle and bed characteristics, water flow rate, exit concentration and water temperature. The results obtained were summarized as followed:

The extraction rate of particles around 16–32 mesh in size were higher than any others for the same flow rate of water, especially in the case of extraction at 40°C. For the 30 min.-extraction of solid particles of 16–32 and 32–60 mesh in size at 40° and 60°C, Reynolds number and j_M factor could be well correlated by the following empirical equation:

 $j_M = 0.02 (N_{R_e})^{-1}$

1. 緒 言

クロムの工業的用途は、耐火煉瓦、無機薬品および冶金用に大別され、何れの場合も [M^{II}O·M^{III}O₃] なるスピネル型クロム鉱石を原料として居り、無機薬品および冶金用には Cr₂O₃: 40% 以上の高品位クロム鉱が要求される。我が国に於けるクロム鉱の生産量は僅少で、殆んど 中国地方と北海道に限られて産出する。中国地方では低品位鉱が得られ、専ら耐火煉瓦用に向 けられる。北海道に於いては、日高縦断山脈西側蛇紋岩系中に北部で砂鉱、南部で塊状鉱とし て産出し、何れも高品位ではあるが比較的高価格のため、日高国八田鉱山の月産数十トン程度 が無機薬品用に利用されているに過ぎない。我が国で消費されるクロム鉱の大部分は、ソ連、 フィリピン、東南アジア、南阿連邦等からの輸入に俟っているのが現状である^{1.2}。

前報に述べた如く³, 無機薬品用クロム塩については, 一般にクロム酸ソーダ および 重ク ロム酸ソーダを経て種々の二次的化合物が製出されるが, 前記一次品の製法には, クロム鉱石

(349)

杉田治八郎・本田 重 司

の高温反応により可溶性クロム塩に変じたのち浸出する方法と、フェロクロムの電解によるものとの2法があり、我が国では特別の場合を除き浸出法が用いられ、C.C.D.法による多段抽出が未だに多用されている。

従来,溶解または吸収に於ける充填層内物質移動について多数の理論式および実験式が提 出されているが,多孔体内可溶性固体の層内拡散移動に関する研究は殆んど見られない。筆者 らは,クロム鉱石焼成物の浸出法の改良並びに一般固液系抽出機構の解明のための一段階とし て,球状焼成物からなる固定充填層について低 Reynolds 数域での抽出試験を行ない,つぎに 述べることを知り得た。

2. 実験方法

実験装置は第1図に示す如くで,第2槽からの溢流水で予熱された水道水を第1槽を経て 第2槽へ送り,両槽で所定温度に調整後抽出管内を上昇流せしめて抽出を行なう。

抽出管底部には 目の大きさ 40~50 µ の硝子 多孔板を熔著し、この上に任意層高に試料を充填、 上端を 200 mesh 銅網で抑えて層の膨 脹 を 防 い だ。抽出管内径は 4.75 cm, 溢流側管迄の高さは 約 10 cm である。

計量管では,抽出開始後10分迄2分毎,40 分迄5分毎,以下90分迄10分毎にサンプリング および流速測定を行なった。なお,30分毎に受 器を取り替え,積算抽出率の確認に利用した。

抽出液は,濃厚液に限り5cc,他は15ccを 取り,18N-H₂SO₄5ccを加えて水で稀釈,0.1N -(NH₄)₂SO₄·FeSO₄-KMnO₄ 滴定を行ない,前報 に述べた方法で抽出率を算出した。本実験に使 用した試料の化学組成は第1表の如くである。

3. 実験結果および考察

3.1 粒径の影響

350

9~16, 16~32, 32~60, 60~100, 100~200 mesh の 5 種類の粒径について, 平均空塔速度 55 ~57 cc/min, 抽出温度 40° および 60°C で球状焼 成物 20 g の上昇流抽出試験を行ない, 第 2 表-1,



試	料	$\mathrm{Cr}_2\mathrm{O}_3$	SiO_2	$\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3$	FeO	CaO	MgO
	· · ·	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
焼 成		21.97	3.98	6.22	11.50	28,85	9.57
クロム	、原鉱	55.51	3.98	9.40	12.52		15.28

第1表 試料の化学組成

(註) 分析方法は日本電気冶金法による。

.....

実験番号	粒 径 (mesh)	重 量 (g)	抽出温度 (°C)	流 速 (cc/min)
В — 8	9 ~ 16	20.2577	40	55.3
В — 5	16 ~ 32	19.9616	"	52.6
B — 14	$60 \sim 100$	20.2149	"	54.8
B — 15	$100 \sim 200$	20.0776	"	54.7
B — 10	9 ~ 16	20.1290	60	56.8
В — 9	16 ~ 32	20,1675	"	55.0
В — 74	$60 \sim 100$	20.1412	"	57.3
В — 13	$100 \sim 200$	20.1925	//	54.9
	1			1

第2表―1 粒径別抽出液濃度の時間的変化

第2表—2

抽出時間	2	20 g 換算試	料抽出液 15	cc 当りの C	.1 N-(NH ₄) ₂	SO₄•FeSO	4 消費量 (cc	:)
(min)	B- 8	B— 5	B-14	B-15	B-10	B— 9	B74	B—13
2	101.72	108.31	112,98	90,15	90.32	119.05	114.28	94.10
4	107.43	61.33	58.02	42.55	60.91	64.05	54,28	49.45
6	25,65	33.17	26.28	24.68	29.41	31.42	20.86	22.04
8	11.42	16.85	10.78	12.55	15.30	16.44	9.03	10.77
10	5.88	8.35	4.51	6.38	7.84	8.99	3.57	5.29
15	1.63	2.38	0.56	1.71	3.94	2.74	0.59	1.03
20	1.88	0.92	0.18		1.60	1.45	0.15	0.23
25	0.42	0.30	0.09	0.68	0.52	0.93	0.13	0.14
30	0.40	0.49	0.08	0.54	0.43	0.67	0.03	0.12
35	0.22	0.41	0.13	0.57	0.19	0.51	0.12	0.10
40	0.23	0.23	0.12	0.43	0.14	0.31	0.09	0.04
50	0.15	0.19	0.08	0.37	0.12	0.30	0.04	0.13
60	0.11	0.13	0.10	0.15	0.06	0.24	—	0.05
70	0.02	0.10	0.10	0.07	0.02	0.13	0.11	0.15
80	_		0.12	0.13	0.04	0.16	0.02	0.04
90	0.08	0.99	0.13	0.06	0.33	0.18	0.02	0.01
	1	1	1	1	1		1	

(351)

2の結果を得た。

これより,抽出初期に於ける液濃度並びに抽出速度が極めて大きく,抽出開始後40°C で約30分迄,60°C で約20分迄に著るしい濃度変化が見られるが,以後略々一様な微量抽出の継続することが知られる。なお,第2表中の抽出時間は,抽剤が抽出管底部へ流入を開始した時からの数値を以て示した。本表結果から抽出液濃度の時間的変化曲線を描き,積算抽出率の時間的変化を図計算から求め第3表の結果を得た。

実験	粒 径	温度		抽出時間 (min) および積算抽出率 (%)						
番号	(mesh)	(°C)	5	10	15	20	25	30	60	90
B— 8	9 ~ 16	40	15.89	22.47	23.40	23.75	23.93	24.05	36.16	36.67
B- 5	16 ~ 32	"	37.85	58.46	62.46	63.79	64.32	64.76	65.97	66.20
B-6	32 ~ 60	"							65.68	75.93
B-14	$60 \sim 100$	"	40.40	56.07	58.24	59.18	59.84	60.22	60.73	61.14
B—15	100 ~ 200	"	24.79	39.58	42.52	43.88	44.89	45.51	47.58	48.30
B-10	9 ~ 16	60	48.50	61.43	64.48	65.70	66.15	66.50	67.23	67.78
В— 9	16 ~ 32	"	40.13	60.80	65.44	67.58	69.09	70.07	72.03	72.54
B-77	32 ~ 60	"						67.90	68.51	74.35
B-74	60 ~ 100	"	43.20	59.15	60.94	61.62	62.06	62.24	62.68	62.69
B - 13	100 ~ 200	"	35.83	51.08	53.87	54.90	55.58	56.03	57.45	57.83

第3表 抽出時間に対する積算抽出率変化

いま,抽出時間 30 分および 60 分に於ける粒径 対積算抽出率の相関曲線を求めれば第2 図の如くで ある。本抽出に関しては,つぎの拡散式

$$\frac{\partial C}{\partial \theta} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} + \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} \right) - \bar{u} \frac{\partial C}{\partial Z}$$

が適用されるが、第2図結果から16~32 mesh 附近 で抽出率は最大となり、更に粒径の増大するに伴な い、上式右辺第4項で示される抽剤の層内流動によ る影響が多孔体内拡散によるものより次第に大きく 現われて抽出率が減少し、また極めて小粒径となれ ば、層内拡散路の閉塞および有効表面積の減少等に より本第4項が支配的になるものと考えられる。特 に40°C でその効果が顕著に見られる。

つぎに、多孔体内抽出可能物に対し抽出されず



\$

に残留するものの百分率 E の対数をとり、その時間的変化を求め第3図を得た。抽出の極めて 初期を除き、各条件下略々平行する直線群が得られ、Brier^{4)、5}、Armstrong⁶⁾等の指摘する如く 本抽出についても

$$E \propto \sum_{n=1}^{\infty} f(n) \exp\left[-\frac{D\theta}{L^2}\right]$$

なる一般式の略々適用し得ることが示唆される。



3.2 流速の影響

16~32,32~60 mesh の2種類の粒径について、40° および 60°C で N_{R_e} :0.1~3 の範囲に 対し3.1と同様の方法で抽出試験を行ない第4表の結果を得た。この実験範囲では温度よりも 寧ろ粒径の影響が大きく、16~32 mesh の抽出率が極めて良好である。両粒径について空塔速 度 60~80 cc/min 迄は著るしく抽出率が上昇するが、これ以上の流速では余り変化しない。こ れは Withrow の云う如く⁷ 比較的低速部分で逆方向拡散の影響が現われるためと考えられる。

第4表結果から,抽出時間 30 分に於ける物質移動 j_M 因子と N_{R_e} の相関々係を求めると 第5表および第4 図の如くである。空間率 ε については、粒子形状を完全球形と見做し、粒子 群容積の測定結果から算出したもので、充填層単位容積当り表面積 a についても同様である。 ここで平均粒子密度は 3.2481 g/cm³ である。 拡散係数 D については実測値が得られぬため、 すでに述べた如くして粒径および温度別未抽出率 E を求め、 つぎの Newman⁸ の式に適用し

(353)

杉田治八郎・本田 重 司

実 験	粒径	温度	流速	抽出時間 (r	nin) および 積算	抽出率 (%)
番 号	(mesh)	(°C)	(cc/min)	30	60	90
В — 87	16 ~ 32	40	27.60	62.34	62.89	63.16
B — 5	"	"	52.60	64.77	65.97	66.20
B — 84	"	"	75.22	68.49	68.97	69.24
B — 86	"	"	118.06	68.80	69.69	69.69
B — 88	"	//	179.42	68.89	68.89	68.89
B — 89	"	"	241.16	71.39	76.04	77.75
В — 90	"	<i>n</i>	287.08	68.76	68.76	68.76
B — 43	32 ~ 60	"	9.93	28.90	49.53	55.51
В — 39	"	"	19.37	55.71	62.61	65.45
B — 6	"	"	55.40	53.56	65.68	75,93
B — 34	"	"	76.39	64.83	65.44	
B — 37	"	"	103.27	66.85	66.95	69.51
B — 45	"	"	112.65	64.94	65.35	66.03
В — 91	"	"	199.47	64.45	66.26	66.26
В — 82	16 ~ 32	60	9.82	53,97	68.96	71.08
В — 96	"	"	29.70	73.71	74.43	74.75
В — 9	"	"	55.00	70.09	72.03	72.54
В — 80	"	"	85.66	73,92	74.87	75.18
B — 75	"	"	112.53	71.42	72.14	72,82
B - 78	"	"	116.46	71.25	71.69	71.69
B — 42	32 ~ 60	"	10.09	43.76	58.58	60.70
B - 41	"	"	19.06	60.22	64.52	65.00
B — 40	"	"	22.98	60.60	63.81	64.05
В — 77	"	"	55.76	65.14	66.88	67.56
B — 12	"		56.20	67.90	68.51	74.35
B — 44	"	"	92.79	65.11	65.69	66.00
B — 36	"	"	120.63	66.24	66.34	67.16

第4表 積算抽出率に対する流速の影響

てDを算出した。

 $E = \frac{800}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left[\frac{-(2n-1)^2 \pi^2 D\theta}{D_P^2}\right]$

なお、温度 T [°K] に於ける抽剤粘度を μ_W , 溶質 分子 容を V として Wilke の $T/D\mu_W$ 対 V線図および Othmer の $D=14.0\times10^{-5}/\mu_W^{-1}$ $V^{0.6}$ 式を用いて拡散係数を求めると^{9),10)}

Wilke : 20°C 0.859×10⁻⁷ (濃度 10.62%)

 $\mathscr{W} = 0.701 \times 10^{-7} (\mathscr{W} = 14.81\%)$

(354)

Othmer: 20° C 0.534×10^{-7}

 $40^{\circ}C$ 0.676 × 10^{-7}

これは,平均粒径 D_P : 0.0375 cm について第5表に求めた数値と甚だ近似して居り, Newman 式に基づく数値を用いても左程支障がないと思われる。

抽出物の飽和溶液濃度 C_sは,溶液 100 cc について 40°C:18.601 g,60°C:20.467 g である。 第4 図から,30 分抽出に於いて粒径および温度に無関係につぎの実験式が得られた。

$$j_M = 0.02 (N_{R_s})^{-1}$$

ててで

$$j_M = \frac{k_L}{\bar{u}} \left(N_{S_c} \right)^{2/3}, \quad k_L = \frac{\bar{u}}{aZ} \ln \frac{C_s}{C_s - C}$$

これを Wilhelm¹¹⁾ その他による充填塔に於ける溶解,吸収に関する多数の data の相関と 比較すれば、 N_{R_e} の指数は略々2倍で、係数値が甚だ小さく、固液抽出に於いては j_M の N_{R_e} による変化の極めて大きいことが知られる。このことに関しては更に広範囲の N_{R_e} 域につい て検討を進めたいと考えている。



杉田治八郎・本 田 重 司

Run	Ďр	t	ū	$N_{R_{e}}$	D	ε	Ζ	<u>ū</u>	$\ln \frac{C_s}{C_s}$	kL	$(Ns_{c})^{2/3}$	јм
No.	$(\times 10^2)$		$(\times 10^{3})$	$(\times 10)$	$(\times 10^{7})$			$\begin{array}{c} a \ Z \\ (\times 10^5) \end{array}$	$(\times 10^2)$	$(\times 10^{6})$	$(\times_{10^{-2}})$	(×10)
B76	7.50	40	8.12	0.92	1.987	0.5050	1.158	22.93	4.40	10.090	2.21	2.746
B-83	"	"	8.41	0.95	2.209	"		23.75	6.20	14,720	2.08	3.640
B—87	"	"	26.23	2.97	2,434	"	"	74.07	1.19	8.810	1.95	0.655
B-5	"	"	50.00	5.66	2.646	"	"	141.19	1.09	15.380	1.84	0.566
B-84	"	"	71.50	8.09	2,995	"	"	201.91	0.50	10.090	1.70	0.240
B-85	"	"	83.51	9.45	3.267	"	"	235.82	0.40	9.430	1.60	0.181
B-86	"	"	112.22	12.70	3.033	"	"	316.90	0.20	6.340	1.68	0.095
B88	"	"	170.55	19.31	3.042	"	"	481.62	0.20	9.630	1.68	0.095
B—89	"	"	229.24	25.95	3.299	"	"	647.35	0.10	6.470	1.59	0.045
B90	"	"	272.89	30.89	3.023	"	"	770.61	0.10	7.710	1.69	0.048
B43	3.75	"	9.44	0,53	0.105	0.4919	1.422	13.67	3.42	4.662	15.80	7.803
B39	"	"	18.41	1.04	0.479		"	26.66	2.02	5.386	5.76	1.685
B-33	"	"	27.67	1.56	0.807	"	"	40.07	1.62	6.492	4.06	0.953
B-6	"	"	52.66	2.98	0.441	"	"	76.26	0.63	4.804	6.08	0.555
B - 34	"	"	72.61	4.11	0.663	"	"	105.15	0.46	4.837	4.64	0.309
B—37	"	"	98.16	5.56	0.708	"	"	142.16	0.34	4.833	4.58	0.227
B-45	"	"	107.08	6.06	0.666	"	<i>"</i>	155.07	0.29	4.497	4.62	0.194
B-91	"	"	189.61	10.73	0.653	"	<i></i>	274.59	0.19	5.217	4.71	0.130
B82	7.50	60	9.33	1.46	1.797	0.5050	1.158	26.35	4.13	8.813	2.38	2.248
B-81	"	"	26.93	4.23	1.879	"	"	76.05	1.09	8,289	2.32	0.714
B-96	"	"	28.15	4.42	3.571	"	"	88.22	1.66	14.640	1.51	0.684
B— 9	"	"	52.28	8.21	3.156	"	"	147.63	0.74	10,930	1.64	0.343
B80	"	"	81.42	12.79	3.597	"	"	229.92	0.43	9.887	1.50	0.182
B79	"	"	89.33	14.03	2.757	"	"	252,26	0.36	9.081	1.79	0.152
B-75	"	"	106.97	16.80	3.308	"	"	302.07	0.34	10.270	1.59	0.153
B-78	"	"	110.70	17.39	3.289	"	"	312.61	0.32	10.000	1.59	0.144
B —42	3.75	"	9.59	0.75	0.291	0.4919	1.422	13.89	3.82	5,305	8.02	4.436
B-41	"	,,,	18.12	1.42	0.564	"	"	26.24	1.97	5.170	5.17	1.475
B-40	"	"	20.93	1.72	0.571	"	"	31.63	1.66	5,250	5.11	1.228
B—77	"	"	52.80	4.16	0.669	"	"	76.76	0.63	4.836	4.58	0.418
B-12	"	"	53.22	4.20	0.733	"	"	77.36	0.65	5.029	4.34	0.408
B35	"	"	79.48	6.25	0.617	"	"	115.10	0.38	4.374	4.86	0.267
B44	"	"	87.87	6.93	0.669	"	"	127.73	0.32	4.087	4.58	0.212
B36	"	"	114,67	9.01	0.693	"	"	166.07	0.27	4,484	4.50	0.176

第5表 抽出時間 30 分に於ける諸数値

 $\hat{\boldsymbol{k}}$

đ.,

(356)

.

4. 結 言

クロム鉱石焼成物からなる固定充填層のクロム酸ソーダ浸出について, 粒径および流速の 影響を検討しつぎのことを知り得た。

1. 同一流速では、16~32 mesh 附近の粒子について 最大の抽出率が見られ、特に低温で 粒径の影響が顕著である。恐らくは、多孔体内外に於ける拡散速度の大小によるものと考えら れる。

2. N_{Re}: 0.1~3, 16~32 および 32~60 mesh, 40° および 60°C で, 30 分抽出についてつ ぎの実験式を得た。

 $j_M = 0.02 (N_{R_e})^{-1}$

最後に、本研究に終始御協力下さった日本電気冶金栗山工場の諸氏,ならびに実験を援助 された井門学,神農文男, 舘崇,千葉義之,林洋明,藤坂明の諸氏に厚く謝意を表わすととも に、本研究費の一部を北海道科学研究費補助金によったことを附記し深謝の意を表する。

(昭和 36 年 10 月 2 日 日本化学会北海道支部北見大会講演)

使用記号

а	:	充填層単位容積当り表面積 [cm²/cm³]
C	:	抽出液濃度 [g/cc]
C_s	:	抽質飽和濃度 [g/cc]
D_{-}	:	拡散係数 [cm²/sec]
\vec{D}_P	:	平均粒径 [cm]
E	:	未抽出物百分率 [—]
јм	:	物質移動 j 因子 [一]
k_L	:	液境膜物質移動係数 [cm/sec]
L	:	拡 散 距 離 [cm]
n	:	正 整 数 [一]
N_{R_e}	:	Reynolds 数, $\overline{D}P \bar{u} \rho / \mu$ [—]
Ns_{σ}	:	Schmidt 数, $\mu/\rho D$ [—]
r	:	球 半 径 [cm]
t	:	抽 出 温 度 [°C]
ū	:	平均空塔速度 [cm/sec]
V	:	抽質分子容 [cc/g-mol]
Ζ	:	層 高 [cm]
ε	:	空 間 率 [cm³/cm³]
θ	:	抽出時間 [sec]
μ, μι	v:	流体粘度 [g/cm•sec]
ρ	:	流体密度 [g/cm ³]

(昭和 37 年 4 月 30 日受理)

1) 番場猛夫: 鈴木醇教授還曆記念論文集, 441 (1956)

(357)

献

文

杉田治八郎・本 田 重 司

- 2) 国連統計部: 世界統計年鑑, 158 (1956)
- 通産大臣官房調査統計部: 本邦鉱業の趨勢, 60, 216, 300, 622 (1958)
- 3) 杉田治八郎, 本田重司: 室工大研報 3, 627 (1961)
- 4) King, C. O., Katz, D. O. and Brier, J. C.: Am. Inst. Chem. Engrs. 40, 533 (1944)
- 5) Yang, H. H. and Brier, J. C.: A. I. Ch. E. Journal 4, 453 (1958)
- 6) Piret, E. L., Ebel, R. A., Kiang, C. T. and Armstrong, W. P.: Chem. Eng. Progr. 47, 405, 628 (1951)
- 7) Dryden, C. E., Strang, D. A. and Withrow, A. E.: Chem. Eng. Progr. 49, 191 (1953)
- 8) Reddick, H. W. and Miller, F. H.: Advanced Mathematics for Engineers 3 rd ed., 316 (1955)
- 9) 佐藤一雄: 物性定数推算法 3 版, 308, 315 (1961)
- 10) 日本化学会: 化学便覧 481, 862 (1958)
- 11) McCune, L. K. and Wilhelm, R. H.: Ind. Eng. Chem. 41, 1124 (1949)

昭和36年度研究業績

I. 論 文

ਦ '₹' ' '}

題	目	著 者 名	発表機関誌名	月 日
北海道の熔結凝灰岩の 第2報(喜茂別・注 灰岩)	岩石化学的研究 同爺・十勝および大雪熔結凝	佐藤 文男香川 義郎 百幡 浩志	岩石鉱物鉱床学会誌 第46巻,第2号	36. 8.
わが国炭鉱におけるコ・ 第1報 (コールピ	- ルピックの使用について ックの使用状態)	前野 良久 香川 義郎	北海道鉱山学会誌 第18巻,第1号	37. 1.
同 上 第2報(コールピ	ックの採炭能率)	前野 良久 香川 義郎	同 上 第18巻,第2号	37. 3.
石炭の表面反応 (第1幸 一酸素吸着速度に・	皮) ついて―	佐藤 干城	日本鉱業会誌 第 78 巻,第 883 号	37. 1.
Some New Tertiary H Hakkaido, Japan.	Pecnids from Southwestern	Yoshio Sawada & Koichiro Masuda	Japanese Journal of Geology and Geography, Vol. 32, No. 1.	36. 3.20
ローゼ桁橋の光弾性模	型実験に関する研究	中 村 作太郎 番 匠 勲 志 村 政 雄	土木学会第16回年次 学術講演会講演概要 集 II-37	36. 5.27
ワーレン・トラス橋の	模型実験について	中 村 作太郎 番 匠 勲 志 村 政 雄	同 上 II-53	36. 5.27
プレストレスト・ロー・ 的特性について	ぜ桁橋の設計試案とその力学	中 村 作太郎	同 上 II-54	36. 5.27
節点剛性の影響を考慮- 算法について	せるトラス橋の厳密タワミ計	中 村 作太郎 番 匠 勲	土木学会北海道支部 研究発表会における 技術資料 第18号	37. 2.27
On Clinging Stress be Inner Cylinder w is Pulied Out.	tween the Outer and the hen the Inner Cylinder	S. G. Nomachi	Proceeding of the 11th Japan National Congress for Appl. Mech. 1961	36. 9.
平板の初期降伏ヒンヂ て	周辺の曲げモーメントについ	能町純雄	土木学会論文集 第 78 号	37. 1.
ポリゴン線形を有する	車続バリについて	能町純雄	技術資料	37. 2.
上厚真橋の橋脚の動力	学的考察	能 町 純 雄 堀 典 昭 山 形 仁 萩 原 英 三	同上	37. 2.
個々の堤体を延長方向に 定	こ連結した場合の防波堤の安	能 町 純 雄 石 倉 建 治	同上	37. 2.
合成桁のジベルに関す	る動力学的考察	能 町 純 雄 尾 崎 認	土木学会道支部技術 資料 第18号	37. 2.27
油圧機器について		岩 津 功	炭	36. 6. 1

題	目	著 者 名	発表機関名	月日
X線回折法による構成双先	の研究	星 光 一 菊 地 千 之	ェンジニャ 第3巻,第11号	36.11.1
し尿処理施設の一例につい	7	奥田教海	日本機械学会北海道 支部精機学会北海道 支部第5回講演会前 刷集	36.10. 6
フェロシアンイオンの電位	差滴定	上 野 幸 三 太刀川 哲 平	日本化学雑誌 第 82 巻,第5号	36. 5.
双金属極電位差滴定法にお	する電極の選択について	上 野 幸 三 太刀川 哲 平	分析化学 第11巻,第3号	37. 3.
高炉ライニングの溶食に関	する研究第2報	田中 章彦	鉄と鋼 第47巻,第10号	36.10.
同上	第3報	田中 章彦	同上"	36.10.
カント倫理学における最高	善について	石山敬雄	倫理学年報 第 11 集	37. 3.30
<i>p</i> -ニトロフェニル-β-クロノ	~ビニルケトンの反応	松 本 毅 石 田 良 一 白 浜 晴 久	日本化学雑誌 第 83 巻,第2号	37. 2.
イソキノリンの空気酸化(ーイソニコチン酸,ニ る溶解度およびその回	₿3報) コチン酸混合系の水によ 収─	小 松 藤 男	工業化学雑誌 第64巻,第6号	36. 6. 1
高沸点タール塩基類の分離	(第2報)	小松藤男	同上	36. 6. 1
キノリンの空気接触酸化(ーキノリンの空気接触 式の推定一	第4報) 酸化に対する反応速度表	小 松 藤 男	コールタール協会誌 第13巻,第8号	36. 8. 1
高沸点タール塩基類のペー	パークロマトグラフ	小 松 藤 男 八 幡 寿 雄	コールタール協会誌 第13巻,第10号	36.10. 1
高沸点タール塩基類の分離 する研究	および接触気相酸化に関	小 松 藤 男	東京工業大学 (学位論文)	36.12. 5
	II. 講	演		,

題	目	著者	育 名	発	表機関名	月	日
わが国炭砿におけるコール 第2報 (コールピック	ピックの使用について の採炭能率)	前 野 香 川	良 久 義 郎	室蘭工 術研学会 北海道 発表会	業大学鉱山技 会,北海道鉱 ,日本鉱業会 支部共催研究	36.10	D. 7
同 上 第3報(コールピック	の管理)	前香 熊 鎌	良 久 義 郎 光 克	同	上	36.10	0.7
同 上 第4報(コールピック	の機能)	前香熊鎌	良 久 義 郎 光 克	同	上	36.1	0.7
わが国炭砿におけるコール 第1報(コールピック	ピックの使用について の使用状態)	前 野 香 川	良 久 義 郎	日本鉞 鉱山学 表大会	、業会,北海道 会共催研究発	36.	6.

Y

題	目	著 者 名	発表機関名	月 日
石炭の表面反応 (第2報)		佐藤 干城	日本鉱業会,春季研 究発表会	36. 4.25
石炭の物理構造的性状(第	1 報)	山 本 英 一 佐 藤 干 城	北海道鉱山学会,室 蘭工業大学鉱山研究 会共催研究発表会	36.10.7
ローゼ桁橋の光弾性模型実	験に関する研究	中 村 作太郎 番 匠 勲 志 村 政 雄	土木学会第16回年次 学術講演会にて研究 発表	36. 5.27
ワーレン・トラス橋の模型	実験について	中 村 作太郎 番 匠 勲 志 村 政 雄	同上	36, 5,28
プレストレスト・ローゼ桁 的特性について	橋の設計試案とその力学	中 村 作太郎	同上	36, 5, 28
節点剛性の影響を考慮せる 算法について	トラス橋の厳密タワミ計	中 村 作太郎 番 匠 勲	土木学会北海道支部 研究発表会にて発表	37. 2.27
平板の初期塑性ヒンヂ附近	の応力について	能 町 純 雄	土木学会年次講演会	36. 5.
ケーソンの応力測定につい	τ	能 町 純 雄 石 倉 建 治 尾 崎 政 志 村 政 雄	土木学会年次講演会	36. 5.28
融雪洪水		境 隆雄	災害科学総会研究北 海道連絡会シンポジ ウム	37. 1.19
構成双先のX線的考察		星 光 一 菊 地 千 之	精機学会春季大会	36. 4. 9
セラミック工具による仕上	面粗さについて	星 光 一 菊 地 千 之	日本機械学会北海道 支部精機学会,北海 道支部共催第5回講 演会	36.10. 6
ボックス・ガーダーの応力	測定に関する一実験	内藤正鄰	日本機械学会北海道 支部講演会	36,10.6
し尿処理施設の一例につい	τ	奥田 教海	日本機械学会北海道 支部精機学会,北海 道支部共催第5回講 演会	36.10. 6
硫黄製錬釜スケールのX線	的性状について	西 田 恵 三 及 川 弘	室蘭工業大学鉱山技 術研充会北海道鉱山 学会,日本鉱業会北 海道支部共催研究発 表会	36.10.7
北炭平和鉱坑内水について	(第2報)	大和明夫 及川 弘	同上	36.10.7
ヒドラジンの電位差滴定		太刀川 哲 平 上 野 幸 三 柏 木 民次郎	日本化学会 第14年会	36. 4
蒼鉛の電位差滴定		太刀川 哲 平	日本金属学会北海道 支部講演会	36, 6,
電位差滴定法における電極 —EDTA 滴定—	(双金属) の選択について	太刀川 哲 平 上 野 幸 三 柏 木 民次郎	日本分析化学会北海 道支部研究発表会	36.10.
スポーツ,マスコミニュケ る影響と関心について	ーションが青少年に与え	清 野 市 治 小 成 英 寿	日本体育学会北海道 地区会	36, 2,28

題	目	著 者 名	発表機関名	月 日
On Projective Subspaces		紀国谷 芳 雄	1961年度日本数学会 秋季総合分科会	36.10.15
Hilbertian Interpretation an	d a Spectral Theorem.	紀国谷 芳 雄	同上	36.10.15
石油積込時のタンクの帯電刑 第1報	彡態そのモデル実験	北村 正一 田村 行夫 西 出 雅	電気四学会北海道支 部連合大会	36.10.26
石油带電測定用真空管電位言	t	北村 正一 田村 行夫 西 出 雅	同上	36.10.26
エチレンの空気酸化に関する Box 法による最適反応系	る研究(第9報) 条件の検討	加納 久雄 金塚 高次 平野 晴望	日本化学会,日本分 析化学会両北海道支 部合同北見大会	36, 10, 23
測定誤差のある場合の 束 管理	狸図の特性について	金塚高次	同上	36, 10, 23
石炭酸ソーダ溶液の炭酸ガス 究	、による分解に関する研	木 村 一	京都大学学位審査公 聴会	36.11.6
高沸点タール塩基類の分離お する研究	♂よび接触気相酸化に関	小 松 藤 男	東京工業大学	36. 9. 5
クロマイト焼成物よりクロ⊿ る研究	、酸ソーダの抽出に関す	杉 田 治八郎 本 田 重 司	日本化学会第14年会	36. 4. 3
クロム鉄鉱焼成物よりクロム	、酸ソーダの抽出	杉 田 治八郎 本 田 重 司	日本化学会日本分析 化学会両北海道支部 合同北見大会	36.10. 2



J,

Printed by BUNYEIDO PRINTING CO. No. 342, E. 7-chome, N, 3-jo. Sapporo, Iapan Tel. (\$) 5560, (\$) 0851, (\$) 2711

**

1.221

CONTENTS

Vol. 4, No. 1.

June, 1962

Whole No. 13

Page

The Geology and Paleontology of the Setana and Kuromatsunai Arears in Southwest Hokkaido, Japan. Y. Sawada 1 (1) 1 On the Exact Solution and the Calculating Method of the General Truss Bridge with Special Reference to the Rigidity of its Panel Points and the Deformation of its On the Experiment of the Warren Truss Bridge Models. S. Nakamura, I. Bansho & M. Shimura 1 (127) 127 Ein Beitrag zur Berechnung der Fachwerkträger mit parallelen Gurtungen. A Study of the Snow-melt Runoff of Rivers. T. Sakai 1 (157) 157 A Study of Surface Combustion in Fuel Injection Engine (I) Fundamental Experiment in Evaporation of Fuel on Heated Surface. M. Akagi & S. Hayashi 1 (183) 183 A Study of the Machinability of High Polymeric Materials. K. Kikuchi & K. Tashimo 1 (197) 197 Potentiometric of Hydrazine. T.Tachikawa, K. Ueno & T. Kashiwagi 1 (211) 211 On the Cause of the Erosion and Deformation of the Blast Furnace Lining (IV) A. Tanaka 1 (217) 217 The Impact of Social Class on Education in the U.S.A. S. Takemoto 1 (241) 241 An Introductory Treatise on the Marxian Theory of Law and the State. 267 On Normed Spaces and Modulared Semi-ordered Linear Liner Spaces. K. Honda 1 (279) 279 Orthogonal Projection of the Space X of Univoque Functions. On the Similarity of the Electrical Breakdown Mechanism of the General Studies on the Gas Absorption and Chemical Reaction in a Wetted-wall Columns. -The Absorption of Carbon Dioxide in Water and Sodium Phenolate Solutions-. . . T. Takeuchi, H. Okaue, K. Miyagi, N. Sasaki & H. Kimura 1 (317) 317 Studies on the Gas Absorption and Chemical Reaction in a Packed Columns. -The Absorption and Chemical Dioxide in Sodium Phenolate Solutions-. . K. Mukaida, K. Uno, T. Takeuchi, K. Yonezawa & H. Kimura 1 (329) 329 On Oxidation of Peat with Ozone. M. Sasaki & H. Hirano 1 (341) 341 Extraction of Sodium Chromate from Chrome Ore Roast (II) Effects of Particle Size and Water Flow Rate in Fixed-bed-type Extraction. J. Sugita & S. Honda 1 (349) 349 Other Achievements in Studies, Oral or Written, for 1961 by Professors in this Institute.