



## 室蘭工業大学紀要 第47号 全1冊

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-08-04 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	<a href="http://hdl.handle.net/10258/3758">http://hdl.handle.net/10258/3758</a>

No.47

Nov.1997

**MEMOIRS**  
of  
THE MURORAN  
INSTITUTE OF  
TECHNOLOGY

MURORAN INSTITU  
INSTITUTE OF TEC  
OF TECHNOLOGY  
TECHNOLOGY MU  
MURORAN INSTITU  
INSTITUTE OF TEC  
OF TECHNOLOGY  
TECHNOLOGY MU  
MURORAN INSTITU  
INSTITUTE OF TEC  
OF TECHNOLOGY  
TECHNOLOGY MU

室蘭工業大学  
**紀 要**

第47号 平成9年11月

MURORAN HOKKAIDO  
JAPAN



目 次

依頼論文

特集：新たなる「専門」教育の成果を問う—検証・副専門教育—

一般教育改革の経緯と概要	泉 清人	1
工学部における数学教育論	山口 格	5
生命環境科学コース教育実践のこの4年	富士川計吉	11
科学技術と社会をつなぐ大学教育—社会科学コースの試み—	丸山 博	17
4年間の副専門教育と今後の課題	松名 隆	27
諸理念の自己展開—副専門5年目のカリキュラム改革—	二宮公太郎	35

投稿論文

P R C 梁の静的・動的耐荷性状に関する実験的研究	岸 徳光, 竹本 伸一, 三上 浩, 小室 雅人, 松岡 健一	45
分散画像処理システムの検討	畑中 雅彦, 寺崎 仁司, 大沢 幸	57
弱導波光ファイバ形モード変換器の2次元数値解析	林 涛, 江口 真史, 今井 正明	65
強相関伝導系物質の低温高圧強磁場下における電気抵抗測定	関根ちひろ, 清水 学志, 城谷 一民, 巨海 玄道	73
回転電気機械スロット内コイルの速度起電力計算について	倉重龍一郎, 橋本 幸男, 松田 敏彦	83

Enhancement of Catalytic Activity of Natural Zeolites by Surface Modification for 1-Butene Isomerization .....J.K.A.ダパー, L.アンダラルナ, 小林 隆夫, 上道 芳夫, 杉岡 正敏	89
A recursion formula of local densities with congruence conditions .....	桂田 英典, 久末 正樹 97
A Partial Joining Operation on Graphs and A Graphical Distance .....	山口 忠, L.フォルド 103
Paper-Scissors-Stone Game on Trees.....	佐藤 一憲, 今野 紀雄, 山口 忠 109
Upper Bounds on Percolation Probabilities for Oriented Bond Percolation .....	永村 哲宏, ウラジミール ベリッキー, 今野 紀雄, 山口 忠 115
ごみ処理有料制と住民の意識 .....	亀田 正人 123
地域生涯学習計画化と高等教育機関 .....	山田 定市 133
W.ブレイクの「エルサレム」について .....	安藤 栄子 145
Zur „religiösen Vorstellung“ von Goethes Faust — unter dem Berührungspunkt mit der indischen Philosophie und Religion — .....	大村 英繁, マルセルW.シャルーバ 155
ハワイ語数詞の位置づけについて .....	塩谷 亨 163

# 一般教育改革の経緯と概要

泉 清人\*

## Background and Outline of the Reform of the General Education System

Kiyoto IZUMI

(論文受理日 平成9年8月20日)

### Abstract

In 1993 Muroran Institute of Technology completed the reform of the general education system to meet the needs of the rapidly changing time. This paper describes the historical background of the renovation and the objectives and outline of the new education system. It also serves as the introduction to five following papers which are written by the teachers who are engaged in each field of the reformed general education system.

Key words : General education, Reform of education, Major and minor system

### 1. はじめに

本学は平成5年度に一般教育課程の抜本的な改革を行った。この改革は、後述する通り、これに先立つ長い年月の学内の討議を踏まえたものであるが、同時に平成3年度に大学設置基準が改正され、カリキュラムに関する従来の規制が大幅に弾力化されたことにより可能となったものである。教育課程の改革と同時に計画された教員組織の改編は翌平成6年度に省令化され、一般教育の改革は完成した。以来4年間を経過して、新しいカリキュラムに基づく学部教育は一巡し、本年3月新課程による卒業生を送り出した。総体的に見て新教育課程は明らかに旧教育課程を大きく改善したものとなり、数々の成果を挙げた。

この間教育の現場で新課程の理念やこれに基づく数

々の実践が問い直され、各種の問題が提起されている。本編に続く5編の論文は、新教育課程を計画し、これを実践した教官によるもので、それぞれの分野の教育を通じて個性的な所論を展開したものである。本編はシリーズの序論として、今回の改革の経緯と概要を紹介するものである。

### 2. 改革の経緯

昭和24年5月、本学は前身の室蘭工業専門学校と北海道大学附属土木専門部を包括して大学に昇格した。制定された学則の第一条には、本学の目的を「高い知性と豊かな教養を備えた有能な人物を養成するとともに、高度の工業的知識及び技術の教授並びに学術の研究を為すこと」としている。専門学校から大学への昇格により、高い知性と豊かな教養を有する人材教育が最も重要であるとの共通の認識があったことは明らかである。以来本学では常に一般教育と専門教育を教育の

\*室蘭工業大学長(元学生部長)

二本の柱として来ている。

昭和31年に大学設置基準が制定された。この設置基準により全国の大学は一定の水準の教育を確保することが可能になったが、その反面大学教育が均質化し、大学の個性化を阻害してしまった。このことは特にカリキュラムが細分化し、固定化された一般教育に著しい。学生当たりの教官数も一般教育に不利に配当されたので、その後の大学の入学定員の増加にともない、またカリキュラムの画一化にも原因して、学生の一般教育離れが進んでいった。

昭和58年3月に本学長期計画委員会が「長期計画の基本方針」を公表したのに伴い、同委員会の下部組織として、一般教育専門委員会が設置され、一般教育の改革にむけて積極的な検討が始められた。

昭和62年9月大学審議会が設置され、大学教育の高度化、個性化、活性化にむけての審議が開始された。中央の動向と並行して本学においては念願の博士課程の設置にむけての準備が積極的に進められ、平成2年度には学部・大学院修士課程の改組・再編と博士課程（大学院博士後期課程）の設置が実現した。しかしこの再編にあたっては、一般教育および共通講座に関連する改革は間に合わず、継続審議の形で取り残されている。

平成2年7月、長期計画委員会と一般教育専門委員会は一般教育改革にむけての審議を再開した。丁度この頃大学審議会からは大学教育部会の報告が引き継いで公表されて、平成3年の大学設置基準の改正、いわゆる大綱化の方向が明かとなって来た。

平成4年2月13日の教授会で「一般教育課程等改革準備委員会」が設置された。以降同委員会は精力的な審議を行い、前記答申の具体化にあたり、この結果に基づいて本学は一般教育の改革を内容とした平成5年度の概算要求を行った。この概算要求は認められなかったが、本学は平成5年度に学内措置として一般教育の改革を実施した。この改革は原案のうち省令改正を必要とするものを除き、ほぼ全面的な改革で、当時全国の大学で進行中の一般教育改革の嚆矢となったものである。翌平成6年度省令が改正され、本学の学部教育と教官組織が一新した。以下にその概要を述べる。

### 3. 改革の目指したところ

#### 3. 1 改革の主旨

平成2年度の学部・大学院修士課程（博士前期課程）の改組再編と博士後期課程の設置にあたり、本学の工

学教育のあるべき姿を以下のように設定している。

「高度に分化した工学諸分野を専攻する教育研究から、目前の技術に役立つ即戦力的な技術知識よりも、幅広い専門基礎の十分な素養を持ち、それらを具体的な技術開発に反映させることのできる豊かな創造性と応用力を備えた技術者を養成する工学教育への脱皮を目標とする。」

この教育目標は、専門教育課程においては平成2年度の学科の改組とカリキュラムの総合的な見直しの結果、一步達成に近づいたということが出来よう。しかしながら、一般教育については改革が実現せず、以下の諸点で教育目標との乖離が生じていた。

- ① カリキュラムの画一化のために学生の自主的勉強意欲に十分応えられず、学習意識の低下を招きがちである。
- ② 多人数教育のため、教師と学生の心の交流が保ち難く、教師のメッセージが学生の心に届き難くなっている。
- ③ 同一学部にあるながら一般教育担当の教官組織と専門教育担当の教官組織の間の区分により、全学一体としての教育の運営を妨げている。

このような状況を踏まえて、大学設置基準の改正を機に、一般教育の抜本的な改革を行った。改革の骨子は以下の通りである。

- ① 新しい教育体系として、主専門教育と副専門教育による4年間一貫教育としたこと。
- ② 一般教育の教官組織を再編して、数学を除く理料系の教官を専門学科に分属し、文科系教官と数学教官により3つの共通講座を構成したこと。

#### 3. 2 新しい教育体系—主専門教育と副専門教育

この改革においては、一般教育の発展的解消を前提に4年間一貫した学部一体の教育を行うこととし、専門教育科目群（主専門教育課程）とこれとは別に専門教育とは性質の異なる複眼的な視点から専門教育を補完するための科目群（副専門教育課程）を配することとした。

主専門教育課程は工学部の6学科（昼間コース）に対応するもので、工学教育の中に新たなコンセプトによる副専門教育を導入することとして、専門教育科目群の学年配置を再検討し、いわゆる“くさび型”を深化させた。

副専門教育課程では、副専門共通科目と5つのコース別副専門科目を設定した。副専門共通科目は、学部学生全員に共通して学ばせる必要最小限の科目を必修

科目とし、その他は選択科目群として、学生自らが主体的に選択・履修する。また、必修科目には少人数ゼミナール、演習を開設し、学生と副専門教育担当教官とのコミュニケーションを図った。

コース別副専門科目は5つの科学領域からなっており、5つの基本テーマを追求する科目群を配した。学生はその1つの領域の科目群の中から一定数の単位を修得する。これは、学科目区分のなくなった多数の科目群から、無秩序かつ恣意的に科目選択を行うことの弊害を避けて、学生に系統的・組織的に秩序ある学習を行わしめることに有効な方法である。副専門教育課程の概要を表1に示す。

### 3.3 新しい教官組織

従来的一般教育は学科目制をとり、学内措置により、人文・社会系、外国語、保健体育担当の教官により文科教室を構成し、理科系担当教官と工学部共通講座

「工業数学」の教官で理科教室を構成して運用にあっていた。これを改組して数学を除く理科系の教官を工学部の三学科に分属するとともに、これ以外の教官で工学部の共通講座「数理科学」、「人間社会科学」、「言語科学」を設置した。学科への分属は、物理学担当教官を材料物性工学科に、化学担当教官を応用化学科に、工学・地学担当教官を建設システム工学科に配属した。

副専門教育の数理科学コースは数理科学講座、言語科学コースは言語科学講座、社会科学コースと人間科学コースは人間・社会科学講座が担当することとしたが、生命環境科学コースは専門学科に分属した教官が主として当たるほかに、少数の専門教官が参画している。他の4コースの担当教官は概ね副専門教育に専念しているが、分属教官は、副専門教育の他に、基礎科目を中心とした専門学科目を分担している。このことが新たな教育研究上の問題を惹起する原因となっている。

さて、今回の改革により従前の一般教育担当教官は全員大学院博士前期課程の授業を担当することになった。工学専門教育と密接な関係を持つ基礎科学、社会科学、言語文化等の科目を各専攻あるいは専攻共通科目として配置して、学生がより広い視点から課題を把握し、発想の展開の出来る能力の開発を目指している。

### 4. おわりに

以上、平成5年度の一般教育改革の概要を記述した。

昼間コースにおいては、入学時に6専門学科に所属した学生が主体的に1つの副専門コースを選択することにより、学生の多面的思考と自律的学習が可能となることを期待した。またプレゼミナール等の少人数教育が可能となり超大クラスの講義が大幅に減少したことにより、教官と学生とのコミュニケーションの増大を期待した。さらに副専門共通科目とコース別科目の選択の多様化により学生のゼネラリスト、あるいはスペシャリスト志向に対応しようとした。なお、夜間主コースにおいては授業時間帯の小ささから、昼間コースと同等の配慮は出来なかったが、基本的に同じ理念を実現しようとしている。

大学院博士前期課程においては、従来無かった社会科学、言語文化等の科目を大幅に設定した。現在の激動する社会の中で工学技術者に要請されている専門に偏狭しない幅広い知識と横断的な思考を養うことを期待した。

一方、教官組織の改編により、従来的一般教育教官と専門教育教官の間に存在した目に見えない壁を打破し、とくに一般教育教官の学内における престиジの確立と教育研究両面における協同推進を期待した。また理科系の分属教官にあってはとくに分属先との一体化を期待した。

改革後4年間を経た現時点でこの改革の目指したものと期待した効果について多くの点で成果が挙げている。しかしながら同時にカリキュラムとその運用上の問題点も明らかになった。これらの諸点については副専門教育担当教官によって検討が重ねられ、平成9年度からは副専門教育課程の第二次のカリキュラム改訂が行われている。本編に続いて5つの副専門コースの担当教官の一人ずつによる個性的な所論が展開される。全体を通して室蘭工業大学の一般教育改革の大意が明らかになることを期待して序論を終える。

### 参考文献

- (1) 室蘭工業大学、改組再編の現状と課題、「大学改革」シリーズ(1)、平成5年4月。
- (2) 室蘭工業大学、新しい風～室蘭工業大学自己点検・評価報告書～、「大学改革」シリーズ(3)、平成6年4月。

表1 副専門教育課程の概要(1)

副専門共通科目 卒業要件単位数 共通科目A：10単位以上 共通科目B：16単位以上	副専門コースの内容		定員枠
	卒業要件単位数 コース別科目：10単位以上	主な授業科目	
<b>共通科目A</b> 外国語科目及び体育実技  設定科目・単位数 7科目・14単位  主な授業科目 英語 ドイツ語 ロシア語 中国語 体育実技	<b>数理科学コース</b> 数理科学的な思考方法及び知識を身に付け、科学と数理をテーマに数理の目をとおして純粋科学における思考方法を修得させる。  設定科目・単位数：7科目・14単位	数理科学プレゼминаール 線形解析 数理モデル 形の数理 応用代数 数理科学ゼミナール	人 130
	<b>生命環境科学コース</b> 生物と自然との調和ある環境を生み出す視点に立って、科学と生命環境をテーマにこのような分野についての基礎的な知識を学ばせ、グローバルな観点に立って社会に奉仕する技術者の養成に資する。  設定科目・単位数：7科目・14単位	生命環境科学プレゼминаール 環境生物学 地球科学II 地球環境化学 水圏化学 環境生命化学	130
	<b>社会科学コース</b> 科学と社会をテーマに社会の現状について深く理解し、科学・技術と社会との新しい内容・関係の在り方をより深く追及して考える技術者の養成に資する。  設定科目・単位数：12科目・24単位	社会科学プレゼминаール 現代憲法演習 社会経済論 経済システム論演習 社会調査実習 社会と情報	130
	<b>言語科学コース</b> 言語と文化をテーマに高度な言語能力を養い、それを支える異文化への深い理解を持つ人材の養成に資する。  設定科目・単位数：15科目・20単位	言語科学プレゼминаール 英語読解 ドイツ語 ロシア語 比較文化論 国際関係論II	130
<b>共通科目B</b> 副専門の5つのコース選択にかかわらず、全学生がコース及び主専門科目を履修するうえで基礎的に履修できる科目  設定科目・単位数 18科目・36単位  主な授業科目 代数系入門 基礎生物学 基礎生物学 憲法 現代自由論 経済事情 経済事情 国際関係論I 現代心理学	<b>人間科学コース</b> 科学と人間をテーマに、人間の肉体・感性・知性とそれらの発達について理論的・実践的に理解を深め、科学と人間の豊かな関係づくりの可能性を探求し、かつ考える技術者の養成に資する。  設定科目・単位数：12科目・24単位	人間科学プレゼминаール 認知科学論 運動生理学 障害者の心理 青少年と科学	130

※ 夜間主コースにあっては、昼間コースの副専門授業科目の内の基本的なものを副専門科目群(副専門科目A, B)として開講し、任意に選択させる。それ以外の応用的な副専門授業科目を受講したい学生に対しては、昼間コース授業科目の単位認定制度を活用できる。

# 工学部における数学教育論

山口 格

## On the methods of Mathematical Education of an Institute of Technology

Kaku YAMAGUCHI

(論文受理日 平成9年8月20日)

### Abstract

In recent years the methods of mathematical education of the faculty of technology have been reformed. From "Applied Mathematics" to "Mathematical Sciences" is that reform. The aim of this paper is to discuss the methods of teaching mathematics in an institute of technology.

Key words : Education of Mathematics, Applied Mathematics, Mathematical Sciences.

### 1. はじめに

最近の室蘭工業大学における一般教育課程の改組によつて生まれた、副専門教育課程数理科学コースの教育実践を、「工学部における数学教育論」として、論究してみようと思う。室蘭工業大学における1993年度からの改組の概要については、この紀要特集の他の論文でふれられるので、それらを参照してもらうことにして、ここには述べない。筆者は教授学の一部としての、数学教育を中心に研究してきたので、教授学的な観点からこのテーマに接近してみることを試みると同時に、室蘭工業大学での筆者の教育実践についても述べてみることにする。

### 2. 応用数学から数理科学へ

旧来の工学部の数学教育は一言でいえば工学を学ぶ為の基礎としての数学教育であつた。その内容は、線形代数、微分積分学、常微分方程式の解法、偏微分方程式の解法、複素関数論、フーリエ解析、確率統計等である。それらははじめの2つを除いてはゆる応用数学と言われている分野である。室蘭工業大学の数学教育も1992年まではそのように行われてきた。

もともと数学はユークリッドの原論に見られるようにギリシャ時代B.C300年頃既に学問としてまとまつた形を持っていた。

一方ギリシャ時代の自然学はアリストテレスに見られるような質的な目的論的理論であつた。物体の運動は物体自身の本性によって決定されたのである。「自然は運動の原理であり、また変化の原理であり、そしてわれわれの研究はこの自然についてであるから、われわれは運動のなんであるか〔本質〕の考察を忘れてはならない。というのはこれが認識されなくては、必然的にまた自然も認識されないからである。」<sup>(1)</sup> アリストテレスの自然学では、土、水、空気、火の四元素が存在して、中心から見て、土、水、空気、火という順に、同心円の層となつて宇宙の中心を囲んでいる。例えば土の元素はその本性に従った運動が地球の中心に向かうものであるため、土の元素を多量に含んでいる地上の物質は、地球の中心に向かつて落下するとした。アリストテレスにあつては自然学は目的論的に説明され、物体の運動は物体自身の本性によつて決定されるとされた。従つて当時の発達した数学理論と内在的に深く結びついてはいたなかつた。その後中世ではアリストテレスの世界観はキリスト教世界観の構成要素として指導的な正統見解となつていた。

16世紀になると運動の研究が自然科学の中心的な課題になつた。この頃からアリストテレスの世界観に対する批判が強まつた。ガリレオ（1564—1642）は次のように述べている。「そのうえ、サルシには牢固たる信念をひめてるようにわたしにはみえます。哲学的に考えるには、だれか有名な著者に依拠する必要があり、したがつて、われわれの頭脳が他人の論説を妻帯していない場合には、まったく不毛不妊の状態にとどまらざるをえない、という信念です。（中略）サルシさんとやら、そうは問屋がおろしませんぞ。哲学は、眼の前にたえず開かれているこの最も巨大な書〔すなわち、宇宙〕のなかに、書かれているのです。しかし、まずその言語を理解し、そこに書かれている文字を解読することを学ばないかぎり、理解できません。その書は数学の言語で書かれており、その文字は三角形、円その他の幾何学図形であつて、これらの手段がなければ、人間の力では、その言葉を理解できないのです。それなしには、暗い迷宮を虚しくさまようだけなのです。」<sup>(2)</sup> このようにガリレオにあつては、自然は数

学の言語で書かれていたのである。落体の法則は数学的に記述された自然であつた。運動の原因を研究するのではなく、それを数学的に記述することが、ニュートンのプリンシピアマセマティカに受けつがれ古典力学として、結実した。この動きの中で数学自身も初等数学の時代から変量の数学の時代へと、変化し、関数概念や微分積分学の誕生となる。このような歴史的起因で、物理学や工学を学ぶ為には、数学の一定の知識が必要とされているのである。そのような知識の集積を今日では応用数学と呼んでいた。応用数学は数学自身の発展の要請にこたえるのはもとより、むしろ諸科学と混然一体となつて発達した。長い間工業大学で教えられて来た数学関係の講義の内容はおおむね19世紀までの数学そのものであろう。その後20世紀になつて純粹数学の発展自立が見られ、19世紀風の数学は応用数学として教えられるようになった。しかし工学部の数学教育は「他の科学の為の数学教育」（秋月康夫の言葉）であることはまちがひなかつた。秋月康夫<sup>(3)</sup>は1964年9月琵琶湖湖畔で催された「大学の数学教育に関する日米懇談会」で「他の科学の為の数学教育」論を発表した。この会議の報告書は英文で出ている。弥永昌吉が一部抄訳した中から引用する。

「数学とその応用の近來の発展はたいへん目覚ましいものですので、大学における「他の科学の為の数学教育」は緊急に改めねばならないものと思います。しかしどう改めるべきかを考えますと、なかなかの難題で、解決不可能ではないかとさえ思われます。数学者は数学が他の科学にどのように応用されているかあまりよく知りませんし、他の科学の方々は数学がこのごろどのように発展しているかあまりよくご存じではないと思われるからです。しかしそれだからこそ、こうした事態を一層悪くしないためにも、この問題にはまじめに取り組まねばならないとおもいます。

物理学者や工学者の方たち何人かに、数学や数学教育についてのご意見を聞いてみましたところ、次のようなお返事がありました。ある方は数学はわれわれの道具あるいは飾りだと思つたといわれました。ある工学者の方は、数学者がおもちゃにしているような数学は、われわれには用はないといはれました。ある物理学者の方は、数学的にあまりきれいな定式化ばかり見ていると、物理的な本質がわからなくなるといわれま

した。」<sup>(4)</sup>

これを見ると1960年代というのは、数学と他の科学ははつきりと分離していたことがわかる。19世紀頃までの数学の歴史は微分積分学の形成史をみてもわかるように、数学は物理学や天文学と一体になって研究されていたのである。この時代には応用数学という意識も言葉もなかつたのでなからうか。今から見るとこの時代は数学そのものが応用数学だったのである。19世紀には微分積分学の分化が進み、数学解析がさまざまな専門に分かれ、それぞれ独自の発展をするようになった。また解析の基礎に対する反省から、実数論、集合論が生まれた。19世紀後半から20世紀にかけて数学は厳密化・抽象化が進み、他の分野の人達には理解しがたい様子を見せてきた。秋月が述べているのはこの頃のことであろう。数学は他の諸科学とひとまず離れ、独自の世界を確立したかのように見えたのである。したがってごく最近まで、応用数学と言う言葉は、まず数学があつて、その応用を考えるという意味が強かつた。日本では古くから純粋数学指向が強かつた。江戸時代の和算もほとんど他の自然科学と結び付いていなかった。理学部の数学科はほとんど純粋数学者で占められており、応用数学は数学研究のなかで不当に遇せられて来た。その様な状況が大きく変化するのは1990年代になつてからである。今、数学、とりわけ日本の数学は本格的に応用数学に目を向け、数学の実践的側面に光を当てようとしている。この流れがはつきり示されたのは、1990年に京都で開催された国際数学会議においてであろう。そして数理科学という言葉が日本の数学界でも広く受け入れられるようになってきた。東京大学の数学教室が数理科学研究科に変身し、九州大学もこれに続いた。そして我が室蘭工業大学でもささやかながら、工業数学共通講座と一般教育数学教室が、共通講座数理科学講座と変身し、1994年から発足したのである。そして教育課程の方では、1993年度から工学部の基礎教育課程としての数学科目群（工業基礎数学A,B,C,D 8単位）と副専門教育課程の数理科学コース科目群（18単位）の2本建てになつた。

### 3.数理科学について

コンピュータが科学に与えた影響はきわめて大き

い。自然科学において、理論、実験以外に計算という研究方法がつけ加わったといつてもよい。たとえば流体力学では、これまでの水槽や風洞を用いた実験研究と、基礎方程式であるナビエーストックス (NS) 方程式の解析を中心とした理論研究の二つの柱があつたが、コンピュータの発達により NS 方程式を直接数値計算して流れの場をシミュレートする計算研究の分野がもう一つの柱となつたのである。NS 方程式など非線形方程式は解の重ね合わせができず数学的取り扱いには非常に困難であると考えられてきた。しかしシミュレーションを行うことによって、その解に構造があることが発見され、新しい数学的概念が生み出されてきた。そういった例としてソリトンとカオスがある。

ソリトンについては、非線形格子における再帰現象の観察にはじまって、非線形波動方程式の初期値問題を解くための逆散乱法の発見、広田の方法を初めとするさまざまな解析手法の開発、そしてそれらの根底となる代数構造の解明というふうに研究が広がっていく。カオスでは、非線形差分方程式の数値計算における複雑な解の観察に始まって、奇妙なアトラクターや周期解の分枝における普遍定数の発見などから、フラクタルという概念の確立へと広がっていく。これらの研究は古典数学の再発掘をうながした。常微分方程式の理論における特異点の問題や、病的な関数としての、いたるところ微分不可能な関数の再認識である。コンピュータの登場は数学における観察や実験の可能性を広げたものであるといえる。

1993年度から始めた本学の副専門教育課程数理科学コースでは、数理科学関係の内容として、オートマトン、ファジイ理論、フラクタル、カオス、グラフとネットワーク、パーコレーション、無限粒子系、数理生態学などの内容をいれている。

### 4.どのように教えるべきか

1985年に ICMI (International Commission on Mathematical Instruction 数学教育国際委員会) が数学教育に関する調査を行った項目の中に「どのように数学を教えるとよいか、フランス流に定義から始め、最も一般的な対象から始めるべきか、またはイギリス流に種々の例について説明し、同時にたくさんの計算の仕方を示してみせるやり方か」と言うのがあった。東京大学工学部で薩摩順吉氏がこれに基づいて調査した

工学部3年生の学生の答えの中には、抽象より具体を望む結果がはっきり出ている。<sup>(5)</sup> フランス流がよいと答えたのは1/6、イギリス流がよいと答えたのは2/3でのこりは折衷意見だと言う。この東大の調査の項目には「これまで学んだ数学の内容について」というのがあった。その中の過激な意見の一つに「授業では不可解な定義や抽象的論理を並べながら、期末試験では計算力を問われたりするの気持ちわるい」、「定理中心でまじめすぎると感じたが、安易に数学科を選ぶ人間が少しでも減ったと思うので、それなりの効果はあったと思う」等があった。これらの意見には、私にも思い当たるふしがある。

薩摩順吉氏によると東大では数理科学研究科の発足(1992年)以来教養数学の改善を行って講義を複線化したそうである。A, B二つのコースを用意してどちらを受講するかは学生に選択させる。Aコースは、 $\varepsilon - \delta$  論法によって極限の考え方を説明したのち、その上で微積分について講義する。したがって非常に正確で確固とした知識が得られる。ただし、そのためにはそれなりの辛抱と努力が要求される。また論理的な組立や証明に時間を取られるため具体的な計算面が十分に講義できない。Bコースでは、 $\varepsilon - \delta$  論法が完成される直前に視点をおいて、実数と極限に関しては少しあいまいな定義のまま微積分について説明する。したがって、考え方の流れは理解しやすいが論理的な完全さを期待することはできない。しかし、実際の計算を実行してみると、結果の使われ方を学ぶことで数学の考え方を身につけることができる。実は室蘭工業大学における私の講義は、1970年代はAコース風で、1985年から現在まではBコース風で行っている。

もう一つコンピュータの利用を考慮にいれると数学教育にも大きな影響が考えられる。コンピュータは数値計算だけでなく、数式処理も行い、不定積分、行列の計算、因数分解なども記号のまま計算できる。反復操作はコンピュータで容易に行えるので、級数の和を求めると言う計算は簡単になる。さらにコンピュータによる視覚化は重要な要素である。コンピュータによって関数をグラフで示すことや、微分方程式の解をみることも簡単に行えるようになった。そのためのカリキュラムや教程の作成も課題となってくる。

## 5. 教養としての数学教育

もともと室蘭工業大学では、数学関係のカリキュラムは一般教養科目としての位置付けではなく、専門の基礎科目として位置付けられていた。1993年の改訂で副専門教育課程がスタートすると、数理科学コースのカリキュラムは、副専門としての位置付けと一般教育の革新としての、多面性、総合性を兼ねそなえることとなった。

戦後新制大学が始まった頃の教養としての数学は、文系の学生に「数学のお話」をするなど、数学そのものを教えるのではなく、水で薄めた数学を教えていた。須田勝彦と筆者はかねてから「学問としての数学を教える視点」が大切であると主張してきた。<sup>(6)</sup> この主張はたとえ小学校や中学校、高等学校でも、薄めた形でなく、質の高い本当の数学を教えるべきであるということである。当然学ぶ者の年齢、学年、発達の状態に応じてふさわしい教え方は考慮されるべきだが、本質は数学としての学問的立場を捨てるべきでないのである。この主張は当然大学における数学教育にも当てはまるものである。この点に関して筆者の実践を述べてみよう。

一年目後期の科目「数理科学プレゼミナール」必修2単位では数人の教官がそれぞれ独自のテーマで小人数の学生のゼミを担当する。筆者のテーマは「数の科学」で、 $1+2=3$  となるのは何故かということを考えることにした。テキストはEdmund LandauのFoundations of Analysisで内容はペアノの公理にもとづく自然数論の展開である。25名の学生が自分の意志で参加した。毎時2人ずつの学生が発表して論議するゼミの形態で行った。私のねらいは学生たちが小学校以来親しんできた数について、科学的にとらえなおすことができたらいと考えていた。もう一つ完璧な数学の理論のもつ美しさをわかつてもらえたらという気持ちもあつた。1961年にフランスのロワイヨールで数学教育に関する国際セミナーがひらかれた。そこでDieudonnéが有名な「Euclid 幾何追放」論を述べ、代わりにペアノの公理からの自然数論の展開をすすめていた。私のあたまにはそれもあつたのである。ペアノの公理からの自然数論の展開は繊細にして玲瓏であ

るが、学生たちは現代数学の香気をその中に認めたと同時に「 $1+2=3$  となるのは何故か」という根本的かつすぐれて教養的な問題に正しい解答をみつけたようである。

## 6. もう一つの専門に進む

副専門教育課程は主専門である工学の一分科にたいして、もう一つの分野のかなり専門的な知識を教授している。従って数学に強い機械工学技術者等が卒業生にたいする期待されるイメージであつた。しかしながら数理科学のおもしろさにふれ学ぶなかで自分の将来の道を、数理科学の方に変えてしまった学生もいた。この春から静岡大学大学院で数理生物学をやることにしたK君がそうである。彼は数理生物学を数理科学コースの「数理モデルB」という科目で、佐藤一憲教官の講義を聞き、次の年「数理科学ゼミナール」で、佐藤一憲教官の指導をうけ、数理生物学を専攻することを決心した。もともと、理学部の数学科に比べて、副専門では単位数がすくなく、数学で一人立ちするには、やや物足りなさを感じていたが、数理生物学のように若い学問では、比較的速く第一線までたどりつけるようである。また数理科学コースを修めてから北大等の大学院理学研究科数学専攻などに進む道も開けている。

## 7. 数理科学でよいのか

これまで室蘭工業大学における数学教育の改革の実態にそつて、そのよつて立つかんがえかたを述べてきた。しかし最近になつて、数学教育のせかいでは、「数理科学ではなく数学を教えるべきだ」という主張があらわれてきた。上野健爾は次のように言う。「20世紀の数学は（伊藤）仁斉の表現を借りれば《繁茂稠密》し、実に多様な成果が得られている。数学の分野の区分は名ばかりで、さまざまな分野の成果が互いに取り入れられ、まさに《繁茂稠密》した、現代数学の状況が浮かび上がってくる。その有機的なつながりこそ数学の命である。わが国の一部で行なはれているような「数理科学」の名のもとに知の展示場を作り成果を宣伝しようという試みがいかに見当違いの愚行であるかが明らかにな

る」<sup>7)</sup> このような批判は当然しつかりと受けとめ考へて行かねばならないことである。この上野の批判は、筆者等の提唱する「学問としての数学を教える視点」と通ずるものがあるようである。

## 注

- (1) アリストテレス《自然学》、全集第3巻、p 82
- (2) ガリレオ「偽金鑑識官」（1623年）、中央公論社「世界の名著」21、山田慶児、谷泰訳（1973年）p 308
- (3) 秋月康夫 1902—1984 京都大学の数学科教授
- (4) 「秋月康夫氏の「他の科学のための数学教育」論」、弥永昌吉、岩波講座「応用数学」No.4、月報 1993.7
- (5) 薩摩順吉 「大学で数学をどう教えるか—数学専攻でない学生への数学教育」 科学 Vol 57,(1987),No.8 p 496—502
- (6) 山口 格・須田勝彦 「関数指導体系に関する基礎的研究」 北海道大学教育学部紀要第50号 1988年p1-p55
- (7) 上野健爾、現代数学の広がり1. 岩波講座「現代数学の基礎」第3巻 1996.12 p 2



# 生命環境科学コース教育実践のこの4年

富士川 計吉\*1

## The 4 Years' Practice for the Reformed Curriculum in the Life-Environment Science Course of the Minor Education Program

Keikichi FUJIKAWA

(論文受理日 平成9年8月20日)

### Abstract

Being in charge of the reformed education program for these 4 years, the existence of the unexpected problems have been recognized. Last year our staff worked to remove the part of these problems in the pre-seminor plan and the huge class. Moreover as the term spent for the practice was not so long, the more difficult problems still remain for the future. Especially for the time when this course may grow up as the complete education system, incomplete parts of this course program were pointed out at this moment, for instance, the position where the course stood in the total system. Although the course has many kinds of the future problems, it has progressed in the last review and also gained the promising step for the next years. The author wishes the still more unique advance in the substance until the next remaking chance.

Key Words: Life-Environment Science Course, reformed education program, pre-seminor plan, huge class, position of the minor education

### 1. はじめに

#### (改組再編以前)

昔々、一般教育等で要件単位とされた36単位は、その後専門科目によって一部を読み替え可能となり、24単位までせばめられた。これによって救われた学生は少なくなかったのではなかろうか。しかし、一般教育の開設科目が減ったわけではなく、一般教育の教官が減ったわけでもなかった。学生の志向の多様化に対応した苦肉の策であったのかもしれない。多様化対応措置としてはその後も大小いくつかの方策がとられた。

平成5年、一般教育の改組再編によって、いわゆる教養教育から副専門としての専門教育に変貌し、旧一般教育のグループは要件単位のうち、主専門関係88単位に対する副専門36単位の部分に、新たな意味付けと責任

を担うこととなった。

#### (改組理念から)

一般教育の改組の理念などは、1992年(平成5年)4月に大学により公表された「改組再編の現状と課題」の中で、以下のように述べられている。先ず、一般教育は「カリキュラムの画一化のために学生の自主的勉学意欲に十分応えられず、学習意識の低下を招きがちである」など、3点の問題を抱えて「教育目標と現状の間に乖離が生じている」とした上で、改組再編へと向かった。

新たに計画された副専門教育課程では「専門分野に偏狭することなく広い視野をもつべく広範囲の科目を設定し、かつ、それらの科目を全学生が共通的に履修する共通科目と、目的別に組織的に整理されたコース別科目に分けて履修する」ことが規定された。

主専門と副専門を関係づける教育目標などについては、「4年間一貫した学部一体の教育を行うこととし、主専門科目群とこれとは別に専門教育とは性質の異なる複眼的な視点から専門教育を補完するための副専門科目群を

\*1 応用化学科

配する」とうたった上で、「現代社会において工学系大学卒業者に必要と思われる基本的な資質、すなわち専門分野に偏狭することなく広い視野に立つ総合的価値判断能力を備え、深い見識を身につけ、応用技術者としての活躍を期すこと」を掲げられた。

このように、ここに設けられた生命環境科学コースの目標では、背景に「最近の科学の進歩は生命現象についての知見において大きな飛躍を遂げ、バイオテクノロジーと呼ばれる新しい技術が生まれてきた。また、近年の工業の発達とともに、環境問題について様々な問題が生じてきた」ことを指摘し、「したがって、これからは生物と自然との調和ある環境を生み出す視点に立って、科学・技術を考えていかなければならない。生命環境科学コースでは、「科学と生命環境」をテーマにこのような分野についての基礎的な知識を学ばせ、グローバルな視点にたつて社会に奉仕する技術者の養成に資することを目的とする」ことが掲げられた。

以来4年間、生命環境科学コースは大小の新しい問題に直面し、その一部分は昨年度の教育課程の見直しにより改善されたものの、その作業などを通して根の深い宿題を抱えているとの認識に到達している。

## 2. 生命環境科学コースへの学生の分属状況

### (新たに直面した問題)

各コースへの学生の分属希望が、5つのコース間でバランスしない。生命環境科学コース(以下、生環コース)は常に定員(130人)オーバーの状態が続いた。希望のとおりに分属を許すことは物理的にも不可能なため、約1か月かけて、希望の変更を募った後、志望理由書を提出させて選考をした。

### (志望理由の分析)

ある年度の、142人分の志望理由の要点を抽出し、共通項目にまとめた。(表参照)

志望理由書を読んでまず感じたことは、これらの学生は自分自身の理由で志望したのであって、決して他人の理由に同調や便乗したものではないことである。「単位を取りやすいから」、「周囲の噂を参考に」、「仲間との相談によって」等の消極的依存体質を見ることはなかった。とはいえ志望理由は様々であり、全体を簡単に分類することは難しい。まず、次の3項目に該当する者をまとめてみた。「生環コースを選んだのは、1. 主専門の補完として、2. 自己本来の興味から、3. 主専門並の強い動機から」である。その結果、全体で1. 37%、2. が46%、3. が8.5%であった。ただし、一部分は1. と2.の両方に

表 平成7年生命環境科学コース志望理由の項目別まとめ

学 科	志望者数	項 目					
		1.	2.	3.	4.	5.	6.
建設システム	24	14	9	1	7	0	1
機械システム	26	13	4	1	6	0	0
電気電子	18	6	8	1	4	0	0
情報工学	17	3	8	0	5	4	0
材料物性	20	6	12	0	4	0	2
応用化学	37	11	25	9	6	4	0
合 計	142	53	66	12	32	8	3

該当する。3.の数字について、後述のように担当者の一人としてある種の重みを感じている。

自己の志望を決めるにあたり、入学前に読んだ大学案内、コース分属説明会資料、副専門編シラバスが参考にされた。かなり多くの方が大学案内によって生環コースを知り、早くから分属の希望を決めていた。その中には、「他大学の環境系の学部や学科を受験して入学を果たせなかった」者や、「以前から勉強してみたかったものを見つけた」者もいる。また、シラバスを読んで、自分の主専門の内容を補強するコースと位置づけ、「生命環境科学の学習が是非必要である」という者や、「環境配慮のできる建設あるいは土木技術者になりたい」(建設システム)、「自動車や宇宙などの技術にとって必要である」(機械システム)、「クリーンエネルギーなどについて理解したい」(電気電子)などの者が含まれている。生環コースの化学分野の比重が大きいことが応用化学科の学生の多いことに直接つながる。

環境保全のために「積極的に参加しようとする意志の表明」は表の項目4.であり、23%あった。表に示していないが「もっと認識を広め深めたい」というのが、その他のほとんどの者である。言うまでもなく、後者の中から前者の23%をできるだけ大きく育てるのも生環コースの大切な役割であろう。

項目2.の「自己本来の興味から」の中には、「高校時代に勉強した化学、生物、地学を生かして学びたい」者が多数いる。一方、項目5.には「高校で学校の事情や大学受験の都合で勉強できなかった科目を、この機会に勉強したい」や「高校時代に学びたかったが機会が与えら

れなかったので、生環コースで学びたい」とした者が含まれる。理科への興味には、見近な経験との密接感や未知の世界の征服感もあり、学校で定めるプログラムに制約されることなく、生涯持続するものがある。一つの専門に自己を当てはめようとするよりはむしろ、これまでに抱いてきた種々の今日的で広域的な疑問や関心の追究へと、専門領域を越えて自己を広げようとする傾向が表れており、「総合科目を勉強してみたい」などとも述べられている。最近の社会人教育あるいは生涯学習の理念とも通ずるものが大学初年の学生に既にもあるように感じられる。将来再び生命や環境に関する専門あるいは教養の勉強をする可能性があるとするれば、この時期にアウトラインを知っておくことは意義深い。

項目 6. は「ある先生の地震にの新聞記事を見て」など、報道等からの影響で選んだ者を示す。その段階ですでに、在学校での情報あるいは出版物などから環境問題についてある程度見聞を広げ、問題意識も高まっていて、「この機会に是非専門的な勉強をしておくべきだ」や「本当に興味を引くのは環境の勉強なのだから是非学ばせて欲しい」などとなったようである。こうした問題意識の高まりは志望者のほぼ全員に感じられる。NHKのテレビ特別番組や自然災害の体験なども発端となり、生命と環境は直接間接に広範な学生の関心を引いていると強く感じる。

(今後の課題)

志望理由の中で「他のコースで学びたいものがないから」とした者もあり、「主専門に一途に関わりたいのか」あるいは「ほんとうは何をしたいのか」と問いかけてみたくもある。とりあえず生環コースに分属させることとしたが、少数派とはいえ副専門全体の検討課題とした一件である。本学に入学する学生は必ず副専門を学ばなければならないとした根本的な理由を問いたい。

項目 3. の「主専門並の強い動機」の中に、「大学での研究テーマとして環境問題に取り組みたい」という者がいる。こうした高いレベルの教育を求めて生環コースに分属した学生に対し、十分保証する体制が現在できていない。所詮副専門にすぎないが、知識を伝えるのみの教育に終わるのではなく、所属学生のある部分を研究の領域に導いて、学生と一体でつくる学問的創造体制への成長が今後の大きな課題の一つである。学生を研究の活動や方法に触れさせ、真に自己の学問的興味を発見できるように彼らを導くためには、現状のままでは物理的に困難な面もある。つまり、一般教育時代のままのスタッフ専用研究体制であれば、副専門としてどこまで学生の要望に応じてあげられるだろうか。誠に乏しい限りであり、将来の発展性さえも望めないなら、生環コースは看板倒

れに終わってしまう。

### 3. 改組再編教育課程の評価と課題

#### 3.1 生命環境科学プレゼミナール

(プレゼミナールの実情)

プレゼミナールが発案されたのは、一般教育における多人数教育の弊害が指摘されていた背景がある。「先生と学生間に十分なコミュニケーションが成立していなかった」とされたが、改組案にはどのようなコミュニケーションをするべきかは明らかにされてはいない。授業の内容に関する限り、授業中に双方向の対話が可能になるクラスの大きさは、私見では、7~80人が限度であろうと考えると、改組にともないプレゼミナールの現行形式(1教官に学生20名)が導入されたねらいが未だ判然としない。

(ある中間報告とその後日談)

ある担当教官が「プレゼミナール寸描」と題して、学生部ニュースに報告したものを抜粋再録する。これは生環コースにおいてプレゼミナールを担当した7名の教官からのアンケートへの回答をもとにしてまとめられた。

質問事項:

- (1) 実施中のプレゼミナールの形式(講義、ゼミ、その他の形式など)
- (2) 現在感じている問題点
- (3) プレゼミナール開講の目的、意義をどのように考えているか

回答:

- (1) ゼミ形式と回答したのは、7人中4人であった。その他、講義形式あるいは講義とゼミの複合形式が2人で、施設見学が1人であった。
- (2) 学生の語学力不足のため意図した通りに進まず、意見や質問が全く出ない。資料を棒読みするなど把握力に問題がある。出席状況不良など意欲がない。欠席者にはペナルティーをつけてみた。発展性のない見学のみで終わった。
- (3) 1年生後期では時期尚早だ。意義目的がはっきりしていない。意義目的がよく理解できない。時期的に不適當。必要性に疑問あり。ポリシー不明で効果も期待できない。意義不明ではあるが、少人数教育という点ではインパクトがあったと思う。

後日、こうした状況を検討する会合において、ある教官は「第1志望で分属されたはずなのに」と、学生に積極的な参加態度が見られないことを嘆いている。

改組が前倒しで実施されたこともあり、全ての担当者が互いに検討を尽くす時間も与えられず、結局、プレゼミナールの実施方法も様々ながら、実施しての評価にも前向きな意見が見あたらぬ。

新しい形の教育なので、担当者は教育の専門家として工夫し試行錯誤する役割があるとはいえ、教育内容よりも、学習態度や、ものの言い方、約束履行などの”行儀教育”を繰り返す時間が続いたら、副専門教育の目的とは全く異質のものが課せられているようで、ジレンマを感じてしまう。また、あるときは「コースへの円滑な導入をはかるため」ともいわれるが、その場合、導入にあたってかなり高い密度での個人的接触を必要とする分野に限定してプレゼミナールを実施するのが効果的である。ただ単に”少人数でコミュニケーションをはかる”という目的不明確なままのプレゼミナールという方法設定を、担当者に押しつけるのはどうだろうか。

(今後の課題)

担当を2度経験したある教官は次のように述懐する。

---

「学生は学科を横断した形で行うゼミ活動の意味を見いだせずに終わる」、  
「現在の学生数に対して少なすぎる教官数のため、学生が担当教官を選ぶ自由がなく、さらに、一つのゼミに20人以上が集まるのでは少人数とはいっても一体感に欠ける」、  
「学生の主体的な参加が前提となるゼミの性格から、必修科目とはしないで、選択にすることについても十分に検討するべきである」

---

この指摘から、学科横断型、学生が教師を選ぶ自由の保証、一体感の出せるゼミナールの規模、必修選択の設定について、さらに、ゼミナール室の完備などの宿題も現在なお残されており、場合によってはプレゼミナールの廃止を含む、十分な検討を続けるべきである。

この現状を、今後改善する方向として、

- ①教官と学生の間で個人的接触の物理的に保証された状況をつくり、そのためにも、
- ②予めシラバスなどのできるだけ詳しいプレゼミナール活動内容の紹介がなされている必要性から、内部的検討を尽くした準備がなされ、
- ③どのように成績評価(単位付与)をするかも明瞭に示されており、
- ④学生には担当教官やテーマを選択する自由が与えられているためにも、相当数の教官の参画の下に、選択科目とすることであろう。

「少人数教育とはゼミナールである」という短絡は、最悪の場合相当大きな危険性をはらむ教育方法であり、上述のように否定的な反省が強まるばかりで、改良につ

ながる発想の生まれにくい雰囲気でも固まってしまう。こうした新しい形を実践に取り入れるとすれば、準備に手間暇をかけ、例えば、成功している各種のゼミナール活動を分析し、学ぶべきである。この点でも、この度の改組再編は見切り発車の感が濃厚で、「後のことは走りながら担当者各位において良きにはからいなさい」となってしまったことは、質的に大きな負担を担当者に押しつけたことになる。

また、「低年次ゼミナール」では専門的な基礎知識も、大学あるいは専門分野に特有な学問的方法論もほとんど通用しないし、こうした方法を教授することにも無理がある。この場合、「教官と学生の個人的で人間的な交流が決定的といえるほど重要になる」が、極端な言い方をすると、おしゃべりタイムにもいたらずに終始する。明確な目的設定がなく、教育者として学生にどのように接すれば期待される効果があげられるのか、ヒントすらもない。

こうした新しい教育実践から出てくる知見などを適宜汲み上げ、深めていくことのできる場が、副専門の中に用意されていない。

### 3.2 マンモスクラスの発生要因

(マンモスクラス発生)

クラスの人数がおおよそ80名以下なら1~2か月間で顔と名前が一致する程度に把握して授業ができる。こうしたわけか100人に近づくとクラスが名もない顔もない大きな一つの塊のように感じられ、一方的に知識の伝達がなされ、その努力がどこかに吸い取られていくばかりで、心身の消耗が異常に激しくなる。

生環コース発足2年後に、はじめて定年退職者があり、後任としてそれまで主専門の応用化学科教官が生環コースのコース別科目を担当することになった。この教官から、2年間担当の後日談として次のような意見が寄せられた。

---

主専門科目とは異なり、学生の基礎知識や関心もまちまちなので「少なくともこれだけは知ってほしい」という講義ではあまり教育効果が期待できない。そこで、古典的な”積み上げ型”の講義を止めにして、複数の副読本から”水と生命”という主題に沿った内容を拾っていく方式で講義を行っている。準備にかなりのエネルギーを要するが学生のレポートをみていると、強い関心と興味を示す学生が出てくる。ところが受講者120名以上という現状はあまりにもマンモス授業であり、せめて40から50人位で、学生の表情が見えて、やりとりのしやすい授業にできないものかと感じる。

---

古代の環境で滅亡したマンモスが、改組再編後生環コースにマンモスクラスとして”生還”した。ある科目では、改編カリキュラムを実施してみて、履修申告者が異常な人数にのぼった。1名の教官が担当する一つの科目で860人もの学生を相手にした例は、これまでの本学の講義にはなかった。結局、3クラスに分けて授業をしたために、教官の負担時間も3倍に上がった。改組の理念に従い、専門性を深めていくねらいがあるなら、このようなマンモスクラスの生じたことは、理念とは逆の方向に現実が動いてしまったことであろう。「根本的にはスタッフ不足とメニュー不足である」との指摘はできようが、スタッフ数は現状のままに凍結された改編なので、開講時期をにらみ、並行あるいは隔年授業などの方法をとって学生にも安心して授業を受けることのできる道を保証しつつ、受講者数の分散をはかるのが従来からの知恵であった。詳細の検討に手抜かりがあった。

(今後の課題)

入学時の履修方法説明会では、単位を揃えることについて詳細に述べられる。その中身は決して簡潔ではないが、新入生は手持ちの単位が零なので、誰もが渴いた旅人のように単位取得に走る。その結果、初年生の受講者数が最も多くなり、学年進行と共にこの傾向は減る。そこに、学年による学生集団の気質的な状況がある。高学年になると勉強の姿勢も成熟してくる。この時期をとらえて深い専門内容を学ぶのもよい。こうしたことは経験により承知している。副専門で新しい試みをする場合、学生集団に気質的な傾向がある場合、大学に在学している期間内に、いつでも好きな時期に学びたい講義を、受講者が自主的に選択できることが理想であろう。学年進行と開講時期の設定に関して、副専門の各コースに特有な基本的ルールあるいはシナリオといったものを創り出すべきではなかろうか。昨年度の教育課程見直しで、この点が改善されつつあるように思うが、少数スタッフで「広範囲な内容をカバーする」という改組再編の理念を字句通りに受けとめるのは現実に合わず、従来的一般教育的体質を保持する限り、現行の副専門教育の方法を少し改善するにも大きな限界を感じる。

#### 4. 複眼的視点から専門教育を補完する副専門の役割

(一般教育と副専門教育)

一般教育の理念には人間形成という大きな目標があった。ここで、生環コースのコース別科目を担当するある教官からの指摘を紹介する。

---

「主専門と副専門方式さらに旧来の一般教養と学部教

育方式の違いがどこにあるかについて、教官の間に共通の理解があるとは思えない。例えば、副専門課程には主専門課程の卒業研究や論文購読に相当する学部教育の中での到達目標がない。このことは改組の意義を曖昧にしまい、全学的なカリキュラム体系の整合性と一体感を著しくそこねる一因となっていることを感じる。一方、工学における複眼的思考力の養成や基礎学力の総点検が副専門教育の主眼だとするならば、これこそ工学の学部教育の中心テーマにふさわしいと考えるのが現実的ではないだろうか。多くの指摘があるように専門性の追求はすでに大学院博士前期課程に移行しているというのが実感である。工学の守備範囲が時代と共に変わってきていることと、学生の学力や専門意識の激変を冷静にとらえて、無理や無駄の少ないシステムを試していく必要があるのではないか。」

---

副専門は生まれたばかりの専門であり、既に歴史的な成熟を経てきた主専門とは質と量においてバランスしてはいない。現行教育はもはや一般教育ではない以上、専門性を意識し、主専門との関係を見据えて、教育内容の成熟度を調整し、合理的なレベルの集積として副専門教育を試行し、体系として育てる必要がある。

(主専門と生環コース)

改組再編の現状と課題のなかに、「(主)専門教育と性質の異なる複眼的な視点から専門教育を補完するための副専門科目」を考えるために、生環コースとしては、「最近の生命科学技術の進歩および工業化にともなう環境問題を対象として、「生物と自然との調和ある環境を生み出す視点」から「科学と生命環境」の主題の下に「基礎知識を学ばせ、グローバルな視点に立って社会に奉仕する技術者の養成に資する」と述べられている。そこで、「生命や環境に関する現代的課題を特定の研究テーマに据えて、研究指導する高度の教育活動をする」ことをも、「主専門とは性質の異なる視点」を実質的に打ち立てる、真に生環コースの段階的充実を志向する教育改善になるのではなかろうか。

(均衡と相補)

要件単位 88対 36 が、二つの専門知識を獲得するのに合理的なものとは断定できない。従来から専門教育には人格の形成という点で欠けているものがあり、教養の教育が必要との認識で、専門と教養との間に人間の成長という共通の土壌の中で必要な均衡をもたらしした。この均衡を長い間保ってきたのが 88対 36 であった。

一方、主専門教育に対する副専門教育の位置づけとして、副専門はある意味で主専門と互いに相補的な補完関係と考えると、現行の主と副には相補的内容を形成する

体制が備わっていない。先ず、副専門は、(1) 卒業生を送り出す段階に深くは関わっておらず、よって、(2) 学生の大学における学問に対して最終的責任を担っていない。また、主専門は副専門を旧一般教育の枠組みで判断する傾向から脱していない。生環コース志望学生の中には少数ながら生環コースでの研究活動という高いレベルを期待する者がいる。生環コースとしてはこの少数を無視するのではなく、こうした志望の中に、生環コースとしての教育的対応の必要性を認め、一定の役割を担うなら、旧体質の脱却につなげられるのではなかろうか。こうした将来の成熟に備えて、要件単位の設定には、今後の副専門教育課程の改善にともなう「大幅な改訂の余地を保持」すべきであろう。

## 5. 卒業生像と社会的背景

### (卒業生に期待される像の変化)

世の中に二つの分野の専門家といわれる人がいる。また、専門家ではなく”博識”や”通”といわれる人も多い。身近の内外から、これまでの常識では解きえない問題が発生したとき、しばしばこうした人間が必要になる。

高度経済成長の時期から国の内外で、大きな変化のうねりが生じてきた。企業の国際的な展開があり、良い意味の国際化も、また、あまりにも経済優先主義的な、エコノミックアニマルの汚名を戴くこともあった。さらに、核家族化、少子化、文化の多様化、など、国民の生活習慣や慣習の変化も顕在化した。潜在する問題もまた拡大し、複合性を帯びてきている。こうした背景から学生に期待される像にも変化が起きつつある。そうした変化に、学生の反応はかなり敏感であることが志望理由の分析からも感じられる。副専門での大学教育の完了を目指した学生に期待する「卒業生像」には以下のような要因が含まれている。

### (強まる総合化の傾向)

総合化とは、一面では既存の専門分野の境界領域に種々の新しい問題を見いだすことである。こうした状況への対処方策として総合性を強めた教育の支柱を立てるのも、副専門の一つの選択である。昨年度の教育課程の見直しにより生環コースのコース別科目の中に社会科学分野の科目などを取り入れた。科学的な因果関係の解明を待たずに、リスクの評価法によって決断をしていく方法は環境や生命の最先端ですでに採られている新しい手法である。識者の指摘に待つまでもなく、社会はこうした変化に向かいつつある。総合化教育の方向にはこうした新しい認識のありかたを学ぶ能力をつけることも含まれている。

### (教育完成段階としての卒研指導)

学生はある研究室あるいはある教師のゼミに研究メンバーとして参加し、真に双方向で計画的な学問創造活動へと導入されるなら、学ぶ姿勢も、それまでの一方的受容とは異なるものが備わり始める。完成段階とはこうした変化の兆す時期のことであり、少人数対応型でなければならぬものである。諸々の準備、基礎づくりを終了し、次の段階としての完成へと到達することができるような副専門の教育課程は未だない、かあるいは、そのポテンシャルを現有していない。

## 6. 改組再編教育組織のもつ歪

### (分属教官の特異性)

一般教育組織の一部分が改組にともなって既存の学科に所属替えとなった教官を分属教官とよぶ。分属教官は種々の意味で二重構造の運営形態の下に置かれており、学生からみると全くこうした複雑性に気づく余地もないので、時には戸惑いを感じるようである。現状は、臓器移植手術と似ていて、分属によって即座に一体化できるものでもなく、分属した学科の建物に分属教官の身柄が引っ越しすれば解決する問題でも、また、教官同士が親密に交流すれば解消するものでもない、もっと根深いものがある。分属教官は学科間に存するある種の勢力バランスの中に無造作に注入された均衡破壊危険因子と見られたかもしれない。度重なる定員削減圧力の中で、システムは不利益因子に何よりも敏感になっているであろう。一方、分属させられた者にとっては、「一体化」という表現の中に底知れない不確かなもの、非現実的なものを感じたのであった。これら分属によって生じた二重構造にからむ不具合は、副専門が高度の教育活動へと展開するための「副専門が抱える根本的問題」の一つとして、今後慎重に解決されるべき課題である。

## 7. まとめ

この4年間改組再編教育課程を担当して、生環コースの抱える問題が分かってきた。昨年度の教育課程の見直しによって、プレゼミナールおよびマンモスクラスなどの問題の解消に向かった。しかし、発足間もない生環コースとしてなお根深い宿題が残されていることを指摘した。とりわけ、生環コースが副専門として成熟するとき、専門教育の充実と主専門に対する位置づけなどについて、今後の課題を指摘した。課題は多いが、これまでのところ進展も確かなことは、将来の展開に希望となる。次期の見直しまでに一步の前進を期して終わりとしたい。

# 科学技術と社会をつなぐ大学教育 —社会科学コースの試み—

丸山 博\*

## College Education Improving the Relationship between Technology and Society —An Attempt in our Social Sciences Course—

Hiroshi MARUYAMA

(論文受理日 平成9年8月20日)

### Abstract

It is clear that both technology and social sciences are confronted with environmental issues to be urgently solved. The fact that technology and society are interrelated in the light of recent studies of environment suggests that curriculum in the engineering faculty should improve the relationship between them. In this paper I would like to examine the relationship, our curriculum and our classes.

Key words : Technology and society, Sustainable development, Curriculum in the engineering faculty

### 0 はじめに

今日、資源・エネルギー・環境など人類生存の物質的基盤が人間の経済活動によって脅かされている。公害・地球環境問題は科学技術のみならず、国際政治や世界経済などと深くかかわっており、その解決には法制度や政策など社会経済システム全体の変革が求められる。このことは科学技術と社会科学が共通の人類史的課題に直面しており、互いにそれぞれを視野に入れなければならないことを意味するものである。したがって、工学部の教育は社会科学との結びつきを強めることによって発展しうるものと考えられる。

本稿では、まず、環境と開発をめぐる諸問題として熱帯林とダムの問題をとり上げ、科学技術の今日的課題が社会のあり方と深いかわりがあることを導く。次に、本学の社会科学コースのカリキュラムを概観し、専任教官の担当する講義科目のシラバスの一部を示すことによって、本学における社会科学の教育が平和と人権、民主主義と自由、世界経済と市場システム、地球環境と持続的発展など科学技術のあり方とかわる現代社会の課題を対象とし、カリキュラムの体系化に向かっていることを明らかにする。そして、副専門教育を特徴づけるプレゼминаールの授業展開を専任教官自身によるレポートと学生の感想文によって検証し、社会科学コースの評価をしたい。

\*共通講座 人間・社会科学講座

i 環境と開発をめぐる諸問題

1992年ブラジルのリオデジャネイロにおいて、国連環境開発会議いわゆる地球サミットが開かれ、世界各国は持続可能な社会の確立を21世紀の課題とすることを宣言し、持続可能な社会をめざしたアクションプラン＝アジェンダ21を採択した。その持続可能な社会とは「将来の世代がそのニーズを満たすための能力を損なうことなく、現世代のニーズを満たす」社会と規定されている<sup>11)</sup>。アメリカMITの研究グループのコンピュータ・モデルによれば、持続可能な社会は「1995年から人口と工業生産の抑制に加えて、資源節約、農地保護、土地の収穫率向上、汚染軽減などの技術を取り入れた場合のシナリオ」<sup>12)</sup>にもとづくモデル世界において実現すると予測されている。つまり、人口と経済の幾何級数的成長は資源の枯渇と環境の破壊によって将来世代の生存可能性を奪うだけでなく、現世代の貧困や失業などの問題を解決することもない<sup>13)</sup>ため、成長の抑制と技術の改善をはからないかぎり、持続可能な社会の実現はありえないというのである。ここに、今日の科学技術は持続可能な社会という、これからの社会のあり方に規定されるという関係が生じるのである。このような科学技術と社会との新たな関係は人間の経済活動の物質的基盤である熱帯林や河川の開発において特徴的にみられる。

### 1.1 熱帯林の持続的利用

地球に残された最大の熱帯林アマゾン流域における森林破壊の原因としては、大規模な牛の放牧場の建設、ゴムや紙パルプ用木材のプランテーション、水力発電用ダム建設、石油採掘や金・ボーキサイト・スズ・鉄・鉄鉱石・マンガンなどの採取、一般的な木材生産などによる開発があげられる。

G・T・プランス(1997)は、アマゾン開発が失敗であったことを指摘し、「先住民の民族生物学的知識の研究こそ、熱帯雨林に関する知識と、熱帯雨林をいかに賢く管理したらよいかの方法を集積するために、私たちがなすべき最も重要な課題である」<sup>14)</sup>として、先住民の植物利用についての定量調査を行った。その結果、先住民の植物種の利用法は西洋社会の場合よりも多岐にわたっており、これを知ることがどのようにして熱帯雨林を伐採せずに活用するかを知るための最も確実な方法である<sup>15)</sup>という注目すべき意見をのべている。

ジャック・ウェストビー(1990)は、熱帯林破壊の原因を主として途上国の社会関係に求め、「権力をもっている人びとが土地と水資源へのより平等なアクセスを保証する政策をとらず、自国の食糧自給を優先する

政策を積極的にすすめようとしなない」<sup>16)</sup>ことが問題であると指摘している。そして、「農家、村落あるいは地域社会のレベルで、零細農民と土地をもたない者が彼らの手で、または彼らのためにおこなう樹木の貸付けと経営」を社会的林業とよび<sup>17)</sup>、そのなかでも「農作物の栽培や家畜の飼育を時間的あるいは空間的に結合させた」アグロフォレストリーの技術開発が今後必要とされる<sup>18)</sup>というのである。

熱帯林の破壊を南北関係の視点からみれば、スーザン・ジョージ(1995)が指摘するように、熱帯林破壊と債務累積との間には正の相関関係があり、IMFと世界銀行による輸出主導型開発モデルが途上国の資源を枯渇に導き、南北間の社会的・経済的格差の拡大を招いている<sup>19)</sup>ということが出来る。この開発モデルは先住民など森林に依存する人々の生存権を脅し、地球の温暖化や生物多様性の減少のように地球規模で将来世代に影響を与えうる問題も引き起こしていることから、先進国には「債務国に森林保全費用を補償し、エネルギー効率がよく再生可能なエネルギーに基礎をおいた開発モデルの採用を支援すること」<sup>20)</sup>が求められる。

このように熱帯林をめぐるのは、先住民の歴史的遺産である熱帯林の知識やその利用方法を基礎にして、地域住民主体の管理システムのもとで熱帯林の再生や持続的利用のための新しい科学技術を開発するとともに、熱帯林の破壊をもたらすような開発を規制する制度を確立することが現実の課題となりつつある。

### 1.2 河川開発の転換

1990年代に入り、ライン川やミシシッピ川など欧米の代表的河川において、最大規模の水害が相次いでいる。それは地球規模の気候変動の影響もないわけではないが、主として巨大な堰・堤防・ダムなどの建設や沼沢地の干拓、コンクリートの障壁による氾濫原の川からの遮断など、完全に工学的な管理が流量を劇的に増やし、下流での力を増大させた結果である<sup>21)</sup>といわれる。とりわけダムは川の温度や流れを変え、魚のような移動性の生物の障害となり、周囲の氾濫原や海に供給される沈殿物・栄養物・水などの自然な動きを妨げる<sup>22)</sup>ことがわかってきた。こうして欧米では、ダム建設にともなう社会的損失の大きさが明らかにされると、地域住民や世論がダム建設を容認しなくなり、その結果、1994年、当時のアメリカ開墾局長ダニエル・ピアードが「アメリカにおけるダム建設の時代は終わった」と宣言するにいたったのである。

他方、アジアの揚子江やメコン川などの大河川では、

先進国の開発援助によって巨大ダム建設が国家的プロジェクトとして強引に進められている。中国・揚子江の三峡ダムは水没のために113万人以上の住民が十分な補償もないままに移住を迫られ、歴史的遺跡や希少種も失われようとしている<sup>13)</sup>。またラオス・メコン川最大の発電用ダム＝ナム・グム・ダムでは、貯水量の減少を近くのナム・ソン川に新たなダムを建設し、その水を水路によってナム・グム・ダムの貯水池に送るという場当たり的な方法で解決しようとした。それは当然のことながら、川から魚が姿を消し、ナム・ソン川下流の3000人の住民の生活が破壊されたばかりか、ラオスの民衆にとっても国内総生産の1割に相当する債務を抱える結果を招いた<sup>14)</sup>のである。

日本における水問題については、嶋津暉之(1991)によって、「土建資本と政治家と水行政にかかわる官僚からなる利権集団が水資源開発の予算を獲得し、必要性の有無にかかわらず、開発事業を推進しており、工業用水および農業用水の余剰水の水道水への転用や水道における節水の推進、工場における水使用合理化の推進などを行えば、新たな水源開発を必要としない」<sup>15)</sup>ことが指摘されている。また大熊孝(1988)がいうように、「ダムによる洪水調整には一定の限界があり、河道による洪水処理計画に対する補助的役割を担っているにすぎない」<sup>16)</sup>のである以上、私たちには堤防強化の科学技術や水害防止林の整備などによってある程度の洪水までは氾濫しないようにするとしても、それを超えるような洪水に対しては積極的に各地に遊水・氾濫させ、被害を可能なかぎり分散・公平化して<sup>17)</sup>、自然と共存する社会を形成することが課せられている。

こうしてダム建設に象徴される近代河川工法は地域社会が国や自治体による独占的河川管理を克服し、かつての水利組合・水防組織のような自治的河川管理を自らのものとする過程において、自然と共存するものとして転換されなければならないのである。

## 2 社会科学コースの構成

社会科学コースは平成5年度の一般教育課程の再編により副専門教育課程の一つとして誕生した。その目的は現代における科学技術と社会との密接な相互作用を踏まえて、「科学と社会」をテーマに社会の現状について深く理解し、科学技術と社会との新しい内容・関係のあり方を深く追求して考えることのできる技術者の養成にあるものとした。その後、継続的にカリキュラムの検討を進めた結果、カリキュラム上の問題点の解消と1にのべた問題意識に基づき、平成9年度から

社会科学コースのカリキュラムを下表のように改訂することにした。改訂の主な特徴を(1)副専門教育全体にかかわることと、(2)社会科学コース独自のことの二つに分けると、以下のように表される。

(1)平成5年度のカリキュラム(以下、旧カリとよぶ)ではコース別科目は皆同じ位置づけであったが、旧カリの共通科目を新たにコース別科目のなかに組み込み、コース別科目をA、B、Cの三つの群に分類した。

(2)次のような科目の変更を行い、環境系科目を充実させた。社会学の基礎→社会環境基礎論、経済システム論演習→環境経済論演習、社会と情報→社会環境論、社会調査実習→環境情報論演習、社会情報特論A→社会環境特論、社会情報特論B→社会情報特論

なお、A群は社会科学以外のコースの学生でも履修できる共通科目からなり、B群は原則として社会科学コースに所属する学生しか履修できないコア科目からなる。またC群は他コースで開講している授業科目だが、社会科学との関連があるものと位置づけ、履修した場合、社会科学コースの単位として認定するものである。こうしたコース別科目の拡大によって、社会科学としてのまとまりがつけられ、その広がりも視野に入れることができたように思われる。

表1 社会科学コース・コース別科目

A群	憲法	1年後期
	現代民主主義論	1年前期
	経済事情	2年前期
	社会環境基礎論	1年後期
	日本近現代史A	1年前期
	ヨーロッパ・アメリカ史	1年前期
B群	社会科学プレゼミナル	2年前期
	基本的人権論	3年前期
	現代憲法演習	4年前期
	現代自由論	2年後期
	現代政治論演習	4年前期
	社会経済論	3年後期
	環境経済論演習	4年前期
	社会環境論	3年後期
C群	環境情報論演習	4年前期
	日本近現代史B	2年後期
	日本近現代史演習	4年前期
	生活環境化学	1年後期
	地球環境化学	3年前期
	国際関係論A	1年前期
比較文化論	4年前期	
国際関係論B	2年後期	

表2 大学院博士前期課程・社会科学系科目

現代社会特論A	1年後期
現代社会特論B	1年後期
現代社会特論C	1年後期
社会環境特論	1年前期
社会情報特論	1年前期

注1) 学部・大学院の授業はいずれも2単位で、社会科学プレゼミナール（以下、プレゼミとよぶ）以外の科目はすべて選択である。

注2) 大学院ではコース制をとっていない。したがって、大学院博士前期課程の社会科学系科目は共通科目であり、誰でも選択できる。

専任教官の学部・大学院における講義科目のねらいはシラバスによっておおよそ以下のように示される。

(1)憲法＝長利一…日本国憲法の三大原理（平和主義・民主主義・人権保障）のうち平和主義を中心に講ずるが、他の二つの基本原理をも視野に入れて全体として憲法理念の規範的考察が可能になるようにしたい。

(2)基本的人権論＝長利一…国民の身近な生活レベルでの人権問題や行政改革、政治改革、環境問題など最近の憲法上のトピックを素材にして憲法の規範的意味を検証する。歴史的アプローチや国際的比較法的視点もとり入れるとともに、19世紀から20世紀にかけての資本主義の歴史的発展とも関連づけながら、基本的人権の「普遍性」への展望を探る。

(3)現代民主主義論＝白石正夫…われわれは明日にどのような社会を展望すべきか。この授業は今日誰もが解答を求められているこの課題に「自由社会とは何か」を解明する作業を通じて迫るものである。

(4)現代自由論＝白石正夫…混沌とした現代の国内・国際政治を読み解き、明日の社会を展望しようとする時、われわれが依拠すべきは民主主義である。民主主義社会とは人間が人間らしく生きることのできる社会である。そのような民主主義社会には自由が必要である。だが、自由とは何か。この授業は「自由とは何か」を解明する作業を通じて、われわれが生きている現代社会と政治の本質に迫るものである。

(5)経済事情＝亀田正人…経済摩擦または先進国間関係、南北問題または先進国一開発途上国関係、環境問題または経済開発一人間開発関係の三つを基本テーマにして、現代の世界経済の大まかな全体像を描く。

(6)社会経済論＝亀田正人…「市場経済」の特質、経済運営思想の変遷、環境問題のインパクトと対応などの問題の解明を通して、現代社会の特質について経済

活動の市場的要素と非市場的要素との相互関連の視点から歴史的に論じる。

(7)社会環境基礎論＝丸山博…地球環境問題の背景には、たとえば有害廃棄物の越境移動、ユーカリの植林による熱帯林の破壊などのように、南北間の社会的・経済的格差が深くかかわっていることを明らかにし、地球環境問題を解決しうる持続的発展を内包した新しい社会科学すなわち社会環境論の基礎を探りたい。

(8)社会環境論＝丸山博…環境は主として制度・政策・技術などの社会経済システムによって規定される。それゆえ、環境問題は社会経済システムの欠陥によって引き起こされた社会問題といえよう。本授業では、日本の制度・政策を欧米のそれらと比較検討しながら、ダム建設やごみ処分場の問題とかかわる住民運動が選挙や裁判を通じて制度や政策を前進させてきたことを示し、環境問題を解決しうる持続的発展可能な人間・社会のあり方を明らかにしたい。

(9)現代社会特論A＝長利一…現代世界および日本社会の緊急のトピック、たとえば地域紛争、環境問題、行革、規制緩和、日米安保、人権保障などについて、法学をふくむ社会科学的検討を加える。現代資本主義社会や国家への批判的視点を提供しつつ、問題接近の方法を受講生とともに探りたい。

(10)現代社会特論B＝白石正夫…マルクスは自らの構想する未来社会を「自由の花ひらく国」として描いている。ソ連等の「全体主義的社会主義」とマルクスの「自由の花ひらく国」とはいかなる関連があるのか。イギリスの政治学者J・グレイは「ソ連型社会はマルクスの理論が導きだした不可避の結果である」という。はたしてそうなのか。グレイの主張を詳細に検討しつつ、マルクスの「自由」観や社会主義像を再検討する。

(11)現代社会特論C＝亀田正人…環境問題についての現状認識、「持続可能な開発」のモデル、その実現のための経済的手法などについて、現実主義的な政策提言で知られるワイツゼッカーによる『地球環境政策』をテキストにして、考えたい。

(12)社会環境特論＝丸山博…環境問題解決のキーワード＝持続的発展とは自然や他社会の収奪のうえに成り立つ今日の社会経済システムを人権・環境を優先するものへと変革することによって、将来世代によりよい地球を受けわたすことである。本授業では、生物の多様性と民主的な社会の実現を持続的発展の基本的要素として位置づけ、持続的発展を具体化するための社会環境政策について考察したい。

このように社会科学コースの根幹をなす専任教官の講義科目群は現代の科学技術と人間・社会の本来のあ

り方とのかかわりを意識して、平和と人権（長）、民主主義と自由（白石）、世界経済と市場システム（亀田）、地球環境と持続的発展（丸山）などの現代的課題に焦点化され、科学技術と社会をつなぐカリキュラムの体系化へ向かっている。

### 3 社会科学コースにおける授業の検証

#### 3.1 教官による授業の検証—プレゼミと演習科目を中心にして—

長、白石、亀田、丸山の4人の専任教官は皆1、2年次にA群の講義科目をおき、2年次にプレゼミ、2～3年次にかけてB群の講義科目、4年次にB群の演習科目、大学院博士前期課程の1年次に講義科目を開講している。それらをまとめると、以下ようになる。

長：憲法—プレゼミ—基本的人権論—現代憲法演習—現代社会特論A

白石：現代民主主義論—プレゼミ—現代自由論—現代政治論演習—現代社会特論B

亀田：経済事情—プレゼミ—社会経済論—環境経済論演習—現代社会特論C

丸山：社会環境基礎論—プレゼミ—社会環境論—環境情報論演習—社会環境特論

A群の講義科目は各教官の中心テーマの総論ないしは基礎論、B群の講義科目は各論、大学院の科目は特論として位置づけ、それらの間に小人数の演習科目としてプレゼミと演習をおき、それぞれを社会科学の方法論を修得するための基礎と発展と位置づけることによって、授業科目の有機的連関をはかっている。

では、プレゼミと演習の授業はどのように展開されているのだろうか。演習はまだ2年目を迎えたばかりで試行錯誤の過程にあるため、主としてプレゼミについて担当教官自身によるレポートをもとに検証してみたい。なお、社会科学コースのプレゼミは4人の専任教官と1人の非常勤講師が担当する5つのクラスからなり、どのクラスを選ぶかは学生の主体的選択にゆだねられている。

(1)長クラス 授業内容は憲法等の法現象をはじめ、政治、経済、社会一般の最近のトピックを対象・素材にしており、幅広く社会科学的思考を養うことをめざしている。授業方法としては学生が主体的に学習できるように、学生自身にテーマを選択させ、レポート→ディスカッションという方法をとっている。昨年度は「戦争と平和」というテーマについて、学生が順番に新

聞の切り抜きなどをつかってレポートし、その後全員でディスカッションを行っていった。最後に大江健三郎著『ヒロシマ・ノート』（岩波新書）とI・シヨル著『白バラは散らずドイツの良心・反ナチ抵抗運動の記録』（未来社）を読ませ、レポート提出させた。

(2)白石クラス 「“現代日本の政治社会の特徴と象徴天皇制”をテーマに講義形式で」ということを基本にして実施しているが、できるだけ受講生に発言させ、対話形式で進めるよう心がけている。毎時間の終わりにはホワイトカードと称する紙片にその日の授業の感想、疑問、意見等を書かせて提出させ、次回はそれらに対する解答から授業をはじめようとしている。

(3)亀田クラス 書物から知識を得るだけでなく、自分の手足・耳目をつかって実感をともなった情報を得ること、テーマへの接近方法を自分たちで工夫して組み立てること。これがこの授業のねらいであると最初の授業で受講生に伝えた上で、途中2回の中間報告と最後の最終報告だけを義務づけ、調査方法・スケジュール・報告様式など自主的に決めさせている。昨年度は受講生26名の合議によって「大学内・市内・国内のごみの流れ・処理を調べ、ごみを減らすための方法を考えよう」という統一テーマを決めた後、受講生を5つのチームにわけ、それぞれ自由に活動させた。途中、室蘭市のごみ処理施設の見学を授業に組み込んだ。最後にごみ問題をテーマの一つにとり上げていた生命環境科学プレゼミの富士川クラスとごみ処理の有料化について検討会を行った。授業終了後のレポートをみると、全体として「珍しい経験」として多くの学生に歓迎されており、授業のねらいはある程度達成されたと思われる。しかし、他人まかせにする学生がみられたこと、チームが完全に自立して調査を完結することを方針にしたため、調査内容に重複が目立ったこと、討論の時間が少なかったために、獲得した情報を整理しきれなかったことなど、反省点も残した。

(4)丸山クラス プレゼミは学生の主体性を確立する絶好の機会であると考え、学生の自主的活動を中心とした授業を行っている。昨年度は「都市交通問題」をテーマにして、次のように全体の授業を三つにわけて展開してみた。①前半は都市交通問題に対する視点を形成するため、「宇沢弘文著『自動車の社会的費用』（岩波新書）をテキストにして、毎回レポーターの学生に報告してもらい、その後、受講生全員でディスカッションする」という方法によって授業を進めた。②前半は学生が自ら課題を発見できるように、受講生35人を7チームにわけ、各チームごとに都市交通に関する課題とその課題を解決するための研究計画をたてさせ

た。③後半は学生が自ら課題を解決できるように、各チームごとに研究計画にしたがって自主的に活動させた。その結果、各チームは「室蘭市のバス交通について」「室蘭市のロードヒーティングの現状と問題点」「室蘭市における自動車公害とその対策について」などの課題を設定し、現地調査を行い、レポートを完成させた。レポートの質は必ずしも高いとはいえないものもあるが、そうした場合でも自ら課題を見出し、自らの力によってその課題にチャレンジすることをもって、目標に到達したものと考えてよいだろう。

また4年次の演習については以下のように試みられている。長は卒論のためのゼミあるいは法学部などの社会科学系学部への学士入学や編入学の受験対策として位置づけ、憲法の専門書や原書の購読など高度な内容の授業としている。白石、亀田、丸山は主専門における卒業研究と並ぶ、もう一つの総仕上げと位置づけ、テキストを批判的によみ、議論を中心とした授業としている。ただし、受講生には、単位が余っているにもかかわらず、演習に強い興味・関心を示し、熱心に受講している者がある一方、単位が足りないことを理由に受講している者も少なからずみられ、4年次の演習本来のあり方にはなりえていない場合もある。

### 3.2 学生の感想文によるプレゼミの検証

白石と亀田は昨年度、授業に対する感想文を書かせた。それらを分析してプレゼミの検証を試みる。

(1)白石クラスは受講生の人数が30人を超えたことから、講義形式をとった。このことに対する学生たちの意見はおよそ次の2つに大別される。

- ①講義方式だから内容が深まり、よかった。
- ②講義形式だが、一方的ではなく、学生に質問したり、授業の最後にはホワイトカードに自分の感想や意見を書けたので、よかった。

しかし、わずかではあるが、授業の後半、学生への質問が少なかったことに不満をのべた者もいた。このことは裏返せば、質問による授業展開を望んでいる証拠でもある。また②を踏まえた上で、「学生のほうから質問する時間があればもっと良かった」、「ホワイトカードに書き込む時間が少なく自分の考えを整理できないので、もち帰りにして自分の考えを整理してから書けるようにしてほしい」、「授業ごとに二人ほどの学生に課題を与えて、それを発表させるというのも良いかもしれない」など、授業の改善に示唆を与えるような意見もみられた。学生たちの意見のなかで典型的なものを原文のまま示すと、(a)~(d)に表わされる。

(a)応用化学科1年A君

「テーマである“現代日本の民主主義と象徴天皇制”について、よくわかっていなかったので討論形式でなく聴くことが中心だったのはよかったです。」

(b)応用化学科1年O君

「私はディスカッションをする授業を受講することにすこし不安があったので、レクチャー形式の授業を選択しました。授業の形式に関しては人数が少ないこともあり、集中して授業を聞くことができました。しかし、授業で感じた疑問など、質問することや議論することがなかった事は残念です。」

(c)応用化学科1年S君

「与えられる授業は楽である反面、身につけているかどうか不安があります。しかしながら、毎週終わりまぎわの感想文はそれをフォローするシステムで、うれしく思いました。」

(d)情報工学科1年S君

「今のままだでも良いとは思いますが、理解をさらに深めるために次の講義の主題を示しておいてそれに対する考えをまとめておいてもらう等をすれば、さらに興味深く講義を受ける事ができると思う。」

(2)亀田クラスの場合は、大部分の受講生が調査方式に対して高い評価をし、ごみ処理施設の見学や合同授業についても積極的な関与がうかがえる。しかし、チームの課題が重複したことやディスカッションの時間が短かったことなど、授業運営上の問題点を指摘する意見もいくつかあり、これらについては前述のように亀田自身も反省点としてあげている。典型的な意見を原文のまま示すと、以下の(e)~(h)に表わされる。

(e)情報工学科1年M君

「実際に人から話を聞いたり、足を運んだりしてみると、本や新聞などからの情報との違いを改めて感じる事が結構多かった。」

(f)情報工学科2年T君

「調べるとということについてはまだ社会に出ていない学生の身分で社会人と話をするきっかけとなり、社会勉強となる一面もあった。相手の人には多大に迷惑がられてしまったが、それも勉強の一つとなるだろう。」

(g)材料物性工学科1年N君

「自分で調査をしてみないと問題意識が高まりませんし、授業も受け身ではなく、ずっと積極的に参加できたつもりです。(中略)私自身では工場見学(筆者注:ごみ処理施設のこと)が印象的で、ぜひこれは必修にしたほうがいいのではと思いました。(中略)チーム方式をとったり、中間発表など新鮮で私にはなかなか楽しくうけることができる授業でした。」

(h)材料物性工学科1年I君

「合同授業に関しては他のクラスがどんなことを知って何を言うのかひそかに楽しみだった。しかし私よりするどい質問にびっくりした。」

#### 4 まとめ

これまでの検討を踏まえて、今年度5年目を迎えた社会科学コースの試みを評価すると、およそ以下のようによろめられよう。

(1)カリキュラム…1,2年次の早い段階で総論をおさえた上で、プレゼミをとり、社会科学的な方法論の基礎を身につけてから各論へと進み、より高度な授業を受けたい者には4年次の演習や大学院での特論も用意されていて、科学技術と社会との関係のある程度体系的に学べるように構成されている。

(2)プレゼミ…学生は主体的にクラスを選ぶことができ、教官は講義科目ではできないようなことを行なうことができる。そのため、学生・教官とも授業に前向きである。とはいえ、学生が30人を超えて、小人数教育とはいいがたいクラスも複数あり、今後、全学的な協力あるいは非常勤講師の採用によって担当教官を増やすなど、早急に改善する必要がある。

(3)演習…単位の修得を目的とせず、強い目的意識と学習意欲をもって履修する学生がいる。このことは社会科学コースのカリキュラムおよび教育内容・方法の一つの成果ともいえよう。しかし、一部には、単位が足りないから履修するという学生もいて、演習にふさわしい高度な内容の授業を展開できにくいという問題も抱えており、履修条件の検討を要する。

(4)特論…「受講生の専門分野との一致が難しいため具体的な適用の試みをしないまま総論に終わって」(亀田)いたり、「学部と異なる独自の大学院教育がいかにしたら可能なのか、はかりかねている」(長)というように、工学部の大学院における社会科学系科目の教育内容・方法の確立はこれからの課題である。

最後になったが、本稿の基礎資料となるレポートを快く書いてくださった白石正夫、長利一、亀田正人の各先生には心から感謝申し上げます。今後とも、3人の先生方と力をあわせて、本学における社会科学コースの発展に寄与していきたいと思っている。

#### 註

(1)ドネラ・H・メドウズ, デニス・L・メドウズ, ヨルゲン・ランダース, 限界を超えて, ダイヤモンド社, 1992, p267

著者は持続可能な社会の定義を環境と開発に関する世界委員会(WCED)のそれから引用している。その上で、システム論

的見地から、持続可能な社会を「情報と社会と制度のメカニズムがしかるべきところに備わっており、人口と資本の幾何級数的成長を生む正のフィードバックループが抑制されている社会」と規定している。

(2)ドネラ・H・メドウズ, デニス・L・メドウズ, ヨルゲン・ランダース, 限界を超えて, ダイヤモンド社, 1992, pp167-267

著者らはコンピュータ・モデル「ワールド3」を用いて、いくつかのシナリオにもとづくシミュレーション世界を描き出した。それによれば、「大きな政策変更をすることなくこれまで通りに展開される」シナリオでは、2000年をすぎると、汚染が著しく増加し、土地の生産力に重大な影響をおよぼしはじめる。次に、汚染防止技術、土地収獲率向上、土地の浸食予防など「環境保全技術を取り入れた」シナリオによるシミュレーションを行ったところ、限界を延ばすことはできるが、物質的な生活水準は徐々に低下する。最後に、世界システムにおいて幾何級数的成長の推進力となっている人口と経済の正のフィードバックループを変え、「世界が人口・工業生産の安定化と、環境保全型の技術を1995年にとり入れた場合のシナリオ」によるシミュレーションを行い、均衡に近い状態が維持されるという結果を得たのである。

(3)ドネラ・H・メドウズ, デニス・L・メドウズ, ヨルゲン・ランダース, 限界を超えて, ダイヤモンド社, 1992, p275

著者らは貧困や失業などの問題が成長によっては解決されないか、解決されつつあるとしてもその進捗はきわめて緩慢かつ非効率的であるとのべている。しかし、成長を前提とした今日の世界経済システムのもとでは、先進国の多国籍企業による垂直統合的生産体系が形成され、その末端に途上国が位置づけられることによって新たな貧困や失業がつくられているといえよう。筆者は、したがって、成長は貧困や失業を解決しないどころか、むしろ新たに生み出していると考える。

(4)G・T・フランス, 地球植物誌計画, 紀伊国屋書店, 1997, p129

フランスは、しかし、先住民の生活様式などの記録を集めることについては、彼らの尊厳と高潔さを損なわないように努め、これまでのように彼らをただ単に森について学ぶのに便利な手段として利用したり、彼らの領域を侵犯してはならないと、先進国の研究者たちに警告している。そして、新しい医薬品を商品化するにあたって、先住民のアイデアが採用されながら、彼らにはその恩恵が与えられてこなかったことを指摘し、先住民の知的所有権保護の必要性を訴えている。このことは今日のように自由貿易体制がグローバル化され、多国籍企業が自由に資本蓄積をはかる過程において途上国の貧困が引き起こされている以上、その自由を規制する根拠となりうるだろう。

(5)G・T・フランス, 地球植物誌計画, 紀伊国屋書店, 1997, p158

フランスは最近の民族植物学的研究から、たとえばポリビアの先住民チャコボ族が1ヘクタールの樹木総数649本中619本を食用、建材用、医薬用、燃料用、繊維原料用などさまざまな

用途に活用していることをとりあげ、これほど熱帯林に依存して生活している人々が森林を皆伐することなど考えるはずがない、とのべている。また先住民の焼き畑法は長期間継続できる耕作システムであることが最近の研究によって明らかになったことにも触れ、先住民の熱帯林利用法を知るとともに、最近の生態学的な知見もとり入れれば、熱帯林の持続的活用は可能であるというのである。

(6) ジャック・ウェストビー, 森と人間の歴史, 築地書館  
1991, p198

ウェストビーは、先進国の多国籍企業が熱帯林資源の略奪にかかわっていることを認めながらも、熱帯林保有国では、国が森林の伐採権を独占し、それを有力者や企業に不当に安いロイヤリティと引き替えに譲渡しているという現状を重視して、森林破壊の主因を富と土地の配分が極度に歪められている途上国内の社会関係に求めている。したがって、ウェストビーは「熱帯林破壊の責任は熱帯林を土地銀行として扱う政府にあり、資源のより平等な配分を求める土地なし農民の要求をかわす手段として移民・定住計画を行う政府にある」(p198)と主張するのである。ウェストビーと同様、熱帯林の破壊の主要な原因を市場のグローバル化にともなう国と企業の所有の強化に求めた研究は日本でも、田坂敏雄の『ユーカリ・ビジネス』(1992)や池田寛二の「環境社会学の所有論パースペクティブ」(1995)などがある。

(7) ジャック・ウェストビー, 森と人間の歴史, 築地書館  
1991, pp246-247

ウェストビーは「この定義の積極的な一面は誰が便益を得るかを重視していることにあるが、社会林業プロジェクトの多くはまさにその便益が別のところに流れ、意図した受益者に流れないという意味で、うまくいってない」とのべている。そして、その一例として、世界銀行の燃材の植林プロジェクトが燃材の価格を上昇させ、その結果、燃材を最も必要とする最貧層の人々から燃材を遠ざけていることをあげている。ウェストビーは、土地の改革によって土地の公正な配分を行い、貧困層自身の参加にもとづくプロジェクトを進めることが貧困層を救い、ひいては森林の破壊も防ぐ、と考えている。

(8) ジャック・ウェストビー, 森と人間の歴史, 築地書館  
1991, pp250-252

途上国におけるアグロフォレストリーの技術開発には先進国の援助が必要となる。しかし、援助なら何でもよいとはならない。その質が問題である。ウェストビーは、緑の革命が豊かな農民をより豊かにし、土地なし農民を増加させたことを指摘し、世銀のような資金提供機関が輸出志向の開発を優先し、「トリクルダウン」の思想に固執しているかぎり、途上国の農村貧困層の改善はありえないとして、これまでの援助のあり方に疑問を投げかけている。

(9) スーザン・ジョージ, 債務ブーメラン, 朝日新聞社, 1995,

pp5-43

ジョージは森林破壊と債務との関係を示すものとして、次の四つをあげている。

①大規模な熱帯林が残されている第三世界諸国は莫大な債務負担を抱えている。②1980年代に森林破壊が規模として最大であった、または最も速かった第三世界諸国は同時に概して最大級の債務国である。③あまり大きくない森林資源をもつ多くの小国のなかでも、森林破壊が最も速く進んだのは重債務国である。④最も高い率のDSR(輸出収益に対する元利返済の比率)をもつ国または最も厳しいIMFのコンディショナリティ(IMFの融資に際して条件づけられる経済安定化政策)を課せられた国はやはり最大で最も速い森林破壊の国である。

ジョージはまたIMFと世銀による輸出主導型開発モデルの中核にコンディショナリティがある、とのべている。それによれば、コンディショナリティとは「もっと収入を増やせ、もっと支出を減らせ」という表現に要約される政策であり、債務国は債務返済のためにコンディショナリティを課せられ、鉱物、熱帯作物、木材、肉や魚など天然資源の輸出を最優先して、外貨を稼ぐことを余儀なくされた結果、資源が枯渇するだけでなく、莫大な資金が南から北へと流失している、という。

ジョージはこうした事態を踏まえて、真の開発はあらゆる次元の意思決定への民衆の参加、社会的公正、地球環境に対する配慮などの三つの原則にもとづいて、民衆の真のニーズを考慮するモデルでなければならないと主張するのである。

(10) スーザン・ジョージ, 債務ブーメラン, 朝日新聞社, 1995, p70

地球環境問題は「公害と違って加害と被害の構造が明らかではなく、人類全体の責任である」との意見がある。しかし、これはジョージがいうように、間違いである。地球温暖化を例にとりて考えてみると、その原因である熱帯林の破壊も温室効果ガスの放出も先進国が主としてかかわっている以上、その責任の大半は先進国にある。とはいえ、先進国のすべての人に同じ責任があるわけではない。先進国の一人ひとりのライフスタイルはその責任を部分的に負うとしても、先進国政府の行動、おおかたこれらが支配しているIMFや世銀など国際機関の行動こそが破壊の背後にある諸力を動かしているからである。

(11) レスター・R・ブラウン(編), 地球白書1996-97, ダイヤモンド社, 1996, pp107-121

(12) レスター・R・ブラウン(編), 地球白書1996-97, ダイヤモンド社, 1996, pp107-121

(13) 戴晴(編), 三峡ダム, 築地書館, 1996

三峡ダムの建設にともなう立ち退き住民の数は中国政府の見積りでは113万1800人にのぼるとされるが、この数字はダムの水位を175メートルとしたときのものであって、最大水位の185メートルを前提とすれば、140~160万人に達するとの見方もある。また水没の対象となるとされる歴史的・文化的遺跡は108か所におよび、このうちのいくつかは紀元前1万年以上

にさかのぼる貴重な遺跡であるといわれる。さらにダム建設によってカラチョウザメや長江カワイルカなどの希少種の生存も脅かされるという。

三峡ダムは計画通りに完成すれば、貯水容量、発電能力とも世界最大である。しかし、その建設をめぐる上記の住民の移住や環境にかかわる問題のほかにも、堆砂問題、地滑り・土砂崩れによる土砂の河川への流入、長江の中・下流の支流における洪水の発生、電力問題、船舶航行問題、資金問題など、未解決の問題が数多く残されていることが多くの専門家から指摘されている。それにもかかわらず、日本など先進国の企業は総事業費最大1兆元ともいわれる三峡プロジェクトを大きなビジネス・チャンスとみて、参入をはかろうとしており、こうした多国籍企業の活動の規制が早急に求められる。

(14) 松本悟, メコン河開発, 築地書館, 1997

松本によれば、メコン河は長い間、インドシナ戦争やカンボジアの内戦などのため、国際援助による大型開発を免れてきたが、近年、冷戦の終結、カンボジア和平、中国・タイ・ベトナムの経済成長などによって経済開発の市場として注目を集め、過去3年の間にメコン河の水資源を利用するプログラムが急速にもちあがっている、という。ナム・グム・ダムは全部で150を数えるメコン河水力発電ダム計画の一つである。

松本はナム・グム・ダムなどメコン河のダム建設にともなう問題を具体的に検討し、次のような問題提起をしている。メコン河の開発計画にはメコン河委員会やアジア開発銀行(日本は毎年アジア開発銀行に1000億円以上の資金を国民の税金から投じている)が重要な役割をはたしており、これらの組織のトップはいずれも日本人であることから、日本はメコン河開発に深くかかわっている。したがって、開発計画について、建設の根拠となるべき費用便益分析や環境アセスメントがずさんであり、持続可能な発展を達成するための不可欠の条件である計画段階での情報の公開と住民の主体的参加も保証されていないといった世界各国のNGOの批判に対して、日本政府は重大な責任があるといわざるを得ない。

こうした途上国における環境と開発に関する問題は松本も指摘するように、日本における公共事業が行政側の開発計画の実現を前提としており、情報公開や住民参加が社会的な合意形成のための手段として位置づけられていないことに起因しており、それゆえ、日本の公共事業のプロセスの民主化が地球的規模での持続可能な社会の形成においても必要なのである。

(15) 嶋津暉之, 水問題原論, 北斗出版, 1991, p19, pp137-139

嶋津は水行政の分析からおよそ次のような結論を導き、工業用水道の余剰水の転用などによって水を有効利用し、家庭や工場での節水対策などを行えば、新たに水源開発をしなくても将来の水需要を充足できる、というのである。

①国の長期水需給計画および全国総合水資源計画はいずれも過大な水需要予測にもとづいている。②水源開発の背景ともい

える首都圏の渇水騒動は利根川水系ダムの過大放流によって増幅されたものである。③水源開発推進の前提の一つである暫定水利権は建設省の恣意的な判断によって定められる。

(16) 大熊孝, 洪水と治水の河川史, 平凡社, 1988, pp180-200

大熊によると、日本のダムの多くは洪水の全量を貯留できないが、近年、大規模ダムがつくられ、ダム地点より上流の洪水をほぼ全量貯留できるダムが登場しつつある。しかし、それでも下流平野部で洪水が発生しないというわけではない、という。その理由として、現実の降雨は同じ流域でも相当ばらつきがあり、ダム上流域に降雨が少ないこともあること、河道の状態、支川の合流の仕方、地形条件などによって上流ダム地点より下流部のほうに時間的に早く洪水ピークが現われることもあることなどをあげている。大熊はまたダムによる洪水対策の限界について、「洪水をあふれさせない方式」をとり続けるとすれば、堤防を一層高く、より強固にする以外に途はない。だがそのためには莫大な費用を要するばかりでなく、どこまで高くすれば「絶対安全」なのかについては、理論的根拠すら存在しないのである」(p13) とのべている。

大熊はこうした近代科学技術自体の問題のみならず、それが社会に与える影響として、ダム建設による水没地域の問題をとりあげ、「水没者および周辺地域住民の犠牲は下流地域の受益の大きさや受益者の受益に対する無意識からみて、必ずしもむくわれているとはいいたくない」(p27) として、ダム建設によって地域間の公正が損なわれることについても言及している。

(17) 大熊孝, 洪水と治水の河川史, 平凡社, 1988, pp247-257

大熊は近代的治水対策の功罪を次のように総括している。明治以降の近代治水は「あらゆる地域に対して強力に計画を推し進められる中央集権政府の樹立と大規模に自然を変容させることのできる近代科学技術手段の導入によって、常習的水害を克服し、水防における直接的地域間対立を吸収・解消してきた」(p18) ことは評価されなければならないが、「水防における長所、住民間の連帯意識を失わせる結果」(p18) を招いたことも忘れてはならない。そして、「近代科学の多くが矛盾が発生すると技術そのものの能力・規模を拡大することによって対処してきたが、いまやそれだけでは解決しえない段階にきた」(p30) として、「洪水を防ぐ」という近代治水思想から「水害を軽減する」という古くもあり、また新しくもある治水思想への転換を提唱している。



## 4年間の副専門教育と今後の課題

松名 隆\*

### Four Years' Minor Education and Its Problems Ahead

Takashi MATSUNA

(論文受理日 平成9年8月20日)

#### Abstract

For the past four years we have been engaged in the minor education, which was newly introduced in 1993 along the line of the Monbusho's broadening of the National Standards for the Establishment of Universities. After having looked back to these four years and examined the new education system, this paper shows the scheme and features of the revised minor curriculum, which has just started in the 1997 academic year, and suggests several problems ahead.

Key words: Deregulation in higher education, Minor education, Freedom of choice

#### 0. はじめに

平成5年度より、それまでの一般教育課程から副専門教育課程へと大幅なカリキュラムの改訂がなされてからまる4年経過し、今年度で5年目となる。移行当初は、教官各々に少なからぬ不安と戸惑いがあったであろうと推察されるが、筆者も含めて、現在ようやくこの新しい体制に馴染んできたところではないかと思われる。

このような状況のなかで、本学では平成9年度から副専門教育課程の最初の大きな改訂へと踏み切った。カリキュラムが4年目まで一巡したところでの改訂であるが、平成8年度1年間をかけて議論を積み重ねてきた上でのものである。

そこで本稿においては、これまでの議論を踏まえた上で、平成5年度～平成8年度までのカリキュラム(以下これを「旧カリ」と略記)について、それ以前の大綱化される前の大学設置基準(以下「旧設置基準」と略記)の下でのカリキュラムから、大綱化された設置基準(以下「新設置基準」と略記)にもとづくカリキュラムへの発展の意義を含めつつ、現時点での総括的検証をおこない、その後に平成9年度からの新しいカリキュラム(以下「新カリ」と略記)への新たな展開の意義と今後の展望についての卑見を述べさせていただきたい。

#### 1. 一般教育課程から副専門教育課程への改組再編の中間的総括

##### 1.1 全体的総括

\* 共通講座・言語科学講座

### 1.1.1 大学設置基準大綱化(大学教育における「規制緩和」と本学の改組再編

旧設置基準における人文・社会・自然および外国語・保健体育にわたる一般教育課程に関する細かな規定が弾力化され、新設置基準においては、各大学が独自の教育理念にもとづいて、それまでよりも大幅に自由なカリキュラムを編成することが可能となった。このことはとりもなおさず、大学における一般教育・一般教養について、それをどのように大学教育全体のなかに位置づけるのかという問題を、大学関係者各々にあらためて突きつけるものであった。

旧設置基準の下での大学教育が戦後の長きにわたっておこなわれてきた間に、一般教育の形骸化という批判に大学は直面した。それまで教育の枠組みに関しては半ば思考停止状態であった大学人が、自分の担当の科目のみならず、この教育の大枠についても各々が考えなければならない事態となったのである。

このような状況のなかで、本学においても一般教育課程の改革へ向けての議論が重ねられ、筆者も一般教育専門委員会の委員の一人としてそこに参加してきたのであるが、当初は旧設置基準を大前提として、その大枠のなかでどのように本学の一般教育を見直してゆくのが主たる課題であったが、後半は新設置基準の適用を前提としての議論へと大きな枠組みの転換が図られていった。

もとより新設置基準においても、旧設置基準の下におけるのと同様のカリキュラムを編成することも可能であったが、本学においては設置基準の大綱化を積極的にとらえて、旧設置基準の下では不可能であったカリキュラムの大幅な改訂へと踏み出したのである。これは正に大学教育における「規制緩和」の賜物であるが、それはまた、自らが編成したカリキュラムを生かすも殺すもその大学自身の責任においてなされるべきであるという、教育における「大学自治」の権利と同時にその重大な責務を本学もあらたに担うこととなったということである。

新設置基準にたいするこのような本学の対応は、かなり思いきったものであり、またこのあらたな設置基準の性格上不断の自己変革を迫るものであるという点で、本学における教育への取り組みを活性化させ、それが平成9年度からの新カリ導入へとつながったのである。

### 1.1.2 積み上げ教育から並行教育への転換の意味 -- 二重の「規制緩和」 --

旧設置基準においては、一般教育が専門教育の基礎・準備段階として位置づけられ、一般教育→専門教育という流れのなかで、「積み上げ」的大学教育が長いあいだ行われてきた。そのなかで一般教育は、専門教育への橋渡しという役割を担ってきたわけであるが、それがしだいに、個別・特殊的な専門教育との有機的な連関が見失われ、建て前上はさておいて、一般教育が専門教育へのたんなる「通過点」という意識を教官（とくに「専門」の）・学生双方が抱くにいたったというのが、近年の実態であったと思われる。

このような閉塞状況を打破するためには、これまでとは異なった大きな発想の転換が必要であった。この転換を可能としたのが、前項で述べた大学設置基準の大綱化であるが、このカリキュラム編成の弾力化の方針に沿って本学で検討の結果生まれたのが、一般教育から専門教育へという「積み上げ」教育から、主専門と副専門を学部の4年間にわたって学生に同時に学ばせる「並行」教育への大転換であった。それは、教官・学生双方に大きな意味をもつものであった。

この新たな枠組みにおいて、従来の一般教育は副専門教育という形で主専門教育と同等の地位を付与されたわけであるが、これは同時にたんなる名称の変更ではなく、主専門教育との連携のありかたを改めて当事者に問いかけるものであった。すなわち、形式的に主専門と同時並行的に教育がなされるばかりではなく、副「専門」として、内容的にも「並行」的に学生に学ばせるだけの意味づけと枠組みをあらたに作り出さねばならなくなり、これが「コース制」導入へとつながっていったわけである。

これは、旧設置基準の下でその意義が見失われようとしていた一般教育のあらたな方向づけの試みであるが、たとえ「副」とはいえ、「専門」教育としての意義と責任を、担当者はこれからも問いつづけなければならないであろう。

一方学生は、自らの問題意識にもとづいて様々な科目・コースを主体的に選択し、ある特定の分野に関する知識・技能を深めることも可能となり、選択の自由度の拡大が、彼らの自覚的な大学教育への取り組みを促すきっかけとなりうるものであった。すなわち、入学時にすでに選択していた主専門にたいして、副専門を自らどのように位置づけ、両者を関連づけていくのかという課題を、学生の側も担うこととなったのである。これは、前項で述べた「規制緩和」の波を、学生にも及ぼすものであった。

### 1.1.3 各コースへの学生の分属方法・時期の問題

であろう。

こうして現在の学生の問題意識・関心にできるだけ対応することを視野に入れつつ、現行のスタッフだけでもほぼ可能な副専門教育課程を編成するなかで、5つのコースを設け、学生にそのいずれか1つを選択させる体制がスタートした。これら5コースは、副「専門」コースとしてそれぞれ独自の性格を付与されており、そこから当然、学生の選択の偏りはある程度予測できたことである。

そして実際の選択の結果としては予想以上の偏りで、これにどう対処するかが初年度からの問題であった。ここで先ず最初に、学生の主体的な「選択の自由」と少人数ゼミを含むコース教育をどう調整していくのかという課題に直面する。実際あまりにも多くの学生を自コースに受け入れた場合、最初のプレゼミがゼミの体をなさなくなる可能性がある。

そこで分属希望学生数が限度を越えていると判断したコースでは、当該コースでの勉学への意欲を確認するための志望理由書を書かせるなどの方法で、他コースへの変更を促してきたのであるが、学生の選択意欲をどのように分属に際して取り込んでいくのかという問題とともに、分属時期が新カリを議論するなかでも問題となった。

次章でも触れることになるが、本学で副専門教育が始まってから4年間、学生のコース選択は後期（10月開始）からのプレゼミに間に合うように、入学後間もない6月から行われてきた。そのため、1年生全体にたいする各コースの説明は一度行われるものの、入学前に選択してきた主専門にたいして、どの副専門コースが自分にとって本当に意味をもつのかを考える時間も材料も与えられないままに、学生はコース選択を迫られてきた。そうなるも彼らは、高校までの学習経験を大きな拠りどころとしてコースを選ぶのも無理からぬことで、大学での副専門の意義を実際の講義・授業等である程度理解したうえで選ばせるためには、分属時期を遅らせるのもひとつの方法ということになった。

しかし、ここで筆者を含めて我々副専門担当者が反省しなければならないと思うことは、主専門にたいする副専門、さらには自コースの意義を各自がどれだけ学生に説明してきたかという点であるが、これも本学での教官組織の改革、大学院修士課程への参画等とカリキュラムの大改訂が重なって、自分の分担をこなすので精一杯であったことも否定できないとはいえ、今後各コース全体で考えていかねばならないことであろう。特に、選択学生数が少ないコースにおいてはそう

#### 1.1.4 少人数教育としてのプレゼミの理念と現実 -- 「選択の自由」との矛盾 --

さて、主専門教育課程と「並立」するものとして発足した副専門教育課程であったが、そのなかで、それまでの一般教育ではシステム上ほぼ不可能であった、そしてその副「専門」性を明瞭に押し出そうとした試みのひとつが、「少人数」教育としてのプレゼミナールであった。各コースに分属した学生の、そのコースへの円滑な導入と、コース担当教官とのより親密なコミュニケーションをはかるとというのが、その当初の理念であった。

しかしこのあらたな試みは、前項で取り上げた学生の各コースへの分属方法の問題と同様に、これと学生の「選択の自由」との調整をどのようににはかっているのかという困難な課題とただちに直面することになる。すなわち、コースのなかでどのプレゼミに属するかを完全に学生の選択に任せた場合、各ゼミの希望者数の間に著しい差が生じて、多人数のゼミでは上記の理念の実現が困難となるケースもでてきたのである。また逆に所属プレゼミを前もってこちらから指定した場合には、学生の勉学意欲を低下させる可能性もある。

この問題に対しては、各コースの特殊性からそれぞれ独自の対応をこれまでしてきたのであるが、すべてのコースでそれがうまくいっているわけではないのが現状である。ここで筆者が指摘しておきたいことは、本来コースのプレゼミとは如何にあるべきかということである。すなわち既に記したように、それは「コースへの円滑な導入」を図るものであって、けっして教官個人の専門への導入を直接はかべきものではないということである。プレゼミが個人ゼミの色彩を強くもつほどに、学生の選択が多様化するのとは自然なことであり、上記の矛盾は避けられないものとなる。これは今回の新カリ導入に際しても依然として積み残された課題であり、プレゼミのあり方そのものを含めてさらに議論を深めていくことが今後必要であろう。

#### 1.1.5 共通科目とコース別科目のバランスの問題

旧カリの副専門教育課程は、外国語・体育を含む共通科目と副「専門」性をより具体化したコース別科目から構成されていた。共通科目は、上記2分野を除いては旧設置基準時代の大人数を前提とした講義科目が主体で、一方コース別科目には、前項のプレゼミ（必

修)ばかりではなく、選択のゼミをも取り入れて、少人数教育を念頭においた科目群も含まれている。

このように、科目構成においては旧設置基準下ではほとんど実現不可能な画期的な側面をもったものであったが、共通科目の必要取得単位が26単位(外国語・体育を除けば16単位)であるのにたいして、コース別科目のそれは必修のプレゼミを含めて10単位であった。これは、副専門の「専門」性を主として担っている部分が、相対的にはそれほど強調されず、それよりも、共通科目における学生の「選択の自由」を重視する構成ということである。

ここで問題は、副「専門」性の確立と学生の自由な選択意志との調整をどのレベルではかっていくかということであろう。先にも触れたように、学生の自由選択をある程度保証することは、彼らの自立的学習を促す必要条件のひとつであろう。しかしもう一方で、副専門の「専門」性を確保するためには、学生に好きなように科目を選ばせるわけにもいかないのである。旧カリではこの両者のバランスを全コース一律に規定していたが、次章で述べるように、新カリにおいては各コースの独自性がそこに色濃く反映されたものとなった。

## 1.2 言語科学コースの総括

### 1.2.1 共通必修科目の外国語について

新設置基準では、外国語についても各大学の裁量に大幅に委ねられることとなった。本学では英語A・B・C 3科目6単位、ドイツ語I・中国語I・ロシア語I いずれか1科目2単位を必修とした。

英語3科目については、

- 1) AがListening、BがReading、CがWritingとそれぞれ授業分野を特定。
- 2) B以外はテキストを数種類に限定し、そのなかから授業担当者が選定する。
- 3) A、Bについては週2回の授業を行う。

などの特徴をもたせた。1)、2)については、それまで各授業担当者の独自の判断に委ねられていたテキスト選定、具体的授業内容の設定などの作業をある程度共同化することで、同一名科目の教育目標・内容を、担当者の独自の創意・工夫の余地を奪わない範囲で統一化しようとしたものである。また3)は、アメリカなどでも行われているように、集中的な学習の効果をねらったものである。

こうした教育目標・内容のある程度の統一化の試み

は、平成5年度から始まったシラバスの作成と相まって、大学での英語教育はいかにあるべきかということについて、担当者達にあらためて考えさせるきっかけを与え、同じ科目名の授業を担当していながら、その中味に関しての議論は、大学人としての担当者個人の考え方を尊重するという建て前のもとに、それまで長年にわたって半ばタブー視されていた雰囲気を取り壊るものであった。

しかしながらこれらの新たな試みは、それまで長年の自分独自のやり方に慣れてきた筆者を含めた担当者達にとっては大きな改革であり、4年が経過して、ようやくこの枠組みに頭と体が適応してきた段階であろうと思われるが、本学での英語教育に関する議論は、時代の要請にいかに対応するかを考えながら、シラバスの一層の充実も含めて、今後さらに深めていく必要がある。

また平成5年度からの副専門カリキュラムの開始にあわせて、それまでのドイツ語に中国語・ロシア語が加わった。これは近年の国際情勢の変化に対応したものであるが、1年次のドイツ語Iを取得して卒業要件の2単位を満たしているにもかかわらず、さらに2年次以降に中国語ないしロシア語の単位の取得を希望する学生が多数みられることから、彼らの興味・学習意欲に応えた新たな外国語授業の導入であったと言える。

### 1.2.2 コース別科目について

1.1.5で触れたように、旧カリにおけるコース別科目の卒業要件単位は、各コースとも10単位であった。そのなかでプレゼミ(2単位)のみが必修であるが、言語科学コースでは、このプレゼミに他のコースとは異なる独自性をもたせて、ネイティブ・スピーカーによる英語の授業を設定した。これは、このコースの教育目標のひとつである「外国語を運用して国際人としての役割を果たすことのできる能力を持った人材を養成する」という観点から、先ず最初にコースの学生にはネイティブの生の英語に触れさせ、彼らとの初歩的なコミュニケーションを体験させることを念頭においたものであった。

この試みはそれなりに意味があったと思われるが、一方で、プレゼミの理念のひとつである、各コース担当者とのよりきめ細かなコミュニケーションを図るという目標は実現しえないままであった。この点については、他のコースの多くのプレゼミと異なり、学生との個人的な対話が当コースでは不足しがちであったこ

とは否めないであろう。そこで次章で述べるように、新カリでは、この当初の理念にできるだけ沿うかたちでの内容の変更を図ることとした。

次に旧設置基準時代にはなかった言語科学コースでの新たな試みとして、一部の同一科目について、それを複数のものが担当し、同時開講して、受講クラスは学生に自由に選ばせることとした。その結果として、上述の・学生のコース選択、プレゼミ選択の場合と同様に、クラス間に受講学生数の差が大きく現れた。ここでもまた学生の「選択の自由」との調整という問題にぶつかったのである。これについては、クラス間の人数に大きく差がでた場合の多人数クラスでの授業効果の低下を懸念する意見と、あくまでも学生の選択意志は尊重すべきであるという意見とで、担当者間の議論が分かれるところであった。

また言語科学コースの特殊性として、学生にも発表させる「演習」科目の単位を、従来の外国語の単位と同様に15週で1単位とした。しかし、他のコースでは15週で2単位ということで、当コースの学生にとっては、上述のコース別科目の卒業要件単位10単位を取得するのにより多くの時間を要することとなり、相当の負担感を与えたようで、新カリではこの点の是正も図ることとした。

## 2. 副専門教育課程の将来への展望と課題

### 2.1 全体的展望と課題

#### 2.1.1 新カリキュラムへの発展の意義

このように本学では、旧設置基準における一般教育をコース別の副専門教育という形で再編成したわけであるが、上述のように、この4年間で様々な問題に直面し、今回の新カリでは、それらを踏まえた大小いくつかの改訂が試みられた。

先ず大枠の変更としては、1.1.5でも指摘したように、各コースの独自性を前面に押し出すカリキュラム編成としたことである。すなわち、旧カリにおける共通科目は外国語等一部をのぞいて、ほとんどがコース別科目として位置づけし直され、コースの副「専門」性がより強調される形となった。これは、副専門教育の理念により忠実な形態へと発展したものと捉えることができよう。

その上さらに、旧カリではコース別科目の卒業要件単位が10単位に統一されていたものを、新カリではこれを自らのコースの理念・特殊性に応じて、各コー

スが独自に定めることとなり、その結果この要件単位は、コース間で14～20単位の幅を生じることとなった。

こうしてコースの独自性がより強調される形となったが、一方では、他コースの特定の科目を自コースの科目としても認定する仕組みを新たに導入したことによって、この独自性の幅が拡大された。これは一見コースの独自性の希薄化のようであるが、そうではなく、他コースの科目を取り込むことによるコースの新たな個性化と考えるべきであろう。

#### 2.1.2 コース分属時期の変更について

1.1.3で述べたように、旧カリでのこの4年間、各コースに分属した学生数には相当のバラツキがあった。その理由については、そこで指摘したことなど様々考えられるであろうが、なによりも問題なのは、分属希望コースを入学後間もない頃に決定しなければならなかったために、各コースの特徴を吟味する機会も材料も十分ないままに選択がなされる可能性があることであった。

そこで分属時期を半年遅らせて2年目の4月からとし、入学後の1年間は、各コース別の科目の中で、将来そのコースに所属しなくても副専門教育課程全体の卒業要件単位（36単位）には含まれる科目を、学生に自由に選択させ、それを踏まえて所属希望コースを決定させるという仕組みを今回取り入れたのであるが、分属時期を2年目からとしたことには、コース別教育の早期からの導入による効果という観点から、異論がないわけではなかった。

しかし学生の「選択の自由」は、その選択のための諸条件ができるだけ整った上でのものでなければ、真の「自由」とは言えないであろう。そして、その上でなおコース間の人数にバラツキが生じたとしても、それはある程度是認せざるを得ないと思われる。その意味でも、新カリの下での各コース所属希望者数の変化（あるいは無変化）とその内容に注目したいところである。

#### 2.1.3 残された諸課題

1.1.1で既に言及したように、大学設置基準の大綱化は各大学の不断の自己変革を迫り、かつそれを可能とするものであって、今回の新カリ導入はまさにそれを実践したものであったが、いくつかの検討すべき課題が残された。

先ず 1.1.4 で取り上げたプレゼミの問題であるが、新カリの検討の中で、これを従来通り必修にすべきか否か、またこれを廃止すべきか否かで大議論となった。これはその項でも指摘したように、プレゼミの理念と内容に関わるものであり、そのコース間での違いが意見の相違となって現れた。「コースへの円滑な導入」を図る目的であるならば、プレゼミを必修にする必要もあるが、「教官個人の専門への導入」が目的となると、あえてゼミを必修にする必然性もなく、ゼミを取るか否かは学生の選択に任せる方が自然であろう。さらにまた、教官個人の専門のゼミであるなら、プレゼミでなくとも構わないのではないかという考え方もできよう。しかし今回の改訂では、その辺りの議論が煮詰め切れないうまま、従来通りの必修プレゼミで全コース統一されたことは今後大きな課題を残すこととなった。

次に、プレゼミとは別に、一年入学当初に全学の教官が参加するフレッシュマン・ゼミも話題に上ったが、これを実現するためには主・副両専門の一層の交流が必要となるであろう。

また前項との関連で、コース分属人数に依然として大きなバラツキが出た場合、これにどう対処していくかはこれからも工夫しつづけていかなければならない課題である。

そして最後に、本学の副専門教育の位置づけと役割に大きく関わる「卒業研究」の今後のあり方が、まさに現在進行中の議論となっているが、主専門教育との連携の仕方も含めて早急に対応を迫る課題となっている。

## 2.2 言語科学コースの展望と課題

### 2.2.1 コース教育の鮮明化

今回の新カリによってコースの副「専門」性がより強調されたことは既に述べたが、言語科学コースではその点がより一層鮮明な形をとることとなった。すなわち当コースでは、コース別科目の卒業要件単位を5コース中最も多い20単位以上とし、さらにその中で、原則としてコースの学生にのみ開講される科目の卒業要件単位を12単位以上と定めたが、後者の規定は当コース独自のものである。

このように、言語科学コースでは他コース以上に自コースでの学習の強化を図っているが、これは 1.2.2 で述べたように、今回の改訂で1単位科目を2単位科目に読み替えたこととも関係しており、卒業要件単位

としては、旧カリと実質的にそれほど大きな差ではないとも言えよう。

### 2.2.2 コース別科目の大幅な見直し

1.2.2 では、同一名科目を複数同時開講して学生に選択させた時に生じた問題に触れたが、新カリでは、各担当者が独自の名称で開講する科目数を大幅に増やし、逆にこの同一名科目の複数同時開講の一部を除いて取りやめることとした。これは、自分の開講する科目については担当者の工夫した独自の授業計画をシラバスで公開し、学生に自由に選択させるというもので、当コースのコース別科目の個別化・個性化を一気に押し進めたものである。ちなみに新たな科目として、「TOEFL 英語演習」、「インターネット英語演習」、「時事英語講読演習」、「ポップス英語演習」、「マルチメディア英語演習」、「英米小説講読演習」等多彩な企画が顔をそろえることとなった。

このように今回科目の個別化・個性化を図ったことで、各担当者の自立性が高められたことは、本学の英語教育が新たな段階を迎えたことを意味している。

### 2.2.3 新たなプレゼミ方式の導入

1.1.4 及び 1.2.2 において、本学のプレゼミ全般、さらに言語科学コースのプレゼミに関する問題を取り上げたが、当コースではそれらを踏まえて、新たなプレゼミ方式を導入することとした。具体的には、コースの外国人教官を除く英語担当者全員が、同じ英文法のテキストを使って、シラバスも統一し、ほぼ均等にクラス配分された学生とゼミを展開するというものである。

これはネイティブ・スピーカーとの初歩的なコミュニケーションの意義はそれなりに認めつつも、コース担当者と学生との対話の重要性も、プレゼミの理念のひとつとして無視できないことを確認するにいたったことが、変更の大きな理由である。

さらにまたこれは、「コースへの円滑な導入」を図るというプレゼミの当初の目的に沿ったうえで、なおかつこれまで繰り返し述べてきた、学生の「選択の自由」との調整もできるだけ図るひとつの方法として提起されたものである。つまり当コースのプレゼミは、担当者個人の専門のゼミではなく、上述の共通の目的の下にテキストも統一するという形をとることによって、学生のクラス選択の対象から除外し、それによって少人数のゼミを実現しようとするものである。

### 2.2.4 今後のコース教育の課題

このように、言語科学コースでは新カリにおいて新たな様々な試みを取り入れたが、それに伴う、またそれとは別のいくつかの課題についてここで触れておきたい。

先ず前々項のコース別科目の個別化・個性化について、学生の「選択の自由」を全面的に認めることによって生じる可能性が大である多人数クラスにいかに対応するかであるが、現在のところこれといった妙案はなく、当面は担当者の工夫に任せられることになろうが、限度を越えた場合は全体での検討を要するであろう。

次に前項の新たなプレゼミ方式であるが、テキスト・シラバスを統一した中で、各担当者が自分の個性をどう押し出していくか、統一の内容は今後どのような方向へ展開していくべきかが引続き議論されねばならないであろう。

こうして言語科学コースでは、国際的情報化時代に対応したカリキュラムを念頭におきつつ、旧カリを更に発展させる形で今回の改訂を行ったわけであるが、工学を主専門とする学生達にたいして、副専門としての当コースがどのように有効な役割を果たすべきかがこれからも問われなければならないし、そうすることが学生の「選択の自由」に真に応えることであろう。

### 3. おわりに

平成5年度からの4年間、大学設置基準の大綱化による本学の一般教育改革の試みは、このように活発な議論と更なる改革をもたらしてきた。まさに「規制緩和」による大学教育の活性化の賜物と言えよう。

一方で、この変化のスピードに危惧と戸惑いの念を抱く向きもあろうかと思われるが、大学において「研究」と並ぶ2本柱の片方の「教育」ことに「一般教育」が、旧設置基準の大枠の中であまり議論されてこなかったこともその一因であろう。

しかし、各大学における「教育」の独自性が問われる現在の状況においては、大学の絶えざる自己変革が求められることは否定できないことであって、本稿では、このような状況の中での本学独自の副専門教育の試みについて、筆者の見解を述べさせていただいた。

最後に、こうした具体的なカリキュラムに関する論稿を本学の紀要に掲載することを提案・許可された泉学長（前図書館長）をはじめとする図書委員諸氏なら

びに全学の方々に敬意を表し、また新・旧カリキュラムについて貴重な意見を多数寄せられた言語科学講座を含む共通講座の方々にお礼を申し上げます。

### 参考文献

- (1) 室蘭工業大学、改組再編の現状と課題、「大学改革」シリーズ(1)、平成5年4月。
- (2) 文部省、*Monbusho*、1993。



# 諸理念の自己展開 —副専門5年目のカリキュラム改革—

二宮 公太郎

## Self-Developments of 'Ideen' —A Reformation of an Educational System—

Kohtaroh NINOMIYA

(論文受理日 平成9年8月20日)

### Abstract

We would rather be human-beings having two eyes than become 'Cyclopes'. We adopted this thought four years ago as the primary 'Idee' of our educational system. This system is led by several sub-'Ideen' which consist of both ones 'Wissenschaften' themselves postulate and ones postulated properly within the education. In order to be genuine 'Ideen' must 'Begriffe' find themselves in the real world. Thus a reformation of an educational system is exactly a process of self-developments of the educational 'Ideen', in which they, some of them experiencing and endeavouring to resolve their contradictions to each other, aim at their perfect self-realizations.

カントに倣って「キュクロプス」を引き合いに出せば、我々は、単眼の巨人であるよりは、むしろ普通の背丈でよいから双眼を有っていたい。一つの眼は、ものごとをただ一つの側面からしか見ない。もう一つの眼も、することは確かに同じである。しかし、これら二つの見かたが関係し合って初めて、ものごとをその在るがままの姿において見ることができる。我々の「副専門」は、まさにこのような人間像を基本理念とする教育体系である。

諸学そのものの体系は、それらの対象領域・方法態度等に従って、ことらの本質が規定する。教育の体系は、諸学の体系を基礎とはするが、諸学そのものにとっては外的な諸要請が、これを基本的に規定する。このことに従って、この体系を指導し構成する様々な理念は、諸学の本質から要請される諸理念と、教育そのものの内部において固有に要請される諸理念とを、

共に含むことになる。

何れにせよ、「理念」が真に理念となるのは、それが現実の内へ生きて働いて初めてである。そうでない限りは、それは単なる〈概念〉に過ぎない。そして概念は、現実の内へ現われる際に、他の諸々の概念——ここでは「理念」として表現され、それらもまた、現実の内へ現われることを望んでいる——と共に、様々な関係の内へと置かれることになる。それらのうち幾つかが互いに矛盾するという局面の存在は、むしろことがらの本質であり、こここそが、単なる概念が理念となるための「ロドス島」である。

こうして、或る特定の教育体系(カリキュラム)の改革は、〈それを指導・構成している教育上の諸理念の、相互矛盾とその克服とを含みつつ己れの完成を目指す、自己展開・自己実現の過程〉に他ならない。

次頁以降、上段が本文、下段が註。

## (註1)

## 1 &lt;特殊&gt;と&lt;普遍&gt;

## 副専門の形式と内容

「専門」教育としての教育体系は、諸学の体系に関して、或る一つの特殊に特別の地位を与え、これに他の諸々の特殊を対置する。これら対置された諸特殊は、専門に対してその下(した)に置かれれば、まず「教養」として機能する。教養とは、専門のための基礎の「形成」でもある。他方、本学が採用した「副専門」において、これら諸特殊は、一定の普遍性ごとに互いに限界付けられ、新しい諸特殊として再編成された上で、その各々が、もう一つの特殊として、固有の専門に対してこれに並べて置かれることになる。

教育体系の<形式>に関する諸理念を規定するのは諸学の本性であり、他方、教育体系の<内容>に関する諸理念を規定するのは、教育そのものに内在する固有の諸要請である。

## 註1 1 今回の改革の基本構造

## 註1-1 ① コース制の鮮明化

旧カリキュラムのシステムは、学問の上で専門性において評価すべきものを、いまだ評価していなかった。専門性の形式的整備が、実は未完成だったのである。

「共通科目B」に並列されていた諸科目は、科目の性格や担当教官の専攻領域等に従って、5コース各々の系統ないし「専門」に潜在的には属しながら、「共通科目」として性格付けられていたために、その専門性の面からは評価されていなかった。このことによつて、卒業要件としては、コース別科目から10単位に対して、共通科目Bから16単位という、形式上総合性に偏した——専門性の比重の低い——構成を採ることになっていた。この構成に従った副専門の制度は、形式の上では「専門」の名に値しないシステムである。選択可能な科目による単位の少なくとも半数をコース別科目から取得するという形式が、是非とも整備される必要が在ったのである。

共通科目Bを5コースに分割するという改革の構想は、ここから生ずる。しかし、コース制は鮮明にされる必要は在るが、それは専門性の「強化」を意味する訳では決してない。この「分割」は、共通科目Bの共通科目としての実質的な役割を変えず、それを保存しながら、為されなければならない。このことは、これらの科目を何れのコースの学生にも時間割上保証する

## ① &lt;特殊&gt;の&lt;特殊&gt;としての評価 (註1-1)

「副専門」は、その理念において対立する「教養」を、実質的に含んでいる。ここでは、実質に対して形式が区別されなければならない。

諸特殊を具体化する個別諸科目は、諸特殊が諸特殊として際立たせられた体系の内では、形式に関して、<抽象的普遍>ないし単なる一般性においてのみ評価されるのは不当であり、諸学の個性が尊重された上で、在るがままの特殊性において正当に評価されなければならない。

このことはしかし、「副専門」という形式の純粹化にのみ関わることであり、それが含む「教養」の実質は、そのまま保存される必要がある。

## ② 諸&lt;特殊&gt;間の相互連関性 (註1-2)

諸<コース>としての諸特殊は、相互に孤立してい

という原則を維持することによつて、可能となる。

「分割」は、各コースから要求される卒業要件単位に関して、各科目の専門性を評価する、ということに留まる。コース制の鮮明化は、副専門制度の基本的な枠組みの整備であり、あくまでも形式の問題である。

## 註1-2 ② コースの学際化

コース別科目C類(指定科目)の創設は、もう一つの学問内在的な——学問の本質に従った——改革である。何れの領域の学問も、学問そのものの本質として、他の諸々の領域の学問との間で、つねに連関を有している。教育体系をして学問のこの性格を反映せしめることは、一つの重要な要請である。

副専門は、二つの「理科系」コースと三つの「文科系」コースとを含んでいる。各々のジャンル内での諸コース間の相互関係については、特に更めて言及する必要はない。重要なことは、これら二つのジャンルにまたがる相互関係——理科系諸科学と文科系諸科学との協働——である。

環境科学は、総合科学としてこそ成立し得る。環境破壊を惹き起こす要因は、社会の構造——なかんづく経済のそれ——の内に在る。生命環境科学コースは、基本的には、化学・生物学・地学から成っている。これに社会科学の観点を導入することの必要は、当然のことである。

言語学・認知科学・心理学・哲学・論理学といった、人間の思惟形式に関わる文科系の学問諸領域は、その

るべきではない。諸学がその本質において相互に関連しているものである以上、教育へのこの性格の反映は、諸学そのものの本性が要請することがらである。

### ③〈抽象的普遍〉と〈具体的普遍〉(註1-3)

「副専門」は、形式に関する限り、こうして整備される。その上で内容に関して、〈普遍〉が指導する「教養」の理念を、〈特殊〉に定位する副専門における「専門」性の理念に対して、どの程度に対置するかは、教育体系上の一つの「量」的な選択の問題である。

「教養」も「副専門」も、各々に固有の〈普遍〉を携えている。これらをヘーゲル流に、各々〈抽象的普遍〉と〈具体的普遍〉と呼んでもよいかも知れない。

「教養」が目指す「基礎」は、それだけで、或る抽

象的な意味における〈普遍〉を含意する。そして「教養」は同時に、本来在るべき人間の理想像を表現するものでもある。

「副専門」は、専門一般の本性に従って、〈特殊〉に定位する。「〈哲学〉を教えることはできない。教えることのできるのは〈哲学する〉ことだけである。」というのは、カントの言葉である。特殊は、知識に関する限り、抽象的普遍に対置されるだけの単なる特殊である。特殊が、教育体系の内でも機能する際に普遍的な意味を有つのは、他の諸々の特殊に通底する学の方法態度に関してである。この意味での〈具体的普遍〉は、如何なる特殊の内にも生きて働いている。

主専門も、当然にこの意味での〈普遍〉を有する。しかし、主専門と副専門とが各々に含む二様の〈普遍〉

限りで、数学ないし数理学と親縁性を有っている。両者の間に協働の基礎は在る。しかし、今回の改革では、それが十分に実現されたとは言えない。今後の課題とすべきであろう。

### 註1-3 ③ 総合的履修の保証と専門性要請との間

共通科目Bの5コースへの分割と各コースからの関連他コース科目の指定とは、学問の本質からする学問に内在的な要請に従っていた。それらは、あくまでもコース制の形式に関わる整備である。これに対して、旧制度における一般教育ないし総合教育の理念と現行制度における副専門教育の理念との関係の問題は、学問の本質よりは、現実的な教育制度の問題であり、コース制の形式よりは、教育の実質的な内容の問題、その内容を決定する理念の現実的な選択の問題、である。

旧制度の一般教育と新制度の副専門教育とは、各々それなりの理念を有っている。

副専門制度の導入によっても、従来の一般教育が有っていた総合教育の理念は、決して失われた訳ではない。専門とは別に学問上の広い視野を得るということは、「教養」としての意味を有つと同時に、それによって学問全体の内に専門を位置付けるという重要な役割を有っている。

副専門教育の理念は、本来の専門とは別のもう一つの「眼」を有つということに在る。〈広い視野〉ということではなく、一定の領域における〈深い洞察〉が、その指導理念となる。二つの「眼」を有つという副専門教育の理念はよいとしても、これら「両眼」は、右目と左目のように互いに対等の役割を有するという関係に在ることはできない。小さい方の「眼」が大きい

い方の「眼」に対して有するはずの存在理由は、実はそう単純に規定されるようなものではない。「副」ではあっても「専門」が目指す「深い洞察」が、何らかの〈普遍的〉な意味を有つのでなければ、小さい方の「眼」の独自の価値は、殆ど無いことになるだろう。

諸々の領域における学問は、実は深いところで通底しているものである。一つの領域の学問に或る程度熟達することが、実は他の領域の学問の理解を容易にするということは、いつでも経験し得る真理である。副専門が「深い洞察」を追求することの意味は、実はここに在る。何かを「学ぶ」ということの意味は、一定の領域の学問に或る程度熟達しなければ「学ぶ」ことはできない。固有の専門に関わってくる諸々の領域の学問は、生涯の内でもその都度〈学ん〉で行くことになる。その際の方法や態度を〈学ぶ〉こと——〈学ぶことを学ぶ〉ということ——、副専門における専門の〈普遍〉性とは、ここに在るはずである。

この意味での普遍性は、主専門の方でも当然に有っている。しかし、単科大学としての本学における副専門の特徴は、〈固有の専門に近接した、この専門に直接に役立つような、補充的な専門〉ではなく、〈固有の専門とは全く別の、それに直接に役立つのではないような、もう一つの専門〉ということに在る。このことに規定されて、両者の〈普遍〉性は、相互に異質なものとなる。そして、この異質性こそが、小さい方の「眼」に独自の価値を与えるのである。

他方、一般教育と副専門教育とは、主専門への関係に関する限り、全く異質だというものでは決してない。一般的なものを見るのも、実は一つの「眼」なのである。副専門制度に踏み出した現在でも、その内に盛る

は、これらはこれらで、諸学の体系全体の方から、今度は特殊と特殊との関係の内へと規定し返される。

#### ④〈特殊〉の肯定性 (註1-4)

特殊は、概念においては〈否定〉を携えているが、理念としては本性上〈肯定〉的である。副専門は、専

門一般の性格がそう在るべきであるように、教育体系の内でも〈ネガティブ〉にではなく〈ポジティブ〉に機能するものでなければならない。このことは、一般的注に属することがらである。

べき内容に関して、総合性を重視するか専門性を重視するかは、一つの選択の問題である。この両理念の対立は、コースごとの決定に従って、諸コース間の多様性の内へと表現される、という構造が、今回の改革では採られている。それは、具体的には、コースごとに設定される要件単位に現われることになる。

#### 註1-4 ④ 全科目の要件単位化

平成5年の副専門制度導入の当時には、他コースのコース別科目については、履修および単位取得が、一切禁じられていた。これには、二つの要請が在るように考えられてきた。

一つは、少人数教育の「理念」の強調であり、コース別講義科目の履修者をも130名程度に抑えようとする考え方である。この「少人数教育の理念」は、学生の履修希望を排除するように機能することが、ままた在る。他コース科目の履修禁止は、まさにその一場面である。人数を制限して教育の実を図るのも、一つの価値選択である。しかし、少人数教育の理念が学生の履修希望の尊重というもう一つの要請と矛盾しないように、可能な限り学生の勉学意欲には応えるべきであろう。過大な人数に対しては、担当教官の許可を履修条件とすることによって、基本的に解決が付く。

もう一つは、専門性からの「要請」である。他コースからの履修・単位取得を許せば専門性が薄れる、という考え方である。私も含めて後になって気が付いたことだが、この考え方は全くの勘違いであった。議論の混乱は、共通科目Bの要件単位への充当をコース別科目の単位から認めるという制度を検討した際に、それを自コースのコース別科目の単位からに限る、とした時に始まっていた。卒業要件の10単位は、自コースから取ることが定まっている。それを超える他コース科目による単位は、共通科目Bと同性質のものなのだから、これへの単位充当を認めても「専門性が薄れる」ということは全く無かったのである。

平成7年度からは、卒業要件36単位に加えることはできないが、履修と単位取得そのものは、他コース科目について認められるようになった。しかし、これ

も実は妥協の産物でしかない。

問題は、副専門の「専門」という意味の根幹に関わることである。およそ単位を、或いは要件単位を、「他コースから取るな」という専門性は、ネガティブな意味での専門性でしかない。このようなシステムは、必要な単位を自コースで揃えた上で、更に他コースに開講されている高度の諸科目を履修したいと望んでいる学生の勉学意欲を、大きく削いでしまう。必要な単位を「自コースから取れ」というのが、すなわち、ポジティブな意味での専門性が、副専門の制度趣旨のはずである。これを満たした上でなら、開講されている何れの科目についても問題関心に従って履修・単位取得し得るとというのが、大学の当然の姿である。そして、時間割上で実質的に保証されているのではないとしても、開講されている何れの科目の単位もが原理上要件単位となり得るというシステムこそが、完全なシステムなのである。

新カリキュラムにおける他コースのB類科目は、旧カリキュラムのコース別科目と同様、時間割上で自コースの科目と重なることが多い。しかし、低年次開講で時間割上孤立した(重なっていない)B類科目は、履修が殺到して実質的に共通科目化する恐れも在る。このことは、全ての開講科目の単位が要件単位となり得るとしたことの、言わば副作用である。この事態の問題は、改革の議論の過程でもあまり充分には意識されていない。そこでこれについて一言すれば、「担当教官の許可」としての対応の仕方は、次のように様々な様態を採り得るであろう。——すべて受け容れる／3年次以降になってからの低年次履修のみを認める／夜間主に同一科目を開講している場合、これへの出席のみを認める／試験・レポート・面接その他により選抜を行なう／一切拒否する、等である。各々の担当教官の教育方針に従って、態度を決定すべきであろう。

(註2)

## 2 未展開の諸理念

## 「少人数教育」を巡って

教育体系を指導する諸理念は、それらのうち幾つかにおいて、習慣からの要請によって、或いは教育体系にとって外的な諸要請によって、それらの自由な展開を妨げられることが在る。この場合には、それら諸理念は、これら諸要請に対抗し得る力を有たない限り、差し当たっては未展開のままに挫折する。このことは、「少人数教育」の理念——それを集中的に表現するのがプレゼミナールである——の周辺で起こった。

## ① 理念と政策 (註2-1)

副専門が含意する特殊性は、教育システムの上では〈コース〉として具体化される。コースに定員を定めることは、教育そのものにとっては本質的なものではないが、副専門のシステムにとっては内在的な制約である。この制約の内、学生のコース選択を尊重する

ことが、今度は一つの重要な「理念」となる。

この理念は、一つには、選択のための十分な情報の提供と考慮時間の保証として現われる。他方、プレゼミナールの教育目的は、可能な限り入学時に近い時期を要請する。これもまた、一つの「理念」である。これらに対して、プレゼミナールをコース内での入門科目として性格付けることは、教育政策上の選択の問題である。

従来は〈情報提供・考慮時間〉の理念の犠牲の下に〈低年次教育〉の理念と〈コース内入門科目〉としての性格付けとは統一されていた。改革による第一の理念の実現は、第二の理念と「性格付け」とを対立させる。そして、政策が第二の理念をミスリードした。しかし、政策が理念に従属するべきであった。

## ② 二つの理念の矛盾 (註2-2)

学生のコース選択を尊重すべしという理念は、もう一つには、特定のコースへの希望そのものの尊重とし

## 註2 2 プレゼミナールを巡る未解決の諸問題

## 註2-1 ① 時期——2年前期か1年後期か

コースに分かれる時期を1年後期から2年前期へと遅らせることとしたのは、運用上の重要な改革であった。学生に十分な情報と考慮の時間が与えられるべきである、という配慮からである。しかし、これに連動させてプレゼミナールの時期をも2年前期としたことには、問題が残る。

プレゼミナールの教育理念は、少人数教育の実現ということと共に、なるべく低年次において学生の問題関心を啓発し勉強意欲を刺激する、ということに在る。しかしこれに加えて、コース教育における入門科目としての位置付けが、従来プレゼミナールには与えられてきた。今回の時期の変更は、実はこれに引きずられたのである。教育効果という面からすれば、1年後期の方が遙かに望ましい。これに対する配慮が不足していたことは、私を含めて改革に携わった者が率直に認め反省しなければならない点である。

プレゼミナールの性格付けは、いわゆるフレッシュマンゼミに類するものを含めて、幾つかのオルタナティブが可能である。これに対して低年次教育の必要は絶対的なものであり、これを優先させるべきであったと、いまは私は思う。

## 註2-2 ② 選択か必修か

## 人間科学コースが提起した問題

少人数教育という目標は、副専門制度の導入と共に企図された一つの理念である。この理念は、それ自体として見れば正当なものである。しかし、この理念が学生の履修希望を実際には排除するように機能するという局面が、この制度の導入の当初から、実は幾つも存在していた。先に触れた、他コース科目からの単位取得の禁止も、その一つなのである。

コースに定員を定めること自体は、この制度に内在的な方策であり、誤りではないだろう。しかし、定員の厳格な遵守は、却って学生の勉強意欲を刺ぐ。学生のコース選択の希望は、或る程度までは優先せざるを得ない。実際、仮にコース別科目（新カリキュラムではB類）が講義科目のみから成るとすれば、原理的に200名程度までは、一つのコースに受け容れることが可能なのである。

これに対してプレゼミナールは、少人数教育の理念が最も確実に具現されるべき場である。しかし、或る局面においては、学生のコース希望を優先させれば、この理念を後退させなければならず、この理念を優先させれば、学生のコース希望のかなりの部分を犠牲にせざるを得ない。人間科学コースが提起したのは、この問題であった。人間科学コースは、社会科学コースと共に、一つの講座を二つに割って形成されているコ

て現われる。他方、プレゼミナールは少人数教育の理念の集中的な表現である。しかし、プレゼミナールがコースに緊縛されている限りは、これら両理念は、或る場面で必ず矛盾する。

### ③ 矛盾の克服——政策の更改 (註2-3)

コース希望尊重の理念と少人数教育の理念との対立は、確かに理念と理念の対立であるが、しかしただ部分的局面における対立である。解決すべきは、本質的には、少人数教育の理念がコース希望の多寡という偶

然に晒される、ということの問題性である。現実の偶然に実現の可否が掛かるような「理念」は、その名に値しない。理念は、その本性として、必然的な実現を要求する。この偶然性を廃棄すること、すなわち少人数教育の理念の必然的实现は、コースへのプレゼミナールの緊縛を解く、ということによって可能となる。

他方、時期に関する理念と性格付けに関する政策との対立は、理念の優先ということによってしか決着し得ない。このこともまた、コースへの関係におけるプレゼミナールの位置について、更改を要求している。

ースである。他方、プレゼミナールは、専任教官が第一義的に責任を負うべき科目であり、非常勤に多くを頼るのは好ましくない。教官数の不足は、このコースへの学生の希望が膨れ上がった場合に、これの尊重と少人数教育の理念との間の矛盾を、一機に頭在化させるのである。

人間科学コースの改革案は、プレゼミナールの〈選択〉科目化という表現を採った。これは、プレゼミナールがコースに緊縛された科目であるという前提を受け容れた上で、コース希望の尊重と少人数教育の理念との間の矛盾を、一つのコースの内部で解消しようとした方策であった。しかし、人間科学コースが提起していたのは、本質的には、この矛盾そのものの解消なのである。プレゼミナールの〈必修〉を維持するのであれば、この目的を達成するためには、プレゼミナールをコースの枠から外す必要が在る。しかしまた、これはこれで、コース内での入門科目という、これまでのプレゼミナールの位置付けと抵触する。実は、先の「時期」の面からのみならず、この面からも、プレゼミナールの性格そのものを見直すことが、必要なのである。

### 註2-3 ③ 見直し課題

①の問題について私の結論を明示すれば、プレゼミナールは1年後期が適当であり、2年前期では遅すぎる。コースが決定した後のコース内での入門科目としての性格付けは、断念されるべきである。②の問題について言えば、少人数教育の理念の最も忠実な実現の場としてのプレゼミナールの意味が、最大限に尊重されるべきである。コースごとに異なる学生の希望者の数やコースを担当する教官の数のアンバランスに左右され、コースによっては学生のコース希望の尊重というもう一つの理念との間で矛盾を惹き起こすようなシステムは、やはり不完全なシステムであろう。いずれ

の結論も、現在のようにコースに緊縛されたプレゼミナールの在り方を見直す必要が在ることを指示している。

プレゼミナールをコース決定の前に設定する場合、今度はそれは、学生がコースを決定するための情報提供の一環として、コース選択の過程に有機的に組み込まれる必要がある。プレゼミナールは、コースごとに「……科学プレゼミナール」という科目名を以って開講されている。従来1年前期に行われていたコース決定の手続きは、今度は、科目決定の手続きとして、より緩い形ではあるが為される必要が在るだろう。2単位分の科目決定の手続きは、10単位分以上に関わるコース決定の手続きよりは遙かにスムーズに進む。しかも、この科目決定によって、学生はそのコースの性格を体験してこれに馴染むことができるから、コースそのものの決定も、実は八割かたは済むのである。プレゼミナールは、コースが決定した後の入門科目ではなく、コースを学生に紹介して学生のコース選択に資するためのガイダンス科目としての性格を有たされることになるだろう。

プレゼミナールをこのように位置付けることは同時に、コースごとに科目名の区別された「……科学プレゼミナール」を、そのコースの必修科目としないのが自然である、ということの意味する。しかしそのことは、プレゼミナールそのものを選択科目化することを直ちに意味するという訳ではない。プレゼミナールは、5科目中の選択必修とされることが可能であり、それはただ、コースの必修科目としてコースに緊縛されていた枠からプレゼミナールを解放するだけのことである。そして、このような意味でのコースの枠からの解放ということこそ、人間科学コースが提起していたことの本質なのである。

④ 一理念の下における二理念の対立 (註2-4)

生命環境科学コースは、副専門における一つの特例である。しかしそれはまた、語の普通の意味での特例的な問題を含む。この問題は、少人数教育という一つの理念の内部で生じる。

低年次教育の必要は一つの「理念」である。しかしそれは、もう一つの「理念」すなわち高年次における教育の完成ということの、一つの手段に他ならない。後者を欠くとき、前者は目的を失う。これが、生命環境科学コースで起こってきた事態である。これに対して、両理念からの二者択一という前提の下で、後者を優先させようとしたのが、生命環境科学コースにおけ

る今回の改革の試みである。

「あれかこれか」という前提を受け容れることが、両理念を対立させる。解決は、この前提そのものの廃棄の内在に在る。

註2-4 ④ 生命環境科学コースでの改革の試み

意味付けに関して問題の在ったプレゼミナールを廃止し、高年次の演習を設ける、というのが、生命環境科学コースでの改革の試みであった。プレゼミナールだけ在って高年次の演習が無い——これは、他の4コースに比して極めて不自然な形態である。生命環境科学コースのシステムは、平成5年度の副専門制度導入の当初から、未完成のシステムなのである。背景には、分属先の主専門学科内部での事情——主専門科目と副専門科目との間での負担分担・担当年次分担の問題等——が在る。「教育水準の確保という目的のためには、高年次の演習は必要である。負担の面から見ていずれか一方しか担当し得ないのであれば、高年次の演習を優先させるべきである。」——生命環境科学コースのこの考え方は、全く自然であり、私にはよく理解できる。

これに対して、「5コースで統一してプレゼミナールを維持すべし」というのが、全学的な要請であった。これは、それ自体として見れば正当な主張である。しかし、それを主張するのであれば、「5コースで統一して高年次の演習を開設すべし」ということが、併せて主張されなければならないだろう。低年次において学生の問題関心を啓発することのみを重視し、高年次におけるコース教育の完成を無視するのは、誤った考え方である。コース教育の完成なくしては、関心啓発も、その意味が半減するであろう。

二者択一という発想そのものを考え直す必要がある。負担等の面で限られた条件の下にはあっても、両者を追求するのが最良の施策であろう。「時期」の問題と同様に、ここでも我々は、十分に知恵を出し尽くしてはいない。生命環境科学コースが、共通講座の担う

他の4コースとは異なる事情を背後に有つのであれば、解決も特殊なものにならざるを得ない。例えば、低年次においては、初めの9回ほどを一人の教官によるガイダンス講義、後の6回ほどを教官ごとにクラスに分かれたプレゼミナールとし、高年次においては逆に、初めの9回ほどを各教官が担当する演習、後の6回ほどを一人の教官によるまとめの講義とする、といった類いの工夫が必要となる。今後の検討課題とするべきであろう。

(註3)

## 3 二つの〈特殊〉

## —— 副専門の更なる展開 ——

副専門の教育体系を構成する諸理念は、その内部でのみならず、主専門との関係の内においても、また機能する。主専門と副専門との関係は、特殊と特殊との関係である。この関係は、将来の展開を待っている。

①〈普遍〉としての一方の〈特殊〉  
による、他方の〈特殊〉の補完 (註3-1)

これら二つの特殊は、本質的には、一方が他方を補

完するという関係に在るのではなく、互いに独立した関係に在る。しかし、或る特定の局面において、一方の特殊(副専門)が他方の特殊(主専門)を補完する、という関係が現われる。「卒業研究」を巡る副専門の問題は、差し当たって、このレベルにおける問題である。この場合には、補完する方の特殊(副専門)は、形式的には〈普遍〉として機能する。

ところが更に、一方の特殊(副専門)が他方の特殊(主専門)に対して本来の独立の存在を主張するという関係が、この問題に関して、実は潜在している。

## 註3 3 主専門に対する副専門の関係の将来

## 註3-1 ① 卒業論文に相当する教育

副専門担当の教官が主専門の卒業研究の指導に参画するという事に関する問題は、拙稿執筆時現在、教務委員会のワーキング・グループ(筆者もその一員)において検討されている。この問題は、主専門の科目としての卒業研究の問題に留まらず、副専門における科目の開設に関わり得る問題であり、従って副専門のカリキュラム改革の問題でもあり得る。

卒業研究は、主専門の必修科目である。この「必修」という性格は、学生に対する指導の義務を含意する。しかし、現在までに非公式に行われてきた副専門担当教官による卒業研究の指導は、副専門教官の純粋なボランティアと単純な負担増によって担われている。このことは、この指導が公式に認知されるようになった場合でも、当分の間、基本的には変わらないだろう。このことに加えて、副専門による卒業研究に相当する研究を学生が希望する場合、副専門を担当する教官は、学生の関心・知識・能力がこれに足りるものであることを判定した上でなければ、指導を承諾することはできない。また、副専門担当教官のうちには、36という少単位の上に卒業研究に相当する高度の教育を行うことに対して、良心において疑問を有つ者が、少なからずいる。このような教育上の信念は、正面から認められる必要が在る。これらの事情から、副専門の側における義務化を含んだシステム——学生が希望しさえすれば副専門担当の教官が必ずこれに応じなければならないというシステム——は、回避されなければならない。すなわち、卒業研究の「必修」という性格が、副専門担当教官との関係においては、除かれる必要が在るのである。

この義務化の回避ということは、卒業研究という科目名の下において、主専門学科から副専門担当教官団への依頼と、後者から前者への承諾、という形式において処理されることも可能である。しかし、それを最も明確にする方策は、主専門の卒業研究からはカテゴリ的に区別された科目を、副専門の課程の内に、しかも卒業要件36単位の外(そと)に、設置することである。この科目による単位は、主専門の卒業研究の単位に充当されることになる。この単位充当に関しては、ケースごとに、その可否について主専門学科に一定の裁量権が保証されるのが、現時点においては適当であろうと、私は思う。ただ、学生を不安定な状態に置かないために、この単位充当の許諾は、事前に——副専門による履修に入る前に——為される必要が在る。

卒業研究の問題が、副専門における科目の新設とそれからの単位充当という形態へと発展せざるを得ない、ということの理由は、もう一つ在る。現在、副専門による卒業研究相当の研究を希望する学生の動機には、幾つかの段階が在る。第一に、主専門からの問題関心の発展として、である。現在教務委員会で議論の射程に入っているのは、このレベルにおいてである。この場合、卒業研究相当科目の履修は、工学教育の〈発展的完成〉の内に位置付けられ、副専門教育は、主専門教育を補完するという役割を担うことになる。しかし、第二に、学生の問題関心は多様化しており、社会の側でも、単なる技術者を越えて、例えば経済の成り行きを見透せるといったような「マルチ人間」を求めている。第三に、この傾向がもつと進んで、卒業後に、例えばジャーナリストを希望したり、工学以外の分野における大学院進学や教育職を希望するといった、卒業後に進路変更を予定している学生が、確実に現われている。これらの場合には、副専門による卒業研究相当の研究は、実は「工学教育の発展的完成」というレベ

## ② 主従の逆転 (註3-2)

この傾向が更に進めば、一方の特殊と他方の特殊との間で、その主従を逆転させる、ということが起こる

ルでは直接には扱えられないものである。副専門は、形式的には「副」としてではあるが、実質的には固有の意味での「専門」として機能している。事態を直視すれば、固有に工学教育の完成を目指す主専門の卒業研究の科目名による単位取得ではなく、これに相当する高度の研究による単位取得を副専門の科目名によって認めた上で、これを卒業研究に準ずるものとして、単位充当という形式において処理することが、実は自然なのである。

この進路変更という方向がもっと進んだ場合には、第四に、若年次において既にこれを決意し、卒業研究相当の研究を含む多くの科目の履修を副専門に求めながらも、これに対応するシステムが本学に備わっていないがゆえに退学して行かざるを得ない、というケースが在る。この段階の問題は、卒業研究という一つの科目に関わる問題を越えており、副専門を「主」専門とする特別のコースの設置という、全く新たな方策を必要とする問題である。

### 註3-2 ② 今後の改革と将来構想への関連 ——副専門「特別コース」の設置——

今後副専門制度の大きな改革が在るとすれば、入学後在学中の進路変更等に対応し得るような、副専門「総合コース」ないし「特別コース」の設置であろう。それは、長期計画C案の先行的・試験的実施でもあり、これに直結して行くという本質を具えている。この構想は、共通講座のフリー・トークの中で初めて出され、長計委員長の私案にも現われ、教務委員会ワーキング・グループでも語られた、構想である。それは、副専門からの要件単位を大幅に(80~90単位程度に)増やしたコース(1学年につき10名程度)を設置しようとする構想であり、副専門を逆に「主」専門とし、主専門を今度は「副」専門とする、という内容を含むものである。

しかしそのためには、副専門の現在のカリキュラムそのままでは不整備である。一定の専門性を要求するためには、選択可能な開講科目数において、現在の5コースのうち二つのコースを複合した程度の規模を有つ、幾つかの系統が必要となる。理科系と文科系との協働ということが、この場合にも重要である。副専門

(この逆転は、〈質〉に関する限りであり、もちろん教育の「量」に関してではない)。同時に、5〈コース〉として具体化された諸特殊は、3系統程度の新しい諸特殊へと再編成されることが、新たに要請される。

は、開講科目のジャンルにおいて、ということはまた担当する教官の専攻領域においても、理科系と文科系の両者を含む。このことの利点は最大限に活かされなければならない。今回の改革におけるコース別科目C類(指定科目)の発想の延長上に、更にこれを発展させ、理科系と文科系を融合したような幾つかの系統を、カリキュラムの上で創設する必要がある。ここに、共通講座等の将来構想に関連した、副専門のカリキュラム改革の問題地平が開かれてくる。

今回の改革で打ち出された、生命環境科学コースへの社会科学的観点の導入という方向は、そのまま維持されるべきであり、これは更に、生命環境科学コースと社会科学コースとの二つのコースの協働ということへと発展させられるべきであろう。また、自然環境と人間の身体との関係ということを考えて、これに体育学の諸科目が加えられるべきであろう。

数学は、自然科学ではなく、人間の思惟の形式そのものの一領域に関わる、形式的な学である。それは、それ自体としては「学の学」であり、他の諸々の学を媒介するものとしては、すなわち数理学としては、「学の方法」である。この性格は、論理学がそのまま有っている。これら二つの学は、人間の形式的思惟をそれとして実行する。他方、人間の思惟の形式を〈対象〉として扱う学は、その対象領域・方法態度等に従って、教育学・心理学・認知科学等の内における各々特定の諸領域へと分化し、哲学的認識論は意識そのものを巡ってこれらに関与する。また、言語学は、人間の言語機能に特化した限りでの思惟形式を対象として扱う学である。近代的理性の限界が叫ばれて久しい。いま人間の思惟の構造を解明し理解し直すことは、それ自体で一つの重要な価値を有つ。また、これら諸学は、コンピュータ・プログラミングのためのアルゴリズム形成に欠かせない諸学として、総合の具体的な場を実は既に有っている。これら諸学を教育の上で融合することは、この意味での社会的要請に応えるという意味をも、併せ有つことになるだろう。

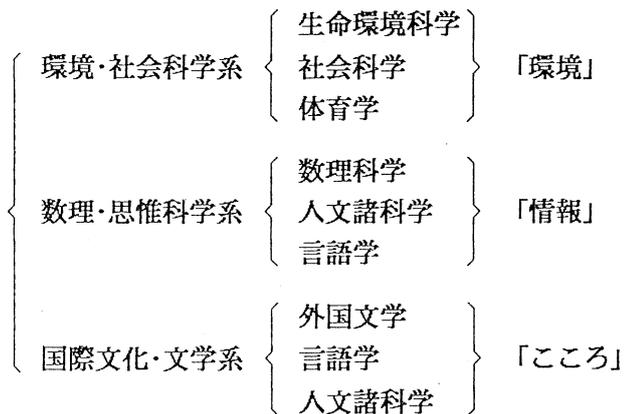
ここ十年来、持続的な〈心理学〉人気を背景としつつ、超能力ブームないし「オカルト」ブーム ⇒ 宗教ブーム ⇒ ‘ソフィー’ブーム と形を変えながら続いてきた一連の現象に、注目する必要がある。底を流れ

そして、新しい教育体系が導入される際には何時でもそう在るべきであるように、それは、諸学の諸連関と体系とによって指導されなければならない。

( にのみや こうたろう ・ 哲学 )

ているのは、文明の豊かさに比して満たされない「こころ」を満たそうとする、本来的な自己自身への憧れである。日本人もまた「こころ」の在り処を求めている。これに応えるための教育系統は、国際文化という要素との融合の中で、外国文学系を中核として形成される必要がある。人間の「こころ」は民族を越えた普遍的なものであり、しかも人間の情緒や人生の真理をそれ自体として扱うことのできるのは文学だからである。また、広い意味での「こころ」は、人間の知的な側面をも含んでいる。国際文化との融合という意味からも、言語学は当然にこの教育系統の内にある。更に、教育学・心理学・哲学といった人文諸科学——これらは人間の知的側面のみならず情緒的な側面をもその対象領域に含んでいる——も、これに参画する必要がある。

以上三つの教育系統を、いわゆる「キーワード」と共にまとめて示せば、次のようになるだろう。



これら三つの系統は、現在の副専門において開講されているコース別科目を基礎に算定すれば、ほぼ40の開講科目を各々が有することができる。これらの系統の何れかに属した学生は、その内で30科目60単位程度を容易に選択履修・取得することができ、他の単位は他の系統からも取得することができるであろう。

# PRC梁の静的・動的耐荷性状に関する実験的研究

岸 徳光\*<sup>1</sup>, 竹本 伸一\*<sup>2</sup>, 三上 浩\*<sup>3</sup>  
小室 雅人\*<sup>1</sup>, 松岡 健一\*<sup>1</sup>

## Experimental Study on Static and Dynamic Behavior of PRC Beams

Norimitsu KISHI, Shin-ichi TAKEMOTO, Hiroshi MIKAMI,  
Masato KOMURO and Ken-ichi MATSUOKA

(原稿受付日 平成9年5月9日 論文受理日 平成9年8月20日)

### Abstract

In this paper, in order to accumulate the basic data for establishing a rational anti-impact design procedure of PC ( Prestressed Concrete ) members in PC rock-sheds, static and impact tests were conducted for six types of PRC ( Prestressed Reinforced Concrete ) rectangular beams, in which number of PC strands, tensioning ratio per one PC strand and volume of rebars for cracks controlling were taken as variable parameters. The results obtained from these experiments are as follows: 1) letting tensioning ratio be 50 % and number of PC strands be twice than those of conventional design, static capacity and absorbed energy can be 1.7 times and a little less than 3 times increased, respectively; 2) arranging deformed rebars at the lower area of beam, absorbing capacity of energy can be improved; and 3) anti-impact resistance of PC beams can be effectively improved by decreasing tensioning ratio of PC strands, increasing number of PC strands and/or arranging deformed rebars.

Key Words: PRC beam, static capacity, impact loading, absorption energy

### 1. はじめに

我国の山岳あるいは急崖斜面が海岸まで迫っている地域の道路上には、落石に対する安全性確保のために落石覆工が設けられている。落石覆工の多くは、RC(鉄筋コンクリート)製あるいはPC(プレストレストコンクリート)製である。通常、前者は現場施工型で、12 mを1ブロックとし谷(海)側を柱形式あるいは窓形式にするラーメン構造となっている。後者は工場製作した梁や柱等の各構成部材を現場で組み立てる工法であり、現在は2ヒンジ1剛結接合逆L型構造が一般的である。PC製は、品質管理も良く、将来予想される労働者不足の解

消や工期短縮を計ることが可能であることより、今後ますます需要が増えるものと予想される。

しかしながら、平成元年7月には一般国道305号線福井県越前海岸における岩盤崩落によってPC覆工が倒壊され、また平成8年2月には一般国道229号線北海道豊浜トンネル上の岩盤崩落によって、トンネルやトンネル巻き出し部(覆工)が破壊された。このように、道路周辺地山の経年変化によって落石規模が設計時より大きくなり、設計荷重の見直しを迫られる箇所が今後多くなるものと予想される。

ライフラインとしての道路を落石による災害から守るためには、緩衝性能や荷重分散性に優れた緩衝構造の開発と同時に、耐衝撃性に優れかつ安全余裕度の大きな構造部材の設計手法開発が肝要であるものと判断される。幸い、計測技術の進歩やエンジニアリングワークステーションの普及により、RC/PC部材の耐衝撃性や覆工構造物の合理的な設計手法開発に関する実験的・数値解析

\*1 建設システム工学科

\*2 ドーピー建設工業(株)

\*3 三井建設(株)

表-1 試験体一覧

試験体名	PC 鋼材 緊張率	PC 鋼材 本数	異形鉄 筋本数	有効張緊 力 (tf/本)	全有効緊 張力 (tf)
P-1.0-3	1.0	3	-	5.43	16.28
P-0.5-3	0.5	3	-	2.61	7.82
P-0.5-6	0.5	6	-	2.78	16.70
P-0.25-6	0.25	6	-	1.34	7.98
P-1.0-3-R1	1.0	3	D10×2	5.44	16.34
P-1.0-3-R2	1.0	3	D13×3	5.46	16.46

使用状態における許容緊張力：5.88 tf

的研究が盛んに行われるようになってきた。

PC 部材に限定すると、建設省土木研究所では RC 構造が PC 構造よりも耐衝撃性に優れているとして、RC 構造と PC 構造の特徴を利用した PRC 製覆工に関する研究を行っている<sup>(1)</sup>。著者等も、覆工構造物に適用するための緩衝材の開発<sup>(2), (3)</sup>や5連から成る実規模 PC 覆工模型を用い、緩衝材の性能評価を含めた PC 覆工の設計レベルにおける重錘落下衝撃実験を行っている<sup>(4)</sup>。

また、通常の PC 部材はその設計が PC 鋼材の降伏応力の 80% 以上のプレストレスを導入することを前提としている。これより、PC 部材の残存耐力は小さく、従って終局吸収エネルギー量も小さくなるものと考えられる。著者等はこの点に着目し、PC 鋼材の緊張率を小さくすることにより PC 部材の残存耐力や吸収エネルギー量を増大させることに関する数値解析的検討も行っている<sup>(5)</sup>。

特に、落石覆工のように死荷重による断面力比率が 0.2 ~ 0.3 程度と衝撃荷重のそれに比して小さく、かつ衝撃荷重の不確定性が大きい場合には、従来からの力を基本とする設計思想にエネルギー論的な考え方を導入し、エネルギー吸収容量を大きくすることによって衝撃荷重に対する安全余裕度の高い断面設計が可能になるものと判断される。

このような観点より、本研究では耐衝撃性に優れた PC (PRC) 部材の断面設計法を確立するための基礎資料を得ることを目的として、PC 鋼材の緊張率やひびわれ制御のための異形鉄筋量を変化させた 6 種類の矩形 PRC 梁 (ひびわれ制御用鉄筋を導入したプレレストコンクリート梁) を用いた静載荷および重錘落下衝撃実験を行った。

なお、本実験では全ての PC 梁にひびわれ制御用の異形鉄筋を導入していないが、煩雑さを避けるためこれらを総称して PRC 梁と呼ぶこととする。また、本実験

は全て平成 7 年度に室蘭工業大学に設置された「構造物耐衝撃耐荷力評価試験装置」を用いて行われた。

## 2. 実験概要

### 2.1 構造物耐衝撃耐荷力評価試験装置

本試験装置は、1) 各種 RC/PC 部材 (梁, 版, 柱) や新素材を用いた機械要素, 鋼骨組構造の耐衝撃/耐荷性に関する研究, 2) 各種構造部材の耐衝撃耐震補強法に関する研究, 3) 衝撃荷重による地盤改良法に関する研究, 4) 杭の動的貫入機構解明に関する研究プロジェクト等の推進のために、平成 7 年度に室蘭工業大学に設置されたものである。

本試験装置の仕様は以下のようである。

- 重錘落下装置 : 最大昇降範囲 3 m,  
リニアールを用いた自由落下方式
- 重錘落下高さ : 最大 7 m
- 載荷速度 : 最大約 12 m/sec
- 重錘重量 : 最大 400 kgf
- 静的載荷装置 : 最大 100 tf, 最大昇降範囲 2 m,  
最大水平移動距離 4 m
- 供試体寸法 : 最大長さ 4.5 m, 最大幅 2.8 m,  
最大高さ 約 3.5 m

なお、本試験装置は重錘落下衝撃実験後に静載荷実験を行って、静的な残存耐力の確認も容易に行うことが可能である。

### 2.2 試験体および実験方法

各 PRC 梁はプレテンション方式で製作した。用いた緊張材は、PC 鋼より線 SWPR-7A 9.3 mm (公称断面積 51.61 mm<sup>2</sup>) である。その特性は、公称引張荷重, 降伏点荷重がそれぞれ 9.06 tf, 7.70 tf であり、使用状態における許容緊張力は 5.88 tf である。

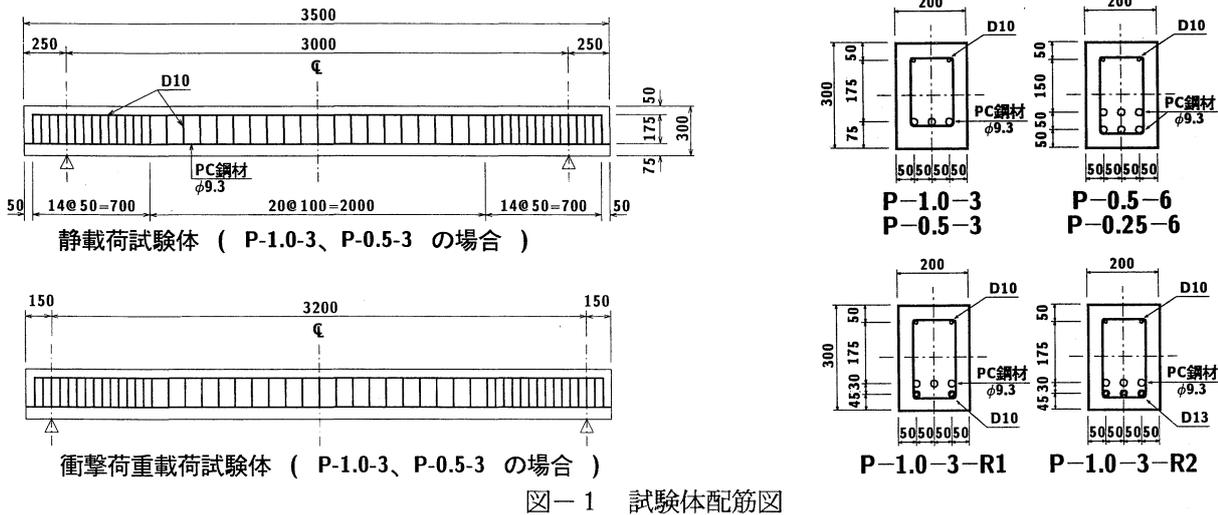


図-1 試験体配筋図

表-2 断面分割法を用いた静載荷時の諸特性に関する計算結果

試験体名	総緊張力 (tf)	初期上縁ひずみ ( $\mu$ )	初期下縁ひずみ ( $\mu$ )	下縁コンクリートひびわれ発生時荷重 (tf)	下縁鋼材降伏時荷重 (tf)	終局時荷重 (tf)
P-1.0-3	16.28	26	-132	4.44	6.19	7.19
P-0.5-3	7.82	13	-63	2.93	6.28	7.24
P-0.5-6	16.70	26	-133	4.56	11.29	13.33
P-0.25-6	7.98	13	-63	3.05	11.05	13.25
P-1.0-3-R1	16.34	25	-129	4.51	6.60	8.59
P-1.0-3-R2	16.46	24	-126	4.56	8.59	10.67

本実験に用いた試験体およびその特性値の一覧を表-1に示している。試験体はPC鋼材の有効緊張率（以下、単に緊張率と呼ぶ）、PC鋼材本数、ひびわれ制御用異形鉄筋本数をパラメータにとった全6種類12体（静載荷実験、重錘落下衝撃実験各1体）である。なお、PC鋼材の緊張率（使用状態における許容緊張力 5.88 tf に対する）はラウンドナンバーで表し、補強筋量 D10×2, D13×3 をそれぞれ R1, R2 としている。また、実験に使用した異形鉄筋は全て SD295 である。

図-1に試験体の配筋図を示している。コンクリートは実験時の平均圧縮強度が 663 kgf/cm<sup>2</sup>、弾性係数が 3.27×10<sup>5</sup> kgf/cm<sup>2</sup> である。実験はコンクリート打設後 37～46 日経過後に行っている。支点部には静載荷実験、重錘落下衝撃実験とも同様の原理で作製された治具を用いている。すなわち、梁を支点反力測定用ロードセルを介して鋼製のピンを用いて単純支持した。ただし、重錘落下衝撃実験の場合には衝撃荷重による端部の跳ね上がりが大きくなるものと予想されたため、静載荷実験

の場合よりも大型の治具を用いることとした。各実験の概要は以下のとおりである。

**静載荷実験：** 純スパンを 3 m とし、スパン中央部に 50 mm 径の鋼棒を半割にした載荷治具を設置して断面方向に線荷重、軸方向に集中荷重状態となるようにして油圧ジャッキにより加圧した。測定項目は荷重及び各点の変位である。実験終了後には各梁に発生したひびわれ状態も記録している。表-2には、上述の物性値を考慮した断面分割法による初期の上下縁歪および各段階の荷重値を一覧にして示している。なお、断面方向の分割数は 60 とし、コンクリート、異形鉄筋、PC鋼材の応力-歪関係は土木学会コンクリート標準示方書に基づいて評価している。写真-1は静載荷実験状況である。

**衝撃荷重載荷実験：** 純スパンを 3.2 m（支点治具固定台の制約により、純スパンが静載荷実験の場合より 20 cm 長い）として行った。衝撃荷重は円柱状のロードセル付鋼製重錘（重量 300 kgf、載荷点部直径 20 cm、2 mm のテーパ付）を所定の高さにセットして梁中央部に

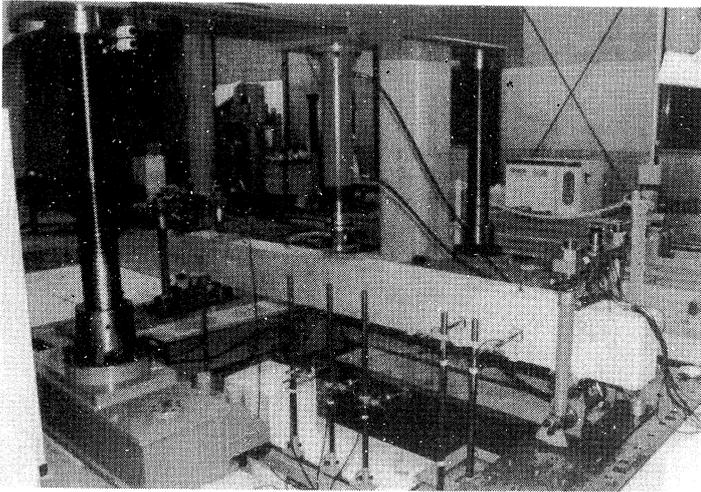


写真-1 静載荷実験状況

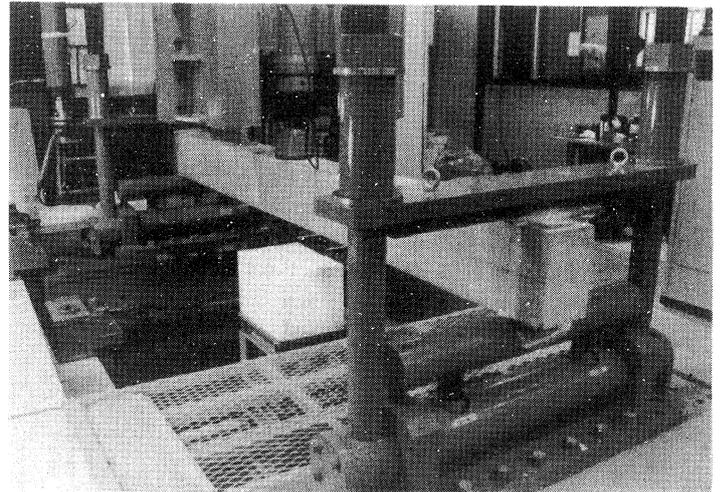


写真-2 衝撃載荷実験状況

自由落下させることにより载荷している。载荷実験は载荷速度  $V = 1 \text{ m/sec}$  から  $1 \text{ m/sec}$  ずつ破壊に至るまで増加させる繰り返し荷重载荷とした。測定項目は重錘衝撃力、支点反力、変位波形である。各波形は高帯域用のデータレコーダで一括収録し、 $50 \mu\text{sec}$ の時間間隔で  $100 \text{ msec}$  だけ A/D 変換している。各波形データは、A/D 変換後  $1 \text{ msec}$  の矩形移動平均法 ( $1 \text{ kHz}$  のローパスフィルター処理に相当) による平滑化が施されている。なお、梁破壊の基準として、当初最大残留変位が純スパンの  $2\%$  を越えた状態を設定したが、いずれの梁においても基準値に達する前に梁上端部が圧壊し、コンクリートが剝離した状態となったため、この時点を終最終段階とした。全ての梁の最終载荷速度は  $V = 7 \text{ m/sec}$  である。写真-2 は衝撃荷重载荷実験状況である。

表-3 実験結果の比較

試験体名	実験結果				解析結果
	Pcr (tf)	Py (tf)	Pu (tf)	E (tf·cm)	Ea (tf·cm)
P-1.0-3	4.80 (1.00)	6.77 (1.00)	8.80 (1.00)	31.05 (1.00)	13.33 (1.00)
P-0.5-3	3.52 (0.73)	7.25 (1.07)	8.74 (0.99)	46.24 (1.49)	16.58 (1.24)
P-0.5-6	5.01 (1.04)	12.80 (1.89)	15.47 (1.76)	89.05 (2.87)	22.69 (1.70)
P-0.25-6	3.73 (0.78)	11.68 (1.73)	14.19 (1.61)	59.54 (1.92)	25.11 (1.88)
P-1.0-3-R1	5.54 (1.15)	7.57 (1.12)	10.40 (1.18)	44.65 (1.44)	13.74 (1.03)
P-1.0-3-R2	5.33 (1.11)	10.13 (1.50)	11.09 (1.26)	66.95 (2.16)	14.13 (1.06)

### 3. 静載荷実験結果と考察

#### 3.1 静載荷時の耐力およびエネルギー吸収能

表-3 には、実験結果の荷重-変位曲線の変曲点より求めたひびわれ発生時の荷重 (Pcr)、下端鋼材 (-R1, -R2 は鉄筋、それ以外の梁は PC 鋼材) の降伏時の荷重 (Py)、終局荷重 (Pu) 及びエネルギー吸収量 (E) と、参考のために断面分割法によって得られた荷重-変位曲線において最大荷重状態で残留変位するものと仮定した場合のエネルギー吸収量 (Ea) を一覧に示している。比較を容易にするために、各項目に関し P-1.0-3 の値に対する無次元化した値を ( ) で示している。なお、エネルギー吸収量 (E) は载荷荷重と载荷点変位による荷重-変位曲線によって囲まれた面積を用いて評価することとした。また、断面分割法を用いたエネルギー吸収量の算定において、载荷点変位はスパン方向の分割数に大きく影響される。本研究では、各梁間のエネルギー吸収能に関する

概略的な特性比較を行うことを目的としていることより、载荷点変位はスパン方向に  $20$  分割 (一要素の長さが桁高の  $1/2$ ) し、曲率の線形変化を仮定して一義的に算定している。従って、エネルギー吸収量に関する実験結果との差異は最大  $4.7$  倍、最小  $2.3$  倍程度となっている。

図-2 には各組合せに対する梁の荷重-変位曲線を比較して示している。以下、表-3、図-2 を用いて各組合せ毎に考察を行う。

#### (1) P-1.0-3, P-0.5-3 の比較 (図-2 a)

P-0.5-3 の場合には PC 鋼材の緊張率を  $50\%$  としていることより、Pcr が P-1.0-3 に比較して  $70\%$  程度に低減するものの、Pu は両者ほぼ等しく、エネルギー吸収量は逆に  $1.5$  倍の大きさになっている。なお、実験結果のエネルギー吸収量の増加割合は解析結果より  $25\%$  程度大きく示されている。これより、PC 鋼材量が同一の場合には、PC 鋼材の緊張率を低減することによって、Pu を同程度に保ちつつエネルギー吸収量を増加させること

が可能であることがわかる。また、実 PC 覆工の場合における死荷重の全荷重に対する断面力の比率が 0.2~0.3 程度であることより、PC 鋼材の緊張率が 50 % 程度の場合には、死荷重に対しては、未だ全断面圧縮状態の設計が可能であるものと推察される。

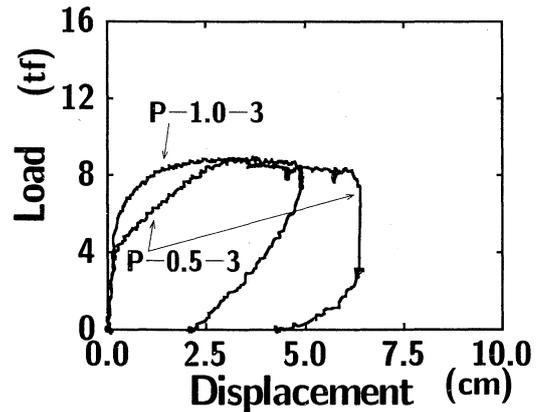
(2) P-1.0-3, P-1.0-3-R1, P-1.0-3-R2 の比較 (図-2 b)

P-1.0-3-R1, -R2 は異形鉄筋を下端に配置することにより、P-1.0-3 に対して  $P_{cr}$  が 11 ~ 15 % 程度、また  $P_u$  が 18 ~ 26 % 程度向上している。一方、エネルギー吸収量に関しては、解析結果では数 % 程度向上するのみであるが、実験結果では 44 %, 116 % と鉄筋量の増加に対応して大きく示されている。これより、下端に異形鉄筋を配置し PRC 梁にすることにより、 $P_u$  は勿論のことエネルギー吸収能も大きく向上することがわかる。また、P-0.5-3 も考慮に入れて比較すると、実験結果では P-0.5-3 と P-1.0-3-R1 のエネルギー吸収量がほぼ同程度になっている。これより、エネルギー吸収能の観点から考察すると、P-0.5-3 は使用鋼材量からも効率のよい PC 梁であることがわかる。

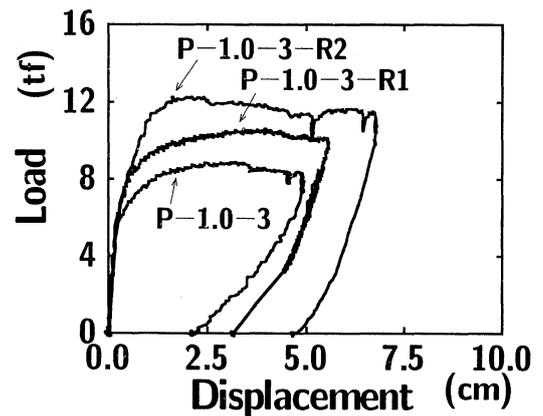
(3) P-1.0-3, P-0.5-3, P-0.5-6, P-0.25-6 の比較

(図-2 c)

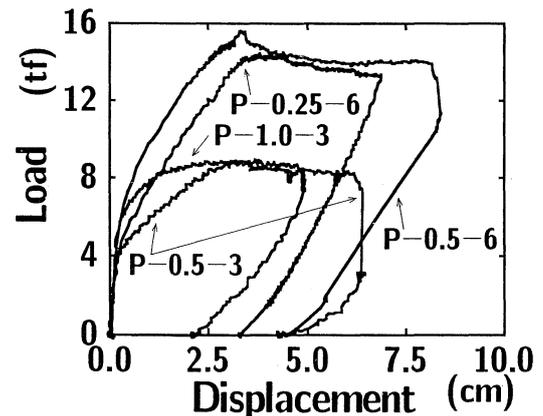
まず、PC 鋼材の全緊張力が等しい P-1.0-3 と P-0.5-6 の実験結果を比較する。P-0.5-6 の場合は P-1.0-3 に対して  $P_{cr}$  がほぼ等しいが、 $P_y$ ,  $P_u$  がそれぞれ 80 %, 70 % 以上大きい値を示している。また、エネルギー吸収量は解析結果が 70 % 程度の増大となっているが、実験結果は 3 倍弱の値となっている。これより、PC 鋼材の全緊張力を一定にし、緊張率を 50 %, 鋼材量を 2 倍にすることにより、静的耐力、エネルギー吸収能とも飛躍的に向上させることが可能であることがわかる。P-0.5-3 と P-0.25-6 の場合について同様の比較を行うと、P-0.25-6 は P-0.5-3 に対して、 $P_y$ ,  $P_u$  が 60 % 程度大きい値を示しているが、エネルギー吸収量は 30 % 前後と P-0.5-6 の場合よりも増加率が小さい。これは、P-0.25-6 の場合には 1 本あたりの導入プレストレス量が少ないため初期の段階より変形量が大きく、上段に配置された PC 鋼材がエネルギー吸収に十分寄与しない状態で梁上端部圧壊により終局に至ったためと推察される。P-0.5-6 と P-0.25-6 の実験結果を比較すると、P-0.5-6 の場合は全ての項目に関して P-0.25-6 より大きな値を示している。ただし、解析結果のエネルギー吸収量は P-0.25-6 が P-0.5-6 よりも若干大きなものとなっている。このような結果も、上述と同様 P-0.25-6 の上段の PC 鋼材がエネルギー吸収に効率的に寄与していない状態で梁上端部圧壊により終局に至ったためと考えられる。



(a)



(b)



(c)

図-2 各梁に関する荷重-変位曲線図の比較

3.2 静載荷時のひびわれ状況

図-3 に各 PRC 梁の静載荷実験終了後のひびわれ図を一覧にして示している。前述のように、いずれの梁も下縁に曲げひびわれ発生後、上端載荷点部の圧壊により破壊に至った状況が示されている。

P-1.0-3, P-1.0-3-R1, -R2 を比較すると、下端に異形

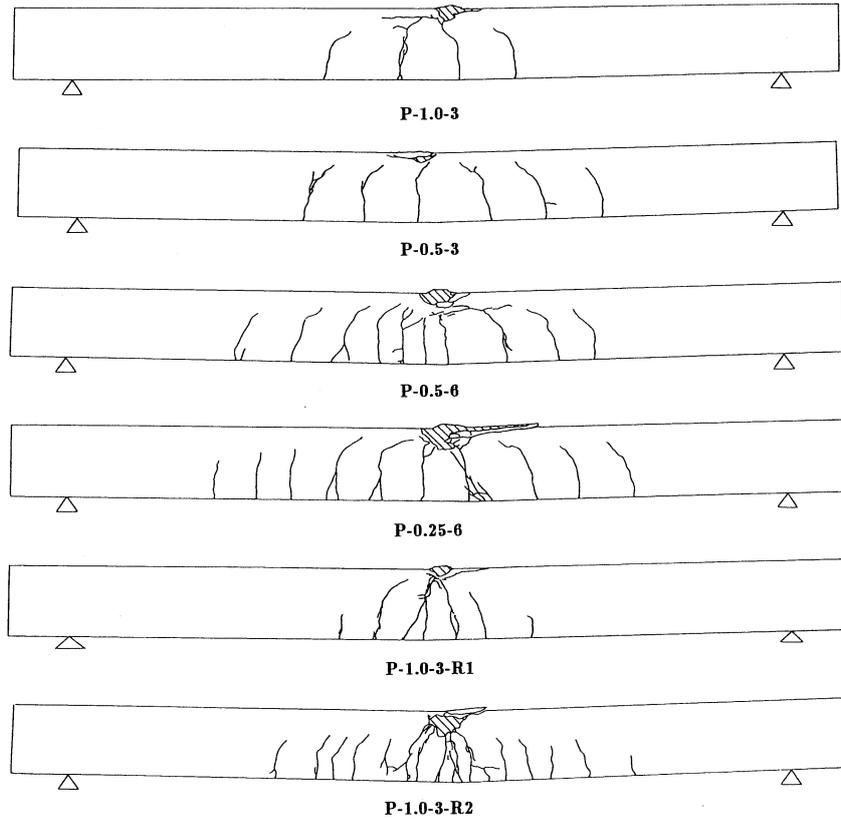


図-3 静載荷時の各 PRC 梁のひびわれ状況図

鉄筋を配置していない P-1.0-3 のひびわれ本数が最も少なく, -R1, -R2 の順に多く示されている. 特に-R2 の場合は, ひびわれの分散, 発生領域も改善されており, 鋼材比の増加によってその効果が明確に示されていることがわかる.

P-1.0-3, P-0.5-3, P-0.25-6 を比較すると, 緊張率が小さくなるとともにひびわれ発生領域が拡大していることがわかる. これは, 緊張力の低下とともに, ひびわれ発生時の荷重が小さくなることに対応している. P-0.5-3 と P-0.5-6 を比較すると, -6 の方が若干ひびわれの分散性が改善されているようである. 一般にエネルギー吸収量を増加させるためには, ひびわれをできるだけ広い領域に分散分布させ, かつ梁全体の剛性を同程度に低減させることが重要であると考えられる. この考え方に従えば, P-0.5-6, P-0.25-6, P-1.0-3-R2, P-0.5-3 が他に比較してひびわれの分散性もよく, エネルギー吸収量も大きいものと判断される. この結果は前項で考察した結果とよく対応していることがわかる.

#### 4. 重錘落下衝撃実験結果と考察

##### 4.1 重錘衝撃力, 全支点反力, 載荷点変位の時間的な挙動性状

図-4 には, 代表的な 4 つの PRC 梁 ( P-1.0-3, P-0.5-3, P-0.5-6, P-1.0-3-R1 ) の重錘衝撃力, 全支点反力, 載荷点変位 ( 図中, それぞれ Impact Force, Reac. Force, Disp. で表示 ) の載荷速度  $V = 1, 3, 5, 7$  m/sec における時系列分布を示している. 図中, P-1.0-3-R1 の載荷速度  $V = 5$  m/sec における載荷点変位はコンクリート破片の飛散により測定不可能になったため, 隣近する測点 ( 載荷点から 15 cm 離れた点 ) の波形で代用している. 図より, 各応答波形は緊張率, PC 鋼材本数や異形鉄筋の有無に関わらず各載荷速度毎大略類似の応答分布を示していることがわかる. 以下, 各測定項目について考察を行うこととする.

##### (1) 重錘衝撃力波形

重錘衝撃力波形は, いずれの場合も載荷速度が  $V = 1$  m/sec の場合に, 15 msec 程度の中に 3 波の独立した大きな波形が発生している. 載荷速度の増大とともに継続時間が伸び, 載荷速度  $V = 7$  m/sec の場合の荷重の継続時間は 40 msec 程度となっている.

##### (2) 全支点力波形

全支点力波形に関しては, いずれの梁に対しても載荷初期に主波動が発生し, その後除荷とともに大きく減衰している. 主波動の継続時間は載荷速度の増大とともに延びていることがわかる.

表-4には概略的な全支点反力の主波動継続時間を一覧にして示している。載荷速度が  $V = 1 \text{ m/sec}$  の場合には緊張率、鋼材量等によらず4試験体とも類似の値を示していることより、いずれの梁も弾性状態の応答を示しているものと考えられる。

その後、P-1.0-3, P-0.5-6, P-1.0-3-R1 は載荷速度  $V = 5 \text{ m/sec}$  まで類似の継続時間を示している。これより、これら3梁はこの時点まで類似の剛性を有しているものと推察される。載荷速度が  $V = 7 \text{ m/sec}$  の場合には P-1.0-3 の継続時間が最も長く、次いで P-1.0-3-R1, P-0.5-6 の順となっており、この順序で塑性の程度が進行しているものと推察される。このような結果は図-2の荷重-変位曲線の結果と符合している。すなわち、荷重-変位曲線において、衝撃力の小さい段階では3梁とも同一の剛性を有している。また、衝撃荷重の増大とともに、P-0.5-6 の剛性低下が最も小さく、P-1.0-3 のそれが最も大きいことがわかる。

P-1.0-3 と P-0.5-3 の継続時間を比較すると、載荷速度が  $V = 3, 5 \text{ m/sec}$  の場合には、P-0.5-3 の継続時間が P-1.0-3 より長く示されている。しかしながら、載荷速度が  $V = 7 \text{ m/sec}$  の場合には両者類似の継続時間を示している。これは、図-2の静載荷実験における荷重-変位曲線からも推察できるように、載荷速度が  $V = 3, 5 \text{ m/sec}$  の場合には緊張率の大きい P-1.0-3 が高い剛性を示している。一方、入力荷重が大きくなる載荷速度  $V = 7 \text{ m/sec}$  の場合には、両者の静的耐力が類似なものとなっていることより、類似の荷重変位経路を示し類似の継続時間を示したものと推察される。

**(3) 載荷点変位波形**

載荷点変位波形に関しては、前述の全支点反力波形と同様の性状を示している。主波動の継続時間を一覧にして示すと表-5のように示される。表-4の全支点反力波形の主波動継続時間と比較すると、弾性応答性状を示す載荷速度  $V = 1 \text{ m/sec}$  の場合には両者類似の継続時間を示している。一方、塑性の程度が進行する載荷速度  $V = 3 \text{ m/sec}$  以上の場合には、載荷速度の増大とともに載荷点変位の継続時間が支点反力のそれよりも長く示されている。これは、支点近傍部に比し載荷点近傍部の塑性化が衝撃荷重載荷によって著しく進行し曲げ剛性の低下およびエネルギー吸収が大きくなるためと考えられる。

**4.2 全支点反力-載荷点変位曲線**

衝撃荷重載荷によるエネルギー吸収量を検討するために、全支点反力と載荷点変位を用いた衝撃荷重載荷時のヒステリシスループを求めた。図-5に P-1.0-3 の場合の例を示す。本来入力エネルギーを議論する場合には、

表-4 全支点反力の主波動継続時間 ( msec )

試験体名	載荷速度			
	1 m/sec	3 m/sec	5 m/sec	7 m/sec
P-1.0-3	14.0	22.8	34.0	51.0
P-0.5-3	15.7	31.4	40.0	50.0
P-0.5-6	14.0	20.0	28.6	32.9
P-1.0-3-R1	14.3	21.4	30.0	44.2

表-5 載荷点変位の主波動継続時間 ( msec )

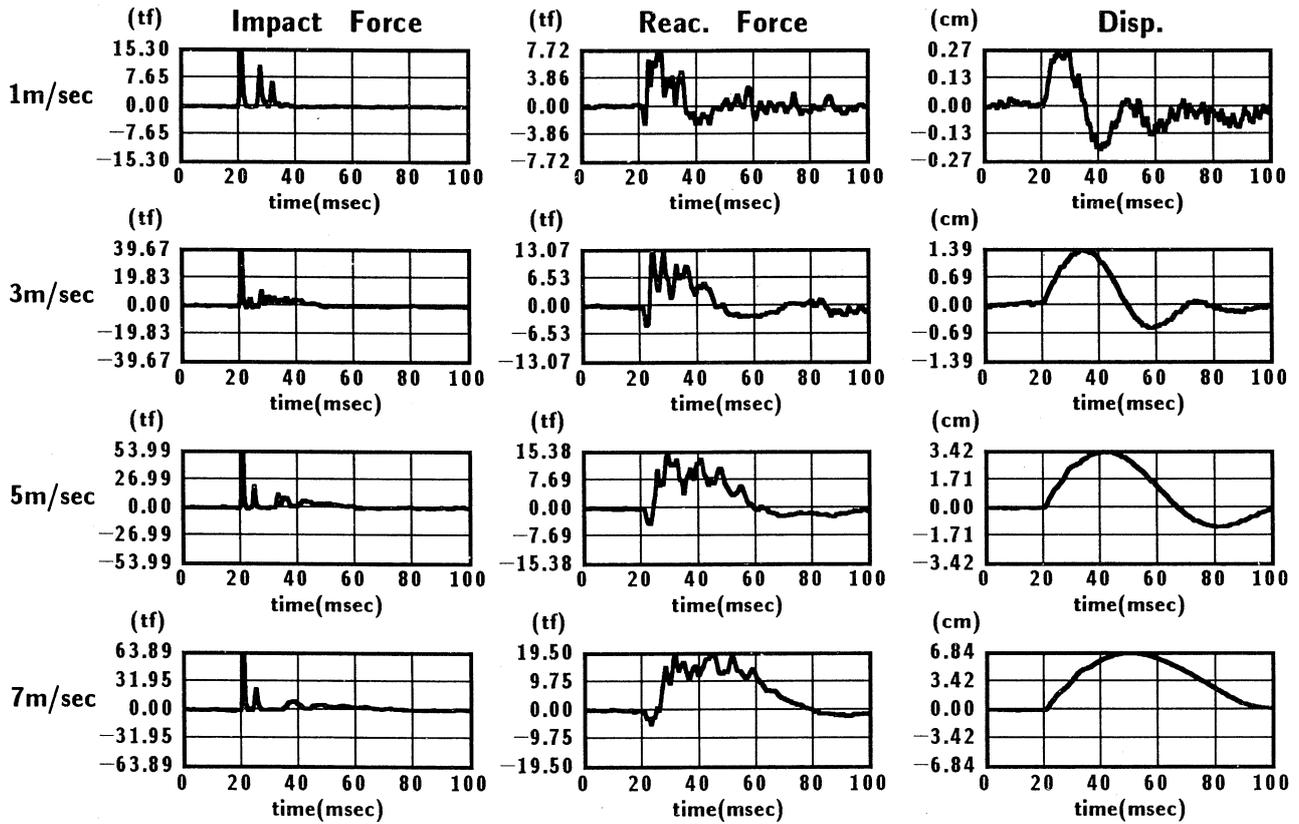
試験体名	載荷速度			
	1 m/sec	3 m/sec	5 m/sec	7 m/sec
P-1.0-3	14.3	28.6	45.7	74.3
P-0.5-3	21.4	41.4	48.6	64.3
P-0.5-6	12.9	27.1	37.1	47.1
P-1.0-3-R1	17.1	28.6	38.6	71.4

荷重は重錘から得られた波形を用いなければならない。しかしながら、1) 重錘衝撃力は重錘と梁の相互作用状態で発生し、かつ重錘中を伝播する弾性波動を含む高周波で物理的に複雑な波形であること。2) 図-4に示されているように、全支点反力波形と変位波形は継続時間が多少異なるものの類似なものとなっており、静載荷時の考え方の延長上で議論が可能であると判断されることより、本研究では入力荷重として全支点反力波形を用いることとした。また、同一の載荷速度におけるエネルギー吸収量を用いて梁の健全性を論ずる場合、エネルギー吸収量の少ない梁ほど健全であることに留意する必要がある。図-5より、載荷速度が  $V = 1, 2 \text{ m/sec}$  と小さい場合にはエネルギー吸収もほとんどなく、ほぼ弾性状態であることがわかる。その後、載荷速度の増大とともに、変位も大きくかつエネルギー吸収量も大きくなっていく様子が示されている。

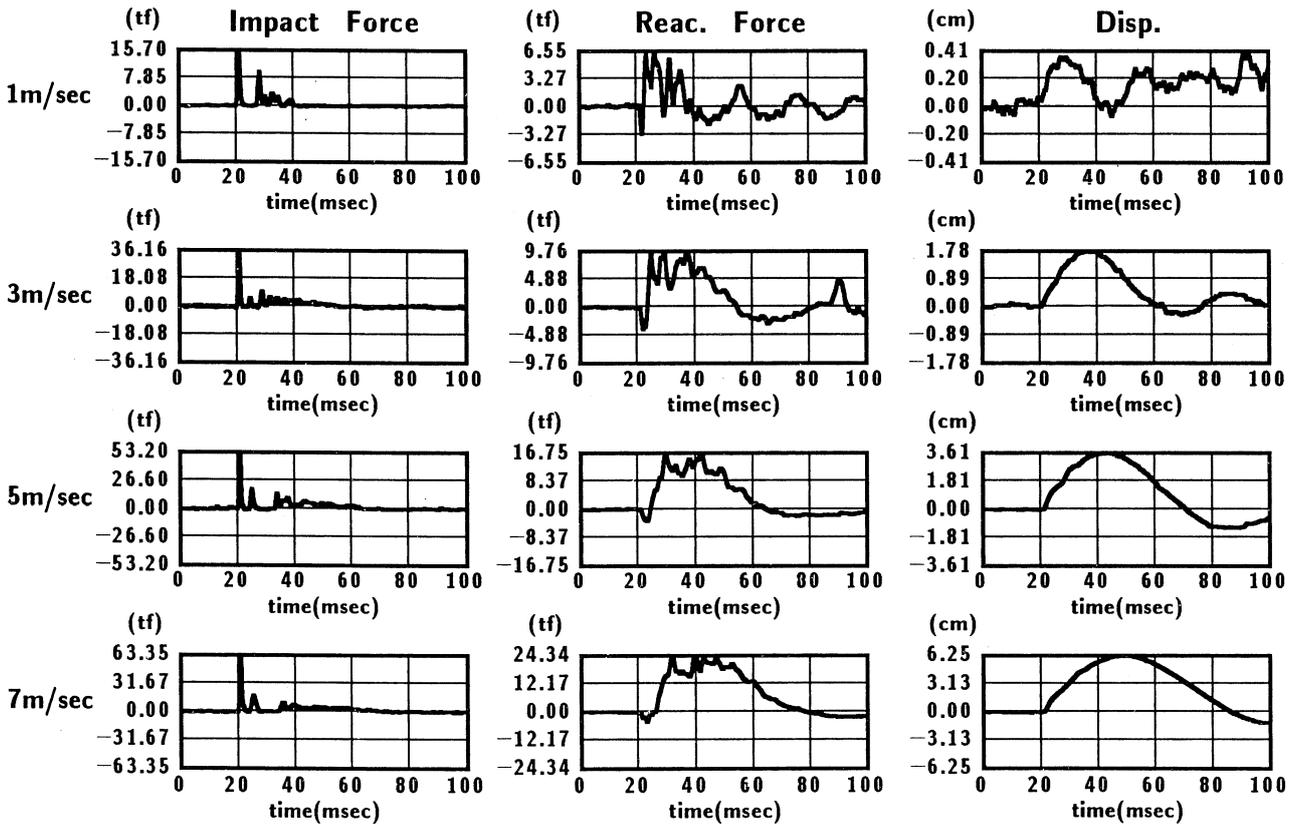
図-6には載荷速度  $V = 7 \text{ m/sec}$  における各梁の全支点反力-載荷点変位曲線を示している。P-1.0-3, P-0.5-3, P-1.0-3-R1 のエネルギー吸収量は、他に比較して大きく示されている。また、P-1.0-3-R2は他と比較して複雑なヒステリシスループを示している。

表-6には正載荷状態(第一象限)のエネルギー吸収量と、静載荷実験におけるエネルギー吸収率(スパン長が3m)および両者の比を示している。

各梁の載荷速度  $V = 7 \text{ m/sec}$  におけるエネルギー吸収量一覧において、P-0.5-6のエネルギー吸収量が最も

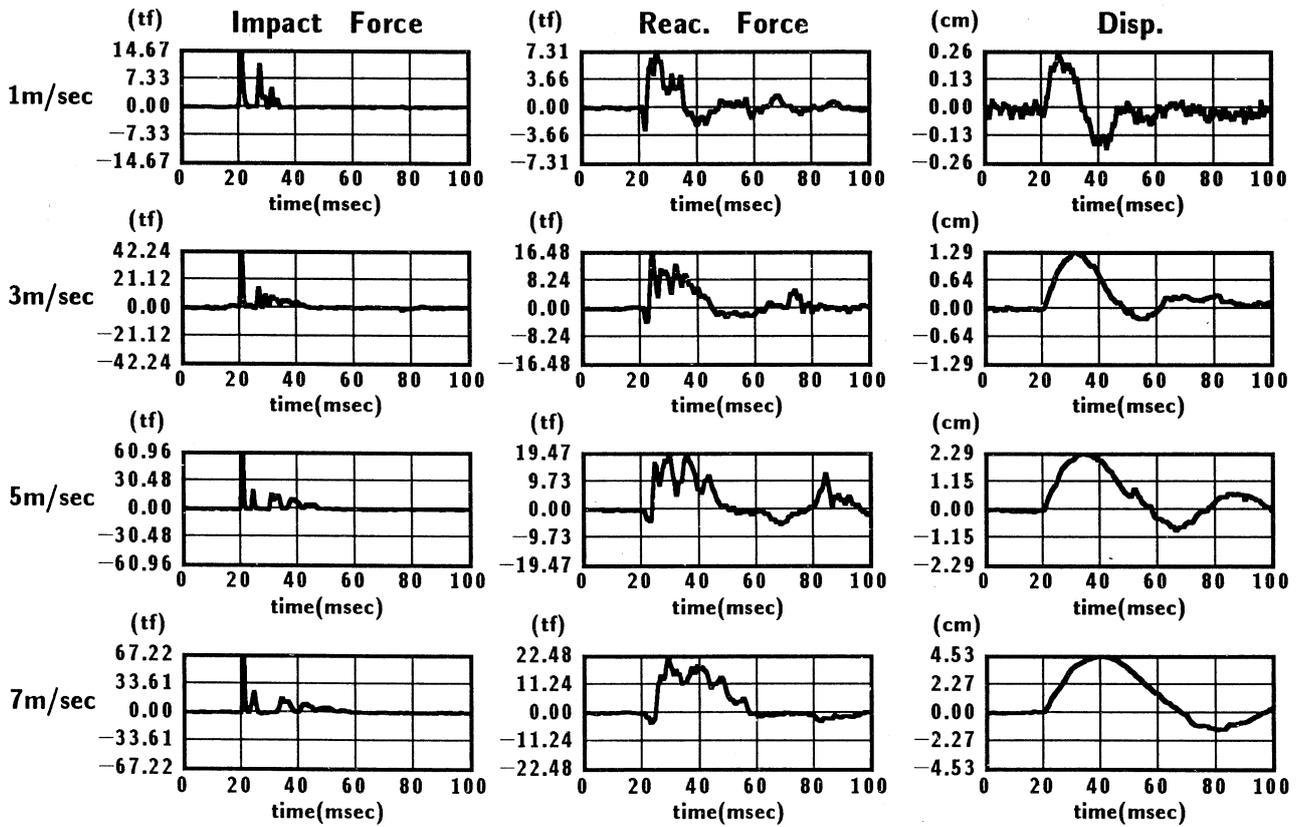


(a) P-1.0-3 の場合

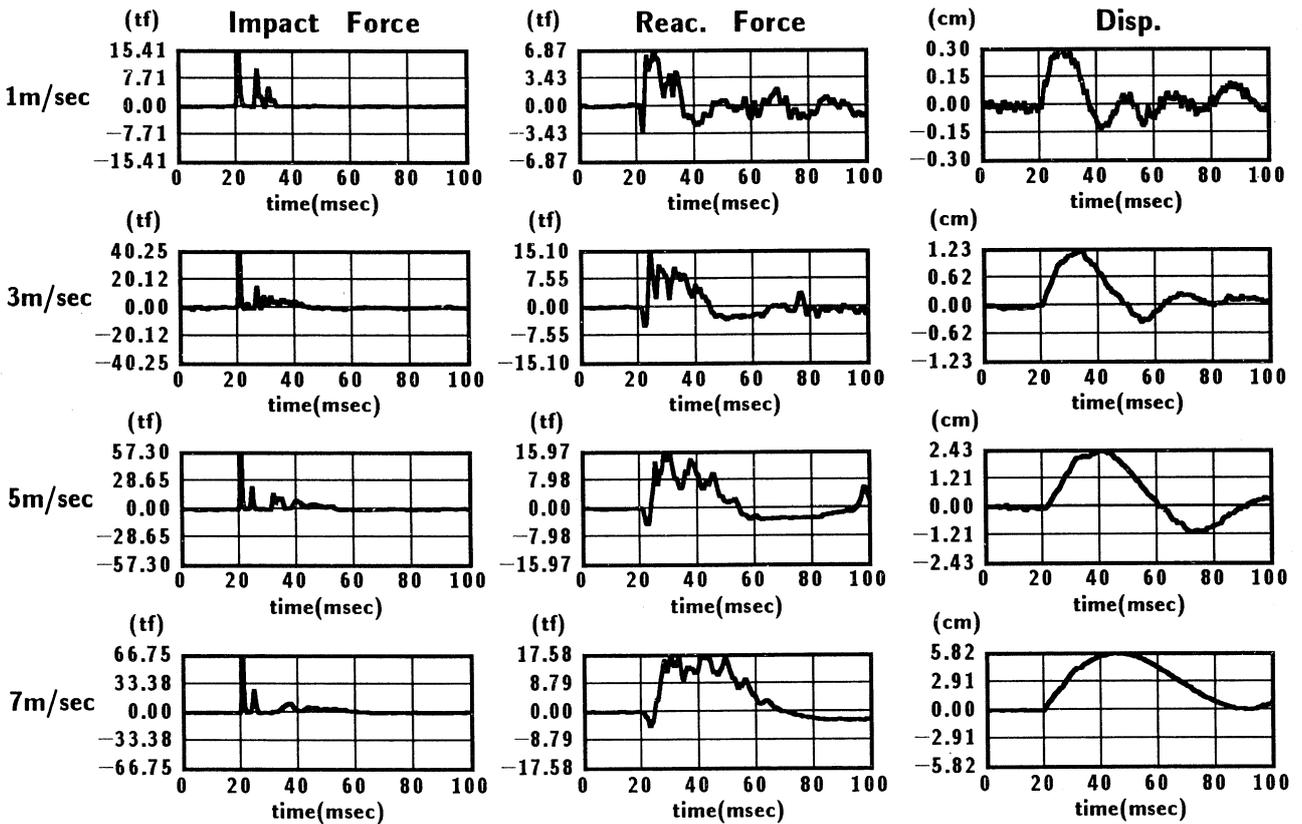


(b) P-0.5-3 の場合

図-4 重錘衝撃力波形, 全支点反力, 載荷点変位波形図



(c) P-0.5-6 の場合



(d) P-1.0-3-R1 の場合

図-4 (続き) 重錘衝撃力波形, 全支点反力, 載荷点変位波形図

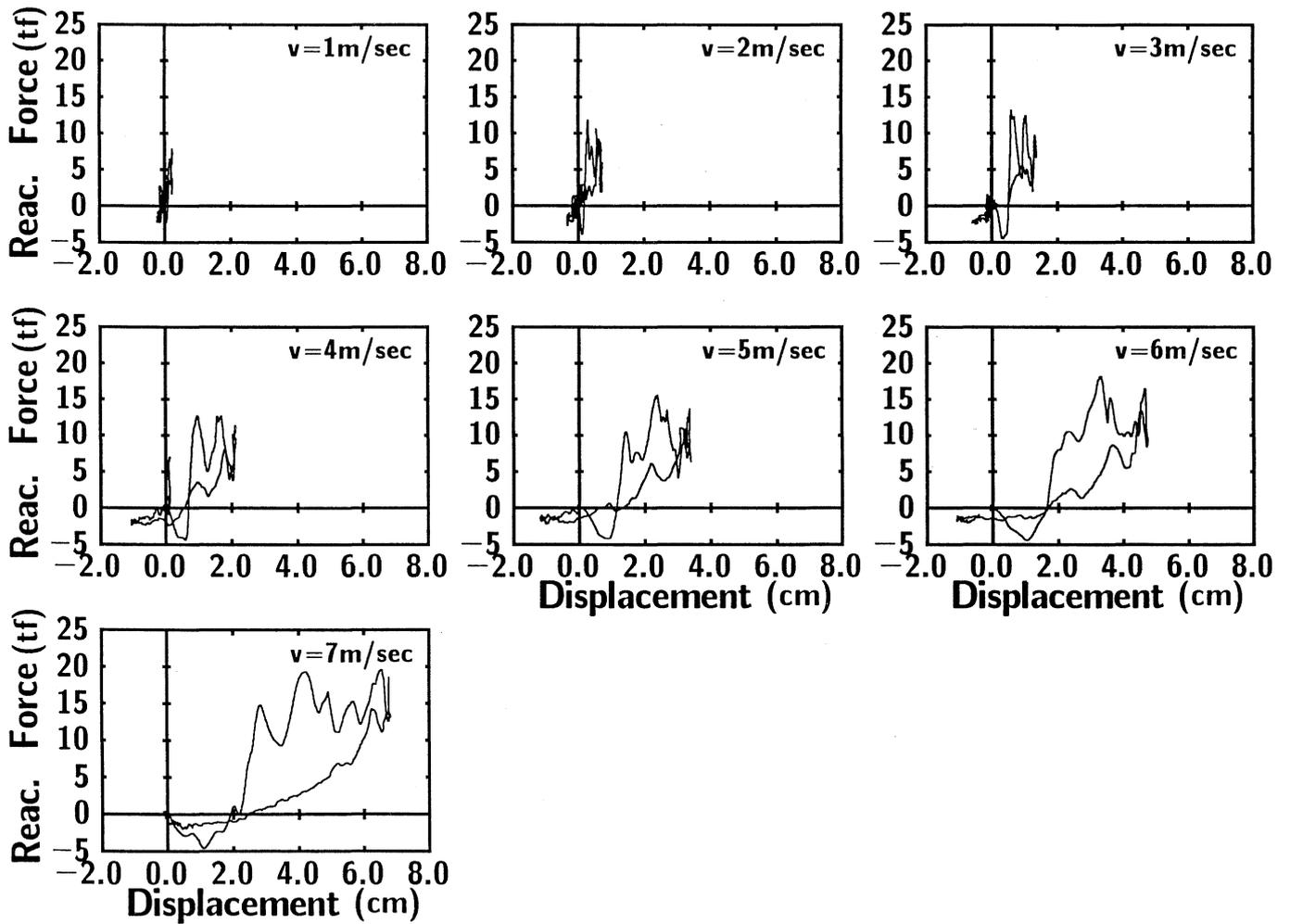


図-5 全支点反力-載荷点変位曲線の一例 ( P-1.0-3 の場合)

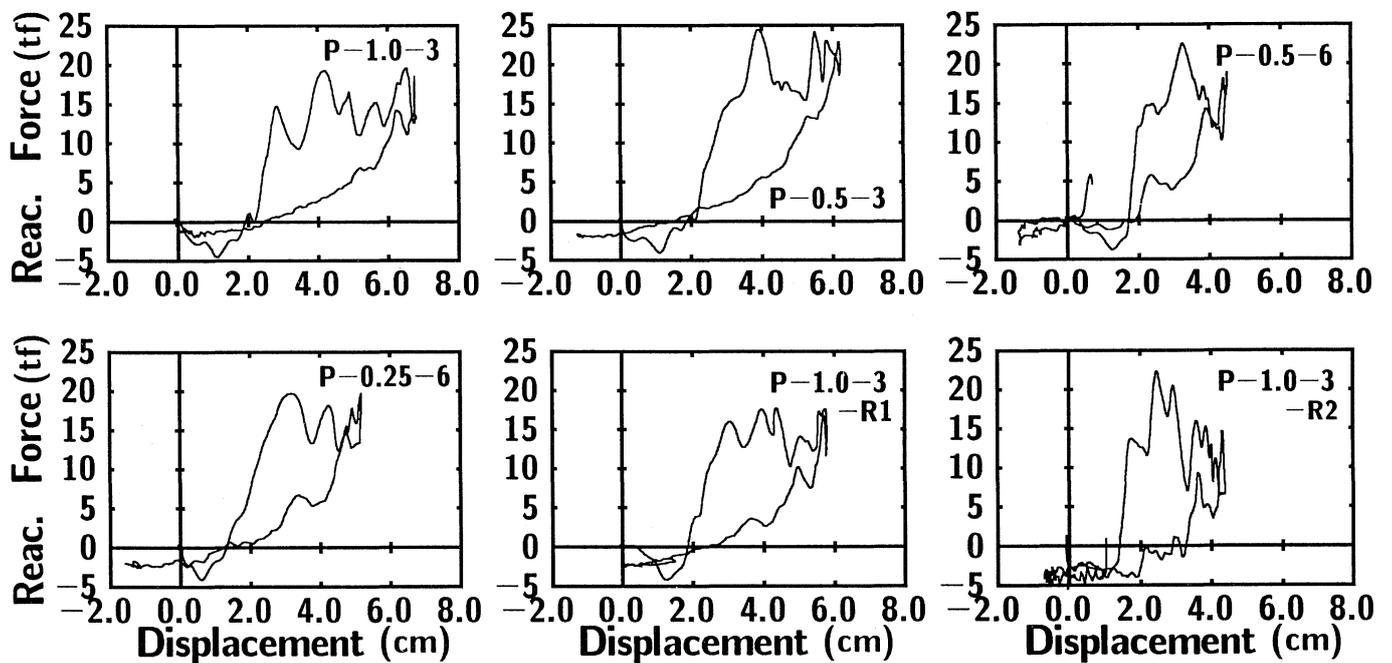


図-6 衝突速度  $V = 7 \text{ m/sec}$  載荷時の全支点反力-載荷点変位曲線

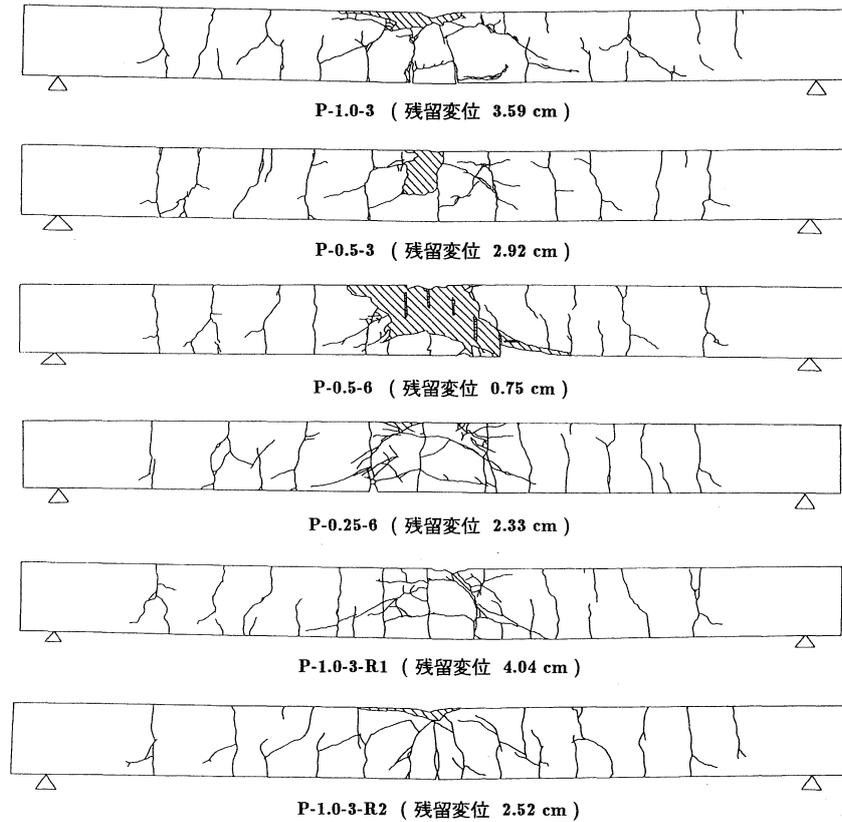


図-7 衝撃荷重実験終了後の各 PRC 梁のひびわれ状況図

表-6 載荷速度  $V = 7 \text{ m/sec}$  時のエネルギー吸収量

試験体名	① $V=7\text{m/sec}$ 時のエネルギー吸収量 (tf·cm)	② 静的載荷時のエネルギー吸収量 (tf·cm)	① / ②
P-1.0-3	33.55	31.05	1.08
P-0.5-3	33.53	46.24	0.73
P-0.5-6	20.48	89.05	0.23
P-0.25-6	28.28	59.54	0.47
P-1.0-3-R1	30.18	44.65	0.68
P-1.0-3-R2	28.60	66.95	0.43

小さい。これは、全支点反力あるいは載荷点変位の主波動継続時間と同様塑性化の程度が最も小さいことに対応しており、最も健全であることを示しているものと判断される。P-0.25-6 と P-0.5-6 において、両者の PC 鋼材本数が等しいものの前者のエネルギー吸収量が後者より大きい。これは、図-2、表-3 の静載荷実験結果からも明らかのように、 $P_{cr}$  後の接線剛性が両者等しいものの、前者の  $P_{cr}$  や  $P_u$  が後者より小さく載荷点変位が大きくなるためと考えられる。また、P-1.0-3、P-1.0-3-R1、-R2 の場合は、PC 鋼材本数、緊張率が等しく、ひびわれ制

御用の異形鉄筋量のみが異なる場合であるが、異形鉄筋量に応じて吸収エネルギー量が小さく示されている。この結果も静載荷実験結果に示されているように、異形鉄筋量の増大とともに  $P_{cr}$  後の接線剛性や  $P_u$  が大きくなることに対応しているものと考えられる。

次に、静載荷実験結果に対するエネルギー吸収比率について考察する。表より、P-1.0-3 は既に静的エネルギー吸収量と同程度に達していることがわかる。それに対し、P-0.5-3 は 70% 前後で緊張率低減による効果が示されている。P-1.0-3-R1、-R2 は異形鉄筋量に対応してエネルギー吸収比率が低下しており、異形鉄筋量のエネルギー比率低減に関する効果が明確に示されている。本研究では、P-0.5-6 の梁が最もエネルギー吸収比率が小さく、耐衝撃性に優れていることがわかる。

以上、繰り返し衝撃載荷実験結果より、ひびわれ制御のため下端筋に異形鉄筋を配置して PRC 梁にすることや、PC 鋼材の緊張率を 50% 程度に小さくすること、あるいは PC 鋼材数を増やすことにより、現状の設計手法に基づいた PC 梁よりも、耐衝撃性が向上することが明らかになった。

#### 4.3 衝撃荷重実験後のひびわれ状況

図-7 には載荷速度  $V = 7 \text{ m/sec}$  までの繰り返し荷重

載荷実験終了後の各梁のひびわれ図および最大残留変位値を示している。静載荷時に発生するひびわれ(図-3)は、前述のように載荷点部を中心に最大でもスパン長の1/2程度の領域に分布している。一方、重錘落下衝撃実験の場合には、いずれの梁に関してもひびわれはほぼスパン全体かつ上下に貫通した状態で分布していることがわかる。これは、繰り返し荷重載荷によって塑性化が支点方向に進展すると同時に、リバウンドによって梁が負載荷状態になることに起因しているものと考えられる。

P-1.0-3, P-0.5-3 を比較すると、P-1.0-3 の場合には中央部下端に幅の広い曲げひびわれが発生し、角折れに近い状態になっている。一方、P-0.5-3 の場合は、載荷点近傍部のかぶりコンクリートが剝離しているものの、中央部下端のひびわれ幅も小さく正負載荷状態の曲げせん断ひびわれが発生する程度である。

P-0.5-6 の場合には載荷点部の押し抜け型のせん断ひび割れとともに、側面および下端のかぶりコンクリートが剝離している。それ以外は、P-0.5-3 と同様のひびわれ分布性状を示している。中央部コンクリートの大きな剝離は、静載荷実験結果からも明らかなように、耐力や曲げ剛性が大きい見かけ状の衝撃力が大きく鉄筋によって拘束されていないコンクリート部が割裂状態になったため発生したものと考えられる。それは、残留変位が0.75 cm と最も小さいことから類推される。

P-0.25-6 は全緊張力がP-0.3-5 と等しい場合であるが、載荷点部の押し抜けせん断ひびわれがより顕著に示されている。また、残留変形量も0.6 cm 程度小さいことより、静載荷時同様 PC 鋼材量が多い場合には曲げ剛性が大きく評価されることが類推される。

P-1.0-3, P-1.0-3-R1, -R2 を比較すると、静載荷時同様ひびわれ制御鉄筋量に対応して載荷点近傍部の損傷の程度も小さかつひびわれの分散性も改善されていることがわかる。

## 5. まとめ

耐衝撃性に優れた PC ( PRC ) 覆工の部材設計法を確立するための基礎資料を得ることを目的として、PC 鋼材の本数、緊張率、ひびわれ制御のための下端異形鉄筋量を変化させた場合の静的耐荷性状や耐衝撃性、エネルギー吸収量に着目して6種類の矩形 PRC 梁を用いた実験を行った。本研究で得られた結果を要約すると：  
静載荷実験結果より、

(1) PC 鋼材量が同一の場合には、緊張率を50%程度に低減させることにより、静的耐力を同程度に保ちつつエネルギー吸収量を50%程度増加させることが

できる。

- (2) 梁下端に異形鉄筋を配置して PRC 梁とすることにより、エネルギー吸収能を向上させることができる。
  - (3) PC 鋼材の全緊張力を一定とし、緊張率を50%、鋼材量を2倍にすることにより、静的耐力は1.7倍、エネルギー吸収量は3倍弱に向上する。
- 衝撃荷重載荷実験結果より、
- (4) 重錘衝撃力、全支点反力、載荷点変位はPC 鋼材の緊張率や本数、異形鉄筋量に関わらずほぼ類似の応答波形を示す。
  - (5) 全支点反力や載荷点変位波形の継続時間は、梁の剛性の低下に対応しているようである。また、載荷点部の塑性化の程度の進行により、載荷点変位の継続時間は全支点反力のそれより延びる傾向にある。
  - (6) ひびわれ制御のために異形鉄筋を配置し PRC 梁とすることや、PC 鋼材の緊張率を50%程度に小さくすることあるいはPC 鋼材量を増やすことにより、衝撃荷重載荷時のエネルギー吸収量や静的なエネルギー吸収量に対するエネルギー吸収比率を低下させ、耐衝撃性を向上させることが可能である。

謝 辞：本実験を行うにあたり、室蘭工業大学建設システム工学科大学院生の亀石 暁君(現、北海道開発コンサルタント(株)勤務)と吉川 卓君に多大なる御支援を頂いた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- (1) 今野久志, 佐藤弘史, 長尾彰洋: PC 鋼材量および鉄筋の割合を多くした PRC 梁の衝撃実験について, 土木学会第 49 回年次学術講演会講演概要集, 1-B, 1994, pp.1620-1621.
- (2) 岸 徳光, 佐藤昌志, 中野 修: 三層緩衝構造の緩衝性能に関する大型野外実験, 構造工学論文集, Vol.41A, 1993.6, pp. 230-235.
- (3) 佐藤昌志, 岸 徳光, 松岡健一: 三層緩衝構造の伝達衝撃力算定式の定式化, 構造工学論文集, Vol. 42A, 1996.3, pp. 1337-1346.
- (4) 佐藤昌志, 西 弘明, 岸 徳光, 松岡健一: 三層緩衝構造を用いた実規模 PC 製落石覆工の重錘落下衝撃挙動, 構造工学論文集, Vol. 42A, 1996.3, pp. 1347-1356.
- (5) 岸 徳光, 三上 浩, 竹本伸一: PRC 梁の耐衝撃性に関する基礎的研究, 第3回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 土木学会, Vol. 3, 1996.6, pp. 301-304.

# 分散画像処理システムの検討

畑中 雅彦\*<sup>1</sup>, 寺崎 仁司\*<sup>1\*2</sup>, 大沢 幸\*<sup>1</sup>

## Distributed Image Processing System

Masahiko HATANAKA, Hitoshi TERASAKI and Miyuki OHSAWA

(原稿受付日 平成9年5月9日 論文受理日 平成9年8月20日)

### Abstract

We have been studying to construct some heterogeneous distributed computing systems, particularly for computer graphics and image processing. Heterogeneous distributed computing is a process whereby a set of various computers connected by a network are used collectively to solve a single large problem. In this kind of system, its system performance strongly depends on not only the performance of each computer but the data transfer speed on the network and the ability of the network file system. In this paper, we report the actual data transfer limitation on Ethernet and the characteristics of the network file system (NFS) measured by experimentally constructed 3D image processing systems, and proposed a practical network configuration at reasonable cost.

Key words : Heterogeneous Network Computing, Ethernet, Collision, NFS server, MIP

### 1. はじめに

近年、マイクロエレクトロニクス分野の急激な進歩によって出現した高性能で安価なワークステーション(以下 WS と略記する)やパーソナル・コンピュータ(以下 PC と略記する)とデジタル通信技術の発展がもたらしたコンピュータ・ネットワーク技術により、分散配置された多数の計算機を複合的に利用する分散処理が注目されてきている<sup>(1, 2, 3)</sup>。

筆者らも研究室内ネットワーク<sup>(4)</sup>の高度利用研究の一環として、コンピュータ・グラフィックスの基本的

な処理であるレイ・トレーシング処理を対象にコンピュータ性能の動的な評価法やタスク分配法を中心課題として、ネットワーク分散処理システムの研究を行っている<sup>(5, 6, 7)</sup>。さらに、多数の2次元画像および3次元画像を対象とした画像処理システムのための分散処理システム構築の研究にも着手した。これらの画像処理システムでは大量のデータをハンドリングする必要があり、コンピュータの処理能力に応じたタスクの最適分配等の問題の他に、ネットワークのデータ転送能力やデータベースのアクセス能力が分散処理システムの性能を決定する<sup>(8)</sup>。これらの研究の特徴は、フリーのPC-UNIXを導入したPC<sup>(9)</sup>をはじめとしてハードウェア・アーキテクチャも性能も大きく異なる複数のコンピュータを有効に利用して、安定で効率の良い不均質な分散処理(Heterogeneous Network Computing)システ

\*1 情報工学科

\*2 現在、日本電信電話株式会社

ムの構築を対象としていることである。

今回、分散画像処理システムを構築する上で重要となるネットワークのデータ転送能力および画像データベースのアクセス能力について、実験により定量的に評価するとともに追加投資効果の良い性能改善策について検討したので報告する。評価のために構築した実験システムは、医用画像診断の現場で用いられている単純な3次元画像処理を対象としたシステムである。

## 2. 分散画像処理用実験システムの概要について

本研究で対象としている分散処理システムは、高速並列処理装置 (Massively Parallel Processors, MPPs) のように分散処理のみに専念する専用コンピュータや特殊な高速ネットワークを必要としない、汎用のローカル・エリア・ネットワーク (LAN) の上に構築されるシステムである。この LAN の構成要素としては、現在最も普及している UNIX WS や IBM-PC 互換の PC 等からなるコンピュータ群を 10 [Mbps] の Ethernet で相互接続したものを基本とした<sup>(4)</sup>。オペレーティング・システム (OS) は、マルチタスク・マルチユーザ環境を提供する、商用 UNIX (DG/UX, Solaris, SunOS, BSD/OS, 4.4BSD+) およびフリーの PC-UNIX (FreeBSD, Linux)<sup>(9)</sup> である。分散処理システムの実装に関しては、Open Network Computing (ONC) の Remote Procedure Call (RPC) ライブラリとツール<sup>(2)</sup> を利用したシステムと Parallel Virtual Machine (PVM) ソフトウェア<sup>(10)</sup> を用いたシステムを構築した。

本実験システム構築の主目的は分散画像処理システムの基本性能を左右するネットワークのデータ転送能力やネットワーク・ファイル・システム (NFS) 上に構築された画像データベースのアクセス性能に関する評価なので、磁気共鳴血管映像法 (Magnetic Resonance Angiography, MRA)<sup>(11, 12)</sup> で得られたマトリクス・サイズ 512\*512\*64 の人体頭部3次元画像データに対する最大値投影 (Maximum Intensity Projection, MIP) 処理を対象として選択した。MIP 処理は、図1に示すように投影線上の最大値を得て2次元面上に投影する単純な線形探索であり、各コンピュータの処理能力よりも、3次元画像データベースのアクセス速度およびネットワーク経由のデータ転送能力が分散 MIP 処理速度を決める主要な要因となるからである。MRA では、血管の画素値が他の軟部組織より有意に高くなるように撮影されるので、投影線上の最大値を投影することにより血管像を得ることができる。本処理で得られる血管像 (MIP 像) を図2に示す。

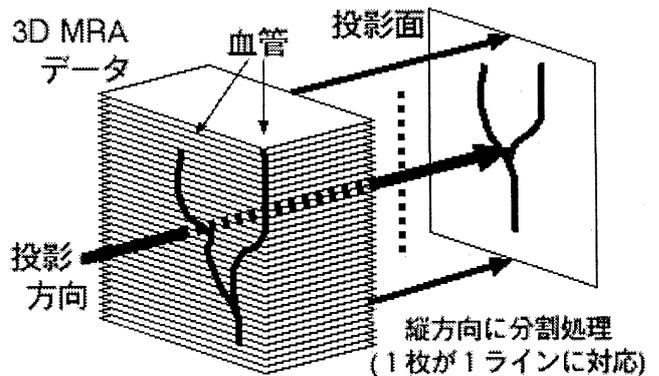


図1 分散 MIP 処理の原理図

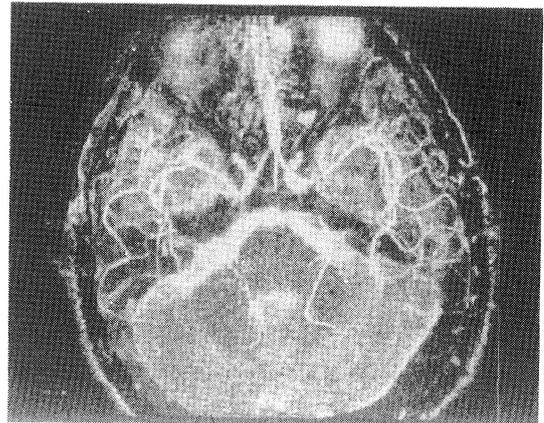


図2 MRA 血管像（頭頂方向からの MIP 像）

## 3. ネットワークのデータ転送能力に関する実験

本章では、ネットワークのデータ転送能力を調べた実験について、実験条件およびその結果をまとめて記述する。

### 3.1 実験システム (1) と実験方法

データ転送能力の計測実験に使用した LAN の構成を図3に示す。ネットワークは一般的な Ethernet で構成され、ケーブルは細い同軸ケーブル 10BASE-2 を主幹として実験室間を接続するとともに、リピータ・ハブ (図中 Hub と表記) によりツイスト・ケーブルを使う 10BASE-T とも接続されている。プロトコルは通常の TCP/IP である。図中 A で示した計算機はネットワーク・ジェネラル社製のネットワーク・アナライザ Sniffer で、LAN 上を流れるパケットのモニタリングに利用した。図中 1~10 で示した計算機は分散 MIP 処理システムを構成する計算サーバであり、その主な諸元を表1にまとめて示す。ただし、計算機 4 は 3次元 MRA 画像データに対する NFS サーバでもあり、計算機 8 は計算サーバを制御するクライアントでもある。

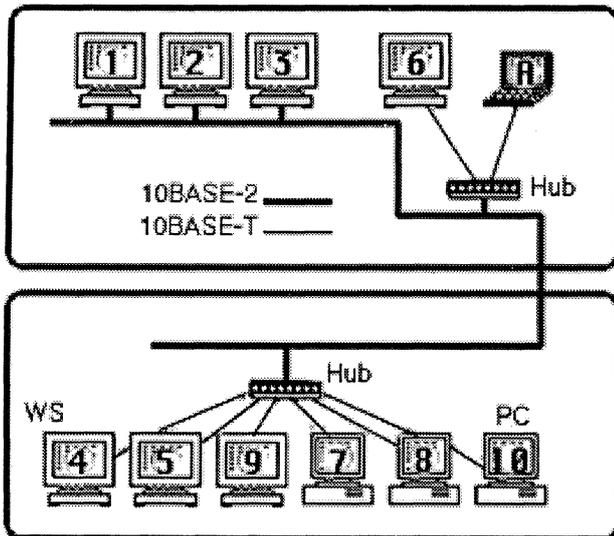


図3 ネットワーク構成(1)

表1 使用した計算機の主な諸元(1)

No.	CPU / Clock [MHz]	RAM [MB]	O S
1	SPARC / 40	48	SunOS 4.1.3
2	SPARC / 33	12	SunOS 4.1.3
3	MC88100 / 17	16	DG/UX 5.4
4	microSPARC / 50	24	SunOS 4.1.3C
5	microSPARC / 50	24	Solaris 2.3
6	microSPARC II / 70	32	Solaris 2.3
7	i486DX2 / 66	16	FreeBSD 2.1.0
8	i486DX2 / 66	16	Linux 1.2.13
9	PowerPC 604 / 100	32	4.4 BSD+
10	Pentium / 133	16	Linux 1.3.48

分散システムの実装方法に関する差異を調べるために、各UNIXに標準実装されているRPCを用いたシステム(RPC版)とフリーソフトウェアPVM version 3<sup>1)</sup>を利用したシステム(PVM版)を構築した。

各計算サーバへのタスクの分配は、動的負荷分散法<sup>6)</sup>を用いた。これは、分配するタスクのサイズを32枚(投影面上で32ライン、図1参照)とし、全ての計算サーバに一律に1タスク分を分配する。次に、処理を終えた高速な計算サーバに対して、未処理のタスクから1タスク分を順次追加配付する方法である。

分散処理システムの性能評価は、以下の手順で行った。1). ネットワークの諸性能を含めた各計算サーバ $j$ の単体性能を評価するために、1クライアント/1サーバの下で分散MIP処理を行い、処理時間 $t_j$ を測定する。計算機8については、クライアントであり計算サーバでもあるという条件の下で測定する。2). 理想的な分散処理システムの処理速度は全計算サーバの処理速度の和となるので、各サーバの処理時間の逆数の総和から、分散処理システムの理想処理時間 $T_0$ を次式にて求める。

$$T_0 = 1 / [\sum_j (1/t_j)] \quad \text{----- (1)}$$

3). この $T_0$ と分散処理システムの実測MIP処理時間 $T$ との比較から、構築したシステムの性能を評価する。

ネットワークのデータ転送能力は、ネットワーク・アナライザ(図1中のA)で実測したネットワーク使用率と理論的最大使用可能率の比較およびパケットの衝突(Collision)発生数から評価した。ただし、データのフレーム長を $P$  [Byte]としフレーム間隔を $\Delta T$  [ $\mu\text{sec}$ ]とすると、10 [Mbps]のEthernetの理論的最大使用可能率 $E$  [%]は次式で与えられる<sup>13)</sup>。

$$E = 80 * P / (0.8 * P + \Delta T) \quad \text{----- (2)}$$

### 3.2 結果と検討(1)

1クライアント/1サーバの条件下で測定した、各計算サーバ単体のMIP処理時間の計測結果を表2に示す。各サーバの処理時間の単純平均をとると約88 [sec]であり、最速の計算機9(約51 [sec])と最も遅い計算機3(約205 [sec])との間の処理時間の差異は4倍程度となった。

表2の測定結果を(1)式に代入して得られる分散処理システムの理想処理時間 $T_0$ は7.61 [sec]であった。この結果から、理想的な分散処理システムの処理スピードは、最速の計算機9単体の処理スピードの約6.7倍となる。

10台の計算サーバを利用して構築した分散処理実験システム上での測定結果例を、表3にまとめる。ネットワーク上に他のユーザがいない状態で実験を行ったが、処理時間の測定値には大きなバラツキが生じた。これは、OSがバックグラウンドで行う各種の管理プロセスの影響や本ネットワーク上の各種サーバへの外部からのアクセスの影響、NFSにおけるディスク・キャッシュの効果等によって生じたものと思われる<sup>6)</sup>。表3の処理時間は、最速の結果である。

<sup>1)</sup> 電子メール・アドレス netlib@ornl.gov も参照。

表2 計算サーバ単体の MIP 処理時間

No.	処理時間 [sec]	No.	処理時間 [sec]
1	59.31	6	65.49
2	91.52	7	89.81
3	205.15	8	105.05
4	73.76	9	51.15
5	70.76	10	64.88

表3 分散 MIP システムの測定結果

	RPC 版	PVM 版
(理想分散 MIP 処理時間)	(7.61 [sec])	(7.61 [sec])
分散 MIP 処理時間	14.69 [sec]	14.20 [sec]
計算サーバ終了時間差	5.83 [sec]	5.64 [sec]
ネットワーク平均使用率	49.78 [%]	57.03 [%]
ネットワーク最大使用率	85.97 [%]	88.62 [%]
平均フレーム長	1013 [Byte]	1056 [Byte]
パケット衝突数	2877 [回]	3110 [回]
衝突発生率	28.34 [%]	31.39 [%]

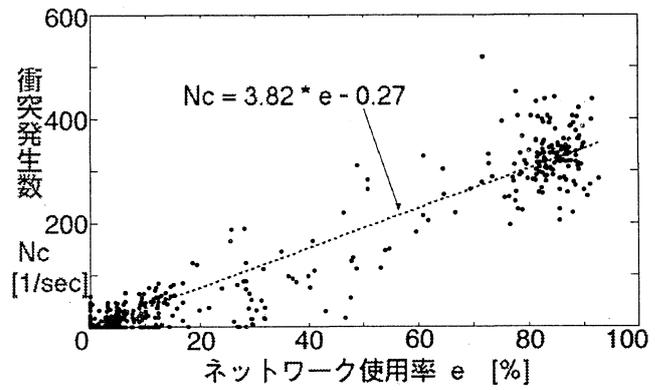


図6 ネットワーク使用率と衝突発生率の関係

構築した分散処理実験システムの処理時間は、RPC版でも PVM 版でも 14 [sec] 程度であり、理想分散処理システムの 50 [%] 強の性能となった。最速計算機 9 単体との比較では約 3.5 倍、使用した計算機の平均性能との比較では 6 倍強の性能が得られた。

表3の計算サーバ終了時間差とは、処理が進んで分配すべき未処理のタスクがクライアント側に存在しなくなった後で、最初に処理を終えた計算サーバと最後に処理を終えた計算サーバとの間の処理終了時間の差である。理想的なタスク分配の下では、全計算サーバが最後に分配されたタスクを同時に処理してシステム全体の処理が終了するので、この時間差は 0 [sec] となる。本実験では 5 [sec] 以上の差となった。この結果から、タスク分配の最適化をより厳密に行えば、さらに計算サーバ終了時間差の半分程度 (~ 2 [sec]) の処理時間の短縮が図れると期待できる (付録参照)。

ネットワーク使用率は平均値で 50 [%] 以上であり、実測された最大使用率は約 86 [%] となった。衝突発生数の総数は 3000 回以上であった。分散処理中のネットワーク使用率の変化および単位時間当りの衝突発生数の変化を図4と図5に示す。表3から平均フレーム数 P を 1030 [Byte] とし、フレーム間隔 ΔT を 300 [μsec] と仮定して、(2) 式から理論的最大使用可能率 E を算出すると 73 [%] となる。図4から、処理時間の半分程度の期間はネットワーク使用率 e が理論的最大使用可能率 E を越えており、衝突数が雪ダルマ式に増えるネットワークの輻奏 (congestion) が大半を占めていたと判断した。

RPC 版のシステムと PVM 版のシステムの比較では、ネットワーク使用に関する諸特性について、大差のない結果であった。

図4のネットワーク使用率と図5の衝突発生数のグラフの形に相似性を認めたので、両者の相関関係を調べた。結果を図6に示す。両者の相関係数は 0.975 であったが、測定値はネットワーク使用率 e が 20 [%] 以

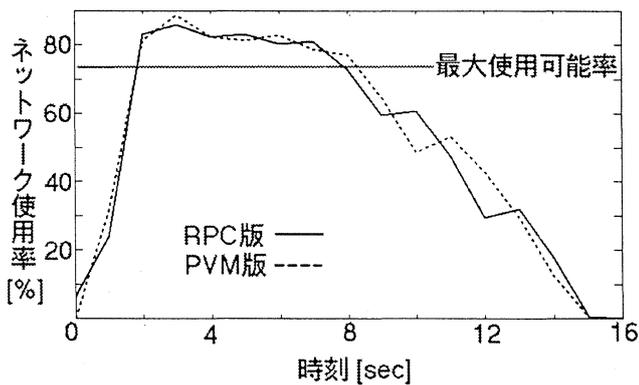


図4 単位時間当りのネットワーク使用率の変動

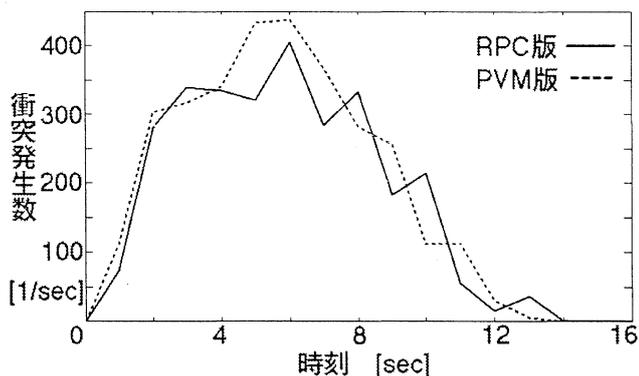


図5 単位時間当りの衝突発生数の変動

下（単位時間の衝突発生数  $N_c$  で 100 [1/sec] 以下）の状態と 80 [%] 以上（衝突発生数で 250 [1/sec] 以上）の状態に集中しており、残りのデータはこの2つの状態間の遷移域と考えることは可能であろう。この観点から見ると、ネットワークの輻奏現象はネットワーク使用率  $e$  が 20 [%] を越えた時点から生じ、80 [%] 付近で飽和状態に達しているとも考えられる。図6から簡単な線形関係は見いだせないが、本分散処理中のネットワーク使用率  $e$  と単位時間当りの衝突発生数  $N_c$  の関係を概観するために、回帰直線を求めてみた。回帰直線の傾きから、ネットワーク使用率が 10 [%] 増えると 1 秒間当りの衝突数が 38 回増加するという、本システムに関する一応の目安が得られた。

以上の結果と検討から、本システムではネットワークのデータ転送能力をフルに使い切っており、これ以上の劇的な性能向上は望めないことが判明した。

ネットワークのデータ転送能力を向上させる手段として 100 [Mbps] の帯域を有する高速ネットワーク (Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN 等)<sup>(14)</sup> の採用が考えられるが、ネットワーク・インターフェースの全数交換などコスト面での問題が大きい。既存ネットワーク設備の利用を考えてデータ転送能力を向上させるためには、図3中のリピータ・ハブ (Hub) をスイッチング・ハブ (SW-Hub) に置き換える対策が有効であると思われた。スイッチング・ハブはパケットのアドレスを調べて必要なケーブルのみにパケットを流すので、スイッチング・ハブと各計算機との間が Point-to-Point で接続されることになり、ケーブルの帯域 10 [Mbps] を占有して利用できることになる。

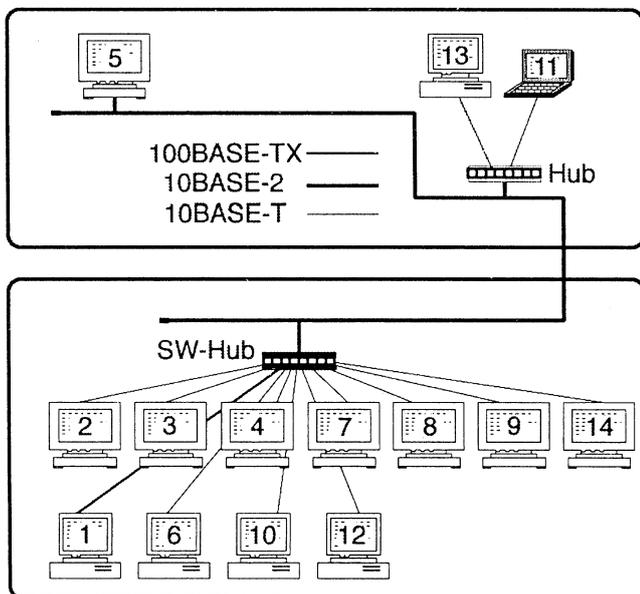


図7 ネットワーク構成 (2)

変更後のネットワークの構成を図7に示す。使用したスイッチング・ハブは 3Com 社製の LinkSwitch 1000 で、10BASE-T ポートを 24 個、100BASE-TX ポートを一つ搭載している。図7に示した 14 台の計算サーバを利用して上記と同じ分散 MIP 処理を行ったが、衝突発生数は常にほぼゼロに抑えられており、輻奏現象の発生を回避できた。

#### 4. ファイル・アクセス能力に関する実験

##### 4.1 実験システム (2) と実験方法

ネットワーク・ファイル・システム (NFS) を利用した 3次元 MRA 画像データベースへのアクセス能力評価を、図7に示すネットワーク構成で行った。スイッチング・ハブ (SW-Hub) と計算機 1 の間のみが 100 [Mbps] の Fast Ethernet (100BASE-TX) であるが、他は全て 10 [Mbps] の Ethernet である。使用した 14 台の計算サーバの主要な諸元を表4に示す。計算機 1 はクライアント・プロセスも稼働させた。NFS サーバ・プロセスは、1 台目として計算機 1 上で、2 台目・3 台目として計算機 4 と 7 の上で稼働させた。各 NFS サーバには、あらかじめ同じ画像データを用意しておいた。

表4 使用した計算機の主な諸元 (2)

No.	CPU / Clock [MHz]	RAM [MB]	O S
1	Pentium / 133	48	FreeBSD 2.2
2	microSPARC II / 70	32	Solaris 2.3
3	microSPARC / 50	24	Solaris 2.3
4	SPARC / 40	48	SunOS 4.1.3
5	SPARC / 33	12	SunOS 4.1.3
6	PentiumODP / 83	32	Linux 1.2.13
7	microSPARC / 50	24	SunOS 4.1.3C
8	PowerPC 604 / 100	48	4.4 BSD+
9	PowerPC 604 / 133	64	4.4 BSD+
10	Pentium / 100	24	BSD/OS 2.1
11	i486DX4 / 75	32	FreeBSD 2.1
12	Pentium / 120	16	BSD/OS 2.1
13	i486DX4ODP / 75	10	FreeBSD 2.2
14	HyperSPARC / 125	64	Solaris 2.5

PVM 版のシステムのみを対象とした。タスク分配は同じ動的負荷分散法を用いたが、計算サーバ数が増えたのでタスクの分配単位を 32 枚から 16 枚に変更した。分散システムの性能評価法は、前章と同様の手法を用い、各計算サーバ単体の処理時間から理想的処理速度(理想処理時間の逆数)を求め、これを実測の処理速度と比較することを基本とした。

本実験では、表 4 に示した計算サーバの台数と組み合わせを変えて種々の理想的処理速度を有する複数の分散 MIP 処理システムを構成し、各システムの性能を測定した。

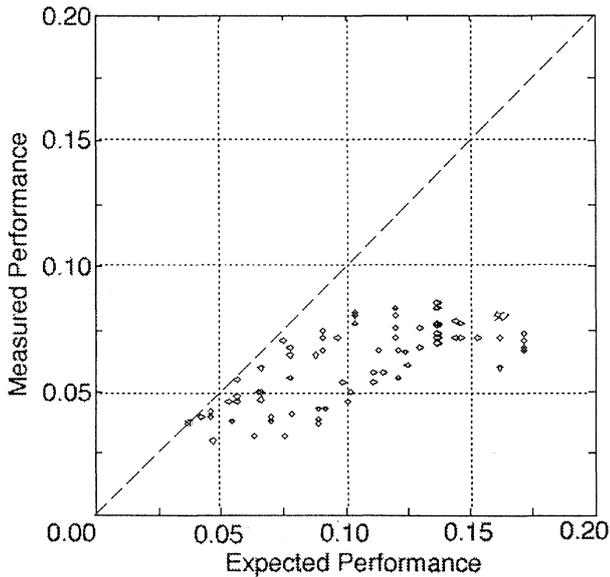


図 8 NFS サーバが 1 台の時の分散 MIP 処理システムの性能特性

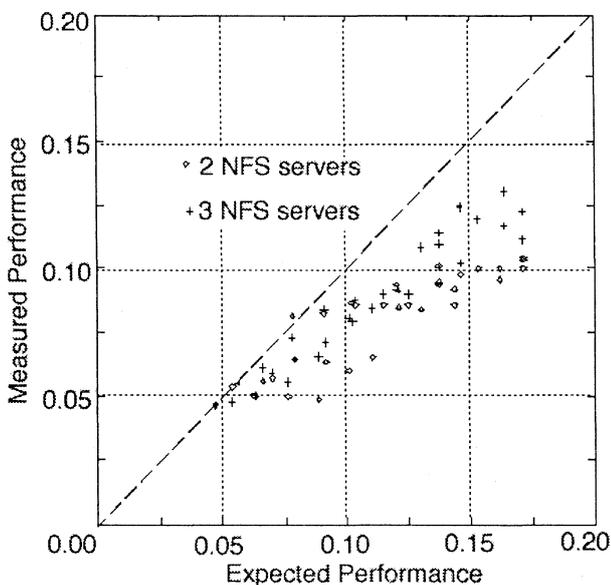


図 9 NFS サーバが 2 台と 3 台の時の分散 MIP 処理システムの性能特性

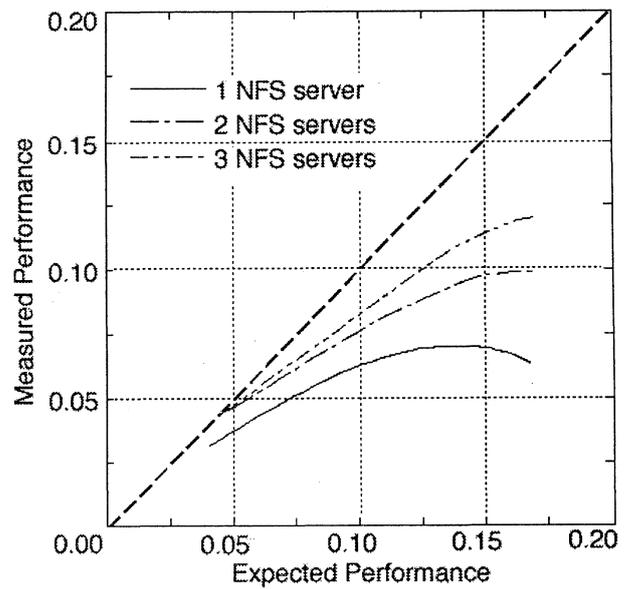


図 10 分散 MIP 処理システムの性能特性と NFS サーバの台数との関係 (まとめ)

また、NFS 画像データベースの能力の変更は、分散システムがアクセスする NFS サーバの台数を 1 台から 3 台まで変化させることにより実現した。ただし、複数台の NFS サーバを利用する場合、1 台当りの NFS サーバがサポートする計算サーバの台数になるべく均等になるように配慮して分散システムを構成した。このようにして NFS サーバの台数を増やすことにより、各 NFS サーバは担当する計算サーバからのファイル・アクセス要求に十分に応答できるようになると考えた。

#### 4.2 結果と検討 (2)

3次元 MRA 画像データベース用 NFS サーバを計算機 1 でのみ稼働させたときの、分散 MIP 処理システムの性能特性を図 8 に示す。横軸は分散 MIP 処理システムの理想処理速度 (Expected Performance) で、縦軸は実測処理速度 (Measured Performance) を表す。実測結果にかなりのバラツキがみられたが、1). 理想処理速度を上げると実測処理速度がすぐに飽和傾向を示すこと、2). さらに理想処理速度を上げると実測処理速度が逆に下がる傾向を有することがわかる。これら分散 MIP 処理システムで得られた最短の処理時間は約 11.6 [sec] であり、その構成における理想分散処理システムの 65 [%] 程度の性能であった。前章における実験システムと比べて、本システムではネットワーク・データ転送能力の改善および計算サーバ群の大幅な増強を行っているが、その効果は十分には現れなかった。

次に NFS サーバを 2 台および 3 台にして、同様の実験を行った結果を図 9 に示す。図 8 の場合と同様に結

果にバラツキはあるが、NFS サーバ数を増やしてデータベースのアクセス能力を向上させることにより、飽和傾向が現れる理想処理速度の値が大きくなってきた。以上の結果から、理想処理速度を上げることで実測処理速度が下がる現象は、データベースのアクセス能力の限界に起因していたと結論できた。また、NFS サーバが2台のときの最短処理時間は約 9.7 [sec] (その構成における理想分散処理システムの 60 [%] 程度の性能)、3台のときの最短処理時間は約 7.7 [sec] (その構成における理想分散処理システムの 79 [%] 程度の性能) であり、前章の分散 MIP 処理システムの最大性能の 1.8 倍以上の性能が得られた。

図8と図9の結果をまとめた、分散 MIP 処理システムの平均的な性能特性を図10に示す。NFS サーバを複数化することの効果は、a). 処理速度向上が頭打ちとなる理想処理速度上限を引き上げるだけでなく、b). 理想処理速度に対する実測処理速度の比も改善されることである。

しかし、データベースを提供する NFS サーバの複数化は、分散処理システム内に大容量のデータを冗長に保持するだけでなく、(今回の性能評価では考慮しなかったが) データベース内容のコピー配付作業のために生ずるオーバー・ヘッドも重要な問題となる。これらの問題をも解決するためには、NFS サーバの複数化の2つの効果 — i). ファイル・システムの並列動作によるファイル・アクセスの高速化と ii). NFS サーバとスイッチング・ハブ間の Point-to-Point ネットワークの並列動作によるデータ転送能力の確保 — を考慮して、Ultra Wide SCSI 対応のハードディスクやディスク・アレイなどの高速ディスク・システムを有する専用の NFS サーバを確保してスイッチング・ハブとの間を Fast Ethernet 等の高速ネットワークで結ぶサブ・システムの導入が、現実的で有効な対策であると考えている。

## 5. まとめ

最近の標準的なコンピュータ・ネットワーク環境である、Ethernet とワークステーションや PC を利用して分散画像処理システムを構築するための実験的な検討を行った。大量のデータのハンドリングが必要な画像処理システムでは、1). 計算サーバの処理能力や 2). タスクの最適分散法などの一般的な分散処理システムで問題となる事項のほかに、3). ネットワークのデータ転送能力や 4). データベースのアクセス性能も重要な要素になる。

本報告では、上記の 3). 項および 4). 項について以下に示す結果を得た。

3)-1. Ethernet による一般的な LAN 上で分散画像処理システム構築した時、ネットワークの低いデータ転送能力のために容易に輻奏現象が生ずることを、実験的に明かにした。

3)-2. 輻奏現象を回避するための低コストの方策として、Ethernet 用スイッチング・ハブが有効であることを検証した。

4)-1. NFS を利用したデータベースを考えたとき、そのアクセス性能が分散画像処理システムの性能に重要な影響を与えることを、実験的に明かにした。

4)-2. 上記 3)-2. 項の対策を行った LAN において、データベースのアクセス能力維持に留意すれば、最低 15 台程度までは計算サーバを増やして分散画像処理システムの性能を向上させ続けることができることを明らかにした。

今回構築した分散画像処理システムの処理内容は非常に単純であり、その分上記の 3). 項と 4). 項の影響が直接的にシステムの性能を左右した。現実の画像処理システムでは、より高度な計算能力を必要とする画像処理が多いと思われる。このような状況では、画像データの入出力に係わる 3). と 4). 項の性能限界がシステム性能に及ぼす影響は相対的に低くなるので、さらに多数の計算サーバを用いたより高性能な分散画像処理システムの実現が可能となると思われる。

今後は、高速ディスク・システムを持つ専用の NFS サーバの導入によるシステム性能特性の変化の検証や負荷分散最適化手法の適用、より現実的な画像処理を対象とした分散画像処理システムの構築等の研究を進めていきたい。

本研究で使用した 3 次元 MRA 画像データを提供してくださった (株) 東芝那須工場医用機器第四技術部の町田好男氏ならびに児島富美敏氏に感謝します。また本研究の一部は、本学教育研究学内特別経費「生命情報の知的分散処理認識に関する研究」(平成 6 年度～平成 8 年度) からの補助を受けてなされたことを、感謝をもってここに付記します。

なお本研究の要旨の一部は、日本医用画像工学会第 15 回大会<sup>(15)</sup> および平成 8 年度電気関係学会北海道支部連合大会<sup>(16)</sup> にて発表した。

負荷分散法は, 計算サーバの処理能力に応じたタスク・サイズを決めて(一度に)静的に分配する静的負荷分散法と本実験で利用した動的負荷分散法に大別される<sup>(6, 10)</sup>. 各計算サーバの処理能力が異なるのみならず計算サーバおよびネットワーク等の資源を完全に占有できない環境下での構築を前提とした, 性能が動的に変化する不均質な分散システムでは, 各計算サーバの処理能力をすばやく正確に評価することは容易ではないので, 動的負荷分散法が有利である.

動的負荷分散法では, タスク・サイズをより小さくすることにより, 計算サーバの終了時間の差を短縮することが可能となる. しかし, 本実験の前に行った予備実験の結果では, タスク・サイズを下げることでより終了時間差の短縮はできたが, 処理時間は逆に延長した<sup>(17)</sup>. 本分散 MIP 処理では, 各計算サーバの処理能力の差異が直接影響する MIP 処理そのものほかに, ネットワークを経由した画像データの入出力処理があり, そのウェイトが大きい. 後者は, 全計算サーバが同等のアクセス権を有するネットワークと NFS を利用するので, 計算サーバの処理能力にあまり依存しない一律の負荷(オーバー・ヘッド)になると考えられる. このオーバー・ヘッドの影響が大きすぎて, 上記のような単純なタスク分配の最適化では効果が現れなかったものと推定している. よって, 本システムに対するタスク分配最適化の問題は, ネットワークおよび NFS 等のオーバー・ヘッドに関する基礎的な検討の後で研究すべき課題と考えている.

#### 参考文献

- (1). 山本強: ネットワーク分散処理による高速画像生成, 日本ソフトウェア科学会第 8 回大会, (1991) pp.1-4
- (2). J.Bloomer: Power Programming with RPC, O'Reilly & Associates, Inc., (1992) pp.19-41
- (3). A.Geist, A.Beguelin, J.Dongarra, et al.: PVM: Parallel Virtual Machine - A Users' Guide and Tutorial for Networked Parallel Computing, The MIT Press, (1994) pp.1-9
- (4). 畑中雅彦, 寺崎仁司: 研究室内コンピュータネットワークの構築実験, 室工大研究報告(理工編), 45 (1995) pp.101-116
- (5). 寺崎仁司, 畑中雅彦: PC-UNIX を利用した分散処理環境について, 平成 7 年度電気関係学会北海道支部連合大会, (1995) p.457
- (6). K.Qureshi, H.Terasaki, M.Hatanaka: A Network Parallel Distributed Processing System using by PCs and WSs, 開発技報, 38 (1996) pp.1-8
- (7). K.Qureshi, M.Hatanaka: An Investigation on Link Failures and Recovery in Parallel Distributed Processing System, The Second InterMedia Symposium, Sapporo '97, (1997) pp.64-69
- (8). 亀田恒彦, 山下雅史: 分散アルゴリズム, 近代科学社, (1994) pp.16-19
- (9). 近藤武郎, 畑中雅彦: Free PC-UNIX を利用したワークベンチの構築, 室工大研究報告(理工編), 45 (1995) pp.117-128
- (10). A.Geist, A.Beguelin, J.Dongarra, et al.: PVM: Parallel Virtual Machine - A Users' Guide and Tutorial for Networked Parallel Computing, The MIT Press, (1994) pp.19-62
- (11). D.D.Stark, W.G.Bradley: Magnetic Resonance Imaging (2nd ed.), 1, Mosby-Year Book, Inc., (1992) pp.299-334
- (12). 町田好男: 血管イメージング技術の進歩—MRI, 日獨医報, 11, 4 (1997) pp.731-737
- (13). 林宏昭: 物理層とデータリンク層のトラブル・シューティング, OPEN DESIGN, 2, 1, CQ 出版社, (1995) pp.32-38
- (14). 山口英: 高性能ネットワークへの挑戦 (1), UNIX MAGAZINE, 10, 8, (株) アスキー, (1995) pp.41-46
- (15). 畑中雅彦, 寺崎仁司: PC-Unix を利用したネットワーク並列分散医用画像処理システムの検討, Medical Imaging Technology, 14, 4 (1996) pp.487-488
- (16). 大沢幸, 寺崎仁司, 畑中雅彦: PC-UNIX を利用した分散処理環境について (2), 平成 8 年度電気関係学会北海道支部連合大会, (1996) p.31
- (17). 寺崎仁司: ネットワークによる並列分散画像処理システムに関する研究, 平成 7 年度室蘭工業大学大学院修士論文, (1996) pp.61-63, pp.69-70

# 弱導波光ファイバ形モード変換器の2次元数値解析

林 涛\*<sup>1</sup>, 江口 真史\*<sup>2</sup>, 今井 正明\*<sup>1</sup>

## 2-D Numerical Analysis of a Weakly Guiding Fiber-Type Mode Converter

Tao LIN, Masashi EGUCHI and Masaaki IMAI

(原稿受付日 平成9年5月9日 論文受理日 平成9年8月20日)

### Abstract

A mode converter in which selective coupling between the  $LP_{01}$  mode of a single-mode fiber and the  $LP_{11}$  mode of a two-mode fiber takes place has application as a modal filter for the construction of in-line all-fiber optical components. In this paper, a simple analysis using effective index method that approximates a round optical fiber into a 2-D structure of a 3-layers and 5-layers slab waveguide within the constraint of equal cross-section is presented. Numerical results based on FFT beam propagation method (FFT-BPM) and coupled mode theory (CMT) are shown and discussed for validity of this efficient method. We propose an efficient and simple method of analyzing guided optic devices in good accuracy and in short time with combination of FFT beam propagation method (FFT-BPM) and coupled mode theory (CMT).

Key word : Mode Converter, Effective Index Method, Coupled Mode Theory, Beam Propagation Method, Phase Matching

### 1.はじめに

光ファイバ通信, 光ファイバセンサ, 集積型光導波エレクトロニクスなどの分野が急速に発展するのに伴い, 全光ファイバ形デバイスに関する関心が高まってきた. そこでは様々な機能をもつ光ファイバデバイスが研究されている<sup>(1)</sup>. 最近, モード変換の特性を利用して, 分散補償器<sup>(2)</sup>, 周波数シフタ<sup>(3)</sup><sup>(4)</sup>, 狭帯域フィルタ<sup>(5)</sup>, モードフィルタ<sup>(6)</sup>などの光通信・光センシングで要求される機能を実現する多くの光デバイスが報告されている. これまでに提案されているモード変換器には, マイクロベンディング型<sup>(7)</sup>, グレーティング型<sup>(8)</sup>, テーパー型<sup>(9)</sup>, カプラ型<sup>(10)</sup>, 軸ずれ型<sup>(11)</sup>, コア変形型<sup>(12)</sup>, 複屈折型<sup>(4)</sup>な

どがある.

これらの光ファイバモード変換器を設計するには, モード変換特性を正確に把握することが重要である. そのため数値的な特性解析法の導入が検討されている. 本研究では, 単一モード光ファイバとデュアルモード光ファイバを組み合わせた非対称弱導波方向性結合器型モード変換器の数値解析を行う. 2次元スラブ近似に基づいたビーム伝搬法(BPM)とモード結合理論(CMT)により数値解析して, その有効性を計算精度及び処理時間から検討した.

### 2.光ファイバモード変換器の原理

本研究の対象とするモード変換器は, 弱導波単一モード光ファイバとデュアルモード光ファイバを組み合わせた方向性結合器型のものである. デュアルモード光ファイバは, 基本モードと第1高次モードが伝搬するように設計された光ファイバである. その構造を図1に示す. 図中の  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  はそれぞれ単一モード光ファイバのコアの屈折率, デュアルモード光ファイバのコアの屈折率, 2つの光ファ

\*1 室蘭工業大学工学部電気電子工学科, 室蘭市

\*2 室蘭工業大学工学部附属情報メディア教育センター, 室蘭市

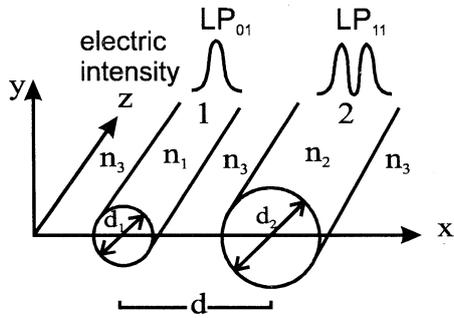


図 1. モード変換器の構造

ファイバのクラッドの屈折率を表わしている。

光ファイバ中を伝搬する各モードは固有の伝搬定数をもっている。通常、これらの伝搬速度が違うため、各モード間には結合は生じない。いま、2つのモードの伝搬定数をそれぞれ  $\beta_1$ 、 $\beta_2$  と仮定する。伝搬定数差は

$$\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1 \quad (1)$$

と表わされる。 $\Delta\beta \neq 0$  の場合には、ある距離伝搬すると、2つのモードの位相差がちょうど  $2\pi$  だけ変化しビートが生じる。この距離は光ファイバのビート長と呼ばれる。しかし、何らかの方法で周波数シフトを導入すると、2つのモードの間で位相整合をとることができる。このとき2つのモード間に強い結合が起きる。例えば、光ファイバに沿って音波を伝搬させると<sup>(3)(4)</sup>、このビート長と同じ周期の屈折率の揺らぎが生じ、これを介在にしてモード間に結合が生じる<sup>(5)(6)</sup>。この場合に、(1)式は

$$\Delta\beta = \Delta k + \beta_2 - \beta_1 \quad (2)$$

となり、位相整合条件  $\Delta\beta \equiv 0$  が満たされる。ここで、 $\Delta k$  は伝搬する音波の波数を表わし、周期的な屈折率揺らぎにより位相整合がとれる例である。[1.はじめに]中に挙げたモード変換器はすべて位相整合条件を満たすことによって実現している<sup>(7~11)</sup>。

図 1 に示す非対称モード変換器では、適切な屈

表 1 光ファイバモード変換器のパラメータ

光の波長	$\lambda=1.55(\mu\text{m})$
コア 1,2 の屈折率	$n_1=n_2=1.45$
クラッドの屈折率	$n_3=1.4460797$
導波路 1 のコア径	$d_1=8.9(\mu\text{m})$
導波路 2 のコア径	$d_2=17.463(\mu\text{m})$
コア中心間の距離	$d=20(\mu\text{m})$
計算領域	$L=100(\mu\text{m})$

折率分布をもつ単一モード光ファイバとデュアルモード光ファイバが隣接している。単一モード光ファイバの基本モード  $LP_{01}$  とデュアルモード光ファイバの第 1 高次モード  $LP_{11}$  との間で位相整合が起こると、モードの変換が生じる。表 1 にファイバ 1 の基本モードとファイバ 2 の第 1 高次モードの伝搬定数がほぼ等しくなる構造パラメータの一例を示す。この場合には両者のモード間で位相整合条件が満たされる。

次節では、最初に等価屈折率法を用いて 3 次元弱導波光ファイバモード変換器を 2 次元の 3 層および 5 層スラブ導波路に近似する。次に、FFT ビーム伝搬法とモード結合理論を用いて、この近似した 2 次元のモード変換器の特性解析を行う。

### 3.等価屈折率法によるスラブモデル

図 2(a) に示すような円形光ファイバを図 2(b) に示すような円形光ファイバと同一のコア断面積を持つ方形導波路に近似する。図 1 のモード変換器に用いられる光ファイバは弱導波光ファイバなので、このような近似は実用上はそれほど問題のない解を得ることができる<sup>(13)(14)</sup>。従って、数値計算モデル化として、ファイバ 1 は単一モード導波路、ファイバ 2 はデュアルモード導波路と仮定し、それぞれの円柱形ファイバを矩形の境界面をもちかつ同じ断面積をもつ導波路に変換する<sup>(15)</sup>。一般に、比屈折率差  $\Delta = (n_{\text{core}} - n_{\text{clad}}) / n_{\text{core}} \ll 1$  が成り立つ弱導波路矩形導波路に沿う波はほぼ平面波に近く、電磁界の軸方向成分も小さい。それゆえ、矩形誘電体線路における導波モードは、一般に電界の主成分が  $x$  方向であるか  $y$  方向であるかによって、 $E^x$  モードと  $E^y$  モードとに区別できる。それらのモードの伝搬特性は、

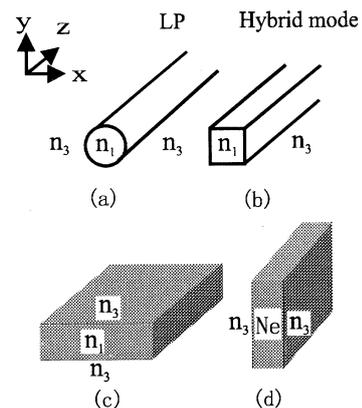


図2 円形光ファイバの2次元スラブ導波路近似

マクスウェルの方程式から導出されるベクトル波動方程式を解いて、すなわち、ベクトル波解析を行うことによって求められる<sup>(16)</sup>。

ところで、これらの  $E^x$ ,  $E^y$  モードは、 $H_x=0$  となる  $TM^x$  モードと  $E_x=0$  となる  $TE^x$  モードとが結合したハイブリッドモードと考えることができる。一般に、 $E^x$  モードでは  $TM^x$  モードが優勢であり、 $E^y$  モードでは  $TE^x$  モードが優勢である。このため、 $E^x$ ,  $E^y$  モードをそれぞれ  $TM^x$ ,  $TE^x$  モードで近似した、いわゆるスカラー波近似モデルを採用することができる。

本研究の数値解析では、 $y$  偏波入射光、つまり  $E^y$  モード入射を考える。さらに以下のような手順でモデル化を進める。弱導波路であるため、 $x$  方向については  $n_1 \doteq n_3$  が成立つ。したがって、導波路 1, 2 をそれぞれ、図 2(c) のような  $x$  方向に一樣な 2 次元スラブ導波路で近似する。矩形導波路を伝搬する  $E^y$  モードは先の考察より  $TM^y$  モードで近似して、 $y$  方向の境界条件を満足するように  $TM^y$  モードの実効屈折率を求める。各導波路の実効屈折率はそれぞれ  $N_e=1.448734$  と  $N'_e=1.448046$  となる。次に、実効屈折率  $N_e$  と  $N'_e$  を矩形導波路 1, 2 のコア屈折率とする。さらに、 $y$  方向については  $N_e \doteq n_3$  と  $N'_e \doteq n_3$  が成立つから、コア屈折率  $N_e$  と  $N'_e$  である矩形導波路 1, 2 を図 2(d) のような  $y$  方向に一樣なスラブ導波路に近似することができる。このように矩形導波路を伝搬する  $E^y$  モードは  $TE^x$  モードで近似でき、 $TE^x$  モードに対する実効屈折率を  $x$  方向の境界条件を満足するように求める。最終的に図 3 のような 5 層スラブ導波路になり、 $E^y$  モードは  $TE^x$  モードで近似する。各境界において電界分布が連続となる境界条件より、この 5 層スラブ導波路の  $TE^x$

正規モードを次のように導出することができる<sup>(17)</sup>。

$$E_y = \left\{ \begin{array}{l} \kappa \exp(\sigma d) \{ 2\sigma \kappa' \cos(2b\kappa') \\ + (\sigma^2 - \kappa'^2) \sin(2b\kappa') \} \exp(\sigma x) \\ \hspace{15em} (x \leq -d/2 - 2a) \\ \exp(\sigma(\frac{d}{2} - a)) \{ 2\sigma \kappa' \cos(2b\kappa') \\ + (\sigma^2 - \kappa'^2) \sin(2b\kappa') \} \\ \times \{ \sigma \sin(\kappa(\frac{d}{2} + a + x)) \\ + \kappa \cos(\kappa(\frac{d}{2} + a + x)) \} \\ \hspace{15em} (-d/2 - 2a \leq x \leq -d/2) \\ \frac{1}{2\sigma} \{ 2\sigma \kappa' \cos(2b\kappa') \\ + (\sigma^2 - \kappa'^2) \sin(2b\kappa') \} \\ \times \{ \exp(-\sigma x) (\sigma^2 + \kappa^2) \sin(2a\kappa) \\ + \exp(\sigma(x + d - 2a)) \\ \times (2\sigma \kappa \cos(2a\kappa) \\ + (\sigma^2 - \kappa^2) \sin(2a\kappa)) \} \\ \hspace{15em} (-d/2 \leq x \leq d/2) \\ \exp(\sigma(b - \frac{d}{2})) (\sigma^2 + \kappa^2) \sin(2a\kappa) \\ \times \{ \kappa' \cos(\kappa'(\frac{d}{2} + b - x)) \\ + \sigma \sin(\kappa'(\frac{d}{2} + b - x)) \} \\ \hspace{15em} (d/2 \leq x \leq d/2 + 2b) \\ \kappa' \exp(2\sigma b) (\sigma^2 + \kappa^2) \\ \times \sin(2a\kappa) \exp(-\sigma x) \\ \hspace{15em} (x \geq d/2 + 2b) \end{array} \right.$$

(3)

式(3)の電界分布を用いて固有値方程式は次のように導出した<sup>(17)</sup>。

$$\exp(2\sigma d) = \frac{(\sigma^2 + \kappa^2) \tan(2\kappa a)}{\{ 2\sigma \kappa + (\sigma^2 - \kappa^2) \tan(2a\kappa) \}} \times \frac{(\sigma^2 + \kappa'^2) \tan(2\kappa' b) \exp(2\sigma(a+b))}{\{ 2\sigma \kappa' + (\sigma^2 - \kappa'^2) \tan(2b\kappa') \}}$$

(4)

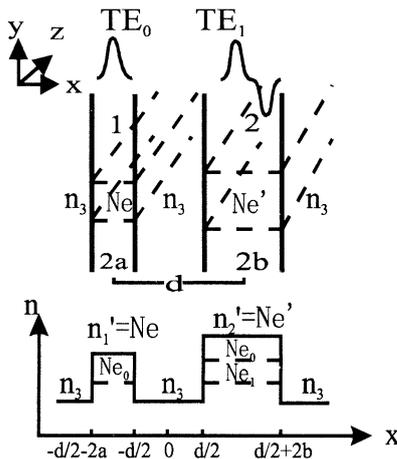


図3 2次元モード変換器と屈折率分布

表 2. 5 層スラブ導波路の正規モードに対する実効屈折率

	正規モード $\psi_e$	正規モード $\psi_o$
5 層スラブ 導波路	1.447710	1.447580

ここで,  $a, b$  はそれぞれ 2 つの導波路のコア半径,  $d$  は 2 つの導波路のコア間隔である.  $\kappa, \kappa', \sigma$  はそれぞれコアおよびクラッド中の横方向波数である. 式 (3), (4) によって求めた結合系の  $TE^x$  正規モードは偶, 奇モード  $\psi_e, \psi_o$  となる. それぞれの実効屈折率を表 2 に示す. この段階では, ファイバ 1 に対応する 3 層スラブ導波路は単一モード導波路になっており, その実効屈折率は  $N_{e0} = 1.447673$  となる. 一方, ファイバ 2 に対応する 3 層スラブ導波路はデュアルモード導波路になっている. その基本モード, 第 1 高次モードの実効屈折率はそれぞれ  $N_{e0} = 1.449002$ ,  $N_{e1} = 1.447623$  となる (表 3). 表 3 より, 導波路 1 の基本モードと導波路 2 の第 1 高次モードがほぼ位相整合していることが確認された. また, 表 2 に示す偶, 奇モード間に伝搬定数差があるためにビートが生じる. この結果, 光波のパワーが導波路 1, 2 の間で周期的に往復移行する.

表 3. 各導波路の TE モードに対する実効屈折率

	基本モード	第 1 高次モード
導波路 1	1.447673	なし
導波路 2	1.449002	1.447623

光ファイバモード変換器のファイバ 1 の基本モード  $LP_{01}$  に対する実行屈折率は  $N_{ec0} = 1.4476108$  で, ファイバ 2 の第 1 高次モードに対する実効屈折率は  $N_{ec1} = 1.4476117$  となる. 一方, 3 次元方形導波路モード変換器の基本モードに対する実行屈折率は  $N_{es0} = 1.4475406$  で, 導波路 2 の第 1 高次モードに対する実効屈折率は  $N_{es1} = 1.4475568$  となる. さらに近似したスラブ導波路モード変換器の基本モード  $TE_{01}$  に対する実行屈折率は  $N_{e0} = 1.4476729$  で, 導波路 2 の第 1 高次モード  $TE_{11}$  に対する実効屈折率は  $N_{e1} = 1.4476229$  となる. それぞれの導波路において基本モードと第 1 高次モードの実効屈折率は有効桁 5 桁まで完全に一致する. 相対誤差で見ると, 3 次元方形導波路モード変換器の円形光ファイバモード変換器に対する場合を考える. 基本モードにおいては  $(N_{ec0} - N_{es0}) / N_{ec0} = 4.8500605 \times 10^{-5}$  となり, 第 1 高次モードにおいては  $(N_{ec1} - N_{es1}) / N_{ec1} = 3.7896903 \times 10^{-5}$  である. スラブ導波路モード

変換器の場合は円形光ファイバモード変換器に対する相対誤差を求めると, 基本モードにおいては  $(N_{e0} - N_{ec0}) / N_{ec0} = 4.2898271 \times 10^{-5}$ , 第 1 高次モードにおいては  $(N_{e1} - N_{ec1}) / N_{ec1} = 7.7368814 \times 10^{-6}$  となる. いずれも  $10^{-5}$  以下の誤差範囲に納まり, モデル化の精度が高いことが実証された. また以上の誤差評価からスラブ導波路で近似する方法は矩形導波路に近似するよりも精度がよいことが分かった. 4 節では, FFT-BPM を用いて, この 5 層スラブ導波路中の導波路 1 の基本モード  $TE_{01}^x$  から導波路 2 の第 1 高次モード  $TE_{11}^x$  への変換の様子を調べる. また, 5 節では 3 層及び 5 層スラブ導波路に対して, CMT によりモード結合効率, 結合長などの特性を調べる.

#### 4. ビーム伝搬法 (FFT-BPM)

BPM は光の波長に比べて変化の緩い屈折率分布を持つ導波路中の光伝搬を調べるのに有効な数値解析法である. FFT-BPM においては, 光の伝搬距離の微小区間  $\Delta z$  を考え, その前後の波動場を関係づける計算を繰り返し行っていく. その微小区間  $\Delta z$  ごとに伝搬と直角な方向への電磁界成分に対してフーリエ変換とその逆変換が行われる.

波動の 2 次元平面  $(x, z)$  中での振る舞いは, 電磁界の 1 成分  $X(x, z)$  についてのスカラー型ヘルムホルツ (Helmholtz) 方程式

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)X + k_0^2 N^2(x, z)X = 0 \quad (5)$$

で記述できる.  $z$  方向に伝搬する平面波について, BPM 基本方程式は式 (5) から<sup>(18)</sup>,

$$\begin{aligned} &W(x, z + \Delta z) \\ &= \exp\left[-j\frac{\Delta z}{2} \times \frac{\nabla_t^2}{(\nabla_t^2 + k_0^2 N_0^2)^{1/2} + k_0 N_0}\right] \\ &\times \exp[-j\Delta z \chi(x, z)] \\ &\times \exp\left[-j\frac{\Delta z}{2} \times \frac{\nabla_t^2}{(\nabla_t^2 + k_0^2 N_0^2)^{1/2} + k_0 N_0}\right] \\ &\times W(x, z) + o(\Delta z^3) \end{aligned} \quad (6)$$

となる. 導出の過程で, 複素振幅  $X(x, z)$  は  $X(x, z) = W(x, z) \exp(-jk_0 N_0 z)$  と置いた. 実効屈折率分布  $N(x, z)$  を基準値  $N_0$  とその値からの変化分  $\delta N$  に分けて,  $N(x, z) = N_0 + \delta N(x, z)$  と考える. また,  $\chi(x,$

$z) = k_0 \delta N(x, z)$ ,  $\nabla_t^2 = \frac{\partial}{\partial x^2}$ ,  $k_0$  は真空中の波数である。(6)式の第1, 3項目は, 波が屈折率  $N_0$  の均質媒質中を伝搬する効果を表し, 第2項目は導波路構造の影響, あるいは, 屈折率の非一様性を取り入れるが分散のない媒質中を  $\Delta z$  の距離伝搬することに対応している. この計算では, FFT を使って数値解析する. 初期波形  $W(x, z)$  を与えれば, 上の式により, 微小伝搬距離  $\Delta z$  だけ伝搬した波形  $W(x, z + \Delta z)$  を求めることができる. 図4は, BPM によって得られた基本モードから第1高次モードへの変換の様子である. 図中の点線はコアとクラッドの境界を示している. 導波路1に入射した基本モードは,  $z$  軸に沿って伝搬するとともに導波路2の第1高次モードに結合することがわかる.

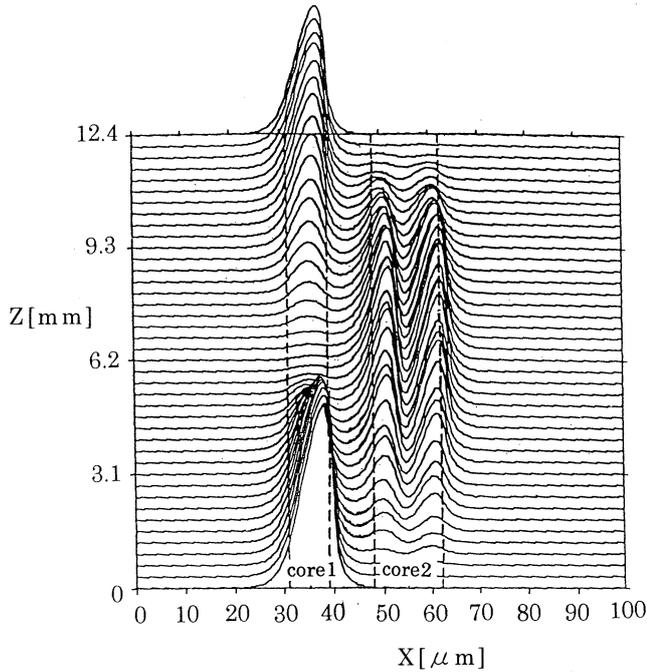


図4 基本モードから第1高次モードへの変換の様子

### 5. モード結合理論(CMT)

互いに接近した光導波路間では, おおのこの導波路のモードは互いに結合する. このような導波路系の光波伝搬を解析するには, 次の2つの方法がある<sup>(19)</sup>.

- (i) マクスウェルの方程式にもとって結合を含めて正規モードを解く方法.
- (ii) 互いに独立な導波路として, その正規モードの和で記述する方法.

(i) の方法は厳密な解が得られるが, 結合によって解けないか, また, 解くのが非常に困難な場合が多い. これに対して, (ii) の方法は近似解ではあるが, 見通しがよく, 簡単で現象の本質を定性的に明確に把握できる. このように無結合導波路系の正規モードで結合導波路中の光波の振る舞いを記述するのがモード結合理論である.

無結合系の2つの導波路の振幅を, それぞれ  $A_1(z)$ ,  $A_2(z)$  と仮定する. 波動方程式から,  $z$  軸に沿うモード結合方程式は<sup>(20)</sup>

$$\frac{dA_1(z)}{dz} = -jk_a A_2(z) \exp(-j2\delta z) + j\alpha_a A_1(z) \quad (7)$$

$$\frac{dA_2(z)}{dz} = -jk_b A_1(z) \exp(-j2\delta z) + j\alpha_b A_2(z) \quad (8)$$

と導出される. ただし,

$$\kappa_a = \frac{\kappa_{12} - c_{12}\chi_2}{1 - |c_{12}|^2} \quad (9)$$

$$\kappa_b = \frac{\kappa_{21} - c_{12}^* \chi_1}{1 - |c_{12}|^2} \quad (10)$$

$$\alpha_a = \frac{\kappa_{21}c_{12} - \chi_1}{1 - |c_{12}|^2} \quad (11)$$

$$\alpha_b = \frac{\kappa_{12}c_{12}^* - \chi_2}{1 - |c_{12}|^2} \quad (12)$$

$$\delta = \frac{\beta_2 - \beta_1}{2} \quad (13)$$

である.  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  はそれぞれ2つのモードの伝搬定数である. ここで,  $(p, q) = (1, 2)$  あるいは  $(2, 1)$  である.  $\kappa_{pq}$  は方向性結合係数,  $\chi_p$  は自己結合係数,  $c_{pq}$  は突き合わせ結合係数である<sup>(20)</sup>. 式(7), (8)から, 3層スラブ導波路近似の場合において,  $TE^x$  の基本モードから第1高次モードへの光波パワーの最大移行率は次式となる.

$$F_{12} = \frac{1}{1 + \frac{\delta^2}{\kappa_a \kappa_b}} \quad (14)$$

ここで,  $\delta' = \delta + (\alpha_a - \alpha_b)/2$  である. この最大移行率が得られる距離, すなわち, 結合長  $L$  は

$$L = \frac{\pi}{2\sqrt{\kappa_a \kappa_b + \delta'^2}} \quad (15)$$

である．一方，より正確な解析法として，(i)の方法による5層スラブ導波路を考える．5層のスラブ導波路中を伝搬する  $TE^x$  正規モードを  $\psi_e, \psi_o$  とおくと，式(4)により正規モード  $\psi_e, \psi_o$  の伝搬定数  $\beta_e, \beta_o$  が得られる．最終的に，正規モード  $\psi_e, \psi_o$  の結合長  $L_c$  は

$$L_c = \frac{\pi}{\beta_e - \beta_o} \tag{16}$$

と表わされる．この  $L_c$  は導波路 1, 2 中の基本モード  $TE_{01}$  と第1高次モード  $TE_{11}$  との結合長である．式(16)による計算結果との比較によって，FFT ビーム伝搬法とモード結合理論による計算結果の妥当性を確認する．

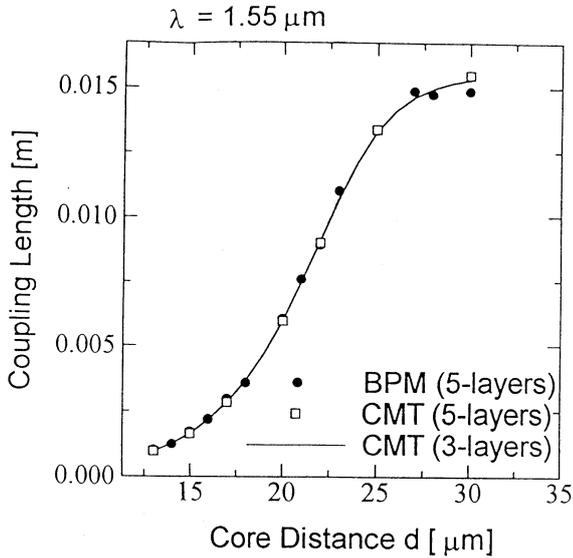


図5 結合長のコア間隔依存性

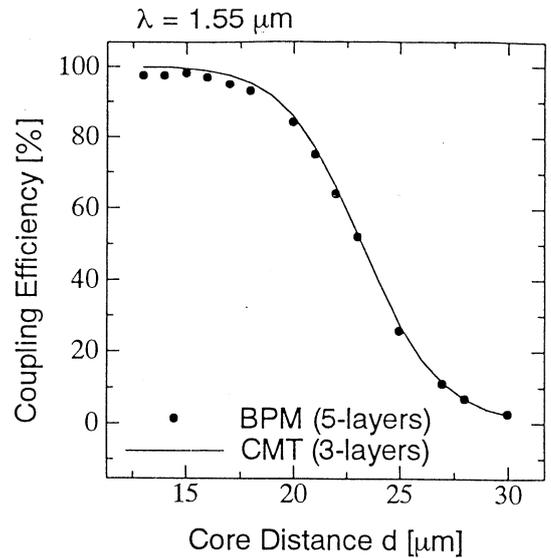


図6 結合効率のコア間隔依存性

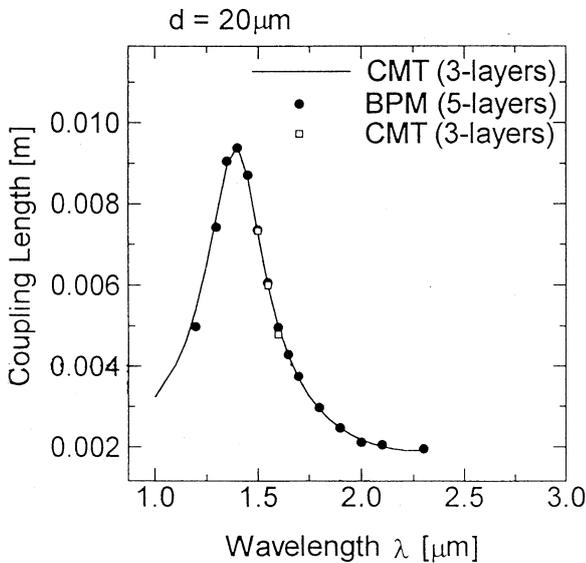


図7 結合長の入射波長依存性

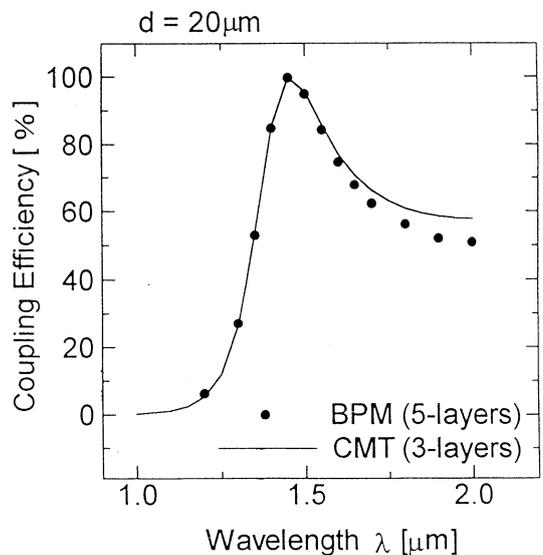


図8 結合効率の入射波長依存性

## 6. 解析結果

図5から図8は、表1のパラメータを持つモード変換器についてこれまで述べた方法で解析した結果である。図5には、入射波の波長を $1.55\mu\text{m}$ とした場合のモード変換器の結合長のコア中心間隔の依存性を示す。コア間隔が大きくなると結合長が長くなる。図6には、結合効率のコア中心間隔の依存性を示す<sup>(21)</sup>。コア間隔が大きくなると、結合効率が減少する。図7には、単一モード光ファイバとデュアルモード光ファイバのコア中心間隔 $d=20\mu\text{m}$ の場合に対する結合長の入射波長の依存性を示す。入射波長 $\lambda$ が $1.50\mu\text{m}$ 付近で、結合長が最大となることが分かる。結合効率の入射波長依存性を図8に示す。入射波長 $\lambda$ が $1.50\mu\text{m}$ 付近で、結合効率が高くなることが分かる。図5から図8までの図中の黒丸(●)は、5層スラブ導波路近似に対するFFT-BPMによる計算結果を示す。実線は3層のスラブ導波路近似を用いたモード結合理論による計算結果である。四角(□)は5層スラブ導波路近似による正規モード $\psi_e, \psi_o$ から得られた厳密な計算結果である。各計算結果がよく一致していることがわかる。ただし、図6において $d < 20\mu\text{m}$ の場合にBPM(●)による結果がCMT(—)による理論の結果よりも若干小さめである。コア中心の間隔が小さくなると、変換された第1高次モードの中心は導波路2の中心から導波路1寄りに遷移する。導波路1にしみ込むエバネッセント場はより大きくなり、BPMにより得た波形から計算した導波路1から導波路2への結合効率が小さくなる。図8においても入射光の波長が大きくなる場合にBPM(●)による結果がCMT(—)による理論結果よりも若干小さい。その理由は入射光の波長がカットオフ波長に近づく時に導波モードは放射モードに変換される。それゆえ、放射モードはクラッドに広がるように電磁界が分布するのでBPMによる計算の精度が悪くなると考えられる。

## 7. むすび

単一モード光ファイバとデュアルモード光ファイバを組み合わせた非対称な弱導波方向性結合器型モード変換器を数値解析した。等価屈折率法を用いて3次元円形断面導波路構造を2次元スラブ導波路で近似する簡便なモデル化を示し、円形断面をも

つ理想モード変換器の計算結果と比較することによりモデル化の精度評価を行った。さらに、ビーム伝搬法およびモード結合理論を用いてモードの変換の様子や結合効率、結合長などの特性を調べた。5層スラブ導波路における正規モードの伝搬についてはモード結合長の厳密解が導けるので、5層スラブ導波路におけるBPMの計算結果と3層スラブ導波路におけるCMTの計算結果とを比較した。その結果、両者はよく一致することが示され、弱導波光ファイバ型モード変換器の設計において本手法が有効であることが確認できた。また、モード結合長以外の特性についても、5層スラブ導波路近似と3層スラブ導波路近似は同程度の計算結果を与えることが分かった。したがって、実用上は取り扱いの簡単な3層スラブ導波路近似を採用するのが計算時間の面から有利と考えられる。

今後は、3次元ビーム伝搬法とモード結合理論を用いて、実際の光ファイバ中を伝搬する基本モード $LP_{01}$ と第1高次モード $LP_{11}$ の間のモード変換についてシミュレーションを行い、且つ2次元の計算結果と比較する。さらに、このような方向性結合器型モード変換器を作製し、高性能光ファイバ形デバイスの開発を行う予定である。

## 文 献

- (1) 今井正明, "光部品—能動型光ファイバ部品を中心に—", 電子情報通信学会, 第1回光ファイバ応用技術研究会, OFT93-4, 1993.
- (2) 江口, 大川, 辻, 小柴, 今井, "デュアルモード光ファイバを用いた分散補償", 信学技報, OCS95-14, 1995.
- (3) W. P. Risk, R. C. Youngquist, G. S. Kino, and H. J. Shaw, "Acousto-optic frequency shifting in birefringent fiber," Opt. Lett., vol. 9, No. 7, pp. 309-311, 1984.
- (4) B. Y. Kim, J. N. Blake, H. E. Engan, H. J. Shaw, "All-fiber acousto-optic frequency shifter," Opt. Lett., vol. 11, No. 6, pp. 389-391, 1986.
- (5) D. Ostling and H. E. Engan, "Narrow-band acousto-optic tunable filtering in a two-mode fiber," Opt. Lett., vol. 20, No. 11, pp. 1247-1249, 1995.
- (6) W. V. Sorin, B. Y. Kim, and H. J. Shaw, "Highly selective evanescent modal filter for

- two-mode optical fiber," Opt. Lett., vol.11, No.9, pp.581-583, 1986.
- (7) J. N. Blake, B. Y. Kim, and H. J. Shaw, "Two-mode fiber modal coupler," Opt. Lett., vol.11, No.3, pp.177-179, 1986.
- (8) C-X Shi and Takanori Okoshi, "Mode conversion based on the periodic coupling by a reflective fiber grating," Opt. Lett., Vol.17, No23, pp.1655-1657, 1992.
- (9) T. A. Birks, S. G. Farwell, P. St. J. Russell, and C. N. Pannell, "Low Power Acousto-Optic Device Based on a tapered Single-Mode Fiber," IEEE Photonics Technology Letters, Vol.6, pp.725-727, 1994.
- (10) 福知清, 保立和夫, "ファイバカプラ型光周波数シフターカプラ正規モード間結合理論に基づく解析一", 信学技報, OQE91-1, pp.1-6, 1991.
- (11) R. C. Youngquist, J. L. Brooks, and H. J. Shaw, "Two-mode fiber modal coupler," Opt. Lett., vol.9, No.5, pp.177-179, 1984.
- (12) C. D. Poole, H. M. Presby and J. P. Meester, "Two-mode fiber spatial-mode converter using periodic core deformation," Electron. Lett., Vol.30, No.17, pp.1437-1438, 1994.
- (13) A. Kumar and R. K. Varshney, "Propagation characteristics of highly elliptical core optical waveguides : a perturbation approach," Opt. Quantum. Electron., No.16, pp.349-354, 1984.
- (14) M. Eguchi and M. Koshiba, "Accurate finite-element analysis of dual-mode highly elliptical-core fibers," J. Lightwave Technol., No.12, pp.607-613, 1994.
- (15) 小柴正則, "光導波路の解析法", 応用物理, 第61巻, 第1号, pp.22-29, 1992.
- (16) 小柴正則, "光導波路の有限要素法解析", 光学, 第22巻, 第10号, pp.590-595, 1993.
- (17) 林涛, 江口真史, 今井正明, "弱導波光ファイバ型モード変換器の2次元数値解析", 1996年電子情報通信学会総合大会 講演論文集, C-189, pp.189.
- (18) 山下栄吉監修, "電磁波問題の基礎解析法", コロナ社, 東京, 1987.
- (19) 西原浩, 春名正光, 栖原敏明, "光集積回路", オーム社, 東京, 1985.
- (20) 岡本勝就, "光導波路の基礎", コロナ社, 東京, 1992.
- (21) 林涛, 今井正明, "異種光導波路方向性結合器を利用するモード変換器の数値解析", 1997年電子情報通信学会総合大会 講演論文集, SC-1-7, pp.465-466.

# 強相関伝導系物質の低温高圧強磁場下 における電気抵抗測定

関根ちひろ\*<sup>1</sup>, 清水 学志\*<sup>1</sup>, 城谷 一民\*<sup>1</sup>, 巨海 玄道\*<sup>2</sup>

## Measurements of Electrical Resistivity on Strongly Correlated Electron System at Low Temperature, High Pressure and High Magnetic Field

Chihiro SEKINE, Takashi SHIMIZU, Ichimin SHIROTANI and Gendo OOMI

(原稿受付日 平成9年5月9日 論文受理日 平成9年8月20日)

### Abstract

High pressure apparatus has been designed to measure the physical properties of strongly correlated electron system at low temperature and high magnetic field. The ranges of temperature ( $T$ ), pressure ( $P$ ) and magnetic field ( $B$ ) are  $2 \leq T \leq 300\text{K}$ ,  $0 \leq P \leq 2\text{GPa}$  (in hydrostatic pressure) and  $0 \leq B \leq 9\text{T}$ , respectively. The results of electrical resistivity measurements at low temperatures, high pressures and high fields are reported on antiferromagnet  $\text{UPd}_2\text{Si}_2$  and phosphide  $\text{PrRu}_4\text{P}_{12}$  which shows metal-insulator transition.

Keywords : Electrical resistivity, High pressure, High magnetic field, Low temperature

### 1. はじめに

固体物理学の分野において物性を解明する手段の一つとして高圧実験は極めて有効であることが明らかにされてきた。しかし、高温超伝導体、低次元導体、重い電子系等の強相関伝導系物質の研究においては単に試料に圧力を加えるだけではなく、高圧の状態幅広い温度範囲で、しかも同時に磁場を印加した、いわゆる多重極限環境下での精密な物性測定の重要性がますます高まっている。このような状況から、最近では多くの大学、研究所で多重極限環境発生可能な新しい装置の開発が試みられている。しかし、低温、高圧、強磁場下の信頼できるデータ数は少ない。これは多重極限下の意味ある物理量の測定は技術的困難から極めて限られてき

たことによる。

本研究では、このような低温、高圧、強磁場という多重極限環境下における強相関伝導系の電気、磁気的性質を探るため電気抵抗、ホール効果、帯磁率等の物理量をできるだけ常圧力下と変わらぬ精度で測定できる装置(多重極限装置)を作製した。測定例として強相関伝導系物質  $\text{UPd}_2\text{Si}_2$  及び  $\text{PrRu}_4\text{P}_{12}$  について行った多重極限環境下における電気抵抗測定の成果を報告する。

### 2. 実 験

多重極限装置(図1)は温度、圧力、磁場を制御し、低温、高圧、強磁場という極限環境下での物性測定を行うことを目的として開発した装置である。図2に装置本体の概略図を示す。この装置は Swenson 型の可変加圧式高圧発生装置を基に改良を加えたものであり<sup>(1)</sup>、基本構造は熊本大の巨海らによって考案されたものである<sup>(2)</sup>。

\*1 電気電子工学科

\*2 熊本大学工学部

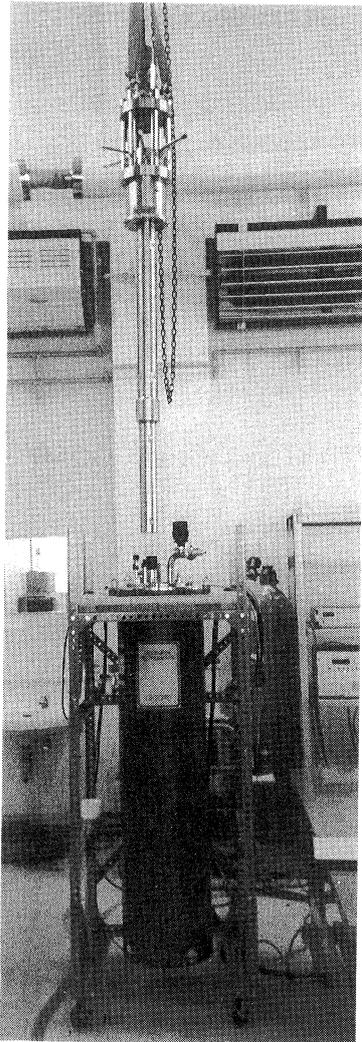


図1 多重極限装置（極低温、高圧、強磁場発生装置）

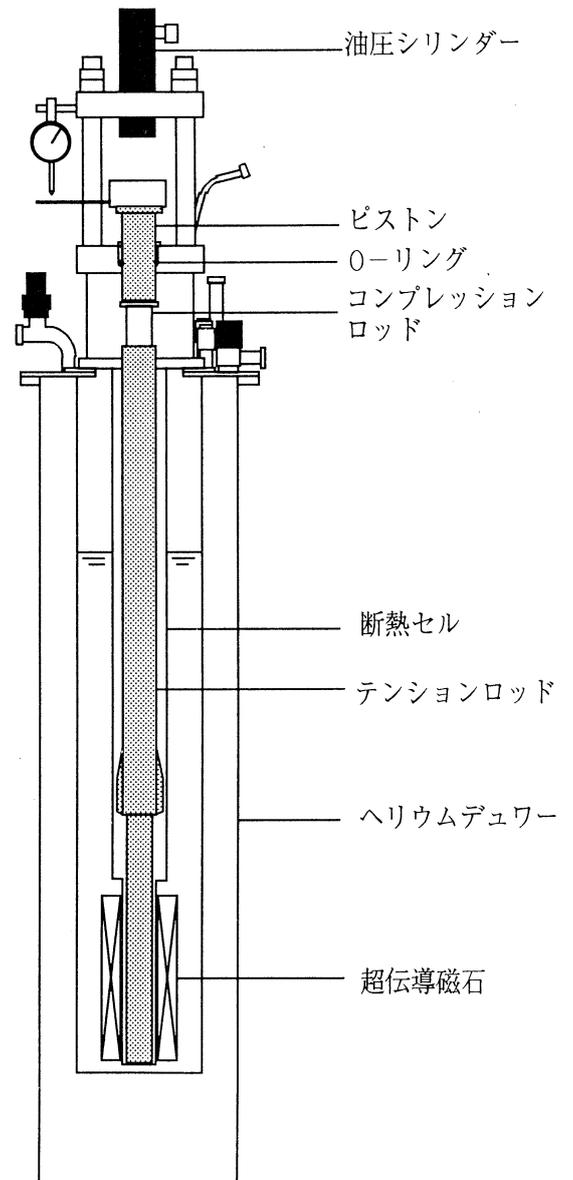


図2 装置本体概略図

なお、実際の製作は、夏原技研（大阪）が行った。

### 2.1 圧力発生部

圧力発生には静水圧性の高いピストンシリンダー型の高圧発生装置を用いている。圧力発生部を図3に示す。主要部分は20 ton 油圧シリンダー（理研機器社製）、ステンレス製ピストン、圧力伝達棒（コンプレッションロッド）、圧力を保持するためのステンレス製厚肉円筒（テンションロッド）、タングステンカーバイド（WC）製ピストン、BeCu 製圧力セルから構成される。圧力は油圧シリンダーにより加えられた荷重をコンプレッションロッドを通して圧力セルに伝達することにより発生させ、発生荷重はテンションロッドで保持される。圧力セル内の圧力はシリンダー内の油圧をコン

トロールすることにより常に一定に保持することができる。また、試料部を低温に保つためテンションロッドには断熱性に優れ、強度の大きいFRP樹脂を使用している。

### 2.2 基本特性

温度範囲は2 K ~ 300 K、圧力範囲は常圧から8mmφのピストンシリンダーを用いた場合、静水圧で最大2 GPaまで、6mmφのピストンシリンダーを用いた場合、約3GPaまでの測定が可能となる。磁場範囲は超伝導マグネット（オックスフォード社製）の使用により高圧下において最大9Tの磁場印加が可能である。

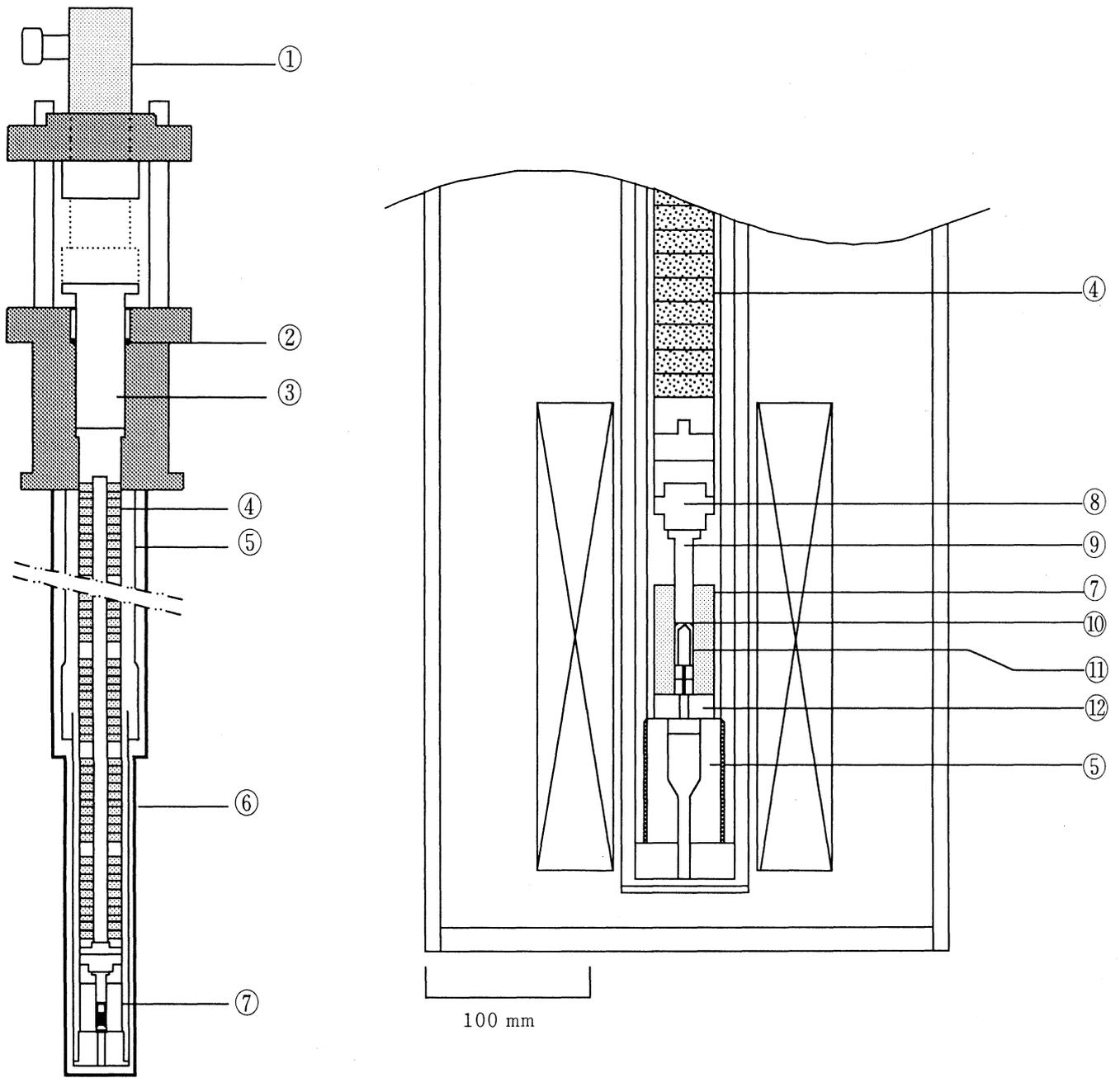


図3 圧力発生部

① 20 ton 油圧シリンダー (理研機器社製), ② O-リング, ③ ステンレス製ピストン, ④ コンプレッションロッド (ステンレス + FRP 樹脂), ⑤ テンションロッド (ステンレス), ⑥ 断熱セル, ⑦ BeCu 製シリンダー, ⑧ BeCu 製スペーサ, ⑨ WC 製ピストン, ⑩ Cu シーリングリング, ⑪ フッ素樹脂製セル, ⑫ バックアップリング

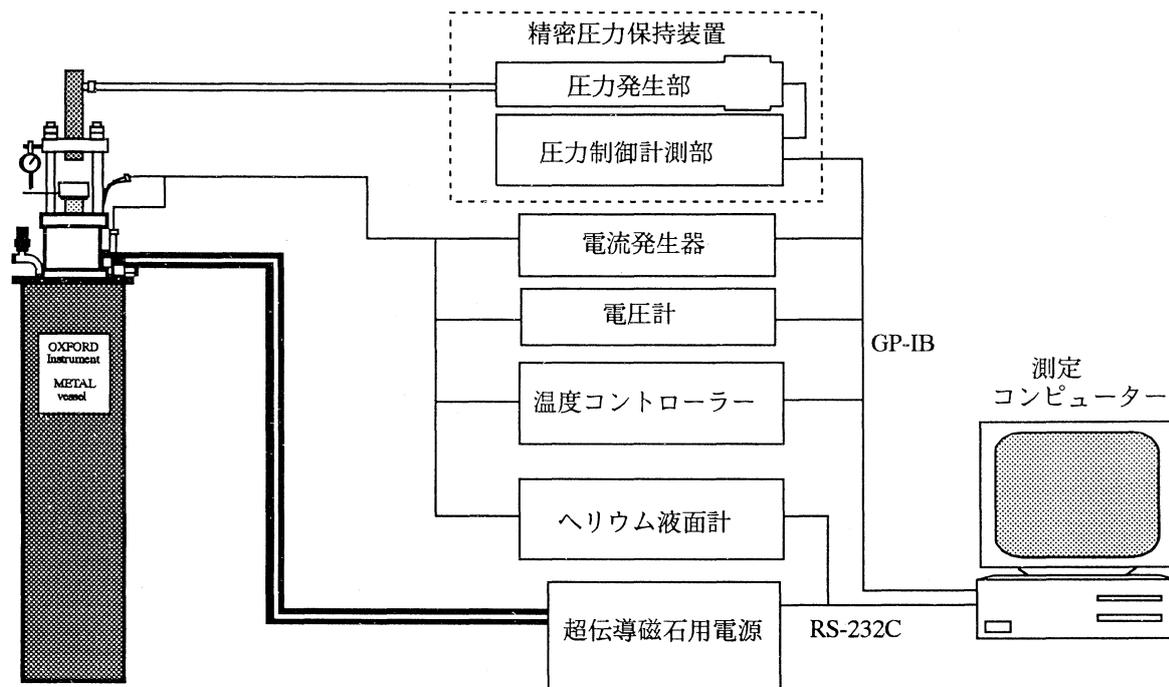


図4 電気抵抗測定のプロック図

このような多重極限条件下で電気抵抗、熱膨張、ホール効果、帯磁率等の測定が可能である。

### 2.3 制御系

図4に本装置を制御する周辺機器及び測定装置のブロック図を示す。加圧、減圧、保持等の圧力コントロールはすべて精密圧力保持装置（理研精機社製）を用いて行う。また、磁場、温度の制御及びデータの取り込みはすべてGP・IBまたは、RS・232Cを介し、測定用コンピュータによって行う。

### 2.4 圧力セル

本実験で使用した8mmφのピストンシリンダー型高圧装置（製作は夏原技研）の断面図を図5に示す。圧力セルは①ピストン（WC）⑤シリンダー（BeCu）⑩台座（BeCu）⑨フッ素樹脂製セル、⑬キャップ（真ちゅう）、⑭ヘッド（WC）等から構成される。⑥、⑫シーリングリング（Cu）はフッ素樹脂製セルが高圧で流れることによる圧力媒体のもれを防ぐためのものである。圧力媒体にはフッロリナート（住友スリーエム社製）を使

用した。電気抵抗などを測定するためのリード線はキャップに開けられた穴から取り出し、穴をエポキシ樹脂でシールすることで圧力を保持する。試料の温度計測はフッ素樹脂製セル内に入れた⑩金鉄-クロメル熱電対を使用した。また、モニター用温度計として、シリンダーにとりつけた②白金抵抗温度計、④酸化ルテニウム温度計を用いた。温度制御には⑮金鉄-クロメル熱電対と③マンガンヒーターを用いた。

### 2.5 荷重テスト

試料の測定を行う前に、本装置の安全性を確認するため、強度を調べる荷重テストを行った。高圧容器が占める部分にコンプレッションロッドに使用したFRP積層板を挿入し、550kgf/cm<sup>2</sup>まで荷重をかけテンションロッドの伸び及びコンプレッションロッドの縮みをダイヤルゲージで測定した。図6、7に測定結果を示す。テンションロッドは荷重の増加に比例して伸びた後、荷重の減少に従って縮み測定誤差範囲内で元の長さに戻っている。コンプレッションロッドも荷重に対し直線的に変化し、破損、変形は見られず、少なくとも550kgf/cm<sup>2</sup>までは十分使用に耐えうる機械的

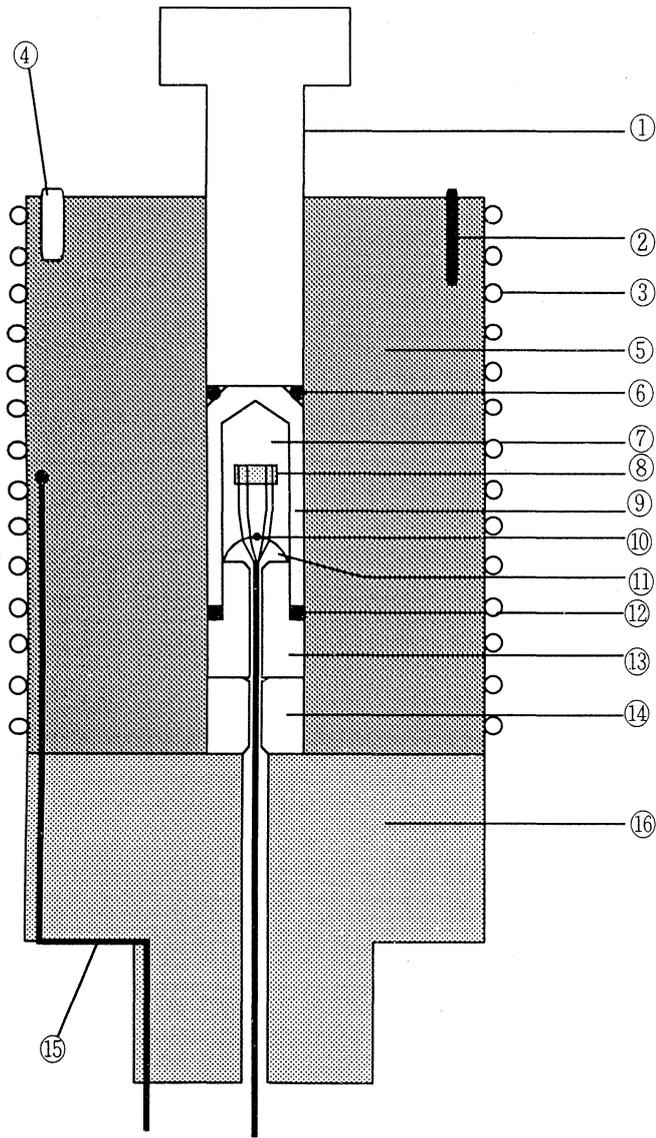


図5 ピストンシリンダー型高圧装置 (8mmφ)

- ①ピストン (WC)、②白金抵抗温度計、③マンガンヒーター、④酸化ルテニウム温度計、⑤シリンダー (BeCu)、⑥、⑫シーリングリング (Cu)、⑦ フロリナート (住友スリーエム社製)、⑧ 試料、⑨ フッ素樹脂製セル、⑩金鉄-クロメル熱電対⑪エポキシ樹脂、⑬キャップ (真ちゅう)、⑭ヘッド (WC)⑮金鉄-クロメル熱電対、⑯台座 (BeCu)

強度を有することが確認された。

## 2.6 圧力校正

圧力セル内に発生する圧力は原理的にはピストンに加えた荷重を圧力セルの断面積で割ることにより知ることができるが、実際はピストンとシリンダー間や、シリンダーと圧力セル間の摩擦、シリンダーの変形な

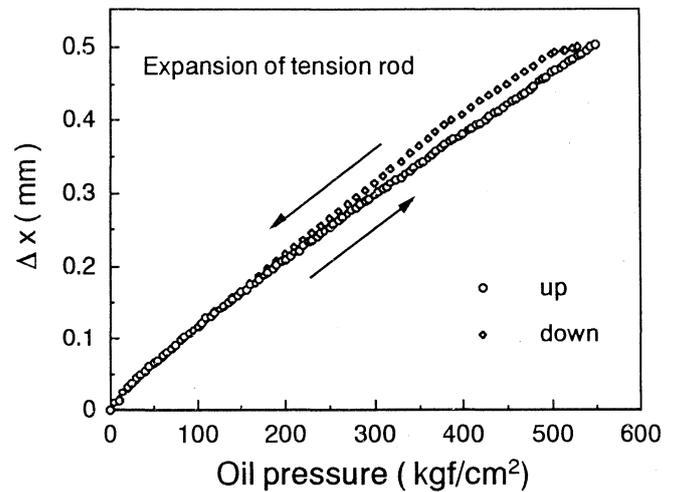


図6 テンションロッドの伸び

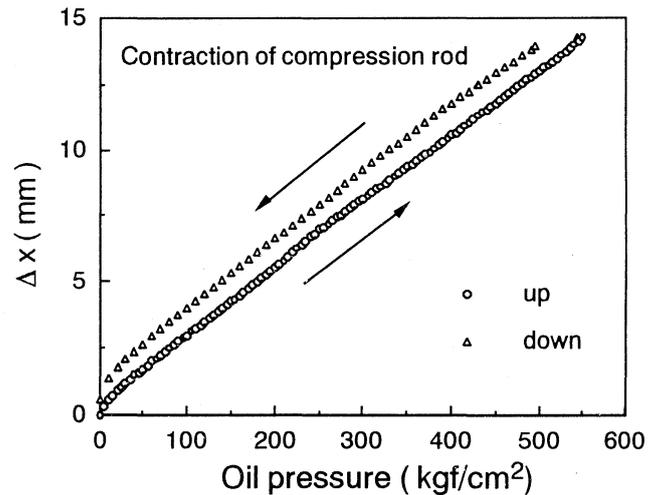


図7 コンプレッションロッドの縮み

どにより計算どおりの圧力が圧力セル内に発生しない。従って、加えた荷重と実際に圧力セル内に発生している圧力との関係を調べる必要がある。圧力校正には圧力定点として  $\text{NH}_4\text{F}$  を用いた。 $\text{NH}_4\text{F}$  は圧力により構造相転移を起こし、その圧力は詳しく調べられている。実験は相転移に伴う体積変化を、ピストンの進みをダイヤルゲージで測定することにより行った。測定結果を図8に示す。油圧が  $70\text{kgf/cm}^2$  及び  $238\text{kgf/cm}^2$  にとびが見られた、これがそれぞれ  $\text{NH}_4\text{F}$  の I-II 転移、II-III 転移に相当すると思われる。 $\text{NH}_4\text{F}$  の転移圧力  $P$  (kbar) は温度  $T$  ( $^\circ\text{C}$ ) の関数として式 (1)、(2) のように表される<sup>(3)</sup>。

I - II :

$$P = 3.6 + 1.8 \times 10^{-3} T + 0.8 \times 10^{-6} T^2 \quad (1)$$

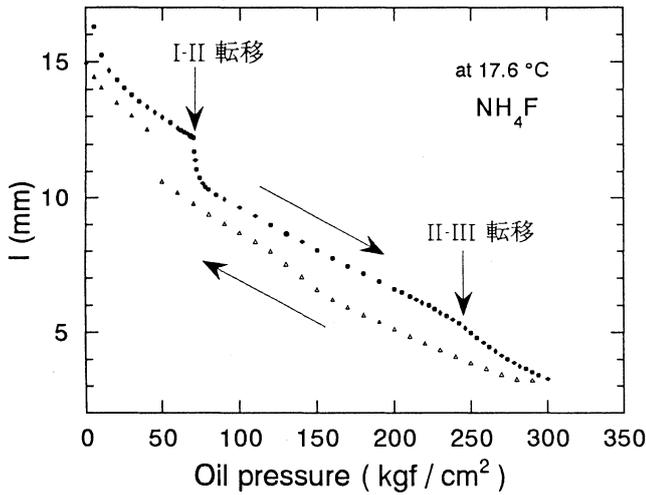


図 8 NH<sub>4</sub>F の体積の荷重依存

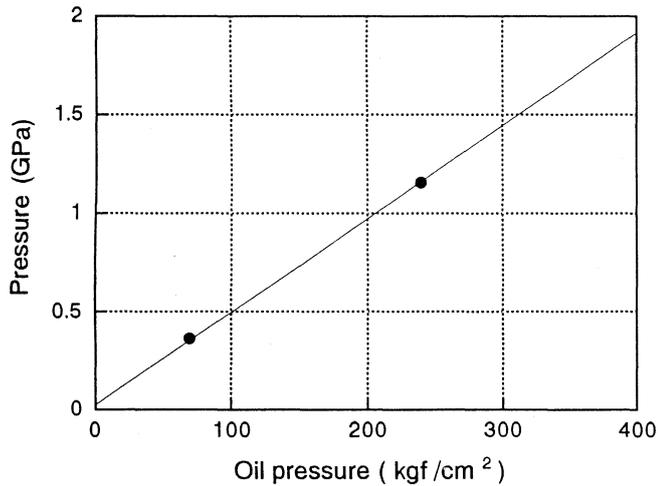


図 9 圧力較正曲線

II - III :

$$P = 11.2 + 1.789 \times 10^{-2} T + 0.1 \times 10^{-4} T^2 \quad (2)$$

上式より、70kgf/cm<sup>2</sup> 及び 238kgf/cm<sup>2</sup> はそれぞれ 3.63kbar, 11.5kbar に相当すると考えられる。この測定データをもとに荷重に対する発生圧力の較正曲線を作成した。結果を図 9 に示す。

さらに荷重に対する発生圧力の線形性の確認のため、マンガン線線の電気抵抗測定を行った。マンガン線線は圧力に対して約 13kbar 以下では電気抵抗が式 (3) で与えられるように直線的に増加することが知られている<sup>(4)</sup>。

$$R/R_0 = 1 + a P \quad (3)$$

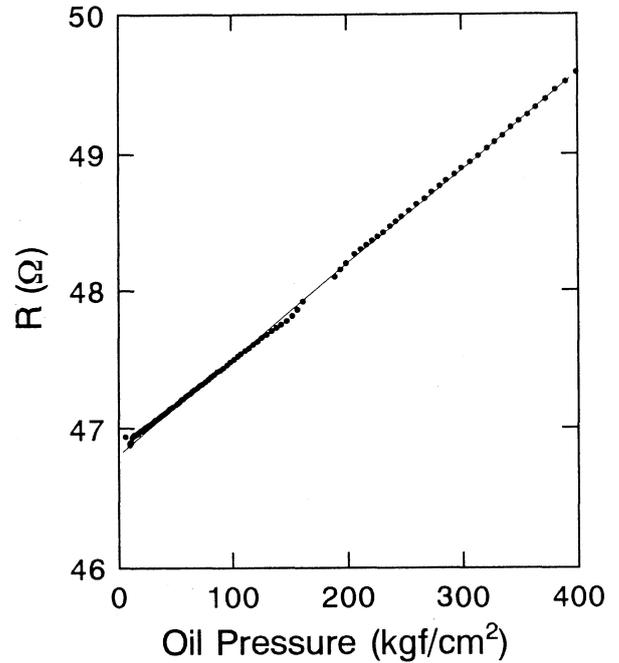


図 10 マンガン線線の圧力に対する電気抵抗の変化

R は各圧力での抵抗値、R<sub>0</sub> は 1 気圧での抵抗値、P は圧力、a は比例係数である。図 10 に室温におけるマンガン線線の圧力に対する電気抵抗の測定結果を示す。電気抵抗は荷重に対してほぼ直線的に増加していることがわかる。この結果より発生圧力は 400kgf/cm<sup>2</sup> 程度までは、荷重に比例して増加していることが確認された。

### 3 実験結果と考察

多重極限装置を用いて反強磁性体 UPd<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> 及び金属-半導体転移を示す PrRu<sub>4</sub>P<sub>12</sub> の低温、高圧下の電気抵抗及び磁気抵抗測定を行った。測定には直流四端子法を用いた。

#### 3.1 UPd<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>

ウラン化合物は「重い電子系化合物」、「異方的超伝導体」<sup>(5)</sup> などの発見により、現在、精力的な研究が行われている。体心正方晶 ThCr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> 型のウラン化合物は構成元素の組み合わせにより多くの物質が存在し、その多彩な物性から特に注目されている物質群である。そのなかで UPd<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> は複雑な磁気相図を示し、比較的大きな磁気モーメントを持った磁気秩序を示すことからウランの局在モーメント間の相互作用を調べる上で適当な物質と考えられている。UPd<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> は常圧下の比熱、電気抵抗、帯磁率の測定から T<sub>Nh</sub> = 133K と T<sub>Nl</sub> = 110K に 2 つの連続す

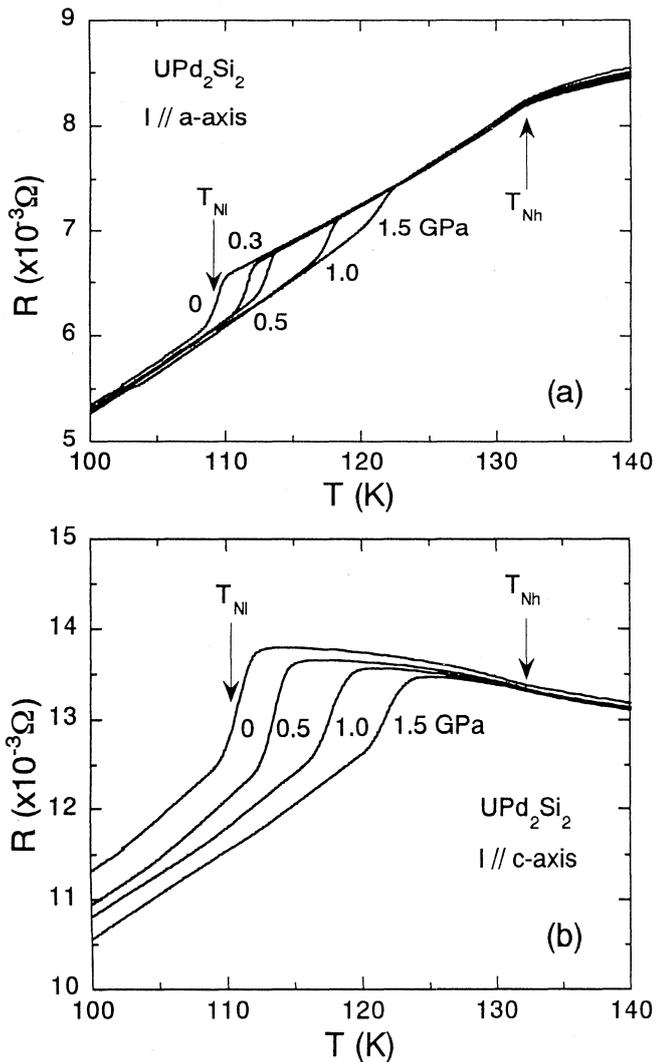


図 11 UPd<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の各圧力における電気抵抗の温度依存性  
電流は (a) a 軸方向 (b) c 軸方向に印可

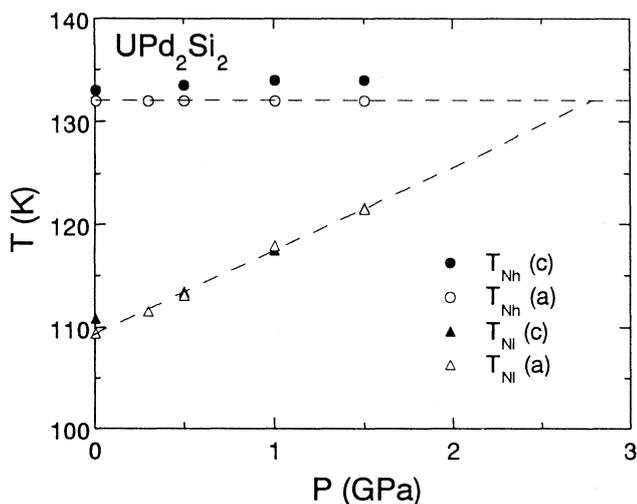


図 12 UPd<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の転移温度の圧力依存性

る相転移が観測されている<sup>(6)</sup>。これらの転移は異なる反強磁性相への転移と考えられ、磁気構造は中性子散乱の実験から  $T_{Nh}$  以下で結晶格子と不整合な磁気構造をとり、さらに  $T_{Ni}$  以下で整合な磁気構造に転移することが報告されている<sup>(7)</sup>。そこで、これら 2 つの磁気転移の圧力依存を調べるため、温度範囲  $77\text{K} < T < 300\text{K}$ 、圧力範囲  $0 < P < 1.5\text{GPa}$  で電気抵抗測定を行った。測定には北海道大学物理学科極低温研究室において作成された UPd<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> 単結晶試料を用いた。

図 11 (a, b) に UPd<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の a 軸方向及び c 軸方向に電流を流したときの各圧力における電気抵抗の温度変化を示す。a 軸, c 軸とも  $T_{Nh}$ 、 $T_{Ni}$  で異常が観測された。圧力増加にともない  $T_{Ni}$  における転移は高温側にシフトし、対照的に  $T_{Nh}$  における転移は圧力でほとんど変化しない。図 12 に 2 つの転移温度の圧力依存性を示す。3 GPa 程度の圧力を加えると 2 つの転移は一致し、不整合相が消失することが予想される。これらの変化の原因については、現在ははっきりしていないが、圧力増加によりスピン間の相互作用が変化し、整合な転移をより安定化させたものと考えられる。このようにウラン化合物等の 5f 電子系の中には圧力の変化に非常に敏感にその電子状態やスピン間相互作用が変化する物質が存在し、このような装置を用いた測定は非常に有力だと考えられる。

### 3.2 PrRu<sub>4</sub>P<sub>12</sub>

三元系希土類金属リン化物  $\text{RE}T_4\text{P}_{12}$  (RE = 希土類金属、T = 遷移金属) は体心立方晶スクッテルド鉱型構造をとり、各元素の組み合わせにより、超伝導、磁気オーダー、半導体等の様々な物性を示す興味深い物質群である。

PrRu<sub>4</sub>P<sub>12</sub> は約 60 K で金属-半導体転移を示す化合物である<sup>(8)</sup>。帯磁率測定及び低温における X 線回折の実験では、60 K 付近には大きな異常は観測されず、磁気転移や構造相転移ではないと考えられる。また、帯磁率測定の結果、高温側では Curie-Weiss 的な振る舞いを示し、有効磁気モーメントは  $3.84\mu_B/\text{Pr}$  で Pr イオンは 3 価に近い状態にあると考えられる。しかし、2 K、5 T における磁化が約  $1\mu_B/\text{Pr}$  で Pr<sup>3+</sup> の飽和磁化  $3.2\mu_B/\text{Pr}$  に比べ非常に小さいことから、低温では Pr<sup>4+</sup> に近い状態にあると考えられる。これらの結果は、この転移が Pr イオンの価数揺動と関係していることを示唆している。そこで、この物質の 60 K 付近の金属-半導体転移の機構を解明するために、圧力下の電気抵抗測定を行った。試料は高温高圧合成法<sup>(9)</sup>により作成された多結晶試料を用いた。

図 13 に多重極限装置を用いて測定した常圧における

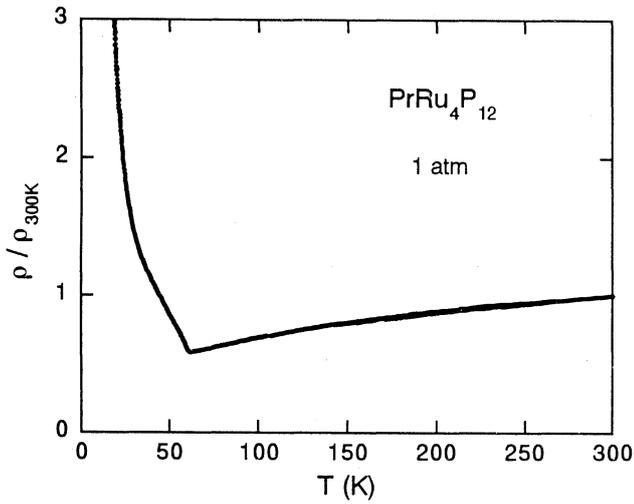


図 13 常圧における PrRu<sub>4</sub>P<sub>12</sub> の電気抵抗の温度依存性

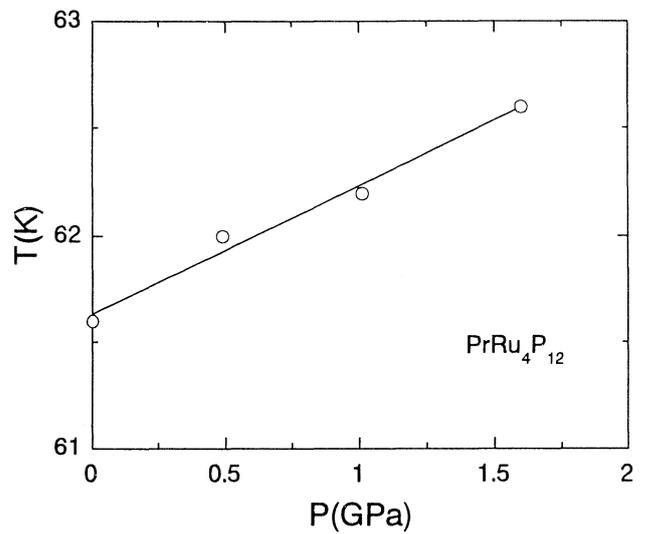


図 15 PrRu<sub>4</sub>P<sub>12</sub> の転移温度の圧力依存性

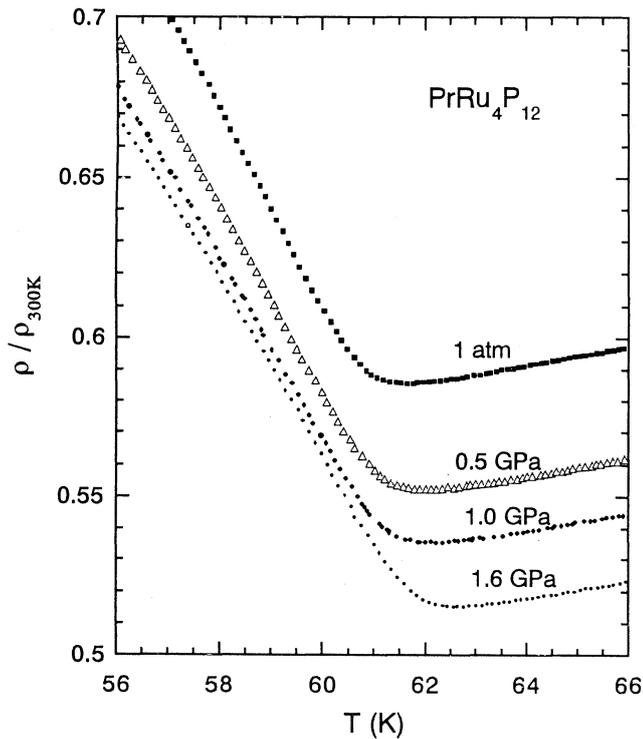


図 14 PrRu<sub>4</sub>P<sub>12</sub> の各圧力における電気抵抗の転移点近傍の温度変化

PrRu<sub>4</sub>P<sub>12</sub> の電気抵抗の温度依存性を示す。室温から 60K 付近まで温度低下にともない電気抵抗は金属的に減少するが、60K 以下では電気抵抗は指数関数的に増加する半導体的な振る舞いを示している。図14は転移点近くの温度における各圧力での電気抵抗の温度依存性である。転移温度は圧力増加とともに高温側にシフトすることが明らかになった。転移温度を電気抵抗極小の温度と定義し、転移点の圧力依存を示す (図 15)。圧力の増加は価数揺動を起しやすくすると考えられる。従って、本実験の結果はこの物質における金属-半導体転移にはPrの3価

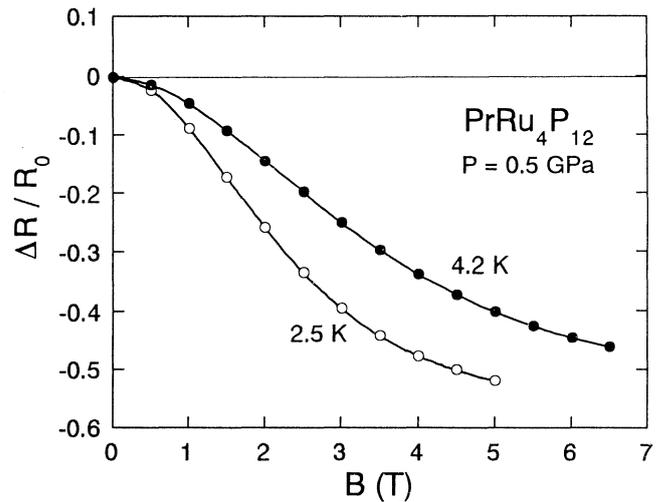


図 16 PrRu<sub>4</sub>P<sub>12</sub> の 0.5GPa における磁気抵抗

から4価への価数揺動が関係しているという考え方に矛盾しない。

圧力下、一定温度における磁気抵抗効果の例として、図16に 0.5GPaにおける、温度2.6K、4.2KでのPrRu<sub>4</sub>P<sub>12</sub> の磁気抵抗を示す。大きな負の磁気抵抗効果を示し、その効果は低温でより顕著であり、2.6Kでは5Tの磁場で抵抗値は約 1/2 となる。これは低温で何らかの磁気相関が発達していることを示しているが、詳細な解析は今後の課題である。

このように本装置を用いることで電子物性において重要な情報を与える磁気抵抗効果を、高圧下で精度良く測定できる。

#### 4 まとめ

本研究では、低温、高圧、強磁場という多重極限環境下において、物性測定を精密に行える装置 (多重極限装

置) を作製し、強相関伝導系物質  $UPd_2Si_2$  及び  $PrRu_4P_{12}$  の多重極限環境下における電気抵抗測定を行った。 $UPd_2Si_2$  の 2 つの磁気転移の圧力依存性を調べ、初めてこの物質の温度-圧力相図を得た。また、 $PrRu_4P_{12}$  の金属-半導体転移の圧力依存性を調べ、この転移には Pr の価数揺動が関係していることを明らかにした。

多重極限装置は磁性、超伝導、金属のフェルミ面、ホール効果、磁気抵抗効果、金属-半導体転移等の電子物性はいうまでもなく、熱膨張係数や磁歪などの測定も可能であり、基礎研究だけでなく材料の物性評価などの応用にも使用でき、今後大いなる発展が期待できる。

#### 謝 辞

本研究を遂行するに当たり、低温、高圧の技術指導をして下さった東京大学物性研究所の毛利信男先生ならびに日本大学文理学部の高橋博樹先生に深く感謝する。また、本装置の製作に協力いただいた本学の林純一技官に心から感謝します。

#### 参考文献

(1) R.I. Beecroft and C.A. Swenson, *J. Appl. Phys.* 30

(1959) 793.

(2) G. Oomi, T. Kagayama and Y. Uwatoko, *Jpn. J. Appl. Phys.* 32 (1993) Suppl. 31-1, 349-351.

(3) A. K. Kuriakose and E. Whalley, *J. Chem. Phys.* 48 (1969) 2025.

C. W. F. Pistorius, *J. Chem. Phys.* 50 (1969) 1436.

(4) P. W. Bridgman, *Proc. Am. Acad. Arts Sci.* 72 (1938) 157., *Phys. Rev.* 57 (1940) 235.

P. W. Bridgman, *Proc. Am. Acad. Arts Sci.* 74 (1940) 1.

(5) H. Tou, Y. Kitaoka, K. Asayama, N. Kimura, Y. Onuki, E. Yamamoto and K. Maezawa, *Phys. Rev. Lett.*, 77, (1996) 1374.

(6) T. Honma, H. Amitsuka, T. Sakakibara, K. Sugiyama and M. Date, *Physica B* 186-188 (1993) 684.

(7) M. F. Collins, B. Shemirani, C. V. Stager, J. D. Garrett, H. Lin, W. J. L. Buyers and Z. Tun, *Phys. Rev. B* 48 (1993) 16500.

(8) C. Sekine, T. Uchiumi, I. Shirotnani, T. Yagi, submitted.

(9) I. Shirotnani, T. Adachi, K. Tachi, S. Todo, K. Nozawa, T. Yagi and M. Kinoshita, *J. Phys. Chem. Solids* 57 (1996) 211.



# 回転電気機械スロット内コイルの速度起電力計算について

倉重 龍一郎\*<sup>1</sup>, 橋本 幸男\*<sup>2</sup>, 松田 敏彦\*<sup>2</sup>

## On the evaluation of speed electromotive force in the coil put in core slots of rotating electric machines

Ryuichiro KURASHIGE, Yukio HASHIMOTO and Toshihiko MATSUDA

(原稿受付日 平成9年5月9日 論文受理日 平成9年8月20日)

### Abstract

In the almost all rotating electrical machines, the armature winding is wound in the armature core slots. Nevertheless, the electromotive force (emf as letter word) in the coils put in the slots is often expressed by air-gap magnetic flux and the Fleming's right-hand rule (so-called *Blv*-rule). And, it is not clear whether the speed emf in the coils put in the slots is correctly calculated by the *Blv*-rule. This paper clarifies the applicability of the *Blv*-rule to calculate the speed emf in the coils put in the slots by the study of calculated results of the speed emf and by the analysis of the expressions of electromagnetic induction. The expressions to evaluate the speed emf in the coils put in the slots are explained.

Key words : Fleming's right-hand rule, Speed emf, Coils put in slots, rotating electric machines

### 1. はじめに

大多数の回転電気機械の電機子巻線は、鉄心にスロット内に巻き込まれている。それにもかかわらず、電気機器学のテキストの多くは、電機子巻線の起電力を空隙の磁束密度分布とフレミングの右手則（以下、*Blv*則と略記する）を基に表現している。しかし、鉄心スロット内コイルの誘導起電力計算に*Blv*則を適用することの可否は一つの不明確事項になっていると考えられる。

スロット内コイル起電力の空隙磁束密度と*Blv*則による表現は、初学者が理解し易いという面から適切なことと考えられるが、一方でコイルが空隙にあると仮定する点で不明確さを残す原因になっていると思われる。

近年、計算機利用によってコイル起電力の短時間内の変化や磁気飽和による巻線インダクタンスの時間変化などを詳細に計算するような作業が増加してきている。これは、コイル起電力などの瞬時値を計算することであるが、空隙の平均磁束密度分布と*Blv*則による間接的計算では正確な結果は得られない場合がある。

以上により、本論文は回転機鉄心スロット内コイルの起電力計算における*Blv*則の適用について考察し、その物理的内容を明らかにしている。まず、直流機を供試機として空隙磁束密度分布およびスロット内磁束密度を計算し、両者について*Blv*則による誘導起電力を求めてその正否を考察している。次に、*Blv*則による起電力計算の数式上の成り立ち、および電磁誘導作用の鎖交磁束変化の場合分けから見た考察を行い、スロット内コイルの速度起電力計算の取り扱いを明らかにしている。

\*1 情報メディア教育センター

\*2 電気電子工学科

## 2. 鉄心スロット内コイル誘導起電力の $Blv$ 則による計算例

### 2.1 計算例

回転機のスロット内コイルが電機子表面の空隙にあると仮定した場合とスロット内にある場合について  $Blv$  則による起電力を計算し比較する。供試機として 100V, 3 kW, 1500rpm の他励直流機を用い, 整流子片間 2 ターン 1 コイルの起電力を求める。計算は, 全巻線に定格電流を与えて磁束密度分布を有限要素法により求め, 定格回転速度の周速によって, 次式(1)を用いて行った (図 1 参照)。

$$E_s = -w_1 l v_x \frac{\partial}{\partial x_a} \int_{x_a}^{x_b} B_n(x, t) dx$$

$$= -w_1 l \cdot v_x \cdot [B_{2n}(x_b, t) - B_{1n}(x_a, t)] \quad (1)$$

ここで,  $E_s$ : 速度起電力,  $x$ : コイルの電機子周辺の位置,  $W$ : コイル幅,  $w_1$ : コイルの巻数,  $l$ : 鉄心積厚,  $v_x = dx/dt$ : コイル移動速度,  $B_n(x_a, t)$  および  $B_n(x_b, t)$ : それぞれコイル辺位置  $x_a$  および  $x_b$  ( $= x_a + W$ ) における磁束密度の法線方向成分である。

#### (a) 空隙磁束密度による誘導起電力

図 2 に示すように, 空隙に置かれた仮想コイルが空隙磁界を切ることによる起電力を求める。回転子回転角 3 度ごとに空隙磁束密度分布を求め, それを用いて式(1)により計算した。1 磁極ピッチについての計算結果を図 3 に示す。図中細線の脈動波形が計算結果であり, 台形状太線の曲線は脈動成分を平滑化したものである。平滑化台形曲線の平均波高値は約 5.5 V である。供試機のブラシ間の直列コイル数は 33 個, 起電力発生有効コイル数率を 0.6 として,  $33 \times 0.6 \times 5.5V$  でほぼ定格電圧となる。なお, 脈動成分を平滑化した波形の方が実際波形に近い。

#### (b) スロット内コイルの誘導起電力

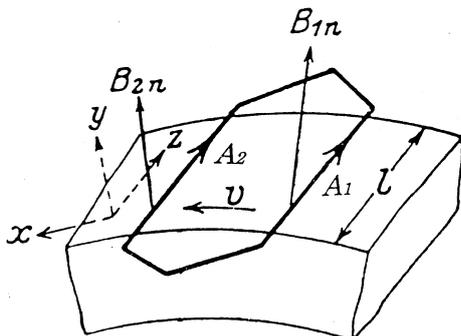


図 1 式(1)の説明図

次に, コイルがスロット内にある場合の起電力の計算を行った。図 2 に示すように, コイルをスロット内の位置のままとし, その位置の磁束密度と定格回転速度を用いて式(1)により計算した。その誘導起電力を図 4 に示す。起電力脈動の原因は不明であるが, その平均値は約 0.04V で, 空隙磁束密度による起電力の 1% 以下の大きさであった。

スロット内コイル速度起電力の式(1)による計算値が極めて小さい値になるのは, 鉄心スロット内磁束密度が低いためである。 $Blv$  則による起電力は磁束密度  $B$  に比例するので, 図 3 および 4 から本供試機のスロット内の磁束密度は平均空隙磁束密度の 1% 以下の大きさである。もし, 磁束が鉄心の一つの歯から隣の歯へスロットとコイルを横断して移動すると考えると  $Blv$  則が有効になるが, コイル横断磁束の計算は空隙磁束密度分布によらざるを得ないと考えられる。

### 2.2 $Blv$ 則による起電力計算の考察

$Blv$  則による起電力計算の内容について考察する。

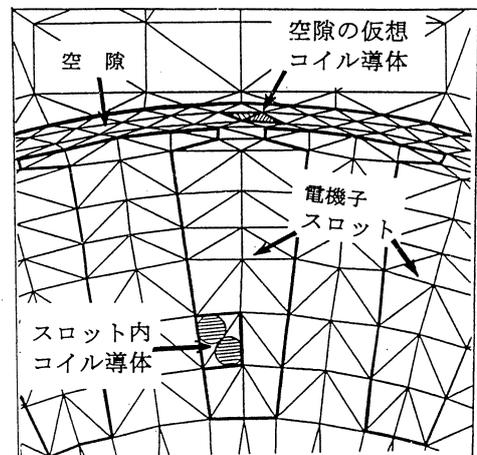


図 2 スロット内導体と仮想空隙コイル導体

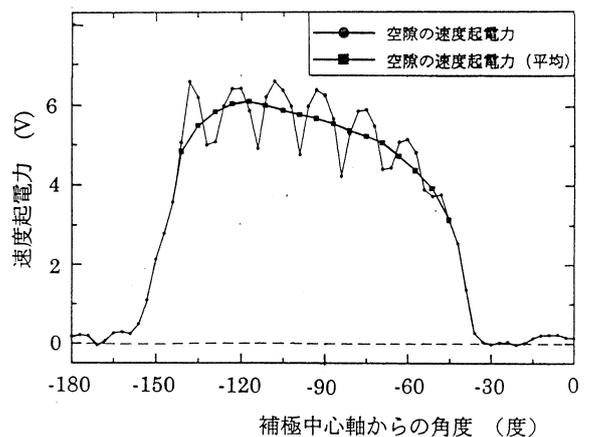


図 3 空隙磁束密度による速度起電力曲線とその脈動成分を平滑化した曲線

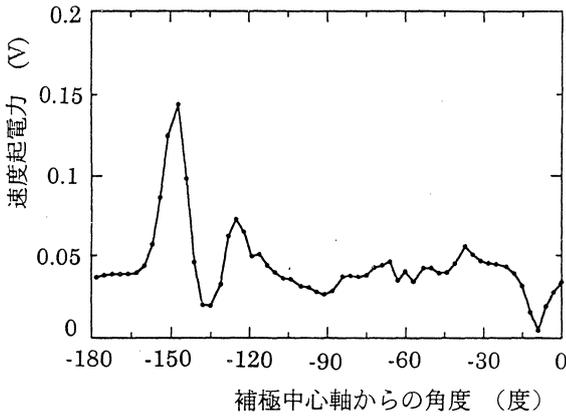


図4 スロット内磁束密度による速度起電力

図1において、コイル面内の磁束密度分布を  $B_n(x, t)$  とし、時間  $t$  が微小時間  $\Delta t$  だけ経過し、 $x$  が  $\Delta x$  移動したときの鎖交磁束の変化分  $\Delta\Phi$  は、式(2)に書かれる。

$$\Delta\Phi = -B_n(x_1, t) \cdot \Delta x + \int_{x_a+\Delta x}^{x_b} [B_n(x, t + \Delta t) - B_n(x, t)] dx + B_n(x_2, t + \Delta t) \cdot \Delta x \quad (2)$$

ただし、 $x_1, x_2$  は  $x_a < x_1 < x_a + \Delta x < x_2 < x_b + \Delta x$  で、平均値の定理を満足する  $x$  座標値、鉄心積厚  $l = 1[\text{m}]$  にしている。

式(2)を  $\Delta t$  で割り、 $\Delta t \rightarrow 0$  で  $\Delta x \rightarrow 0$ 、 $x_1 \rightarrow x_a$ 、 $x_2 \rightarrow x_b$  になるとして

$$\frac{d\Phi}{dt} = \int_{x_a}^{x_b} \frac{\partial B}{\partial t} dx + B(x_b, t) \frac{dx_b}{dt} - B(x_a, t) \frac{dx_a}{dt} \quad (3)$$

式(3)で、 $dx_a/dt = dx_b/dt = v_x$ 、 $dB/dt = 0$  の前提と巻線数  $w_1$  と鉄心積厚  $l$  を加味して式(1)をうる。

以上によると、式(1)は、式(2)の右辺第1項および第3項の磁束変化、あるいは、式(3)の右辺第2項および第3項の  $x_a$  および  $x_b$  における  $B_n$  の値のみによる起電力を与えるものである。スロット内コイルのように、コイル辺が移動してもその位置の磁束密度が常に平均磁束密度より低い磁束密度を取り続けるような場合は、コイル全面の鎖交磁束変化量とコイル導体が切断する磁束量とが異なるため、 $Blv$  則はその式の成り立ちから適用できないことが分る。

### 3 スロット内コイル誘導起電力の考察

#### 3.1 テキストにおける取り扱い

スロット内コイルの速度起電力およびこれと類似する場合の誘導起電力の取り扱いについて、手元にある電気機器学および電磁気学のテキストを調べた。

電気機器学のテキストでは、直流機については全てのテキストが、交流機では一部のテキストが空隙磁束密度分布と  $Blv$  則を基礎とした起電力の式を記述している。二、三のテキストが「運動する座標系における場の座標変換」を取り扱い、 $Blv$  則のみに限定されない速度起電力の式を記述しているが<sup>(1)~(3)</sup>、スロット内コイルの起電力に言及しているものは見当たらない。

電磁気学のテキストでは、それぞれが電磁誘導式の導出とその説明について特長を有しているが、それらを次の記述例で代表させることができる、すなわち、電磁誘導の鎖交磁束  $\Phi$  の変化原因として、

- (a) コイル面（積分すべき面）は静止し、磁束密度  $B$  が時間的に変化するために生ずる  $\Phi$  の変化
- (b)  $B$  は時間的に変化しないが、積分をなすべき面  $S$  の周辺曲線  $C$  が移動するために生ずる  $\Phi$  の変化
- (c)  $B$  は時間的に変化せず、 $C$  もまた移動しないが、積分をなすべき面の形状が変化するために生ずる  $\Phi$  の変化

の三者をあげ、次式(4)を与えている<sup>(4),(5)</sup>、

$$\begin{aligned} \frac{d\Phi}{dt} &= \frac{d}{dt} \int B dS \\ &= \int \left\{ \frac{\partial B}{\partial t} + \nabla \times [B \times v] + v \cdot \nabla B \right\} \cdot dS \quad (4) \end{aligned}$$

式(4)の右辺は、 $\nabla \cdot B = 0$  であるから変圧器起電力と速度起電力の和を表している。その右辺第2項の計算を式(1)の表現形でのみ取り扱おうと、計算例のようにスロット内コイルの起電力計算に適合しないが、このような場合に言及したテキストは見当たらない。

#### 3.2 スロット内コイルに対する速度起電力の式

式(4)は以下のように書きかえられる。図5に示すように、時刻  $t$  において面  $S_1$  にあり、微小時間  $\Delta t$  後の時刻  $t + \Delta t$  において、 $v$  を速度ベクトルとして、 $v \Delta t$  だけ移動して面  $S_2$  になるとする。面  $S_1$  から  $S_2$  へ移動した場合の磁束変化率は次式に書かれる。

$$\frac{1}{\Delta t} (\Delta \int B dS) = \frac{1}{\Delta t} \left( \int_{S_2} B_{t+\Delta t} dS - \int_{S_1} B_t dS \right) \quad (5)$$

ここで、 $B_t = B(x, y, z, t)$ 、 $B_{t+\Delta t} = B(x + \Delta x, y + \Delta y, z + \Delta z, t + \Delta t)$  :  $t$  および  $t + \Delta t$  における磁束密度ベク

トル,  $dS$ : 任意の曲面の面素である.

$B_{t+dt}$  をテイラー級数で表して 2 次の項までをとって式(5)に代入し,  $\Delta t \rightarrow 0$  の極限をとり,  $S_1, S_2 \rightarrow S$ ,  $B_t$  を  $B$  と書いて次式(6)をうる.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int B dS &= \int \left[ \frac{\partial B}{\partial t} + (v \cdot \nabla) B \right] dS \\ &= \int \frac{\partial B}{\partial t} dS + \int \left( v_x \frac{\partial}{\partial x} + v_y \frac{\partial}{\partial y} + v_z \frac{\partial}{\partial z} \right) B dS \end{aligned} \quad (6)$$

2.2 節の考察により,  $Blv$  則の形式が適用できるのは, 図 5 において, 面  $S_1$  の周辺  $C$  が移動して  $S_2$  の周辺  $C'$  に移る際に描く面 ( $dS = dt[v \times dl]$  の積分) を通してのみ磁束鎖交数変化が生ずる場合である. 式(6)の右辺第 2 項は,  $B(x, y, z, t)$  を生ずる起磁力が時間的に一定であっても, 位置の関数として磁束密度分布に変化を生ずる場合の起電力をも陽に表している. すなわち, 3 章で示した電磁誘導の磁束鎖交数  $\Phi$  の変化原因 (a), (b) および (c) の他に,

(d) 積分すべき面  $S$  が移動するとき, 面  $S$  の周辺  $C$  が描く面積による磁束鎖交数変化と面  $S$  内の磁束密度分布の変化による磁束鎖交数の変化が異なるような  $\Phi$  の変化がある. スロット内コイルの速度起電力発生の主体は上記(d)によるものと考えられる.

#### 4 スロット内コイル起電力の $Blv$ 則によらない計算例と考察

##### 4.1 計算例

式(6)の右辺第 2 項によるスロット内コイル起電力の計算例を, 簡単のため直流機の場合で示す. 図 1 を参照して,  $w_1$  巻きのコイルの磁束鎖交数を

$$\Phi(x, t) = w_1 l \int B_a(x, t) dx \quad (7)$$

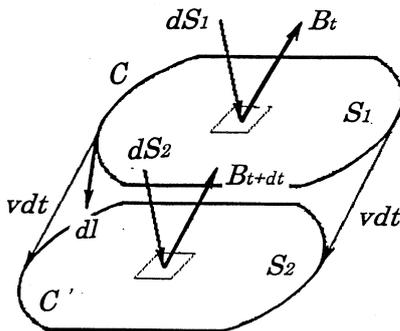


図 5 速度起電力の磁束鎖交数変化

で表しうる場合を考える. そのとき式(6)の右辺第 2 項は式(8)になる.

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{\partial \Phi}{\partial x} \frac{dx}{dt} \quad (8)$$

式(8)は多くのテキストに記述されている式であるが, 右辺第 2 項の実用形として  $Blv$  則の形に書き換えてしまう記述が多い. しかし, 前記(d)のような  $\Phi$  の変化がある場合には式(8)右辺第 2 項の形の表現が有効である. この右辺第 2 項の計算は, 磁界解析によりベクトルポテンシャル  $A$  を計算し, 次式(8)により求めるのが一般的である.

$$\begin{aligned} \frac{d\Phi(t)}{dt} &= v_x \frac{\partial \Phi(x, t)}{\partial x} \\ &= w_1 l \cdot v_x \cdot \frac{[(A_b - A_a)_2 - (A_b - A_a)_1]}{\Delta x} \end{aligned} \quad (9)$$

ただし,  $(A_b - A_a)_1$ ,  $(A_b - A_a)_2$ : それぞれ, コイル位置 1 および 2 におけるコイル辺  $a$ ,  $b$  のベクトルポテンシャル値,  $\Delta x = x_2 - x_1$ : コイル位置の微小移動量である.

式(9)によるスロット内コイル誘導起電力の計算結果を図 6 に示す. 図 7 は, 図 3 の空隙磁束密度による起電力の平滑化曲線と図 6 のスロット内コイルの起電力曲線を比較して示したものである. 図 7 から, 空隙の磁束密度による速度起電力と式(9)によるスロット内コイル速度起電力はよく一致した値に得られた.

##### 4.2 スロット内コイル誘導起電力に関する考察のまとめ

鉄心スロット内コイルの速度起電力計算への  $Blv$  則適用に関する考察結果を次のように要約することができる.

- (1) 回転機鉄心スロット内コイルの速度起電力の計算において,  $Blv$  則形の計算は正しい値を与えない. すなわち,  $Blv$  則の適用には制限条件がある.
- (2) 電磁誘導則の速度起電力の表現式には  $Blv$  則の形と  $v_x \cdot (\partial \Phi / \partial x)$  の形の 2 形式があるが, 後者の算法によらなければ正しい値が求められない場合がある.
- (3) 一磁極ピッチ間の起電力計算について, 空隙の磁束密度分布による  $Blv$  則の計算値と直接スロット内コイルについて磁気ベクトルポテンシャルにより計算した値は良い一致を示した.

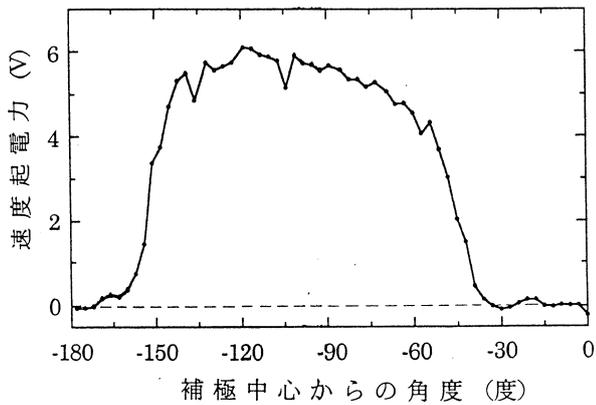


図6 スロット内コイルの速度起電力

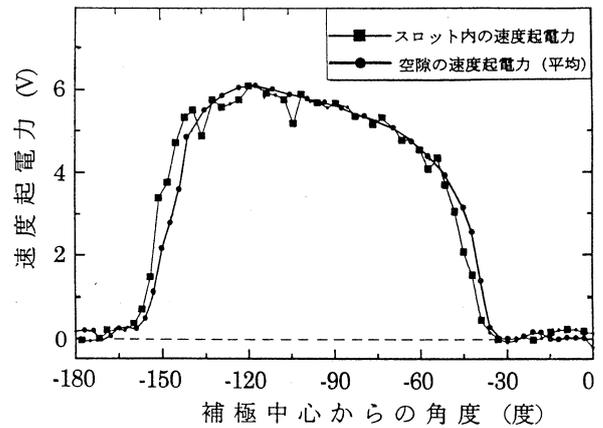


図7 空隙磁束密度による速度起電力とスロット内コイルの誘導起電力の比較

### 5. あとがき

回転電気機械の鉄心スロット内コイルに対するフレミングの右手則の適用について考察し、その物理的内容を明らかにした。特に、電磁誘導作用の鎖交磁束変化の場合分けとして、コイル導体の磁束切断量とコイル面全体の鎖交磁束変化量が一致しないような磁束変化があり、その場合  $B\ell v$  則以外の起電力計算法に拠らなければならないことを指摘した。

これまで、回転機における起電力の表現が毎極磁束数あるいは空隙の平均磁束密度分布などの平均値的な量によっていたのは、理論の実用上でスロット内磁界あるいは磁気ベクトルポテンシャルの定量的取り扱いが困難であったためと思われる。計算機利用環境が分散化・低価格化し、電気機器解析・設計技術において電磁界解析の利用が必須化した現在<sup>(6)</sup>、電気機器学テキストにおける記述においても、鉄心スロット内磁界や磁気ベクトルポテンシャル等の導入が有効な

環境になっていると考えられる。

最後に、有限要素法による直流機の誘導起電力計算に協力頂いた、平成8年度電気電子工学科卒業研究学生 桜田順也、吉田 敬 の両君に感謝する。

### 文 献

- (1) H.H.Woodson and J.R.Melcher : Electromechanical Dynamics, Part.I: Discrete Systems, John Wiley & Sons, (1968)
- (2) 西村正太郎編 : 電気機器学, オーム社, (1982)
- (3) 穴山 武著 : 電磁エネルギー変換工学, 丸善, (1983)
- (4) 竹山説三著 : 電気磁気学現象論, 丸善, (1944)
- (5) パノフスキー, フィリップス著 (林、西田訳) : 電磁気学 (上), 吉岡書店, (1962)
- (6) 坂部茂一 : 回転機の進歩と多様化 I. 解析技術の進歩, 電気学会論文誌, Vol.115-D, No.7, (1995)



# Enhancement of Catalytic Activity of Natural Zeolites by Surface Modification for 1-Butene Isomerization

John Kwaku Adu DAPAAH, Lebong ANDALALUNA, Takao KOBAYASHI,  
Yoshio UEMICHI and Masatoshi SUGIOKA

(Received 9 May 1997, Accepted 20 August 1997)

Catalytic activity of some natural zeolite (NZ) samples has been examined using 1-butene isomerization in a closed-circulating system as a test reaction. A remarkable improvement in the activity was observed after modification of the samples. Samples treated by aqueous ammonium solutions (1 M) gave relatively higher activities than that by mineral acid solutions (1 M). X-ray diffraction powder patterns suggested that, the zeolite crystalline structure is well preserved in the case of the ammonium solution-treated samples, whereas partial structural deterioration occurred in the acid-modified ones. Ammonia temperature desorption study indicated an increase in the concentration and strength of surface acidity resulting from the modification, whilst IR spectra of adsorbed pyridine on the catalyst, revealed the presence of both Bronsted and Lewis acid sites. Some of the modified samples (particularly NZ-YK, NZ-Y and NZ-O) showed catalytic activities higher than amorphous  $Al_2O_3$  and HMordenite, but relatively lower than HZSM-5.

Keywords: Catalytic Activity, Surface Modification, Natural Zeolite (NZ), Isomerization

## 1. INTRODUCTION

Natural zeolites (NZs) have mainly been utilized from time past as molecular sieves and ion exchangers. However, their usage as industrial catalysts is very much limited compared to the synthetic ones owing to their relatively low catalytic activity and their small pore sizes<sup>1)</sup>. Nevertheless, some natural zeolites have been applied as catalysts or carriers in industry. For instance, it has been reported that, for the selectoforming process, nickel supported on erionite or erionite/clinoptilolite have been employed as catalysts<sup>2)</sup>. This is a process in which, straight chain paraffins are selectively cracked from reformer product mixtures including, naphthenes, aromatics, or isoparaffins<sup>3)</sup>.

Furthermore, frantic research efforts are being made to

employ natural zeolites as effective catalysts or supports in the petroleum industry. Sako et al<sup>4)</sup> reported that, natural clinoptilolite modified by mineral acids and ammonium salts, was found to be efficient for catalyzing the conversion of methanol to olefins, which are precursors for the Mobil olefins-to-gasoline and distillates (MOGD) process. Recently, the proton form of natural clinoptilolite, has been noted as an effective catalyst for the skeletal isomerization of n-butenes to isobutene<sup>5)</sup>. This product, is a primary ingredient for the synthesis of MTBE (methyltert.-butylether) and ETBE (ethyltert.-butylether), which are environmentally friendly octane-number enhancers for the reformulated gasoline.

Development of highly active natural zeolites catalysts may be attractive in view of its low cost. In this paper, the catalytic properties of some natural zeolites, after activation through surface modification is investigated.

Department of Applied Chemistry  
Muroran Institute of Technology  
Muroran, Hokkaido.

## 2. EXPERIMENTAL

### (a) Catalyst Materials

Natural zeolite (NZ) samples examined were obtained from some locations in the Hokkaido prefecture of Japan, namely Yoichi (Y and YK), Oshamambe (O), Matsumae (M) and Kushiro (K). They were labelled as NZ-YK (and NZ-Y), NZ-O, NZ-M and NZ-K, respectively.

### (b) Sample Treatment

(i) Ion-Exchange Method: Samples were ion-exchanged with various solutions namely  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $[\text{NH}_4]_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$  and  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1 M each). One treatment was made by soaking the sample at room temperature and the other at about  $100^\circ\text{C}$  under refluxing conditions. In each case, a 10 g sample was treated with 250 ml of the reagent for a period of 24 hours. The samples were then filtered and washed with distilled water until free from the corresponding anion. This was followed by drying at  $120^\circ\text{C}$  overnight and calcination at  $500^\circ\text{C}$  and other temperatures for 3 hours.

(ii) Impregnation Method: 2 g sample of H-YK (protonated form of NZ-YK) was impregnated with aqueous solutions of  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Zr}(\text{SO}_4)_2$  and  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  to yield 5 wt% catalysts. The resulting catalysts, were dried at  $120^\circ\text{C}$  and calcined at temperatures ranging from  $200^\circ\text{C}$  to  $500^\circ\text{C}$  for 3 hours.

### (c) Reaction System and Procedure

A closed-circulatory system was used as a reactor for the isomerization of 1-butene (which was a chosen test reaction) over the various catalysts. Prior to reaction, each catalyst was activated under evacuation at its calcination temperature for 2 hours. The reaction was conducted at  $25^\circ\text{C}$  using 50 mg catalyst sample and 40 torr of 1-butene. A gas chromatograph equipped with a 4 m long column with propylene carbonate and TCD was employed for the analysis of the products.

### (d) Characterization

In order to study the effects of the modification, particularly the ion-exchange, on the samples and the nature of catalysts produced, NZ-YK, which is known to consist of mainly clinoptilolite, was selected for characterization. Powder X-ray diffraction (XRD) patterns were recorded with a Rigaku Gegerflex XRD instrument using  $\text{CuK}\alpha$  radiation to study the structure of sample NZ-YK before and after modification. Specifically, unmodified YK and those modified by  $[\text{NH}_4]_2\text{SO}_4$  and mineral acids at about  $100^\circ\text{C}$  were considered.

Temperature programmed desorption (TPD) of  $\text{NH}_3$  was also conducted after pretreating 0.1 g sample for 1 hour at  $500^\circ\text{C}$  under vacuum to study the surface acidity of the catalyst. A  $20^\circ\text{C}/\text{min}$  heating rate of  $\text{NH}_3$  desorption from  $100^\circ\text{C}$  to  $550^\circ\text{C}$  was used. Fourier Transform Infra-red (FTIR) spectroscopy was used to study the nature of acid sites on H-YK using pyridine as a probing adsorbate molecule. A self-supporting disc of the sample, was outgassed at  $500^\circ\text{C}$  for 2 hours, after which 10 torr pyridine was introduced for 30 minutes at  $150^\circ\text{C}$ , followed by desorption at the same temperature for 30 minutes.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. Catalyst Activation

Figures 1 (a), (b), (c) and (d) depict some of the typical results for the conversions and product selectivities obtained in the isomerization of 1-butene over the catalysts. As shown, prior to modification, the samples were inactive for the reaction under the present reaction conditions. This observation, is consistent with the fact that, potassium form of clinoptilolite was found to be practically inactive for isomerizing n-butene isomers<sup>6)</sup>.

In general, all the catalysts, especially NZ-YK, NZ-Y and NZ-O, showed a remarkable improvement in their catalytic activities. It is known that double bond isomerization is an acid sensitive reaction. We assume that, the treatment given to the samples led to an increase in the concentration of acid sites as well as the amount of strong acid sites. The cis to trans-2-butene ratio observed was generally close to unity. It is therefore noted that Bronsted acidity is responsible for this reaction<sup>7)</sup>. The cases with cis to trans ratios deviating from unity are due to the pore size of the zeolites. Ritcher et al<sup>8)</sup> indicated that, in the isomerization of 1-butene over Bronsted-acid sites in small pore zeolites, selectivity of cis and trans 2-butene is influenced by the pore size of the molecular sieve. The preferential conversion of the secondary butylcarbenium-ion intermediate into the trans isomer leads to cis/trans ratios lower than 1. This is caused by the steric constraints and the slow diffusion of the bulkier cis isomer out of the pores of the zeolite.

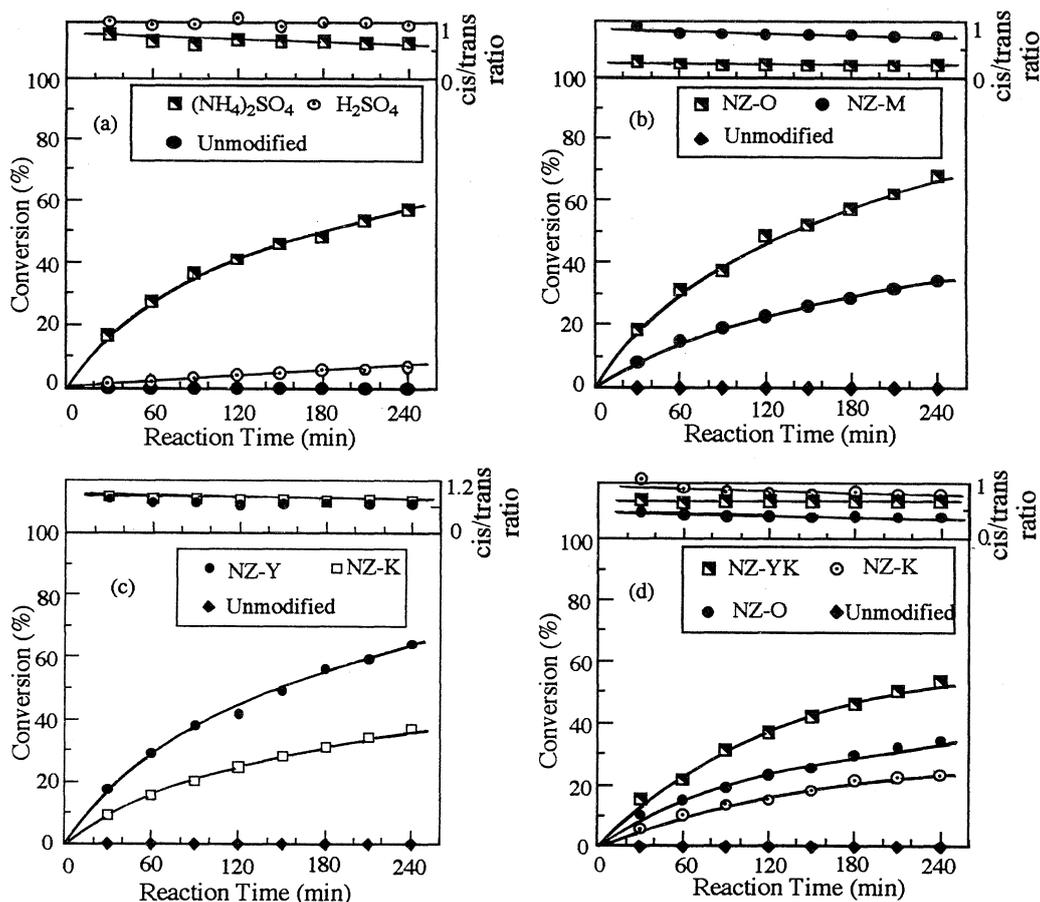


Figure 1. Conversion and product selectivity in 1-butene isomerization over modified natural zeolites. (a) NZ-YK modified by  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  and  $\text{H}_2\text{SO}_4$  at 100°C; (b) NZ-O and NZ-M modified by  $\text{NH}_4\text{Cl}$  at 100°C. (c) NZ-Y and NZ-K modified by  $\text{NH}_4\text{Cl}$  at 100°C; (d) NZ-YK, NZ-O and NZ-K modified by  $\text{NH}_4\text{Cl}$  at 25°C. (Catalyst weight = 50 mg; Reaction temperature = 25°C.)

### 3.2. Characterization

#### 3.2.1 XRD Study

The XRD powder patterns (Figure 2) obtained show two prominent peaks, with the most significant peak located at diffraction line corresponding to  $2\theta = 22.6^\circ$  and the other at about  $9.9^\circ$ . This pattern is typical of natural clinoptilolite as reported in the literature<sup>9</sup>. The diffraction pattern for ammonium solution-treated NZ-YK shows an increase in intensity relative to that of the original sample. On the other hand, that of the mineral acid-modified samples depict significant decrease in peak intensity.

These observations suggest that, the zeolite crystalline structure remains intact or is well preserved, when treated with ammonium solution. Conversely, structural deterioration and/or partial collapse occurs in the case of the mineral acid modification. Certainly, such important changes are expected to reflect on the catalytic activity of these samples as discussed later.

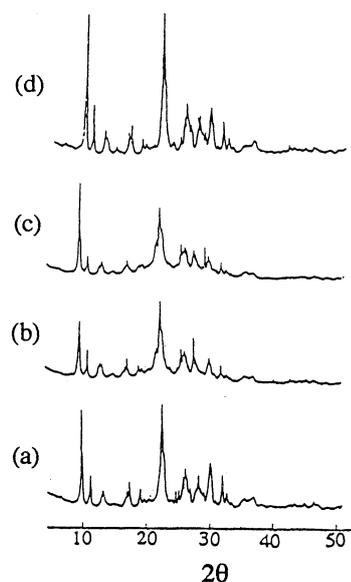


Figure 2. Powder XRD patterns of NZ-YK before and after modification.

(a) Unmodified NZ-YK; (b) Sample modified by  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1 M); (c) Sample modified by  $\text{HCl}$  (1 M); (d) Sample modified by  $[\text{NH}_4]_2\text{SO}_4$ . Note: Reagent treatment was done at 100°C.

### 3.2.2 Temperature Programmed Desorption of NH<sub>3</sub>

Ammonia TPD profiles for NZ-YK before and after modification with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl and [NH<sub>4</sub>]<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> at 100 °C and calcined at 500 °C for 3 hours are shown in Figure 3. All the catalysts, except the unmodified sample, show two NH<sub>3</sub> desorption peaks,

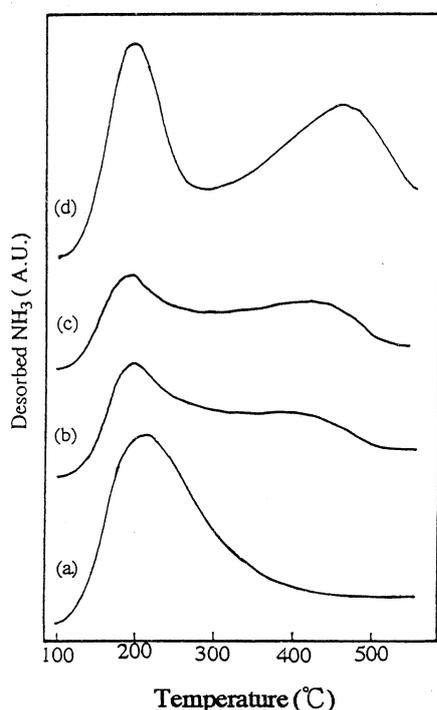


Figure 3. Profiles for temperature-programmed desorption of ammonia.

- (a) Unmodified NZ-YK.  
 (b) Sample modified by H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1 M) at 100 °C.  
 (c) Sample treated with HCl (1 M) at 100 °C.  
 (d) Sample modified by [NH<sub>4</sub>]<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1 M) at 100 °C.  
 All samples were calcined at 500 °C for 3 hours.

which is characteristic of zeolites. The lower temperature desorption peak (around 200 °C-220 °C), correspond to weak acid sites and the higher one (above 400 °C) is ascribed to stronger acid sites (especially the Bronsted type)<sup>10</sup>. Thus, it is clear that, the unmodified sample (exhibiting a single peak at a low temperature), possesses only weak acid sites and hence could not catalyze the test reaction.

The increase in surface acidity as well as the concentration of strong acid sites as a result of the modification, accounts for the improvement in the catalytic activities of the zeolites. It should be noted, however, that the [NH<sub>4</sub>]<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> modified catalyst has much higher concentration of stronger acid sites relative to that of mineral acid treated ones. This is in correlation with their catalytic activities.

### 3.2.3. IR Spectroscopy

Figure 4 depicts the infra-red spectra of pyridine adsorbed on

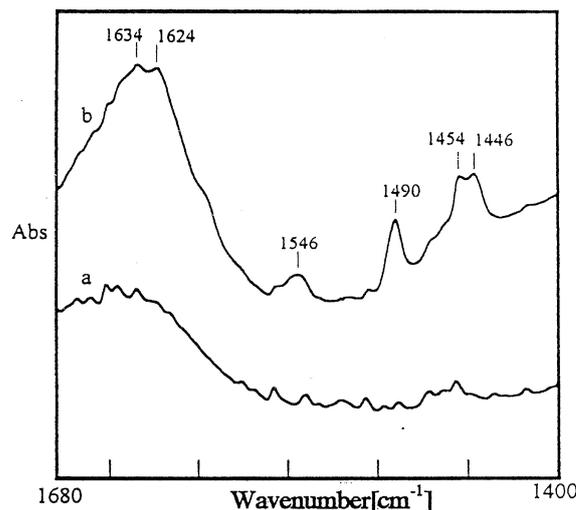


Figure 4. FTIR spectra of adsorbed pyridine on H-YK catalyst.

- (a) Sample after outgassing at 500 °C for 2 hours.  
 (b) Adsorption of pyridine (10 torr) at 150 °C for 30 minutes, followed by desorption at the same temperature for 30 minutes.

H-YK catalyst. Desorption and evacuation of adsorbed pyridine at 150 °C yielded a spectrum with absorption bands at 1546, 1490, 1454 and 1446 cm<sup>-1</sup>. The 1546 cm<sup>-1</sup> band is assigned to pyridinium ions bonded to Bronsted-acid sites whilst those of 1454 and 1446 cm<sup>-1</sup> are attributed to coordinatively bonded pyridine at Lewis-acid sites. The absorption band at 1490 cm<sup>-1</sup> is indicative of pyridine associated with both Bronsted and Lewis acid sites<sup>11</sup>. It is therefore confirmed that both Bronsted and Lewis-acid sites are generated on the surface of the catalyst.

### 3.3. Treatment Reagent and Temperature Effect

Figures 5 (a) and (b) shows that, treatment by ammonium salts (NH<sub>4</sub>Cl and [NH<sub>4</sub>]<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) solution led to higher catalytic activities than that by the mineral acids except the case of NZ-K in which the HCl treatment at room temperature was the highest. Ion-exchange using NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ion is reported to cause an appreciable decrease in the surface area whilst its dealumination effect is quite low. Thus, the Si/Al ratio is not significantly affected<sup>12</sup>. Also, a 1M HCl treatment given to a zeolite like clinoptilolite, caused an increase in both the surface area and the Si/Al ratio<sup>4</sup>. Given these facts, the possible reason for the ineffectiveness of the mineral acids could be attributed to the collapse of part of the zeolite structure with the consequent substantial decrease in the surface acidity. This is clearly evident in the powder XRD pattern of mineral acid treated NZ-YK as in Figure 2 above, depicting diffraction lines with lower intensity, relative to the unmodified sample.

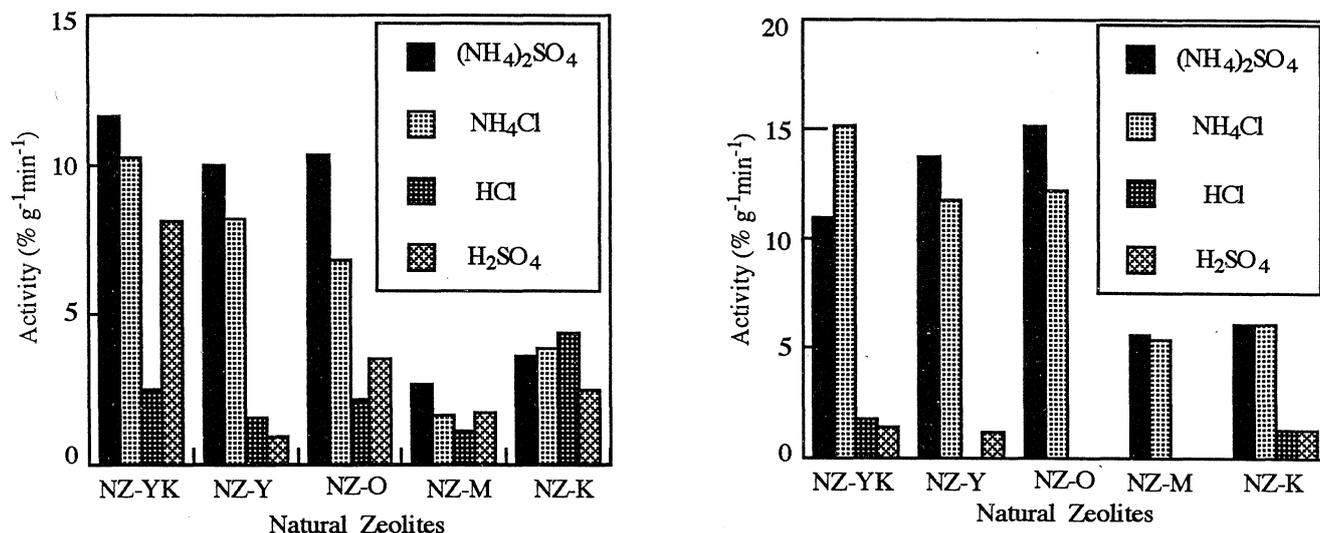
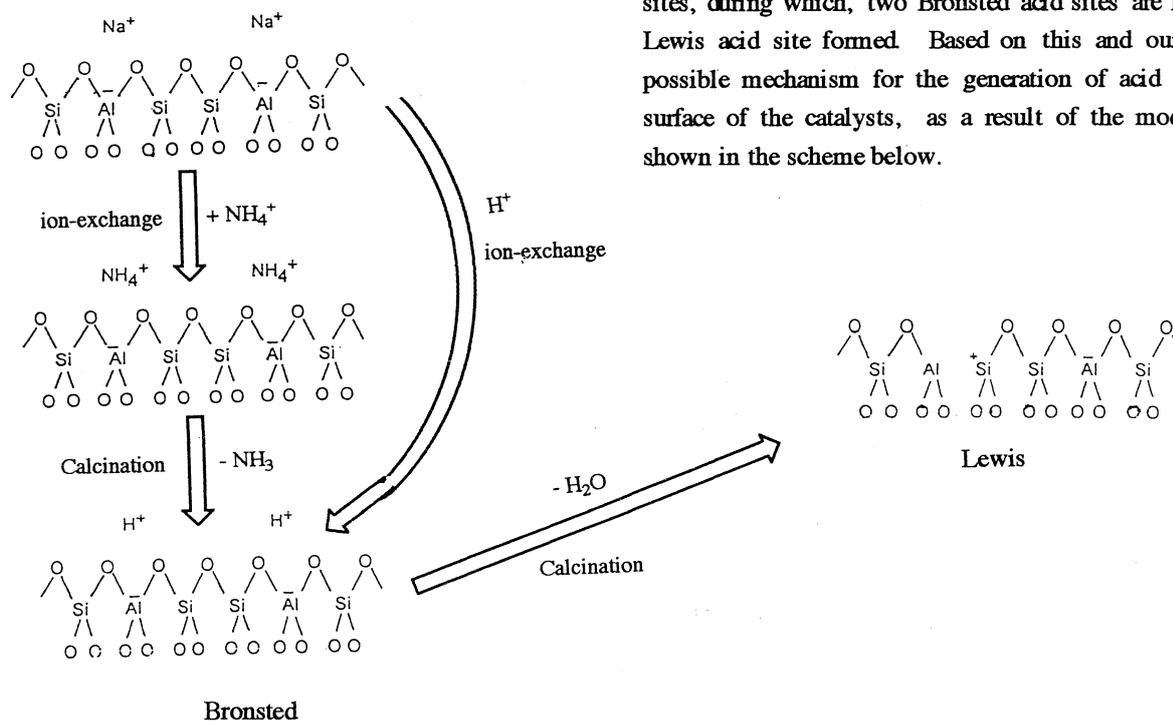


Figure 5. Activity of some natural zeolites modified at (a) room temperature and (b) 100°C in 1-butene isomerization. (Catalyst weight = 50 mg; Reaction temperature = 25°C). Note: Activity is based on analysis at 30 minutes.

A comparison between of treatments at room temperature and 100°C, reveals that for the ammonium solution, treatment under the latter condition yields relatively more active catalysts. Treatment at room temperature is better when mineral acid is used as the reagent, since at higher temperature the zeolite structure is almost completely destroyed. This rendered NZ-Y, NZ-O and NZ-M completely inactive.

### 3.4. Mechanism for the generation of acid sites

Basically, cations especially alkali and alkaline earth metals residing in the pores of the zeolite, are exchanged for  $\text{NH}_4^+$  or



Scheme 1. Possible mechanism for the generation of Bronsted and Lewis acid sites on the surface of the catalysts.

$\text{H}^+$  ions in case of ammonium or mineral acid solution treatment, respectively. Most probably, the removal of impurities also occur during the treatment. Following calcination, the release of ammonia leaves the zeolite protonated. Thus, Bronsted acid sites are generated in the pores and on the surface. Progressive dehydration leads to the formation of Lewis acid sites. As mentioned above, from the FTIR results, both types of acid sites are formed.

Detrekoy et al<sup>6</sup> reported that, the deammoniation of the ammonium form of clinoptilolite, is complete at 400°C, forming the protonated zeolite. Dehydroxylation is said to occur above 400°C, leading to the formation of Lewis acid sites, during which, two Bronsted acid sites are lost for each Lewis acid site formed. Based on this and our results, a possible mechanism for the generation of acid sites on the surface of the catalysts, as a result of the modification, is shown in the scheme below.

### 3.5. Impregnated Catalysts

As shown in Figure 6, the metal sulphate impregnated H-YK catalysts unexpectedly, showed lower activities than the supporting protonated zeolite. This is presumably due to the small pore size of the zeolite. As such, the metal ions do not get access into the pores instead they tend to block the channels thereby preventing the effective use of the active sites. The impregnation of  $[\text{NH}_4]_2\text{SO}_4$  however, gave rise to a little higher activity. The increase is probably due to the presence of some residual  $\text{SO}_4^{2-}$  ions on the catalyst surface which by its electron-withdrawing effect strengthens the Bronsted acidity and also the increase in the number of protons originating from the  $\text{NH}_4^+$  ions.

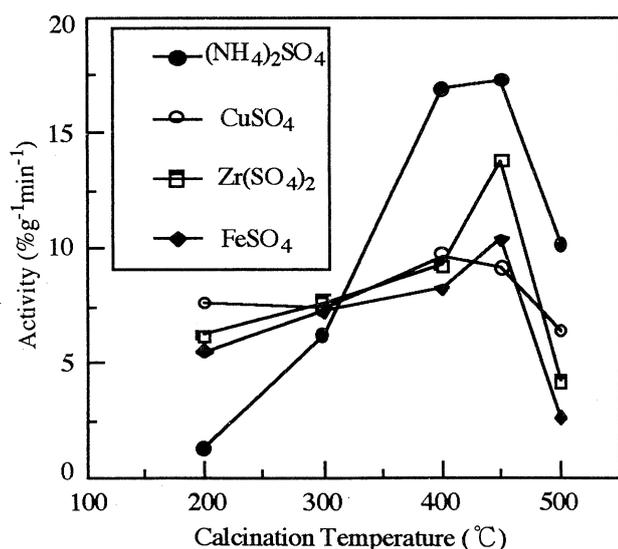


Figure 6. Catalytic activity of impregnated YK catalysts calcined at various temperatures in 1-butene isomerization.

(Catalyst weight = 50 mg; Reaction temperature = 25°C.)

Activity is based on analysis at 30 minutes.

Note: Catalysts contained 5 wt% of the sulphates indicated on the label.

### 3.6. Comparison with synthetic catalysts

Figure 7 indicates that, three of the natural zeolites studied, NZ-YK, NZ-Y and NZ-O have higher catalytic activities than the synthetic catalysts such as HMordenite and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  after modification. Also, modified NZ-Y which was calcined at 450 °C for 3 hours was more active than synthetic HY catalyst. In general, however, the activities of the natural zeolites were relatively lower than HZSM-5. The presence of excess cations in the pores of natural zeolites significantly limits the decationization and dealumination effect of the ion-exchange reagents. It is worthy of note, that, the presence of residual cations is evidenced by the IR band at  $1446\text{ cm}^{-1}$  which is indicative of pyridine coordination with cationic sites- (Lewis acid sites)<sup>13</sup>.

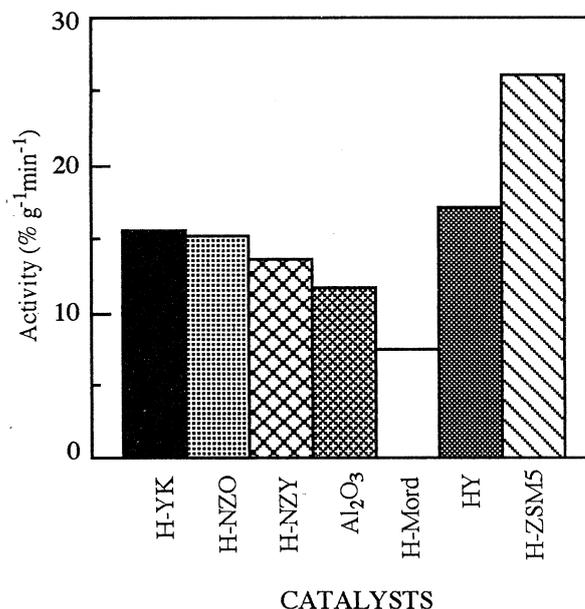


Figure 7. Comparison of the catalytic activities of modified natural zeolites and some synthetic catalysts in 1-butene isomerization.

(Catalyst weight = 50 mg; Reaction temperature = 25°C.)

Activity is based on analysis at 30 minutes.

## 4. CONCLUSION

The modification of natural zeolites by treatment with ammonium salt (especially  $\text{NH}_4\text{Cl}$  or  $[\text{NH}_4]_2\text{SO}_4$ ) remarkably improves their catalytic activities by increasing the surface acidity as well as the concentration of strong Bronsted acid sites.

Though the natural zeolites studied showed relatively low catalytic activities, the fact that modified NZ-YK, NZ-Y and NZ-O have higher activities than some of the synthetic ones supports our suggestion earlier<sup>14</sup> that there is a possibility of applying natural zeolites as catalysts for some acid-catalyzed hydrocarbon conversions in industry, in future.

## 5. REFERENCES

- (1) F. A. Mumpton, Natural Zeolites, A new industrial mineral commodity, Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Use (Eds. L. B. Sand, and F. A. Mumpton), Pergamon Press, New York, (1978), p.3-27.
- (2) A. Dyer, An introduction to molecular sieves, John Wiley and Sons Ltd., New York, (1988), p.130.
- (3) B. C. Gates, J. R. Katzer and G. C. A. Schuit, Chemistry of Catalytic Processes, McGraw Hill, Inc., New York, (1979), p.88.
- (4) H. Sako, M. Nitta and K. Aomura, Catalytic activity and selectivity of modified clinoptilolite for conversion of methanol to light olefins, Applied Catalysis, 16, (1985), p.249-353.

- (5) H. C. Woo, K. H. Lee and J. S. Lee, Catalytic skeletal isomerization of n-butenes to isobutene over natural clinoptilolite zeolite, *Applied Catalysis*, 134, (1996), p.147-158.
- (6) E. J. Detrekoy, P. A. Jacobs, D. Kallo and J. B. Uytterhoven, The nature of catalytic activity of hydroxyl groups in clinoptilolite, *J. Catalysis*, 32, (1974), p.442-451.
- (7) M. Sugioka, N. Sato and D. Uchida, Activity enhancement of  $\text{Me}^{\text{III}}/\text{SiO}_2$  catalysts by sulfiding with hydrogen sulfide for acid-catalyzed reactions, *Acid-Base Catalysis II*, Kodansha Ltd, (1994), p.343-348.
- (8) M. Ritcher, H.-L. Zubowa, E. Schreier, B. Parlitz and J. Ritcher-Mendau, Double bond isomerization of n-butenes over silicon-modified aluminophosphate molecular sieves catalysts: Reaction characteristics and influence of pore size on stereoselectivity, *Zeolites*, 14, (1994), p.414-423.
- (9) R. Szabo, *Handbook of Molecular Sieves*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992, p.126.
- (10) N. Travieso, J. A. Gonzalez, A. Arcoya and X. L. Seoane, Comparison of isomerization and disproportionation activity of H-Clinoptilolite and other protonated zeolites, *Reaction Kinetics and Catalysis Letters*, Vol.49, No. 2, (1993), p.279-286.
- (11) E. P. Parry, An infra-red study of pyridine adsorbed on acidic solids. Characterization of surface acidity, *J. Catalysis*, 2, (1963), p.371-379.
- (12) G. J. Hutchings, T. Themistocleous and R. G. Copperthwaite, Methanol conversions to hydrocarbons using modified clinoptilolite catalysts. Investigation of catalyst lifetime and reactivation, *Applied Catalysis*, 43, (1988), p.133-140.
- (13) J. W. Ward, The nature of active sites on zeolites. IV. The influence of  $\text{H}_2\text{O}$  on the activity of X and Y type zeolites, *J. Catalysis* 11, (1968), p.238-250.
- (14) M. Sugioka, Y. Nakata, T. Kobayashi, Y. Uemichi, Y. Yoshida and T. Sato, Transformation of natural zeolites in Hokkaido into highly active catalysts by surface modification (in Japanese), *Hokkaido Geotechnics*, No. 3, (1992), p.159-164.

表面改質による天然ゼオライト触媒の高活性化

J. K. A. ダバー、L. アンダラルナ、小林 隆夫、上道 芳夫、杉岡 正敏

1-ブテンの異性化反応をモデル反応として天然ゼオライトの触媒活性を調べた。天然ゼオライトは、改質処理を施すことによって触媒活性が改善された。X線回折パターンからアンモニウム塩水溶液処理したものは構造が破壊されていないが、酸水溶液処理したものは構造の一部が破壊されていることが示された。アンモニウム塩水溶液を用いた場合、酸水溶液を用いた場合よりも高活性を示した。アンモニアの昇温脱離を行なった結果、表面改質後の酸強度および濃度の増加が明らかとなった。ピリジンを吸着させたIRの結果からLewis酸点とBronsted酸点が存在していることが分かった。 $\text{Al}_2\text{O}_3$ とHMordenite触媒よりも処理した天然ゼオライト(特にNZ-YK, NZ-YとNZ-O)のほうが高活性であったが、HZSM-5より低活性を示した。

キーワード： 触媒活性、表面改質、ゼオライト、異性化

応用化学科、室蘭工業大学



# A recursion formula of local densities with congruence conditions

Hidenori KATSURADA<sup>1</sup> and Masaki HISASUE<sup>2</sup>

(Received 9 May 1997, Accepted 20 August 1997)

In this paper, we give a recursion formula of local densities with congruence conditions. As an application we give another proof for the recursion formula of local densities in (*J. Number Theory*, 64, 1997, 183-210) for a special case. Further we define a certain formal power series which is a generalization of the one in (*Proc. Japan Acad.* 70, 1994, 208-211), and determine an explicit form of its denominator.

Keywords: Local Densities, Recursion Formula

## 1 INTRODUCTION

Local densities of quadratic forms over the  $p$ -adic field are very important invariants in the arithmetic theory of quadratic forms, and various types of recursion formulas for them have been studied by several authors. They all give important<sup>2</sup> information on local densities. Among others, in [Ki1] and [Ki2], Kitaoka have given an explicit formula for a special case. In [Ka1], we have defined *the local densities with congruence condition*, and in [Ka2], obtained several recursion formulas for them to give the denominator of a certain power series attached to local densities for  $p \neq 2$ . They are very effective to compute the local densities, and give an explicit form of all local densities of quadratic forms over the  $p$ -adic field for  $p \neq 2$  in principle. However they are rather complicated and not all of them can be generalized to all the cases including  $p = 2$  (see the remark at the end of section 3). In this paper, we give a formula expressing a *local density with congruence condition* as a linear combination of usual local densities for a special but important case (cf. Theorem 3.3). It is rather simpler than the ones in [Ka2], and holds for all  $p$  including 2. As a corollary, we give a new proof to [KH, Theorem 4.1] for a special case.

## 2 LOCAL DENSITIES WITH CONGRUENCE CONDITIONS

In this section, we recall the notion of the local densities with congruence conditions and a recursion formula for them following [Ka2] and [His] with a slight modification. For a commutative ring  $R$ , we denote by  $M_{mn}(R)$  the set of  $(m, n)$ -matrices with entries in  $R$ . Here we understand  $M_{mn}(R)$  the set of the *empty matrix* if  $m = 0$  or  $n = 0$ . We also make the convention that  $\text{diag}(U, V) = V$  if  $U$  is the empty matrix. For an  $(m, n)$  matrix  $X$  and an  $(m, m)$  matrix  $A$ , we write  $A[X] = {}^t XAX$ , where  ${}^t X$  denotes the transposition of  $X$ . Let  $a$  be an element of  $R$ . Then for an element  $X$  of  $M_{mn}(R)$  we often use the same symbol  $X$  to denote the class of  $X$  mod  $aM_{mn}(R)$ . Put

$$GL_m(R) = \{A \in M_{mm}(R); \det A \in R^*\},$$

where  $\det A$  denotes the determinant of a square matrix  $A$ , and  $R^*$  denotes the unit group of  $R$ . Further let  $S_n(R)$  denote the set of symmetric matrices of degree  $n$  with entries in  $R$ . We abbreviate an  $(m, n)$ -matrix whose components are all 1 (resp. 0) as  $1_{mn}$  (resp.  $0_{mn}$ ). We often simply write  $1 = 1_{mn}$  and  $0 = 0_{mn}$  if no confusion arises. Remark that 1 is different from the unit matrix. For square matrices  $X$  and  $Y$  we write  $\text{diag}(X, Y) = \begin{pmatrix} X & 0 \\ 0 & Y \end{pmatrix}$ . Let  $\mathbb{Q}_p$  be the field of  $p$ -adic numbers, and  $\{0, 1\}$  the finite set with two integers 0 and 1. Let  $m, n$  and  $l$  be non-negative integers such that

<sup>1</sup>Common Subject Division

<sup>2</sup>Department of Mathematics Faculty of Science, Hokkaido University

$m + l \geq n \geq 1$ . For  $S \in S_m(\mathbf{Z}_p)$ ,  $T \in S_n(\mathbf{Z}_p)$ ,  $U \in S_l(\mathbf{Z}_p)$ ,  $I = (r_{ij}) \in M_{ln}(\{0, 1\})$ , and a non-negative integer  $e$ , put

$$\begin{aligned} \mathcal{A}_e(T, (S, U); I) &= \{X = (x_{ij}) \in M_{m+l,n}(\mathbf{Z}_p)/p^e M_{m+l,n}(\mathbf{Z}_p); \\ \text{diag}(S, U)[X] &\equiv T \pmod{p^e} \text{ and } x_{m+i,j} \in p^{r_{ij}} \mathbf{Z}_p \\ &\text{for any } 1 \leq i \leq l, 1 \leq j \leq n\}, \end{aligned}$$

and

$$a_e(T, (S, U); I) = \#\mathcal{A}_e(T, (S, U); I).$$

We then define  $\alpha_p(T, (S, U); I)$  by

$$\alpha_p(T, (S, U); I) = p^{w(I)} \lim_{e \rightarrow \infty} p^{-(m+l)n+u(n+1)/2} a_e(T, (S, U); I),$$

where for  $I = (r_{ij}) \in M_{ln}(\{0, 1\})$  we write

$$w(I) = \sum_{1 \leq i \leq l, 1 \leq j \leq s} r_{ij}$$

If  $\text{diag}(S, U)$  and  $T$  are non-degenerate, the above limit exists. We write  $\alpha_p(T, (S, U); I)$  as  $\alpha_p(T, (S, \emptyset), I)$  or as  $\alpha_p(T, (\emptyset, U); I)$  according as  $\deg U = 0$  or  $\deg S = 0$ . Note that  $\alpha_p(T, (S, U); I)$  coincides with the usual local density  $\alpha_p(T, S)$  if  $l = 0$  and with  $\alpha_p(T, \text{diag}(S, U))$  if  $I = 0_{ls}$ . For an  $(l, n)$ -matrix  $I = (r_{ij})$ , and permutations  $\sigma$  and  $\tau$  of degree  $l$  and  $n$  respectively, we put  $\sigma \circ I \circ \tau = (r_{\sigma(i), \tau(j)})$ . We say that an  $(l, n)$ -matrix  $I$  is standard if

$$I = \begin{pmatrix} n_1 & \cdots & n_{s-1} & n_s \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{array}{l} \} l_1 \\ \} : \\ \} l_{r-1} \\ \} l_r \end{array}$$

with non-negative integers  $l_1, \dots, l_{r-1}, l_r, n_1, \dots, n_{s-1}, n_s$  such that  $l_1 + \dots + l_{r-1} + l_r = l$ , and  $n_1 + \dots + n_{s-1} + n_s = n$ . An  $(l, n)$ -matrix  $I$  is called quasi-standard if  $I = \sigma \circ I_0 \circ \tau$  with a standard matrix  $I_0$ , and permutations  $\sigma$  and  $\tau$  of degrees  $l$  and  $n$ , respectively. We denote by  $Sd_{ln}(\{0, 1\})$  the subset of  $M_{ln}(\{0, 1\})$  consisting of all quasi-standard matrices.

Now let  $A$  be an even unimodular matrix with entries in  $\mathbf{Z}_p$ . That is, let  $A$  be a symmetric unimodular matrix with entries in  $\mathbf{Z}_p$  whose diagonal components belong to  $2\mathbf{Z}_p$ . We remark that it means merely a symmetric unimodular matrix with entries in  $\mathbf{Z}_p$  if  $p \neq 2$ . As is well known,  $A$  is equivalent, over  $\mathbf{Z}_p$ , to a matrix of the following type:

$$\text{diag}(\overbrace{H, \dots, H}^r, U),$$

where  $H = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ , and  $U$  is an anisotropic even unimodular matrix of degree not greater than 2. The above  $r$  is the Witt index of  $A$ , which will be denoted by  $r(A)$ . Here we make the convention that  $\text{diag}(H, \dots, H, U) = U$  or  $= \text{diag}(H, \dots, H)$  according as  $r = 0$  or  $\deg U = 0$ . Then we define  $A^{(k)}$  by

$$A^{(k)} = \text{diag}(\overbrace{H, \dots, H}^{r-k}, U).$$

This  $A^{(k)}$  is uniquely determined only by  $A$  and  $k$  up to equivalence over  $\mathbf{Z}_p$ . As is well known, the value  $\alpha_p(B, A)$

for an even matrix  $B$  of degree  $n$  and  $A = \text{diag}(\overbrace{H, \dots, H}^k)$  is closely connected with the Fourier coefficient of Siegel-Eisenstein series of degree  $n$  and of weight  $k$  (for example, see [IK],[Ka5],[Ka6],[Ki2], and [M].) So it is important problem to find a reasonable expression of  $\alpha_p(B, A)$  when  $A$  is even unimodular.

**PROPOSITION 2.1.** *Let  $m, l, n$  be non-negative integers such that  $m + l \geq n \geq 1$ . Let  $A$  be non-degenerate even unimodular matrix of degree  $m$  with entries in  $\mathbf{Z}_p$ , and let  $b_1, \dots, b_n, c_1, \dots, c_l$  be elements of  $2\mathbf{Z}_p \setminus \{0\}$  such that  $b_1 \in 2p^2\mathbf{Z}_p$ . Further let  $I'$  be an  $(l, n)$ -matrix with entries in  $\{0, 1\}$ . Put  $B = \text{diag}(b_1, \dots, b_n)$ ,  $\hat{B} = \text{diag}(b_2, \dots, b_n)$ , and  $C = \text{diag}(c_1, \dots, c_l)$ .*

(1) *Let  $n \geq 2$ . Then we have*

$$\begin{aligned} &\alpha_p(\text{diag}(p^2 b_1, \hat{B}), (A, C); (1_{l_1}, I')) \\ &= p^{-m+n+1} \alpha_p(\text{diag}(b_1, \hat{B}), (A, C); (0_{l_1}, I')) \\ &+ \beta_p(0, A) \alpha_p(\hat{B}, (\text{diag}(A^{(1)}, -p^2 b_1), C); I'), \end{aligned}$$

where  $(1_{l_1}, I')$  is the  $(l, n)$ -matrix whose  $k$ -th column is  $1_{l_1}$  or the  $k-1$ -th column of  $I'$  according as  $k = 1$  or not, and others. Here we understand the right-hand side is 0 if the Witt index of  $A$  is 0.

(2) *Let  $n = 1$ . Then we have*

$$\alpha(p^2 b_1, (A, C); 1_{l_1}) - p^{-m+2} \alpha_p(b_1, (A, C); 0_{l_1}) = \beta_p(0, A).$$

**PROPOSITION 2.2.** *Let  $A, B, C_1$  and  $C_2$  be non-degenerate symmetric matrices of degree  $m, n, l_1$  and  $l_2$ , respectively, with entries in  $\mathbf{Z}_p$  such that  $m + l_1 + l_2 \geq n$ , and  $I$  an  $(l_2, n)$ -matrix with entries in  $\{0, 1\}$ . Assume that  $B, C_1$  and  $C_2$  are diagonal. Then we have*

$$\begin{aligned} (1) \quad &\alpha_p(B, (\text{diag}(A, p^2 C_1), C_2); I) \\ &= \alpha_p(B, (A, \text{diag}(C_1, C_2)); \begin{pmatrix} 1_{l_1, n} \\ I \end{pmatrix}). \\ (2) \quad &\alpha_p(B, (A, \text{diag}(p^2 C_1, C_2)); \begin{pmatrix} 0_{l_1, n} \\ I \end{pmatrix}) \\ &= \alpha_p(B, (A, \text{diag}(C_1, C_2)); \begin{pmatrix} 1_{l_1, n} \\ I \end{pmatrix}). \end{aligned}$$

Proposition 2.2 for  $p \neq 2$  is nothing but [Ka2, Proposition 3.4] and it also holds for  $p = 2$  without any change. (1) of Proposition 2.1 for  $p \neq 2$  is a special case of [Ka2, Proposition 3.6, 3.7] and it can be proved with slight modification for  $p = 2$ . Now let  $n, l$  be positive integers. Let

$$I = \begin{pmatrix} n_1 & \cdots & n_{s-1} & n_s \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{array}{l} \} l_1 \\ \} : \\ \} l_{s-1} \\ \} l_s \end{array}$$

with non-negative integers  $l_1, \dots, l_{s-1}, l_s, n_1, \dots, n_{s-1}, n_s$  such that  $l_2, \dots, l_s, n_1, \dots, n_{s-1} > 0$  and  $l_1 + \dots + l_{s-1} + l_s = l, n_1 + \dots + n_{s-1} + n_s = n$ . For an integer  $j$  such that  $n_1 + \dots + n_{k-1} + 1 \leq j \leq n_1 + \dots + n_k$  put  $l[j] = l_1 + \dots + l_k$ . Here we understand  $n_0 = 0$ . For each integer  $1 \leq k \leq s$  put  $n[k] = n_1 + \dots + n_k$ . For the above  $I$  and each integers  $1 \leq k \leq s$  define an element  $\tilde{I}_k$  of  $M_m(\{0, 1\})$  by

$$\begin{pmatrix} n_1 & \dots & n_{k-1} & n_k & \dots & n_s \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} \} l_1 \\ \} \\ \} l_{k-1} \\ \} l_k \\ \} \\ \} l_s \end{matrix}.$$

We note that  $\tilde{I}_1 = I$  if  $l_1 = 0$ . Next, for each integer  $j$  such that  $n[k-1] + 1 \leq j \leq n[k-1] + n_k$ , define an element  $I_j$  of  $M_{l,n}(\{0, 1\})$  by

$$\begin{pmatrix} n_1 & \dots & n_{k-1} & j - n[k-1] & n[k] - j & \dots & n_s \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} \} l_1 \\ \} \\ \} l_{k-1} \\ \} l_k \\ \} \\ \} l_s \end{matrix}$$

that is,  $I_j$  is the matrix obtained from  $\tilde{I}_k$  by replacing  $(\alpha, \beta)$ -components of  $\tilde{I}_k$  by 0 for  $\alpha = n[k-1] + 1, n[k-1] + 2, \dots, j-1, j$  and  $\beta = 1, \dots, l$ . Further put  $I_0 = I$ . We note that  $I_n = I$ , and  $\tilde{I}_k$  is the matrix obtained from  $I_{n[k-1]}$  by replacing  $(\alpha, \beta)$ -components of  $I_{n[k-1]}$  by 1 for  $\alpha = 1, \dots, n$  and  $\beta = l_1 + \dots + l_{k-1} + 1, \dots, l_1 + \dots + l_{k-1} + l_k$  (see example below).

EXAMPLE. Let  $n = 4, l = 4, s = 3$  and  $n_1 = 2, n_2 = 1, n_3 = 1, l_1 = 1, l_2 = 2, l_3 = 1$ . Then  $n[1] = 2, n[2] = 3, n[3] = 4, l[1] = l[2] = 1, l[3] = 3, l[4] = 4$ , and  $I = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$ .

By construction we have

$$\tilde{I}_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \tilde{I}_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix},$$

and

$$\tilde{I}_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Further we have

$$I_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}, I_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix},$$

and

$$I_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

PROPOSITION 2.5. Let  $l, m, n$  be non-negative integers such that  $m + l \geq n \geq 1$ . Let  $A$  be an even unimodular matrix of degree  $m$  with entries in  $\mathbf{Z}_p$  and  $b_1, \dots, b_n \in 2\mathbf{Z}_p \setminus \{0\}$ . Further let  $c_1, \dots, c_l \in 2\mathbf{Z}_p \setminus \{0\}$  and  $I$  be as above if we have  $l > 0$ .

(1) Let  $n \geq 2$ . Then for  $1 \leq i \leq n$  we have

$$\begin{aligned} & \alpha_p(\text{diag}(p^2 b_1, \dots, p^2 b_n), (A, \text{diag}(p^2 c_1, \dots, p^2 c_l)); I) \\ & - p^{i(-m+n+1)} \alpha_p(\text{diag}(b_1, \dots, b_i, p^2 b_{i+1}, \dots, p^2 b_n), (A, C_i); I_i) \\ & = \beta_p(0, A) \sum_{j=1}^i p^{(j-1)(-m+n+1)} \alpha_p(\hat{B}_j, (A^{(1)}, \text{diag}(-p^2 b_j, C_j)); I'_j) \end{aligned}$$

where  $\hat{B}_j = \text{diag}(b_1, \dots, b_{j-1}, p^2 b_{j+1}, \dots, p^2 b_n)$ ,  $C_j = \text{diag}(c_1, \dots, c_{[j]}, p^2 c_{[j]+1}, \dots, p^2 c_l)$ , and  $I'_j$  is a certain  $(l+1, n-1)$ -quasi-standard matrix determined by  $I$  and  $j$ . Here we understand the right-hand side of the above equation is 0 if the Witt index of  $A$  is 0.

(2) Let  $n = 1$ . Then we have

$$\begin{aligned} & \alpha_p(p^2 b_1, (A, \text{diag}(p^2 c_1, \dots, p^2 c_l)); I) \\ & = p^{(-m+2)} \alpha_p(b_1, (A, C_1)); I_1 + \beta_p(0, A). \end{aligned}$$

Proof. (1) First let  $l > 0$  and  $j = n_1 + \dots + n_{k-1} + j'$  with  $1 \leq j' \leq n_k$ . By (2) of Proposition 2.2 we have

$$\begin{aligned} & \alpha_p(\text{diag}(p^2 b_1, \dots, p^2 b_n), (A, \text{diag}(p^2 c_1, \dots, p^2 c_l)); I) \\ & = \alpha_p(\text{diag}(p^2 b_1, \dots, p^2 b_n), (A, C_j); \tilde{I}_1). \end{aligned}$$

for any  $1 \leq j \leq n_1$ . Thus the assertion for  $k = 1$  can be proved by using Proposition 2.1 repeatedly. Let  $k \geq 2$  and assume that the assertion holds for  $k-1$ . Then we have

$$\begin{aligned} & \alpha_p(\text{diag}(p^2 b_1, \dots, p^2 b_n), (A, \text{diag}(p^2 c_1, \dots, p^2 c_l)); I) \\ & - p^{n[k-1](-m+n+1)} \\ & \times \alpha_p(\text{diag}(b_1, \dots, b_{n[k-1]}, p^2 b_{n[k-1]+1}, \dots, p^2 b_n), (A, C_{n[k-1]}); I_{n[k-1]}) \\ & = \beta_p(0, A) \sum_{j=1}^{n[k-1]} p^{(j-1)(-m+n+1)} \alpha_p(\hat{B}_j, (A^{(1)}, \text{diag}(-p^2 b_j, C_j)); I'_j). \end{aligned}$$

By (2) of Proposition 2.2 we have

$$\begin{aligned} & \alpha_p(\text{diag}(b_1, \dots, b_{n[k-1]}, p^2 b_{n[k-1]+1}, \dots, p^2 b_n), (A, C_{n[k-1]}); I_{n[k-1]}) \\ & = \alpha_p(\text{diag}(b_1, \dots, b_{n[k-1]}, p^2 b_{n[k-1]+1}, \dots, p^2 b_n), (A, C_j); \tilde{I}_k) \end{aligned}$$

for any  $n[k-1] + 1 \leq j \leq n[k-1] + n_k$ . Thus the assertion for  $k$  can be proved by using (1) of Proposition 2.1 repeatedly. Thus the assertion for  $l > 0$  can be proved by induction, and that for  $l = 0$  can be proved in the same manner.

(2) The assertion can be proved by using (2) of Proposition 2.1 and Proposition 2.2 in the same manner as (1). ■

## 3 PROOF OF MAIN RESULTS

In this section we prove the main result. To do this, we need some preliminaries. For two elements  $u, v \in \mathbf{Z}_p$  we write  $u \sim v$  if there exists an element  $x$  of  $\mathbf{Z}_p^*$  such that  $u = vx^2$ . For two symmetric matrices  $U, V$  with entries in  $\mathbf{Z}_p$  we write  $U \sim V$  if there exists a unimodular matrix  $X$  in  $\mathbf{Z}_p$  such that  $U = V[X]$ .

LEMMA 3.1. *Let  $s, t, n, n_1, \dots, n_s, l$  be non-negative integers such that  $n_1 + \dots + n_s = n, n_1, \dots, n_s > 0$  and  $s \geq t$ . Let  $B_i \in S_{n_i}(\mathbf{Z}_p)$  ( $i = 1, \dots, s$ ),  $Y = (y_{ij})_{1 \leq i \leq t, 1 \leq j \leq n} \in M_{tn}(\mathbf{Z}_p)$  and  $c_1, \dots, c_l \in \mathbf{Z}_p \setminus \{0\}$ . Put  $B = \text{diag}(B_1, B_2, \dots, B_s)$ ,  $B' = \text{diag}(B_1, \dots, B_t)$ ,  $C = \text{diag}(c_1, \dots, c_l)$ ,  $Y_1 = (y_{ij})_{1 \leq i \leq t, 1 \leq j \leq n_1 + \dots + n_t}$ ,  $Y_2 = (y_{ij})_{1 \leq i \leq t, n_1 + \dots + n_t + 1 \leq j \leq n}$ . Assume that for  $i = 1, \dots, s$ ,  $B_i$  is  $p^{r_i}$ -unimodular and  $\text{ord}_p(c_k) \geq r_i + 2e_p + 1$  for  $k = 1, \dots, l$ ,  $i = t + 1, \dots, s$  (for the definition of  $p^i$ -modular, see [Ki5]). Then there exists a unimodular matrix  $V$  of degree  $l$  independent of  $Y_1$  such that*

$$V \equiv E_l \pmod{p},$$

and

$$B + C[Y] \sim \text{diag}(B' + C[VY_1], B_{t+1}, \dots, B_s).$$

*Proof.* Put  $q = n_1 + \dots + n_{s-1}$ ,  $Z_1 = (y_{ij})_{1 \leq i \leq t, 1 \leq j \leq q}$ ,  $Z_2 = (y_{ij})_{1 \leq i \leq t, q+1 \leq j \leq n}$ ,  $\tilde{B}_1 = \text{diag}(B_1, B_2, \dots, B_{s-1})$  and  $\tilde{B}_2 = B_s + C[Z_2]$ . Then we have

$$B + C[Y] = \begin{pmatrix} \tilde{B}_1 + C[Z_1] & {}^t Z_1 C Z_2 \\ {}^t Z_2 C Z_1 & \tilde{B}_2 \end{pmatrix}.$$

By assumption we have

$$\tilde{B}_2 \equiv B_s \pmod{p^{r_s + 2e_p + 1} M_{n_s n_s}(\mathbf{Z}_p)}.$$

Thus by [Ki5, Cor 5.4.4], there exists a unimodular matrix  $U$  of degree  $n_s$  such that we have

$$(*) \quad \tilde{B}_2[U] = B_s.$$

Thus we have  $\tilde{B}_2^{-1} Y_2 C Y_1 \in M_{n-q, q}(\mathbf{Z}_p)$  and

$$(B + C[Y]) \begin{bmatrix} E_{n-n_s} & O \\ -\tilde{B}_2^{-1} {}^t Z_2 C Z_1 & U \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{B}_1 + C[Z_1] - \tilde{B}_2^{-1} {}^t Z_2 C Z_1 & O \\ O & B_s \end{pmatrix}.$$

We have

$$C[Z_1] - \tilde{B}_2^{-1} {}^t Z_2 C Z_1 = (C - \tilde{B}_2^{-1} {}^t Z_2 C)[Z_1].$$

By assumption and (\*), we have

$$C - \tilde{B}_2^{-1} {}^t Z_2 C \equiv C \pmod{p^{M(C) + 2e_p + 1} M_{ll}(\mathbf{Z}_p)},$$

where  $M(C) = \max_i(\text{ord}_p(c_i))$ . Thus, again by [Ki5, Cor. 5.4.4], there exists a unimodular matrix  $V'$  of degree  $l$  independent of  $Z_1$  such that

$$V' \equiv E_l \pmod{p} \text{ and } C - \tilde{B}_2^{-1} {}^t Z_2 C = C[V'].$$

Repeating this process, we complete the proof.  $\blacksquare$

PROPOSITION 3.2. *Let  $m, n, l, q$  be non-negative integers such that  $m + l \geq n$  and  $n \geq q$ . Let  $A \in S_m(\mathbf{Z}_p)$ ,  $B = \text{diag}(b_1, \dots, b_n)$ ,  $C = \text{diag}(c_1, \dots, c_l)$  with  $b_1, \dots, b_n, c_1, \dots, c_l \in \mathbf{Z}_p \setminus \{0\}$ . Let  $I = (\tilde{I}'_q, \tilde{I}''_q)$  with  $I'_q \in M_{lq}(\{0, 1\})$  and  $I''_q \in M_{l, n-q}(\{0, 1\})$ . Assume that  $\text{ord}_p(c_i) \geq \text{ord}_p(b_j) + 2e_p + 1$  for  $i = 1, \dots, l, j = q + 1, \dots, n$ . Then  $\alpha_p(B, (A, C); I)$  does not depend on  $\tilde{I}''_q$ . In particular if  $q = 0$  we have*

$$\alpha_p(B, (A, C); I) = \alpha_p(B, A).$$

*Proof.* For each  $J = (r_{ij}) \in M_{st}(\{0, 1\})$  and  $Z = (z_{ij}) \in M_{st}(\mathbf{Z}_p)$ , we write  $Z \in p^J \mathbf{Z}_p$  if  $z_{ij} \in p^{r_{ij}} \mathbf{Z}_p$  for any  $1 \leq i \leq s, 1 \leq j \leq t$ . Further put  $B' = \text{diag}(b_1, \dots, b_q)$  and  $B'' = \text{diag}(b_{q+1}, \dots, b_n)$ . Then by Lemma 3.1 we have

$$\begin{aligned} a_e(B, (A, C); I) &= \sum_{Y \in M_{tn}(\mathbf{Z}_p)/p^e M_{tn}(\mathbf{Z}_p), Y \in p^l \mathbf{Z}_p} \# \mathcal{A}_e(B + C[Y], A) \\ &= \sum_{Y_2} \sum_{Y_1} \# \mathcal{A}_e(\text{diag}(B' + C[Y_1], B''), A) \\ &= p^{e(l(n-q) - w(I'_q))} \sum_{Y_1} \# \mathcal{A}_e(\text{diag}(B' + C[Y_1], B''), A), \end{aligned}$$

where  $Y_2$  (resp.  $Y_1$ ) runs over elements of  $M_{l-q, n}(\mathbf{Z}_p)/p^e M_{l-q, n}(\mathbf{Z}_p)$  (resp.  $M_{qn}(\mathbf{Z}_p)/p^e M_{qn}(\mathbf{Z}_p)$ ) such that  $Y_2 \in p^{l'_q} \mathbf{Z}_p$  (resp.  $Y_1 \in p^{l''_q} \mathbf{Z}_p$ ). Thus  $p^{e(-(m+l)n+n(n+1)/2) + w(I)} a_e(B, (A, C); I)$  does not depend on  $I''_q$  and therefore nor does  $\alpha_p(B, (A, C); I)$ . Further if  $q = 0$  we have

$$\begin{aligned} &p^{e(-(m+l)n+n(n+1)/2) + w(I)} a_e(B, (A, C); I) \\ &= p^{e(-mn+n(n+1)/2)} \# \mathcal{A}_e(B, A). \end{aligned}$$

Thus the second assertion holds.  $\blacksquare$

Now for each integers  $i, j, k$  such that  $0 \leq k \leq i$ , put

$$\gamma(i, j, k) = (-1)^k \sum_{0 \leq i_1 < \dots < i_k \leq i-1} p^{(i-i_1)(j+i_1)} \dots p^{(i-i_k)(j+i_k)}.$$

Here we understand that we have  $\gamma(i, j, 0) = 1$ . We remark that  $\gamma(i, j, k)$  is the  $k$ -th coefficient of the polynomial  $\prod_{k=0}^{i-1} (1 - p^{(i-k)(j+k)} x)$  in  $x$ , that is,

$$\prod_{k=0}^{i-1} (1 - p^{(i-k)(j+k)} x) = \sum_{k=0}^i \gamma(i, j, k) x^k.$$

Then our main result is the following, which we can prove by induction using Propositions 2.5 and 3.2.

THEOREM 3.3. *Let  $t, n, m, l$  be non-negative integers such that  $m + l \geq n \geq 1$  and  $n \geq t$ . Let  $B_1 = \text{diag}(b_1, \dots, b_t)$ ,  $B_2 = \text{diag}(b_{t+1}, \dots, b_n)$  with  $b_1, \dots, b_n \in \mathbf{Z}_p \setminus \{0\}$  and  $C = \text{diag}(c_1, \dots, c_l)$  with  $c_1, \dots, c_l \in \mathbf{Z}_p \setminus \{0\}$ . Let  $I \in M_{l, n}(\{0, 1\})$ . Let  $e$  be an integer such that  $e \geq \text{ord}_p(b_j) - \text{ord}_p(b_k) + 2m_0 + 2 + 2e_p$  and  $e \geq \text{ord}_p(b_j) - \text{ord}_p(c_{k'}) + 2m_0 + 3 + 2e_p$  for  $j = t + 1, \dots, n, k = 1, \dots, t, k' = 1, \dots, l$ . Then we have*

$$\sum_{k=0}^{m_0+1} \gamma(t, -m + n + 1, k) \alpha_p(\text{diag}(p^{e-2k} B_1, B_2), (A, p^{e-2k} C); I)$$

$$= \prod_{i=0}^{m_0} \frac{1 - p^{(-m+n+i+1)(n-i)}}{1 - p^{-m+n+i+1}} \alpha_p(B_2, A^{(m_0+1)}) \beta_p(O_{m_0+1}, A).$$

As a special case of the above theorem we have

**COROLLARY.** *Let  $m, n$  and  $t$  be positive integers such that  $m \geq n \geq t$ . Let  $A$  be an even unimodular matrix of degree  $m$  and of Witt index  $r$ . Let  $B_1 = \text{diag}(b_1, \dots, b_t)$  and  $B_2 = \text{diag}(b_{t+1}, \dots, b_n)$  with  $b_i \in \mathbf{Z}_p \setminus \{0\}$ . Put  $e_p = 1$  or  $0$  according as  $p = 2$  or not, and  $m_0 = \min(t - 1, r)$ . Further let  $e$  be an integer such that  $e \geq \text{ord}_p(b_j) - \text{ord}_p(b_k) + 2m_0 + 2e_p + 2$  for  $j = t + 1, \dots, n, k = 1, \dots, t$ . Then we have*

$$\begin{aligned} & \alpha_p(\text{diag}(p^e B_1, B_2), A) \\ &= - \sum_{i=1}^{m_0+1} \gamma(t, -m+n+1, i) \alpha_p(\text{diag}(p^{e-2i} B_1, B_2), A) \\ &+ \prod_{i=0}^{m_0} \frac{1 - p^{(t-i)(-m+n+i+1)}}{1 - p^{-m+n+i+1}} \beta_p(O_{m_0+1}, A) \alpha_p(B_2, A^{(m_0+1)}), \end{aligned}$$

where  $O_{m_0+1}$  is the zero matrix of degree  $m_0 + 1$ . Here we make the convention that the second term on the right-hand side is 0 if  $m_0 = r$ , and that we have  $\alpha_p(B_2, A^{(m_0+1)}) = 1$  if  $n = t$ .

**REMARK 1.** The above corollary has been proved in [KH] under more general setting. However, in that paper, we have not deal with the local densities with congruence conditions, that is we have not proved Theorem 3.3. Thus our result in this paper is new in this sense.

Now for non-degenerate matrices  $A, B_1, \dots, B_{s-1}$  and  $B_s$  of degree  $m, n_1, \dots, n_{s-1}$  and  $n_s$ , respectively, with entries in  $\mathbf{Z}_p$ , define a formal power series  $R((B_1, \dots, B_s), A; x_1, \dots, x_s)$  by

$$\begin{aligned} & R((B_1, \dots, B_s), A; x_1, \dots, x_s) \\ &= \sum_{e_1 \geq \dots \geq e_s \geq 1} \alpha_p(\text{diag}(p^{e_1} B_1, \dots, p^{e_s} B_s), A) x_1^{e_1} \dots x_s^{e_s}. \end{aligned}$$

Let  $\Delta_p$  be the complete set of representatives of  $\mathbf{Z}_p^*/\mathbf{Z}_p^{*2}$ , and put

$$\Lambda_{n,p} = \{(b_1, \dots, b_n); b_i \in \Delta_p\}$$

or

$$= \{(B_1, \dots, B_s); \deg B_1 + \dots + \deg B_s = n,$$

$$B_i = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}, \text{ or } \deg B_i = 1 \text{ and } B_i \in \Delta_p\}$$

according as  $p \neq 2$  or  $= 2$ . Then the set of power series  $\{R((B_1, \dots, B_s), A; x_1, \dots, x_s)\}_{(B_1, \dots, B_s) \in \Lambda_{n,p}}$  gives complete information on the local densities  $\alpha_p(B, A)$  for all  $B$  of degree  $n$  and  $A$ . So it is important to study these power series. The following is a direct consequence of Corollary to Theorem 3.3:

**THEOREM 3.4.** *Assume that  $A$  is even unimodular, and put  $B_i = \text{diag}(b_{n_1+\dots+n_{i-1}+1}, \dots, b_{n_1+\dots+n_i})$  ( $i = 1, \dots, s$ ) with  $b_j \in \mathbf{Z}_p \setminus \{0\}$ . Put  $m_k = \min(n_1 + \dots + n_k - 1, r)$ . Further put  $l_0 = m_1 + e_p$  or  $m_1 + e_p + \max_{j'=n_1+1, \dots, n} \text{ord}_p(b_{j'}) - \min_{j=1, \dots, n_1} \text{ord}_p(b_j)$  according as  $\max_{j'=n_1+1, \dots, n} \text{ord}_p(b_{j'}) - \min_{j=1, \dots, n_1} \text{ord}_p(b_j) \leq 0$  or not. Then we have*

$$\prod_{i=0}^{m_1} (1 - p^{(n_1-i)(-m+n+i+1)} x_1^2) R((B_1, \dots, B_s), A; x_1, \dots, x_s)$$

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=0}^{l_0} x_1^{2i} \sum_{j=0}^i \gamma(n_1, -m+n+1, i-j) \\ &\times R((\text{diag}(p^{2j} B_1, B_2), B_3, \dots, B_s), A; x_1 x_2, x_3, \dots, x_s) \\ &+ \sum_{i=0}^{l_0} x_1^{2i+1} \sum_{j=0}^i \gamma(n_1, -m+n+1, i-j) \\ &\times R((\text{diag}(p^{2j+1} B_1, B_2), B_3, \dots, B_s), A; x_1 x_2, x_3, \dots, x_s) \\ &+ \prod_{i=0}^{m_1} \frac{1 - p^{(n_1-i)(-m+n+i+1)}}{1 - p^{-m+n+i+1}} \beta_p(O_{m_1+1}, A) \frac{x_1^{2l_0+2}}{1 - x_1} \\ &\times R((B_2, B_3, \dots, B_s), A^{(m_1+1)}; x_1 x_2, x_3, \dots, x_s). \end{aligned}$$

Here we make the convention that the third term on the right-hand side of the above is 0 if  $r = m_1$ , and that we have  $R((\text{diag}(p^k B_1, B_2), B_3, \dots, B_s), A; x_1 x_2, x_3, \dots, x_s) = \alpha_p(p^k B_1, A)$  for  $k = 1, \dots, 2l_0 + 1$  and  $R((B_2, B_3, \dots, B_s), A^{(m_1+1)}; x_1 x_2, x_3, \dots, x_s) = 1$  if  $s = 1$ .

We remark that if  $s = 1$  and  $n_1 = n$ , our power series coincides with the one defined by Kitaoka [Ki4] and by the above theorem its denominator is

$$\prod_{i=0}^{\min(n-1, r)} (1 - p^{(n-i)(-m+n+i+1)} x^2) (1 - x)^{m'},$$

where  $m' = 1$  or  $= 0$  according as  $r \geq n$  or not. This is a certain refinement of the result of [Hir], [Ki4]. Further Theorem 1.2 shows that if  $s \geq 2$ , the series  $R((B_1, \dots, B_s), A; x_1, \dots, x_s)$   $(1 - x_1) \prod_{i=0}^{m_1} (1 - p^{(n_1-i)(-m+n+i+1)} x_1^2)$  can be expressed as a  $\mathbf{Q}[x_1]$ -linear combination of the power series in  $s-1$  variables. Using this, by induction, we have

**THEOREM 3.5.** *Let the notation and the assumption be as in Theorem 3.4. Then  $R((B_1, \dots, B_s), A; x_1, \dots, x_s)$  is a rational function of  $x_1, \dots, x_s$  with denominator*

$$\begin{aligned} & \prod_{k=1}^s \prod_{i=0}^{m_k} (1 - p^{(n_1+\dots+n_k-i)(-m+n+i+1)} (x_1 \dots x_k)^2) \\ & \times \prod_{k=1}^s (1 - x_1 \dots x_k)^{m'_k}, \end{aligned}$$

where  $m'_k = 1$  or  $= 0$  according as  $r \geq n_1 + \dots + n_k$  or not. In particular if  $m \geq 2n + 2$ , the denominator of the above power series is

$$\begin{aligned} & \prod_{k=1}^s \prod_{i=0}^{n_1+\dots+n_k-1} (1 - p^{(n_1+\dots+n_k-i)(-m+n+i+1)} (x_1 \dots x_k)^2) \\ & \prod_{k=1}^s (1 - x_1 \dots x_k). \end{aligned}$$

**REMARK 2.** In [Ka3], we have proved the rationality of the power series defined by

$$\begin{aligned} & Q((B_1, \dots, B_s), A; x_1, \dots, x_s) \\ &= \sum_{e_1, \dots, e_s \geq 1} \alpha_p(\text{diag}(p^{e_1} B_1, \dots, p^{e_s} B_s), A) x_1^{e_1} \dots x_s^{e_s} \end{aligned}$$

for arbitrary  $A, B$  and  $p$ . Further, in [Ka2], we have given an explicit form of the denominator of it when  $p \neq 2$ . To do this, we needed a recursion formula similar to Proposition 2.1 for

an arbitrary matrix  $A$  of level  $p$  (cf. [Ka2 Proposition 3.6 (1),(2)]). This type of formula seems difficult to be generalized to the case where  $p = 2$  without any change. So the method of [Ka2] giving an explicit form of the denominator cannot be applied to  $p = 2$  directly.

## REFERENCES

- [BS] Böcherer, S., Sato, F., Rationality of certain formal power series related to local densities, *Commentarii Math Univ. St. Paul.*, 36(1987), 53-86.
- [Hir] Hironaka, Y., On a denominator of Kitaoka's formal power series attached to local densities, *Comment. Math. Univ. St. Paul.*, 37 (1988), 159-171.
- [His] Hisasue, M., Rationality of formal power series attached to the 2-adic densities of quadratic forms, Master Thesis, Hokkaido Univ.
- [IK] Ibukiyama, T., Katsurada, H., A simple formula for Koecher-Maaß Dirichlet series associated with Siegel-Eisenstein series, preprint.
- [Ka1] Katsurada, H., A generalized Igusa local zeta function and local densities of quadratic forms, *Tôhoku Math. J.*, 44 (1992), 211-218.
- [Ka2] Katsurada, H., A certain formal power series of several variables attached to local densities of quadratic forms I, *J. Number Theory*, 51(1995) 169-209.
- [Ka3] Katsurada, H., Rationality of the power series attached to local densities, *Manuscripta Math.*, 82(1994), 125-138.
- [Ka4] Katsurada, H., A certain formal power series of several variables attached to local densities of quadratic forms II, *Proc. Japan Acad.*, 70(1994) 208-211.
- [Ka5] Katsurada, H., An explicit formula for the Fourier coefficients of Siegel-Eisenstein series of degree 3, *Nagoya Math. J.*, 146(1997) 199-223.
- [Ka6] Katsurada, H., An explicit formula for Siegel series, preprint.
- [KH] Katsurada, H., Hisasue, H., A recursion formula for local densities, *J. Number Theory*, 64(1997), 183-210.
- [Ki1] Kitaoka, Y.: A note on local densities of quadratic forms, *Nagoya Math. J.*, 92(1983), 145-152.
- [Ki2] Kitaoka, Y., Fourier coefficients of Eisenstein series of degree 3, *Proc. Japan Acad.*, 60, Ser. A (1984) 259-261.
- [Ki3] Kitaoka, Y., Dirichlet series in the theory of quadratic forms, *Nagoya math. J.*, 92 (1984) 73-84.
- [Ki4] Kitaoka, Y., Local densities of quadratic forms and Fourier coefficients of Eisenstein series, *Nagoya Math. J.*, 103(1986), 149-160.
- [Ki5] Kitaoka, Y.: *Arithmetic of quadratic forms* (Cambridge Tracts Math. 106) Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1993.
- [M] Maass, H., Die Fourierkoeffizienten der Eisensteinreihen zweiten Grades, *Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk.*, 34(1964), 1-25.

---

合同条件を持つ二次形式の局所密度の漸化式

桂田 英典\*, 久末 正樹\*\*

## 概要

この論文では合同条件を持った局所密度の間の関係式を考察している。この応用として我々は、(*J. Number Theory*, 64, 1997, 183-210)における局所密度の漸化式の別証明を特別な場合に与える。さらに、(*Proc. Japan Acad.* 70, 1994, 208-211)における形式べき級数のある一般化を定義して、その分母の形を正確に求める。

キーワード: 局所密度, 漸化式

\*共通講座, \*\*北海道大学理学部数学科

---

# A Partial Joining Operation on Graphs and A Graphical Distance

Tadashi YAMAGUCHI\* and Les FOULDS\*\*

(Received 9 May 1997, Accepted 20 August 1997)

The first aim of this paper is to introduce an operation between some graphs, called base graphs and a skeleton graph for the creation of a new combined graph. We call this operation a partial joining of graphs. The second aim is to analyze some distance properties related to the combined graph, base graphs, and the skeleton graph. Finally, some minimization problems concerning the distance sum of the combined graph are also considered for the special case in which the skeleton graph is a tree.

Keywords : Graph, Network, Graph Join, Distance

## 1 Introduction

In a natural way, graphs or networks can be used for expressing some kinds of binary relations, where vertices or nodes represent processors, system components, or individual people. On the other hand, edges represent some relationship among vertices or nodes. In these circumstances, it is often beneficial to define a new relationship among established networks, in order to combine them into a new network. In this paper we model such cases and analyze such combined graphs or networks. To achieve this we introduce an operation between certain graphs, called base graphs, and another graph, called a skeleton graph, which creates a new, combined graph. We call this operation a partial joining of graphs. We also analyze the properties of graphical distance related to the combined graph, base graphs and the skeleton graph.

Let  $G = (V, E)$  denote a simple connected undirected graph with a vertex set  $V$  and an edge set  $E$ . For the graph theoretic notation and terminology used in this paper, see Foulds(1994). An edge between  $u$  and  $v$  is denoted as  $uv$ . The distance  $d(x, y)$  between vertices  $x$  and  $y$  is the length of a shortest path in  $G$  between vertices  $x$  and  $y$  expressed as the number of edges. The eccentricity  $e(x)$  of a vertex  $x$  is defined as  $e(x) = \max\{d(x, y) : y \in V\}$ . The radius, denoted by  $r(G)$ , and the diameter, denoted by  $diam(G)$ , of  $G$  are defined as follows:  $r(G) = \min\{e(x) : x \in V\}$ ,  $diam(G) = \max\{e(x) : x \in V\}$ .

A vertex  $x$  of  $G$  is called a *center vertex* if  $e(x) = r(G)$  and a *peripheral vertex* if  $e(x) = diam(G)$  (See Buckley and Harary(1990).) The distance sum (distsum for short) of a vertex  $x$ , denoted by  $d(x)$ , is defined by  $d(x) = \sum\{d(x, y) : y \in V\}$ , and the distsum of  $G$ , denoted by  $d(G)$ , is defined by  $d(G) = \sum\{d(x, y) : x, y \in V\}$ . For a subset  $U \subseteq V$ , let  $d(x, U) = \min\{d(x, u) : u \in U\}$ , and  $d(U) = \sum\{d(x, U) : x \in V\}$ . The eccentricity  $e(U)$  of a vertex subset  $U$  is defined as  $e(U) = \max\{d(x, U) : x \in V\}$ . The path between vertices  $x$  and  $y$  is called the  $x - y$  path and the  $x - U$  path is meant to represent an  $x - u$  path such that  $d(x, u) = d(x, U)$  and  $u \in U$ .

This paper is organized as follows: In Section 2, we present the definition of the partial joining of graphs. Section 3 contains some distance properties related to the combined graph, base graphs, and the skeleton graph. Section 4 contains the minimization problems of distance sum of the combined graph, for the special case in which the skeleton graph is a tree.

## 2 The Partial Joining of Graphs

### 2.1 The Definition of The Partial Joining of Graphs

Let  $G_i = (V_i, E_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) be graphs with disjoint vertex sets, and  $U_i$  be a subset of  $V_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ). A graph  $S = (K_S, E_S)$ ;  $K_S = \{1, 2, \dots, k\}$  is also given. When  $i, j \in K_S$  and  $ij \in E_S$ ,  $E_{ij}$  is assumed given, where  $E_{ij} \subseteq U_i \times U_j = \{uv : u \in U_i, v \in U_j\}$ . Now we define a new graph  $G$ , called a *combined graph* as follows:

\* Common Subject Division (Mathematical Science)

\*\* Department of Management Systems, University of Waikato

$G = (V_G, E_G)$ , where  $V_G = \cup_{i=1}^k V_i$  and  $E_G = \cup_{i=1}^k E_i \cup E'$ , where  $E' = \cup_{ij \in E_S} E_{ij}$ .

This operation for creating of the combined graph is called the *partial joining of graphs*, and the  $G_i$ 's,  $S$ , and the elements of  $E'$ , are called base graphs, a skeleton graph, and newly added edges(added edges for short), respectively.

Example : Let  $G_1 = G_2 = G_3 = K_4$ (the complete graph with four vertices) be base graphs. Let  $S$  be the path  $P_3$  (the path with three vertices) as a skeleton graph. The subsets are given by:  $U_1 = \{a\}$ ,  $U_2 = \{b\}$ , and  $U_3 = \{c, d\}$ . Refer to Figure 1. Let  $E_{12} = \{ab\}$  and  $E_{23} = \{bc, bd\}$ . The combined graph is shown in Figure 1.

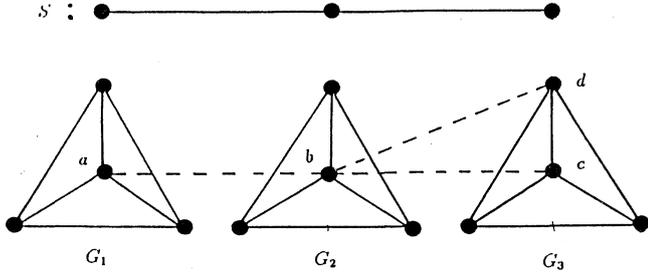


Fig. 1.

Examples of : Base graphs, a skeleton graph, and a combined graph.

## 2.2 Distances of Newly Added Edges

The length of the newly added edge  $uv \in E_{ij}$  is considered as follows:

Case 1 :  $d(u, v) = 0$ ,

Case 2 :  $d(u, v) = 1$ , and

Case 3 :  $d(u, v)$  depends on  $u$  and  $v$ .

One interpretation of Case 1 concerns the identification of two end vertices of added edge. Case 2 treats edges of the base graph and the added edges at the same level. Case 3 is the most natural in practical networks. The authors plan to present results on Case 3 elsewhere.

## 3 The distance properties of combined graphs

In this section, some distance properties are derived. Case 1, mentioned in subsection 2.2, is considered, and some properties of Case 2 are noted.

Let  $G_i = (V_i, E_i)$ ,  $U_i \subseteq V_i$  ( $i = 1, \dots, k$ ), and  $S$  be a tree with  $k$  vertices. Let the combined graph  $G = (V_G, E_G)$  be as defined in subsection 2.1. Further, assume that each graph  $(V_i \cup V_j, E_{ij})$  is connected for all  $ij \in E_S$ , and assume that the length of each edge in each  $E_i$  is 1 and the length of added edge of  $E_{ij}$  is 0. Moreover,  $d_i(x, y)$ ,  $e_i(x)$  and  $d_i(x)$  mean the distance between vertices, the eccentricity and the distance in  $G_i$ , respectively. In Case 1, we note  $d(x, y) = 0$ , if  $x, y \in \cup_{i=1}^k U_i$ .

### Property 1.

(1.1) If  $x, y \in V_i$ , then

$$d(x, y) = \min\{d_i(x, y), d_i(x, U_i) + d_i(U_i, y)\} \quad (i = 1, 2, \dots, k).$$

(1.2) If  $x \in V_i, y \in V_j$  for  $i \neq j$ , then

$$d(x, y) = d_i(x, U_i) + d_j(U_j, y).$$

Proof:(1.1) By definition, the length of the  $x - y$  shortest path in  $G_i$  is  $d_i(x, y)$ . On the other hand, the length of the  $x - y$  path through vertices of  $U_i$  in the combined graph is  $d_i(x, U_i) + d_i(U_i, y)$ . So  $d(x, y)$  is the smaller of  $d_i(x, y)$  and  $(d_i(x, U_i) + d_i(U_i, y))$ .

(1.2) It follows from the fact that any  $x - y$  shortest path between  $x \in G_i$  and  $y \in G_j$  is constructed by concatenating the  $x - U_i$  path, the  $x' - y'$  path (consisting of only newly added edges for some  $x' \in U_i$  and  $y' \in U_j$ ) and the  $U_j - y$  path. However the length of this second path is zero. Thus Property (1.2) follows.  $\square$

The distance  $d(x, y)$  does not satisfy one of axioms of a metric. That is, the first axiom should be changed, such that  $d(x, y) = 0$  iff  $x = y$  or  $x, y \in \cup U_i$ . But the symmetry and triangle inequality are satisfied. Because of that, the length of the added edge is zero, which means that the two end vertices of the edge are one and the same. And  $d(x, y)$  is considered as if it is the distance of so-called condensed graph, which is derived by identifying all end vertices of the newly added edges.

## 3.1 The Diameter of Combined Graphs

The following property about the diameter of combined graph is established:

### Property 2.

$$\text{diam}(G) \leq 2 \max\{e_i(U_i) : i = 1, 2, \dots, k\}.$$

Proof: By the definition of diameter,  $\text{diam}(G) = \max\{d(x, y) : x, y \in V_G\}$ .

Two cases are considered separately:

(2.1)  $x, y \in V_i$ , and (2.2)  $x \in V_i, y \in V_j$  ( $i \neq j$ ).

Case(2.1) : When  $x, y \in V_i$ , by Property(1.1),

$$\begin{aligned} d(x, y) &= \min\{d_i(x, y), d_i(x, U_i) + d_i(U_i, y)\} \\ &\leq d_i(x, U_i) + d_i(U_i, y) \\ &\leq 2e_i(U_i). \end{aligned}$$

Case (2.2) : When  $x \in V_i$ , and  $y \in V_j$  ( $i \neq j$ ), by Property(1.2),

$$\begin{aligned} d(x, y) &= d_i(x, U_i) + d_j(U_j, y) \\ &\leq e_i(U_i) + e_j(U_j) \\ &\leq 2 \max\{e_i(U_i), e_j(U_j)\}. \end{aligned}$$

By combining the above, Property 2 follows.  $\square$

The bound in this property is sharp as can be seen in the example in Figure 2, where  $e(U_1) = e(U_2) = 3$  and  $\text{diam}(G) = 6$ . From Property 2 it can be seen that, in order to minimize  $\text{diam}(G)$ , it is desirable to keep  $e_i(U_i), e_j(U_j)$  as small as possible. Thus the problem is reduced to the multi-center problem of each  $G_i$ .

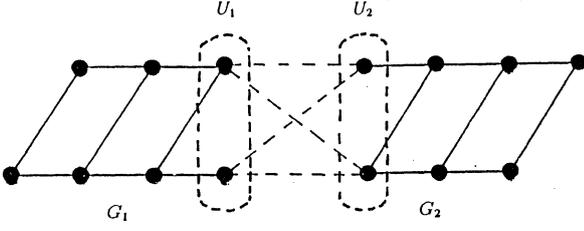


Fig. 2.

An example which shows that the inequality of Property 2 is sharp.

In particular, when  $|U_i| = 1$ , let  $U_i = \{u_i\} (i = 1, 2, \dots, k)$ .

**Property 1'.**

(1.1') If  $x, y \in V_i$ , then  $d(x, y) = d_i(x, y) (i = 1, 2, \dots, k)$ .

(1.2') If  $x \in V_i, y \in V_j$  for  $i \neq j$ , then

$$d(x, y) = d_i(x, u_i) + d_j(u_j, y).$$

**Property 2'.**

$$\text{diam}(G) = \max_{i,j} \{ \text{diam}(G_i), \text{diam}(G_j), e_i(u_i) + e_j(u_j) \}.$$

So far we have treated only the case in which the length of the added edge is zero. When this length is 1 and the number of base graphs is two, we obtain :

**Property 1''.**

(1) If  $x, y \in V_i$ , then

$$d(x, y) = \min \{ d_i(x, y), d_i(x, U_i) + 2 + d_i(y, U_i) \} (i = 1, 2).$$

(2) If  $x \in V_1, y \in V_2$ , then  $d(x, y) = d_1(x, U_1) + 1 + d_2(U_2, y)$ .

(3)  $\text{diam}(G) \leq 2 \max \{ e_1(U_1) + 1, e_2(U_2) + 1 \}$ .

(4) When  $|U_1| = |U_2| = 1$ ,

$$\text{diam}(G) = \max \{ \text{diam}(G_1), \text{diam}(G_2), e_1(U_1) + e_2(U_2) + 1 \}.$$

### 3.2 The Distance Sum (Transmission Number) of Combined Graphs

In this subsection, a relation between the distance sum of the combined graph and base graphs is derived. Let a graph  $G$  be defined in this section, and the assumptions about the lengths of edges be as given in the beginning of Section 3.

Then let :

$$d_i(G_i) = \sum_{x,y \in V_i} d_i(x, y) (i = 1, 2, \dots, k),$$

$$d(G_i) = \sum_{x,y \in V_i} d(x, y) (i = 1, 2, \dots, k)$$

and

$$d(G_i, G_j) = \sum_{x \in V_i, y \in V_j} d(x, y) \quad (i \neq j).$$

The distance sum (transmission number) of  $G$  can be expressed as the following:

$$d(G) = \sum_{1 \leq i \leq k} d(G_i) + \sum_{1 \leq i \neq j \leq k} d(G_i, G_j).$$

By Property (1.1), for  $x, y \in V_i$ ,

$$\begin{aligned} \Delta_i(x, y) &\equiv d_i(x, y) - d(x, y) \\ &= d_i(x, y) - \{ d_i(x, U_i) + d_i(U_i, y) \} (i = 1, 2, \dots, k), \end{aligned}$$

$$\text{where } a - b = \begin{cases} a - b & \text{if } a \geq b, \\ 0 & \text{if } a < b. \end{cases}$$

Then we have:

**Property 3.**

$$d(G_i) = d_i(G_i) - \sum_{x,y \in V_i} \Delta_i(x, y) (i = 1, 2, \dots, k).$$

Next, for  $x \in V_i, y \in V_j$ , using the relation  $d(x, y) = d_i(x, U_i) + d_j(U_j, y)$ , we have:

$$\begin{aligned} d(G_i, G_j) &= \sum_{x \in V_i, y \in V_j} d(x, y) \\ &= \sum_{x \in V_i, y \in V_j} d_i(x, U_i) + \sum_{x \in V_i, y \in V_j} d_j(U_j, y) \\ &= |V_j| \sum_{x \in V_i} d_i(x, U_i) + |V_i| \sum_{y \in V_j} d_j(U_j, y) \\ &= |V_j| d_i(U_i) + |V_i| d_j(U_j). \end{aligned}$$

By summing up these, we obtain :

**Property 4.**

$$\begin{aligned} d(G) &= \sum_{i=1}^k \{ d_i(G_i) - \sum_{x,y \in V_i} \Delta_i(x, y) \} \\ &\quad + \sum_{i \neq j} \{ |V_j| d_i(U_i) + |V_i| d_j(U_j) \}. \end{aligned}$$

This provides a guide as to how to choose the  $U_i$ 's in order to make the distance sum as small as possible:

(4.1) Choose  $U_i$  so that  $d_i(U_i)$  are as small as possible, and

(4.2) take each  $\Delta_i(x, y)$  as large as possible. That is, if the cardinalities of  $U_i$  are given, a realization of (4.1) is reduced to so-called multi-median problem. Moreover, in order to realize (4.2), it is necessary to make the radius of the ball  $B_j^i$ , the ball of  $u_j^i$  in  $G_i$ , as small as possible, where  $B_j^i \equiv \{ x \in V_i : d(x, u_j^i) < d(x, u_h^i) \text{ for all } h \neq j \}$ , and  $u_j^i, u_h^i$  are the vertices of  $U_j$ .

We conjecture that the realization of (4.1) contributes to the realization of (4.2).

## 4 Some Minimization Problems

We now assume that for any base graphs  $\{G_i\}$  and each singleton  $U_i = \{u_i\} (i = 1, 2, \dots, k)$ , the length of any newly added edge is one, and the skeleton graph is a tree with  $k$  vertices. Each distance sum  $d(G_i, G_j)$  between  $G_i$  and  $G_j$  for  $i \neq j$  is described as follows:

$$d(G_i, G_j) = |V_j| d_i(u_i) + |V_i| |V_j| d(u_i, u_j) + |V_i| d_j(u_j).$$

Let  $DS$  be the summation of these. That is,

$$DS = \sum_{1 \leq i \neq j \leq k} d(G_i, G_j).$$

Moreover, let  $|V_i| = w_i (i = 1, 2, \dots, k)$ , and rewrite the above as:

$$d(G_i, G_j) = w_j d_i(u_i) + w_i w_j d(u_i, u_j) + w_i d_j(u_j),$$

and

$$DS = \sum_{1 \leq i \neq j \leq k} w_j d_i(u_i) + \sum_{1 \leq i \neq j \leq k} w_i w_j d(u_i, u_j) + \sum_{1 \leq i \neq j \leq k} w_i d_j(u_j).$$

These the first and third terms are equivalent, and do not depend on the form of the skeleton graph or the correspondence of vertices between the skeleton graph and the base graphs. In order to make  $DS$  small, we have to consider the second term.

So we now analyze the following two problems:

**Problem 1:** Minimize the value of  $DS$  by changing the correspondence between the vertices of the skeleton graph and the base graphs.

**Problem 2:** Find the form(type) of the skeleton graph among trees with  $k$  vertices, such that  $DS$  is minimized.

#### 4.1 Minimizing of the value of $DS$

For the first and third terms in  $DS$ , it is necessary to minimize  $d_i(u_i)$ . That is, it is enough to choose  $u_i$  as a median of  $G_i$ . Let  $W$  be the summation of the second terms. That is,

$$W = \sum_{1 \leq i \neq j \leq k} w_i w_j d(u_i, u_j).$$

We now consider the minimization of  $W$ . In other words, we wish to assign weights  $\{w_i\}$  to the vertices of the skeleton graph  $S$  so that  $W$  is minimized. This problem can be modelled as a quadratic assignment problem(QAP) as follows.

**Definition:** Let  $c_{ijst} = w_s w_t d(u_i, u_j)$  and  $x_{si} = \begin{cases} 1 & \text{if the weight } w_s \text{ is assigned to the vertex } i, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases}$  where  $i, j, s, t = 1, 2, \dots, k$ .

**Constraints:**

$$\sum_{s=1}^k x_{si} = 1 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, k.$$

[Each vertex  $i$  is assigned exactly one weight.]

$$\sum_{i=1}^k x_{si} = 1 \quad ; \quad s = 1, 2, \dots, k.$$

[Each weight  $w_s$  is assigned exactly one vertex.]

$$x_{si} = 0 \quad \text{or} \quad 1 \quad ; \quad s, i = 1, 2, \dots, k.$$

[Each weight  $w_s$  is either assigned to the vertex  $i$ , or it is not.]

**Objective:**

$$\text{Minimize } W = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \sum_{s=1}^k \sum_{t=1}^k c_{ijst} x_{si} x_{tj}.$$

Algorithms that guarantee optimality for the QAP have been reported by Gilmore(1962) and Lawler(1963). Recent refinements have been discussed by Liet *al.* (1994). However the problem is NP-hard, which reinforces the quest for efficient heuristics for it. Kelly *et al.* (1994) have recently

investigated the feasibility of employing tabu search, genetic algorithms and simulated annealing to provide a basic effective QAP heuristics. However a simple heuristic approach can be developed as follows.

Let an assignment,  $X = \{x_{ij}\}_{k \times k}$ , be given. Note that the vertices of  $S$  are numbered :  $1, 2, \dots, k$ . In this assignment, let the weight of vertex  $i$  be  $w_i$ . If necessary we change numbering of vertices. Let  $d_{ij} = d(u_i, u_j)$  for the sake of simplicity and let the summation of products of weights and distances be :

$$W_i = \sum_{1 \leq j \leq k} w_j d_{ij} (i = 1, 2, \dots, k).$$

Now consider a new assignment  $X'$ , which is the same as  $X$  except for the fact that the weights of vertices  $p$  and  $q$  are interchanged. Let the values of  $W$  by the assignments  $X$  and  $X'$  be  $W(X)$  and  $W(X')$ , respectively.

Then we have :

**Property 5.**

$$W(X) - W(X') = 2(w_p - w_q) \times \{(W_p - w_q d_{pq}) - (W_q - w_p d_{qp})\}.$$

Proof: Let  $\mathbf{x}$  be a column vector of weights  $\{w_i\}$  as its components, and  $\mathbf{y}$  be a vector obtained by exchanging the  $p$ th component and the  $q$ th component of  $\mathbf{x}$ . Moreover, let  $D$  be the distance matrix of the skeleton graph  $S$ . Then, we get the relation:

$$W(X) = \mathbf{x}^t D \mathbf{x},$$

$$W(X') = \mathbf{y}^t D \mathbf{y}.$$

Note

$$\mathbf{y} = \mathbf{x} + (w_p - w_q) \mathbf{z},$$

where  $\mathbf{z}$  is a vector in which the  $p$ th component is  $-1$ ,  $q$ th component is  $1$ , and others are  $0$ . By combining these three equations we obtain the result.  $\square$

By this result, when  $w_p > w_q$  and  $W_p - W_q > (w_q - w_p) d_{pq}$ , we can improve  $W$  if the weights of the  $p$ th vertex and the  $q$ th vertex are interchanged. Roughly speaking, if we assign relatively large weights to the vertices of the central part of  $S$  and relatively small weights to the vertices at the peripheral part of  $S$ , we obtain a relatively small  $W$ .

#### 4.2 The optimal form of the skeleton

In this subsection, we wish to identify the form of the skeleton graph for minimizing  $W$ . We consider any tree with  $k$  vertices, and any assignment of weights  $\{w_i\}$  to vertices of  $S$ . Now, for  $uv \in E$  of tree  $S$ , let  $T_{u \setminus v}$  be the maximal subtree containing  $u$  but not containing  $v$ , and  $T_{v \setminus u}$  be the maximal subtree containing  $v$  but not containing  $u$ . Moreover, let the sum of weights of  $T_{u \setminus v}$  and  $T_{v \setminus u}$  be  $bw(u \setminus v)$  and  $bw(v \setminus u)$ , respectively. Then the following result is derived.

**Property 6.**

Assume that the diameter of the skeleton graph  $S$  is greater than two. Then there exists an edge  $uv$  and a vertex  $v$  with an adjacent leaf vertex  $x$ , such that  $bw(u \setminus v) > bw(v \setminus u) - w_x$ , where  $w_x$  is the weight of the vertex  $x$ .

Proof: We consider an edge  $ab$  where the vertices  $a$  and  $b$  are not leaves of  $S$  and  $bw(a \setminus b) \geq bw(b \setminus a)$ . There exists such an edge because the diameter is greater than two. Let  $x$  be the one of leaves of  $T_{b \setminus a}$  and the adjacent vertex of  $x$  be  $v$ . (It might be  $b$ .) Moreover, let the adjacent vertex of  $v$  on the  $a - v$  path be  $u$ . (It might be  $a$ .) Then:

$$bw(u \setminus v) \geq bw(a \setminus b) \geq bw(b \setminus a) \geq bw(v \setminus u) > bw(v \setminus u) - w_x.$$

Hence the result follows.  $\square$

By this result, the value  $W$  can be improved if an edge  $vx$  is removed and an edge  $ux$  is added: Let  $S'$  be the tree obtained by removing  $vx$  from  $S$  and adding  $ux$  to  $S$ , and let  $W_S$  be the distance sum of  $S$ , and  $W_{S'}$  be the distance sum of  $S'$ . Then we obtain the relation:

$$W_S - W_{S'} = bw(u \setminus v) - (bw(v \setminus u) - w_x) > 0.$$

By repeating this deleting and adding procedure, we obtain a tree with diameter two (the so-called *star graph*.) Moreover, if we assign the largest weight to the center of the star, we obtain the required tree and the assignment.

## 5 Summary

An operation, the partial joining, is proposed, and some properties concerning the graphical distance of the combined graph and base graphs are established. The instance of zero distance of edge being added is a means of identifying the end vertices of the edge.

Guide lines for decreasing the diameter and the distance sum of the combined graph are derived. By restricting the skeleton graph to a tree, a strategy for decreasing the distance sum between base graphs is established.

## References

- [1] Buckley, F., Harary, F. : **Distance in Graphs**, Addison-Wesley, 1990.
- [2] Foulds, L. R. : **Graph Theory Applications**, 2nd edition, Springer, 1994.
- [3] Gilmore, P. C. : Optimal and Suboptimal Algorithms for the Quadratic Assignment Problem, **SIAM Journal on Applied Mathematics**, Vol.10, No.2, 1962.
- [4] Kelly, J. P., Laguna, M., Glover, F. : A study of diversification strategies for the quadratic assignment problem, **Computers & Ops. Res.**, Vol.21, No. 8, 1994.
- [5] Lawler, E. L. : The Quadratic Assignment Problem, **Management Science**, Vol.9, No.1, 1963.
- [6] Li, Y., Pardalos, P. M., Ramakrishnan, K. G. and Resende, M. G. C. : Lower bounds for the quadratic assignment problem, **Annals of OR**, Vol. 50, No.1, 1994.

---

グラフの部分結合と距離  
山口 忠\*、L. フォルド\*\*  
概要

本論文では、いくつかのベースグラフとスケルトングラフ間に作用する操作を提案する。これをグラフの部分結合という。この操作によって得られるグラフ（結合グラフ）のグラフ的距離に関する性質を調べる。更に、スケルトングラフが木グラフの場合についての結合グラフの最適対応問題即ち、ベースグラフとスケルトングラフの対応問題を扱う。

キーワード：グラフ、ネットワーク、グラフ結合、距離

\*共通講座（数理科学）、\*\*ワイカト大学 経営システム学部

---



# Paper-Scissors-Stone Game on Trees

Kazunori SATO\*, Norio KONNO\*\* and Tadashi YAMAGUCHI\*\*\*

(Received 9 May 1997, Accepted 20 August 1997)

We study the cyclic advantage model with three states so-called Paper-Scissors-Stone (PSS) game on tree-structured lattice space with a fixed number of branches on each lattice site. Each particle on a site interacts only with the nearest neighboring particles. In general "Pair Approximation (PA)" as one of the analytical methods which introduces the information of nearest neighboring correlation is expected to be the more useful tool than "Mean-Field Approximation (MFA)". However, in the case of PSS game on two-dimensional square lattice it was reported that PA gives the worse result than MFA for the stability of internal equilibria by Tainaka<sup>(1)</sup>. In this paper we obtain the similar results about stability of internal equilibria of PSS game on trees contrary to the expectation.

Keywords: Tree, Lattice Model, Pair Approximation, Mean-Field Approximation

## 1 INTRODUCTION

In biological systems, we can recognize several kinds of relationships between species through competition or predation. Since Lotka<sup>(2)</sup> and Volterra<sup>(3)</sup> mathematical models are well known to be useful to study the dynamics of these biological systems. Their original models are too simple to describe real world, but have an important role to understand the basic mechanism for it.

May and Leonard<sup>(4)</sup> reveal that Lotka-Volterra competition model with three species shows the heteroclinic dynamics and cannot explain the mechanism of coexistence of them. As a competition between three species in nature, we can exemplify that the stock abundance of pelagic fishes usually fluctuates and species replacement occurs forever. This cyclic advantage relationship was modeled by Matsuda *et al.*<sup>(5)~(6)</sup>, Takeuchi *et al.*<sup>(7)</sup> and Takeuchi<sup>(8)</sup>. They tell us that only the introduction of refuges cannot avoid the extinction of some kind of species.

On the other hand, Tainaka<sup>(9)</sup> considered more simple cyclic advantage model, say, Paper-Scissors-Stone (PSS) game without density effect on population growth rate on two-dimensional square lattice space. He assumed that every individual belongs to either three species, and the weaker individual is replaced by the stronger at a constant rate for randomly chosen nearest neighboring two individuals sit on the lattice space. He showed that population dynamics gives the global stability by Monte Carlo simulation. This result differs from that without spatial structure in population; when we choose two individuals for an interaction these two are not necessarily adjacent each other. The latter shows the neutral stability.

Interacting particle systems (or lattice models) introduced mathematically by Harris<sup>(10)</sup> have been studied for various kinds of models, but we cannot get enough mathematical results because of much difficulties. Even in one of the simplest models, basic contact processes, for example, critical values or critical exponents for phase transition are not known (e.g. Konno<sup>(11)</sup>). Then we often depend on approximation methods; Mean-Field Approximation (MFA) as the first order or Pair Approximation (PA) as the second. MFA corresponds to the non-spatial structured model, namely, considers no correlation between sites. On the other hand, PA pursues the correlation only between two nearest neighboring sites. Therefore it is plausible that PA gives better results not only quantitatively but also qualitatively and various studies on various lattice models support it (Matsuda *et al.*<sup>(12)</sup>; Sato *et al.*<sup>(13)</sup>; Tainaka<sup>(14)</sup>; Satulovsky and Tomé<sup>(15)</sup>; Harada *et al.*<sup>(16)</sup>; Harada and Iwasa<sup>(17)</sup>; Sato and Konno<sup>(18)</sup>; Kubo *et al.*<sup>(19)</sup>; Nakamaru *et al.*<sup>(20)</sup>; Iwasa *et al.*<sup>(21)</sup>; Konno<sup>(22)</sup>). However, for PSS game PA and MFA conjecture that the internal equilibria behave unstably and neutrally stably, respectively (Tainaka<sup>(1)</sup>). If these both conjectures turn to be affirmative, the stability of internal equilibria will not be satisfied and PA will be worse than MFA.

In this paper we consider PSS game on trees in expectation of the improvement of the conjecture by PA. Tretyakov and Konno<sup>(23)</sup> studied basic contact processes on binary tree with an initial condition of only one particle on the root by Monte Carlo simulation. When we start the system with random distribution as an initial configuration, we should decide the boundary condition of the system. Unfortunately, however, we fail to meet our expectation by PSS game on trees. We can remark that the special assumption in PA on two-dimensional square lattice does not affect the results.

## 2 MODEL AND APPROXIMATIONS

PSS game on lattice includes the following model assumptions:

- (1) The whole system has infinitely large particles each of which sits on

\*Department of Systems Engineering, Shizuoka University

\*\*Department of Applied Mathematics, Yokohama National University

\*\*\*Common Subject Division (Mathematical Science)

each site of lattice space. In this section we assume two-dimensional square lattice space. The space offers the homogeneous environments to particles for interactions.

(2) The states of particles change to stronger particle at the proportional rate to the number of those stronger particles in  $z$  nearest neighbors. The strength between three states is defined cyclic such as PSS game, i.e. the state  $n+1$  is stronger than  $n$ , where  $n = 0, 1$  or  $2$  and  $n+1$  is given by modulus 3. When we do Monte carlo simulations in a system large enough, this process corresponds to the procedure by choosing adjoint two particles spatially randomly and changing states. The rates of this process is defined by the expected number of events in unit time interval. In this paper we assume the same absolute values of strength in every interactive combination, so we can choose the transition rates of the processes such as  $n(\sigma)/z$  in which  $n(\sigma)$  means the number of the sites with  $\sigma \in \{0, 1, 2\}$  in  $z$  nearest neighbors.

We can describe this model by the following master equations:

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_n}{dt} &= \rho_{n-1,n} - \rho_{n,n+1}, \\ \frac{d\rho_{n,n+1}}{dt} &= \left(1 - \frac{1}{z}\right) \rho_{n,n-1,n+1} + \left(1 - \frac{1}{z}\right) \rho_{n,n,n+1} - \frac{1}{z} \rho_{n,n+1} \\ &\quad - \left(1 - \frac{1}{z}\right) \rho_{n+1,n,n+1} - \left(1 - \frac{1}{z}\right) \rho_{n,n+1,n-1}, \end{aligned} \quad (1)$$

where  $\rho_\sigma, \rho_{\sigma\sigma'}, \rho_{\sigma\sigma'\sigma''}$  for  $\sigma, \sigma', \sigma'' \in \{0, 1, 2\}$  are called as singlet densities, doublet densities and triplet densities, respectively, which are defined as the probabilities of randomly chosen one site of the state  $\sigma$ , randomly chosen one pair of nearest neighboring sites of the states  $\sigma, \sigma'$  and randomly chosen one triplet sequence of neighboring sites of the states  $\sigma, \sigma', \sigma''$ , respectively.

In Eq.(1) the first term corresponds to the birth process, and the second to the death. For the occurrence of the birth process the nearest neighboring site should have the weaker state, so the site of the state  $n$  needs the nearest neighboring site of the  $n-1$ . On the other hand, when the nearest neighboring site is the stronger state this site is absorbed to that stronger state; the site of the  $n$  changes by the effect of the nearest neighboring site of the  $n+1$ . The model does not assume the spatial direction of the interactions, and it means  $\rho_{\sigma\sigma'} = \rho_{\sigma'\sigma}$ .

Similarly Eq.(2) includes two birth terms and three death terms. There are triplet densities, and we suppose that the effect of the different configurations of the neighboring three sites (i.g. either straight or bent sequences) on population dynamics may not be serious on two-dimensional square lattice space. However, when the next nearest neighboring sites do not have unimportant roles comparative to nearest neighboring sites, we should treat that difference carefully.

The model requires the time evolution of higher order densities because Eqs.(1) and (2) does not constitute a closed set of equations; Eq.(2), the differential equation for doublet densities, includes triplet densities. However, when we describe the time evolution of triplet densities it must depend on the higher order densities, quartet densities. PA is an analytical method in order to close a set of equations by decoupling triplet densities such as  $\rho_{\sigma\sigma'\sigma''} = \rho_{\sigma\sigma'}\rho_{\sigma''\sigma'}/\rho_{\sigma'}$ . Equation (2) should be changed as:

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_{n,n+1}}{dt} &= \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{\rho_{n,n-1}\rho_{n+1,n-1}}{\rho_{n-1}} + \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{\rho_{n,n}\rho_{n+1,n}}{\rho_n} \\ &\quad - \frac{1}{z} \rho_{n,n+1} - \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{\rho_{n+1,n}\rho_{n+1,n}}{\rho_n} \\ &\quad - \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{\rho_{n,n+1}\rho_{n-1,n+1}}{\rho_{n+1}}. \end{aligned} \quad (2')$$

We can interpret PA as an approximation that the effect of the most far site can be most negligible by the notion of "local densities" or "environmental densities" (Matsuda *et al.*<sup>(12)</sup>).

By solving a set of closed Eqs.(1) and (2') we can obtain internal equilibrium values of singlet densities and doublet densities (Tainaka<sup>(1)</sup>)

$$\begin{aligned} \rho_n &= \frac{1}{3}, \\ \rho_{n,m} &= \begin{cases} \frac{z+1}{9(z-1)} & \text{if } n = m \\ \frac{z-2}{9(z-1)} & \text{if } n \neq m. \end{cases} \end{aligned}$$

The result of doublet densities tell us the clumping property of this PSS game.

We compare the results between PA and MFA, whose dynamics can be obtained by the replacement of the doublet densities to the multiplication of two singlet densities (in other words, the replacement of the local densities to singlet densities, Matsuda *et al.*<sup>(12)</sup>) in Eq.(1):

$$\frac{d\rho_n}{dt} = \rho_{n-1}\rho_n - \rho_n\rho_{n+1}. \quad (3)$$

In equilibrium we get:

$$\rho_n = \frac{1}{3},$$

and doublet densities are equal to the multiplication between two singlet densities corresponding to two states because the spatial correlation between two nearest neighboring sites is neglected in MFA:

$$\rho_{n,m} = \rho_n\rho_m = \frac{1}{9} \quad \text{for any } n \text{ and } m.$$

Notice that there is no difference of singlet densities between two approximations. The Monte Carlo simulations suggest that this equilibrium value is asymptotically globally stable (Tainaka<sup>(9)</sup>). On the other hand, for doublet densities PA gives better equilibrium values than MFA (see the next section).

Next we calculate the stability around the above internal equilibria. Tainaka<sup>(1)</sup> showed that PA gives the instability of singlet densities analytically and by the numerical calculation. Local stability analyses also supports this results (Appendix). On the other hand, MFA has the conservative quantity such as  $\rho_0\rho_1\rho_2$  which does not change in the time development, so we can say that the internal equilibrium of MFA is neutrally stable.

### 3 PSS GAMES ON TREES

It is natural to consider the possibility that the above assumption in PA of the neglect of the configuration in triplet neighboring sites collapses the correct dynamics. Then we change lattice space on which each particle experiences state transition from two-dimensional square lattice to tree with four branches for each site (Fig. 1). One of the main characteristics of trees is that all the  $z$  sites at the edge of the branches from each site sits on the exactly the same spatial position, then we need not distinguish the configuration of three neighboring sites on trees and it seems to reflect the assumption of PA correctly (Fig. 2). So we can expect that the disagreement between PA and simulations can disappear.

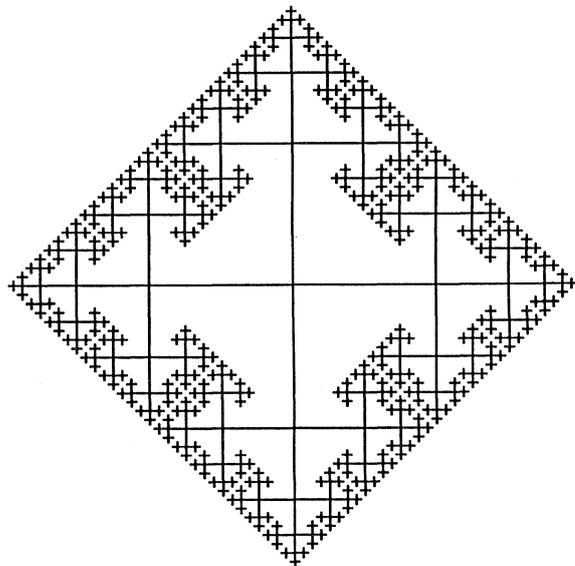


Fig.1. Tree-structured lattice space with  $z = 4$ . Every branch elongates from the root infinitely in the model.

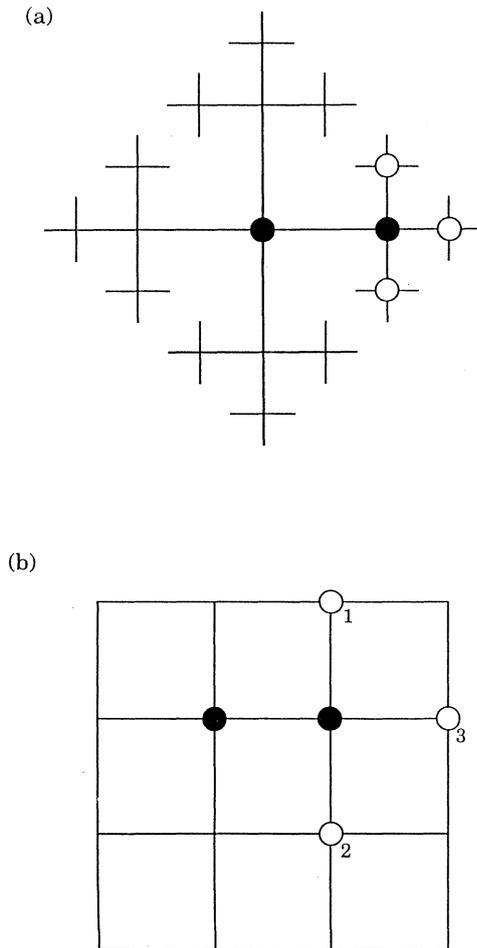


Fig.2. Comparison between two lattice spaces with  $z = 4$ .

(a) Tree-structured lattice, (b) Two-dimensional square lattice. When we consider the dynamics of nearest neighboring two black sites, the right black site has other three nearest neighboring white sites. In the case of (a) the left black site has only one path to reach either three white sites in the shortest distance. On the other hand, the left black site in (b) has two paths to go to the sites labeled '1' and '2' respectively but only one path to the site '3'.

We can change the number of branches for each site gradually in order to investigate the direction of the change of dynamics due to the number of nearest neighbors for each site. We do computer simulations by tree with about 10000 lattice sites (we cannot choose the same number of the sites for different  $z$  because of the characteristics of trees, Table 1). When the number of nearest neighboring sites  $z$  is equal to two, the situation is the same as in one-dimensional linear lattice space. Therefore throughout this paper we only concentrate on the tree-structured lattice space with  $z \geq 3$ , which includes two-dimensional characteristics. While  $z = 10000$  it indicates the every site connects each other so it agrees with the dynamics of MFA or no spatial structure.

$z$	Distance from the root	Total lattice size
3	13	12286
4	9	13121
10	5	8201
100	3	10001
10000	2	10001

Table 1. Total lattice size for various  $z$ 's

Total lattice size for various tree-structured lattice spaces with the branching number of  $z$  are used for Monte Carlo simulations. Distance from the root is defined as the maximum number of sites in the system from the origin to the periphery along one path.

Notice that we adopt the following boundary condition for doing Monte Carlo simulations. Each site on the periphery has her "mother" site connected to her, which has  $z - 1$  "daughters". The  $k$ -th "daughter" ( $k = 1, \dots, z - 1$ ) in  $z - 1$  "daughters" of every "mother" sits on the nearest neighbor of the  $k$ -th "daughters" of other "mothers" (Fig. 3). Our boundary condition does not satisfy spatial uniformity in periphery, but it may not be serious.

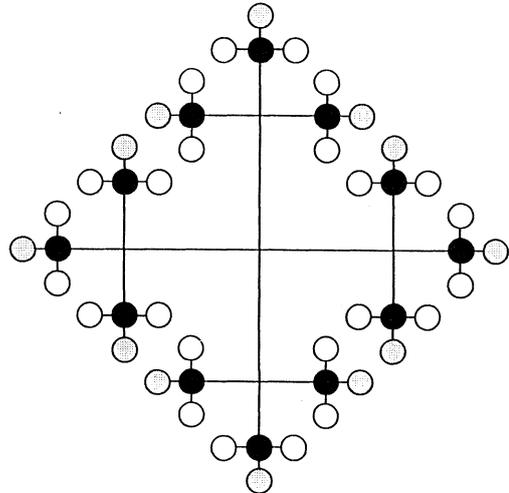


Fig.3. Boundary condition for Monte Carlo simulations.

For the explanation of the periodic boundary condition used in Monte Carlo simulations we depict a small system with  $z = 4$ . Each "mother" symbolized by black circle has three "daughters" on the periphery and hatched daughters are nearest neighbors each other.

Monte Carlo simulations with about 10000 sites are started by an initial random distribution in which each site is occupied by either three state with the equal probability  $1/3$ . The differences between simulations with various  $z$ 's are not so clear, but they suggest the possibility that the dynamics of PSS game on trees show stable for  $3 \leq z < 10000$ , and neutrally stable for  $z = 10000$  (the reader can consider that limit cycle appears in the case of  $z = 10000$ , but it may be attributable to the finite size effect of the system and short term running; Fig. 4). This result indicates that the branching space has the effect of escaping from the extinction of either state and it is independent of the space either with loop or without loop. The increase of the number of connections between sites gives the more instability, and in extremes the dynamics settles down to neutral stability.

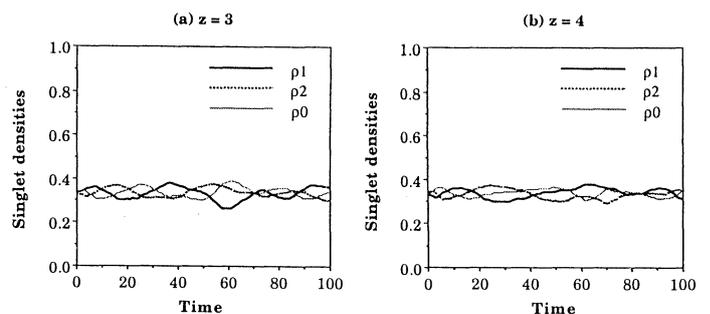


Fig.4. Time development of singlet densities by Monte Carlo simulations. (a)  $z = 3$ , (b)  $z = 4$ , (c)  $z = 10$ , (d)  $z = 100$ , (e)  $z = 10000$ . The changes of singlet densities through time are shown. The fluctuations with small amplitudes are caused by the finite size effect of systems.

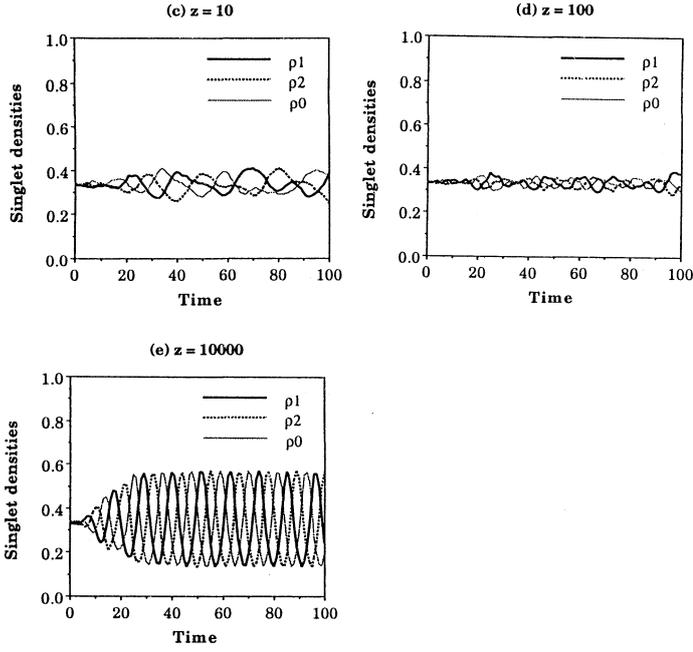


Fig.4. Time development of singlet densities by Monte Carlo simulations (cont.)

Simulations on the tree-structured lattice space do not support the stability analyses by PA, which shows unstability rather than neutral stability given by MFA. However, we can obtain better quantitative results for the equilibrium values of doublet densities by PA than by MFA (Figs.5 and 6).

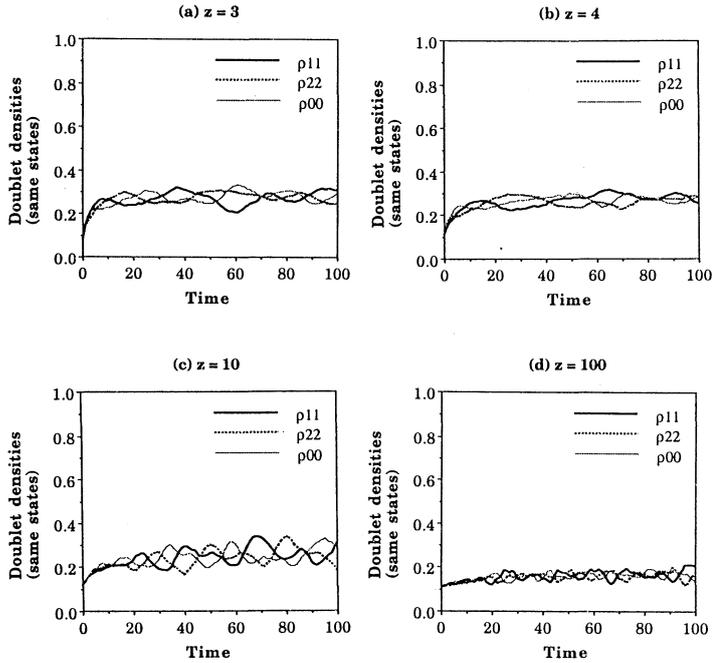


Fig.5. Time development of doublet densities with two same states by Monte Carlo simulations.

(a)  $z = 3$ , (b)  $z = 4$ , (c)  $z = 10$ , (d)  $z = 100$ , (e)  $z = 10000$ . The changes of doublet densities with two same states through time are shown.

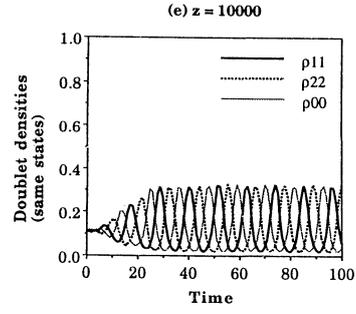


Fig.5. Time development of doublet densities with two same states by Monte Carlo simulations (cont.)

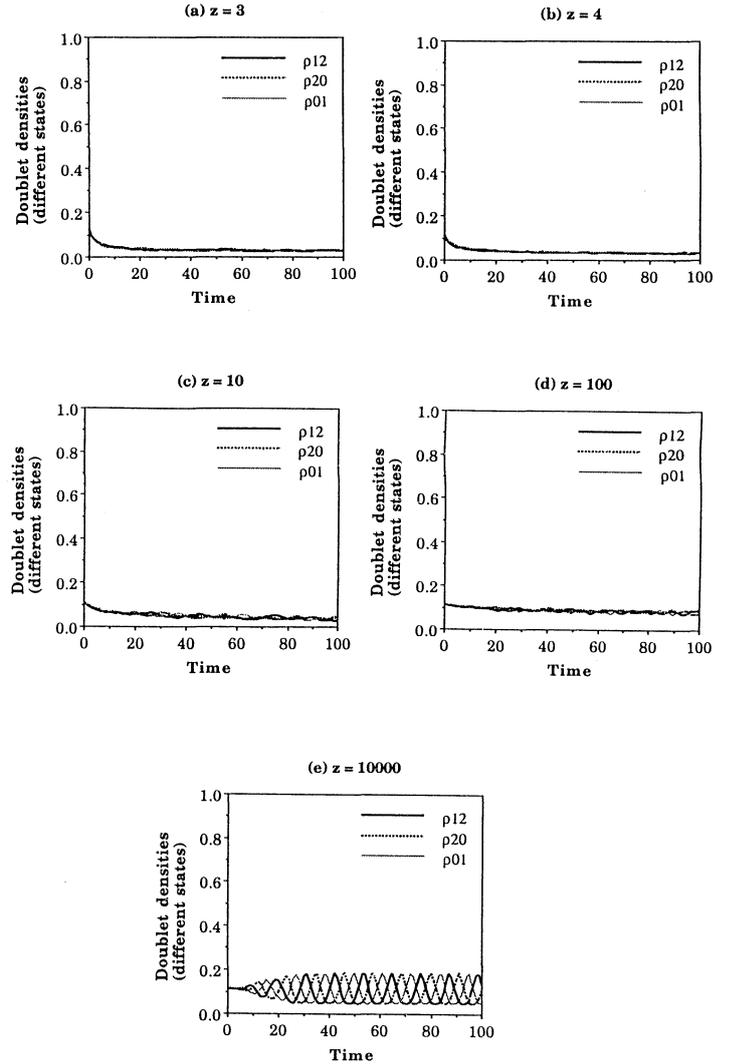


Fig.6. Time development of doublet densities with two different states by Monte Carlo simulations.

(a)  $z = 3$ , (b)  $z = 4$ , (c)  $z = 10$ , (d)  $z = 100$ , (e)  $z = 10000$ . The changes of doublet densities with two different states through time are shown.

## 4 DISCUSSIONS

Unfortunately it seems that we cannot get the strict result for stability by PA, and it may be attributed to the clumping property by interactions between nearest neighboring sites, which causes the necessity of the consideration in correlations on the far distanced sites (Iwasa *et al.*<sup>(21)</sup>). However, we can say that the neglect of the configuration of triplet sequence of sites for two-dimensional square lattice space in PA does not give the different results.

We have another possibility that disagreement between PA and simulations will be settled by using the more proper boundary condition which has the spatial uniformity and reflects the feature of trees (i.e. no loop or exponentially increase of the number of sites from the origin to the periphery). We need some ideas for doing it.

PA exhibits the powerful usefulness for analyses in several lattice models. Our problem studied in this paper will be one of the trials to understand the properties of PA and improve PA as more applicable tools to various lattice models.

## APPENDIX: LOCAL STABILITY ANALYSES

For the analyses of our closed dynamical system we need only five independent equations in Eqs.(1) and (2), so we choose the following five equations:

$$\frac{d\rho_0}{dt} = f_1(\rho_{01}, \rho_{20}) = \rho_{20} - \rho_{01}, \quad (\text{A1})$$

$$\frac{d\rho_1}{dt} = f_2(\rho_{01}, \rho_{12}) = \rho_{01} - \rho_{12}, \quad (\text{A2})$$

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_{01}}{dt} &= f_3(\rho_0, \rho_1, \rho_{01}, \rho_{12}, \rho_{20}) \\ &= \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{\rho_{20}\rho_{12}}{1 - \rho_0 - \rho_1} + \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{(\rho_0 - \rho_{20} - \rho_{01})\rho_{01}}{\rho_0} \\ &\quad - \frac{1}{z}\rho_{01} - \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{\rho_{01}^2}{\rho_0} - \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{\rho_{01}\rho_{12}}{\rho_1} \end{aligned} \quad (\text{A3})$$

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_{12}}{dt} &= f_4(\rho_0, \rho_1, \rho_{01}, \rho_{12}, \rho_{20}) \\ &= \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{\rho_{01}\rho_{20}}{\rho_0} + \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{(\rho_1 - \rho_{01} - \rho_{12})\rho_{12}}{\rho_1} \\ &\quad - \frac{1}{z}\rho_{12} - \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{\rho_{12}^2}{\rho_1} - \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{\rho_{12}\rho_{20}}{1 - \rho_0 - \rho_1} \end{aligned} \quad (\text{A4})$$

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_{20}}{dt} &= f_5(\rho_0, \rho_1, \rho_{01}, \rho_{12}, \rho_{20}) \\ &= \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{\rho_{12}\rho_{01}}{\rho_1} + \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{(1 - \rho_0 - \rho_1 - \rho_{12} - \rho_{20})\rho_{20}}{1 - \rho_0 - \rho_1} \\ &\quad - \frac{1}{z}\rho_{20} - \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{\rho_{20}^2}{1 - \rho_0 - \rho_1} - \left(1 - \frac{1}{z}\right) \frac{\rho_{20}\rho_{01}}{\rho_0} \end{aligned} \quad (\text{A5})$$

where we use the relation  $\rho_{00} = \rho_0 - \rho_{20} - \rho_{01}$ ,  $\rho_{11} = \rho_1 - \rho_{01} - \rho_{12}$ ,  $\rho_{22} = \rho_2 - \rho_{12} - \rho_{20}$  and  $\rho_2 = 1 - \rho_0 - \rho_1$ . Local stability of internal equilibria,  $\bar{\rho}_n = 1/3$ ,  $\bar{\rho}_{n,n+1} = (z-2)/9(z-1)$ , can be investigated by the five independent linearized equations derived from Eqs.(A1)~(A5). When we put  $\rho_n = \bar{\rho}_n + x_n$  for  $n = 0, 1$ ,  $\rho_{n,n+1} = \bar{\rho}_{n,n+1} + y_n$  for  $n = 0, 1, 2$ , linearized equations for small  $x_n$  and  $y_n$  are:

$$\frac{dx_0}{dt} = \frac{\partial f_1}{\partial \rho_{01}}(\bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{20}) y_0 + \frac{\partial f_1}{\partial \rho_{20}}(\bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{20}) y_2, \quad (\text{A6})$$

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{\partial f_2}{\partial \rho_{01}}(\bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}) y_0 + \frac{\partial f_2}{\partial \rho_{12}}(\bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}) y_1, \quad (\text{A7})$$

$$\begin{aligned} \frac{dy_0}{dt} &= \frac{\partial f_3}{\partial \rho_0}(\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}, \bar{\rho}_{20}) x_0 \\ &\quad + \frac{\partial f_3}{\partial \rho_1}(\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}, \bar{\rho}_{20}) x_1 \\ &\quad + \frac{\partial f_3}{\partial \rho_{01}}(\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}, \bar{\rho}_{20}) y_0 \\ &\quad + \frac{\partial f_3}{\partial \rho_{12}}(\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}, \bar{\rho}_{20}) y_1 \\ &\quad + \frac{\partial f_3}{\partial \rho_{20}}(\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}, \bar{\rho}_{20}) y_2, \end{aligned} \quad (\text{A8})$$

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= \frac{\partial f_4}{\partial \rho_0}(\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}, \bar{\rho}_{20}) x_0 \\ &\quad + \frac{\partial f_4}{\partial \rho_1}(\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}, \bar{\rho}_{20}) x_1 \\ &\quad + \frac{\partial f_4}{\partial \rho_{01}}(\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}, \bar{\rho}_{20}) y_0 \\ &\quad + \frac{\partial f_4}{\partial \rho_{12}}(\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}, \bar{\rho}_{20}) y_1 \\ &\quad + \frac{\partial f_4}{\partial \rho_{20}}(\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}, \bar{\rho}_{20}) y_2, \end{aligned} \quad (\text{A9})$$

$$\begin{aligned} \frac{dy_2}{dt} &= \frac{\partial f_5}{\partial \rho_0}(\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}, \bar{\rho}_{20}) x_0 \\ &\quad + \frac{\partial f_5}{\partial \rho_1}(\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}, \bar{\rho}_{20}) x_1 \\ &\quad + \frac{\partial f_5}{\partial \rho_{01}}(\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}, \bar{\rho}_{20}) y_0 \\ &\quad + \frac{\partial f_5}{\partial \rho_{12}}(\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}, \bar{\rho}_{20}) y_1 \\ &\quad + \frac{\partial f_5}{\partial \rho_{20}}(\bar{\rho}_0, \bar{\rho}_1, \bar{\rho}_{01}, \bar{\rho}_{12}, \bar{\rho}_{20}) y_2, \end{aligned} \quad (\text{A10})$$

where notice that, for example, the function  $f_1$  depends only on two variables  $\rho_{20}$  and  $\rho_{01}$ , so the partial derivatives of  $f_1$  on other variables are equal to zero. The above linearized Eqs.(A6)~(A10) can be written down as the form of the following matrix:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ \frac{4(z-2)^2}{9z(z-1)} & \frac{2(z-2)^2}{9z(z-1)} & -\frac{z-2}{z} & 0 & 0 \\ -\frac{2(z-2)^2}{9z(z-1)} & \frac{2(z-2)^2}{9z(z-1)} & 0 & -\frac{z-2}{z} & 0 \\ -\frac{2(z-2)^2}{9z(z-1)} & -\frac{4(z-2)^2}{9z(z-1)} & 0 & 0 & -\frac{z-2}{z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}.$$

The maximum real part of the eigenvalues of this matrix is

$$\lambda_{\max}(z) = -(z-2) + \frac{(z-2)\sqrt{-4\sqrt{3}z + \sqrt{49z^2 + 6z + 9}}(-3-z + 4\sqrt{3}z + \sqrt{49z^2 + 6z + 9})}{2\sqrt{3}(z-1)(z+3)},$$

which is positive for any  $z \geq 3$ , so the internal equilibria is locally unstable for  $z \geq 3$ . Notice that  $\lambda_{\max}(z) \rightarrow 0$  as  $z \rightarrow \infty$ , which indicates the necessary condition of neutral stability.

## REFERENCES

- (1) Tainaka, K., Vortices and strings in a model ecosystem, Physical Review E, Vol.50, No.5, (1994), p3401-3409.
- (2) Lotka, A.J., Elements of physical biology, Williams and Wilkins, Baltimore, (1925).
- (3) Volterra, V., Variations and fluctuations of the number of individuals in animal species living together, In "Animal ecology", (Chapman, R.N.), McGraw-Hill, (1931), p412-433.
- (4) May, R.M. and Leonard, W., Nonlinear aspects of competition between three species, SIAM Journal on Applied Mathematics, 29, (1975), p243-252.
- (5) Matsuda, H., Wada, T., Takeuchi, Y. and Matsumiya Y., Alternative models for species replacement of pelagic fishes, Researches on Population Ecology, Vol.33, (1991), p41-56.
- (6) Matsuda, H., Wada, T., Takeuchi, Y. and Matsumiya Y., Model analysis of the effect of environmental fluctuation on the species replacement pattern of pelagic fishes under interspecific competition, Researches on Population Ecology, Vol.34, (1992), p309-319.
- (7) Takeuchi, Y., Oshime, Y. and Matsuda, H., Persistence and periodic orbits of a three-competitor model with refuges, Mathematical Biosciences, Vol.108, (1992), p105-125.
- (8) Takeuchi, Y., Global dynamical properties of Lotka-Volterra systems, World Scientific, (1996).
- (9) Tainaka, K., Lattice model for the Lotka-Volterra system, Journal of the Physical Society of Japan, Vol.57, (1988), p2588-2590.
- (10) Harris, T.E., Contact interactions on a lattice, The Annals of Probability, 2, (1974), 969-988.
- (11) Konno, N., Phase transitions of interacting particle systems, World Scientific, (1994).
- (12) Matsuda, H., Ogita, N., Sasaki, A. and Sato, K., Statistical mechanics of population: the lattice Lotka-Volterra model, Progress of Theoretical Physics, 88, (1992), p1035-1049.
- (13) Sato, K., Matsuda, H. and Sasaki, A., Pathogen invasion and host extinction in lattice structured populations, Journal of Mathematical Biology, 32, (1994), p251-268.

- (14) Tainaka, K., Intrinsic uncertainty in ecological catastrophe, *Journal of Theoretical Biology*, 166, (1994), p91-99.
- (15) Satulovsky, J.E. and Tomé, T., Stochastic lattice gas model for a predator-prey system, *Physical Review E*, 49, (1994), p5073-5079.
- (16) Harada, Y., Ezoe, H., Iwasa, Y., Matsuda, H. and Sato, K., Population persistence and spatially limited social interaction, *Theoretical Population Biology*, 48, (1995), p65-91.
- (17) Harada, Y. and Iwasa, Y., Lattice population dynamics for plants with dispersing seeds and vegetative propagation, *Researches on Population Ecology*, 36, (1994), p237-249.
- (18) Sato, K. and Konno, N., Successional dynamical models on the 2-dimensional lattice space, *Journal of the Physical Society of Japan*, 64, (1995), p1866-1869.
- (19) Kubo, T., Iwasa, Y. and Furumoto, N., Forest spatial dynamics with gap expansions: total gap area and gap size distribution, *Journal of Theoretical Biology*, 180, (1996), p229-246.
- (20) Nakamaru, M., Matsuda, H. and Iwasa, Y., The evolution of cooperation in a lattice-structured population, *Journal of Theoretical Biology* (in press).
- (21) Iwasa, Y., Nakamaru, M. and Levin, S. A., Allelopathy of bacteria in a lattice population: competition between colicin-sensitive and colicin-producing strains, (in press).
- (22) Konno, N., *Lecture Notes on Interacting Particle Systems*, Rokko Lectures in Mathematics, No.3, Kobe University, (1997).
- (23) Tretyakov, A.Y. and Konno, N., Phase transition of the contact process on the binary tree, *Journal of the Physical Society of Japan*, 64, (1995), p4069-4072.

ツリー上でのじゃんけんゲーム

佐藤一憲<sup>\*</sup>、今野紀雄<sup>\*\*</sup>、山口忠<sup>\*\*\*</sup>

概要

各格子点から等しい数だけの枝が伸びているようなツリー構造をもつ格子空間上でのじゃんけんゲームの研究を行なった。格子点上の各粒子はすぐ隣合った格子点としか相互作用することはできない。隣合った格子点との相関を考慮した解析手法のひとつであるペア近似は、一般的に平均場近似よりも有効な手法であると思われる。しかし、2次元正方格子空間上でのじゃんけんモデルの場合には、内的平衡点における安定性に対して、ペア近似は平均場近似よりも悪い結果を与えることが秦中<sup>(1)</sup>によって報告されている。ツリー上のじゃんけんモデルのダイナミクスはペア近似を正しく反映するように思われるが、この論文で、内的平衡点の安定性については、2次元正方格子空間上での結果と同じであることを示す。

キーワード： ツリー、格子モデル、ペア近似、平均場近似

<sup>\*</sup>静岡大学工学部システム工学科、<sup>\*\*</sup>横浜国立大学工学部生産工学科、<sup>\*\*\*</sup>共通講座(数理科学)

# Upper Bounds on Percolation Probabilities for Oriented Bond Percolation

Tetsuhiro NAGAMURA\*, Vladimir BELITSKY\*\*,  
Norio KONNO\*\*\* and Tadashi YAMAGUCHI\*\*\*\*

(Received 9 May 1997, Accepted 20 August 1997)

This paper concerns the estimation of percolation probability for oriented bond percolation in two dimensions. First we present a more general class of processes (discrete-time growth models) which contains the oriented bond percolation as a special case. We then recall a result due to Ted Harris, which allows one to obtain an upper bound  $\theta^{(1)}(p)$  on the percolation probability starting from the origin for processes from this class (here  $p$  is a parameter whose meaning is the probability of a bond to be open in the considered models). We then present a method based on the Harris' result, which gives a sequence  $\theta^{(n)}(p)$  ( $n \geq 1$ ) that converges monotonically to the true value of this percolation probability, from above. Furthermore we obtain explicit forms of  $\theta^{(n)}(p)$  for  $n = 1, \dots, 9$ . In particular, these bounds indicate a particular property of the percolation probability starting from the origin when considered as a function of  $p$ , exactly to say, they indicate a presence of an inflection point close to  $p = 0.561821$ .

Keywords: Oriented Bond Percolation, Percolation Probability, Upper Bound, Harris Lemma

## 1 INTRODUCTION

In this paper we will construct a sequence of upper bounds on percolation probability in oriented bond percolation by using a new method based on the Harris lemma. First we consider a class of discrete-time growth models which contains oriented bond percolation as a special case as we will show below. The discrete-time growth model starting from  $A \subset \mathbf{Z}^1$ , is the name for the discrete-time Markov chain  $\xi_n^A, n \in \mathbf{N}$ , whose state space on  $Y$ , the collection of all finite subsets of  $\mathbf{Z}^1$ , such that the initial state is  $A$ , that is  $\xi_0^A = A$ , and the dynamics is given by the following rule. Write  $\xi_n^A$ , the state of the process at time  $n$ , as a union of maximal subintervals

$$\xi_n^A = \cup_{i=1}^k I_i,$$

where  $I_i = \{m_i + 1, m_i + 2, \dots, n_i\}$  and  $m_i < n_i < m_{i+1}$ . Then  $\xi_{n+1}^A$  is obtained by choosing points in  $\{m_i + 1, m_i + 2, \dots, n_i - 1\}$  each with probability  $q$ , and points  $m_i$  and  $n_i$  each with probability  $p$ . The choices are made independently. Throughout this paper, we assume that

$$0 \leq p \leq q \leq 1,$$

so this process is attractive; that is, if  $\xi_n^A \subset \xi_n^B$ , then we can guarantee that  $\xi_{n+1}^A \subset \xi_{n+1}^B$  by using an appropriate coupling. Note that if  $q = p(2 - p)$  (resp.  $q = p$ ) then this process becomes what is called the oriented bond (resp. site) percolation model in two dimensions. Concerning oriented percolation models, see Durrett,<sup>(1)</sup> for example.

We define percolation (or survival) probability starting from  $A \in Y$  by

$$\sigma(A) = P(\xi_n^A \neq \emptyset \text{ for all } n \geq 0).$$

Furthermore,  $\sigma(\{0\})$ , the percolation probability starting from the origin 0, will be denoted by  $\rho(p, q)$ . For given  $q$ , define the critical value  $p_c(q)$  by

$$p_c(q) = \inf\{p \geq 0 : \rho(p, q) > 0\}.$$

\* The Dai-Tokyo Fire and Marine Insurance Co.

\*\* Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo

\*\*\* Department of Applied Mathematics, Yokohama National University

\*\*\*\* Common Subject Division (Mathematical Science)

Concerning bounds on percolation probability and critical values for discrete-time growth models, see Chapter 7 of Konno,<sup>(2)</sup> for example.

The main purpose of this paper is (1) to present a new method which gives a systematic sequence of rigorous upper bounds  $\theta^{(n)}(p)$  (which are independent of  $q$ ) for percolation probability of the discrete-time growth models by using the Harris lemma and (2) to give an explicit form of these bounds for  $n = 1, \dots, 9$ .

This paper is organized as follows. In Chapter 2, we will give a version of the Harris lemma for the type of processes considered in this paper. This lemma is a basic ingredient for our method. Chapter 3 treats our new results. Chapter 4 is devoted to conclusions.

## 2 HARRIS LEMMA

Here we present a discrete-time version of the Harris lemma<sup>(3)</sup> whose presentation here follows Konno.<sup>(4)</sup> Let  $Y^*$  denote the set of all  $[0,1]$ -valued measurable functions on  $Y$ .

**Lemma 2.1.** (Harris lemma) Let  $h \in Y^*$  with

$$(1) \quad h(\phi) = 0,$$

$$(2) \quad 0 < h(A) \leq 1 \quad \text{for any } A \in Y \text{ with } A \neq \phi.$$

Assume that for any  $\varepsilon > 0$ , there is an  $N \geq 1$  such that if  $|A| \geq N$ , then

$$(3) \quad E(h(\xi_1^A)) \geq 1 - \varepsilon.$$

Assume also that for any  $A \in Y$ ,

$$(4) \quad E(h(\xi_1^A)) \leq h(A).$$

Then

$$(5) \quad \sigma(A) \leq h(A) \quad \text{for any } A \in Y.$$

In particular,

$$(6) \quad \rho(p, q) \leq h(\{0\}),$$

where 0 is the origin.

The proof of Lemma 2.1 will give us a systematic sequence of upper bounds for percolation probability starting from  $A$  of discrete-time growth models. So, for the convenience of readers, we review the proof of this lemma. In the rest of this section, we assume that  $p \leq q < 1$ . When  $q = 1$ , the proof is almost trivial, so we will omit it.

To prove Lemma 2.1 we shall need Lemmas 2.2 and 2.3 which we shall now present. Write  $A$  as a union of maximal subintervals

$$A = \cup_{i=1}^k I_i, \quad (1)$$

where  $I_i = \{m_i + 1, m_i + 2, \dots, n_i\}$  and  $m_i < n_i < m_{i+1}$ .

Define

$$L = \{|m_1 + 1, \dots, n_1 - 1, m_2 + 1, \dots, n_2 - 1, \dots, m_k + 1, \dots, n_k - 1\},$$

$$M = \{|m_1, n_1, m_2, n_2, \dots, m_k, n_k\}.$$

The definitions of  $L$  and  $M$  give

$$L + M = |A| + k, \quad (2)$$

$$M = 2k. \quad (3)$$

Then the following is easily shown by the property of binomial distribution.

**Lemma 2.2.** For any  $A \in Y$  and  $n \in \{0, 1, \dots, |A| + k\}$ ,

$$P(|\xi_1^A| = n) = \sum_{l=0}^L \sum_{m=0}^M 1_n(l+m) \binom{L}{l} q^l (1-q)^{L-l} \times \binom{M}{m} p^m (1-p)^{M-m},$$

where  $1_x(y) = 1$  if  $y = x$ , and  $= 0$  otherwise and

$$\binom{i}{j} = \frac{i!}{j!(i-j)!} \quad \text{for } 0 \leq j \leq i.$$

Furthermore, we shall need the following result.

**Lemma 2.3.** For any  $A \in Y$  and  $N \geq 1$ ,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(0 < |\xi_n^A| \leq N) = 0.$$

**Proof.** It is enough to show that for any  $A \in Y$  and  $r \geq 1$ ,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(|\xi_n^A| = r) = 0.$$

By the Markov property,

$$P(|\xi_{n+1}^A| = r-1) = \sum_{m=0}^{\infty} E(P(|\xi_1^{\xi_n^A}| = r-1) : |\xi_n^A| = m) \\ \geq E(P(|\xi_1^{\xi_n^A}| = r-1) : |\xi_n^A| = r) \\ \geq c(r)P(|\xi_n^A| = r),$$

where

$$c(r) = \inf_{B:|B|=r} P(|\xi_1^B| = r-1) > 0.$$

Note that the positivity of  $c(r)$  follows from Lemma 2.2. Therefore it suffices to prove that for any  $A \in Y$ ,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(|\xi_n^A| = 1) = 0.$$

To do so, we will show that

$$\sum_{n=1}^{\infty} P(|\xi_n^A| = 1) < \infty.$$

By the Markov property,

$$\begin{aligned}
 & P(|\xi_{n+1}^A| = 0) - P(|\xi_n^A| = 0) \\
 &= P(|\xi_{n+1}^A| = 0) - P(|\xi_n^A| = 0, |\xi_{n+1}^A| = 0) \\
 &= \sum_{k=1}^{\infty} P(|\xi_n^A| = k, |\xi_{n+1}^A| = 0) \\
 &\geq P(|\xi_n^A| = 1, |\xi_{n+1}^A| = 0) \\
 &= E(P(|\xi_1^A| = 0) : |\xi_n^A| = 1) \\
 &= (1-p)^2 P(|\xi_n^A| = 1).
 \end{aligned}$$

Then we see that  $p < 1$  gives

$$\sum_{n=1}^{\infty} P(|\xi_n^A| = 1) \leq \frac{1}{(1-p)^2} < \infty.$$

Thus the proof is complete.

**Proof of Lemma 2.1.** For any  $A \in Y$  and  $N \geq 1$ , Lemma 2.3 gives

$$\begin{aligned}
 \sigma(A) &= \lim_{n \rightarrow \infty} P(\xi_n^A \neq \phi) \\
 &= \lim_{n \rightarrow \infty} P(|\xi_n^A| > N) + \lim_{n \rightarrow \infty} P(0 < |\xi_n^A| \leq N) \quad (4) \\
 &= \lim_{n \rightarrow \infty} P(|\xi_n^A| > N).
 \end{aligned}$$

From the Markov property and condition (1),

$$\begin{aligned}
 & E(h(\xi_{n+1}^A)) \\
 &= E(E(h(\xi_1^A))) \\
 &= E(E(h(\xi_1^A)) : |\xi_n^A| > N) \\
 &\quad + E(E(h(\xi_1^A)) : 0 < |\xi_n^A| \leq N).
 \end{aligned} \quad (5)$$

By using  $h(A) \leq 1$  for any  $A \in Y$  and Lemma 2.3, we have

$$\lim_{n \rightarrow \infty} E(E(h(\xi_1^A)) : 0 < |\xi_n^A| \leq N) = 0.$$

Using this result and Eq.(5), we have

$$\liminf_{n \rightarrow \infty} E(h(\xi_{n+1}^A)) = \liminf_{n \rightarrow \infty} E(E(h(\xi_1^A)) : |\xi_n^A| > N). \quad (6)$$

Therefore combination of Eqs.(4), (6) and condition (3) implies that for any  $\varepsilon > 0$ , there is an  $N \geq 1$  such that

$$\begin{aligned}
 \liminf_{n \rightarrow \infty} E(h(\xi_{n+1}^A)) &\geq (1-\varepsilon) \liminf_{n \rightarrow \infty} P(|\xi_n^A| > N) \\
 &= (1-\varepsilon)\sigma(A).
 \end{aligned} \quad (7)$$

By using Eq.(7),  $h(\phi) = 0$ ,  $h(A) \leq 1$  for any  $A \in Y$  and the definition of  $\sigma(A)$ , we see that for any  $\varepsilon > 0$ ,

$$\begin{aligned}
 (1-\varepsilon)\sigma(A) &\leq \liminf_{n \rightarrow \infty} E(h(\xi_n^A)) \\
 &= \liminf_{n \rightarrow \infty} E(h(\xi_n^A) : \xi_n^A \neq \phi) \\
 &\leq \limsup_{n \rightarrow \infty} E(h(\xi_n^A) : \xi_n^A \neq \phi) \\
 &\leq \lim_{n \rightarrow \infty} P(\xi_n^A \neq \phi) \\
 &= \sigma(A).
 \end{aligned}$$

Thus it follows that

$$\sigma(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} E(h(\xi_n^A)). \quad (8)$$

From the Markov property and condition (4), we obtain

$$E(h(\xi_2^A)) = E(E(h(\xi_1^A))) \leq E(h(\xi_1^A)) \leq h(A).$$

Using a similar argument repeatedly, we see that for any  $n \geq 1$ ,

$$E(h(\xi_n^A)) \leq h(A). \quad (9)$$

Combining Eqs.(8) and (9) gives

$$\sigma(A) \leq h(A),$$

for any  $A \in Y$ . Thus the proof of part (5) in Lemma 2.1 is complete. Part (6) follows from taking  $A = \{0\}$  in part (5).

### 3 RESULTS

In this chapter we give our new results. First we see that the following main theorem comes from the last part of proof of the Harris lemma. This result is important in our paper. Because if we find a suitable  $h$  which satisfies conditions (1)-(4) in the Harris lemma, then we can obtain a new systematic sequence of upper bounds  $E(h(\xi_n^A))$  on percolation probability  $\sigma(A)$  starting from  $A \in Y$  for the discrete-time growth models. Furthermore, as a special case, this sequence gives upper bounds on percolation probability  $\sigma(A)$  starting from  $A$  for oriented bond percolation.

**Theorem 3.1.** *If  $h \in Y^*$  satisfies conditions (1)-(4) in the Harris lemma, then for any  $A \in Y$ ,*

$$(1) \quad E(h(\xi_{n+1}^A)) \leq E(h(\xi_n^A)) \quad (n \geq 0),$$

$$(2) \quad E(h(\xi_n^A)) \searrow \sigma(A) \quad (n \rightarrow \infty).$$

Let  $|A|$  be the cardinality of  $A \in Y$ . In fact if we take

$$h(A) = 1 - \left(\frac{1-p}{p}\right)^{2|A|},$$

then this  $h$  satisfies the conditions (1)-(4) in the Harris lemma. The proof appeared in Konno,<sup>(4)</sup> so we will omit it here. From now on, we focus on the case of oriented bond percolation (i.e.  $q = p(2-p)$  for the discrete-time growth models). We define the percolation probability starting from the origin for oriented bond percolation as

$$\rho(p) = \sigma(\{0\}) = P(\xi_n^0 \neq \phi \text{ for all } n \geq 0),$$

where 0 is the origin. Then by using Theorem 3.1, we have the following result.

**Corollary 3.2.** *In the case of oriented bond percolation, we define  $\theta^{(n)}(p) = E(h(\xi_n^{(0)}))$ . Then*

$$\theta^{(n)}(p) \searrow \rho(p) \quad \text{as } n \rightarrow \infty,$$

where

$$h(A) = 1 - \left( \frac{1-p}{p} \right)^{2|A|}.$$

From Corollary 3.2, we get the following explicit forms of upper bounds  $\theta^{(n)}(p)$  ( $n = 1, \dots, 9$ ) for percolation probability  $\rho(p)$  of oriented bond percolation.

$$\theta^{(1)}(p) = -\frac{1}{p^2} + \frac{2}{p},$$

$$\theta^{(2)}(p) = -\frac{4}{p} + 14 - 16p + 9p^2 - 2p^3,$$

$$\begin{aligned} \theta^{(3)}(p) = & -9 + 22p + 40p^2 - 206p^3 + 331p^4 - 282p^5 \\ & + 137p^6 - 36p^7 + 4p^8, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta^{(4)}(p) = & -18p + 35p^2 + 94p^3 - 215p^4 + 10p^5 - 805p^6 \\ & + 5122p^7 - 11983p^8 + 15986p^9 - 13789p^{10} + 8022p^{11} \\ & - 3148p^{12} + 802p^{13} - 120p^{14} + 8p^{15}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta^{(5)}(p) = & -36p^2 + 70p^3 + 146p^4 - 286p^5 + 449p^6 - 3284p^7 \\ & + 7206p^8 - 6268p^9 + 10789p^{10} - 11598p^{11} - 122560p^{12} \\ & + 579570p^{13} - 1301118p^{14} + 1877202p^{15} - 1916931p^{16} \\ & + 1444832p^{17} - 817731p^{18} + 347992p^{19} - 109951p^{20} \\ & + 25044p^{21} - 3888p^{22} + 368p^{23} - 16p^{24}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta^{(6)}(p) = & -72p^3 + 140p^4 + 310p^5 - 831p^6 + 1708p^7 - 5205p^8 + 6798p^9 - 14748p^{10} \\ & + 50904p^{11} - 34575p^{12} - 156762p^{13} + 532173p^{14} - 1469866p^{15} \\ & + 3181230p^{16} - 3337010p^{17} + 2242520p^{18} - 20449868p^{19} \\ & + 101210422p^{20} - 268024840p^{21} + 473241652p^{22} - 613179448p^{23} \\ & + 611682098p^{24} - 482133156p^{25} + 304413972p^{26} - 154830240p^{27} \\ & + 63387844p^{28} - 20747336p^{29} + 5355799p^{30} - 1066096p^{31} \\ & + 157804p^{32} - 16344p^{33} + 1056p^{34} - 32p^{35}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta^{(7)}(p) = & -144p^4 + 280p^5 + 656p^6 - 1696p^7 + 2150p^8 - 5782p^9 + 17095p^{10} - 62604p^{11} \\ & + 108811p^{12} + 40228p^{13} - 476906p^{14} + 1565028p^{15} - 4230840p^{16} \\ & + 7075054p^{17} - 7352359p^{18} + 8415008p^{19} - 22096375p^{20} \\ & + 91177550p^{21} - 270871273p^{22} + 350414414p^{23} + 277783879p^{24} \\ & - 1590875352p^{25} + 2374616022p^{26} - 5019288596p^{27} + 24342890976p^{28} \\ & - 86114724564p^{29} + 204622753576p^{30} - 356124984550p^{31} + 481193510857p^{32} \\ & - 522896766360p^{33} + 467043587932p^{34} - 347574971704p^{35} + 217285574009p^{36} \\ & - 114583533678p^{37} + 51020611974p^{38} - 19145517698p^{39} + 6025408815p^{40} \\ & - 1577565268p^{41} + 339473740p^{42} - 58996004p^{43} + 8071236p^{44} \\ & - 836384p^{45} + 61664p^{46} - 2880p^{47} + 64p^{48}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\theta^{(8)}(p) = & -288p^5 + 560p^6 + 1384p^7 - 3460p^8 + 3868p^9 - 15524p^{10} + 53168p^{11} \\
& - 108889p^{12} + 52680p^{13} + 192708p^{14} - 619812p^{15} + 2875638p^{16} \\
& - 8675434p^{17} + 13351166p^{18} - 7513582p^{19} - 12680870p^{20} \\
& - 10012396p^{21} + 278226110p^{22} - 941463796p^{23} + 1667292285p^{24} \\
& - 1753873054p^{25} + 1019405305p^{26} - 772624922p^{27} - 2111379902p^{28} \\
& + 37392590206p^{29} - 157992585684p^{30} + 342323568232p^{31} \\
& - 471254137710p^{32} + 709541249646p^{33} - 1809998049067p^{34} \\
& + 4142720438866p^{35} - 6798468563094p^{36} + 12086521793044p^{37} \\
& - 36652815053037p^{38} + 116503839132030p^{39} - 288306749394660p^{40} \\
& + 550991436671158p^{41} - 841727999796970p^{42} + 1058219144184362p^{43} \\
& - 1117741947587496p^{44} + 1006248814765292p^{45} - 779774836819158p^{46} \\
& - 523654041894484p^{47} - 306050843087175p^{48} + 156041549645810p^{49} \\
& - 69453200574360p^{50} + 26965122013356p^{51} - 9111290957004p^{52} \\
& + 2669046993642p^{53} - 674061979608p^{54} + 145635281244p^{55} \\
& - 26641324881p^{56} + 4069267598p^{57} - 509203296p^{58} + 50823832p^{59} \\
& - 3889296p^{60} + 214176p^{61} - 7552p^{62} + 128p^{63},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\theta^{(9)}(p) = & -576p^6 + 1120p^7 + 2912p^8 - 7056p^9 + 6836p^{10} - 30078p^{11} \\
& + 87444p^{12} - 128996p^{13} + 141078p^{14} - 287842p^{15} \\
& - 699633p^{16} + 6844326p^{17} - 16471207p^{18} + 20608128p^{19} \\
& - 19847269p^{20} + 24751286p^{21} - 110601178p^{22} + 512135230p^{23} \\
& - 1416494591p^{24} + 2067305734p^{25} + 471585995p^{26} - 8053480128p^{27} \\
& + 13316622691p^{28} - 15272814914p^{29} + 71239696897p^{30} - 296358497876p^{31} \\
& + 730459107448p^{32} - 1293303009656p^{33} + 2328082200618p^{34} \\
& - 4997784855240p^{35} + 8415233465845p^{36} - 6653945306268p^{37} \\
& + 2452363328518p^{38} - 26939047621642p^{39} + 91897777627579p^{40} \\
& - 94045741987764p^{41} - 84075175798288p^{42} + 342385059025806p^{43} \\
& - 899911472485776p^{44} + 3722528711327042p^{45} - 12081847226227191p^{46} \\
& + 26822305168376020p^{47} - 48484573188285044p^{48} + 100692788994288998p^{49} \\
& - 268660367389354934p^{50} + 706341834272616372p^{51} \\
& - 1561889633883578957p^{52} + 2840027488043618376p^{53} \\
& - 4307289153557295499p^{54} + 5546720939028297690p^{55} \\
& - 6155559273486481443p^{56} + 5954433996273587632p^{57} \\
& - 5063566849719437586p^{58} + 3809374638823206528p^{59} \\
& - 2546952358298713564p^{60} + 1518273653906179274p^{61} \\
& - 808613850015164342p^{62} + 385186427098629550p^{63} \\
& - 164148233059897686p^{64} + 62542571224061790p^{65} \\
& - 21275254293806300p^{66} + 6446919762647916p^{67} - 1734723829162845p^{68} \\
& + 412745518361084p^{69} - 86368160701648p^{70} + 15784982726428p^{71} \\
& - 2497665186969p^{72} + 338316580628p^{73} - 38656411584p^{74} \\
& + 3653293264p^{75} - 277877600p^{76} + 16343488p^{77} \\
& - 697344p^{78} + 19200p^{79} - 256p^{80}
\end{aligned}$$

In Fig.1, we show the graphs of  $\theta^{(n)}(p)$  as functions of  $p$ , for  $n = 1$  and  $n = 9$ . Observe that  $\theta^{(1)}(\cdot)$  is concave while  $\theta^{(9)}(\cdot)$  possesses an inflection point. This motivated us to study the second derivative of the functions  $\theta^{(n)}(p)$ ,  $p \in [1/2, 1]$ ,  $n = 1, \dots, 9$ . Their second derivatives are presented in Fig.2. This figure shows that there is an inflection point  $p^{(n)}$  between  $1/2$  and  $1$  for  $n = 6, 7, 8, 9$ . This fact suggests that  $\rho(p)$  also has an inflection point between  $1/2$  and  $1$ . Our results provide the following estimates of its abscissa:

$$p^{(6)} = 0.511774$$

$$p^{(7)} = 0.536978$$

$$p^{(8)} = 0.553858$$

$$p^{(9)} = 0.561821$$

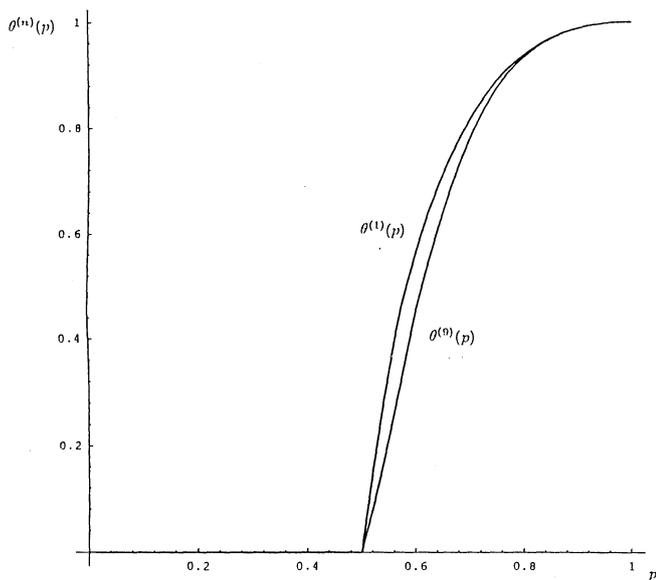


Fig.1. The graphs of  $\theta^{(n)}(p)$  for  $n = 1$  and  $n = 9$ .

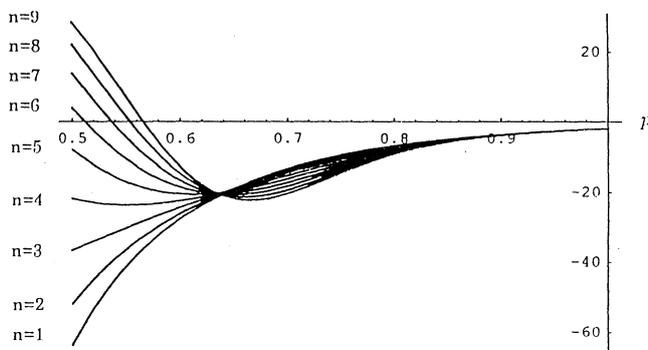


Fig.2. The second derivative of  $\theta^{(n)}(p)$  for  $n = 1, 2, \dots, 9$ .

## 4 CONCLUSIONS

In this paper we study the percolation probability starting from  $A \in Y$ , for a class of discrete-time growth models which contains the oriented bond percolation as a particular case. We present a new method which gives a systematic sequence of upper bounds  $\theta^{(n)}(p)$  ( $n \geq 1$ ) for this probability, basing on a corollary of the Harris lemma. The first of these bounds was given by the Harris lemma directly. These bounds converge to the true value, as  $n \rightarrow \infty$ . We obtain explicit forms of  $\theta^{(n)}(p)$  for  $n = 1, 2, \dots, 9$ . These forms suggest that the percolation probability in the oriented bond percolation starting from the origin, possesses an inflection point, for certain value of  $p \in [1/2, 1]$  which we estimate.

## 4 ACKNOWLEDGEMENTS

T.N. and N.K. thank Noriko Saitoh, Makoto Katori and Hideki Tanemura for helpful discussions. V.B and N.K. were partially supported by respectively, CNPq grant 301637/91-1 and FAPESP grant 95/9047-0.

## REFERENCES

- (1) Durrett, R., *Lecture Notes on Particle Systems and Percolation* (Wadsworth Inc., California, 1988).
- (2) Konno, N., *Lecture Notes on Interacting Particle Systems* (Rokko Lectures in Mathematics, No.3, Kobe University, March 1997), available at <http://www.math.s.kobe-u.ac.jp/publications>.
- (3) T.E.Harris, On a class of set-valued Markov processes. *Ann.Probab.* 4(1976)175-194.
- (4) Konno, N., Harris lemma for discrete-time growth models, *Journal of the Physical Society of Japan*, Vol. 64, No.5,(1995), p1441-1444.

方向性のあるボンドパーコレーションの浸透確率の上限

永村 哲宏\*、ウラジミール ベリツキー\*\*、今野紀雄\*\*\*、山口 忠\*\*\*\*

概要

本論文では、方向性のあるボンドパーコレーションの浸透確率について考える。議論を見通しよくする為に、方向性のあるボンドパーコレーションを特殊な場合として含む一般のクラスを導入する。ハリスの補題によりこのクラスの浸透確率の上限の第1近似 $\theta^{(1)}(p)$ が与えられることは知られているが、本論文ではさらに系統的な上限の列 $\theta^{(n)}(p)$  ( $n \geq 1$ )を与える新しい手法を提案し、具体的に計算を行った。

キーワード：方向性のあるボンドパーコレーション、浸透確率、上限、ハリスの補題

\*大東京火災海上保険株式会社、\*\*サンパウロ大学数学統計研究所、\*\*\*横浜国立大学工学部応用数学、\*\*\*\*共通講座（数理科学）



# ごみ処理有料制と住民の意識\*1

亀田 正人\*2

## Pay As You Throw: Its Influences upon The Attitudes of Residents

Masato KAMEDA

(原稿受付日 平成9年5月9日 論文受理日 平成9年8月20日)

### Abstract

This article investigates the influences of Pay As You Throw programs upon the attitudes of residents. Our surveys of residents in 22 communities indicate: 1. the programs are not very well accepted by residents before they are implemented, but win more favor once implemented, 2. the programs positively affect the attitudes of residents towards waste reduction, environmental conservation and the programs themselves, 3. public acceptance will be better when the programs work in conjunction with prevention of illegal dumping, more opportunities for waste reduction, making municipal governments more cost-efficient, and more responsibility of producers.

Key words: Pay As You Throw, Unit Pricing, Variable Rates, Municipal Solid Waste, Public Acceptance, Economic Instruments

### 1. はじめに

一般廃棄物（以下「ごみ」と呼ぶ）の収集・処理は廃棄物処理法に基づいて地方自治体の責任で行われているが、その費用は、ごみを排出する事業所による一部受益者負担を除き税込で賄うのが一般的である。この制度の下では個々の住民にとってごみ収集・処理にかかる費用が顕在化しないために、ごみ排出を抑制する誘因に乏しい。排出抑制はほとんど住民の「モラル」に期待するばかりであるため、総体として排出量は減らず、処理施設の能力を圧迫している。さらにごみ処理そのものが自然環境すなわち住民の生活環境に及ぼ

す悪影響が問題視されるにしたがって処理方法の高度化が要請され、それが自治体の財政を圧迫しつつある。今日、ごみの減量は各自治体にとって、すなわちその構成員である住民にとって、喫緊の課題となっている。

このような状況の下で、住民にごみ排出抑制の誘因を与える一つの手法として、ごみ収集・処理の有料制が注目されている<sup>(1)-(3)</sup>。有料制には従来から二つの様式がある。第一は、人員数・住居面積などを基準に排出者が定額を負担するいわゆる「定額制」であり、第二は、ごみを排出する際に有料の袋で出す、任意の袋・箱に有料シールを貼って出す、有料で借りた据え置き型容器で出すなどの様式で、排出するごみの量によって費用の全部または一部を排出者が負担する、いわゆる「従量制」である。現在注目されているのは、排出量に応じた金銭的負担が個々の住民にごみ排出量削減への誘因を与えるのではないかとみられる後者である（本稿ではこれを「有料制」と呼ぶ）。

この有料化については、現実には導入する自治体が増えている<sup>(4)</sup>半面、様々な疑問も提示されている。主

\*1 本稿は、筆者が単独で行った調査のほか、1993年度北海道科学研究費補助金の助成を受けて行った調査（単独）、1994年度文部省科学研究費補助金（重点領域「人間地球系」課題番号06271101）および1995年度文部省科学研究費補助金（重点領域「人間地球系」課題番号07263101）の助成を受けて行った調査（ともに共同）に基づいている。

\*2 共通講座 人間・社会科学講座

なものを挙げれば、有料制によってごみは継続的に減るのか、住民の多くが反対しているなかで導入するのは民主主義に反するのではないか、不法投棄が増えるのではないか、自家焼却による公害が生じるのではないか、税の二重取りではないか、所得・資産保有に関係なく負担するのは不公平ではないか、財政のむだを省けば税金だけで賄えるのではないか、そもそも企業がごみになるものを大量に生産・販売している仕組みを先に変えるべきではないか、などである。どの点をとっても今日まで意見の一致をみるには至っていない(5)・(15)。

筆者はこれまで数次にわたり、有料制を導入した14自治体と導入していない8自治体について調査を重ね、住民のごみ排出行動の変化とごみの総排出量の変化、有料制に対する住民の受容態度の変化、住民の環境意識の変化などを検証してきた(16)・(23)。本稿ではこれまでの調査結果を用いて、これらのうち後二者すなわち住民の意識の側面を総括的に考察する。有料制という制度は、直接には金銭的誘因によって住民の利己心を刺激するのであるが、それを通して住民の意識の中にごみや環境についての積極的な関心を呼び起こすという間接的な効果をもつのではないか。もしそのような効果があるならば、その結果としてこの制度に対する

支持も高まるのではないか。今後ますます環境保全の必要が高まるであろう社会の中で、より多くの住民に環境への関心を喚起する一つ的手段として、有料制など経済的手法は有効なのではなからうか。そのような問題関心に基づいて、以下、(1) 有料制は実施される前には住民にどのように評価されるか、(2) 実施後その評価はどのように変化するか、(3) 有料制実施によって住民のごみ・環境についての意識がどのように変化するか、またそれが有料制の受容度変化にどうつながるか、(4) 受容度に影響を及ぼす諸条件にはどのようなものがあるか、について考察する。

なお、有料化にともなう住民のごみ排出行動の変化とごみの総排出量の変化については別稿に譲る(21)・(23)。また有料制の財政的側面や現在および将来のごみ処理体制全体の中での位置づけを含めて、有料制の包括的な評価は別の機会にあらためて行いたい。

## 2. 調査の概要

1992年から1995年にかけて数次のアンケート調査および聞き取り調査を行った。アンケート調査の実施概要を表1に示す。これらの調査は単純無作為抽出した住民に質問票を郵送し、回答票を郵送してもらうという方法で行った。

表1 アンケートの実施概要

対象地域	人口(千人)	有料化時期	料金 (¥/40リットル)<可燃ごみ><不燃ごみ>	調査時期	有効送付数	回収数	回収率
北海道伊達市	35	1989年 7月	<60> <60>	1992年 4月	298	164	55%
北海道倶知安町	18	1989年 6月	<80> <80>	1992年 4月	193	88	46%
北海道北部桧山	21	1986年10月	<82> <82>	1993年11月	1,149	376	33%
北海道長万部町*	9	1990年 6月	<82> <82>	1994年 1月	1,100	392	36%
福岡県筑紫野市	78	1993年 7月	<50> <30>	1994年12月	289	100	35%
茨城県常陸太田市	39	1992年10月	<30> <30>	1994年12月	300	118	39%
長野県茅野市	50	1992年10月	<14> <24>	1994年12月	264	82	31%
福岡県太宰府市	62	1992年 7月	<36> <36>	1994年12月	290	120	41%
秋田県湯沢市	64	1992年 6月	<33> <33>	1994年12月	290	107	37%
島根県出雲市	84	1992年 4月	<100袋まで0, それ以上40> <0>	1994年12月	296	143	48%
岐阜県高山市	65	1992年 4月	<120袋まで0, それ以上70> <0>	1994年12月	292	127	43%
長野県伊那市	62	1989年 4月	<26> <17>	1994年12月	294	94	32%
山口県長門市	25	1986年 4月	<22> <0>	1994年12月	292	103	35%
滋賀県守山市	26	1982年 7月	<110袋まで20, それ以上150> <112袋まで 0, それ以上150>	1994年12月	300	111	37%
北海道札幌市	1,743	未実施	-	1995年12月	954	338	35%
北海道旭川市	363	未実施	-	1995年12月	379	152	40%
北海道函館市	302	未実施	-	1995年12月	389	139	36%
北海道釧路市	201	未実施	-	1995年12月	386	119	31%
北海道帯広市	171	未実施	-	1995年12月	393	153	39%
北海道小樽市	160	未実施	-	1995年12月	391	146	37%
北海道登別市	57	未実施	-	1995年12月	388	158	41%
北海道室蘭市	113	未実施	-	1995年12月	392	149	38%

\* 吉田英樹・田中信寿の調査に一部筆者が参加したもの(21)

1992年から1994年までの調査はすでに有料制を実施している自治体の住民を対象にしているのに対し、1995年の調査は有料制を実施していない自治体の住民を対象にしている。前者と後者とではもちろん前者の間でも、調査年によって質問事項および回答の選択肢が異なっている。本稿で複数自治体間の比較を行う際にはこの点に留意して行う。

### 3. 調査結果および考察

#### 3.1. 有料制に対する受容度とその変化

##### 3.1.1. 有料制実施前の受容度

有料制は実施される計画のない段階では住民にどのように評価されるか。有料制を実施していない北海道内8市の住民に有料制(すべてのごみに量に応じて料金がかかる方式を仮定)への賛否をたずねたところ、図1にみるように、「賛成」が13ないし24%(平均19%)、「反対」が15ないし25%(平均22%)で拮抗しているが、ともに少数である。他方、「やり方による」という人が52ないし58%(平均56%)に達した。

##### 3.1.2. 有料制実施後の受容度変化

有料制に対する受容度は、有料制実施後にどのように変化するか。それを知るために、すでに有料制を実施している全国10市と北海道内4地域の住民に、有料化が提案された時点での賛否と調査時点での賛否とを聞いた。結果を図2に示す。

全国10市ではそのすべてにおいて、有料制が提案された時点で「賛成」の住民(各市25ないし50%)が「反対」の住民(6ないし22%)を上回っていた。また「賛成」に「どちらでもよい」(容認と解釈しうる)を加えると42ないし69%に達し、8

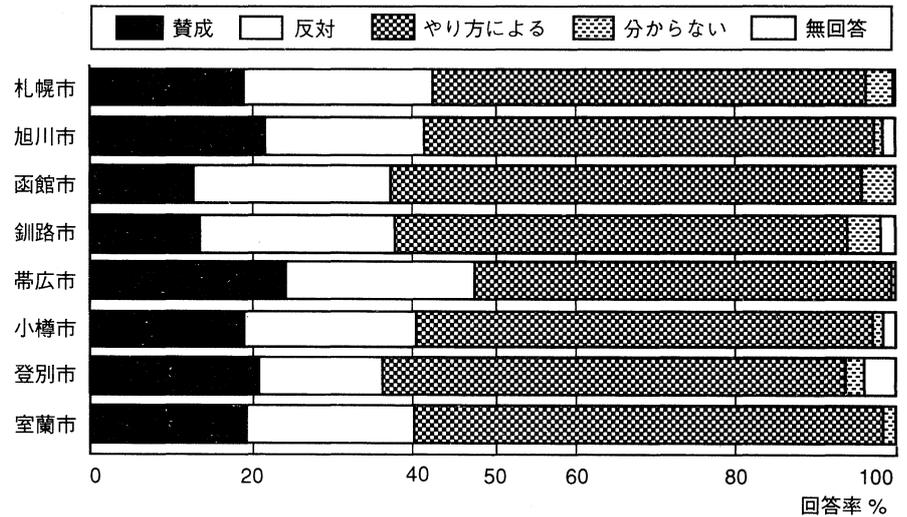


図1 有料化への賛否

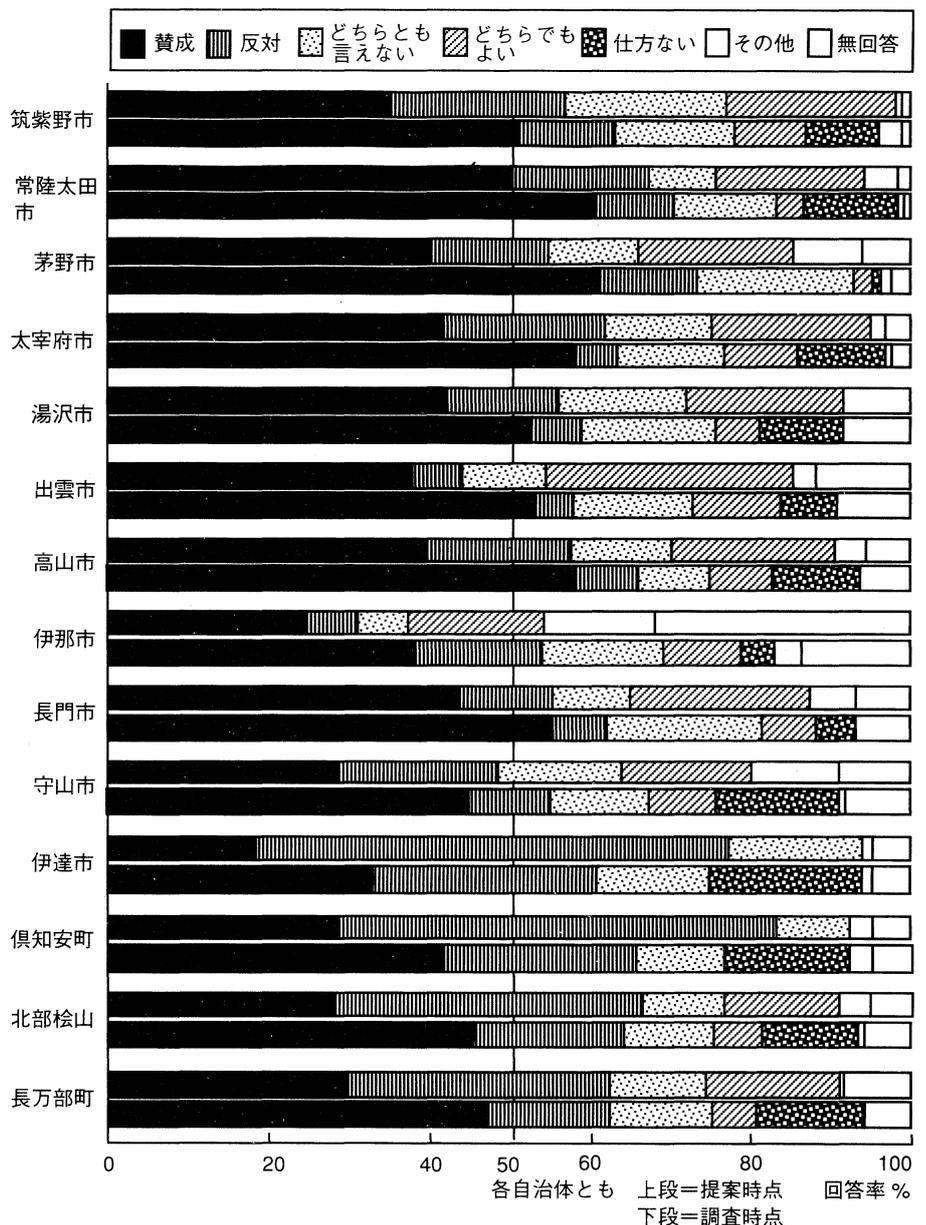


図2 有料化への賛否の変化

市で過半数を占めた。ただし、「賛成」の最も多い常陸太田市でも全体の50%であり、どの市でも圧倒的な支持を得ていたとは言えない。北海道内4地域では「賛成」が長万部町で30%（「どちらでもよい」を加えると47%）、北部桧山で28%（「どちらでもよい」を加えると43%）、倶知安町で28%（アンケートに「どちらでもよい」の選択肢を用意しなかった）、伊達市で18%（同上）であったのに対して「反対」はそれぞれ33%、39%、55%、59%と、いずれも「反対」が「賛成」を上回り、倶知安町では「反対」が「賛成」の2倍近く、伊達市では3倍以上に達していた。この二つの自治体では、有料制実施前後に激しい反対運動が起こった。

なお、これらの自治体のうち出雲市と高山市では一定量以上のみ有料、守山市では一定量以上のみ高料金という方式を取り、他は完全従量制（料金水準は自治体によって当然異なる）をとっている。完全従量制の場合、料金水準が高いほど受容度が低くなる傾向がみられる。（料金水準と賛成／反対の比率との間には、1%水準で負の相関が認められる。相関係数=-0.885、n=11。）しかし、料金体系の違いによる影響は明確でない。それらを含めて、有料制の提案時期、提案の仕方、各自治体の置かれている環境など様々な要因が複雑に絡み合って上記の結果になっているものと思われる。

全国10市では調査時点までに「賛成」はさらに増えた（10ないし21ポイント増）。「反対」は、提案時にその認識のなかった人が多かったという特殊事情を持つ伊那市1市を除いて逆に減って（1ないし14ポイント減）、両者の差は広がった。その結果、調査時点において「賛成」は各市で38ないし61%を占め、伊那市と守山市を除く8市において過半数を占めている。また、「賛成」に「どちらでもよい」を加えると48ないし67%にのぼり、伊那市を除いて過半数を占めている。それに対し、「反対」は5ないし16%にとどまっている。「反対」に「仕方がない」（実施されてしまった現実を前に諦めてはいるが、真意は「反対」と解釈しうる）を加えても12ないし26%にとどまる。

北海道内4地域では「賛成」が14ないし18ポイント増えたのに対して「反対」が19ないし31ポイント減った結果、調査時点では「賛成」が33ないし49%（「どちらでもよい」を加えると33ないし54%）、「反対」が16ないし28%となり、すべての地域で「賛成」が「反対」を上回った。ただし、「反対」に「仕方がない」を加えると30ないし47%となる。伊達市ではこれが47%で「賛成」（33%）を上回っているが、提案時の「反対」（59%）よりは減っている。

以上のように、容認派を加えると相当の支持率にのぼ

るとはいえ、有料制があらかじめ圧倒的な積極的支持を得て実施された自治体はない。二つの自治体では激しい反対運動に遭ってさえいる。実施後も、「仕方がない」という人を含めた反対者の存在は決して無視できるほど小さくなく、有料制がどの自治体でも圧倒的多数の住民に支持されるに至ったと言いはし難い。この意味で、有料制は民主主義の原則に照らして、どの自治体でも無条件に導入してよい制度とは言えない。各自治体の置かれた環境に応じて料金体系や収集方法、住民のごみ減量を支援する諸条件の整備、有料制の主旨の周知や世論づくりなど、あらかじめ可能なかぎり多数の住民の納得を得る努力が不可欠であろう。（3.3.住民の受容度を高める諸条件を参照されたい。）

しかし半面、有料制実施後に北海道内4地域すべてと全国10市のうち9市で受容度が高まっていることもまた事実である。そのうち8市では賛成者が過半数を占めるに至っている。住民による受容度の変化方向としては、有料制実施をはさんで一般に高まる傾向を確認することができよう。

この傾向は、他の自治体で有料制の導入を検討する際に考慮に入れられるべきであると同時に、住民による判断のための材料としてあらかじめ提供されるべき情報であろう。

とはいえ、受容度が高まるという傾向そのものの指摘だけでは十分ではない。受容度の変化は住民の側での何らかの意識変化によっているはずであるが、その変化自体、有料制の実施によってもたらされたものであろう。住民の意識にどのような変化が生じるのだろうか。

## 3.2. 住民の意識変化の可能性

### 3.2.1. ごみ減量意識の変化

有料制を実施している全国10市で、ごみを減量している人にその理由をたずねた（図3）。すべての市で、実施当初には「支出節約」と「自然環境を守る」の「両方」（18ないし60%）または「自然環境を守る」のみ（22ないし73%）が最も多く、「支出節約」のみは比較的少なかった（9ないし33%）。

調査時点までにすべての市で「両方」と「自然環境を守る」がさらに増えたのに対し、「支出節約」は8市でさらに減った。茅野市と伊那市では「支出節約」も増加したが、増加率は他の二者に及ばない。その結果、調査時点で「両方」と「自然環境を守る」を理由として挙げている人は、それぞれ22ないし53%と37ないし71%にのぼるのに対し、「支出節約」を理由として挙げている人は5ないし14%に減っている。ごみ減量の

目的は全体として、金銭的節約から環境配慮へと重心を移している。(なお、「支出節約」の比重の減少にはごみ減量による金銭的負担の軽減感も影響していると思われる。3.2.3. ごみ減量の達成感を参照されたい。)

また、資源回収に資源を出すだけでなく回収する方に参加していると答えた人は26ないし50%いたが、そのうち有料化をきっかけに始めたという人が2ないし8%いた。比率としては大きくないが、ごみ減量への主体的な取り組みも生まれて来ている。

有料制は、実施当初は環境保全などに無関心な人にも金銭的な動機でごみ減量を促すが、その実践を通じてごみ減量そのもののためのごみ減量を住民の意識に植えつけると言えよう。

ただし他方では、ごみを正規の方法以外で排出する人が増えるのも事実である。有料制を実施している全国10市と北海道の2地域のすべてで、「他の市町村に持っていく」・「空き地・山間などに捨てる」・「公園などのごみかごに捨てる」という方法をとったことがあると答えた人がいた(図4)。

もっとも、そのうち有料化後に初めてしたという人は有料化前からしていたという人ほど多くはない。また、「空き地・山間などに捨てる」いわゆる「不法投棄」にかぎれば、有料化前からしていたと答えた人が7市で計12人いたが、有料化後に初めてしたという人は2

市で計2名にとどまった。

しかしこれがアンケートに自発的に答えた人の申告であることを考慮すれば、実際には少なからぬ住民が恒常的あるいは一時的に正規の方法以外のやり方でごみを排出していると推測せざるをえない。有料化だけが不正規排出の原因になっているというのは当たらないにしろ、有料化がそれを助長することも事実であろう。このことは結果として環境汚染・社会的軋轢を惹き起こし、その予防・対策を必要とするが、それだけでなく、金銭的誘因が当該住民に対してごみ減量というモラルの向上をもたらさず、逆に他人への負担転嫁・環境への負荷というモラルの低下を惹き起こすという意味で、意識変化の契機としての有料制そのものの限界を示している。

### 3.2.2. ごみ・環境問題への関心の変化

より一般的に、ごみ・環境問題への関心の変化を聞いたところ、有料化を契機にごみ問題への関心が「強まった」と答えた人は26ないし67%で、10市中8市で「変わらない」と答えた人を上回った(図5)。また、有料化を契機に環境問題への関心が「強まった」と答えた人は25ないし64%で、10市中7市で「変わらない」と答えた人を上回った。その内容はともかくとして、また上記のような限界はあるものの、有料化は住民の間にごみ排出行動の変化をもたらすと同時に、ごみへの関心、さらに環境への関心を喚起する効果を持っている。

### 3.2.3. ごみ減量の達成感

前二項では有料化が住民の意識にもたらす積極的な変化を述べた。それらはそれ自体大きな価値を持った

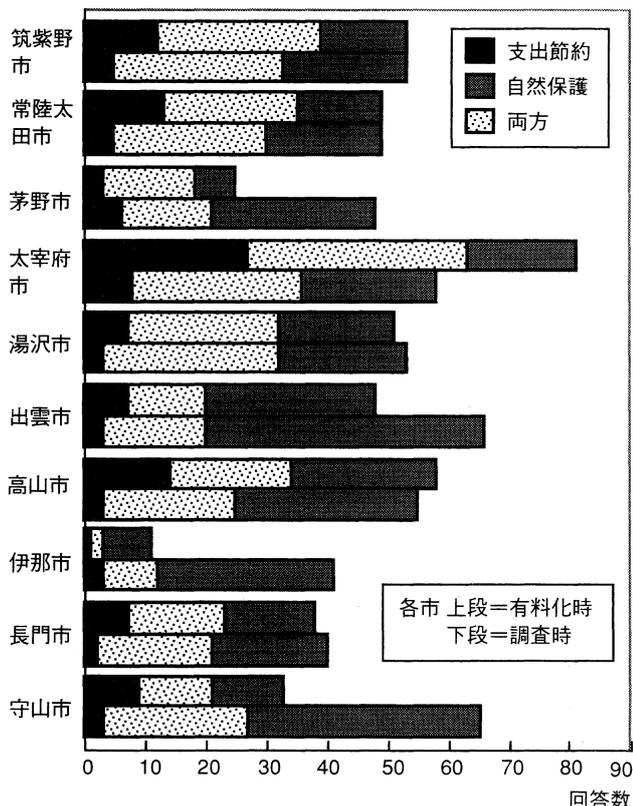


図3 ごみを減量する理由

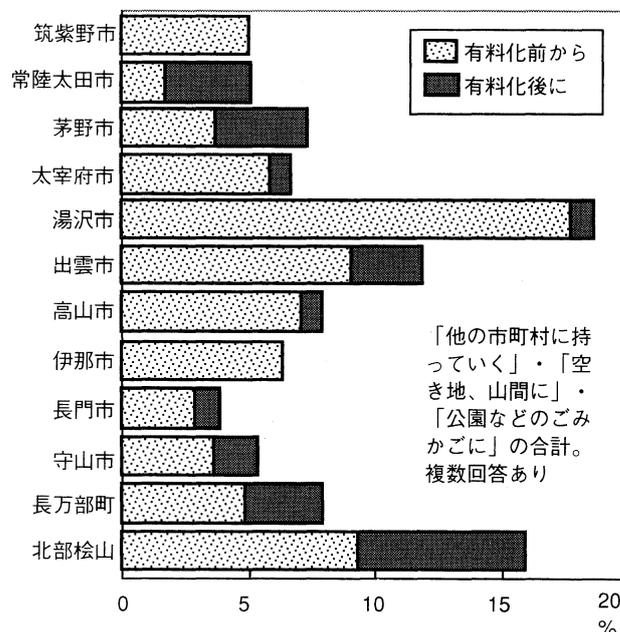


図4 不正規排出

変化であるばかりでなく、有料制に対する受容度を高めるといふ変化をもたらしたと考えられる。ただし、その関連は必ずしも明確でない。そこで、有料制の受容度変化に大きく影響を及ぼしうるものとして、最後にごみ減量の達成感を挙げたい。

有料制を実施している全国10市および北海道2地域について、ごみ減量の達成感と有料制への賛否の変化との関連をみている(図6)。有料制実施を契機にごみ減量を試みうまく減量できたと考えの人々と、減量は試みたがうまく減量できなかった、あるいは初めから減量を試みなかった人々とを比べると、どちらにも「賛成」以外から「賛成」に態度を変えた人はいる(この理由は前二項で述べたことで説明されうる)が、そのような人の割合は減量できたと考えの人々の場合に、より大きかった。この差異の生じる要因は二つ考えられる。第一に、前二項で述べた、ごみや環境に関する積極的な態度変化は減量に成功した場合に、より起こりやすいこと、第二に、減量に成功した場合にはその結果として家計支出を抑えることができ、料金負担からくる金銭的圧迫感が薄れやすいことである。実際にはこれらの要因が様々な度合いで絡み合っており、有料制に対する評価を高めるものと推測される。

この点から、有料制の受容度を高めるためにも、ごみを減量しようとする人が実際に減量しやすい体制を整備することが重要であるが、いま仮にその整備を行ったと

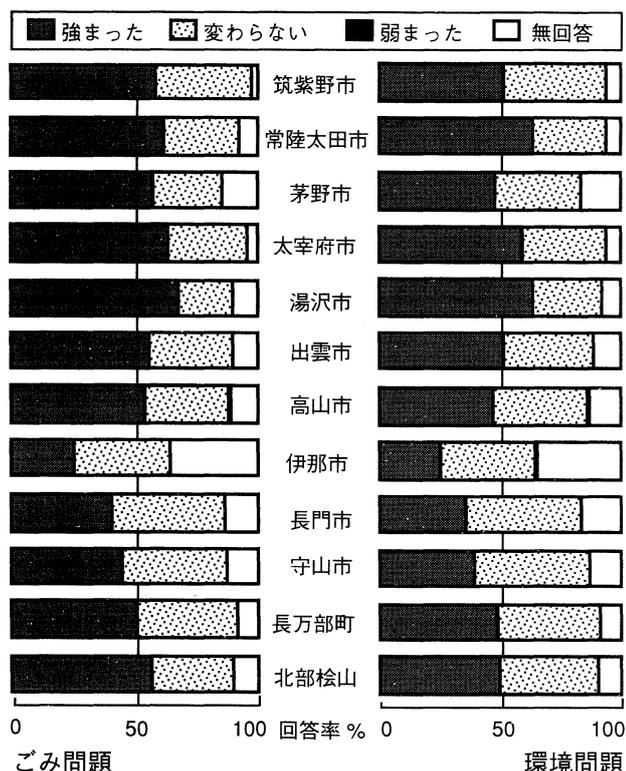


図5 ごみ問題・環境問題への関心の変化

して、受容度変化の鍵となる「反対」の人々はどの程度意欲的にごみを減らそうと努めるであろうか。

各住民がごみを減らすためにどのくらいの努力をするつもりかを、実施する減量方法の数を用いてみよう(図7)。アンケートでは減量方法として、自家焼却、堆肥化、資源回収、購入抑制、ごみ袋への詰め込み(これは厳密にはごみ減量ではないが)の5つを提示し、現在実施しているものと有料化した場合に実施するつもりのもにそれぞれ○印を付けてもらった。現在実施している減量方法の数は、8市中6市で賛成の方が反対者より多い(8市平均で賛成者が2.35、反対者が1.95)。また有料化した場合に実施するつもりのも減量方法の数も、8市中6市で賛成の方が反対者より多い(8市平均で賛成者が2.87、反対者が2.75)。しかし増え方をみると、8市中6市で反対の方が賛成者より多い(8市平均で賛成者が0.53、反対者が0.80)。現在の実施数が少ない反対の方が賛成者よりも実施数を増やす余地が大きいという事情はあろうが、反対の方がごみ減量に意欲的であることは事実である。理由は何であれ高いごみ減量意欲を持った反対者が実際にごみを減らせることを実感したとき、そのきっかけを

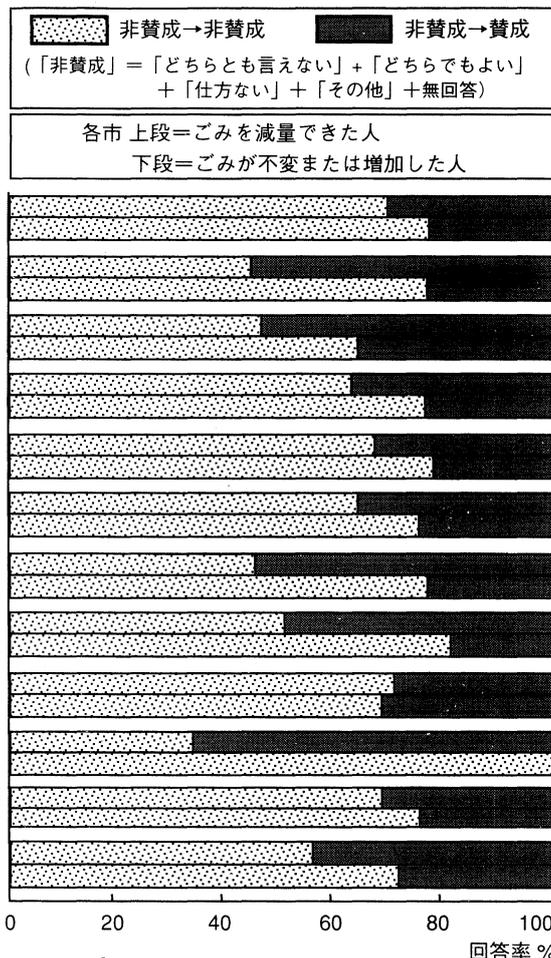


図6 ごみ減量感と賛否の変化

与えた有料制に対する受容度は大いに変化する可能性がある。

### 3.3. 住民の受容度を高める諸条件

#### 3.3.1. 同時に実施すべき諸施策

前項では住民の意識にもたらされる積極的な変化がひいては有料制への支持を高めると述べた。しかし他方で最後に触れたように、反対する人が必ずしも環境意識を欠いているわけではない。ごみ減量の必要性を積極的に認め、あるいはみずから実践しながらも、有料制という方法が良くないという人もいる。そのような人を含めて多くの人の方がより納得できる制度を準備すれば、参加意識もより高まり、ひいては有料制そのものに対する支持も高まるであろう。そのために何が必要か。一言でいえば、賛成者が賛成理由とする事項をより完全に実現し、反対者が反対理由とする事項をより完全に解消する施策であろう。

有料制を実施していない8市の住民のうち「賛成」の人と「やり方による」という人に、賛成またはやり方によっては賛成である理由を聞いたところ(図8、複数回答、選択肢は6つ)、多かったのは、(1)「リサイクルが進む」(52ないし62%、平均58%)、(2)「モラルが向上する」(47ないし58%、平均53%)、(3)「量に応じて負担するのが公平」(41ないし49%、平均45%

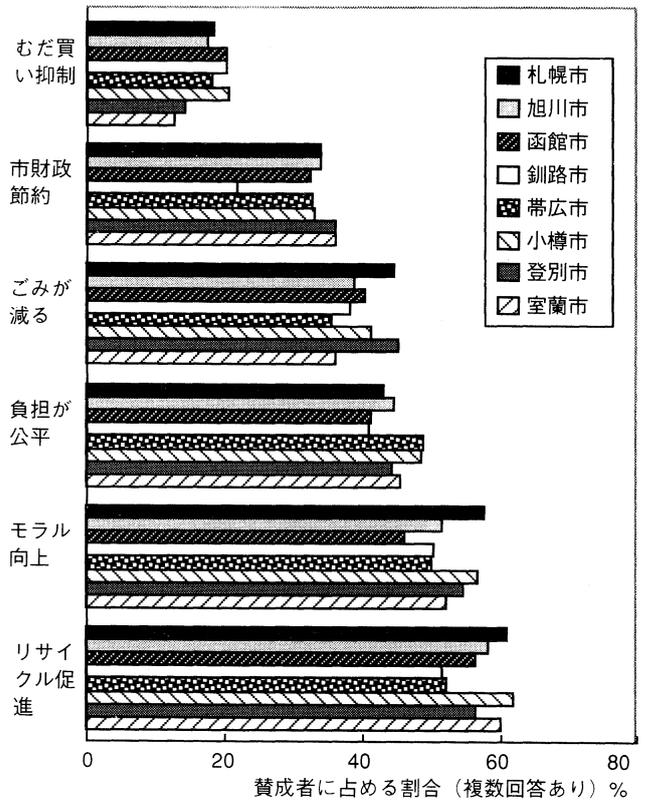


図8 賛成理由

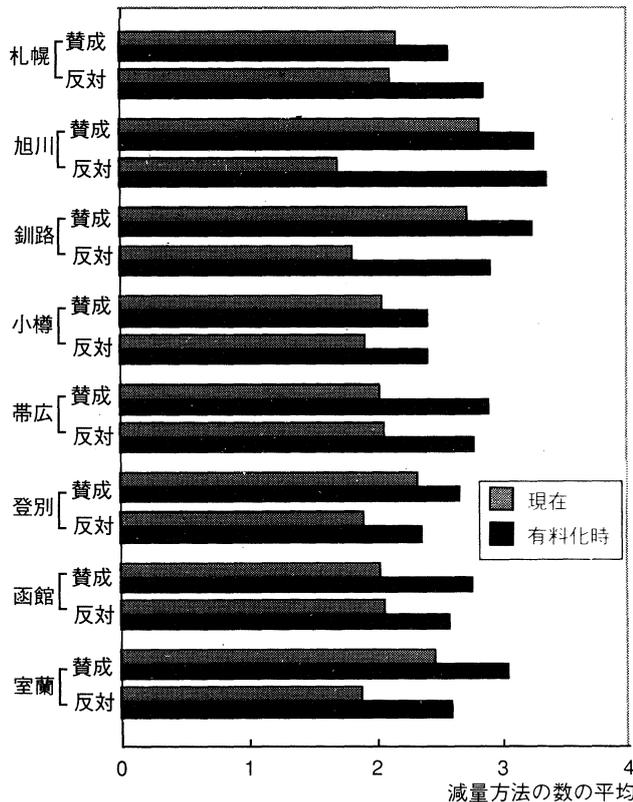


図7 実践するごみ減量方法の数

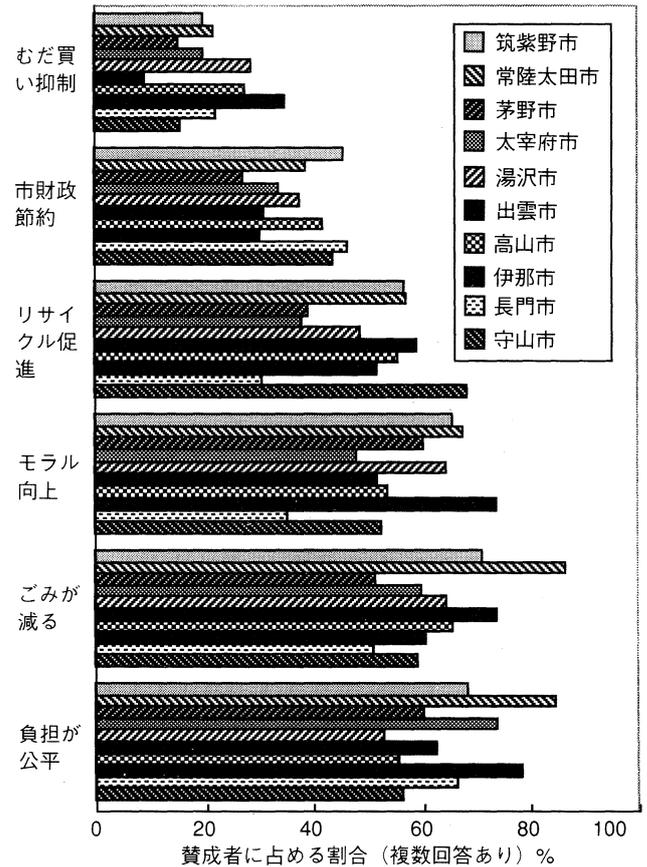


図9 賛成理由 (全国10市)

)、(4)「ごみが減る」(35ないし45%、平均40%)であった。「市の予算が節約できる」と「むだな買い物をなくなる」はそれぞれ22ないし36%(平均33%)と13ないし21%(平均18%)にとどまった。

なお、有料制を実施している全国10市の調査(図9)では(2)「モラルが向上する」、(3)「量に応じて負担するのが公平」、(4)「ごみが減る」は多かったが(1)「リサイクルが進む」は比較的少なかった。この間リサイクルに対する期待が増えたのは、実際に実施してみた段階と単に期待している段階との違いのほかに、自治体やマスメディアによるリサイクル関連の報道が増えたことや、容器包装リサイクル法が成立したことなどによる影響と思われる。いずれにしても、有料化にはこれらの期待がかかっていると見えよう。

次に、「反対」の人と「やり方による」という人に、反対またはやり方によっては反対である理由を聞いたところ(図10、複数回答、選択肢は12)、多かったのは、(1)「生産・流通段階でやるべきことがある」(35ないし46%、平均41%)、(2)「不法投棄が増える」(35ないし45%、平均41%)、(3)「リサイクルに出しやす

いようにしてから」(30ないし41%、平均36%)、(4)「有料化より前にむだな予算削れ」(22ないし37%、平均29%)、(5)「家計支出が増える」(17ないし30%、平均24%)であった。なお、「所得の多い者にも少ない者にも同じ料金を負担させるのは不公平だから」との回答は、12ないし22%、平均17%で、比較的少なかった。

有料制を実施している全国10市の調査でも、選択肢になかった(1)(3)を別にして、(2)「不法投棄が増える」、(4)「有料化より前にむだな予算削れ」、(5)「家計支出が増える」が多かった(図11)。

以上の調査結果を総合すると、ごみ減量体制の整備、企業の責任の明確化、不法投棄の予防、行政の効率化がどの程度実行されるかによって、有料制への住民の評価は変わるであろう。有料制を実施しようとする場合にはこれらの施策を真剣に実施する必要がある。施策の内容を住民の満足できるものにするために、その立案過程から住民の参加を得るのが効果的であろう。

特にごみ減量体制の整備は、前項で述べたごみ減量の達成感を高めることに直結するので、その観点からも不可欠である。また、費用負担の公平・不公平感は、基本的には有料制の方式によって決まってしまうが、部分的にはごみ減量による家計支出増の抑制によっても変化しうるものと思われる。企業の責任の範囲については個々の自治体の範囲を超えるため、政府の政策が求められる。

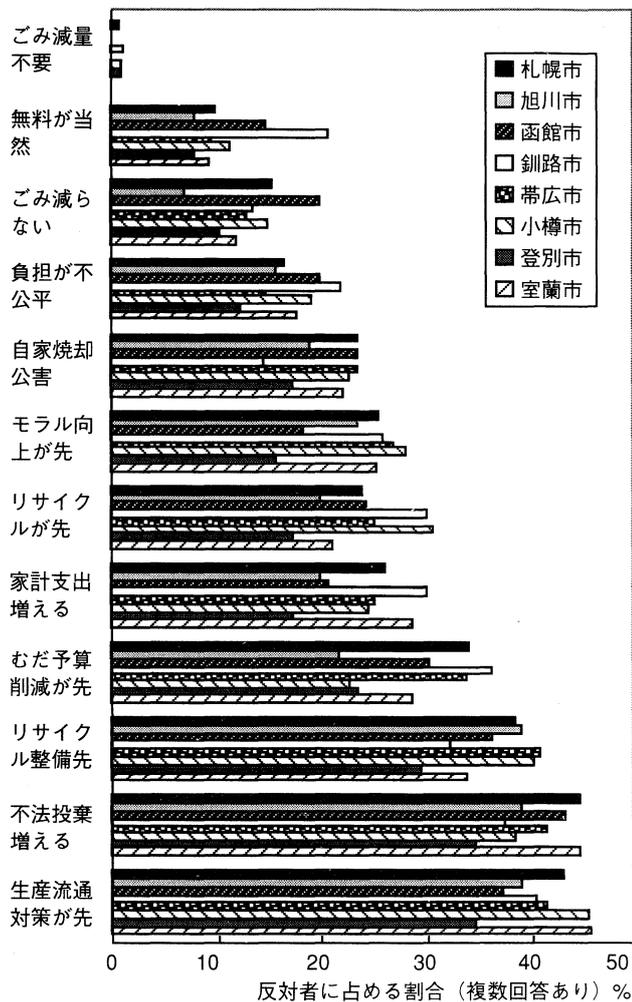


図10 反対理由

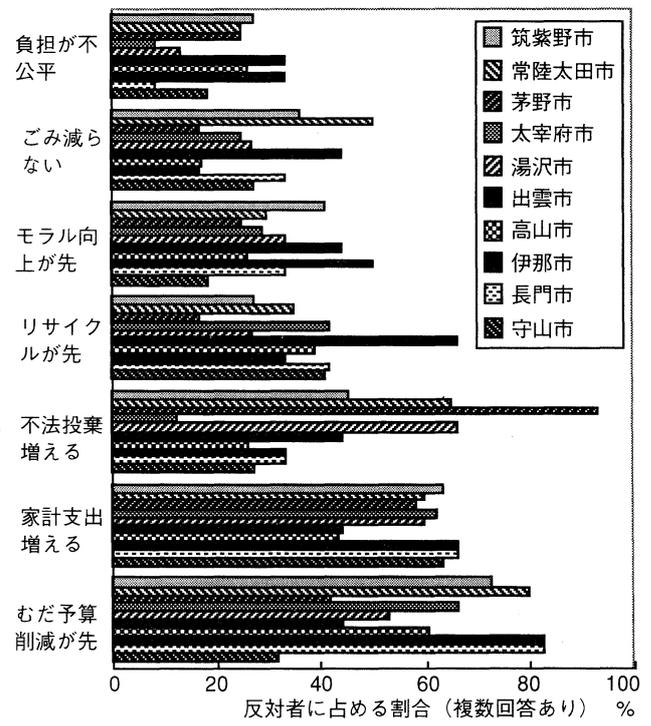


図11 反対理由(全国10市)

3.3.2. 有料制の方式

さきにもたように、有料制を実施していない自治体では有料制への賛否は「やり方による」という人が半数に達していることから、実施する有料制の方式次第で市民の受容度ははじめから異なりうると考えられる。それではどのような方式が受け入れられやすいのか。

北海道内8市の市民に、もし仮に実施するとしたらどのようなやり方がよいかをたずねたところ、図12にみるように、6つの選択肢のうち大多数の人が一致して選択する方式はなかった。比較的多かったのは、「ごみを出す量に応じて、ごみの処理にかかる経費の一部を徴収する」方式と「平均的な量までは無料にし、それ以上のごみにだけ手数料をかける」方式であった。

これを有料制への賛否別に見てみると、それぞれの意見に応じて選択する方式に特徴がみられる。

まず「賛成」の人では、「ごみを出す量に応じて、ごみの処理にかかる経費の一部を徴収する」方式と、同じく「全部を徴収する」方式が1・2位（順不同）を占めた市が、8市中7市と多かった。「反対」の人（図13）では、当然ながら「どんなやり方でも有料化すべきではない」という回答と「平均的な量までは無料にし、それ以上のごみにだけ手数料をかける」方式を選ぶ人が1・2位（順不同）を占めた市が8市中6市にのぼった。最後に受容度を大きく左右する、「やり方による」という人（図14）では、「ごみを出す量に応じて、ごみの処理にかかる経費の一部を徴収する」方式と「平均

的な量までは無料にし、それ以上のごみにだけ手数料をかける」方式が8市中7市で1・2位（順不同）を占めた。

以上の結果から、「やり方による」という人の比較的多くが選ぶ「ごみを出す量に応じて、ごみの処理にかかる経費の一部を徴収する」方式や「平均的な量までは無料にし、それ以上のごみにだけ手数料をかける」方式を採用した場合には受容度は高まると考えられる。特に後者の方式は「反対」の人の多くも選んでいることから、これを採用した場合には「反対」から消極的な「賛成」に変わる人も現れて、全体として受容度が高まることが考えられる。

4. むすび

本章の考察結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 有料制を実施していない自治体では、有料化に対して住民の賛成と反対は拮抗しているが、ともに少数である。他方で「やり方による」という住民が半数を占めている。
- (2) 有料制に対する受容度は制度実施後一般に高まる傾向をみせている。
- (3) 有料化を契機に住民のごみ・環境問題への関心が高まり、住民のごみ減量の目的も金銭的節約から環境保全に移ってきている。またごみ減量の達成感によって有料制そのものへの支持も高まる傾向が

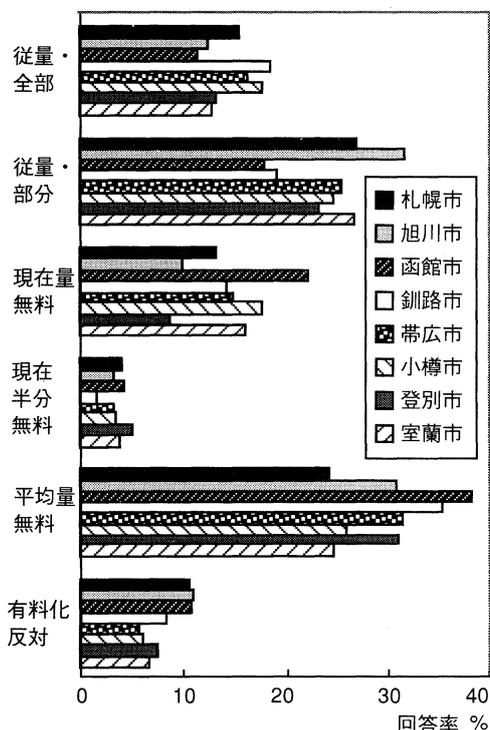


図12 方式の選好 (全体)

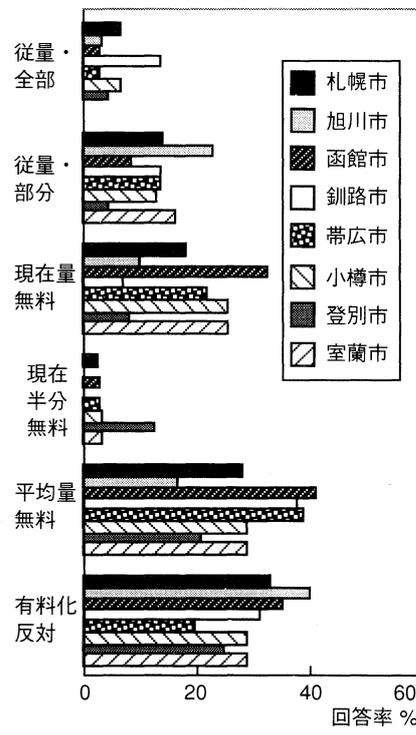


図13 方式の選好(反対者)

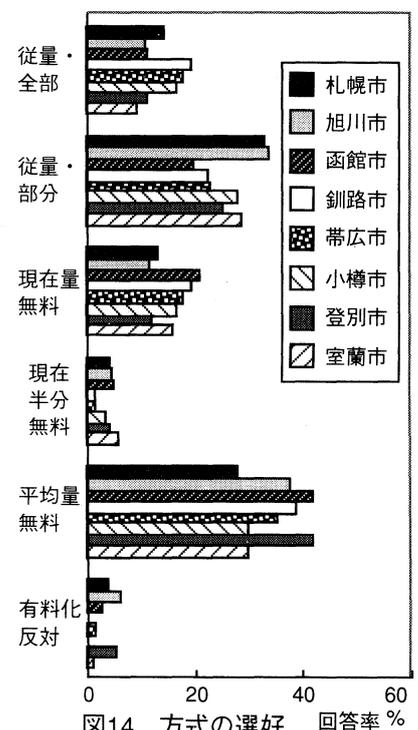


図14 方式の選好  
('やり方による'人)

みられる。

- (4) 住民の満足度・受容度を高めるために、ごみ減量体制の整備、企業の責任の明確化、不法投棄の予防、行政の効率化などが必要である。有料制の方式も受容度を変化させうる。

### 謝辞

本稿に係る調査のためにインタビュー・資料収集に協力して下さった各自治体の担当者みなさんに、またアンケート・インタビューに応じて下さった住民みなさんに感謝の意を表す。

### 文献

- (1) 厚生省、「経済的手法の活用による廃棄物減量化研究会」報告書、1993
- (2) 環境庁、「リサイクルのための経済的手法検討会」最終報告、1994
- (3) 経済企画庁、環境調和型経済社会構築のための経済的手段に関する調査、1994
- (4) 厚生省、家庭ごみ有料化実態調査結果について、月刊自治研、408号、(1993)、p78-80
- (5) 中村恵子、ごみ処理有料後の実態及び市民意識、廃棄物学会誌、3巻4号、(1992)、p292-303
- (6) 植田和弘、廃棄物とリサイクルの経済学、有斐閣、1992
- (7) 田口正己、ごみ問題最前線、新日本出版社、1992
- (8) 谷口吉光、ごみ収集有料制がリサイクル行動に与える影響について---アメリカ・シアトル市を事例として---、廃棄物学会第4回研究発表会講演論文集、(1993)、p13-16
- (9) 盛岡通、城戸由能、福岡孝一、家庭ごみ収集の有料化によるごみ量削減効果に関する考察、廃棄物学会第4回研究発表会講演論文集、(1993)、p29-32
- (10) 安田八十五、青影紀子、陳怡誠、ごみ処理有料化政策の基礎理論と実証研究---茨城県常陸太田市における事例研究---、廃棄物学会第6回研究発表会講演論文集、(1995)、p1-4
- (11) 仁田義孝、横田勇、ごみ減量を持続させるために、廃棄物学会第6回研究発表会講演論文集、(1995)、p17-19
- (12) 阿部晃士・村瀬洋一・中野康人・海野道郎、ごみ処理有料化の合意条件---仙台市における意識調査の計量分析---、環境社会学研究、環境社会学会、1号、(1995)、p117-129
- (13) 熊本一規、ごみ問題への視点、三一書房、1995
- (14) 神下高弘、山川肇、寺島泰、有料化自治体における自家焼却の環境負荷---自家焼却ごみ中の燃焼性塩素の測定---、廃棄物学会第7回研究発表会講演論文集、(1996)、p81-83
- (15) 寺下敬次郎、宮南啓、減量化に関する市民意識調査、廃棄物学会第7回研究発表会講演論文集、(1996)、p84-87
- (16) 亀田正人、ごみ処理有料化のごみ減量効果と住民意識への影響---伊達市と倶知安町の事例---、室蘭工業大学研究報告(文科編)、42号、(1992)、p53-93
- (17) 亀田正人、ごみ処理有料化と住民意識の変化---北部松山地域と長万部町の事例---、室蘭工業大学研究報告(文科編)、44号、(1994)、p19-58
- (18) 亀田正人、田中信寿、吉田英樹、ごみ処理有料化と住民意識の変化---北部松山地域と長万部町の事例---、廃棄物学会第5回研究発表会講演論文集、(1994)、p27-29
- (19) 亀田正人、吉田英樹、田中信寿、有料ごみ袋制と住民意識の変化、廃棄物学会第6回研究発表会講演論文集、(1995)、p11-13
- (20) 亀田正人、吉田英樹、田中信寿、ごみ処理有料化に対する非有料化自治体市民の意識、廃棄物学会第7回研究発表会講演論文集、(1996)、p91-93
- (21) 吉田英樹、亀田正人、田中信寿、穂積準、ごみ収集有料化実施による家庭系ごみ減量化への影響、廃棄物学会第5回研究発表会講演論文集、(1994)、p30-33
- (22) 吉田英樹、亀田正人、田中信寿、穂積準、ごみ処理有料化実施による家庭系ごみ減量化への影響(第2報)、廃棄物学会第6回研究発表会講演論文集、(1995)、p8-10
- (23) 吉田英樹、亀田正人、田中信寿、穂積準、ごみ処理有料化実施による家庭系ごみ減量化への影響(第3報)、廃棄物学会第7回研究発表会講演論文集、(1996)、p75-77

# 地域生涯学習計画化と高等教育機関

山田 定市\*

## Planning of Regional Lifelong Learning and Higher Educational Institution

Sadaichi YAMADA

(原稿受付日 平成9年5月9日 論文受理日 平成9年8月20日)

### Abstract

To promote the lifelong learning in Japan, we have to inherit the result of adult education in community. And citizen should be the main participants in planning of regional lifelong learning. However, these views are not commonly understood. Adult education in Japan had two weak points. One weak point is that adult education is not concerned with school education. Another is that it is not concerned with education for working people. We have to overcome these weak points. And these problems are related with development of lifelong learning. The main points in dispute of this paper are as follows. (1) Historical analysis for the conflicting structure of the educational policy. (2) Analysis of educational reform in the postwar period in relation to the basic conditions of school education and adult education. (3) The role of higher educational institution for the planning of regional lifelong learning.

Key words: Adult education, Lifelong learning, Conflicting structure, Community, Educational labour, School education

### 1. はじめに

小論が主題とする”地域生涯学習計画化と高等教育機関”は、生涯学習を中心とする研究課題であるが、生涯学習を学校教育の一環としての高等教育と関連づけることは、学校教育を軸に展開してきたこれまでの教育学に新たな視点を提起することに結びつく。

学校教育と社会教育が、その実践においても、また、研究においても、相互にほとんど断絶に近い状況にある中で、生涯学習研究に関する新たな視点と枠組みにもとづいて学校教育に接近することが教育学の新たな展開に必須であると考えからである。

現に、最近の教育学研究では、1941年に設立された日本教育学会において、その創立50周年を記念して、”教

育学研究50年”の軌跡を振り返り、今後の教育学研究のあり方を探求する作業が90年代以降続けられている。いうまでもなく、その議論は、戦後教育改革の評価とそれとかかわって教育学が何をなしたか、今後、教育学の新しい地平をいかに切り開くか、ということに重点が置かれている。<sup>(1)</sup>

同時に、この議論の中には、最近、多くの研究領域で共通する風潮ともいえる研究のパラダイム転換と相俟って、教育政策をめぐる対抗軸を明確にした戦後教育学に対して、このような分析枠では現代の複雑な教育問題を十分に解明できない、とする批判も見られる。しかし、このような論調は、表向きでは脱イデオロギーを標榜しながら、その実、戦後民主教育を否定的に評価する一つのイデオロギーに通じる一面を持っている。

対抗軸から離れた第三の道を指向する中にパラダイム転換を求めようとする風潮を批判的に検討するためには、対抗軸を教育問題、教育政策の枠内で設定するだけでは不十分である。

\*1 共通講座

従来の教育学においては、教育問題では学校教育問題がその主軸をなし、教育政策ではその大半が学校教育政策を意味してきた。このような枠組みのもとで、現実の学校教育は大筋において教育政策を具体的に実行する過程として見る批判的立場が重きをなし、それへの対抗と克服の道筋が、教職員組合運動や民間教育運動とのかかわりで模索されてきた。

その枠組み自体はきわめて重要であり継承されなければならないが、この枠組みの範囲では、教育現場における矛盾・対抗関係の内実を地域社会の実態に即してリアルにしかも構造的に析出することは困難である。教育問題に見られる対抗軸は、全社会的な対抗軸を基底にしているのであって、教育の論理だけで組み立てられているわけではないからである。

例えば、“地域の教育力”はしばしば教育運動の中でも議論されてきたが、それが十全な説得力を持ち得なかったことについては、地域社会の構造や住民生活の認識が不十分なままに、もっぱら学校や学校教育の立場から地域の教育力を追求してきたことにその一因があるといえよう。

他方、これと切り結ぶべき社会教育は、学校教育の枠には収まり切らない内実を持っている。しかし、社会教育研究の多くは、学校教育の枠組みを大きく抜け出ることなかった。したがって、主として学校教育の領域で蓄積されてきた制度論や学習方法論に依拠した研究が重きをなしてきた。

この結果、多くの社会教育研究においては、学校教育と同じように社会教育をめぐる対抗軸がかなり鮮明にできたという成果を挙げてきた反面、学習者である国民諸階層の労働と生活を踏まえた主体形成の分析にまでは及びえなかった。それは社会教育の主体をなす国民諸階層の労働と生活の実態、さらにそれを踏まえた地域社会の対抗的構造が十全に解明されなかったことに起因している。

われわれは、このような研究の動向を見据えつつ、その継承・批判のうえに、“主体形成の社会教育学”の構築とそれを基底とする生涯学習論の展開を目指して共同研究を蓄積してきた。そのような研究を通して、社会教育ひいては教育をめぐる対抗的構造の中で、国民諸階層がさまざまな学習を通してそれと対峙し、その克服をめざして主体形成を行っていることを明らかにしてきた。<sup>(2)</sup>

このような研究の蓄積にもとづいて、さらに学校教育を含めた分析を進めることが新たな課題として浮き彫りになる。

小論で設定した“地域生涯学習計画化と高等教育機

関”という主題は、全社会的な対抗軸を視点に据えながら、地域社会における住民諸階層の労働と生活の実態を基底に置いて、生涯学習の展開過程における高等教育機関の位置と役割を分析することを目的としている。

それは、現に生涯学習に対する国民諸階層の要求が高等教育レベルに向けられ、高等教育機関への社会的関心が高いことと、学校教育機関の中でも高等教育機関が、その相対的に高い自立性を基礎にして、国民主体の生涯学習を切り開く可能性を有しているからである。

以下、小論の考察は、大要次の構成にしたがって行われる。

(1)教育政策と教育実践をめぐる対抗的関係の歴史的過程を、教育の枠内にとどめることなく全社会的な対抗軸を基底において考察し、生涯学習政策の現段階的性格を明らかにする。

(2)国民主体の生涯学習の展開を、地域生涯学習計画化の枠組みのもとに解明し、広く現代の教育問題に共通する論点の提示を試みる。

(3)上記の文脈のもとに、地域生涯学習計画化における高等教育機関の役割について考察する。

## 2. 教育政策の展開過程と 生涯学習政策の現段階

### 2・1 教育政策の展開過程

明治期より戦前・戦中期にいたる教育政策は、学校教育を中軸とする国家統制的教育政策として展開してきた。その過程で、例えば、1886年に就学が義務づけられた小学校の就学率は、すでに20世紀の初頭に男女合計で90%を超えた。このような初等教育の急速な普及は、世界的にも際立った特徴を示している。このことは教育の普及に対する国家意志の強い貫徹の結果であると同時に、その実現過程における矛盾・対抗の深さを内包していた。

その詳しい検討は行わないが、のちの議論とのかかわりで少なくとも次の諸点を指摘しておく必要がある。

第一に、初等教育を軸とする基礎学力の形成と教育政策とのかかわりについてである。

一般に初等教育の普及は、産業革命以降の近代工業社会の発展と並行してきたと見られている。言い換えると、工業生産が機械制大工業段階になると、それまでの熟練工にかわって均質な労働力を大量に必要とするのであるが、それに応えるための基礎学力の涵養を目

的とするのが初等教育であり、その義務化がとくに産業資本(大企業)の側から強く求められた。

しかし、わが国の場合には、そのような労働力の養成が当初から初等教育の主軸をなしたわけではない。例えば、1915年における有業人口構成比は、第1次産業62.5%、第2次産業19.5%、第3次産業18%であった。つまり農業を主とする第1次産業人口が全体の3分の2近くを占めていた。

したがって、ここで求められる基礎学力の内実は、均質な工業労働力の確保に必要な読み・書き・算術を基礎としつつも、その教育体系の主眼は、むしろ日本型絶対王制としての天皇制の支配イデオロギーの教化と、その経済的基盤の確立に不可欠な勤労主義的労働観の定着にあった。

1890年(明治23年)に発布された「教育ニ関スル勅語」は、その教育政策の根幹に位置するものであった。また、二宮尊徳の報徳思想が勤労主義の定着のために最大限に活用された。さらに、このような教化的教育の受容基盤として、家父長的家族制度と村落共同体を基軸とする日本の農村社会秩序(農民文化)が大きな役割を果たした。<sup>(3)</sup>

しかし、このような教育政策が一義的に貫徹したわけではない。初等教育の普及過程で、すでに江戸末期以降、庶民教育として商業都市や農村中核地に広がった「寺子屋」との拮抗も少なくなかった。また、初等教育に対する国家意志とは裏腹に、教育を通して“庶民が賢くなる”(体制への批判も含めて)という教育自体の持つ文明化作用を発揮したことも軽視できない。

他方、初等教育の強権の普及が地方財政に依拠して行われたことは、地方財政を圧迫し、その地域差による矛盾を拡大した。

第二に、初等教育のうえに展開した中等教育・高等教育は、その階層的矛盾や地域格差を一段と鮮明にした。ちなみに、戦前の男子の学歴(就学状況)を示す指標として「徴兵検査受検壮丁の学力」(1936年調査)を見ると、大学卒1.6%、高校・専門学校卒2.7%、中学卒11.3%、高小卒59.3%、尋常小卒以下25.1%となっている。<sup>(4)</sup>

この数字はエリートとしての大学・高専卒、地域・職場リーダーとしての中卒という構成を浮き彫りにしている。また、その立地も、大学は大都市に、高校・高専は地方中核都市に、中学は地方都市にそれぞれわかれて、それに対応した就学者の階層差・地域差も鮮明であった(女子教育の階層差・地域差はさらに大きかった)。

このような中で、大学は、わが国の近代化と支配体制の担い手としてのエリートを養成することを任務として明治期初頭に設置されたが、それは西欧において見

られるように、民衆による大学をその生い立ちの一つの系譜として持つことはできなかった。このことは、その後のわが国の高等教育の性格を論ずるうえで軽視できない特徴の一つをなしている。

第三に、戦前・戦中期にいたる社会教育は、主に学校教育を補足する役割を担うと同時に、国家の教育方針を直截かつ忠実に体現した。

学校教育の補足としての社会教育は、主として産業教育(実業教育)における補習教育として行われた。1893年の実業補習学校規程によって設立された工・商・農の補習学校は、1919年には約1万3千4百校、生徒数約92万人に達したが、その大部分は農業補習教育であり、それは地域青年団の組織化と並行していた。他方、1926年、軍事教練を目的にして青年訓練所が創設されたが、両者は1935年に青年学校に統合され義務化された。

青年学校は、修身・公民科と教練科(男子)に重点が置かれた。この青年学校が戦前・戦時期の社会教育行政の中で支配的な位置にあったことは、例えば1944年における国の社会教育費の97%が青年学校費であったことにも如実に示されている。<sup>(5)</sup>

社会教育行政に限らない広義の社会教育としては、上記のほかに行行政主導の農談会、巡回技術指導や帝国農会の技術指導などがあげられると同時に、農民の自主的学習活動が農民組合を中心に行われた。

さらに領域を広げるならば、開学期の私学の大学開放事業、1920年代に長野、新潟、群馬などの各地に見られた地域住民(農村青年や学校教員など)の大学開放運動としての自由大学運動、また、大正デモクラシーのもとでの労働組合や協同組合(とくに消費組合)の学習活動、社会福祉活動などにおける自主的学習活動など庶民の多彩な自己教育運動が見られた。それらの大半は戦前・戦中期にいたる過程で消滅するかないしは弾圧されて戦後への継承の機会を持たなかったとはいえ、民衆による教育運動の蓄積ないし伝統として注目しておかなければならない。

## 2・2 戦後教育政策をめぐる対抗的構造

戦後の教育政策を軸とする対抗的構造は、戦前・戦中期にいたる絶対主義天皇制のもとにおけるそれとは明確に歴史的段階を異にするのであるが、教育政策を通して国家意志を貫徹させることと、中央集権的な教育行政の体質は、なお根強く残存した。

教育政策の歴史的展開過程におけるいわば不連続の側面と連続の側面に注目しつつ、戦後から現在にいたる対抗的構造の変化を正確に跡づけることが必要であ

るが、その際に戦後教育改革とその後の変貌過程についての検証と評価が重要な意義を有することになる。

さらに、戦後の教育改革が学校教育を基軸にして進行する中で、いわばアウトサイダーとしての社会教育の制度的改編とそれをめぐる対抗的構造がどのように形成されたかということについての分析は、現段階における生涯学習政策のもとにおける学校教育と社会教育との関連を明らかにするうえで欠かせない作業である。

このような観点から、戦後教育改革にかかわって少なくとも次の諸点を指摘しておかなければならない。

第一に、戦後改革の現代的評価と関連して、それ以降の民主主義の展開過程、とりわけ民主主義の担い手としての国民諸階層の主体形成を視野に入れて評価することの重要性についてである。

戦後改革は、明治期から戦前・戦中期にいたる絶対主義天皇制の廃絶を主眼として行われた。それまでの支配体制の根幹は、天皇主権の政治権力とそれを支えてきた半封建的寄生地主制、日本的独占体としての財閥、軍閥支配体制にあった。したがって改革もまた、それらの廃絶を主眼とした。主権在民と基本的人権の確立・保障、軍事力保持の禁止と平和主義を打ち出した新憲法の制定、農地改革、労働基本権の確立、財閥解体、地方自治制度の確立などがその主な内容であった。

この改革を契機に、日本社会における対抗軸は歴史的な転換を遂げるのであるが、このことは、その後の対抗的関係を強く条件づけた。

戦後改革には当時の占領軍権力(GHQ)の強い介入があったとして、見直しと改編が必要であるとする「戦後(民主主義)総決算」の論調が少なからず見受けられるが、その論旨と意図は、戦後民主主義の蓄積過程、主体形成の意図的否定と新国家主義への回帰にある。

戦後改革が外部権力の介入によるか否かはさらに精緻な歴史的検証を必要とする問題であるが、重要なことは、わが国における民主主義の蓄積とそれにもとづく要求実現の運動の蓄積が欧米の民主主義の蓄積ならびに成果と結合し、独自でしかも水準の高い民主的改革を実現したことにある。例えば、憲法における平和条項はまぎれもなく世界的に最高の水準を示している。

第二に、国民諸階層の主体形成の条件としての戦後改革に注目するならば、それは諸領域にわたる改革を通して、民主主義の担い手を形成する条件を政治的・経済的・社会的に整える過程として位置づけることができる。

この点を教育改革に焦点を絞って見るならば、憲法、教育基本法がその理念と制度的枠組みを裏打ちするも

のであると同時に、労働基本権の確立、農地改革をはじめとする経済改革、地方自治制度の確立が教育改革の具体化を支えるうえで重要な条件となった。

とくにその担い手の基軸に位置づく教員(教育労働者)は、6・3・3・4制の実施過程で急速に増大した。ちなみに、1948年の教員数は約53万5千人であったが、1969年には100万5千人とこの間に倍増している。その内訳を見ると、高校教員が約6万9千人から20万人に、中学校教員が16万9千人から22万7千人に増加しており、高校教員は約3倍になっている。また、大学・短大教員は、1950年には約1万3千人でその後増加の一途をたどり、1980年11万8千人、1993年には約15万人に達している(資料:文部省『文部統計要覧』)。

いまや135万人(1995年度)に達する教員は、専門労働者集団として代表的な存在であると同時に、その労働組合の推定組織率約45%(関連労働組合員数を教員数で除した比率)で全労働組合平均の約24.8%(1995年度)を大幅に上回り、教育政策をめぐる対抗関係のみならず、地域や社会全体の対抗関係に多大の影響力を有しているのである。

また、教員労働組合のバックアップや教師を中心とする住民の幅広い結集のもとに、自主的教育研究活動が持続的に展開されている。その一環としての教育研究集会は、1950年代以降、全国ならびに各地域で行われ、その研究成果が系統的に蓄積されて、教育政策批判にとどまらず、教育改革に関する提言が行われてきた。

他方、このような対抗軸のもとで、いわば為政者の側からの“まきかえし”も見られた。1953年の池田・ロバートソンを前後する教育方針の転換がそれである。教職員のレッド・パージと政治活動の制限、教員の勤務評定の実施、教育委員の公選制から任命制への変更等の事態が相次いだ。これは職業階層としての教員層の急速な増大が、為政者からは政策批判勢力の拡大・組織化を意味し、その抑圧を意図したことと、さらにこのことがアメリカとの単独講和を契機とする冷戦体制下の世界戦略と密接にかかわっていたことは否定できない。<sup>(6)</sup>

第三に、このような対抗関係は、教育政策の実施過程にも大きな変化をもたらしてきた。前述のように、絶対主義天皇制のもとにおける中央集権的な教育政策と戦後教育改革を経た教育政策との間には対抗軸と対抗関係の変化が見られるのであるが、この過程で国家意志を貫くための教育行政のシステムにも少なからぬ変化が見られる。

このことについて詳述する余裕はないが、少なくとも次の諸点に注目する必要があるだろう。

すなわち、中央集権的な政治権力に裏打ちされた行

政権力の直接的行使にかわって、あるいはそれを補完するものとして、地方自治体、関係機関・団体に対して通達等を通して行政指導・監督、勧告、助言等の形態をとること、行政権力の直接的行使にかわって諮問・建議などについて、各界から選出・推薦された者で構成する各種委員会、審議会等を最大限に活用すること、地方自治体、関係機関・団体に対する派遣人事、政策意図にもとづく財政誘導、等の措置が多彩に援用される。

これらの支配形態の変化は、支配の実質を何ら変えるものではないとする見方もあるが、その評価は一面的である。このような権力行使の形態の変化が、一方では政策遂行の過程における内部矛盾と対抗的關係を一層深めると同時に、そのこと自体が単に政策の実施形態の変化にとどまらず、政策意図の貫徹の過程で、妥協・宥和的側面を加味せざるをえなくなり、政策体系としての矛盾を一層深めていることに注目しなければならない。

さらに、国民の教育権を基礎とする教育の自立性に根拠を持つ固有の学校文化、教師文化に支えられた諸運動が、教育政策に対する強い抵抗の条件となってきたことも軽視できない。

しかし、他面では、上記のような支配形態の多様化・複雑化によって、政策をめぐる対抗点が不明確になり、そのような中で、教育現場において、いわば政策の内部化ともいえる事態も生じかねない。教育現場の判断にもとづく自主規制と政策への「自主的」対応を通して政策を受容する、という事態もしばしば見られた。

このような事態は単に教育政策に限らないことであるが、とりわけ学校教育においては、固有の学校文化、教師文化が地域社会から隔絶して閉鎖性をともなって形成された場合には、そのことが政策の受容を容易にすることに結びつきかねない。

第四に、経済政策ならびにその一環をなす労働力政策と教育政策の関連に注目しなければならぬ。

1950年代以降、労働力政策と密接にかかわる教育政策は、人的能力開発政策(manpower policy)として先進資本主義国を中心に世界的に実施された。この政策のもとでは、人間の能力はとりもなおさず労働能力であり、学校教育を軸とする教育計画が、人的資源の開発・配分を目的として経済計画に深く繰り込まれることになる。まさに「経済政策への教育政策の従属」<sup>(7)</sup>を意味する。

わが国においても、高度経済成長政策の実施の中で、とくに1960年代以降、労働力需要の急速な増大に見合った人材の養成・配分のために、学校教育を中心とする教育計画が産業計画の一環として策定された。後期中等

教育ならびに高等教育において、とくに工業系学校が増設されたのもこの時期である。<sup>(8)</sup>

このように経済計画の一環として、むしろそれに従属して立案された教育計画においては、尊重されるべき教育の論理が軽視され、経済の論理が全面に押し出されるか、あるいは教育の論理が経済の論理に繰り込まれる事態を招くことが少なくなかった。

教育投資論は、その政策動向を後押しした。

1960年代に登場した教育投資論は、教育のもたらす経済的効果を数量的に測定し、教育計画を立案する際の政策的根拠にしようとするものであるが、ここでは人間の労働能力が「人的資本」として把握され、資本であるが故に、他の資本と同列に投資効率が問題とされる。これはまさに経済や企業活動への教育の従属であり、教育の論理の自己否定であるというほかはない。

その後、教育に対する経済効率主義的な発想は、ひとり経済計画、教育計画の領域にとどまらず拡大している。いわゆる「教育産業」を企業活動のターゲットとする風潮が、とくに最近では生涯学習政策における「民間活力の導入」路線と相俟って一層強まっていることは否定できない。

### 3 戦後社会教育の新展開とその特徴

戦前・戦中期の社会教育行政の基軸をなした青年学校はその主たる役割が軍国主義教育にあったので、戦後いちやく廃絶された。それと同時に、青年学校自体は、のちに引き継ぐべき教育施設が皆無に近かったので、戦後社会教育行政は、事実上、ゼロからの出発であった。<sup>(9)</sup>この点は、長い歴史の中で成人教育の内実を蓄積してきた欧米とは著しい違いを示した。

また、学校教育との対比で見ると、社会教育は教育体系の中で絶えずマイナーな存在に置かれてきたといえる(例えば、1950年度の国・地方自治体の教育費総額に占める社会教育費の割合は3%)。

しかし、社会教育の展開過程から引き出される諸特徴が、現段階の教育問題に対して、幾つかの先進的示唆と課題を提起していることも見逃せない。

この点にかかわって、大要次の諸点を指摘することができる。

第一に、戦後の社会教育法制の中で学習者(国民)の主体性を重んじていることの意味に注目しなければならない。

1949年に制定された社会教育法では、学習者としての国民の自発的な学習が基本に据えられており、これ

に対する社会教育行政の役割は、そのような学習活動のための環境の醸成(条件整備)に主眼が置かれている。したがって、その専門職の一つである社会教育主事の職務も、「社会教育を行う者に専門的技術的な助言と指導を与える」(社会教育法 第9条の3)ことにある。

このことは、戦前・戦中期の社会教育が国民の軍国主義的教化を主眼として行われたことへの反省を含み、その意味で戦後教育改革の反映である。しかし、反面では、個人(市民)としての自立の未成熟な日本社会の後進性(欧米とはちがって、主体性の尊重をあえて法制化にあたって明記しなければならない)を反映していたことも否定できない。

さらに、戦後改革に多大の影響を与えたアメリカを中心とする占領軍が、一方では日本の戦前体制への復帰・反動化を危惧し、他方では「共産主義の脅威に対する防波堤」としての期待から公民としての日本人の成長を促すことを社会教育に託した、という側面を軽視することができない。

しかし、社会教育法制で重んじられてきた学習者の主体性は、現代の学校教育、生涯学習への問題の提起として、あらためて先進的な意義を持っていることを軽視できない。

学校教育においては、社会に対して閉鎖的な学校文化、教師文化を形成する中で、“教える者”と“教えられる者”との違いが強く残存していることは否定できない。この点とかわかって、教育現場で「子どもの権利条約」をどう受け止めるか、教師と児童・生徒とのより良い関係をどう作り上げるか、ということが学校現場で重要な課題となっている。この点においては、社会教育における“学習者の主体性の尊重”が、あらためて今日的な意味を持つ、ということができる。

また、高等教育機関においても、学問研究の自由を基礎として自治が保障されてきたのであるが、それは往々にして地域社会との隔絶した状態のもとにおけるいわば閉ざされた自治に止まることも少なくなかった。

しかし、他方では、社会教育において法制的に認められている学習者の主体性の重視が、これまでどれほど実現してきたかということも、生涯学習に引き継ぐにあたって検証する必要がある。

その際に、学習者の労働と生活の実態を踏まえた主体性の認識があらためて求められる。

われわれはこの点について、労働論を基礎にして解明を試みてきた。<sup>(10)</sup>

教育労働を、地域社会を基盤とする重層的構造として把握することを通して、教育・学習と労働・生活を統一的に認識することができる。さらに社会教育の領域

に止まらず、従来の教育の論理に局限された分析枠を広げて、学校文化、教師文化の閉鎖性を克服するための道筋とその実現の諸条件を解明することが可能となる。

第二に、戦後の社会教育が公民館を主たる舞台として展開してきたことの意義についてである。

公民館は、住民の「実際生活に即する教育、学術及び文化に関する各種の事業」(社会教育法 第20条)を行う総合的社会教育施設であり、それは戦前段階から僅かに存在したが、本格的な普及は戦後のことである。<sup>(11)</sup>

このような総合的な成人教育施設は、世界的にもほとんど類例を見ない。

このようにわが国で公民館が社会教育の中核的専門施設として定着してきたことについては、幾つかの要因をあげることができる。欧米においては、成人教育の専門教育施設やそれに関連する諸施設が、図書館、博物館、教会、地域共同施設など、多彩に存在して住民に幅広く利用されていたのに対して、わが国ではそのような教育施設の蓄積がほとんどなかったこと、そのような中で、戦後社会教育の法制化にあたって、東北地方などで先駆的な活動として注目されていた自治公民館が育成すべき社会教育施設として行政的に位置づけられたこと、などが直接の契機となった。

公民館は、社会教育法の条文にあるように、実際生活に即した教育事業を行う教育施設として、主として農村地域に普及した。その学習の主体は、主に農民であった。それは戦後農地改革と農村民主化のもとでの農民諸階層の学習要求に応えるものであり、具体的には農村青年と既婚女性がその活動の中心となった。

公民館は、やがて70年代に入って第二の増加の波をえがくが、これは関東、関西、中京などの大都市部を中心とする都市地域で相次いで設置された結果である。時あかも高度経済成長のもとで、都市勤労諸階層が急速に増大し(1960年に労働者階級が総就業人口の過半に達し、以後、急速に増大する)、これと並行して都市問題が深刻化する中で、住民運動、学習運動がにわかに高揚した時期であり、都市公民館は、そのような都市住民の要求と運動にもとづいて増設されて市民運動と学習の拠点になったのである。

このような経過で、わが国では公民館が中核的社會教育施設として世界的にも独自の存在として定着するが、このような総合的教育施設としての公民館が生涯学習時代に求められる教育施設としてあらためて注目されているのである。

第三に、公民館の総合性と密接にかかわって、社会教育専門職員としての公民館主事、社会教育主事などの存在にもあらためて注目しなければならない。これら

はいずれも、いわば総合的な教育職であり、その職務も国民(住民)に教えることにあるのではなく、むしろ、国民(住民)の自主的学習活動を援助、指導することを主眼とする。

このような総合的教育職は世界的にもほとんど類例がないといってよく、このことは、学校教員がもっぱら教えることを職務としていることと対比して、極めて特徴的である。このような総合的力量を基礎としながら地域社会をいわば“職場”とする総合的な教育的職務の内実、学校教育を含めて生涯学習の中で広く社会的に求められているものであり、教育労働の本質と現代的課題に共通する示唆を内包しているといえる。

言い換えれば、このような総合的教育労働は、現代社会における中枢的な精神労働であるといえる。

しかし、実際にはこのような職務にある社会教育専門職員は、博物館学芸員、図書館司書等を含めても全国で4万人に満たない。学校専任教員、135万人と比べてそのマイナーな存在が際立っており、その専門性もいまだに確立しているとはいえない。

第四に、従来の社会教育の学習内容が教養中心の編成になっていたことの意義についてである。これも日本の教育、とりわけ中等教育の相対的な立ち遅れとその地域格差を反映していたことは否定できない。具体的には、社会教育行政における教養中心の学習が、後期中等教育としての高校教育を補う役割を担ってきたといえる。その反面として、このような社会教育行政は、成人教育の中で重きをなす職業人の職業教育、労働者教育の欠落をもたらした。

これまで職業人に対する職業教育・訓練は、主として企業内教育に委ねられてきたが、企業内教育は大企業に限られてきたので、中小企業の労働者は、事実上、学習の機会を失っていたといえる。

しかし、教養中心の社会教育が一義的に学校教育を補完する役割にとどまっていたとする見方もまた、一面的である。<sup>(12)</sup>

のちに労働者教育とかかわって述べるように、現代社会において求められ教養は、専門教育との関連において“リベラル・アーツと専門教育を統一”(これは古くから教育学の基本問題の一つであった)した教育体系を実現する可能性を持っており、そのような視点からの解明が必要である。

第五は、戦後の社会教育行政が地域社会、具体的には市町村自治体を基礎としてきたことの意義についてである。

このことは、戦後に確立した地方自治制度に負うところが大きい、反面、地域社会におけるコミュニティ

と地域民主主義の未成熟(=市民社会としての未成熟)とかかわっていることも否定できない。これは地方自治制度が戦後ようやく緒についた中で、社会教育の地域的基盤とその財政的基礎を市町村自治体に依拠せざるをえなかったことと密接にかかわっている。

欧米におけるように、コミュニティを基盤として市民社会が成熟している場合には、住民自治が市民生活の中で深く根をおろし、成人教育もそのような地域社会を基盤に展開してきたので、“市町村重点主義”をあらためて成人教育の法制化に繰り入れる必要がなかったといえる。

しかし、現在、生涯学習の展開基盤が、広域化の方向で市町村自治体から都道府県レベルにシフトしつつある中で、市町村自治体に基礎を置く社会教育の展開は、中央集権的・広域的教育政策への実践的批判となっているといえる。

以上述べてきたような社会教育の制度的先進性は、一面において戦後教育改革の成果とそれを実質化してきた地域教育運動の成果によるところが小さくないと同時に、反面、わが国の市民社会としての成熟度の低さに由来するという両面を有している。

しかし、戦後から現在に至るわが国の社会教育の民主主義的蓄積は、今後、学校教育とのかかわりを深めつつ生涯学習を発展させるうえで重要な意義を有し、学校教育に対する問題の投げかけになることは疑いない。

それと同時に、生涯学習を発展させようとした場合に、その過程で社会教育自体が克服すべき課題もまた鮮明になってきたといえる。

それは、大別して次の二つに集約することができる。その一つは、“学校教育との断絶”の克服であり、いま一つは、“職業・労働者教育の事実上の欠落”の克服である。

#### 4 地域生涯学習計画化と 高等教育機関の役割

##### 4.1 生涯学習政策の現段階—新たな労働力政策下の労働者教育の課題—

生涯学習政策は、「生涯学習の振興のための施策の推進体制等の整備に関する法律」(1990年6月)によって法制化された。それは確固とした政策理念にもとづいて展開されているわけではないが、少なくともその政策的な意図は、労働市場再編下の労働力政策の一環としての生涯職業能力開発と、民間活力の導入ならびに広域化を基調とする地域再編において鮮明になっている。

このことは、先に指摘した社会教育自体が克服すべき二つの課題，“学校教育との断絶”ならびに“労働者教育の欠落”と密接にかかわっており、そのような政策的な提起にどう対処するかということが、社会教育を引き継いで国民諸階層が主体的に生涯学習を進展させるうえで主要な課題となっている。

言い換えると、克服すべき二つの課題は、それぞれ別個のものではなく、学習内容に即して“労働者教育の欠落”をいかに克服するかという道筋を追求する中で、“学校教育と社会教育の断絶”の克服を見通しつつ、生涯学習の新地平を切り開くことが可能となろう。

これまで労働者教育について議論する場合、それは主として直接に労働ないし職業にかかわる教育・訓練の問題として取り扱われてきた。つまり、労働者教育は事実上、職業教育・訓練に局限されてきた。労働と職業にかかわる教育・学習が労働者教育の主軸に位置づくことはいうまでもないが、それが職業教育・訓練に限られるならば、労働者の人格形成と主体形成にかかわる総合的な学習が軽視ないし無視されることになる。

事実、わが国の社会教育行政においては、労働者教育の主軸であるべき労働・職業にかかわる学習が、事実上社会教育の枠外に置かれ、職業訓練が労働省に委譲されてきた。いわゆる“社会教育行政における労働者教育の欠落”が常態化してきた。

このような状況を踏まえて、あらためて労働者教育の現代的課題について考えるならば、それは労働者(勤労諸階層)が、みずからの学習要求にもとづいて、その主軸に位置づく労働・職業能力にかかわる学習要求とともに、生活・文化にかかわる学習要求をふくめて、労働者文化の創造を目指す総合的・体系的な学習を主体的に編成することを意味する。

第一に、労働者の労働に関する学習要求について考えるならば、それはたんに労働・職業能力を高めることを目的とするものではなく、労働者の自己実現の行為としての人間的でしかも個性的な労働を実現するために必要な学習である。それゆえに労働者の生活・文化と密接にかかわり、一体的なものである。

したがって、労働にかかわる学習は、労働力商品の属性としての労働者の労働能力の向上を一義的に目的とする職業能力開発とは本質的に異なる。ここでは、例えば労働者の個々の人格から切り離されて対象化された免許・資格の取得が唯一の目的となるわけではない。

もちろん、免許・資格が企業内に閉じられた企業内教育よりも公開性を持っていることは否定できないが、それが労働者のたんなる能力証明であれば、それは労働力商品の「銘柄・規格」表示に過ぎないことになる。生

涯学習政策が、後述する高等教育とかかわって、たんにより高度な職業能力開発を高等教育機関に期待するのであれば、それは高等教育の目的と相いれない矛盾をはらむことになろう。

第二に、労働者の学習要求は、労働・職業にかかわる要求にとどまらず、労働者文化の創造に結びつく主体的でしかも総合的な学習要求として展開することを認識する必要がある。

労働者教育は、労働に直接かかわる学習とともに、労働・生活の自然的・社会的環境の改善にかかわりつつ、労働者文化を主体的に創造・発展させる力量を高めるための能動的な行為である。

この点から見ても、労働者教育を生涯学習政策のもとにおける「生涯職業能力開発」に極限できないことは明らかである。

このような観点に立って、現実の労働者(勤労諸階層)の学習要求を見ると、それは全体としてより豊かな人間性を培うことを内実としているが、さらにその中には基本的に二つの軸が貫いていると見ることができる。その一つは、労働者の労働にかかわる専門性の陶冶をめざす専門教育・学習に対する要求であり、いま一つは労働者の人間性の陶冶にかかわる現代的教養・リベラル・アーツの学習を軸とする総合的学習に対する要求である。これを労働世界と生活世界を基底とする統一的・総合的な学習要求であるということもできる。<sup>(13)</sup>

このような学習要求は、勤労諸階層の主体形成にもなって必然的に出現した現代の国民的な教育要求であるということができる。まさに現代社会の主要な教育問題の一つは、勤労諸階層の学習要求を教育体系の全体の中に位置づけながら、これをいかに実現するか、ということに示されている。<sup>(14)</sup>

このことは、学校教育機関や職業教育・訓練機関が地域社会と隔絶してその内部において自己完結的にならうことではない。また、従来、わが国の労働者教育の主軸をなしてきた企業内教育のように、専門的教育機関から隔絶して企業の枠内でだけで実現できるものでもない。

このような学習要求は、それが学習主体である地域住民の労働と生活、さらには住民共通の課題である地域づくりと密接にかかわっている。しかもその教育内容の編成主体が地域住民であると考えれば、従来の“労働者教育の欠落”を克服することは、必然的に地域社会を基盤にして“学校教育と社会教育の隔絶”を克服する課題に結びつく。

われわれは一貫して生涯学習を“地域づくりと地域生涯学習計画化”という枠組みで研究を行ってきたが、

それは上述のような課題認識を基礎にしているからにはかならない。<sup>(15)</sup>

生涯学習政策の中で生涯職業能力開発が打ち出されたこと自体、従来の社会教育行政における労働者教育の欠落と企業内教育の限界に対する批判を含んでおり、その意味で評価できる。しかし、反面において生涯学習政策の主眼の一つが労働能力の開発に極限されているかぎりでは、それはただちに勤労諸階層の幅広く総合的で、しかも極めて現代的な学習要求に応えることには結びつかないといえる。

ここで、あらためて生涯学習の総合的・体系的あり方の中における学校教育の位置と役割が問われるのであるが、勤労諸階層が現に求めている生涯学習が、その内容と水準において高等教育に及びつつあることから、とくに高等教育機関の役割を解明することが重要になっている。

生涯学習の中で“労働者教育の欠落”を克服する際に高等教育機関が地域に開かれた教育機関として果たす役割が期待されているといえるが、このことが高等教育機関の改革の内在的契機と必ずしも結びついているわけではない。

それは、高等教育機関がその研究・教育において、地域社会との結びつきを内存的に求めているとは必ずしもいえないことと、さらに、従来の高等教育機関(とくに大学)の自治が地域に開かれていたとはいえない(高等教育機関における閉鎖的な“学校文化”の一面)ということと密接にかかわっている。

ここで、生涯学習と高等教育の関連構造についての分析があらためて課題となるのである。

#### 4.2 地域生涯学習計画化の重層的構造

生涯学習は、国民一人ひとりの自由で個性的な自己教育活動を基礎として、社会的な協同の営みとして行われ、そのような協同活動の中で、一人ひとりの学習を相互に高め合うことが目指される。

このような学習活動を主体的に組織化し、すべての国民に持続的に保障する教育計画を国民がみずから主体となって編成し、実践することが生涯学習計画化である。

それが地域社会における個々の住民の労働と生活を基礎とする学習活動の組織化・制度化であるという意味では、生涯学習計画は、具体的には地域社会を基盤とすることが不可欠であり、その意味において地域生涯学習計画化であるといえることができる。

このような視点に立って地域生涯学習の体系化を構

想する場合、その枠組みを学習者である国民の主体的条件にもとづいて、二つの展開軸を設定することができる。その一つは、諸個人の人格形成、主体形成とその年代的発達にほぼ見合った教育・学習活動の展開軸であり、いま一つはそのような学習の社会的展開に必要な組織化に見合った展開軸である。

いわば縦の展開軸と横の展開軸である。

まず、縦の展開軸は、幼児教育、就学前教育、学校教育、学校外教育、職業教育・訓練(再教育)、青年教育、成人教育、高齢者教育など人間の個別的・集団的な発達と主体形成に見合った教育・学習の展開として構成される。いうまでもなく、この中には社会的不利益を蒙っている人びとの学習の保障や援助など、教育と生活・福祉との接点にかかわる諸課題が加わり、全体として国民諸階層の主体形成に見合った学習の展開として意義づけられる。

次に、横の展開軸は、上記のような教育・学習を展開するための条件あるいはネットワークにかかわって構成される。具体的には、家族、学校、企業、地域(集落、町内会、商工会などの産業団体、協同組合、市町村自治体など)、都道府県自治体、国、NGOを含む国際的組織・機関などが含まれており、総じて生涯学習計画化を実現する際の組織的条件をなす。

この縦と横の展開軸は、いわば学習主体と条件との結合を基礎にしており、この展開軸を基礎にして生涯学習の構造化、その内容編成と組織化、制度化が行われることになる。

このような枠組みを基礎にして、学校教育と社会教育の双方がお互いに形成していた「壁」は、学習者の労働世界と生活世界を統合する基盤としての地域社会構造を基盤として克服され、これまでほとんど試みられることのなかった学習の総合化・体系化が新たに生涯学習体系として見通されることになる。

上記の文脈にもとづいて考えるならば、地域教育機関の配置と役割は、基本的には地域住民の教育・学習要求にもとづく民主的編成のなかで決められることになる。しかし、それは同時に教育政策による教育機関の配置・編成と対抗的關係に立たざるをえない。むしろ、これまでの教育機関の配置と編成は、ほとんど教育政策の基調によって律せられており、国民の意向はほとんど反映されなかったといえる。

このような中で、いま、“社会に開かれた高等教育機関”が大学の新しいあり方の一つとして注目されているが、教育政策をめぐる対抗的構造と二つの異なる目的が相互に拮抗した關係に置かれている中で、高等教育機関自体の主体的な判断と対応が求められることに

なる。

いうまでもなく、拮抗関係にある双方の一方は、労働市場の流動化と再編にともなう学校教育体系の再編のいわば“総仕上げ”を高等教育に求めていることを意味し、この点では“大企業に開かれた高等教育機関”への要請という側面が色濃く出ている。

労働市場の流動化にともなう終身雇用制の弛緩・後退は、従来の企業内教育にとどまらない新たな職業人の再教育体系を求めることになる。免許・資格制度や学校教育に繰り込まれた職業人の再教育がこれに適合した学習システムとして求められ、その実施機関として高等教育機関への期待が高まっているといえる。

他方、前述したように、勤労諸階層の学習要求の内容とレベルが高等教育機関の持つ教育力を必須とする状況にあることも確かである。

したがって、真に“国民に開かれた高等教育機関”を目指すとするならば、教育と研究における高等教育機関の社会的役割について、高等教育機関が主体となって国民的合意を形成することが前提となる。さらにそのような合意形成の中心的主体は、いうまでもなく当事者としての高等教育機関の構成員である。ここで求められているのは、従来の高等教育機関(大学)内に閉ざされた高等教育機関の自治から、真に国民に開かれた高等教育機関の自治への展開である。さらに、社会に開かれた高等教育機関を目指そうとする際に、開かれるべき社会それ自体が対抗的構造にあることを考えるならば、高等教育機関を地域に開く際には、高等教育機関の自治が地域社会の民主主義によって支えられていることが必須の条件をなす。これは高等教育機関が、広く学校文化に伴いがちな閉鎖性を打ち破って、一段高い自治の内実を求めて実践することを意味する。

その具体化の手順としては、高等教育機関の研究・教育、運営の到達点とその社会的役割、改革の課題などについて構成員間で合意を形成して、その内容を社会に公開すること、その中で、教育・研究に関する社会的要請をいかに主体的に受け止めるかについて、高等教育機関内部、高等教育機関同士ならびに他の教育機関との間で相互に合意を形成すること、そのうえで、個々の教育機関が自律的に何をなすのか、さらにそれを基礎にして、地域教育計画化に向けて、地域の住民や諸機関・組織とともに地域協同ネットワークを形成する中で高等教育機関がどのような役割を果たし得るか、などの諸課題について主体的に判断し、実践することが求められる。

しかし、現実の高等教育機関(大学)の自治の実態との間で少なからず乖離を生じていることも否定できない。

い。

このような観点に立って、あらためてわが国の高等教育機関の歴史と現状を踏まえて、地域社会に開かれた存在となるための方向と条件を探求することが求められている。

#### 4・3 生涯学習と高等教育機関

わが国の大学は、明治初期の発足以来、研究については学問と科学技術の先端的研究をリードする研究機関として、また、教育については日本の近代化を担う各界のエリートの養成と研究の後継者養成を主眼としてきた。

戦後の教育改革の一環として新制大学が設置され、高等教育機関への就学機会の拡大にともなって“大学の大衆化”は急速に進んだが、それによって従来の「エリート養成型」の大学が根底から変質したわけではない。<sup>(16)</sup>

さらに、戦後新たに発足した新制大学と既存の大学との間における研究・教育条件の較差が一層拡大した。この点は、その後の大学政策のもとである程度是正されてきたが、事態はさらに進行して、短期大学、専門学校、専修学校、各種学校などを含む高等教育の多様化が進みつつある。

このような高等教育をめぐる状況の急激な変化と高等教育機関への社会的要請の高まりにどう対応するかということが、高等教育機関の改革における重要課題の一つとなっている。その際、高等教育機関における教育・研究を軸とする内在的条件と構成員を中心として形成される内発的契機が、第一義的に重視されなければならないことはいうまでもない。

このような視点に立ってみるときに、高等教育機関が生涯学習に対して積極的な役割を果たすべきであるとする考え方は社会的に広く合意を形成しつつあり、それに関する政策提言も幾つか出されているが、<sup>(17)</sup> そのことが今後の教育体系の中でどのような意義と役割を持つのか、とりわけ生涯学習がわが国の高等教育の体系化の中でどのような位置に立つのか、ということはまだ十分に解明されていない。

この点については、高等教育論、生涯学習論の双方においてそれぞれ議論されるべき課題であるが、双方の議論がまだ十分に切り結ぶ状況にはないといえる。それは双方とも、わが国ではいわば若い学問領域であって、にわかに体系的な成果を期待することが困難であるという研究の状況を反映していることは否定できない。

わが国が現在直面している“生涯学習と高等教育”の

関連について解明するという課題は、一方において研究と教育の頂点に立つとの位置づけのもとに蓄積してきてきたいわゆる”大学知”と、他方において民衆の中で労働と生活に深く根を下ろしながら蓄積されてきた地域の教育力を軸とする”民衆知”とに関して、少なくとも、民衆知の一層の充実・展開のうえで”大学知”との結びつきが必須となってきたこと、それほどに民衆知が高まってきていることにもとづいている。

このことは、欧米の大学がそれぞれの国ごとに歴史的に違った発展過程をたどりつつも、いわば”民衆知”に支えられながら、地域社会をその存立の基盤として生成・発展してきたことといちじるしい対比をなしている。<sup>(18)</sup>

このような視点からみると、いま、わが国が直面している教育改革の課題は、戦後改革と民主主義の蓄積を基底として、より高い民主主義を目指すうえで必須の改革として求められているものである。したがって、”開かれた大学”について生涯学習が一つの課題を提起することは確かであるが、それはたんなる大学の大衆化ではなく、より高い民主主義社会の実現を目指す中で求められている新たな教育体系の創造と構築に向けて、高等教育機関に求められている課題であるということができる。

生涯学習の中で、労働者教育(勤労者教育)にかかわって、職業人を中心とする社会人の再教育としてのリカレント教育やその一環をなすより高度の専門的教育・再教育としてのリフレッシュ教育について、高等教育機関との連携を求めているのは、その具体的課題の事例であるといえる。<sup>(19)</sup>

そのみではなく、高等教育機関は、地域社会に対して、初等・中等教育機関に比べてより広域的に開かれた存在であることから、地域生涯学習計画の重層的構造化において重要な位置と役割を担う可能性と条件を有しているといえるが、そのような方向に向けての試行は、わが国ではようやく緒についたばかりである。<sup>(20)</sup>

## 5 おわりに

小論は、現代日本社会の階級的・対抗的関係を基底に据えて、教育政策の展開過程における対抗的構造を明らかにし、それを基礎にして住民主体の生涯学習の展開を、学校教育を含む地域教育計画化の過程としてとらえて考察を進め、その中でこの研究にかかわる幾つかの論点を提示してきた。

この中で、地域民主主義の蓄積を基底とする民衆知

(その軸になる地域の教育力)といわゆる”学校知”との結合のもとに、新たな教育体系を創造するにあたって、高等教育機関が中枢の存在になっていることを労働者教育(生涯学習政策ではこれと同義ではないが”生涯職業能力開発”)として打ち出されている)に収斂させながら明らかにした。むろん、これは具体的分析の糸口に過ぎない。

この課題についてさらに解明するためには、生涯学習論と高等教育論との双方から切り結ぶより深い議論が不可欠である。

## 《脚 注》

- (1)例えば日本教育学会50周年記念シンポジウムの内容を収録した『教育学研究』、第59巻、第1号(1992年)、第60巻、第1号(1993年)を参照されたい。
- (2)これまでの共同研究の経過と到達点を示す主な著書は、次の通りである。  
山田定市著『地域農業と農民教育』、日本経済評論社、(1980年5月)； 美土路達雄編著『現代農民教育の基礎構造』、北海道大学図書刊行会、(1981年2月)； 山田定市・鈴木敏正編著『地域生涯学習の計画化(上)』、筑波書房、(1992年3月)； 同『同(下)』、同、(1992年6月)； 鈴木敏正著『自己教育の論理』、筑波書房、(1992年11月)； 鈴木敏正著『学校型教育を超えて』、北樹出版、(1997年2月)； 山田定市編著『地域づくりと生涯学習の計画化』、北海道大学図書刊行会、(1997年2月)。
- (3)例えば、戦前・戦中期の小学校の校庭に、天皇・皇后の「御真影」と二宮金二郎の銅像が対をなして設置されたことは、当時の教育・教化を象徴する事象であったといえよう。
- (4)資料については、猪木武徳『学校と工場』、読売新聞社、(1996年4月)、26ページを参照されたい。
- (5)原資料は、文部省監修『社会教育必携(1969年版)』による。
- (6)池田・ロバートソン会談に先立って、すでに米国教育使節団の報告書の中で、日本は共産主義への「防波堤」として位置づけられ、教育は成人教育も含めて、そのための手段としての任務を課せられていた。詳しくは、『米国教育使節団第2次報告書(1950年9月)』、現代史出版会、(1975年5月)を参照されたい。
- (7)寄田啓夫・山中芳和編著『日本教育史』、ミネルヴァ書房、(1996年4月)、第9章(相原久仁男執筆)、P. 154
- (8)ちなみに、1955年から1965年にかけて、高等学校に

おける工業科の学科数は、394から923に、また同じ期間に、工業科の生徒数は、約237千人から624千人にそれぞれ増大した(資料:文部省『文部統計要覧(平成8年度版)』)。また、4年制大学工学部の学生数は、1955年に約66千人であったが、1963年には約139千人になっている(資料:文部省『わが国の高等教育(昭和39年8月)』)。その学生数は以後も増加し、1974年には254千人(このほかに理工学部学生62千人)になっている(資料:文部省『文部統計要覧(昭和50年版)』)。また、同年次における工学系高等専門学校学生は、約48千人となっている。

- (9)青年学校に必要な施設については小学校を利用し、その教育担当者のごく一部の専任職員を除いて、学校教員や地域の有識者、在郷軍人などに依拠していた。
- (10)教育労働に関する問題提起については、次の論稿を参照されたい。山田定市「社会教育労働・労働者論の基本視角—住民諸階層の学習要求・課題を基礎にして」、北海道大学教育学部社会教育研究室『社会教育研究』、第5号、(1984年10月)；「同(2)—社会教育労働編成論に向けて」、『社会教育研究』、第7号、(1986年9月)。なお、山田・鈴木編著の前掲『地域生涯学習の計画化(下)—社会教育労働と住民自治—』は、社会教育労働論を踏まえた実証的共同研究の一つである。
- (11)公民館については、多くの先行研究があるが、地域産業、住民の労働と生活との関連で実証的に分析した研究としては、次の著書がある。遠藤知恵子『現代の公民館』、高文堂出版社、(1994年3月)。
- (12)例えば、松下圭一氏は、高校進学率が95%に達している現在では、もはや社会教育の歴史的使命は終わったとしている。松下圭一『社会教育の終焉』、筑摩書房、(1986年8月)を参照されたい。
- (13)この点については、実際に労働者(企業従業員)を対象とするアンケート調査においても検証することができる。例えば、次の諸調査の結果を参照されたい。北海道地域リカレント教育推進協議会『リカレント教育の関する基礎調査』、(1995年3月)；室蘭工業大学『リフレッシュ教育ニーズ調査』、(1997年4月)。
- (14)この観点とかかわって、大学教育の事例として、室蘭工業大学が実施している教育体系とカリキュラムにおいて、主専門教育課程と副専門教育課程のいわば複眼的システムを構成していることは、新しい教育体系への試行として注目される。詳しくは、この『紀要』の特集に収録されている論稿を参照されたい。
- (15)この点についての詳しい分析は、山田定市編著『地域づくりと生涯学習の計画化』、北海道大学図書刊行

会、(1997年2月)を参照されたい。

- (16)時代の変貌にともなう大学の変化については、マーチン・トロウ著、天野郁夫・喜多村和之訳『高学歴社会の大学—エリートからマスヘー』、東京大学出版会、(1976年10月)を参照されたい。
- (17)例えば、1996年度(平成8年度)の文部省『我が国の文教政策』(「教育白書」)では、生涯学習の特集が組まれ、その中で高等教育機関が果たすべき役割について言及されている。また、生涯学習審議会『地域における生涯学習機会の充実方策について(答申)』(1996年4月)では、冒頭に“社会に開かれた高等教育機関”を項目として掲げて、社会人の受け入れの促進や地域社会への貢献について言及している。
- (18)欧米の大学については多くの研究があるが、生涯学習との関連において、精緻な議論を展開しつつある論稿としては、小林 甫「イタリアの高等教育史—パドヴァ大学を事例とする考察：(1)序論《社会と大学》の関係における《大学の理念》」、北海道大学高等教育機能開発総合センター生涯学習計画研究部『生涯学習研究年報』、NO. 2、(1996年8月)を参照されたい。
- (19)ちなみに、1994年度から3年にわたって北海道で実施してきたリカレント教育推進事業は、労働者教育と高等教育機関のかかわりについて多くの示唆を提供している。その具体的内容については、町井輝久「北海道大学における生涯学習と職業能力開発研究の試み」、『日本社会教育学会紀要』、NO. 32、(1996年6月)を参照されたい。
- (20)この点についての具体的試行は、例えば北海道大学高等教育機構開発総合センターが中心となって、まちづくりと関連づけて地方自治体と共同で実施しているリカレント教育事業、などに見ることができる。詳しくは、町井輝久・笹井宏益「リカレント教育と大学」、北海道大学高等教育機能開発総合センター『高等教育ジャーナル 特別号』、(1997年3月)；小林甫・木村 純「『まちづくりと生涯学習』と大学の役割」、『同』、などを参照されたい。

# W.ブレイクの「エルサレム」について

安藤 栄子

## On William Blake's *Jerusalem*

Eiko ANDO\*

(原稿受付日 平成9年5月9日 論文受理日 平成9年8月20日)

### Abstract

*Jerusalem: The Emanation of the Giant Albion* seems to be very difficult to understand because of the lack of narrative movement and sequential development, therefore some critics seem to feel perplexed after having read it. However, the theme seems to be very clear: Albion's fall from "Imagination" into "Ulro" and his return to "Imagination." The aim of the paper is first to justify the reason why *Jerusalem* gives us the apparent confusion and chaos, and secondly, to elucidate what Blake wanted to say in *Jerusalem*.

Key words : Jerusalem, Imagination, Jesus Christ, Ulro, Satan

### 1. はじめに

William Blake (1757-1827)が活躍した18世紀は理性至上主義の時代であり、宗教は理神論が主流であり、キリスト教は一般的に不振であった。Blakeには英国国民が「信仰」を捨て去ったように思えたのであり、英国国民を覚醒させる目的で*Jerusalem*を執筆したと思われる。*Jerusalem: The Emanation of the Giant Albion* (1804-20)は100枚のプレートから成り、4つの章から構成される。第1章には"To the Public", 第2章には"To the Jews", 第3章には"To the Deists" 第4章には"To the Christians"という「序」がつけられてある。一見すると整然としているように見える

*Jerusalem*であるが、実は混沌としており、批評家を当惑させるようである。<sup>1)</sup> それはこの作品が主人公 Albion (英国と人間を表す)の"Imagination"から"Ulro"への墮落と"Imagination"への復帰と言うテーマを持ちながら、プロットが時間の流れに沿って展開しないからである。端的に言うと、「第4章」を読み終えてはじめて結論が分かるのではなく、Blakeの主張は「第1章」の冒頭で既に述べられてあると言えよう。すなわち Blakeは第1章でこの作品の中心となる"Imagination"と"Ulro"とに言及し、それ以後各プレートではこの2つの世界は並存して描かれるのである。我々は"Imagination"を垣間見た瞬間に突然暗澹たる"Ulro"にひきずり下ろされ、再び上昇し Jesus Christ

\* 共通講座



と Jesus Christ が再臨するのは罪人を告発するためではなく、むしろ罪人と告発する "Satan" 「悪魔」の手から罪人を救いだすためである。<sup>4)</sup> "Human nature is the image of God" (*Annotations To Lavater*, 554) と信ずる Blake には人間を善人と悪人、救われる者と救われない者との二分し一方のみを救い、他方を捨て去るキリスト教の考え方は「悪魔的」と考えられたようである。これは彼の J. Milton (17世紀英国の puritan 詩人) に対する態度に一層顕著である。Milton は彼の叙事詩の中で人間の3つの種類に言及する。第1は「選ばれた人々」(「十戒」等の掟を厳守しうる聖人等) 第2は「救いが可能な人々」(罪を犯したが、悔い改めた人々) 第3に「救われることが困難な人々」(罪人など) である。第1と第2の人々には神の救いが約束されるが、第3の罪人には呪いと地獄のみであると言われる。<sup>5)</sup> 以上のような puritanism の偏狭さを Milton の作品に見た Blake は憤慨し「救われることが困難な人々」こそ「十戒」を破りいかなる拘束にも屈しない「天才」と考えたのであり、Blake の描く Jesus Christ は全作品を通して罪人のような激しい性質を持つ。<sup>6)</sup> Blake は人間を分類することに憤りをおぼえたのであるが、それは彼とキリスト教の考え方の相違によるものと思われる。キリスト教では人間は原罪を遺伝的に受け継いでいる不義なる存在であるが、この不義なる人間を救うために義なる神は一人子 Jesus Christ をこの世に送って下さった。Jesus 御自身は無罪であり、全人類の罪のため死ぬが、復活することで罪と死に打ち勝ち、Jesus に従う者に救いの道を開いて下さったのであると言われる。これに対し Blake は「原罪」という言葉を全作品中一度も使用せず、全く無関心の態度をとっているかのようなのである。さらにキリスト教では重要な教義である Jesus の贖罪死を Blake は認めていないようである。<sup>7)</sup> Blake にとって Jesus の死は「自我」の死、「自我滅却」("Self-annihilation") を意味する。<sup>8)</sup> Blake は「自我」を「悪魔」と呼び憎むが、それは人間の自己中心性のことであり、これが「理性」と結び付くことで特に破壊的な働きをすると考えたようである。"Good & Evil are here both Good & the two contraries Married." (*Annotations to Swedenborg's Divine Love*) と Blake は述べ善も悪も共に肯定するが、それは「自我滅却」の境地において可能である。Blake が大胆にも Jesus を罪人と考えたのは彼が善と悪との二元論を中核とする「十戒」を破り、あらゆるものを自分の思いを入れずに肯定する

"Imagination" に生きる人であることを強調するためであったと言えよう。Jesus は Blake にとって理想の人間であったが、同時に全宇宙に内在しすべてのものに絶対的な存在の意義を与え、さらにすべてを超越し一に融合させる神であるが、それは膨大なエネルギーのようだと言われる。<sup>9)</sup> 以上の説明から先にあげた「神の長い苦しみは永久ではない、審判がある」を考えてみよう。すなわち Albion が自己主張し本来一体であるべき Jesus と宇宙万物との関係を乱し、Jesus を苦しめるが、やがて真理に目覚めた Albion は「自我滅却」をはたし再び Jesus のもとに戻り、調和と平安が回復されることを述べたものと思われる。さらに Blake は Jesus の教えは "forgiveness of Sin" 「罪の許し」であることを以下のように述べる。

The Spirit of Jesus is continual forgiveness of Sin: he who waits to be righteous before he enters into the Saviour's kingdom, the Divine Body, will never enter there. I am perhaps the most sinful of men. I pretend not to holiness.

Blake によれば「天国に入るために義人であるか否かは問題ではない」のである。彼は自分のことを「最も罪深い人間」と告白し、そうであっても「神聖ぶらない」と述べる。ここに Blake 特有のトリックがある。通常義なる人は神聖な面持ちをしており罪人と対立する。「十戒」を破ることを奨励する Blake は義人から見るとあきらかに罪人である。しかし Blake にとって「罪」とは善と悪との二元論に支配され人を裁くことである。"holiness" 「神聖さ」に義人のもつ「偽善」を見抜いた Blake にとって義人であることがむしろ「罪」であったといえよう。以上述べてきたように Blake のこの作品における主張はほぼ語られたと言っても過言ではあるまい。これ以降 Blake は Imagination をそして Jesus Christ を描き続けるが、同時に対極にある Ulro の世界も浮き彫りにさせるのである。

### 3.

プレート4から第1章が始まる。Jesus は Blake に *Jerusalem* のテーマを与えるが、それは

Of the Sleep of Ulro! and of the passage  
through  
Eternal Death! and of the awaking to Eternal  
Life.

である。"Eternal Life"とは"Imagination"であり、  
 "EternalDeath"と言われる"Ulro"は「理性」一色の世界である。Jesusは彼のもとをさるAlbionに"I am in you and you in me, mutual in love divine"と述べ、さらに"I am not a God afar off, I am a brother and friend; Within your bosoms I reside, and you reside in me: Lo! we are One, forgiving all Evil."と温かく語る。ここで強調されるのはJesusとAlbionの距離の近さである。JesusはAlbionにとって「兄弟」であり「友人」である。ここにはキリスト教でいわれる支配する神と支配される人間の関係はないといえよう。Jesusは「私はあなたの中にあなたは私の中に互いに聖なる愛に包まれて」と述べ、「あなたたちの胸の中に私は住み、あなたたちは私の中に住む」とのべる。  
 "Imagination"の世界では神は神であり、人間は人間であるが、神は人間であり、人間は神であるといういわば「絶対矛盾の自己同一」の関係が成立するようである。しかしAlbionは"We are not One: we are Many"と主張し、"By demonstration man alone can live, and not by faith."と述べる。Albionは「信仰」を捨てて「論証」を重視することで「理性」の世界"Ulro"へと墮落を始めたのである。Albionはさらに以下のように英国の山々を彼自身のものであると主張する。

"The Malvern and the Cheviot, the Wolds,  
 Plinlimmon & Snowdon  
 "Are mine: here will I build my Laws of  
 Moral Virtue."

山は「人の知性や思想と関わる」<sup>10)</sup>と言われるところから英国の思想界にも合理主義が入り込み、宗教は「道徳」にその座を譲りわたしたことが判明する。プレート5では合理主義の波が英国のあらゆる方面に影響を及ぼす事が述べられる。

The banks of the Thames are clouded! the ancient  
 porches of Albion are  
 Darken'd! they are drawn thro' unbounded space,  
 scatter'd upon  
 The Void in incoherent despair! Cambridge &  
 Oxford & London  
 Are driven among the starry Wheels, rent away  
 and dissipated  
 In Chasms & Abysses of sorrow, enlarg'd without  
 dimension, terrible.

Cambridge 大学、Oxford 大学、大聖堂都市 London が "Starry wheels" に象徴される一律的な Newton 的宇宙論の影響を受け始めたと言われる。<sup>11)</sup> そして

Cam is a little stream! Ely is almost swallow'd  
 up!  
 Lincoln & Norwich stand trembling on the brink  
 of Udan-Adan!  
 Wales and Scotland shrink themselves to the west  
 and to the north!  
 Mourning for fear of the warriors in the Vale of  
 Entuthon-Benython  
 Jerusalem is scatter'd abroad like a cloud of  
 smoke thro' non-entity.  
 Moab & Ammon & Amalek & Canaan & Egypt  
 & Aram  
 Recieve her little-ones for sacrifices and the  
 delights of cruelty.

と言われるように Cambridge を流れる Cam 川もいきいきとした生命感を失い、Ely 大聖堂を飲み込んだと言われる。Ely 大聖堂は Cambridge 大学の精神を支え、高める役割を持つが、それが Cam 川に飲まれたのである。キリスト教の啓示を否定もしくは疑問視する理神論が英国国教会を襲い、その生命力を破壊したのである。理神論の先駆的指導者 Edward Herbert は宗教すべてに共通する5つの本有的概念があると主張した。第1に神は存在すること。第2に神は礼拝されねばならぬこと。第3に徳行は礼拝の主要素であること。第4に罪の悔い改めは義務であること。第5に神の賞罰の行われる来世があることである。ほとんど道徳と同一であり、「神の賞罰」を主張する理神論は Blake には「悪魔」の宗教であった。Norwich も Lincoln も大聖堂都市であるが、それらが "Udan-Adan" の側で震えると言われる。"Udan-Adan" は "Ulro" にある「湖」で「理性」の持つ冷たさや不可解さを示すと言われる。

<sup>12)</sup> 英国国教会は完全に理神論に打ちのめされたのである。Albion が "Imagination" に生きた時は Wales も Scotland も区分されたまま調和を保つことができた。しかし Albion が "Ulro" に転落することで二つの地域は西と北とに分離しそれぞれの利益を求めらることで争うのである。上の引用文の "Entuthon-Benython" は "Ulro" と同じ意味である。つまり想像力の欠如した「理性」一色の世界であり、一見合理的で明白に見える「理性」の「森」のような混沌とした状態を表して





ある。なぜなら Sons of Albion も Daughters of Albion もともに Albion と Los とを破滅させる「理性」を表すからである。本来同じ目的を持つもの同志なのに一方が他方に罠を仕掛け自らの力の中に治めようとするのである。これはおそらく「理性」の世界の特徴の一つであり、「女性」は「男性」と一つに結ばれることを拒否し、「女性意志」により「男性」を支配しようとするのであり、<sup>15)</sup> 「男性」はこれに対抗し争うのである。Albion の 12 人の息子たちのうち 8 人は Albion の娘たちの奸計にかかるが、9 番目の Scofield は残る 3 人を自らの中に閉じ込め 4 重の力となり、奸計にかかった 8 人の息子たちも自分の勢力に巻き込んだのである。

ところで Albion の娘たちが織上げた「戦争と宗教の網」とはなんだろうか。まず「戦争の網」から考えたい。"Webs of war"の"web"は"net"とほぼ同じ意味を持つといえよう。"Net"は"the snares of sex"を意味するといわれるところから <sup>16)</sup>"webs of war"は女性がうわべの魅力で男性を虜にしてもお互いが自己主張し、各々の利益を求めるといふ限り本当の男女の融合はあり得ずただ争いが続くばかりであることを語っていると思われる。次に「宗教の網」とは何だろうか。

Jesus の教えは「罪の許し」であり、そこにはなんのかけひきも罠もない。「網」には人を騙し、おとし入れる悪意がある。Blake は「宗教の網」によって自然宗教である理神論を意味したと思われる。それはキリスト教の啓示、奇跡等の超自然的な要素をすべて排除したいわば「道徳」であり、確かに明白であるが、その透明な罠にかかると人は Albion のように善と悪との二元論に捕らえられ、掟を守り善を行う自分を正当化するために掟を守れぬ弱い人を罪人として告発するようなことを平然とやるからである。これではただ「自我」を無限に肯定するというおそろべき過ちに陥るという事実を Blake は看破したのである。

ところで Ulro にあって Blake は次のように宝石のようにきらめく真実を Los によって語る。

"And the Religion of Generation, which was meant  
for the destruction  
"Of Jerusalem, become her covering till the time  
of the End.  
"O holy Generation, Image of regeneration!  
"O point of mutual forgiveness between Enemies!  
"Birthplace of the Lamb of God incomprehensible!"

引用文の"Religion of Generation"は想像力の欠如した善と悪との二元論を中核とする宗教がすべて含まれる。しかしその「生成界の宗教」も Blake のいう真のキリスト教が開始されるまでは Jerusalem を守る「覆」となると肯定的に扱われるのである。しかも「聖なる生成界よ、再生の世界の像よ！」にはこの生成の世界に Imagination の世界が写しだされることが強調される。Albion が Jesus と分離した結果体験したことは「自我」に支配される苦しみであった。しかし Albion が Jesus に目覚め「自我滅却」をはたす時、「生成の世界」は Imagination の世界へと変貌を遂げるのである。プレート 1 で言及された Void から Existence への転換はここにおいてのみ可能である。しかし「自我」の嵐は再び吹きまくるのであって、Imagination の光を見た我々は再度 Ulro へと引き戻されるのである。

## 5.

Ulro での争いがつづいた後にプレート 12 にいたって Los は彼の炉に「神の指」が忍び寄るのを目撃する。彼は"I behold the finger of God in terrors!"とさげぶ。神は「理性」の力がこれ以上 Los の炉におよばぬよう救いの手を差し伸べたのである。神の励ましに心を強くした「炉で働く人々」は Golgonooza の建設にのりだす。Blake は Golgonooza の場所をたずねる。それは最終的に Golgotha と関連づけられる。しかも "is that Calvary and Golgotha / Becoming a building of pity and compassion?"と述べ、Golgotha が「愛」と「哀れみ」の建物である Golgonooza であることが示される。すなわち無垢なるものが犠牲となり悲しみの涙を流すところに Golgonooza は建つのである。Golgonooza は実に驚異にあふれている。使われている石は「哀れみ」、煉瓦は「愛情」、瓦は「彫刻を施した黄金」、梁は「寛大」、モルタルとセメントは「正直の涙」、釘は「しっかりと決めて決して忘れられない言葉」、床は「謙遜」、天井は「献身」、炉は「感謝の祈り」であると言われる。一見して Golgonooza は Imagination に覚醒した人の精神界ではないだろうか。さらにプレート 13 には「門」、「通り」、「家」、「人間」が存在する「都市」としての Golgonooza が描かれる。しかしそれも現実的というよりは幻想的な性質をもつ Blake

は T. Butts にあてた手紙の中で "Fourfold" 「4重」を「完全」の象徴として考えている。<sup>17)</sup> Golgonooza には東西南北があるが、その各々の方位にも東西南北があつて「4重」である。また Albion の4つの精神界である Eden, Beulah, Generation, Ulro がそれぞれの方位に存在し「4重」を示している。人間の「目」は「南」に、「鼻」は「東」に、「舌」は「西」に、「耳」は「北」に位置すると言われる。「東門」には Albion を自己中心的、破壊的な方向へ駆り立てていた「自我」のイメージ、「死」、「病」、「戦争」、「生成的なもの」がある。「東門」「南門」「北門」はすべて開いているが、「西門」だけは閉じている。つまり「4」つの「門」すべてが開放すると Albion は Imagination へと飛翔しうるが、「西門」の封鎖がそれを不可能としているのである。「西門」は「舌の門」でもあり「言葉」と関わると思われる。確かにプレート 40(36)で "Los built the stubborn structure of the Language, acting against Albion's melancholy" とあるところから合理主義に毒された言葉でなく Imagination からほとばしる真実の言葉が Albion の救いとなることが示唆される。そして「西門」が開き Albion の「自我滅却」が実現した時には「東門」に描かれた否定的なイメージは破壊されずに 180度転換して建設的、肯定的な意味を与えられるのである。

さらに Golgonooza は「悲しみと苦痛と憂鬱の国」と呼ばれる「27の天」に取り囲まれると言われる。「27の天」は「27の教会」とも言われ、"dogmatic Christianity" を意味すると言えよう。<sup>18)</sup> Blake は「27の天」を3つに分類するが、第1は人祖 Adam から Lamech まで第2は Noah から Terah まで第3は Abraham からはじまり Moses, Solomon, Paul を含み Luther で終わる。第1は "giants mighty, Hermaphroditic" (*Milton* 37:37) と形容され、第2は "the Female Males, A Male within a Female hid as in an Ark & curtains" と形容され (*Milton* 37:528) 第3は "the Male Females, the Dragon Form" と形容される (*Milton* 37:528)。いずれも「男女両性者」、「雌雄同体」であるが Blake にとってそれは「相対立するものが妥協することなく常に戦争状態にある」という不安定で調和を欠くことを指すと思われる。<sup>19)</sup> ユダヤ教はキリスト教に含まれており、「十戒」のもとに罪が告発されることを Blake は反対するのである。Paul は偉大なキリスト教の伝道者であったが、Blake はとりわけ彼の「性」にたいする敵意にもた感情（「コリントの信徒への手紙一」等）をみつ

めることができなかつたようである。熱心な Luther は結局キリスト教世界を二分し争わせるだけの宗教改革者であり Blake には納得できなかつたのであろう。「罪の許し」を中心としすべてのものの調和を目指す Blake の真のキリスト教からみると「27の天」はいずれも争いを含む不完全なキリスト教と思われたようである。しかし

In all the Twenty-seven Heavens, number'd from  
Adam to Luther,  
From the blue Mundane Shell, reaching to the  
Vegetative Earth.

The Vegetative Universe opens like a flower from  
the Earth's centre

In which is Eternity.

と言われるように Blake は「27の天」を否定せず、それらの中に「永遠界」を見るのであり、それらは不完全であるが、Blake の真のキリスト教に到るプロセスとして存在すると考えられているようである。さらにプレート 13 の最終行から 14 の第1行目にかけて

For every thing exists & not one sigh nor smile  
nor tear,

One hair nor particle of dust, not one can pass  
away.

と述べ、「溜息」「微笑み」「涙」「髪の毛」などに示される人間の細かな感情を温かく受入れ、人目を引く偉業のみが後の世まで語りつがれるのではなく、目立たない人間の生きざまがそのまま永遠に存在することが強調されている。第1章は始めプレート 14 で終わりであったが、最終的にはプレート 25 まで延長された。そこでは Albion の息子たちの横暴を中心に Albion の苦悩が繰り返し描かれるのである。

## 6. むすび

以上 *Jerusalem* 第1章を中心に分析し Blake の意図を追求してきた。Blake は対立する2つの精神界に言及した。Ulro は理性一色の世界であり、これは合理主

義に支配される18世紀の英国そのものであった。Blakeにとってそれは「自我」に支配され、お互いが争う修羅の巷であった。理神論がその元凶であり、Blakeの攻撃の的となったのである。Blakeは人々がImaginationに目覚め、「罪の許し」を実行し宇宙万物との融和と調和を心から願ったのであり、一見すると大胆な彼独特のキリスト教を主張することで、全く不振だった当時のキリスト教に息吹を与えようとしたと思われる。

註

1) D.J.Sloss and J.P.R.Wallis, *The Prophetic Writings of Blake* (Oxford:At the Clarendon Press,1957), I, p.437.

S.F.Damon, *William Blake:His Philosophy and Symbols* (Gloucester, Mass.;Peter Smith,1958), p.185,p.195.

E.J.Ellis and W.B.Yeats, *The Works of William Blake* (London, 1893),II,p.176.

2) Blakeの絵はDavid Bindman, *The Complete Graphic Works of William Blake* (Thames and Hudson,1978)による。

3) Blakeの作品からの引用はGeoffrey Keynes ed., *The Complete Writings of William Blake* (London: Oxford University Press,1969)による。

4) *The Complete Writings of William Blake*, p.615.

5) S.F.Damon, *A Blake Dictionary* (Providence, Rhode Island:Brown University Press, 1965),pp.87-88.

6) *The Marriage of Heaven and Hell* および *The Everlasting Gospel* などに特に顕著である。

7) *Blake Records*,ed.by G.E.Bentley (Oxford: Clarendon, 1969), p.548.

8) *The Complete Writings of William Blake*, pp. 346-347.

9) 拙著 「ブレイクの「四つのゾア」について」 「イギリス・ロマン派研究」第18号(1994年)

10) S.F.Damon, *A Blake Dictionary*,p.260.

11) *Ibid.*,p.445.

12) *Ibid.*,p.416.

13) *Ibid.*, p.126.

14) *Ibid.*, PP.162-165.

15) *Ibid.*,p.447.

16) *Ibid.*, p.297.

17) *The Complete Writings of William Blake*,p.818.

18) S.F.Damon, *A Blake Dictionary*,p.85.

19) *Ibid.*,pp.181-182.



# Zur „religiösen Vorstellung“ von Goethes Faust — unter dem Berührungspunkt mit der indischen Philosophie und Religion —

Hideshige OMURA und Marcell Wenzel CHALUPA

(Received 9 May 1997, Accepted 20 August 1997)

## Abstract

Goethe said to Eckermann, when he had completed the fifth act of Faust II: Gerettet ist das edle Glied/ Der Geisterwelt vom Bösen;/ Wer immer strebend sich bemüht./ Den können wir erlösen./ Und hat an ihm die Liebe gar/ Von oben teilgenommen./ Begegnet ihm die selige Schar/ Mit herzlichem Willkommen./ "In these verses", he said, "is included the key of Faust-salvation. Faust himself is involved in more and more pure and high action to the last hours and in the eternal love that is redemption, from that we are becoming blessed not through exertion, ourselves of but through appendant sacred faculty". Why heretic Faust harmonize with our religious conception? The essential thing is Faust-emanzipation. The conception of Faust emanzipation coincide more with the ancient indian philosophy and religion i.e. with Baghavadvitā than with the prevaild Christian- Roman-Catholicism. This work try to compare between Goethes Faust and Baghavadvitā that Wilhelm von Humboldt praises highly in the way of wisdom and perfection in both of them.

Keyword: Faust, die religiöse Vorstellung, Baghavadvitā

## Vorwort

Am Montag den 6. Juni 1831 hatte Goethe den Schluß von seiner Dichtung „Faust“, den fünften Akt vollendet. anschließend hatte er sich in ein Gespräch mit seinem Sekretär Eckermann zu seiner religiösen Vorstellung eingelassen. „Was ist denn seine religiöse Vorstellung?“ Eckermann im Gespräch mit Goethe am Montag den 6. Juni 1831.

Goethe zeigte mir heute den bisher noch fehlenden Anfang des fünften Aktes von »Faust«. Ich las bis zu der Stelle, wo die Hütte von Philemon und Baucis verbrannt ist, und Faust in der Nacht, auf dem Balkon seines Palastes stehend, den Rauch riecht, den ein leiser Wind ihm zuwehet.

Die Namen Philemon und Baucis, sagte ich, versetzen mich an die phrygische Küste, und lassen mich jenes berühmten altertümlichen Paares gedenken; aber doch spielet unsere Szene in der neueren Zeit und in einer christlichen Landschaft.

»Mein Philemon und Baucis«, sagte Goethe, »hat mit jenem berühmten Paare des Altertums und der sich daran knüpfenden Sage nichts zu tun. Ich gab meinem Paare bloß jene Namen, um die Charaktere dadurch zu heben. Es sind ähnliche Personen und ähnliche Verhältnisse, und da wirken denn die ähnlichen Namen durchaus günstig.«

Wir redeten sodann über den Faust, den das Erbteil seines Charakters, die Unzufriedenheit, auch im Alter nicht verlassen

hat, und den, bei allen Schätzen der Welt, und in einem selbstgeschaffenen neuen Reiche, ein paar Linden, eine Hütte und ein Glöckchen genießen, die nicht sein sind. Er ist darin dem israelitischen König Ahab nicht unähnlich, der nichts zu besitzen währte, wenn er nicht auch den Weinberg Naboths hätte.

»Der Faust, wie er im fünften Akt erscheint«, sagte Goethe ferner, »soll nach meiner Intention gerade hundert Jahr alt sein, und ich bin nicht gewiß, ob es nicht etwa gut wäre, dieses irgendwo ausdrücklich zu bemerken.«

Wir sprachen sodann über den Schluß, und Goethe machte mich auf die Stelle aufmerksam, wo es heißt:

Gerettet ist das edle Glied  
Der Geisterwelt vom Bösen:  
Wer immer strebend sich bemüht,  
Den können wir erlösen,  
Und hat an ihm die Liebe gar  
Von oben teilgenommen,  
Begegnet ihm die selige Schar  
Mit herzlichem Willkommen.

»In diesen Versen«, sagte er, »ist der Schlüssel zu Fausts Rettung enthalten. In Faust selber eine immer höhere und reinere Tätigkeit bis ans Ende, und von oben die ihm zu Hilfe kommende ewige Liebe. Es steht dieses mit unserer religiösen Vorstellung durchaus in Harmonie, nach welcher wir nicht bloß durch eigene Kraft selig werden, sondern durch die hinzukommende göttliche Gnade.

Übrigens werden Sie zugeben, daß der Schluß, wo es mit der geretteten Seele nach oben geht, sehr schwer zu machen war,

\*1.Common Subject Division, Muroran Institute of Technology.

und daß ich, bei so übersinnlichen, kaum zu ahnenden Dingen, mich sehr leicht im Vagen hätte verlieren können, wenn ich nicht meinen poetischen Intentionen, durch die scharf umrissenen christlich-kirchlichen Figuren und Vorstellungen, eine wohltätig beschränkende Form und Festigkeit gegeben hätte.«

Den noch fehlenden vierten Akt vollendete Goethe darauf in den nächsten Wochen, so daß im August der ganze zweite Teil geheftet und vollkommen fertig dalag. Dieses Ziel, wonach er so lange gestrebt, endlich erreicht zu haben, machte Goethe überaus glücklich. »Mein ferneres Leben«, sagte er, »kann ich nunmehr als ein reines Geschenk ansehen, und es ist jetzt im Grunde ganz einerlei, ob und was ich noch etwa tue.«<sup>1)</sup>

Das Gespräch zwischen Goethe und seinem Sekretär Eckermann ist wohl bekannt. Der Inhalt bietet auch einen Schlüssel, hier, zu Faust Rettung.

Seine religiöse Vorstellung ist selbstverständlich die Christliche. Diese steht selbstverständlich in Harmonie mit dem religiösen Gefühl der Goethe-Zeit, doch zeichnet kaum eine Übereinstimmung mit der Erlösung des Ketzers Faust.

Hier kommt es zu der Grundsatzfrage, was eigentlich Erlösung ist?

Nach Goethes religiösen Vorstellung werden wir nicht nur durch unsere eigene Kraft selig, durch unsere eigene Taten die unseren Lebensweg zeichnen und für die wir verantwortlich sind, sondern durch die hinzukommende göttliche Gnade.

Die allumfassende und spirituelle göttliche Gnade, der wir uns zuwenden, ohne mit Sicherheit zu wissen, was sie ist.

## 1. Faust und Śakuntalā

Am 1. Juni 1791 schrieb Goethe in einem Brief an Jacobi das Epigramm:

„Will ich die Blumen des frühen, die Früchte des späteren Jahres,

Will ich was reizt und entzückt, will ich was sättigt und nährt,

Will ich den Himmel die Erde mit Einem Namen begreifen;

Nenn ich Sakontala dich und so ist alles gesagt.“<sup>2)</sup>

Erst im 1797 wurde „Sakontala“ aus der Englischen Übersetzung ins Deutsche durch Goethe und Herder übertragen. Herder schrieb sehr begeistert folgende Verse:

„Wo Sakontala lebt mit ihrem entschwundenen Knaben, wo Duschmanta sie neu, neu von den Göttern empfängt.

Sei mir begrüßt, o heiliges Land, und du Führer der Töne, Stimme des Herzens, erhebe' oft mich im Äther dahin.“<sup>3)</sup>

G.Forster schrieb wohl die schnellste Antwort an Goethe, nach dem er das übersetzte Drama von ihm erhalten habe. Leider kann man den Brief, bis auf den Epigramm an Jacobi, von dem wir annehmen, daß er als Bestand des Briefes war, nicht mehr finden.

„Durch vier Jahrzehnte hindurch können wir Goethes Begeisterung für indische Drama verfolgen“ schrieb Gerhard Steiner in seiner Erläuterung der Georg Forsters Werke Bd. 7, und „es war Heinrich Heine, der wohl zum ersten Male darauf hinwies, daß das-Vorspiel auf dem Theater -im Goethes Faust sein Vorbild in dem Prolog der Sakontala hat.“<sup>4)</sup>

Goethe konnte noch nicht wissen, daß ein solches Vorspiel, in dem nach einem Eröffnungsgebet der Schauspieldirektor auftritt und ein Gespräch mit Schauspielerin oder mit dem Dichter über das zu spielende Stück führt, ist ein Bestandteil jedes Sanskrit-Dramas.

Wenn Goethe im gleichen Jahr, in dem das Faust-Vorspiel entstand, den in Sonnerals Reisebeschreibung gefundenen indischen literarischen Stoff zu einer seiner Ballade, „der Gott und die Bajadere“ bearbeitet, durchdringt ihm die Gedanken und Motive der Gleichheit der Menschen. Indem er die, den neideren Kaste angehörende Bajadere zur Gattin des höchsten Gottes erhebt, und das Motiv mit der Liebesfähigkeit, die selbst durch tiefes Verderben nicht zerstört wird, verbindet, dann liegt dieser Ideengehalt des Gedichtes durchaus im Bereich der durch die Sakuntala bewegten Gedanken.

Am 1. Februar 1811, vermerkt Goethe in seinem Tagebuch: „Gespräch über Sakontala“---, und in den „Zahmen Xenine“

finden sich wieder Einflüsse der indischen Dichtung in folgenden Versen:

Was will man denn vergnüglicher wissen!

Sakontala, Nala die muß man küssen.....<sup>5)</sup>

Im Sommer 1818 bekam Goethe die englische Originalübersetzung von Johns in die Hände. Am 18. Mai 1819 vermerkt er in seinem Tagebuch:

„Sakontala gelesen“. Diese Dichtung, die ihm so beeinflusste, inspirierte ihm dann im Jahre 1821 eine „Betrachtung über die Indische Dichtung“<sup>6)</sup> zu schreiben. Wir würden höchst undankbar sein, wenn wir nicht indischer Dichtungen gleichfalls gedenken wollten, und zwar solcher, die deshalb bewundernswürdig sind, weil sie sich aus dem Konflikt mit der abstrusesten Philosophie auf einer und mit der monströsesten Religion auf der andern Seite im glücklichsten Naturell durchhelfen und von beiden nicht mehr annehmen, als ihnen zur innern Tiefe und äußern Würde frommen mag.

Vor allen wird „Sakontala“ von uns genannt, in deren Bewunderung wir uns jahrelang versenkten. Weibliche Reinheit, schuldlose Nachgiebigkeit, Vergeßlichkeit des Mannes, mütterliche Abgesondertheit, Vater und Mutter durch den Sohn vereint, die allernatürlichsten Zustände, hier aber in die Regionen der Wunder, die zwischen Himmel und Erde wie fruchtbare Wolken schweben, poetisch erhöht, und ein ganz gewöhnliches Naturschauspiel durch Götter und Götterkinder aufgeführt. Nach vielen Jahren kam Goethe wieder in den Kontakt mit Sakuntala Dichtung in der ersten Ausgabe der „Sakontala“ die Antonie Leonard de Chezy in Paris herausbrachte. Gerhard Steiner schrieb darüber folgendes: Der französische Indologe sandte dem Dichter ein Exemplar, und Goethe trat bei der Beschäftigung mit diesem Buch die vier Jahrzehnte zurückliegende erste Begegnung mit der Dichtung in frischen Farben vor Augen. In seiner Antwort an Chèzy betont er in dankbarer Erinnerung an Forsters Übersetzungsleistung, das erste Mal als er „dieses unergründliche Werk“<sup>7)</sup> gewahrt wurde, habe es in ihm einen solchen Enthusiasmus erregt und ihn derart angezogen, daß er es „zu studiren nicht unterließ“ und erwo, wie er es der deutschen Bühne aneignen könne. „Durch diese wenn gleich fruchtlosen Bemühungen bin ich mit dem höchst schätzbaren Werke so genau bekannt geworden, es hat eine solche Epoche in meinem Lebensgange bestimmt, es ist mir so eigen geworden, daß ich seit dreißig Jahren weder das Englische noch das Deutsche je wieder angesehen habe.“ Der Dichter faßt seine Gedanken über diese indische Dichtung wie folgt zusammen: „Ich begreife erst jetzt den überschwenglichen Eindruck, den dieses Werk früher auf mich gewann. Hier erscheint uns der Dichter in seiner höchsten Function, als Repräsentant des natürlichsten Zustandes, der feinsten Lebensweise, der reinsten sittlichen Bestrebens, der würdigsten Majestät und der ernstesten Gottesbetrachtung: zugleich aber bleibt er dergestalt Herr und Meister seiner Schöpfung, daß er gemeine und lächerliche Gegensätze wagen darf, welche doch als notwendige Verbindungsglieder der ganzen Organisation betrachtet werden müssen.“

In den zeitgenössischen Rezensionen finden die Forsterschen Gedanken des Vorwortes und die Äußerungen Goethes, Heines und Herders einen Wiederhall.<sup>8)</sup>

Der echte, größte Wiederhall der indischen religiös-philosophischen Dichtung in der deutschen romantischen Schule. Friedrich von Schlegel (1772-1829) glaubte, daß er in der indischen Dichtung alle Wörter, die die Menschheit erschöpf war, die Quelle aller Gedanken und Dichtungen gesehen hätte. Weiter erhielt August Wilhelm Schlegel (1769-1845) die Stellung des sanskritischen Professors, veröffentlichte der Bhagavad-Gītā mit der lateinischen Übersetzung und der Rāmāyana.<sup>9)</sup> Und Wilhelm von Humboldt (Über dem Namen bekannte Episode des Mahābhārata; vortragen 1875 und 1876) war Sitzungsberichte Akademie der Wissenschaften Berlin erschien. 1827 schrieb er in einem Brief, die Übersetzung Wilhelm von Schlegel gelest, das sei Tiefsten, Höchsten, und sei dankbar für Das Schicksal, das mich bis heute leben und solch ein Buch lesen ließe.<sup>10)</sup> Es ist aber aus Mangel an Beweisen, daß Goethe das indische Epos Mahābhārata, die am größten in der Welt ist, oder Bhagavad-Gītā gelesen hatte. Doch stimmt Fausts Erlösung durchaus mehr mit der des religiös-philosophischen Gedichts-

Bhagavad-Gītā als mit der des Christlich-Kirchlichen überein. Auf den folgenden Seiten versuchen wir Goethes Faust mit Bhagavad-Gītā, wenn er sie gelesen hätte, wäre er voll des Lobes über sie gewesen, ebenso wie Humboldt, zu vergleichen und jeden Erlösungsweg zu zeigen.

## 2. Fausts „Tat“

Die folgenden Verse sind wohl bekannt:

Geschrieben steht; „Im Anfang war das Wort!“  
 Hierstock ich schon! Wer hilft mir weiter fort? 1225  
 Ich kann das Wort so hoch unmöglich schätzen,  
 Ich muß es anders übersetzen,  
 Wenn ich vom Geiste recht erleuchtet bin.  
 Geschrieben steht: Im Anfang war der Sinn.  
 Bedenke wohl die erste Zeile, 1230  
 Daß deine Feder sich nicht übereile!  
 Ist es der Sinn, der alles wirkt und schafft?  
 Was sollte stehen: Im Anfang war die Kraft!  
 Doch auch indem ich dieses niederschreibe,  
 Schon warnt mich was, daß ich dabei nicht bleibe, 1235  
 Mir hilft der Geist! auf einmal seh ich Rat  
 Und schreibe getrost: Im Anfang war die Tat!<sup>11)</sup>

Und doch im „Prolog im Himmel“ ein hintergründiger Gedanke von Goethe in Verse gesetzt, die auch sehr bekannt sind:

Es irrt der Mensch, solange er strebt.<sup>12)</sup>

Im Wort „streben“ fühlen wir ein Leistungsethos; z.B. man strebt danach, eine hohe Stellung zu übernehmen, oder man strebt nach einer zu bekommen u.s.w. So, obwohl Faust Margarete tief liebte, doch, richtete er sie doch zugrunde, nahm eine wichtige Stellung als Staatsrat in der Kaiserliche Pfalz, ließ die Finanzpolitik des Staats zusammenbrechen, und doch gerade hundert Jahre alt Faust wieder „strebt“.

Das sind Fausts „Bestrebungen“, im diesen Falle bedeuten sie sozusagen nach dem F. Paul; Goethe-Wortschatz „sich heftig bewegen“ oder „ringen“<sup>13)</sup> und „irren“ nach dem Brockhaus Wahrig Deutschen Wörterbuch „auf den falschen Weg zu sein“ oder „einem Irrtum zu begehen“<sup>14)</sup>

Es irrt der Mensch, solange er strebt,  
 mit anderen Worten gesagt,

Es begehrt Irrtümer der Mensch, solange er lebt und ringt.

Die ähnliche Anschauung hat Bhagavadgītā, d.h. die Tätigkeiten der Menschen sind fehlerhaft, wenn sie gesellschaftlich edel sind.

Oh Kuntī-Sohn, die durch Geburt bestimmte Tätigkeit soll man nicht aufgeben, selbst wenn die von Übel sein sollte.

Denn so wie Feuer von Rauch, sind alle Unternehmungen von Übel umgeben.<sup>15)</sup>

Also wird sogar „ein arger Bösewicht“ erlöst:

Selbst wenn ein arger Bösewicht mich [der Herr der Götter] liebt und nichts anderes [neben mir], so muß er für Gur erachtet werden; denn er ist von rechtem Entschluß.

Schnell wird er frommgesinnt und auf ewig der Ruhe teilhaft. O Sohn der Kuntī, erkenne es: wer mich liebt, geht nicht zugrunde.<sup>16)</sup>

Die selben Anschauungen gibt es auch Buddhismus; z.B. die japanische buddhistische Schule von Shinran (1174-1262), d.h. Jodo-shin-shu (wahre Schule des Reinen Landes).

Hiervon können wir das Kapitel 3. [Der Böse ist der Bevorzugte] von Tan-Ni-Sho (Die Gunst des reinen Landes--Traktat von der Klage um die Glaubens--aus „Begegnung zwischen Buddhismus und Christentum“ zitieren.

Wenn schon die Guten hin geboren werden können, dann erst recht die Bösen! Trotzdem sagt man aber immer: Wenn schon die Bösen hingeboren werden können, dann erst recht die Guten. Diese Auffassung ist anscheinend auf den ersten Blick begründet. Sie widerspricht indessen der Bedeutung, welche der Anderen Kraft des Gelöbnisses zukommt.

Denn wer durch seine eigene Kraft das Gute leisten will, dem fehlt der Glaube, sich einzig und allein auf die Andere Kraft zu verlassen.

Wenn er jedoch seine eigene Kraft verwandeln läßt und sich ganz der Anderen Kraft anvertraut, kann er in das Wahre Land hingeboren werden, welches das Gelöbniß verheißen und eigentlich immer schon erfüllt hat.

Weil wir wegen unseren Begierden nicht imstande sind, durch irgendein gutes Werk dem ewigen Kreislauf von Geburt und Tod zu entrinnen, hat Amida-Buddha aus tiefem Trauern und Erbarmen sein Gelöbniß abgelegt. Und weil die eigentliche Absicht Amida-Buddhas in nichts anderm liegt, als daß der sich auf die Andere Kraft verlassen hat, das wesentliche Ziel Buddhas.

In diesem Sinne sprach der selige Meister: Wenn schon die hingeboren werden können, dann erst recht die Bösen...

Der Erlösung der Bösen ist der typisch-japanischen Dialektik von Shinran aber auch die allgemeine Anschauung des Buddhismus, genauer gesagt, die indischen religiös-philosophischen Anschauungen. Als ein Beispiel werden wir im Folgenden versuchen, die Erlösung Fausts und Bhagavadgita ausführlicher zu erörtern.<sup>17)</sup>

## 3. Die Lücken und die Einheit des Faust

Die altindische größte Epos in der Welt Mahābhārata, in der Sakuntala und Nara inhaltlich in Verse bringt, und die Goethe begeisterten, fängt mit folgende Verse an. Dharma (die Tugend, das Recht), artha (die Nützlichkeit) und karma (die Liebe), die in der Mahābhārata enthalten sind, sind überall gefunden und es ist doch nirgends in der Welt, was in der Mahābhārata nirgends zu finden ist --- Wer die Mahābhārata geschenkt wird, der erhält überhaupt keine Druckerei der Bücher, sondern die ganze Welt der Erde.<sup>8)</sup>

„Vorspiel auf dem Theater“ des Faust kann man ähnlichen Verse finden:

Ihr wißt, auf unsern deutschen Bühnen  
 Probiert ein jeder, was er mag;  
 Drum schonet mir an diesem Tag  
 Prospekte nicht und nicht Maschinen.  
 Gebraucht das groß' und kleine Himmelslicht, 235  
 Die Sterne dürft ihr verschwenden;  
 An Wasser, Feuer, Felsenwänden,  
 An Tier und Vögeln fehlt es nicht.  
 So schreitet in dem engen Bretterhaus  
 Den ganzen Kreis der Schöpfung aus 240  
 Und wandelt mit bedächt'ger Schnelle  
 Vom Himmel durch die Welt zur Hölle.<sup>9)</sup>

Wir können zwar nicht davon zeugen, ob Goethe die Bagavadgītā las oder nicht, wie Wilhelm von Humboldt im zwanzigeren Jahre des 19. Jahrhunderts, aber Bagavadgītā sowohl als auch Goethes Faust hat die allgemeine religiös-philosophische Anschauung: Hier handelt es sich um die Erlösung der Seele des Menschen.

1936 hat deutscher Ausländerlektor Bruno Petzold erst in Goethe-Gesellschaft in Japan den Aufsatz über der Goethe und Indische Philosophie, genauer gesagt, „Goethe und Mahāyāna Buddhismus“ veröffentlicht.<sup>20)</sup> Seither sind die Abhandlungen nicht soviel, wie auch Shinichi Hoshino, der „Goethe und buddhistische Philosophie“ 1984 veröffentlicht<sup>21)</sup> hat, darauf hingewiesen hatte. Heutzutage sind zwei Aufsätze festzuhalten; „Goethe und Mahāyāna Buddhismus“ von Eiho Onuma<sup>22)</sup> und die buddhistische Faust-Rezeption“ von Takeo Ashizu.<sup>23)</sup>

Übrigens ist die Thematik der vorliegenden Arbeit die religiöse Vorstellung nicht von Goethe, sondern von Goethes Faust. Die besagten Arbeiten sind nicht die vergleichenden Literatur oder Gedanken mit Goethes Faust, sondern mit Goethe. Unsere Methodik geht es klar um die Hermeneutik. Dem Forscher geht es nur um die Worte, der Forscher soll die Sprache der Dichter im Sinn haben: wir sollen nicht mit Goethes Wort über Faust, sondern mit seinem Wort in Faust dessen religiöse Vorstellung interpretieren.<sup>24)</sup>

Wie schon geschrieben,

Es irrt der Mensch, solange er strebt.  
 mit andern Worten,

Es begehrt Irrtümer, solange er lebt und ringt.

In der Tat hat auch im gerade hundert Jahre alt „das Erbteil seines Charakter“ Faust nicht verlassen „und den, bei allen Schätzen der Welt, und in einem selbst-geschaffenen neuen Reiche, ein paar Linden, eine Hütte und ein Glöckchen genießen, die nicht sein sind. Er ist darin dem israelischen König Ahab nichts unähnlich, der nichts zu besitzen wähnte, wenn er nicht

auch den Weinberg Naboths hätte.“ Warum ist es „In Faust selber eine immer höhere und reinere Tätigkeit bis ans Ende“? Der Widerspruch der Erklärung von Goethe selbst ist doch klar! Auch wir können zugeben, „daß der Schluß, wo es mit der geretteten Seele nach oben geht sehr schwer zu machen war.“ Aber wir können nicht leicht die folgende Erklärung zugeben, „daß ich, bei so übersinnlichen, kaum zu ahnenden Dingen, mich sehr leicht im Vagen hätte können, wenn ich nicht meinen poetischen Intentionen, durch die scharf umrissenen christlich-kirchlichen Figuren und Vorstellungen, eine wohlthätig beschränkende Form und Festigkeit gegeben hätte.“ Ist es Antichristlich-Kirchliches, daß Faust, der bis ans Ende Gott nicht glauben wollte, wird „durch die scharf umrissenen christlich-kirchlichen Figuren und Vorstellungen“ erlöst.

FAUST: Ich bin nur durch die Welt gerannt;  
 Ein jed' Gelüst ergriff ich bei den Haaren,  
 Was nicht genügte, ließ ich fahren, 11435  
 Was mir entwischte, ließ ich ziehn.  
 Ich habe nur begehrt und nur vollbracht  
 Und abermals gewünscht und so mit Macht  
 Mein Leben durchgestürmt; erst groß und mächtig,  
 Nun aber geht es weise, geht bedächtigt. 11440  
 Der Erdenkreis ist mir genug bekannt,  
 Nach drüben ist die Aussicht uns verrannt;  
 Tor, wer dorthin die Augen blinzelnd richtet,  
 Sich über Wolken seinesgleichen dichtet!  
 Er stehe fest und sehe hier sich um; 11445  
 Dem Tüchtigen ist diese Welt nicht stumm.  
 Was braucht er in die Ewigkeit zu schweifen!  
 Was er erkennt, läßt sich ergreifen.  
 Er wandle so den Erdentag entlang;  
 Wenn Geister spuken, geh' er seinen Gang, 11450  
 Im Weiterschreiten find' er Qual und Glück,  
 Er, unbefriedigt jeden Augenblick!<sup>25)</sup>

Nun, was bedeutet „eine immer höhere und reinere Tätigkeit bis ans Ende“? Es tönt, als ob es in Faust eine besondere Idee gäbe. Aber vor den vier Jahren am 6. Mai 1827 antwortete Goethe zu Eckermann, daß er in Faust irgendeine Idee nicht konkretisiert hätte, wenn er die reichliche, bunte und doch vielfache Leben des Faust durch einen konsequente Faden gesponnen hätte, wirklich herrlich würde. Vom Himmel auf die Erde und auch zur Hölle, das wäre etwas bedeutsam, aber das wäre gar nicht Idee, sondern Handlung. Dann der Teufel verliert Wette oder der durchs gründlichen Irrtümer immer strebende Mensch wird erlöst. Das wäre zwar eine nützliche, gute Gedanke, der vieles erklärt, doch keine besondere Idee, die durchs Ganze und Einzelne liegt. Die innerlich gehabten Eindrücke und Intuitionen hätte er als Dichter künstlerisch vollgezogen und gestaltet lebendig ausgedrückt, wie andere beim Hören und Lesen die genauen Eindrücken haben.<sup>26)</sup>

Goethe selbst erkannte und schrieb in den letzten Briefe an Wilhelm von Humboldt, daß der zweire Teil des Faust als Ganzes „rückenhaft blieb<sup>27)</sup>“ oder „im Zweyten Theil Lücken blieben, durch ein gleichmäßiges Interesse mit dem Uebrigen zu binden.“<sup>28)</sup>

„Von meinem Faust ist viel und weniger zu sagen; gerade zu einer günstigen Zeit fiel mir das Dictum ein:

Gebt ihr euch einmal für Poeten,  
 So commandirt die Poesie;

und durch eine geheime psychologische Wendung, welche vielleicht näher studirt zu werden verdiente, glaube ich mich zu einer Art Produktion erhoben zu haben, welche bey völligen Bewußtseyn dasjenige hervorbrachte, was ich jetzt noch nicht selbst billige, ohne vielleicht jemals in diesen Flusse wieder zu können, ja was Aristoteles und andre Prosaisten einer Art von Wahnsinn zuschreiben würden.“<sup>28)</sup>

Und anders ausgedrückt;

„Die Organe des Menschen durch Uebung, Lehre, Nachdenken, Gelingen, Mißlingen, Förderniss und Widerstand und immer wieder Nachdenken verknüpfen ohne Bewußtseyn in einer Freyen Thätigkeit des Erworbene mit dem Angeborbenen, so daß es eine Einheit hervorbringt, welche die Welt in Erstaunen setzt.“<sup>28)</sup>

Daß zwar der zweite Teil des Faust als Ganzes „rückenhaft blieb“, doch „es eine Einheit hervorbringt, welche die Welt in

Erstaunen setzt“, das ist Goethes Faust! Nun, was für eine Einheit es hervorbringt? Hier ist die Rede vom indischen religiös-philosophischen Epos Bhagavadgītā, der Wilhelm von Humboldt höchstes Lob spendete.

#### 4. Die Erlösung des Faust und der Bhagavadgītā

Was bedeutet „eine immer höhere und immer reinere Tätigkeit“ des Faust? Das bedeutet, mit anderen Worten, in der Tat eine immer habgierigere, immer unzufriednere und geizigere Tätigkeit. Hier gibt es kein Bereuen seiner Sünde und Irrtümer, keine moralische Haltung und auch kein Leistungsethos. Er hat immer noch, hundert Jahre alt, einen Charakter der ewigen Unzufriedenheit, „das Erbteil seines Charakters“. Wie schwer den Schluß, dh. die Erlösung des Faust zu schreiben ist, gestand Goethe zu Eckermann. Wie zufrieden er damit war, kann man verstehen; „Mein fernes Leben“ sagte Goethe, „kann ich nunmehr als ein reines Geschenk ansehen, und es ist jetzt im Grunde ganz einerlei, ob und was ich noch etwa tue.“ Nunmehr ist der Erlösungsgedanken mit der Bhagavadgītā zu vergleichen. Was eine immer höhere und immer reinere Tätigkeit ist, ist gerade Thematik der Bhagavadgītā! Und zwar ist es interessant, Kāra (Zeit) die Hauptthema der Mahābhārta einschließlich der Bhagavadgītā zu sein. Denn in Faust handelt es sich um einen Augenblick (Zeit);

Werd' ich zum Augenblicke sagen: 1700  
 Verweile doch! du bist so schön!  
 Dann magst du mich in Fesseln schlagen,  
 Dann will ich gern zugrunde gehn!  
 Dann mag die Totenglocke schallen,  
 Dann bist du Deines Dienstes frei,  
 Die Uhr mag stehn, die Zeiger fallen, 1705  
 Es sei die Zeit für mich vorbei!<sup>29)</sup>

Alle Vergängliche der Menschen, die mit Kāra (Zeit), Teufel (Todesgott) und Schicksal gespielt werden---das ist die Hauptthema der Bhagavadgītā. Die Charaktere in der Gita leben ihr vergängliches Leben, ertragen das harte Schicksal, dem sie überlassen werden, erlegen ihre Pflichten mit heftigen Leidenschaften und starken Willen auf, geben ihre Tätigkeiten hin, die bestimmt werden. Das ist die Thematik und Handlung des Faust.

Bhagavadgītā [Gesang Gottes] ist am Anfang der Mahābhārata Bd.6. „der Krieg Bhīṣma“. Kurz vor dem Krieg Bhīṣma, der von nun an ausbricht, der Held Arjuna, der mächtige Krieger, findet im Heer des Feindes seine Verwandte und seine verehrten Lehrer---so will er nicht kämpfen und überleben, um sogar sie zu ermorden, sagt er seinem vertrauten Freund Kṛṣṇa [in Wahrheit die Verkörperung des Herrn der Götter], daß er nicht kämpfe. Der Gesichtspunkt der Indien nach entsteht nicht gute, vielmehr schlecht Wirkungen, wenn man etwas tut, sanskritisch gesagt, karman, ebensowie in Goethes Faust;

Es irrt der Mensch, solang er strebt.

Wenn der Held Arjuna seine eigene soziale Pflicht tut, muß er viele Menschen einschließlich seiner Verwandten und seiner verehrten Lehrer ermorden. Er fragte Kṛṣṇa, was er machen soll, damit er seine Pflicht erfüllt und zwar in Sünde nicht fällt. Kṛṣṇa antwortet, Arjuna ermutigend:

Aber auch, wenn du meinst, daß er geboren werde und beständig sterbe, darfst du doch, o Starkarmiger, ihn nicht beklagen.

Denn dem Geborenen ist das Sterben sicher, und ebenso dem Gestorbenen das Geborenwerden. Deshalb darfst du nicht um eine Sache klagen, die unvermeidlich ist.<sup>30)</sup>

Freude und Schmerz, Gewinn und Verlust, Sieg und Niederlage für gleich erachtend, rüste dich also zum Kampf; so wirst du keinen Makel auf dich laden.<sup>31)</sup>

Wenn man vom alles Relatives frei wird und sich jedes Ding unparteiisch anschauen kann, ist man in seiner Freier gar nicht zu beschränken; d.h. geht man in den Erleuchtungsweg. Kṛṣṇa in der Bhagavadgītā nimmt immer wieder Arjuna die erfolglose Tätigkeit in Anspruch.

Dein Interesse [aber] sei nur auf das Handeln gerichtet, niemals auf dessen Früchte des Handelns bestimmen, [aber] neige [auch] nicht zur Untätigkeit.

In Ergebung (yoga) vollbringe deine Werke, laß [allen] Hang [nach Sinnesfreuden] fahren, o Schätzerbeuter, und bleibe im

Gelingen und Mißlingen der gleiche. Gleichmut heißt „Ergebung“.<sup>32)</sup>

Hier ist das erste Prinzip der yoga (Ergebung) „Gleichmut“ gepredigt. Hören wir auch offenerherzig seine Predigt!

Und schreibe getrost: Im Anfang war die Tat!

So überträgt Faust die Bibel in sein eigenes Wort: Mit folgendem sagt Kṛṣṇa, als ob er Faust Seele durchschauen hätte.

Wer die Ergebung des Herzens besitzt, achtet hier [in diesem Leben] beides nicht, weder Verdienst noch Schuld. Darum befließige dich der Ergebung. Ergebung bedeutet Geschicklichkeit zu [allen] Werken.<sup>33)</sup>

Hier ist das zweite Prinzip der Yoga gepredigt: Den Goethes Worte nach ist es „immer höhere immer reinere Tätigkeit“.

Wenn jemand alle Wünsche, die in seinem Herzen ruhen, fahren läßt, o Sohn der Prthā, in sich selbst und durch sich selbst befriedigt, dann heißt er einer, dessen Weisheit festgegründet ist. Wessen Herz in Schmerzen nicht erzittert, wer frei ist vom Verlangen nach Freuden, frei von Begier, Furcht und Zorn, der heißt ein Wasser, dessen Einsicht festgegründet ist.

Wer allem ohne Verlangen gegenübersteht und, was ihm auch von angenehmen oder unangenehmen Dingen zuteil werde, weder Freude noch Abneigung empfindet, dessen Weisheit ist von Bestand.<sup>34)</sup>

Nun fragt Arjuna Kṛṣṇa dagegen, warum er zur schrecklichen Tätigkeit des Krieges anzutreiben, wenn die Weisheit der Tätigkeit überlegen ist. Kṛṣṇa antwortet;

[Aber] weder gelangt der Mensch dadurch, daß er keine Werke unternimmt, in [den Zustand der] Werklosigkeit, noch erreicht er die Vollkommenheit durch bloße Weltflucht.

Denn niemals verharrt Jemand auch nur einen Augenblick, ohne Werke zu vollbringen; ohne es zu wollen wird ein Jeder ja von den materiellen Guṇas zur Ausübung von Werken angetrieben.<sup>35)</sup>

Solch einer Einsicht ist dem Goetheschen Ausdruck nach „Urphänomen“ oder „Metamorphose“ der Molekülbio-logie nach, man sagt, daß es mit „DNA“ bestimmt ist: Wie der Faust, „den das Erbteil seines Ckarakters, die Unzufriedenheit, auch im Alter nicht verlassen hat, und den bei allen Schätzen der Welt, und einem selbstgeschaffenen neuen Reiche, ein paar Linden, eine Hütte und ein Glöckchen genießen, die nicht sein sind.“ Dafür sagt Kṛṣṇa;

Wer das so ins Rollen gebrachte Rad hier [auf Erden] nicht weiter dreht, Böses trachtend und an seinen Sinnen Lust habend, der, o Sohn Prthā, lebt umsonst.<sup>36)</sup>

Deshalb vollbringe du immerdar ohne Hang [zum Erfolg] dasjenige Werk, das getan werden muß; denn der Mann der ohne solchen Hang das [ihm obliegende] Werk vollbringt, erreicht das höchste [Ziel].<sup>37)</sup>

So zum Beispiel verbrennt Faust Philemon und Baucis mit ihrer Hütte bei lebendige Leibe, doch folglich hat er die ernsthafteste Sorge gewonnen.

Arjuna sagt;

Wodurch aber angetrieben tut der Mensch hier Böses, selbst wider seinen Willen, o Sproß des Vṛṣṇi, als ob er mit Gewalt dazu gezwungen Würde?

Kṛṣṇa antwortet;

Das ist die Begierde, das ist die Wut, die aus dem Guna Rajas hervorgeht, die gefräßige, unheilvolle. Wisse, daß sie der Feind hier [auf Erden] ist.

Wie das Feuer vom Rauch umhüllt wird und der Spiegel vom Schmutz, wie die Frucht [im Mutterleibe] von der Eihaut umhüllt ist, so ist von jener [Begierde und Wut] diese [Erkenntnis] umhüllt.

Umhüllt ist der Erkenntnis von diesem ewigen Feinde des Erkennenden, der „Begierde“ heißt, o Sohn der Kunti, und ein unersättliches Feuer ist.

Die [äußeren] Sinne, der innere Sinn und das Verstandesorgan (buddhi) heißen sein Sitz; durch diese verblendet er, die Erkenntnis umhüllend, den Geist.

Deshalb halte du zuerst die Sinne im Zaum, o bester der Bharatas, und entsage jenem Bösen, der Erkenntnis und wissen vernichtet.

Hoch [erhaben] nennt man die Sinne, höher als der inneren Sinn; höher als innere Sinn ist das Verstandesorgan, ist Er [der Geist].

Erkenne ihn so als höher denn das Verstandesorgan, richte dich selbst durch dich selbst auf und vernichte, o Starkarmiger, den

Feind, dem schwer beizukommen ist, der „Begierde“ heißt.<sup>38)</sup>

Nachdem Faust die Sorge fortgehen ließ, sagt er in māyā (Trugbild) wegen der Blindheit;

Zum Augenblicke dürft' ich sagen;

verweile doch, du bist so schön!

Es kann die Spur von meinem Erdetagen

Nicht in Äonen untergehn.--

Im Vorgefühl von solchem hohen Glück

11585

Genieß ich jetzt den höchsten Augenblick.<sup>39)</sup>

Trotzdem wird er erlöst. kommen wir wieder auf der Bhagavadgīta zurück;

Kṛṣṇa sagt:

Zahlreich sind meine vergangenen Geburten, und [auch] deine, o Arjuna. Die kenne ich alle; du kennst sie nicht, o Bedränger der Feinde.

Obwohl ich ungeboren und unvergänglichen Wesens bin obwohl ich der Herr der Geschöpfe bin, werde ich [doch immer aufs neue] geboren, meiner Natur zufolge durch meine eigene Wunderkraft (maya)

Kṛṣṇa besteht aus der reinen geistlichen höhen und materiellen niedrigen prakṛti (Natur). Und yoga des Gottes, beide zu binden, dann folglich wendet māyā (prakṛti) an, und erscheint die Welt; Materie=Energie oder Ur-Materie=Vakuum Theorie in der modernen Physik, oder „die Materie. d.i.Leerheit, Leerheit d.i.die Materie, Leerheit wegen, d.i.Materie, außerhalb der Materie, d.i. keine Leerheit, was die Materie, d.i.Leerheit, was Leerheit, d.i.die Materie. Giko Takahashi hat die folgenden Verse des Faust mit dem Prajñāpāramitā-hṛdaya-sūtra mit erläutert:

Wölbt sich des bunten Bogens Wechseldauer,

Bald rein gezeichnet, bald in Luft zerfließend,

Umher verbreitend duftig kühle Schauer.

Der spiegelt ab das menschliche Bestreben.

4725

Ihm sinne nach, und du begreifst genauer:

Am farbigen Abglanz haben wir das Leben.<sup>40)</sup>

Alles Vergängliche

Ist nur ein Gleichnis;

12105

Das Unzulängliche,

Hier wird's Ereignis;

Das Unbeschreibliche,

Hier ist's getan;

Das Ewig-Weibliche

12110

Zieht uns hinan.<sup>41)</sup>

Übrigens sind Prakṛti als auch māyā das weibliche Prinzip in der indischen Religion und Philosophie. Die folgenden Worte des Kṛṣṇa, als ob es Fausts Worte wären.

Werke beflecken mich nicht, noch verlange ich nach der Werke. Wer mich so erkennt, der wird durch seine Werke nicht gebunden.

Mit solcher Erkenntnis wurde auch Erlösung trachteten, ihre Tätigkeit ausgeübt; darum übe du deine Tätigkeit aus, wie sie von den Alten in früher Zeit geübt worden ist.<sup>42)</sup>

Wie soll das Individuum dafür machen?--Kṛṣṇa antwortet über das zu kontrollierende Individuum;

Man erhebe sein Selbst durch das selbst, man erniedrige sein Selbst nicht; denn das Selbst ist Selbstes Freund, [aber] das Selbst ist [auch] des Selbstes Feind.

Das Selbst ist des Selbstes Freund bei demjenigen, von welchen das selbst bezwungen ist, bei demjenigen aber der seines Selbstes nicht Herr ist, wirkt das Selbst in Feindschaft, gleichwie ein Feind.<sup>43)</sup>

Wie der Held Arjuna als Pflicht sich zum Krieg begab, ging auch Faust, der von seinem Individuum voll war, um die Welt herum. Und endlich fragte Arjuna, was denn Kṛṣṇa ist Kṛṣṇa antwortet:

Ich bin die reife kāra (Zeit), die alle Welt vernichtet; der Menschen bewirkt, und habe mich hierher begeben, um die Menschen zu vertilgen [d.h. auch ohne dein Zutun] werden alle die Krieger, die in den sich feindlich begegnenden Schlachtreihen stehen, nicht [am Leben] bleiben.<sup>44)</sup>

Darum ergebe dich, erwirb Ruhm, besiege die Feinde und erfreue dich einer glücklichen Herrschaft! Von mir sind diese schon vorher getötet; nur das Werkzeug sei du, der du [auch] mit der linken Hand geschickt bist.

Die Vollendung des Goethes Lebenswerk Faust ließ ihm sagen „Mein ferneres Leben,---kann ich nunmehr als ein reines

Geschenk ansehen, und es ist jetzt im Grunde ganz einerei, ob und was ich noch etwa tue“ und Sakuntala, die ihm Idee von „Vorspiel auf dem Theater“ brachte, Nara und Gītā, der Wilhelm von Humboldt höchstes Lob spendete---das alles enthaltende Mahābhārata; ihre Thematik ist kāra, d.h. Zeit und Tod. Mit dem Alkanum sich verjüngter Faust war schon Hundert Jahre alt, an der Sorge gelitten, blind und kann nicht mehr kāra (Zeit) überwinden.

Zum Augenblicke dürft' ich sagen;  
Verweile doch, du bist so schön!<sup>46)</sup>

Er kann nur mit dem hypothetischen Kojunktiv sagen, ihm kāra gar nicht freistellen. Mit der mächtigen Kāra ist man geboren, altert und stirbt. Mahābhārata als auch Gītā sind Gedichte alles Vergängliches und der Leerheit der Menschen, die mit der Zeit gespielt werden. Und gleichfalls schließt Goethe Faust mit den Versen:

Alles Vergängliche  
Ist nur ein Gleichnis;<sup>47)</sup> 12105

Dann sagt Kṛṣṇa:

Wenn du der Überhebung fröhnend denkst „Ich will nicht kämpfen“, so ist dieser dein Entschluß eitel; [deine Kṣatrya-] Natur wird dich dazu treiben.

Durch deine angeborene Pflicht, o Sohn der Kuntī, gebunden, wirst du das, was du aus Unverstand nicht tun willst, auch ohne es zu wollen tun.

Gott wohnt im Herzen aller Wesen, o Arjuna, und läßt durch seine Wunderkraft (māyā) alle Wesen herumwirbeln [gleich Figuren] auf einer Puppenbühne.<sup>48)</sup>

Alles Vergängliche ist nur ein Gleichnis. Und zwar begeht es der Mensch Irrtümer, solange er lebt und ringt. Nun, was soll man machen, damit man tut und zugleich in Sünde nicht gerät? Kṛṣṇa antwortet:

Besser ist die mangelhafte [Erfüllung der] eigenen Pflicht als die rechte Ausübung der Pflicht eines Andern! Wer die ihm von Natur bestimmte Obliegenheit erfüllt, gerät nicht in Verschuldigung.

Von einer angeborene Obliegenheit, o Sohn der Kuntī, soll man sich nicht lossagen, wenn sie auch mit Übelständen umgeben, wie vom Rauche das Feuer.

Wessen Herz frei von Hang allen Dingen gegenüber ist, wer sich selbst bezwungen hat und begierdelos ist, der gelangt durch Entsagung zu der höchsten Vollkommenheit, das heißt zur Werklosigkeit.<sup>49)</sup>

Die Worte sind wohl durch die Verse des Faust zugleich zu ersetzen. Der Herr der Schöpfung Kṛṣṇa, wie in Prajñāpāramitā-hṛdaya-sūtra, „Unentstehen-Unvergehen“ „das Unzulängliche“, „das Unbeschreibliche“, wiederholt gesagt, entsteht durch seine eigene prakṛti (Natur) und seine eigene māyā (Trugbild). Auch schon gesagt, prakṛti als auch māyā sind das weibliche Prinzip in der indischen Religion und Philosophie. Ist das nur ein Zufall in der letzten Verse:

Das Ewig-Weibliche  
Zieht uns hinan.

Übrigens hat Lau-tse; TAO-TEH-KING auch das weibliche Prinzip.

Es heißt in dem 6. Kapitel:

Die Göttin in Tal stirbt nicht.  
Sie ist genannt: das mystische Weibliche  
Das Tor des Weiblichen,  
Es ist genannt: die Wurzel von Himmel und Erde.  
Das Tor ist dauerhaft, wie wenn es für immer bestände,  
Und unerschöpflich, wie oft es auch gebraucht wird.<sup>50)</sup>

### Anmerkungen

- 1) J.P.Eckermann; Gespräche mit Goethe, Reclam, Stuttgart, 1994, S.519ff.
- 2) Vgl. Georg Forsters Werke. Bd. 7. Erläuterungen, b, Wirkungsgeschichte von Georg Steiner. Akademie-Verlag, 1963. S. 487-502. Die Fußnote ist hier Wieder gedruckt. Forster empfing (nach seinem Postbuch) am 2. Juni 1791 einen Brief von Goethe (lt. dessen Postrechnungen abgeschickt am 30. Mai). Leitzmann schreibt dazu in der Vierteljahrsschrift für Literaturgeschichte 6 (1893) S. 155: „Dieser Brief muss Goethes Dank für Sakontala und seine

Distichen darüber enthalten haben.“ Siehe auch das in Fußnote 239 gebrachte Zitat aus Forsters Brief an Jacobi.

Beilage zu einem Brief Goethes an Jacobi vom 1. Juni 1791. Goethes Werke. IV. Abt. 9. Bd. Weimar 1891 S. 271. Zuerst in der Form „Will ich die Blumen...“ veröffentlicht in der „Deutschen Monatsschrift“ Mai bis Aug. 1791 S. 264, der „Neunten Beilage zu den Neuen Leipziger gelehrten Anzeigen vom Jahr 1792“ S. 80 (jeweils mit Fußnotenhinweis auf Forsters Übersetzung, vermutlich eine von Forster veranlaßte Einsendung des Verlags), und „МОСКОВСКОЙ ЖУРНАЛЪ“, IV Moskau 1792 S. 324. Herder brachte das Gedicht als Motto in der 4. Sammlung seiner „Zerstreuten Blätter“ (Gotha 1792) in der Form „Willt du die Blüthe...“ (Siehe auch Goethes Werke. [I.Abt.] 5. Bd. 2. Abt. Weimar 1910 S. 83). Brief Forsters an Jacobi vom 6. Aug.1791: „Auch mir hat Göthe diese Stanze von Sacontala geschrieben. Das liebe Geschöpf muß Herzen erbeuten, weil es so präventionslos ist.“

Am 22. Aug. 1791 bittet Goethe um die leihweise Übersendung des englischen Originals der Sakontala, das Forster (lt. Postbush: „c. Sacontala Engl.“) am 5. Sept. 1791 sandte. Goethe schickte am 25. Juni 1792 dies Exemplar „mit Danke“ zurück: „was Herder darüber gesagt werden Sie mit Vergnügen gelesen haben“.

- 3) Vgl.2) Herders Sämtliche Werke. XXIV. Berlin 1889 S. 666.
- 4) Vgl.2) S. 494.
- 5) Vgl.2) S. 494. Goethes Werke. 3. Bd. Gedichte II. TEIL WEIMAR 1890 S. 251.
- 6) Goethe, Hamburger Ausgabe (HA) 12. Bd. S. 301.
- 7) Vgl.2) S. 494. Fußnote
- 8) Vgl.2) S. 494f.
- 9) H. von Glasenapp, Das Indienbild deutscher Denker. K. F. Koehler, Stuttgart. S25.
- 10) Wilhelm von Humboldt, In, Wilhelm Halbfass, Indien und Europa. S. 106. u. 465.
- 11) Goethe, HA. 3. Bd. S44
- 12) Goethe, HA. 3. Bd. S18.
- 13) F. Paul, Goethe-Wortschatz. S606.
- 14) Brockhaus Wahrig, Deutschen Sprache. 6. Bd. S. 98.
- 15) Bhgavad-Gītā, Wege und Weisungen: Übersetzt von Peter Schreiner (im folgendem PS) 1991, Benziger/Zürich. XVIII-47. S. 133.
- 16) Die Bhagavadgītā: Übersetzt von Richard Garbe (im folgen den RG) 1921, H. Haessel/Leipzig. IX-30 S. 124.
- 17) TAN-NI-SHO--Die Gunst des reinen Landes, Begegnung zwischen Buddhismus und Christentum von Ryogi Okochi und Klaus Otte, 1979, Origo, Bern/Schweiz. S27.
- 18) Mahābhārata: Aus der japanischen Übersetzung von Motoo Yamagiwa, 1991, Sanichi Verlag/Tokyo. S13.
- 19) Goethe; (HA) S. 15.
- 20) In: Goethe Jahrbuch in Japan. 1936, S. 1-87.
- 21) Sinichi Hoshino: 1984, Shinju Verlag/Tokyo.
- 22) In: Studies in Comparative Philosophy. No. 12. 1985, S. 48-56.
- 23) In: Tozainokeru Faust. 1993, Dogakusha/Tokyo. S. 56-72.
- 24) Vgl: E. Staiger; Kunst der Interpretation. 1963, Alantis/ Zürich. S. 9-33.
- 25) Goethe; (HA) S. 344f.
- 26) J.P.Eckermann; ibid. 6. Mai 1827. S. 646-650.
- 27) Goethe; Weimarer Ausgabe IV Abt. 49. Bd. Nr. 121. An C.W. Humboldt, d. 1. Dez. 1831.
- 28) Goethe; Weimarer Ausgabe IV Abt. 49. Bd. Nr. 193. An C.W. Humboldt, d. 17. März 1832.
- 29) Goethe; (HA) 3. Bd. S. 57
- 30) (RG); ibid.II-26, 27. S. 86.
- 31) (RG); ibid.II-38. S. 87.
- 32) (RG); ibid.II-47. 48 S. 89.
- 33) (RG); ibid. II-50. S. 89.
- 34) (RG); ibid. II-55-57. S. 90.
- 35) (RG); ibid. III-3, 4. S. 93.
- 36) (RG); ibid. III-16. S. 94.
- 37) (RG); ibid. III-19. S. 94.
- 38) (RG); ibid. III-37-43. S. 97f.
- 39) Goethe; (HA) 3. Bd. S.
- 40) Goethe; (HA) 3. Bd. S. 149.

- 41) Goethe; (HA) 3. Bd. S. 364.  
42) (RG); ibid. IV-14, 15. S. 100.  
43) (RG); ibid. VI-5, 6. S. 108.  
44) (PS); ibid. XI-32. S. 106.  
45) (RG); ibid. XI-33. S. 134.  
46) Goethe; (HA) S. 348.
- 47) Goethe; (HA) S. 364.  
48) (RG); ibid. XVIII-59-61. S.164f.  
49) (RG); ibid. XVIII-47-49. S. 163.  
50) Lao-tse; TAO-TEH-KING. Das Heilige Buch von Weg und der Tugend. Aus dem chinesischen Text übersetzt von Tsutomu Itoh. Selbstverlag. 1981, S. 4.

---

ゲーテ「ファウスト」の宗教観  
—インド哲学・宗教との接点において—

大村英繁 マルセル・W・シャルーパ

概要

ゲーテが彼のファウスト第二部五幕を書き上げたとき、エッカーマンに語った。／悪の手から尊い一人が救われました。／たえず求めつつ努めるものをわれらは救うことができる。／そのうえ、この方には／天上から愛の手が差しのべられています。／神々しい群れが、この人を／心から歓迎しています。／「この詩句に」と彼は云った。「ファウスト救済の鍵がある。ファウスト自身には最後に至るまで、ますます高く、ますます純粋な活動があり、天からは彼を救おうとする永遠の愛がある。これは私達の宗教観とよく調和している。というのは宗教でも、神の恩寵が加わって初めて救済される、と説いているからだ。」異端者であるファウストの救済が、なぜ当時のキリスト教的、教会的な「宗教観とよく調和する」のだろうか。問題はファウストの救済にある。そこに示される救済観は、キリスト教的、教会的救済観よりも、古代インドの宗教および哲学のそれと、即ちバガヴァッド・ギーターのそれと実によく調和している。本稿は、ゲーテのファウストと、ヴィルヘルム・フォン・フンボルトを嘆賞せしめたバガヴァッド・ギーターとを比較し、両者における覚りへの道を示すものである。

キーワード：ファウスト、宗教観、バガヴァッド・ギーター

室蘭工業大学共通講座



# ハワイ語数詞の位置づけについて

塩谷 亨\*

## Status of Hawaiian numerals

Toru SHIONOYA

(原稿受付日 平成9年5月9日 論文受理日 平成9年8月20日)

### Abstract

Hawaiian numerals can be syntactically classified into two subgroups, (i) numerals denoting one through nine, and (ii) numerals denoting ten and over. Numerals in both of those subgroups can be used as determiners or as nouns. In order to modify a noun phrase, the numerals in the subgroup (i) occur as verbs, while numerals in the subgroup (ii) occur as nouns. Verbs in Hawaiian can be used as noun modifiers, in the same way, numerals in the subgroup (i), by themselves, can also modify noun phrases. Nouns in Hawaiian can modify other noun phrases by forming appositive phrases with the word *he* preceded. In the same way, when numerals in the subgroup (ii) modify a noun phrase, they form appositive phrases with the word *he* preceded.

Key words : Polynesian, Hawaiian, Grammar, Word class, Numeral

### 1. 序論

#### 1.1 数詞という範疇について

数詞は文法記述において広く用いられている範疇であり、それは数を表す語として意味論的には明確に定義される。しかしながら、いろいろな言語を見てみると、数詞は文法的には必ずしも一貫性を持った範疇ではないことがわかる。英語を例に見ても数詞は文法的には決定詞、代名詞、(叙述的)形容詞という三つの異なる機能がある。更にいろいろな言語を見てみると、同じ数詞という範疇に属する構成員の間に文法的特性の差異が見られる場合もある。例えば Corbett はロシア語の数詞について小さい数を表す数詞から大きな数を表す数詞へと少しずつ変化していく文法的特性

について報告している<sup>(1)</sup>。

#### 1.2 ハワイ語数詞の多様性

ハワイ語においても数詞というグループは文法的に多様である。ハワイ語数詞の多様性の一つは、その分布である。ハワイ語数詞の分布は、例(1)のように文頭に現れる場合、例(2)のように前置詞の後ろに現れる場合、例(3)のように名詞の後ろに現れる場合の三つの場合に大別される。

(1) Elua lāua lā...

two they

「彼らは二人だ...」F 146

(2) I loko o 'umi makahiki...

at inside of ten year

「10年間で」K 1893/12/16:1

(3) ...nā 'ano 'ekolu.

DEF-PL kind three

「三種類」T 11

\* 共通講座言語科学講座

ハワイ語数詞のもう一つの多様性は、一桁の数(9以下)を表す数詞(以下、一桁数詞と呼ぶ)と二桁以上の数(10以上)を表す数詞(以下、二桁数詞と呼ぶ)との間の文法的な違いである。形態論的な違いとして、一桁数詞は分類接頭辞'e-又は'a-が付加されるのに対し、二桁数詞にはそれは付加されない。両者の間には統語論的な違いもある。二桁数詞、または二桁数詞で始まる数詞が述語の位置に現れる場合には例(4)が示すように必ずheという単語が数詞の前に置かれる。heは前置詞と不定冠詞の機能が統合された語として分析される語であるが<sup>(2)</sup>、例(5)が示すように一桁数詞、または、一桁数詞で始まる数詞(200、2000等)の場合には付けなくても構わない。

(4) ... a he 'umi kapuai kona loa...

and INDEF 10 feet its length

「そしてその長さは10フィートだ。」M 15

(5) 'Elima kapuai kona ki'eki'e...

five feet its height

「その高さは五フィートだ」M 15

従って、ハワイ語の数詞の十分な記述は、(1)数詞の多様な分布、(2)数詞の中の文法的に異なる二つの下位グループ、という二つの点を網羅したものでなければいけない。

### 1. 3 ポリネシア語における数詞の扱われ方

従来のポリネシア語の文法記述には、数詞と他の品詞に属する語との比較などが充分になされないまま、ただ独立したクラスとして最初から別扱いされたままのものが多かった。塩谷がサモア語の数詞を他の品詞と比較した上で動詞の一種とする分析を示し<sup>(3)</sup>、それを受けて、Lazard & Peltzerも同様の分析がタヒチ語にも適用できる可能性を示唆している<sup>(4)</sup>。しかしながらハワイ語においてはこの分野については未だ充分な分析がなされていない。

現在最も詳しいハワイ語文法書であるElbert&Pukuiは、数詞は決定詞と冠詞無し所有形の間にかかる要素で、名詞の修飾成分としても用いられることがある、と記述しているだけで<sup>(5)</sup>、彼等は上記の例(4)と(5)で示される一桁数詞と二桁数詞の違いについても説明を与えておらず、上記の例(1)が示すような述語的に用いられている数詞の用法についても言及していないという点で不十分である。

### 1. 4 本稿の目的

本稿では今まで明確に記述されていなかった側面、すなわち、述語として用いられる数詞の用法、一桁数詞と二桁数詞の違いも含めてより包括的に数詞の諸

用法を記述し、それを一般化することを目的とする。

## 1. 5 データ

データとしてハワイ語で書かれた本や新聞等の出版物をもちいた。本稿中の例文ではその出典を略号とページで示した。略号は、E:Elbert 編 Hawaiian antiquities and folk-lore、K:ハワイ語新聞 Kuokoa、F:Pukui & Green 著 Folktales of Hawaii、B:Beckwith 編 Kepelino's tradition of Hawaii、L:Beckwith 編 Laieikawai、M:Mookini 編 O na holoholona wawae eha である。新聞については略号の次に年月日とページを表記した。

## 2. ハワイ語数詞の各用法の分析

### 2. 1 述語を形成する場合

#### 2. 1. 1 冠詞付き名詞句を伴う場合 数詞

が述語として用いられる場合には、後ろに冠詞要素を含む名詞句又は代名詞(以下、冠詞付き名詞句と呼ぶ)が来るか、冠詞要素を含まない名詞句(以下、冠詞なし名詞句と呼ぶ)が来るかによってその文が表す意味が異なる。後ろに冠詞要素を含む名詞句又は代名詞が来る場合は、述語となる数詞は単に主語となる冠詞付き名詞句の数量を表す。この用例は「~の人数は(何)人だ」という表現によく用いられる。一桁数詞の場合には、例(6)のように数詞自身が文頭に来るか、または例(7)のように前にhe(以下、前置詞-不定冠詞のように表記)をともなって現れる。

(6) 'Elua laua lä...

two they

「彼らは二人だ...」F 146

(7) He 'ehā ko lākou nui

INDEF four their quantity

「彼らの人数は4人だ。」F 107

又、二桁数詞の場合は、常に前にheを伴って現れる。

(8) He 'umikūmālima ko lākou nui...

INDEF 15 their quantity

「彼らの人数は15人だ。」L 351

#### 2. 1. 2 冠詞無し名詞句を伴う場合 数詞

が後ろに冠詞なし名詞句を伴って述語となる場合は存在文を形成し、例(9)のように「~が(いくつ)ある」という表現に用いられる。

(9) ...'elua wale nō lio i 'oi aku ka

two only animal ASPECT bigger

nui...

big

「より大きな動物は二つしかいない。」 M 15

又、例(10)のように後ろに冠詞なし所有形を含む名詞句が来る場合は存在ではなく所有を表す文を形成し、「～が(いくつ)～を所有している」という表現に用いられる。

(10) ...'elua ona pepeiao hao pōkole.

two its horn short

「それは二つの小さい角を持っている。」 M 19

存在文や所有文を形成する場合でも、前節の用法と同様に、一桁数詞は上の例(9-10)のように単独で文頭に来るか、例(11)のように he を伴って現れるが、二桁数詞は例(12)のように常に he を伴って現れる。

(11) He 'elua āna mau kaikamahine nunui

P-INDEF two his PL daughter big

ikaika...

strong

「彼は二人の強くて大きな娘がいる」 F 145

(12) He 'umikūmāmalua ona niho...

P-INDEF 12 its teeth

「それは歯を12本持っている」 M 35

2. 1. 3 この節のまとめ 二桁数詞(例8、12)は常に前に不定冠詞要素 he を伴う名詞の位置に現れ、he と共に述語名詞句を形成している。従ってこの用法における二桁数詞は名詞として分析できる。一桁数詞が前に不定冠詞要素 he を伴う場合(例7、11)については、二桁数詞と同様に名詞として分析できる。he を伴わずに単独で述語を形成している場合(例6、9、10)については、特に、he がある場合とない場合とで意味や環境の違いがみあたらないことから、一桁数詞の前では he は任意的に省略できるものと考えられる。

## 2. 2 名詞の前に置かれる場合

前節で述べた諸例は数詞が名詞として名詞句の核になる場合であったが数詞はある名詞句の中において、中核となる名詞の前に置かれることもある。この場合は、一桁数詞、二桁数詞共に、例(13、15)のように前に he を伴う場合と、例(14、16)のように伴わない場合とがある。

(13) Ua like me 'eono mile...

ASP same as six mile

「六マイルと同じ」 E 109

(14) ...'ike aku nei lāua he 'elua mau hālau

see then they INDEF two PL house

nunui...

big

「それからかれらは二軒の大きな家を見た」

F 143

(15) ...hō'ike akula ia i 'umi kamelopadi...

show then ACC ten giraff

「十匹のキリンを見せた」 M 23

(16) He kanaono pauna ke kaumaha o

P-INDEF 60 pound DEF weight of

kekahi

some

「あるものの重さは六十ポンドだ。」 M 33

例(15)では、一桁数詞ではなく二桁数詞も he を伴わずに用いられている。これは he という単語に統合されている前置詞の機能が他の前置詞(ここでは体格の前置詞 i)と衝突するために、he が削除された例である<sup>(2)</sup>。数詞と共に用いられている場合に限らず、he は他の前置詞と共に使われることはない。この節で述べた諸例において、数詞は冠詞要素を伴って、或いは単独で決定詞の位置に現れている。単独の場合には、数詞が決定詞を形成していると分析できるが、冠詞要素 he を伴う場合にはどうかであろうか。he は冠詞要素を含む語であるので、それ自身決定詞の機能を持つ。もし he が独立した決定詞を形成していて、その後ろの数詞も独立した後決定詞であるなら、他の決定詞が数詞の前に置かれる可能性がでてくる。しかし、冠詞要素以外の他の決定詞が数詞の前に起こることはない。これは、he と数詞が複合体として一つの決定詞を形成しているということを示唆する。冠詞要素と他の要素が結合して一つの決定詞を形成していると分析される例は他にも多くある。例えば、指示詞 kēia 「この」、kēna 「その」、kēlā 「あの」、kekahi 「或、何らかの」、冠詞付き所有形 kāu 「あなたの」、ka'u 「私の」等のいずれも最初に k- という要素を持っているが、これは単数の不定冠詞 ke から来ていると思われ、これらの形は冠詞要素と別の要素が結合したものが形態の上でも融合したものと考えられる。

## 2. 3 名詞の後ろに置かれる場合

前の二つの節では一桁数詞と二桁数詞の間の明確な差は示されなかったが、名詞の修飾成分として名詞の後ろに置かれる場合には両者の間にはより明確な差が出てくる。この用法では、二桁数詞は必ず he を伴って現れるのに対して、一桁数詞は常に he を伴わずに現れる。

(17) kēia mau koa 'elua

this PL warrior two

「これらの二人の戦士」 E 85

(18) I nā hebedoma he 'umi...  
 in DEF-PL week P-INDEF ten  
 「十週間で」 M 17

前の二つの節では、一桁数詞の場合にも前に he を伴う例が見られたがこの用法に関しては該当する例は発見できなかった。従って、この用法に関しては両者は統語論的に明確な区別を持っているといえる。形容詞と動詞の文法的区別がないハワイ語では名詞の後置修飾は動詞或いは前置詞を伴う名詞句によってなされる。この用法における一桁数詞は動詞の位置に置かれており、限定用法の動詞として分析される。一方、二桁数詞の方は、常に前に前置詞—不定冠詞 he を伴うのでここでも名詞として分析される。この he は他の名詞句を修飾するために同格の名詞句を形成する際に、名詞の前に置かれるものである。

(19) ...hanau a'ela ua keiki nei he  
 born then the child this P-INDEF  
 kaikamahine.  
 girl

「この子ども、女の子、が生まれた」 L 349

例(18)の he+数詞も例(19)の he kaikamahine と同じように同格の句として先行する名詞を修飾していると分析される。

このように、名詞を後置修飾する場合には一桁数詞が動詞として用いられるのに対し、二桁数詞は he と共に同格の句を形成する名詞として用いられる。ここで、初めて両者の間の明確な違いが示された。

### 3 結論

#### 3.1 分析結果及び本研究が含意すること

ハワイ語の数詞においては、統語論的に一桁数詞と二桁数詞の二つの下位グループに分かれる。両者とも決定詞あるいは決定詞の一部として名詞の前に現れることができるが、文の述語になる場合は、名詞として用いられる。他の名詞の修飾成分となる場合は、一桁数詞は動詞として、二桁数詞は名詞として用いられる。

2.1節及び、2.2節で述べた様に、文頭における不定冠詞要素 he との共起に関して二桁数詞は一貫して共起しているのに対して、一桁数詞では共起したりしなかったりと変異が見られる。これは一桁数詞の位置づけが推移の途上にあることを示唆している。塩谷が、ポリネシア語の数詞が歴史的に再分析の過程にあったのではないかという仮説を提示したが<sup>(3)</sup>、ハワイ語の一桁数詞に関する変異もその裏付けだと思われ

る。これについては、他のポリネシア諸語との詳細な対照等、更なる調査、研究が待たれるところである。

#### 3.2 問題点と課題

2.2節で、数詞を決定詞或いは決定詞の一部と分析したが、この用法における数詞には、他の決定詞と異なる文法的特性が一つある。ハワイ語では動詞や名詞の後に小辞 paha 「多分」が置かれることがある。他の決定詞と名詞の間に paha が置かれる例はないのであるが、数詞と名詞の間には置かれる例がある。

(20) ...'elua paha kapuai ka loa ...  
 two maybe feet DEF length

「長さはおそらく5フィートくらいです」 M 15  
 例(20)の数詞 'elua は今回の分析では決定詞として分析されるものだが、それと名詞の間に paha が置かれている。他の決定詞ではこのような例はなくこれは決定詞として数詞を分析する上での例外となる。

2.1.1項と2.2節の用法を比べてみると、その文型、意味共によく似ている。もし2.1.1項で述べた用法において、数詞の後ろに何らかの名詞が省略又は了解されていると仮定すると、2.1.1項の用法も2.2節の用法と同様に決定詞として分析することが可能である。今回の分析では2.1節で述べた用法においては、数詞を名詞として分析したが、今後、調査研究を進めるに際して、見直す余地も残されていると思われる。

### 文献

- (1) G.G. Corbett, Numerous squishes and squishy numerals in Slavonic, *International Review of Slavic Linguistics*, 3.1-2 (1978), p43-73.
- (2) 塩谷亨、ハワイ語の he の統語的特性、*日本語学会第113回大会予稿集* (1996), p253-258.
- (3) 塩谷亨, *Syntactic properties of Samoan numerals*, *言語研究*, 97 (1990), p18-43.
- (4) G. Lazard and L. Peltzer, *Predicates in Tahitian*, *OL* 30.1 (1991), p1-31.
- (5) S.H. Elbert and M.K. Pukui, *Hawaiian grammar*, University of Hawaii press, (1979).

CONTENTS

Invited Papers

Special Issue : Investigating the Results of a New Major Education

— The Minor Education : An Examination —

Background and Outline of the Reform of the General Education System.....Kiyoto IZUMI 1

On the methods of Mathematical Education of an Institute of Technology ..... Kaku YAMAGUCHI 5

The 4 Years' Practice for the Reformed Curriculum in the Life-Environment

Science Course of the Minor Education Program.....Keikichi FUJIKAWA 11

College Education Improving the Relationship between Technology and Society

— An Attempt in our Social Sciences Course —.....Hiroshi MARUYAMA 17

Four Years' Minor Education and Its Problems Ahead ..... Takashi MATSUNA 27

Self-Developments of 'Ideen' — A Reformation of an Educational System —

..... Kohtaroh NINOMIYA 35

Papers

Experimental Study on Static and Dynamic Behavior of PRC Beams

.....Norimitsu KISHI, Shin-ichi TAKEMOTO, Hiroshi MIKAMI, Masato KOMURO and Ken-ichi MATSUOKA 45

Distributed Image Processing System

.....Masahiko HATANAKA, Hitoshi TERASAKI and Miyuki OHSAWA 57

2-D Numerical Analysis of a Weakly Guiding Fiber-Type Mode Converter

.....Tao LIN, Masashi EGUCHI and Masaaki IMAI 65

Measurements of Electrical Resistivity on Strongly Correlated Electron System at Low Temperature,  
High Pressure and High Magnetic Field

..... Chihiro SEKINE, Takashi SHIMIZU, Ichimin SHIROTANI and Gendo OOMI 73

On the evaluation of speed electromotive force in the coil put in core slots of rotating electric machines .....	Ryuichiro KURASHIGE, Yukio HASHIMOTO and Toshihiko MATSUDA	83
Enhancement of Catalytic Activity of Natural Zeolites by Surface Modification for 1-Butene Isomerization .....	John Kwaku Adu DAPAAH, Lebong ANDALALUNA, Takao KOBAYASHI, Yoshio UEMICHI and Masatoshi SUGIOKA	89
A recursion formula of local densities with congruence conditions .....	Hidenori KATSURADA and Masaki HISASUE	97
A Partial Joining Operation on Graphs and A Graphical Distance .....	Tadashi YAMAGUCHI and Les FOULDS	103
Paper-Scissors-Stone Game on Trees .....	Kazunori SATO, Norio KONNO and Tadashi YAMAGUCHI	109
Upper Bounds on Percolation Probabilities for Oriented Bond Percolation .....	Tetsuhiro NAGAMURA, Vladimir BELITSKY, Norio KONNO and Tadashi YAMAGUCHI	115
Pay As You Throw: Its Influences upon The Attitudes of Residents.....	Masato KAMEDA	123
Planning of Regional Lifelong Learning and Higher Educational Institution.....	Sadaichi YAMADA	133
On William Blake's <i>Jerusalem</i> .....	Eiko ANDO	145
Zur „religiösen Vorstellung“ von Goethes Faust — unter dem Berührungspunkt mit der indischen Philosophie und Religion — .....	Hideshige OMURA und Marcell Wenzel CHALUPA	155
Status of Hawaiian numerals .....	Toru SHIONOYA	163

図 書 館 委 員

委員長	附属図書館長	教授	松岡健一
委員	建設システム工学科	〃	窪田英樹
〃	機械システム工学科	助教授	新井隆景
〃	情報工学科	〃	佐賀聡人
〃	電気電子工学科	〃	橋本幸男
〃	材料物性工学科	教授	後藤龍彦
〃	応用化学科	助教授	田邊博義
〃	共通講座	〃	橋本邦彦
〃	情報メディア教育センター	〃	倉重龍一郎
〃	国際交流室	教授	尾見誠一

平成9年11月28日 印刷  
平成9年11月28日 発行 (非売品)

編 集 室 蘭 工 業 大 学  
発 行  
〒050-8585 室蘭市水元町27-1

印 刷 室 蘭 印 刷 株 式 会 社  
室蘭市本町2丁目5番1号  
TEL (0143) 24-5141

表紙デザイン 目黒泰道

