

# 都市集水域にある閉鎖性水域の富栄養化について

## ANALYSIS OF EUTROPHICATION IN ENCLOSED WATER DRAINED FROM URBAN AREAS

加藤晃司<sup>1</sup>・中津川誠<sup>2</sup>  
Koji KATO, Makoto NAKATSUGAWA

<sup>1</sup>正会員 (株) シン技術コンサル 技術企画部 (〒003-0021 札幌市白石区栄通2丁目南8-30)

<sup>2</sup>正会員 工博 (独) 北海道開発土木研究所 環境研究室 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

The Barato River is largely an enclosed water area, the flow tends to become stagnant and the river is subject to the inflow of pollution loads from its surrounding areas. As a result, the growth of green algae and other eutrophication phenomena have emerged in recent years. To prevent the Barato River from becoming eutrophicated, it is necessary to understand the space structure and formation factors of the water quality.

In this study, the focus is placed on the topographical classification of upper, middle and lower lake basins in calculating the water and load balances for each of these basins. The water and load balances are clarified in consideration of the complex outflow routes of the river water via urban sewerage. As a result, it was learned that incoming loads at times of rain and the loads from bottom sludge may be the primary supply source of suspended solids in the river. Based on the calculation results, this paper aims to comprehend characteristics related to the formation of water quality of each lake basin, in order to use these characteristics as the basic data for the purification of water quality and the preservation of the water environment.

*Key Words: Barato River, Eutrophication, Water Balance, Load Balance*

### 1. はじめに

札幌市の北部に位置する茨戸川は、昭和初期の石狩川のショートカットによって形成された水域である。茨戸川は閉鎖性が高く、流れが停滞することや周辺からの汚濁負荷の流入などにより富栄養化現象が発現してきた。このような富栄養化傾向を改善するためには、水質の空間構造や形成要因を把握する必要がある。

茨戸川では、上部湖盆、中部湖盆といった閉鎖性の高い地域では、栄養塩が下水処理水を含む流入河川からの影響は少なく、泥炭地浸出水の影響が強く、COD、フミン酸濃度が高いことや農耕地などからの面減負荷などからの供給といった独自の特徴を有していることが橋ら<sup>1)</sup>により報告されている。また、橋ら<sup>2)</sup>は上部湖盆にセジメントトラップを設置し沈降物調査から、風速が増大することにより、流速が上昇し沈降物量が増え、風によって底質が巻き上げられることなどを報告している。

そこで本研究では、地形的な特徴により分類されている上部湖盆、中部湖盆、下部湖盆ごとに着目し、水収支、

負荷量収支の算出を行った。とくに、水収支、負荷量収支は、都市下水道を経由した複雑な流出過程を考慮して明らかにした。また、水門や水路を通しての順逆流、底泥からの供給を考慮している。このなかでは、雨天時流入負荷、底泥からの巻上負荷が栄養塩の供給源として注目されることがわかった。これらの算出結果から湖盆別の水質形成に関わる特徴を把握し、その結果を水質浄化・水環境保全の基礎資料として利用することを目的としたい。

### 2. 水収支の考え方と特徴

茨戸川は、図-1に示すように上部湖盆、中部湖盆、下部湖盆に分類され、主要河川である創成(そうせい)川、伏籠(ふしこ)川、発寒(はっさむ)川が下部湖盆に注いでいる。流出は、平常時に志美(しび)運河を通しての石狩川への流出と洪水時に石狩放水路を通しての海への流出がある。

また、茨戸川には図-2に示す札幌市と石狩市の処理区



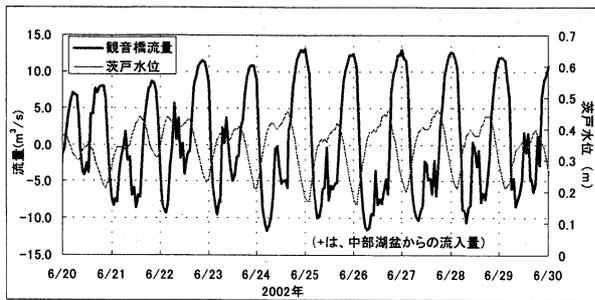


図-4 観音橋における流量と茨戸水位の関係

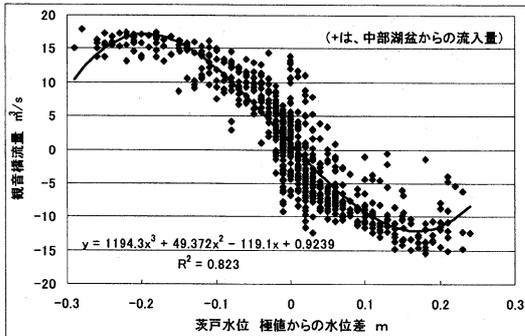


図-5 流量(観音橋)と極値からの水位差(茨戸)との関係

ここで、 $Q_{shibi}$  の符号が+のとき石狩川から茨戸川への逆流、-のとき茨戸川から石狩川への順流を意味する。

## (2) 流出

流出には、⑥平常時の志美運河を通しての石狩川への流出、⑦洪水時の石狩放水路を通しての海へ流出、⑧水面からの蒸発が考えられる。通常は石狩放水路の水門が閉じた状態で、志美運河の水門は開いている。しかし、洪水時には石狩川からの逆流を防ぐために志美運河の水門を閉じ、石狩放水路から海に直接流出させることにより、茨戸川の水位上昇を抑制している。

なお、志美運河からの流出量は、式(1)の $Q_{shibi}$ の符号が負の時は順流として流出量としている。

石狩放水路からの流出量は、水門開扉時の操作記録として記録されている流量を実測値として用いている。

また、水面からの蒸発はバルク法を用いて算出しており、年平均の蒸発量は648mmと推定された。バルク法に必要な気象データは石狩(アメダス)、札幌(気象官署)の値を用いた。

## (3) 水収支

先に述べたように茨戸川は上部湖盆、中部湖盆、下部湖盆と分かれ、それぞれが狭い水路で連結されている。そのため水収支を考える上では、それらの部分を通しての交換量について考えなければならない。

交換量については、北海道開発局により2002年の6月から上部湖盆、中部湖盆、下部湖盆で水位を観測し、それぞれの連結部に存在する山口橋(上部湖盆-中部湖盆間)、観音橋(中部湖盆-下部湖盆間)において流量と流向を観測している(図-1参照)。観音橋における流向と流速および茨戸地点の水位を図-4に示す。図-4より、茨

表-3 湖盆別の水質項目別水収支算出結果

		単位 $10^3 \text{m}^3/\text{年}$						
		1996	1997	1998	1999	2000	平均値*	%
流入	水域 降水量	584	557	583	476	735	588	2.6
	残流域 晴天時	13	16	17	16	17	16	0.1
	残流域 雨天時	1598	1848	1810	2024	2819	2125	9.3
	中部湖盆交換量	19601	19980	19365	20514	20772	20158	88.1
流出	中部湖盆交換量	35560	35625	36545	35468	35189	35707	98.9
	蒸発量	396	399	403	402	377	395	1.1
		1996	1997	1998	1999	2000	平均値*	%
流入	水域 降水量	1177	1123	1175	961	1482	1185	0.9
	残流域 晴天時	142	179	189	181	188	184	0.1
	残流域 雨天時	2675	3093	3030	3387	4718	3557	2.6
	上部湖盆交換量	35560	35625	36545	35468	35189	35707	25.7
流出	下部湖盆交換量	97237	98129	95434	99207	100858	98407	70.8
	上部湖盆交換量	19601	19980	19365	20514	20772	20158	13.6
	下部湖盆交換量	126872	127094	130716	126303	125437	127387	85.9
	蒸発量	798	805	813	810	760	797	0.5
		1996	1997	1998	1999	2000	平均値*	%
流入	水域 降水量	2613	2492	2607	2132	3290	2630	0.8
	残流域 晴天時	154	193	204	196	203	199	0.1
	残流域 雨天時	9835	11372	11139	12452	17344	13077	3.9
	創成川	38779	40746	45308	48033	44895	44746	13.5
	発寒川	32960	34834	39102	38629	35448	37003	11.2
	伏古川	30898	28093	35472	40906	32417	34222	10.3
	茨戸処理場	56403	51176	51696	52509	53994	52344	15.8
	中部湖盆交換量	126872	127094	130716	126303	125437	127387	38.4
	志美運河 逆流	9204	19693	16441	19073	24020	19807	6.0
	中部湖盆交換量	97237	98129	95434	99207	100858	98407	31.3
流出	志美運河 順流	154967	191197	212294	210308	211116	206229	65.5
	石狩放水路	0	6116	643	12549	14362	8418	2.7
	蒸発量	1771	1787	1805	1797	1687	1769	0.6

\*1997年～2000年までのデータの平均

表-4 湖盆別平均滞留時間(1997～2000の平均)

単位 日 ( $10^3 \text{m}^3$ )			
全体	上部湖盆	中部湖盆	下部湖盆
32	30 (1847)	12 (3928)	17 (13326)

( )内は、年間における日平均貯留量 滞留時間は月平均値から算出

戸地点の水位が最も低下したときに下部湖盆に向かう流量が最大になり、水位が最大の時に中部湖盆へ向かう流量が最大となっている。すなわち、下部湖盆にある茨戸地点の水位の上下により、水位変動に時間遅れのある中部湖盆との間に水面勾配が生じ、流動が起きるわけである。これに基づき、水位の極値からの変動量と流量を比較したときに図-5に示すような関係を得た。また、山口橋においても同様の相関が得られている。

以上より得られた結果をもとに湖盆別の水収支を整理したものを表-3に示す。表-3に示された結果より、閉鎖性水域である上部湖盆におけるの水収支は、中部湖盆との交換が支配的であることがわかった。また、湖盆別の滞留時間を表-4に示しているが、上部湖盆は、30日と著しく長いことがわかる。

また、上部湖盆と同様に閉鎖性水域である中部湖盆においては、やはり上部湖盆と下部湖盆との交換量が支配的であり、その中でも下部湖盆との交換量が大半であることがわかる。滞留時間については、湖盆間の水交換が大きいために12日となっている。

最後に下部湖盆では中部湖盆との交換量は4割、3河川(創成、伏籠、発寒)からの流入量が約3割、茨戸処理場からの放流量が約2割と多様な流入形態であることがわかる。また、下流の石狩川からの逆流も全体のおよそ6%を占めている。滞留時間は約17日となっている。

全体的に見ると、交換量は下流にいくほど多い。逆に上部湖盆は水交換が著しく制限されており、中部湖盆も停滞性の大きい上部湖盆と一体と見ると、水交換は観音橋というボトルネックで制限を受けているとみなせる。

なお、下水道整備が行き届いているので、残流域からの未処理水（晴天時）の流入量はきわめて少ないことがわかる。

### 3. 負荷量収支の考え方と特徴

負荷量は、前章で求められた水量に濃度を与えて算出する。ここでは、流入・流出負荷と底泥との交換、つまり溶出、沈降、巻上による負荷を推定し、考察する。

#### (1) 流入・流出負荷量

流入・流出負荷には、①3 河川（創成、伏籠、発寒）からの流入、②茨戸処理場からの放流、③ 河川残流域（晴天時・雨天時）からの流入、④志美運河からの流入、⑤同運河からの流出および⑥湖盆間の水交換に伴う負荷がある。

3 河川からの負荷量は、流量観測と同地点で、北海道開発局が毎月 1 回の定期観測をしている水質データを用いた。また、1996 年時の出水時の水質観測データを用いて出水時の水質も考慮し、負荷量-流量関係式（ $L-Q$ 式）から負荷量を推定している。

茨戸処理場は、札幌市下水道局の維持管理年報<sup>3)</sup>より初沈出水時、終沈出水時の月ごとの水質濃度を用いた。処理量は簡易と高級に分類され整理されているが、簡易処理量には初沈出水時の濃度を用い、高級処理量には終沈出水時の濃度を用いて放流負荷量を算出している。

また残流域の晴天時の負荷は、維持管理年報<sup>3)</sup>より、創成川処理場に入る流入水の水質濃度を用い、雨天時には「茨戸川水質改善のための下水道施策に関わる基本計画」<sup>4)</sup>にある水質濃度を流出量にかけて算出した。

志美運河からの負荷量は、石狩市で 4 月～12 月の月 1 回、志美運河の水質を観測しているので、それを順流・逆流に分類し、 $L-Q$ 式によって算出している。

湖盆間の交換負荷量については、北海道開発局で樽川合流前（下部湖盆）、生振 8 線（中部湖盆）、上部湖盆で毎月 1 回の定期観測で得ている水質濃度を流出量にかけて算出している。なお、上部湖盆においては、1997 年から観測がはじめられている。

#### (2) 溶出・沈降・巻上

最初に溶出量を現地底泥を用いた溶出試験から求める。試験は坂井ら<sup>5)</sup>による現地条件を考慮した手法により、図-6 に示すような装置を用いて行った。実際には樽川合流前および生振 8 線の 2 地点において、現地底泥を採取し、水温、DO の条件別に底泥からの溶出速度を算出した。また、試験容器の中では底泥からの溶出の他に、物質の分解と形態変化も同時に発生することが予想されるために、溶出速度を補正するため分解率試験も併せて行っている。分解率試験は底泥を入れずに行う。分解率、溶出量は、次のとおりで算出される。

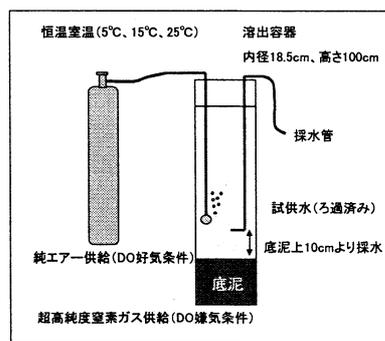


図-6 底泥溶出試験装置外観

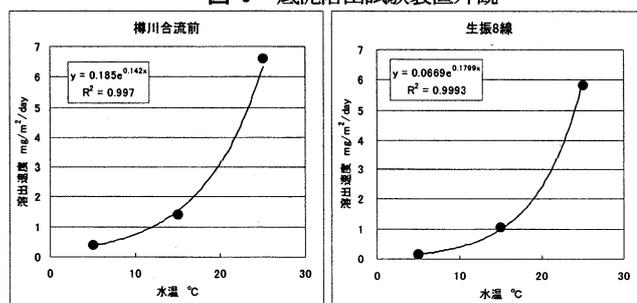


図-7 D・I-P の水温別溶出速度（嫌気条件）

$$R = (C_0 - C_i) / (C_0 \cdot \Delta T) \quad (2)$$

$$M_i = \sum_{i=1}^n \left\{ (V_0 - \sum_{i=1}^n V_{i-1}) (C_i - C_{i-1} \pm CC_{i-1} \cdot R \cdot (t_i - t_{i-1})) \right\} / S \quad (3)$$

ここで、 $R$ ：分解率（1/day）、 $C_0$ ：初期水質濃度（mg/L）、 $C_i$ ： $i$  日後の水質濃度（mg/L）、 $\Delta T$ ： $i$  日後までの日数、 $M_i$ ： $n$  回目までの補正溶出量（mg/m<sup>2</sup>）、 $V_0$ ：初期水量（L）、 $V_i$ ： $i$  回目の採水量（L）、 $CC_{i-1}$ ： $i$  回目の 0-N、0-P、BOD、COD の水質濃度（mg/L）、 $S$ ：カラム断面積（m<sup>2</sup>）、 $t$ ：時間を表す。なお、ここで測定された I-N、I-P には、有機態から無機態に変換される分が含まれるのでマイナス補正する。また、BOD、COD は、無機物へ分解されるものを考慮してプラス補正をする。

これより得られた嫌気条件時の D・I-P の溶出速度の算出結果を図-7 に示す。実際には、この嫌気条件時の推定式を用い、水温観測データを時間内挿して与え水温に応じた溶出量を算出している。

次に、沈降、巻上による底泥との交換を把握するために、図-8 に示すセジメントトラップを用いて沈降物量調査を行った。設置箇所は、樽川合流前と生振 8 線で 2001 年の 8 月から 9 月にかけて計 3 回実施している。（表-5 参照）

水中から底泥への沈降量を測定するためには捕集された沈降物中から自生性沈降物の比を求める必要があり、福島<sup>6)</sup>によれば全沈降物に占める自生性の沈降物の割合（ $\gamma$ ）は次式より得られるとされる。

$$\gamma = (C_d - C_m) / (C_s - C_m) \quad (4)$$

ここで、 $\gamma$ ：全沈降物に対する自生性沈降物の比、 $C_d$ ：捕集沈降物中の指標物質含有量（mg/g）、 $C_s$ ：セストン中の分離指標物質含有量（mg/g）、 $C_m$ ：底泥に含まれる分

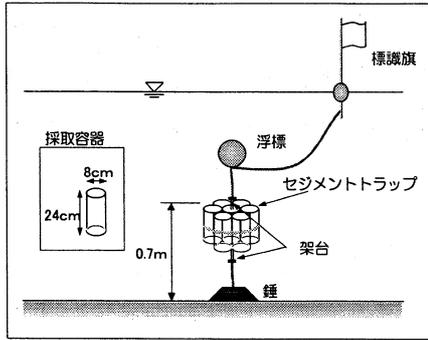


図-8 セジメントトラップ設置概要図

表-5 自生性沈降物の割合と自生性沈降物量、巻上沈降物量

地点	樽川合流前				生橋8線			
	8/10~8/20	8/30~9/14	9/14~9/27	ave	8/10~8/20	8/30~9/14	9/14~9/27	ave
SS	5.44	3.38	5.15	4.66	8.49	2.17	4.47	5.04
COD	0.86	0.48	0.66	0.67	0.85	0.21	0.54	0.53
T-N	0.08	0.05	0.06	0.06	0.08	0.02	0.05	0.05
T-P	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01
SSの沈降速度(m/d)	0.45	0.85	0.57	0.62	0.47	0.18	0.25	0.30
SS	28.13	65.53	65.45	53.04	33.97	53.55	41.12	42.88
COD	4.47	9.24	8.44	7.38	3.40	5.23	4.93	4.52
T-N	0.43	0.93	0.77	0.71	0.34	0.51	0.47	0.44
T-P	0.15	0.39	0.36	0.30	0.06	0.08	0.08	0.07
SSの沈降速度(m/d)	2.34	16.38	7.27	6.66	1.89	4.46	2.28	2.86
$\gamma$	0.162	0.049	0.073	0.095	0.200	0.039	0.098	0.112

離指標物質含有量 (mg/g) である。なお、ここではクロロフィル a を分離指標物質として  $\gamma$  を算出した。 $\gamma$  が算出できれば、全沈降物の自生性沈降物量と底泥からの巻上量の分離は以下のように求めることができる。

$$Q_{new} = \gamma \cdot Q_{all}^{SS} \cdot C_s \quad (5)$$

$$Q_{re} = (1 - \gamma) \cdot Q_{all}^{SS} \cdot C_s \quad (6)$$

ここで、 $Q_{new}$ : 自生性沈降物量 (g/m<sup>2</sup>/day),  $Q_{re}$ : 底泥から巻上量 (g/m<sup>2</sup>/day),  $Q_{all}^{SS}$ : 全沈降物量 (g/m<sup>2</sup>/day),  $C_s$ : セストン中のクロロフィル a の含有率を表す。なお、セストン量は調査期間中で風速が小さく、巻上の影響が小さいとみられる日の水質濃度を用いて巻上量を算出し、表-5 に示す。また、沈降物量を水質濃度で除すと、沈降速度が得られる。SS の沈降速度を表-5 に示すが、橋ら<sup>7)</sup> の茨戸調査に基づく 0.91m/d (自生性)、22m/d (巻上) とオーダー的に一致している。

### (3) 負荷量収支

以上の流入・流出、溶出、沈降、巻上より得られた算出結果より湖盆別の負荷量収支を推算したものを表-6 および図-9~図-10 に示す。以上の結果より特徴的なのが、全体として T-P, COD, SS の供給源として巻上の占める割合が高い。しかし、T-N に関しては上部湖盆が巻上に影響されているものの、中部湖盆、下部湖盆では、外部からの流入による影響が大きい。

また、下部湖盆における雨天時の流入負荷の内訳を表-7 に示す。表-7 より、雨天時における流入量は、晴天時における流入量とほぼ同量である。しかし、SS, 特に T-P は雨天時における負荷によって多くが占められていることがわかる。

これらを勘案すると、より一層の水環境保全には底質の健全化および雨天時負荷の削減がポイントであると考

表-6 湖盆別の水質項目別負荷量の発生・消費

	単位 kg/day							
	T-N		T-P		COD		SS	
上部湖盆	平均値	%	平均値	%	平均値	%	平均値	%
発生								
中部湖盆 流入	129	22.6	5.4	7.5	678	14.1	1020	2.6
残流域 晴天時	1	0.2	0.1	0.2	3	0.1	8	0.0
残流域 雨天時	24	4.1	1.3	1.8	24	0.5	84	0.2
溶出(無機態)	18	3.2	1.1	1.6	18	0.4		
巻上	399	69.9	63.5	89.0	4098	85.0	38881	97.2
消費								
沈降(自生性+巻上)	444	72.3	72.5	89.9	4579	76.9	43451	96.9
中部湖盆 流出	170	27.7	8.1	10.1	1376	23.1	1373	3.1

	単位 kg/day							
	T-N		T-P		COD		SS	
中部湖盆	平均値	%	平均値	%	平均値	%	平均値	%
発生								
上部湖盆 流入	170	6.5	8.1	4.6	1376	10.8	1373	1.6
下部湖盆 流入	1500	57.6	29.8	16.8	2634	20.6	2723	3.2
残流域 晴天時	15	0.6	1.5	0.9	36	0.3	92	0.1
残流域 雨天時	39	1.5	2.1	1.2	41	0.3	140	0.2
溶出(無機態)	38	1.4	2.3	1.3	37	0.3		
巻上	841	32.3	133.8	75.3	8637	67.7	81934	95.0
消費								
沈降(自生性+巻上)	936	50.1	152.9	79.8	9649	66.2	91565	92.6
上部湖盆 流出	129	6.9	5.4	2.8	678	4.7	1020	1.0
下部湖盆 流出	805	43.1	33.3	17.4	4243	29.1	6347	6.4

	単位 kg/day							
	T-N		T-P		COD		SS	
下部湖盆	平均値	%	平均値	%	平均値	%	平均値	%
発生								
晴天時**	1435	16.6	30.2	2.0	1821	4.4	1945	0.8
雨天時**	1113	12.9	73.8	4.9	1611	3.9	3296	1.4
中部湖盆 流入	805	9.3	33.3	2.2	4243	10.2	6347	2.6
茨戸処理場	2138	24.8	67.2	4.5	1923	4.6	1590	0.7
志美運河 逆流	75	0.9	8.3	0.6	359	0.9	2630	1.1
溶出(無機態)	24	0.3	6.6	0.4	110	0.3		
巻上	3041	35.2	1285.1	85.4	31612	75.8	227198	93.5
消費								
沈降(自生性+巻上)	3298	39.2	1413.6	94.0	34482	78.6	247160	93.3
志美運河	3607	42.9	60.3	4.0	6744	15.4	15151	5.7
中部湖盆 流出	1500	17.8	29.8	2.0	2634	6.0	2723	1.0

\*\*平均値は、1996年から2000年の5年間の4月から11月までの合計値を日平均したデータ  
\*\*制創川・伏籠川・発着川・残流域を無降雨時のとき晴天時、降水時のときを雨天時と分類

表-7 下部湖盆における雨天時における流入河川負荷の内訳

	流入量	T-N	T-P	COD	SS
	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	kg/day	kg/day	kg/day	kg/day
晴天時+雨天時①	88122	2548	104	3432	5241
雨天時②	41510	1113	74	1611	3295
②/①×100(%)	47	44	71	47	63

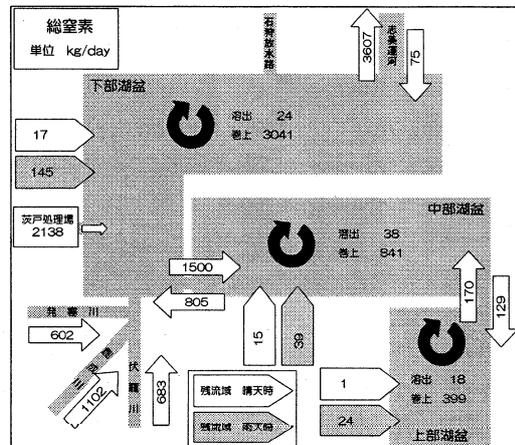


図-9 T-Nの收支模式図

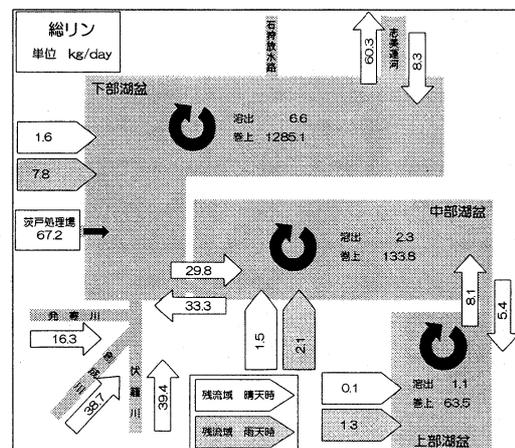


図-10 T-Pの收支模式図

表-8 T-NおよびT-PにおけるI-N, I-Pの割合

	単位 %								
	創成川	伏籠川	発寒川	茨戸 (簡易)	茨戸 (高級)	志美運河	上部湖盆	中部湖盆	下部湖盆
I-N/T-N	93.9	89.7	71.6	59.3	82.4	72.3	13.6	51.1	87.1
I-P/T-P	61.5	47.7	34.9	25.8	55.0	12.8	10.4	10.3	20.1

えられる。

次に植物プランクトンの増殖に用いられる無機態の窒素, リンについて考えてみる。無機態の算出方法は、観測されている水質を用いて1996年~2000年の5年間にわたるI-N/T-N, I-P/T-Pの4月~11月までの平均値を代表値として用いている。その結果を表-8に示す。そして、得られた比率を既に算出されているT-N, T-Pの負荷量収支にかけることにより、図-11のように無機態栄養塩の収支を表した。この際、無機態栄養塩の巻上, 沈降量は各湖盆水質調査結果に基づきI-N/T-N, I-P/T-PをT-N, T-Pにかけることによって求めた。なお、残流域の無機態濃度が不明のため、流入量負荷には含まれていないが、量的にはわずかと考えられる。結果より、中部湖盆, 下部湖盆においてI-Nの占める割合が高いが、いずれにしても、各湖盆ともに無機態栄養塩の消費があることがわかる。茨戸川の栄養状態はリン制限で、無機態リン濃度がプランクトンの増殖をコントロールしているとみられる。リンの抑制には先に述べたように懸濁物の雨天時負荷を削減することが有効と考えられる。

これらの結果と図-12に示すクロロフィルaの経年変化とを比較すると、クロロフィルaは上部湖盆と中部湖盆において同様の変化を示しており、下部湖盆は比較的に低い値となっている。クロロフィルaやプランクトンの動向を定量化するため、今後は今回まとめた負荷量収支とともに、流動や日射, 水温といった熱的環境を評価していくことが必要である。

#### 4. おわりに

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ・ 水収支, 負荷収支を発生起源別に定量化した。
- ・ 茨戸川は、底泥からの巻上による負荷が大きく、それが水中懸濁物のほとんどの供給源となっている。
- ・ 流入河川負荷のうち、T-P, SSについては雨天時負荷が全体の60~70%を占める。
- ・ 下部湖盆と中部湖盆で見られるように、T-Nは流入負荷が全負荷量の約70%近くを占めている。
- ・ 各湖盆において無機態栄養塩の消費もしくは蓄積が起きており、プランクトンの生産に結びついている。

以上より、とくに今回対象としたような水域の水環境を保全していくには、底質の健全化および雨天時負荷の削減が重要なポイントとなると考えられる。今後は今回得られた水収支や負荷量収支の知見などをシミュレーションに生かし、各種対策の改善効果を評価することなどに生かしていきたい。

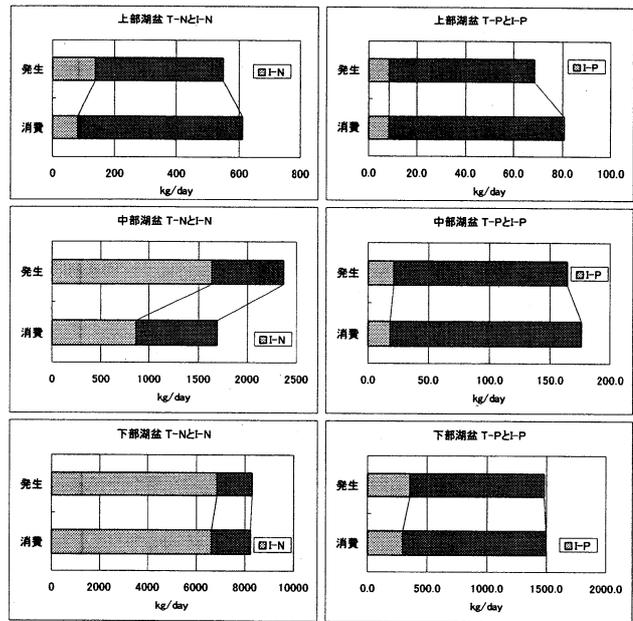


図-11 無機態窒素, リンの湖盆別発生・消費状況

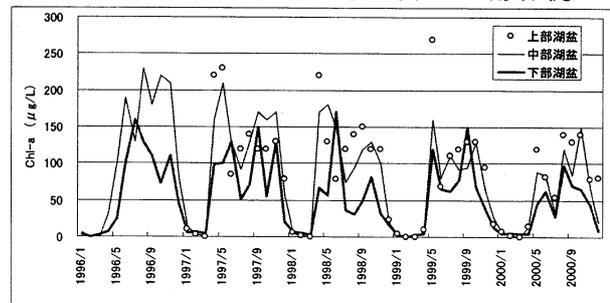


図-12 クロロフィルaの経年変化

謝辞: 本研究の一部は、平成14年度北海道開発受託研究費の補助を受けて実施された。また、札幌市下水道局および石狩市生活環境部からは、資料を提供していただいた。ここに記して謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 橋治国ら; 茨戸湖の富栄養化と栄養塩負荷, 土木学会北海道支部論文報告集, 50, pp. 680-683, 1994.
- 2) 橋治国, 井上隆信, 村井悟; 茨戸湖上部湖盆における栄養塩の循環-懸濁態に着目して-, 土木学会北海道支部論文報告集, 44, pp. 373-378, 1988.
- 3) 札幌市下水道局; 維持管理年報(1989~2000)。
- 4) 札幌市下水道局; 茨戸川水質改善のための下水道施策に関わる基本計画 [I] 報告書, pp. 4-6, 1988.
- 5) 坂井一浩, 中津川誠, 池田共実; 現地条件を考慮した底泥溶出試験について, 土木学会北海道支部論文報告集, 53, pp. 644-647, 1996.
- 6) 福島武彦ら; 浅い湖における沈殿量の測定方法とその起源, 国立公害研究所報告, 51, pp. 73-87, 1984.
- 7) 橋治国, 井上隆信; 浅い湖沼における沈降物量の評価, 陸水学雑誌, 第57巻2号, pp. 163-171, 1996.

(2002. 9. 30受付)