



茨戸湖の化学的研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 北海道教育大学 公開日: 2010-07-08 キーワード: 作成者: 那須, 淑子, 堀田, 淳 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.32150/00004466

茨戸湖の化学的研究

那 須 淑 子・堀 田 淳

北海道教育大学札幌校化学教室

Chemical Study of Barato Lake

Toshiko NASU and Jun HOTTA

Chemical Laboratory, Sapporo Campus

Hokkaido University of Education, Sapporo 002

Abstract

From 1991 to 1994, chemical study was made of Barato Lake, located in northern Sapporo. This lake consists of three parts connected by a narrow watercourse. Three rivers flow into the central region of the lake, and the lake water flows to the sea through two channels. Water samples were collected from 11 sampling stations on the lake. Major constituents, inorganic-N, phosphate-P, COD_{Mn} and DO were determined quantitatively.

The results follow. Barato Lake holds large amounts of substances in solution as compared with other lakes. The water is particularly high in Cl^- and Na^+ , and they increase with the neighborhood of the closer to the sea they are measured. The sum of Na^+ and K^+ was found to be proportional to the Cl^- content. The concentration of other major constituents did not vary greatly by sampling station. The large amounts of Cl^- and Na^+ in Barato Lake are chiefly due to backflow from the sea into the lake.

The major and other constituents determined in this study exist in lognormal distribution. The geometric average concentrations of inorganic-N, phosphate-P, and COD_{Mn} are 2.71 mg / l, 31 μg / l and 9.44 O_2 mg / l, respectively. These constituents are included in the water pollution index, thus the data indicate that Barato Lake is polluted. These water pollutants are considered to come mainly from sewage treatment water and sewage effluent.

It was also examined the seasonal variation in concentration of some components at each sampling station.

1. 緒 言

茨戸湖は札幌市と石狩町の間位置し、昭和6年、石狩川の切り替え工事によって石狩川本流と隔離された。Fig. 1に示すように湖は上部、中部、下部の三湖盆に分かれており、それぞれ狭い水路で連結されている。水面積は4.4 km^2 、流域面積は約610万 m^2 、全貯水量は1400万 m^3 であり、水深は平均3.2m 最深部でも8~9mと浅い湖で、行政上河川として扱われている。流入河川には伏籠川、創成川、発寒川があり、生振運河お

よび石狩放水路で海とつながっている。伏古川下水処理場が昭和43年に、創成川下水処理場が昭和42年に完成し、その下水処理水がそれぞれ伏籠川と創成川に流入している。茨戸湖と石狩川で囲まれた一帯および中部湖盆北側は農地で、上部湖盆南側および下部湖盆西側には住宅地が広がっている。中部湖盆東側にゴルフ場があり、下部湖盆西側に茨戸川下水処理場がある。これらの下水処理水や周辺農家からの排水などによる汚染とともに、最近は上部湖盆以南の住宅地化が進み、比較的影響のなかった上部湖盆でも汚染が進んでいるようである。

各機関による環境調査も行われているが、著者らは現在の茨戸湖水系の水質、特に化学物質の状態、消長などを把握する目的で1991年から調査を開始した。1994年12月までの4年間の測定結果について考察する。

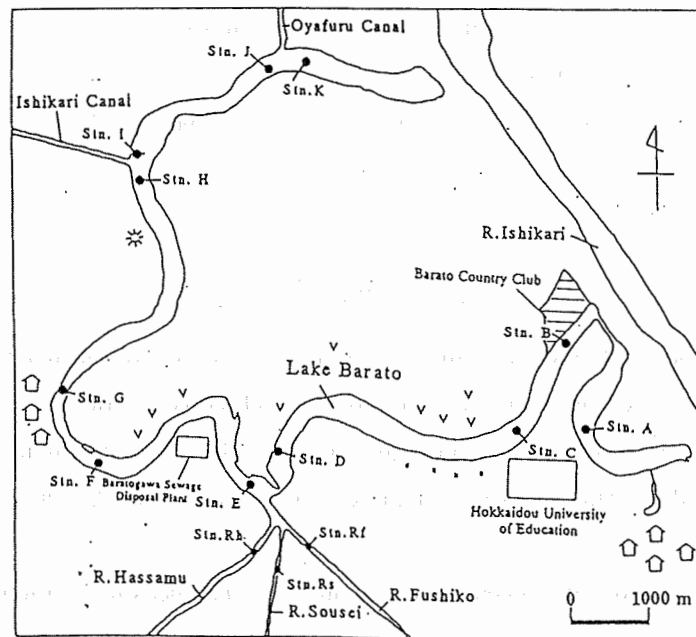


Fig. 1 採水地点

2. 実 験

採水地点を Fig. 1 に示す。採水は、上部湖盆での Stn. A、中部湖盆では Stn. B, C, D の 3 地点、下部湖盆では Stn. E から K に至る 7 地点、計 11 地点で行った。

本研究は1991年7月より着手されたが、1991年度は無機主要成分 (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- (4.8アルカリ度), SiO_2) を測定項目とし、Stn. , D, E, G で採水を行い、経月変化を調査して茨戸湖の水質の概要を把握した。

1992年度はこれらに加え、茨戸湖全域の水質像を得るため、7月24日に船上より図中の全採水地点で表面水を採り、前記の主要成分の他に NH_4^+-N , NO_2^--N , $\text{PO}_4^{3--}\text{P}$ を加えて測定を行った。また定期的には、Stn. D, E, G での観測を続けた。なお1992年初めから Stn. A での採水は不可能となった。

1993年度以降は Stn. C, D, E, G, I の各点、さらに茨戸湖に流入する伏籠川、創成川、発寒川についてもそれぞれ Stn. Rf, Rs, Rh を採水地点として加え、1994年12月までほぼ2週間に一度定期的に採水を行った。また Stn. C において1993年8月26日から深度約3mの湖底からもポンプでの採水を行い、表面水を Stn. Cs、湖底水を Stn. Cb とした。Stn. C, D, I, Rf, Rh では冬期間 (12月~3月) 表面が凍結し採水が不可能

になる。なお1993年からは、主要成分はCl⁻のみを測定項目とし、人為汚染の指標であるCOD、DOを測定項目として増し、また1994年からはNO₃⁻-Nの測定も行った。

採水は、午前10時から午後3時までの間に架橋上よりバケツを投げ込むかまたは、湖岸より柄杓を用いて表面水を1lポリエチレンびんに採水した。また現地では、気温、水温、pH、電導度を測定した。試料水は研究室に持ち帰った後、ただちに直径47mm、孔径0.45μmの硝酸セルロース製メンブランフィルター(東洋ろ紙K.K製)でろ過して、それぞれの成分の測定を行った。

各成分の分析方法は日本分析化学会北海道支部編『水の分析』(化学同人, 1994)および工業排水試験方法JIS K 0102(日本規格協会, 1993)によった。

3. 結 果

Table 1-1 に茨戸湖全域の測定結果を、Table 1-2 に定期採水点の測定結果の一例を示す。Table 2-1, 2-2 に流入三河川の測定結果の例を示す。また各地点における各成分の濃度範囲をTable 3に示す。

Table 1-1 茨戸湖における測定結果 (July24, 1992)

	pH	T(W) (°C)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)	PO ₄ -P (μg/l)
Sin. A	8.4	22.0	46.2	12.5	22.4	18.2	80.0	39.2	110	2.5	0.66	0.01	21
Stn. B	8.4	22.2	86.7	16.9	24.2	18.2	133	37.5	105	5.0	0.59	0.04	
Stn. C	8.6	24.6	90.0	12.1	24.2	17.6	145	34.2	101	7.5	0.30	0.05	30
Stn. D	8.2	22.1	99.9	16.0	24.5	17.8	170	37.5	97.0	11.4	0.81	0.01	22
Stn. E	7.4	22.2	142	19.0	25.9	22.7	228	46.7	92.8	11.1	1.18	0.15	32
Stn. F	7.4	24.8	173	22.4	24.7	27.0	258	58.4	87.9	11.2	1.00	0.15	7
Stn. G	7.6	24.6	173	21.6	23.7	27.7	273	58.4	86.6	13.0	0.97	0.15	82
Stn. H	8.6	25.2	234	28.0	27.6	36.3	332	70.0	84.2	9.8	0.81	0.12	38
Stn. I	8.4	25.3	304	30.9	28.4	43.3	421	78.5	83.0	8.8	0.52	0.10	21
Stn. J	7.8	25.0	264	27.4	24.1	40.7	385	74.6	68.3	10.8	0.31	0.06	38
Stn. K	7.6	25.6	365	34.4	29.4	52.2	482	87.5	72.0	8.9	0.10	0.04	17

Table 1-2 茨戸湖における測定結果 (May26, 1994)

Station	pH	電導度 (μS/cm)	T(W) (°C)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	PO ₄ -P (μg/l)	COD (O ₂ mg/l)	DO (O ₂ mg/l)	DO (%)
Cs	7.8	0.39	16.5	58.5	26.2	0.15	0.03	0.50	96	10.3	9.80	104
Cb	7.2	0.39	19.8	55.5	26.2	0.07	0.03	0.99	75	11.8	5.98	67.3
D	7.5	0.39	17.7	46.5	26.2	0.82	0.09	2.18	23	9.15	10.8	117
E	6.6	0.41	16.0	49.0	29.9	2.79	0.13	3.06	75	7.91	8.04	84.1
G	7.2	0.41	16.9	52.5	26.2	1.69	0.11	2.59	78	8.86	10.9	116
I	7.1	0.49	16.1	80.5	28.0	2.34	0.10	2.22	28	8.17	10.0	104

Table 2-1 流入三河川における測定結果 (Nov. 29, 1991)

	pH	T(W)	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	4.8Bx	SiO ₂
Station		(°C)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mcq/l)	(mg/l)
Rf	7.0	4.0	48.5	11.7	38.3	15.0	50	40.9	2.00	20.0
Rs	6.9	9.8	64.0	16.3	38.3	9.5	92.5	33.4	0.82	21.2
Rh	7.5	0.5	40.0	9.2	38.3	16.7	35.0	65.0	1.94	17.0

Table 2-2 流入三河川における測定結果 (May 26, 1994)

	pH	電導度	T(W)	Cl	SO ₄	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	COD	DO	DO
Station		(μS/cm)	(°C)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(μg/l)	(O ₂ mg/l)	(O ₂ mg/l)	(%)
Rf	6.8	0.45	17.3	53.0	23.4	3.54	0.16	2.42	44	12.6	7.49	80.4
Rs	6.1	0.42	16.6	58.0	16.7	1.52	0.16	5.58	98	6.67	6.69	70.8
Rh	6.6	0.36	18.4	53.0	59.8	0.07	0.04	0.79	69	6.88	9.64	106

Table 3 定期的な採水点における濃度範囲

成分	Station									
	Cs	Cb	D	E	G	I	Rf	Rs	Rh	
pH	6.2~8.8 (32)	6.2~8.2 (20)	6.4~9.0 (47)	6.1~8.7 (51)	6.3~8.6 (49)	6.2~8.5 (34)	6.3~7.7 (34)	5.9~7.6 (35)	5.9~8.7 (32)	
電導度 (μS/cm)	0.29~1.6 (33)	0.28~1.5 (21)	0.19~1.8 (35)	0.26~1.6 (40)	0.34~2.2 (37)	0.11~3.6 (35)	0.20~0.69 (34)	0.29~1.5 (35)	0.21~0.67 (32)	
Na ⁺	26.8~90.0 (9)	26.0~80.4 (7)	30.6~120 (21)	36.5~142 (22)	31.8~173 (20)	43.4~304 (8)	17.5~49.4 (10)	31.0~47.5 (10)	11.0~35.8 (10)	
K ⁺	1.4~12.1 (9)	3.0~7.4 (7)	3.8~16.0 (21)	2.2~19.0 (22)	3.6~21.6 (20)	3.8~30.9 (8)	4.8~12.2 (10)	4.4~16.2 (10)	3.2~15.8 (10)	
Ca ²⁺	18.2~24.6 (9)	18.5~24.7 (7)	16.8~38.3 (21)	20.0~44.6 (22)	22.8~43.9 (20)	30.4~40.3 (8)	28.1~33.9 (10)	24.2~28.0 (10)	27.6~31.2 (10)	
Mg ²⁺	10.2~13.6 (9)	8.2~10.1 (7)	9.2~18.5 (21)	1.3~15.0 (22)	4.2~25.2 (20)	6.3~13.4 (8)	6.6~11.2 (10)	4.1~7.0 (10)	6.5~14.0 (10)	
Cl ⁻	35.0~400 (32)	35.2~388 (20)	37.2~464 (46)	20.7~424 (52)	37.0~556 (49)	54.0~203 ₂ (34)	7.9~121 (33)	29.0~81.3 (34)	7.9~306 (31)	
SO ₄ ²⁻	26.2~93.6 (14)	26.2~53.6 (12)	26.2~58.8 (25)	28.1~116 (27)	26.2~85.8 (25)	28.0~104 (14)	21.7~51.5 (14)	16.7~43.3 (14)	29.1~68.1 (14)	
4.8Bx	—	—	1.20~1.91 (11)	1.26~1.66 (13)	1.28~1.64 (11)	—	—	—	—	
SiO ₂	—	—	5.2~117 (11)	11.1~125 (13)	8.6~24.8 (11)	—	—	—	—	
NH ₄ ⁺ -N	0.04~2.13 (33)	0.04~1.20 (21)	0.09~3.26 (42)	0.07~4.60 (46)	0.10~4.48 (45)	0.04~3.56 (35)	0.11~17.1 (34)	0.08~0.83 (35)	0.04~0.41 (32)	
NO ₂ -N	0.01~0.29 (33)	0.01~0.29 (21)	0.01~1.05 (42)	0.04~1.69 (46)	0.04~1.61 (45)	0.03~0.59 (35)	0.03~0.66 (34)	0.08~0.83 (35)	0.01~0.41 (32)	
NO ₃ -N	0.03~1.13 (15)	0.03~2.50 (13)	0.19~3.50 (16)	0.91~4.52 (17)	0.70~4.22 (17)	0.58~2.88 (15)	1.25~6.26 (17)	0.42~7.13 (17)	0.28~3.27 (17)	
PO ₄ ³⁻ -P	5~128 (33)	5~81 (21)	5~76 (41)	6~330 (45)	5~158 (17)	5~90 (35)	10~356 (33)	10~1239 (34)	6~94 (31)	
COD _{Mn} O ₂ mg/l	6.14~15.9 (33)	6.93~13.3 (21)	6.24~14.8 (36)	6.99~13.6 (40)	6.57~13.9 (38)	6.21~14.2 (35)	7.25~16.2 (34)	5.24~13.1 (35)	6.79~15.5 (32)	
DO O ₂ mg/l	6.59~14.2 (33)	3.09~9.21 (20)	6.09~14.4 (36)	2.97~12.5 (40)	5.21~12.9 (39)	6.97~17.2 (35)	1.89~8.83 (34)	1.31~8.79 (35)	4.26~15.0 (32)	

各成分の単位は mg/l, ただし 4.8Bx は meq/l, PO₄³⁻-P は μg/l である。

() 内は測定回数を示す。

4. 考 察

4-1 茨戸湖全域の成分について

茨戸湖の pH は 7.4~8.6 を示した。Table 1-1 の結果から、Fig. 2-a, b に、陽イオンと陰イオンの主要成分についての上部湖盆から下部湖盆に至る各地点での濃度の変化を示した。図のように各地点での Ca^{2+} 、 K^+ 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} の各イオンの濃度はほぼ一定である。しかし、 Na^+ 、 Cl^- は上部湖盆から下部湖盆へとその濃度は増加し、特に石狩放水路 (Stn. I)、生振運河 (Stn. K) で急激な増加がみられた。 Mg^{2+} の濃度も下部湖盆では上部湖盆よりもやや高くなっている。

陰イオン主要成分の当量比を三角グラフに示したのが Fig. 3 である。図の中に北海道地方、全国河川の平均値も示したが、Stn. A を除き、茨戸湖の陰イオン組成は通常の河川水と大きく異なる。 SO_4^{2-} の割合は各地点でほぼ 10% と一定であるが、 Cl^- の割合は Stn. B~K と海に近づくにつれて大きくなる。したがって Cl^- と HCO_3^- とが逆比例している。また Stn. A では一般河川に近い値を示す。

これら陰イオン主要成分と陽イオン主要成分の関係を示したのが、Fig. 4 である。 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ と Cl^- の間には正の相関がみられる。 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ および SO_4^{2-} は狭い範囲ではあるが、中部から下部湖盆へと濃度は増加し、両者の間に正の相関が認められた。 HCO_3^- と $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ との間にはおよその逆相関が認められた。これらのことを総合すると、上部湖盆を除き、石狩放水路等からの海水の逆流が茨戸湖の主要成分濃度に影響を与えていることが推定される。

Table 1-1 に示すように $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ は 0.1~1.2mg/l、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ では 0.01~0.15mg/l、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ は 0~82 $\mu\text{g/l}$ となっている。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ の濃度は流入三河川の合流地点で最も高く、次いで茨戸川下水処理

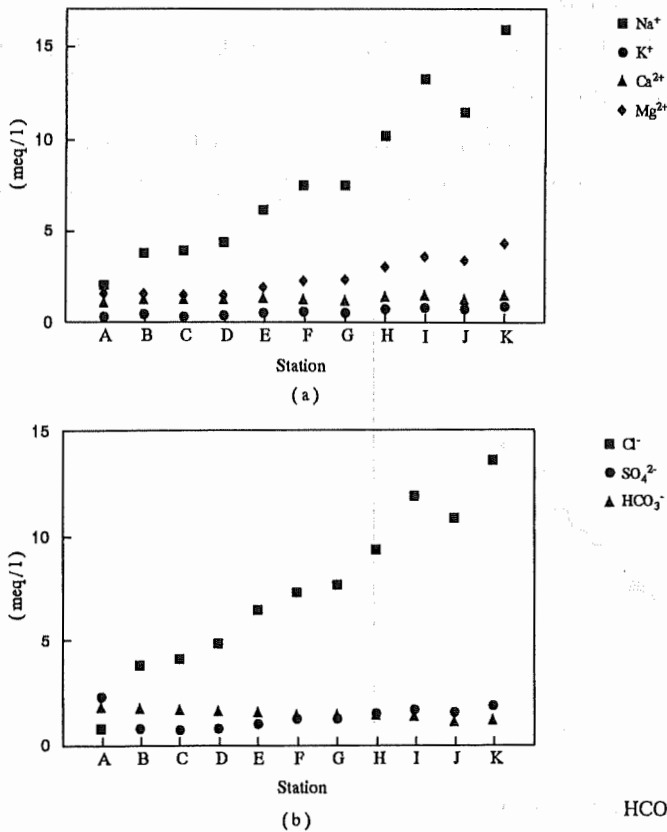


Fig. 2 各採水地点における主要成分濃度

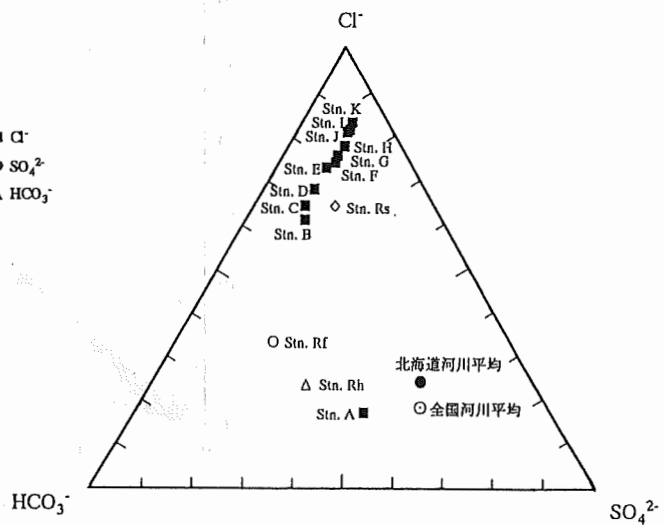


Fig. 3 陰イオン主要成分の当量比

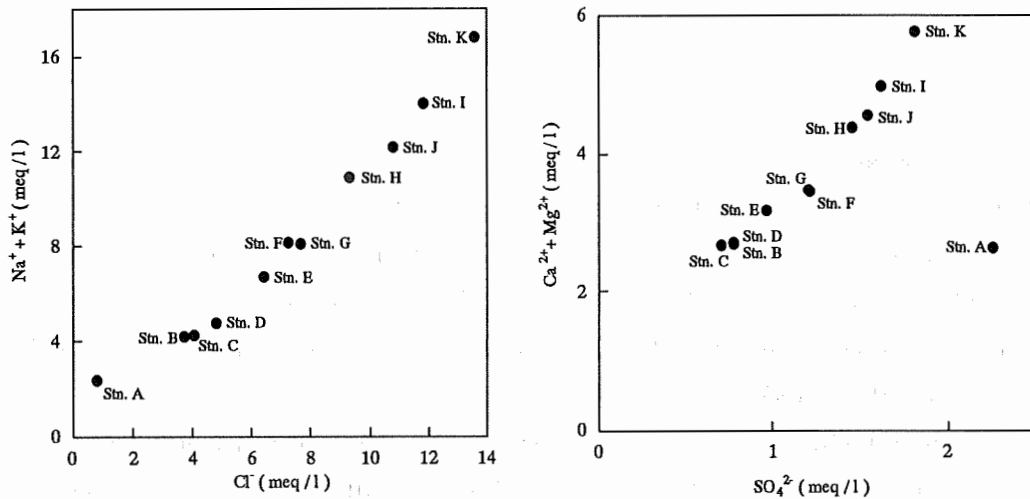


Fig. 4 Cl^- と陽イオン主要成分の関係

場付近となっている。これらの濃度は主要成分とは異なり、下部湖盆では海に近づくにつれ小さくなっている。

4-2 定期採水地点 (Stn. D, E, G) における主要成分について

定期的に採水した D, E, G 地点における陰イオン主要成分の当量比について検討したところ、各点で Cl^- は50~80%, SO_4^{2-} は10~30%, HCO_3^- は15~40%となり、同一地点でも若干の変動を示していることが明らかになった。

またこれらの地点での Cl^- と $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ の間には正の相関がみられた。

電導度と Cl^- の関係を茨戸湖と流入河川でのデータを用いて示したのが Fig. 5 であり非常によい相関がみられた。また、各測定点でも同様両者にはよい相関が認められた。

茨戸湖では Na^+ , Cl^- の占める比率が高いこと、 Cl^- は安定したイオンであることから、 Cl^- および電導度の増減を調べることでイオンの全体的な動きをとらえることができると考え、1993年からは主要成分のうち Cl^- のみを測定することとした。

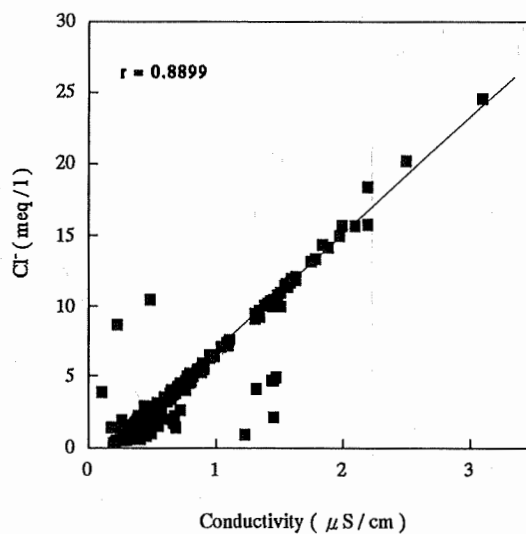


Fig. 5 Cl^- と電導度の関係 (1993, 1994年度)

4-3 流入三河川における主要成分について

茨戸湖の水質に対する流入河川の影響の有無を調べるために、伏籠川、創成川、発寒川の三河川の水質についても検討を行った。これらについて Fig. 3 に示すように、陰イオン主要成分の当量比は、Cl⁻の割合は、創成川では60%と茨戸湖の値に近いのに対し、伏籠川、発寒川ではその割合は23~33%と茨戸湖の値より小さく、その分 HCO₃⁻の割合が大きくなっている。三河川の SO₄²⁻は20~30%で茨戸湖の値よりやや高い。また後に述べるように創成川で無機窒素、PO₄³⁻-P の平均濃度が茨戸湖より高く、Cl⁻濃度も通常河川より高かった。その原因を明確にするために、創成川の上流部の採水を行った。採水地点を Fig. 6 に示す。Stn. Rs-7~Rs-5 は下水処理場の上流、Stn. Rs-4 は下水処理場付近の下部で、Stn. Rs-3~Rs は下水処理場の下流である。

創成川のこの各地点における各成分濃度の測定結果を Table 4 に示すが、明らかに下水処理場の前後で濃度が大きく変化しているのがわかる。特に無機窒素、PO₄³⁻-P、COD の変化は大きく、Cl⁻も下水処理場前後で3倍も増加している。1970年5月13日における創成川下水処理場の放流水の Cl⁻濃度は59.0mg/l、NH₄⁺-N濃度は10.0mg/l、NO₂⁻-N濃度は2.38mg/l、NO₃⁻-N濃度は8.15mg/l、COD濃度は19.4 O₂ mg/l と非常に高い値であった。これらのことから、茨戸湖へ流入する前の Stn. Rs でのこれらの成分の値に、下水処理水が大きな影響を与えていることが明確になった。

なお伏籠川についても定期採水地点より上流部の採水を行い、その採水地点を Fig. 6 に、測定結果を同じく Table 4 に示した。COD、N、P の各成分濃度は、下水処理場のある伏籠川 (Stn. Rf-5) よりも篠路新川 (Stn. Rf-6) の方が大きかった。

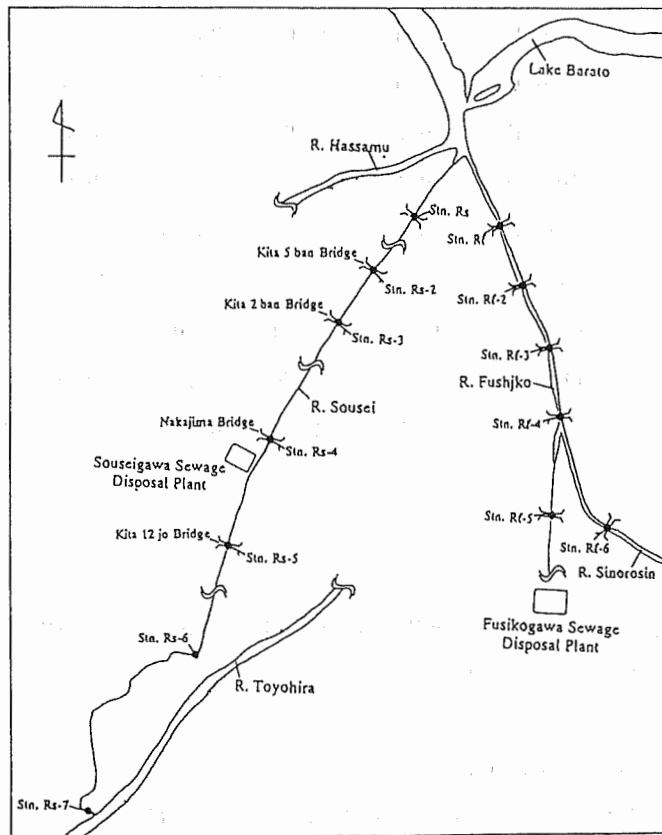


Fig. 6 伏籠川、創成川上流部の採水地点

Table 4 創成川, 伏籠川上流部の測定結果

Sampling date	Station	Rs	Rs-2	Rs-3	Rs-4	Rs-5	Rs-6	Rs-7
Oct. 18, 1994	pH	6.1	6.1	6.1	6.1	8.1	7.3	7.1
	電導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0.43	0.45	0.44	0.42	0.19	0.17	0.16
	T(W) ($^{\circ}\text{C}$)	21.5	22.8	24.7	24.8	19.0	16.2	16.0
	Cl (mg/l)	58.5	58.5	52.5	55.0	16.5	15.0	17.5
	SO ₄ (mg/l)	33.5	36.0	33.5	33.1	25.4	23.0	19.0
	NH ₄ -N (mg/l)	1.41	1.39	1.38	0.92	0.31	0.43	0.38
	NO ₂ -N (mg/l)	0.16	0.11	0.16	0.11	—	—	0.01
	NO ₃ -N (mg/l)	3.60	3.20	3.71	3.13	0.80	0.92	0.66
	PO ₄ -P ($\mu\text{g}/\text{l}$)	156	143	110	80	32	41	30
	COD ($\text{O}_2\text{mg}/\text{l}$)	7.04	6.78	6.23	5.32	2.88	2.02	1.81
	DO ($\text{O}_2\text{mg}/\text{l}$)	5.27	5.96	7.62	8.18	12.2	11.4	11.5
	(%)	61.2	70.9	93.5	100	135	120	120
	Station	Rf	Rf-2	Rf-3	Rf-4	Rf-5	Rf-6	
Oct. 19, 1994	pH	6.5	6.3	6.4	6.3	6.6	6.6	
	電導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0.32	0.32	0.35	0.36	0.37	0.38	
	T(W) ($^{\circ}\text{C}$)	11.3	11.2	11.1	13.2	15.2	12.9	
	Cl (mg/l)	32.5	28.0	33.5	37.5	36.5	26.0	
	SO ₄ (mg/l)	32.0	26.2	34.2	33.5	30.8	44.2	
	NH ₄ -N (mg/l)	0.74	0.91	1.13	0.78	0.66	1.53	
	NO ₂ -N (mg/l)	0.15	0.18	0.21	0.09	0.13	0.33	
	NO ₃ -N (mg/l)	3.52	3.43	3.09	2.18	1.69	5.14	
	PO ₄ -P ($\mu\text{g}/\text{l}$)	58	60	48	34	83	152	
	COD ($\text{O}_2\text{mg}/\text{l}$)	11.4	9.24	10.0	6.11	6.37	18.5	
	DO ($\text{O}_2\text{mg}/\text{l}$)	5.76	6.36	7.15	9.76	10.0	6.77	
	(%)	54.3	59.9	67.1	96.2	103	66.2	

4-4 溶存化学成分の季節変動について

Stn. Cs, Cb, D, E, G, I および流入三河川 Stn. Rf, Rs, Rh における1991年から1994年までの分析結果から各地点の化学成分の変動について以下考察する。

4-4-1 Cl⁻の季節変動

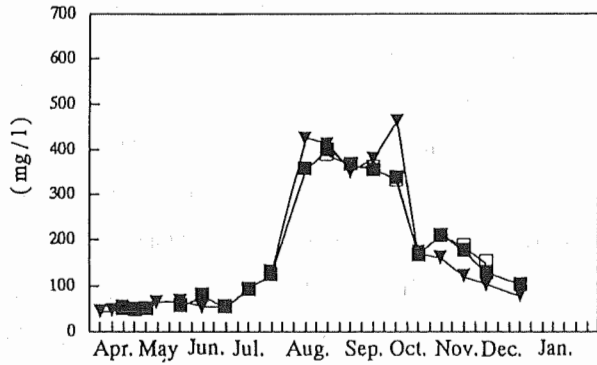
Fig. 7 に1993年における各地点での Cl⁻の季節変動を示した。

図から明らかなように各地点とも、8~10月の夏から秋にかけて Cl⁻の濃度が増加している。

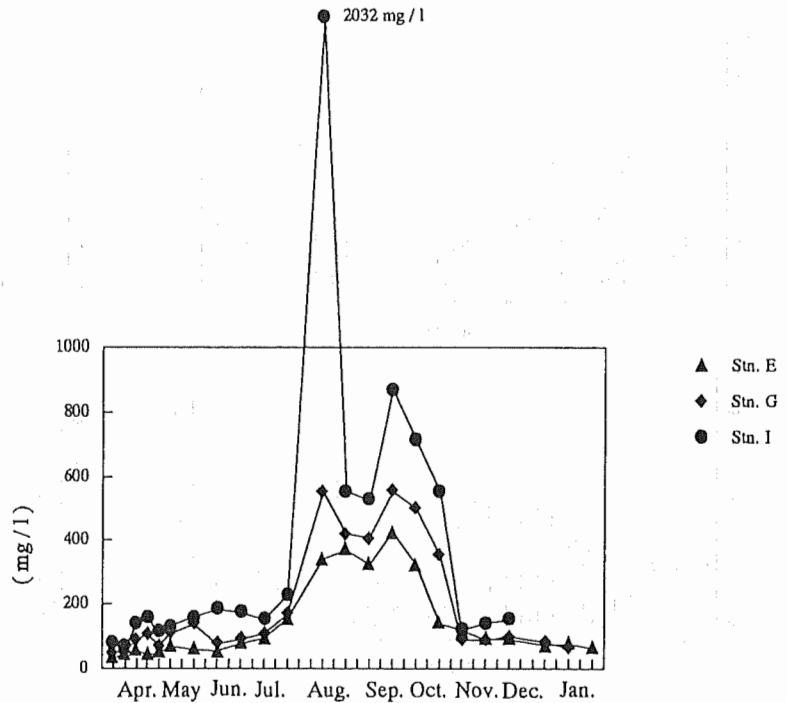
また8月12日には各地点で突出した値を示し、Stn. Iでは Cl⁻濃度が 2032mg/l に達した。このピークは Stn. G, E, D と海から遠ざかるにつれ小さくなっている。この採水の前日には台風が来ており、採水当日には放水路から海水が流れ込んでいるのが観測された。茨戸湖に対する海水の影響が明瞭に観測された例である。

Cl⁻は94年も93年と同様の挙動を示したが、台風もなく突出した値も示さなかった。また、流入三河川のCl⁻は93年、94年とも季節変動がほとんどなく、特に伏籠川、創成川での濃度は下水処理水の流入によって支配されていると考えられる。

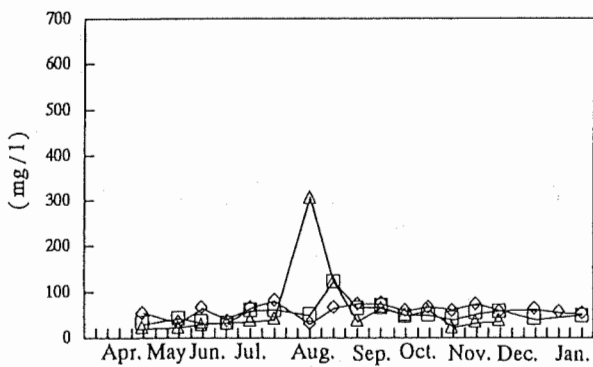
また Stn. C での Cl⁻濃度は表面 (Cs) と湖底 (Cb) ではまったく差がみられない。



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 Cl⁻の季節変動 (1993年度)

4-4-2 窒素の季節変動

$\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の濃度を合計したのが無機窒素(TIN)で, その季節変動を Fig. 8 に示した. 無機窒素の季節変動は少ないが, 伏籠川, 創成川では春から夏にかけて増加し, 秋に減少している. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度は夏に減少しているのがわかる. 図中には, 無機窒素に対する $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の割合をも示したが, 明らかに $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の比率が春に高く夏にかけて減少しており, これは春から夏にかけて生物活動が活発になり, 窒素化合物の分解が進み, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が $\text{NO}_3^-\text{-N}$ に変化したのではないと思われる.

Fig. 9 に $\text{NH}_4^+\text{-N}$ についての1994年の季節による濃度変化を示した.

中部湖盆である Stn. C, D では他の地点より $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度が低く季節による動きが少ない. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の伏籠川, 創成川における動きは非常に似ており, 発寒川では1年を通じて低濃度である. その伏籠川, 創成川と似た動きを示したのが三河川の合流地点 (Stn. E) である. Stn. G, I での2つの動きはほぼ同じであるが, Stn. G, I と同じ下部湖盆である Stn. E とは増減の時期が異なる. 伏籠川, 創成川に下水処理水が大きな影響を与えていることは先に述べたが, これらの河川水の影響が茨戸湖に及んでいることがこのことからわかる.

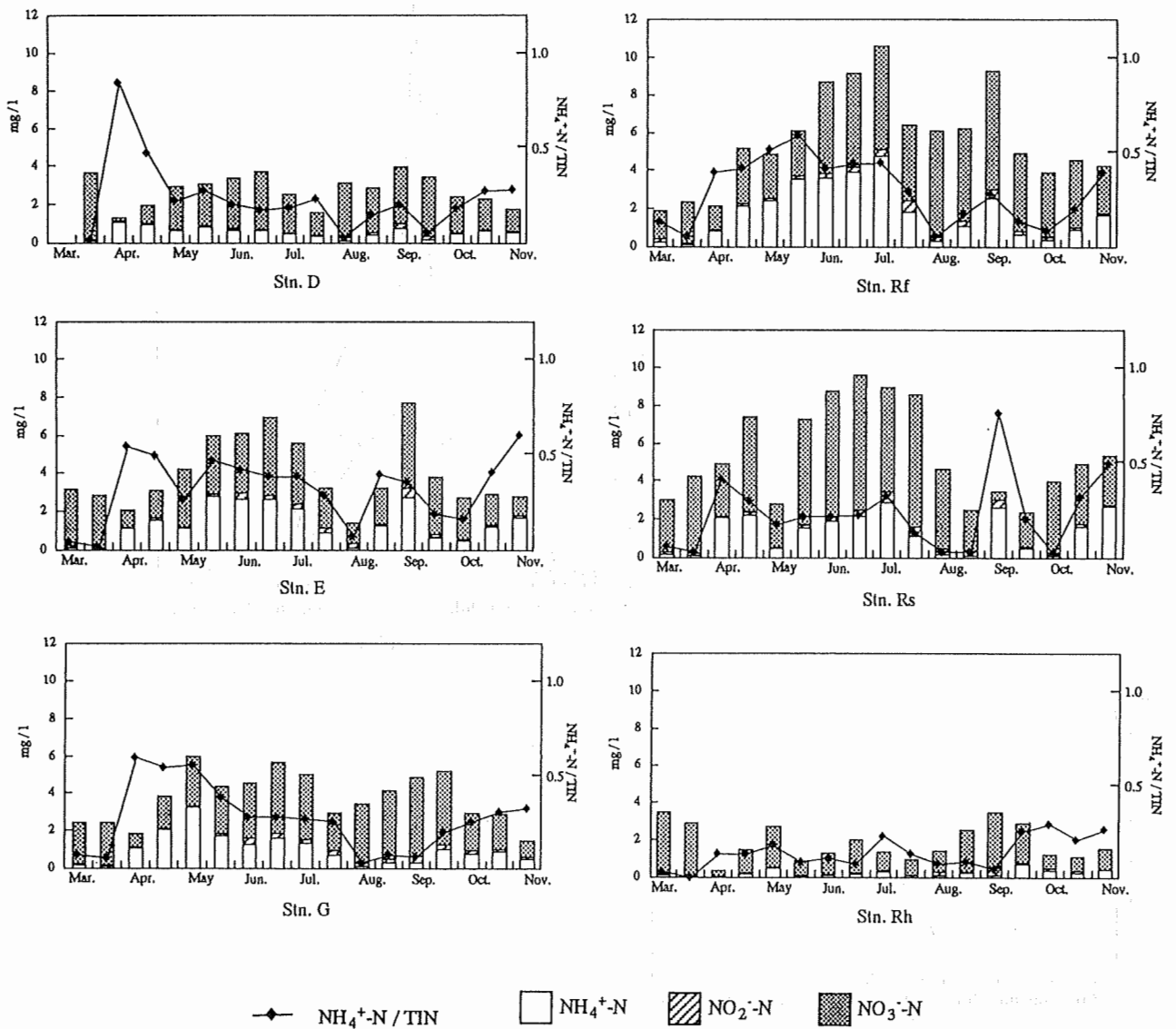


Fig. 8 無機窒素の季節変動 (1994年度)

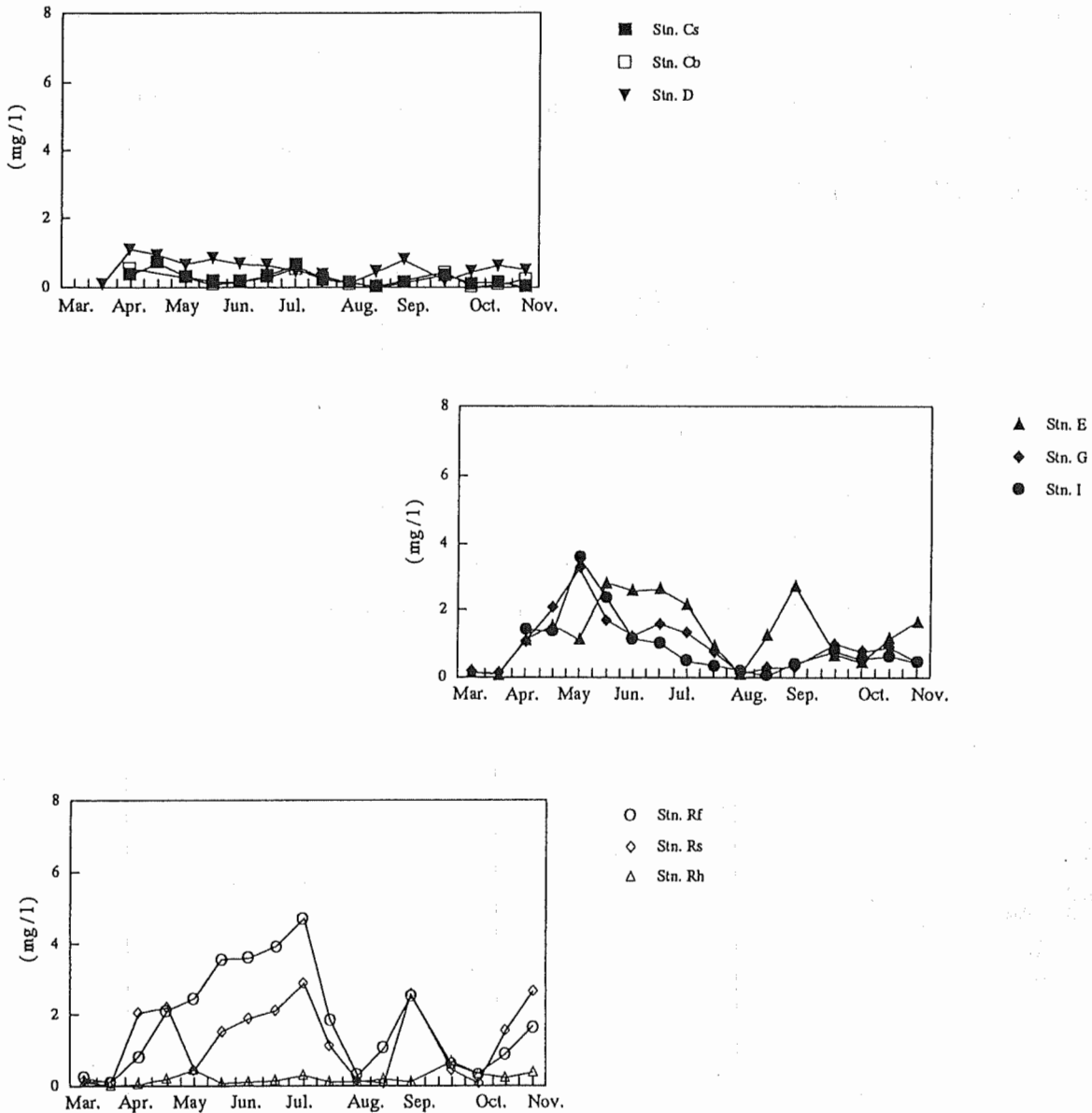


Fig. 9 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の季節変動 (1994年度)

4-4-3 COD, DO, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の季節変動

COD は、茨戸湖で7.0~14.0 $\text{O}_2 \text{ mg/l}$ 、流入三河川で5.2~16.0 $\text{O}_2 \text{ mg/l}$ の濃度範囲を示し、季節的な変動はみられない。茨戸湖では特に変動が少なく、その平均値は9.5 $\text{O}_2 \text{ mg/l}$ となり、COD のみで天然湖沼の環境基準に当てはめてみると、最も汚染の進んだ水質であるC類よりも汚濁された水系となる。

DO の濃度範囲は、湖底水である Stn. Cb では3.0~9.0 $\text{O}_2 \text{ mg/l}$ 、茨戸湖の表面水では5.2~14.2 $\text{O}_2 \text{ mg/l}$ 、流入三河川では2.4~11.6 $\text{O}_2 \text{ mg/l}$ となっている。Fig.10に Stn. C の表面水と湖底水の変動を示したが、わずか3 m 下部でも、表面水より常にDOは少なく、飽和百分率は40~80%と100%以下である。これは湖底において、酸素が消費される変化が生じていることを示唆している。

$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ は、茨戸湖で10~330 $\mu\text{g/l}$ 、流入三河川で10~270 $\mu\text{g/l}$ の濃度範囲を示し、CODと同様に季節的な変化はみられなかったが、創成川では突発的に高濃度を示すことがあった。

富栄養化の原因となる無機窒素 (TIN) と有機物量の指標となる COD の関係を示したのが Fig.11 である。中部湖盆では、無機窒素の濃度も少なく変化が小さいのに対し COD の変化は比較的大きく、下部湖盆では中部湖盆とは逆に、COD の変化が小さく、無機窒素の変化が大きい。流入三河川のうち、創成川、発寒川では下部湖盆と同様のことがいえるが、伏籠川では無機窒素 (TIN)、COD とも変化はほかに比べて大きい。しかし、両者の間には明確な関係は見られない。

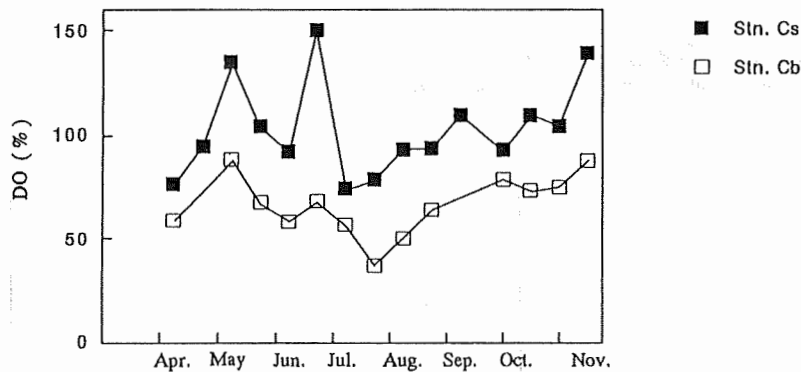


Fig. 10 表面と湖底における DO の季節変動 (1994年度)

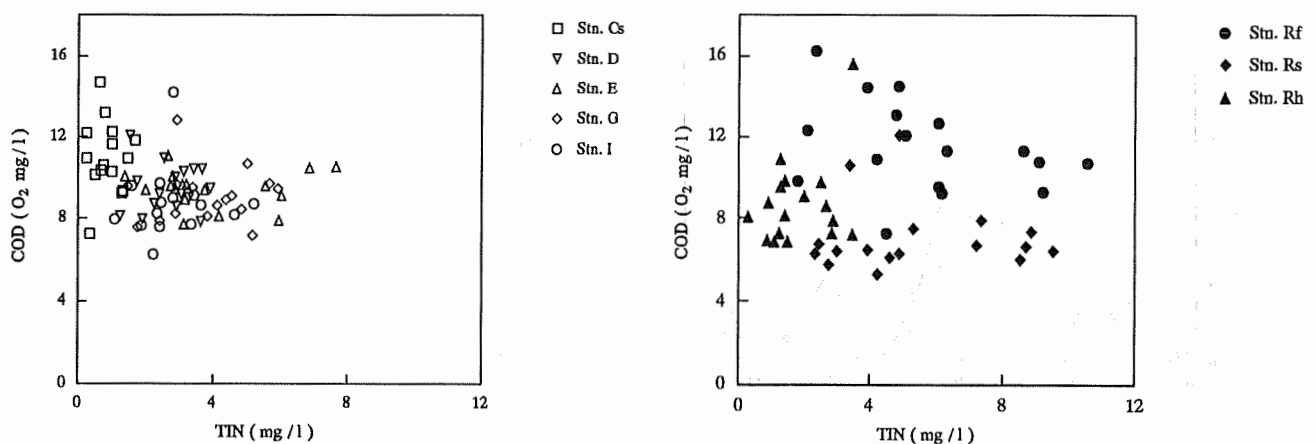


Fig. 11 COD と無機窒素の関係

4-5 Stn. E, Rf, Rs の経時変化について

4-4 では茨戸湖、流入三河川における長期的な変動について検討してきた。ここでは、伏籠川、創成川およびそれらの合流地点における成分濃度の一日の変化について検討するため94年4月21日7時より19時にかけて、3時間間隔で各点で採水を行った。なお採水の前々日から当日にかけては、晴天が続いていた。これらの測定結果を Table 5 に示す。Cl⁻、SO₄²⁻、COD、DO は各点とも一日の中での変動は少ないのに対し、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、PO₄³⁻-P は一日の中でやや大きな変動が認められる。これは下水処理水の性質に深く関与しているためと思われる。

このように、一日のなかでも成分濃度は絶えず変動している。本研究では、各地点でほぼ同時刻に採水するようにした。

Table 5 Stn. E, Rf, Rs の経時変化 (Apr.21, 1994)

	Sampling	pH	電導度	T(W)	Cl	SO ₄	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	COD	DO	DO
Station	time		(μ S/cm)	($^{\circ}$ C)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(μ g/l)	(O ₂ mg/l)	(O ₂ mg/l)	(%)
E	7:00	6.5	0.36	7.6	42.5	37.5	1.06	0.08	1.53	96	8.71	8.32	71.8
	10:00	6.4	0.36	6.8	48.0	32.3	0.92	0.06	1.14	93	7.49	8.87	75.0
	13:00	6.6	0.35	7.5	44.0	33.2	0.96	0.07	1.87	96	8.43	8.93	76.9
	16:00	6.5	0.37	8.4	43.0	31.4	1.25	0.07	1.95	154	8.69	9.23	81.3
	19:00	6.3	0.41	9.3	47.0	39.2	1.96	0.08	2.26	120	8.17	7.25	65.3
Rf	7:00	6.7	0.38	7.8	32.5	29.6	1.60	0.15	1.81	149	12.8	6.93	60.2
	10:00	6.7	0.40	8.6	37.5	34.0	2.47	0.17	1.89	120	9.88	6.7	59.7
	13:00	6.4	0.39	8.9	37.0	32.3	2.06	0.14	1.19	144	9.45	8.71	77.6
	16:00	6.5	0.38	9	33.0	33.2	2.31	0.11	2.42	96	13.5	6.85	61.2
	19:00	6.4	0.37	10.9	27.5	30.5	1.72	0.14	1.26	166	11.2	6.75	63.1
Rs	7:00	6.3	0.49	10.2	62.5	30.5	4.63	0.21	2.52	26	8.58	5.17	47.6
	10:00	6.2	0.47	10.5	60.0	32.3	2.59	0.21	2.42	72	8.60	5.56	51.5
	13:00	6.2	0.45	12.2	56.0	30.5	3.86	0.20	2.56	120	8.52	6.38	61.5
	16:00	6.2	0.42	12	54.5	34.0	1.92	0.23	3.07	134	7.38	6.93	66.4
	19:00	6.1	0.39	13.2	46.0	29.6	1.14	0.17	3.84	14	7.37	6.91	68.1

4-6 茨戸湖における各成分の存在量について

以上の検討によって、茨戸湖の成分濃度に与える影響の一つは、下部湖盆における海水の逆流であり、もう一つは茨戸湖に注ぐ下水処理水を含む流入河川であることは明らかである。ここで茨戸湖における Cl⁻, N, P, COD の存在量を概算してみる。存在量の概算に用いる平均濃度を求めるにあたり、茨戸湖の各成分の頻度分布を求めた。その一例を Fig.12 に示すが、その分布は正規分布ではないことがわかる。各成分について横軸に log 対数をとった確率紙を用いて検討したところ、いずれも直線を示し各成分は対数正規分布をとることがわかった。流入三河川についても同様に検討を行ったところ、茨戸湖と同様対数正規分布をとることがわかった。

このことから各成分の濃度の平均値は、算術平均よりも幾何平均を用いるのが適当であると考え、Table 6 のように各地点の幾何平均を求めた。茨戸湖において、Cl⁻ は放水路付近の Stn. I で高いほかは、各地点でほぼ同じ値を示しており、その他の成分についても各地点での差はあまりみられない。そこで、この茨戸湖各地点の幾何平均値から茨戸湖全体の平均濃度を求め、これらの値も Table 6 に示した。これらの平均濃度と、橘、那須らによる1976年の茨戸湖における値 (TIN2.2~5.4mg/l, PO₄³⁻-P2~18 μ g/l) を比較するとほぼ同じであることがわかる [水の分析第三版, p. 441, 化学同人 (1993).].

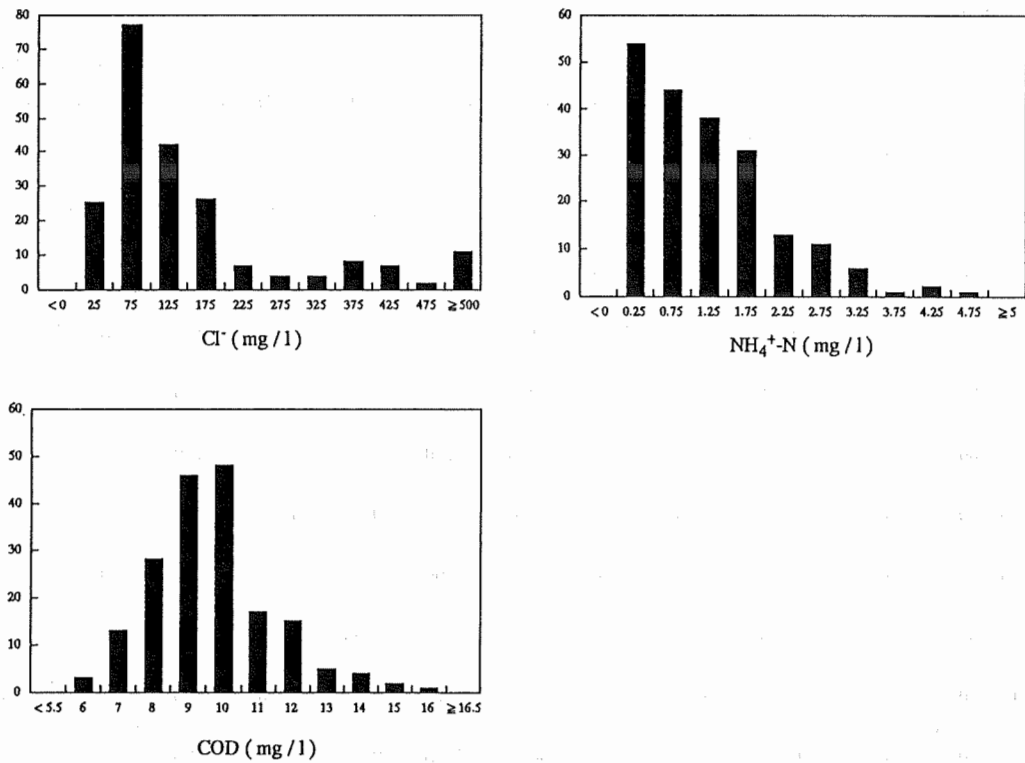


Fig. 12 茨戸湖における Cl⁻, NH₄⁺-N, COD の頻度分布

この平均濃度に、先に述べた茨戸湖の水量1400万m³を掛け、茨戸湖における各成分の存在量を求めると、Table 6 の下段の値となる。

北海道開発局石狩川開発建設支部より流入三河川の流量を入手し、この流量と各採水日のデータを用いて、93年における三河川から茨戸湖へ入る各成分の量を計算したのが Table 7 である。有機物量の指標となる COD の流入量は三河川で差はない。また生活排水による汚染の目安となる Cl⁻ の流入量は、伏籠川よりも創成川、発寒川の方が多。N, P は Cl⁻ とは異なり、伏籠川、創成川の方が発寒川よりも多。発寒川は下水処理場がないことから、Cl⁻ や COD の流入量が伏籠川、創成川より少ないと思われたが、予想外に多かった。

Table 6 茨戸湖および流入三河川における幾何平均値

	Station	Cl (mg/l)	COD (O ₂ mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	TIN (mg/l)	PO ₄ -P (μg/l)
幾何平均値	Cs	112	10.8	0.31	0.06	0.51	0.88	25
	D	103	9.40	0.78	0.14	1.81	2.73	27
	E	91.5	9.39	1.28	0.20	2.22	3.83	42
	G	117	8.99	1.06	0.20	2.35	2.64	34
	I	189	8.60	0.92	0.14	1.58	2.64	26
	Rf	43	11.3	1.70	0.21	3.32	5.23	45
	Rs	53	6.88	1.25	0.26	3.32	4.83	93
	Rh	40	8.51	0.28	0.07	1.31	1.66	28
茨戸湖の平均濃度		123	9.44	0.87	0.15	1.69	2.71	31
茨戸湖の存在量 (t)		1716	132	12.2	2.1	23.7	38.0	0.4

Table 7 流入三河川の各物質の流入量

Station	Sampling date	NH ₄ -N (kg/day)	NO ₂ -N (kg/day)	PO ₄ -P (kg/day)	Cl (t/day)	COD (t/day)
Rf	Apr. 29	59	6	3	1.80	0.77
	June 10	221	9	2	1.60	0.58
	July 8	99	25	2	2.68	0.71
	Aug. 12	148	17	19	2.54	0.80
	Sep. 23	1976	76	4	7.79	1.40
	Oct. 21	251	35	4	4.74	0.99
	Nov. 18	87	15	4	3.10	0.82
	Average	406	26	5	3.46	0.87
Rs	Apr. 29	49	32	2	3.84	0.79
	June 10	164	14	2	3.62	0.61
	July 8	81	18	1	2.27	0.41
	Aug. 12	294	37	3	1.93	0.87
	Sep. 23	352	48	2	8.95	1.13
	Oct. 21	171	65	52	10.8	1.44
	Nov. 18	75	32	21	11.7	1.44
	Average	169	35	12	6.2	0.95
Rh	Apr. 29	36	2	1	0.98	0.55
	June 10	31	4	2	1.73	0.53
	July 8	12	6	1	1.86	0.83
	Aug. 12	123	20	3	20.1	0.66
	Sep. 23	12	10	4	6.97	1.52
	Oct. 21	80	24	2	6.97	1.11
	Nov. 18	150	6	1	3.81	1.00
	Average	64	10	2	6.06	0.89
Sum(t/day)		0.64	0.07	0.02	15.7	2.7

Table 6, 7に示す茨戸湖の存在量と三河川の流入量から、三河川より茨戸湖へもたらされる各物質の量は、一日あたりCODでは茨戸湖の存在量の2%, N, Pでは5%となる。茨戸湖中のN, P, 有機物質等は、これら三河川より供給される以外に、茨戸湖周辺の農地等から雨によって溶出して湖に入ることも十分に考えられる。

N, CODがすべて流入三河川から入って来ると仮定すると、茨戸湖水の平均滞留時間(交換にかかる日数)が求められる。たとえば三河川から流入するNH₄⁺-N, NO₂⁻-Nの合量は約0.71t/日となり、茨戸湖中の合量は約14.3tとなる。試みとして、この結果から導かれる茨戸湖水の平均滞留時間を求めると20日となり、CODで同様に求めると49日となる。これらの物質は、他の経路からも茨戸湖に流入すると思われるので、この数字はあくまでも目安であるが、このように化学物質の存在量、流入量(流出量)が正確に算出されれば、水系における物質の停滞時間が求められるのである。

5. 結 語

1991年～1994年の4年間の調査で、茨戸湖について以下のことが明らかになった。

1. 主要成分について

- 1) Na^+ , Cl^- の濃度は上部湖盆から下部湖盆へと増加しているのに対し, Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} の濃度は各地点でほぼ一定である。
- 2) 陰イオン主成分の組成は通常河川と異なり, Cl^- の割合が大きく海に近づくにつれ大きくなっている。
- 3) Na^+ + K^+ と Cl^- の間には正の相関がみられる。
- 4) Cl^- と電導度の間には非常に高い相関がみられた。茨戸湖では Na^+ , Cl^- の占める割合が高いことなどから, Cl^- と電導度を測定することでイオンの全体的な動きをとらえることができる。

2. 各成分の季節変動について

- 1) Cl^- 濃度は茨戸湖では夏期から秋期にかけて増加する。その増減の割合は中部湖盆よりも下部湖盆で大きい。また台風などによって, 海水が逆流して茨戸湖水系の Cl^- 濃度に大きく影響を与える。流入三河川では Cl^- の季節変動はなく, 通常河川よりもその濃度は大きい。流入三河川の Cl^- 濃度は下水処理水や生活排水に依存すると思われる。
- 2) NH_4^+ -N 濃度は, 下部湖盆で春から夏にかけて減少しまた冬期に増加している。
 NO_3^- -N 濃度は, NH_4^+ -N とは逆に, 春から夏にかけて増加している。
これは春から夏にかけて生物活動が活発になり, 窒素化合物の分解が進んだためではないかと思われる。
- 3) COD は季節変動はみられず, 常に高濃度を示している。その茨戸湖における平均値を天然湖沼の環境基準に当てはめると, C類(最も汚染の進んだ湖沼)よりも汚染された水系となる。

3. 存在量について

- 1) 茨戸湖, 流入三河川の各成分濃度は, 対数正規分布を示す。各平均濃度を求めるには幾何平均を用いるのが適当である。
- 2) NH_4^+ -N, NO_2^- -N, NO_3^- -N, PO_4^{3-} -P の濃度は伏籠川, 創成川で大きく, 次いで流入河川の合流地点で大きくなっている。
- 3) 流入三河川から茨戸湖に入る各物質の量は, COD では三河川に差はない。 Cl^- の流入量は伏籠川より創成川, 発寒川で多く, N, P は伏籠川, 創成川の方が発寒川より多い。

以上のことから, 茨戸湖の各成分濃度は, 海水の侵入, 下水処理水, 生活排水の流れ込む三河川の流入によってもたらされる物質, および湖周辺から雨などによる溶出物質の流入によって大きく影響を受けていると考えられる。

謝 辞

本研究を行うにあたって, 北海道教育大学札幌校4年目学生柴田猛, 林潤一, 小野寺渉氏は試料の採水および分析の一部を担当された。これら各氏に厚くお礼を申し上げます。また, 伏籠川, 創成川, 発寒川の流量のデータを提供して下さった北海道開発局石狩川開発建設支部に感謝致します。