

# 冬期間における春採湖の水理特性

福山 龍次 知北 和久\* 濱原 和広 坂元 博明\*\*

## 要 約

道東の釧路市街地に位置する春採湖において、1995～1996及び1996～1997年の冬期間に湖面変動や水質の鉛直分布について調査を行い、次の春採湖特有の水理特性を確認した。

- 1) 結氷期の湖水位は、結氷直前の湖面高度とほぼ一致しているが湖口の開閉状態で様相が異なり、閉塞時にはわずかながら湖面の水位上昇が確認された。
- 2) 湖東部と湖西部では水温、塩分、溶存酸素及び電気伝導度の垂直分布が異なり、湖東部は主に淡水層で占められているのに対し、湖西部は海水に由来する下部塩水層と淡水層の2層が成層し、結氷期の各項目の躍層は解氷期より0.5～1 m深層に位置していた。
- 3) 結氷時の鉛直混合には顕著な密度流は観測されず冬期間中はほぼ成層しているが、下層の無酸素層と表層との境界部が開氷期よりやや不明瞭であることが示された。

**Key words :** Lagoon, Anoxic water

## 1 はじめに

春採湖は釧路市街地内に位置し、生活排水の流入によって汚濁の進んでいる富栄養湖である。流入河川は生活排水を含む都市内中小河川と周辺部からの湧水で、流出河川は大平洋に注ぐ1河川である。流出河川からは、満潮時に潮位が湖面高度以上の場合には海水が逆流する。これらの海水は、底層部に死水といわれる無酸素層を形成し、湖水はもとより湖内の生物層にも影響を及ぼしているものと考えられる。特に、湖内には天然記念物の緋ブナが生息し、この無酸素層が魚類生理や生息環境に何らかの影響を及ぼしていることが既存の論文等で報告されている。しかし、これまで冬期間の結氷下では、湖沼水理に関する詳細な調査が行われなかったため無酸素層が湖水へどのような影響を及ぼすのか不明な部分が多い。

今回、結氷期を含む冬期間において、湖面変動、水収支及び水質調査を実施し、無酸素層の挙動や鉛直混合等、春採湖における冬期間の水理特性を明らかにしたので報告する。

## 2 調査概要

### 2. 1

湖沼内に12箇所の調査地点を設置し、長期水温測定を実

施すると共に、溶存酸素、電気伝導度の鉛直分布を定期的に測定する。また、湖内の最深部に流速計を設置し、湖流測定を行った。

## 3 調査結果及び考察

### 3. 1 湖概要及び調査地点

調査地点を図1に示した。本湖は最深部があり海水の逆流の影響を受ける湖西部と浅くて海水の影響が比較的弱い湖東部の2区画に分けることができる。

地点MDは最深部でA、B、C、F及びEと共に湖西部に位置し、海水の逆流の影響を大きく受け、無酸素層の形成が著しい地点である。

地点D、G及びHは湖東部に位置し、水深も浅く、海水の影響が弱く流入する春採排水によって生活排水の影響を受けている地点である。

今回の調査は、湖東部を対照として、主に海水の影響を強く受ける湖西部の水理について述べる。

### 3. 2 調査期間中の気象

調査期間中の気象をみると風向風速は、12月から2月の間は北寄りの風が卓越し、1～2月の厳冬期は風速も大きく、3月になると南よりの風が卓越してきている。これらの風が湖水に及ぼす影響は、解氷期は水吹流による底層水の湧昇であり、結氷期は積雪の吹き払いである。湖面の積雪の有無は湖水への日射量を支配するため、クロロフィル等の一次生産に影響を及ぼすことになる。

\*北海道大学大学院理学研究科

\*\*環境コンサルタント(株)

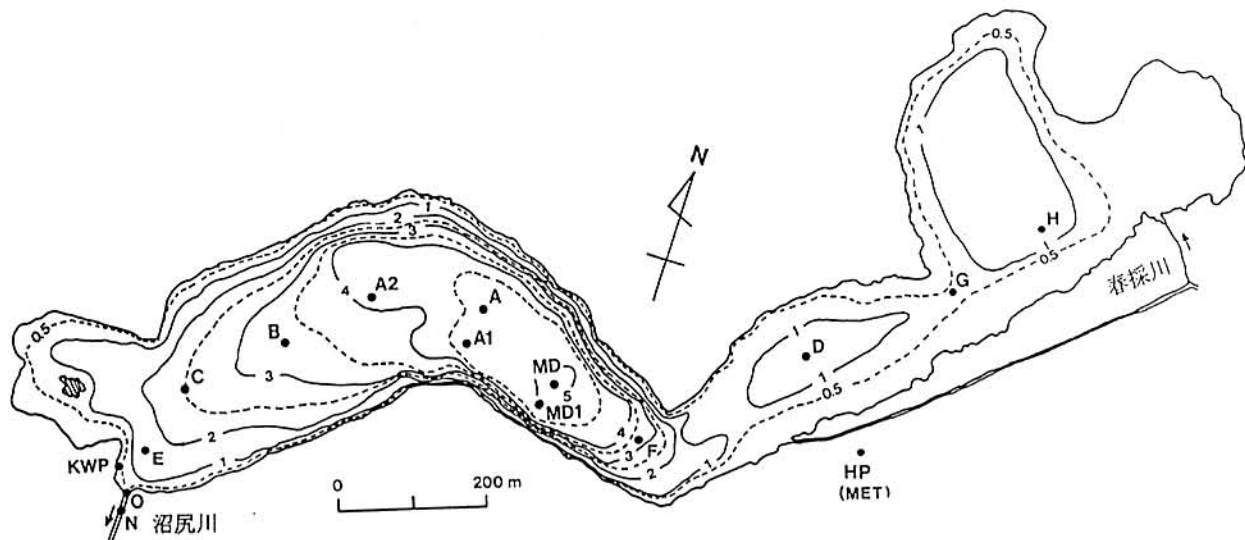


図1 調査地点図

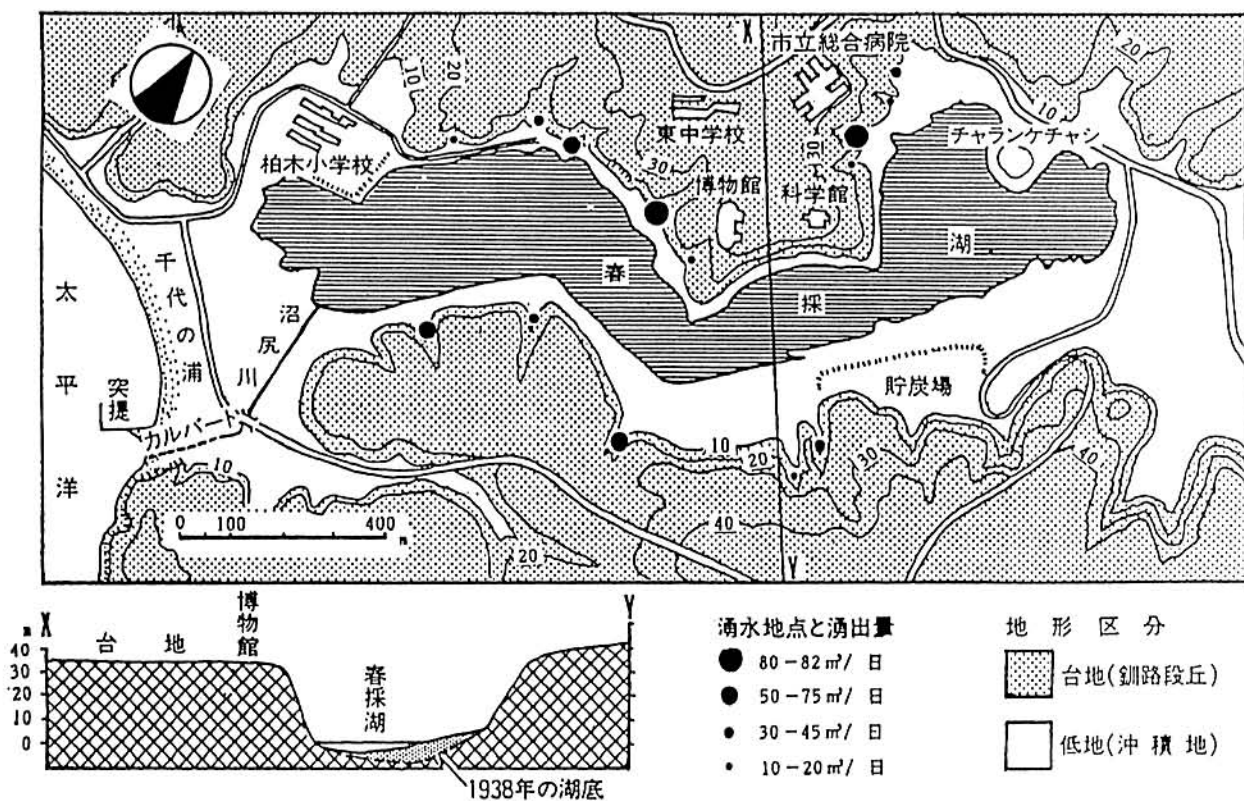


図2 春採湖周辺の地下水湧出地

3月になると日射量も増加し、これに伴って気温も上昇し、透過光による水温上昇と相まって解氷を進めることになる。

各年の結氷期間は、1995年12月13日～1996年4月10日及び1996年12月11日～1997年3月29日で全面解氷は1996年4月10日及び1997年4月8日であった。

### 3.3 水収支

春採湖には4つの流入河川が有り、いずれも生活系の排水からなる排水路である。この内、春採排水 (0.05m<sup>3</sup>/sec 程度) が最大で、他の3河川は流量も僅かな (0.01m<sup>3</sup>/sec 以下) 生活排水路である。その他に湧水が湖岸周辺北岸で確認されており、湧水は溶存酸素も十分に含んでいる。

流出は1箇所の湖口で、冬期間のみ年によっては閉塞、解放と流出状況が異なり、解放時には高潮時に海水が逆流

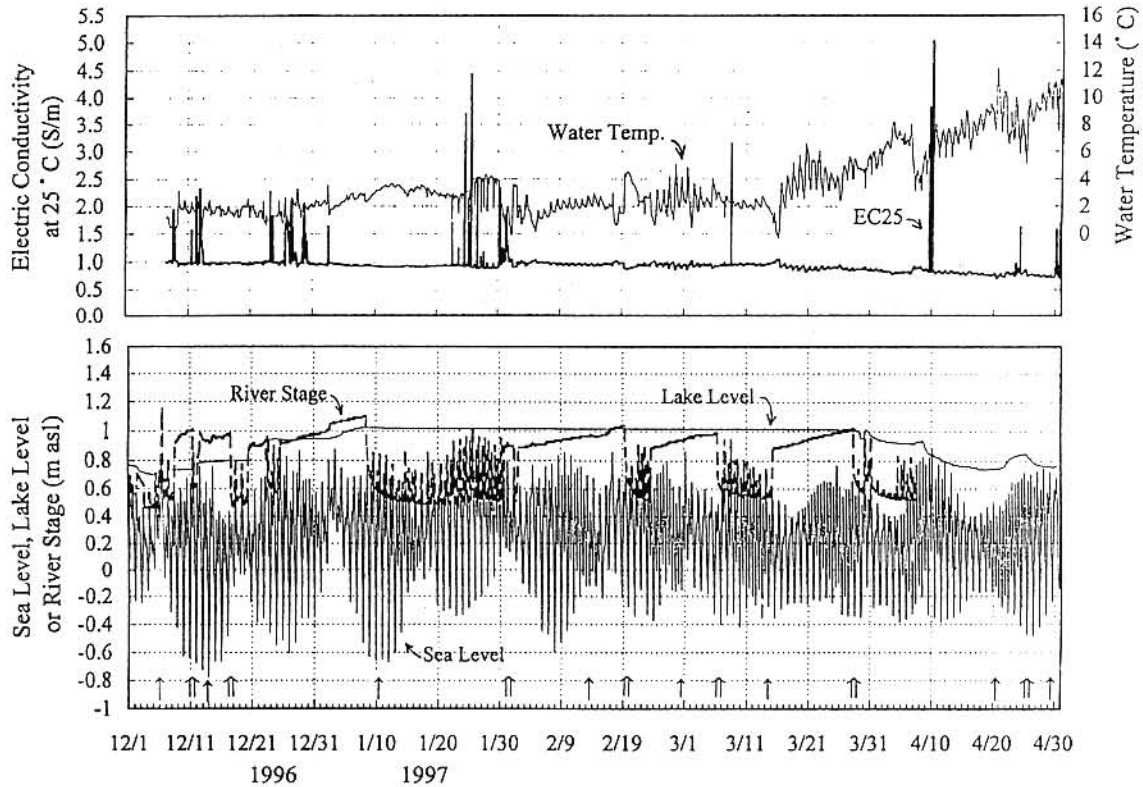


図3 調査期間中のMD地点における表層水温及びECと潮汐及び湖面水位

する。しかし、降雨や逆流する海水など流入流出量にわずかな変動はあるものの、湖水位は年間を通じてほぼ一定である。

### 3.4 湧水

春採湖調査会が昭和63年3月にまとめた「春採湖及び周辺の環境保全基礎調査報告書」によると湖の周辺部には20箇所程の湧水が確認されており、最大で約600m<sup>3</sup>/日の湧出量があるとされている。これらの地下水は湖岸の急斜崖をつくる岩盤（古第三紀層）の上にある台地の構成層及び洪積層基底の帯水層から湧出すると記されている。これらの湧水地点及び湧出量を図2に示した。

湧出地点は主に北岸で湧出量80m<sup>3</sup>/日以上湧水が2箇所あり、冬期間これらの湧出地点には多くの魚類が集まってくるのが知られている。

### 3.5 湖面水位

図3に湖面水位と潮位を示した。湖面水位は流入量と流出量の収支バランスで決定されるが、流入河川水量より、高潮時に逆流する海水量の方が多いと考えられるため、主に潮汐によって湖面水位は変動する。しかし、結氷中は湖面を氷が覆っているため解氷期とは様相が異なる。

結氷期間中の湖面水位変動は95～96年と96～97年では異なっている。これは、95年は流出口が閉塞状態であったため流入水によりわずかながら湖面水位は上昇し、96年は

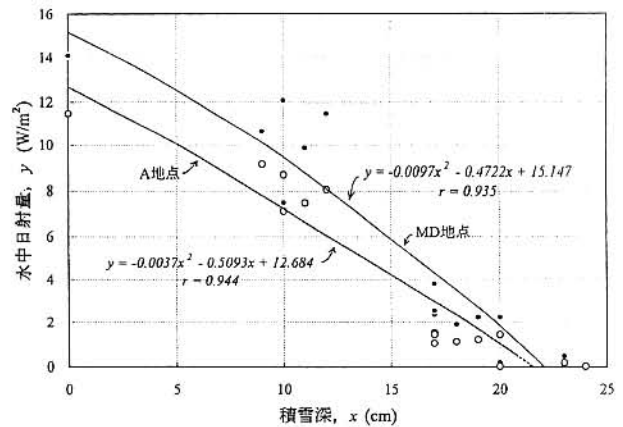


図4 水中日射量と積雪深との関係

流出口が解放状態であったため収支バランスが保たれ結氷期間中はほぼ一定の値であった。

### 3.6 水中日射量

水中日射量と積雪深の関係を図4に示した。日射量と積雪深の間には反比例の関係があるが、湖の最深部とA地点とでは比例係数に差が認められる。この差は主に水の透明度や氷厚とも関係し、最深部のMd地点とA地点では結氷状況が異なっているものと考えられる。このように最深部では、水中日射量が他の地点と比較してやや高いため一次生産へは好条件であると考えられる。

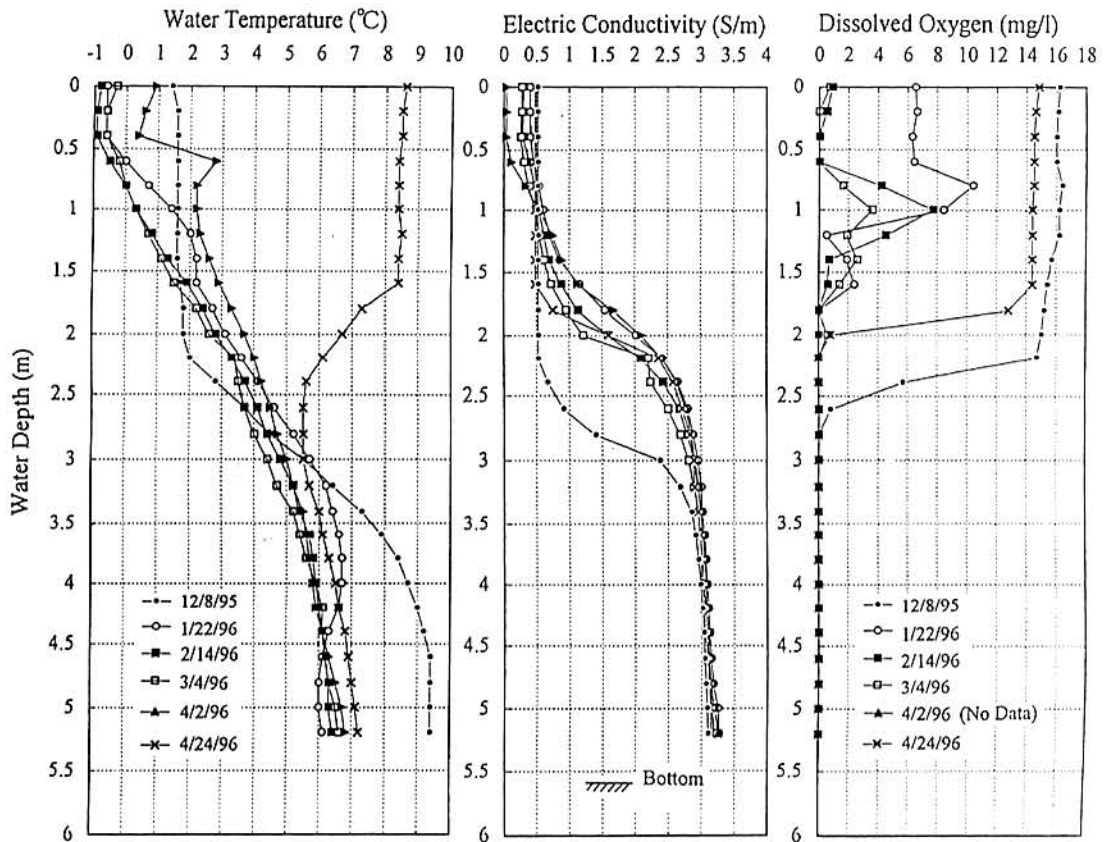


図5.1 MD地点における95～96年期間中の項目別鉛直分布

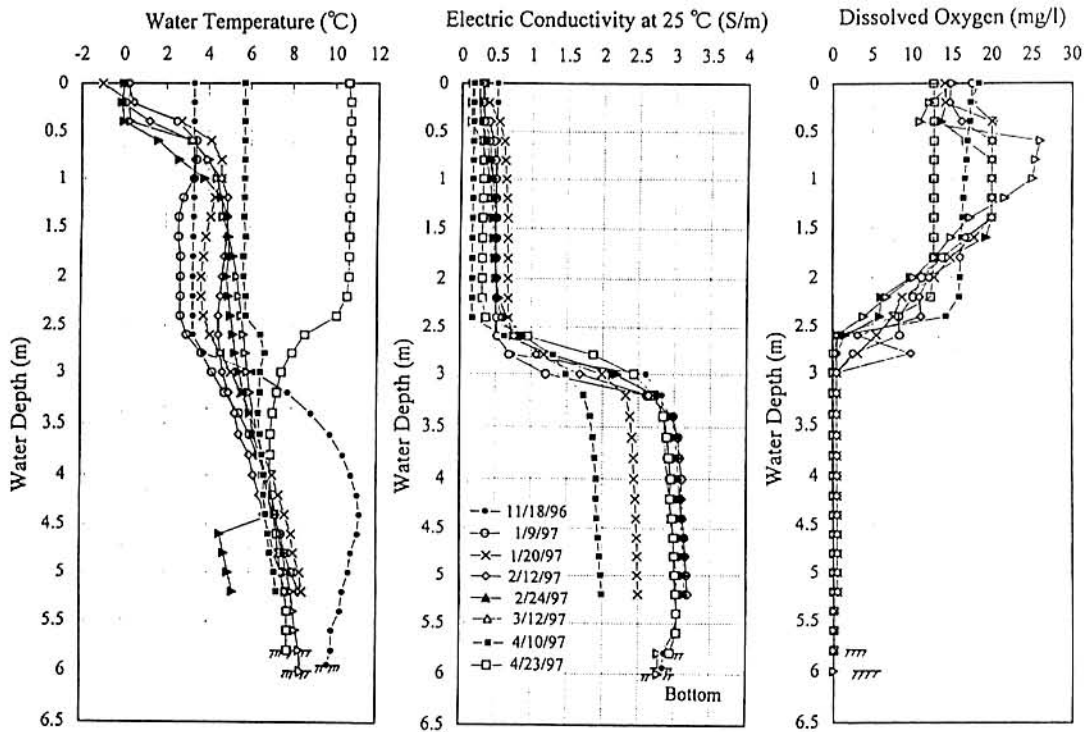


図5.2 MD地点における96～97年期間中の項目別鉛直分布



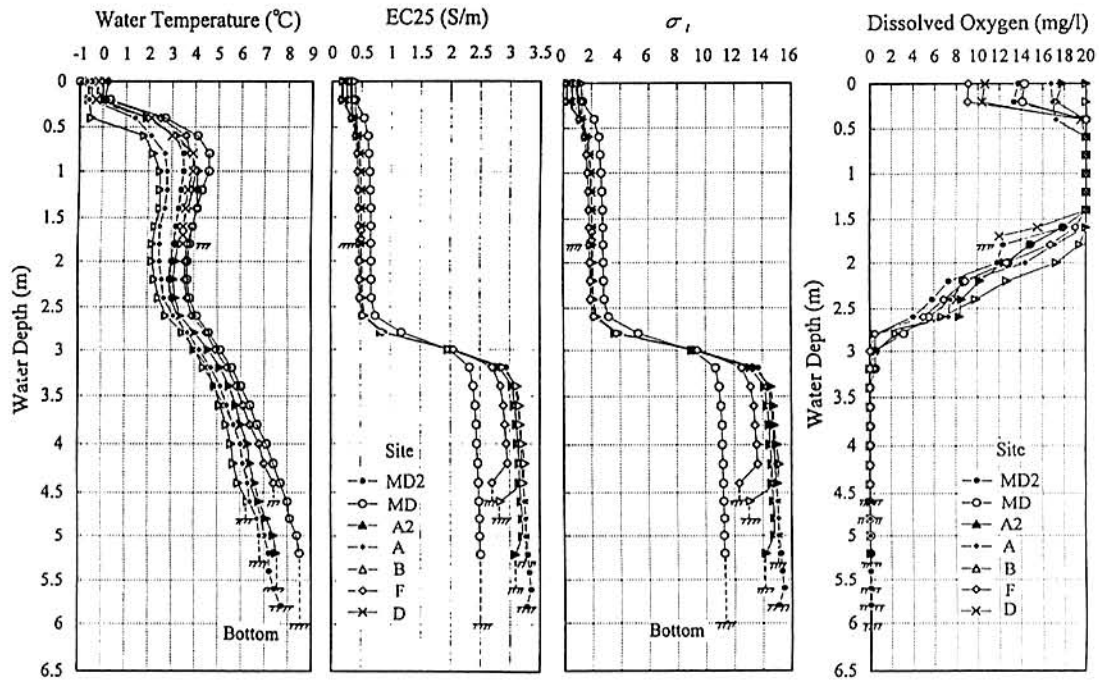


図6 各地点の結氷期における項目別鉛直分布

### 3.7 鉛直分布

95年～96年と96～97年の冬期間の最深部における項目毎の鉛直分布を、それぞれ、図5.1及び図5.2に示した。

各項目の躍層は同一測定日では同様の傾向にあるものの、1月と4月では躍層の深度が異なり、1月より4月の方が50cmほど浅い層へ移行してきている。これは凍結期間中、湖面高度がほぼ一定であるのに対し解氷後は湖面変動が頻繁で湖面が凍結期間より高くなったことが大きな要因と考えられる。

溶存酸素は各地点とも2mまでは10mg/l以上の値であるが、3m以深は0mg/lで無酸素層になっている。

水温の鉛直分布を見ると表層の50cmまでは上昇傾向を示し、2.5mまではほぼ一定の値で、それ以深ではふたたび上昇している。湖内の水質の鉛直分布の主な変動要因は、表層の水からの冷却と下層の無酸素層の基底熱量である。深度が最深部でも6mと浅いにも関わらず湖底部では冬期間を通じて高い8℃前後の熱量を維持しているのは熱拡散が分子熱拡散に近く、流入海水温が保持されていることと、一部に、湖底部の硫酸還元菌やメタン細菌等による代謝熱が考えられる。結氷期と解氷期とも最深部の水温は7℃前後で大きな変動が認められないのも上述の理由によって熱量が一定に保持されているためと考えられる。

電気伝導度は溶存酸素が無くなる2.5m以深から上昇し、3.5m以深では最大値3 S/mを示している。

95年～96年の冬期間の項目毎の鉛直分布を図からは、ECとDO分布が結氷前の12月8日の各躍層(2.5m)で結氷期以後、0.5～1m上昇していることが示されている。このように95年と96年の冬期間では成層状態が異なってい

るが、これは湖沼の流出口が95年の冬期は閉塞状態で、96年の冬期は解放状態であったことに起因するものと考えられる。閉塞状態の場合下層部に海水の流入がなく表層冷却などの温度差で生じた密度流によって塩淡混合が境界付近で生じ躍層が浅部へ移動するものと推察される。

次に1997年1月20日(結氷期)の各調査地点における項目別鉛直分布を図6に示した。湖西部の各地点は溶存酸素は水深3m以深は0mg/lで電気伝導度も3m以深で3 S/mまで急激に上昇する。しかし、湖東部のD地点は最深部(2m)でも溶存酸素濃度10mg/l以上の値を示し、EC値も変動が認められなかった。

従って、本湖沼は結氷期を含む冬期間も明らかに水質の大きく異なる水域が東西に別れ、湖西部では塩淡両層が成層し、上下混合はすくないものと考えられる。

### 3.8 無酸素層の湖水質への影響

本湖の無酸素層は同時に還元層であるため、硫黄細菌等の嫌気分解によって硫化水素やメタンガスの発生を促進している。また、底泥からはリンの溶脱も他の湖沼に比べて容易で湖の富栄養化も促進している(1994:福山等)。さらに、無酸素層が表層の淡水層を圧迫すると魚類などの生物は死活問題となる。

## 4 考察

本湖は湖底部と表層部が明らかに海水と淡水との2層構造を形成し、湖内の水質はこの構造を核に論ずる必要がある。上下層の混合は夏期にはほとんど行われず、海水の逆

流も河口付近で密度流として、下層部のみに侵入するため、上下混合は起こらない。一般に本湖は、表層の淡水層は冬期間冷却により熱放射し、下層部の海水層はソーラー・ボンドの原理によって熱量を保存しているため、両層間の熱交換は頻繁でないと考えられ、冬期間、夏期間を問わず年中成層していると考えられる。今回、冬期に河口部が閉塞されるとこの2層境界が表層の冷却によって不明瞭になることが確認された。さらに、上層部の淡水層は湖内の還元層の層厚によって変動し、1996～1997年の冬期間は流出口が開いた状態であったため、塩淡水層は系外からの海水の流入によって一定の層厚を維持していたと考えられるが、1997年～1998年の冬期間は流出口が閉鎖状態であったため水質の異なる上下層の垂直混合が塩淡水境界を不明瞭にしつつ下層の無酸素層を押し上げていったと考えられる。このことは、無酸素層が表層の層厚を薄め、魚類等の水生生物の生活環境を悪化させることに繋がっている。特に、冬期は結氷し表層での酸素の供給が断たれるため悪条件が重なり、魚類は湖岸の湧水周辺に集中することになる。つまり、冬期の湖内の生物は湧水の溶存酸素に強く依存しており、湧水は本湖の生態系に重要な役割を果たしているものと考えられる。また、湖水質は、都市内河川から供給される生活系の有機物等で汚濁が進んでおり、これらの有機物は塩淡水密度差による非混合によって酸素の供給が断たれた底層部で嫌気分解され硫化水素やメタンガスの発生を誘発している。

## 5 結 語

春採湖は常に底層に“死水”と呼ばれる無酸素層が存在し、上層の淡水層の水質へ影響を及ぼしている。この死水は湖口から逆流する海水によって形成され、潮汐によって層厚もわずかながら変動している。しかし、冬期間における死水の挙動については詳細な調査が実施されていなかったため不明な点が多かった。

今回の結氷期を含む冬期間の調査によって、死水層は結氷期間中大きな変動を示さなかった。しかし、湖口の閉閉によっては塩淡水層厚に変動が認められ、湖内の生態系へも悪影響を及ぼしていることが推察された。このことは、調査を実施した2冬期間のうち、偶然、1冬期間が閉塞状態、1冬期間が解放状態であったため比較することができ幸運であった。解放状態では常に海水と淡水の流入出バランスが死水層を一定の層厚に保っており、上層の淡水層への影響も少ないものと考えられる。

また、本湖の構造から海水の影響を受けやすい、最深部を含む湖東部と浅くて死水がほとんど存在しない湖西部とでは水質の鉛直分布も異なるため、湖内の生態系も異なるものと推察される。

本湖に生息する非ブナは天然記念物として釧路市の財産

となっている。しかし、冬期間の結氷はこれらの生物の生息にとって、決して好条件ではない。湖内の酸素供給の乏しい悪条件下で唯一、湖岸からの湧水が解氷部をつくると共に酸素供給にも大いに役立っているものと考えられる。

なお、今回、湖内流速測定を試みたがセンサーが還元層内で腐食し、データが未回収なため解析することが出来なかった。無酸素層の還元度の強さを示した結果となった。

今後、冬期間における塩淡水境界の変動が湖内の生態系に及ぼす影響について詳細な調査を実施する必要がある。特に、前述の天然記念物であるヒブナは冬期間無酸素層の上昇によって生息範囲を狭められているため、種の保存を計るためには冬期間の生息分布と水質の関係を調査する必要がある。

## Abstract

The observation of hydrological features, especially, about the behavior of anoxic water was carried out in Lake Harutori during the ice-covered season of 1995-1996 and 1996-1997.

Vertical profiles of three indices, water temperature, salinity and electric conductivity, exhibited the same gradient. The halocline and thermocline were located at a point shallower by 0.5 m than those in the non-ice covered season. The two different strata as hypolimnion and metalimnion and their thickness in the winter season were fluctuated by seawater intrusion. Meanwhile, the boundary of these strata became unclear in the non-ice covered season, and density underflows were not observed obviously.

The anoxic water in Lake Harutori affects harmfully faunal-floral habitats, but is likely to bring up the ecological diversity. Furthermore, the aquatic life in Lake Harutori can live by DO from fresh springs even during the ice-covered season.

## 参考文献

- 知北和久：1997 閉鎖性汽水湖における死水の挙動特性  
北海道大学地球物理学研究報告 13-28
- 知北和久：1998 春採湖における死水の挙動について 釧路市立博物館紀要第22号 1-8
- 春採湖調査会：1988 「春採湖及び周辺の環境保全基礎調査報告書」昭和63年 32-33
- 福山龍次：1996 pH変動に伴う湖水質の変動；北海道環境科学研究センター所報 第21号 29-33

# 渡島大沼に関する文献リストとその研究業績

石川 靖

## 要 約

北海道の道南に位置する渡島大沼は、近年富栄養化が進み、CODの環境基準値を超過する傾向が見られている。そのため、ここ数年、湖内外の環境を把握するための調査研究が行われてきた。今回、筆者は調査研究を行う過程で、渡島大沼に関する過去の文献を収集する機会を得た。収集したものは1998年3月までに発表のもので、論文96編、報告書25部、書籍8冊、その他38編である。論文について、その調査研究内容を吟味するため、大分類として対象地点、調査対象、情報の得易さ、公開されているデータ量の4項目を設定し、さらにこの項目の内容についてキーワードを設定し、キーワードに基づいて分類した一覧表を作成した。

**Key words** : 渡島大沼、論文、報告書、書籍、内容分類

## 1 はじめに

日本の湖沼に関する調査研究は、1889年に田中阿歌磨子爵が山中湖で鉛錘を用いて測深を行ったことから始まるとされている<sup>1)</sup>。日本における湖沼、陸水学の歴史がほぼ1世紀にあたるここ数年は、その過去の業績の再評価や見直しの機運が出てきている。

北海道に関する陸水学文献を調査し、過去からまとめたものについては北海道湖沼誌<sup>2)</sup> や北海道陸水文献目録<sup>3)</sup>、北海道の湖沼<sup>4)</sup> がある。堀江<sup>5)</sup> と Horie<sup>6)</sup> は地形、面積について、田中<sup>7)</sup> は動植物プランクトンを対象として全国の湖沼の状況を取りまとめた時に収集した論文についてそのリストを作成し報告した。これらの報告は、後年、過去のデータを引用、検討時に多くの人々により利用されている。しかし、これらは筆者、論文名、年代、掲載雑誌しか情報がないことが多く、論文名に関係湖沼名がない場合は、参照したい湖沼が含まれていない場合も少なくない。また、その内容が研究者に必要なものであるかの情報は題名から推測する以外はない。

ここ数年、渡島支庁管内の渡島大沼ではCODの環境基準値が超過し、その環境の悪化が懸念され、1993年から1994年にかけて当センターが、1995年から1997年にかけて当センター、道立水産孵化場、道立衛生研究所、道立地下資源調査所、北海道大学水産学部の各機関が共同して調査研究を行った。その5年間で筆者は渡島大沼に関する文献を網羅的に収集、整理する機会を得た。

後々の引用の便宜を考え、渡島大沼について収集した論文、報告書、書籍、その他について、そのリストを掲載し、各内容についてキーワード毎に分類、整理し、その報告内容を明らかにすることを試みた。収集は1998年3月以前である。

## 2 文献目録の収集法と作成法

ここに、収録した文献は大沼に関して記載されているものを主としたため、周辺にある専菜沼や小沼のみを対象したものは、十分には集められていない。

1990年以前の文献は、まず元田<sup>2)</sup>、徳井<sup>3)</sup>、北海道公害防止研究所<sup>4)</sup> の3報に記載されている文献集から収集した。さらに得られた文献から関係文献を探し、内容を検討し収集した。筆者が入手し得た文献のみ分類整理したので、必ずしも完璧でないことを付け加えておく。1991年以降は、筆者や前述の共同研究の過程で共同研究者が結果を報告したものが主たる収集物である。

附表1～4に記載する文献は、①論文、②報告書、③書籍、④その他の4つに分けて年代順に示した。

雑誌名、文献名、研究者名は現在、当用漢字が使われていることが多い。しかし、図書館等で検索を行うと、正式名称や旧字体等でしか検索が出来ないこともあるので原著に近い名称、表記を記載した。

## 3 研究内容とその解析

### 3.1 内容の分類法

これらの報告がどのような目的、内容で行われているかを検討するため、a) 対象地点、b) 調査対象、c) 情報入手の難易さ、d) 論文で公開されているデータ量に分けた。さらに次のことに注意し詳細な分類を行ったものを表1に示した。

a) の湖内 (1) は大沼と小沼を対象にしているが、論文内で専菜沼のものが含まれ、データとして分けて解析されていないものはそのまま1とした。

表1 分類のためのキーワード

対象地点 (a)	調査対象(b)				情報の入り易さ (c)	公開データ (d)
	物理	生物	化学	地質		
湖内 1	湖流 11	動植物プランクトン 21	栄養塩 31	底質 41	容易 101	ある 201
流入河川 2	気温 12	水生植物 22	COD, BOD 32	地質 42	難しい 102	多少ある 202
周辺域 3	風速 13	魚類 23	金属 33		状況次第 103	ほとんどない 203
1と2 4	結開水 14	底生動物 24	化学物質 34			
1と3 5	地形 15	貝類 25	底質成分 35			
2と3 6	雨量 16	微生物 26	溶存酸素、pH 36			
1と2と3 7	水位 17	クロロフィル-a 27	その他の溶存成分 37			
	水温 18					
その他 9	その他 19	その他 29	その他 39	その他 49		

b) の地形 (15) は面積、標高、深さ、周囲長等を示している。微生物 (26) は植物プランクトン (21) に含まれないものを対象とした。底質成分 (35) は間隙水も含んでいる。その他の溶存成分は Cl、SO<sub>4</sub>、Ca、Na 等である。地質 (41) は粒度や組成を含んでいる。

c) の分類では、容易 (101) は学会誌等の定期行物や書籍が主な場合である。これらは大学図書館、国公立の研究機関の図書館 (室) 等で入手可能なものを意味している。但し、手続き、複写等の料金負担等については考慮していない。難しい (102) は学会講演要旨集や卒業論文等の場合が多く、入手先が限られ、その入手に手続きや時間を要すると思われるものを意味している。状況次第 (103) は報告書や冊子等であり、発行部数が少なく、個人所有の場合やその入手先が限られ事実上入手がほとんど無理と思われる物とした。

d) は著者のオリジナルと思われるデータが掲載され、後年に利用できるデータ量を分類している。なお、動植物プランクトンで定性的発表でも種名が記載されている場合は、ある (201)、多少ある (202) に含めた。

各論文について、内容を分類したものを表2に示す。調査対象については、記載されている論文のうち重要と思われる上位5項目のキーワード番号を示した。

1960年代までは、日本における渡島大沼の生態環境を把握するための定性的な調査が多く、1972年の吉住ら以降に定量的なデータの把握が行われている。ここ数年は日野や石川らの<sup>13</sup>C一次生産量や田口らのDNA解析など新しい手法を導入して、環境の変動を明らかにする試みが始まっている。

報告書は調査内容が多岐に渡っており、書籍は北海道の湖沼の紹介事例、その他はデータ集であり、論文のように特徴づける必要は特にないと判断し、表2のように吟味しなかった。報告書、その他は公開データが多い (201) が入手し難い (102, 103) が多い。

#### 4 ま と め

倉沢ら<sup>8)</sup> は1891年から1980年までの間に諏訪湖およびその集水域に関係する陸水学・生物学および地質学の報文は608編および、このうち諏訪湖に関するものは468編と報告している。それと比較すると、今回は論文関係96編、報告書25編、その他38編の合計159編であり、諏訪湖の3分の1程度である。

渡島大沼では、昔から多数の研究者により調査が行われてきたが、その生態把握は始まったばかりである。また周辺地域との環境調和の在り方を検討する必要もある。さらに継続的な調査研究とその報告について多方面からの取り組みに、期待したい。

本報告以外にも多数の文献や多くの情報があると思われる。文献リストの完璧を期するため、それらについて情報があればその提供をお願いしたい。

#### 謝 辞

資料の収集につきましては、北海道大学水産学部助手伴修平博士、北海道環境科学研究センター西野修子研究主査、北海道立地下資源調査所佐藤泰子情報係長、道立水産ふ化場坂本博幸湖沼管理科長、竹内勝巳資源管理科長、浅見大樹研究員、滋賀県琵琶湖研究所横田喜一郎研究員、京大大学生態学研究センター吉田丈人氏のご協力を頂きましたことを厚くお礼申し上げます。北海道大学付属図書館、工学部各科図書室、農学部付属図書室、理学部本館図書室を管理している司書の方のご尽力により必要な文献を得られましたことを記して感謝申し上げます。

#### 引用文献

- 1) 吉村信吉: 日本の湖沼の地方湖沼學的展望(1), 地理学評論, Vol.13, pp.293-317, 1937.
- 2) 元田茂: 湖沼特別号 北海道湖沼誌, 北海道立水産寮



表2 キーワードによる論文内容特性

リストナンバ	a	b					c	d	その他、特記事項
		優先1	優先2	優先3	優先4	優先5			
P 1	1	14					101	201	調査書は南館測候所所長、梶沼長三郎
P 2	1	14					101	201	岡田(1906)のデータ引用、結氷日数記載
P 3	3	19					101	203	胸ヶ岳の噴火後の調査のため湖沼は特になし
P 4	3	19					101	203	加藤(1908)の抜粋、噴火の過程で形成についてコメント
P 5	4	15	16	17	18	36	101	201	3回調査、既存データの整理
P 6	1	29					101	203	小沼の沈木について
P 7	1	15					101	202	地理、地形等の条件を他の湖沼と比較
P 8	1	22					101	202	水生植物リストあり
P 9	1	23					101	203	
P10	1	23					101	203	9の続き
P11	1	23					101	203	
P12	1	23					101	203	9、10の続き
P13	1	23					101	203	
P14	5	17					101	202	噴火と水位変動の相関性検討
P15	1	15					101	201	道内の主な湖沼の基礎データ紹介
P16	1	23					101	203	
P17	1	15	16	17	18	36	101	202	田中館(1922、1924)の引用、再整理
P18	1	21					101	201	道内主な湖沼の動物プランクトン種の紹介
P19	1	21					101	201	大沼のデータは上野(1931)を引用
P20	1	37	31				101	201	全国他湖沼との比較、大沼は地獄沼沖(Miyadi(1932))
P21	1	24					101	203	
P22	1	24	15				101	201	21の詳細
P23	1	15					101	201	15に他湖沼を入れ再掲
P24	1	21					101	201	18に他湖沼を入れ再掲
P25	1	36					101	201	半田(1930)のデータ引用
P26	1	24					101	203	シリーズの整理で全国湖沼との比較
P27	1	21					101	201	上野(1931)に他湖沼を追加、再掲
P28	1	21					101	203	
P29	1	23					101	201	
P30	1	23					101	201	
P31	1	29					101	203	
P32	1	37					101	201	吉村(1931)の再掲
P33	1	22	23	24			101	201	道内35湖沼に生育する生物について定性把握
P34	1	21					101	201	19の再掲
P35	2	31	33				101	201	
P36	2	31	33				101	201	
P37	1	37					101	201	
P38	1	21					101	201	
P39	1	23					101	201	放流、養殖魚の変遷
P40	1	33					101	201	全国の主な湖沼との比較
P41	1	15	18	37			101	201	主な湖沼と共にデータあり
P42	5	49					101	203	
P43	1	19					101	203	成因について全国との比較
P44	1	23					101	201	
P45	1	23					101	201	魚種別数量と金額
P46	1	36					101	201	
P47	1	22					101	201	水生植物の成分組成
P48	4	18	21	36	31	37	101	201	戦前における唯一の季節変動を把握したデータ
P49	1	37					101	203	過去の総説
P50	1	36					101	201	鉾山排水の流入調査
P51	1	分類外					102	203	
P52	1	15					101	201	全国の主要湖沼の地形リスト
P53	1	35					101	201	全国4湖沼との比較
P54	1	21	36	37			101	201	戦後として詳細調査の最初
P55	1	54					101	201	
P56	1	15					101	201	堀江(1956)を英文化、論文リスト
P57	1	21					101	201	学会要旨の抜粋
P58	1	23					101	203	
P59	1	23					101	203	
P60	4	32	31	37	36	17	101	201	取水日切り替え後の初めての調査
P61	1	24	41	18			102	201	
P62	1	32	31	36	18	37	101	201	詳細にオリジナルデータを記載
P63	1	23					101	201	ゲンゴロウツナの特徴理由
P64	1	24	41	35			101	201	詳細にオリジナルデータを記載
P65	1	23					101	203	1975年を元に全国との比較
P66	1	11					101	202	風と湖流の関係
P67	4	31	39				101	201	一次生産量を検討
P68	1	21					101	201	
P69	2	33					101	201	
P70	1	25					101	201	
P71	1	31	32				101	203	多変量解析による水質項目間の相関
P72	4	33					101	202	
P73	1	23	26				101	201	
P74	1	32	31	37			101	201	最近の傾向と項目の統計処理
P75	7	31	32	19			101	202	流入域の調査
P76	1	35	31	27			101	203	阿寒、網走中心
P77	1	35					101	203	懸濁物と沈降物の関係
P78	1	21	27				101	203	
P79	1	21					101	202	
P80	1	21					101	202	
P81	1	21					101	202	
P82	1	27					102	203	C13による一次生産量把握(値は約C/CO <sub>2</sub> に補正が必要)
P83	1	31	27				102	203	
P84	1	21					101	202	大沼から採取した動物プランクトンの実験
P85	1	21					101	202	大沼から採取した動物プランクトンの実験
P86	1	31	32	19	29		101	202	軍用の流量と糞便性大腸菌群数の傾向
P87	1	31	36	39			101	202	1993年から1994年の大沼の水質環境
P88	1	21					103	202	
P89	1	21	23				103	202	大沼漁業共同組合員対象セミナー資料
P90	1	21	27				103	202	
P91	1	23					103	202	大沼漁業共同組合員対象セミナー資料
P92	1	29					101	202	
P93	1	21					103	202	
P94	1	21					103	202	
P95	1	21					103	202	
P96	1	23					103	203	

化場報告, Vol.5, pp1-96, 1950.

- 3) 徳井利信、川合禎次:北海道陸水文献目録, 北海道さけ・ますふ化場研究報告, Vol.21, 81-112, 1967.
- 4) 北海道公害防止研究所, 「北海道の湖沼」1990.
- 5) 堀江正治: 本邦主要湖沼の湖盆形態, 陸水雑, Vol.18, 1-28, 1956.
- 6) S, Horie.: Morphometric Features and the Classification of all the Lakes in Japan., Mem. Coll. Sci., Univ. Kyoto, Ser. B, Vol.29., pp191-262, 1962.
- 7) 田中正明「日本湖沼誌」名古屋大学出版会, 1991.
- 8) 倉沢秀夫、沖野外輝夫: 信州の自然 (陸水編), pp113-176, 1982.

**Previous Papers List on Lake Oshima-Ohnuma and their Relevant Research Achievements (Reported in March 1998)**

**Yasushi Ishikawa**

**Abstract :**

Lake Oshima-Ohnuma is located in southern area in Hokkaido and recently eutrophication progressed. Standard for water quality of this Lake have been applied to maintain environmental quality COD values to be below 3mg. However COD values in this lake often exceeded 3mg for the past any years. Accordingly, Many researchers made investigation with regard to the environment and influent rivers into this Lake recently. I made investigation in cooperation with some researchers for the purpose of clarifying the ecosystem of this Lake from April 1993 to January 1998. During this period, I collected relevant research of this Lake, out of which theses research papers were 96, reports were 25, monographs were 8 and the other sorts of reports were 38 in number. I arranged keywords from all these papers, based on the following 4 categories i.e, research area, objective of research, availability of information and quality of data. Further these of 4 keywords respectively were sub-divided in 8, 29, 3 and 3 classes, respectively. I classified the papers of Lake Oshima-Ohnuma relevant research achievements with making use of these keywords.

**附表1 論文**

論文は96編 (リストナンバー: P1~P96) について収集できた。以下に、論文番号、著者名、年、題名、雑誌名等、巻、号、ページの順に示す。なお、巻、号、ページについてはない場合もある。ここでは、学会要旨、卒業論文等も含めた。

〈論文リスト〉

- P 1. 岡田武松.(1906) 北海道大沼湖の結氷及び解氷期, 気象集誌, 25. 4. 140.
- P 2. 田中阿歌磨.(1906) 大沼 (渡島) の結氷, 解氷及凍氷日数, 地學雜誌, 18. 211. 423.
- P 3. 加藤武夫.(1908) 駒ヶ岳火山地質調査報文, 震災予防調査報告会, 62. 5-6.
- P 4. 加藤武夫.(1909) 北海道駒ヶ岳火山 (一), 地質學雜誌, 16. 299-327.
- P 5. 田中館秀三.(1922) 北海道本島の火山湖. (七) 大沼, 小沼, 蕁菜沼, 地學雜誌, 34. 398. 53-68.
- P 6. 大森房吉.(1922) 駒ヶ岳噴火と北海道大沼公園附近の沈木に就きて, 地學雜誌, 34. 399. 133-136.
- P 7. 田中館秀三.(1924) 北海道の火山湖 (承前, 完), 地學雜誌, 36. 419. 79-88.
- P 8. 田中館秀三.(1924) 北海道の火山湖, 地學雜誌, 36. 421. 22-36.
- P 9. (1927) 大沼ニ於ケルちか移植成績, 北海道水産試験場事業旬報, 3. 30.
- P10. (1927) 大沼ニ於ケルちか移植成績報告ノ二, 北海道水産試験場事業旬報, 7. 76.
- P11. (1928) 大沼, 小沼ニ於ケル冬期ふなノ被害状況, 北海道水産試験場事業旬報, 24. 253.
- P12. (1928) ちか卵大沼移植状況, 北海道水産試験場事業旬報, 28. 292-293.
- P13. (1929) 大沼に於ける源五郎ふな移植経過, 北海道水産試験場旬報, 82. 826.
- P14. 渡辺新六.(1929) 爆発前後の大沼湖水面の変化, 岩石鉱物鉱床学, 2. 141-142.
- P15. Halbfass. W. (1929) Ueber Japanische Seen., Internationale Revue der gesamtten Hydrobiologie und Hydrographie, 21. 147-148.
- P16. (1930) 大沼ニ於ケルわかさぎノ採卵状況, 北海道水産試験場事業旬報, 97. 961.
- P17. 田中館秀三.(1930) 大沼公園及駒ヶ岳付近の地理, 地学雜誌, 42. 498. 435-449.
- P18. 上野益三.(1931) 北海道湖沼の枝角類分布に就て, 動物學雜誌, 43. 512. 441-450.
- P19. 澤 (近藤) 賢藏.(1931) 北海道湖沼の枝角類分布に就て, 水産學雜誌, 34. 40-47.
- P20. 吉村信吉.(1931) 日本の湖水の化學成分 I 総論, 陸水學雜誌, 1. 25-32.
- P21. 宮地傳三郎.(1931) 北海道湖沼の管見, 陸水學雜誌, 1. 76-78.
- P22. Miyadi, D. (1932) Studies on the bottom fauna of Japanese Lakes. VII Lakes of Hokkaido., Japanese Journal of Zoology, 4. 3. 223-252.
- P23. Halbfass. W. (1932) Ueber Japanische Seen., Interna-

- tionale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, 27. 161-165.
- P24. 上野益三.(1932) 北海道湖沼の枝角類分布に就て(Ⅱ), 動物學雜誌, 44. 529. 422-433.
- P25. 吉村信吉.(1933) 日本の湖水の化學成分 Ⅱ 溶解性酸素(1), 陸水學雜誌, 2. 3. 63-75.
- P26. Miyadi, D. (1933) Studies on the bottom fauna of Japanese Lakes. X. Regional characteristics and a system of Japanese Lakes based on the bottom fauna., Japanese Journal of Zoology, 4. 5. 417-437.
- P27. Ueno, M. (1933) The Freshwater Branchiopoda of Japan. II Cladocera of Hokkaido., Memoirs of The College of Science, Kyoto Imperial University., Series B, 8. 3. 301-324.
- P28. Okada, Y. (1933) Abnormalities in Ceratium hirundinella found in Hokkaido., Japan, Annotationes Zooligae Japonenses, 14. 2. 191-192.
- P29. 諫早隆夫.(1933) 本道わかさぎ種卵供給地ト其ノ状況, 北海道水産試験場事業旬報, 211. 75-76.
- P30. 木下.(1933) 大沼放養ノ種うなぎ輸送状況, 北海道水産試験場事業旬報, 211. 74-75.
- P31. Sasaki, N. (1934) Report on the fresh-water sponges obtained from Hokkaido., The Science Reports of The Tohoku Imperial. University, IV. 9. 219-247.
- P32. 吉村信吉.(1934) 日本の湖水の化學成分 Ⅲ 鹽化物, 陸水學雜誌, 3. 3. 71-82.
- P33. 三島康七.(1934) 北海道湖沼の生物學的順列, 陸水學雜誌, 4. 1. 28-30.
- P34. 近藤賢蔵.(1934) 北海道湖沼の枝角類分布, 水産學雜誌, 37. 35-50.
- P35. 五十嵐彦仁, 黒田久仁男.(1934) 河川溶解磷酸の底土による損耗, 北海道水産試験場事業旬報, 243. 433-434.
- P36. 五十嵐彦仁, 黒田久仁男.(1934) 河川溶解磷酸の底土による損耗(其二), 北海道水産試験場事業旬報, 244. 441-442.
- P37. 五十嵐彦仁, 黒田久仁男.(1935) 大沼湖底に於ける遊離硫黄, 北海道水産試験場事業旬報, 294. 938-939.
- P38. 岡田彌一郎, 木場一夫.(1936) 北海道陸水系瞥見(I), 植物及動物, 4.1.53-63.
- P39. 近藤賢蔵.(1936) 大沼の養殖事業, 鮭鱒彙報, 8. 29. 27-34.
- P40. Yoshimura, S. (1936) 4. Contributions to knowledge of iron dissolved in the lake water of Japan., Second Report. Japanese Journal of Geology and Geography, 13. 1/2. 39-56.
- P41. 高安三次.(1937) 北海道の湖沼に就て, 北海道化學協會會報, 12. 22-35.
- P42. 田中館秀三.(1937) 北海道湖沼の成因, 鮭鱒彙報, 10. 32. 3-7.
- P43. 吉村新吉.(1937) 日本の湖沼の地方湖沼學的展望(1), 地理學評論, 13. 293-317.
- P44. 岡田彌一郎, 池田兵司.(1937) 日本産ウグヒ属 Tribolodon の分類及び分布上の考察 Ⅱ. 北海道の於けるウグヒ属種とその分布, 動物學雜誌, 49. 5. 161-172.
- P45. 黒田久仁男.(1937) 七飯村大沼に於ける水産額昭和十一年, 北海道水産試験場事業旬報, 343.489.
- P46. Yoshimura, S. (1938) Dissolved oxygen of the lake waters of Japan., Science Repprts of Tokyo Bunrika Daigaku, 2. 63-277.
- P47. 五十嵐彦仁.(1940) 水藻の分析(大沼湖群), 北海道水産試験場事業旬報, 461.70-72.
- P48. 五十嵐彦仁.(1940-41) 北海道に於ける湖沼水質の化學的特性及プランクトン(I-XⅡ), 北海道水産試験場事業旬報, 478-489. 1-88.
- P49. 元田茂.(1950) 北海道湖沼案内(上), 鮭鱒彙報, 50. 19-27.
- P50. 江口弘.(1955) 大沼を涵養する河川の水質について, 魚と卵, 7. 1-8.
- P51. 柿崎忠次郎.(1956) 大沼湖の水中貯木, 林, 49.59-61.
- P52. 堀江正治.(1956) 本邦主要湖沼の湖盆形態, 陸水學雜誌, 18.1.1-28.
- P53. 西条八束.(1956) (第八報) 湖沼の堆積速度について, 日本化學雜誌, 77. 8. 64-68
- P54. 水野寿彦.(1960) 北海道湖沼の水質とプランクトン, 大阪学藝大學紀要, 8.99-109.
- P55. 江口弘.(1962) 北海道湖沼の管見, 魚と卵, 13. 6. 1-2.
- P56. Horie, S. (1962) Morphometric feature and classification of all the lakes in Japan., Memoirs of The College of Science, University. Of Kyoto Series. B, 29. 191-262.
- P57. 五十嵐彦仁, 黒田久仁男.(1965) 渡島の大沼水域中のプランクトン全滅の原因, 陸水學雜誌, 25. 3-4. 80.
- P58. 柴田尚志.(1966) 道南の湖沼を訪ずねて 一 大沼・小沼一, 内水面, 2. 1.12-13.
- P59. 柴田尚志.(1966) 道南の湖沼を訪ずねて 一 大沼・小沼(2)一, 内水面, 2. 2. 12-13.
- P60. 吉住喜好, 阿刀田光昭, 伊藤富子, 米川年三.(1972) 最近の大沼湖群(大沼, 小沼, 蕁菜沼)の水質について, 道水産孵化場研究報告, 27. 43-58.
- P61. 北川礼澄.(1975) 北海道南部の5湖沼(支笏湖, 倶多楽湖, 洞爺湖, 半月湖, 渡島大沼)の底生動物相の研究, 陸水學雜誌, 36. 2. 48-54.
- P62. 伊藤富子, 吉住喜好, 今田和史, 粟倉輝彦, 岡本眞美.(1976) 1973-1976年の大沼湖群(大沼・小沼・蕁菜沼)の水質について, 北海道水産孵化場研究報告, 31. 97-112.

- P63. 寺尾俊郎, 粟倉輝彦, 外崎久, 岡田鳳二.(1977) 大沼のゲンゴロウブナの体筋肉中の栄養成分と血液性状の変化について, 北海道水産孵化場研究報告, 32. 37-59.
- P64. 伊藤富子.(1978) 大沼湖群(大沼, 小沼, 蓴菜沼)の底生動物と底質, 北海道水産孵化場研究報告, 33. 1-19.
- P65. 北川礼澄.(1978) 底生動物相および底層水の溶存酸素飽和度からみたわが国の湖沼の分類, 陸水学雑誌., 39. 1. 1-8.
- P66. 堀内清司.(1978) 湖内の流動と堆積物について, 陸水学雑誌., 39. 2. 49-54.
- P67. 松永勝彦, 米田義昭, 深瀬茂.(1979) 北海道大沼湖における栄養塩と基礎生産力について, 陸水学雑誌., 40. 3. 123-129.
- P68. 田中正明.(1980) プランクトンから見た本邦湖沼の富栄養化の現状 (35) 再び北海道の湖沼①, 月刊「水」, 22. 5. 34-39.
- P69. Matsunaga, K., Negishi, M and Fukase. S. (1980) Chemical species of copper in the river Shukunohe and the Lake Ohnuma waters in Japan., *Geochemica et Cosmochimica Acta.*, 44. 1615-1619.
- P70. 石山尚珍.(1981) 北海道の大沼湖沼群の淡水貝について, 地質調査所月報, 32. 7. 397-401.
- P71. 近藤秀治, 村田清康, 青井孝夫.(1982) 大沼における栄養塩, クロロフィルなどの変動について, 北海道公害防止研究所報, 9. 73-78.
- P72. Matsunaga, K., Igarashi, K and Fukase. S. (1982) Behavior of Organically-bound Iron in Lake Ohnuma., *The Japanese Journal of Limnology.*, 40. 3. 182-188.
- P73. 吉水守, 木村喬久.(1983) 魚類棲息環境としての湖沼の微生物学的研究 Ⅲ. 大沼微生物叢について, 北海道大学水産学部研究彙報., 34. 4. 361-369.
- P74. 今田和史, 伊藤富子, 吉住喜好, 粟倉輝彦.(1983) 大沼湖(大沼・小沼)の透明度, CODおよび数種溶存イオンの変動(1974年~1980年), 北海道水産孵化場研究報告, 38. 57-74.
- P75. 坂田康一, 青井孝夫, 村田清康, 近藤秀治, 日野修次.(1986) 大沼の富栄養化 -物質収支について-, 北海道公害防止研究所報, 13. 55-65.
- P76. 近藤秀治, 坂田康一.(1986) 湖沼における窒素・燐等汚濁要因物質の挙動に関する調査研究 -粒子状有機物質の鉛直輸送-, 北海道公害防止研究所報, 13. 33-49.
- P77. 近藤秀治, 坂田康一.(1989) 湖沼における窒素・燐等汚濁要因物質の挙動に関する調査研究 -粒子状有機物質の鉛直輸送(2)-, 北海道公害防止研究所報, 16. 53-63.
- P78. Ban, S and Minoda. T. (1989) Seasonal Distribution of *Eurytemora affinis*(Poppe, 1880)(Copepoda: Calanoida) in Freshwater Lake Ohnuma, Hokkaido., *Bulletin of The Faculty of Fisheries, Hokkaido University*, 40. 3. 147-153.
- P79. Ban, S. and Minoda. T. (1991) The effect of temperature on the development and hatching of diapause and subitaneous eggs in *Eurytemora affinis*(Copepoda: Calanoida) in Lake Ohnuma, Hokkaido Japan., *Bull. Plankton Soc. Japan, Spec.*, 299-308.
- P80. Ban, S. (1992) Effects of photoperiod, temperature, and population density on induction of diapause egg production in *Eurytemora affinis*(Copepoda: Calanoida) in Lake Ohnuma, Hokkaido Japan., *Journal of Crustacean Biology*, 12. 361-367.
- P81. Ban, S. and Minoda. T. (1992) Hatching diapause eggs of *Eurytemora affinis*(Copepoda: Calanoida) collected from lake-bottom sediments., *Journal of Crustacean Biology*, 12. 51-56.
- P82. 日野修次, 石川靖, 高野敬志.(1994) 渡島大沼の環境構造の変化と微生物群集への影響(1) 微生物群集と一次生産の変動, 第59回 日本陸水学会講演要旨集., 40.
- P83. 石川靖, 日野修次, 齊藤修.(1994) 渡島大沼の環境構造の変化と微生物群集への影響(1) 化学的環境要因の変動, 第59回 日本陸水学会講演要旨集, 39.
- P84. Ban, S. and Minoda. T. (1994) Induction of diapause egg production in *Eurytemora affinis* by their own metabolites., *Hydrobiologia*, 292/293. 185-189.
- P85. Ban, S. (1994) Effects of temperature and food concentration on post-embryonic development, egg production and adult body size of calanoid copepod *Eurytemora affinis*., *Journal of Plankton Research.*, 16. 6. 721-735.
- P86. 石川靖, 日野修次, 齊藤修, 湯谷仁康.(1995) 富栄養化湖沼に流入する河川環境特性, 北海道環境科学研究センター所報, 22. 38-43.
- P87. 石川靖, 日野修次, 三上英敏, 齊藤修.(1995) 北海道渡島大沼における環境変動, 6th International conference on the conservation and management of Lakes-Kasumigaura'95., 3. 1350-1353.
- P88. 竹内泰介.(1996) 北海道渡島大沼および小沼における甲殻類動物プランクトンの個体群動態および生産量, 北大水産学部卒業論文, 1-13.
- P89. 伴修平.(1996) 渡島大沼のプランクトンとワカサギの関係, 水産試験研究プラザ.,
- P90. 伴修平.(1996) 北海道渡島大沼における浮遊性橈脚類 *Eurytemora affinis* (Poppe, 1880) の生態学的研究, 学位論文, 1-124.
- P91. 竹内勝巳.(1996) 渡島大沼における漁業生産の動向とワカサギの成長, 水産試験研究プラザ.,
- P92. 高村典子, 石川靖, 三上英敏, 三上一, 藤田幸生, 樋口澄男, 村瀬秀也, 山中直, 南條吉之, 猪狩忠, 福島武彦.(1996) 日本の湖沼34水域の栄養塩レベルと細菌, ピコ



植物プランクトン、鞭毛藻（虫）および繊毛虫の密度の関係., 陸水学雑誌., 57. 3. 245-259.

P93. 青野哲大.(1997) 北海道渡島大沼における甲殻類動物プランクトン個体数の変動要因, 北大水産学部卒業論文, 1-17.

P94. 吉田丈人.(1997) The Factors Determining Community Structure of Free-living Rotifers in Mesotrophic Lakes Ohnuma and Konuma, Hokkaido Japan., 北大水産学部修士論文, 1-47.

P95. 高山恵理子.(1998) 渡島大沼における植物プランクトンの増殖制限要因, 北大水産学部卒業論文, 1-14.

P96. 田口暁子, 小野里坦.(1998) 北海道大沼湖群における雌性発生フナのクローン解析, 平成10年度 日本水産学会春期講演要旨集, 96.

## 附表2 報告書

報告書は25部（リストナンバー：R1～R25）について収集できた。以下に報告書番号、著者名または編集先、年、題名、編集先等、ページの順に示す。

〈報告書リスト〉

- R 1. 田中 館秀三.(1925) 北海道火山湖研究概報, 127-155.
- R 2. 半田芳男, 荒木勝二.(1930) 湖沼調査(大沼, 小沼, 蓴菜沼, 阿寒湖, 瀧沸湖), 水産調査報告書., 北海道水産試験場., 第21冊. 1-65.
- R 3. 高安三次, 五十嵐彦仁, 黒田久仁男.(1936) 湖沼水質の季節的变化と「プランクトン」(大沼湖沼群) 第一編 水産調査報告書., 北海道水産試験場., 第40冊. 1-104.
- R 4. 高安三次, 五十嵐彦仁, 黒田久仁男.(1938) 河川, 湧水々質の季節的变化と之れに関する二, 三の研究(大沼湖群) 第二編 水産調査報告書., 北海道水産試験場., 第44冊. 1-62.
- R 5. 元田茂.(1950) 北海道湖沼誌, 水産孵化場試験報告湖沼特別号., 1-96.
- R 6. 江口弘, 吉住喜好, 中澤善三郎.(1953) 北海道に於ける湖沼の生産計量資料., 北海道水産孵化場., 1-2.
- R 7. 五十嵐彦仁, 上野益三.(1963) 大沼湖沼群の総合調査(大野かんがい排水事業) ., 1-94.
- R 8. 鈴木守, 国府谷盛明.(1964) 北海道亀田郡七飯町の地質., 七飯町・北海道立地下資源調査所., 25-32.
- R 9. 三谷勝利, 鈴木守, 松下勝秀, 国府谷盛明.(1966) 5万分の1地質図幅説明書. 大沼公園(札幌-第80号) ., 北海道立地下資源調査所., 1-40.
- R10 .三原健夫, 柴田尚志, 伊藤小四郎, 大東信一, 田中寿雄, 寺井武久, 米川年三, 柳瀬雅子, 疋田豊彦, 黒萩尚.(1967) 大沼地域内水面漁場環境調査報告書., 北海道立水産ふ化場., 1-50.
- R11. 北海道立水産孵化場.(1970) 北海道に於ける湖沼人

工湖の陸水学的性状調査資料., 1-2.

R12. 資源科学研究所.(1970) 渡島半島の自然と津軽海峡の意義に関する総合的研究 中間報告(1969年度) ., 1-100.

R13. 北海道生活環境部.(1974) 大沼地域の自然環境及びその環境保全対策について(検討素案) ., 1-77.

R14. 勝井義雄, 横山泉, 藤田隆男, 江原幸雄.(1975) 駒ヶ岳 火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策., 北海道防災会議., 1-194.

R15. 北海道.(1982) 湖沼水質管理指針策定調査 一 大沼一., 1-78.

R16. 北海道公害防止研究所.(1983) 昭和57年度 富栄養化防止対策調査報告書 大沼水域., 1-14.

R17. 財団法人 国立公園協会.(1987) 大沼国定公園基礎調査報告書., 1-90.

R18. 北海道公害防止研究所.(1990) 北海道の湖沼1990., 195-198.

R19. 北海道保健環境部.(1991) 大沼国定公園管理指針., 1-39.

R20. 北海道環境科学研究センター.(1995) 平成6年度環境基準未達成水域原因説明調査報告書 〈渡島大沼〉., 1-131.

R21. 石川靖, 三上英敏, 斉藤修, 坂田康一, 今田和史, 安富亮平, 竹内勝巳, 高野敬志, 檜垣直幸, 伴修平, 吉田丈人, 竹内泰介.(1996) 環境保全と魚類生産に対する水生植物の寄与に関する研究 平成7年度共同研究報告書., 1-103.

R22.(1997) 大沼環境保全シンポジウム 講演要旨集 ., 1-37.

R23. 石川靖, 三上英敏, 斉藤修, 坂田康一, 今田和史, 安富亮平, 竹内勝巳, 高野敬志, 檜垣直幸, 伴修平, 吉田丈人, 青野哲大.(1997) 環境保全と魚類生産に対する水生植物の寄与に関する研究 平成8年度共同研究報告書., 1-85.

R24. 大沼環境保全対策協議会.(1997) 大沼環境保全計画 ., 1-24.

R25. 北海道渡島支庁.(1998) 平成9年度 大沼水質改善対策調査業務 報告書, 1-95.

## 附表3 書籍

書籍は8冊（リストナンバー：B1～B8）について収集できた。以下に報告書番号、著者名、年、題名、出版先等、ページの順に示す。

〈書籍リスト〉

B 1. 田中阿歌麿.(1922) 趣味の湖沼学., 実業の日本社., 120-130.

B 2. 大町桂月.(1923) 大沼公園(河野常吉編, (1926) 大雪山及石狩川上流探検開発史) ., 大雪山調査会., 99-103.

B 3. 吉村信吉.(1937) 湖沼学., 384. (注)

- B 4. 小久保清治.(1944) 本邦湖沼のプランクトン 生物学の進歩 第2輯., 共立出版株式会社., 384-400.
- B 5. 鈴木静夫.(1963) 日本の湖沼 湖沼学入門., 内田老鶴圃., 190
- B 6. 辻井達一.(1991) 理科年表読本 空から見る日本の湖沼., 丸善株式会社., 60-62.
- B 7. 鈴木静夫.(1994) 水辺の科学., 内田老鶴圃.
- B 8. 田中正明.(1990) 日本湖沼誌., 名古屋大学出版会., 186-190.
- 注: B 3の吉村は生産技術センターが1976年に増補・再販したものである。

#### 附表4 その他

その他は38編(リストナンバー: D1~D38)について収集できた。以下に報告書番号、著者名、年、題名、出版先等、ページの順に示す。

- D 1. 北海道立水産孵化場.(1972) 昭和46年度 事業成績書., 211-221.
- D 2. 北海道立水産孵化場.(1975) 昭和49年度 事業成績書., 130-131
- D 3. 北海道立水産孵化場.(1976) 昭和50年度 事業成績書., 124-128.
- D 4. 北海道立水産孵化場.(1977) 昭和51年度 事業成績書., 137-139.
- D 5. 北海道立水産孵化場.(1978) 昭和52年度 事業成績書., 149-150.
- D 6. 北海道.(1979) 第2回自然環境保全基礎調査 湖沼調査報告書., 420-435.
- D 7. 北海道.(1979) 昭和52年 公共用水域の測定結果., 461-463.
- D 8. 北海道立水産孵化場(1979) 昭和53年度 事業成績書., 114-115&199
- D 9. 北海道.(1979) 昭和53年 公共用水域の測定結果., 472-474.
- D10. 北海道.(1980) 昭和54年 公共用水域の測定結果., 507-509.
- D11. 北海道立水産孵化場.(1980) 昭和54年度 事業成績書., 125-126.
- D12. 北海道立水産孵化場.(1981) 昭和55年度 事業成績書., 130-131.
- D13. 北海道.(1981) 昭和55年 公共用水域の水質測定結果., 498-500.
- D14. 北海道立水産孵化場.(1982) 昭和56年度 事業成績書., 128.
- D15. 北海道.(1982) 昭和56年 公共用水域の水質測定結果., 507-510.
- D16. 北海道立水産孵化場.(1983) 昭和57年度 事業成績書., 174.
- D17. 北海道.(1983) 昭和57年 公共用水域の水質測定結果., 485-487.
- D18. 北海道.(1984) 昭和58年 公共用水域の水質測定結果., 517-519.
- D19. 北海道.(1985) 昭和59年 公共用水域の水質測定結果., 520-522.
- D20. 北海道立水産孵化場.(1985) 昭和58年度 事業成績書., 174-177.
- D21. 北海道.(1986) 昭和60年 公共用水域の水質測定結果., 500-503.
- D22. 北海道立水産孵化場.(1986) 昭和59年度 事業成績書., 179-181.
- D23. 北海道生活環境部.(1986) 公共用水域の概況., 99.
- D24. 北海道.(1987) 昭和61年 公共用水域の水質測定結果., 495-497.
- D25. 北海道.(1988) 昭和62年 公共用水域の水質測定結果., 427-431.
- D26. 北海道.(1989) 昭和63年 公共用水域の水質測定結果., 418-422.
- D27. 北海道.(1990) 平成元年 公共用水域の水質測定結果., 415-419.
- D28. 北海道.(1991) 平成2年 公共用水域の水質測定結果., 467-471.
- D29. 財団法人 日本気象協会北海道本部.(1991) 1991年版 北海道の気候
- D30. 建設省国土地理院.(1991) 日本の湖沼アトラス.
- D31. 北海道.(1992) 北海道環境白書 '92., 76-105.
- D32. 財団法人 日本気象協会北海道本部.(1992) 1992年版 北海道のアメダス統計 I (準平年値・累年値) .,
- D33. 環境庁.(1993) 第4回自然環境保全基礎調査 湖沼調査報告書 北海道版(北海道) ., 1-463 - 1-481
- D34. 北海道.(1993) 平成3年 公共用水域の水質測定結果., 470-473.
- D35. 北海道.(1994) 平成4年 公共用水域の水質測定結果., 458-462.
- D36. 北海道.(1995) 平成5年 公共用水域の水質測定結果., 484-488.
- D37. 北海道.(1996) 平成6年 公共用水域の水質測定結果., 512-517.
- D38. 北海道.(1997) 平成7年 公共用水域の水質測定結果., 511-515.

# 茨戸湖における塩分成層形成時の水質環境の変化とその要因

三上 英敏    日野 修次\*    高野 敬史\*\*  
五十嵐聖貴    坂田 康一    藤田 隆男

## 要 約

茨戸湖は海水の逆流によって深層部では塩分成層が形成されることがある。本報告では1994～1997年の調査結果をもとに茨戸湖の塩分成層が形成される状況とそれにとまっておきる水質環境の変化についてまとめた。その結果、茨戸湖の塩分成層の形成は年により大きく異なっていることがわかった。また、塩分成層における嫌気層の形成により、底泥からの回帰と考えられる嫌気層での高濃度のリンや窒素の蓄積が確認された。さらに、溶存無機態窒素や全窒素濃度の変化から、塩分成層下の嫌気層およびその近傍において、脱窒現象が示唆された。

**Key words** : 茨戸湖、塩分成層、リン、窒素、脱窒

## 1 はじめに

茨戸湖は、Fig. 1に示されたように、石狩川下流部の湾曲部が1930年に完成した河床の切り替え工事により本流から隔離されてできた、幅約150～400m、総延長約18km、最大水深約12mの浅く細長い三日月湖である。

茨戸湖は下流部で志美運河により石狩川本流と連絡しているが、1982年に志美運河の約2 km上流に石狩放水路が完成し、日本海とも直接連結している。志美運河と石狩放水路ともに水門が設けられており、通常時は石狩放水路の水門が閉じて志美運河の水門が開けられているため茨戸湖の湖水は志美運河を通じて流出する。しかし、茨戸湖からの流出湖水が少ない時は逆に石狩川の水が茨戸湖内へ侵入する。石狩川の志美運河合流域付近は、石狩川の流量によっては海水が遡上する地点であることから、そのようなときは塩分を含んだ水が茨戸湖へ侵入する<sup>1)</sup>。一方、石狩川流域での大量の降雨により石狩川の流量が極端に増加したときは、石狩川の河川水が茨戸湖を介して札幌や石狩の市街地に洪水をもたらさないように志美運河の水門を閉鎖し、同時に石狩放水路の水門が開放され、茨戸湖は石狩放水路を通じて日本海と連結される。このときも石狩放水路を通じて海水が茨戸湖内へ侵入する可能性があると思われる。

以上のように、茨戸湖は塩分の侵入について複雑な因子が考えられ、様々な汽水環境が出現すると考えられる。特に、周囲より相対的に深い地点では、高塩水が比重の違いにより深部に入り込み塩分による鉛直的な密度差が生じて

塩分成層が形成されやすい。茨戸湖では1989年に実施された浚渫により最深部の深度が約12mにまで増加したため、1989年以前と比べて石狩川の流量が減少する冬期と夏期に比較的強い塩分成層が見られることが多くなった。また、一般に、塩分成層の形成に伴って、躍層以深では上層からの酸素の供給がほとんど無くなるために嫌気的な環境が出現しやすくなり、これによって、底泥からアンモニア態窒素やリン酸態リンの無機栄養塩類の回帰がおきてくること

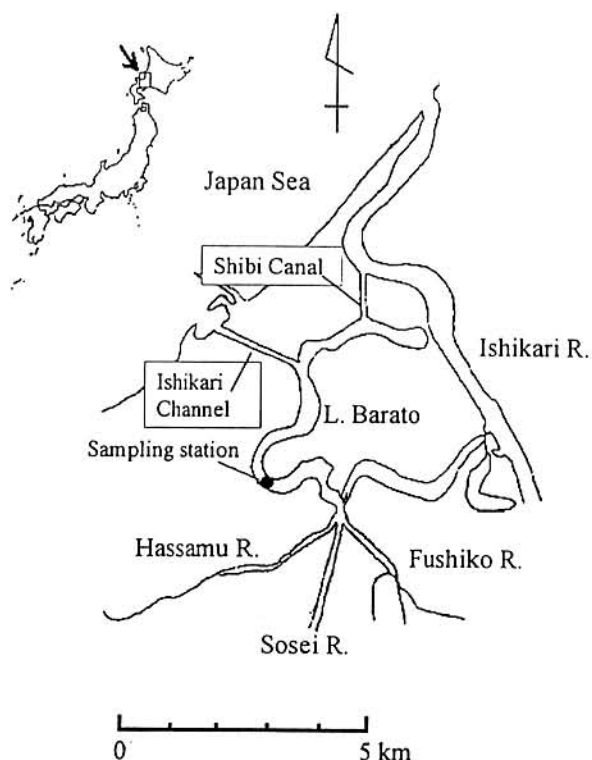


Fig.1 Map of Lake Barato and location of sampling station

\* 山形大学理学部

\*\* 北海道立衛生研究所

が知られている。ここでは茨戸湖の最大水深を示す調査地点での浚渫後の1994年から1997年までの調査結果を基に、茨戸湖の塩分成層の形成状態とそれによっておきる水質環境の変化について報告する。

## 2 調査・分析方法

Fig. 1に示した地点において各年4月から11月までの年8回調査した。また、成層の変化を詳細に把握するために、調査地点において1994年には3月から6月までに8回、および1994年12月から1995年4月までに7回、追加調査を実施した。本報告では、それら合計47回の調査データを基に解析した。

採水は、6リットルのバンドーン採水器を用いて、1mないし2mおきに鉛直的に行った。水温(WT)と溶存酸素(DO)はDOメータ(YSI model 58 および59)を用いて直接測定した。採水後、ただちにワットマンGF/Fフィルターを用いて濾過し、溶存態栄養塩類等の試料を調整した。塩化物イオン(Cl)は、硝酸銀滴定法、チオシアン酸水銀(II)法もしくはイオンクロマトグラフ法(ダイオネクスDX-100型)によって求めた。硝酸態窒素( $\text{NO}_3\text{-N}$ )、亜硝酸態窒素( $\text{NO}_2\text{-N}$ )、アンモニア態窒素( $\text{NH}_4\text{-N}$ )およびリン酸態リン( $\text{PO}_4\text{-P}$ )は、テクニコンAA-IIもしくはブラウンルーベAACS-IIを用いて分析した。全窒素(TN)は、アルカリ性過硫酸カリウムによる分解の後、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の定量と同様な方法で行った。全リン(TP)は過硫酸カリウムによる分解の後 $\text{PO}_4\text{-P}$ と同様な方法で行った。

## 3 結 果

### 3.1 塩分成層の形成状況

1994年～1997年のWT、DO、Clの鉛直分布をFig. 2～5に示した。1994年3月15日において、6m以深は上部に比べてCl濃度が高かった。3月24日のWTやDOの鉛直分布も、Cl濃度が急激に増加する6m以深でWTが低下し、またDOが大きく減少しており下部は嫌気化していた。その後、融雪期になるに従って、徐々に躍層の深度がさがり始め4月20日では完全に塩分成層は消失した。その後、6月までは、上部と下部のCl濃度の差は認められていないが、徐々に水温差が認められ、下部での貧酸素層が表れた。7月18日では、下部のCl濃度が高くなり、また嫌気層が形成されていた。その後の調査において徐々に塩分成層が弱まり10月27日では嫌気層が消滅した。しかし、11月22日では下部でCl濃度として $2000\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ に達し強い塩分成層が形成され、6m以深は嫌気的環境であった。12月7日においても同様な状態が確認できた。

1995年においては、冬期の2月27日に、塩分の鉛直分布

の変化が確認されたが、下部は嫌気的な状態とはなっていない。3月14日には下部のCl濃度がわずかに高い程度であり、それ以後の3月22日から5月30日まで鉛直的にCl濃度は低濃度でほぼ一様であり水温分布もほぼ一様であることから、循環していたと考えられる。詳細にみると5月30日には塩分成層も水温成層も見られないが、わずかに下部のDO濃度が減少している傾向がみられた。6月27日では、下部にCl濃度の増加が確認され、WTもわずかながら違いが見られ、貧酸素状態( $\text{DO } 1\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下)であった。7月18日では、下部のCl濃度は $1400\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 程度に達し比較的強い塩分成層が認められ、また嫌気層が出現した。8月31日には下部のCl濃度は減少しているものの、塩分成層がおきており嫌気層の形成が確認された。しかし、9月28日では、上部と下部のCl濃度にほぼ違いがなくなり嫌気層は消滅した。10月20日では、弱い成層のため10m層で嫌気の状態が出現したが、11月16日には完全に嫌気層は消滅していた。

1996年以降は4月から11月までの年8回の調査しかおこなっていないが、1996年の特徴は全調査において塩分成層が認められなかったことである。その理由として、海水の侵入がきわめて少なく、かつ創成川などの流入河川や石狩川による茨戸湖への淡水流入量が多かったことが考えられる。WTによる勾配が確認された5月30日と8月29日に関して下部でDOの減少が認められたのは、弱い成層で酸素供給量の減少がわずかでも、茨戸湖では生物代謝が活発であり有機物の分解に伴う酸素消費量が多いことに起因すると考えられる。

1997年は、1996年とは対照的に、4月30日においてすでに12m層のCl濃度が $6000\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ を越えており、強い塩分成層が認められ嫌気層が形成されていた。その後、下部のCl濃度は段階的に減少していく傾向が認められたが、10月21日まで下部は高塩分で嫌気状態という環境が継続していた。11月20日では、下部にわずかに塩分成層のなごりがあるが10m層までは好気的であった。1997年の4月以前から10月に渡る長期間において塩分成層の形成が続いた理由として、4月以前の段階で大量の塩分が下部に入り込み拡散したために、強い鉛直密度勾配が生じて強い塩分成層が形成されたこと、および、その後の創成川などの流入河川や石狩川による茨戸湖への淡水流入量が少なかったために塩分の拡散流出に時間がかかったことが考えられる。

Fig. 6に1994年から1997年までのDOの季節変化を0m、6m、10m層について示したものである。この図からは嫌気層が形成される状況の変化を簡潔に見ることができ、茨戸湖は植物プランクトン現存量がきわめて多い湖であることから<sup>2)</sup>、光合成の活発な時は0m層のDOは高い過飽和状態が見られる。しかし、塩分成層により下部では嫌気的になることが示されたが、この図から1994～1997年間で下部の10m層が嫌気的であったのは、1994年の3月



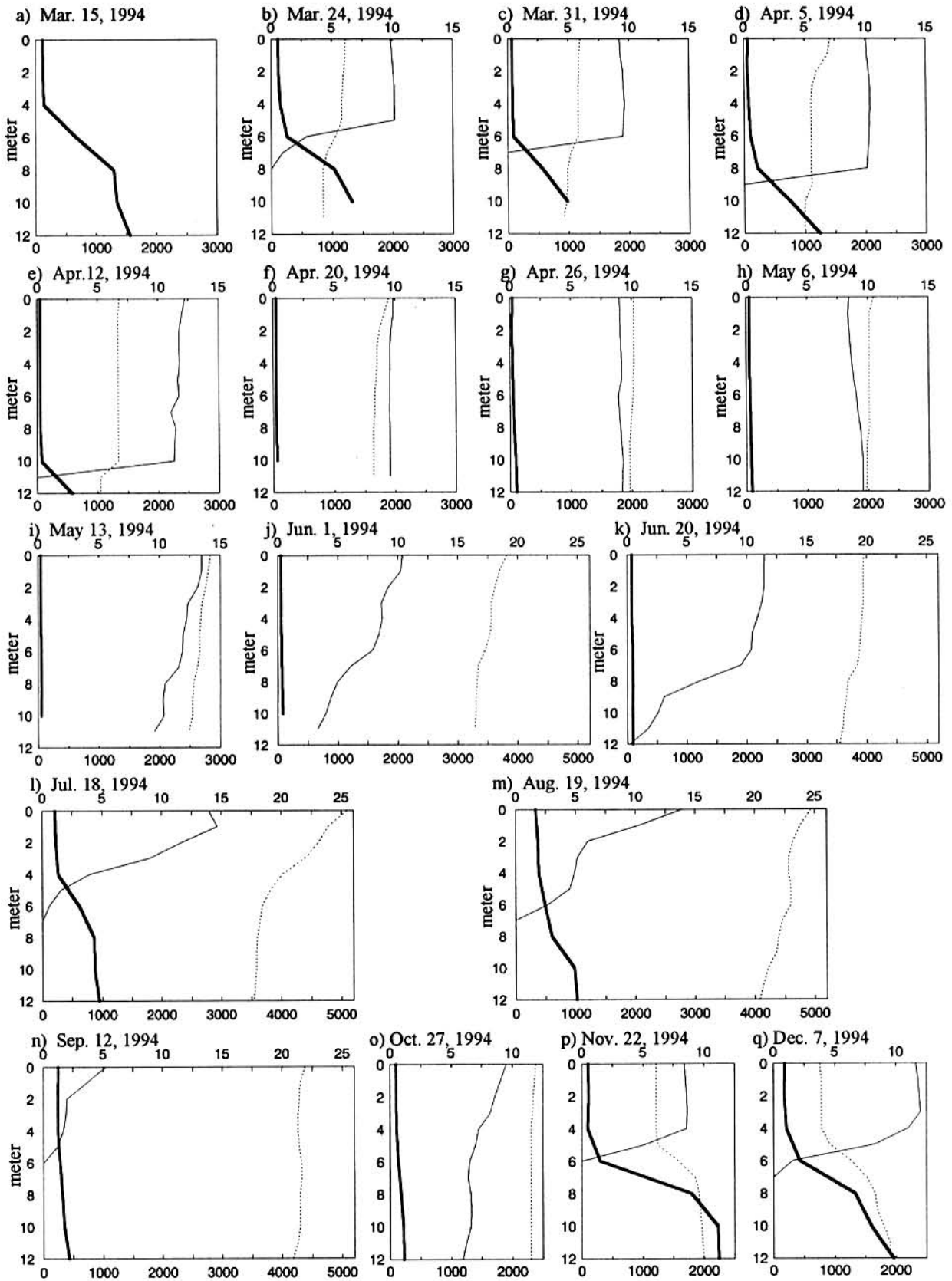


Fig. 2 Vertical distributions of water temperature (WT), dissolved oxygen (DO) and chloride ion (Cl) in Lake Barato in 1994. Upper axis: ..... WT(°C) — DO(mg·l<sup>-1</sup>), Downer axis: — Cl(mg·l<sup>-1</sup>)

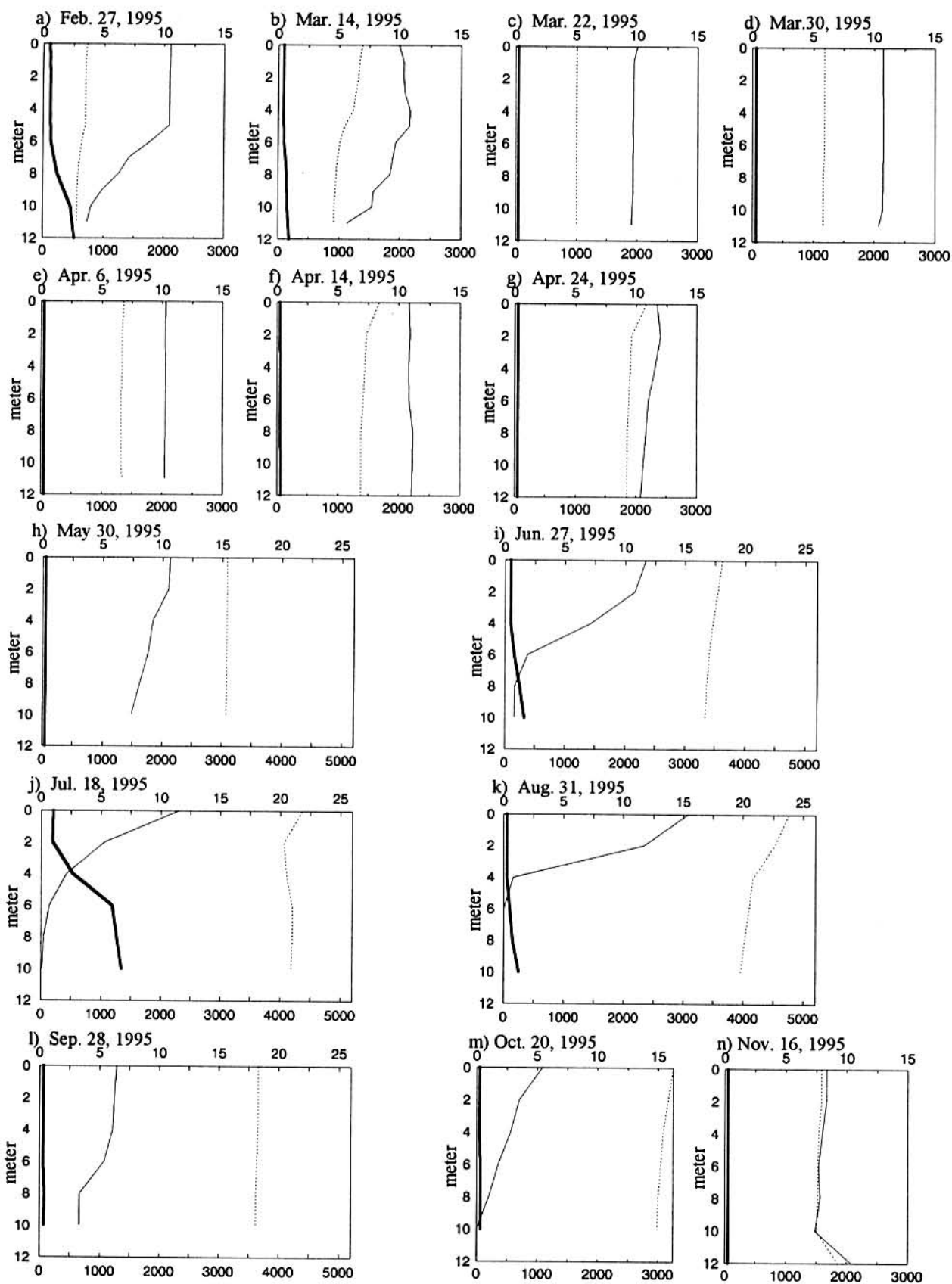


Fig. 3 Vertical distributions of water temperature (WT), dissolved oxygen (DO) and chloride ion (Cl) in Lake Barato in 1995. Upper axis: ..... WT(°C) — DO (mg·l<sup>-1</sup>), Downer axis: — Cl (mg·l<sup>-1</sup>)

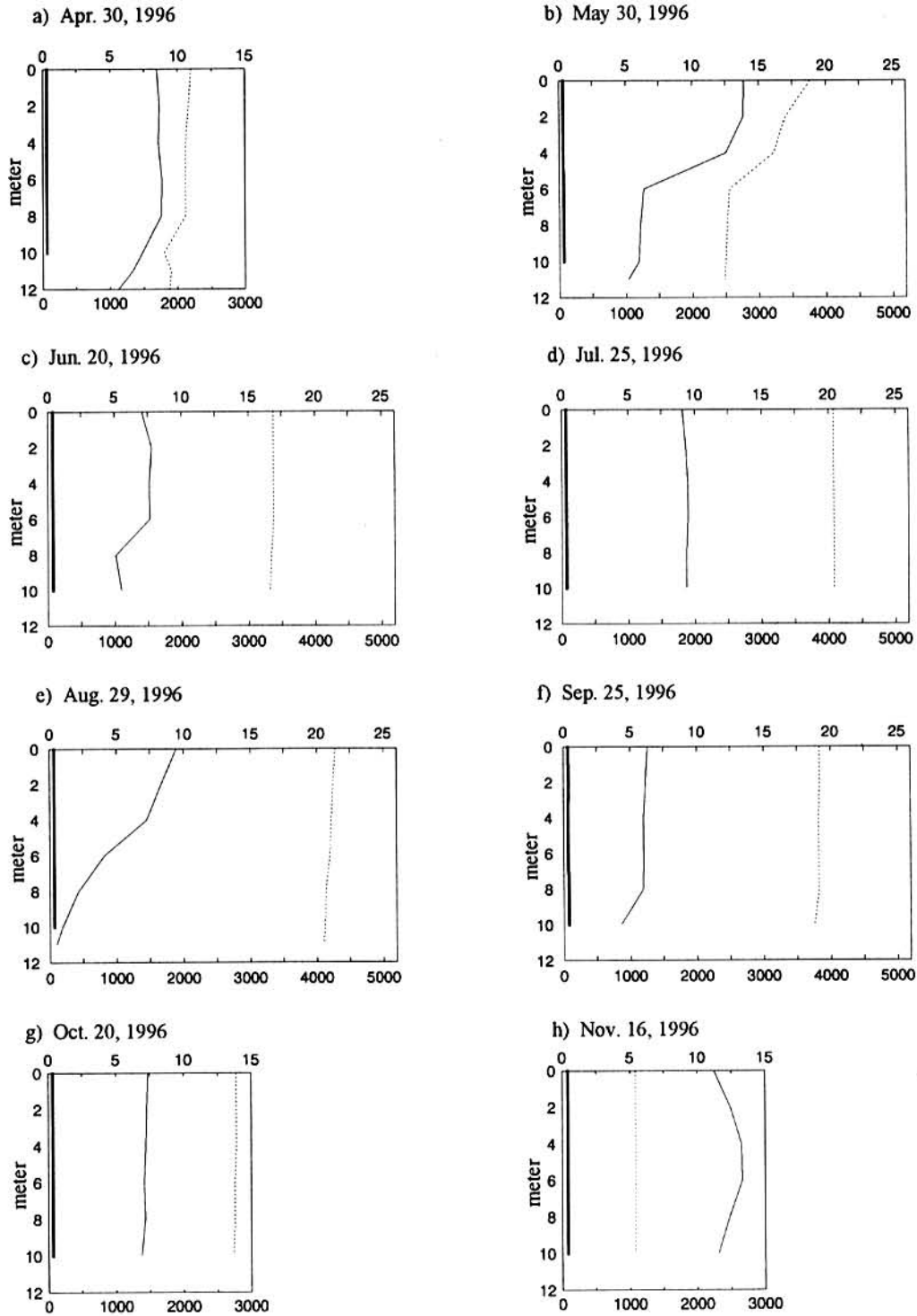


Fig. 4 Vertical distributions of water temperature (WT), dissolved oxygen (DO) and chloride ion (Cl) in Lake Barato in 1996. Upper axis: ..... WT(°C) — DO (mg·l<sup>-1</sup>), Downer axis: — Cl (mg·l<sup>-1</sup>)

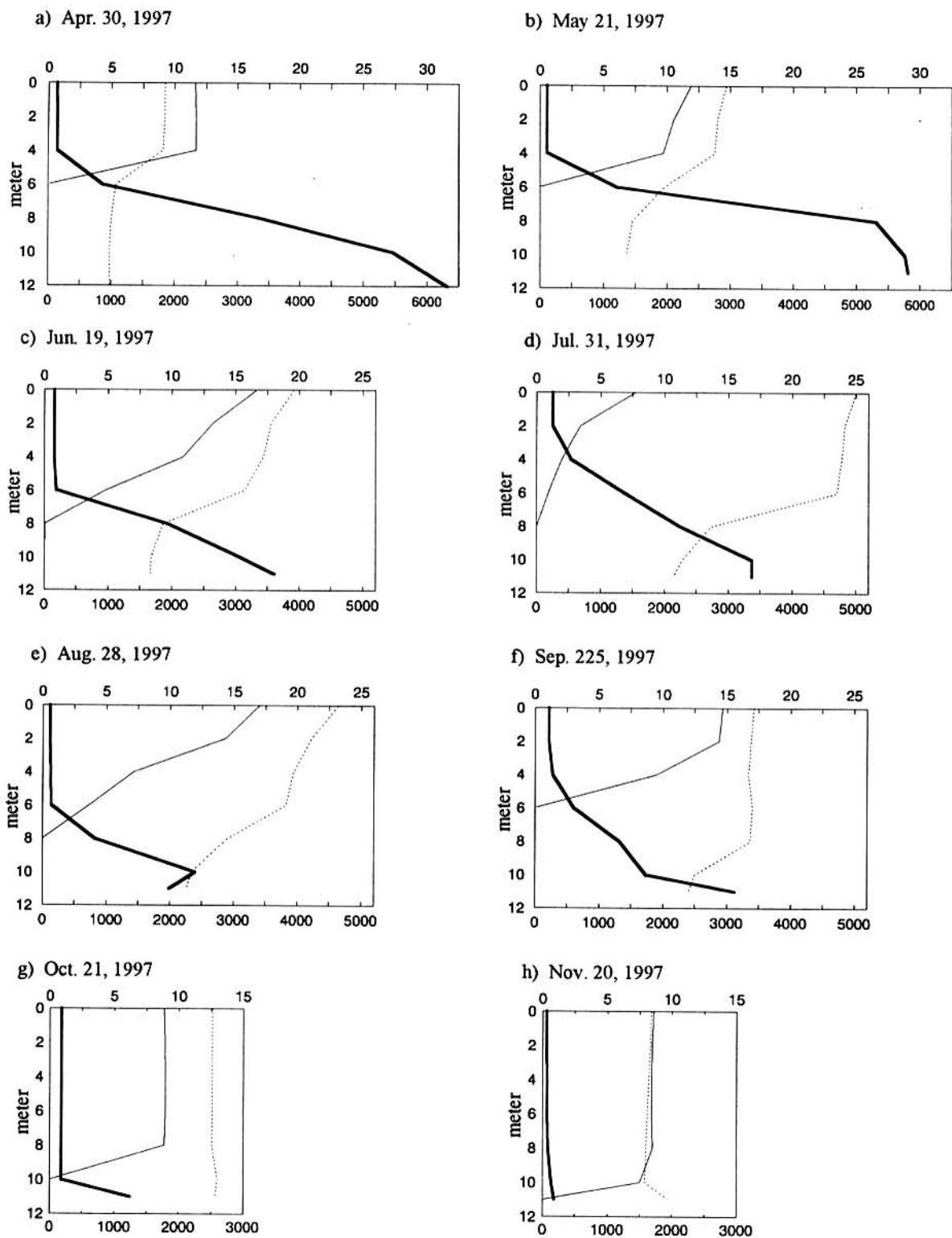


Fig. 5 Vertical distributions of water temperature (WT), dissolved oxygen (DO) and chloride ion (Cl) in Lake Barato in 1997. Upper axis: ..... WT(°C), — DO (mg·l<sup>-1</sup>), Downer axis: — Cl (mg·l<sup>-1</sup>)



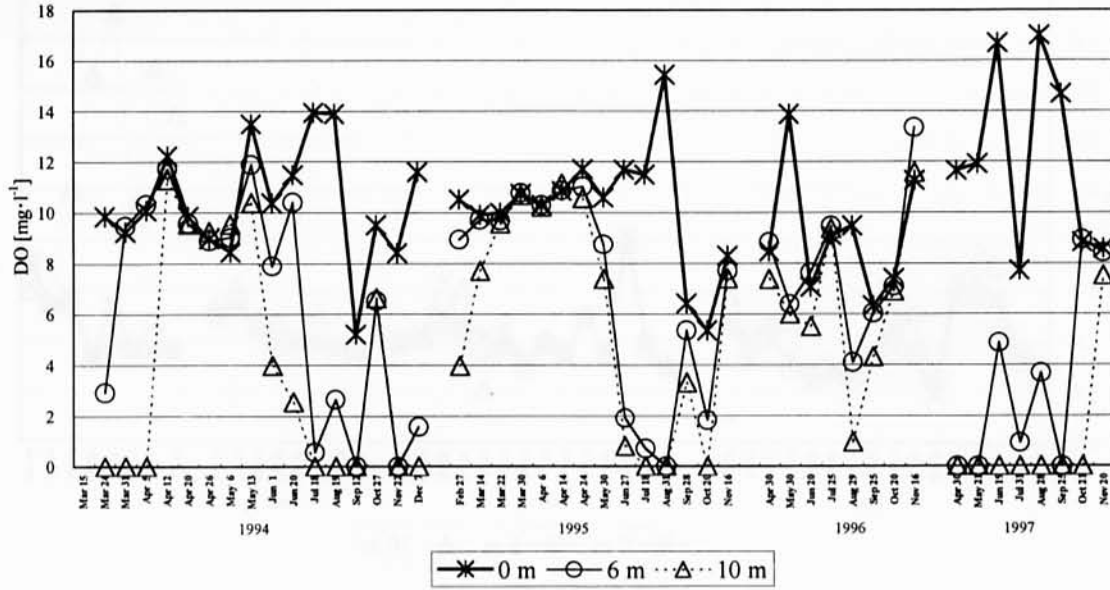


Fig. 6 Seasonal change of dissolved oxygen (DO) in Lake Barato

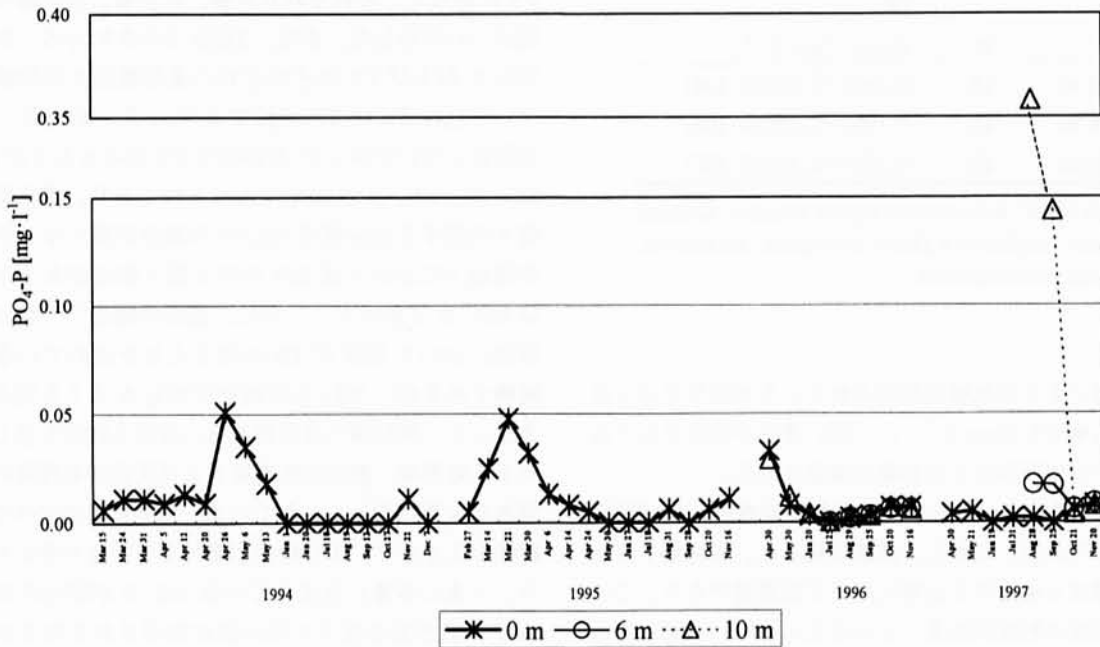


Fig. 7 Seasonal change of phosphate phosphorus (PO<sub>4</sub>-P) in Lake Barato

から4月始め、7月から9月、11月から12月以降、1995年の7月から8月、10月、1997年の4月以前から10月の期間であることがわかる。

### 3. 2 リンの状況

Fig. 7および8に PO<sub>4</sub>-P および TP に関して、それぞれ 0 m 層、6 m 層、10 m 層の季節変化について示し、Table 1に TP に関する各濃度範囲と平均値を示した。Fig. 7の PO<sub>4</sub>-P に関しては、1994~1995年および1997年の4~7月

は 0 m 層のみ示した。0 m 層の PO<sub>4</sub>-P は春期に高くなる時があるが、ほとんどの場合極めて低濃度であった。すなわち見かけ上の PO<sub>4</sub>-P はほとんど残存していないことがわかる。茨戸湖における夏期の PO<sub>4</sub>-P の欠乏に関しては以前より報告<sup>3)</sup>がなされており、そのような PO<sub>4</sub>-P 欠乏状態に関する植物プランクトンの生理的活性状態やリン代謝等について Hino<sup>4), 5), 6)</sup>により詳細に研究が行われた。塩分成層が認められなかった1996年においては、PO<sub>4</sub>-P 濃度は各層に渡って同様に低濃度であった。しかし、顕著

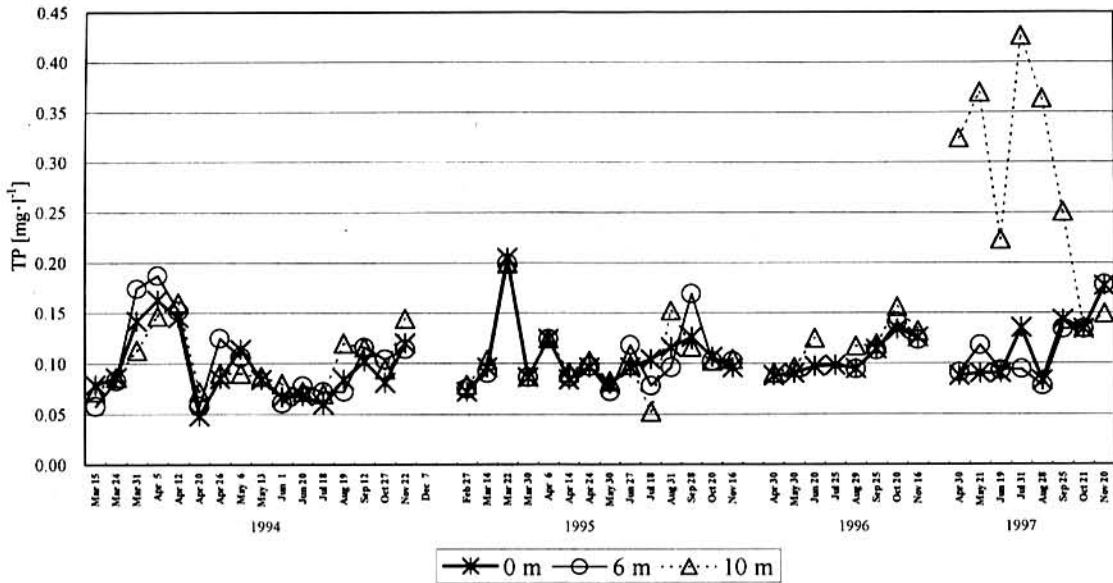


Fig. 8 Seasonal change of total phosphorus (TP) in Lake Baroto

Table 1 TP in Lake Baroto from 1994 to 1997

	TP	
	n	Conc. 「mg· l <sup>-1</sup> 」
0 m	46	0.048-0.205 (0.104)
6 m	41	0.058-0.199 (0.108)
10m	45	0.052-0.426 (0.137)

Column of "n" indicates analyzed number. Column of "Conc." indicates about minimum, maximum, and mean concentration.

な塩分成層により嫌気層が形成されていた1997年では9月25日の10m層で0.35mg·l<sup>-1</sup>という高い濃度が検出されており、底泥からの回帰による影響が確認された。

TP濃度に関して、1994年～1996年は鉛直的にほぼ同様な挙動をしていた。しかし、詳細に見ると、1995年7月18日の10m層は0m層や6m層に比べて低濃度であり、このとき塩分成層の形成が始まっていることから10m層に侵入してきた高塩水に由来する水質を反映している可能性がある。また、1994年8月19日や1995年8月31日の夏期の下部にて嫌気層が形成され始めて1ヶ月以上経過した時期に、10m層のTP濃度が0m層や6m層に比べてわずかに高く、底泥より回帰してきたリンの蓄積の可能性が示唆された。1997年の長期に渡り安定的に嫌気状態であった時期は10m層のTP濃度が高く、PO<sub>4</sub>-Pの結果からその大半が底泥から回帰してきたPO<sub>4</sub>-Pであると考えられる。

### 3. 3 窒素の状況

Fig. 9、10、11、12および13に、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N、それらの総和である溶存無機態窒素 (DIN) および

TNに関して、それぞれ0m層、6m層、10m層の季節変化について示した。また、Table 2にはNO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-NおよびTNのそれぞれの濃度範囲と平均値について、Table 3にはTNに対するNO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-Nの割合について示した。全体的にTNのほとんどがNO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-NのDINで占められており、嫌気的環境が時々出現する10m層でNH<sub>4</sub>-Nの割合が高くなるが、好気的環境下においてはDINの中で最も割合が大きかったのはNO<sub>3</sub>-Nであった。しかし、過去の報告<sup>2)・3)</sup>では1980年前後においてDINがTNのほとんどを占めていることは同様であるが、NH<sub>4</sub>-Nの割合がNO<sub>3</sub>-Nよりも明らかに大きかった。茨戸湖へは直接あるいは流入河川を通じて、茨戸下水処理場、創成川処理場および伏古川処理場の下水処理水が大量に流入してきている。1980年代に比べて下水処理法がよくなり、より酸化が進行していると考えられており、下水に多量に含まれているNH<sub>4</sub>-Nが硝化作用によりNO<sub>3</sub>-Nに形態を変えて茨戸湖に負荷される割合が大きくなったことが要因の一つにあげられる。

次に1994～1997年の窒素の状況について塩分成層を考慮しながら年ごとにまとめてみる。1994年に関して、3月から4月始め、7月から9月および11月以降に深部で塩分成層により嫌気層が出現していた。その嫌気層出現期のうち、NO<sub>3</sub>-Nは8月19日を除いて10m層の濃度が0m層や6m層より低い傾向にあったが、NH<sub>4</sub>-Nは10m層で低い時と高い時があり、NH<sub>4</sub>-Nが高いときは底泥からの回帰がおこなわれていたと考えられる。また、DIN濃度はほとんどの嫌气的となった10m層で0m層や6m層より低く、TNもそれに連動していた。

1995年に関して、7月から8月の夏期に嫌気層が形成さ

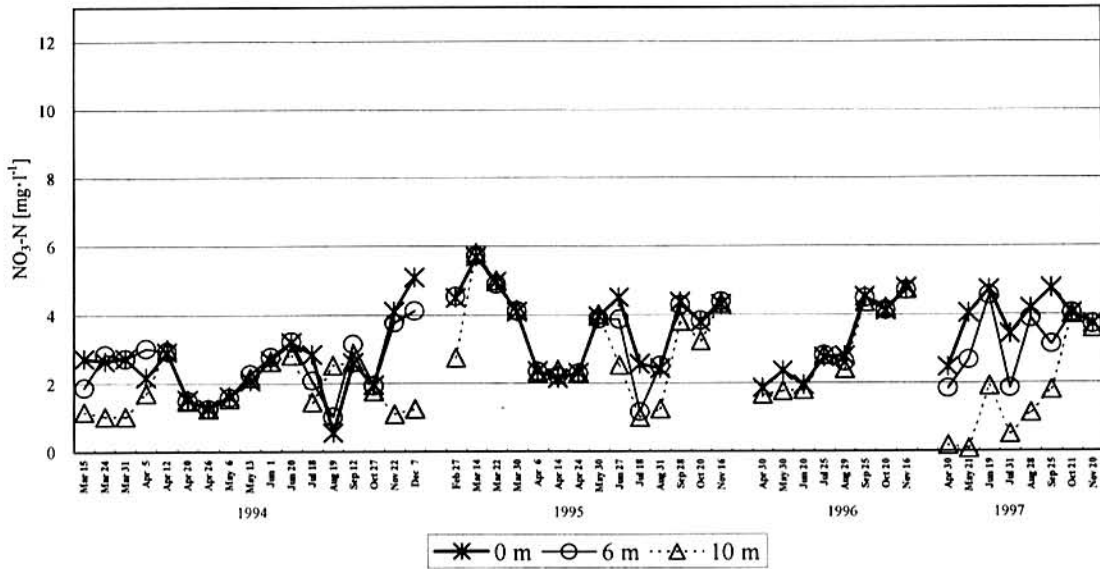


Fig. 9 Seasonal change of nitrate nitrogen ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) in Lake Barato

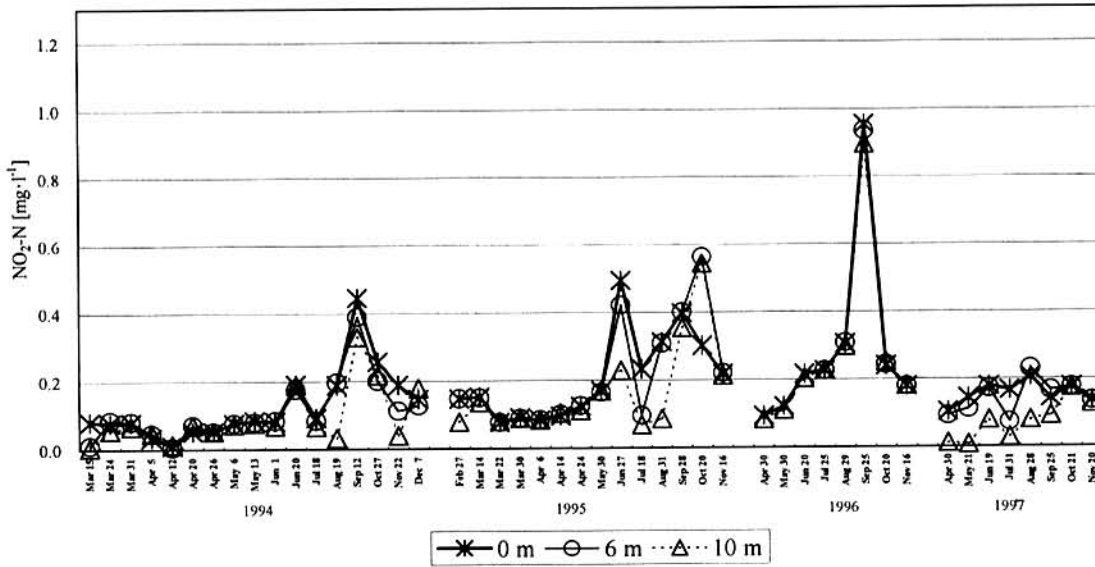


Fig. 10 Seasonal change of nitrite nitrogen ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) in Lake Barato

れており、10月20日には10m層以深で嫌気的な環境となっていた。そのうち、7月18日には10m層の窒素に関して0m層に比較して、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、DINおよびTNが低く、かつTP濃度も低く、嫌気層が形成されはじめた時期であることから侵入高塩水の影響を受けている可能性がある。しかし、10m層のTP濃度が増加した8月31日には、 $\text{NO}_3\text{-N}$ や $\text{NO}_2\text{-N}$ に関しては10m層で引き続き低い傾向が認められたが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、DINおよびTN濃度の増加が確認され、底泥からの窒素回帰が進行したと考えられる。10月20日には、10m層の $\text{NO}_3\text{-N}$ とDINが0m層や

6m層より低い傾向が認められたが、10m層の $\text{NO}_2\text{-N}$ は6m層のそれと同様に0m層より大幅に高かった。

1996年は塩分成層が形成されず、嫌気層も出現しなかった。それゆえに、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、DINおよびTNに関して、0m層、6m層、10m層ともにほぼ同様な変動を示しており鉛直的にも違いが少なかった。しかし、水温成層により下部が貧酸素傾向にあった5月30日において、0m層や6m層に比較してわずがに10m層の $\text{NO}_3\text{-N}$ が低く $\text{NH}_4\text{-N}$ が高かった。

1997年は1996年と対照的に、4月30日から10月21日まで

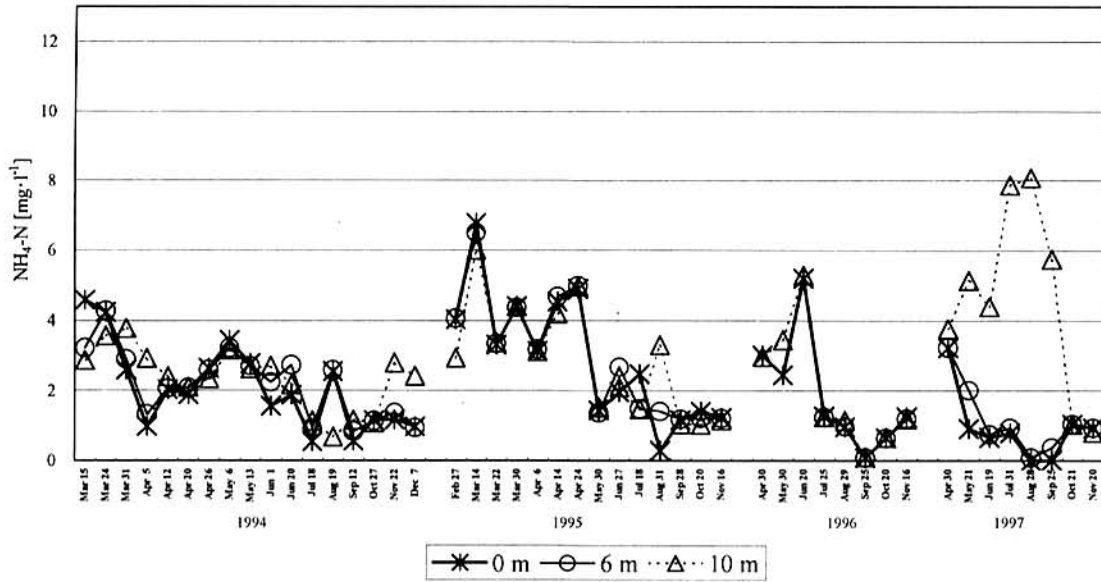


Fig. 11 Seasonal change of ammonium nitrogen (NH<sub>4</sub>-N) in Lake Barato

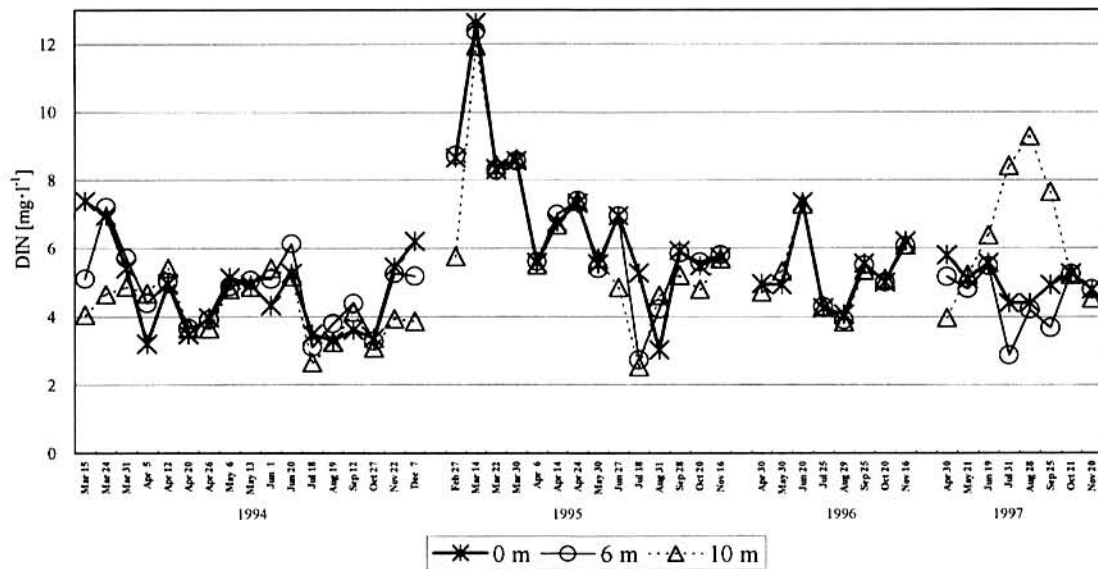


Fig. 12 Seasonal change of dissolved inorganic nitrogen (DIN) in Lake Barato

長期に渡り嫌気層が出現していたことから、他の年とは異なった現象が見られた。10m層の NO<sub>3</sub>-N が 0 m層や 6 m層に比べて低く特に 4～5月 はきわめて低濃度であった。さらに、6 m層の NO<sub>3</sub>-N も 0 m層より低い傾向にあった。10m層の NO<sub>2</sub>-N は 4～9月まで 0 m層より低く、特に 4～5月 は極めて低濃度であった。また、わずかではあるが 8月 28日と 9月 25日において 6 m層の NO<sub>2</sub>-N 濃度が 0 m層や 10m層より高いという現象が見られた。一方、NH<sub>4</sub>-N の 10m層の濃度は 0 m層や 6 m層に比較して 4月 30日ではあまり変わらないが、以後極端に高くなっており、底泥か

らの回帰による影響と考えられた。DIN 濃度に関しては、4月 30日は 10m層が最も低かったが、その後 5～9月 に関して 10m層は 0 m層や 6 m層より高く、高濃度の NH<sub>4</sub>-N の値を反映していた。しかし特徴的なのは 7月～9月 の 6 m層の DIN 濃度が 0 m層や 10m層より低く、これは 0 m層より NO<sub>3</sub>-N 濃度が低く、10m層より NH<sub>4</sub>-N 濃度が低かったことに起因していると考えられる。TN に関しては DIN と同様な傾向を示しており、7～9月 の 6 m層は 0 m層や 10m層に比較して低濃度であった。



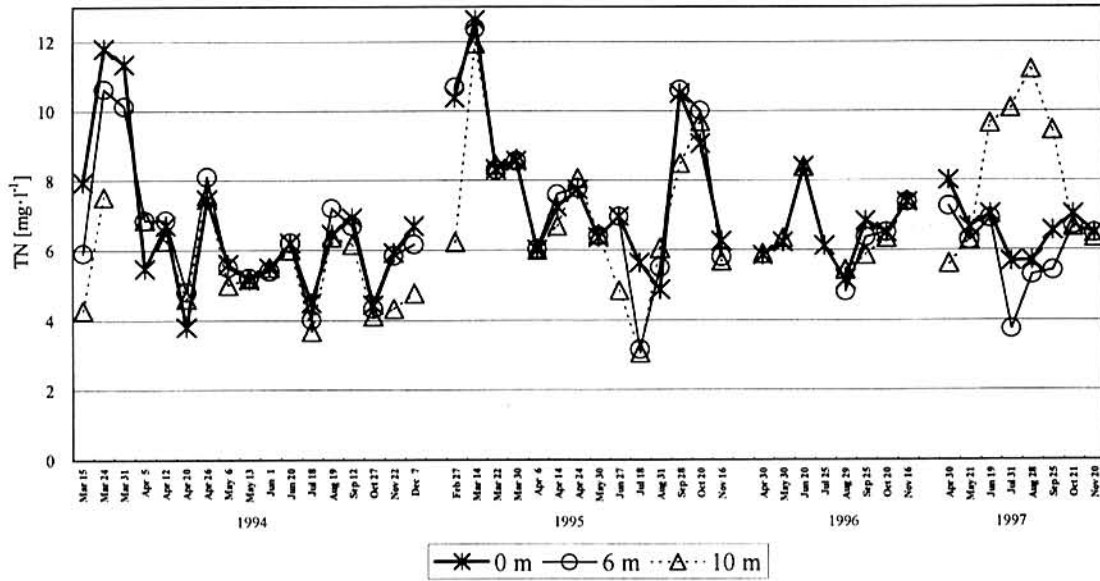


Fig. 13 Seasonal change of total nitrogen (TN) in Lake Barato

Table 2 NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N and TN in Lake Barato from 1994 to 1997

	NO <sub>3</sub> -N		NO <sub>2</sub> -N		NH <sub>4</sub> -N		TN	
	n	Conc. 「mg·l <sup>-1</sup> 」	n	Conc. 「mg·l <sup>-1</sup> 」	n	Conc. 「mg·l <sup>-1</sup> 」	n	Conc. 「mg·l <sup>-1</sup> 」
0 m	47	0.55-5.68(3.21)	47	0.010-0.955(0.183)	47	0.005-6.78(2.10)	47	3.80-12.6(6.97)
6 m	44	1.02-5.72(3.10)	44	0.005-0.936(0.179)	44	0.08-6.51(2.09)	43	3.16-12.3(6.80)
10m	47	0.06-5.79(2.38)	47	0.005-0.896(0.144)	47	0.10-8.07(2.83)	45	3.05-11.9(6.65)

Each column of "n" indicates analyzed number. Each Column of "Conc." indicates about minimum, maximum, and mean concentration.

Table3 Percentage of NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, and NH<sub>4</sub>-N to TN in Lake Barato from 1994 to 1997

	NO <sub>3</sub> -N/TN		NO <sub>2</sub> -N/TN		NH <sub>4</sub> -N/TN	
	n	%	n	%	n	%
0 m	47	8.5-76.2(47.3)	47	0.1-13.9(2.7)	47	0.1-63.1(29.3)
6 m	43	14.1-75.2(46.8)	43	0.1-14.7(2.7)	43	1.2-64.0(30.5)
10m	45	1.1-76.0(37.1)	45	0.1-15.3(2.2)	45	1.7-81.7(42.2)

Each column of "n" indicates calculated number. Each Column of "%" indicates about minimum, maximum, and mean percentage.

#### 4 考 察

茨戸湖の塩分現存量の変動は、海水由来の塩分の侵入と湖内に流入する淡水とのバランスに起因するがその現象として次のような事が考えられる。降雪期である冬期と渇水期である夏期に石狩川の流量が減少し、なおかつ流入河川から茨戸湖への流入水量も減少している状況下において、海水は石狩川を遡上し、志美運河を越えて茨戸湖に侵入すると考えられる。しかし、石狩川の流量が増加する時期、すなわち融雪期である春期と降雨期である秋期において

は、茨戸湖の流入河川からの流量増加だけでなく石狩川を流下する大量の淡水が茨戸湖内へ流入し、茨戸湖内において塩分の混合拡散が激しくなり徐々に塩分現存量が低下すると考えられる<sup>1)</sup>。ところで、広範囲におよぶ石狩川流域のいずれかの地域で大雨があり石狩川の流量が極端に増加し、治水のため志美運河が閉められ石狩放水路が開放された場合、茨戸湖は直接海と連結され、満潮時には石狩放水路を通じて海水が直接流入すると考えられる。このように、広域におよぶ石狩川流域における降雨状況に影響を受けて、海水が逆流してきたり淡水流入量が増加したりする

と思われる。具体的に1994年から1997年の調査においても、塩分成層の形成状況は年ごとに大きく異なり、広範囲の石狩川流域の様々な気象状況により支配される石狩川本流の流量と茨戸湖集水域の降水量の変動に大きくかつ複雑に影響を受けていると考えられた。

その複雑な塩分成層の形成状況に応じて、リンや窒素の栄養塩類は鉛直的に特徴的な挙動を示していた。リンに関して、塩分成層により嫌気層が形成されると底泥近傍で回帰してくると考えられるが、短期間の嫌気層の形成では10m層のリン濃度の顕著な増加は認められなかった。しかし嫌気層の形成が長期にわたるとき、0m層のリン濃度の上昇には大きく影響をおよぼしてはいないものの、10m層にて顕著なリン濃度の増加が確認され大量のリンが水界に回帰していると推察された。

一方、窒素に関しても、嫌気層が形成されていた時期の10m層で底泥からの回帰と考えられる  $\text{NH}_4\text{-N}$  の濃度増加が認められた。しかし、塩分成層下の嫌気的な10m層のTP濃度が0m層と変わらない程高いときにおいても、10m層のTN濃度が0m層より明らかに低いことが確認された。それはDINが0m層に比べて低濃度レベルであることに起因していた。また、長期にわたり塩分成層が形成された1997年においては、中層でDINが低いことに起因するTN濃度の極小層が確認された。

一般的に硝酸 ( $\text{NO}_3$ ) が多く含まれる水界のDO濃度が低下すると脱窒現象が起こることから<sup>7)</sup>、茨戸湖においても塩分成層による嫌気条件下において脱窒現象によるTN濃度の減少が示唆される。日野ら<sup>3)</sup>は、細長い茨戸湖の流下にとまってTN濃度が減少していくことを示しており、貧酸素境界層でゆっくりと脱窒現象がおきていることが要因の一つと考えられる。国内の湖沼による脱窒の研究報告には、中海<sup>8),9)</sup>、深見池や木崎湖<sup>10),11)</sup>等の報告がある。清家ら<sup>8)</sup>は、脱窒が確認された中海深部において、脱窒によると思われるDIN濃度の減少がみられたことを報告している。Terai et al.<sup>10)</sup>は、木崎湖において嫌気層の発達に伴いアセチレン阻害法にて測定した脱窒活性が高くなることを確認し、 $\text{NO}_2\text{-N}$ の極大層が脱窒現象と関連が深いことを明らかにしている。

茨戸湖は $\text{NO}_2\text{-N}$ も他の湖沼に比べると極端に高いレベルで存在するために、嫌気層における $\text{NO}_2\text{-N}$ 極大層が観察しにくいと考えられる。しかし、Fig. 12を詳細に見てみると、1997年8月28日と9月25日において、6m層にわずかではあるが $\text{NO}_2\text{-N}$ の極大層が確認でき、前者は嫌気層直上に、後者は嫌気層上部に位置していた。塩分成層にともなう嫌気状態であった1994年と1995年の一部の10m層や1997年の6m層において、他層に比較してDINやTN濃度が低いことと併せて考えると、脱窒現象による影響が示唆される。

## 5 謝 辞

石狩市市民部環境課環境保全係の皆様には、茨戸湖の調査船の手配、配車の準備および現地調査に関して多大なる御協力を頂きました。厚くお礼申し上げます。

## 6 参考文献

- 1) 石狩町: 「茨戸川環境調査報告書」, p6-14, 1973
- 2) Hino S. and M. Tada: Seasonal changes of nutrients, chlorophyll-a, and organic matter concentrations in highly eutrophic Lake Barato, Japan., *Jpn. J. Limnol.*, Vol.46, NO.4, pp.268-278, 1985
- 3) 日野修次, 青井孝夫: 茨戸川の水質変化について—特に1978~1982年の水質変化, 北海道公害防止研究所報, Vol.10, pp.142-146, 1983
- 4) Hino S.: Variations in physiological state corresponding to cellular phosphorus content in freshwater phytoplankton—Correlations with adenylate energy charge and photosynthetic activity., *Arch. Hydrobiol.*, Vol.113, NO.2, pp.295-305, 1988
- 5) Hino S.: Fluctuation of algal alkaline phosphatase activity and the possible mechanisms of hydrolysis of dissolved organic phosphorus in Lake Barato., *Hydrobiologia*, Vol.157, NO.1, pp.77-84, 1988
- 6) Hino S.: Characterization of orthophosphate release from dissolved organic phosphorus by gel filtration and several hydrolytic enzymes, *Hydrobiologia*, Vol.174, NO.1, pp.49-55, 1989
- 7) Lampert W. and U. Sommer: "Limnology", p96, Oxford University Press, New York, 1997
- 8) 清家泰, 近藤邦男, 伊達善夫, 石田祐三郎: 汽水湖・中海における窒素代謝Ⅱ—夏期における底泥表層部での脱窒特性—, *陸水学雑誌*, Vol.47, NO.2, pp.133-141, 1986
- 9) 清家泰, 近藤邦男, 伊達善夫, 石田祐三郎: 汽水湖・中海における窒素代謝Ⅲ—低酸素濃度下における硝化・脱窒—, *陸水学雑誌*, Vol.47, NO.3, pp.269-278, 1986
- 10) Terai, H., M. Yoh and Y. Saijo: Active denitrification in the hypolimnetic water column in Lake Kizaki., *Jpn. J. Limnol.*, Vol.48, NO.3, pp.219-224, 1987
- 11) Terai, H.: Studies on denitrification in the water column of Lake Kizaki and Lake Fukami-ike., *Jpn. J. Limnol.*, Vol.48, NO.4, pp.257-264, 1987

**Stratification with halocline and its effect to water environment in Lake Barato**

**Hidetoshi Mikami, Shuji Hino \* , Keishi Takano \*\* ,  
Seiki Igarashi, Koich Sakata and Takao Fujita**

**Abstract**

An area with deep zone in Lake Barato is often stratified for chloride from invaded seawater. The authors analyzed the formation of the stratification with halocline and its effect to water environment based on data obtained 47 investigations from a 1994 to 1997. Then, it was clarified that the state of the stratification was markedly different each year. Phosphorus and nitrogen concentrations in anaerobic layer with the stratification increased with release from abottom asediment. Further, it was suggested that standing stock of nitrogen decreased for denitrification in anaerobic layer.

Key word : Lake Barato, stratification with halocline, phosphorus, nitrogen, denitrification

\* Faculty of Science, Yamagata University

\*\* Hokkaido Institute of Public Health

# 北海道の水道水源水域中のトリハロメタン生成能とその水質

石川 靖 中嶋 敏秋 近藤 秀治 芥川 智子 齊藤 修

## 要 約

北海道では1995年度より、特定項目として定められているトリハロメタン（以下 THM）生成能について、必要な水道水源水域で測定の実施を始めた。今回1997年度までの3年間の結果をもとにデータ整理を行ったところ、次の事が分かった。調査を行っている河川水質は BOD/COD 比が過去に報告された通常の河川の値とほぼ同様であった。THM 生成物質は  $\text{CHCl}_3$  が最も多かった。生成した THM 生成物質は水道指針値を適用すると全調査32回に対して超過する割合が半分近くに達していた。調査している主な項目と THM 生成物質の間で相関関係を検討したところ、幾つかの項目で相関関係が見られたが、COD との間に相関関係はあまり見られなかった。

**Key words** : トリハロメタン生成能、河川、COD、相関関係

## 1 はじめに

THM による汚染問題は、ヨーロッパや北米で人体への影響が報告されたことに始まる。これらの報告を受け、EPA（米環境保護庁）、OECD（経済協力開発機構）、WHO（世界保健機構）でも飲用水中の THM の存在を報告し、その規制等を行った。日本でも、各種の検討が行われ1981年3月に THM に関する暫定指針が厚生省から通達され、制御目標値を  $0.10\text{mg/l}$  以下とした。その後、各種の調査研究がなされている<sup>1)</sup>。

1994年5月に「特定水道水障害の防止のための水道水源水域の水質の保全に関する特別措置法」が施行され、それに基づき北海道でも1995年度より、特定項目として定められている THM 生成能について、必要な水道水源水域で測定の実施を始めた<sup>2)</sup>。

北海道内の公共用水域では、北海道と札幌市が調査を実施しているが<sup>3)</sup>、本報告は1995～1997年までに THM 生成能について北海道が実施した結果を解析したものである。

## 2 調査地点

### 2.1 調査地点の選定

当初、測定地点は1990年から1992年までに行われた水道における THM 検査実施状況と THM 検査結果に基づき選定された<sup>4)</sup>。THM 検査実施状況については検査実施水道事業等数、検査実施浄水場数、延べ検査実施回数<sup>5)</sup>の3項目、THM 検査結果については浄水場名、所在地、現在給水人口、浄水方法、THM 及び残留塩素測定結果、原水水質試験結果（pH、色度、過マンガン酸カリウム消費量、アンモニア性窒素）、THM 低減化対策（計画を含む）であった。

1994年、1995年の調査結果に基づき、再び地点の選定が

行われた<sup>5,6)</sup>。

これらの結果より、水道水質基準値の70%（THM が今後基準値を超過する可能性が高いと考えられるレベル）を超過している水道水源について、その水道水源水域内の THM 生成能発生源（水道水源特定事業所等）及び水道原水の水質（過マンガン酸カリウム消費量等）の状況を勘案し調査地点が設定された。

### 2.2 調査地点

公共水域における THM 生成能に関する調査は1995年に石狩川において4点、小平薬川において2点の合計6点で始まった。1997年度に常呂川における2点が追加され、合計8点で年4回の調査が行われてきている。調査時期は5月から12月にかけてであり、2月毎に1回調査がなされている。

調査地点名等を表1に示した。図1 a に北海道における3河川の位置、1 b に小平薬川の調査地点、図1 c 常呂川の調査地点、図1 d に石狩川の調査地点を図示した。

## 3 調査方法

ステンレス製採水管により表層採水を行った。

調査・分析項目は基本項目として前日の天候、当日の天候、気温、水温、採取位置、透視度、試料水の色、臭気の8項目、生活環境項目等として pH、DO、BOD、COD、SS、大腸菌群数、アンモニア態窒素（以下  $\text{NH}_4\text{-N}$ ）の7項目、THM 生成能として、クロロホルム生成能（以下  $\text{CHCl}_3$ ）、プロモジクロロメタン生成能（以下  $\text{CHBrCl}_2$ ）、ジブロモクロロメタン生成能（以下  $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ）、プロモホルム生成能（以下  $\text{CHBr}_3$ ）の4項目について行った。調査、分析、生成能測定のための塩素処理方法は北海道編集の公共用水域及び地下水の水質測定計画に指定されている方法

表1 調査地点名と調査日

水系名	水域名	地点名	調査回数	略称	調査月	図番号	調査開始
小平薬川	小平薬川	小平町上水道小平浄水場取水口	12	小平	5、7、9、11	図1 b-①	1995年6月
小平薬川	小平薬川	達布橋	12	達布	同上	図1 b-②	1995年6月
常呂川	相内川	留辺蘂町上水道金華浄水場取水	4	金華	同上	図1 c-③	1997年5月
常呂川	小松沢川	北見市上水道本沢浄水場取水口	4	本沢	同上	図1 c-④	1997年5月
石狩川	夕張川	清沼橋	12	清沼	6、8、10、12	図1 d-⑤	1995年6月
石狩川	夕張川	由仁町由仁地区簡易水道取水口	12	由仁	同上	図1 d-⑥	1995年6月
石狩川	千歳川	舞鶴橋	12	舞鶴	同上	図1 d-⑦	1995年6月
石狩川	千歳川	江別市上水道上江別浄水場取水口	12	上江別	同上	図1 d-⑧	1995年6月

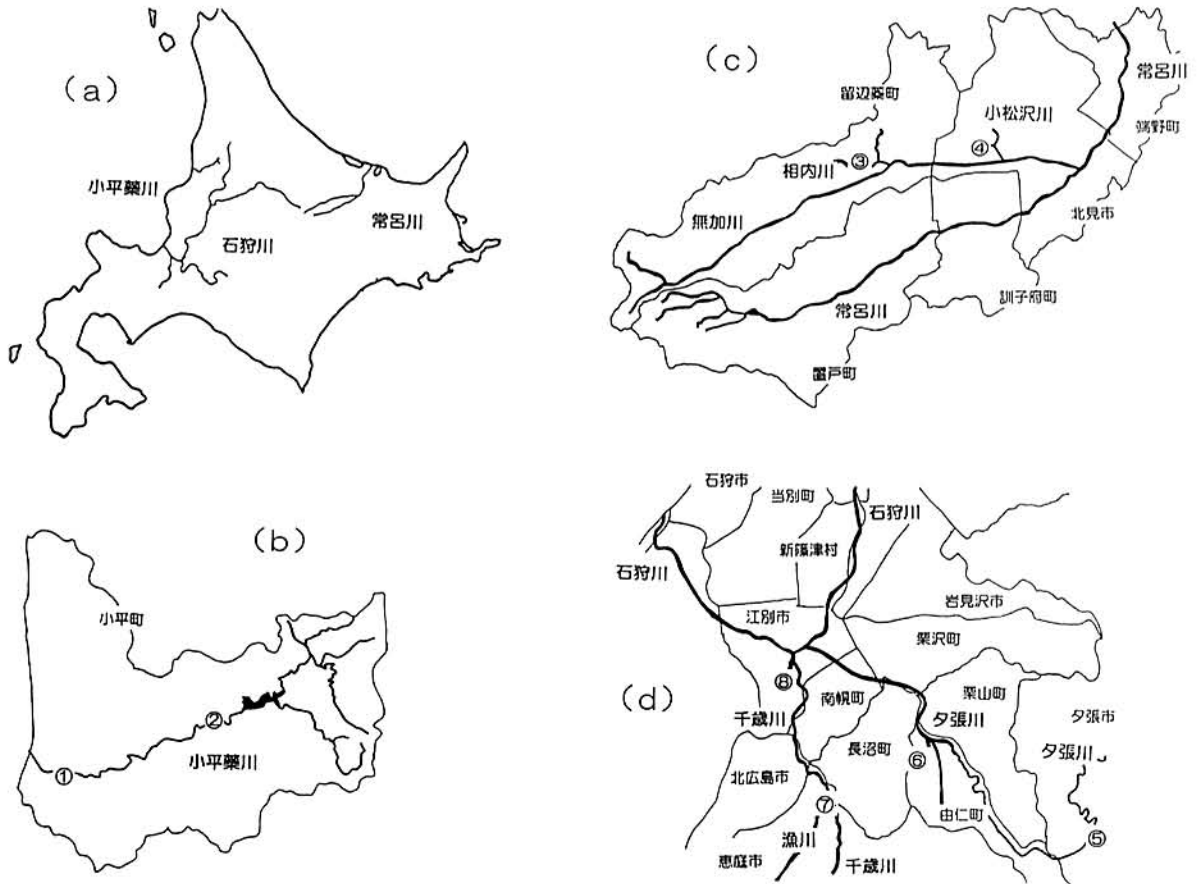


図1 a~d

に則して行った<sup>3)</sup>。

生成したTHMはヘッドスペース-GC/MS法で分析した。使用した機器と条件は以下の通りである。

機種	MS HP 5971A (ヒューレットパッカード社)
	GC HP 5890 (ヒューレットパッカード社)
	サンプラー Tekmer LSC-7050
分析カラム	Rtx-Volatiles 0.25mmID*1.0μ m*60m
カラム温度	40℃(2min)-8℃ in-240℃
キャリアガス	He
Aux 温度	200℃
検出器温度	250℃

## 4 調査結果

### 4.1 調査地点における主な調査項目の傾向

#### 4.1.1 基本項目

表2 aに8地点の気温、水温、透視度について、その範囲値を示した。調査期間中の水温の平均値は、小平薬川の小平、達布で14.6℃、14.2℃、常呂川の金華、本沢で9.9℃、10.1℃、石狩川の上江別、舞鶴、由仁、清沼でそれぞれ12.8℃、12.3℃、12.9℃、12.9℃と差が見られなかった。透視度では、金華、本沢、舞鶴がいずれの調査時でも30cm以上であった。これらの地点では色相、臭気とに無色透明、



表 2 a 主な基本項目の測定値の範囲

	気温 (℃)	水温 (℃)	透視度
小平	2.7 - 27.0	0.5 - 23.4	4.5 - >30
達布	1.9 - 30.4	0.9 - 22.8	5.0 - >30
金華	- 3.5 - 30.5	1.8 - 17.8	>30
本沢	- 2.0 - 30.5	2.5 - 19.6	>30
上江別	0.0 - 25.5	0.5 - 20.8	11.7 - >30
舞鶴	- 1.9 - 20.0	3.3 - 19.0	>30
由仁	- 0.3 - 27.6	0.8 - 22.2	2.0 - >30
清沼	- 2.1 - 30.1	2.2 - 18.8	2.0 - >30

表 2 b 主な生活環境項目等の濃度範囲 (括弧内平均値)

	PH	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l	大腸菌群 MNP/ml	アミノニア態窒素 mg - N/l
小平	6.5 - 7.9 (7.1)	ND - 1.4 (0.8)	2.1 - 6.8 (4.6)	6 - 114 (31)	2.2E0 - 5.4E2 (100)	0.009 - 0.085 (0.037)
達布	6.5 - 9.0 (7.5)	ND - 2.5 (0.8)	1.8 - 7.6 (4.7)	4 - 97 (34)	1.0E0 - 2.1E2 (95)	0.006 - 0.117 (0.031)
金華	7.0 (7.0)	0 (0)	3.4 - 7.2 (4.7)	ND - 26 (7)	2.3E1 ≥ 2400 (650)	0.003 - 0.184 (0.007)
本沢	7.1 (7.1)	0 (0)	2.8 - 6.2 (4.4)	ND - 4 (2)	2.0E0 - 9.2E2 (830)	0.003 - 0.094 (0.038)
上江別	6.7 - 9.2 (7.3)	ND - 1.7 (1.0)	1.8 - 9.7 (5.2)	3 - 50 (21)	7.0E1 ≥ 2400 (1250)	0.002 - 0.449 (0.146)
舞鶴	6.8 - 7.9 (7.2)	ND - 1.2 (0.5)	1.0 - 5.9 (3.1)	2 - 13 (6)	2.0E0 - 1.640E3 (470)	0.001 - 0.325 (0.115)
由仁	6.2 - 7.8 (7.4)	ND - 1.1 (0.6)	3.2 - 7.6 (5.3)	10 - 210 (53)	1.5E3 - ≥ 2400 (2260)	0.013 - 0.811 (0.131)
清沼	6.0 - 9.0 (7.7)	ND - 1.0 (0.5)	1.5 - 7.1 (3.1)	3 - 300 (76)	1.3E0 - 5.4E2 (76)	0.010 - 0.227 (0.092)

表 2 c トリハロメタン生成物質の濃度範囲 (括弧内平均値)

	CHCl <sub>3</sub> mg/l	CHBr <sub>2</sub> Cl mg/l	CHBrCl <sub>2</sub> mg/l	CHBr <sub>3</sub> mg/l	Total mg/l
小平	0.027 - 0.110 (0.058)	0.009 - 0.053 (0.002)	0.001 - 0.044 (0.008)	0.002 - 0.260 (0.045)	0.055 - 0.470 (0.130)
達布	0.023 - 0.160 (0.066)	0.012 - 0.049 (0.020)	0.002 - 0.024 (0.008)	0.003 - 0.180 (0.050)	0.064 - 0.960 (0.214)
金華	0.046 - 0.064 (0.054)	0.008 - 0.014 (0.011)	0.000 - 0.009 (0.005)	0.031 - 0.042 (0.036)	0.099 - 0.110 (0.102)
本沢	0.029 - 0.104 (0.052)	0.005 - 0.016 (0.010)	0.002 - 0.008 (0.006)	0.009 - 0.033 (0.026)	0.050 - 0.150 (0.092)
上江別	0.024 - 0.240 (0.065)	0.011 - 0.086 (0.024)	0.000 - 0.041 (0.009)	0.000 - 0.230 (0.034)	0.049 - 0.600 (0.132)
舞鶴	0.006 - 0.065 (0.024)	0.005 - 0.029 (0.013)	0.002 - 0.015 (0.006)	0.003 - 0.089 (0.019)	0.018 - 0.200 (0.065)
由仁	0.006 - 0.048 (0.100)	0.004 - 0.140 (0.030)	0.002 - 0.052 (0.011)	0.006 - 0.200 (0.051)	0.018 - 0.870 (0.191)
清沼	0.011 - 0.360 (0.065)	0.007 - 0.064 (0.015)	0.003 - 0.036 (0.009)	0.013 - 0.270 (0.057)	0.048 - 0.730 (0.146)

Total は、CHCl<sub>3</sub>、CHBr<sub>2</sub>Cl、CHBrCl<sub>2</sub>、CHBr<sub>3</sub> の合計量である。

無臭であった。

由仁、清沼は透視度の変動が最も大きかった。色相を比較すると小平、達布、舞鶴、上江別が淡黄、淡褐に対し由仁、清沼は淡灰、白濁のことがあり前者は泥炭系、後者は粘土質の影響を示していた。

#### 4. 1. 2 生活環境項目等

表2 b に8地点のpH、BOD、COD、SS、大腸菌群数、NH<sub>4</sub>-Nについて、その範囲値と平均値を示した。pH、BOD、CODでは調査地点間では差が見られないが、NH<sub>4</sub>-Nは石狩川水系の方が平均で小平薬川水系の3.6倍程度高かった。BOD/COD比は0.3以下の事が多く、一般に報告されている河川水の場合と同様の値を示していた<sup>7)</sup>。

#### 4. 1. 3 THM生成能項目

表2 c にCHCl<sub>3</sub>、CHBrCl<sub>2</sub>、CHBr<sub>2</sub>Cl、CHBr<sub>3</sub>と4項目合計のTHM生成能(濃度)について示した。季節的な傾向は認められなかった。

また、各地点のCHCl<sub>3</sub>、CHBrCl<sub>2</sub>、CHBr<sub>2</sub>Cl、CHBr<sub>3</sub>と4項目合計のTHM生成能濃度の平均値を図2に示した。水道水の水質基準、0.1mg/l以下の基準を適用すると、本沢の0.092mg/lと舞鶴の0.065mg/lの2点がそれを下回っていた。最も高い地点は由仁でその濃度は0.191mg/lであり、次いで清沼の0.146mg/lであった。

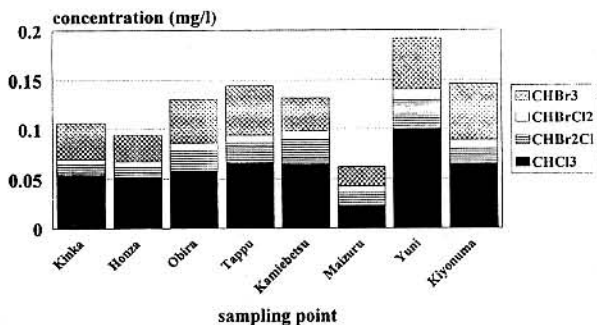


図2

生成したTHM濃度の組成比は、上江別を除く7点は比率が高い順からCHCl<sub>3</sub>、CHBr<sub>3</sub>、CHBr<sub>2</sub>Cl、CHBrCl<sub>2</sub>であり、それぞれ36.7~54.8%、28.0~38.5%、10.5~21.2%、5.1~10.5%の範囲であった。上江別ではCHBr<sub>3</sub>よりCHBr<sub>2</sub>Clの比率が勝っていた。

水道水中に発現したTHM濃度について、丹保によると<sup>1)</sup>、その比率はCHCl<sub>3</sub>、CHBrCl<sub>2</sub>、CHBr<sub>2</sub>Cl、CHBr<sub>3</sub>とし、さらに海水が混入している場合は、臭素化合物が大きな割合を占めるとしている。同様に、水道水中に含まれるTHMについて市橋ら<sup>8)</sup>は淡路地域の総THM量が調査した兵庫県下の他地域に比べ高い理由を、この地域の河川が満潮時に取水口まで滞り、原水中に混入するためと述べている。

水道水中のTHMと生成したTHMについて一概に比較は出来ないものの、石狩川水系の下流域は、海水等の影響も考えられるのでサンプル水中のBr濃度を把握し、THM生成量との関係を検討する必要がある。

また内山ら<sup>9)</sup>は利根川水系の河川水を用いて、そのTHM生成能を検討したところ、冬期と夏期ともに上流から下流にかけて徐々に増加して行ったが季節的な違いは見られなかったと報告している。一方、市橋ら<sup>8)</sup>は水道水の原水に着目し、原水の特性とTHM濃度を検討したところ、その年間の水温が一定である伏流水と井戸水を原水とする水道水中の総THM量について季節変動は見られなかったが、河川や湖沼のような表流水では、夏季の総THM量が冬期より勝っていたと報告した。今後の調査の継続により、本調査点においても季節的な変動が把握されるかもしれない。

調査期間中で1995年8月に6地点でTHM生成能が0.20~0.87mg/lと最高濃度を示し、前後の調査時の値と比較してもかなり突出した値を示していた。この時の他の調査項目を検討しても、小平、達布、由仁、清沼でSSが100mg/l以上と高い傾向があったもののCOD、BODは必ずしも高くはなく、この高濃度を示した原因は不明である。

8地点の調査結果がある1997年の傾向を整理すると、千歳川水系と夕張川水系とも下流の上江別と由仁で4回中3回(以下3/4と記す)、0.1mg/lを超える値が見られた。小平薬川では小平で2/4、達布で3/4、常呂川では金華が3/4、本沢が1/4であった。全調査32回に対して超過する割合が47%と半分弱であった。CHCl<sub>3</sub>については、環境水質では要監視項目の指針値<sup>10)</sup>として、水道水では基準項目中に基準値<sup>11)</sup>として0.06mg/lが定められている。CHCl<sub>3</sub>も同様に整理すると、千歳川水系と夕張川水系とも下流の上江別と由仁で1/4、小平薬川では小平で1/4、達布で2/4、常呂川では金華が1/4、本沢が1/4であった。これは超過する割合が22%と4分の1弱であった。

#### 4. 2 相関分析

3河川別にそれぞれの項目の相関係数を算出した。対象項目は数値化されている気温、水温、透視度、pH、BOD、COD、SS、大腸菌群数、NH<sub>4</sub>-N、CHCl<sub>3</sub>、CHBr<sub>2</sub>Cl、CHBrCl<sub>2</sub>、CHBr<sub>3</sub>と後者4項目THMの合計(以下Total)の14項目とした。計算上いずれの場合も透視度が $\geq 30$ は30、大腸菌群数が $\geq 2400$ 以上の場合は、2400とした。常呂川はpH、BODのデータに欠測値があるためそれらは除いた。

結果を表3 a~3 bに示す。常呂川、石狩川ともCHCl<sub>3</sub>、CHBr<sub>2</sub>Cl、CHBrCl<sub>2</sub>、CHBr<sub>3</sub>の4項目に対して他の9項目の相関はあまり見られなかった。小平薬川については、ほぼ4項目ともSS、大腸菌、NH<sub>4</sub>-Nで0.6以上の正の相関が見られ、中でもNH<sub>4</sub>-Nは0.698~0.788と高い相関関係が見られた。

表3 a 小平藪川における相関分析結果表 小平藪川

	気温	水温	透視度	pH	BOD	COD	SS	大腸菌群	NH <sub>4</sub> -N	CHCl <sub>3</sub>	CHBr <sub>2</sub> Cl	CHBrCl <sub>2</sub>	CHBr <sub>3</sub>
気温	1												
水温	0.952	1											
透視度	-0.292	-0.173	1										
pH	0.079	0.079	0.369	1									
BOD	0.173	0.093	-0.345	-0.166	1								
COD	0.714	0.709	-0.449	0.188	0.314	1							
SS	0.373	0.228	-0.709	-0.193	0.254	0.291	1						
大腸菌群	0.342	0.321	-0.367	-0.197	-0.081	0.368	0.498	1					
NH <sub>4</sub> -N	0.112	0.038	-0.332	-0.433	0.068	0.004	0.548	0.341	1				
CHCl <sub>3</sub>	0.555	0.502	-0.337	-0.265	-0.019	0.239	0.658	0.449	0.698	1			
CHBr <sub>2</sub> Cl	0.273	0.261	-0.313	-0.257	-0.033	0.115	0.684	0.624	0.778	0.860	1		
CHBrCl <sub>2</sub>	0.177	0.134	-0.385	-0.188	-0.014	0.170	0.699	0.714	0.730	0.647	0.915	1	
CHBr <sub>3</sub>	0.160	0.103	-0.393	-0.157	-0.019	0.123	0.741	0.654	0.745	0.715	0.922	0.967	1
Total	0.295	0.242	-0.393	-0.220	-0.023	0.161	0.754	0.644	0.776	0.854	0.973	0.936	0.973

表3 b 常呂川における相関分析結果表

	気温	水温	透視度	COD	SS	大腸菌群	NH <sub>4</sub> -N	CHCl <sub>3</sub>	CHBr <sub>2</sub> Cl	CHBrCl <sub>2</sub>	CHBr <sub>3</sub>
気温	1										
水温	0.916	1									
透視度	-	-	1								
COD	-0.672	-0.644	-	1							
SS	0.387	0.539	-	-0.134	1						
大腸菌群	0.343	0.503	-	-0.573	-0.157	1					
NH <sub>4</sub> -N	0.332	0.435	-	-0.467	0.043	0.832	1				
CHCl <sub>3</sub>	0.145	-0.053	-	0.355	-0.097	-0.119	0.218	1			
CHBr <sub>2</sub> Cl	-0.347	-0.332	-	0.549	-0.090	-0.016	0.325	0.753	1		
CHBrCl <sub>2</sub>	-0.710	-0.486	-	0.665	-0.008	-0.014	0.053	0.150	0.687	1	
CHBr <sub>3</sub>	-0.415	-0.279	-	0.655	0.051	-0.252	-0.015	0.190	0.487	0.421	1
Total	-0.074	-0.160	-	0.562	-0.026	-0.179	0.203	0.913	0.885	0.374	0.553

注：常呂川の透視度はいずれも>30以上のため相関係数が算出されなかった。

表3 c 石狩川における相関分析結果表

	気温	水温	透視度	pH	BOD	COD	SS	大腸菌群	NH <sub>4</sub> -N	CHCl <sub>3</sub>	CHBr <sub>2</sub> Cl	CHBrCl <sub>2</sub>	CHBr <sub>3</sub>
気温	1												
水温	0.940	1											
透視度	-0.018	-0.065	1										
pH	-0.192	-0.226	-0.122	1									
BOD	0.051	0.088	0.267	0.158	1								
COD	0.089	0.055	-0.309	-0.011	0.157	1							
SS	-0.048	0.015	-0.742	0.064	-0.152	0.051	1						
大腸菌群	0.169	0.154	-0.108	-0.116	0.056	0.328	-0.016	1					
NH <sub>4</sub> -N	-0.390	-0.474	0.025	0.036	-0.177	0.084	-0.050	0.000	1				
CHCl <sub>3</sub>	0.393	0.360	-0.362	0.046	-0.022	0.003	0.562	0.152	-0.150	1			
CHBr <sub>2</sub> Cl	0.345	0.330	-0.260	-0.001	0.007	-0.028	0.448	0.163	-0.169	0.944	1		
CHBrCl <sub>2</sub>	0.210	0.207	-0.255	-0.001	-0.161	-0.174	0.515	0.020	-0.210	0.836	0.899	1	
CHBr <sub>3</sub>	0.165	0.154	-0.313	0.031	-0.260	-0.175	0.558	-0.067	-0.220	0.728	0.718	0.916	1
Total	0.327	0.307	-0.348	-0.030	-0.110	0.069	0.582	0.076	-0.188	0.962	0.940	0.943	0.882

※表3 a～表3 cで太字は |相関関数| ≥0.65を示す。

内山<sup>12)</sup>は利根川で調査した水質項目で相関を検討したところ、THM生成能項目とCODやClの間の高い相関関係があることを指摘している。

今回の調査では、必ずしもCODとの相関性が十分にあるといえる傾向は見られず、今後、データを蓄積したのちに再検討を行う必要がある。

## 5 ま と め

- 1) THM 生成能について調査を行った 8 地点の平均の BOD は 0.5~1.0mg/l、COD は 3.1~5.2mg/l であり、BOD/COD 比は 0.3 以下のことが多く、この比は通常の河川の傾向とほぼ同じ傾向を示した。相関解析から一般に関係があると指摘される COD 値との相関はあまり見られなかった。
- 2) pH、BOD、COD では調査地点間では差が見られなかったが、NH<sub>4</sub>-N は小平薬川水系と石狩川水系では差が見られ、石狩川水系の方が平均で 3.6 倍程度高かった。BOD/COD 比は 0.3 以下の事が多く、通常の河川水レベルであった
- 3) 8 地点において、組成比は上江別以外は CHCl<sub>3</sub> が最も多く、以下 CHBr<sub>3</sub>、CHBr<sub>2</sub>Cl、CHBrCl<sub>2</sub> の順であった。
- 4) 8 地点の調査結果がある 1997 年の傾向を整理すると、水道水の水質基準の 0.1mg/l を超える値は全調査 32 回に対して超過する割合が 47% 弱であった。
- 5) 相関分析の結果、水系により項目の相関性の違いがみられた。

## 謝 辞

採水にご協力いただいた石狩、留萌支庁の環境保全係(旧公害係)の皆さまに謝意を表します。

## 引用文献

- 1) 丹保憲仁：水道水中のトリハロメタン問題、用水と排水、Vol.23, No.8, pp.899-906, 1981.
- 2) 北海道環境審議会水質部会資料、平成 6 年 10 月
- 3) 北海道 (1997) 平成 9 年度 公共用水域及び地下水の水質測定計画。
- 4) 北海道環境審議会水質部会資料、平成 6 年 12 月
- 5) 北海道環境審議会水質部会資料、平成 7 年 12 月
- 6) 北海道環境審議会水質部会資料、平成 9 年 2 月
- 7) 水質測定入門。(1989) 北海道公害防止研究所。
- 8) 市橋啓子, 辻英高, 山本淳, 磯村公郎, 寺西清：兵庫県下の水道水中のトリハロメタンの測定と解析, 用水と排水, Vol.34, No.12, pp.1036-1040, 1992.
- 9) 内山征洋, 中島右, 氏家淳雄：トリハロメタン生成特性による利根川, 上, 中流域の水質評価 (2) 冬期及び夏期におけるトリハロメタン生成能調査結果, 群馬県衛生公害研究所年報, Vol.16, pp. 93-95, 1984.
- 10) 早水輝好：水質環境基準改訂について, 水環境学会誌, Vol.16, No.4, pp. 224-225, 1993
- 11) 辻昌美：水道水質に関する新たな基準設定について, 水環境学会誌, Vol.16, No.4, pp.235-243, 1993.
- 12) 内山征洋, 中島右, 氏家淳雄：トリハロメタン生成特性

による利根川, 上, 中流域の水質評価 (1) 冬期における利根川水系上, 中流域河川中の THM 生成能, 群馬県衛生公害研究所年報, Vol.15, pp. 104-108, 1983.

## The Trihalomethane formation potential and resource of drinking water quality at the river in Hokkaido.

Yasushi Ishikawa, Toshiaki Nakajima, Hideharu Kondoh, Tomoko Akutagawa and Osamu Saitoh

### Abstract

We started measurements of Trihalomethane (THM) formation potential which is designated as a special item in original river sources from the fiscal year 1995. After all the data of three years till 1997 have been put in order, the following facts were revealed. BOD/COD ratio of the investigated rivers were nearly at the same level with those of the most of the others rivers. The originated substances was quality of longest with CHCl<sub>3</sub>. The results showed that in nearly half of all 32 times of potential experiments, total amount of THM exceeded the threshold value set by the Water Supply Guidance. There was a significant relationship between THM levels and some water quality items excepting COD.

# 春採湖の光合成細菌について

三上 英敏 石川 靖

## 要 約

筆者らは春採湖の光合成細菌集積層の形成を確認するため、1995年5月に調査を実施した。その結果、春採湖の嫌気層上部にてバクテリオクロロフィル-dを中心とする光合成色素が高濃度で存在していたことから、高密度の光合成細菌が集積していることを確認した。

**Key words** : 春採湖、部分循環湖、光合成細菌、バクテリオクロロフィル

## 1 はじめに

春採湖は釧路市内に位置するほぼ東西方向に細長くのびた汽水湖であり、その長軸に沿う延長は1.9km、幅は120-350m、周囲長は4.85kmおよび湖面積は36.4haである。図1に示したように、春採湖は幅の狭い中央部を境に西部湖盆と東部湖盆の大きく2つに分けられる。東部湖盆は、水深が1.5m以浅であり夏期と冬期に塩分や水温による弱い成層が見られるが、春期と秋期の循環期にはほぼ鉛直的に一様になる。一方西部湖盆は、海面より大幅に低い最大水深5.8mを有するため、逆流してきた海水は湖内深部に停滞する。そのため、深部は年間を通じて高塩分かつ嫌氣的であり、春採湖は塩分成層を伴った部分循環湖である<sup>1)</sup>。

春採湖は、レクリエーション等の地域的利用価値の高い湖沼であり、かつ1937年に「春採湖のヒブナ生息地」として天然記念物として指定されていることから、これまで多く調査がなされてきた。春採湖西部湖盆の深部の嫌気層には、塩化物イオンとともに流入してきた海水由来の硫酸イオンが硫酸還元菌の代謝により大量の硫化水素に変換されて蓄積しており<sup>1), 2)</sup>、また嫌氣的な状況下により底泥から窒素やリンが大量に回帰し蓄積していることがよく知られている<sup>1)</sup>。

このような硫化水素を含んだ嫌気層を有する部分循環湖や、夏期の停滞期に一時的に硫化水素を含んだ嫌気層が形成される湖沼等において、嫌気層上部に光合成細菌の集積層が形成した報告は多数ある。現在までに湖沼等に増殖する光合成細菌について、それらの増殖環境や生育制限因子、水界の物質循環における役割、および光合成特性等の様々な角度から研究報告がある<sup>3)~9)</sup>。

春採湖の光合成細菌集積層形成に関しては、Takahashi et al.<sup>3)</sup>によって、日本全国の他9湖沼における調査結果とともに報告されている。それによる、1965年9月の春採湖調査結果から、本湖に増殖していた光合成細菌は光合成色素である Bchl-d (バクテリオクロロフィル-d) もしく

は Bchl-c を有する緑色イオウ細菌の一種であり、3.6m層にて Bchl-d + Bchl-c で  $543 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  にも及ぶほど高密度で増殖していた。筆者らは春採湖の調査をする機会を得た1995年5月9日に、春採湖の光合成細菌の集積を再確認するため最深部である公共用水域 St.1において鉛直採水をおこない、光合成細菌の存在を簡潔に確認できるバクテリオクロロフィルの分析等を実施した。以下に、その結果に関してまとめ若干の考察を加えて報告する。

## 2 方 法

調査は1995年5月9日に、図1に示した春採湖最深部の公共用水域調査地点 St.1にて行った。水温と溶存酸素は、サーミスター水温計付き DO メータ (YSI モデル58型) をもちいて直接測定した。採水はリゴー社の1.3リットル採水器を用いて鉛直的に行った。

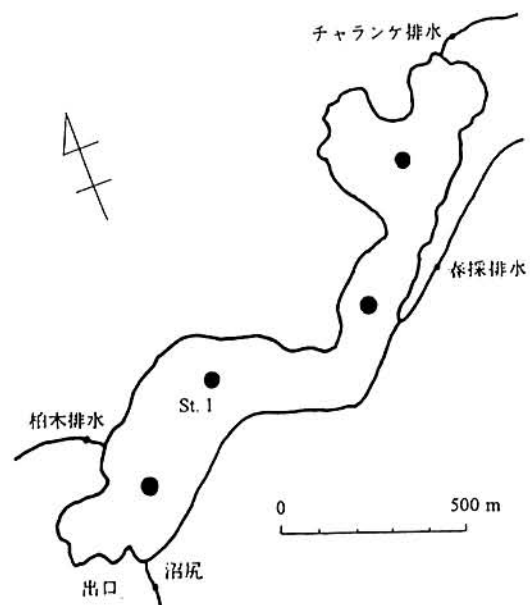


図1 春採湖の調査地点



表1 春採湖の調査結果

採水地点	採水水深m	水温℃	DO mg·l <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> S-S mg·l <sup>-1</sup>	Cl mg·l <sup>-1</sup>	Bchl-d μg·l <sup>-1</sup>	Bchl-a μg·l <sup>-1</sup>
1	0	11.9	11.2	0	930*	0	0
1	1	11.8	11.2	0	—	0	0
1	2	10.0	9.4	0	—	0	0
1	2.5	—	—	15	—	193	15
1	3	5.2	0.0	75	6610	244	20
1	4	5.6	0.0	180	8220	133	10

\*印：公共用水域調査結果参考<sup>11)</sup>

調査地点：公共用水域 調査地点 St.1

調査日：1995年5月9日 調査時刻：10:20 天候：晴れ

全水深：5m 透明度：1.8m

バクテリオクロフィル用のサンプルは、採水後現地にワットマン GF/F フィルターを用いて試水をろ過後直ちに凍結し、当センターまで持ち帰り分析までそのまま凍結保存した。分析の前日には90%アセトンを加え1晩冷暗所にてバクテリオクロフィルを抽出した。その後、吸光度計にて吸光スペクトルをとると同時に、850、772、662、654 nmの吸光値を測定し Takahashi et al.<sup>10)</sup>を参考にバクテリオクロフィルを算出した。溶存硫化水素は、採水後直ちに液体検知管(光明理化学工業製)を用いて求めた。塩化物イオンは、当センターへ試料を持ち帰った後、硝酸銀滴定法にて求めた。

### 3 結果と考察

表1に調査結果を示した<sup>11)</sup>。このときの採水地点の全水深は5m、透明度は1.8mであった。溶存酸素に関して、0m層から2m層まで好气的であったが、3m以深では嫌気的な環境であった。水温も急激に2-3m層間で減少していた。塩化物イオン濃度は3m以深で6000mg·l<sup>-1</sup>以上の高濃度を示した。一方、表層は1000mg·l<sup>-1</sup>以下とそれらより低濃度であったが厳密な淡水ではなく汽水状況を示していた。また1、2m層の塩化物イオン濃度は測定しなかったが部分循環湖の特性を考慮し、他の調査報告<sup>1)</sup>や溶存酸素の鉛直分布結果から推定すると、それらはほぼ表層と類似した値が若干高い値と推察され、それ以深の2-3m層間で急激に上昇すると考えられる。溶存硫化水素は、好气的な0-2m層間は検出されなかったが、2.5m層でSとして15mg·l<sup>-1</sup>と検出され、底へ向かうにつれて濃度上昇が認められ4m層では180mg·l<sup>-1</sup>にも達していた。

2.5m以深の嫌気層の採水時において、肉眼で着色した濁りが確認できるほど光合成細菌集積層が見られた。光合成細菌の光合成色素であるバクテリオクロフィルに関しては一般的に数種類<sup>12)</sup>あるが、90%アセトン抽出にお

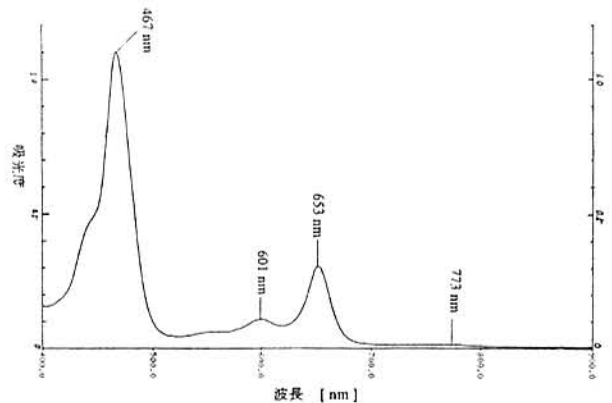


図2 春採湖から採取した光合成細菌の90%アセトン抽出による吸光スペクトル

サンプル：1995年5月9日、3m層水

条件：GF/F 100ml ろ過、90%アセトン 8ml 抽出

る吸光スペクトルにそれぞれ特徴的な吸収域を示すことが知られている<sup>3)</sup>。春採湖3m層の90%アセトン抽出における吸光スペクトルを図2に示した。この図で特徴的なのは、467、601、653、773nm付近にピークが見られたことである。Takahashi et al.<sup>3)</sup>によれば、水を緑色に着色させる光合成細菌の90%アセトン吸光スペクトルは、470nmと654nmもしくは662nmに特異的なピークが現れ、特に654nmのピークはBchl-d、662nmはBchl-cによるものであり、ともに緑色イオウ細菌に由来すると報告している。図2の吸光スペクトルでは、Bchl-dによる吸収ピークと極めて一致した波長において吸収が認められたことから、Bchl-dを有する緑色イオウ細菌が増殖していたと考えられる。また、わずかではあるが773nm付近にもピークが確認されたが、Bchl-aに由来するピークは772nmに現れる事から<sup>3)、10)</sup>、春採湖の光合成細菌もわずかにBchl-aが

含んでいると考えられる。Bchl-aは緑色イオウ細菌にもわずかに含まれているが、おもに紅色イオウ細菌に含まれる光合成色素の一種であり、春採湖の光合成細菌も一部紅色イオウ細菌が含まれている可能性がある。Parkin et al.<sup>5)</sup>の論文による、緑色イオウ細菌と紅色イオウ細菌の混合集積していたLake MirrorやLake Fishの光合成細菌の90%アセトン吸光スペクトルは、大きな468nmのピーク、654nmのピーク、わずかな772nmのピークが認められており、図2で示された春採湖のそれに極めてよく類似していた。特に、468nmのピークは緑色イオウ細菌にも含まれるが紅色イオウ細菌に圧倒的に多く含まれるカロチノイド化合物に由来するものと報告されている。本調査では顕微鏡による細菌の直接観察等を行っていないので、光合成細菌の種についての詳細な検討はできない。しかし、以上のことから1995年5月に春採湖の嫌気層上端で集積していた光合成細菌群集は、主として緑色イオウ細菌類であり、もしかすると紅色イオウ細菌類も混在していた可能性がある。

表1に示したように、1995年5月の調査結果において、Bchl-dは2.5m層 $193 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 、3m層 $244 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 、4m層 $133 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であり、Bchl-aは2.5m層 $15 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 、3m層 $20 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 、4m層 $10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であった。Bchl-dおよびBchl-aのいずれも2.5-3m層の嫌気層上端部で高濃度であり、嫌気層上部により多くの光合成細菌が増殖していることが確認された。また、光合成細菌が出現した他水域と比較しても<sup>3), 13)</sup>、春採湖のBchl-d濃度は高く、光合成細菌が大量に増殖していたと考えられる。

春採湖のような嫌氣的な硫化水素を多く含む底泥をその嫌氣的直上水とともにガラス瓶などに空気に触れないように密栓し、実験室等の日の当たる場所に放置するだけで、水が着色懸濁し光合成細菌が増殖するといわれている<sup>12)</sup>。筆者らもそれらを確認するため、春採湖の底泥を直上水とともに密栓して持ち帰り実験室に放置したところ、1週間もたたないうちに水が緑色に着色したことを確認した。このことは、春採湖において嫌氣的な底泥に光が当たるだけで、光合成細菌が水中に容易に増殖することを意味する。

緑色イオウ細菌や紅色イオウ細菌は硫化水素などを用いて光合成を行うため、それらの安定的な増殖条件は硫化水素が存在する層に光が到達する事である<sup>3), 8)</sup>。春採湖の透明度、は今回の調査では1.8mであり、容易に2.5~3mの嫌気層上端部に光が到達し光合成細菌集積層が安定的に増殖できる条件が整っているといえる。

一方、嫌気層上部に増殖している光合成細菌が魚類等の生息する好気層に与える影響に関して、光合成細菌は嫌気層下部から拡散してきた大量の硫化水素を光合成作用によってすみやかに酸化することにより、大量の硫化水素の好気層への拡散量を減少させ、硫化水素による好気層の酸化還元電位の低下を軽減させると考えられる。

また、このような嫌気層を有する部分循環湖では、植物プランクトンが最も消費しやすいアンモニア態窒素やリン酸態リンが大量に回帰しており、それらが好気層に拡散したとき植物プランクトン類を増殖させる大きな因子になる。しかし、嫌気層から好気層へ拡散するそれら無機栄養塩類は嫌気層上端の光合成細菌群集に大量に消費され、好気層に供給される無機栄養塩類は減少するため、安定した光合成細菌集積層が形成することは植物プランクトンの増殖を抑止することになると考えられる。<sup>4), 13)</sup>

さらに、光合成細菌は嫌気層で硫化水素を用いて無機炭素や一部低分子有機炭素からさらに高分子の有機物を合成するが、それらが好気層の動物プランクトンに補食されることが知られている<sup>3), 11)</sup>。春採湖の光合成細菌も嫌気層で無機炭素から硫化水素を用いて自らが増殖し、それが一部好気域の食物連鎖につながっていると考えられる。光合成細菌の安定的な増殖は、栄養塩類の好気層への拡散を防ぎ植物プランクトン増殖を減少させるけれども、動物プランクトン類の増殖には貢献し、水質環境が保全されつつ魚類の安定的生存が維持されることに貢献していると考えられる。

以上のことから、今後、春採湖の環境保全や魚類環境を考慮するうえで、光合成細菌の有機物生産レベルを把握するとともに、その季節的、周年的変動や光合成細菌・好気層生物間の関連性などを詳細に解明することは重要なことと考えられる。

## 参考文献

- 1) 岡崎由夫、伊藤裕三、伊藤俊彦、東海林明雄、岩瀬政吉、山代淳一：「春採湖及び周辺環境保全基礎調査報告書」、p1-37、釧路市、1988
- 2) 吉村信吉：日本の湖水の化学成分IV硫化水素、陸水学雑誌、vol.4、pp.12-27、1934
- 3) Takahashi M. and S. Ichimura: Vertical distribution and organic matter production of photosynthetic sulfur bacteria in Japanese lakes, *Limnol. and Oceanogr.*, Vol.13, pp.644-655, 1968
- 4) Matsuyama M.: Some considerations on the dense population of a Purple Sulfur Bacterium, *Chromatium* sp., at the mid-depth of Lake Kaiike, *Jap. J. Limnol.*, Vol.41, NO.2, pp.84-94, 1980
- 5) Parkin T. B. and T. D. Brock: The effects of light quality on the growth of phototrophic bacteria in lakes, *Arch. Microbiol.*, Vol.125, pp.19-27, 1980
- 6) Parkin T. B. and T. D. Brock: The role of phototrophic bacteria in the sulfur cycle of a meromictic lake, *Limnol. Oceanogr.*, Vol.26, NO.5, pp.880-890, 1981
- 7) Overmann J., J. T. Beatty, K. J. Hall, N. Pfennig and T.

- G. Northcote: Characterization of a dense, purple sulfur bacterial layer in a meromictic salt lake, *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 36, NO.5, pp.846-859, 1991
- 8) Guerrero R., E. Montesinos, C. Pedros-Alio, I. Esteve, J. Mas, H. Van Gernerden, P. A. G. Hofman, and J. F. Bakker: Phototrophic sulfur bacteria in two Spanish lakes: Vertical distribution and limiting factors, *Limnol. Oceanogr.*, Vol.30, NO.5, pp.919-931, 1985
- 9) Van Gernerden, H., E. Montesinos, J. Mas, and R. Guerrero: Diel cycle of metabolism of phototrophic purple sulfur bacteria in Lake Ciso (Spain), *Limnol. Oceanogr.*, Vol.30, NO.5, pp.932-943, 1985
- 10) Takahashi M. and S. Ichimura: Photosynthetic properties and growth of photosynthetic sulfur bacteria in lakes, *Limnol. Oceanogr.*, Vol.15, pp.929-944, 1970
- 11) 北海道保健環境部環境室環境対策課：「公共用水域の水質測定結果（北海道）平成7年度」，1997
- 12) 北村博，森田茂廣，山下仁平：「光合成細菌」，p18, p280-282, p339-341, 学会出版センター，東京，1984
- 13) 三上英敏，日野修次，有末二郎：青潮発生後の網走湖の化学的・生物学的環境変化，北海道環境科学研究センター所報，Vol.20, pp.55-59, 1993

### **Phototrophic bacteria in Lake Harutori**

**Hidetoshi MIKAMI and Yasushi Ishikawa**

#### **Abstract**

The authors investigated in Lake Harutori in May 1995, in order to confirm a formation of phototrophic bacterial layer. Then it was clarified that a dense, phototrophic bacterial layer formed at the top of anaerobic layer in Lake Harutori, for photosynthetic pigments of phototrophic bacteria, mainly bacteriochlorophyll-d, was detected at the layer.

Key word : Lake Harutori, meromictic lake, phototrophic bacteria, bacteriochlorophyll