

事例研究 CASE STUDY

標津川河跡湖の水質環境

野崎健太郎^{1)*}・紀平征希²⁾・山田浩之³⁾・岸 大弼⁴⁾・布川雅典³⁾・河口洋一⁵⁾

- 1) 椋山女学園大学人間関係学部 〒471-0131 愛知県日進市岩崎町竹ノ山 37-234
- 2) 滋賀県立大学湖沼環境実験施設 〒522-0057 滋賀県彦根市八坂町 3165
- 3) 北海道大学大学院農学研究科 〒060-8589 北海道札幌市北区北9条西9
- 4) 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター 〒060-0809 北海道札幌市北区北9条西9
- 5) 独立行政法人土木研究所自然共生研究センター 〒501-6021 岐阜県羽島郡川島町笠田官有地無番地

Kentaro NOZAKI^{1)*}, Masaki KIHIRA²⁾, Hiroyuki YAMADA³⁾, Daisuke KISHI⁴⁾
 Masanori NUNOKAWA³⁾ and Yôichi KAWAGUCHI⁵⁾: Limnological
 characteristics of an oxbow lake in a lower reach of the Shibetsu River in
 Hokkaido Island, Japan. *Ecol. Civil Eng.* 7(2), 165-172, 2005.



- 1) School of Human Sciences, Sugiyama Jogakuen University, Takenoyama 37-234, Iwasaki-cho, Nisshin, Aichi 471-0131, Japan
- 2) Limnological Laboratory, The University of Shiga Prefecture, Hassaka 3165, Hikone, Shiga 522-0057, Japan
- 3) Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Kita 9, Nishi 9, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8589, Japan
- 4) Field Science Centre for Northern Biosphere, Hokkaido University, Kita 9, Nishi 9, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-0809, Japan
- 5) Aqua Restoration Research Centre, Incorporated Administrative Agency, Public Works Research Institute, Kasada, Kawashima, Gifu 501-6021, Japan

Abstract: Limnological characteristics of a shallow oxbow lake (maximum depth about 2 meters) were investigated in a lower reach of the Shibetsu River in Hokkaido Island, Japan. Water temperatures, under-water light attenuation coefficients, and concentrations of dissolved oxygen, nitrogen, phosphorus and chlorophyll-*a* were measured on July 21 and November 17 in 2001 and July 30 in 2002. Water temperature varied among sampling stations and depths, ranging from 10°C to 24°C in July, while all measurements were constant at about 5°C in November. Dissolved oxygen concentrations at all stations on all sampling dates were 10 mg L⁻¹ or more. Its maximum concentration reached 25 mg L⁻¹ with 250% saturation at the lake bottom on July 21 in 2001. The depths of sampling stations that obtained high concentrations of dissolved oxygen were between 50 cm and 60 cm. Water temperatures at these depths ranged from 10°C to 15°C, which were lower than surface water by 5°C to 10°C. A large filamentous green alga, *Spirogyra* sp., propagated in these depths. Concentrations of dissolved nitrogen in lake water varied from 11 µg L⁻¹ to 250 µg L⁻¹, which declined in July at all stations and depths. Concentrations of PO₄³⁻-P showed a range from 7 µg L⁻¹ to 14 µg L⁻¹, not so different among stations,

2004年1月27日受付, 2004年5月10日受理

*e-mail: ken@hs.sugiyama-u.ac.jp

depths and sampling dates. Particulate phosphorus and chlorophyll-*a* concentrations were approximately constant between $33 \mu\text{g L}^{-1}$ and $35 \mu\text{g L}^{-1}$ and $10 \mu\text{g L}^{-1}$ and $13 \mu\text{g L}^{-1}$, respectively. The concentrations of total phosphorus and chlorophyll-*a* on 21 July 2001 indicate that trophic status of the oxbow lake is in meso-eutrophic conditions. Under-water light attenuation coefficients (k) ranged from 1 m^{-1} to 2 m^{-1} at all stations and sampling dates. These values are comparable to the maximum value for eutrophic lakes with water-bloom of phytoplankton. However, because chlorophyll-*a* concentrations in this oxbow lake were lower than those in the eutrophic lakes, under-water light seemed to be attenuated by non-living particles and dissolved organic matter. Therefore, there is a possibility that the oxbow lake is in dystrophic conditions. These results suggested that the limnological characteristics of the oxbow lake were greatly different from those of the main channel of the Shibetsu River. It is believed that the oxbow lake maintains the characteristics of a low-land marsh, which was former landscape of the lower region of the Shibetsu River watershed.

Key words: dissolved oxygen, dystrophic condition, oxbow lake, trophic status, under-water light attenuation

はじめに

水質は、地形などの物理構造と並び、河川の水環境の特性を生み出す重要な要因である。一般的に河川水質は、集水域の地質によって決定されるが(小林 1960; 森井ほか 1993; 沖野 2002 a), 窒素, リンなどの水域の富栄養化に関する項目には、人間活動が大きく影響している。それは、産業および生活排水の流入など直接的な影響(山田・中西 1999; 野崎 2004)だけではなく、例えば森林伐採による河川水中の硝酸態窒素濃度の上昇など間接的な影響も明らかになってきている(Likens and Bormann 1995; 浜端ほか 2002)。従って、人間が河川環境に手を加え改変する場合、その改変が河川に及ぼす影響を検討するためには、対象となる水域の水質の把握は欠かせない基礎情報である。

河跡湖(oxbow lake)は、三日月湖とも呼ばれ、河川の蛇行部分が自然あるいは人為的作用で本川から切り離されて形成された湖沼である。河跡湖の水質環境を記述した報告は少なく、日本では、北海道の石狩川河口部に位置する茨戸湖における一連の報告(例えば Hino and Tada 1985; Hino 1992; Takano and Hino 1994; 橋 ほか, 1996)以外には見当たらない。陸水学のいくつかの教科書(例えば Horn and Goldman 1994; 宝月 1998; Wetzel 2001; 沖野 2002 a, 2002 b)にも河跡湖に関する記述は皆無もしくは極めて少なく、河跡湖は陸水環境の中では特に情報が少ない水域である。

標津川下流域(北海道標津町)には、1932年から1970年代後半にかけて実施された河道直線化の工事により、

本川から切り離され河跡湖となった小湖沼が点在している。この河跡湖群は、数10年もの間隔離されてきており、本川とは大きく異なった水質環境を持つようになっていると考えられる。現在、標津川では、これらの河跡湖群と本川を再結合し、河道の蛇行を復元する事業が計画されている(中村 2003)。今後、類似の事業が計画される際には、この標津川蛇行復元事業が極めて有用な先行事例になるであろう。我々は、この蛇行復元事業を実施する前には、事業に用いられる河跡湖および本川の水環境の特性を把握し、この事業によって、どのような水環境の創出、あるいは消失が起こり得るのかを検討しなくてはならないと考えている。そのためには、水質環境の特性を記載しておくことは意義がある。本報告では、主に水域の生物活動に大きな影響を与える溶存酸素、窒素およびリンの各濃度の測定結果をもとに、蛇行復元事業の事例研究として用いられる河跡湖(K湖)の水質環境の特徴を記述し、特に富栄養化の現状について検討した。

調査地および方法

河跡湖の調査は、標津川河口からおよそ8 km上流に位置するK湖($145^{\circ} 05' \text{ E}$, $43^{\circ} 38' \text{ N}$)で実施した(Fig. 1)。K湖には明確な流入および流出は見られず、ほぼ隔離された水域といえる。調査は、K湖内の下流側から、水深が異なる4地点(St. 1: 150 cm, St. 2: 200 cm, St. 3: 100 cm, St. 4: 60 cm)で、2001年7月21日, 11月17日, 2002年7月30日に行った(Fig. 1)。Station 4より上流側は、湿地になっていた。2002年には、河跡湖と本川

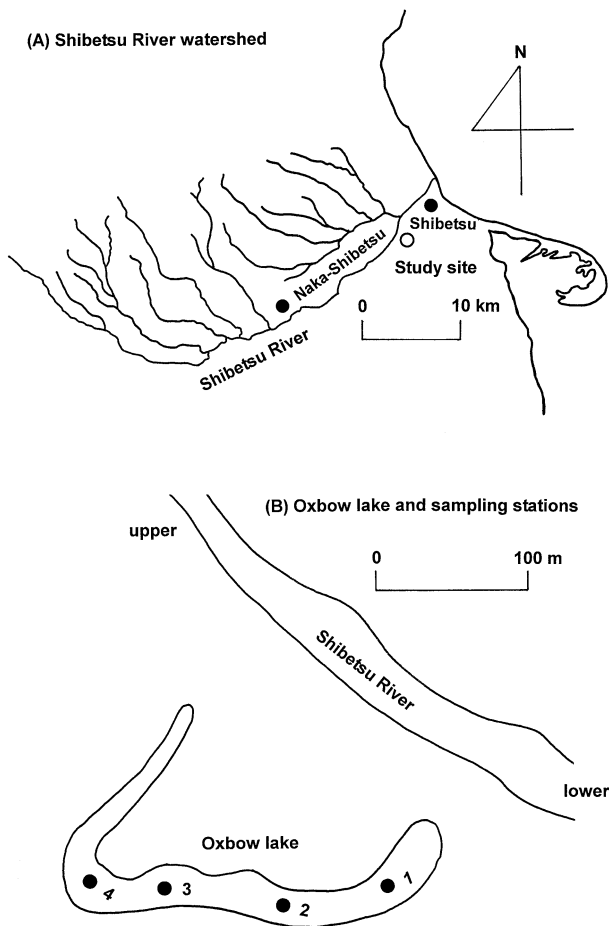


Fig. 1. Map showing study sites (A) and sampling stations (B).

が連結され、K湖内の下流側にある Stations 1, 2は消滅し、Stations 3, 4の水深はともに40 cmまで低下した。採水は、ゴムボート上からVan Dorn採水器で行った。湖水は、ガラス繊維ろ紙(ADVANTEC社, GF-75)で懸濁物を除去し分析に供した。湖水中のクロロフィル*a*量と懸濁態リンは、ガラス繊維ろ紙上に捕集した懸濁物を用いて分析した。水温は、マルチ水質モニタリングシステム(HORIBA社, U-20XD)、水中光強度は、水中照度計(MINOLTA社, T-10 WL)でそれぞれ測定した。湖底表面の底泥は2001年7月21日にはEkman Birge採泥器(採取面積20 cm×20 cm)、11月17日、2002年7月30日には柱状採泥器(直径4 cm)で採取した。底泥表面の2~3 mmを金属製のへらで採取し試料とした。底泥試料は、蒸留水に懸濁させた後、ガラス繊維ろ紙(ADVANTEC社, GF-75)で捕集し、クロロフィル*a*量と強熱減量の分析に供した。また、標津川流域全体の水質環境を把握するために、2002年11月19日に、標津川

河口から俣落川上流部(河口から49 km地点)までの間9地点で水質調査を行った。採水地点は、それぞれ河口から9, 14, 18, 27, 35, 38, 42, 44, 49 km地点である。

水質は、溶存酸素濃度(Winkler法)、アンモニア態窒素濃度(インドフェノール法による比色分析, Solorzano 1969)、亜硝酸態窒素(BR法による比色分析, Bendschneider and Robinson 1957)、硝酸態窒素(サリチル酸ナトリウム法による比色分析, Kalff and Bentzen 1984)、リン酸態リン(モリブデン青法による比色分析, Murphy and Riley 1962)、溶存有機態リンおよび懸濁態リン(ペルオキシ二硫酸カリウムで分解し、モリブデン青法による比色分析, Menzel and Corwin 1965)、クロロフィル*a*(アセトン抽出によるLorenzen 1967の方法)を測定した。全リン濃度はリン酸態リン、溶存有機態リンおよび懸濁態リンの各濃度の合計値として求めた。底泥の強熱減量は、試料を捕集したガラス繊維ろ紙を70℃で48時間乾燥させ、その後、電気炉内で550℃で3時間処理する方法で求めた。

結果

河跡湖の水質環境

2001年7月21日および11月17日の水温と溶存酸素濃度の鉛直分布および水中光の消散係数は、Fig. 2に示した。7月21日の水温は、Stations 1, 2では、鉛直的に大きな変化は無かった。ところが、Stations 3, 4では、水深25~50 cm付近から水温が急激に低下し、表層と底層では水温がおおよそ10℃も異なる水温の鉛直分布が観察された。これは、この付近での湧水の存在を示唆している。溶存酸素濃度は、表面では全ての地点でおおよそ10 mg L⁻¹であったが、Stations 3, 4の湖底付近では25 mg L⁻¹程度の極めて高い値を示し、飽和度は250%に達する著しい過飽和状態であった。11月17日には、水温、溶存酸素濃度ともに夏期のような現象は見られず、全地点で均一な鉛直分布を示した。蛇行復元工事終了後の2002年7月30日の測定結果は、Stations 3, 4で表面は水温24℃、溶存酸素濃度13 mg L⁻¹、湖底は21℃、14 mg L⁻¹と同じ値を示し地点間の差や鉛直的な変化は観察されなかった。

水中光の消散係数(*k*値)は、最小値が2001年11月17日にStation 4で得られた1.132、最大値が2001年7月21日にStation 1で得られた1.871 m⁻¹であった(Fig. 2)。地点間ではStation 1からStation 4にかけて消散係数が

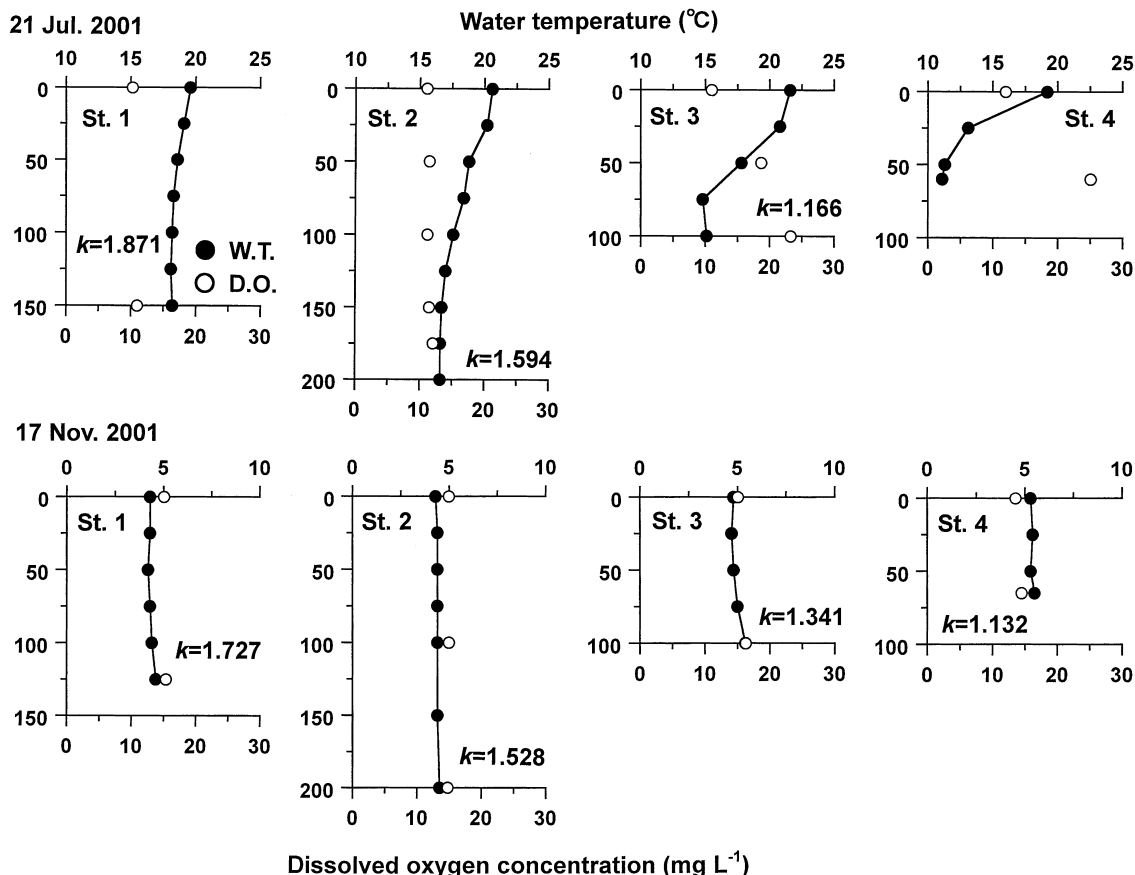


Fig. 2. Vertical profiles of water temperature (●) and dissolved oxygen concentrations (○), and under-water light attenuation coefficients (k) in an oxbow lake of the Shibetsu River on 21 July and 17 November 2001.

Table 1. Concentrations of nitrogen and phosphorus in oxbow lake of the Shibetsu River.

Date	Numbers of sample	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	PO ₄ ³⁻ -P	DOP	PP	TP	Chl. <i>a</i>
(Average±SD μg L ⁻¹)										
21 Jul. 2001	10	5.0±0.3	1.9±0.3	4.1±0.6	11.0±0.9	7.1±1.3	17.1±1.7	34.6±6.3	58.7±7.0	10.3±8.4
17 Nov. 2001	7	2.0±0.5	2.7±0.9	243.7±43.7	248.4±44.2	13.5±1.9		33.4±7.7		12.5±7.5
30 Jul. 2002	4	4.4±1.5	0.7±0.1	27.9±1.3	33.0±2.6	10.1±0.7		34.3±3.7		11.0±6.0

低くなる傾向であった。7月と11月では、各地点の値が大きく変化することはなかった。表面の光強度が1%にまで減ずる水深を補償深度と見なすと、K湖は全層が有光層であった。

湖水中の窒素、リンとクロロフィル *a* 量の測定結果は Table 1 にまとめた。Fig. 3 は、溶存態窒素濃度とリン酸態リン濃度の関係を示した図である。溶存態の窒素濃度は7月と11月の結果に違いが見られ、7月に濃度が大きく低下することがわかった。特に硝酸態窒素濃度が大きく減少していた。リン酸態リン濃度は溶存態窒素濃度と比べて大きな変化は示さなかった。懸濁態リン濃度と

クロロフィル *a* 量は3回の調査でほぼ同様の値を示した。

Fig. 4 は、底泥表面のクロロフィル *a* 量の測定結果である。3回の調査の中では2001年7月21日に得られた値が最も高く、特に Stations 3, 4 のクロロフィル *a* 量は、それぞれ 798, 726 mg m⁻² にも達していた。これらの地点では湖底に大型糸状緑藻 *Spirogyra* sp. が繁茂しており、それが高いクロロフィル *a* 量の原因であろう。そして、これらの地点における高い溶存酸素濃度は *Spirogyra* sp. 群落の光合成によって生産された酸素が、水温差による水の密度勾配、いわゆる水温躍層の存在によって表層の水とは混合しない底層付近に蓄積されたためであると考

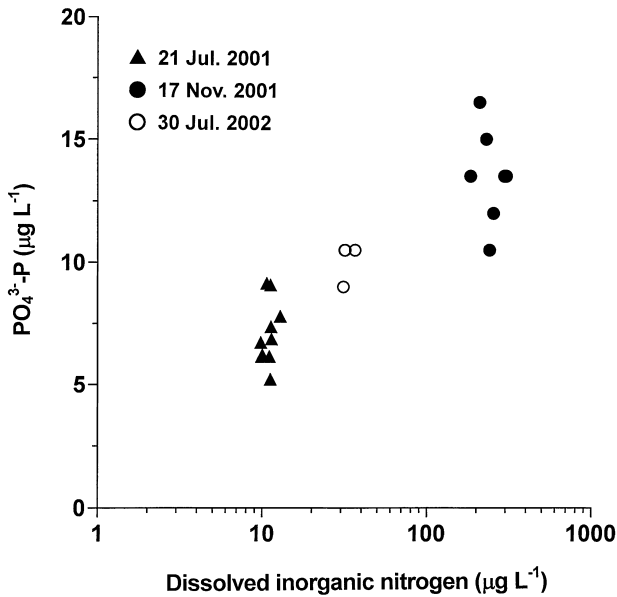


Fig. 3. Relationships between dissolved inorganic nitrogen and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ concentrations in an oxbow lake of the Shibetsu River on 21 July and 17 November 2001, and on 30 July 2003.

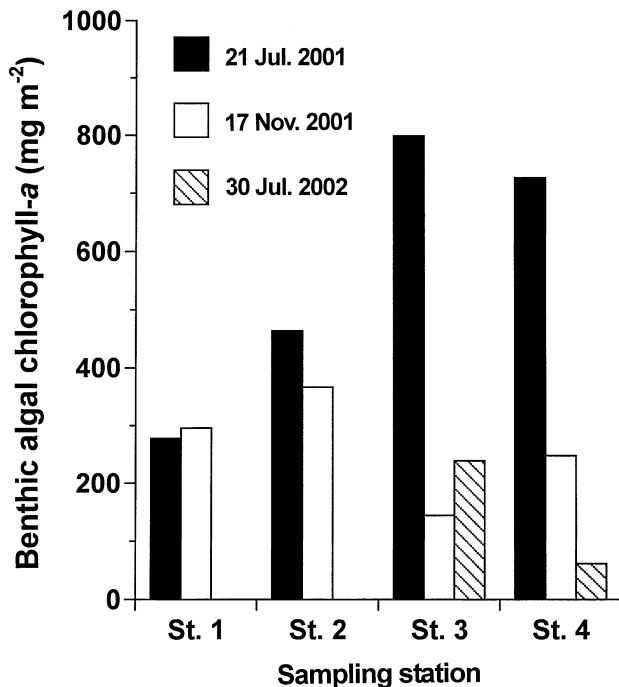


Fig. 4. Benthic algal chlorophyll-*a* amounts on the bottom of an oxbow lake of the Shibetsu River on 21 July and 17 November 2001, and on 30 July 2002.

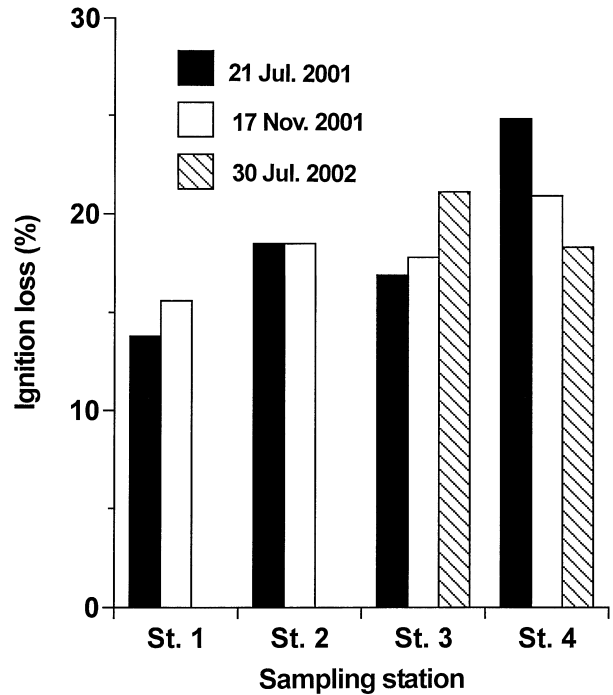


Fig. 5. Ignition losses of surface bottom sediments of an oxbow lake of the Shibetsu River on 21 July and 17 November 2001, and on 30 July 2002.

えられる。2001年11月17日、2002年7月30日には *Spirogyra* sp. の繁茂は観察されなかった。

湖底泥表面の強熱減量の割合は、最小値が2001年7月21日にStation 1で得られた14%、最大値も同日にStation 4で得られた25%であった (Fig. 5)。強熱減量は観測日によって大きく変化することはなかった。

標津川流域の窒素およびリン濃度の流程変化溶存

無機態窒素およびリン酸態リンは、最も上流である49 km地点から35 km地点までは、それぞれ20–100 $\mu\text{g L}^{-1}$ 、12–15 $\mu\text{g L}^{-1}$ の間で推移したが、28 km地点で溶存無機態窒素は678 $\mu\text{g L}^{-1}$ 、リン酸態リン濃度は26 $\mu\text{g L}^{-1}$ となり、急激な上昇を示した (Fig. 6)。これらの上昇は、この地域に広がる放牧地からの畜産排水や中標津市街地からの生活排水など、人為的負荷の増大によるものであろう。特に13 km地点ではアンモニア態窒素が83 $\mu\text{g L}^{-1}$ 、リン酸態リン濃度が45 $\mu\text{g L}^{-1}$ となり顕著な上昇が見られ、この地点の上流で流入する中標津周辺の下水処理排水が河川水質の変化に大きく寄与していることが推測された (Fig. 6)。河跡湖との連結地点 (河口から8 km上流) の溶存無機態窒素およびリン酸態リン濃度はそれぞれ、600–900 $\mu\text{g L}^{-1}$ 、20–60 $\mu\text{g L}^{-1}$ の間で変動し、河跡湖の結果とは異なり、溶存態窒素濃度が3回の調査の間

で顕著な変化を示さなかった (Fig. 6).

考察

ここでは、本研究で得られた調査結果から河跡湖K湖の水質環境の特性、特に富栄養化の現状について議論する。河跡湖は一般的に河川中～下流部に形成されるため、人間活動に近接し人為的な栄養塩の負荷が高い地域に位置することになる。実際にK湖も、人為的な栄養塩負荷が高い標津川の下流域に位置している (Fig. 6 参照)。従って、河跡湖は高い栄養塩濃度と植物プランクトン現存量、すなわち富栄養化の進んだ水域になることが多いと考えられる。例えば、石狩川河口部の河道直線化工事で形成された茨戸湖は、7～8月の湖水表層のクロロフィ

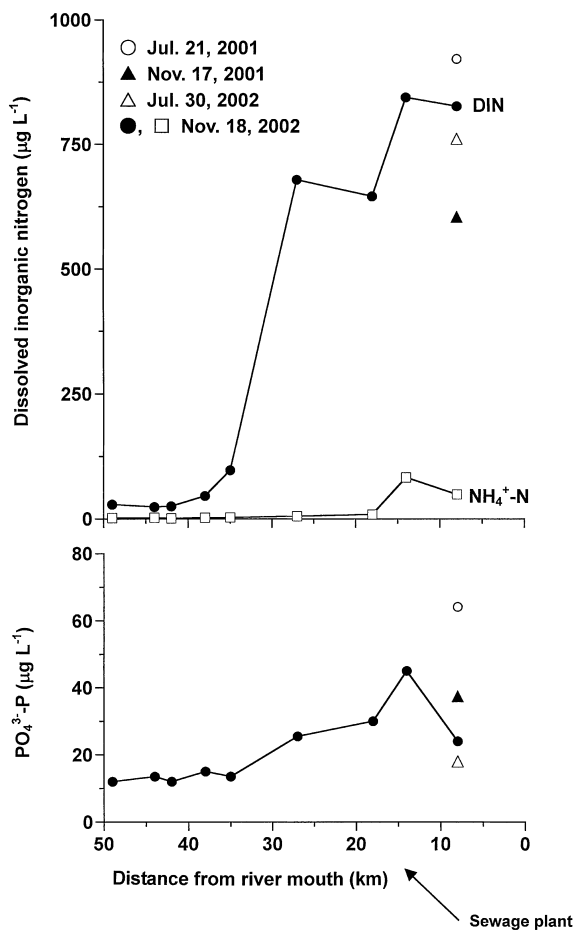


Fig. 6. Horizontal distributions of dissolved inorganic nitrogen, ammonium nitrogen and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ concentrations in the Shibetsu River watershed on 18 November 2002, and the concentrations at the sampling station of 8 km on 21 July and 17 November 2001, and on 30 July 2002.

ル a 量が $100\sim 350 \mu\text{g L}^{-1}$, 全リン濃度が $100\sim 300 \mu\text{g L}^{-1}$ に達し (Hino and Tada 1985; Takano and Hino 1994), 著しく富栄養化の進行した水域である。

湖沼の生物生産すなわち植物プランクトンの増殖は一般的にリンの供給に強く制限されている (Sakamoto 1966; Hecky and Kilham 1988). そこで、湖水中の全リン濃度とクロロフィル a 量から K 湖の富栄養化の現状を診断してみた。Fig. 7 は、夏期の K 湖、過栄養な河跡湖である茨戸湖 (Takano and Hino 1994), 貧栄養な十和田湖 (高村・三上 2001; 高村・片野 2001), 中栄養な琵琶湖北湖 (野崎, 2000), 富栄養な諏訪湖 (Sakamoto and Okino 2000) の有光層内もしくは表層の湖水中の全リン濃度とクロロフィル a 量の関係を示している。K 湖の値は、琵琶湖北湖と諏訪湖の間に位置し、中栄養と富栄養の中間の状態であると判断できる。K 湖は富栄養化が著しく進行している茨戸湖とは異なり、明確な流入水の存在は観察されていない。また本川の河床低下が進み、現在では K 湖の水面は本川より 5 m ほど高くなっており (中村 2003), 本川の水が流入することもない。このため、現在

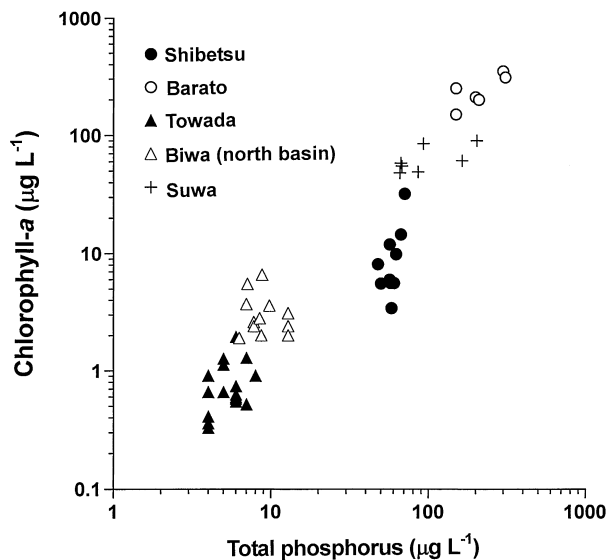


Fig. 7. Relationships between total phosphorus and chlorophyll- a concentrations in euphotic zone or surface layer in summer of an oxbow lake of the Shibetsu River (● this study), Lake Barato, hyper eutrophic (○ June-August 1991 and 1992, Takano and Hino 1994), Lake Towada, oligotrophic (▲ June-August 1998, Takamura and Mikami 2001; Takamura and Katano 2001), Lake Biwa, mesotrophic (△ June-August 1995, Nozaki, 2000) and Lake Suwa, eutrophic (+ June-August 1992, Sakamoto and Okino 2000).

のK湖は外部からの連続した栄養塩の負荷を受けにくい環境にあるといえる。それは、夏期の溶存態窒素濃度の大きな減少に表れている (Table 1, Fig. 3 参照)。特に2001年7月21日は、濃度が $11 \mu\text{g L}^{-1}$ まで低下し、ほぼ枯渇という良い状態であった。夏期に溶存態窒素が枯渇する現象は、琵琶湖北湖で良く知られており (例えば Tezuka 1984; Nozaki 1999)、これは水中の植物による取り込みに供給が追いつかないことが原因である。K湖では植物プランクトンの現存量に大きな変化は見られなかったが (Table 1 参照)、7月には底生藻および水草の繁茂が見られており、これらの取り込みが溶存態窒素の枯渇につながっていると考えられる。

K湖で得られた水中光の消散係数は、 $1 \sim 2 \text{m}^{-1}$ の範囲であり (Fig. 2 参照)、この値は、湖水中のクロロフィル a 量が $100 \mu\text{g L}^{-1}$ 以上にも達する植物プランクトンの大増殖である水の華 (アオコ) が発生した富栄養湖における最大値に匹敵する (宝月 1998; 沖野 2002 b)。しかしながら、K湖のクロロフィル a 量は平均 $10 \mu\text{g L}^{-1}$ 程度であり (Table 1, Fig. 7 参照)、水の華は形成されていない。つまり、K湖は、植物プランクトンの現存量に比べて水中光がより大きく減衰する水域である。同じような現象は、湿地 (湿原) 内に見られる植物の枯死体由来する溶存有機物に富んだ腐植栄養湖で観察されている (野崎ほか 1998 a)。K湖の湖水は、やや褐色を呈しており、腐植栄養的な性質を持つ湖である可能性が高い。標津川下流部は元来、低湿地であったことを考慮すれば (中村 2003)、K湖が腐植栄養的であっても不思議ではないだろう。むしろ本川と切り離されたために、かつての低湿地的な水環境が残存しているとも見なせる。

本研究を行う前には、K湖は標津川下流部に位置しているため、富栄養化の進行が著しく、特に湖底の溶存酸素濃度が低い貧酸素水域であると予測していた。例えば、茨戸湖では夏期に底層付近の溶存酸素の飽和度が20%程度までに低下する (Hino and Tada 1985; Hino 1992)。実際にはK湖の溶存酸素は夏期の湖底部でも過飽和であり、特に2001年7月21日には濃度が 25mg L^{-1} 、飽和度250%を記録した (Fig. 2 参照)。この溶存酸素濃度は、陸水域で報告された値としては最大値の1つであろう。また貧酸素水域の指標となるアンモニア態窒素濃度も低く (Table 1 参照)、K湖は溶存酸素が豊富な酸化的な水環境であると判断される。ただし、2001年7月21日のように大型糸状緑藻が繁茂した場合、夜間には呼吸によって溶存酸素濃度が一時的に低下する可能性はある (野崎ほか 1998 b)。

本研究の結果、K湖は中栄養と富栄養の中間的な状態で、腐植栄養的な性質を持った水環境であることがわかった。現在の本川とは全く異なった水環境であり、特に、標津川下流部の原風景である低湿地環境が残されている可能性が高い。今回実施された蛇行復元実験の結果、本川が著しく河床低下しているために、本川と再連結された河跡湖の部分は、その水環境が全て消失した。低湿地環境の重要性が叫ばれている今 (河野, 1998)、この事業を進めていくには、中村 (2003) が指摘しているように、止水的な水環境が創出可能な工法を工夫するなど慎重な検討が必要であることを提言したい。

謝 辞

本研究の遂行に当たり、現場調査に助力頂いた河口晶、中野大助、小宮山英重の各氏、試料処理の場として実験室を開放して下さいました標津サーモン科学館の諸氏に感謝する。また、北海道大学大学院農学研究科の中村太士教授からは研究結果の取りまとめに当たり重要な助言を頂いた。

摘 要

標津川下流域 (北海道標津町) に位置する浅い河跡湖 (最大水深2m) の水質環境 (水温、水中光の消散係数、溶存酸素、窒素、リン、クロロフィル a) を2001年7月21日、11月17日、2002年7月30日に調査した。水温は7月には地点間、水深間で $10 \sim 24^\circ\text{C}$ の違いが観察された。11月にはほぼ 5°C で均一であった。溶存酸素濃度は常に 10mg L^{-1} 以上を示し、最大値は、 25mg L^{-1} 、飽和度で250%に達し、2001年7月21日に湖底付近で観察された。高い溶存酸素濃度が得られた地点は、水深が $60 \sim 100 \text{cm}$ で、表層より水温が $5 \sim 10^\circ\text{C}$ 低く ($10 \sim 15^\circ\text{C}$)、大型糸状緑藻 *Spirogyra* sp. が繁茂していた。湖水中の溶存態窒素濃度は、 $4 \sim 250 \mu\text{g L}^{-1}$ の幅で変動し、7月に大きく低下した。リン酸態リン濃度は、 $7 \sim 14 \mu\text{g L}^{-1}$ の幅で変動したが、溶存態窒素に比べて変動の幅は小さかった。懸濁態のリン量は $33 \sim 35 \mu\text{g L}^{-1}$ 、クロロフィル a 量は $10 \sim 13 \mu\text{g L}^{-1}$ であり、おおよそ一定であった。夏期の湖水中の全リン濃度とクロロフィル a 量は、この河跡湖が中栄養と富栄養の中間の水質を持つことを示した。水中光の消散係数は、 $1 \sim 2 \text{m}^{-1}$ であり、富栄養湖の最大値に匹敵した。湖水中のクロロフィル a 量は富栄養湖ほど多くはないので、水中光を大きく減らしているのは、植物プ

ランクトン以外の懸濁物質や溶存有機物であると考えられる。河跡湖周辺の原風景が低湿地であったことを考えると、この河跡湖は湿地に多く見られる腐植栄養的な性質を持つ水環境である可能性が高い。これらの研究結果から、河跡湖の水質環境は、現在の標津川本川とは大きく異なっており、むしろ、かつての低湿地環境が残存している場であることが推定される。

引用文献

- Bendschneider, K. and Robinson, R. T. (1952) A new spectrophotometric method for determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research* **11**: 87-96.
- 浜端悦治・国松孝男・草加伸吾 (2002) 硝酸態窒素の流出に及ぼす森林伐採の影響。月刊海洋, **34**: 396-401.
- Hecky, R. E. and Kilham, P. (1988) Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments. *Limnology and Oceanography* **33**: 786-822.
- Hino, S. (1992) The physiological state of the phytoplankton community of three types of lakes as estimated by its adenylate energy charge. *Hydrobiologia* **230**: 179-192.
- Hino, S. and Tada, M. (1985) Seasonal changes of nutrients, chlorophyll-a, and organic matter concentrations in highly eutrophic lake Barato, Japan. *Japanese Journal of Limnology* **46**: 268-278.
- Horn, A. J. and Goldman, C. R. (1994) *Limnology*, 2nd Edition, 手塚泰彦 (訳), 京都大学出版会, 京都.
- 宝月欣二 (1998) 湖沼生物の生態学. 共立出版, 東京.
- Kallf, J. and Bentzen, E. (1984) A method for the analysis of total nitrogen in natural waters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **41**: 815-819.
- 河野昭一 (1998) 中池見湿地の生物多様性と保全の意義. 日本生態学会誌 **48**: 159-161.
- 小林純 (1960) 日本の河川の平均水質とその特徴に関する研究. 農学研究 **48**: 63-106.
- Likens, G. E. and Bormann, F. H. (1995) *Biogeochemistry of a Forested Ecosystem*. 2nd Edn. Springer, New York.
- Lorenzen, C. J. (1967) Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography* **12**: 343-346.
- Menzel, D. W. and Corwin, N. (1965) The measurement of total phosphorus in sea water based on the liberation of organically bound fractions by persulfate oxidation. *Limnology and Oceanography* **10**: 280-282.
- 森井ふじ・松村竹子・田中好 (1993) 琵琶湖流入河川の水質と水源地質との関連. 陸水学雑誌 **54**: 3-10.
- Murphy, J. and Riley, J. P. (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. *Anal. Chim. Acta* **27**: 31-36.
- 中村太士 (2003) 河川・湿地における自然復元の考え方と調査・計画論—釧路湿原および標津川における湿地, 氾濫原, 蛇行流路の復元を事例として—. *応用生態工学* **5**: 217-232.
- Nozaki, K. (1999) Algal community structure in a littoral zone of Lake Biwa. *Japanese Journal of Limnology* **60**: 139-157.
- 野崎健太郎 (2000) 琵琶湖北湖沿岸帯における湖水中の全リン濃度の季節変化. *陸水生物学報* **15**: 1-8.
- 野崎健太郎 (2004) 自然的かく乱・人為的インパクトに対する河川水質と基礎生産者の応答. 小倉紀雄・山本晃一 (編), 自然的かく乱・人為的インパクトと河川生態系, 技報堂 (印刷中).
- 野崎健太郎・辻彰洋・神松幸弘・石川俊之・山本敏哉 (1998a) 中池見湿地 (福井県敦賀市) における浮遊藻群落の季節遷移とその特徴. *陸水学雑誌* **59**: 329-339.
- 野崎健太郎・三橋弘宗・辻彰洋 (1998b) 琵琶湖北湖沿岸帯における糸状緑藻群落内の溶存酸素濃度の日変化. *陸水学雑誌* **59**: 207-213.
- 沖野外輝夫 (2002a) 河川の生態学. 共立出版, 東京.
- 沖野外輝夫 (2002b) 湖沼の生態学. 共立出版, 東京.
- Sakamoto, M. (1966) Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. *Archiv für Hydrobiologie* **62**: 1-28.
- Sakamoto, M. and Okino, T. (2000) Self-regulation of cyanobacterial blooms in a eutrophic lake. *Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* **27**: 1243-1249.
- Solorzano, L. (1969) Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochlorite method. *Limnology and Oceanography* **14**: 799-801.
- 橘治国・吉田邦伸・井上隆信 (1996) 都市近郊湖沼 (茨戸湖) における栄養塩の形態と藻類増殖. *水環境学会誌* **19**: 132-139.
- 高村典子・三上一 (2001) 十和田湖における水質測定データ (1998年~1999年). *国立環境研究所研究報告* **167**: 141-146.
- 高村典子・片野登 (2001) 十和田湖におけるサイズ別クロロフィル *a* 量 (1998年~1999年). *国立環境研究所報告* **167**: 150-152.
- Takano, K. and Hino, S. (1992) What caused the summer replacement of dominant planktonic algae in Lake Barato? *Japanese Journal of Limnology* **55**: 279-286.
- Tezuka, Y. (1984) Seasonal variations of dominant phytoplankton, chlorophyll *a* and nutrient levels in the pelagic regions of Lake Biwa. *Japanese Journal of Limnology* **45**: 26-37.
- 山田佳裕・中西正己 (1999) 地域開発・都市化と水・物質循環の変化. 岩波講座 地球環境学 4. 水・物質循環系の変化 (和田英太郎・安成哲三 編), pp. 229-265, 岩波書店, 東京.
- Wetzel, R. J. (2001) *Limnology*. 3rd Edition, Academic Press, New York.