

砂丘湖・上佐潟（新潟市赤塚）における水質の季節変化について
— 新潟県湖沼の陸水生態学的研究 XIII —

Seasonal Changes in Water Quality of a Sand Dune Lake,
Lake Kamisagata, Niigata, Japan
— Limnological Studies of Lakes in Niigata Prefecture XIII —

福原 晴夫・根本富美子・竹内 蓉子・高井 直子
村井 麻子・斉藤 梓・新野 恵美
(新潟大学教育学部生物学教室陸水生物学研究室)

Haruo FUKUHARA, Fumiko NEMOTO, Yōko TAKEUCHI, Naoko TAKAI,
Asako MURAI, Azusa SAITO and Emi NIINO
(Laboratory of Hydrobiology, Faculty of Education, Niigata University)

Abstract

Limnological studies of Lake Kamisagata (N37° 48' 33'', E138° 51' 43'', altitude: 4.5 m, area: 0.18 km², length: 830 m, width: 260 m,) were conducted seasonally at two stations from April 2002 to October 2004 with special reference to seasonal changes in nutrient dynamics including some inorganic ions and macrophyte standing crops. This lake is belonging to one of sand dune lakes, which are rare from the viewpoint of lake origin in Japan. This lake is fed by spring water and rainwater directly poured to the lake. Spring water containing high concentration of nitrate, probably originated from fertilizers used around the lake, flows into the lake through a wide reed belt of 20-120 m width. So high concentrations of nitrate ranging from 0.5 to 5 mg N/L are detected in lake water, especially in winter. Inorganic phosphate concentration showed high value in June, after lowering of water table from about 80 cm to 40 cm. The standing crops of *Trapa* spp. and *Nelumbo nucifera*, dominating in macrophytes, reached in maximum during the end of August and the beginning of September, and declined toward fall with increasing of nitrate concentration. Some inorganic ions such as Na⁺, K⁺, Mg²⁺ indicated a stable seasonal changes during a year. Concentration of chlorophyll a reached to 400 μg/L (Station LB) in June 2002. Water quality of a sand dune lake might be influenced largely by the agricultural activities around the lake.

Key words: 砂丘湖, 佐潟, 栄養塩, 季節変化, 湧水, 硝酸態窒素, クロロフィル a

Sand dune lakes, L.Sagata, nutrient, seasonal change, spring water, nitrate, chlorophyll-a

1 はじめに

砂丘湖はHutchinson (1957) の分類によれば湖沼Type62に属し, 「Lakes between well-oriented

sand dunes」, すなわち「砂丘列の間に出来る湖」と定義されている。Horie (1962) によれば日本の砂丘湖の主なもの新潟県と青森県に分布するときは、それぞれ9湖沼、10湖沼が挙げられている。Horieは20万分の1の地形図から読みとっていることから、小規模な湖沼は見落とされている。福原 (2008) は最近、新潟県と青森県の砂丘湖に関する

総合的な調査研究を報告書として著し、そのいくつかは公刊されつつある (Fukuhara et al., 2005; 福原等, 2006a, 2006b, 2008; 小笠原・鳥居, 2007; Nemoto et al., 2009; 大高等, 2008; 関等, 2008). 福原等 (2008) は新潟県において26湖沼, 大高 (2008) は青森県から39湖沼を報告し, これまで両県合わせて65湖沼の概略が明らかにされている. いずれにしても, その数の少なさや局地的に制限されていること, 成因が特殊であることから陸水学的, 地形学的に貴重な自然と言えよう.

福原等 (2008) は, これまでの砂丘湖の研究から, Hutchinson (1957) の定義を拡張し, 「砂丘からの湧水により涵養される砂丘列間または砂丘列の背後に形成された水体」と再定義している. そして, その特徴として, ①水深が浅いこと, ②豊富な水生植物を擁する湖沼が多いこと, ③公園やため池として利用されている湖沼が多いため, コンクリート護岸され, 自然湖岸の残っているものは少ないこと, ④規模が小さく周辺の影響を受けるため, 富栄養化している湖沼が多いことの4点をあげ, 特に周辺農業の影響による窒素汚染の可能性を指摘している. しかし, これまで新潟県において周年の調査による陸水学的状況が明らかにされた湖沼は少ない. 本調査地の下流部に位置する佐潟の一部である本佐潟についての福原等 (1990), 大高等 (1991), Fukuhara et al. (2007) の報告, 佐潟の北に位置する御手洗潟についての福原等 (2006a, 2006b) の報告, 潟町砂丘湖沼群の長峰池についての福原等 (1989) の報告があるのみである. これらの報告では特に佐潟, 御手洗潟の湖水に対する周辺農業の影響が指摘されている.

本調査地である上佐潟の周辺湧水においても, 高



図1 上佐潟の航空写真 (2004年8月21日) (撮影: 株式会社グリーンシグマ).

Fig. 1 Aerial view of L. Kamisagata (21 August 2007). (By KK Green Shiguma).

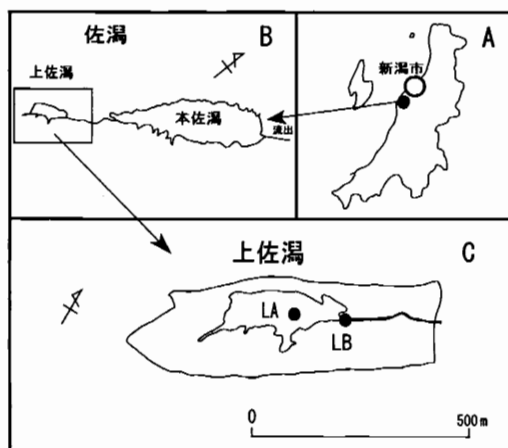


図2 上佐潟の位置 (A, B) と調査地点 (C).

Fig. 2 Site of L. Kamisagata (A, B) and survey points (C).

濃度の硝酸態窒素が検出されている (Fukuhara et al., 2003; Fukuhara et al., 2007; Nemoto et al., 2009). そこで本研究は, これらの湧水水質が上佐潟の湖水にどのように影響し, 水質が変化しているかを周年の調査により明らかにすることを目的として行われた.

2 調査地と調査地点

調査地とした上佐潟 (N37° 48' 33'', E138° 51' 43'', 地元では通称上潟 (うわかた) と呼ばれている) は本佐潟 (通称下潟 (したかた)) とともに佐潟を構成し, 後者の上流に位置する (図1, 図2B). 佐潟は新潟市の西方20 km, 海岸から2 kmに位置し, 南北の砂丘列に挟まれた流入河川のない典型的な砂丘湖である (図2 A, B). 本佐潟に縦列する砂丘列は南側が新砂丘I-3, 北側が新潟新砂丘II-1であるが, 上佐潟は南側が新潟新砂丘I-3, 北側が新潟新砂丘III-2となっており (新潟古砂丘グループ, 1979) 両湖の形成年代は異なっていると思われる. 上佐潟周辺の新潟新砂丘I-3の形成年代は約4千から5千年以前と推定されており, 新潟新砂丘III-2の形成年代が室町以降と推定されているため (新潟古砂丘グループ, 1979), 上佐潟の開塞は比較的最近の出来事かもしれない. 2つの湖沼の形成年代は異なり, 上佐潟のほうが新しいと思われるが, いずれにしても, 堆積物コアの年代分析等によら

表1 上佐潟の湖盆形態。

平成8年国土基本図(2500:1)から算出した。

Table 1 Morphometric data of L. Kamisagata.

長径 (m)	830
短径 (m)	260
湖面積(開水面) (km ²)	0.029
湖面積(湿地) (km ²)	0.152
標高 (m)	4.5

なければ詳細は不明である。

上佐潟の周辺では春作としてタバコ、メロン・スイカ、秋作としてダイコンが栽培されている。集水域(1.792 km²)の72%が耕作地として利用されている中で、作付け面積はタバコが約20%、スイカ・メロンが約30%、ダイコンが約30%である(福原等, 未発表)。

上佐潟の諸元を表1に示す。公園区域内で中道までを上佐潟の範囲として求めた。湖面の周囲には約30~260mのヨシを中心とした0.152 km²の抽水植物帯(この中には一部林や草地、放棄畑地を含む)が広がっており、水位の上昇する春早くには浸水することもあるが、多くの時期は、ヨシ帯の中や周辺部にある湧水により湿地状態となっている。湧水の噴出口の明確な部分から流れ出た水は、ヨシ帯の中を通過して湖面に浅い流れとなって流入する。ヨシ帯の中には貴重植物としてヤナギトラノオ(新潟県絶滅危惧I類)、サザクサ(新潟県絶滅危惧II類)、タカアザミ(新潟県準絶滅危惧)が分布している。

湖面は0.029 km²で抽水植物帯の約20%程度である。湖面には例年ハスとヒシが、年によってはオニバス、ミズアオイ(環境省準絶滅危惧種、新潟県絶滅危惧II類)(付図1)、オモダカが生育する。オニバスは環境省・新潟県絶滅危惧II類に指定されており、日本の北限の実質的な自生地となっている。

周辺の湧水と雨水を集めた湖水は約5m幅の小流となって通称中道を経由して本佐潟に流れ込む。中道の橋下で長年角おとしに鉄板をあてた水位調整が行われていたが、漏水もあり2005年度に改修され、水位の調節がある程度なされるようになった。今回の調査は改修以前に行われた。

佐潟には多くの水禽類が10月から3月まで飛来し、1996年にラムサール条約登録湿地となった。上佐潟にもコハクチョウ、コガモ等が飛来してきている。

これまで上佐潟湖水の水質は知られていないが、周囲の井戸の水質(新潟県, 1980)、ヨシ帯を通過す

る湧水中の硝酸態窒素濃度の変化(Nemoto et al., 2009)と植物の窒素吸収における寄与率の推定(Fukuhara et al., 2007)、上佐潟北側の1地点の湧水水質の季節変化(Fukuhara et al. 2003)が報告されている。

また、水生植物の植被面積の年変化が福原・牛島(1998)、新潟市(2004)により測定されている。

調査地点LA, LB(図2C)を設置した。LAは湖内であるが夏季には水生植物が繁茂し、LBは湖水の出口である。

3 調査方法

1) 調査期間

2002年4月から2004年12月まで、一時期の中断を除き、原則2週間に1回(冬季は月1回)の調査を行った。2003年4月、2003年11月~2004年3月の間は調査を行わなかった。

2) 野外調査

LAにおいては水位と水質、水生植物現存量、LBにおいては水質の測定を行った。

LA, LBの表面水について、水温(棒状温度計)、EC(YOKOGAWA SC82)を測定した。水質測定用に1Lポリエチレン瓶、pH測定用に50mlポリ瓶に採水した。溶存酸素測定用にウインクラー瓶に2本採水した。LA付近の3地点(2002年, 2003年)または5地点(2004年)において、50cm×50cmのコドラート中の水生植物の地上部を刈り採り、持ち帰った。

3) 試水の処理と室内における測定

室内においてpH(METTLER MP220)、溶存酸素濃度(ウインクラー法)を測定した。

試水をφ47mmの濾紙(GF/C)でろ過し、水質分析に供した。ろ紙はクロロフィルa濃度の分析(UNESCO法)に用いた。

ろ過水についてNO₃⁻-N濃度・SO₄²⁻濃度・Cl濃度・K⁺濃度・Na⁺濃度・Ca²⁺濃度・Mg²⁺濃度(イオンクロマトグラフ法; SHIMAZU HIC-6A)、NO₂⁻-N濃度(BR method; Strickland and Parsons, 1972)、NH₄⁺-N濃度(Indophenol method; Sagi, 1966)、PO₄³⁻-P濃度(Mix reagent method; Murphy and Riley, 1962)を測定した。NO₃⁻-N濃度が0.02 mg/L以下の試水についてはMullin Riley法(浮田等, 1979)により再分析を行った。2002年

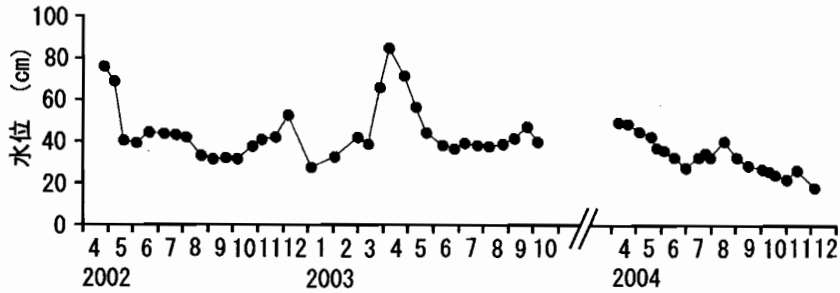


図3 上佐潟LAにおける水位の変化.

Fig. 3 Changes in water level at station LA in L. Kamisagata.

はろ過前の試水についてTotal N (大槻, 1981), Total P (大槻, 1982) の測定を行った.

水生植物の現存量は, 汚れを洗い落とした後, 種類別に分けて80℃で48時間乾燥後, 乾燥重量を直示天秤 (島津 ED-2000) で測定して求めた.

4 結果

1) 水位

上佐潟の水位 (図3) は流出水路の中ごろで一部人為的に操作されてきている. 傾向としては3月から上昇し, 4月に80 cm程度でピークとなるが. その後5月中に低下し, 6月から翌年の2月まで40 cm前後に保たれる. 2004年には20~40 cmで比較的水位は低かった.

2) 水質

水温・pH・溶存酸素濃度

上佐潟における水温は調査期間においては, 3.9~33.2℃ (LB) の間で変動した (図4). 調査地点における違いはほとんどみられないが, 夏季にLBにおいて低い傾向を示す場合がみられた. これは周辺からの湧水の影響を受けたことが推定される.

pHの変化を図5 Aに示す. 上佐潟においては5月, 6月のpHが最も高く, 9-10となる. 3月に8程度に上昇する年もある. 8月から翌年の2月までは7前後で推移する. 両地点における差異はみられなかった.

溶存酸素濃度 (図5 B) のピークは5~6月に現われ, 飽和度は300%にも達する. その後8月に向けて濃度は急激に低下し10~50%となる. 10月に再び10 mg/L程度に上昇し, 2月まで大きな変化はない. 両地点における差異はみられなかった.

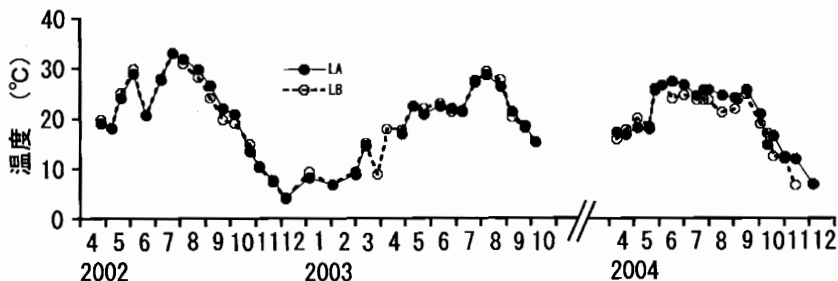


図4 上佐潟LA, LBにおける水温の季節変化.

Fig. 4 Changes in water temperature at station LA and LB in L. Kamisagata.

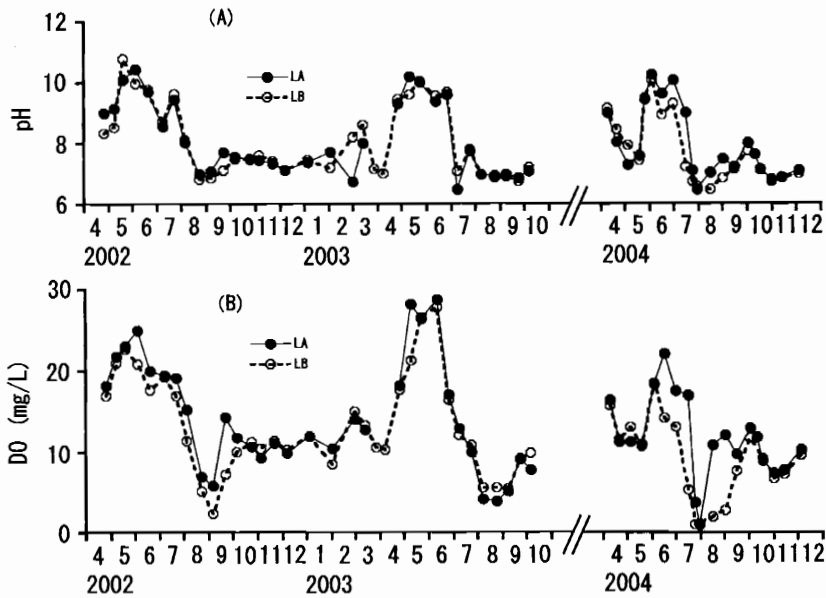


図5 上佐潟LA, LBにおけるpH (A), 溶存酸素濃度 (DO) (B) の季節変化.
 Fig. 5 Changes in water temperature (A) and dissolved oxygen (B) at station LA and LB in L. Kamisagata.

無機態リン濃度

PO₄³⁻-P濃度は6月に高くなり、その値は0.15～0.25 mg/Lであった(図6)。それ以外の月ではほとんどが0.05 mg/L以下であった。2002年には特にLBにおいてLAよりも高い値を示したが、他の月においては両地点での差はなかった。

無機態窒素濃度

NH₄⁺-N濃度(図7 A)は2004年の傾向は異なるが、8月下旬から9月に小さなピークを示し、その後10～12月に高く(最大値LBで10月に0.937 mg/L)なり、2～7月は約0.1 mg/L以下であった。2004年では9月のピークは認められなかった。LBで若干高い傾向を示す月が多かった。

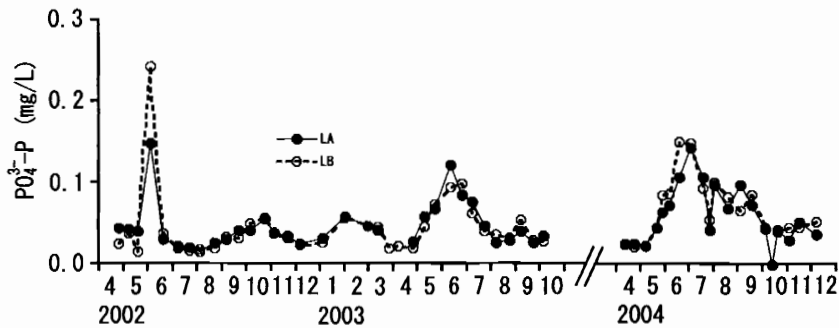


図6 上佐潟LA, LBにおけるPO₄³⁻-P濃度の季節変化.
 Fig. 6 Changes in PO₄³⁻-P concentration at station LA and LB in L. Kamisagata.

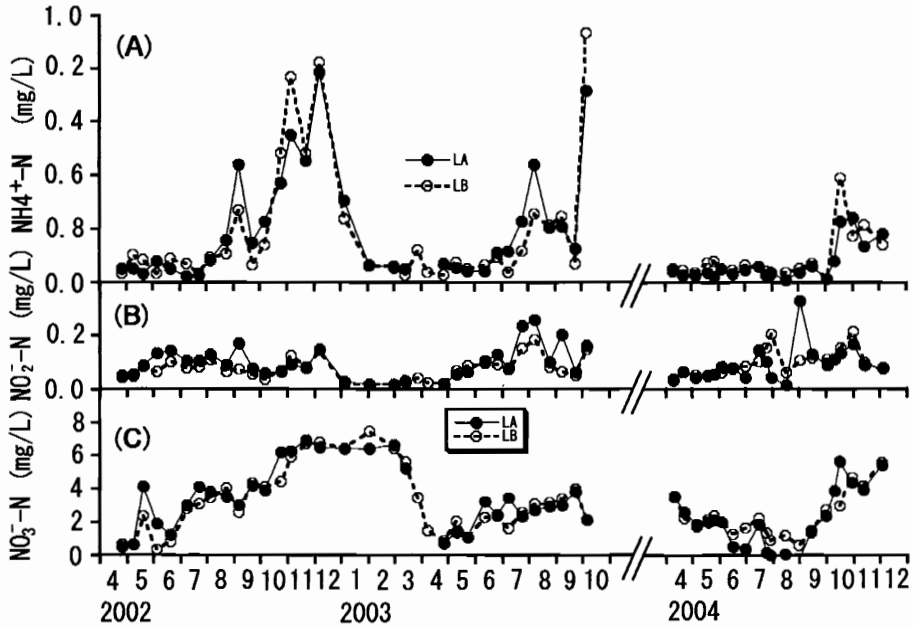


図7 上佐潟LA, LBにおける NH_4^+ -N濃度 (A), NO_2^- -N濃度 (B), NO_3^- -N濃度 (C)の季節変化。

Fig. 7 Changes in concentrations of NH_4^+ -N (A), NO_2^- -N (B) and NO_3^- -N (C) at station LA and LB in L. Kamisagata.

NO_2^- -N濃度には両地点で差がなく、通状で0.1 mg/L以下であったが、2003年の7～9月、2004年の9月のように0.2 mg/Lを超える濃度を示す時もあった(図7B)。

上佐潟の無機態窒素の中で最も特徴的なのは、 NO_3^- -Nであった(図7C)。濃度が極めて高く、季節変化には年度により若干の変化がみられた。2002年から2003年では4月から11月にかけて上昇の傾向を示し、11月から翌2月までは、約5 mg/Lであった。3月から4月には低下し、2002年、2003年

では濃度は0.48～1.51 mg/Lとなった。LA, LBで傾向や濃度の違いはなかった。2004年は両年と異なり、冬季からの濃度の低下は6月下旬まで続き夏季の間はLAでは低く、LBでは高い傾向を示した。9月以降に濃度の上昇がみられた。

その他の無機イオン濃度

その他の無機イオン濃度の季節変化を図8に、またLAにおける年間の最大、最小、平均値を表2に示す。両地点における差異はみられなかった。Cl

表2 上佐潟LAにおける各種イオン濃度の年平均値、最小値、最大値。2002年4月から2003年3月
Table 2 Average, minimum and maximum values of some ion concentrations from April 2002 to March 2003 at station LA in L. Kamisagata.

	(mg/L)											
	Cl	NO_2^- -N	NO_3^- -N	SO_4^{2-}	PO_4^{3-} -P	Na^+	K^+	NH_4^+ -N	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Total-P	Total-N
平均	22.1	0.085	4.259	50.7	0.041	17.3	5.2	0.201	13.2	19.8	0.109	5.179
最小	17.4	0.018	0.489	35.9	0.014	13.2	3.6	0.023	9.6	14.7	0.036	2.045
最大	25.5	0.173	6.955	61.3	0.148	20.6	7.0	0.789	15.1	24.4	0.241	7.682

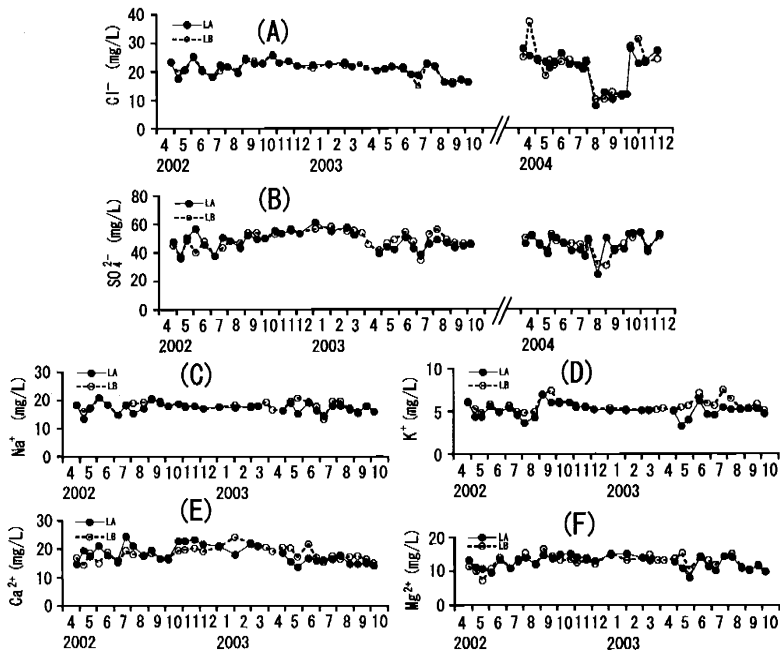


図8 上佐潟LA, LBにおけるCl⁻ (A), SO₄²⁻ (B), Na⁺ (C), K⁺ (D), Ca²⁺ (E), Mg²⁺ (F) 濃度の季節変化。
 Fig. 8 Changes in Cl⁻ (A), SO₄²⁻ (B), Na⁺ (C), K⁺ (D), Ca²⁺ (E), Mg²⁺ (F) concentrations at station LA and LB in L. Kamisagata.

濃度は平均21.2 mg/Lで2002～2003年には大きな変化はなかったが、2004年には8、9、10月に低下了した（図8 A）。SO₄²⁻ 濃度の範囲は25～60 mg/Lで、夏季7月または8月に低下する傾向を示した（図8

B）。Na⁺, K⁺濃度は大きな変化を示さず、年間の平均値は、17.3 mg/L, 5.2 mg/Lであった（図8 C, D, 表2）。Ca²⁺濃度は4月から9月は他の月に比較して若干低下の傾向を示した（図8 E）。Mg²⁺濃

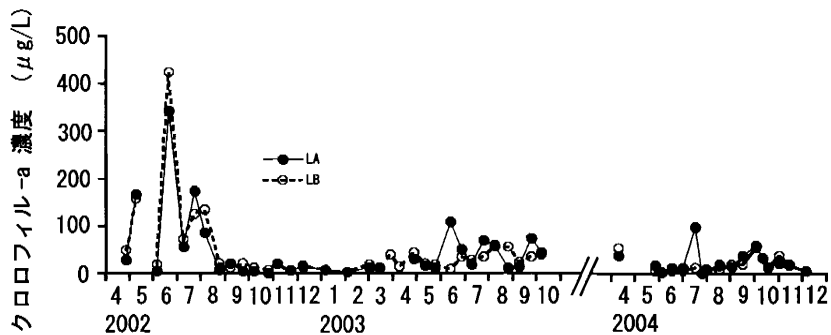


図9 上佐潟LA, LBにおけるクロロフィルa濃度の季節変化。
 Fig. 9 Changes in chlorophyll-a concentrations at station LA and LB in L. Kamisagata.

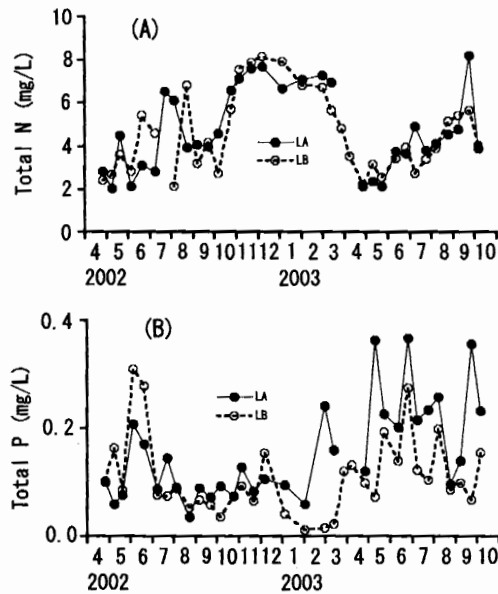


図10 上佐潟LA, LBにおける全窒素 (TN) (A), 全リン (TP) (B) の季節変化。

Fig.10 Changes in Total N (A) and Total P (B) concentrations at station LA and LB in L. Kamisagata.

度も季節的な変化を示さず, 約 5 mg/L前後であった (図8 F)。

3) クロロフィルa濃度

クロロフィルa濃度は6月, 7月に高い傾向を示した (図9)。特に2002年には6月に極めて高い約 400 $\mu\text{g/L}$ (地点LB) を示した。50 $\mu\text{g/L}$ 程度のピークが秋に出現するす場合もあった。10月から翌2月の間では20 $\mu\text{g/L}$ 以下の低い値であった。

4) 全窒素及び全リン濃度

2002年4月から2003年10月までの全窒素 (TN) および全リン (TP) 濃度の季節変化を図10に示す。全窒素 (図10A) は高く, 2~8 mg/Lであった。硝酸態窒素が全窒素の大部分を占めるため, 季節変化の様相は NO_3^- -N濃度の季節変化 (図7 C) と類似した。

全リン濃度 (図10B) は6月に高く, 2002年LBで0.310 mg/Lに達した。比較的月による変動があり, 2003年は顕著であった。2002年にはLBの高い6月

を除いて, LAとLBでの差は明確ではなかったが, 2003年にはLBのほうが低い傾向を示した。

5) 水生植物現存量

上佐潟の湖内に生育する大型水生植物の優占種はヒシ, ハスでその生育面積は年々変化する (新潟市, 2008)。その他の植物にも年による大きな盛衰があるがオニバス, ミズアオイ, エビモ, オモダカの生育が認められる。オニバスは2002年, 2003年には比較的生育の良い年であったが, 2004年の生育株数は少なかった。ミズアオイは2004年に15株程度が認められた。2004年にはアオミドロの生育が7月上旬まで活発であった。

図11に3年間の現存量の変化を示す。ヒシ, ハスは5月から浮葉を展開し始め, 8月下旬から9月上旬に現存量は最大となった。10月下旬にはほぼ枯死

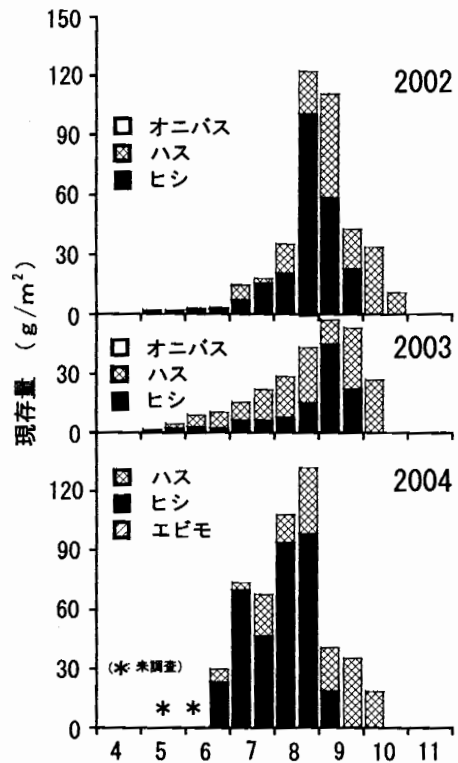


図11 上佐潟LAにおける大型水生植物現存量の季節変化。

Fig.11 Seasonal changes in standing crops of macrophytes at station LA in L. Kamisagata.

した。最大現存量は約120 g/m²に達しているが、2003年の現存量は低かった。現存量増加の期間も年度により異なり、2004年は同年よりも早かった。

5 考察

上佐潟には流入する河川がなく、従って湖水水質は周辺湧水の水質によって形成される。周辺湧水の水質はNemoto et al. (2009)によれば、硝酸態窒素の濃度が高く、5地点9回の観測では湧水噴出部において6.52~37.13 mg/L、平均17.80 mg/L（回帰による推定値）であった。この高い濃度のNO₃⁻-Nは、直接流入するのではなく、大部分の場所でヨシ帯内を通過する過程でヨシによる吸収や脱窒過程を通じて消費され、春で69.7%、夏で47.2%、秋に48.1%が除去されて湖内に流入する（Nemoto et al., 2009）。

ヨシ帯における脱窒作用による窒素の除去は約15~23%程度と見積もられている（Fukuhara et al., 2007）。ヨシ帯内で脱窒作用が進行するなら、同様な条件で硫酸還元作用が進行し、SO₄²⁻の消費が起こると推定されるが、この点は明らかにされていない。

湧水中のNO₃⁻-Nの起源は窒素安定同位体比の測定から、化学肥料や有機肥料からと推定されている（福原等 未発表）。上佐潟集水域における畑作ではスイカ・メロン、ダイコンが栽培されており、それぞれ春季、秋季に基肥、追肥が行われている。野中等（1997）によれば、新潟県の砂丘耕地では土地利用率が約170%に達し、年間の窒素施肥量が400 kg/haになるといふ。また野中・加村（1995）は、化学肥料栽培であるダイコンでは施肥窒素量の21%が地下水へ溶脱するとしている。従って、施肥時期や肥料の種類を反映して、NO₃⁻-Nを中心とした流入するイオン類の濃度や種類が決定され、湖水の水質が形成される。

しかし、肥料成分の一部を成すCl⁻、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺濃度には必ずしも明確な季節変化が現われなかった。この点は、溶脱した肥料成分の土壌粒子との吸着や降雨による流失の過程の違いがあり、湖水水質の形成に至るまでに比較的濃度が平均化することにより、生じたのかも知れない。いくつかの代表的な地点での湧水水質の季節変化の調査が必要である。

一部のイオンの安定的な季節変化に対して、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、PO₄³⁻-P濃度は明確

な季節変化を示した。従ってこれらのイオン成分は湖内に流入後に、または流入の過程で生物学的な変化や化学的な変化を受けていると言える。

9月以降12月にかけてNH₄⁺-N濃度の増加が観測されている（図7A）。この時期は優占的な大型水生植物のハスとヒシの枯死が開始される時期であり、従って有機体窒素の分解によるNH₄⁺-Nの放出が行われていると推定される。クロロフィルa濃度の変化から、特にこの時期に植物プランクトンが活発な増殖を示していないにもかかわらず、全リン濃度が上昇することは、枯死分解を支持する。

NO₃⁻-N濃度は冬季から春季、特に3月から4月にかけて著しく低下している。この原因の一つとして、春早くの植物プランクトンの増殖が考えられる。しかし、2002年の低下には対応があるとみられるが、2003年ではこの時期に特にクロロフィルa濃度の顕著な増加は認められない。また、2004年の4、5月の著しい低下の季節にも植物プランクトンの増殖は観測されていない。他の要因として、脱窒作用による濃度低下が考えられる。しかし、特に溶存酸素濃度の著しい低下は認められていない。Nemoto et al. (2009)は上佐潟においてNO₃⁻-Nのヨシによる吸収は成長の活発な6月に最大になるとしている。4、5月にはヨシの生長がほとんど開始されていないことからヨシの吸収の影響とは考えられない。従ってこの春の早い時期のNO₃⁻-N濃度の低下の原因は、流入窒素量の減少によるものか、湖内における変化の結果なのか現時点では不明である。

NO₃⁻-N濃度の秋季における上昇の一因として、ハスやヒシの生長が8月から9月上旬にピークとなることから、これらの植物の成長の衰退による吸収量の低下が考えられる。同様な現象は本佐潟においても観測されている（福原等、1990；Fukuhara et al., 2003）

PO₄³⁻-P濃度には3年間の調査で共通して、6月をピークとする濃度の上昇がみられた。同時にこの時期には2004年を除いてクロロフィルa濃度の増加が認められた。また、溶存酸素濃度、pHの著しい上昇も観測された。これらの現象を総合して考えると、PO₄³⁻-P濃度の上昇は植物プランクトンの増殖の原因となっても分解などの結果とはなり難い。また、極めて高い溶存酸素濃度は底泥からのPO₄³⁻-Pの溶出の抑制の原因となっても、溶出量の増加の原因とはなり難い。4~6月にかけての上佐潟における大きな変化は水位の低下である。ヨシ帯に流入していた湖水が湖内に湧水とともに再度流入する過程

で、同時に高い濃度の $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ が流入してきたことが一因として考えられるが、そのメカニズムは不明である。

砂丘湖の水質の形成には周辺の農業などの影響を受けた湧水の水質、周辺のヨシなどの抽水植物の影響、湖内に流入後の生物学的過程等による変化など一連の過程が関係する。特に湧水水質の季節変化や湧水流入量の推定は砂丘湖の陸水生態系を明らかにする上で重要な課題と考えられる。

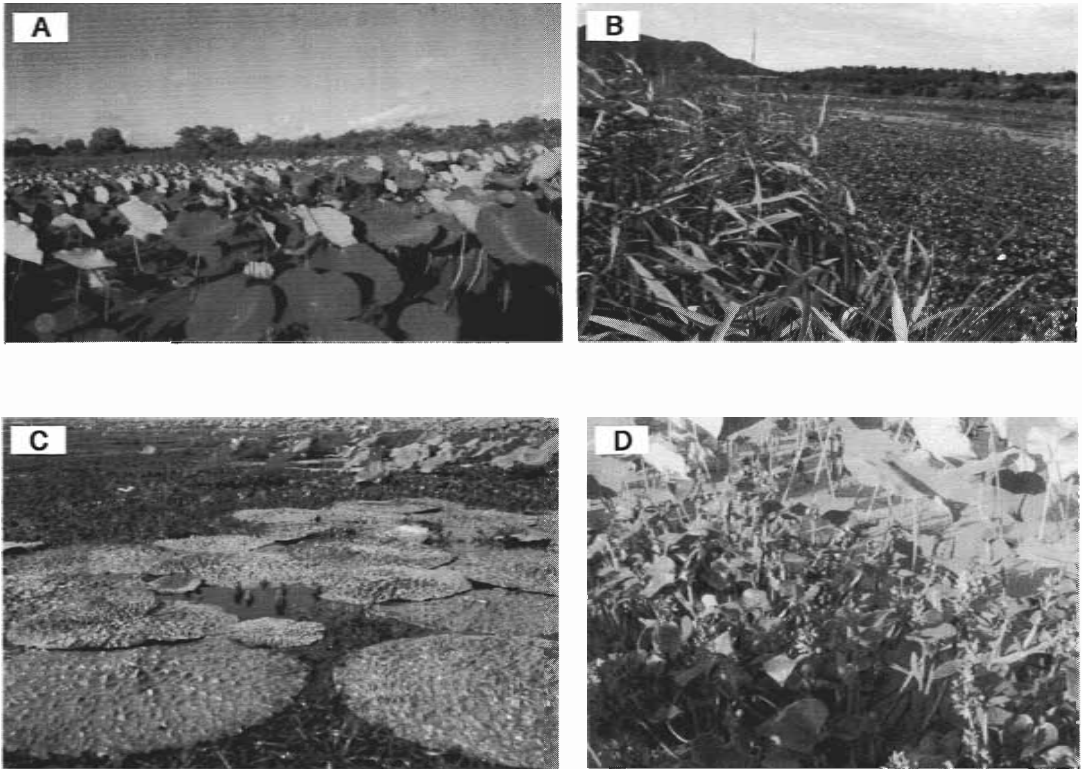
6 謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの助言をいただいた森田龍義博士（新潟大学教育学部）、故上野秀樹博士（新潟大学教育人間科学部）、佐藤雄二技官（新潟大学教育学部）に感謝いたします。イオンクロマトグラフの使用にあたって助言をいただいた鈴木将之氏（当時新潟大学大学院自然科学研究科）、調査時にさまざまな助言と便宜をいただいた佐藤安男氏（新潟市水鳥湿地センター）、佐潟の航空写真を快くお貸しいただいた株式会社グリーンソングマに心から感謝いたします。調査を快く許可していただいた新潟市環境対策課、潟主であり多くの情報をいただいた高橋忠男氏に感謝いたします。本研究の一部は日本学術振興会科学研究費基盤研究（C）20510214の助成を受けた。

7 引用文献

- 福原晴夫 | 編 | (2008) : 急務となっている砂丘湖の生物多様性保全に関する研究。科学研究費補助金研究成果報告書。
- 福原晴夫・牛島倫美 (1998) : 新潟県湖沼の陸水生態学的研究 X. 空中写真による佐潟（新潟市赤塚）の抽水植物帯および浮葉植物群落面積の年変化。新潟大学教育人間科学部紀要（自然科学）, 1(1): 1-15.
- Fukuhara, H., A. Kawakami and T. Shimogaito (2003): Characteristics of nutrient dynamics in Lake Sagata (Niigata Prefecture) Japan, a shallow sand-dammed lake supplied by spring water-with special reference to nitrates. *Hydrobiologia*, 506(1): 93-99.
- 福原晴夫・山遠順子・中村秀治 (1989) : 新潟県湖沼の陸水生態学的研究 V. 長峰池（中頸城郡吉川町）の陸水生態学的研究。新潟大学教育学部紀要（自然科学）, 31: 1-14.
- Fukuhara, H., F. Nemoto, Y. Takeuchi and N. Toda (2007) : Nitrate dynamics in a reed belt of a shallow sand dune lake in Japan: Analysis of nitrate retention using stable nitrogen isotope ratios. *Hydrobiologia*, 584: 49-58.
- 福原晴夫・大高明史・豊田尚道・中村俊枝・東出多佳子 (1990) : 新潟県湖沼の陸水生態学的研究 VI. 佐潟（新潟市赤塚）の陸水学的研究—特に栄養塩と水生植物の季節変化を中心に。新潟大学教育学部紀要（自然科学）, 32: 1-24.
- 福原晴夫・佐藤千春・丸山剛生・山岸弘子・高橋裕子 (2006 a) : 新潟県湖沼の陸水生態学的研究 XI. 砂丘湖・御手洗潟の（新潟市赤塚）の陸水生態学的研究—栄養塩の変動について—。新潟大学教育人間科学部紀要（自然科学）, 8(2): 35-50.
- 福原晴夫・佐藤千春・丸山剛生・山岸弘子・高橋裕子 (2006 b) : 新潟県湖沼の陸水生態学的研究 XII. 砂丘湖・御手洗潟の（新潟市赤塚）の陸水生態学的研究—特に水質・底質の水平分布について。新潟大学教育人間科学部紀要（自然科学）, 9(1): 13-22.
- 福原晴夫・木村直哉・根本富美子・戸田任重・野原精一・大高明史 (2008) : 新潟県における砂丘湖の現状。新潟大学教育学部研究紀要（自然科学）, 1(1): 13-29.
- Horie, S. (1962): Morphometric features and the classification of all the lakes in Japan. *Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto (B)*, 29: 191-262.
- Hutchinson, G. E. (1957): *A Treatise on Limnology*, vol 1. John Wiley & Sons, New York.
- Murphy, J. and J. P. Riley (1962): A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.*, 27: 31-36.
- Nemoto F., Y. Takeuchi, A. Saito, E. Niino, C. Sato, T. Maruyama and H. Fukuhara (2009): Decrease in nitrate concentrations in spring water through the reed zone around a sand dune lake. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, 30(7): 1141-1147.
- 新潟県 (1980) : 昭和55年度佐潟砂丘地地下水調査報告書（資料編）。新潟県生活環境部自然保護課。

- 新潟古砂丘グループ (1979) : 砂丘と平野. URBAN KUBOTA, 17 : 12-15.
- 新潟市 (2008) : 佐潟周辺植生モニタリング調査業務報告書. 新潟市公園水辺課. 新潟市.
- 野中昌法・加村崇雄 (1995) : ラインメータによる砂丘地の施肥窒素の溶脱と窒素収支. 日本土壤肥科学雑誌, 66 : 372-380.
- 野中昌法・阿部良悦・田辺 博 (1997) : 砂丘畑地の施肥窒素に起因する地下水の硝酸態窒素濃度の上昇 - 新潟県越前浜地域の実例 -. 日砂丘誌, 44 (1) : 23-29.
- 小笠原嵩輝・鳥居高明 (2007) : 青森県における水生半翅類ヒメマルミズムシ (マルミズムシ科) とミゾナンミズムシ (ミズムシ科) の初記録. *Celastrina*, 42 : 45-48.
- 大高明史 (2008) : 青森県の砂丘湖調査の概要と文献集. 福原晴夫「編」『急務となっている砂丘湖の生物多様性保全に関する研究』, 科学研究費補助金研究成果報告書, 25-34.
- 大高明史・富田尚道・福原晴夫 (1991) : 新潟県・佐潟における底生動物現存量の季節変化と水平分布について. 新潟県湖沼の陸水生態学的研究Ⅶ. 弘前大学教育学部紀要, 65 : 17-36.
- 大高明史・小笠原嵩輝・木村直哉・小林 貞・谷田 三・上西 実・安部 弘・富川 光・櫛田俊明 (2008) : 青森県・屏風山湖沼群の底生無脊椎動物相. *Celastrina*, 43 : 78-198.
- 大槻 昇 (1981) : アルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解を用いる環境水中の全窒素測定法における硝酸イオンの紫外吸光光度定量法の応用. 分析化学, 301 : 68-688.
- 大槻 昇 (1982) : 水質調査 : 測定法. 日本水質汚濁研究協会「編」, 『湖沼環境調査指針』, 121-145. 公害対策技術同友会.
- Sagi, T. (1966) : Determination of ammonia in sea water by the Indophenol method and its application to the costal and off-shore waters. *Oceanogr. Mag.*, 18 : 43-51.
- 関久美子・大高明史・山中 晋 (2008) : 青森県・屏風山湖沼群のミジンコ相. 陸水学雑誌, 69 : 121-131.
- Strickland J. D. H. and T. R. Parsons (1972) : A practical handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 167 : 207-211.
- 浮田正夫・蔵重山美子・中西 弘 (1972) : 窒素・リン分析における種々の問題点について. 川水と廃水, 21(2) : 18-37.



付図1 上佐潟に生育するハス (A, 2009年9月9日), ヒシ (B, 2006年9月2日), オニバス (C, 2002年9月21日, 撮影: 山浦知雄氏), ミズアオイ (D, 2009年9月9日).

Appendix. 1 The vegetation of *Nelumbo nucifera* (A, 9 September 2009), *Trapa* spp. (B, 2 September 2006) and *Euryale ferox* (C, 21 September 2002, Photo. by Mr. T. Yamaura), *Monochoria korsakowii* (D, 9 September 2009) in L. Kamisagata.