

新潟県湖沼の陸水生態学的研究 XI.
 砂丘湖・御手洗潟（新潟市赤塚）の陸水生態学的研究
 —栄養塩の変動について—

Limnological Studies of Lakes in Niigata Prefecture XI.
 Limnological Studies of Lake Mitarasegata (Akatsuka, Niigata),
 a Sand Dune Lake in Japan with Sepecial References
 to Nutrient Dynamics

福原 晴夫・佐藤 千春・丸山 剛生・山岸 弘子・高橋 裕子
 (新潟大学教育人間科学部生物学教室陸水生物学研究室)

Haruo FUKUHARA, Chiharu SATOH, Takeo MARUYAMA
 Hiroko YAMAGISHI and Yūko TAKAHASHI
 (Laboratory of Hydrobiology, Faculty of Education and Human Sciences, Niigata University)

Abstract

Limnological studies of Lake Mitarasegata (N37° 49', E138° 53', altitude: 5 m, area: 9 ha, length: 1 km, width: 0.08 km) were conducted from April 2000 to February 2002 with special reference to nutrient dynamics and phytoplankton growth. 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. High concentrations of nitrogen, especially nitrate in spring water, probably originated from fertilizers used around the lake, were determined in St.2, where seemed to be spring area. Nitrate decreased toward the outlet of lake, whereas very high concentrations of chlorophyll-a, up to 300 ($\mu\text{g/L}$), were detected at the lake

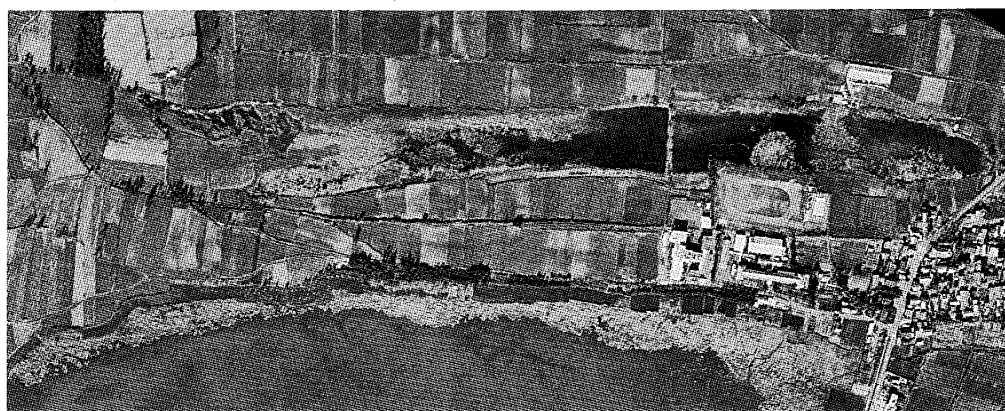


Fig.1 Aerial view of L. Mitarasegata (26 April, 1975, photographed by Geological Survey Institute).

center (St.3). A half of the lake was covered by vegetation of *Nelumbo nucifera* that reached a maximum growth in the end of August. In this area (St.4), growth of phytoplankton was suppressed by the growth of *Nelumbo* (Fig.16), suggesting a nutrient uptake competition. A high concentrations of Cl^- equally equivalent to Na^+ in lake water (Fig.14) suggest the addition of NaCl from the out side of the lake. This lake should be given urgently a conservation plan from the point of protection of waterfowls and reduction of eutrophication.

Key words : 砂丘湖, 御手洗潟, 栄養塩, 湖沼, 湧水, NO_3^- , Cl^-

はじめに

砂丘湖は、砂が風によって運搬・堆積して形成されたり、または波浪により打ち上げられた砂によって形成された砂丘列・砂堆列の間に湛水した湖で (Hutchinson (1957) の分類では Type 52: lakes between well-oriented sand dunes) ある。世界的には、多くの貴重植物種とそこに生息する動物相を有する景観的にも極めてユニークなタイプの湿地と位置づけられ (Grootjans et al., 1998), 固有種を含む多様性が明らかにされてきている (Pollet & Grootaert, 1996; McLachlan et al., 1996; Pott & Hannover, 1999; Lammerts et al., 2001; Grootjans et al., 2004). 世界遺産に登録されているオーストラリアの砂でできた島, Fraser Island の砂丘湖は、成因、生物多様性、数などでの点で極めてユニークな存在であるとされている (UNESCO, 2001) しかし、一方では人間活動によって生物多様

性を急速に失ないつつある点も指摘されている (Grootjans et al., 1998; Grootjans et al., 2001; Hadwen & Bunn, 2004).

日本の約400湖沼の成因を述べた Horie (1962) によれば、主な砂丘湖は新潟県に10湖沼、青森県に9湖沼が記載されているのみで、やはり我が国においても貴重な景観を有する湖沼と言える。しかし、小規模なものを含めるとさらに多く存在すると思われるが、現状は明らかではない。砂丘湖の特徴として、流入する河川がなく、涵養源は、湧水と雨水によることがあげられる。また、成因的にも深い湖は少なく、従って、水生植物の豊富な湖沼が多く、貴重種が保存されている場合も多い (志賀・石沢, 2002)。しかし、すでに干拓されたものや (新潟県の鎧潟)、湖底の浚渫により植生が破壊されたもの (青森県の多くの砂丘湖, 大高明史氏私信)、溜池や公園としての利用のために自然湖岸を失いつつあるものなど、保全対策が望まれるものも多い。しかし、砂丘湖の陸水生態や生物相については一部を除いてほとんど調査が行われてきていなく、早急な現状調査が望まれる。

これまでに新潟県の砂丘湖の総合的な内容を含む主な調査結果は、佐潟 (新潟市赤塚) について、陸水環境 (新潟河川生態研究グループ, 1982; 福原ら, 1990; Fukuhara et al., 2003), 底生動物の季節変化 (大高ら, 1991), 硫酸還元菌の動態 (福原・福井, 1986), 水生植物 (尾崎, 1982; 佐潟植生調査会, 1989; Fukuhara et al., 1997; 福原・牛島, 1998) が報告されてきている。佐潟の周辺部を含む自然科学的・社会科学的研究が、佐潟学術研究奨励補助金研究成果報告書 (新潟市, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005) として発刊されている。最近、福原 (2004) は佐潟の保全の課題を指摘している。長峰池 (旧吉川町) については陸水環境 (福原ら, 1989), 鳥屋野潟の植生については鳥屋野潟生物調査会 (1986 a), 鳥屋野潟植物調査会 (1994)

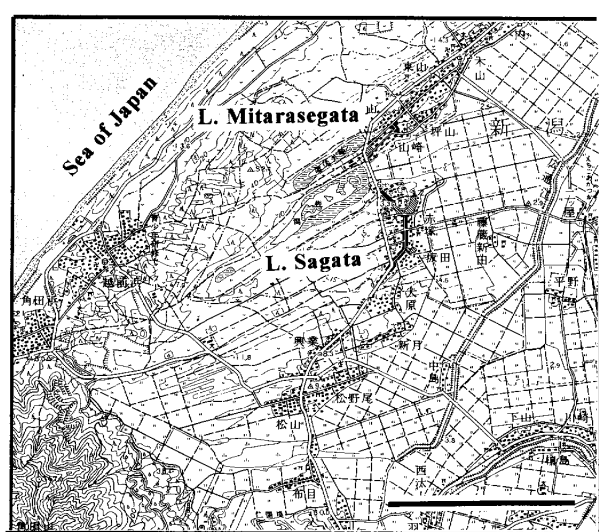


Fig.2 Site of L.Mitaarsegata (1:5000, sheet "Yahiko" Issued by Geological Survey Institute). A bar in the figure indicates 2 km.

および陸水環境と生物について鳥屋野潟生物調査会 (1986b), 鳥屋野潟陸水生物調査会 (1989) の報告がある。小林・石沢 (1986) は新潟市ドンチ池の植物相について報告している。志賀・石沢 (2002) は頸城湖沼群の坂田池, 長峰池, 朝日池, 鶉の池, 中谷内池, 天ヶ池, 蜘蛛池について水生植物相を報告している。以上のように砂丘湖の研究報告は限られた湖沼についてのみ行われている。

我々は本邦の砂丘湖の陸水生態学的研究を進めているが, 本論では御手洗潟 (新潟県) の陸水生態について, 栄養塩を中心に2年間の季節変化を述べる。

調査地の概要

御手洗潟 (N37°49', E138°53', 水面標高: 5 m, 面積: 約9 ha, 長径: 約1 km, 幅: 約0.08 km, Fig. 1, Fig. 2) は新潟市の西方約20 km, 海岸より1.7 kmの内陸に位置する。新潟新砂丘IIの砂丘列の間に湛水した極めて細長い砂丘湖である (新潟古砂丘グループ, 1974)。本潟の北側は, かつて, 標高52.7 mの板藤砂丘につながっていたが, 1997年度に完成した土地改良事業により, 北東部は平坦な農地 (標高約20~35 m) となっている。潟の南側は標高約8~10 mの砂丘となり, 佐潟に続いている。

流入河川はなく, 流出は, 東端の水門 (Fig. 3のO) で調節されている。かつては, 水田用水として使用されていたが, 現在は湧水時の非常用となっており, 年間を通じて排水されることはまれである。他の砂丘湖同様, 本潟も湧水と雨水によってのみ涵養されている。湧水は西端のSt.1', St.1 (Fig. 3) 付近から流出していることが春期の一時期に観測されることもあるが, 大部分が湖内の湧水源によるものと推定される。

湖内の東側に, かつて北岸と南岸をつなぐ道路 (Fig. 1) が存在していた跡があるが, 現在は土台となっていた木柱が残っており, 湖内の植生を分けている。調査当時, 道路跡の東側には, 夏季にハスがほぼ一面に繁茂し, 北西端の一部にのみヒシが分布していた。ハスは道路跡より西側にはほとんど進出していなかったが, 2005年度には一部進出が観察された。湖岸は自然状態のままで残っており, ヨシ, ガマを中心とした抽水植物が狭いベルト状に生育している。抽水植物としてガマが湖中央部分に生育を広げているが, ウキクサ類以外に湖内には目立った植生がみられない。

潟の周囲は畑地として耕作され, 主な作物は春作

としてスイカ・タバコ, 秋作としてダイコンである。南東岸には学校と病院, 北東岸に漬物工場がある以外目だった建築物はない。2004年に湖岸の病院が新築され, 西側に約100 m移動したが, 湖岸の建築物にはFig. 1に示した1975年以降変化がない。以前は周囲の漬物工場, 病院, 学校からの排水が流入していたが, 現在は排水されていない。2003年より, 潟の南西岸の一面にカモ養殖場が建設され, 水面の一部が利用されている。

御手洗潟については年間を通しての陸水学的な調査はなされていない。一時期の現況調査として, 新潟県 (1979, 1987), 環境庁 (1993), 新潟県環境保健部 (1989) による報告がある。また, 年2回の公共用水域の水質測定結果が公表されている。

調査地点及び調査方法

水質の季節変化

水質に関する季節変化の調査は2000年4月~2002年2月までFig. 3に示したSt.1', St.1~St.5で月2回を原則に行った。2001年1月~3月の間は調査できなかった。また, 調査期間内においても水位低下のため, 調査船を出すことが出来ずに, 採水等が不可能な場合があった。St.1' は潟の西端で2000年4月21日, 同5月9日に, St.1では2001年4月23日の調査時にのみ採水できた。

St.2は潟の西端, 北岸から約3 mに位置し, 水のある時期には潟の東部への流れが見られた。周囲はヨシを中心とした抽水植物に囲まれ, 夏季にはヒシが生育した。底質は砂質で水深は調査開始時45 cmであった。水位の低下した2000年8月下旬から12月まで, 2001年7月下旬から9月下旬までは採水できなかった。

St.3は潟の中心部に位置する。南岸から約30 mに位置し, 年間を通して開水面となっていた。水深は

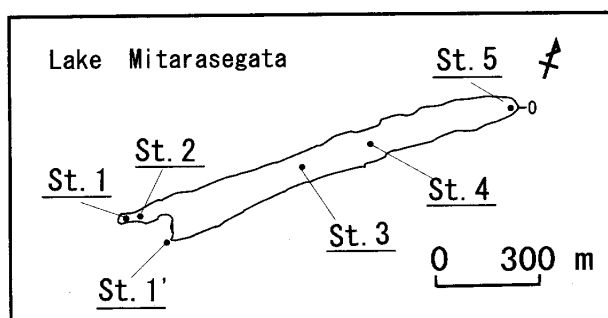


Fig. 3 Map showing sampling stations.

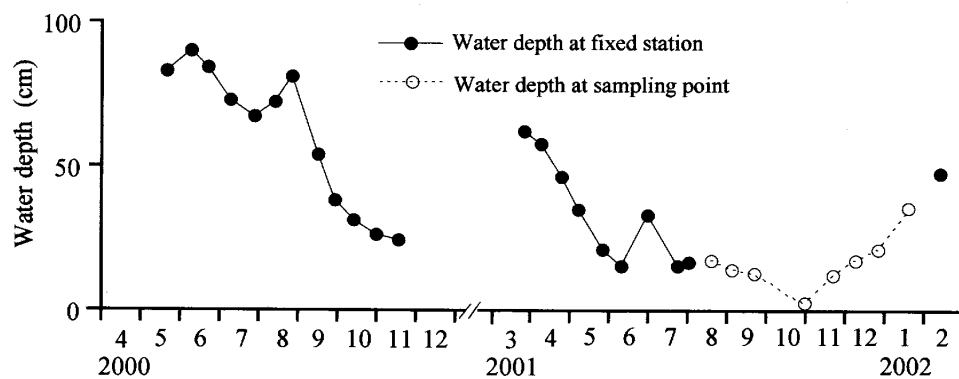


Fig.4 Seasonal changes in water depth at St. 3 in L. Mitarasegata. Blank parts of a line indicate no measurements because of lower water level.

調査開始時に 83 cm であり、底質は泥質砂 (2.0~0.063 mm の砂が約 70%) で含水率 90.0%, 灼熱減量 39.9% であった。水位が低下した 2000 年 10 月下旬から 12 月まで採水できなかった。2001 年 8 月~2002 年 1 月まで、水位低下により船上からの採水が不可能であったため、St.3 の南側岸よりで採水を行った。

St.4 は潟の北東側、東南岸から約 50 m に位置し、水深は調査開始時 72 cm であった。周囲はほぼ全面ハスで覆われていた。底質は泥質砂で、含水率 82.4%, 灼熱減量 34.8% であった。水位が低下した 2000 年 10 月下旬から 12 月まで採水できなかった。2001 年には 5 月下旬以降、St.4 においては採水できなかったため、St.4 の西南岸よりのハス帯の中で採水した。

St.5 は潟の東岸に位置する流出口の水門前で、ハスが岸まで繁茂していた。2000 年 8 月中旬~12 月まで水位が低下し、湖岸が露出したため、採水場所を順次水辺に移動した。2001 年には 6 月上旬~11 月まで、7 月下旬、9 月上旬を除いて採水できなかった。

各地点における調査項目と方法を以下に示す。水位 (St.3, St.4, St.5 においては調査地点に設けた杭や建造物を基準としてその変化を測定。他の地点や水位低下により基準物が利用出来ない場合は、採水場所で折尺を用いて直接測定)、気温 (棒状温度計)、水温 (SHIBAURA MGA-III)、電気伝導度

(横河電機 SC82)、pH (50 ml ポリ瓶に採水後、TOA DKK HM-7J)、COD (酸性過マンガン酸法、JIS K 0101, 0102)、溶存酸素濃度 (Winkler 法)、クロロフィル a 濃度 (GF/C ろ過後 SCORE-UNESCO 法)、セストン (GF/C, 110°C)、無機イオン類 (GF/C ろ液について、イオンクロマトグラフ法 (DIONEX DX-120, 島津 CDD-6A, LP-6A, HIC-6A, C-R6A, Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-), NO_2^- (N-1 ナフチル-エチレンジアミン法), NO_3^- (硫酸ヒドラジン法), PO_4^{3-} (混合試薬法), NH_4^+ (インドフェノール法), NO_3^- -N 濃度, NH_4^+ -N 濃度がそれぞれ 0.02 mgN/L 以下, 0.08 mgN/L 以下の場合には化学分析法を用いた。水深が浅いため、表層水のみについて測定を行った。

ハスの成長

ハスの成長の季節変化の調査を St.4 付近に設けたコドラートで行った。2000 年 4 月に 1 m × 1 m のコドラートを 3 個設置し、その中のすべてのハスについて葉幅を測定し、葉面積で成長を表わした。本測定においては、ハスの成長の概観をえるため、葉身の半分以上枯死したものは測定に含めなかった。葉幅より葉面積を求めるために、あらかじめコドラート外のハスの葉身を調査期間中約 40 枚採取し、葉幅を測定した後に葉面積を測定して以下の関係式を求

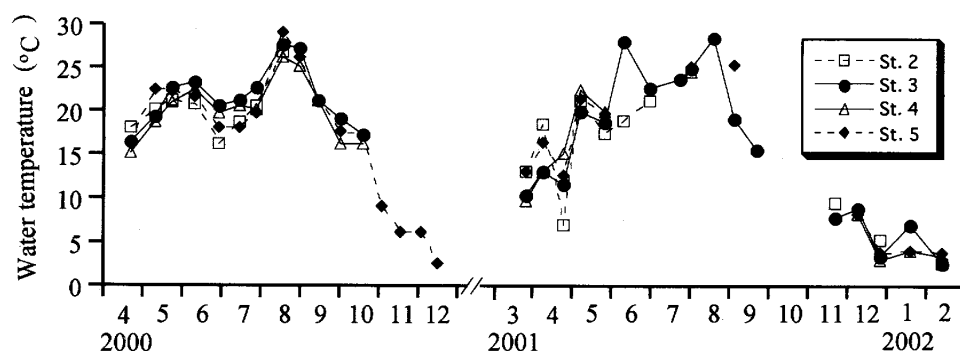
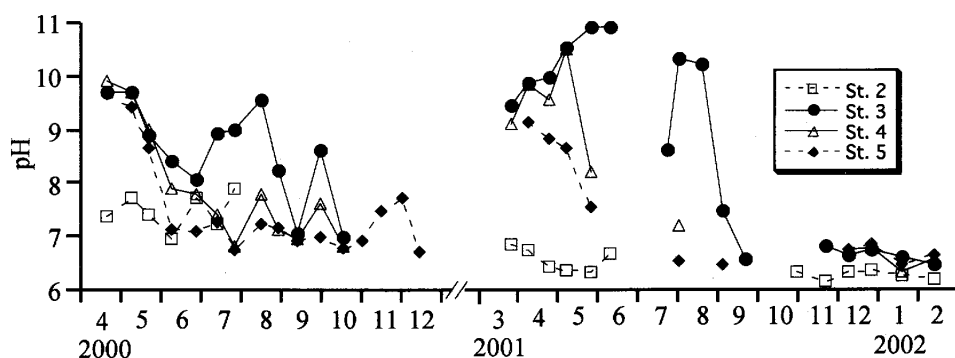


Fig.5 Seasonal changes in water temperature at St.2~St.5 in L. Mitarasegata.

Fig.6 Seasonal changes in pH at St.2~St.5 in L.Mitarasegata.



め、計算によりハスの葉面積を算出した。

$$Y = 1.888X + 0.025 \quad (R = 0.996, p < 0.001)$$

Y : Log 葉面積 (cm²)

X : Log 葉幅 (cm)

本論での葉面積は1 m × 1 m のコドラート内に成育したすべてのシュートの葉の面積を示している。

結 果

調査期間を通じて、St.3は開水面の、St.4はハス帯の代表地点であった。そこで、この両地点を中心に述べる。

水位・水温

2年間の調査で、御手洗潟の水位変化は安定して

いないが、冬季から春季にかけて高く、初夏から秋は極めて低くなった (Fig.4, Appendix 1)。湖心のSt.3では、高水位で70-85 cm、夏季の低水位時には25 cm以下となった。2000年では7月下旬以後水位が低下し、10月下旬以後12月中旬でも水位は回復しなかった。2001年では6月~11月まで、6月下旬を除いて15 cm以下で、St.3付近には溜り水が点在している状態であった。9月中旬には草本が目立ち湿地状態となった。水面の回復は2002年の1月中旬であった。St.4もほぼ同様な季節変化を示したが、St.3と傾向が異なる月もあった。2001年5月下旬には溜り水状態となり、8月中旬~11月中旬までは湖底がほぼ露出している状態であった。

Fig.5に St.1, St.1' を除く各地点の水温の季節

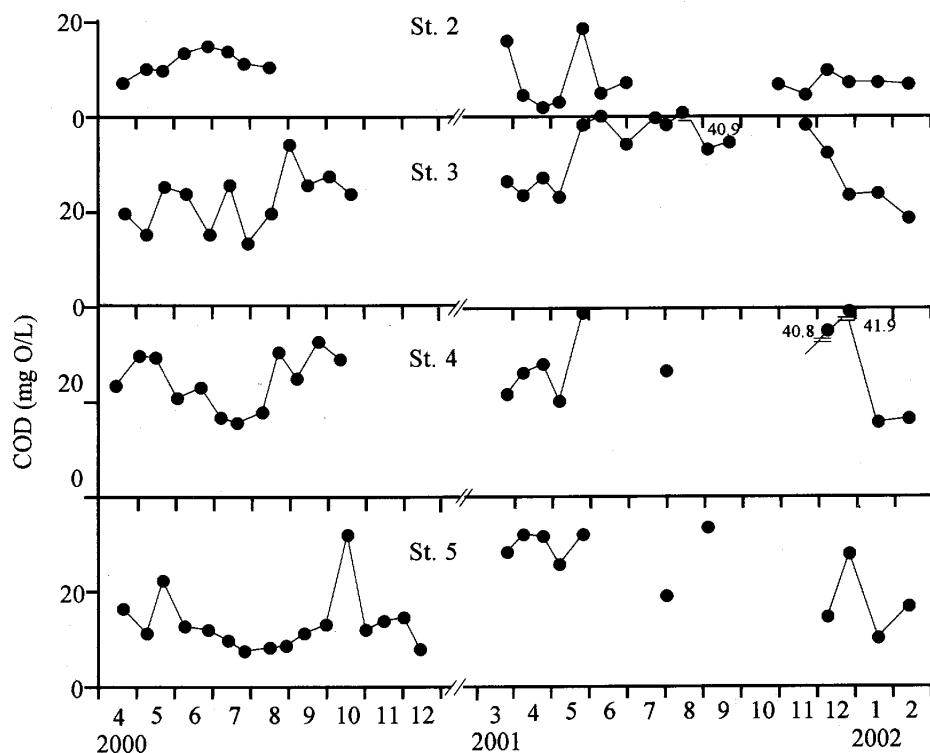


Fig.7 Seasonal changes in COD at St.2~St.5 in L.Mitarasegata.

変化を示す。St.2は他の地点に比較して、春早くと冬季に水温が高く、夏季には低い傾向を示した。この地点が湧水の影響を受けていることを示す。2000年と2001年を比較すると、各調査地点において、2001年の方が夏季に高い傾向にあった。最高水温は2000年、2001年とも8月中旬に29.0℃ (St.5)、33.1℃ (St.3) で、それ以降水温は低下した。

pH・EC・COD

pHは各地点でそれぞれ異なる季節変化を示した (Fig.6)。St.2では年間を通じてpHは高くなく、季節変化が小さく、6.11~7.88であった。開水面のSt.3では春季から夏季に高く、3、4月ですでに9となり、8月中旬まで8~10であった。pHの最高は、2001年5月下旬から6月上旬に10.85となった。その後pHは低下し、10月以降は7前後であった。ハス帯であるSt.4とSt.5では、春には開水面のSt.3と同様に高く、9~10を示したが、5月下旬以降低下し、夏季~秋季には7前後となった。このようにSt.2以外では春のpHは高いが、その後、開水面となるか水生植物が繁茂するかによって変化は大きく異なった。

電気伝導度 (EC) の測定は、2001年度のみ行った (Appendix 1)。調査期間中のEC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) の

変化は、St.2では0.409 (5月25日)~0.503 (11月19日)、St.3では0.278 (6月29日)~0.512 (9月20日)、St.4では0.289 (2002年1月16日)~1.609 (7月31日)、St.5では0.264 (2002年1月16日)~2.014 (7月31日)であった。本潟においては湧水の影響を受けるSt.2では他の地点と比較して年間を通して高く、特に秋に高かった。他の地点では、水位の低下した夏に極めて高い値となった。1月に低下し、4、5月に急に上昇する傾向が各地点で共通してみられた。

COD (mg O/L) はSt.2では6月下旬に最も高くなった (Fig.7)。他の地点では、年間を通じて高い傾向を示し、特に夏季~秋季に高かった。調査期間中の最低~最高は、St.2で1.73 (2001年4月23日)~18.4 (2001年5月25日)、St.3で12.7 (2000年7月27日)~40.9 (2001年9月20日)、St.4では12.8 (2000年7月27日)~41.9 (2001年12月22日)、St.5では7.37 (2000年7月27日)~32.1 (2001年5月25日)であった。本潟のCODは1~4月を除いて高い値を示し、特に2001年では水位の低下した夏と秋に極めて高い値を示した。

DO・セストン

DO (溶存酸素) 濃度の季節変化をFig.8に示す。

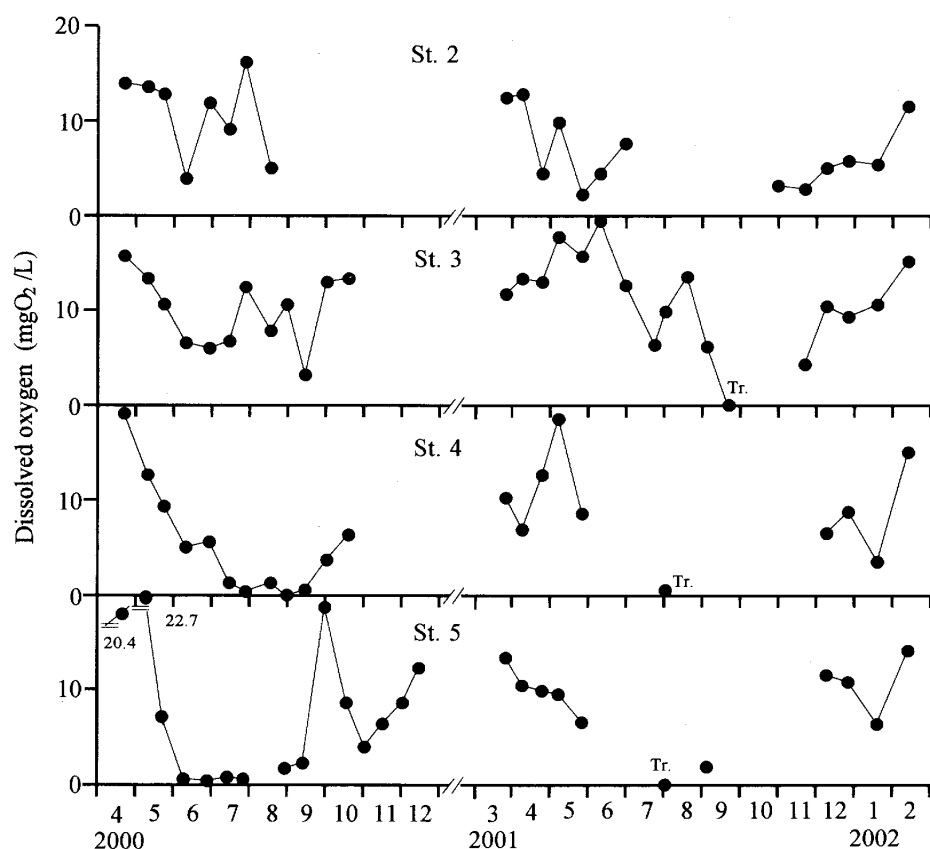
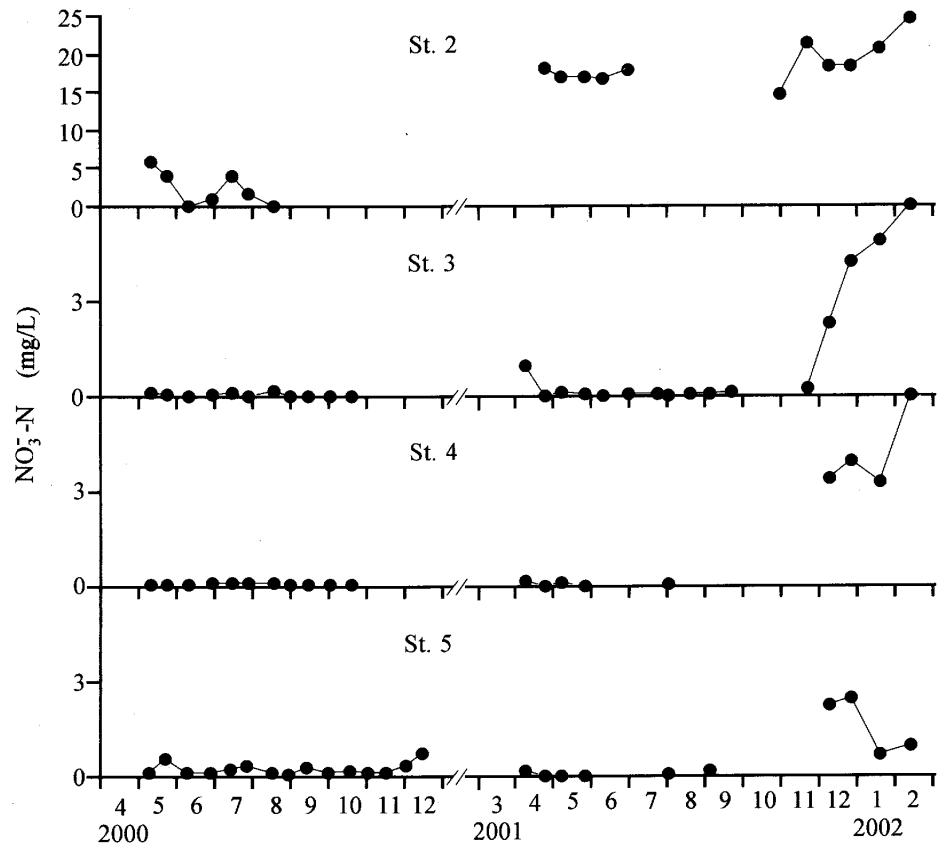


Fig.8 Seasonal changes in dissolved oxygen concentrations at St.2~St.5 in L. Mitarasegata.

Fig.9 Seasonal changes in NO_3^- -N concentrations at St.2~St.5 in L.Mitarasegata.



DOは春季に高く、その後低下するが、再び夏季に上昇する地点 (St.2, St.3) と夏季には引き続きDO濃度が低い地点 (St.4, St.5) があった。各地点とも11~12月以降増加した。St.3では春季以後の低下は明確ではなく、8月に低下した。開水面のSt.3では春季から秋季にかけて飽和となることが多かったが、ハス帯では春季を除くと、飽和度は低かった (Appendix 1)。最も高い飽和度は、St.3で269% (2001年6月9日, 19.5 (mg/L)), St.4で233% (2001年5月7日, 18.59 (mg/L)) であった。一方ハス帯 (St.4, St.5) では7, 8月には約17%以下になった。

セストン量は1~4月は低く、夏季に高くなる傾向を示したが、Chl-a濃度の季節変化の傾向とは必ずしも一致しなかった (Appendix 1)。最大値で400 mg/L (2001年8月17日) となった。

栄養塩

NH_4^+ -N濃度は2年間の調査で開水面 (St.3) での季節変化に規則性はないようであった (Appendix 1)。St.4, St.5では夏季に極めて高い値を示し、2000年, 2001年ともSt.5でそれぞれ最高値10.30 (mg/L) (9月12日), 10.8 (mg/L) (7月31日) となった。

NO_2^- -N濃度はSt.2において2000年5月下旬に0.153 (mg/L)、2001年の12月下旬にSt.4において0.103 (mg/L) と極めて特異的に高くなる場合があったが、他の季節では約0.05 (mg/L) 以下で明確な季節変化を示さなかった (Appendix 1)。

NO_3^- -N濃度の季節変化をFig.9に示す。St.2は他の地点と異なり、 NO_3^- -N濃度が極めて高かった。2000年では5月初旬に5.783 (mg/L) を示し、2001年では4月~6月まで、16~18 (mg/L) でほぼ一定であった。濃度は10月下旬に最低値14.6 (mg/L) であったが、その後上昇し、11月から2月までは18~24 (mg/L) の高い値で変動した。他の地点においては、12月~1, 2月まで1.5 (mg/L) 以上の高い濃度を示したが、春季~秋季に極めて低くなりSt.3の4月 (0.958 (mg/L)) を除くと0.5 (mg/L) 以下であった。

PO_4^{2-} -P濃度は冬期を除き、高い濃度を示した (Fig.10)。また夏季の濃度は下流側で高くなっていった。濃度は5月または6月にピークを示し、低下した後、再び7月, 8月に高くなった。St.3では、2001年7月下旬に0.257 (mg/L) を示した。水位の低下したSt.5では2001年9月上旬に2.61 (mg/L) と極めて高くなった。

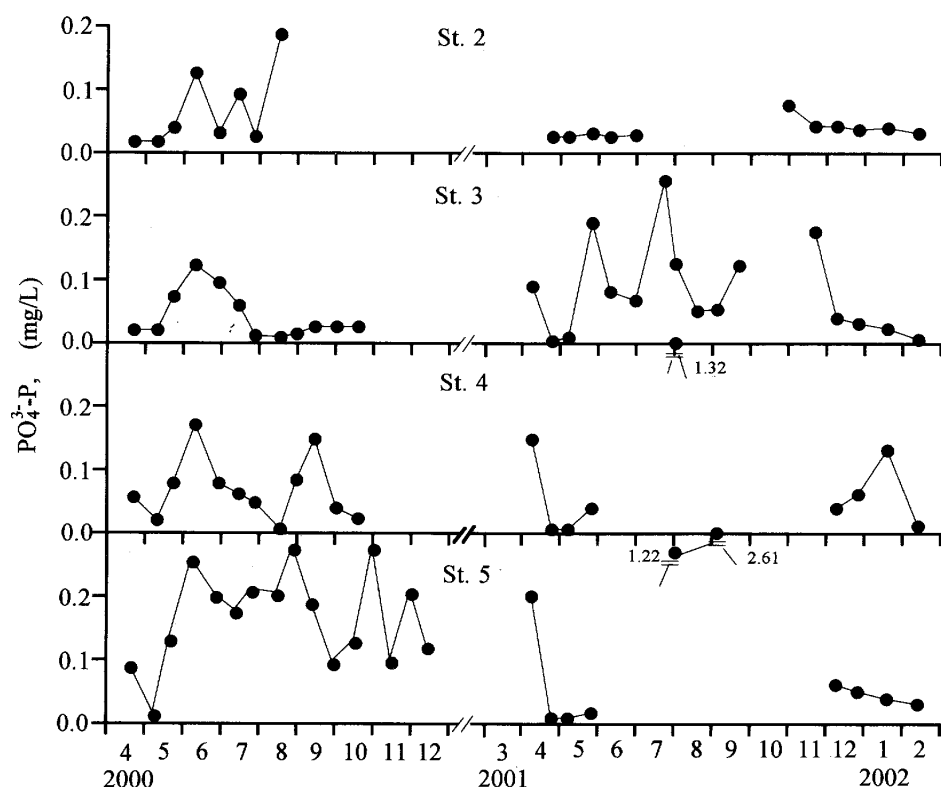


Fig.10 Seasonal changes in $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ concentrations at St.2~St.5 in L.Mitarasegata.

その他の無機イオン類

Cl^- 濃度は湧水地点 (St.1) で 80.5 (mg/L) (2000 年 4 月 21 日) を示し, 5 月 9 日にも依然高かった (Fig.11). 5 月・6 月, 8 月, 11 月 (2001 年は明確でなかった) にピークを示し, 濃度は下流側に向かって明らかに上昇する傾向を示した. St.5 で最も高い濃度を示し, 2000 年では 8 月に 156.2 (mg/L),

2001 年では 7 月に 557 (mg/L) となった.

SO_4^{2-} は春季に高く, 夏季に低くなる傾向を示し, 再び秋季から冬季に高濃度となった (Appendix 1). St.1' では SO_4^{2-} 濃度は極めて低かった. St.2 では調査期間中 36.36~74.39 (mg/L), St.3 では 32.80~164.46 (mg/L), St.4, St.5 では, 7.14~166.64 (mg/L) でハス帯での変動幅が大きかった.

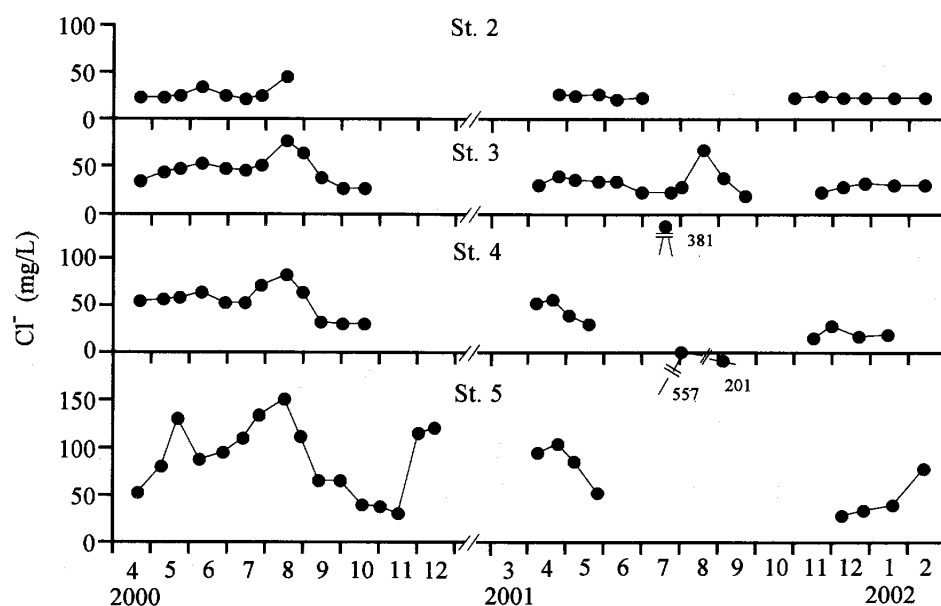


Fig.11 Seasonal changes in Cl^- concentrations at St.2~St.5 in L.Mitarasegata.

Na^+ 濃度は湧水地点の St.2 及び開水面の St.3 において他の地点より低い値で変動した (Appendix 1). 変動の傾向は Fig.11 の Cl^- 濃度の変化と類似した. St.1 では 14~18 (mg/L) で比較的低い値であった. ハス帯の St.4 と St.5 では他の地点より濃度は高い傾向が認められ, 7 月に極めて高くなる傾向があった.

K^+ 濃度は St.2 では変動の幅は小さかった (Appendix 1). 開水面の St.3 とハス帯の St.4, St.5 では夏に濃度が高い傾向が認められた. 特に 2001 年では水位の低下した 8 月に St.4 と St.5 において極めて高い値を示した.

クロロフィル a 濃度

Chl-a 濃度の季節変化を Fig.12 に示す. 3 月から Chl-a 濃度は増加し, 4~5 月に一度ピークを形成した後減少し, 再び 8~9 月にピークとなる変化を示した. 比較的データのそろっている 2000 年では第二のピークは下流側で遅れて出現する傾向を示した. 2000 年では, 最高濃度が St.5 において 1170 ($\mu\text{g/L}$) (9 月 17 日), 2001 年では St.3 において 1925 ($\mu\text{g/L}$) (8 月 17 日) となった. この時は, 水位低下が著しく, 藻類が極めて濃密に増殖した状態であった. いずれにしても, 一時期を除いて, 本潟は極めて高

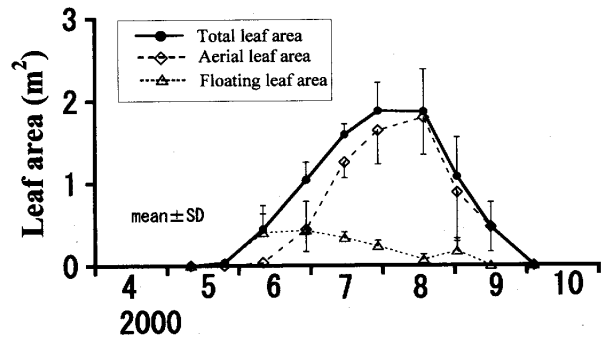


Fig.13 Seasonal changes in leaf area of *Nelumbo muci fera* around St.4 in L.Mitarasegata.

いクロロフィル濃度を維持しているといえる.

ハスの成長

本測定には, 半分以上変色し, 枯死途中の葉は含んでいない. Fig.13 に葉面積の季節変化を示す. 5 月上旬から浮葉が出現し, 5 月下旬から気中葉が出現した. 浮葉の葉面積は 6 月下旬に最大値 0.43 (± 0.35) m^2 を示した. 6 月下旬以降は気中葉が増加し, 浮葉は減少した. 気中葉の葉面積は 8 月中旬に最大値 1.80 (± 0.45) m^2 を示し, この時の浮葉と気中葉を合わせた葉面積は最大で 1.87 (± 0.51) m^2 を示し

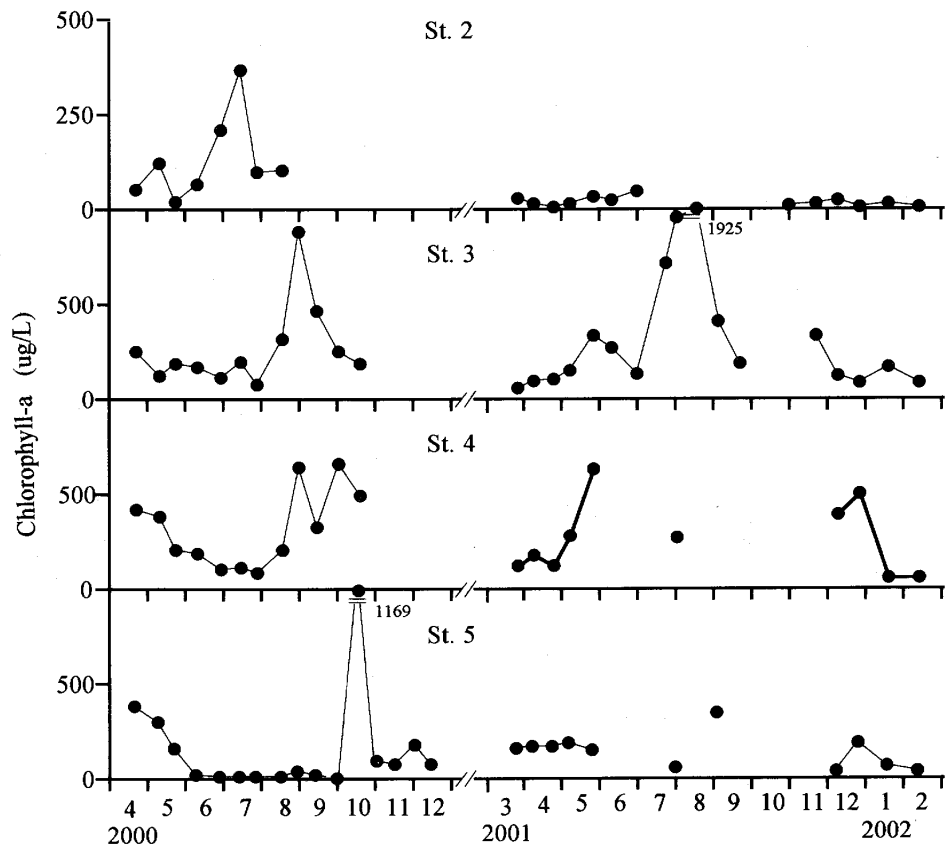


Fig.12 Seasonal changes in chlorophyll a concentrations at St.2~St.5 in L.Mitarasegata.

た。9月上旬にはコドラート内の浮葉が、下旬には気中葉が全て枯死（葉身の半分以上が枯死した葉を含む）したことが確認された。気中葉は枯死しても、しばらくの間は枯葉をつけたままであった。また、葉が脱落しても枯れた茎は湖面に残っていた。

考 察

砂丘湖の涵養は流入河川がないため、雨水と湧水による。従って水位変化の測定は、砂丘湖の水文状況を把握する上で重要である。これまで、御手洗潟の季節的な水位変化に関する調査は行われてきていない。2年間の調査では確定的ではないが、春季に高く、夏季から12月まで極めて低く、その後に回復する変化を示した（Fig.4）。湖水は、現在では水田用水として用いられていなく、また水位低下の調査時に流出が観察されていない。従ってこれらの水位低下の原因として、1）湧水量の元になる降雨量の変化による、2）湧水量の変化による、3）周辺の畑作への灌漑水の利用による、4）湖水の直接的な利用による、ことが想定される。雨水が湧水の出口までに地下水として流達する時間は明らかではないが、約2ヶ月と仮定して、2000年2月～2001年1月、2001年2月～2002年2月の降水量を比較するとそれぞれ1356 mm、1356 mmとなり（東南に約7 km離れた気象庁巻地方気象観測所による）、ほとんど差がない。また、高水位時の1～4月と低水位時の8～12

月の降水量を比較すると、2000年、2001年それぞれ、457 mmと536 mm、409 mmと606 mmとなり、むしろ低水位時の降雨量の方が大きく、水位低下に降雨量が大きく寄与しているとは言えないと考えられる。兩年とも、春の一時期のSt.1とSt.1'で湧水の噴出が認められたが（Appendix 1）、他の時期は枯渇していた。また湧水源があるとみられるSt.2付近においても夏季にほとんど湛水している状態がみられなかった。これらの点は、湧水量の季節的な変化があることを示している。湧水量の変化の実態とその原因の調査が今後必要である。その際、上記4）の灌漑水の利用の実績は考慮すべき事項となると考えられる。

2001年度は、夏期にいくつかの成分について通常の湖沼ではみられない極めて高い濃度を示した（Chl-a, COD, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, Cl^- 等）。これらの値は、水位低下により、湖面が縮小し、溜り水状態となって極めて成分が濃縮された結果であり、通常の湖水の状態と異なっている。

御手洗潟は東西に長く、いくつかの成分には水平分布に特徴が認められた。より多くの調査地点にもとづく水平分布の特徴については続報で述べるが、年間を通じてデータの得られた2001年についてみると、潟頭から流出口に向かって濃度が低下する成分として $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、逆に流出口にむけて濃度が上昇する成分としてCOD, Chl-a, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, Cl^- , Na^+ , K^+ があげられる。佐潟周辺の湧水や井戸水中には $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 濃度が高い傾向が知られている（野中, 1997; Fukuhara et al., 2003）。St.2における2000年度、2001年度の調査期間内では $\text{NO}_3^- \text{-N}$ は平均2.76 (mg/L), 18.81 (mg/L)であった。St.2の潟頭部付近には湧水源があることが推定される。 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 濃度の低下とともに、流出口方向に向けて、Chl-a濃度が増加し、植物プランクトンの増殖が活発になっていることを示す。CODの増加もこれにともなうものであると推定される。湧水の豊富な潟頭から流出口方向にむけて $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 濃度が低下し、Chl-a濃度が増加する傾向は佐潟においても知られている（Fukuhara et al., 2003）。一方、ハス帯のSt.4やSt.5では $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度が特に8月下旬以降高くなっている。ハスの枯死は8月下旬以降から始まっており（Fig.13）、有機物分解による $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の供給が行われていることが推定される。

生物学的に不活性な Cl^- にも流出口方向にむけて濃度が増加する明らかな傾向が認められた。また Cl^- 濃度には5・6月、8月、11月にピークを示す

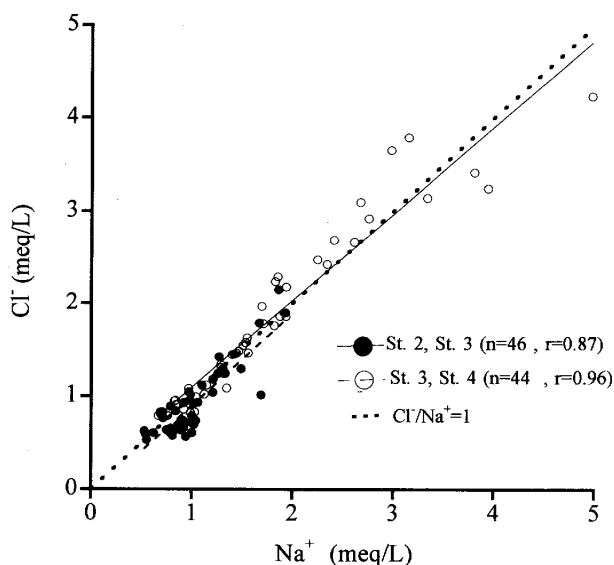


Fig.14 Relationship with Cl^- and Na^+ concentrations in L.Mitarasegata.

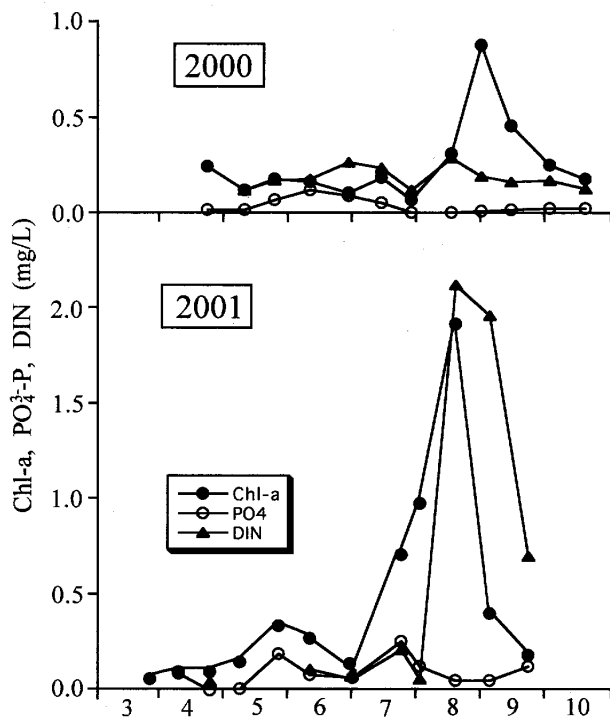


Fig.15 Seasonal changes in chlorophyll-a (Chl-a), $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ and dissolved inorganic nitrogen (DIN) concentrations at St.3 in L. Mitarasegata.

濃度の増加が認められた。St.2～St.4においては11月のピークは明らかではないが、5・6月、8月のピークは何らかの原因による Cl^- の供給を示すと推定される。

調査期間中のSt.2とSt.3, St.4とSt.5における Cl^- と Na^+ の当量関係がほぼ1であることから (Fig.14), Cl^- は NaCl として供給されていることが明らかである。2000年4, 5月のSt.1における Cl^-/Na^+ は3.67, 3.02であり、陽イオンが不足し、高濃度の NaCl が湧水から供給されていない事示す。御手洗潟には過去に湖岸の漬物工場より排水が流入していた歴史がある。排水の流入があれば極めて高い Cl^- 濃度が検出されることが予想される。1979年度の調査 (新潟県, 1979) では、14.8, 23.9 (mg/L) で特に潟の東側で高い値を示していない。この値は、同時期の佐潟 (福原ら, 1990) における26-41 (mg/L) より低い。1985年の調査では41.5, 151 (mg/L) と東側で極めて高い値を示し始めている。公共用水域の水質調査結果によれば、1988年より年2回 Cl^- 濃度が測定されている。2回の単純平均では1988年に235 (mg/L), 1989年に579 (mg/L) と高く、1994年の347 (mg/L) まで高い値が続いている。その後1995年に77 (mg/L), 1996年に37 (mg/L)

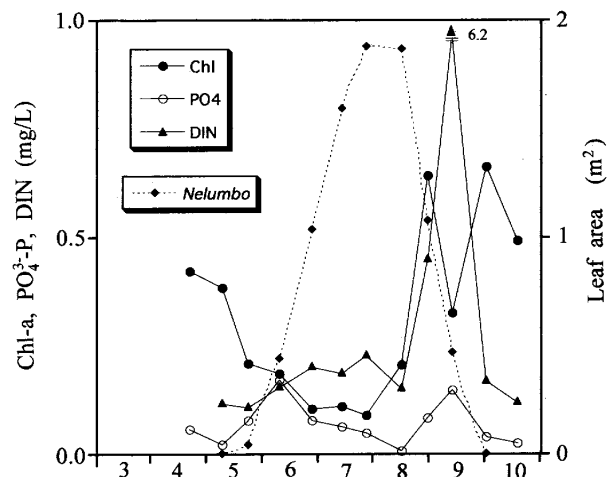


Fig.16 Seasonal changes in chlorophyll-a (Chl-a), $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, dissolved inorganic nitrogen (DIN) concentrations and leaf area of *Nelumbo nucifera* at St.4 in L. Mitarasegata.

L) と低下してきている。従って、1985年以後約10年間は直接的な排水の流入または排水の影響が残っていたと言える。しかし、現在も依然として御手洗潟の Cl^- 濃度は高く、特に東側で高い傾向を持つことは (Fig.11), その後も何らかの供給や残留の影響を示唆する。

開水面 (St.3) においては、ガマが周辺より侵入してきているものの、他の水生植物は生育していなかった。従って栄養塩の変動は植物プランクトンの増殖によって大きく規定されることになる。Fig.15に10月までのそれらの関係を示す。両年とも類似した傾向を示し、春の植物プランクトンの増殖 (5月) による栄養塩の低下と、増殖後の栄養塩の増加 (特に PO_4^{3-}) が起こり、再び8月をピークとする夏の植物プランクトンの増殖がおこる。その後、栄養塩濃度はいったん低下するが、再び冬季にむけて増加する。植物プランクトンの二回の増殖期の栄養塩の残存状態から成長の制限関係を推定すると、両年ともリンが不足しておりリン制限の状態にあると言える。しかし、春季のブルームでは NO_3^- 濃度が極めて低く、窒素制限の可能性も高い。Forsberg and Ryding (1980) は水域が極めて過栄養状態ではリン制限から窒素制限に移行することを指摘している。OECDによる栄養度判定 (Ryding and Rast, 1989) においても、本潟は過栄養湖となり、窒素制限への移行が推定される。

ハス帯 (St.4) においては明らかにハスの成長の影響が現われており、春の増殖期後、ハスの成長に

ともないリン，窒素ともに濃度は低下している (Fig.16). この低下には，測定はしていないがハスの茎などに生育する付着藻類も寄与していると推定される．ハスの枯死が始まる8月下旬以降，栄養塩の増加と秋季の植物プランクトンの増殖が起こる．ハスやヒシの繁茂による同様な植物プランクトンの増殖と栄養塩の変動は浅い砂丘湖の佐潟でも知られている現象である (福原ら，1990；Fukuhara et al., 2003).

御手洗潟の水質については，1979年 (新潟県，1979)，1985年 (新潟県，1987)，1991 (環境庁，1993) に一時期 (夏季) の調査が行われている．Chl-a 濃度は1985年から測定されおり，220-280 ($\mu\text{g/L}$ ，25/9/85)，60-135 ($\mu\text{g/L}$ ，17/9/91) であった．このことはすでに1980年代に御手洗潟は明らかに富栄養湖の段階であったことを示す．COD については，1979年度では3.8-4.2 (mgO/L ，30/7/79) と値は低い，1985年度では14.9-26.7 (mgO/L ，25/9/85)，1991年では21-27 (mgO/L ，17/9/91) と極めて高い値を示している．1985年の公共用水域水質測定以後も夏季には20 (mgO/L) 以上の値を示しており，やはり1980年代からの富栄養化が想定される．富栄養化の進行を軽減するため，環境保全型農業の推進などにより湧水中の窒素濃度の低下をはかる策が必要である．

御手洗潟は日本では数少ない砂丘湖の一つであると同時に，佐潟とともに国設佐潟鳥獣保護区，県設新潟角田鳥獣保護区，佐渡弥彦米山国定公園 (自然公園法第3種特別地域 (道路跡の東側を除く)) に指定されており，保全すべき極めて重要な湿地である．すぐ南に位置する佐潟は本邦第10番目のラムサール登録湿地として1996年3月に登録され，水鳥の保護を含めた湿地の保全がなされてきている．佐潟の水鳥類は御手洗潟を含め一体となって水面を利用しており，環境省が毎年おこなっている「全国ガンカモ一斉調査」においても，上佐潟とともに御手洗潟を含めて「佐潟」として調査されてきている (新潟野鳥愛護会研究部，2005)．佐潟の水鳥類の保護のためにも御手洗潟は佐潟を補完する湖沼として極めて重要な位置にある．また，御手洗潟は，新潟県における自然湖沼の自然湖岸率 (崖を除く) が15% (全国平均45%，全国36位，環境省湖沼調査 (1991年度)，福原，2004) という乏しさの中で自然湖岸がほぼ残されている湖沼である．この点からも早急な保全対策が必要である．

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 (新潟大学教育人間科学部)，故上野秀樹博士 (新潟大学教育人間科学部)，佐藤雄二技官 (新潟大学教育人間科学部) に感謝いたします．イオンクロマトグラフを使用させていただいた元新潟大学積雪地域災害センター佐藤修博士及び分析にあたって助言をいただいた当時新潟大学大学院自然科学研究科大学院生の鈴木将之氏，Ould Elemine Cheibany 氏，小松原岳史氏，御手洗潟の調査を快く許可してくださった潟主の高橋忠男氏，ボートを保管していただいた佐潟荘に感謝いたします．本研究の一部は日本学術振興会科学研究費基盤研究 (C) 17510193の助成を受けた．

引用文献

- Forsberg C. and S.-O. Ryding (1980): Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. Arch. Hydrobiol., 89: 189-207.
- 福原晴夫 (2004): 佐潟の自然と保全の課題. にいがたの教育情報, 77: 84-97.
- 福原晴夫・福井学 (1986): 新潟県湖沼の陸水生態学的研究III. 佐潟 (新潟市) における硫酸還元菌数の季節変化. 新潟大学教育学部紀要 (自然科学), 28: 1-13.
- 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 & 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.
- Fukuhara, H., T.Tanaka and M.Izumi (1997): Growth and turion formation of *Ceratophyllum demersum* in a shallow lake in Japan. Jpn. J.Limnol., 58: 335-347.
- 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.
- 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.
- Grootjans, A.P., E.B.Adema, R.M.Bekker & E.J.Lammerts (2004): Why young coastal dune slacks sustain a high biodiversity. In Martinez & N.P.Psutty (Eds), Coastal Dune, Ecological Studies, 171: 85-101.
- Grootjans, A.P., W.H.O.Ernst & P.J. Stuyfzand (1998): European dune slacks: string interactions of biology, pedogenesis and hydrology. TREE, 13: 96-100.
- Grootjans, A.P., H.Everts, K.Bruin & L. Fesco (2001): Restoration of wet dune slacks on the Dutch Wadden Sea Island: Recolonization after large-scale sod cutting. Restor. Ecol., 9: 137-146.
- Hadwen, W.L. & S.E.Bunn (2004): Tourista increase the contribution of autochthonous carbon to littoral zone food webs in oligotrophic dune lakes. Marine and Freshwater Research, 55: 701-708.
- 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.
- 環境庁 (1993): 自然環境保全基礎調査湖沼調査報告書, 第4回, 環境庁.
- 小林浩二・石沢 進 (1986): ドンチ池の植物. 新潟県植物分布調査記録, 2: 93-103.
- Lammerts E.J., C.Maas & A.P.Grootjans (2001): Groundwater variables and vegetation in dune slacks. Ecol. Eng., 17: 33-47.
- McLachlan, A., G.Kerley & C.Rickard (1996): Ecology and energetics of slacks in the Alexandria coastal dun field. Landscape and Urban Planning, 34: 267-276.
- 新潟河川生態研究グループ (1982): 佐潟の陸水生植物. 佐潟の自然—オニバスの保護を中心として—. 新潟県文化財調査報告書, 43-65. 新潟市教育委員会.
- 新潟県 (1979, 1987): 自然環境保全基礎調査湖沼調査報告書, 第2回, 第3回. 新潟県.
- 新潟県環境保健部 (1989): 湖沼自然環境実態調査報告書. 新潟県.
- 新潟古砂丘研究グループ (1974): 新潟砂丘と人類遺跡—新潟砂丘の形成史 I—. 第四紀研究, 13: 57-65.
- 新潟市 (1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005): 新潟市佐潟学術研究奨励補助金研究成果報告書, 平成10~平成16年度報告, 新潟市.
- 新潟市教育委員会 (1982): 佐潟の自然—オニバス保護を中心として—. 新潟市教育委員会.
- 新潟野鳥愛護会研究部 (2005): 平成16年度カモ科鳥類生息状況調査. 野鳥新潟, 129: 4-5.
- 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—. 日本砂丘学会誌, 44: 23-29.
- 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. 弘前大学教育学部紀要, 65: 17-36.
- 尾崎富衛 (1982): 佐潟の植物. 佐潟の自然—オニバスの保護を中心として—. 新潟県文化財調査報告書, 12-43. 新潟市教育委員会.
- Pollet, M & P. Grootaert (1996): An estimation of the natural values of dune habitats using Empidoidae (Diptera). Biodiv. Conser., 5: 859-880.
- Pott, R. & J.P. Hannover (1999): The European reed beds and their ecology with an example from the Frisian Islands in the Northern Sea. Contribution from Kansai Organization for Nature Conservation, 21: 271-288.
- Ryding, S.-O. and W.Rast (1989): The control of eutrophication of lakes and reservoirs. The Parthenon Publishing Group.
- 佐潟植生調査会 (1989): 佐潟植生調査報告書. むかご, 1-50.
- 志賀 隆・石沢 進 (2002): 新潟県頸城湖沼群の水生・湿生植物相. 水草研究会報, 74: 1-22.
- 鳥屋野潟生物調査会 (1986 a): 鳥屋野潟植生調査報告書.
- 鳥屋野潟生物調査会 (1986 b): 鳥屋野潟の陸水生物学的調査報告書.

鳥屋野潟植物調査会 (1994): 鳥屋野潟植生調査報告書 (植物相, 植生, 群落).

鳥屋野潟陸水生物調査会 (1989): 鳥屋野潟における動・植物等調査結果報告書.

UNESCO (2001): "The World Heritage List"
<http://www.unesco.org/pg.cfm?cid-31>

(Accessed 11 November 2005)

Van der Putten, W.H. (1997): Die-back of *Phragmites australis* in European wetlands: an overview of the European Research Programme on reed die-back and progression. *Aquat. Bot.*, 59: 263-275.

Appendix 1 Physical-chemical data of L.Mitarasegata measured in 2000-2002.

St.1

Date	Air T.	Water T.	水位	EC	pH	COD	DO	DO	Chl-a	Seston	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Cl	SO ₄	Na	K
	(°C)	(°C)	(cm)	(mS/cm)		(mgO/L)	(mgO ₂ /L)	(%)	(μg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
00/4/21	16.0	17.5	-	-	6.55	10.84	-	-	x	x	-	-	-	0.020	80.53	5.48	14.23	2.95
5.9	21.5	17.0	-	-	6.30	14.48	-	-	x	x	0.103	0.007	0.103	0.023	85.26	6.80	18.34	1.35

St.1*

Date	Air T.	Water T.	水位	EC	pH	COD	DO	DO	Chl-a	Seston	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Cl	SO ₄	Na	K
	(°C)	(°C)	(cm)	(mS/cm)		(mgO/L)	(mgO ₂ /L)	(%)	(μg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
01/4/23	4.0	12.2	(7)	0.479	6.11	-	6.96	67.0	8.4	7.2	0.129	0.029	17.121	0.030	20.25	47.11	19.34	3.13

St.2

Date	Air T.	Water T.	水位	EC	pH	COD	DO	DO	Chl-a	Seston	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Cl	SO ₄	Na	K
	(°C)	(°C)	(cm)	(mS/cm)		(mgO/L)	(mgO ₂ /L)	(%)	(μg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
00/4/21	16.0	18.0	-	-	7.36	6.90	13.68	148.9	51.0	4.4	-	-	-	0.017	22.03	74.39	17.93	1.25
5.9	20.4	20.0	55	-	7.70	9.92	13.33	150.7	121.9	1.7	0.096	0.072	5.783	0.017	22.47	69.54	18.64	1.21
5.23	23.0	21.1	-	-	7.39	9.56	12.51	144.3	19.8	6.0	0.191	0.153	3.938	0.038	23.61	74.01	21.19	1.40
6.9	16.8	20.6	-	-	6.95	13.51	3.62	41.4	67.1	14.7	0.117	0.009	0.058	0.124	33.17	43.03	24.35	1.39
6.27	17.0	16.0	-	-	7.72	14.67	11.61	121.4	210.1	17.3	0.161	0.028	0.900	0.032	24.52	43.31	21.10	1.34
7.13	21.3	18.5	-	-	7.20	13.82	8.90	97.8	367.4	28.0	0.161	0.051	4.012	0.093	20.66	41.47	18.69	1.69
7.27	23.0	20.5	-	-	7.88	11.23	15.87	181.1	99.5	14.0	0.142	0.023	1.550	0.026	23.30	45.51	18.18	1.57
8.15	23.5	26.7	-	-	-	10.41	4.80	60.7	100.0	20.5	0.082	0.005	0.090	0.185	44.11	42.32	30.50	1.55
01/3/25	15.1	13.8	(34)	0.433	6.81	16.06	12.33	123.1	29.8	26.0	-	-	-	-	-	-	-	-
4.8	21.5	17.0	(33)	0.430	6.69	4.37	12.71	135.6	11.8	2.8	-	-	-	-	-	-	-	-
4.23	8.0	9.1	(18)	0.464	6.37	1.73	4.47	40.0	5.7	6.0	1.504	0.059	17.957	0.026	26.08	45.95	20.56	4.22
5.7	24.6	21.1	(11)	0.441	6.31	3.00	9.75	112.5	12.1	4.8	1.334	0.044	16.847	0.025	24.55	55.18	19.75	4.03
5.25	20.3	18.1	(10)	0.409	6.29	18.40	2.23	24.3	32.5	15.0	0.007	0.017	16.889	0.031	26.39	47.51	20.88	4.56
6.9	22.0	22.0	(8)	0.464	6.63	4.97	4.48	52.5	22.9	21.5	0.029	0.008	16.623	0.025	20.21	65.83	21.64	4.24
6.29	24.6	21.9	(4)	0.419	-	7.02	7.57	88.6	46.9	46.0	0.016	0.022	17.843	0.027	22.69	58.48	20.54	4.07
10.28	-	14.4	(10)	0.448	6.29	6.74	3.09	31.2	10.5	24.7	0.119	0.039	14.591	0.074	21.71	48.94	22.99	3.73
11.19	11.0	9.5	(12)	0.503	6.11	4.53	2.74	24.8	14.8	5.0	0.075	0.040	21.3688	0.041	24.81	52.92	23.53	0.11
12.7	-	9.3	(17)	0.461	6.27	9.47	4.98	44.8	21.3	17.5	0.040	0.017	18.1957	0.043	22.45	46.75	12.23	0.07
12.23	6.0	10.1	(14)	0.448	6.31	7.08	5.80	53.2	4.8	3.5	0.031	0.023	18.2411	0.035	22.63	36.36	18.74	Tr.
02/1/16	-	6.5	(25)	0.436	6.22	7.21	5.45	45.8	12.0	4.3	0.028	0.016	20.5914	0.039	22.85	59.24	17.24	0.06
2.10	3.0	9.6	(22)	0.455	6.13	6.62	11.41	103.5	5.8	6.0	0.009	0.018	24.4381	0.030	23.23	62.44	18.80	Tr.

St.3

Date	Air T.	Water T.	水位	EC	pH	COD	DO	DO	Chl-a	Seston	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Cl	SO ₄	Na	K
	(°C)	(°C)	(cm)	(mS/cm)		(mgO/L)	(mgO ₂ /L)	(%)	(μg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
00/4/21	18.5	16.2	83	-	9.68	18.80	15.74	165.3	251.8	6.2	-	-	-	0.020	33.11	67.05	21.11	3.51
5.9	17.2	19.1	90	-	9.68	14.48	13.33	148.2	121.9	1.7	0.019	0.001	0.106	0.020	41.89	60.54	27.74	1.72
5.23	20.5	22.6	84	-	8.90	24.36	10.56	125.1	181.3	42.0	0.107	0.003	0.065	0.072	45.88	49.87	34.31	1.90
6.9	17.9	23.2	73	-	8.39	22.84	6.47	77.4	170.0	42.0	0.159	0.002	0.024	0.122	51.42	46.65	32.61	1.54
6.27	18.0	20.5	67	-	8.05	14.60	5.88	67.1	109.8	16.5	0.202	0.002	0.065	0.095	45.83	32.80	30.13	1.64
7.13	20.6	21.1	72	-	8.91	24.69	6.75	77.9	193.5	29.0	0.153	0.003	0.087	0.059	44.06	32.85	29.04	1.60
7.27	25.0	22.5	81	-	9.00	12.72	12.48	147.5	70.5	17.0	0.109	0.001	0.016	0.011	50.42	36.28	29.25	1.66
8.15	25.0	27.5	54	-	[9.53]	18.89	7.84	100.4	315.7	77.0	0.098	0.001	0.196	0.008	76.15	48.85	42.85	1.99
8.29	25.5	27.0	38	-	8.24	33.38	10.49	133.3	882.6	126.0	0.189	0.002	0.006	0.014	63.37	60.88	38.42	1.62
9.12	21.0	21.0	31	-	7.04	24.86	3.16	36.4	464.4	75.0	0.159	0.002	0.008	0.025	37.12	34.22	22.33	0.85
9.30	18.5	19.0	26	-	8.60	26.78	13.04	144.7	252.6	62.0	0.167	0.001	0.005	0.026	25.81	164.46	22.81	1.08
10.17	18.0	17.0	24	-	6.97	23.06	13.43	143.3	184.9	50.0	0.125	0.001	0.005	0.026	26.35	161.14	23.98	1.11
01/3/25	13.0	12.0	68	0.316	9.41	26.08	11.65	111.7	59.7	27.0	-	-	-	-	-	-	-	-
4.8	19.7	15.0	63	0.320	9.81	23.13	13.26	135.8	93.7	30.2	-	0.047	0.958	0.088	30.00	40.67	19.42	4.87
4.23	12.0	13.4	51	0.373	9.92	26.78	12.96	128.2	97.7	49.0	0.025	0.001	0.019	0.003	39.64	42.82	25.36	5.03
5.7	19.8	23.2	38	0.393	10.48	22.54	17.86	213.7	149.2	98.5	-	Tr.	0.114	0.008	36.13	38.44	38.76	4.18
5.25	24.0	21.6	23	0.331	10.85	37.87	15.66	182.3	337.7	103.0	-	0.010	0.032	0.188	34.05	33.58	22.62	3.54
6.9	22.2	32.7	17	0.384	10.85	39.52	19.50	268.7	273.4	131.0	0.099	0.002	0.010	0.082	32.82	48.04	23.36	4.28
6.29	24.5	26.2	36	0.278	-	33.60	12.65	158.8	129.0	91.0	0.022	0.001	0.038	0.066	21.42	58.43	12.39	2.61
7.22	27.1	27.5	17	0.361	8.57	39.11	6.34	81.2	712.3	143.8	0.136	0.002	0.073	0.257	21.48	57.54	18.55	4.66
7.31	30.4	28.9	18	0.400	10.28	37.97	9.90	129.4	982.1	211.0	0.039	0.002	0.022	0.126	28.13	63.60	23.10	5.39
8.17	28.0	33.1	(19)	0.452	10.18	40.92	13.58	188.1	1925.2	400.0	2.064	0.004	0.062	0.051	67.25	39.05	44.44	6.52
9.2	24.3	22.1	(15)	0.512	7.42	32.63	6.04	70.9	404.0	75.0	1.927	0.003	0.036	0.053	36.90	74.65	27.91	4.74
9.20	22.9	18.1	(14)	0.401	6.52	34.12	Tr.	Tr.	183.5	48.0	0.611	0.002	0.086	0.122	19.02	72.53	12.63	1.77
10.28	-	-	(3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.19	10.5	9.0	(13)	0.317	6.78	37.91	4.18	37.4	334.3	130.0	1.812	0.007	0.227	0.175	21.68	48.51	14.33	3.32
12.7	-	10.3	(19)	0.381	6.59	31.81	10.37	95.6	120.2	71.0	0.822	0.080	2.27853	0.039	27.79	41.12	16.40	1.58
12.23	7.4	4.0	(23)	0.411	6.68	22.93	9.29	73.2	86.2	39.0	0.570	0.078	4.21755	0.030	31.73	41.30	18.05	1.28
02/1/16	-	8.1	(39)	0.284	6.55	23.44	10.58	92.5	162.5	56.0	0.031	0.061	4.86446	0.023	29.58	44.03	15.77	0.57
2.10	4.4	3.0	52	0.313	6.41	18.29	15.15	116.2	81.3	26.0	0.005	0.041	6.25279	0.007	28.89	48.90	15.83	Tr.

-: Not determined.

Tr.: trace

x: not contained

(): water depth at sampling point

[]: measured on 21 Aug 2000

{ }: measured on 15 Aug. 2000

Appendix 1 Continued.

St.4

Date	Air T. (°C)	Water T. (°C)	水位 (cm)	EC (mS/cm)	pH	COD (mgO/L)	DO (mgO ₂ /L)	DO (%)	Chl-a (μg/L)	Seston (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
00/4/21	19.0	15.0	72	-	9.89	20.76	19.07	195.3	421.1	4.4	-	-	-	0.056	54.61	61.68	34.63	1.99
5.9	16.1	18.6	79	-	9.68	26.88	12.64	139.2	384.3	3.4	0.093	0.001	0.022	0.020	55.75	59.30	35.22	2.06
5.23	18.6	20.8	73	-	9.00	26.84	9.22	105.8	207.6	50.0	0.099	0.002	0.008	0.077	57.64	50.52	35.59	1.86
6.9	18.1	22.4	64	-	7.88	18.24	4.95	58.4	182.8	41.0	0.142	0.002	0.011	0.170	63.06	44.05	39.37	1.84
6.27	19.0	19.5	62	-	7.76	20.22	5.59	62.6	101.6	20.0	0.150	0.002	0.050	0.077	51.74	31.34	33.16	1.60
7.13	22.0	20.5	62	-	7.40	13.94	1.31	14.9	108.0	24.0	0.145	0.001	0.040	0.062	52.62	32.95	33.68	1.78
7.27	24.0	20.0	73	-	6.81	12.83	0.39	4.4	86.6	14.5	0.185	0.001	0.041	0.046	69.74	34.07	39.01	2.19
8.15	25.5	26.0	49	-	[7.78]	15.22	1.36	17.0	204.9	24.7	0.087	0.001	0.064	0.007	81.17	44.19	42.59	2.02
8.29	24.3	25.0	29	-	7.10	27.87	Tr.	Tr.	640.3	72.0	0.436	0.002	0.012	0.083	62.34	53.86	41.87	2.20
9.12	20.0	21.0	23	-	6.94	22.18	0.57	6.6	324.6	36.0	6.195	0.004	0.011	0.147	32.24	18.96	19.37	1.51
9.30	16.9	16.0	20	-	7.59	30.18	3.69	38.6	662.3	128.0	0.163	0.001	0.007	0.038	29.37	135.67	22.71	0.89
10.17	17.2	16.0	16	-	6.80	26.41	6.35	66.4	490.9	106.0	0.112	0.001	0.006	0.023	29.60	150.28	23.62	1.01
01/3/25	14.5	11.2	57	0.347	9.04	21.54	10.13	95.4	123.7	26.5	-	-	-	-	-	-	-	-
4.8	19.0	15.0	57	0.370	9.79	25.88	6.78	69.4	178.5	33.2	0.390	0.009	0.186	0.146	46.25	31.20	29.74	5.43
4.23	15.0	17.6	-	0.375	9.51	27.70	12.53	135.3	123.1	99.0	1.751	0.003	0.026	0.006	47.40	53.98	29.60	5.13
5.7	25.6	26.0	40	0.374	10.45	19.87	18.59	232.7	277.0	113.0	-	0.001	0.123	0.007	39.68	39.73	26.32	4.58
5.25	19.2	23.0	(11)	0.330	8.17	38.44	8.58	102.3	626.3	156.3	0.008	0.004	0.030	0.040	35.20	33.63	23.86	3.37
7.31	35.0	28.5	(14)	1.609	7.14	26.13	0.59	7.7	271.8	122.0	7.262	0.005	0.039	1.323	381.80	13.18	227.17	17.23
12.7	-	9.5	(8)	0.381	6.69	40.77	6.41	58.0	388.3	170.0	0.856	0.072	3.4122	0.040	27.26	24.50	16.42	Tr.
12.23	7.8	3.3	(10)	0.397	6.72	41.87	8.80	68.0	501.5	315.0	0.757	0.103	3.93627	0.060	33.89	43.98	19.24	2.16
02/1/16	-	4.7	(18)	0.289	6.27	15.62	3.46	27.8	55.8	11.0	0.283	0.048	3.28587	0.132	28.25	33.81	15.37	0.07
2.10	2.0	4.0	(32)	0.316	6.51	16.27	14.98	117.9	52.1	18.0	0.004	0.041	6.0993	0.010	29.51	47.84	16.29	Tr.

St.5

Date	Air T. (°C)	Water T. (°C)	水位 (cm)	EC (mS/cm)	pH	COD (mgO/L)	DO (mgO ₂ /L)	DO (%)	Chl-a (μg/L)	Seston (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
00/4/21	19.0	16.0	32	-	9.65	16.40	20.39	213.2	384.0	4.4	-	-	-	0.086	51.21	53.02	32.20	1.86
5.9	18.2	22.2	39	-	9.41	11.28	22.68	266.7	293.8	3.0	0.110	0.002	0.064	0.010	79.28	58.18	42.01	2.27
5.23	22.0	22.0	35	-	8.64	22.28	7.01	82.2	155.4	24.0	0.282	0.003	0.478	0.129	129.44	56.62	68.48	3.03
6.9	17.5	21.4	23	-	7.11	12.49	0.60	7.0	20.9	7.1	1.932	0.007	0.057	0.254	87.85	36.09	51.68	2.76
6.27	17.1	18.0	23	-	7.09	12.02	0.40	4.4	11.4	3.2	3.763	0.004	0.054	0.198	95.35	27.20	55.46	2.63
7.13	21.0	18.0	21	-	7.25	9.75	0.79	8.6	13.5	1.6	6.581	0.019	0.156	0.173	109.84	26.22	61.43	3.43
7.27	24.0	19.5	29	-	6.73	7.37	0.56	6.3	5.4	2.8	4.521	0.004	0.280	0.205	134.34	26.98	72.43	4.03
8.15	26.0	29.0	{0}	-	7.22	8.28	-	-	13.3	4.4	4.653	0.004	0.075	0.199	150.24	48.50	114.38	5.33
8.29	28.0	26.0	0	-	7.16	8.67	1.70	21.3	39.1	6.0	8.759	0.004	0.016	0.273	111.56	52.88	76.74	4.65
9.12	20.2	21.0	0	-	6.90	11.22	2.32	26.7	16.5	7.0	10.301	0.037	0.204	0.187	65.80	166.84	44.45	5.66
9.30	19.5	17.5	0	-	6.98	13.12	18.71	201.7	3.9	52.7	2.702	0.044	0.049	0.093	65.78	91.13	43.12	3.58
10.17	18.2	17.0	0	-	6.78	31.95	8.48	90.5	1169.7	193.3	0.092	0.019	0.090	0.124	38.61	96.81	30.91	2.40
10.31	12.9	9.0	0	-	6.90	11.88	3.85	34.4	91.4	22.0	0.501	0.010	0.048	0.272	36.37	78.30	25.80	2.68
11.14	8.0	6.0	0	-	7.45	13.68	6.26	51.9	78.6	22.0	0.041	0.003	0.070	0.095	30.57	59.29	21.17	2.01
11.30	9.0	6.0	0	-	7.71	14.58	8.46	70.2	177.8	32.0	0.459	0.024	0.264	0.203	115.15	52.56	90.64	3.08
12.14	3.0	2.5	0	-	6.68	7.66	12.23	92.5	73.0	17.3	0.363	0.046	0.682	0.116	121.18	49.03	87.51	2.96
01/3/25	16.2	15.1	(39)	0.370	9.42	27.98	13.40	137.5	146.0	38.2	-	-	-	-	-	-	-	-
4.8	19.1	18.9	(39)	0.538	9.09	31.70	10.44	115.6	161.8	35.0	-	0.008	0.151	0.201	94.66	32.93	60.03	7.80
4.23	11.3	14.7	(31)	0.563	8.78	31.46	9.81	99.8	158.4	60.0	Tr.	0.002	0.023	0.008	103.74	46.67	63.36	7.95
5.7	21.8	24.8	(17)	0.493	8.59	25.50	9.51	116.8	179.9	196.0	0.002	0.003	0.029	0.009	86.05	37.49	53.86	7.32
5.25	18.9	22.9	(13)	0.450	7.49	32.05	6.52	77.6	136.1	32.0	0.035	0.002	0.026	0.018	51.91	44.58	35.87	6.18
7.31	34.5	29.1	(4)	2.014	6.49	18.80	Tr.	Tr.	44.7	30.5	10.820	0.018	0.051	1.222	557.31	7.14	338.15	27.46
9.2	28.2	29.4	(3)	0.851	6.42	33.40	1.89	24.9	332.3	72.0	-	0.036	0.159	2.610	201.93	46.45	-	-
12.7	-	9.4	(19)	0.380	6.71	14.35	11.57	104.4	30.1	10.0	0.779	0.050	2.21887	0.062	28.22	36.90	17.44	1.39
12.23	5.0	4.5	(14)	0.375	6.81	27.75	10.67	85.1	176.3	72.0	0.787	0.051	2.47352	0.049	33.69	35.29	19.03	1.55
02/1/16	-	4.6	(32)	0.264	6.42	9.94	6.39	51.1	56.7	3.1	0.159	0.022	0.66934	0.040	38.40	29.35	22.22	0.16
2.10	1.2	4.5	(41)	0.417	6.60	16.70	14.03	111.9	25.8	20.0	0.008	0.018	0.95704	0.031	77.20	32.48	44.55	0.07

-: Not determined,

Tr.: trace

x: not contained

(): water depth at sampling point

[]: measured on 21 Aug 2000

{ }: measured on 15 Aug. 2000