

猪苗代湖における水質の中性化について*

菊 地 宗 光**・佐 藤 政 寿**

キーワード ①猪苗代湖 ②酸性湖 ③中性化 ④pH上昇

要 旨

猪苗代湖は我が国最大の酸性湖であったが、1995年頃から急激なpHの上昇が見られ、2008年にはpH6.5と中性化しつつある。1998年から2008年の調査データからpH、水中の無機イオン濃度、鉄等の金属、プランクトン種の推移について考察した結果、硫酸イオン、塩素イオン、カルシウムイオンが減少し、ナトリウムイオン濃度は逆に増加傾向にあった。pHは2007年には約6.5となり、硫酸イオン濃度の低下に伴い上昇傾向の緩慢化が見られ、負の相関が認められた。鉄、マンガン、アルミニウム濃度も同様に低下しており、湖水に含まれるこれらの溶存成分濃度が低下し、pHの上昇が起きていると考えられた。

また、pHの上昇に伴って、動物、植物プランクトンの種類と量が多くなり、非調和型の酸栄養湖から調和型湖沼に変化してきた。

1. はじめに

猪苗代湖は福島県のほぼ中央を縦断する奥羽山脈の西側に位置し、郡山市、会津若松市、猪苗代町にまたがり、湖面境界は1999年に確定し、郡山市が南側約25%の面積を有している。湖面標高514m、面積104.8km²、最大深度94.6m、平均深度51.5m、容積5.4Km³であり、我が国においては、面積では琵琶湖、霞ヶ浦、サロマ湖に次いで第4位、容積では琵琶湖、支笏湖、洞爺湖、田沢湖に次いで第5位の大湖沼である^{1,2)}。

図1に猪苗代湖周辺の概要図を示した。本湖の成因については鈴木(1987)田村(1999)等により考察がなされ、湖東側の断層と湖西側の断層に挟まれた猪苗代地域が落ち込み、盆地が形成され、さらに約8万年前頃に火山噴出物がこの盆地から会津盆地に流れる日橋川を塞ぎ、猪苗代湖が出現

したと考えられている^{3,4)}。

本湖の北に磐梯山があり、1888(明治21)年の噴火で真北に流出した土石流が長瀬川及び中小河川を塞ぎ止め、桧原湖をはじめ裏磐梯湖沼群と呼ばれる多数の湖沼が形成された。本湖に流入する最大の河川は、この裏磐梯湖沼群を水源とする長瀬川であり、全流入水量の約60%を占め、流出河川は日橋川のみで日本海に流出していた。1882(明治15)年安積疏水の開削を契機に、分水嶺を超えて東の五百川を経由し太平洋側に導水され、郡山盆地の水田灌漑用水や水力発電、水道水源等に利用され、吉越(1982)は、高度化された水利用をする湖沼として地理学的に特色があると報告している⁵⁾。

図2に1974年から2008年までの湖心の深度別pHの推移を示した。本湖は1990年頃まではpH

*Recent Neutralization from Acidic Lake Water in Lake Inawashiro

**Munemitsu KIKUCHI, Masatoshi SATO (郡山市環境保全センター) Koriyama City Environmental Center

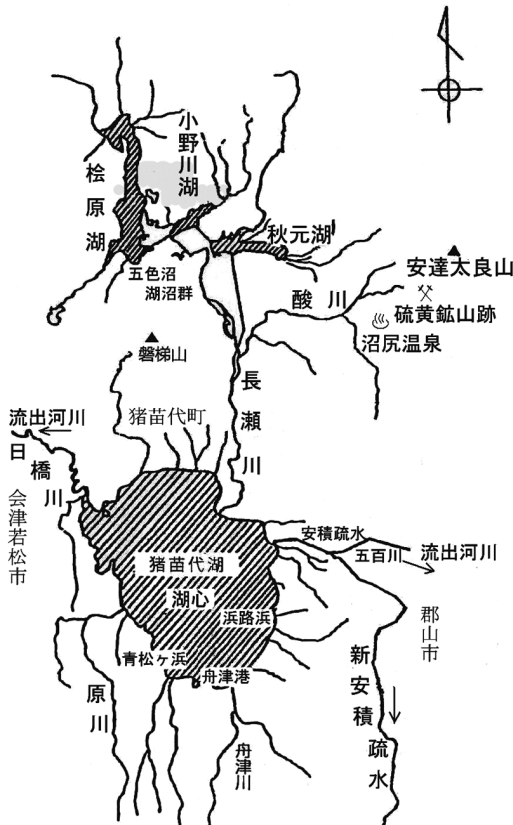


図1 猪苗代湖周辺の概要図

5.0程度と我が国最大の酸性湖沼であったが、1995年頃を境に急激な上昇傾向を示し、10年間で約1.5高くなり、2007年にはpH6.5と中性化が進行している⁶⁾。

本湖が強い酸性を示すことは昭和初期から知られており、その原因は、最大の流入河川である中性の長瀬川に、途中から安達太良山系に源を発する強酸性の河川である酸川が合流し長瀬川が酸性化するためである。酸川の上流には、沼尻・中の沢の両温泉と、昭和42(1967)年までイオウを採取し精錬していた沼尻鉱山の廃坑があり、これらから湧出する地下水や温泉水が強い硫酸酸性を示し、酸川及び長瀬川を経由し湖水に酸性成分を供給している^{7~10)}。

過去の文献では、本湖のプランクトン相に關し、酸性湖のため存在量が極めて乏しいとされていた。益子(1973)は、湖岸部ではプランクトン量の比較的多い地点も認められるが、湖心部ではプランクトンが少なく *Bosmina longirostris* (ゾウミ

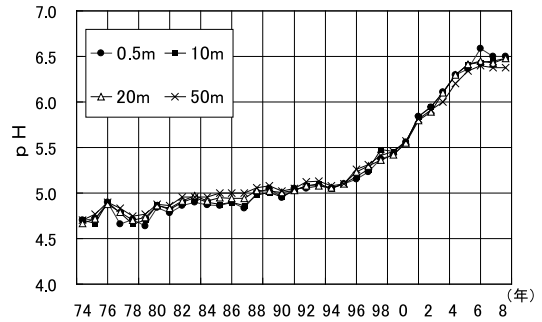


図2 猪苗代湖湖心の深度別 pH の推移
(各層の年間平均値 文献6より作図)

ジンコ)と緑藻 *Microspora stagnorum* の2種が見いだされるにすぎないと報告している¹¹⁾。

福島県内水面水産試験場(1979成田)は、湖水全域で有光層以浅のプランクトンとして動植物あわせて100種以上あるが、5,000~140,000個/m³の *Bosmina longirostris* が優占種として分布していることを報告している¹²⁾。

橋爪(1975)は、猪苗代湖、洞爺湖、屈斜路湖の無機酸性3湖沼に共通して出現したナノプランクトンの *Nannochloris* が、本湖において1974年10月の調査で8,000個/mlの生息を確認し、典型的な好酸性種であると報告している^{13,14)}。

筆者は、この *Nannochloris* sp.を単離しpH増殖特性を調べたが、酸性種の代表ともいわれる本種が、pH7に近いほど増殖速度及び最大増殖量が高く、逆にpHが3に近いほど阻害されるという結果を得ている^{15~17)}。

山形大学の研究(1999~2005)によると、pH5.2の酸性のため強い無機炭素欠乏を受けて一次生産が極めて低いこと、栄養塩としては窒素よりもリンが制限因子であること、湖水中のクロロフィルのサイズ画分では、2から20 μ mの植物プランクトンが70%以上を占め一次生産に重要な役割を果たしていること、長瀬川河川水の混合試験で主に鉄がリンを吸着して共沈していることを報告している^{18~21)}。

本湖の水質が酸性湖から中性湖へ大きく変貌しつつあり、なぜ急激なpH上昇を引き起こしたのかについては未だに不明な部分が多く、ここ数年の大腸菌群数の増加やCODの上昇傾向など、pH上昇が生物生産を豊かにする反面で水質悪化をも

たらずことが懸念されている。

本稿では、中性化が進行する猪苗代湖の水質やプランクトン等への影響について、近年の水質調査結果をもとに考察した。

2. 方 法

2.1 調査地点および採取方法

調査は、図 1 に示した湖心、浜路浜沖、舟津港沖、青松ヶ浜沖の 4 地点で行った。

採水は、ボートからバンドーン採水器を用いて採取した。ネットプランクトンは、北原式 Nxx25 閉鎖ネットを用いて垂直引きで採取し、現場で中性ホルマリン、グルタルアルデヒドで固定し持ち帰った。

現場で、水温、透明度を測定した。

2.2 調査期間

1998年から2008年の4月から11月まで、表層水については年 8 回行った。なお、5月、7月、9月の3回は湖心の表層水(0.5m)、5m、10m、20m、30m、40m、50mの深度別で調査を行った。

2.3 理化学項目

湖水の pH、電気伝導度、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 F^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} 、T-P、T-N、T-Fe、T-Mn、T-Al は JIS 法に従って分析した。

クロロフィル-a は、吸光光度法²²⁾により測定した。

2.4 プランクトンの分類および計数

ネットプランクトンは、室内で静置沈殿濃縮し、界線入りスライドグラスに0.1mlを分取し、光学顕微鏡下で計数した。分類は、日本淡水プランクトン図鑑(水野1979)²³⁾、日本淡水藻類図鑑(廣瀬・山岸1981)²⁴⁾、日本淡水動植物プランクトン図鑑(田中2002)²⁵⁾を参照した。

ナノプランクトンは採水試料を現場でホルマリン固定し、橋爪の方法²⁶⁾に従い遠沈濃縮法で20～200倍に濃縮後、光学顕微鏡下で計測した²⁷⁾。

3. 結果および考察

3.1 pHの変動について

図 3 に、1998年4月から2008年11月までの表層水の pH 推移と電気伝導率の推移を、図 4 に表層から50m 層までの深度別 pH の推移を示した。

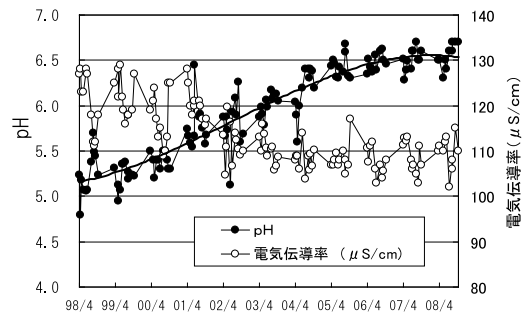


図 3 湖心表層の pH と電気伝導率の推移
(実線は pH への近似曲線を示す)

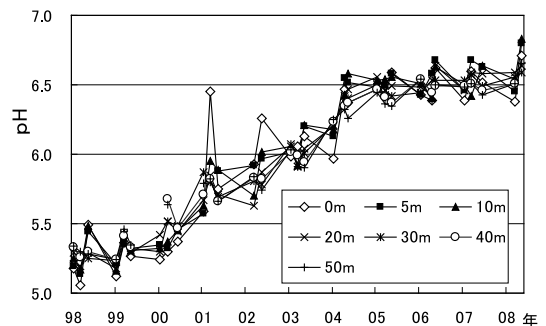


図 4 湖心深度別の pH 推移

pH は平均でここ11年の間に5.2から6.5へと1.3 高くなり、pH6.5内外で安定化したとも見える。電気伝導率は電解質の多少を示す指標であり、平均121 $\mu\text{S}/\text{cm}$ から110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ へと11 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 低下したことは、湖水中の電解質が薄まっていることを示していると考えられる。

3.2 イオン濃度および金属濃度の推移

図 5 に湖心表層水の Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ のカチオン濃度推移を示したが、 Na^+ 濃度のみが増加し、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ は減少傾向にあった。図 6 に湖心表層水の、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- のアニオン濃度推移を示したが、これらすべてが減少傾向にあった。

また、図 7 に湖心の深度別の硫酸イオン濃度推移を示したが、若干の上下があるものの、表層水と同様な傾向にあり年々低下傾向がうかがえる。

pH と SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- など減少傾向のイオンには統計的に有意な負の相関が認められ、 SO_4^{2-} との相関が最も高かった。

図 8 に湖心表層水の T-Fe、T-Mn、T-Al の推移

を示した。T-Al は変動が大きい、変動下限値ではT-Mn と同程度の濃度であり、年々低下傾向にあった。T-Fe も同様で、近年は検出下限まで低下している。猪苗代湖および流入河川のイオンについては、福島県環境センターの菊地(2008, 2009)^{28,29)}らが詳細に研究しており、同様に、湖水中のイオン総和および金属イオンも減少していることを報告している。また、1995年から2004年にかけて安達太良山の火山活動が活発になったことで、泉温が1995年頃から急上昇し、泉質の性状が変化したことから流入河川の水質が変化したと推

測している。

3.3 プランクトン相の変化

図9に浜路浜、舟津港、青松ヶ浜の動物プランクトン数の推移を示した。主に分類上の門にグルーピングしたが、動物プランクトンでは2002年頃から個体総数が増加し、ワムシ類の *Polyarthra* sp.が優占種であった。植物プランクトン数の推移を図10に示したが、近年、黄色鞭毛藻類の *Dinobryon* sp.増加が顕著である。この傾向は、湖心でも同様な傾向であり *Dinobryon* 等の黄色鞭毛

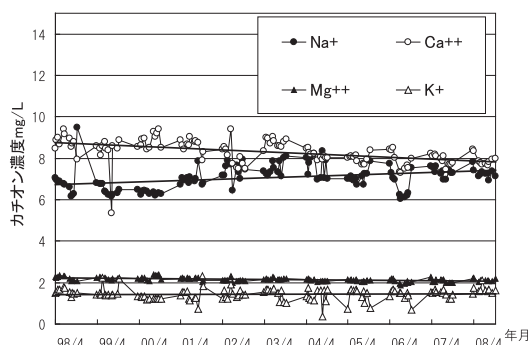


図5 湖心表層水のカチオン濃度推移

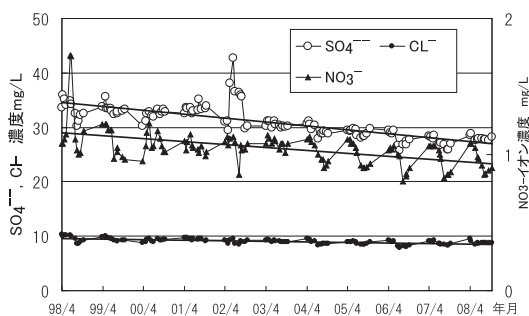


図6 湖心表層水のアニオン濃度推移

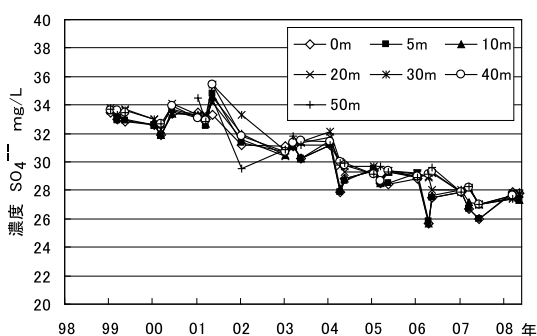


図7 湖心深度別の硫酸イオン濃度推移
(98年は測定していない)

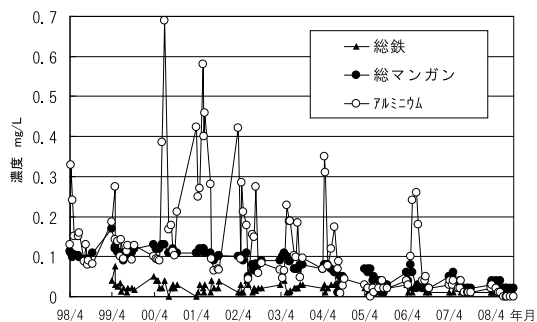


図8 湖心表層水のFe, Mn, Alの推移

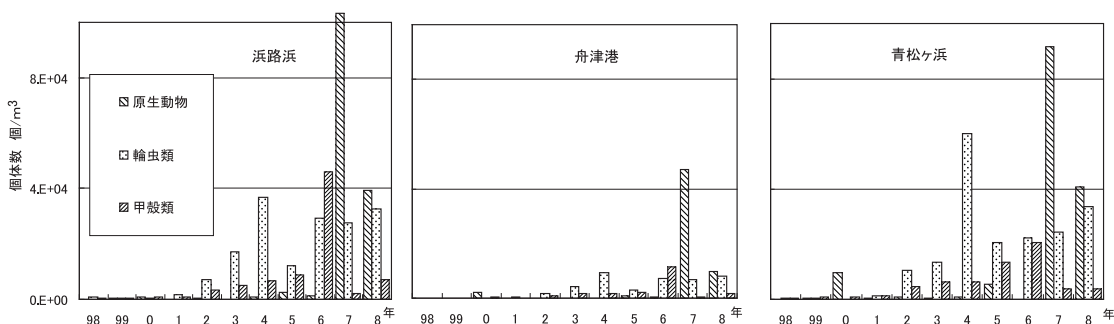


図9 動物プランクトン数の推移(平均)

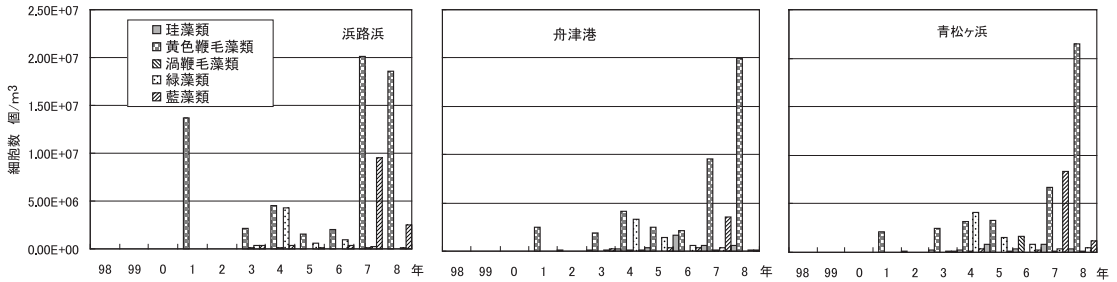


図10 植物プランクトン数の推移(平均)

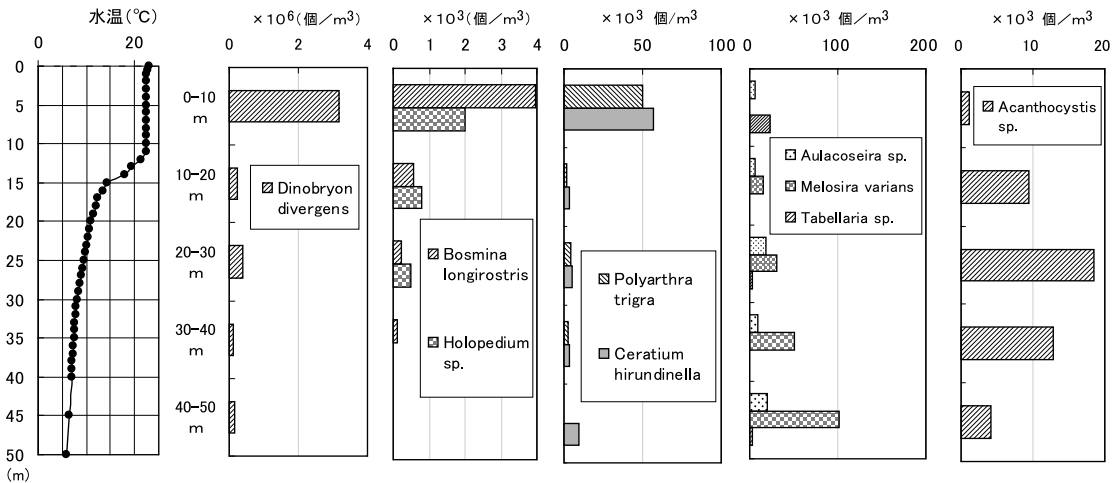


図11 湖心の主要プランクトンの垂直分布(2008. 9. 17調査)

藻類は光合成と同時に細菌や微小顆粒を捕食する混合栄養型で²⁹⁾、近年の中性化によって、水中細菌や微小有機物が増加しているためと考えられる。

図11に、2008年9月17日に調査した湖心の垂直水温と主要プランクトンの垂直分布を示した。水温躍層が10mから20mにあり、甲殻類の *Bosmina longirostris*, *Holopedium sp.*, ワムシ類の *Polyarthra triga*, 鞭毛藻類の *Ceratium hirundinella*, 黄色鞭毛藻類 *Dinobryon divergens* は、水温躍層より上に多く、下に行くほど減少していた。ケイ藻類の *Melosira varians* と太陽虫 *Acanthocystis sp.* は、下層に多い結果となっていることは注目される。

この調査時の透明度は14mで、2倍の約28mまでが補償深度と考えられ、これより上層で光合成生産と動物プランクトンによる捕食、バクテリアによる分解等の食物連鎖が構成されていると

推定される。20m層までの生試料を持ち帰り顕鏡したが、ワムシ類 *Collotheca sp.*, *Asplanchna priodpna.*, *Polyarthra. triga.*, 甲殻類 *Holopedium sp.*, 渦鞭毛藻 *Ceratium hirundinella*, 黄色鞭毛藻類 *Dinobryon divergens* 等の以前の pH5 の水質下では見られなかった種が盛んに活動し捕食も観察された。これらの種のほとんどは、本湖の上流にある桧原湖など裏磐梯湖沼で1972年頃³⁰⁾に普通に見られた種であり、近年本湖で増加していることは、中性化とともに Al イオンなどの阻害要因³¹⁾が低下したこと、これらの生物の餌となる有機物が増加していること等、プランクトンにとっては健全な湖沼環境になっているといえるかもしれない。

4. ま と め

1998年から2008年調査データから、中性化が進行する猪苗代湖の水質について考察した。pHは5.2から6.5へと1.3高くなり、pH6.5程度でピー

クとなってきたように見受けられる。これに対応するように電気伝導率も低下している。無機イオンは、 Na^+ 濃度のみが増加し、これ以外のアニオン、カチオンともに減少していた。T-Fe, T-Al, T-Mnの金属も無機イオンと同様に減少しており、pHの中性化に伴い不溶化していると考えられる。

これらのことから、湖水への無機イオンや金属の供給量が減少したこと、湖水が中性水域から供給される河川水で希釈されたことの二つの可能性が考えられるが、ここ10数年で急激にpHが高くなったことから、1995年から2004年にかけて安達太良山の火山活動が活発になったこととの関連を考慮する必要がある。

湖水中のプランクトンについては、中性化の進行に伴い、種類と量の増加が認められ、本湖が従来の硫酸酸性という非調和型の酸栄養湖から調和型湖沼に変化していることを示すものである。本湖の一次生産は酸性のため強い炭酸制限を受けていたが、中性化によって一つの制限因子が解き放たれ、水質がさらに悪化することが懸念される。

—引用文献—

- 1) 国立天文台編：理科年表。P589, 2004, 丸善
- 2) 吉村新吉：猪苗代湖の湖沼学的研究。資源科学研究所報告 1, No2, 145-165, 1944
- 3) 鈴木敬治：⑤猪苗代盆地の形成。アーバンクボタ, No 26 22-23, 1987
- 4) 田村俊和：盆地と火山の湖—磐梯・猪苗代湖の土地の成り立ち—。学報 10(3), 1-7, 財団法人野口英世記念会 1999
- 5) 吉越昭久：高度化された水利用をする湖沼—猪苗代湖。Vol 27, 5, 36-41, 地理, 古今書院, 1982
- 6) 福島県：福島県水質年報。1990~2007
- 7) 山村彌六郎：猪苗代湖に於ける pH の分布と硫酸塩との関係。陸水学雑誌, 9 巻, P123-126, 1939
- 8) 吉村新吉：湖沼学増補版。生産技術センター 160-161
- 9) 千葉茂, 赤井由美子, 高橋勝：福島大学特定研(猪苗代湖の自然)研究報告。No3, 167-172, 1982
- 10) 小林純, 森井ふじ, 村本茂樹, 中島進, 浦上佳子, 西崎日佐夫, 寺岡久之, 長尾憲人：東北地方の河川水質について。農学研究 55, 103-144 1976
- 11) 益子帰来也, 渡辺仁治, 上条裕規：猪苗代湖の湖沼学的研究, 陸水富栄養化の基礎的研究 第2集 p19-22 1973
- 12) 成田宏一：福島県内水面水産試験場研究報告。No.3, 87

- 92, 1979
- 13) 橋爪健一郎：無機酸性3湖沼に共通して出現したナノプランクトン *Nannochloris* sp., 日本水処理生物学会第12回大会, 1975
- 14) 南部祥一, 橋爪健一郎：国立公園主要湖沼の植物について。水質汚濁研究に関するシンポジウム講演集, 日本水質汚濁研究会, p107-113, 1977
- 15) 田中正明：日本湖沼誌。P243-247, 名古屋大学出版会, 1992
- 16) 菊地宗光：猪苗代湖の緑藻ナノクロリスの増殖特性。清らかな湖, 美しい猪苗代湖の秘密を探る水環境研究誌, 日本大学工学部・福島県環境センター共同研究発表会「清らかな湖, 美しい猪苗代湖の秘密を探る講座」運営協議会, P136-139, 2008
- 17) 菊地宗光, 安江和代, 斎藤修, 郡司佳夫, 木村三夫, 根本博：猪苗代湖の水質とナノプランクトンの季節変動。日本陸水学会第49回大会 講演要旨集。筑波, p-96, 1984
- 18) 母袋勇人, 菊地克彦, 日野修次, 新田起志雄, 菊地宗光, 村田光美, 坂本勝昭：酸性湖沼(猪苗代湖)の一次生産。陸水学会講演要旨集, p-172, 1999
- 19) 袋昭太, 馬場康雄, 日野修次, 新田起志雄, 菊地宗光, 安江和代, 渡辺悟：猪苗代湖における藻類の分布と光合成活動の変動。陸水学会講演要旨集, p-153, 2001
- 20) 馬場康雄, 袋昭太, 日野修次, 新田起志雄, 菊地宗光, 安江和代, 渡辺悟。猪苗代湖流入河川におけるリンの除去機構に関する考察：陸水学会講演要旨集, p-173, 2001
- 21) 前原康博, 日野修次, 杉山浩一, 毛利秋仁, 渡辺悟, 斉藤直樹, 菊地宗光, 新田起志雄：猪苗代湖における植物プランクトンの光や栄養塩に対する光合成活性の変動：陸水学会講演要旨集, p-280, 2003
- 22) 西条八束：クロロフィルの測定法, 陸水学雑誌, 36巻, 3, P103-109, 1975
- 23) 水野寿彦：日本淡水プランクトン図鑑。保育社, 1979
- 24) 廣瀬弘幸・山岸高旺編：日本淡水藻類図鑑, 内田老鶴園, 1999
- 25) 田中正明：日本淡水動植物プランクトン図鑑, 名古屋大学出版会, 2002
- 26) 福島県：猪苗代湖のプランクトン調査結果報告書(昭和51年福島県委託)。1976
- 27) G. M. SMITH: THE FRESH-WATER ALGAE OF THE UNITED STATES, MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1950
- 28) 菊地克彦：中性化している猪苗代湖の水質変化。日本陸水学会第74回大会 講演要旨集, 大分, P97, 2009
- 29) 菊地克彦：猪苗代湖のイオン成分調査結果, 日本陸水学会第73回大会 講演要旨集, 札幌, P255, 2008
- 30) 千原光雄編著：藻類多様性の生物学, p111-123, 内田老鶴園, 1997
- 31) 津田松苗編著：日本湖沼の診断—富栄養化の現状。p68-79, 共立出版, 1975
- 32) 花里孝幸：ミジンコ その生態と湖沼環境問題, p154-158, 名古屋大学出版会, 2000