

鹿児島県上甌島に分布する 沿岸性汽水湖沼群の湖水環境

久保尚子¹・沢井祐紀¹・鹿島 薫¹

Water environment of the coastal brackish lakes (Namako-ike, Kai-ike, Kazaki-ike), Kamikoshiki Island, Kagoshima Prefecture

Naoko Kubo¹, Yuki Sawai¹ and Kaoru Kashima¹

Abstract: The coastal brackish lakes, Lake Namako-ike, Lake Kai-ike and Lake Kazaki-ike lie to the north-east shore of Kamikoshiki Island in Kagoshima Prefecture of Japan. They are separated from the sea by a long gravel bar called as "Nagameno-hama". Quality of water (salinity, electric conductivity, pH, Cl⁻, dissolved oxygen, H₂S), change of water levels and distribution of diatom assemblage and analysis of total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN) and total sulfur (TS) contents in the surface sediments were carried out, for clearing water environment of the three lakes.

The three lakes have different salinity. At Lake Namako-ike, the salinity of surface water was 30 ~ 34‰. At Lake Kai-ike, 20 ~ 29‰. At Lake Kazaki-ike, 5 ~ 9‰. Lake Kai-ike is stratified, the layer of high salinity is covered by the layer of low salinity, and the deeper layer contained a significant amount of H₂S. It has a bacterial plate in the upper H₂S layer. Analysis of TOC, TN and TS content in the surface sediments and distribution of diatom assemblage are corresponded to the difference of environment in the three lakes.

Quality of water has been kept up at least 13 years in comparison with Matuyama.(1985) and Yamamuro.(1978) Inflow and outflow of seawater has been kept up at least 50 years in comparison with Aramaki *et al.*(1976) and Yasui and Shinoda.(1938).

Key words: Kamikoshiki Island, brackish lake, salinity, stratification, TOC · TN · TS contents

はじめに

東シナ海に位置する鹿児島県上甌島の北東岸には、「長目の浜」と呼ばれる礫州により外海と隔てられた3つの汽水性湖沼群(なまこ池・貝池・鍛崎池)が分布している。これらは、砂礫州が堆積し湾がその内側に取り残されてできた湖である(図1)。

これら3つの湖は、隣接しており、似たような地形であるにも関わらず、湖水の塩分や成層状態が大きく異なっていることが知られている(松山, 1985; 山室, 1987)。また、これらの湖が直接海と通じておらず、礫州を通して湖水・海水の交換が行われるため水位の変化は日本の他の汽水湖沼に比べて極めて小さい(安井・篠田, 1938; 荒巻ほか, 1976)。

1) 九州大学理学部地球惑星科学科教室

Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, Fukuoka 812-8581, JAPAN

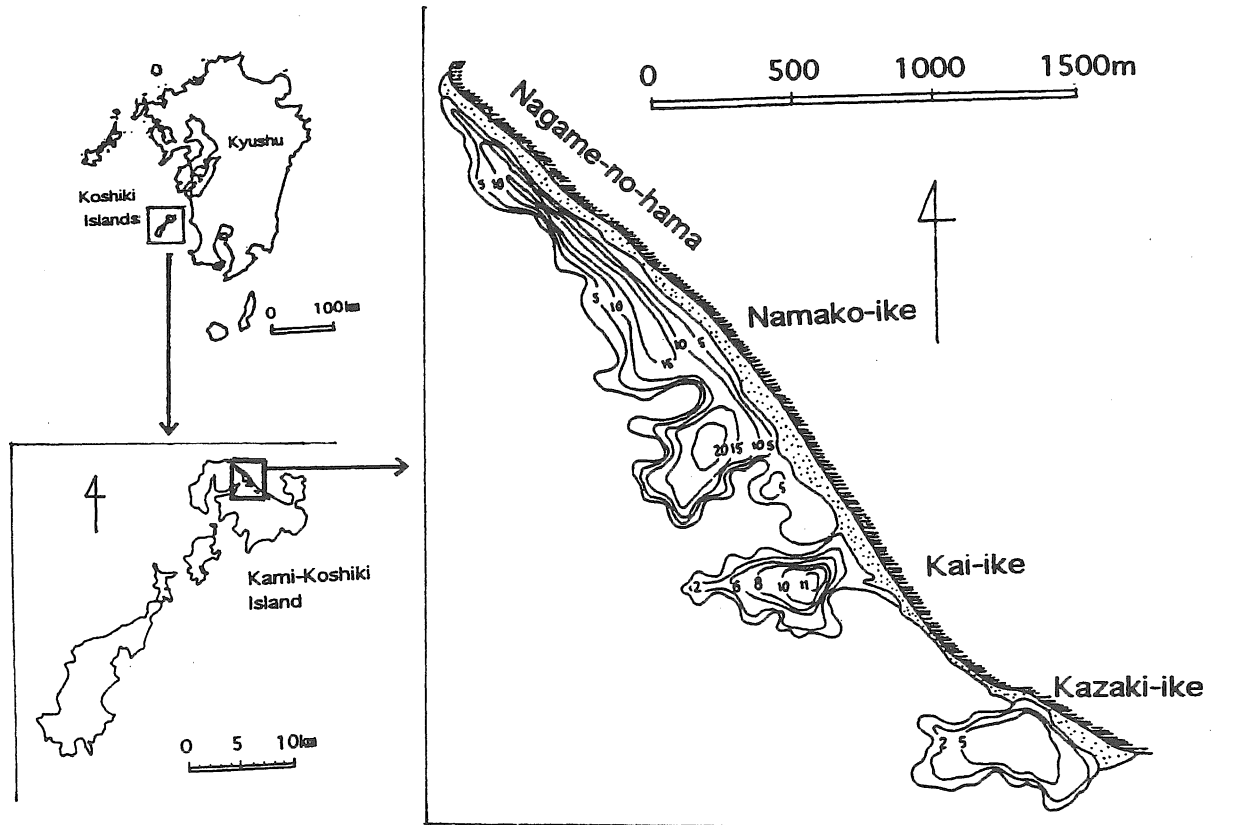


図1. 鹿児島県上甕島湖沼群の位置図 水深単位：m (松山, 1985 を改変).

Fig.1. Index map of the lakes, Kamikoshiki Island, Kagoshima prefecture, Japan. (After Matsuyama, 1985).



写真1. 調査地風景1 礫州をはさんで左手に東シナ海, 右手になまこ池.

Photo 1. East China Sea is in the left side and Lake Namako-ike in the right side.



写真2. 調査地風景2 湖岸からのなまこ池.

Photo 2. Lake Namako-ike from the shore.

一方生態系から見ても、これらの湖は日本の他の汽水湖沼には見られない特徴がある。貝池では、定常的な湖水の成層が見られ、下層に存在する高濃度の硫化水素層上端には、光合成硫黄細菌が形成する高密度の密集帯 'bacterial plate' が存在する。この bacterial plate は湖水を赤く濁らせるため、肉眼でも識別できるほどである (松山, 1985a, b)。

また、大型底生動物相は塩分に対応した異なる動物層の形成が見られ、この対応関係は汽水域に普通

に生息している汽水種の不在という点で、日本の他の汽水湖沼における対応とは異なる様相を示している (山室, 1987)。

このようにこの湖沼群では、湖水環境や動物層の分布についての研究が行われ、3湖の塩分濃度の違い、貝池の成層状態や bacterial plate の存在などの特殊な湖水環境の形成が見られた。しかし、これらの湖についてはまだ地史的観点からの研究が行われていないこともあり、特徴的な環境の形成時期とその過程について

は明らかにされないままであった。

そこで、この甌島三湖の古環境復元を最終的目標とし、その第1段階としてコア試料分析の際の基礎資料を得ること、松山(1985)、山室(1987)が示した湖水環境がその後も維持されているか確認することを今研究の目的とし、水質の垂直変化、湖水位の変動、底質表層のCNS分析、珪藻群集の分布について調査を行った。

研究方法

現地調査は1998年3月、5月の2回行った。そのうち、1998年3月には3湖において、湖底表層堆積物の採取、表層水の塩分濃度(‰)測定、塩分濃度(‰)の垂直変化の測定を行った。また1998年5月には、なまこ池、貝池の2湖において湖底表層堆積物の採取、水質(塩分濃度(‰)・電気伝導度・pH・水温)の垂直変化の測定、湖水位変化の測定を行い、貝池で溶存酸素(DO)・硫化水素(H₂S)・塩化物イオン(Cl⁻)の測定を行った。

【湖底表層堆積物】

エクスマンバージ型採泥器を用いて湖底堆積物の表層約1cmを採取し、試料は20cc瓶に入れて持ち帰り冷蔵・冷凍保存した。採取地点は、1998年3月は、なまこ池3地点、貝池11地点、鉾崎池6地点、5月はなまこ池3地点、貝池5地点である(図2)。

【採水】

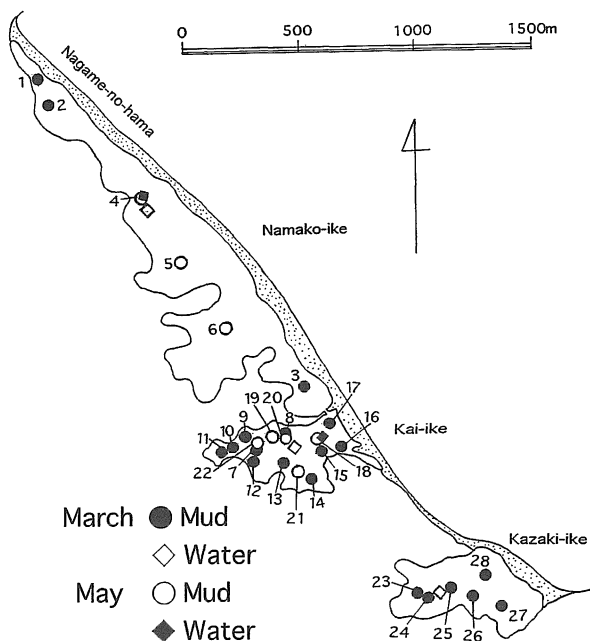


図2. 採水・採泥地点位置図(1998年3月、5月)。
Fig.2. Sampling points of water and surface sediments in the lakes, Kamikoshiki Island.

採水は水質の垂直変化を測定するために行い、バンドン式採水器を用いて深度1mおきに採取した。採取地点は、1998年3月は3湖でそれぞれ1地点、5月はなまこ池・貝池の2湖でそれぞれ1地点である。(図2) [水質]

塩分濃度(‰)は屈折率計測型の海水濃度計を用い、電気伝導度は電気伝導度計を用いて採水時に測定した。またCl⁻は、100mlマテリアル瓶に採水して持ち帰った後、MOHR法を用いて実験室で滴定を行った。水温は電気温度計を用い、pHはpHメーターを用いて採水時に測定した。DO・H₂Sはそれぞれ酸素瓶に採水した。DOはWINKLER法を用いて滴定し、H₂Sは試水にCdCO₃懸濁液を加えてCdSとして固定した後、ヨウ素滴定により測定した。どちらも滴定は現地で行った。

【湖水位変化】

定点を決めその点から湖表層までの高度差を、1998年5月27日5:45~18:40の間、1~2時間おきに測定した。変化は測定開始時の水位を0として±で表した。

【CNS分析】

1998年3月、5月に採取した表層泥を用いて湖底表層の全有機炭素(TOC)・全窒素(TN)・全イオウ(TS)濃度を、CHNS/O全自動元素分析計E.A.1108を使用して、島根大学汽水域研究センターで分析した。分析には試料を乾燥後200メッシュ程度まで砕き、更に乾燥させて炭酸塩炭素を除去するため1M塩酸を加えたものを使用した。

【珪藻】

付着珪藻は湖岸近くで水草や石などの沈水物をその地点の湖水と共に袋に入れ、袋の上からその沈水物の表面をこすって付着している珪藻を剥ぎ落とし採取した。このようにして採取した付着珪藻と湖底表層に堆積している珪藻は、試料に過酸化水素水を加えて煮沸した後、封入剤「マウントメディア」によって封入しスライドとした。珪藻は写真を撮り同定した後、1000倍の光学顕微鏡で検鏡して、産出した種について3段階(多い・普通・少ない)で評価を行った。

なまこ池・貝池・鉾崎池における水質の垂直変化と湖水の成層

表層水の塩分濃度は、なまこ池で30~34‰、貝池で20~29‰、鉾崎池で5~9‰と南側の湖ほど塩分濃度は低い。また、隣接した湖であるにも関わらず塩

分濃度は北から南へと連続的に変化するのではなく、各湖が固有の塩分値を示していた (図3)。

1998年3月の塩分濃度 (%) の垂直変化 (図4-A) では、貝池で水深2~4mに顕著な塩分躍層が見られたのに対し、なまこ池・鉄崎池では深度による変化は見られなかった。なまこ池は全層25~28%, 鉄崎池は全層1~2%であった。

1998年5月になまこ池・貝池の2湖で再び測定した塩分濃度の垂直変化 (図4-B) でも、貝池では水深1~4mに顕著な塩分躍層が見られた。なまこ池では深度が増すにつれ値が大きくなっており、0~8mまでの増加は、それ以降の増加に比べると変化が大きい。

3月、5月の結果から貝池で顕著な成層化が見られる。但し、これらは屈折率計測型の海水濃度計による値であるため信頼性は低い。そこでより精度を高めるため、5月に電気伝導度、Cl⁻の測定を行い、加えて水温、pH、DO、H₂Sの測定も行った。

なまこ池 (図5) では電気伝導度は深度につれ増加しており、(図4-B)と同様の結果であった。水温は水深4mまでは比較的一定 (24~25℃) であるが、それ以降急に減少し、8m以降湖底までは再びほぼ一定

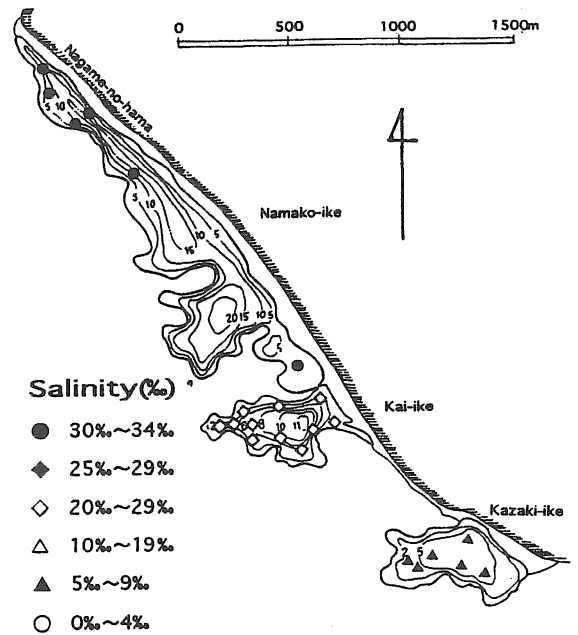


図3. 甌島三湖における表層水の塩分濃度 (1998年3月)。

Fig.3. Distribution of salinity of surface water in the lakes, Kamikoshiki Island.

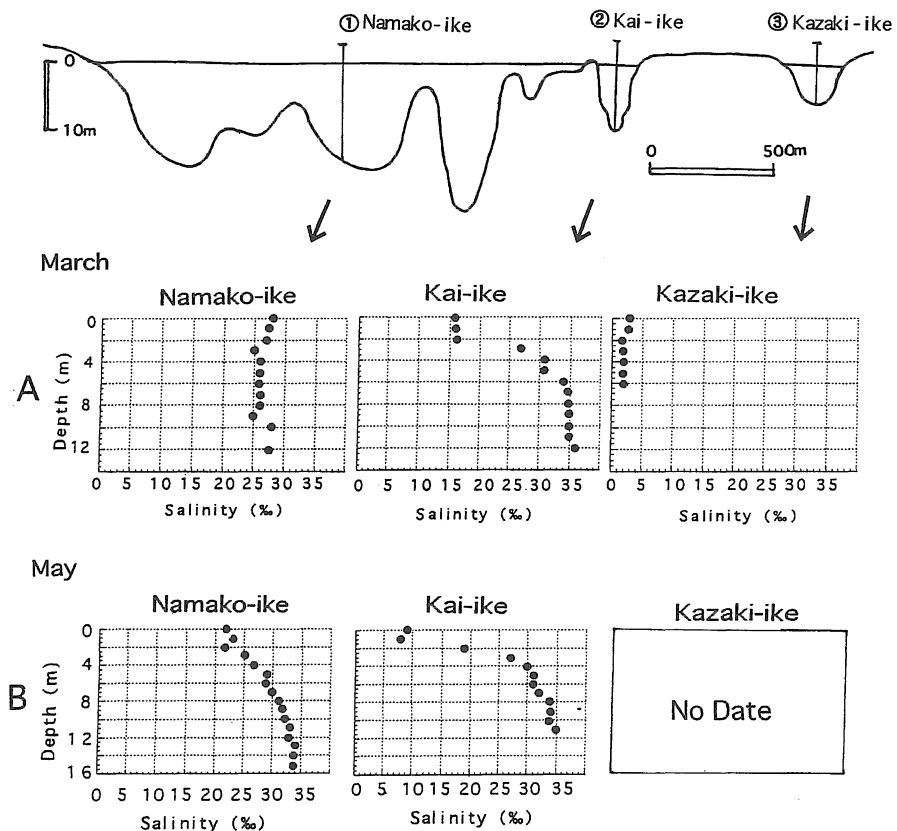


図4. 各湖における電気伝導度・水温・pHの垂直変化 (1998年5月)。

Fig.4. Vertical changes of salinity A: At lake Namako-ike, Lake Kai-ike and Lake Kazaki-ike on March 1998.

B: At Lake Namako-ike and Lake Kai-ike on May 1998.

の値 (17~18℃) であった。pHは水深8mまではほぼ一定の値 (8.0から8.1) であり、それ以降減少していた。

水温の結果から、1998年5月にはなまこ池が水深8mを境に成層していたと分かる。電気伝導度・pHの結果はこの水温成層を反映していると考えられる。

貝池 (図6) では、塩化物イオン量は、水深1mから急に増加し4mで1.79mg/lとなった。その後の増加は微量で11mで1.9mg/lである。電気伝導度も水深1mから急に増加し、4m以降の増加は微量であった。この塩化物イオン量と電気伝導度の結果は (図4-B) の結果と同じである。水温は水深1mから急に上昇し3mで33.7℃に達した。3m以降水温は低下するが、3~6mの低下は急で6m以降湖底まではほぼ一定の値であった。DOは水深2mまでは増加しているがそれ以降急に減少し6mで消失した。変わってH₂Sが水深5mから現れ8mまでは増加しその後減少した。また、pHは水深3mまでは7.9~8.2と比較的一定であったが、その後減少し水深11mで7.2となった。特に水深4mでは6.7という低い値を示した。

貝池での結果から、2つの成層が考えられる。1つは塩分濃度による成層で、0~4mの低塩分層と4m以降の高塩分層により形成されている。もう1つは、DO・H₂Sによる成層で、水深5~6mがDO-H₂Sの境界である。水深2~4mの高温層は、1~2mでの大きな塩分差により水の鉛直混合が抑制されるために形成されると考えられる。また、今回の調査でもH₂S層上端に光合成硫黄細菌の形成するbacterial plateを確認できた。

なまこ池・貝池における水位変動と海水の流出・流入過程

水位変化は、なまこ池で最大23cm、貝池で最大4cmとなまこ池の変化が大きく、変化の周期は2湖で同じであった (図7)。また、2つの湖は細い水路で繋がっており、貝池は、なまこ池より水位が高いため常に湖水がなまこ池へと流出している。しかし、水位変化に伴いなまこ池の水位が貝池より高くなると湖水が湖水が貝池へと流れ込む。この現象は調査の際にも確認された。これらの現象は礫州を通して海水と湖水が流出・流入することによるものであり、2湖の周期が同じであったことから外海の潮位変化に呼応していたと考えられる。また水位変化はなまこ池の方が大きいことから、なまこ池は貝池に比べて海水・湖水の交換が盛んであることが分かる。

Namako-ike

May 1998

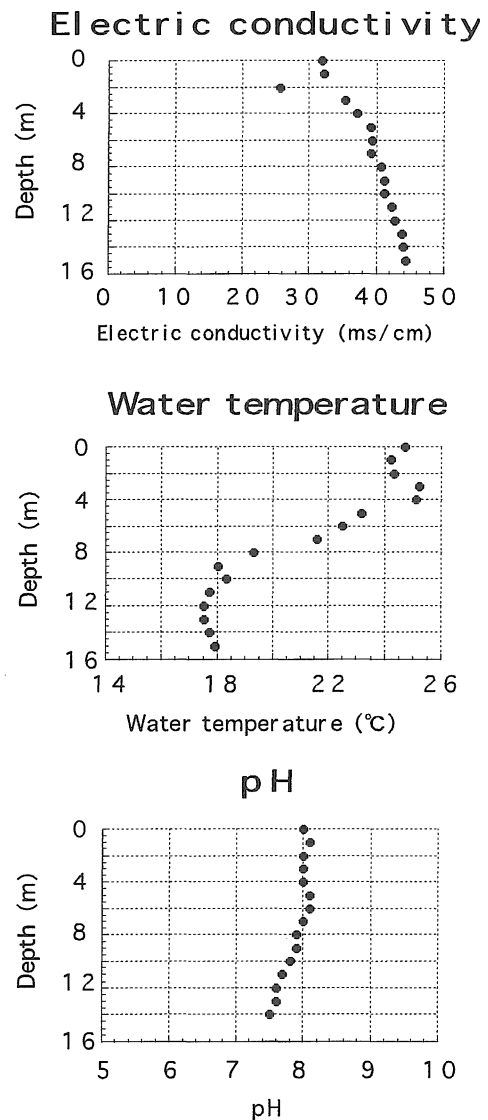


図5. なまこ池における電気伝導度・水温・pHの垂直変化 (1998年5月)。

Fig.5. Vertical changes of water temperature, electric conductivity and pH at Lake Namako-ike on May 1998.

C N S 分析

湖底表泥のCNS分析の結果からTOC/TS重量比 (C/S比)、TOC/TN重量比 (C/N比) を求めた (表1)。底質のTOC、TN、TSおよびその相互関係は、堆積環境の推定のための重要な指標の一つと考えられている。堆積物のC/S比は、淡水-海水成堆積物を区別する指標として用いられ、汽水-海水の環境下では酸化還元状態を推定することができる。C/S比が5以上で

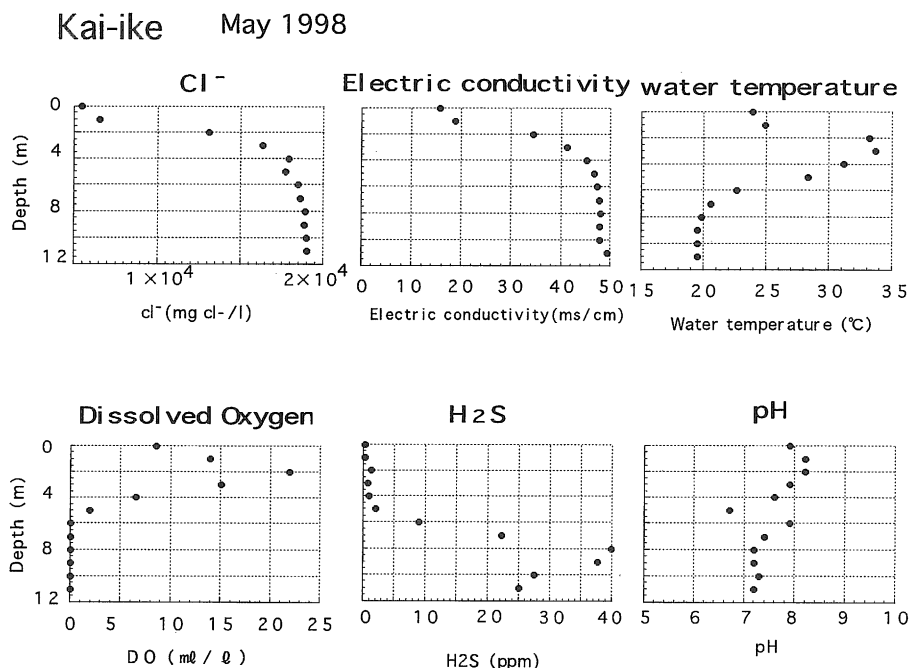


図6. 貝池における塩素量・電気伝導度・水温・溶存酸素・硫化水素・pHの垂直変化(1998年5月)。

Fig.6. Vertical changes of water temperature, dissolved oxygen, H₂S, Cl⁻, electric conductivity and pH at Lake Namako-ike on May 1998.

は淡水環境, 3~5では酸化的海水-汽水環境, 3以下では還元的海水-汽水環境を示すとされている(倉門ほか, 1998). 求めたC/S比から, なまこ池, 歙崎池は酸化の, 貝池は浅いところでは酸化の, 5m以深では還元的であるという結果になった(図8). 貝池が5m以深で還元的であることは, 下層にH₂S層があるという, 水質の調査結果と一致している. また, なまこ池北端は淡水を示す結果となっているが, これは採取地点付近に小さな流れ込みを確認しておりそのためと考えられる.

また, C/N比は, プランクトン起源有機物で6前後, 陸源有機物で15以上といわれている(倉門ほか, 1998). C/N比は3湖で6~9の値を示しており周囲を陸に囲まれているが, プランクトン起源有機物の割合が高いことを示している. 後述する珪藻の観察で湖底表層堆積物から多数の珪藻殻が見られており, このC/N比の結果と珪藻の観察結果は同じ傾向を示している.

珪 藻 類

産出した種の3段階評価に従い各湖ごとの珪藻の産出傾向をまとめた(表2).

なまこ池から歙崎池への塩分濃度の低下に従い, 産出する珪藻種が変化しており, ①なまこ池でのみ

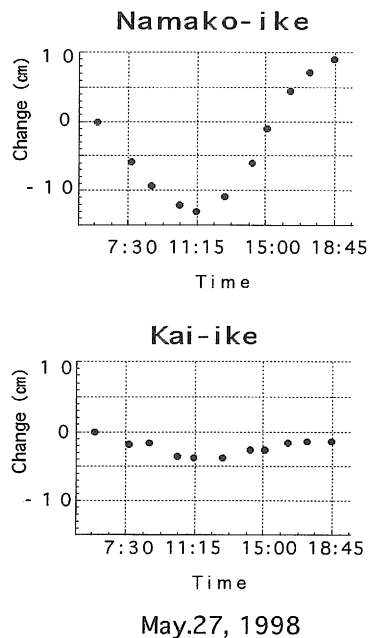


図7. なまこ池・貝池の湖水位変化(1998年5月27日)。

Fig.7. Vertical change of water levels at Lake Mamako-ike and Lake Kai-ike on May 27, 1998.

産出する種 (*Paralia sulcata*), ②なまこ池と貝池で普通に産出するが, なまこ池でその頻度の高い(*Cocconeis scutellum*), ③三湖で共通して産出するが, 貝池でその頻度の高い種 (*Cyclotella caspia*), ④3湖で共通して産出するが歙崎池でその頻度の高い

種 (*Bacillaria paradoxa*), ⑤ 鉾崎池でのみ産出する種 (*Thalassiosira bramaputrae*) があり, 各湖の塩分濃度の違いが珪藻類の分布に影響を与えていることが分かる. その中でも特徴的なのは貝池である. 貝池では付着物から産出する種と泥から産出する種がはっきりと分かっているが, なまこ池, 鉾崎池では, それほどはっきりとは違いが見られない. その理由として, 貝池の成層が考えられる. 貝池では, 成層により上層が酸化, 下層が還元になっている. 沈水植物の生息できる酸化的環境の湖岸では沈水植物に付着する珪藻が多く産出した. また, H_2S 層により底質には珪藻は生息できないため, 湖底表層堆積物から産出する種は, 上層に生息している浮遊性珪藻の遺骸が沈降・堆積したものと考えられる. 実際, 浮遊性の *Cyclotella caspia* が多く産出した. このように貝池の成層は, 貝池での珪藻類の分布にも影響を与えていることが分かる.

ま と め

今回の調査で, 3湖の塩分濃度の違い, なまこ池の成層, 貝池の成層, H_2S 層上端の bacterial plate が確認された. これらの結果は松山 (1985), 山室 (1987) が示した湖水環境と基本的には同じである. 今回はなまこ池の成層が確認されたが, これは季節による一時的な成層という可能性が残る.

なまこ池・貝池の湖水位変化の結果は, 安井・篠田 (1938), 荒巻ほか (1976) が示した湖水位の変動の結果とほぼ同じ結果が得られた. このことから, 礫州を通しての海水・湖水の交換が少なくとも 50 年間, 保持されているものと考えられる.

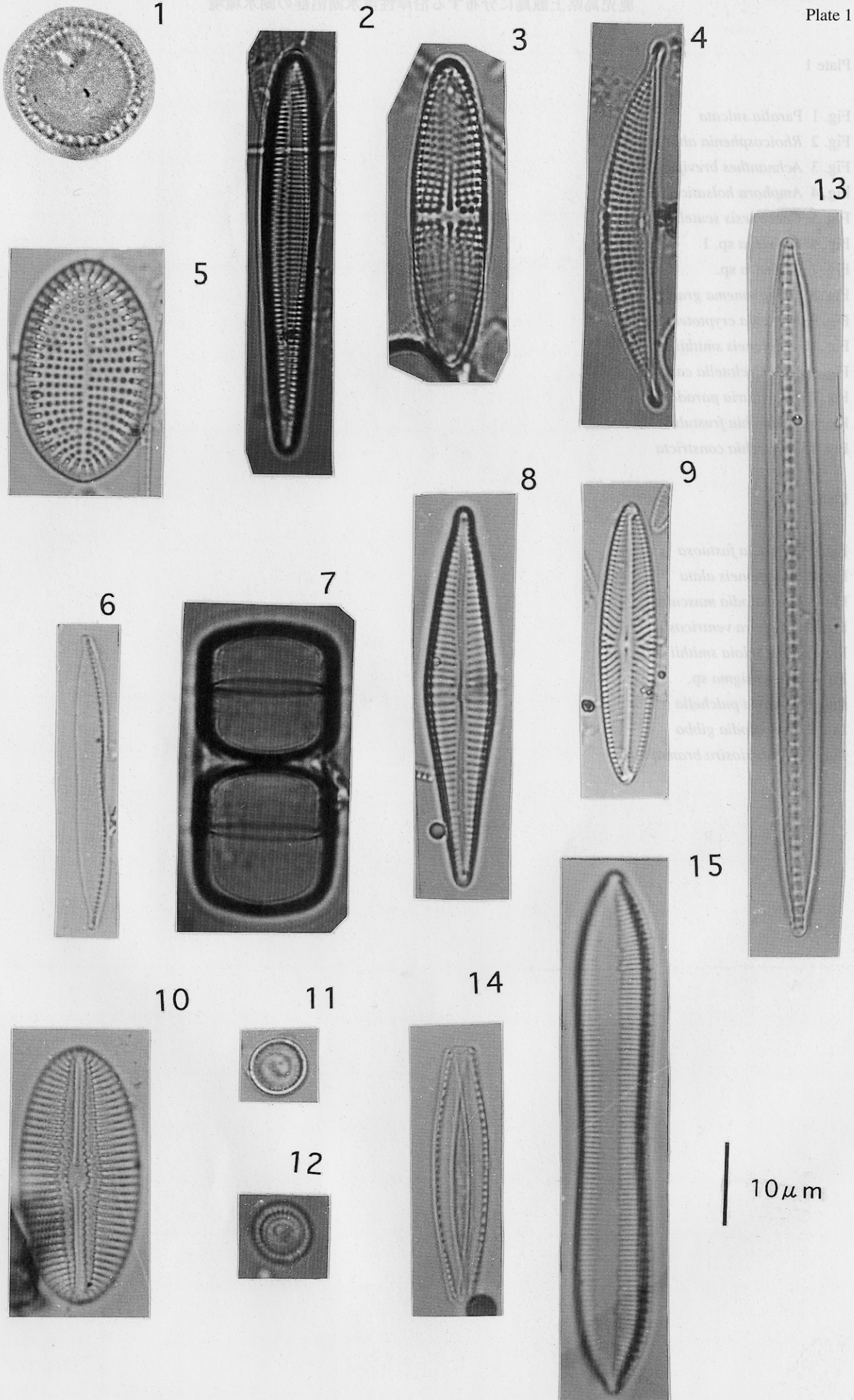
湖底表層堆積物の CNS 分析での結果では, C/S 比が貝池の水深 5m 以下でのみ還元的環境を示し, 他は酸化的環境を示した. これは水質の調査結果と一致している. また C/N 比では周囲を陸で囲まれているにも関わらず, 堆積した有機物は陸源ではなくプランクトン起源であることを示した. これは, 底質での珪藻類の観察結果と一致している.

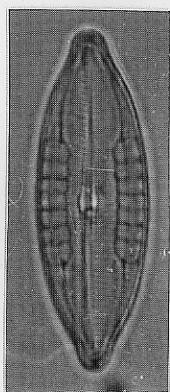
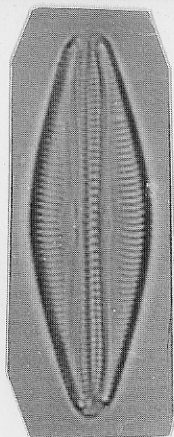
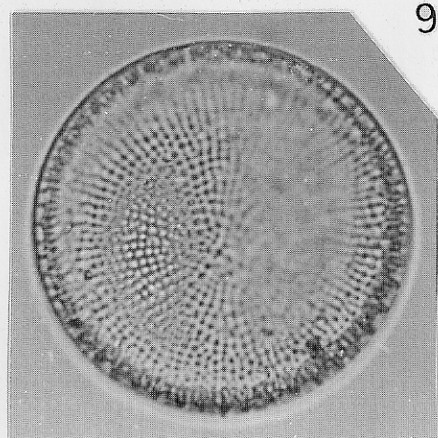
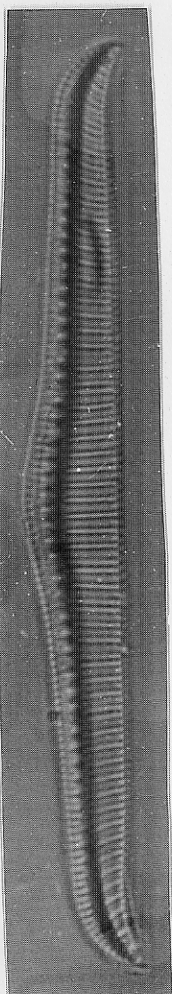
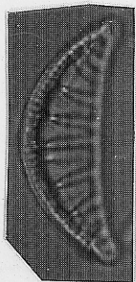
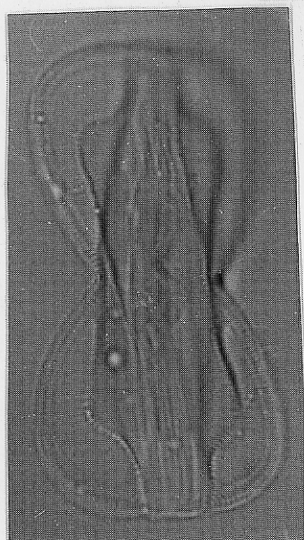
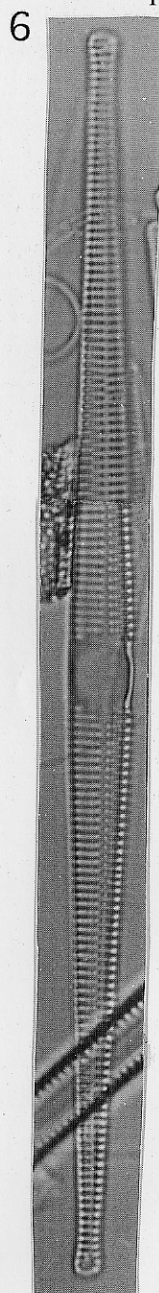
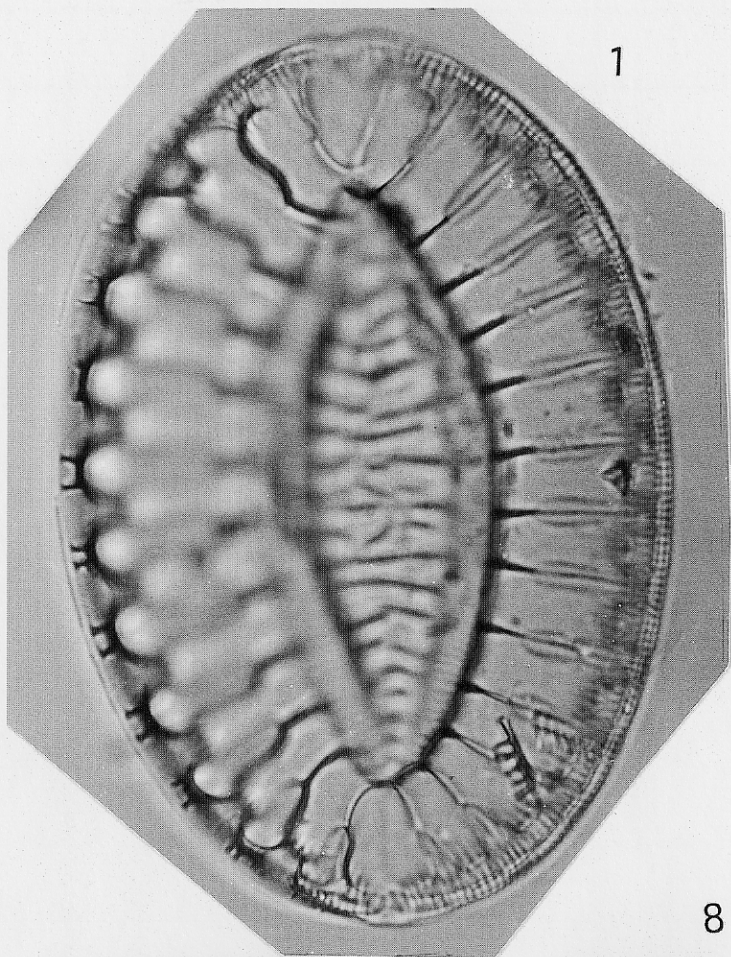
水質, 水位変動の結果が過去の研究報告と基本的には同じであることから, これらの湖沼群では, 水質・成層は少なくとも 13 年間, 海水・湖水の交換は少なくとも 50 年間, その状態が維持されてきたと考えられる. しかし, なまこ池と貝池をつなぐ水路は現在舗装工事が行われており, 湖水の流動が制限されつつある. この制限により, 湖水環境に何らかの変化が見られるのか注意して調査を継続する必要がある. また, コア試料を採取して, これらの湖の数百年~数千年オーダーの古環境復元を行う予定である.

謝辞: 本研究を進めるにあたり, 島根大学総合理工学部三瓶良和助教授には多大なご助言とご教示を頂いた. 島根大学総合理工学部の学生諸氏には, 分析の際に御協力頂いた. 現地調査では上甌島村役場に御協力頂いた. 以上の方々に記して厚く御礼申し上げます. なお, 本研究の経費の一部として, 松本達郎教授奨学資金・高千穂奨学資金を使用した. 記して感謝申し上げます.

引用文献

- 荒巻 孚・山口雅功・田中好國 (1976) 鹿児島県, 上甌島における甌四湖の水文地形学的研究. 専修自然科学紀要, 9: 1-80.
- 倉門由紀子・三瓶良和・高安克己・徳岡隆夫・井内美郎 (1998) 中海および浜名湖表層堆積物の有機炭素・窒素・イオウ濃度分布. 汽水域研究, 5: 123-135.
- 松山通郎 (1985a) 鹿児島県上甌島貝池にみられる特異な有機物生産. 生物科学, 37: 14-23.
- 松山通郎 (1985b) 上甌島貝池の成層状態と海水の流出流入. 陸水学雑誌, 46: 229-238.
- 山室真澄 (1987) 鹿児島県上甌島の, 塩分が異なる 2 つの汽水湖における大型底生動物相. 陸水学雑誌, 48: 3, 177-186.
- 安井善一・篠田政吉 (1938) 甌島湖群の水位観測 (第一報). 海と空, 18: 197-205.





10 μm