

中海本庄水域の水質特性

清家 泰¹・奥村 稔¹・藤永 薫¹・大谷修司²・千賀有希子¹・岡 宏樹¹

Water quality of the Honjyo region in the brackish Lake Nakaumi, 1997-1998.

Yasushi Seike¹, Minoru Okumura¹, Kaoru Fujinaga,¹ Shuji Ohtani²,
Yukiko Senga¹ and Hiroki Oka¹

Abstract: The seasonal variation of water quality at the honjyo region in the brackish Lake Nakaumi was examined on the basis of the monthly data from January in 1997 to December in 1998. A significant negative correlation between salinity in the surface water at the center of Lake Nakaumi and the cumulative rainfall was found, but its correlation at Honjyo region was weak. The variation extent of salinity in the surface water was lower at the Honjyo region than at the center of Lake Nakaumi. In summer, the concentrations of ammonium nitrogen and phosphate phosphorus increased remarkably at the bottom layer of dredging station in the Honjyo region. Total nitrogen concentration at the Honjyo region increased after long rainy terms, 1997. The Chl. *a* concentration increased at the same time, reaching the high concentration of 76µg/l. Transparency at the Honjyo region was much higher than that at the center of Lake Nakaumi. The reason for this interesting phenomenon was also discussed.

Key words: water quality, transparency, nutrients, brackish lake, seasonal variation

はじめに

島根、鳥取両県にまたがる中海は、我が国で5番目に広い湖（汽水湖としてはサロマ湖に次ぐ第2位）であり、満水面積は約98km²ある。島根半島および弓ヶ浜半島によって日本海と隔てられているが、長さ7.5km、幅0.3kmの境水道を介して日本海とつながり、ここを通じて海水が出入りしている。また、長さ7.3kmの大橋川を介して宍道湖と連なっており、両湖はこの大橋川を通じて交流している。中海の主な流入河川としては、大橋川の他に飯梨川、伯太川、意宇

川などがあるが、このうち斐伊川～宍道湖を経て大橋川より中海に流入する水量は中海への年間総流入量の約70%を占めると云われている（大竹ほか, 1980; Ohtake *et al.*, 1982）。中海の平均水深は5.4mであり比較的浅い（伊達ほか, 1989; Seike *et al.*, 1990）。

中海本庄工区水域は、現在、森山堤防（1981年完成）と大海崎堤防（1978年完成）によって境水道および中海本体と隔てられ、湖水の交流は西部承水路にある開削口のみとなり（Fig. 1）、中海のなかでも特に閉鎖性の強い水域となっている。本庄水域の満水面積は、14km²あり、中海の1/7を占める。

¹ 島根大学総合理工学部, 松江市西川津町 1060

Faculty of Science and Engineering, Shimane University, Matsue 690-8504, JAPAN

² 島根大学教育学部, 松江市西川津町 1060

Faculty of Education, Shimane University, Matsue 690-8504, JAPAN

この本庄水域の水質の現況を捉えることを目的に、水温、塩分、溶存酸素濃度、pH、透明度、COD、クロロフィル-*a*、栄養塩（窒素、リン）について毎月1回定期的に観測を行った。月1回の、しかも2年間（1997年1月～1998年12月）という短期間のデータではあるが、陸水化学、生物地球化学的視点から本庄水域の水質評価を試みるとともに、その特性について考察した。

材料と方法

1. 調査地点と調査期間

本庄水域の調査地点としては、本庄工区内に4ヶ所（Sts. 24, 25, 28, 29）と西部承水路（St. 26：水深約3m）に1ヶ所の計5ヶ所を設けた（Fig. 1）。本庄工区内の4ヶ所のうち、中央付近に設けた2地点は、3m程度掘り下げられた浚渫溝で水深が約9mある地点（St. 24）と、ほぼ自然地形を成し水深が約6mの地点（St. 25）である。St. 29（水深約6m）は西部承水路の開削口付近に、St. 28（水深約4m）は北部承水路の潮通しパイプ（設置期間：1998年3月～1999年3月）付近にそれぞれ位置する。その他、中海本体を代表する中海湖心（St. 4：水深約6.8m）と境水道と直接交流する北部承水路（St. 27：水深約4m）を比較対照水域として選り併せて調査した。

St. 4, St. 24, St. 25 及び St. 26 については、1997年1月から1998年12月までの2年間にわたり月1回の頻度で調査を行った。1997年6月以降は新たに3地点（St. 27, St. 28 及び St. 29）を加えて1998年12月まで調査を行った。

2. 化学分析及び計測

アンモニア態窒素はインドフェノール法（Sagi, 1966）、亜硝酸態窒素はナフチルエチレンジアミン法（Bendschneider and Robinson, 1952）、硝酸態窒素はCu-Cd アマルガム法（Wood *et al.*, 1967）によりそれぞれ定量した。全窒素は微量全窒素分析装置（三菱化学 TN-05）を使用し定量した。リン酸態リンはモリブデン青法（Murphy and Riley, 1962）により定量し、全リンは過硫酸カリウムでリン酸態リンに分解した後モリブデン青法により定量した（Menzel and Corwin, 1965）。クロロフィル-*a* (Chl.*a*) は SCOR/UNESCO 法（1966）、COD は過マンガン酸酸性法によりそれぞれ定量した。また、水温、塩分、溶存酸素及び pH はマルチ水質センサー（YSI model 3800）により、透明度はセッキーマル板（直径30cm）を用いて現場でそれぞ

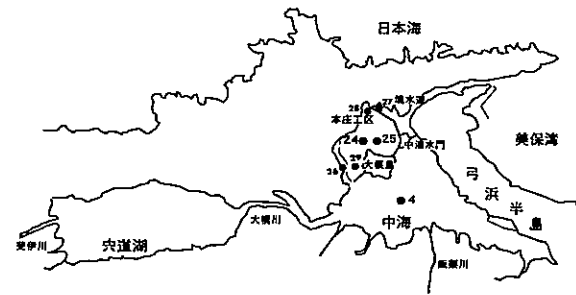


図1. 調査地点（St.4：中海湖心，St.24：本庄一溝，St.25：本庄，St.26：西部承水路，St.27：北部承水路，St.28：潮通しパイプ前，St.29：西部承水路開削口前）。

Fig. 1. Location of sampling stations (4, 24, 25, 26, 27, 28 and 29) in the brackish Lake Nakaumi.

れ計測した。

結果と考察

1. 塩分及び水温

Fig. 2に、全地点の塩分と水温の経月変化をそれぞれ上層（水深1m）と下層（湖底上1m）に分けて示す。上層の塩分（Fig. 2A1）を見ると、本庄工区内の4地点にはほとんど濃度差が見られず、工区内の上層塩分は広い範囲に渡り均一であることが示唆された。また、中海湖心（St. 4）の季節変動（5～20‰）に比べ、工区内の変動はかなり小さいことが分かった。下層（Fig. 2A2）について見ると、工区内の4地点のうち、最も深い St. 24 を除く3地点は、上層と同様、濃度差がほとんど見られず、かつ同様な季節変動を示したが、St. 24 は、他3地点に比べやや高い濃度で推移する傾向を示した。一方、中海湖心の下層では、調査地点の中で最も高い30‰前後で推移し、その変動幅は小さかった。また、上層、下層間の塩分差を見ると、中海湖心では非常に大きな差が見られたのに対し、本庄水域ではほとんど差が見られなかった（Figs. 2A1, 2A2）。St. 24 において若干の差が見られるものの、中海湖心の比ではなかった。中海本体は強固な塩分躍層を形成する（Ohtake *et al.*, 1982, 1984；清家ほか, 1986a）のに対し、本庄水域では塩分躍層を形成しにくいことを示す。

水温についてみると、上層は、中海湖心や北部承水路を含め、地点間による差はほとんど見られなかった（Fig. 2B1）。一方、下層について見ると、中海湖心の水温は、5月から9月にかけては他地点より低いのに対し、11月から3月にかけては他地点より高くなり、本庄水域と中海本体とでは明瞭な差が見られた

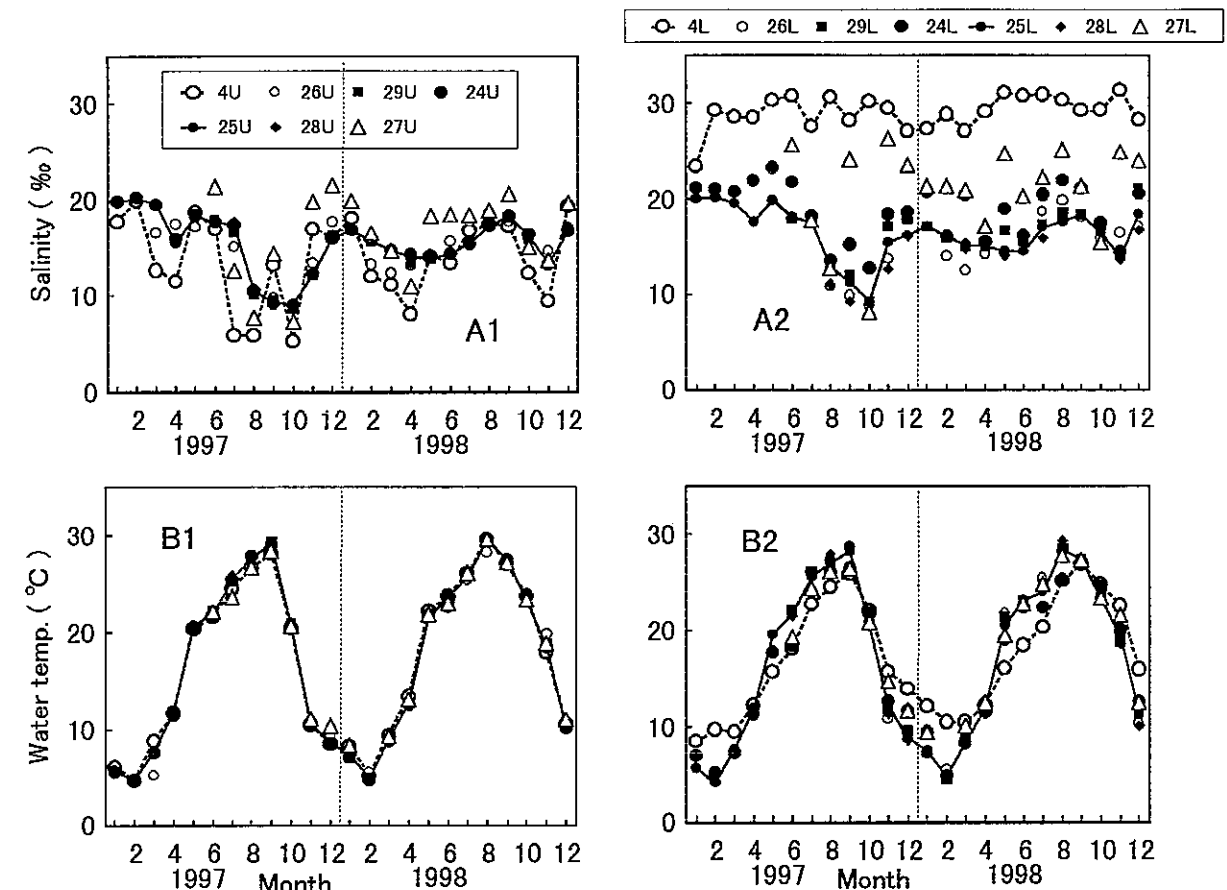


図2. 塩分（A1, A2）及び水温（B1, B2）の季節変動（1997年1月～1998年12月）。上層（A1, B1）：水面下1m，下層（A2, B2）：湖底上1m。

Fig. 2. The seasonal variation of salinity (A1 and A2) and water temperature (B1 and B2) at the Honjo region and the central part of Lake Nakaumi, 1997-1998. A1 and B1: 1 m from water surface, A2 and B2: 1 m above bottom.

（Fig. 2B2）。また、塩分躍層を形成する中海湖心では、夏期には上層水温が下層より高く、冬期には逆に下層の方が上層より高くなる（清家ほか, 1986a；伊達ほか, 1989；橋谷ほか, 1991）のに対し、本庄水域では、微弱ながら塩分躍層を形成する浚渫溝 St. 24 において、上下間に若干の水温差が見られるものの、他地点では年間を通してほとんど水温差が見られなかった（Figs. 2B1, 2B2）。

次に、塩分の変動に及ぼす降水量の影響を見るために、本庄（St. 25）及び中海湖心（St. 4）の塩分の季節変化と累積降水量との関係を示した（Fig. 3）。ここで云う累積降水量とは、調査日から遡った20日前からの降水量の合計を指す。1997年は7月、8月と10月に降水量が多かったが、中海では、先ず7月に急激な塩分低下が見られたのに対し、本庄では翌月の8月になってやっと影響が現れ、塩分低下が観測された。雨量の少なかった9月には、中海では塩分の上昇が見られたのに対し、本庄では敏感な応答は見られなかった。10月の降水時にも、中海では、即低下したのに対し、本

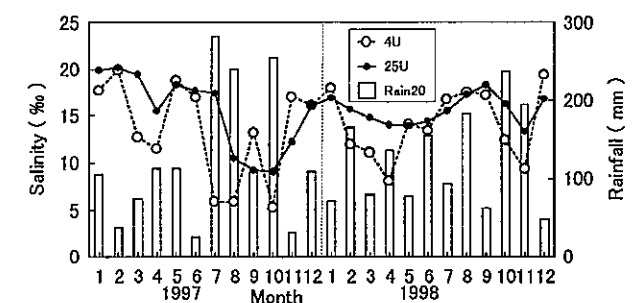


図3. 湖水上層の塩分の季節変動（St. 4, St. 25）と累積降水量との関係（1996年1月～1997年12月）上層：水面下1m，累積降水量：調査日から遡った20日間の積算降水量。

Fig. 3. Relationship between salinity at Sts. 4 and 25 and cumulative rainfall during the preceding 20 days.

庄での応答は見られなかった。このように、中海本体では降水量の大小に左右されて塩分が変動する（Seike *et al.*, 1990）のに対し、本庄の場合、塩分の変動と降水量とは必ずしも対応しないことが分かった。また本庄は、中海に比べその変動幅も小さかった。このよう

な本庄における塩分変動は、本庄水域の閉鎖性の強さを反映しているものと考えられる。

2. 透明度

中海湖心の透明度は、1~2mであったのに対し、本庄では、3mを超える場合もしばしば観察され、1999年5月には5mを記録した (Fig. 4)。このように、本庄は閉鎖性が強いにもかかわらず、その透明度は中海本体よりも良好であった。透明度は、水中に浮遊している物質によって決まり、通常はプランクトン量、特に植物プランクトン量を反映することが多い。一般に、湖水が停滞しやすい閉鎖的な水域では、富栄養化が進行しやすく、植物プランクトンの繁殖力も高いのが通例である。本庄水域が、堤防の建設によって閉鎖性を強めたにもかかわらず、中海本体に比べ、良好な透明度を示したのは、不思議な現象と云える。

3. クロロフィル *a* (Chl-*a*) 及び COD

Chl-*a*濃度を指標に植物プランクトンの発生状況を

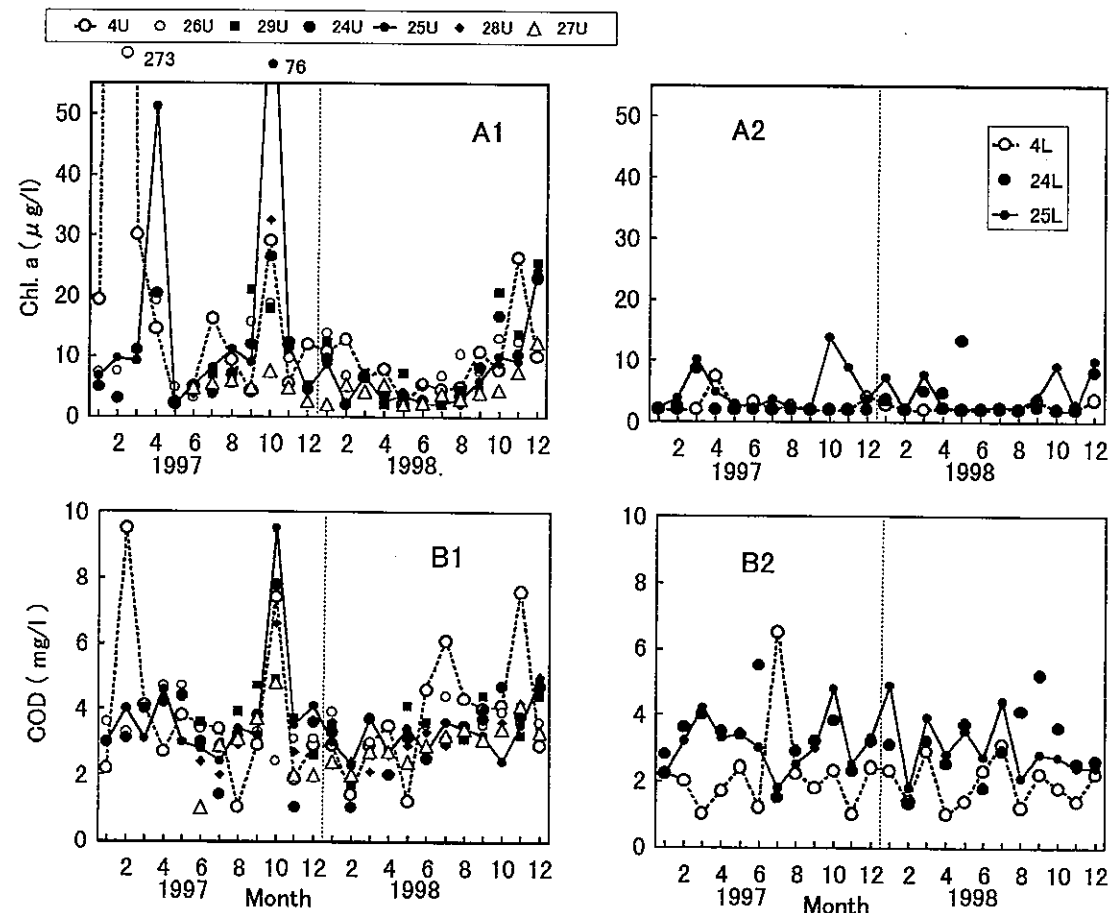


図5. Chl-*a* (A1, A2) 及びCOD (B1, B2) の季節変動 (1997年1月~1998年12月)。上層 (A1, B1): 水面下1m, 下層 (A2, B2): 湖底上1m。

Fig. 5. The seasonal variation of chl. *a* (A1 and A2) and COD (B1 and B2) at the Honjo region and the central part of Lake Nakaumi, 1997-1998. A1 and B1: 1 m from water surface, A2 and B2: 1 m above bottom.

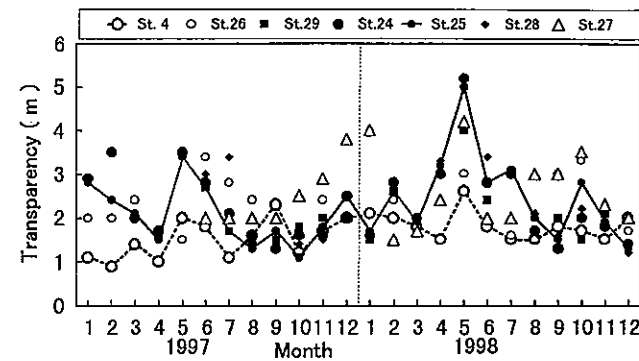


図4. 透明度の季節変動 (1997年1月~1998年12月)。

Fig. 4. The seasonal variation of transparency at the Honjo region and the central part of Lake Nakaumi, 1997-1998.

みると、中海では、1997年2月に赤潮が発生し、273μg/l という記録的なChl-*a*濃度を観測した (Fig. 5A1)。これは渦鞭毛藻類の *Prorocentrum minimum* によるものであった。この種は、中海では、冬から春にかけてしばしば赤潮状態を呈するのが特徴である (Kondo *et al.*, 1990a, 1990b, 1990c; 近藤ほか, 1994)。本庄の St. 25

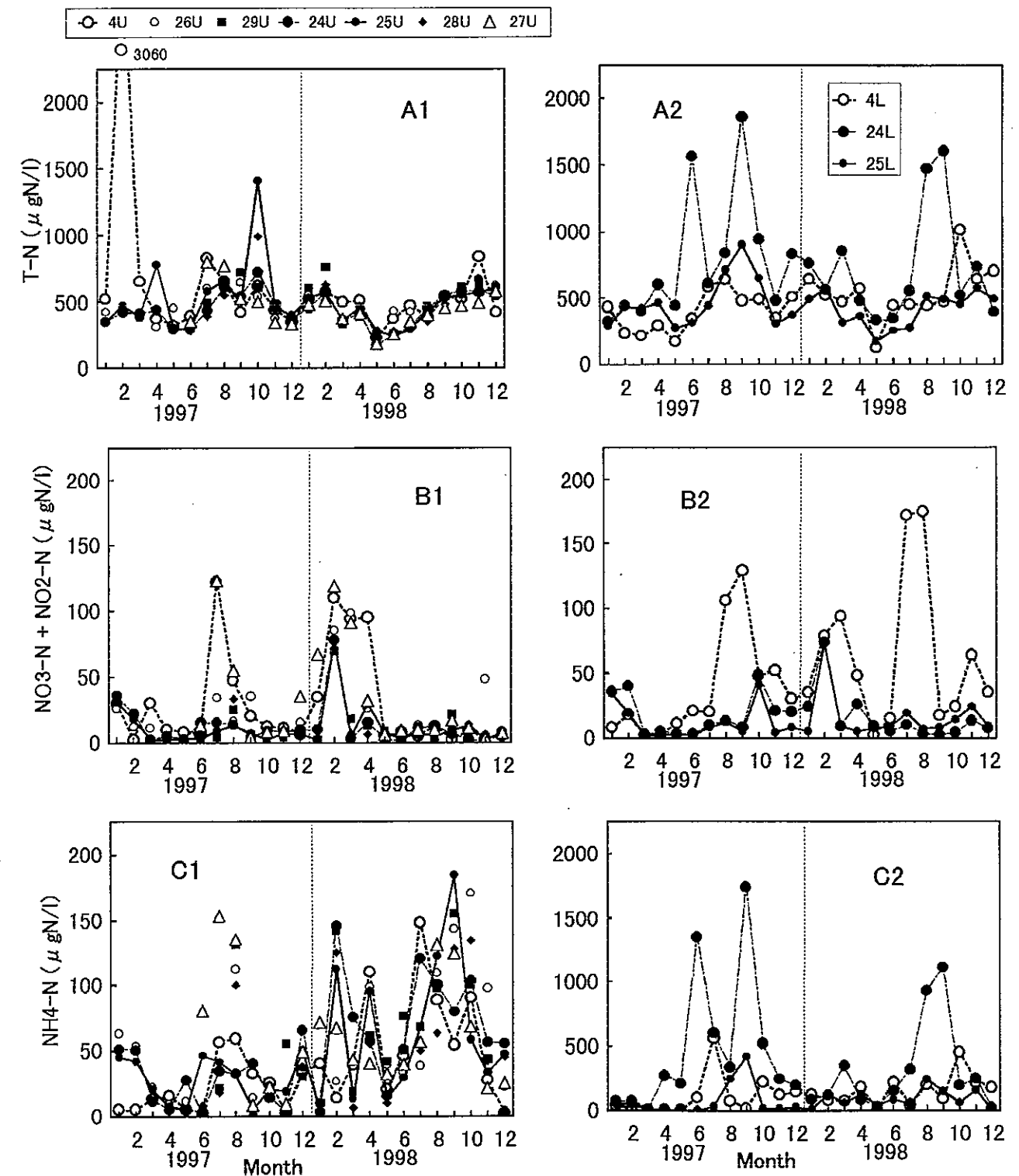


図6. T-N (A1, A2), $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$ (B1, B2) 及び $\text{NH}_4\text{-N}$ (C1, C2) の季節変動 (1997年1月~1998年12月)。上層 (A1, B1, C1): 水面下1m, 下層 (A2, B2, C2): 湖底上1m。

Fig. 6. The seasonal variation of total nitrogen (A1 and A2), nitrate + nitrite (B1 and B2) and ammonium (C1 and C2) at the Honjo region and the central part of Lake Nakaumi, 1997-1998. A1, B1 and C1: 1 m from water surface, A2, B2 and C2: 1 m above bottom.

では、1997年の4月と10月にそれぞれ51 $\mu\text{g/l}$ および76 $\mu\text{g/l}$ のChl-*a*濃度を観測した。優占種はそれぞれ*Prorocentrum minimum*及び*Cyclotella atomus*であった。このとき、湖水の透明度も1.5mと1.1mに低下した(Fig. 4参照)。しかし、1998年にはChl-*a*は低濃度で推移し、特記すべき値は観測されなかった。上層と下層の濃度を比べると、塩分による成層化が発達している中海では、容易には上下混合が起こらないため、光の届きやすい上層で高く下層で低い分布を示した(Figs. 5A1, 5A2)。一方、本庄では下層においても、やや高い値が時折観測された。

上層のCODの季節変化をみると、Chl-*a*濃度の高いとき、則ち植物プランクトンが多く繁殖している時期に、高い値をとる傾向にあった(Fig. 5B1)。上層と下層を比較すると、中海では上層で高く下層で低い傾向を示したのに対し、本庄では、上・下層間に大きな差は認められず、特に下層においては、中海に比べて高い値を示した(Figs. 5B1, 5B2)。一般に、COD値を高める有機物は、植物プランクトンの繁殖に代表される湖内で生成された有機物と集水域から湖内に持ち込まれた有機物とがある。本庄の周りには、少数の小河川があるのみで大きな負荷をもたらすような流入河川がないことから、外部からの流入負荷が原因とは考えにくい。また、Chl-*a*濃度もさほど高くないことから、興味深い現象といえる。下層のCODが特に相対的に高いことから、底質の状態が悪化していること示唆しているのかもしれない。

4. 栄養塩(窒素, リン)

全窒素(T-N)、硝酸及び亜硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$)、アンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)の季節変化をFig. 6に示す。上層の全窒素をみると、中海では、1997年2月に、本庄では、1997年4月と10月にそれぞれ高い値を示した(Fig. 6A1)。これらは、何れもChl-*a*濃度が50 $\mu\text{gN/l}$ 以上あったときであり、植物プランクトン量を反映する。植物プランクトン量が多いときに特に高い傾向を示すのは、周囲で繁殖したプランクトンが風や湖流により集積されることに起因するものと考えられる。

無機態窒素のうち上層の $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$ についてみると、調査地点の中で中海の濃度が最も高く、降水量の多かった1997年7月と1998年の冬期から初春にかけて(2~4月)高い傾向を示した(Fig. 6B1)。1997年冬期に増加が見られなかったのは、植物プランクトンの繁殖(赤潮)に伴う消費を反映するものと考えられる。一方、塩分成分が強い中海の下層では(Fig.

6B2)、上層とは異なる季節変動が見られ、夏期に増加する傾向が見られた(1997年8~9月、1998年7~8月)。成層化する水域の下層では、通常、上層からの酸素の供給が抑制されるため貧酸素化が進行し、やがて無酸素状態を呈するのであるが、中海の中浦水門から湖心部にかけては、潮汐により海水が進入する際、酸素が供給されることから、これを受けて硝化反応($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$)が進行し増加したものと考えられる(清家ほか, 1986b, 1997)。

このように、湖沼の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の変動は、流入負荷と湖内での生成(硝化)により増加し、植物プランクトンによる消費により減少する。様々な環境因子の影響を受けて変動し複雑であるが、上層の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の変動は、主として流入負荷と植物プランクトンによる消費のバランスによって決まる(Seike *et al.*, 1990)。本庄について見ると、1998年2月には濃度増加が見られたが、概して低濃度で推移した。これは、本庄の周辺には流入量の大きい河川がないことから、本庄水域への流入負荷が小さいことを反映するものと考えられる。

上層のアンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)についてみると、1997年に比べ1998年に濃度が増加したのが特徴的であった(Fig. 6C1)。一方、下層をみると、本庄の浚渫溝St. 24において、夏期に著しい濃度増加が観測された(Fig. 6C2)。これは、後述するように、湖底泥からの溶出に起因するものと考えられる。また、この $\text{NH}_4\text{-N}$ の増加を反映し全窒素も増加した(Fig. 6A2)。

全リン(T-P)及びリン酸態リン($\text{PO}_4\text{-P}$)の季節変化をFig. 7に示す。季節的な濃度変化をみると、下層の $\text{PO}_4\text{-P}$ は、主として湖底泥からの溶出を反映する季節変動(夏期増加型)を示した(Fig. 7B2)。上層の濃度変化もまた、夏期増加型を呈したが(Fig. 7B1)、これは下層からの拡散による供給を反映するものと考えられる。T-Pは、中海湖心で観測された赤潮時(1997年2月)を除けば、夏期に増加する傾向にあり(Fig. 7A1)、その傾向は、浚渫溝St. 24に見られるように下層において特に顕著であった(Fig. 7A2)。これは、下層におけるT-Pの変動が湖底泥から湖水への $\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出量を反映することを示す(Figs. 7A2, 7B2)。

湖底からの栄養塩の溶出量を左右する下層の溶存酸素(DO)の季節変化をFig. 8Aに示す。また、DOの変動と密接に関係するpHの季節変化をFig. 8Bに示した。上層と下層間の塩分差が大きく、塩分による成層化が発達している中海では、夏期にDOが低下する傾向を示した(Fig. 8A)。なお、1997年8月にDOの上昇が観測されたが、これは、前述したように、豊富

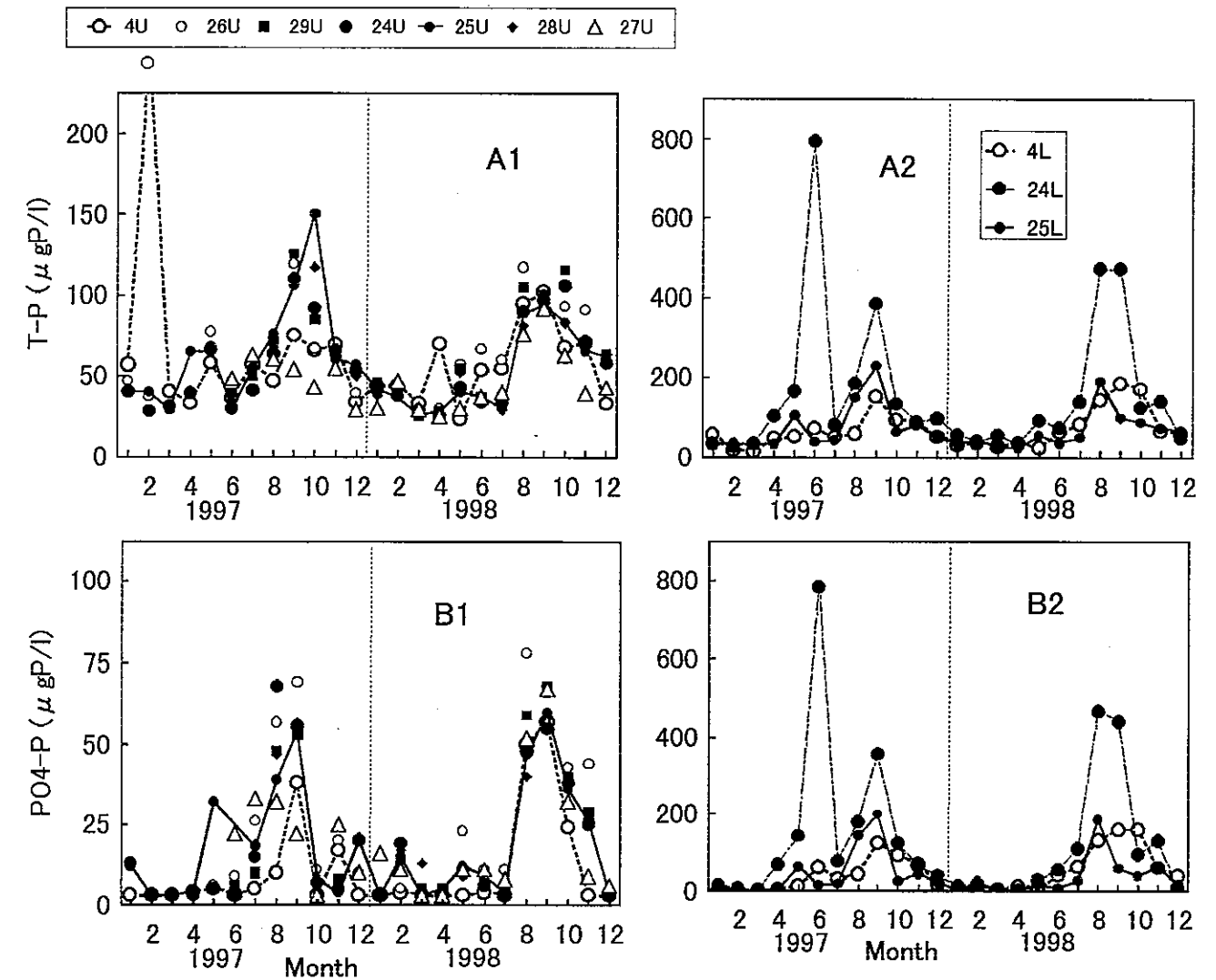


図7. T-P (A1, A2) 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ (B1, B2) の季節変動 (1997年1月~1998年12月)。上層 (A1, B1): 水面下1m, 下層 (A2, B2): 湖底上1m。
Fig. 7. The seasonal variation of total phosphorus (A1 and A2) and phosphate phosphorus (B1 and B2) at the Honjyo region and the central part of Lake Nakaumi, 1997-1998. A1 and B1: 1 m from water surface, A2 and B2: 1 m above bottom.

な酸素を含有する日本海の海水が潮汐により中海底層に進入することに起因し、中浦水門から湖心部にかけて、しばしば観察される現象である(Ohtake *et al.*, 1984; 清家ほか, 1986b, 1997)。このときのpHの上昇もまた、新鮮な海水のpHが8.3程度であることから分かるように、海水の流入に起因する。本庄下層のDOの季節変化をみると、浚渫溝St. 24において特に著しい低下が見られた。本庄水域は、海水が直接流入するのではなく、浅い西部承水路の開削口を通じてのみ流入・流出するため、塩分躍層ができにくくなっている。そのため、中海に比べれば底層まで酸素が行き渡りやすいと云え、確かにSt. 24を除く本庄水域では、中海湖心に比べ、高い傾向を示す。しかしな

がら、St. 24に見られるように、周囲から有機物が集まりやすく、ヘドロがかなり堆積している浚渫溝では、僅かでも塩分による成層化が起これば、DOの低下・酸欠を招くことを示す。

一般に、湖底泥から溶出する無機態の窒素・リンは、それぞれ $\text{NH}_4\text{-N}$ および $\text{PO}_4\text{-P}$ であり、その溶出量は、水温とDO濃度に依存することが知られている。特に $\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出量はDO濃度に強く依存し、DO濃度の低下とともに溶出量が増大する。従って、下層の $\text{PO}_4\text{-P}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ は、湖底泥からの溶出量を左右する水温およびDO濃度と密接に関係して変動する(伊達・清家, 1982; Ohtake *et al.*, 1982)。夏期、下層において高濃度の $\text{PO}_4\text{-P}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ が観測されたのはこのた

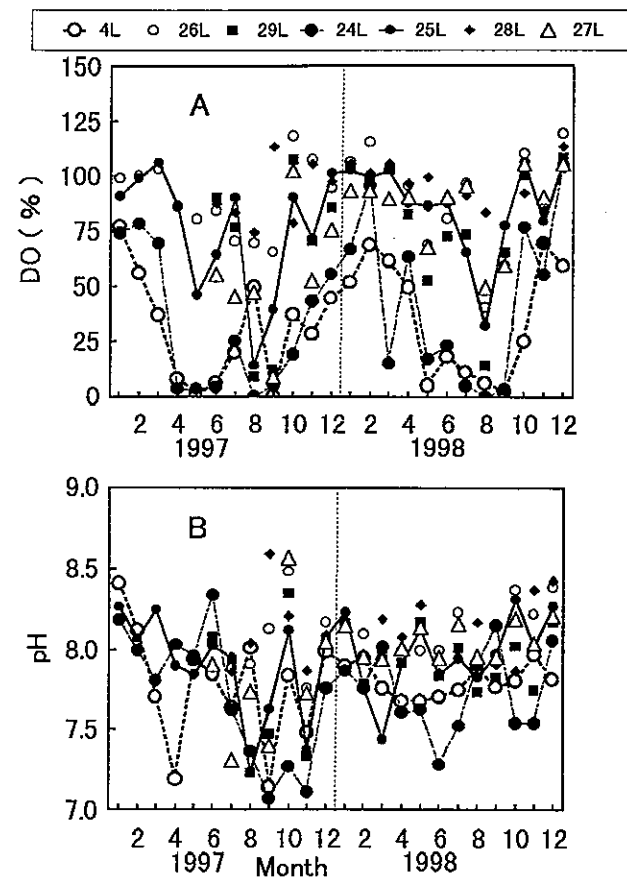


図8. 下層のDO (A) 及びpH (B) の季節変動 (1997年1月～1998年12月). 下層: 湖底上1m.

Fig. 8. The seasonal variation of dissolved oxygen (A) and pH (B) at the Honjyo region and the central part of Lake Nakanoumi, 1997-1998. Depth: 1m above bottom.

めと考えられる.

ま と め

今回、2年間という短い期間ではあったが、本庄水域の水質調査を行い、その現況についてみてきた。潮通しパイプ (設置期間: 1998年3月～1999年3月) の影響については、残念ながら特記に値する結果は得られなかったが、注目すべきは、本庄が閉鎖性の強い水域であるにも係わらず、中海本体よりも良好な水質を保っていることが分かったことである。湖沼の濁りが、通常は植物プランクトン量を反映することからも分かるように、湖沼では、一般に植物プランクトンを中心とした生態系が成り立っている。その植物プランクトンの繁殖に不可欠な栄養塩が窒素とリンである (Seike *et al.*, 1996)。

現在、本庄水域の湖水の交換は、前述したように西

部承水路にある開削口のみとなっている。本庄周辺には、4つの小河川があるのみで、直接の大きな負荷源となるような河川がないことから、本庄水域への栄養塩 (窒素・リン) の供給は、中海の上層水が西部承水路にある開削口から流入する際に持ち込まれるものが主体と云える。栄養塩の変動についてみる場合、有機態の窒素・リン (植物プランクトンに摂取された窒素・リンなど) もやがては分解され、再び無機栄養塩として水中に回帰することから、全窒素・全リンの動きを見て考える必要がある。流入起源の栄養塩についてみると、大橋川等流入河川を通じて中海に供給された無機栄養塩の多くは、通常、本庄水域に到達する前に中海本体で植物プランクトンにより消費される。中海本体で繁殖した植物プランクトンの大部分は、本庄水域に到達する前に沈降・堆積し、湖水から除去されてしまうため、本庄水域に到達するトータルの栄養塩は小さくなるものと考えられる。しかし、1997年の7～10月に見られたように、降水量が多い場合には、中海本体で未消費のまま本庄水域に到達する部分が増え、植物プランクトンの繁殖を促したものと考えられる。このように考えると、本庄水域の透明度、栄養塩、植物プランクトンの繁殖量などの季節変動をうまく説明できる。

しかし、1998年のように、栄養塩、特に $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ が比較的多く存在する中で、 $\text{Chl.}a$ 濃度が低く抑えられたことや、植物プランクトン量が少ない割に動物プランクトンの現存量が多い (大谷、大塚の私信) ことから、動物プランクトンによる摂食圧が本庄水域の透明度を高めるのに寄与しているのではないかなど、興味深い問題が残った。今後の課題である。

謝辞: 本研究を行うに当たり、鳥根大学総合理工学部物質科学科環境分析化学研究室の学生諸君に、サンプリング及び化学分析等で協力いただいた。ここに記し感謝の意を表す。なお本研究の一部は、文部省科学研究費補助金基盤研究(B)(2)No.09480122の補助を受けて行われた。ここに記して謝意を表す。

引用文献

- Bendschneider, K. and R. J. Robinson (1952) A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.*, 11: 87-96.
- 伊達善夫・清家 泰 (1982) 飢宇の入海, 第三章 中海の生態系, 三. 湖水と底泥の性質, p.100-113, たら書房, 鳥取.

伊達善夫・橋谷 博・清家 泰・近藤邦男・奥村 稔・藤永 薫 (1989) 12年間の定期調査からみた中海・宍道湖の水質—季節変化, 経年変化, 平年値, 山陰地域研究 (自然環境), 5: 89-102.

橋谷 博・清家 泰・近藤邦男・奥村 稔・藤永 薫・伊達善夫 (1991) 月1回の定期調査からみた中海・宍道湖の水質—地点間変動, 山陰地域研究 (自然環境), 7: 93-104.

Kondo, K., Y. Seike and Y. Date (1990a) Red tides in the brackish Lake Nakanoumi (II) Relationships between the occurrence of *Prorocentrum minimum* red tide and environmental conditions., *Bulletin of Plankton Society of Japan*, 37: 19-34.

Kondo, K., Y. Seike and Y. Date (1990b) Red tides in the brackish Lake Nakanoumi (III) The stimulative effects of organic substances in the interstitial water of bottom sediments and in the excreta from *Skeletonema costatum* on the growth of *Prorocentrum minimum*., *Bulletin of Plankton Society of Japan*, 37: 35-47.

Kondo, K., Y. Seike and Y. Date (1990c) Relationships between phytoplankton occurrence and salinity or water temperature in brackish Lake Nakanoumi, 1979-1986., *Jpn. J. Limnol.*, 51: 173-184.

近藤邦男・清家 泰・橋谷 博 (1994) 汽水湖中海における栄養塩類および植物プランクトンの鉛直分布を支配する塩分躍層の役割, 陸水学雑誌: 55, 47-60.

Menzel, D. W. and N. Corwin (1965) The measurement of total phosphorus in sea water based on the liberation of organically bound fraction by persulfate oxidation. *Limnol. Oceanogr.*, 10: 280-282.

Murphy, J. and J. P. Riley (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27: 31-36.

大竹久夫・伊達善夫・近藤邦男・清家 泰 (1980) 中海干拓淡水化がその水圏環境に及ぼす影響につい

て—事前事業とその問題点, 陸水学雑誌, 41: 153-162.

Ohtake, H., Y. Seike, A. Takeda, K. Kondo and Y. Date (1982) A quantitative analysis of phosphorus cycle in the shallow brackish lake Nakanoumi, Japan., *Arch. Hydrobiol.*, 94, 286-301.

Ohtake, H., S. Kato and Y. Date (1984) The role of tide in removing phosphorus from Lake Nakanoumi, a coastal lagoon in Japan. *Arch. Hydrobiol.*, 99, 443-462.

Sagi, T. (1966) Determination of ammonia in sea water by the indophenol method and its application to the coastal and off-shore waters. *Oceanogr. Mag.*, 18: 43-51.

SCOR/UNESCO Working Group 17 (1966) Determination of photosynthetic pigments in sea water. UNESCO.

清家 泰・近藤邦男・伊達善夫・石田祐三郎 (1986a) 汽水湖・中海における窒素代謝Ⅱ—植物プランクトンによる無機態窒素の取り込み, 陸水学雑誌, 47: 121-132.

清家 泰・近藤邦男・伊達善夫・石田祐三郎 (1986b) 汽水湖・中海における窒素代謝Ⅲ—低酸素濃度下における硝化・脱窒, 陸水学雑誌, 47: 269-278.

Seike, Y., K. Kondo, H. Hashitani, M. Okumura, K. Fujinaga and Y. Date (1990) Nitrogen metabolism in the brackish Lake Nakanoumi. IV. Seasonal variation of nitrate nitrogen., *Jpn. J. Limnol.*, 51, 137-147.

Seike, Y., S. Nakano, M. Okumura, A. Hirayama, O. Mitamura, K. Fujinaga, M. Nakanishi, H. Hashitani and M. Kumagai (1996) Temporal variations in the nutritional state of phytoplankton communities in Lake Biwa due to typhoons., *Jpn. J. Limnol.*, 57: 485-492.

清家 泰・奥村 稔・藤永 薫・黒住誠司 (1997) 汽水湖中海における貧酸素水塊形成時の硝化・脱窒, 沿岸海洋研究, 35: 27-33.

Wood, E. D., F. A. J. Armstrong and F. A. Richards (1967) Determination of nitrate in sea water by cadmium-copper reduction to nitrite. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 47: 23-31.