

中海・宍道湖における現生および化石珪藻群集 に関する最近の話題

鹿島 薫¹⁾

Living and fossil diatom assemblages from lake sediment samples in Lake Nakaumi and Lake Shinji, Japan

Kaoru Kashima¹⁾

Abstract: Enormous environmental changes have taken place around the Japanese coastal lagoons during these last thousand years. Water pollution, coastal development by industrialization and sea level rise, related to warming up of the world, have caused serious damages to the nature of them. The author has investigated living and fossil diatoms of coastal lagoons in Japan. Diatom is not only one of the best indicators for the measurement of recent environment, but it is also a good key for unlocking the paleo-environment of the areas. A study of the historic change of diatom fossils, which are contained in lake sediments, provides us with several kinds of important information about water quality, water depth, and distribution of lake areas.

Lake Shinji and Lake Nakaumi, low salinity lagoons located along the coast of the Japan Sea, are now being planned to be converted into fresh water condition by shutting up marine water, to procure fresh water for industry. In view of protection of its nature, strong opposition against this development comes from the inhabitants near the both lakes. The author took a gravity core sample at the center part of Lake Shinji in 1989. The lowest part of this sample had been deposited about 500 years ago, as determined by radioisotope method. Diatom fossils in the sample provide detail history of lake environment during this past five hundred years.

About 500 years ago, Lake Shinji had been a coastal lagoon. The salinity of that age was about 20-30 permil, because *Grammatophora oceanica*, which is a marine littoral diatom, was dominant at the lowest part of this sample. About 400 - 100 years ago, Lake Shinji had become a fresh water lake, with marine water hardly coming into the lake. *Aulacoseira granulata*, a fresh water diatom species, was dominant during that time. Since the last 100 years, salinity of Lake Shinji has increased again and *Cyclotella caspia*, which is a brackish water diatom, has become dominant. The cause of this environmental change is not made clear yet but it might be related with the sea level rise due to global warming.

Key words: diatom, Holocene, Lake Shinji, Lake Nakaumi, paleolimnology

はじめに

中海・宍道湖を始めとする閉鎖性水域の環境保全については、近年、学術的にのみならず、行政的にも、また住民運動の立場からも注目されてきている。さらに、富栄養化、重金属汚染など従来取り上げられてきた視点に加え、酸性雨・オゾンの減少、気候変化など新しい視点からも、環境保全をとらえようとする傾向が見られる。

このような水域における水質変動の観測は、多くの研究機関などで熱心にすすめられているが、それを過去にさかのぼる場合、残念ながら十分な観測資料を得られない場合が多い。珪藻は、単細胞の顕微鏡レベルの藻類であり、有力な環境指標生物の一つである。また、珪藻のもう一つの特徴は、その殻が堆積物中で保存され易いことから、長期的な環境変化を復原するための指標となることである。例えば、湖底から堆積物を採取して、そこに含まれる珪藻遺骸群集の推移を求めると、数十年、数百年、さらには数千年といった期間の環境変化を推定することが

¹⁾ 九州大学教養部地学教室
Department of Geoscience, College of General Education,
Kyushu University, Fukuoka 810, Japan

可能である。これは、水質変化の経年的な観測の行なわれていない湖沼や、またはそれが行なわれていてもそれ以前の環境変化を求める場合に、大変有効で、画期的な手法と言えよう。

しかし、この珪藻を用いた環境変動の復原（通常、珪藻分析と呼ばれている）には、大きな難点がある。それは、珪藻の種数が多く（約1万種と言われている）、しかも珪藻の棲息環境が種ごとに異なることである。このため、珪藻の種を同定するために、多くの経験と専門的知識が必要となり、実際、日本においても珪藻分析の専門家は数える程しかおらず、また、その養成もままならぬ状態にある。

本稿では、中海・宍道湖水系における珪藻群集について、その分類学的な最近の話題について報告するとともに、同水系における、島根大学の中海・宍道湖自然史研究会の調査のなかで、筆者のこれまでに進めた研究を整理して報告する。

中海・宍道湖水系から産出する主要な現生・化石珪藻種についての分類学的再検討

1. *Cyclotella caspia* Grun.

本種は、宍道湖において優占的に産出する。これまで、*Cyclotella striata* v. *subsalina* Grun., v. *baltica* Grun., 時には*Cyclotella stylorum* Brig. などと同定されることも多かったが、国際珪藻学会などによる発表をみても、最近では同名を用いることが多い。ただ、同種の分類基準についてはまだ議論が続いており、前回の国際珪藻学会（1992年）で筆者が発表したおいても、学会会長からその分類の妥当性について厳しい質問があった。なお、本種の分類学的な説明については、南雲・小林（1985）をぜひ参考にされたい（図1）。

種名が示すように、本種は、カスピ海において最初に記載されたものであるが、汽水環境において重要な環境指標種となることが知られている。筆者がこれまでに調査を行った日本各地の汽水湖沼（鹿島1988, 1989, 1993; Kashima, 1990）においても、比較的塩分の低い湖沼（宍道湖、瀬沼、上甕島汽水性湖沼群の貝池）では、プランクトンとして本種のみが多数産出した。また、湖底表層堆積物中では本種のみで80%を越えることが多い。

これに対して、宍道湖などより塩分の高い汽水湖沼（中海、浜名湖、上甕島汽水性湖沼群のなまこ池）では、本種は多く産出する種の一つではあるが、他の種（*Thalassionema nitzschioides* Grun.,

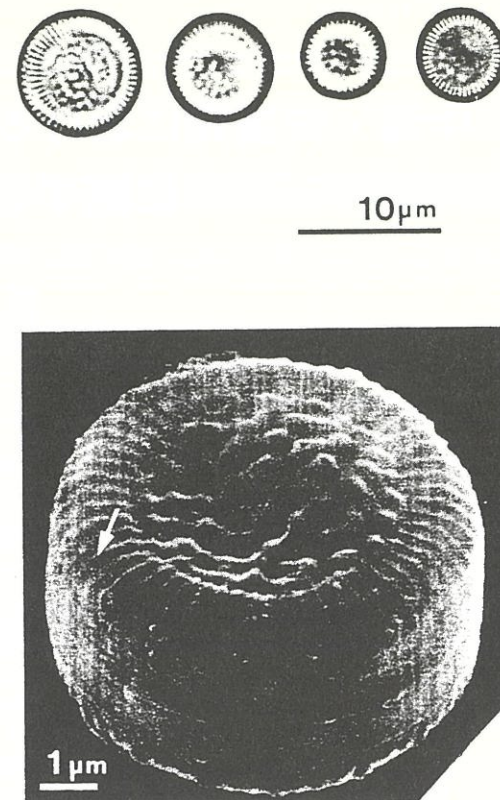


図1. *Cyclotella caspia*の光学および電子顕微鏡写真（南雲・小林, 1985）

Fig.1. Light and scanning electron micrographs of *Cyclotella caspia* (Nagumo and Kobayasi, 1985)

Thalassiosira spp.など）と混在しており、1種で優占することはない。また、淡水の湖沼からは、本種の産出は記載されていない。以上の特徴から、本種は汽水湖沼において限られた塩分環境（表層付近の塩分が3~10パーミル程度）において、爆発的に産出するものといえよう。

筆者が1991年~1992年に行ったトルコ中央部の内陸塩性湖沼においても、海水より2倍以上高塩環境下でも、本種または類似の種が産出している。これは、汽水湖沼における分布と一見矛盾する様であるが、本種の生態学的特徴を考える上で貴重なデータであり、今後検討する予定である。

2. *Diploneis pseudovalis* Hust.

本種は、宍道湖において*Cyclotella caspia*に随伴して産出する。しかし、本種の同定については以下述べるように、多くの問題点が残されている。

珪藻分類の基本とも言える図鑑Kieselalgen II (Hustedt, 1959)では、本種の近縁種として、*Diploneis subovalis* Cleve, *Diploneis smithii* (Breb) Cleveをあげている。この内、*Diploneis subovalis*は淡水生種としているが、記述や図版を見る限り本種との違いがよく明確ではない。多分、棲息環境の違いを以

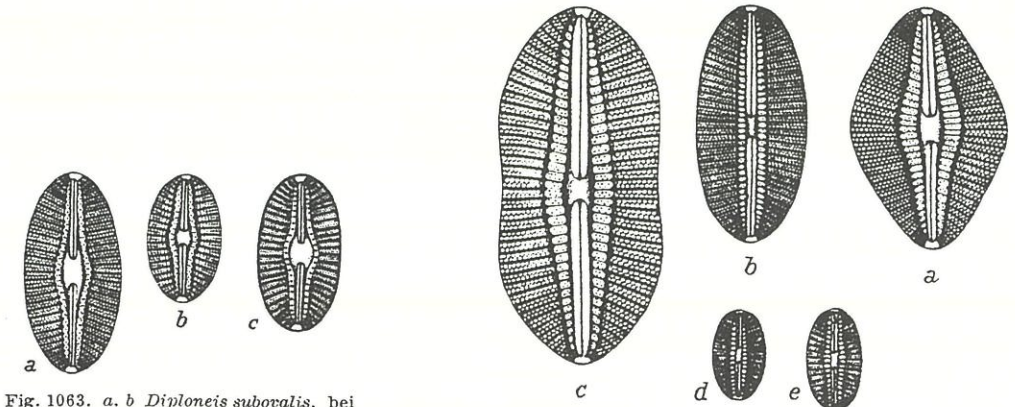


Fig. 1063. a, b *Diploneis subovalis*, bei b im inneren Teile mit einfachen Areolenreihen. c *Diploneis pseudovalis*. Fig. 1052. a *Diploneis Smithii* f. *rhombica* (Material a. d. finnischen Meerbusen!), 1000/1. (a, b Original, c nach Hustedt.) b var. *recta*, c var. *constricta*, d, e var. *pumila*. 865/1. (Original.)

図2. Kieselalgen II (Hustedt, 1959)による*Diploneis pseudovalis*, *Diploneis subovalis*, *Diploneis smithii*およびその変種

Fig.2. Micrographs of *Diploneis pseudovalis*, *Diploneis subovalis*, *Diploneis smithii* and their varieties by Kieselalgen II (Hustedt, 1959)

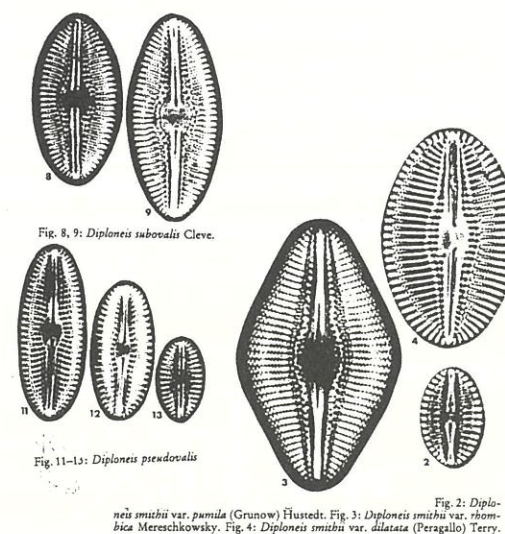


図3. Süßwasserflora von Mitteleuropa (Krammer and Lange-Bertalot, 1986)による*Diploneis pseudovalis*, *Diploneis subovalis*, *Diploneis smithii*の変種群

Fig.3. Micrographs of *Diploneis pseudovalis*, *Diploneis subovalis*, *Diploneis smithii*, and their varieties by Süßwasserflora von Mitteleuropa (Krammer and Lange-Bertalot, 1986)

て別種の根拠としているものと思われる（図2）。

また、*Diploneis smithii*は汽水~海水生種であり、その基本種とは、殻形などの違いが明瞭である。しかし、変種のv. *pumila*との区別は難しく、記述や図版を見る限りでは、殻の中央部付近の形態や10 μmあたりの条線数に相違があるものの、殻の大きさ、形などは等しい（図2）

最近改訂されたSüßwasserflora von Mitteleuropa (Krammer and Lange-Bertalot, 1986)にもこれらの3種は取り上げられている。まず、本種と*Diploneis*

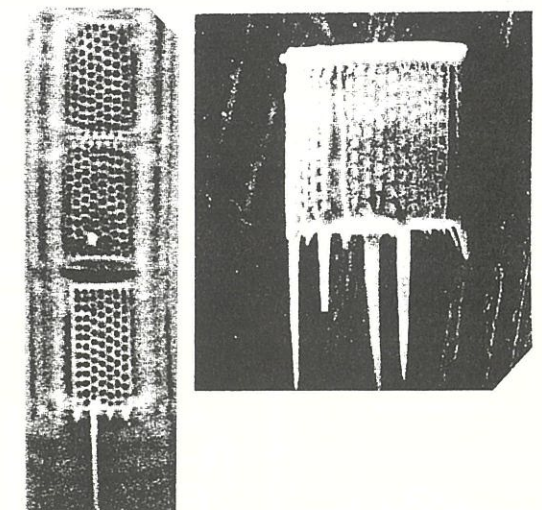


図4. *Aulacoseira granulata*の光学および電子顕微鏡写真 (Round et al., 1990)

Fig.4. Scanning electron micrographs of *Aulacoseira granulata* (Round et al., 1990)

*subovalis*との相違点としては、殻表面の点紋の形態によると記述されているが、図版をみてもよく解らない。一方、本種と*Diploneis smithii* v. *pumila* (Grun.) Hust.との違いは図版上では殻形などの差異が明瞭である（図3）。このように本種の分類については混乱状態にあり、本項で取り上げたいいくつかの名前が、きちんと定義されないまま用いられているように思える。現時点では、著者は*Diploneis pseudovalis*が一番知られているためこの名を用いるが、将来再検討を行なう必要もあろう。

3. *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Ralfs

淡水生種であり、現在の宍道湖からは産出しな

い。しかし、後述するように、湖底ボーリングコア試料からは、約400年前以降の層準から、本種が多く産出する。本種は、これまで*Melosira granulata* (Ehr.) Ralfsと呼ばれていたものである。Simonsen(1979)は、*Melosira*属の中から、本種とその近縁の数種を*Aulacoseira*属に移属した。しかし、これについては問題が多く出され、その後10年以上、本種の分類は混乱してしまった。Round *et al.*(1990)は、本種を*Aulacoseira*属に属するとし、また国際珪藻学会でも本種名が一般的に使われるようになった。属名が*Aulacoseira*から*Aulacoseira*へと一字綴りが変わったことについての経緯は、綴りミスによる命名規約上の変更と思われるが、Round *et al.*(1990)でも説明がない(図4)。

湖底表層堆積物から得られた珪藻遺骸群集の分布

湖沼におけるプランクトン調査の難しさは、プランクトンの群集構成が季節～月単位で、激しいときには数日ないしは数時間単位で大きく変化することにある。このため、調査には根気強い継続的な観測が必要となる。

カナダQueens大学のSmolらのグループは、湖底表

層堆積物を採取することにより、最近数年間の平均的なプランクトン植生が復元できることを提案している(例えば、Dixit *et al.* 1992)。この方法は、珪藻など、殻が残り易い一部の藻類にしか用いられないが、表層数mmの堆積物を不攪乱の状態で採取し、その中に残された遺骸群集の構成から、元の植生と水質環境を復元している。彼らの研究に対しては、本当に不攪乱の試料が採取できるかという技術的な疑問、生体を扱わず遺骸群集を扱うことに対する疑問などがだされているが、多くの研究事例による検証から、環境復元方法としてその妥当性が確かめられつつある。

筆者は中海・宍道湖水系において、1983年と1986年において、合計81地点で湖底表層堆積物試料の採取と珪藻遺骸群集の分析を行った(図5, Kashima, 1990)。これらの試料は、エクマンバジで方形に採取された湖底堆積物から、その表層5～10mm程度を、スプーンによってはぎ取るように採取したものである。両湖沼における堆積速度は、大まかに言って年1mm程度であるので、最近5～10年以内に堆積した珪藻遺骸の平均的な分布を示しているものと言えよう。

これらの結果を、島根大学の秋山教授、伊達教授らが行ってきた同水系における継続的なプランクト

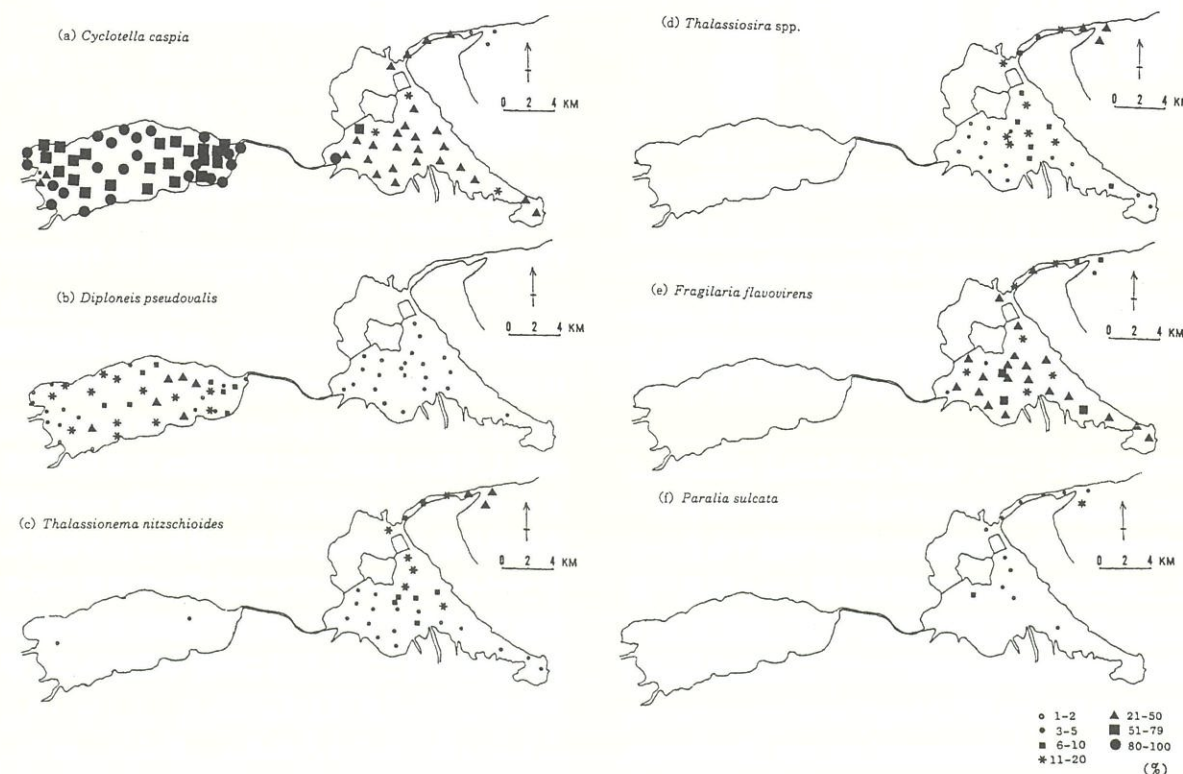


図5. 中海・宍道湖の湖底表層堆積物における珪藻遺骸群集の分布 (Kashima, 1990を改変)
Fig.5. Distribution of diatom assemblages from lake-sediments in Lake Shinji and Lake Nakaumi (after Kashima, 1990)

ン調査結果と比較すると、ほぼよい一致を示している。ただ、殻の構造の脆弱な*Skeletonema costatum* (Greb.) Cleveや*Chaetoceros* sp.などは、湖底表層にはほとんど残っていない。

湖底ボーリングコア試料中の珪藻化石群集の変遷と古環境変遷

1. 宍道湖

宍道湖では湖底東部の2地点(SJ8901, SJ8902)で珪藻化石群集の分析を行った(鹿島・中海宍道湖自然史研究会, 1990)。最上部は、*Cyclotella caspia*が優占するが、その下位に*Aulacoseira granulata*が多く産出する層準が認められた。前述のように*Aulacoseira granulata*は淡水の湖沼に棲息しており、現在の宍道湖のような汽水環境では棲息することはできない。また、深度65cmまでの試料が得られたSJ8901地点では、この淡水層準の下位に、汽水～海水生の*Grammatophora* sp.や*Nitzschia punctata* (W. Smith) Grun.など汽水～海水生の*Nitzschia*属の珪藻が産出する層準が見られた。これらの種は中海など、現在の宍道湖よりも高塩分の環境で棲息しており、当時の宍道湖の塩分は現在よりも高かったことが推

定される(図6)。

宍道湖ではいくつかの地点で、鉛210法や炭素14法による年代測定が行われており(三梨・徳岡編, 1988)、それらの結果からおおよその堆積年代を求めると、次のような環境変化が明かとなった。

400～500年前以前：当時の宍道湖は現在よりも塩分が高かった。

約400年前：宍道湖の塩分は低下し、淡水の湖沼となった。しかし、所々に*Cyclotella caspia*が多く産出する薄層が挟在することから、環境は不安定であり、時々短期間汽水化した。

約50～100年前：宍道湖の塩分が上昇し、現在のようない汽水湖沼となった。

以上のような湖水の塩分変化をもたらした要因としては、これまで砂鉄採集などによる人工地形改変、水路の開削など、人為による影響のみが強調されてきた。しかし、小氷期による海面低下と、その後の温暖化による海面上昇の影響も考えなければいけない。

2. 中海

中海については、米子湾(NU8902)と湖中央(NU9001)において分析を行った(筆者が指導した島根大学理学部1989年度卒業論文(池田成良)、1990年度卒業論文(本田 順)のデータを基に、筆

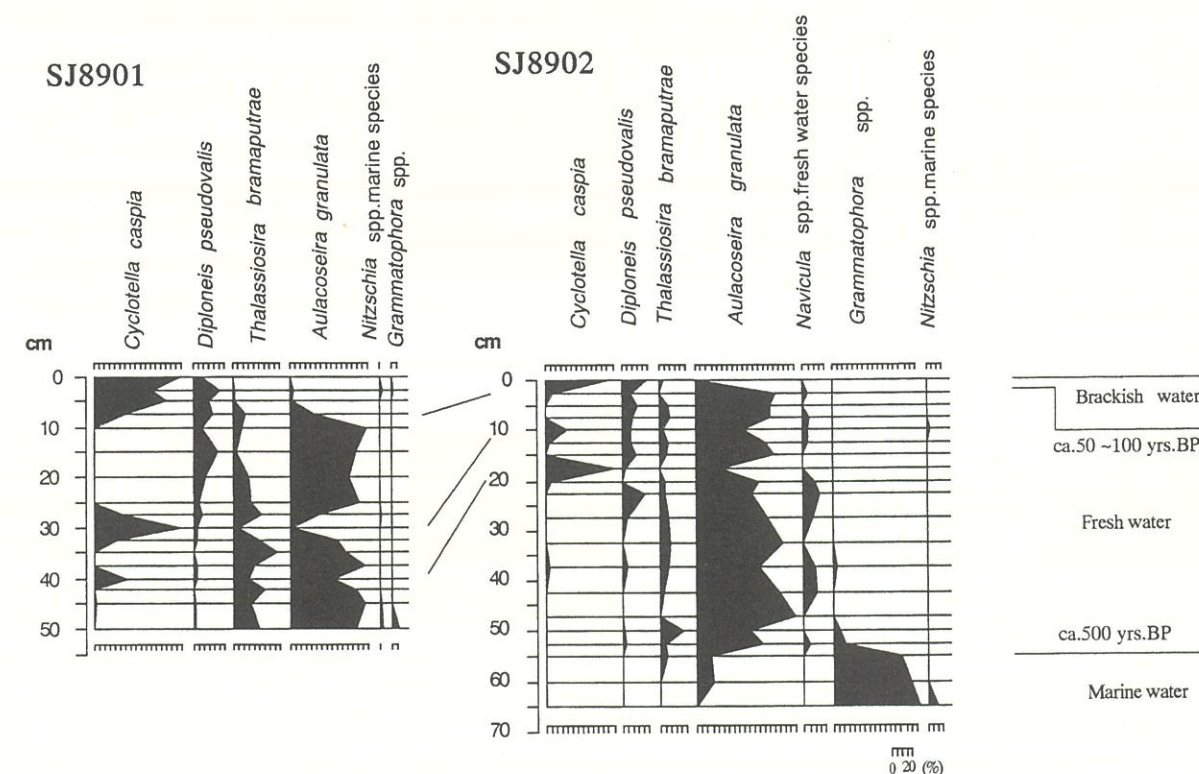


図6. 宍道湖東部における湖底堆積物中の珪藻化石群集の変遷 (鹿島・中海宍道湖自然史研究会, 1990を改変)
Fig.6. Diatom diagram from lake-core samples at the eastern part of Lake Shinji (after Kashima and NSR, 1990)

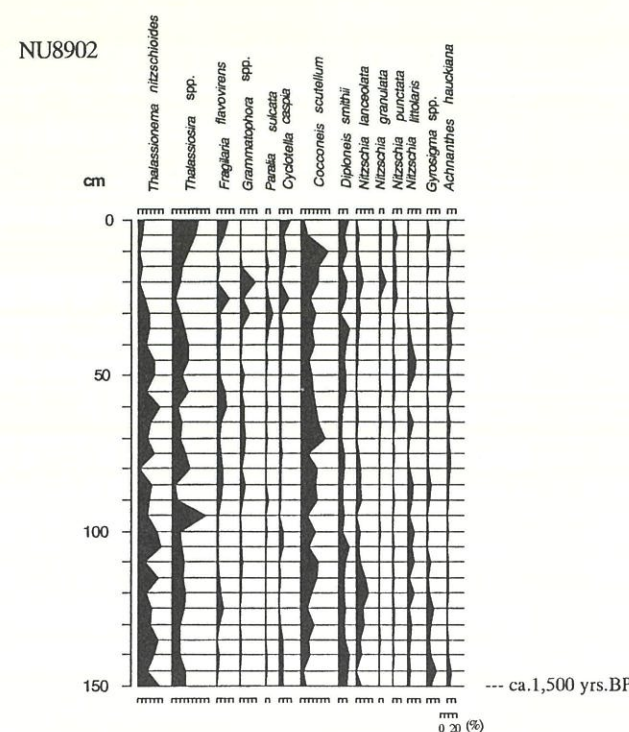


図7. 中海, 米子湾における湖底堆積物中の珪藻化石群集の変遷 (NU8902) 筆者が指導を行なった島根大学1989年度卒業論文 (池田成良) 資料を基に, 筆者が整理し, 修正のうえ再び考察をなした。

Fig.7. Diatom diagram from lake-core samples at Yonago Bay, south-eastern part of Lake Nakaumi (NU8902)

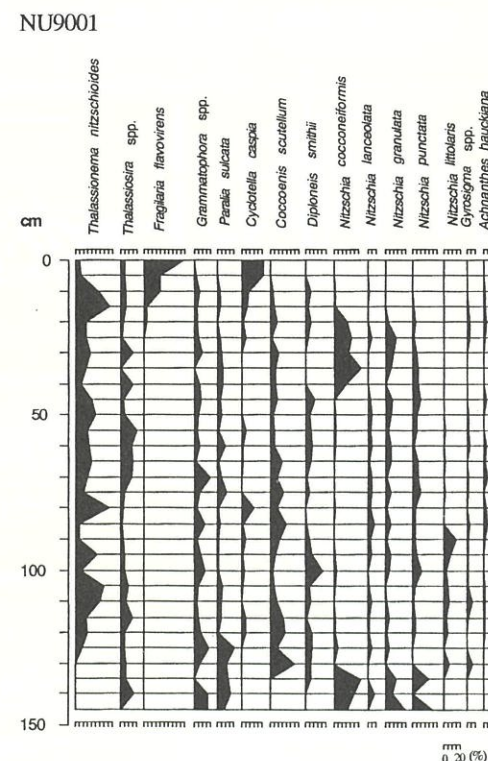


図8. 中海, 湖心における湖底堆積物中の珪藻化石群集の変遷 (NU9001) 筆者が指導を行なった島根大学1990年度卒業論文 (本田 順) の資料を基に, 筆者が整理し, 修正のうえ再び考察を行なったものである。

Fig.8. Diatom diagram from lake-core samples at central part of Lake Nakaumi (NU9001)

者が整理し, 修正のうえ再び考察を行なった。共に湖底下150cmまでの試料が得られたが, 両地点においても, 宍道湖に見られたような顕著な環境変動は認められない (図7, 図8)。

優占的に産出するのは, *Thalassionema nitzschoides*, *Thalassiosira* spp., *Cocconeis scutellum* Ehr.であり, 最上部で*Cyclotella caspia*の割合がやや増加する傾向が認められた。また, 比較的岸に近い米子湾 (NU8902) で付着性の*Cocconeis scutellum*の割合は湖中央 (NU9001) に比べて大きくなる。これ以外にコアの上部から下部まで珪藻群集にはほとんど変動が見られず, この間大きな環境変動はなかったものと思われる。なお, NU9001で*Nitzschia cocconeiformis* Grun.が急増する層準がみられたが, この*Nitzschia cocconeiformis*はとても頑丈な殻を持っており, この変動は湖沼の水質変化よりは, 珪藻殻の保存状態の層準ごとの変化を示している可能性がある。

これらの試料の堆積年代であるが, これも今までの中海・宍道湖自然史研究会の調査結果 (三梨・徳岡, 1988) によると, 堆積速度はおおまかに見て, 年1mm, つまり150cmのコアで1500年間の環境変動をとらえている事となる。これまで, 中海の東側を区切る砂州 (弓が浜) の発達が中海の水質を大きく変えてきたと言われており, また古文書などの記述から見てもその可能性が指摘されてきた。しかし, 珪藻化石から見る限りでは, 中海ではこの1500年間に, つまり古墳時代以降, 大きな環境変動が存在しなかったことによる。

もちろん, 同時に行なわれている種々の分析結果との比較から, 総合的に考えなければいけないが, 今後の調査の大きな留意点となろう。なお, 中海においてはすでに, より深部

までのコアが採取されており, その分析から, これらの問題がより長い時間間隔の中で, 精度の高い年代資料と共に議論されよう。

今後の汽水湖沼研究によせて一まとめにかえて一

筆者は, 今年 (1993年) の11月, アメリカ合衆国ボルチモアで開催された, 第2回国際閉鎖性海域環境保全会議 (EMEC93) に参加して, 研究発表をする機会を得た。この会議では閉鎖性海域の環境保全に対して, 行政, 法律・経済, 工学, そして理学の様々な視点から, 種々の問題が提起された。結論から見ると, これらの海域 (当然中海・宍道湖も含まれている) が古くから人間の生活に密着に関連しており, また人間の精神的なよりどころであるばかりではなく, その環境を保全することが経済学的にも利点が多いことなどが強調された。

島根大学は, 世界的にもユニークな汽水域研究センターを発足させ, 汽水域研究に本格的に取り組もうとされているが, このセンターが拡充され, 日本のそして世界の汽水域研究のメッカとなるように期待している。

文献

- Dixit S.S., Smol J.P., Kingston J.C., Charles D.F. (1992) Diatoms: Powerful Indicators of Environmental Change. *Environ. Sci. Technol.*, **26**, p.23-33.
- Hustedt F. (1959) *Kieselalgen II*. Otto Koeltz Science Publishers, p.845.
- 鹿島 薫 (1988) 珪藻分析から復原された浜名湖の完新世における古環境変遷。砕屑性堆積物の研究, **5**, p. 95~107.
- 鹿島 薫 (1989) 鹿児島県上甕島汽水性湖沼群における珪藻の分布特性と珪藻殻の堆積課程。日本ペントス研究会誌, **35/36**, p. 29~40.
- Kashima, K. (1990) Diatom Assemblages in the Surface Sediments of Lake Shinji and Lake Nakaumi, Shimane Prefecture, Japan. *Diatom*, **5**, p.51-55.
- 鹿島 薫 (1993) 汽水湖沼における現生および化石珪藻群集。地質学論集, **39**, p. 7~14.
- 鹿島 薫・中海宍道湖自然史研究会 (1990) 中海・宍道湖の自然史研究—その14. 宍道湖より得られた柱状試料の珪藻分析—。島根大学地質学研究報告, **9**, p. 159-161.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1986) *Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae*. Ettl, K., et al. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, **2/1**, 876p.
- 三梨 昂・徳岡隆夫編 (1988) 中海・宍道湖—地形・底質・自然史アトラス。島根大学山陰地域研究総合センター, p. 115.
- 南雲 保・小林 弘 (1985) 淡・汽水産珪藻*Cyclotella*属の3種, *C. atomus*, *C. caspia*, *C. meduanae*の微細構造。日本プランクトン学会報, **32**, p. 101-109.
- Round, F.E., Crawford, R.M. and Mann, D.G. (1990) *The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge Univ. Press, 747p.
- Simonsen, R. (1979) The diatom system: Ideas on Phylogeny. *Bacillaria*, **6**, 211-235.