

渦鞭毛藻シスト群集による中海上部完新統の 古環境分析

小島夏彦¹⁾・芳山 聡²⁾・高安克己³⁾

Paleoenvironmental research on the upper sediments of Lake Nakaumi based on dinoflagellate cyst

Natsuhiko Kojima¹⁾, Satoru Yoshiyama²⁾ and Katsumi Takayasu³⁾

Abstract: The paleoenvironmental change as indicated by Holocene dinoflagellate cyst assemblage is analyzed in the core samples from Lake Nakaumi, Japan. The results show that the lake changes to stagnant condition gradually after 17th century. The stagnant tendency is mainly indicated by the reduction of counting rate on *Spiniferites* cysts and the increase of Protoperidinioid group cysts (eg. *Brigantedinium* spp., *Selenopemphix quanta*).

key words: dinoflagellate cyst, Holocene, lagoonal lake, Lake Nakaumi, paleoenvironment

は じ め に

中海は島根県と鳥取県の県境に位置している汽水湖で、面積 86.8km²を占め日本第 5 位の大きさの湖としてランクされている。位置づけとしては一級河川斐伊川の河口域とすることができるが、中海の西に広がる宍道湖とともに斐伊川河口域の大規模な帯水域として考えることができる。

本水域は、近年の人為的環境改変を別にしても汎世界的な海水準変動や斐伊川の流路変更などの影響を大きく受けてきた。そのため地史的には短期間に水域の環境が変動したことが多方面の研究から明らかになってきた(三梨・徳岡(編), 1988; 徳岡ほか, 1990)。このように、沿岸部の汽水湖沼で大きな環境変化が生じた場合、微妙な水域の変化が生物学的あるいは化学的に細粒堆積物の中に記録される可能

性が出てくる。近年このような観点から研究が進み、とくに海水準変動の影響を強く受けた完新世の汽水湖沼の地史的研究が活発化している(井内ほか, 1990 など)。

本研究で用いられている渦鞭毛藻は単細胞の藻類であるが、その休眠胞子の一部が化石群集として完新統から多産することが知られている。最近になり現生種の遊泳体とこの休眠胞子(シストとよばれる)との関係が徐々に明らかにされつつあることから(松岡, 1983, 1984; Matsuoka, 1992 など)、古環境指標生物として利用される機会も多くなってきている(Kojima, 1989; 松岡, 1991, 1992)。

中海では底質表層に含まれている現生種の渦鞭毛藻シスト群集の調査が近年行われた(Kojima et al., 1994)。これにより現在の中海環境下でのシスト群集の特性も明らかになってきており、渦鞭毛藻シスト群集による中海の古環境解析に関しては期が熟したともいえる。

本研究では上記の現状を念頭に置き、古環境学的な研究が進んでいる中海域において、一次生産者として重要な渦鞭毛藻の化石休眠胞子(シスト)群集がどのような産出特性を示し、今までの地史研究とどのような関係を示すかについて予察的調査を行った。

¹⁾ 京都大学農学部熱帯農学専攻水産資源学講座
Laboratory of Fishery Resources, Faculty of Agriculture,
Kyoto University, Kyoto 606-01

²⁾ 島根大学理学部地質学教室
Department of Geology, Faculty of Science, Shimane
University, Shimane 690

³⁾ 島根大学汽水域研究センター
Center for Coastal Lagoon Environments Shimane University, Shimane 690

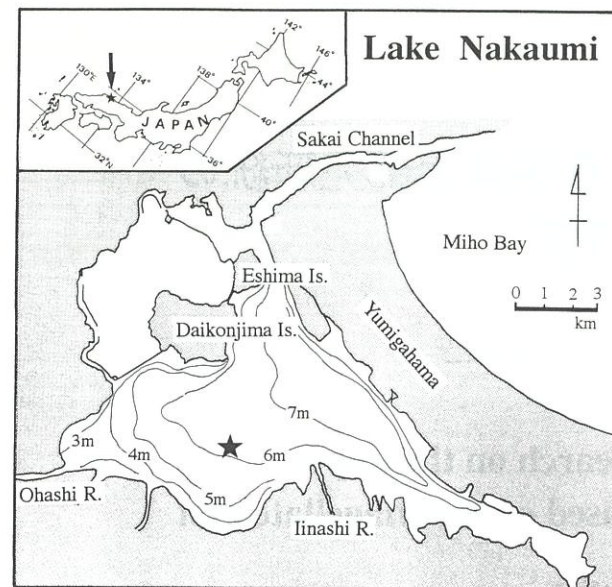


図1 柱状試料採取地点
Fig. 1. Sampling point with bathymetry

材料と方法

分析に用いた試料は、中海の湖央部よりやや南の北緯35°27.00′、東経133°11.43′で採取された(図1)。なお水深は6.2mであった。本試料採取水域は、西から流れ込む大橋川の河川水の影響を受けている場所と考えられ、底生有孔虫の分析結果からその傾向が見て取れる(Nomura and Seto, 1992)。

試料採取には長さ2m、内径5cmの重力式採泥器を用い、全長103cmの柱状試料を得た。試料は表層から20cmまでは黒色で含水率が高く、もとの柱状の形状を維持できないほどである。深度20cmから75cmまでの間は色調が灰色に変化し、下位になるにつれ暗色化する。深度75cmより深い部分は暗灰色であった。粒度面では、全体が泥質で一様にみえる。同試料では軟x線での観察も行ったが、それによるとコア試料全体に貝殻片が認められ、最下部にはわずかながらラミナが確認された。

渦鞭毛藻シスト分析は、柱状試料を上から下へ2.5cmごとに分割し、それによってまとめられた41試料でこなった。処理手順はMatsuoka et al. (1989)の花粉分析学的手法に準じているが、KOH処理とアセトリシス処理は化学的に弱いシストの消失を考えて今回は行なわなかった。すなわち、まず5%塩酸溶液によって炭酸カルシウムを溶かし、さらに25%フッ化水素酸で珪質分を溶かす。残ったものを100メッシュの篩を通して大型の粒子を排除し、つづいて635メッシュの篩にかけて篩上に残った有機質の残渣を集めて検鏡用試料とした。なおこの処理試料はサフラニン-Oで染色した後グリセリンゼ

リーでスライドガラス上に封入した。検鏡は生物顕微鏡でおこない、各試料あたり200個体以上のシスト種の同定を行った。

試料の年代と堆積速度について

分析に用いた柱状試料については年代学的な分析は行っていない。そこで本柱状試料採取点と近い点で採取したNU9007という柱状試料で測定された年代試料を用いて年代を推測した。

大西ほか(1993)は花粉分析学的見地からマツ亜帯とカシ・ナラ亜帯の変化層準に注目し、堆積速度を2.0~2.3mm/yearと推測している。一方、三瓶・松本(1994)は同柱状試料で¹⁴C年代と火山灰を用いて堆積速度を推定しているが、それによると2m以浅で2.5mm/yearという値を得ており、大西ほか(1993)と類似の結果がでている。

以上の結果をふまえ、本稿では本試料採取点の堆積速度を上述した2論文の結果の中間値2.3mm/yearとし、年代的な議論をおこなった。

産出した渦鞭毛藻シスト群集

渦鞭毛藻シストは分析した試料すべてに含まれ、Kojima et al. (1994)で報告された中海の現在の底質表層中のシスト群集の種組成とほとんど同じであった(図2, 3)。全体的傾向としては、独立栄養型種を主とするゴニオラックスグループ(とくに*Spiniferites*属)が柱状試料の下位層で占有比率が高く、上位層では従属栄養型種を主とするプロトペリディニウムグループとギムノディニウムグループの比率が高くなる。

シスト群集の種組成比の変化から次の4群集を認識した。

-103~75cm(群集I)

ゴニオラックスグループの*Spiniferites*属シストが優占する。同グループでも*Lingulodinium machaerophorum*の産出率は低い。プロトペリディニウムグループは全般に産出率は低いが、*Lejeunecysta concreta*は特徴的にこの部位で多めに産する。唯一のテュバクロディニウムグループである*Tuberculodinium vancampoe*は*Spiniferites*属に次いで高率に産出する。無殻種を代表するギムノディニウムグループは総じて低産出率を示す。

-75~65cm(群集II)

群集Iに引き続きゴニオラックスグループの*Spiniferites*属が高率で産するが、占有比率は落ちる。プロトペリディニウムグループでは*Selenopemphix quanta*が急増するほかは低率で推移するが、*Brigan-*

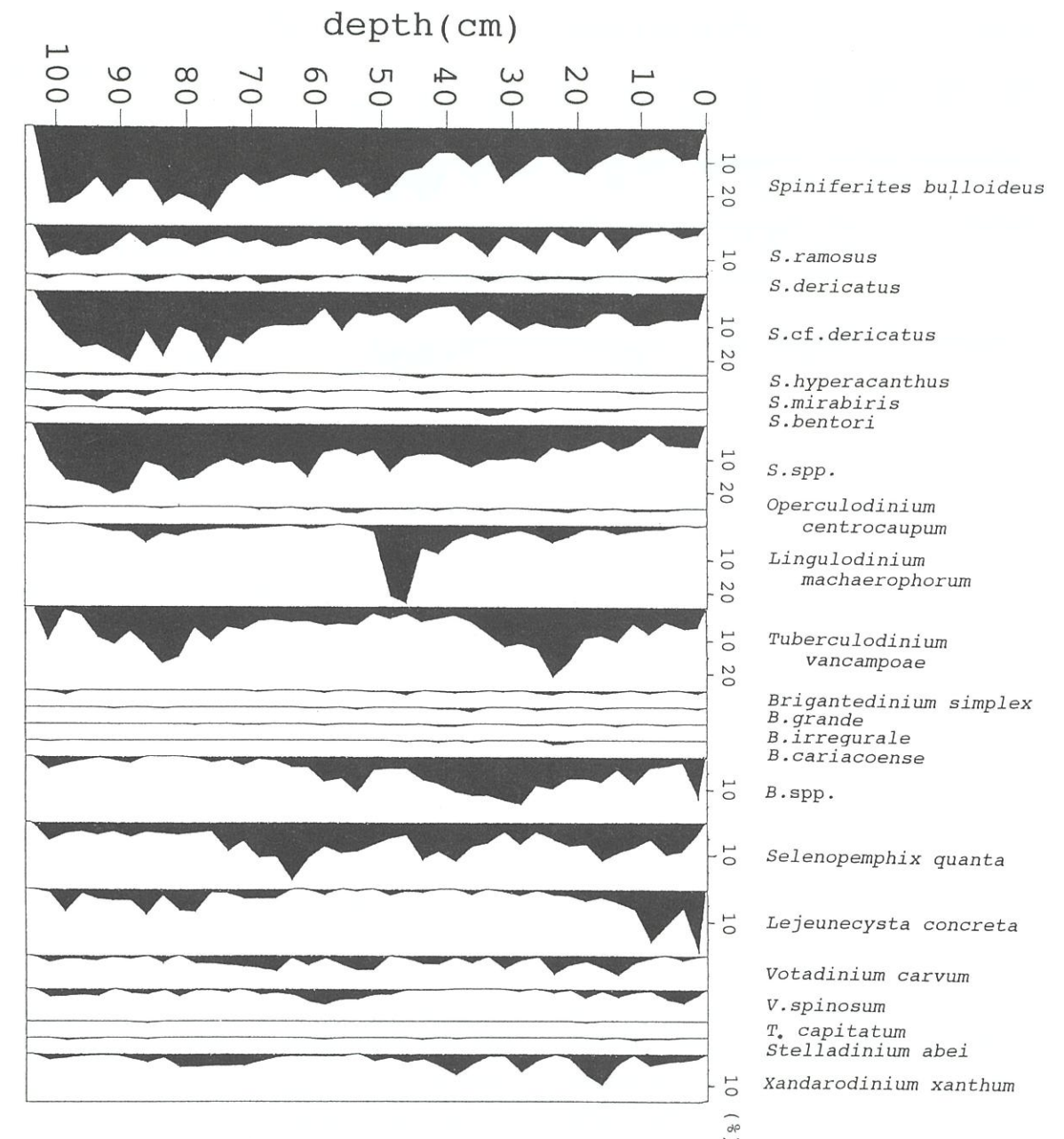


図2 主要渦鞭毛藻シスト種の変動(I)
(ゴニオラックス, プロトペリディニウムグループ)
Fig. 2. Main dinoflagellate cyst variations(I)
(Gonyaulacoid, Protoperidinioid groups)

*tedinium*属が低率ながら連続して産出し始める。*T. vancampoe*は比率が低下傾向をしめす。ギムノディニウムグループでは群集Iに引き続き全般にどの種も低率であるがその中で小型の*Algidaphaeridium?* sp. aff. *minutum*が群集Iより高率となっている。

-65~-50cm(群集III)

ゴニオラックスグループの産出傾向は群集IIと変わらないが、*S. cf. denticatus*と*S. spp.*ではやや占有率低下の傾向がある。プロトペリディニウムグループでは*Brig. spp.*のシストが増加するほか、*Seleno-*

*quanta*が高い値を示す。また*Votadinium spinosum*も前後の群集に比べ低率ながら安定産出している。*T. vancampoe*は低率で安定して産出している。ギムノディニウムグループでは*Polykrikos schwartzii*と*Poly. sp. cf. kofoidii*の比率が高くなる。

-50~-40cm(群集IV)

ゴニオラックスグループでは*S. bulloideus*のはっきりした比率の低下傾向と*L. machaerophorum*の突発的な比率増加によって代表される。プロトペリディニウムグループにおいては*B. spp.*と*Seleno. quanta*が比率低下の底を打ち再び増加傾向をみせてい

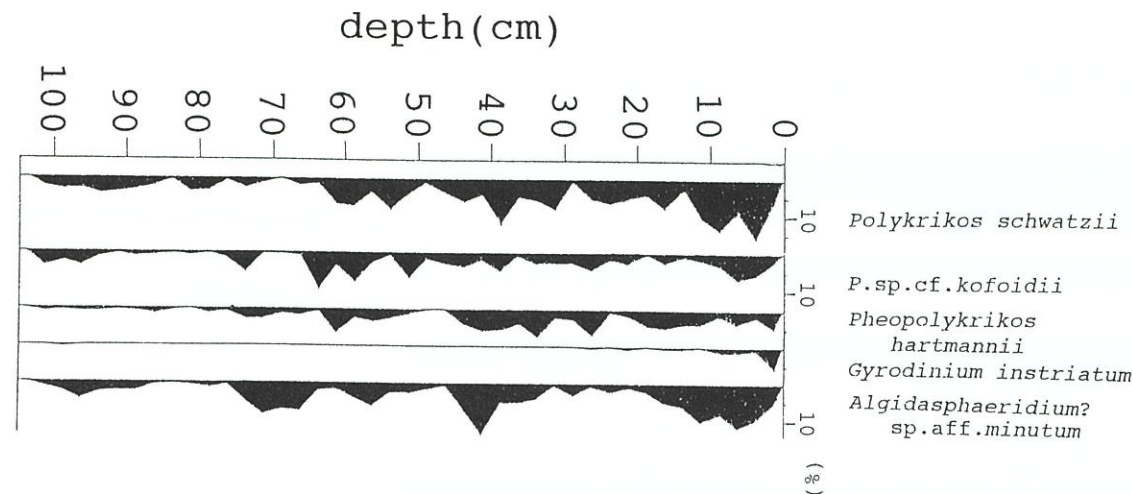


図3 主要渦鞭毛藻シスト種の変動(II)
(ギムノディニウムグループ)
Fig. 3. Main dinoflagellate cyst variations(II)
(Gymnodinioid group)

る。一方 *V. spinosum* は群集Ⅲでは低率ながら安定産出していたが、この区間でいったん姿を消す。*T. vancampoe* は本柱状試料で最も比率が低下する部分となる。ギムノディニウムグループでは産出するほとんどの種でこの区間内において産出率の落ち込みが認められる。

-40~0cm(群集Ⅴ)

ゴニオラックスグループでは *Spiniferites* 属シストの多くの種が安定産出するが、前述した4群集と比較して比率が下がる。*L. machaerophorum* は漸減している。プロトペリディニウムグループは各種とも比率が上昇しており、とくに *B. spp.* と *Seleno. quanta* は比較的安定して産出する。*L. concreta* は上位に進むにつれ急激に比率を増す。*V. spinosum* も上位で低率ながら再び産出しはじめている。*T. vancampoe* は20~25cmで産出ピークがあり、その比率は20%を越え、全体の産出率は群集Ⅰなみの高さを回復している。ギムノディニウムグループでは増減はあるものの下位層の群集より高比率で比較的安定して産出する。

考 察

1) 渦鞭毛藻シスト化石群集からみた地中海の古環境

本章では渦鞭毛藻シストによる古環境の推定をおこなうが、この作業は日本近海で今まで行われてきた現世底質表層中のシスト分布研究の結果を援用したものである。特に地中海の環境に大きな影響を与えていると考えられる対馬暖流域のシスト分布と傾向においては、松岡(1985c)・Matsuoka(1992)の報告が重要である。また松岡(1985b)、Matsuoka(1985a, 1987)、小林ほか(1986)、小林・結城(1991)、Kojima

et al. (1994)などは日本の沿岸域のシスト分布の傾向を知るうえで重要であるとともに、本稿における分析の基本資料になっている。

群集Ⅰでは独立栄養種が主体であるゴニオラックスグループの *Spiniferites* 属が優占しているのが大きな特徴で、種組成の比率から現在の長崎湾や先崎湾と大きな違いはない(Matsuoka, 1985a)。これは黒潮から分枝した対馬暖流の影響をうけた結果と理解され、さらに外洋水の湾内における循環が比較的良好な環境であることが推定される。また亜熱帯~暖温帯種とされている *Tuberculodinium vancampoe* の、*Spiniferites* 属に次ぐ高率産出も外洋水(対馬暖流)の流入効率の良い内湾の存在を想起させる。Kojima(1989, 1994)により強内湾化の指標になるとされたゴニオラックスグループの *Polykrikos* 属シストの低比率安定産出の傾向も上記の環境を支持している。群集Ⅱでは *Spiniferites* 属シストの比率がやや減少するとともに *T. vancampoe* の明瞭な減少が外洋水の流入量の低下を推測させる。これは堆積物の粒度分析の結果、群集Ⅱが産出する堆積物で細粒化の傾向が読み取れることから支持される(図4)。また *Selenopemphix quanta* に代表されるプロトペリディニウムグループの増加傾向は従属栄養種の比率の増加を意味し、この傾向は環境の不安定化を示しているとされている(Harland, 1988)。具体的に不安定化とは栄養塩濃度・塩分濃度などが、湾内に流入する河川水によって比較的短い周期で変化することを示していると理解される。内湾域におけるプロトペリディニウムグループの増加は、特に日本のように藻類の生息条件の良い春から夏にかけて降水量が多い場所で顕著に記録されるものと推定されている

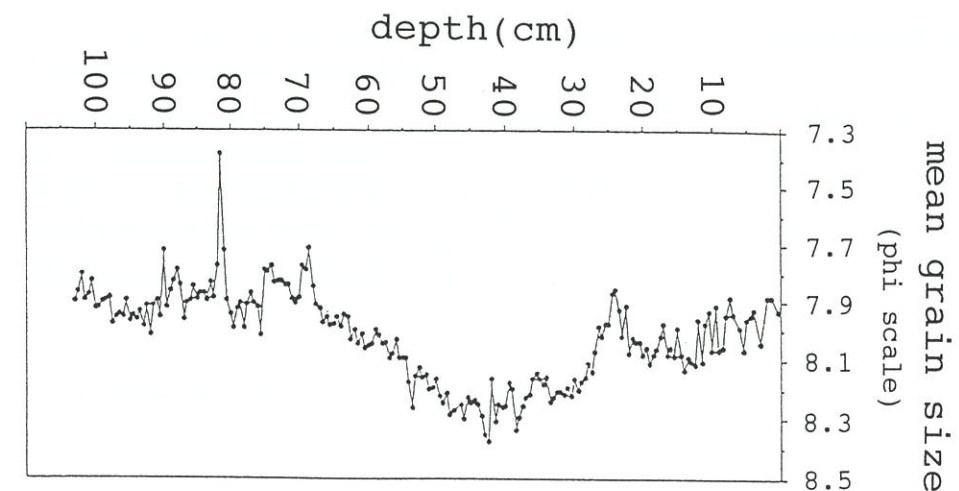


図4 堆積物の粒度組成変化
Fig. 4. Grain size variation of the core samples.

(Kojima et al. 1994)。降水量を除いて(日本の約半分)気候条件が似かよっているオーストラリア東岸部の汽水湖沼で行われたシスト群集の分析結果では組成比が日本と大きく異なっている(McMinn 1990, 1991)。詳しい環境因子の検討なしに判断するのは危険であるが、ひとつの可能性として考えると、日本では渦鞭毛藻の生息好適期に降水が河川を通じて湾内に大量の塩類と淡水を運び込み、しかも内湾という滞留しやすい環境が湾内の渦鞭毛藻に大きな影響を与え、逆にオーストラリア東岸部では降水量が少ないうえに年較差も少ないことがこのタイプのシスト群集を函養しているものと考えればうまく説明ができる。

群集Ⅲでは *Spiniferites* 属は群集Ⅱと産出比率に変化はみられないが、プロトペリディニウムグループの *Brigantedinium* 属シストとギムノディニウムグループの *Polykrikos* 属シストが明瞭に増加していることから従属栄養種全般の比率増加期とみてとれる。すなわち群集Ⅱの時期よりさらに陸水の影響が強まったと判断される。このことはMatsuoka(1987)が渦鞭毛藻の従属栄養種(ここでは *Protoperidinium* のグループ)の豊産域と高生物生産域の一致を示したことから導き出される。つまり、Matsuoka(1987)では高生物生産域が湧昇域によって形作られたものであったのに対し、中海は陸水からの栄養塩類流入によって函養された高生物生産域なのである。

群集Ⅳは *T. vancampoe* の低出現率が当時の環境を端的に説明していると判断される。すなわち、前述したように *T. vancampoe* は亜熱帯~暖温帯種とされていることから、対馬暖流によりもたらされたものと考えられるべき種である。対馬暖流が現在のような規模とコースをとるようになったのは今から約8000年前である(大場 1982, 大場ほか 1984)。以上

のことから、本柱状試料の堆積期間を通して安定して日本海を北上していた対馬暖流を考えれば、*T. vancampoe* の産出比率変化は内湾への外洋水の流入規模の変化とも考えられる。つまりこの時期は過去400~500年間で最も外洋水流入が困難な時期にあたると判断される。ただし、*Spiniferites* 属シストの産出をみると、*S. bulloedeus* は確かにこの期間に比率の減少がみられ、*T. vancampoe* の産出傾向と整

合的であるが、その他の *Spiniferites* 属シストについては大きな変化がみられない。またプロトペリディニウムグループの *Brigantedinium* 属シストや *Seleno. quanta* など従属栄養種もこの時期比率がやや減少している点も *T. vancampoe* の産出傾向とあわない。

L. machaerophorum の突発的な高出現率はなんらかの事件を類推させるが、他の種で類似の傾向を示す種がないことが解釈を難しくしている。この *L. machaerophorum* の産出は *T. vancampoe* の低率産出と同時期であることから、湾内環境の低塩分化がこの状況をもたらしたとも推測されたが、同じく低塩分環境に敏感な *Polykrikos* 属シストが逆にこの時期比率を下けていることが、塩分濃度との関連で説明できにくくしている要因になっている。

群集Ⅴでは *Spiniferites* 属シストで代表される独立栄養種の比率が前群集にくらべさらに低比率で安定化する傾向が確認される。またそれとは反対にプロトペリディニウムグループの *Brigantedinium* 属シストと *Seleno. quanta* などで代表される従属栄養種が安定して一定比率量産出する。これらのことは、前述したHarland(1988)の見解である不安定環境下では従属栄養種が増加するという見方をすれば、中海環境の不安定化がこの頃からはじまり現在に至っているものと理解される。*Polykrikos* 属シストのこの時期における漸増傾向も上記の推測を裏付けるものとなっている。ただし、*T. vancampoe* における群集Ⅰなみの高率産出は群集Ⅳで論じた外洋水の流入量変化だけで説明するには無理があり、群集Ⅴの環境不安定化という推測とも整合性がない。したがって *T. vancampoe* の産出比率の増減を考えるには外洋水の流入量以外の要因を考慮する必要があるものと類推される。また *L. concreta* が比率を急激に上昇させているが、これと同じ柱状試料で分析した

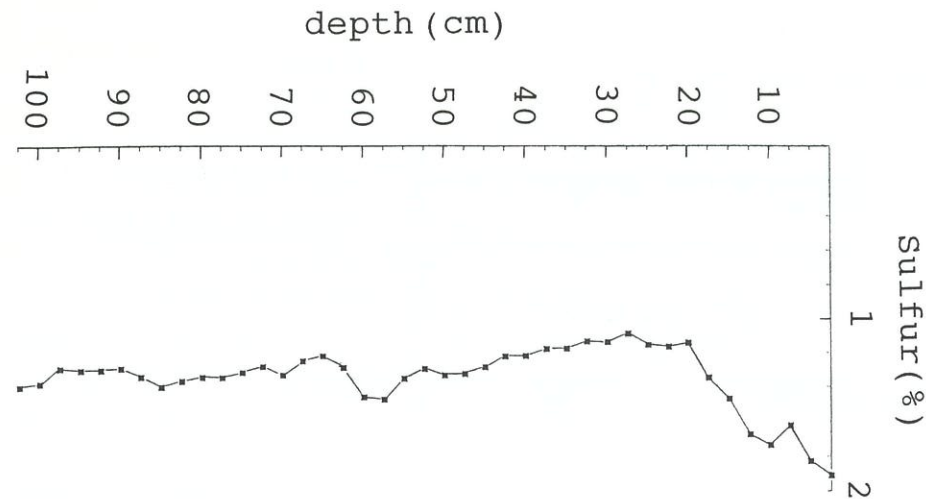


図5 堆積物中にふくまれるイオウの比率変化
Fig. 5. Sulfur contents variation of the core samples.

イオウ含有率の変化を比較するとかなり良い一致をみせている(図5)。これは閉鎖環境の進行で中海底層部の無酸素化がイオウ含有量に現れ、同時に *L. concreta* の比率にも連動したと推定される。ただし、後述したように *L. concreta* は今まで現生種が沿岸域で豊産する事は知られているが内湾閉鎖環境の指標種として議論されたことはなくさらに検討が必要である。この群集では5つの群集の中で唯一ギムノディニウムグループの *Gyrodinium instriatum* のシストがまとまって産出する。このシストは外殻が脆弱で、堆積物に取り込まれてもすぐに分解してしまうために表層近くのみ分布するものと考えられる。さらにこのシストは普通は外殻のまわりをゼラチン質の物質で取り巻かれ、さらにその部分に堆積物粒子等が付着して殻本体の様子はほとんどわからないのが一般的である。しかしながら汽水湖沼で無酸素環境が形成される場所に堆積しているこの種のシストの中には、外殻がむき出しになっているタイプのものが特徴的に産出することがある(Kojima and Kobayashi 1992)。中海底質表層堆積物にも同様のシストが産出しており、しかも複数個体が絡まった状態で見られることもよくある(Kojima et al. 1994)。この産状は *G. instriatum* が赤潮状態でシストを形成したことを示しているのかもしれない。Jimenez (1993) は *G. instriatum* 赤潮の条件として塩分濃度7~13パーミルを記録していることから、中海表層で一時的に塩分濃度の低下が起きれば容易に赤潮が生じるのではなかろうか。今まで米子湾等で報告されている *Gymnodinium* 赤潮はひょっとすると一部は *G. instriatum* 赤潮である可能性もある。*G. instriatum* では可能性はあまりないが、堆積物の深い場所から赤潮の痕跡を記録できれば古環境解析においても非常に意味のあることである。Dale et al. (1993) や

Dale and Nordberg (1993) では歴史上の赤潮記録を堆積物中から抽出している(*Gymnodinium catenatum* 赤潮)。このような事例が今後もでてくれば、内湾・沿岸域の過去の環境を考えるのによい材料を提供することになる。

以上のような5群集を通じてみられる各種の産出特徴としてもうひとつあげておきたいのは、短い周期の産出比率変動である。この変動は中海の形成要因に由来するものと思われる。すなわち、弓が浜

のような砂州が発達することにより中海はと外海区別されるようになったが、砂州は形状を常に変化させやすく、嵐などの影響を受けがちであると理解される。したがって中海と外海は隔てられたり、通じたりといった状況をかなり頻繁に繰り返していたことが予想される。このことは同様な原因で形成されたとされる浜名湖でのシスト分析でも確認できる(Kojima 1989)。

2) 渦鞭毛藻による古環境解析と徳岡ほか(1990)の中海地史との比較

分析に用いた柱状試料は400~500年分の堆積物であることが水域の堆積速度から推測されている。そこで、今までの研究結果から推定されている中海の過去約400年間の環境変遷の様子を徳岡ほか(1990)からまとめてみると次のようになる。

米子湾から中海南東部の水域では西暦1600年ごろまでは底層水の循環の良い時期が続き、その合間に水の循環の悪い閉鎖的な環境が何回か生じている。これは弓が浜の頸部に美保湾と結ぶ水路が断続的に形成されていたためと考えられている。その後1800年代後半まで閉鎖環境が進行し、1800年代後半になると底層生物がほとんど生息できないほど環境が悪化した(底層部の無酸素化の進行)。一方中海南西部では1400年以後低鹹汽水化の方向へむかい、1700年代後半から1900年代初めにかけて鹹度がやや上昇し、底層水交換も良くなるが、1900年代後半からまた急速に閉鎖環境化する。

上記の中海地史と渦鞭毛藻シスト分析の結果から次のようなことが言える。地史でも述べているように、1600年以降閉鎖環境が周期的変動を示しつつもほぼ一様に進行している。これはシスト産出の傾向をみても、*Spiniferites* 属シストの漸減、プロトペ

リディニウムグループのシスト(*Brigantedinium* spp. など)・*Polykrikos* 属シストの漸増といういままで内湾の閉鎖環境を示しているとされてきた変動の方向性とよく一致している。また1800年代後半の環境悪化については *Polykrikos* 属シストと *L. concreta* の比率増加と一致している。*Polykrikos* 属についてはKojima(1989)が強内湾化指標としているが、*L. concreta* については今までその産出傾向と環境について詳しく議論されていない。しかし柱状試料下部における本種の断続的な出現と地史との間の良い整合性を考えると、内湾閉鎖環境の指標種になりうる可能性もある。以上のような閉鎖環境に対する渦鞭毛藻シストの反応はかなりはっきりでているが、1700年代から1900年代にかけての鹹度上昇については今回のシスト産出結果からその変化をとらえることができなかった。その反面 *L. machaerophorum* や *T. vancampoe* が特徴的な産出傾向を示したことから、今後新しいタイプの環境反応種として認知され、渦鞭毛藻シスト分析による古環境解析の新しい世界を開拓してゆくかもしれない。

ま と め

1) 中海で採取した堆積物の柱状試料で渦鞭毛藻シスト化石の分析をおこなった。

2) その結果過去約500年間徐々に閉鎖環境が進行したことが *Spiniferites* 属シストの減少・プロトペリディニウムグループシストの増加などから認識された。

3) シストによる古環境解析の結果は今までに明らかにされてきた中海の地史をおおむね支持するものであった。

4) シストの中には今まで知られていないような特徴的な産出傾向を示すものもあり(*L. machaerophorum*, *T. vancampoe*) 渦鞭毛藻シストによる古環境解析の新しい可能性も期待できそうである。

謝 辞

本研究では堆積物の機器分析において島根大学理学部地質学教室大学院生の作野裕司、丹後雅憲両氏のご協力を得た。記して感謝の意を表する。

引用文献

Dale, B. and Nordberg, K. (1993) Possible Environmental Factors Regulating Prehistoric and Historic "Blooms" of The Toxic Dinoflagellate *Gymno-*

dinium catenatum in The Kattegat-Skagerrak Region of Scandinavia. In: *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*. (eds.) Smayda, T. J. and Shimizu, Y. pp. 53-57. Elsevier, Amsterdam.

Dale, B., Madsen, A., Nordberg, K. and Thorsen, T. A. (1993) Evidence for Prehistoric and Historic "Blooms" of The Toxic Dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* in the Kattegat-Skagerrak Region of Scandinavia. In: *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*. (eds.) Smayda, T. J. and Shimizu, Y. pp. 46-52. Elsevier, Amsterdam.

Harland, R. (1988) Dinoflagellates, Their cysts and Quaternary stratigraphy. *New Phytol.*, **108**: 111-120.

井内美郎・徳岡隆夫・高安克己・安間恵・牧野泰彦・楡井久(編)(1990)湖沼の成因と環境・地質。地質学論集36号, 日本地質学会, 東京, 262p.

Jimenez, R. (1993) Ecological Factors Related to *Gyrodinium instriatum* Blooms in the Inner Estuary of the Gulf of Guayaquil. In: *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*. (eds.) Smayda, T. J. and Shimizu, Y. pp. 257-262. Elsevier, Amsterdam.

小林 聡・松岡数充・飯塚昭二(1986)日本沿岸表層堆積物中の渦鞭毛藻シストの分布。I. 大村湾。日本プランクトン学会報, **33**(2): 81-93.

小林 聡・結城勝久(1991)日本沿岸表層堆積物中の渦鞭毛藻シストの分布。II. 的矢湾。日本プランクトン学会報, **38**(1): 9-23.

Kojima, N. (1989) Dinoflagellate Cyst Analysis of Holocene Sediments from Lake Hamana in Central Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.* **155**: 197-211.

Kojima, N. (1994) Holocene Dinoflagellate Cyst Assemblage in Lagoonal Lakes along the East Coast of Japan. In: *Proc. 29th Int'l Geol. Congr., Part B*. pp. 263-268. VSP, Amsterdam.

Kojima, N. and Kobayashi, S. (1992) Motile-cell Like Cyst of *Gyrodinium instriatum* Freudenthal et Lee (Dinophyceae). *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **74**: 239-247.

Kojima, N., Seto, K., Takayasu, K. and Nakamura, M. (1994) Dinoflagellate Cysts Assemblage Found in the Surface Sediments of Lake Nakaumi, Western-Japan. *Laguna*, **1**: 45-51.

松岡数充(1983)後期更新世から完新世の渦鞭毛藻シストのシノニムリスト I —ゴニオラックスグループ。NOM, **11**: 1-32.

松岡数充(1984)後期更新世から完新世の渦鞭毛藻シストのシノニムリスト II. ペリディニウムグ

- ループ及びギムノディニウムグループ. *NOM*, 12: 1-15.
- Matsuoka, K. (1985a) Organic-walled Dinoflagellate Cysts from Surface Sediments of Nagasaki Bay and Senzaki Bay, West Japan. *Bull. Fac. Lib. Arts, Nagasaki Univ. Nat. Sci.*, **25**(2): 21-115.
- 松岡数充 (1985b) 沿岸内湾域における赤潮渦鞭毛藻シストの分布に関する研究. 6-赤潮予察実用化技術開発試験, 昭和59年度赤潮対策技術開発試験報告書. pp. 1-6. 水産庁.
- 松岡数充 (1985c) 対馬暖流域の表層堆積物中における渦鞭毛藻シストの分布. 第四紀研究, 24(1): 1-12.
- Matsuoka, K. (1987) Organic-walled Dinoflagellate Cysts from Surface Sediments of Akkeshi Bay and Lake Saroma, North Japan. *Bull. Fac. Lib. Arts, Nagasaki Univ. Nat. Sci.*, **28**(1): 35-123.
- 松岡数充 (1991) 諫早平野に分布する完新統産のバリノモルフ. 日本花粉学会誌, 37(1): 1-10.
- 松岡数充 (1992a) 海産バリノモルフ化石群集からみた対馬・三根湾における完新世の沿岸海洋環境の変遷. 第四紀研究, 31(3): 147-157.
- Matsuoka, K. (1992b) Species Diversity of Modern Dinoflagellate Cysts in Surface Sediments around the Japanese Islands. In: *Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cysts and Acritarchs*. (eds. Head, M. J. and Wrenn, J. H.) pp. 33-53. AASP, Dallas.
- Matsuoka, K., Fukuyo, Y. and Anderson, D. M. (1989) Methods for Modern Dinoflagellate Cyst Studies. In: *Red Tides: Biology, Environmental Science, and Toxicology*. (eds.) Okaichi, Anderson and Nemoto. pp. 461-479. Elsevier, Amsterdam.
- McMinn, A. (1990) Recent Dinoflagellate Cyst Distribution in Eastern Australia. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **65**: 305-310.
- McMinn, A. (1991) Recent Dinoflagellate Cysts from Estuaries on the Central Coast of New South Wales, Australia. *Micropaleontology*, **37**(3): 269-287.
- 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. 山陰地域研究総合センター, 松江, 115p.
- Nomura, R. and Seto, K. (1992) Benthic Foraminifera from Brackish Lake Nakanoumi, San-in District, Southwestern Honshu, Japan. In: *Centenary of Japanese Micropaleontology*. (eds.) Ishizaki, K. and Saito, T. pp. 227-240. Terra Sci. Pub. Comp., Tokyo.
- 大場忠道 (1982) 最終氷期以降の日本海の古環境. 月刊地球, 5: 37-46.
- 大場忠道・大村明雄・加藤道雄・北里洋・小泉格・酒井豊三郎・高山俊昭・溝田智俊 (1984) 最終氷期以降の日本海 - 古環境変遷史 - KH-79-3, C-3 コアの解析を中心にして. 月刊地球, 6: 523-528.
- 大西郁夫・木寺将仁・千田信夫 (1993) 中海南部における最上部完新統の花粉群. 島根大学地質学研究報告. 12: 45-52.
- 三瓶良和・松本英二 (1994) 汽水域における完新世の古環境解析 — 中海堆積物を例として —. 平成5年度名古屋大学大気水圏科学研究所共同研究報告書. pp. 77-86. 名古屋大学.
- 徳岡隆夫・大西郁夫・高安克己・三梨 昂 (1990) 中海・宍道湖の地史と環境変化., 湖沼の成因と環境・地質., 地質学論集 36号. pp. 15-34. 日本地質学会.

AGUNA (汽水域研究) 3, 49~56頁 (1996年3月)
AGUNA 3, p. 49-56 (1996)

宍道湖における17世紀初頭の汽水から 淡水への環境変化

— コアのCT画像解析と堆積, C・N・S元素分析による検討 —

田村嘉之¹⁾・丹後雅憲²⁾・井内美郎³⁾・徳岡隆夫²⁾

Seventeenth century environmental change from brackish to fresh water conditions in Lake Shinji — CT image photographic, sedimentologic and C・N・S elemental evidence —

Yoshiyuki Tamura¹⁾, Masanori Tango²⁾, Yoshio Inouchi³⁾
and Takao Tokuoka²⁾

Abstract: Geohistorical studies show that the environment of Lake Shinji changed from brackish to fresh water around the seventeenth century again. This environmental change is detectable by CT (computed tomography) scanning images and C・N・S elemental analyses of core samples. CT scanning images of core samples suggest that the sediments can be divided into two units, Unit I and II. The uppermost unit I is composed of fine- to very fine-sand and silt layers, with bioturbation and shell fragments. Fine- to very fine-sand layers can be distinguished clearly on CT scanning image pictures. The underlying unit II is represented by silt layers, and lacks bioturbation and shell fragments. In this unit, sedimentary structures comprising 2-3 mm thick laminations can be distinguished on CT scanning image pictures. C・N・S elemental analyses of Unit I show that sulfur and total organic carbon contents are low, suggesting a fresh and oxic water environment. Unit II exhibits higher sulfur and total organic carbon contents, which indicate brackish and anoxic water conditions. This change may have been brought about by the eastward migration of the Hii River after large floods around A.D. 1630. CT scanning images reveal the existence of laminated structures in Unit II, as shown in the color photo. These structures may represent rhythmical environmental changes. The structures are not visible with the naked eye, and were also not revealed by previous soft-X ray analysis. CT image analysis has thus proved to be a useful method for analyzing muddy soft sediments.

Key words: Lake Shinji, CT scanning image picture, laminated structure, oxic environment, anoxic environment

I は じ め に

宍道湖は島根県東部に位置する海跡湖である。宍道湖は西から斐伊川が流入し、東端の大橋川を経て中海へと続いている。現在の宍道湖における塩分は大橋川付近で約3‰、斐伊川付近で1‰以下、中心部の湖底付近では5~10‰である。宍道湖は後氷期以降の海面変動と大きくかわりながら、海水・淡水・汽水といった環境を経て形成されている。宍道湖

1) 新潟大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Science and Technology, Niigata University, 8060 Ikarashi-Nincho, Niigata, 950-21, Japan
2) 島根大学総合理工学部地球資源環境学教室
Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane, 690, Japan
3) 工業技術院地質調査所海洋地質部
Marine Geology Department, Geological Survey of Japan, 1-1-3 Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305, Japan