

宍道湖湖底堆積物中の粘土鉱物

三瓶良和*・平坂 健*・鈴木徳行*・徳岡隆夫*

Clay minerals in the sediments from Lake Shinji

Yoshikazu Sampei, Ken Hirasaka, Noriyuki Suzuki and Takao Tokuoka

Abstract

Clay minerals in the core sediments from Lake Shinji were analyzed. Vertical and lateral distributions of clay minerals in Lake Shinji were clarified, and can be summarized as follows;

- 1) Smectite, kaolinite, vermiculite, chlorite, illite and halloysite, were major clay minerals.
- 2) In the eastern area, relative abundance of smectite changes drastically at the depth of 40cm to be more abundant in the deeper zone. The depth, where the relative abundance of smectite starts to increase, tends to be deeper from the east to the west. This drastic change of clay mineral abundance is possibly corresponding to the invasion of Hii river into Lake Shinji in 1635's.
- 3) Kaolinite decreases with depth and its tendency is reversal to that of smectite.

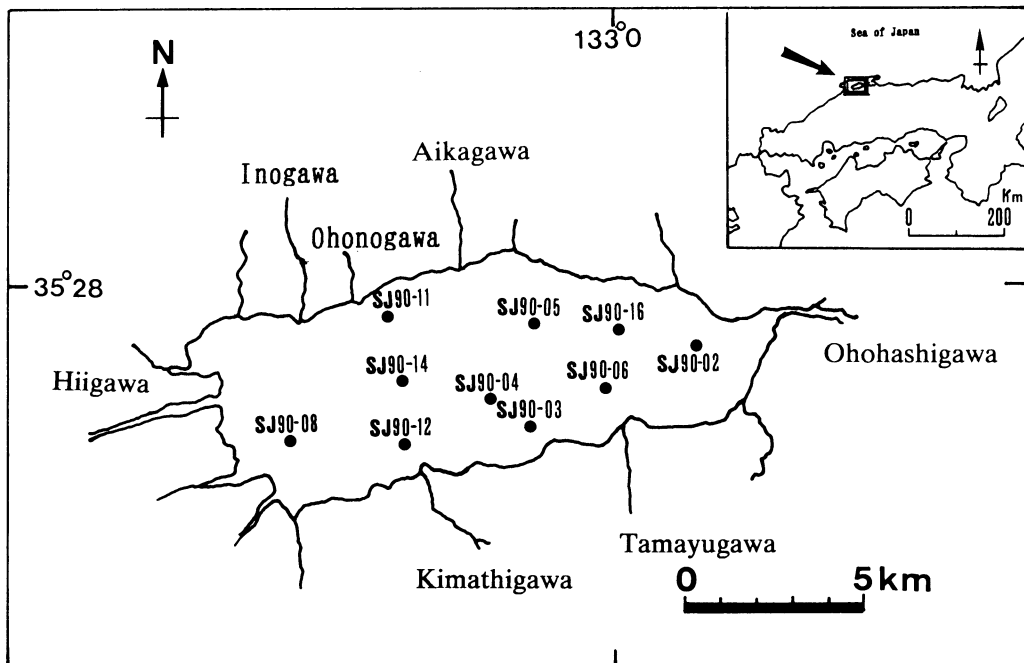
1. はじめに

湖底の泥質堆積物はおもに粘土鉱物、石英、長石等の無機物と陸上高等植物、プランクトン等に由来する有機物からなっており、その組成比は堆積環境と密接な係わりを持っている。このうち、粘土鉱物は後背地からもたらされるものと、海水によってもたらされるものがあるが、宍道湖におけるそれらの種類、量は、これまで宍道湖が経験してきた海水、淡水、汽水の環境変化(徳岡ほか, 1990)を反映していることが考えられる。現在宍道湖に供給される陸源物質は、主に西側から注ぎこむ斐伊川(流入水量は全体の約80%を占める、中海宍道湖自然史研究会, 1982)によってもたらされており、粘土鉱物についても、そのほとんどが斐伊川から供給されると考えられるが、斐伊川が宍道湖に注ぐ(東流)ようになったのは1635年以降であり、それ以前には、宍道湖は海水に近い塩水で満たされていた(徳岡ほか, 1990)。そのような堆積環境では粘土鉱物の組成も現在のものとは異なっていたことが

予想される。湖底堆積物中の粘土鉱物組成は、堆積環境および後背地の地質に大きく依存しているため(阿部・和田, 1987)、これを平面的及び垂直的に把握することは湖の環境変遷を理解するうえで貴重な手がかりを与えてくれる。また、堆積物中有機物の続成変化を調べる上でも、それに密接に伴って存在する粘土鉱物の組成を明らかにしておく必要がある。

宍道湖湖底堆積物中の粘土鉱物は、これまで星野ほか(1982)によって調べられ、湖底表層は粘土鉱物組成の違いによってタイプ分けがなされている。また、中海・宍道湖自然史研究会・松本ほか(1987)は、鉛210をもちいた年代測定を行い、斐伊川からの影響によって西方ほど堆積速度が速くなることを示している。また、鈴木・松本(1986)、玉井(1986)は湖中心部の2mの柱状試料を用いて、全有機炭素濃度、全窒素濃度、全硫黄濃度の変化を調べ、約120cm付近での急激な変化が、斐伊川の東流に起因することを示唆している。このような環境の変化は、粘土鉱物組成にも少なからず影響を与えていることが考えられるため、今回、粘土鉱物組成の垂直的分布とその堆積環境との関係を明らかにすることを目的として、本研究を行った。

* 島根大学理学部地質学教室



第1図 Index map of Lake Shinji showing sampling site.

なお、この研究には文部省科学研究費（一般研究A 課題番号01400003 研究代表者 徳岡 隆夫）の一部を使用した。

2. 地形と後背地の地質

宍道湖は、松江市の西部に位置し、島根半島と中国山地に挟まれた東西に約15km、南北に約5.5kmの東西に長い楕円形をした海跡湖で、最大水深6.4m、平均水深4～5mの非常に平坦な面が広く続いている。河川は北岸から秋鹿川、南岸から玉湯川、木待川、西岸から斐伊川等が注ぎ込んでおり、東部の佐陀川、大橋川により日本海に通じている。また、湖底下の堆積物の最上位は沖積世の中海層であり、連続する数～40mの泥層を主体としている（水野ほか、1966, 1972）。

宍道湖の北岸には新第三紀中新世成相寺層、牛切層、古江層の砂岩、泥岩および流紋岩質火砕岩類、南岸には布志名層、川合・久利層の砂岩、泥岩、大森層の安山岩、火砕岩類および古第三紀の花崗閃緑岩等が分布しており、前記の河川によってそれらの碎屑物が宍道湖にもたらされている。

3. 柱状試料採取地点と採取方法

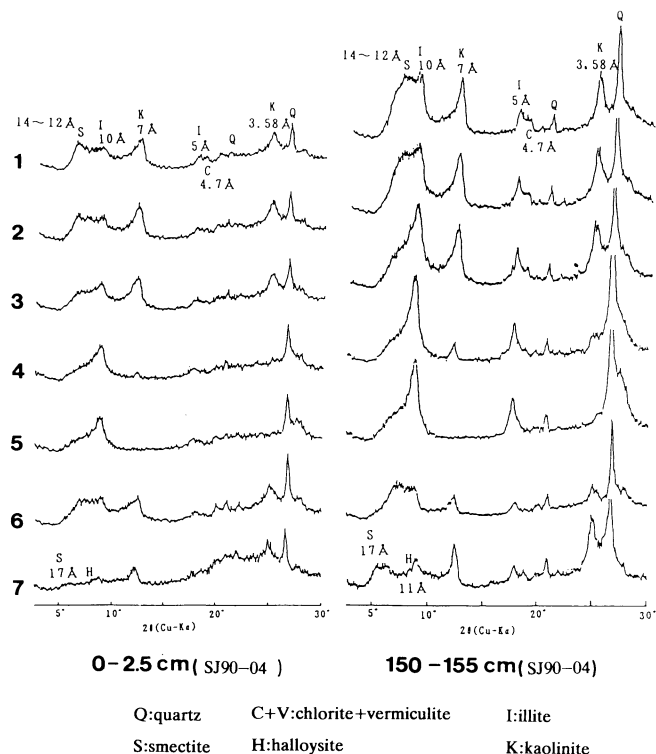
試料は、1990年5月下旬から6月上旬にかけて、美保関民主造船工業所所有の八束丸（井川喜代志船長）を用いて採取された。試料採取地点は船上で六分義により決定し三竿分度器で地図上に記録した。

採泥器は、松本・青木式不攪乱柱状採泥器（内径11cm長さ1mのL型及び内径5.5cm長さ2mのM型）を用いた。この採泥器では、底泥を乱さずかつ短縮、流出することなしに採取することが可能である。採泥時には、貫入しすぎてオーバーフローしないように、底質に応じておもりの量を調節し、湖底面上約1mより落下させた。試料採取地点を第1図に示す。今回分析おこなった柱状試料は、長さ58～202cmの10本である。

4. 分析試料の前処理とX線回折分析

柱状試料を2.5cm毎に分割した後、粘土粒度部分（2 μ m以下）を水簾によって回収し、それらをX線回折分析して、粘土鉱物の同定を行った。同定方法は星野ほか（1982）に従った。以下にその方法を示す。

湿試料で30～50gの堆積物を蒸留水に入れ、攪拌して良く分散し、遠心分離（3000rpmで10分）を3回繰



第2図 X-ray diffraction patterns of the clay fractions of core samples (SJ90-04, 0-2.5cm, 150-155cm) after various treatment.

1 : untreated 2 : heated at 150°C for 1 hour 3 : heated at 300°C for 1 hour 4 : heated at 450°C for 1 hour 5 : heated at 550°C for 1 hour 6 : treated with 6N HCl 7 : treated with ethylene glycol.

り返して水洗，塩分を除去した。その後，再び蒸留水に分散させ，ストークスの法則により，2 μm以下の粒子成分を回収した。

回収した試料は，粘土鉱物の同定を行うために以下の処理を行った。すなわち，①スライドグラスに一定量塗布したものを，150，300，450，550°Cでそれぞれ1時間加熱。②6N HClに入れたものを約90°Cで30分加熱後，純水で洗浄してスライドグラスに塗布。③スライドグラスに一定量塗布したものに，エチレングリコールを十分に慣霧。粘土鉱物組成の半定量は全て③の処理をしたもので行った。

前処理をした試料はX線ディフラクトメータによって測定された。測定条件は，X線：Cu-Kα，管球電圧・電流：30kV・15mA，走査速度：2°(2θ)/

mim，時定数：1 sec，カウントフルスケール：1000cpsである。各処理を行った試料の代表的チャートを図2に示す。

粘土鉱物を同定した基準は，以下のとおりである。

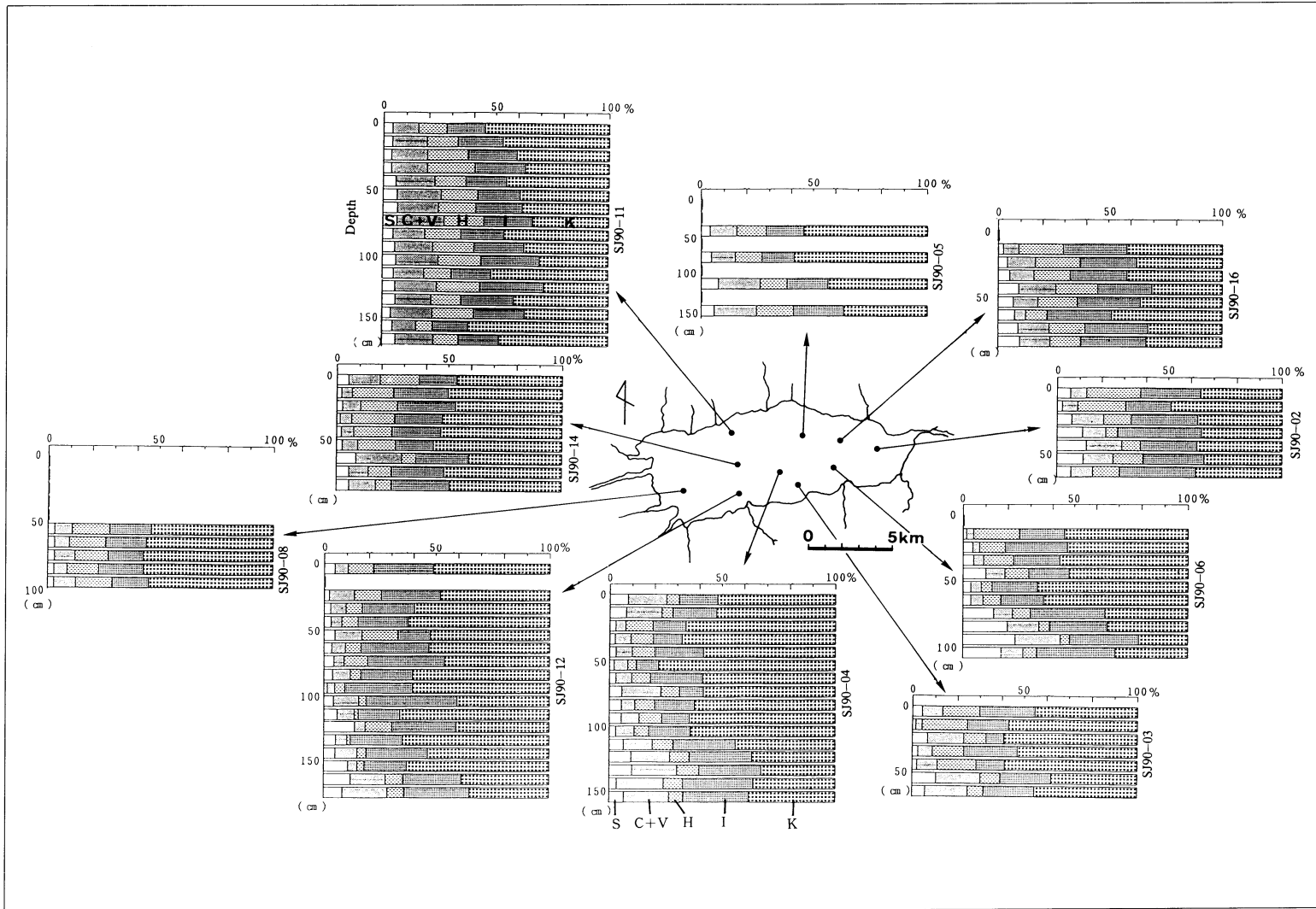
スメクタイトは，無処理で見られる12～14Åの回折線がエチレングリコール処理により，16～17Åに移行し，加熱処理で12～13Åに反射が見られた。カオリナイトは，無処理で見られる7Åの回折線がエチレングリコール処理，塩酸処理で残り，450°C，550°Cの加熱処理で，7Åの回折線が消滅した。イライトは，エチレングリコール処理，加熱処理および塩酸処理のいずれの後も10Å，5Åの回折線が残った。ハロサイトは，無処理で見られる10Åの反射が150°Cの処理で7Åに移行することは十分確認できなかったが，エチレングリコール処理で11Å付近に反射を生じた。クロライトは，無処理で14Å，4.7Åの回折線が見られ，塩酸処理で消えた。パーミキュライトは，無処理で見られる14Åの回折線がエチレングリコール処理後もみられ，加熱処理で10Åに移行した。

各粘土鉱物をエチレングリコール処理した試料の回折線チャートを半値幅法により半定量した。17Åの回折線はスメクタイト，14Åの回折線はクロライトとパーミキュライト，11Åの回折線はハロサイト，10Åの回折線はイライトとした。また3.58

Åのカオリナイトは3.54Åに表れるクロライトとピークがかなり重なるため，星野ほか(1982)の方法に従って，量比を求めた。また，生沼ほか(1972)が示しているように，回折強度比はそのまま粘土鉱物存在量比にはならないので，補正係数をかけてやる必要がある。しかしスメクタイトを除けば補正係数はそれほど大きな差ではないのでスメクタイトのみ補正を行った。補正係数は，星野ほか(1982)が用いたものと同じ1/3.6をもちいた。

5. 結果と考察

同定された粘土鉱物は，スメクタイト，カオリナイト，イライト，ハロサイト，クロライト，パーミキュライトの6種であり，星野ほか(1982)の同定種



第3図 Clay mineral compositions of the core samples.

S : smectite C+V : chlorite+vermiculite H : halloysite I : illite K : kaolinite

と一致した。これら6種の存在比変化をみるために、6種の総和を100%としてそれぞれの量比を算出したが、この際クロライトとパーミキュライトは14Åのピークが重なって分離が出来なかったため、星野ほか(1982)と同様に両者の和を表記した。

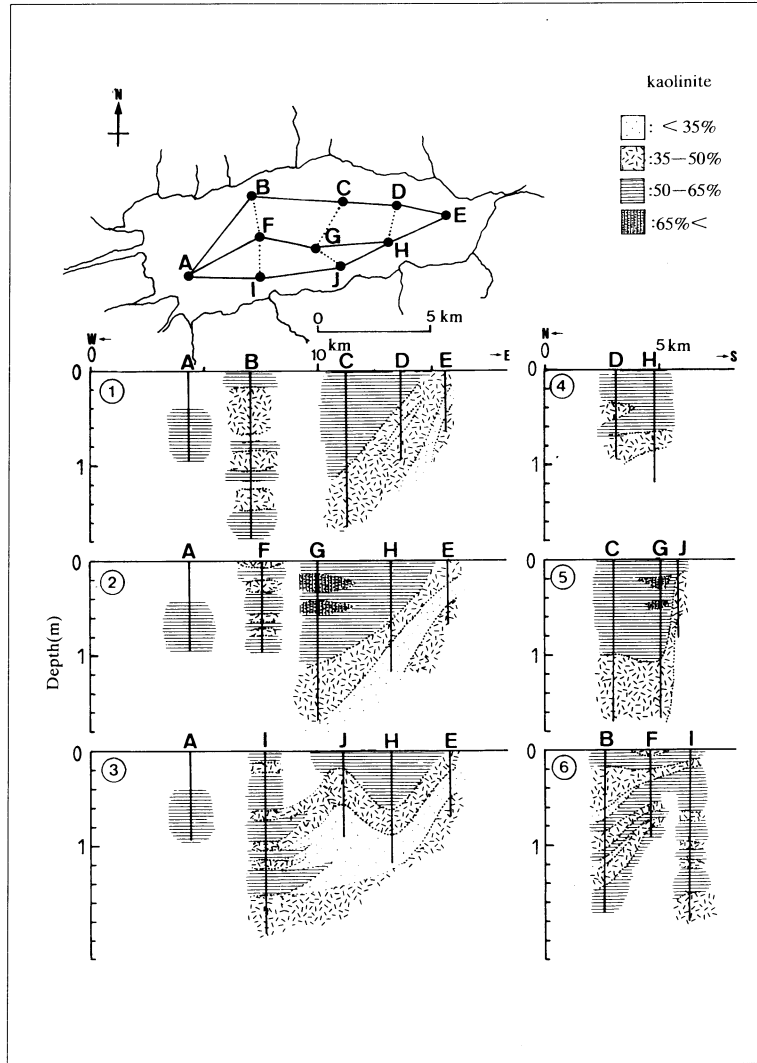
第3図に各地点の粘土鉱物組成の垂直的变化を示す。全域で量的に最も多いのはカオリナイトで20~80%を占めており、西域、南域で多い。スメクタイトは、1~25%と少ないが、東域で比較的多く見られる。ハロイサイトは、西域(SJ90-08, SJ90-11, SJ90-14)に多く、カオリナイトに似た挙動をとっている。クロライト+パーミキュライトは北域で多い。それぞれの垂直変化を見ると、スメクタイトは下位で増加が見られる地点と見られない地点があり、東端からSJ90-02では30cm, SJ90-06では70cm, SJ90-04では120cmから下位に増加傾向が見られる。また、カオリナイトはスメクタイトと逆の傾向があり、下位に減少が見られ、減少が始まる深度は西に向かって深くになっている。中海・宍道湖自然史研究会・松本ほか(1987)は鉛210による年代測定によって、表層50cm程度までの堆積速度を明かにしており、西域で0.165 g/cm²/年、中央部で0.116 g/cm²/年、東域で0.070 g/cm²/年と、西方ほど堆積速度が速いという結果を出している。これは、現在宍道湖の西端から注いでいる斐伊川が1635年に東流して以後、斐伊川による堆積供給量が他の河川に比べて圧倒的に多かったためであると考えられている。これまで、斐伊川東流の時期が柱状堆積物試料でどの深度にあたるかという議論は多くなされているが、玉井(1986)は、宍道湖のほぼ中央から採取した2m柱状試料について、全硫黄量濃度を測定し、120cm以深で濃度が急に高くなることを指摘している。堆積物中の硫黄は火山活動および含硫黄有機物を除けばほとんど海水によってもたらされるため、海水侵入の指標と考えてよい(Berner R. A, 1984)。従って、この硫黄濃度の高い120cm以深では斐伊川東流以前の塩分濃度が高い時期を示しており、硫黄濃度が急に低くなる120cmが斐伊川東流の時期と考えられる。この結果を粘土鉱物の組成変化と比較すると、玉井(1986)の用いた試料の採取位置に最も近いSJ90-04では、110cm以浅で、スメクタイトの減少とカオリナイトの増加が見られる。このことは、110cm以浅では陸上の花崗岩等の風化産物の供給が増えたことを示唆しており、斐伊川東流による影響とすれば玉井(1986)の結果と調和的である。

第4図、第5図に、スメクタイトとカオリナイトの垂直断面上での等相対濃度分布図を示す。第4図の①②③はスメクタイトについてのそれぞれ北岸、中央、南岸付近のほぼ東西方向の断面図である。各相対濃度境界線は、起伏はあるが全体として西に深くなる傾向を示しており、西方ほど下部まで低濃度域が続いていて、東ほど低濃度域が浅い。また、④⑤⑥はそれぞれ東域、中央、西域での南北方向の断面図であり、東域で70cm以深に16%以上の高濃度域が見られる。

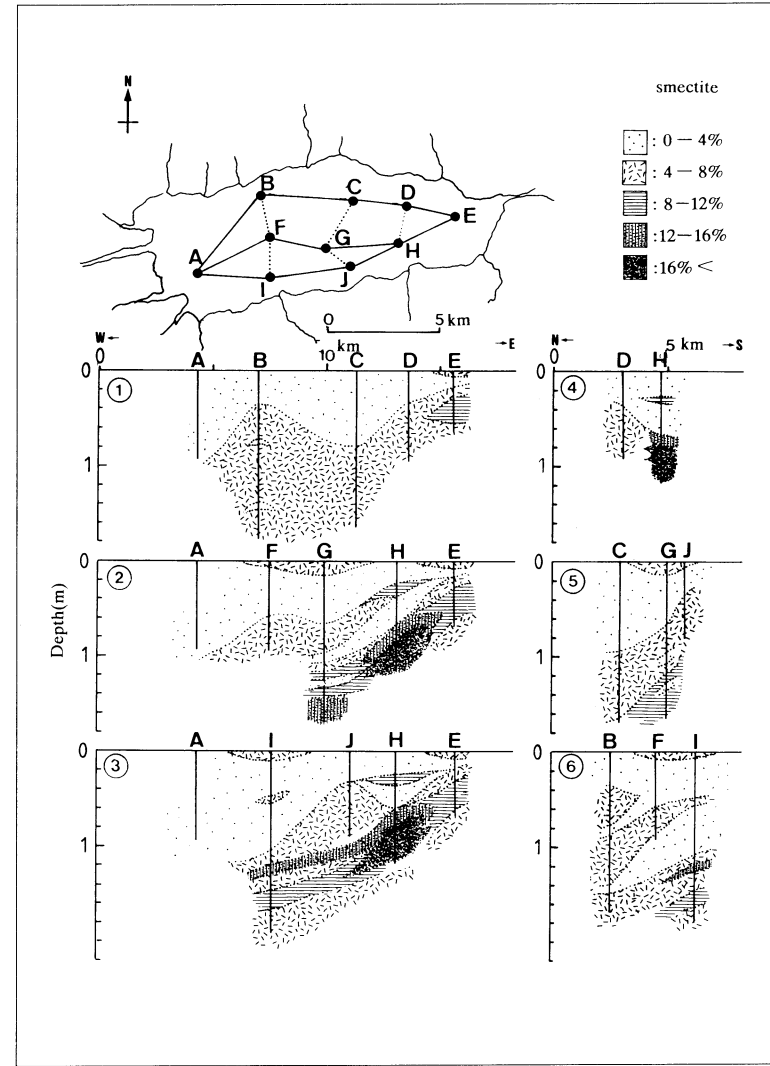
第5図の①②③はカオリナイトについてのそれぞれ北岸、中央、南岸付近の東西方向の断面図、④⑤⑥はそれぞれ東域、中央、西域の南北方向の断面図である。東西方向では、各濃度境界面はスメクタイトの場合とほぼ同様の傾向を示しているが、濃度順は逆で上位のほうが高い。ただし、西域のB(SJ90-11)、F(SJ90-14)、I(SJ90-12)はスメクタイトの場合と異なる様相を呈しており、濃度の高い層と低い層が交互に現れている。これは他の伊野川、大野川からの粘土鉱物供給量が斐伊川からの供給量に対して影響を及ぼし易い位置を示している可能性があり、興味深い。

スメクタイトとカオリナイトは負の相関を持っているようにみえるが、スメクタイトの方がより特徴的な変化傾向を表している。4~8%と8~12%の境界は第4図の②のE, H, G地点でそれぞれ30cm, 60cm, 110cm, ③のE, H, J地点でそれぞれ30cm, 60cm, 120cmであって、これよりも深いところで等濃度線間隔が密になっているが、これは急激な供給量変化の表れと考えられる。第3図で各地点のスメクタイトの増加が始まる深度を東から見ると、SJ90-02(E)で30cm, SJ90-06(H)で60cm, SJ90-04(G)で120cmとなり、これらを結ぶ線は、この等濃度境界線とほぼ一致している。これは、双方とも環境変化のあった同時間面を示しているためと考えられる。

また、第4図のE, G, F, Iの各地点では表層付近でスメクタイトの多少の増加がみられる。南場(1985)は、湖中央部の2mコアでケイソウ分析を行い、量的に卓越する種が下部から順に、汽水海水種、淡水種、汽水種と変化してきていることを示し、斐伊川東流による淡水化、佐陀川開削による汽水化に対応することを示唆している。スメクタイトの表層での増加はこの後者の事項に調和的であり、佐陀川開削による海水の流入に起因しているものと考えられる。スメクタイトは、海水によって他の粘土鉱物に比べ、卓越してもたらされるからである。



第5図 Vertical distributions of (Kaolinite/whole clay minerals) ratio on the various cross section.



第4図 Vertical distributions of (smectite/whole clay minerals) ratio on the various cross section.

以上のことから、粘土鉱物組成変化の要因を推察すれば、斐伊川が注ぐ前の湖水は海水に近く、陸源供給物も相対的に少なかったため粘土鉱物中でスメクタイトの相対量が比較的高かったが、斐伊川東流の結果、カオリナイト供給量の増加によってスメクタイトが相対的に減少し、佐陀川開削（1785-1832）および大橋川からの海水の流入によってまたやや増加した、という経緯が考えられる。

なお、今回西域下部でスメクタイトの増加が確認されなかったが、これは西域での堆積速度が速いために、斐伊川東流の深度が柱状試料の長さ2 mよりも深い位置にあるためと考えられる。

今後は、さらに硫黄量、有機物量等の濃度変化も広域的に把握し、宍道湖の過去における環境変化の影響を総合的に見ていく予定である。

6. ま と め

本研究の結果、以下のことが明かになった。

1. 宍道湖の1~2 mの柱状堆積物中に、スメクタイト、カオリナイト、イライト、ハロイサイト、クロライト、パーミキュライトの6種の粘土鉱物が確認され、量的にはカオリナイトが20~80%を占め、南域、西域で卓越していた。
2. スメクタイトとカオリナイトは東域で特徴的な垂直方向の変化を示し、前者は下位で相対的に増加する傾向が見られ、後者は逆に下位で減少する傾向を示した。また、その変化の始まる深度は西方に向かって深くなる傾向を示した。このスメクタイトの増加位置は斐伊川東流の影響を示すものと考えられる。
3. スメクタイトの等濃度境界面は、全体として西に向かって深くなる傾向が見られ、等濃度境界面の間隔は東域の下部で密になる傾向が見られた。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、島根大学地質学教室島田昱郎教授には、終始ご指導をいただいた。同田崎和江助教授には適切な助言をいただいた。名古屋大学水圏科学研究所松本英二教授には採泥器使用の便宜をはかって頂いた。ここに記して感謝の意を表します。また、試料採取の際に協力して下さった島根大学中海宍道湖自然史研究会の4回生みなさんに感謝いたします。

文 献

- 阿部泰行・和田秀樹（1987）浜名湖表層堆積物中の粘土鉱物，静岡大学地球科学研究報告，13，147-155
- 青木三郎・生沼 郁（1982）三陸（八戸～宮古）沖表層海底堆積物中の粘土鉱物組成とその地域的分布特性，東洋大学紀要教養課程篇（自然科学），29，2-20
- A, レルマン（1984）“湖沼の科学”，古今書院 PP286-292
- Berner R. A（1984）Sedimentary pyrite formation : An update, *Geochimica et Cosmochimica Acta* Vol. 48, pp 605-615
- Eiji Matumoto（1987）Pd-210 geochronology of sediments, *Studies of San'in Region Natural Environment*, 3 187-194.
- 藤井紀之・安田俊一（1971）中海・宍道湖底質における粘土鉱物分布について（予報），地質調査所月報，22，593-602
- 橋谷 博・奥村 稔・近藤邦男・清家 泰（1990）宍道湖・中海の湖底環境，*山陰地域研究*，6，137-174
- 星野 透・青木三郎・生沼 郁（1982）宍道湖堆積物中の粘土鉱物，東洋大学紀要教養課程篇（自然科学），25，31-50
- 池谷仙之・和田秀樹・大森真秀（1987）浜名湖のボーリング柱状試料について，静岡大学地球科学研究報告，13，1987，67-111
- 水野篤行・角 靖夫・鈴木尉元（1966）宍道湖の堆積環境と底棲動物群集について予察的研究，地質調査所報告，214，1-28
- 水野篤行・大嶋和雄・中尾征三・野口寧世・正岡栄治（1972）中海・宍道湖の形成過程とその問題点，地質学論集，7，113-124.
- 中海・宍道湖自然史研究会・松本英二・井内美郎・鹿島薫（1987）—その6，中海における1986粘土柱状採泥と湖底表層堆積物中の有孔虫，珪藻生群集（予報）—，島根大学地質学研究報告，6，61-84.
- 中海・宍道湖自然史研究会（1982），中海・宍道湖の自然史研究—その1，予察的柱状採泥の結果について—，島根大学地質学研究報告，1，29-46
- 南場安生（1985）宍道湖底層堆積物中のケイソウ遺骸群集，島根大学地質学教室卒業論文
- 生沼 郁・青木三郎・須藤俊男（1972）海底土の粘土

- 鉱物学的研究上の問題, 海洋地質, 8, 21-28
- (1984) X線回折による粘土鉱物分析手順の基礎と問題点, 東洋大学紀要教養課程篇 (自然科学), 27, 1-17
- 大森江い (1969) 宍道湖・中海底質の化学組成について, 地質調査所月報, 20, 463-479
- 鈴木徳行・松本英二 (1986) 宍道湖中央湖底 2 m 柱状試料中の海性, 非海性フミン酸とケロジェン, 1986 年度日本地球化学講演要旨集, 39
- 玉井英典 (1986), 宍道湖底堆積物の年代測定, 島根大
学地質学教室卒業論文
- 田崎和江 (1973) 中海コア試料中の火山灰および浮石の粘土鉱物—大山および三瓶山降下堆積物中の粘土鉱物—その 3—, 地質学雑誌, 79, 2, 79-88
- 徳岡隆夫・大西郁夫・高安克己 (1986) “湖底をさぐる—宍道湖のおいたち—”, 山陰の自然と文化, 4, たたら書房
- 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, 地質学論集, 36, 15-34