

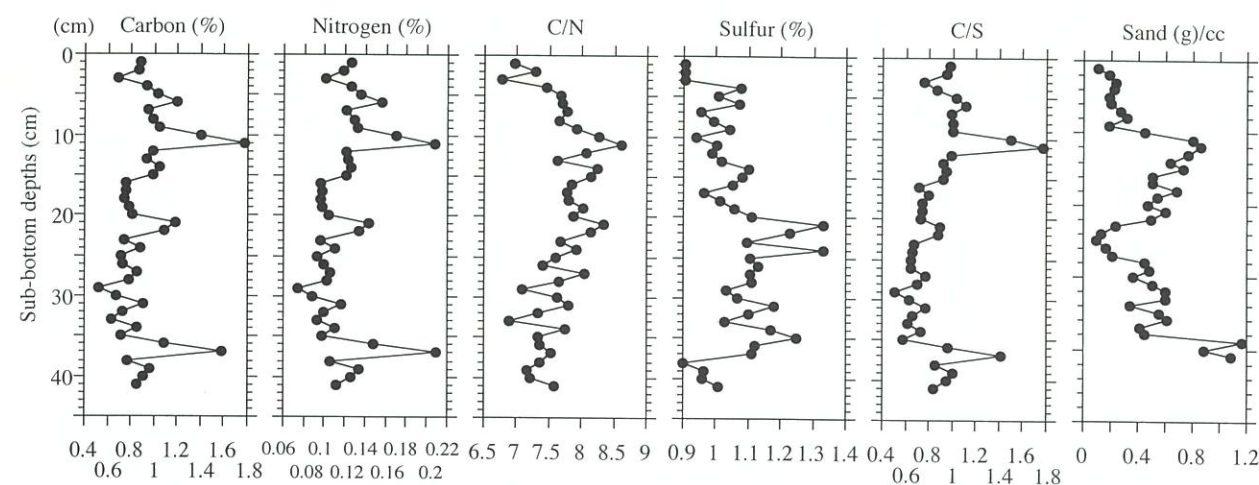


図 10. 大橋川上流地点における有機元素量と硫黄含有量の変化。

Fig. 10. Stratigraphic distributions of organic carbon, organic nitrogen, C/N, sulfur, and C/S at the upstream Ohashi-gawa station.

低下し、下位では 10~12 の間で変動をしている。

硫黄含有量も含砂量と明瞭な関係にあり、2~1.2%の間で鉅菌状の層位的な分布を示している(図 9)。C/S は湖底下 20cm 付近で明瞭な変化を示し、表層にかけて 0.7 から 2 まで急激に増加する。この変化は湖底下 20cm 以下の変動とは明らかな違いをなしている。

大橋川上流地点の有機炭素、窒素、硫黄含有量の層位的変化は図 10 に示すとうりである。この地点における炭素・窒素の分布には、矢田地点で見た分布とは異なっており、明瞭な傾向はみられないようである。いずれも含砂量との間に弱い相関が見られ、保存の程度がこのような分布を規制しているかもしれない。しかし、C/N でみると、湖底下 10cm で最も高い値を示し、表層部へ向けて急激にその値を低下させている。湖底下 20cm までの変動(7.5~8)とは明瞭な違いを見せている。

硫黄の分布は、表層部 3cm までがほぼ 0 であり、湖底下 20cm 付近の上位と下位で量的な不連続が見られる。すなわち、湖底下 20cm より上位で硫黄含有量は低下している。しかし、C/S は、10cm 付近の特異なピークを除けば、ほぼ一定して柱状試料の下部(湖底下 35cm)より増加している。

両地点とも共通していることは、C/N の減少と C/S の増加があげられ、化学的にも共通した湖底環境の変遷が考えられよう。とくに、湖底下 20~25cm より上位と下位での変化は明瞭な変換部分に相当している。上位では底質の還元度が低下(矢田地点)ないしわずかに低下(大橋川上流地点)しているにもかかわらず、湖底へ流入する有機物質の変化がより顕著になったことが基本的要因として推察されよう。

C/N 値の変化は、河川~汽水性の高等植物に由来する有機物に対して大型底生動物、動植物プランクトン、藻類起源の有機物の付加が進んでいることが考えられる。C/S 値の変動は、前述のように含砂量によって変化することから、保存の問題も影響していることが考えられるかもしれない。しかし、有機物組成のなかで分解しやすい N 量の変化が 0.1 から 0.4 までほぼ一定して増加し、しかもその間の変動幅が 0.1% 以内と極めてわずかしか変わっていないため、保存による影響は少ないものと考えられる。

考 察

1) *Ammonia* イベント

矢田地点で有孔虫群集の層位的変化や有機物量、硫黄含有量の変化から湖底下 20cm に顕著な変化の起こったことが明かとなった。この深さは、大橋川で 1974 年に川床を浚渫した時期に相当するものとみられる。この関係を基準としてみると湖底下 15cm 付近は 1980 年に相当し、かつて宍道湖で指摘されていた COD イベントと有孔虫の群集交換イベント(すなわち、*Ammonia* イベント)の存在を明瞭に支持することとなった。堆積速度の極めて速い大橋川におけるイベントは、この地点が中海に近いことあるが、6 年以内の極めて短期間に環境変化が起こったことを示している。中海から流入する下層水塊がこの 6 年以内に大橋川の下層水を代表するものとなったことが明らかであり、*Ammonia beccarii* の産出はこの水塊の宍道湖方向への定常的逆流を示している。宍道湖では *A. beccarii* の産出が 1980 年頃か

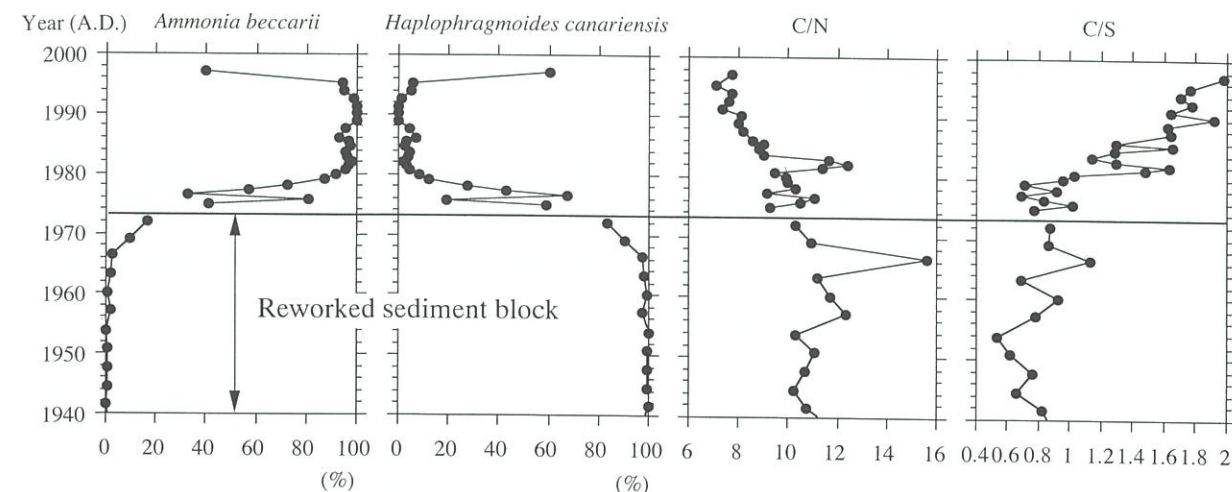


図 11. 矢田地点における西暦年数でみた主要有孔虫の産出変化と C/N, C/S の変化。

Fig. 11. Distributions of Foraminifera, C/N, and C/S based on ages at Yada station. Years before 1974 are conformably estimated, using the sedimentation rates except the reworked block.

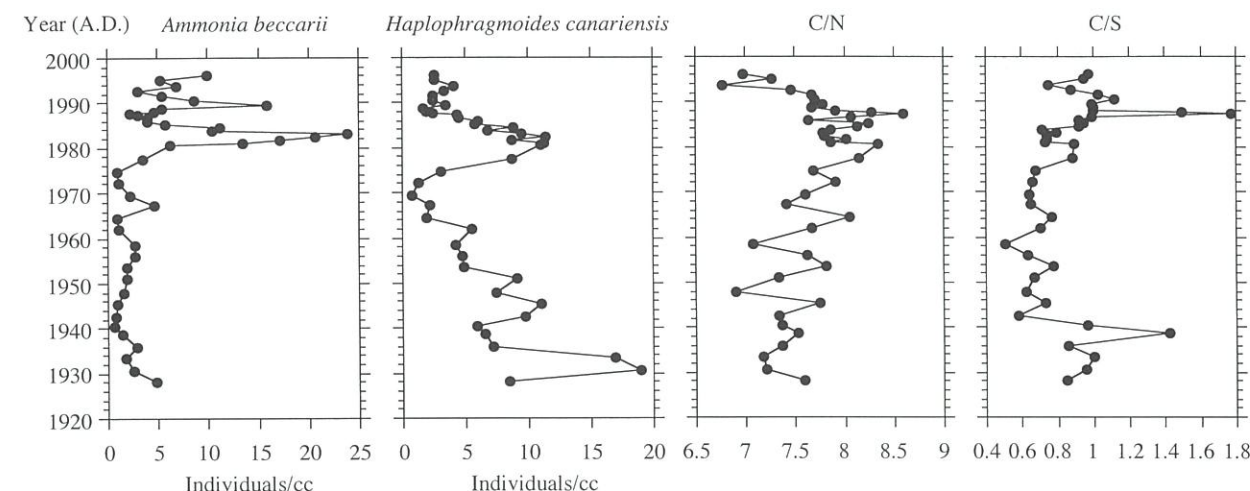


図 12. 大橋川上流地点における西暦年数でみた主要有孔虫の産出変化と C/N, C/S の変化。

Fig. 12. Distributions of Foraminifera, C/N, and C/S based on ages at upstream Ohashi-gawa station.

ら顕著になっているから、大橋川のこの地点との間には下層水の定常的な移動と宍道湖内での分布拡大に約 6 年近くかかっている。

このような年代に基づく有孔虫や堆積物中の C/N, C/S の変化は、堆積速度を基にして西暦年で示した図 11 と図 12 に示している。

2) *Ammonia* イベントの意義

Ammonia beccarii による *Haplophragmoides canariensis* の群集置換は、COD イベントから推察されるように、下層水に有機物の付加が進行してきたことと調和している。堆積物中の窒素量が湖底下 20cm における量より 4 倍も増加しているのに対して炭素量は 3 倍である。これは汽水域内の有機物生産が 1980 年以降急激に増加しつつあることを示している。湖岸や河岸に繁殖していたセルロース質の

植物の減少もこのような有機物組成の変化の要因の一つになっていることも考えられる。河岸堤防の建設は間接的ながらも大橋川や宍道湖の堆積物組成を変える要因になっていることは、1967 年以降年次計画で護岸工事がなされていったことと有機物組成の変化と極めて調和している。

このように 1970 年代以降の湖水環境の変化は、大局的にみれば、中海における中浦水門の建設と本庄工区を区画する大海崎堤防、森山堤防、馬渡堤防の建設による中海下層水の循環ポテンシャルの低下、および中海内における有機物の付加の促進、中海下層水の宍道湖への逆流の影響の定常化、宍道湖・中海へ流入する河川水系における河岸工事の促進など、水域への多様な人為的改造がここ 20 年間に有孔虫群集を大きく変化させた基本的な要因と考えられる(野村・山根, 19965)。また、宍道湖・中

海の藻類研究出版会(1996)が文献調査によってまとめた報告によると、中海では1954年から1974年にかけて植物プランクトンの優占種に変化が起きているという。このような要因には岸岡(1975)や伊達ほか(1975)が1960年代の水質の研究で指摘するように、都市型生活排水の流入の増大が1960年代後半以降多くなり、中海においては漸次的に富栄養化を進行させたことがその背後にあることは考慮すべきである。結果として、プランクトンの異常繁殖をもたらし、腐泥の堆積と栄養塩類の再生によるプランクトンの異常繁殖というフィードバック効果が働くようになったことである。さらに、上述の人口構築物は自然がもつ微妙な正負のフィードバック効果をさらに複雑化する付加的な要因になっている。Ammonia イベントは、このような中海で起きている人為的改造による自然のバランスの崩壊を間接的に示す証拠になるものと解釈したい。

3) 宍道湖の生態系の変化時期の予測

堆積速度の速い大橋川上流地点における *H. canariensis* の現在に至る減少過程は、変動を伴いながらも1960年代以降1次回帰が可能な分布形態を示していることが明らかになった(図13)。ここで、矢田地点でも明らかになったように1970年代から始まったAmmonia群集の増加を考慮に置いて、1970年代から現在までの層位的な分布形態をもとに *H. canariensis* の宍道湖からの消滅時期の推定を行ってみる。このような予測の前に有孔虫の捕食者の存在は群集規模を制限する要因と考えられるが、現在までのところ汽水域における有孔虫の捕食関係は明らかにされていない。沿岸域では巻貝、甲殻類、ウニ、ナマコなどの棘皮動物、さらに線虫類による捕食がわずかに報告されているが、宍道湖では積極的に *H. canariensis* を捕食する大型生物は存在しないものと考えられる。したがって、*H. canariensis* の個体数変動は基本的にこれまで議論してきたような *A. beccarii* によって生息域を占有された結果であり、この要因には宍道湖内の有機物量の湖底への流入量の変動による環境変化によるものと考えてよい。

1970年以降の24試料の回帰直線は、

$$H. canariensis (\%) = 3812.7 - 1.9 \times (\text{西暦年})$$

となり、2005年には *H. canariensis* は消滅する。しかし、この分布の中で最も低いレベルで推移したすると、

$$H. canariensis (\%) = 34038.8 - 2.1 \times (\text{西暦年})$$

となり、その消滅時期は1999.4年となる。さらに最も上位で推移したとすると、

$$H. canariensis (\%) = 2983.3 - 1.5 \times (\text{西暦年})$$

となり、これについては2025.3年となる。このような *H. canariensis* の減少過程からみて、1999.4年

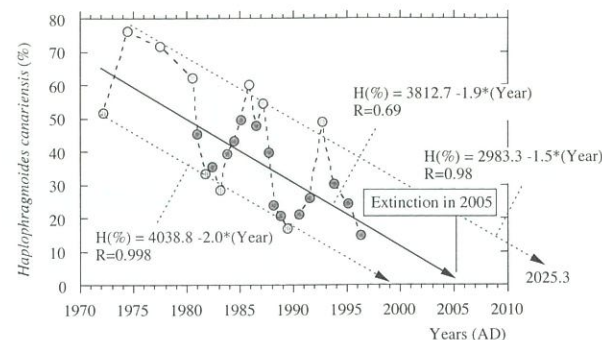


図13. 大橋川上流地点(宍道湖東部)における相対的産出から推定される *Haplophragmoides canariensis* の消滅時期。

Fig. 13. Extinction level based on the relative abundance of *Haplophragmoides canariensis* at the upstream Ohashi-gawa station.

から2025.3年にかけて25.9年の間に宍道湖の環境は大きく変化していくものと推定される。消滅の時期の最も可能性の高いのは2005年であり、比較的現在に近い段階での生態系の変化を予測させる。

ここで予測した年代は、あくまでも *H. canariensis* の現存量が0になるところであり、その年代を強調するのは問題があるかもしれない。消滅に伴う環境の変化は現在も起こりつつあるものと解釈すべきであろう。また、消滅によって他の生物にどのような変化が現われるかは、*H. canariensis* の食物連鎖の上下の捕食関係が明確でないことや、個々の生物種のもつ環境への適応幅が異なることにより明言はできない。また、汽水域特有の複雑な短期的、長期的自己周期に加えて、気候や潮位変化などの外部営力によって変化の起こりやすい環境の中では、生物によって異なる反応をするものとみられ、予測をさらに困難にしていくこともある。しかし、近年目だて起こったコノシロの大量死、シラウオの大量出現などの生物種の変化は、*H. canariensis* の減少変化とともに宍道湖の変化過程の一場面とみるべきかもしれない。

このような問題提起をするにあたって、汽水域における有孔虫の生態系での位置づけをさらに明確にする必要を感じており、今後他の生物との関係について明らかにし、2005年までの宍道湖内の環境変化を具体化させたいと考える。

ま と め

1. 宍道湖で指摘していた有孔虫の *Ammonia beccarii* の1980年以降の顕著な産出に対応した化学的酸素要求量(COD)の変化(CODイベント)を再検討す

引用文献

るために、堆積速度の速い大橋川上流地点と大橋川の矢田地点で柱状採泥を行い、有孔虫群集の層位的変化を検討した。その結果、湖底下20~25cmにかけて *A. beccarii* の顕著な増加と *Haplophragmoides canariensis* の減少を認めた。その湖底下20~25cmの層位的な年代は大橋川上流地点が1980年、矢田地点が1974年頃と考えられ、このような明瞭な有孔虫種の生態的な置換をAmmoniaイベントとして提唱した。

2. Ammonia イベントは宍道湖のCODイベントと対応して起こっており、しかも大橋川でもCODイベントが1980年に起こっていることが確認された。明らかに1980年頃より大橋川や宍道湖の堆積物としての有機物量の付加が進行していることが指摘される。

3. 有機物組成の炭素(C)と窒素(N)、およびC/Nの層位的変動、さらに硫黄と炭素比の層位的変動からみると、大橋川上流地点も矢田地点も基本的に炭素量に比べて窒素量の多い湖内で生産された有機物の堆積が近年進行している。この傾向は大橋川上流地点で1990年以降顕著になっている。このような有機物質の付加に伴って、底質環境が水質や生物に与える影響は今後、より著しくなるものとみられる。

4. 宍道湖と大橋川で認めた有孔虫群集は極めて単純な組成であり、その相対的割合の変化は環境の変化と具体的に対応させやすい利点がある。大橋川上流地点の *Haplophragmoides canariensis* の相対的割合は1970年以降1次回帰で表現できる統計的に有意な減少を示す。このことによって *H. canariensis* のこの地点からの消滅時期を推定したところ、2005年になることが明らかとなった。ただしこの推定年代も1999年頃から2025年頃にかけて約26年間の幅のなかで考える必要があるし、現在でも起こりつつあると解釈すべきである。

5. *Haplophragmoides canariensis* の消滅と関連して、宍道湖内部の生態系に何らかの変化が起こるものと考えられる。しかし、生物種によって環境への適応幅が異なるため、他の生物種の具体的な変化については不明である。この解明のためには、有孔虫を含む生物種の総合的な調査が必要であろう。

伊達善夫・川上誠一・松本宗人, 1975. 中海水圏における水質の動態に関する研究(III). 水質の経年変化. 山陰文化研究, 15号, 35-60.

野村律夫, 1996. 湖水環境の人為的改造と有孔虫の群集変化. その4 有孔虫の群集変化に対応した化学的酸素要求量(COD)と宍道湖水の変化. LAGUNA(汽水域研究), no. 3, 25-31.

野村律夫・山根幸夫, 1996. 湖水環境の人為的改造と有孔虫の群集変化. その3 中海東部の過去数10年の環境変化. LAGUNA(汽水域研究), no. 3, 13-24.

野村律夫・吉川恵吾, 1995. 湖水環境の人為的改造と有孔虫の群集変化. その2 宍道湖の中央1測線の結果. 島根大学教育学部紀要(自然科学編), no. 29, 31-43.

建設省出雲工事事務所, 1964. 斐伊川改修40年史, 583p.

建設省出雲工事事務所, 1995. 斐伊川誌, 679p.

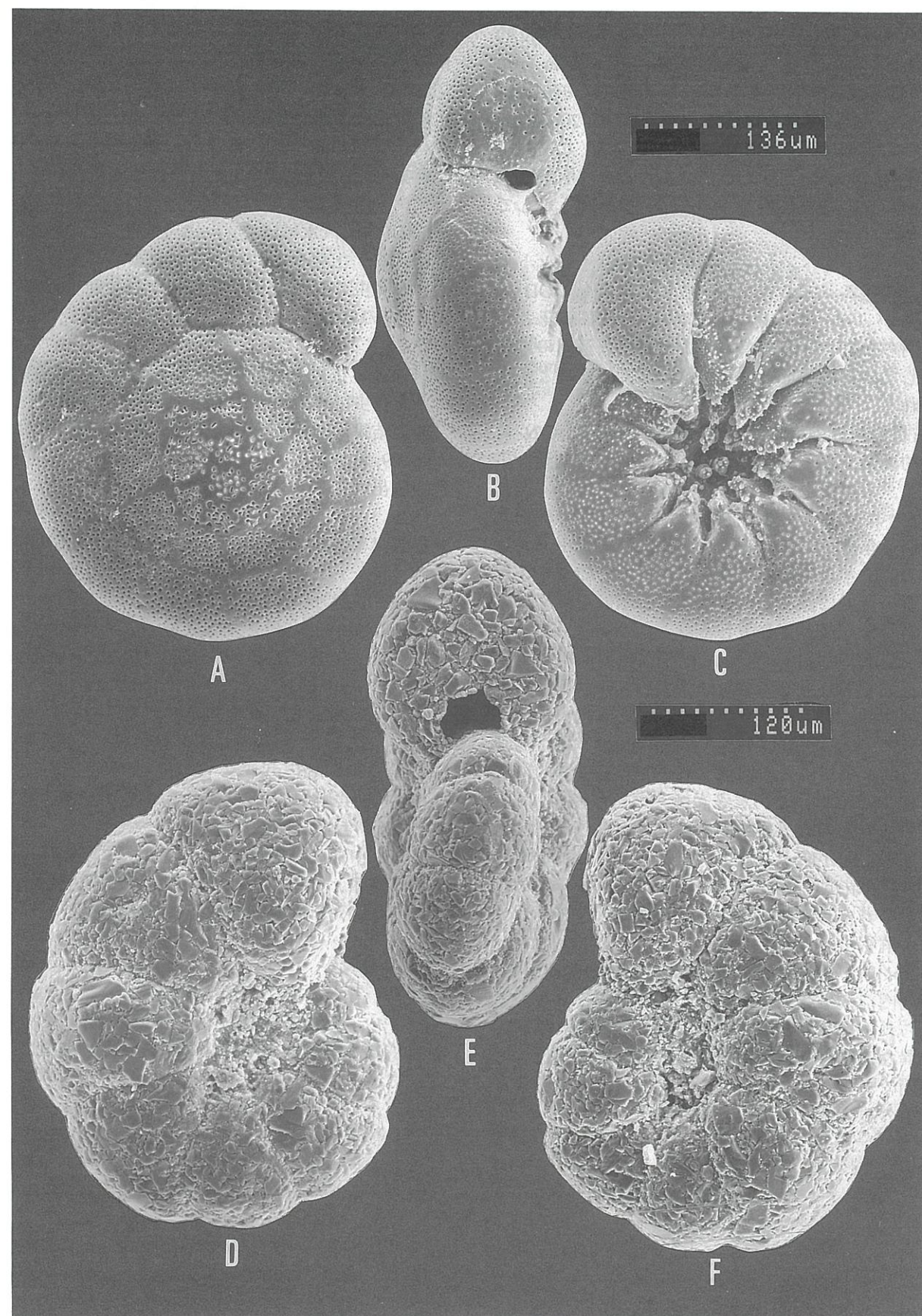
岸岡 務, 1975. 潟湖の汚濁—中海の生態学的長期研究—. 237p., 技研出版, 東京.

Tenzer, G. E., Meyers, P. A. and Knoop, P., 1997. Source and distribution of organic and carbonate carbon in surface sediments of Pyramid Lake, Nevada. *Jour. Sediment. Res.*, 67, no. 5, 884-890

豊原義一, 1938. 宍道湖塩害問題に就て. 地学雑誌, 50号, 154-166.

島根県. 公共用水域・地下水水質測定結果報告書(昭和47年度から平成7年度).

宍道湖・中海の藻類研究会, 1996. 宍道湖・中海水系の藻類. 130p., 宍道湖・中海の藻類研究会出版(島根大学教育学部大谷修司研究室).



図版 1. *Ammonia beccarii* (Linné)(A-C)と *Haplophragmoides canariensis* (d'Orbigny)(D-F).
Plate 1. *Ammonia beccarii* (Linné)(A-C) and *Haplophragmoides canariensis* (d'Orbigny)(D-F).

LAGUNA (汽水域研究) 5, 27~37 頁 (1998 年 2 月)
LAGUNA 5, p.27-37 (1998)

鳥取県東郷池湖底堆積物の層序と年縞

加藤めぐみ¹・福澤仁之¹・安田喜憲²・藤原 治³

Stratigraphy of bottom sediments in Lake Tougou-ike, Tottori Prefecture and non-glacial varves

Megumi Kato¹, Hitoshi Fukusawa¹, Yoshinori Yasuda² and Osamu Fujiwara³

Abstract: Sequential cores of laminated lake sediments which consist of alternations of light- and dark-lamina, were taken from Lake Tougou-ike, western Japan. The sedimentary microstructures of these sediment cores, and the relationships between numbers of lamina and calendar dates calculated from ¹⁴C dates suggested the following; 1) The laminated sediments are non-glacial varved sediments, deposited from about 9,000 to 2,000 cal yr. BP. 2) High-resolution investigations of magnetic susceptibility, mineral compositions by powder x-ray diffraction method and physical properties of these sediments revealed environmental changes around Lake Tougou-ike during Holocene. 3) Flood events and volcanic eruptions of Mt. Sambe around 4,300 years ago were recorded in the sediments. Based on above-mentioned investigations for environmental changes, we indicated that centurial- and millennial-scale changes in accumulation rates are detected from the thickness of the varves, and suggest that these non-glacial sediments are very useful to determine accurate chronological dates of these environmental changes.

Key words: non-glacial varve, Tougou-ike, accumulation rate, tephra, flood

はじめに

1992 年に鳥取県東郷池において掘削・採取された湖底堆積物に、バーコードのような縞状堆積物が連続的に発達することが明らかになった。そして、この縞状堆積物が「年縞 (non-glacial varve)」(福沢, 1995) である可能性が大きいと判断された。また、この縞状堆積物には火山灰層や泥流堆積物層が数多く挟在することが確認された。もし、この縞状堆積物が年縞であるとすれば、火山灰を降灰させた火山噴火や泥流を引き起こした自然災害イベントの年代

を 1 年単位で復元できかつ再来周期をも推定できることになる。過去の環境変動を季節～1 年単位で記録して、それらの変動を高精度に編年できる試料としてサンゴ骨格、樹木年輪および氷床コアが存在する。これらの試料に比べて、「年縞」は人類の多くが住む低～中緯度での環境変動を、しかも長期間にわたって連続的かつ高精度に記録した堆積物である。また、地球上におけるグローバルな環境変動に対するローカルな変動の同時性、異時性および時間的ずれを 1 年単位で明らかで、「年縞」を使うこ

¹ 東京都立大学大学院理学研究科地理科学専攻

Department of Geography, Graduate School of Science, Tokyo Metropolitan University, Hachioji 192-0397, JAPAN

² 国際日本文化研究センター

International Research Center for Japanese Studies, Kyoto 610-1102, JAPAN

³ 動力炉核燃料開発事業団東濃地科学センター

Tono Geoscience Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, Toki 509-5102, JAPAN