

宍道湖で採取された柱状試料 S1 より産出する 底生有孔虫化石群

高田裕行¹・山田和芳¹・香月興太²・山口啓子³
宮本 康⁴・中山大介¹・Hugo Coops⁵

Fossil benthic foraminifera from sediment core S1 of Lake Shinji, western Japan

Hiroyuki Takata¹, Kazuyoshi Yamada¹, Kota Katsuki², Keiko Yamaguchi³,
Yasushi Miyamoto⁴, Daisuke Nakayama¹ and Hugo Coops⁵

Abstract: Fossil benthic foraminifera from a sediment core taken from central Lake Shinji, western Japan, were investigated as an indicator of paleoenvironmental change in the Shinjiko-Nakaumi lake system during the 20th century. A transition from dominance of *Haplophragmoides canariensis* to that of *Ammonia beccarii* forma 1 occurred in the middle 20th century. This faunal association and its transition are similar to those observed in previous studies of Lake Shinji and the Ohashi River. This faunal transition might be affected by not only environmental change in Lake Shinji but also that in the Ohashi River.

Keywords: Lake Shinji, fossil benthic foraminifera, faunal transition in the 20th century

はじめに

宍道湖は、宍道湖-中海水系の海跡湖である。本水域では、堆積物柱状試料を用いた近過去の環境変遷の検討が行われており、宍道湖-中海水系の改修事業に伴う人為的環境改変の影響などが論じられている野村・吉川(1995)は、宍道湖で東西方向の6地点において堆積物柱状試料を採取し、底生有孔虫化石の産状を検討した。彼らは、20世紀にかけて *Haplophragmoides canariensis* が卓越する群集から *Ammonia beccarii* type 1 が卓越する群集への変遷を見出し、それが宍道湖で側方(東西方向)へ追跡できることを示した。さらに、野村・遠藤(1998)は、宍

道湖および大橋川で、1980年代の *A. beccarii* の特異的な多産に着目し、それを *Ammonia event* と命名した。そして、それが宍道湖湖水の化学的酸素要求量(COD)の上昇とほぼ同時期に起きていることから、同種の特異的多産が湖生態系のレジームシフトに関連した現象であると解釈した。一方、Nomura(2003)は中海と本庄水域の8地点で採取された柱状試料での底生有孔虫化石の解析にもとづき、中海の底生有孔虫群が近年の人為的環境改変だけでなく、日本海の数cmオーダーの海水準変動にも影響されてきたことを示した。このような数10年スケールの自然環境の変遷は、宍道湖-中海水系の環境変遷を理解する上で、重要な視点となりつつある。

¹ Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690-8504, Japan.

² Division Earth Environmental Systems, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea.

³ Life and Environmental Science, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690-8504, Japan.

⁴ Tottori Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science, Tottori 682-0704, Japan.

⁵ Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA), P.O.Box 17, 8200 AA Lelystad, Netherlands.

以上のように、底生有孔虫化石の検討は、20世紀の宍道湖-中海水系における環境変遷のメカニズムを理解するにあたって、有用な視点を提供すると考えられる。しかし一方で、宍道湖での底生有孔虫化石の解析で、野村・吉川(1995)は、群集変遷が起きた時期を他の研究(中海・宍道湖自然史研究会ほか, 1986; 徳岡ほか, 1990)によって推定された隣接水域の鉛・セシウム法による年代測定の結果にもとづいて間接的に推定しているのみである。宍道湖における群集変遷の時期を特定することは、宍道湖-中海水系の環境変遷を考察する上で、重要と思われる。そこで、本研究では、2004年に宍道湖で採取された堆積物柱状試料について鉛-210年代測定と底生有孔虫化石群の解析を行い、宍道湖の底生有孔虫化石の変遷をより詳細に論じることを目的とした。

試料と方法

宍道湖は面積が約79 km²、最大水深約6.4 mの海跡湖である。表水層の塩分は数psu程度であるが、湖心部の深水層では中海・大橋川を経て日本海より遡上した塩水が到達することにより、相対的に塩分が高い(たとえば、瀬戸ほか, 2000)。湖水の密度成層により、深水層では夏季に溶存酸素がしばしば欠乏する。表層堆積物は浅部でおもに砂質堆積物からなるが、湖の中央部は泥質堆積物からなる(たとえば、瀬戸ほか, 2006)。

本論で報告する2本の柱状試料S1aおよびS1bは、2004年9月に宍道湖湖心部で押し込み式の柱状試料採泥器を用いて、採取された(図1)。柱状試料の長さは、S1aとS1bでそれぞれ21 cm, 17 cmである。これらの柱状試料は黒~暗灰色の泥質堆積物からなる(図1)。

柱状試料S1aは珪藻・有孔虫・貝形虫・軟体動物・大型沈水植物化石の解析に、S1bは鉛-210年代・有機物・鉍物組成・主要元素組成の解析に用いた。柱状試料S1aは厚さ1 cm毎に分取し、それをさらに3つの試料(有孔虫・貝形虫・軟体動物・大型沈水植物化石分析用(以下、化石群集解析用と呼ぶ)、珪藻化石分析用、堆積物分析用)に分割した。化石群集解析用試料、堆積物分析用試料は、試料分割後、直ちに湿潤重量を秤量した。さらに、堆積物分析用試料は、恒温乾燥器にて70℃で乾燥させ、乾燥重量も秤量した。同試料の湿潤・乾燥重量から含水率を算出し、それをもとに化石群集解析用試料の乾燥重量を求めた。一方、柱状試料S1bは鉛直方向に試料を

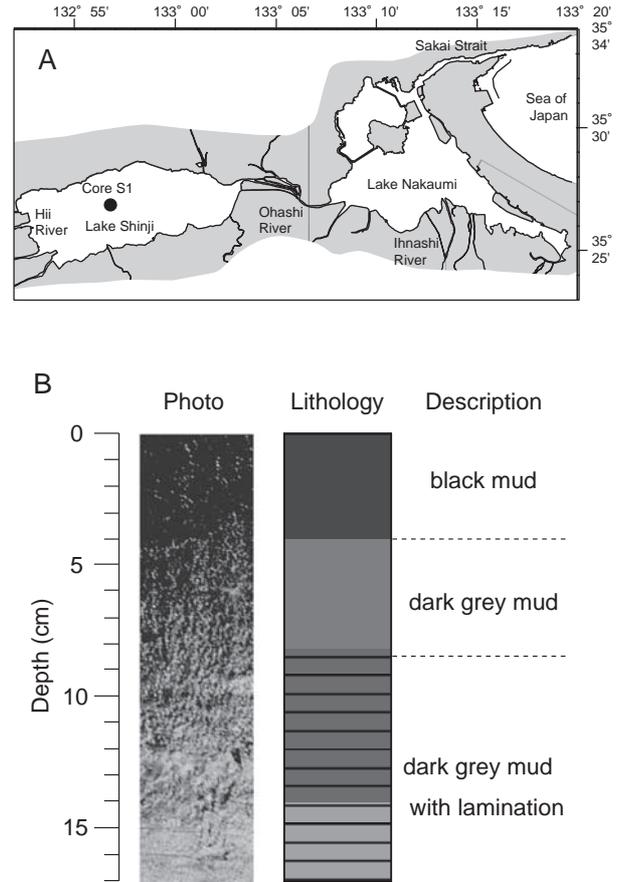


図1. (A) 柱状試料 S1a, S1b の採取地点と (B) 柱状試料 S1b の柱状図。

Fig. 1. (A) Location of sediment cores S1a and S1b, (B) Columnar section of core S1b.

半裁して、岩相・岩質を記載・観察した。そして、軟 X 線写真撮影用試料を分取した後、厚さ 1 cm 毎に試料を分割し、堆積物・年代などの分析に用いた。この際、柱状試料 S1a と同様な手順で、一部の試料について湿潤・乾燥重量を秤量し、含水率を算出した。

化石群集解析用試料は、開口径 63 μm のふるいを用いて水洗し、泥分を除去した。その湿潤状態の残査を、双眼実体顕微鏡下で観察し、大型沈水植物化石を抽出した。その後、湿潤状態の残査を、開口径 500 μm のふるいを用いて、粗粒画分 (>500 μm) と細粒画分 (63-500 μm) に分割した。湿潤状態の粗粒画分を実体顕微鏡下で観察し、有孔虫・貝形虫化石を抽出して細粒画分に加えた。その後、粗粒画分は軟体動物化石の群集解析用とした。細粒画分は恒温乾燥器にて、50℃で乾燥させた。同画分を簡易試料分割器を用いて適宜分割し、実体顕微鏡下で有孔虫化石を抽出した。それらの有孔虫化石を同定・計数し、堆積物単位重量あたりの各種の個体数を算出した。

表 1. 柱状試料 S1b で鉛-210 年代測定に用いた 6 試料の深度と放射能強度

Table 1. Pb-210 activity used for age estimation in core S1b

depth (cm)	Pb-210 (total) (dpm / g)	Pb-214 (dpm / g)	Pb-210 (excess) (dpm / g)
0.0 - 3.0	30.73 +/- 0.51	1.65 +/- 0.17	29.07
3.0 - 6.0	28.89 +/- 0.53	2.12 +/- 0.32	26.75
6.0 - 9.0	21.83 +/- 0.46	1.89 +/- 0.13	19.92
9.0 - 11.0	21.16 +/- 0.48	1.60 +/- 0.19	19.54
12.0 - 15.0	17.35 +/- 0.40	2.23 +/- 0.33	15.10
15.0 - 17.0	13.97 +/- 0.38	1.83 +/- 0.13	12.12

堆積物中の有機物・硫黄分析は, Sampei et al. (1997) にしたがって, 以下のような手順で行った. 柱状試料 S1a と S1b の乾燥した堆積物分析用試料を, メノウ乳鉢を用いて粉碎した. 再び乾燥させた試料を, 目安として 10 mg となるように秤量し, 銀製固体用コンテナに分取した. これらの試料から炭酸塩に含まれる無機炭素を除去するために, 110 °C に設定したホットプレート上で, 試料に 1 mol/l の塩酸を適量滴下して, 反応・乾燥させた. これらを, 錫製固体用コンテナに封入し, 分析用試料とした. これらの試料を, 島根大学汽水域研究センターに設置されている FISON 社製 CHNS 元素分析器 E.A. 1108 を用いて, 分析した. 各試料の有機炭素量・全窒素量・全硫黄量を, 標準試料として BBOT (2, 5-bis- (5-tert-butyl-benzoxanzol-2yl) -thiophen) を用いることで, 定量した.

柱状試料 S1b について鉛-210 法 (^{210}Pb 法; 金井ほか, 1995) による年代測定をおこない, 堆積速度を見積もった. 測定は表 1 に示す 6 試料について(株)地球科学研究所に依頼した. ^{210}Pb (ex) 放射能強度は, ^{214}Pb 放射能強度をバックグラウンド値として, ^{210}Pb 放射能強度から ^{214}Pb 放射能強度を差し引いた値とした. この放射能強度の対数をコアの深度に対してプロットして, 最小二乗法による直線の傾きを求め, 壊変定数をこの傾きで割ることで平均堆積速度を求めた.

結果と考察

柱状試料 S1b について, 鉛-210 年代測定を行った結果を表 1 に, ^{210}Pb (ex) の放射能強度の層位変化を図 2 に, 示す. これらの結果から判断して, 柱状試料 S1b の堆積速度は 5.18 mm/yr と見積もられる. この値は, 鉛-210 法を用いて, Yamamuro and Kanai (2005) によって宍道湖中央部の柱状試料 46 で報告された堆積速度(約 4 mm/yr) (同論文の図 3 にもとづく) と, ほぼ同程度である. 次に, 含水率・全硫黄

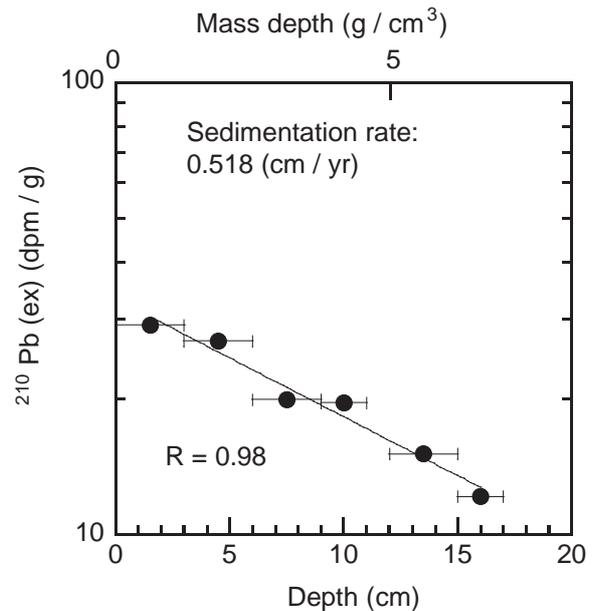


図 2. 柱状試料 S1b における ^{210}Pb (ex) の放射能強度の層位分布.

Fig. 2. ^{210}Pb (ex) activity in core S1b.

量の層位変化にもとづき, 柱状試料 S1a と S1b の対比を行った. 今回, 柱状試料 S1a の岩相を観察できなかったため, 堆積物の物性をあらかず含水率, および全硫黄量の層位変化にもとづき, 柱状試料 S1a と S1b の対比を試みた(図 3). 両柱状試料 S1a, S1b の含水率は深度が深くなるにつれ減少する傾向がみられ, それぞれ深度 8.5, 12.5 cm を境にして含水率の減少率に変化が認められた. また, 両柱状試料 S1a, S1b の全硫黄量はそれぞれ深度 8.5, 11.5 cm に増大のピークをもち, 深度 2.5, 3.5cm より上位で急激に減少する傾向をもつことが明らかになった. 両柱状試料の含水率および全硫黄量の層位変化は概ね同調しており, 柱状試料 S1a の深度 2.5, 8.5 cm が, S1b の深度 3.5, 11.5–12.5 cm に対比できうることを示している. これらの層位変化の対比と柱状試料 S1b で見積もられた堆積速度から判断して, 柱状試料 S1a は過去約 50 年間の記録であるといえる.

柱状試料 S1a の有孔虫化石の産出状況を表 2 に示す. 底生有孔虫化石はいずれの試料でも産出した. 深度 14.5–8.5 cm の層準では, その産出が乏しいのに対して, 深度 7.5–5.5 cm で多産する. 底生有孔虫化石は, *Haplophragmoides canariensis* (d'Orbigny) と *Ammonia beccarii* (Linné) forma 1 が多産し, これらに *Miliammina fusca* (Brady) と *Haynesina* sp. などが随伴する. なお, 深度 0.5 cm でのみ *Elphidium somaense*, *Miliolinella* spp., *Uvigerinella glabra* が産出した. これらの種は, これまでの宍道湖の現生底生

表 2. 柱状試料 S1a より産出した底生有孔虫化石
Table 2. Occurrence of fossil benthic foraminifera in core S1a

Depth (cm)	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5
<i>Ammonia beccarii</i> (Linne) forma 1	7	5	7	23	38	154	37	8	8	14
<i>Haplophragmoides canariensis</i> (d'Orbigny)	2				2					
<i>Elphidium excavatum</i> (Terquem) forma selseyensis				1						
<i>Haynesina</i> sp.										
<i>Miliammina fusca</i> (Brady)		3	1				1		1	1
<i>Trochammina hadai</i> Uchio					6					
Total	9	8	8	24	46	154	38	8	9	15
Split	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sample weight (g)	13.45	17.65	16.64	19.23	17.34	23.46	19.16	21.62	24.40	24.84

Depth (cm)	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5
<i>Ammonia beccarii</i> (Linne) forma 1	7	16	8	2	7	6	5	5	9	3
<i>Haplophragmoides canariensis</i> (d'Orbigny)		2	2		12	15	21	30	27	34
<i>Elphidium excavatum</i> (Terquem) forma selseyensis									2	2
<i>Haynesina</i> sp.									2	2
<i>Miliammina fusca</i> (Brady)		1	1	1			3		1	1
<i>Trochammina hadai</i> Uchio										
Total	7	19	11	3	19	21	29	37	39	40
Split	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sample weight (g)	26.70	27.41	27.65	30.15	31.36	29.36	27.94	30.85	38.90	25.46

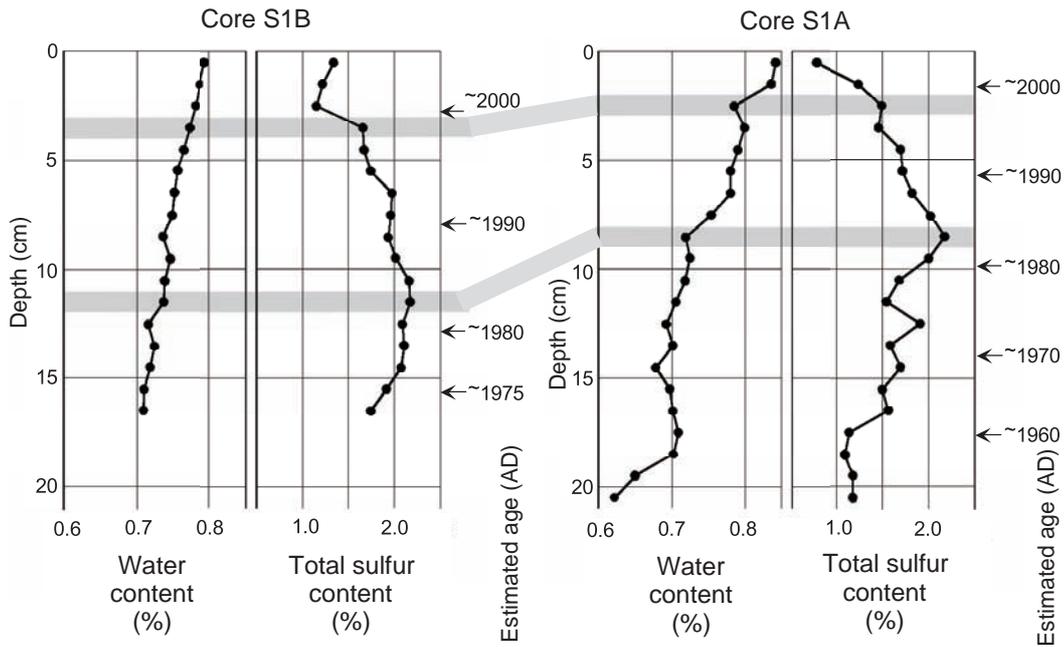


図 3. 柱状試料 S1a と S1b における含水率・全硫黄濃度の層位分布. これらの指標の特徴にもとづき、両柱状試料は図で示す 2 層準で対比される. 図中の年代値は、これらの対比と柱状試料 S1b の平均堆積速度をもとに、算出した.

Fig. 3. Change in water content and total sulfur content of cores S1a and S1b. The sediment cores can be correlated at two horizons based on these indices. The chronology shown here was based on these correlations and the average sedimentation rate of core S1b.

有孔虫では報告のない種で、地中海の堆積物柱状試料において化石として産出するものである(たとえば、Nomura, 2003). 柱状試料 S1 の採取に先立って、地中海でも同じ柱状試料採泥器・水洗処理機材を用いた試料採取・処理が行われている. そのため、柱状試

料採泥器や水洗処理機材に付着した微量の地中海の堆積物試料が、今回の検討試料に混入した可能性が考えられる. こうした問題があるため、本論の以降の考察では、深度 0.5 cm の結果を除外して、論じるものとする. 概して、柱状試料下部(深度 20.5–15.5

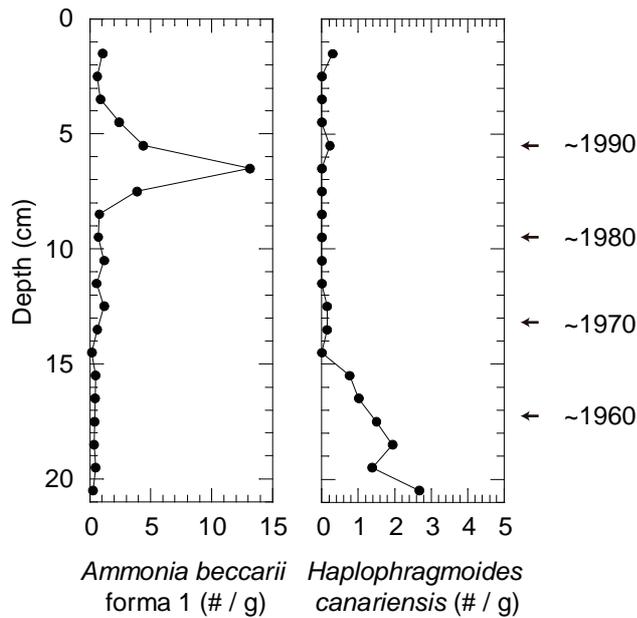


図4. 柱状試料 S1a における底生有孔虫特徴種の層位分布.

Fig. 4. Stratigraphic change in characteristic benthic foraminifera in core S1a.

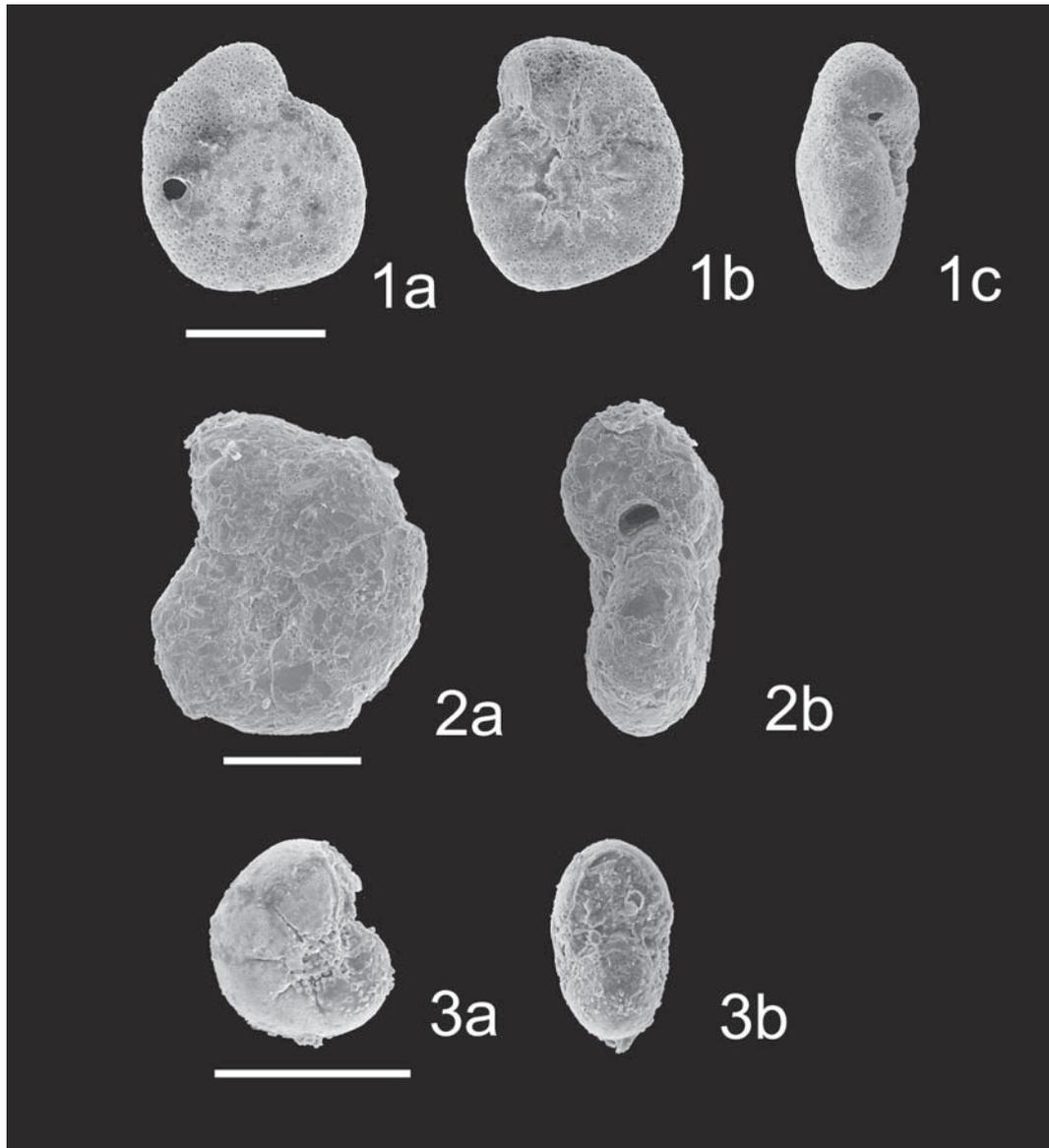
cm) で *H. canariensis* が、上部 (深度 7.5–4.5 cm) で *A. beccarii* forma 1 が多産する (図 4)。両種の交替は、深度 14.5–8.5 cm の貧産出層準を挟んで、漸移的に移行する。また、*A. beccarii* forma 1 の産出個体数も、柱状試料最上部へ向けて緩やかに減少する。このような底生有孔虫化石の種構成・層位分布は、柱状試料 S1a 採取地点近くで野村・吉川 (1995) が報告した柱状試料 SI-4, 5 のものと類似する。柱状試料 S1b で得られた平均堆積速度と S1a と S1 b の 2 層準での対比にもとづくと、柱状試料 S1a における *H. canariensis* の多産する層準は 1950 年代–60 年代前半 (1952–1965 年頃) に、*A. beccarii* forma 1 の多産する層準は 1980 年代後半–90 年代前半 (1986–1993 年頃) に相当する。野村・吉川 (1995) は、隣接水域で行われた先行研究の堆積速度の結果 (中海・宍道湖自然史研究会ほか, 1986; 徳岡ほか, 1990) にもとづき、*H. canariensis* のもっとも多産する層準を 1933 年頃に、*Ammonia beccarii* type 1 (本論の *A. beccarii* forma 1 に相当する) が多産する年代を 1980 年代と推定している。本研究によって推定された *H. canariensis* のもっとも多産する年代は、野村・吉川 (1995) が推定した 1933 年という年代と比較すると新しいが、これは本研究で採取した柱状試料の長さが短く、本種がもっとも多産した層準を捉えきれていないことによると思われる。一方、*A. beccarii* forma 1 の多産する年代は、野村・吉川 (1995) の推定した年代より

6–13 年程度新しいものの、おおむね調和的であるといえる。

20 世紀における宍道湖での *H. canariensis* と *A. beccarii* forma 1 の多産およびそれらの交替が起きた要因について、野村・吉川 (1995)・野村・遠藤 (1998) は境港外防波堤の建設 (1930 年頃) と宍道湖湖水の化学的酸素要求量 (COD) の上昇 (1980 年頃) が関与した可能性を、推測している。他方で、従来の宍道湖・中海における現生底生有孔虫群の研究結果 (Nomura and Seto, 1992; 瀬戸ほか, 2000) では、宍道湖–中海水系で、*H. canariensis* が多産する水域は必ずしも明瞭ではなかった。そのため、底生有孔虫の生態から、その化石群集変遷の要因を考察するのが困難であった。近年、高田ほか (2007) は、大橋川でこれら 2 種が多産することを見出し、*H. canariensis* が現在は大橋川中流域でのみ多産することを報告した。一方、野村・遠藤 (1998) の化石群の検討によると、1970 年代以前には大橋川の上流域 (松江市白湯付近) と下流域 (松江市矢田付近) においても、本種が優占していたとされる。これらの大橋川での知見を考慮すると、宍道湖における 20 世紀の *H. canariensis* から *A. beccarii* forma 1 への群集変遷は、大橋川における卓越種の変化とそれを引き起こした環境変動が関与した可能性が高いといえる。Yamamuro and Kanai (2005) は、宍道湖の 3 地点で採取された柱状試料のいずれにおいても、1950 年代以降有機物の窒素安定同位体比に上昇が認められることから、湖内の富栄養化が進行していたことを指摘している。今後、大橋川も含めた宍道湖–中海水系で、底生有孔虫化石群の交替が起きた時期を特定し、有機物の安定同位体比などとの比較検討を通して群集変遷の要因を考察することによって、野村・遠藤 (1998) が提唱した *Ammonia* イベントの拡がりや・COD イベントとの関係について、さらなる知見が得られると期待される。

謝 辞

島根大学教育学部の野村律夫教授には、底生有孔虫化石の産出状況および鉛年代測定に関して、貴重な意見をいただいた。島根大学総合理工学部の入月俊明助教授には電子顕微鏡写真の撮影に、同学部の三瓶良和教授には有機物分析に、ご助力いただいた。島根大学汽水域研究センターの松本貞夫氏には、野外での試料採取にご助力いただいた。本研究の実施にあたり、日本学術振興会科学研究費補助金 (研



図版 1. 柱状試料 S1a より産出した底生有孔虫の走査型電子顕微鏡写真.

Plate 1. Scanning electron micrographs of benthic foraminifera from core S1a. Scale bar=100 μ m.

1a-c. *Ammonia beccarii* (Linné) forma 1

2a, b. *Haplophragmoides canariensis* (d'Orbigny)

3a, b. *Haynesina* sp.

究課題番号 no.16201008, 代表者 國井秀伸) の一部を用いた。以上の方々に心よりあつくお礼申し上げます。

引用文献

金井 豊・井内美郎・片山 肇・斎藤文紀 (1995) 210Pb, 137Cs法による長野県諏訪湖底質の堆積速度の見積もり. 地調月報, 46: 225-238.

中海・宍道湖自然史研究会, 松本英二・井内美郎・水野篤行 (1986) 中海・宍道湖自然史研究-その

5. 宍道湖における 1985 年度柱状試料採泥-. 島根大学地質研究報告, 5: 11-18.

Nomura, R. (2003) Assessing the roles of artificial vs. natural impacts on brackish lake environments: southwestern Japan. The Journal of the Geological Society of Japan, 109: 197-214.

野村律夫・遠藤公史 (1998) 汽水域における人的改造と有孔虫群集の変化-その 5 Ammonia event の提唱と 2005 年の宍道湖-. LAGUNA (汽水域研究), 5: 15-26.

Nomura, R. and Seto, K. (1992) Benthic foraminifera

- from brackish Lake Nakaumi, San-in District, southwestern Honshu, Japan. In: Ishizaki, K. and Saito, T. (eds.), Centenary of Japanese Micropaleontology. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, pp. 227–240.
- 野村律夫・吉川敬吾 (1995) 湖水環境の人為的改造と底生有孔虫の群集変化: 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, 29: 31–43.
- Sampei, Y., Matsumoto, E., Kamei, T. and Tokuoka, T. (1997) Sulfur and organic carbon relationship in sediment from coastal brackish lakes in the Shimane peninsula district, southwest Japan. *Geochemical Journal*, 31: 245–262.
- 瀬戸浩二・真先修・田中邦昌・高安克己 (2000) 宍道湖における底生有孔虫群集. 島根大学地球資源環境学研究報告, 19: 65–76.
- 瀬戸浩二・中武誠・佐藤高晴・香月興太 (2006) 斐伊川の東流イベントとそれが及ぼす堆積環境への影響. *第四紀研究*, 45: 375–390.
- 高田裕行・瀬戸浩二・倉田健悟 (2007) 大橋川における底質産底生有孔虫群の産状と環境モニタリングへの適用について. 国際シンポジウム 2007「汽水域の再生とその持続可能性 – 宍道湖・中海の賢明な利用に向けて –」講演要旨集, 220.
- 徳岡隆夫・大西郁夫・高安克己・見梨昂 (1990) 中海・宍道湖の地史と環境変化. *地質学論集*, 36: 15–34.
- Yamamuro, M. and Kanai, Y. (2005) A 200-year record of natural and anthropogenic changes in water quality from coastal lagoon sediments of Lake Shinji, Japan. *Chemical Geology*, 218: 51–61.