

宍道湖における底生有孔虫群集

瀬戸 浩二*・真先 修**・田中 邦昌***・高安 克己****

Benthic foraminiferal assemblage in the Lake Shinji

Koji Seto*, Osamu Masaki**, Kunimasa Tanaka*** and Katsumi Takayasu****

Abstract

Based on a result of the assemblage analysis of benthic foraminifera in Lake Shinji, 2 Assemblages of 7 Subassemblages were recognized. The foraminifera assemblages are controlled by the distribution of water mass in Lake Shinji. *Miliammina* Assemblage is distributed under the influence of Shinji Lake Surface Water. *Ammonia* Assemblage is distributed under the influence of intermediate saline water mass included Shinji Lake Bottom Water. Poor or no Foraminifera Facies are distributed in < 3 m water depth in the Shinji Lake Surface Water and in area under the influence of fresh water in Hii River. The distribution of foraminifera assemblage is varying by the change of water quality (salinity, water temperature and dissolved oxygen) in water mass and the movement of water mass.

The increase of *Ammonia* "*beccarii*" is recognized during the investigation (August 1992 to June 1993). This phenomenon is compared to *Ammonia* event proposed by Nomura and Endo (1998). Although it was considered that *Ammonia* event occurred around the year 1980 in Lake Shinji and Lake Nakaumi, the result of this study suggests that the appearance of *Ammonia* event in the western part of Lake Shinji has a time lag about 12 years.

Key word: Benthic foraminifera, Lake Shinji, Brackish water, water mass, *Ammonia* event

はじめに

宍道湖は、斐伊川河口付近に位置する低鹹汽水湖であり、日本で3番目の面積を持っている。この湖の下流には高鹹汽水湖である中海があり、大橋川を通じて宍道湖と結ばれている。宍道湖の平均塩分は3~4%であり(伊達ほか, 1989)、中海から高塩分の水塊が大橋川を通じて流入することによって、湖の汽水環境が保たれている。これらの水塊の移動や水塊の変化は、そこに生息する生物に多大な影響を与え、分布を規制する要因となりうる。

このような汽水環境にも原生動物の有孔虫類が分布することが知られている。これまでの研究では、有孔虫の定性的な分布(中海・宍道湖自然史研究会, 1985)、あるいは1測線における定量的な分布(野村・吉川, 1995)しか研究されておらず、宍道湖における広域的・定量的な有孔虫の分布はまだ知られていない。島根県水産試験場三刀屋分場の汽水湖調査の一環として1992年8月~1993年6月までの4季節にお

いて宍道湖の16観測定点において水質調査および底質試料の採取が行われた。本研究の目的は、その調査で得られた底生有孔虫の群集解析および同時に得られた水質データの解析を行い、有孔虫種と有孔虫群集の分布要因を明らかにすることである。

調査及びサンプル処理法

サンプリング調査は、1992年8月9日、11月4日、1993年2月8日、6月8日の4季に、島根県水産試験場所有の「はるかぜ」で行なった。調査は宍道湖中の16観測定点で行なった(図1)。観測定点の位置は「はるかぜ」に装備されたGPSを用いて求めた。底質の採取は、エクマン・バージ型採泥器を用いて行ない、それで得られた堆積物の表層約1cmを底質試料とした。それと平行して、底生生物の生息環境を把握するため、塩分、水温、溶存酸素量などの水質の測定が行われた。

室内に持ち帰った底質試料は、有孔虫分析用試料と粒度分析や含水率などの底質分析用試料に分割された。有孔虫分析用試料は、湿重量を秤量後、200メッシュのふるいで水洗し、その残渣をローズベンガルで染色した。その後、残渣は200メッシュのふるい上で水洗し、ローズベンガルを洗い落とし、約80℃の恒温乾燥器で乾燥させた。乾燥残渣を適度に分割し、底生有孔虫の観察を行なった。その時、分割された試料は全部を顕鏡し、できるだけ底生有孔虫が200個体以上ピックアップできるように分割した。そのうちローズベンガルで

* 島根大学総合理工学部地球資源環境学科
Department of Geoscience, Shimane University, Matsue 690-8504, JAPAN

** 住化分析センター
Sumika Chemical Analysis Service, Sodega-ura 299-0266, JAPAN

*** 荒谷建設
Aratani Civil Engineering Consultants Co.,Ltd., Matsue 690-0044, JAPAN

**** 島根大学汽水域研究センター
Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, Matsue 690-8504, JAPAN

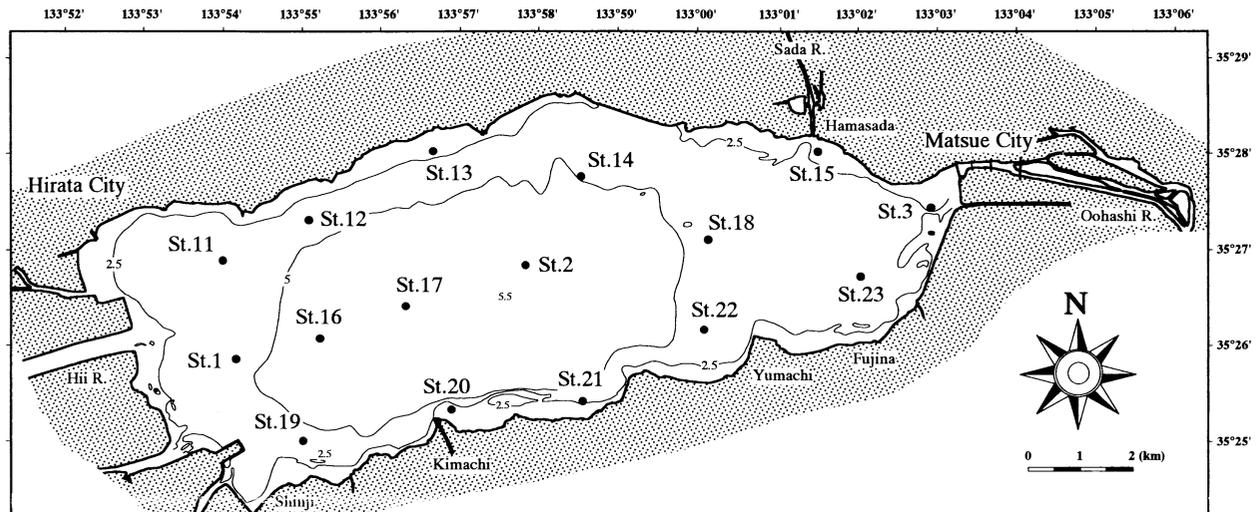


図1 調査地点位置図

染色されたものを生体として扱っている。したがって、ここでいう生体は、必ずしも採取された時点で生きていたものとは限らない。有孔虫数を定量化させるため、有孔虫分析用試料の湿重量から含水率を用いて乾燥重量を求めて、乾燥重量1g当りの有孔虫数を求めた。

調査期間中の宍道湖の水質及び底質

1. 水質

宍道湖の水塊は、塩分躍層によって、低鹹汽水の上部層と中鹹汽水の下部層に分かれていることが知られている。その躍層の水深は、夏期で、5.3-5.5 mに存在している。最近の調査では、音響探査による音響反射面によって塩分躍層の分布がとらえられている(徳岡ほか, 1994など)。また、詳細な塩分・水温測定によって求められた密度の変化率に着目して塩分躍層を定義し、宍道湖表層水と底層水を区分している(瀬戸ほか, 2000など)。それらの調査などから宍道湖の塩分躍層の位置は、季節によって変化し、なくなることも知られている。その躍層は溶存酸素の躍層でもあり、底層水の分布の変化は、底生生物にとって多大な影響を与えている。

ここでは、採泥調査と平行して行なった水質測定の結果を中心に、宍道湖の水質環境について述べる。したがって、ここでの水質環境は、それぞれの季節の一瞬でしかない。しかしながら、調査中に顕著な水質変化は認められないことから、日隔差は比較的少ないと考えられる。

水温：調査期間中における湖水中の水温は、1992年8月が、27℃、11月が15~17℃、1993年2月が6℃、6月が20℃であった。この調査期間の年較差は、20℃以上に達する。一季節の水温差は比較的小さく、多くは1~2℃である。1992年11月は、それよりやや大きく3℃程度あった。顕著な温度躍層は存在しない。11月は、中層部の温度が低く、湖底部と表層部が比較的高い。2月は、湖底部近くがやや高く、6月は、逆にやや低い。

塩分：調査期間中においても顕著な塩分躍層が認められ、それを境界として宍道湖表層水と底層水に区分できる。

湖水の大多数を占める宍道湖表層水の塩分は、1992年8月が6~8‰、11月が6~7‰、1993年2月が2~5‰、6月が5~6‰であった(図3)。調査期間中の塩分は、8月がもっとも高く、2月がもっとも低い。その塩分差は、約3‰である。一般的な宍道湖の塩分が3~4‰である(伊達ほか, 1989)とすると、調査期間の塩分は高いといえる。また、表層水の一般的な傾向は、大橋川に向かうにつれて緩やかに増加している。11月と6月は、その勾配が低い。2月は、斐井川側で勾

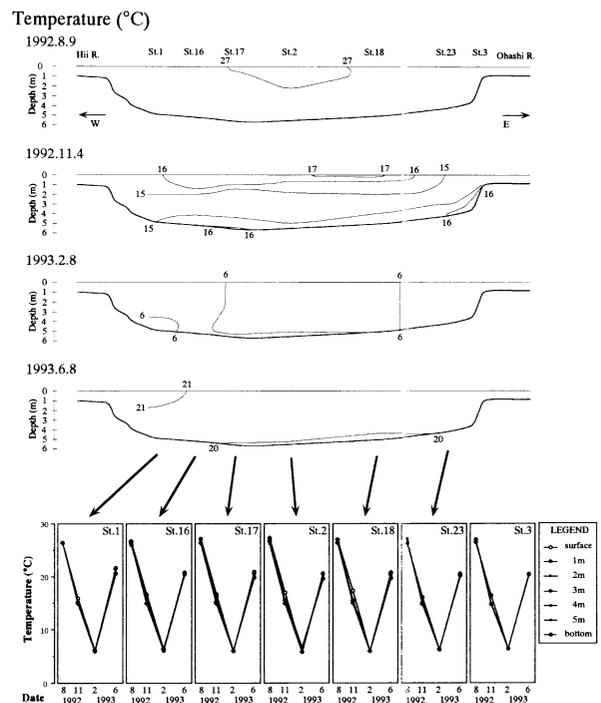


図2 宍道湖における水温の季節変化

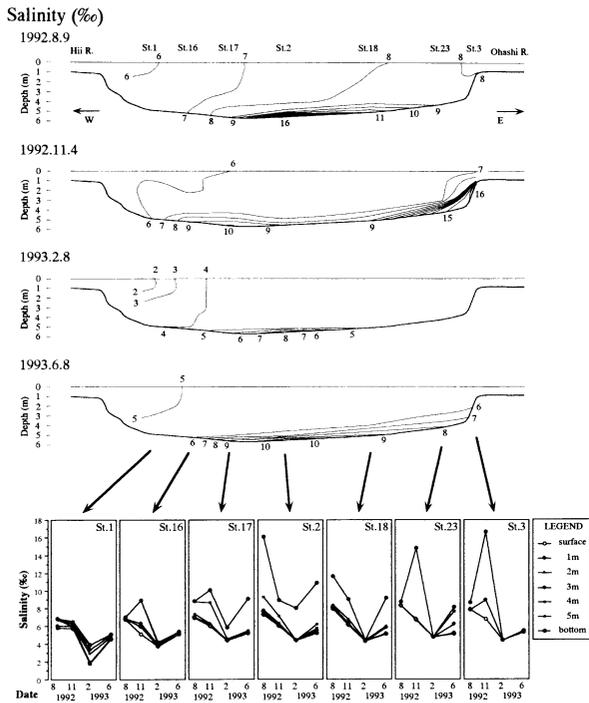


図3 宍道湖における塩分の季節変化

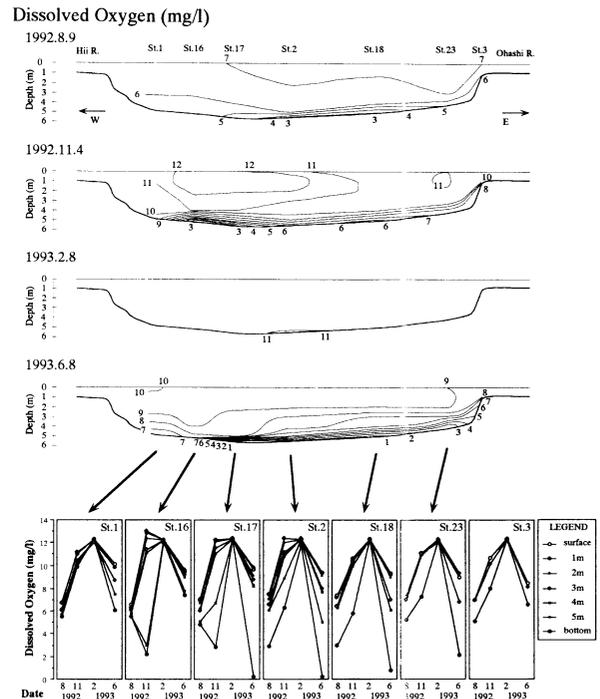


図4 宍道湖における溶存酸素量の季節変化

配が高く、湖中央から大橋川側にかけて勾配が緩やかになっている。

宍道湖底層水は、1992年8月が11~16%、11月が8~16%、1993年2月が8%前後、6月が8~10%であり、調査期間中の塩分差は約8%で表層水に比べて大きい。底層水の分布は、一般に湖中央から大橋川側に薄く分布している。1992年11月の底層水は比較的厚い。底層水の塩分は大橋川側が最も高く、湖心に向かうにつれて低くなる傾向にある。逆に塩分が最も低いのは1993年2月で、底層水の分布も小さく、湖心の底部に薄く溜まっているだけである。そのため、St.18、St.23などの大橋川側の湖底は調査期間中の塩分差が12%以上に達する。

溶存酸素 (DO)：宍道湖の溶存酸素量は、一般的に表層から底層にかけて低くなる傾向にある。表層から底層にかけて緩やかに低下し、湖心部では底層近くでさらに急激に減少する。表層の溶存酸素量は、1992年8月が低く(6~7 mg/l)、1992年11月と1993年2月が11~12 mg/lと高く、1993年6月が9~10 mg/lと比較的低い。底層水は、8月で3~6 mg/l、11月が3~10 mg/l、2月は12 mg/lと高く、6月は0~7 mg/lである。底層水の溶存酸素量は、湖心部が最も低く、11月の場合は大橋川側から斐井川側に向けて溶存酸素量が低くなっている傾向が認められる。底層水の溶存酸素量は、2月だけが著しく高い。

底層水の分布：本研究では、塩分変化の最も大きな所で表層水と底層水に区分した。区分した塩分は、1992年8月では10%、1992年11月では8%、1993年2月では6%、1993年6月では7%である。底層水の分布は図5に示す。底層水は、湖底地形の低い水域を中心に分布している。11月は底層

水の塩分・DOの分布から大橋川から湖心方向に流入していると考えられる。塩分は宍道湖河口側の浅部の底層で最も高く、湖心方向に減少している。さらに湖心付近ではもう一度増加していることから、底層水は波状的に流入していると思われる。DOも大橋川側が高く、徐々に減少している。これは湖心方向に流入している間に酸素が消費され減少しているものと、すでに消費されている停滞した底層水と混合することによって起こる現象と思われる。高塩分・高DOを示す底層水の流入は、低DOを示す中海底層水が流入したとは考えられない。よってこの時流入した底層水は、高塩分・高DOを示す中海の表層水が流入しているものと思われる。冬季の1993年2月では、底層水の分布が非常に小さくなり、わずかに湖心付近に存在している程度である。一方、6月には底層水の分布が大きくなっている。2-6月の間に多量の中塩分水塊、恐らく中海表層水が流入したと考えられる。

2. 底質

含砂率：宍道湖における観測地点の含砂率の分布は図6に示した。宍道湖湖畔付近の水深3mより浅いところでは80%以上の高い含砂率を示す。さらに水深2m以浅では95%以上に達する。逆に4m以深では含砂率が低く、10%以下である。特に湖心部の東側では1%以下と低い。湖心部の西側でやや高いのは、斐伊川の影響である。宍道湖東部のSt.23では水深4.3mであるが、やや高い(7.6%)含砂率を示している。これは大橋川からの高塩分水塊の流入に起因しているものと思われる。

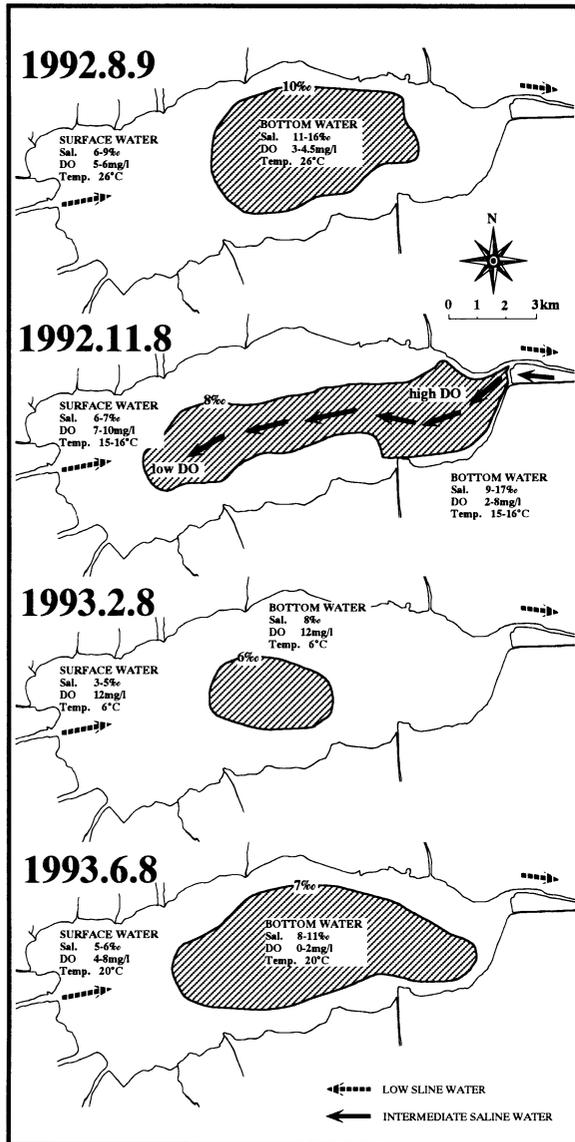


図5 宍道湖における底層水の分布とその特徴

宍道湖の底生有孔虫群集

宍道湖の16観測定点、4季節の試料から15タクサの底生有孔虫が産出した(附表1)。そのうち、生体を確認できたのは、*Ammonia "beccarii"* と *Miliammina fusca* の2タクサのみである。また、5タクサは殻の状態と種構成から第三紀の地層から再堆積した化石と思われる。

なお、本研究で用いた *Ammonia "beccarii"* は、これまでの多くの研究で使われてきた *Ammonia beccarii* のシノニムである。Nomura and Takayanagi (2000) では、従来用いられてきた *A. beccarii* は分類上に問題があることを指摘し、*Ammonia sp.* としている。本研究では、それらを踏まえ *Ammonia "beccarii"* を用いることにする。

1. 底生有孔虫の総個体数

乾燥試料1g当りの底生有孔虫総個体数(生体+遺骸)を図7に示した。宍道湖での総個体数は、いずれの季節においても東部に多く、中部および西部では極端に少ない。また、宍道湖東部でも水深2m以浅の地点では個体数が少なく、産出してない地点もある。季節的に見ると、1992年8月が最も総個体数が少なく、1993年6月まで増加傾向にある。宍道湖西部のSt.1地点のみ1993年6月に減少する。最も個体数が多い地点は宍道湖東部のSt.23地点であり、他の地点と比較して突出して多い。St.23地点では、1992年2月で乾燥試料1g当り約60個体の産出が認められ、さらに1993年6月では1g当り約640個体に達した。一方、1992年8月での宍道湖中部および西部における個体数は、1g当り約1個体にも達していない。特に、湖心のSt.2地点では全く産出してない。1993年6月では、1g当り3~13個体に増加している。

有孔虫生体個体数の分布は総個体数のそれと同様な傾向にある(図8)。しかし、最も生体個体数が多いのは1993年2月であり、1993年6月では減少している。生体の個体数の多いSt.23地点では、1992年6月における生体の個体数が1g当り約3個体であったものが、1992年2月では約87個体に達し、総個体数の55%を占める。その内訳は、ほとんど

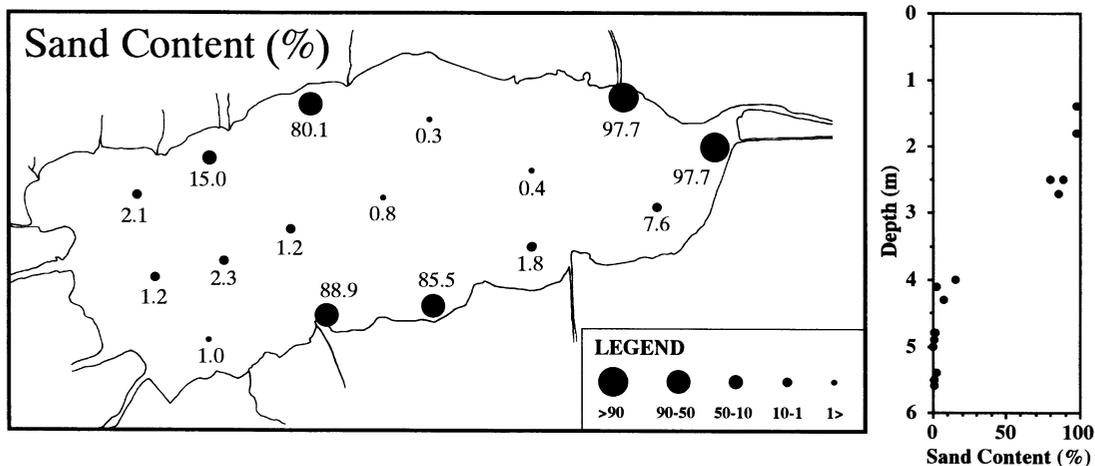


図6 宍道湖観測定点における含砂率の分布と含砂率の水深プロファイル。

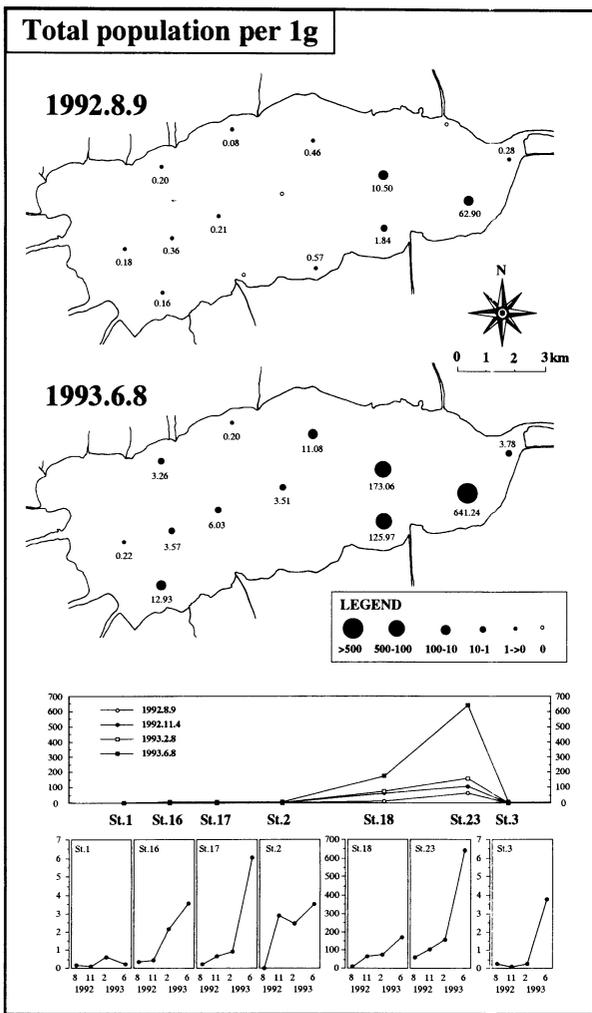


図7 宍道湖における乾燥試料 1g 当りの底生有孔虫総個体数の分布と 1992 年 8 月～1993 年 6 月における総個体数の変化。

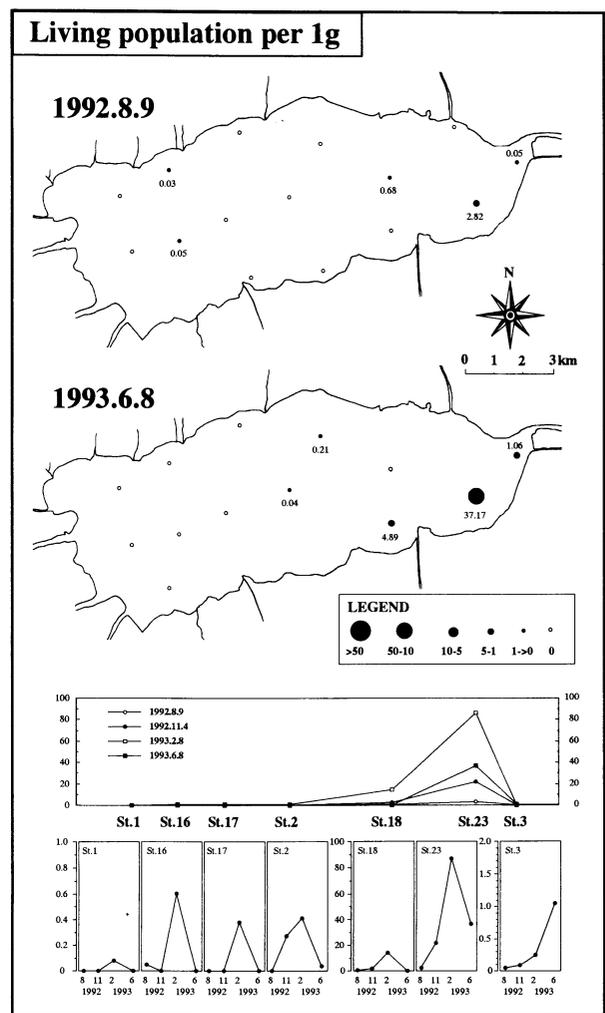


図8 宍道湖における乾燥試料 1g 当りの底生有孔虫生体個体数の分布と 1992 年 8 月～1993 年 6 月における生体個体数の変化。

が A. “beccarii” の 4 室以下の稚殻であった。1993 年 6 月では、1g 当り約 37 個体に減少している。St.23 地点以外では、ほとんどの地点で 1g 当り 1 個体以下しか生体の有孔虫を産出しない。

主要 3 タクサ (A. “beccarii”, *M. fusca*, *Cribr stomoides canariensis*) についても乾燥試料 1g 当りの個体数の分布を示した (図 9～11)。多くの地点で独占的な産出を示す A. “beccarii” は、底生有孔虫総個体数とほぼ同様な分布を示す (図 9)。 *M. fusca* では、個体数としては非常に少ない (乾燥試料 1g 当りの 8 個体以下) が、A. “beccarii” の分布とは異なる傾向を示した (図 10)。1992 年 8 月においては宍道湖沿岸付近の比較的浅い地点で産出し、生体は唯一 St.12 地点でのみ見られる。しかし、乾燥試料 1g 当りの総個体数が最も多いのは宍道湖東部の St.23 地点である。時期によっては、宍道湖西部の St.16 地点でもピークを示す。どの時期でも宍道湖中央部では非常に少ない。調査期間中では総個体数・生体個体数ともに 1993 年 2 月が最も多く、1993 年 6 月では減少し、生体は全く見られなかった。水深 2 m 以浅の含砂率

の極めて高い地点では、全く産出しない。 *C. canariensis* は、ほとんどが宍道湖東部に分布するが、遺骸のみで生体は確認されなかった (図 11)。最も多かった地点は St.23 地点で 1993 年 6 月で乾燥試料 1g 当り約 15.5 個体である。個体数は 1992 年 11 月に少なく、1993 年 6 月に多いもの特に傾向は見られない。

再堆積したと思われる有孔虫化石は、宍道湖北岸付近に分布する (図 12)。特に St.13 地点では、乾燥試料 1g 当りの約 5 個体と最も多い。この地点では 80% の高い含砂率を示している。その他の産出地点では、含砂率が低く、乾燥試料 1g 当りの個体数も 0.2 個体以下と非常に少ない。

2. 底生有孔虫群集

再堆積した有孔虫化石を除く乾燥重量 1g 当りの有孔虫総個体数が 0.5 個体以上産出した 24 試料について Q モードクラスター分析を行い、その結果に基づいて有孔虫群集を設定した。クラスター分析は、Excel 多変量解析 ver 3.0 を用い、試料間でマハラノビスの汎距離を求め、ウォード法で統合し

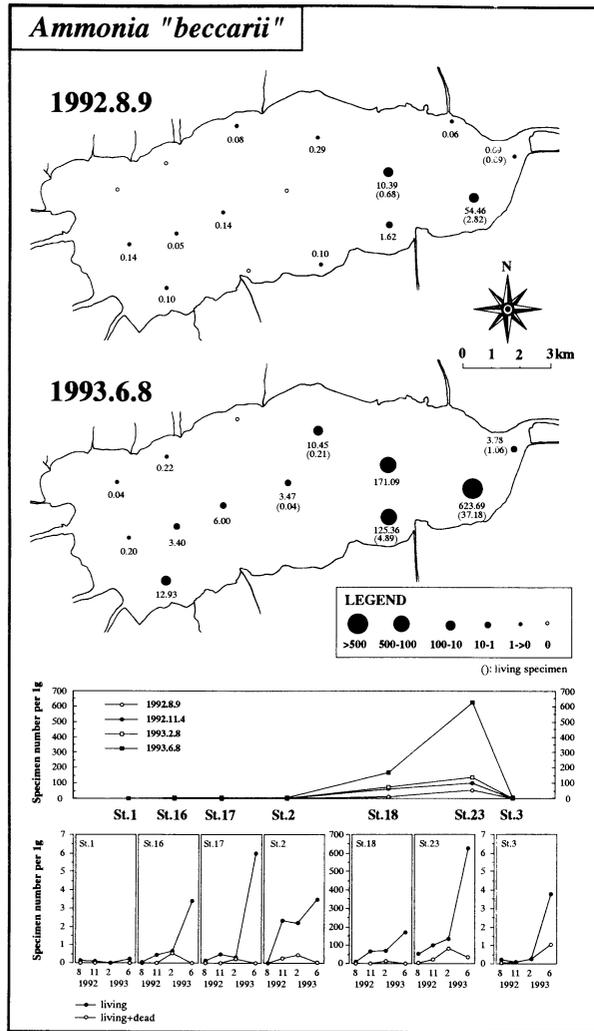


図9 宍道湖における *Ammonia "beccarii"* の乾燥試料 1g 当りの個体数の分布と 1992 年 8 月～1993 年 6 月における個体数の変化。

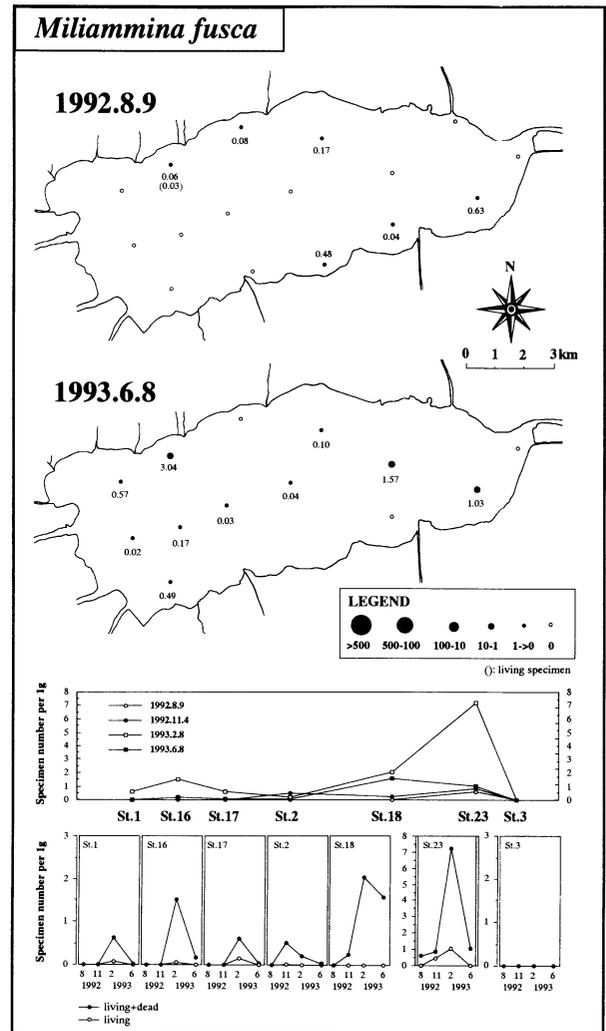


図10 宍道湖における *Miliammina fusca* の乾燥試料 1g 当りの個体数の分布と 1992 年 8 月～1993 年 6 月における個体数の変化。

た。分析の結果得られたデンドログラムは、図 13 に示す。24 試料の試料群は、マハラノビスの汎距離が 0.7 で 2 つの試料群に区分し、それぞれを A 試料群、M 試料群とした。さらに距離が 0.1 で亜試料群に細分した。A 試料群は、*Ammonia "beccarii"* が卓越することから、*Ammonia* 群集とし、3 つの亜試料群と亜試料群を形成しない 2 つの試料を A1～A5 亜群集とした。M 試料群は *Miliammina fusca* が卓越することから、*Miliammina* 群集とし、2 つの亜試料群を M1、M2 亜群集とした。

1) *Ammonia* 群集

本群集は、*A. "beccarii"* が卓越し、*M. fusca* や *Cribrostomoides canariensis* が随伴する (図 14)。さらに *Ammobaculites exiguus* や *Trochammina hadai* がわずかながら産出する。

a) A1 亜群集

本亜群集は、*A. "beccarii"* が 90% 近くを占め、*C. canariensis* や *M. fusca* が随伴する。*Ammonia* 群集の中では、最も多様性が高い。

b) A2 亜群集

本亜群集は、*A. "beccarii"* が 75% 近くを占め、*C. canariensis* や 地中海によく産出する *T. hadai* などが随伴する。1992 年 11 月の St.17 地点のみで認められた亜群集である。

c) A3 亜群集

本亜群集は、*A. "beccarii"* が 99% 近くを占める独占的な産出を示す。*C. canariensis* や *M. fusca*、*A. exiguus* がわずかに産出する。今回得られた宍道湖の亜群集の中でもっとも一般的なものである。

d) A4 亜群集

本亜群集は、*A. "beccarii"* が 95% 近くを占め、*M. fusca* が随伴する。

e) A5 亜群集

本亜群集は、*A. "beccarii"* が約 80% を占め、*M. fusca* が 18% 近くを示す。1992 年 2 月の St.2 のみで認められた亜群集である。

2) *Miliammina* 群集

本群集は、*M. fusca* が卓越し、*A. "beccarii"* が随伴する (図

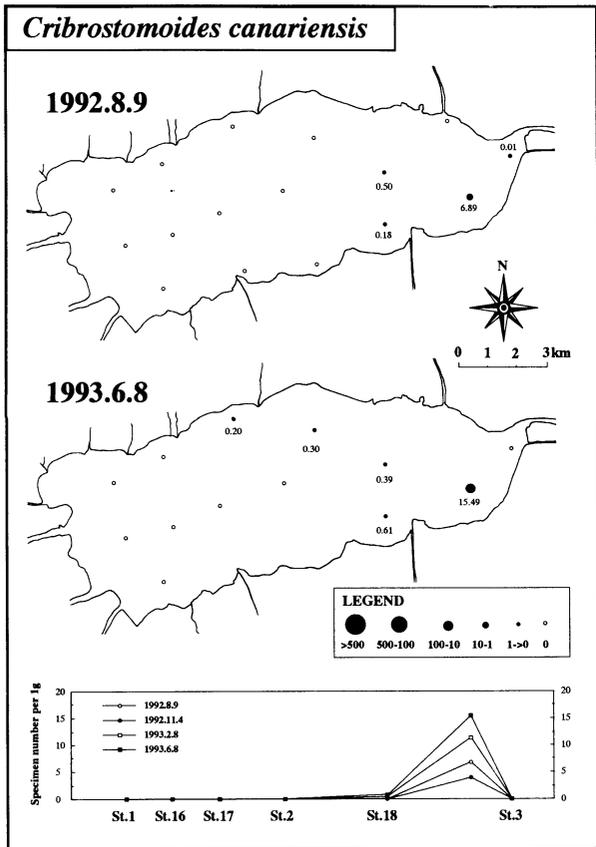


図11 宍道湖における *Cribrostomoides canariensis* の乾燥試料 1g 当りの個体数の分布と 1992 年 8 月～1993 年 6 月における個体数の変化。

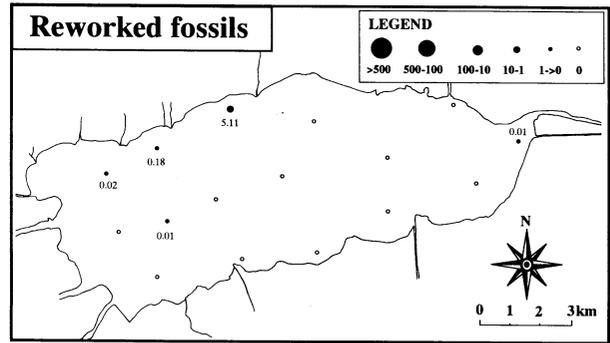


図12 再堆積化石有孔虫の分布

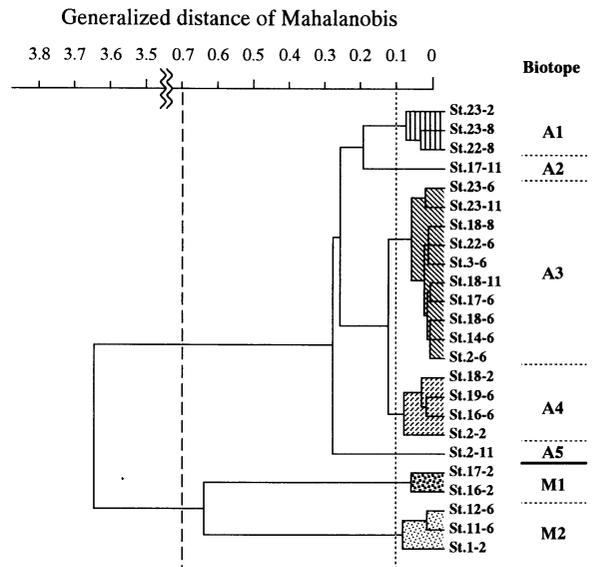


図13 Qモードクラスター分析の結果と区分された試料群

14). ほかの有孔虫種は産出しない。

a) M1 亜群集

本亜群集は, *M. fusca* が全体の約 2/3 近くを占め, 残り 1/3 を *A. "beccarii"* が占める。

b) M2 亜群集

本亜群集は, *M. fusca* が産出比のほとんどを占める産状を示す。*A. "beccarii"* は 4% 程度である。

3. 宍道湖における底生有孔虫群集の分布

今回の底生有孔虫群集の解析をして認められた 2 群集 7 亜群集の分布を図 15, その時の有孔虫組成を図 16 に示した。

1992 年 8 月では宍道湖東部の比較的深い水域で A1・A3 亜群集が見られる。その他の宍道湖中央部から西部では, 貧・無有孔虫相である。1992 年 11 月は *Ammonia* 群集が拡大し, 宍道湖中部まで群集が認められた。宍道湖西部では, 貧・無有孔虫相である。1993 年 2 月は西部に *Miliammina* 群集が認められ, 中～東部では *Ammonia* 群集である。中部では A4 亜群集であり, *M. fusca* は *A. "beccarii"* とともに増加していることを反映している。1993 年 6 月では宍道湖のほとんどが *Ammonia* 群集であり, その中でも *A. "beccarii"* が独占的な組成を持つ A3 亜群集が大部分を占める。*Miliammina* 群集 (M2 亜群集) は, 東北部の 2 地点のみで認められた。また,

Assemblage Taxa	Ammonia Assemblage					Miliammina Assemblage	
	A1	A2	A3	A4	A5	M1	M2
<i>Ammonia "beccarii"</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>Miliammina fusca</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>Cribrostomoides canariensis</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>Trochammina hadai</i>	■	■	■	■	■	■	■
Other species	■	■	■	■	■	■	■

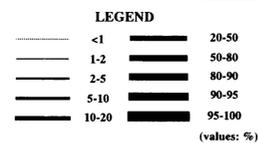


図14 宍道湖における底生有孔虫群集の特徴

斐伊川から供給される淡水のもっとも影響の強い St.1 は, 貧・無有孔虫相である。

考 察

1. 宍道湖における *Ammonia "beccarii"* の分布要因
Ammonia "beccarii" は, 汽水～内湾に普遍的に分布し

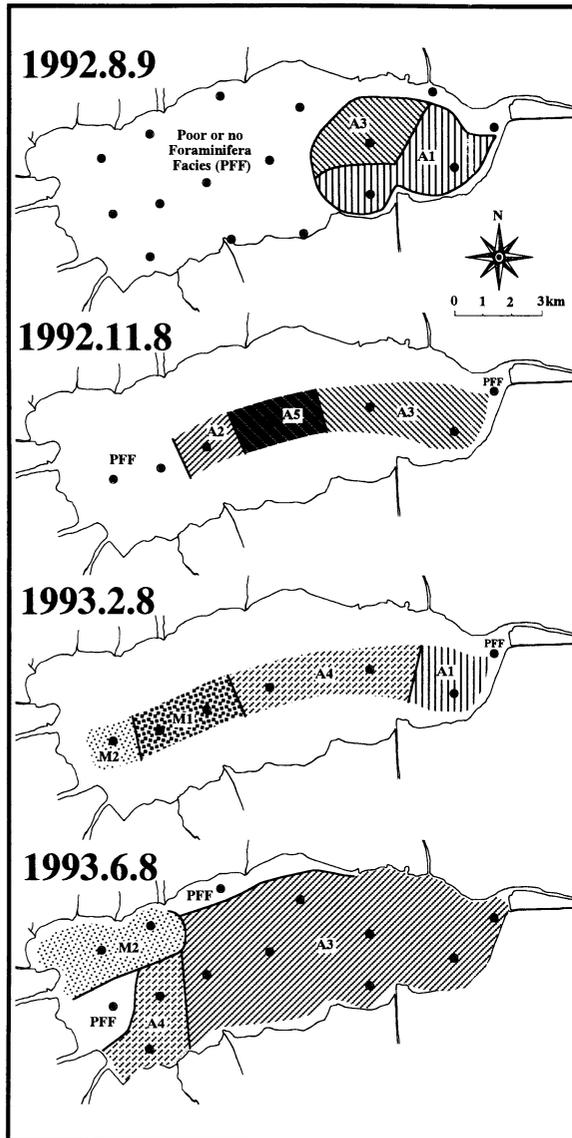


図 15 1992 年 8 月～1993 年 6 月における宍道湖の底生有孔虫群集の分布と変化。

(Matoba, 1970; Ikeya, 1977; 中海・宍道湖自然史研究会, 1985), 特に汽水域では独占的な産状を示す(Nomura and Seto, 1986). 野村・吉川(1996)は, *A. "beccarii"* の生態が塩分と密接に関することを指摘し, 宍道湖では有機物の堆積しやすい泥底(TOC: 3%程度)で, 適度な塩分(5-10%)で増加している(野村, 1996).

今回の宍道湖での調査における *A. "beccarii"* の分布は, 宍道湖東部に多く, 西方向に減少する傾向にあった。宍道湖東部の *A. "beccarii"* の多い地点では, 年間を通じて中塩分の宍道湖底層水の影響下にあるのではなく, 西部と同様に多くは低塩分の宍道湖表層水の影響下にある。それにもかかわらず, 中塩分を好む *A. "beccarii"* が分布することは, 1993 年 11 月で観測されたような大橋川から中塩分水塊の流入が, *A. "beccarii"* の分布に寄与していることを示唆している。中塩

分水塊の流入は, 大橋川河口付近で高い溶存酸素量を示し, 中央部方向に減少傾向にある。中塩分水塊が停滞している湖心付近で個体数が少ないことから, 溶存酸素量が少ないと最適塩分であっても繁殖できないことを示している。

1993 年 2 月の St.23 地点の試料には 4 室未満の生体個体が多数見られる。その地点の 2 月の塩分は 4%とやや高めであるが, 水温は 6℃前後と低い。このことは 6℃前後の低温でも活発に繁殖できることを示唆している。1992 年 8 月にも生体個体は確認されているので, *A. "beccarii"* は 6-27℃の水温の幅広い範囲で生息可能である。

1992 年 8 月の調査では, *A. "beccarii"* の総個体数が 1 個体/g 以上産出する地点は宍道湖東部でしか見られなかったが, 1993 年 6 月には宍道湖全体で見られるようになった(図 9)。 *A. "beccarii"* の遺骸は 1993 年 6 月がもっとも多く産出したが, 生体は 1993 年 2 月の方がもっとも多かった。これは, *A. "beccarii"* が 2-6 月急増したことを示している。ただし, 6 月に生体が少ないことから繁殖は終息している。 *A. "beccarii"* はガラス状石灰質殻であるため, 物理的要因では壊れにくい。そのため, *A. "beccarii"* の遺骸は保存され, 累積として繁殖の終息した 6 月に遺骸個体数のピークを迎えたと思われる。この間, 宍道湖底層水が大きく拡大し, 表層水の塩分も高くなっていることから, 大橋川の中塩分水塊が活発に流入したと思われる。中塩分水塊の影響下にある大橋川の河床では, *A. "beccarii"* の独占的な群集を示すことが知られている(野村・遠藤, 1998; 瀬戸ほか, 1999)。宍道湖における 1993 年 2-6 月の *A. "beccarii"* は増加は, もともとそこに生息していた *A. "beccarii"* が繁殖したというより, 大橋川で繁殖した *A. "beccarii"* が中塩分水塊の流入にともない運搬されて定着した可能性がある。中塩分を好む *A. "beccarii"* は, 運搬されて蓄積されても, 低塩分の宍道湖表層水中では繁殖・成長が阻害されるが, この調査期間中では表層水の塩分が高かったため, *A. "beccarii"* が増加したと思われる。野村・吉川(1995)のデータによれば, この増加した *A. "beccarii"* は, 少なくとも 1994 年までは維持されている。

以上のことから *A. "beccarii"* は, 中塩分水塊の流入に関連して分布し, 塩分・溶存酸素量などの水質条件に規制されて増加するものと思われる。したがって, *A. "beccarii"* は宍道湖底層水を含む中塩分水塊の指標種となりうる。

2. 宍道湖における *Miliammina fusca* の分布要因

膠着質殻を持つ *M. fusca* は低塩分水域を好んで生息していることが知られている(野村・吉川, 1995)。宍道湖では, *A. "beccarii"* と比較して個体数が少ないものの, ほぼ全域に分布する(図 10)。しかしながら, 宍道湖西部の斐伊川河口付近および湖心付近で少ない傾向にある。このような分布は, 宍道湖表層水の分布とほぼ一致するため, *M. fusca* は宍道湖表層水に規制されて分布するものと思われる。また, *M. fusca* の生体, 遺骸ともに含砂率の高い 3 m 以浅の底質でも少ない。これは *M. fusca* の殻が壊れやすいため, 波浪の影響を受けやすい浅域には生息しにくいことを示している。

調査期間中で *M. fusca* の生体が多かったのは, 冬季の 2 月

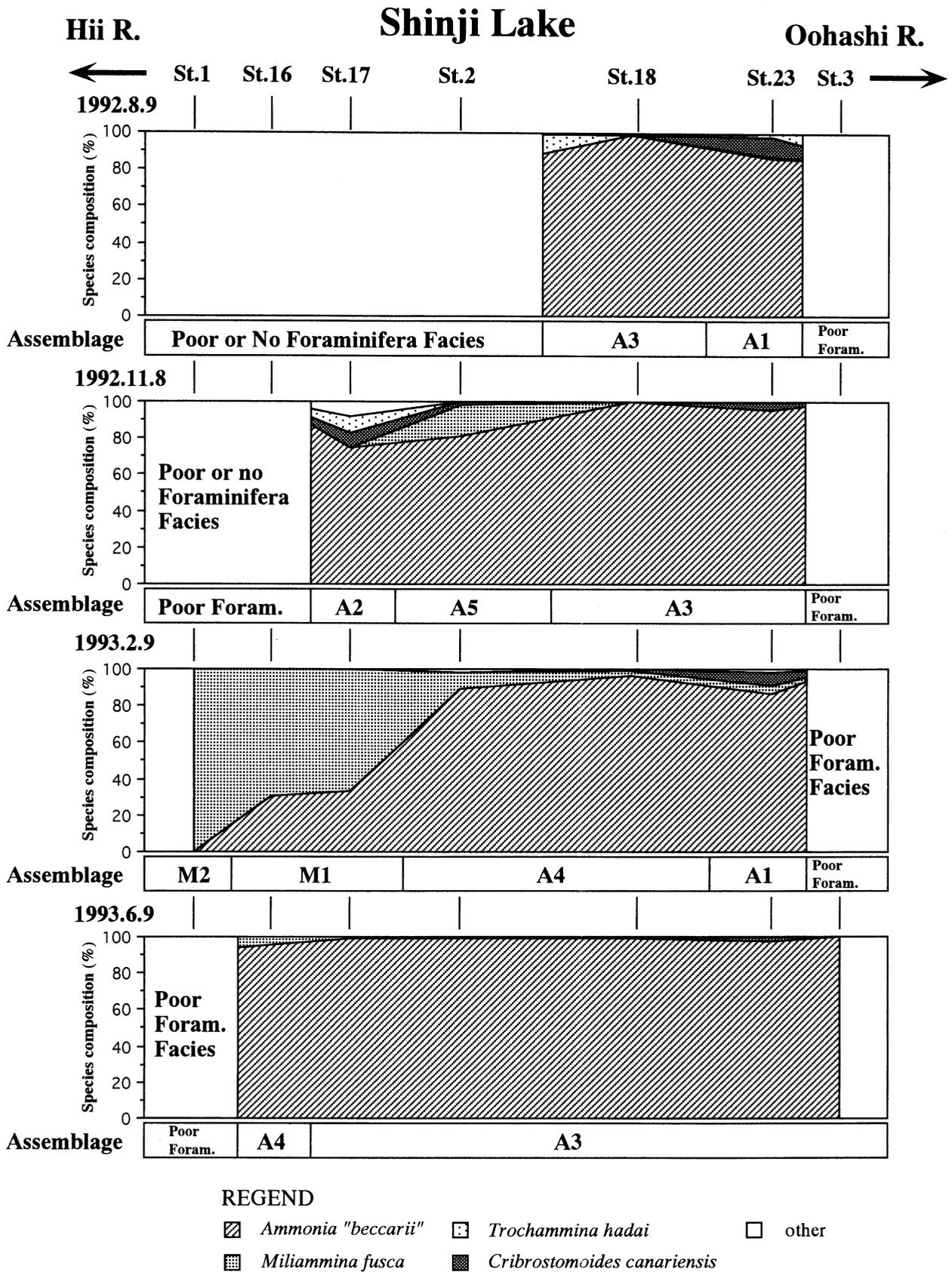


図 16 1992 年 8 月～1993 年 6 月の宍道湖中央測線における底生有孔虫群集と組成の変化

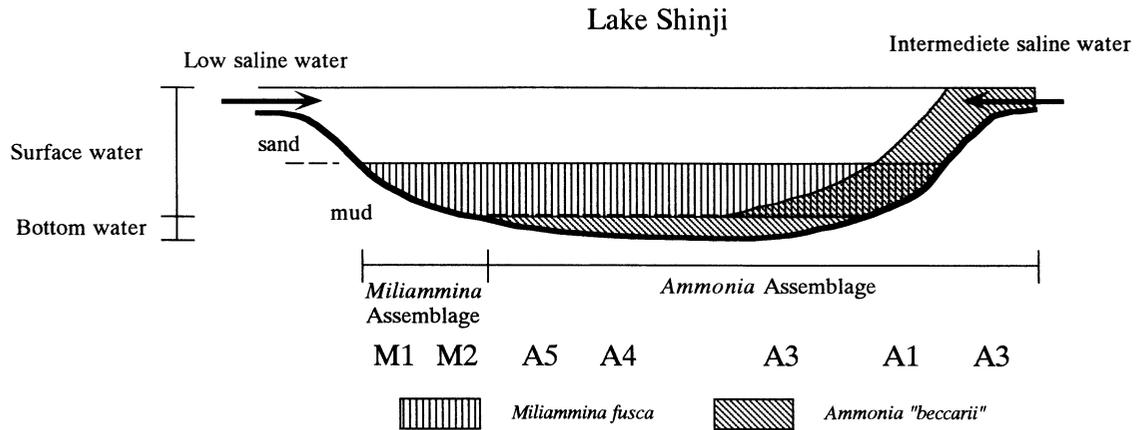


図 17 宍道湖における底生有孔虫群集の模式的な分布

であり、6月には生体がほとんど見られなかった。これは、*M. fusca* が2月の6°C前後の低温でも繁殖できることを示している。一方、*M. fusca* の遺骸も生体同様に2月に多く見られるが、6月までに明らかに減少している。*M. fusca* の殻は比較的早い時期に破壊されるものと思われる。1992年の8月と11月に少ないのは、宍道湖の表層水の塩分が5%以上のやや高い塩分であったことに起因していると思われる。

以上のことから、*M. fusca* は低塩分(5%以下)の宍道湖表層水の影響下の中深度(およそ3~5m)で繁殖し、波浪・塩分・水塊の分布に規制されて分布するものと思われる。したがって、宍道湖における *M. fusca* は、宍道湖表層水の指標種となりうる。

3. 有孔虫群集の成立要因

宍道湖での底生有孔虫群集は、2群集7亜群集が認められ、それらは主に *A. "beccarii"* と *M. fusca* で構成されている。*M. fusca* は宍道湖表層水(低塩分水塊)の影響下で分布し、*A. "beccarii"* は宍道湖底層水を含む中塩分水塊に規制されて分布する。宍道湖表層水は、宍道湖の表層~約5mまで影響を湖底に与えている。この水域は、*M. fusca* が分布するポテンシャルを持つ。一方、宍道湖の中塩分水塊は、宍道湖底層水を除いて断続的に流入し、宍道湖中央部~東部に影響を与えている。この水域は、*A. "beccarii"* が分布するポテンシャルを持つ。*A. "beccarii"* と *M. fusca* の個体数の差から *A. "beccarii"* の方が生産性が高いと考えられるので宍道湖中央部~東部の中塩分水塊の影響水域は *Ammonia* 群集になり、西側の影響の少ない水域では、*Miliammina* 群集となる(図17)。*Miliammina* 群集の分布域の東側は、宍道湖底層水の影響を多少受けるので *A. "beccarii"* がやや含まれ、M2 亜群集になり、ほとんど影響の受けない西側では *M. fusca* が独占する M1 亜群集となる。*Ammonia* 群集の分布域の宍道湖底層水の影響水域で宍道湖表層水の影響のある西側では、*M. fusca* をやや含み、A5, A4 亜群集となる。底層水の影響水域でのその他の分布域は、*A. "beccarii"* が独占している A3 亜群集である。宍道湖東部の宍道湖表層水と中塩分水塊の両方の影響を受ける水域では、*M. fusca* や *C. canariensis* を含む比

較的多様性の高い A1 亜群集になる。3m以浅の砂底では、*M. fusca* が生息しにくいいため、*A. "beccarii"* が独占している A3 亜群集が認められる。ただし、この水域では中塩分水塊の活発な流入が必要であると思われる。3m以浅の砂底で宍道湖表層水の影響水域および淡水に近い斐伊川水の影響水域では、有孔虫は生息しにくいので貧・無有孔虫相が認められる。このように宍道湖で認められる有孔虫群集は、水塊の分布と流入、波浪などの物理条件によって成立しているものと思われる。

4. 宍道湖における底生有孔虫の変遷と *Ammonia* イベント

今回の調査で四季の底生有孔虫の分布を見たが、遺骸群集に関しては季節的变化というよりも経年的変遷を観測している。これまで宍道湖の表層堆積物における底生有孔虫の分布を明らかにした調査は、1982年8月に行われたものがある(中海・宍道湖自然史研究会、1985:長松、1985MSから作成)。この調査は定性的ではあるが、詳細に行われている。また、1994年6月と11月には1側線であるが定量的に分布が明らかにされている(野村・吉川、1995)。今回の結果とそれらの結果を用いて宍道湖における1982年以降の経年変化について検討する。*A. "beccarii"* は、1982年8月では、宍道湖東部に見られるが、それ以外の水域では皆無である。1992年8月では、1982年8月と同様に宍道湖東部に多く、中部~西部ではほとんど見られない。1993年6月では宍道湖西部の斐伊川河口付近を除いてほぼ全域に見られるようになる。1994年では1993年6月とほぼ同じ分布を示すが、多産する水域が宍道湖湖心付近まで達している。以上のことから、*A. "beccarii"* が増加するのは、宍道湖東部では1982年以前、宍道湖中部では1992年である。宍道湖西部の斐伊川河口付近は、*A. "beccarii"* が1994年時点でも見られず、増加するとしたらそれ以降ということになる。これは宍道湖における *A. "beccarii"* の増加は同年代に起こるのではなく、十数年の時間差が生じていることを示している。

野村・吉川(1995)や野村(1996)は柱状試料で見られる *A. "beccarii"* の個体数の増加を始める年代を宍道湖の堆積速度から1980-1981年とし、ほぼ同年代に宍道湖で増加現象が

起こったと見なしている。また、その年代が化学的酸素要求量(COD)の増加時期(COD イベント)と一致することを指摘した(野村, 1996)。大橋川においても同年代に *Cribrostomoides canariensis* から *A. "beccarii"* への群集交換が見られることから、この有孔虫の群集交換イベントに対し、*Ammonia* イベントを提唱した(野村・遠藤, 1998)。また、中海でも *Ammonia* イベントあるいはそれに対応する有孔虫群集変化が起きている(野村・山根, 1996; 野村・福田, 1999)。その変化は1980年前後のほぼ同年代に起こったと考えられている。しかし、今回の結果では *Ammonia* イベントは同時期ではなく、少なくとも宍道湖中西部では約12年の時間の差が生じることが明らかになった。これは、1980年に宍道湖及び大橋川でほぼ同時に起こっているCOD イベントとの間に時間差があることを示す。*Ammonia* の西方移動は、野村・遠藤(1998)の指摘する1980年以降、活発化したといえる。

A. "*beccarii*" が高塩分を好むことを考慮すると、*Ammonia* イベントは斐伊川河口域の栄養塩類に富む高塩分化に関連して起こっているものと思われる。恐らく、*Ammonia* イベントは海に近い中海側で起こり、時間の経過とともに宍道湖に移動してきたと思われる。

ま と め

1. 調査期間中において宍道湖には顕著な塩分躍層が認められ、それを境界として宍道湖表層水と底層水に区分できる。底層水は湖底地形の低い水域を中心に分布しているが、1992年11月は底層水の塩分・DOの分布から大橋川から湖心方向に流入していると考えられる。1993年6月には底層水の分布が大きくなっており、2-6月の間に多量の中塩分水塊、恐らく中海表層水が流入したと考えられる。

2. 宍道湖での乾燥試料1g当りの底生有孔虫総個体数は、いずれの季節においても東部に多く、中部および西部では極端に少ない。また、宍道湖東部でも水深2m以浅の地点では個体数が少なく、産出してない地点もある。調査期間中では、1992年8月の総個体数が最も少なく、1993年6月まで増加傾向にある。

3. 宍道湖での底生有孔虫群集は、2群集7亜群集が認められ、それらは主に *A. "beccarii"* と *M. fusca* で構成されている。*M. fusca* は宍道湖表層水(低塩分水塊)の影響下で分布し、*A. "beccarii"* は宍道湖底層水を含む中塩分水塊に規制されて分布する。

4. 有孔虫群集の分布と水塊構造や底質の特徴から、宍道湖で認められる有孔虫群集は水塊の分布と流入や波浪などの物理条件によって成立しているものと思われる。

5. 宍道湖における1982年から1994年の底生有孔虫の経年変化から、*A. "beccarii"* の増加(*Ammonia* イベント)は宍道湖の東西で約12年の時間差を生じていることが示される。

とくにイベントのあった1980年以降に *Ammonia* の西方への移動が活発化している。

謝辞：本研究の調査の行うに際して、島根県内水面水産試験場三刀屋分場とは調査を共同で行うとともに調査への協力をいただいた。中村幹雄博士をはじめ、三刀屋分場の方々に厚く御礼を申し上げる。また、本研究は真先(1992 MS)、田中(1993 MS)の卒業研究の一部をもとにしている。本研究を進めるにあたり、徳岡隆夫教授をはじめ、島根大学理学部地質学科地史学・資源地質学講座の教官の方々には貴重な御意見をいただいた。また、島根大学教育学部の野村律夫教授には、粗原を読んでいただくとともに報告内容について議論していただいた。この場をかりて厚く御礼を申し上げる。

文 献

- 伊達善夫・橋谷博・清家泰・近藤邦男・奥村稔・藤永薫, 1989, 12年間の定期調査からみた中海・宍道湖の水質-季節変化, 経年変化, 平均値-。山陰地域研究(自然環境), 5, 89-102.
- Ikeya, N., 1977, Ecology of foraminifera in the Hamana Lake region of the Pacific coast of Japan. Shizuoka Univ., Fac. Sci., Rep., 11, 131-159.
- Matoba, Y., 1970, Distribution of Recent shallow water foraminifera of Matsushima Bay, Miyagi Prefecture, northeast Japan. Tohoku Univ., Sci. Rep., 2nd ser. (Geol.), 42 (1), 1-85.
- 中海・宍道湖自然史研究会, 1985, 中海・宍道湖自然史研究 - その4, アトラスデソ20による宍道湖湖底の音波探査-。島根大地質研報, 4, 127-132.
- Nomura, R. and Seto, K., 1992, Benthic foraminifera from brackish lake Nakanoumi, San-in district, Southwestern Honshu, Japan. *Centenary of Japanese Micropaleontology*: 227-240.
- Nomura, R. and Takayanagi, Y., 2000, Foraminifera structures of some Japanese species of the genera *Ammonia* and *Pararotalia*, family Rotaliidae (Foraminifera). *Paleont. Res.*, 4 (1), 17-31.
- 野村律夫, 1996, 湖水環境の人為的改造と底生有孔虫の群集変化: 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), 3, 25-31.
- 野村律夫・遠藤公史, 1998, 汽水域における人為的改造と有孔虫群集の変化 - その5 *Ammonia* イベントの提唱と2005年の宍道湖-。LAGUNA(汽水域研究), 5, 15-26.
- 野村律夫・吉川恵吾, 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.
- 野村律夫・山根幸夫, 1996, 湖水環境の人為的改造と底生有孔虫の群集変化: その3 中海東部の過去数10年間の環境変化。LAGUNA(汽水域研究), 3, 13-24.
- 野村律夫・福田隆弘, 1999, 湖水環境の人為的改造と底生有孔虫の群集変化: その6 塩分躍層に相当する水深での *Ammonia* イベントの確認。LAGUNA(汽水域研究), 6, 119-122.
- 奥田節夫, 1997, 汽水湖における水塊の移動と混合過程。沿岸海洋研究, 35 (1), 5-13.
- 瀬戸浩二・山口啓子・田中源吾, 1999, 中海における炭酸塩殻生物の潜在的分布能力。LAGUNA(汽水域研究), 6, 247-260.
- 瀬戸浩二・中山大介・田中秀典・山口啓子, 2000, 宍道湖におけるアオコの発生とその地球化学的特徴。LAGUNA(汽水域研究), 7, p.61-69.

(受付: 2000年11月15日, 受理: 2000年12月1日)

付表1 宍道湖における底生有孔虫の産出リスト

Species	Station No. Date Status	St.1		St.2		St.3		St.11	St.12	St.13	St.14	St.15	St.16		St.17		St.18		St.19		St.20	St.21	St.22		St.23																					
		1992 8	1993 11	1992 8	1993 11	1992 8	1993 11	1992 8	1993 11	1993 11	1992 8	1993 11	1992 8	1993 11	1992 8	1992 8	1992 8	1993 11	1992 8	1993 11																										
BENTHIC FORAMINIFERA																																														
Hyaline calcareous species																																														
<i>Ammonia "beccarii"</i>	L																																													
	D	3	4	12									8		18		3	13	8	113						8	9	50	83	36																
<i>Elphidium advena</i>	D				9	8	1	5	1	2	19			7	465	1	1	17	4	81	2	9	1	196	186	266	451	435																		
<i>Rosalina viardeboana</i>	D				75	34	94	17			49		1			2										1	46	197	165	184	49	568														
Porcelaneous species																																														
<i>Milutinella oblonga</i>	D											1				1																														
<i>Quinqueloculina</i> sp.	D																	1																												
Agglutinated species																																														
<i>Ammobaculites exiguus</i>	D																												1	3	1															
<i>Cribrostomoides canariensis</i>	D				2			1					1	1			1		6	1						5	1	22	9	11	15															
<i>Miliammina fusca</i>	L			3	1						1					2													1	1																
	D			20	1	17	4	1		16	1	28	1	4	4		2								8		5	1	2	1	6	1														
<i>Trochammina hadai</i>	L							3								1																														
	D	1							4							5														3																
sp indet. (ag.)	D				1																																									
PLANKTONIC FORAMINIFERA																																														
<i>Globigerina</i> spp.																			1																											
REWORKED FOSSILS																																														
<i>Martinottiella communis</i>	R												29			1																														
<i>Cyclammina</i> spp.	R							1	1	3			1	1	2																															
<i>Cribrostomoides</i> sp.	R												1																																	
sp. indet. (cal.)	R												18																																	
sp. indet. (ag.)	R												3																																	
BENTHIC FORAMINIFERA																																														
Agglutinated species																																														
		1	0	23	1	0	20	5	1	4	0	0	0	0	16	6	28	1	1	4	5	0	6	0	50	4	1	2	8	1	1	1	22	5	0	8	0	5	6	1	27	12	21	17		
Porcelaneous species																																														
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Hyaline calcareous species																																														
		3	4	0	12	0	84	42	95	22	1	2	68	0	1	1	2	0	0	7	473	1	1	17	22	81	2	10	4	196	199	274	564	435	3	205	0	1	46	205	174	234	132	604		
PLANKTONIC FORAMINIFERA																																														
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
REWORKED FOSSILS																																														
		0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	1	1	3	0	51	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL LIVING SPECIMENS																																														
		0	0	3	0	0	10	8	1	5	1	2	19	0	0	1	0	0	0	8	0	1	0	20	0	0	0	5	0	13	8	113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	9	51	84	36
TOTAL DAED SPECIMENS																																														
		4	4	20	13	0	94	39	95	21	0	0	49	0	17	6	30	1	1	11	470	1	6	17	52	85	3	12	7	197	188	267	473	440	3	213	0	6	52	198	192	195	69	585		
REWORKED FOSSILS																																														
		0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	1	1	3	0	51	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL																																														
		4	4	23	13	0	104	47	96	27	2	5	68	0	18	8	33	1	52	11	478	1	7	17	73	85	3	12	12	197	202	275	586	440	3	213	0	6	52	206	201	246	153	621		