

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

野村律夫¹・遠藤公史¹

Benthic foraminiferal changes in relation to human activities: Part 5 Implication of the *Ammonia* event and the environment of Lake Shinjiko in the year 2005

Ritsuo Nomura¹ and Koshi Endo¹

Abstract: We studied the benthic foraminifera in the core sediments of the Ohashi-gawa River connecting the two brackish Lakes Shinjiko and Nakaumi. The river is best suited to reconstruct the recent environmental history of Shinjiko, because of high sedimentation rate and having artificially changed river floor. Such a history is useful to estimate the timing of assemblage change by referring to the documents of artificial dredging. We confirm the rapid appearance of *Ammonia beccarii* in the year 1980 at the upstream station of the Ohashi-gawa and in the year 1974 at the downstream station (Yada Station). This time lag may be due to the reverse current of high saline waters from Nakaumi. We also confirm the Chemical Oxygen Demands (COD) event in the Ohashi-gawa that has been recognized in the waters of Shinjiko. Thus, both the foraminiferal and chemical changes are coeval event, suggesting the anthropologic input of nutrients into the brackish area and several artificial constructions forming stagnant nature of bottom water. The *Ammonia* event suggests the high loading of organic matter produced in the lakes during the past several decades.

The recent decrease of another dominant species *Haplophragmoides canariensis* indicates a statistically significant correlation between the year and the relative abundance. By extrapolating the first-order regression of this species, we estimate the extinction time of this species in Shinjiko in the year 2005. We interpret also that the brackish environment is going through the process of ecological changes in the recent years.

Key words: foraminifera, *Ammonia* event, COD event, ecological change

はじめに

ここ数十年間の宍道湖の環境評価は水質分析によってほとんど変化のないものとして評価されている(たとえば, 島根県). しかしながら, 湖底堆積物中に生息する有孔虫群集は, 近年大きく変化してい

る. 野村(1996)は, 1971 年以降に始まった島根県の調査による水質調査の中で化学的酸素要求量の劇的な変化が 1980 年に起こっていることを報告し, 野村・吉川(1995)が指摘した 1980 年の群集変化を COD との関係で議論した. その中で, 1980 年の環境変化は COD イベントとして宍道湖におけ

¹ 島根大学教育学部地学研究室

Foraminiferal Laboratory, Faculty of Education, Shimane University, Matsue 690-8504, JAPAN



図 1. 柱状試料の採取場所。
Fig. 1. Locations of studied stations.

る極めて大きな環境変化の時期として注意を喚起した。湖底のヘドロ堆積物中に生息する有孔虫は COD イベントによって増加するとともに、湖底に有機物の付加が現在進行しつつあることを明示している。

このような宍道湖における有孔虫群集の変化は極めて遅い堆積速度を有す宍道湖中東部地域における検討結果であり、1980 年代以降の環境変化の詳しい解析には試料のもつ分解能に限界があった。本研究は、このような点を考慮して速い堆積速度を有す大橋川で柱状採泥を実施した(図 1)。ここは、中海の塩分が逆流する大橋川の群集変化と宍道湖のそれとを対比して検討するうえで重要な場所にあたり、ここ数十年の湖水環境の変化を明らかにすることができる。

大橋川の改造の歴史的背景

湖水環境の変遷を有孔虫群集から検討する前に、堆積物の年代を見積もるうえで工事記録は有効な証拠になる。そこで、大橋川でなされた改造工事について多少言及しておきたい。工事に伴う堆積物相の変化、とくに堆積物の粒度組成の変化は柱状堆積物に年代を特定させる方法として本研究では採用している。

宍道湖と中海をつなぐ大橋川は、古くより宍道湖周辺の自治体にとって水上交通の重要な水路として利用されてきた斐伊川水系の一部である。周囲の地質は中新世の松江層と和久羅山安山岩よりなり、とくに矢田地区の松江層のアルカリ玄武岩が分布する

地域では川幅が狭まり、もともと水深が極めて浅くなっていた。アルカリ玄武岩の火砕岩よりなる塩桶島北側の最大川幅はわずか 100m にすぎない。このような地質は宍道湖と中海との間の水位差を生じさせ、松江市街が水害を受けやすい地形的な特徴となっていた。また、大正年間に水上交通が盛んになるにつれて、このような地形は大型船の運航に支障をきたすようになったこともあり、当時の内務省は、大正 13 から昭和 14 年にかけて川幅の拡張や川床の掘削など大規模な改造を行っている(建設省出雲工事事務所, 1964, 1995)(図 2)。

この工事は、一方で宍道湖水の塩分増加といった湖水環境の変容を伴い、宍道湖周辺の農作物に塩害を生じさせ、新たな社会問題となったことが豊原(1938)によって詳細に報告されている。川幅の拡張や川床の浚渫・掘削は宍道湖水の中海への流出を促し、中海の下層水の逆流を容易にさせている。この工事によって宍道湖と中海の水位差は、13cm から 3cm へと低下した。昭和 42 年から 54 年までの中海と宍道湖の塩分収支より求めた中海の下層水の流入量は、最大 17.0m³/s、最小 5.3m³/s、平均 9.2m³/s で、大橋川における日流量は 488m³/日になるという報告もある(島根県)。

その後、護岸工事が昭和 42~50 年にかけて継続的事業として遂行され、現在に至っている。その間、川底の浚渫が昭和 49 年に矢田地区で行なわれた他は、大規模な工事はない。大橋川の支流である朝酌川の浚渫・掘削は昭和 50 年に始まり、昭和 62 年に完工している。

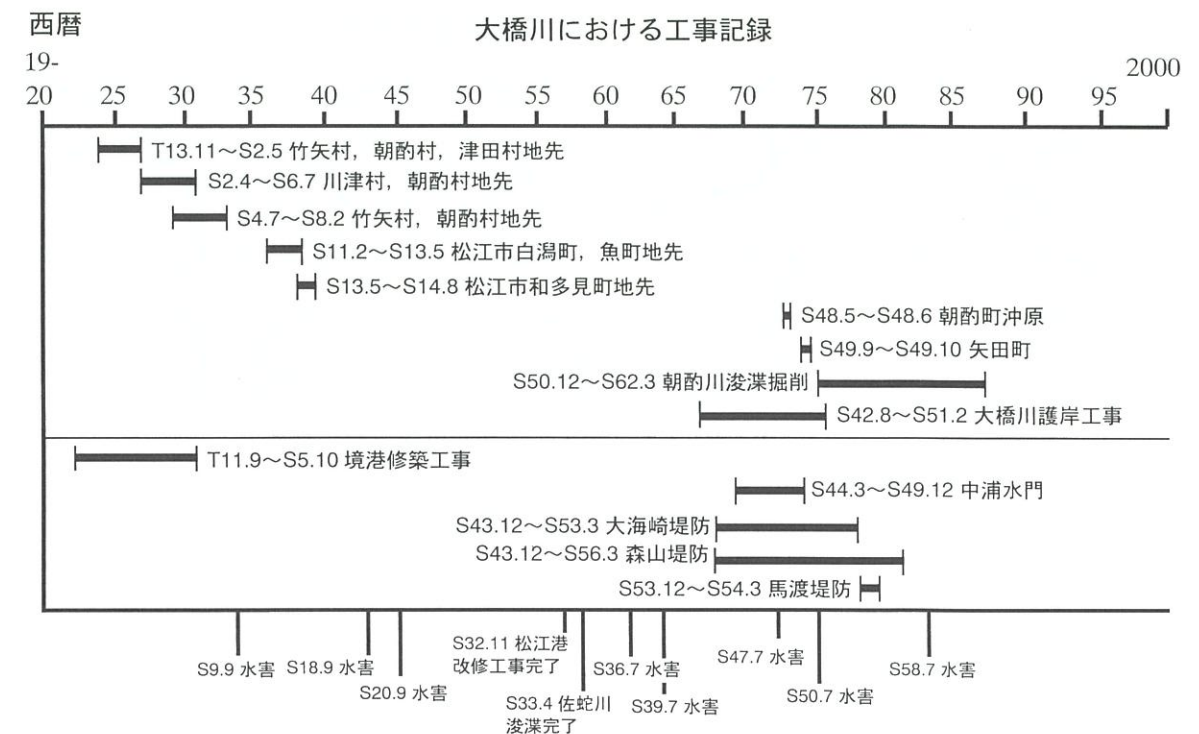


図 2. 大橋川における工事記録と中海・境界水道における建造物の工事時期。
Fig. 2. Age intervals of the artificial dredging in the Ohashi-gawa and the constructions in Nakaumi and Sakai Strait.

柱状堆積物の採取場所、堆積相、処理方法

湖水環境の歴史的解析のための柱状採泥は、1997 年 5 月 25 日と 6 月 27 日の 2 回に分けて行った。大橋川は川床の多くが中粒砂よりなるため、泥質堆積物が分布する浚渫場所を特定して行った(図 1)。一方で、浚渫された場所における採泥は、前述のように堆積物の年代を決定するのに極めて有効となる。今回、得られた柱状堆積物の最下底は工事に伴った砂質堆積物よりなり、容易にそれより上位の泥質堆積物とは区別される。

大橋川上流地点(133° 03.08'E; 35° 27.78'N)は、宍道湖との間に位置しており、水深 4.5m である。水深が 1.5m 程度の周囲の平坦な湖底とは異なり U 字的地形をなしている。明らかに人為的に掘削・浚渫されたもので、その時期は昭和 11 年から 13 年にかけて行なわれた工事によるものである。ここでは 41cm と 43cm の 2 本の柱状堆積物を採取することができた。堆積物は最上部の 3mm が黄褐色を呈する他は、異臭を伴う黒色の堆積物であった。湖底下 39~41cm は、砂含有量が 40% の砂堆積物よりなるが、それより上位は泥質である。湖底下 20cm にかけては、シジミの成・幼体殻が頻繁に含まれている。またタニシの幼殻も多数含まれている。湖底下 38cm には、潮間帯や内湾の泥底に生息するヒメシラトリ(*Macoma incongrua*)が含まれ、

塩水の影響があったことが明らかである。含砂率の分布は、湖底下 10cm より上位で低下するほか 25cm 付近にも明瞭な低下がみられる(図 3)。柱状堆積物はそれぞれ有孔虫分析と堆積物の化学的分析に供したため、この地点では有孔虫数や含砂量等の表示は体積当たりで見積もった。

矢田地点は、塩桶島の北に位置し大橋川の中で最も深い部分にあたり、水深が 6m を超え、河川方向に船底状をなしている。ここで採取された 1 本の柱状堆積物は湖底下 39cm までである。

湖底下 23cm までは異臭のある黒色堆積物よりなり、それより下部は暗緑色の泥質堆積物である。最下部は砂質堆積物よりなり(図 4)、この中には約 1cm² ビニール片が発見された。矢田、朝酌地域の川床は昭和の初めの大規模掘削・浚渫のあと、昭和 47 年にも再度浚渫工事が施され、それ以降の工事はない。したがって、ビニール片は、昭和 47 年の工事で混入したものとみられる。色調の急激な変化が湖底下 23cm でみられるように、湖底下 23cm から 37cm の堆積物は、2 次的なブロックとして採泥地点に転動したのと考えられる。この岩相変化と後述する有孔虫群集の変化とは極めて調和している。しかし、転動ブロックについては、含水率が上位と顕著に変わっていないことから時間的な隔たりはないものと考えている(図 5)。

柱状堆積物は各 1cm ごとに分割し、湿重量を測

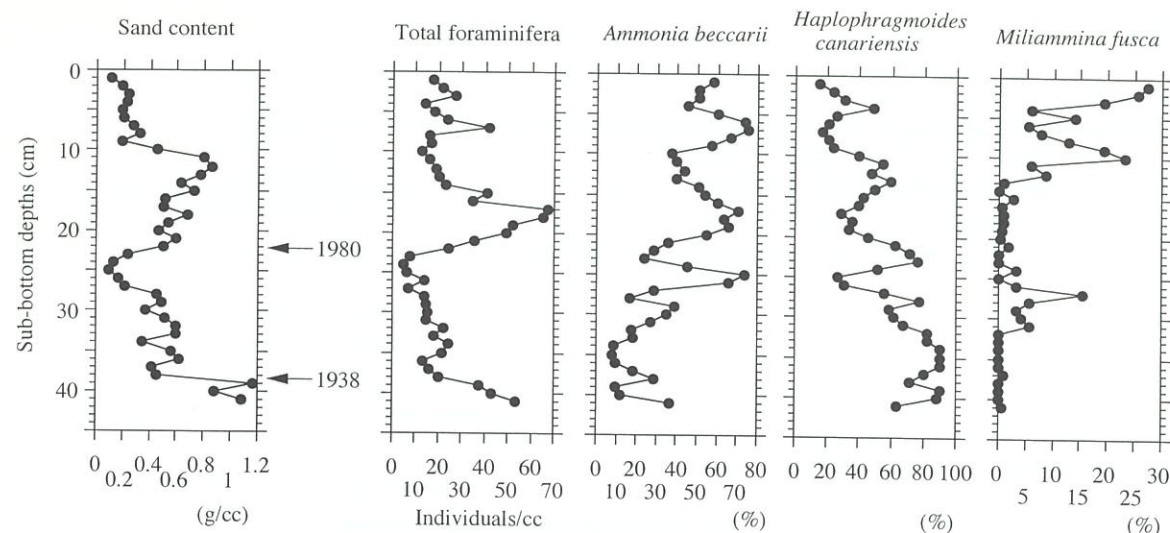


図3. 大橋川上流地点における含砂率と有孔虫の産出変化。

Fig. 3. Stratigraphic distributions of sand content and foraminifera at the upstream Ohashi-gawa station.

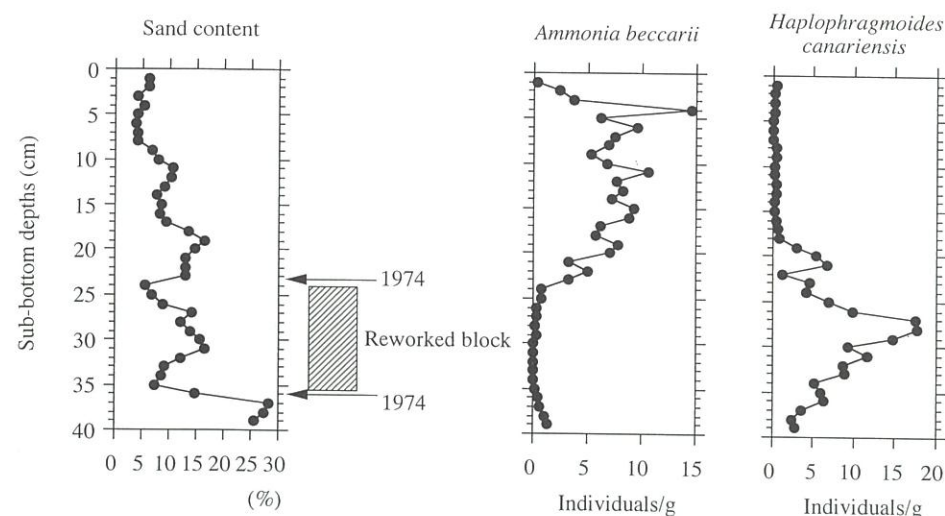


図4. 矢田地点における含砂率と有孔虫の産出変化。湖底下23cmから36cmは、ブロック状に移動したと推定される堆積物。

Fig. 4. Stratigraphic distributions of sand content and foraminifera at the downstream station (Yada station). Note the reworked block of sediments from 23 to 36 cm below the bottom.

定したあと、約 1/2 は有孔虫群集の解析へ、約 1/2 は有機物含有量・硫黄分析のために乾燥させた。含水率は後者の分析から得られたものである。

なお、有孔虫分析は 63 μ m の篩で水洗のあと、表層 10cm までの堆積物はローズベンガルによって生体を染色させた。有孔虫の個体数は試料当たり 200 個体以上になるように残滓試料を分割し、堆積物の乾燥重量 1g または体積当たりの個体数へと変換させて試料間の比較を行った。

有孔虫群集の変化とその意義

矢田地点では *Ammonia beccarii* と *Haplophragmoides canariensis* が極めて特徴的な層位的分布を示している (図4; 図版1)。湖底下23cmまでは *A. beccarii* がほぼ100%占有し、24~37cmまでは *H. canariensis* が100%となる。最下位では *A. beccarii* が認められ湖底下23cmのところと同じ産出割合を示す。その他、中海の特徴種となっている小型の *Trochammina hadai* が湖底下10cmまでのところで僅かに産出する。

大橋川上流地点で認められた有孔虫種は、*Ammonia beccarii*, *Haplophragmoides canariensis*, *Miliammina fusca*, *Ammobaculites iizukae* の4種であった。この中で、前3種は柱状堆積物中で特徴のある分布を示している。*A. beccarii* は湖底下27cmより急激に優占種として産出するようになり、反対に *H. canariensis* は20%程度の変動を伴いながら減少していく。両者の関係は鏡像となっており、湖底下23cm, 10~14cm, 4cmに *A. beccarii* のピークの減少が認められ、反対に *H. canariensis* は増加する。*M. fusca* は湖底下27cmにピークをなして産出したあと、10cmから表層にかけて一定して産出するようになる。湖底下2cmまでは25~30%となる (図3; 図版1)。

両地点で共通する *A. beccarii* の産出は、ほぼ同調して湖底下21cmのところで急激に増加している (図6)。とくに、矢田地点では湖底下23cmより下部で *A. beccarii* の産出が少なかつただけに、極めて大きな環境の変化が起こったと考えざるを得ない。また、矢田地点では、この時の環境変化がそれ以降も一定して継続しているのに対して、大橋川上流地点では少なくとも2回の別の環境変化の影響を受けている。ただし、矢田地点でも有孔虫数の変動からみれば、その変動幅は小さいもの大橋川上流地点の変動と同調しているようにも見受けられる。

Haplophragmoides canariensis は、矢田地点では湖底下21cmを境して劇的に消滅する。しかし、宍道

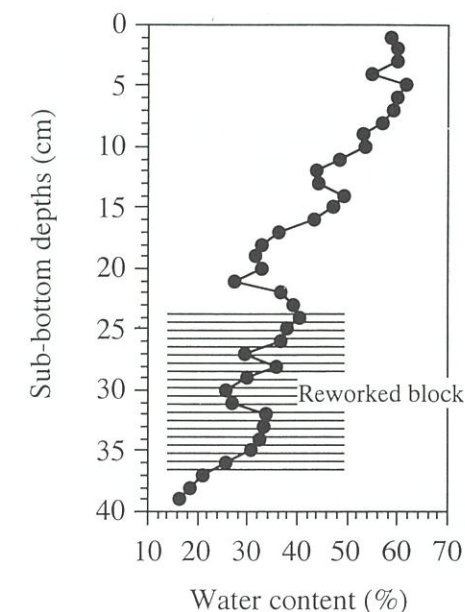


図5. 矢田地点における含水率の変化。ブロック状部分の含水率は上位のそれと顕著な変化はない。

Fig. 5. Stratigraphic distribution of water content at Yada station. Nearly normal distribution of water content suggests minor time lag between the reworked block and the above sediments.

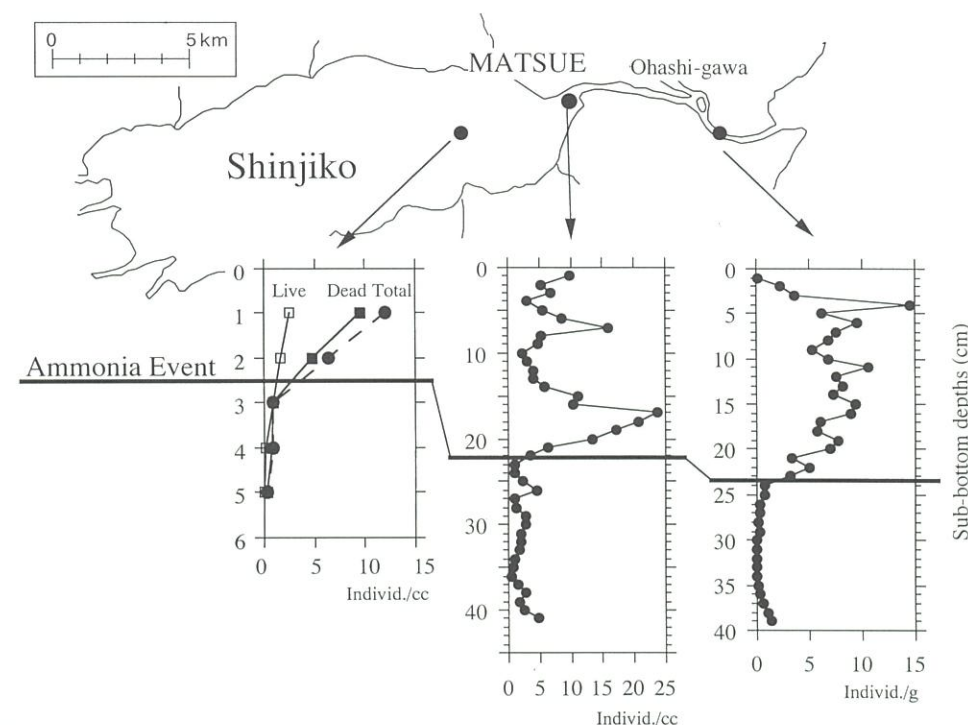


図6. Ammonia イベントの層準。
Fig. 6. Stratigraphic level of the Ammonia event.

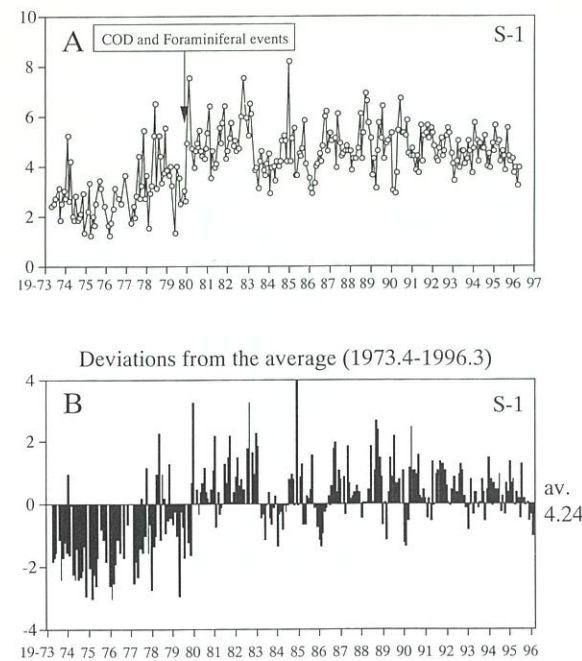


図 7. 宍道湖における水質測定地点 (S-1) における COD の経年変化 (A) と平均値 (1973~1996 年) からの偏差 (B)。

Fig. 7. Annual variation of COD values from the year 1973 to 1996 at Shinjiko Station. S-1 (a) and deviations from the averaged values (b).

湖側では急激な減少ではなく、激しい凹凸を伴いながら減少している。染色による生体の確認は、本調査では得られなかった。また、宍道湖東部での定期調査においても *H. canariensis* の生体の確認はされていないことから、この種は宍道湖においてもほぼ絶滅状態にあることが推察される。

以上の産出状況は、宍道湖側の有孔虫群集の方がより複雑な生態的反応を示しているものの、両地域で起こった環境変化は大局的には共通の要因のもとに生起していることが明らかである。

COD と有孔虫群集の変動

宍道湖・中海では島根県や建設省出雲工事事務所によって水質調査が 1971 年以降定点観測されている。初期の観測資料には連続を欠く期間もあるが、有孔虫群集との変動を比較するうえで有効な資料となる。ここでは、宍道湖東部の定点 (S-1) と大橋川の矢田地区 (S-5) で 1973 年以降得られている下層水の COD (島根県衛生公害研究所調査) との比較を行う。

S-1 (図 7A) と S-5 (図 8A) は、季節的な変動を除く経年変化では極めて類似した変動を示している。しかし、S-5 地点は季節的な変動を受けたピー

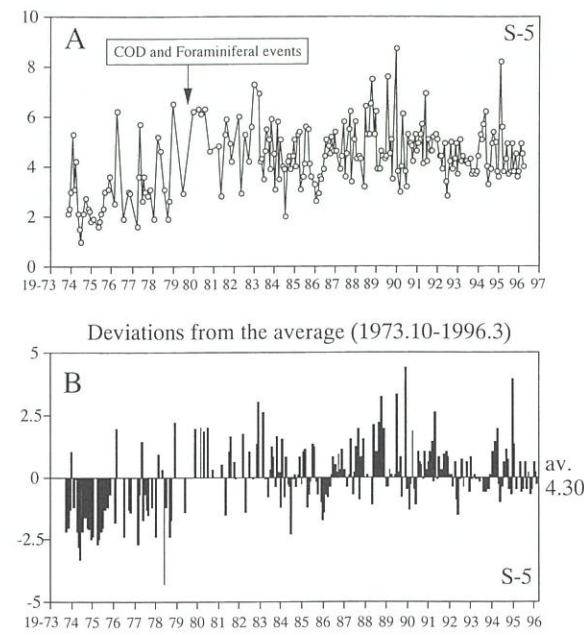


図 8. 大橋川における水質測定地点 (S-5) における COD の経年変化 (A) と平均値 (1973~1996 年) からの偏差 (B)。

Fig. 8. Annual variation of COD values from the year 1973 to 1996 at the Ohashi-gawa Station. S-5 (a) and deviations from the averaged values (b).

クが見られることと、70 年代のデータに欠落もみられるため S-1 地点で COD の変化を要約すると次の点があげられる。1970 年代は基本的に 2~4 mg/l の COD を示しているが、1980 年には急激な上昇 (5~6 mg/l) を示すことである。これは宍道湖の湖心部 (S-3) で確認されている COD イベントに対比されるものである。急激に上昇した COD 値も 1983~'84 年と 1986 年に減少し (3~4 mg/l)、1970 年代の COD に近い値となっていく。さらに 1990 年をピークに緩やかな上昇 (5 mg/l) がみられ、現在に向けて値は低下している。1973 年 4 月から 1995 年 3 月までの COD 値を平均してみると、さらに明瞭に上述の変動を理解することができる (図 7B と図 8B)。なお、1973 年以前の COD 値の変動については、中海で伊達ほか (1975) が 1965~1973 年について報告している。これによると、下層水の年平均は 65 年から 71 年にかけて上昇し 2mg/l と最大になるが、71 年から 73 年にかけては低下している。その変動幅は約 1mg/l 以内にあるようで、60 年代後半から 73 もの目と見受けられる。

このような COD の経年変動に対して、有孔虫群集も極めて調和的な変動をなしていると言える。矢田地点で *A. beccarii* が *H. canariensis* と劇的に相対頻度を入れ替えるのは 1974 年の工事以降に起こり、1980 年にはほぼ 100% を占有するまでになる。

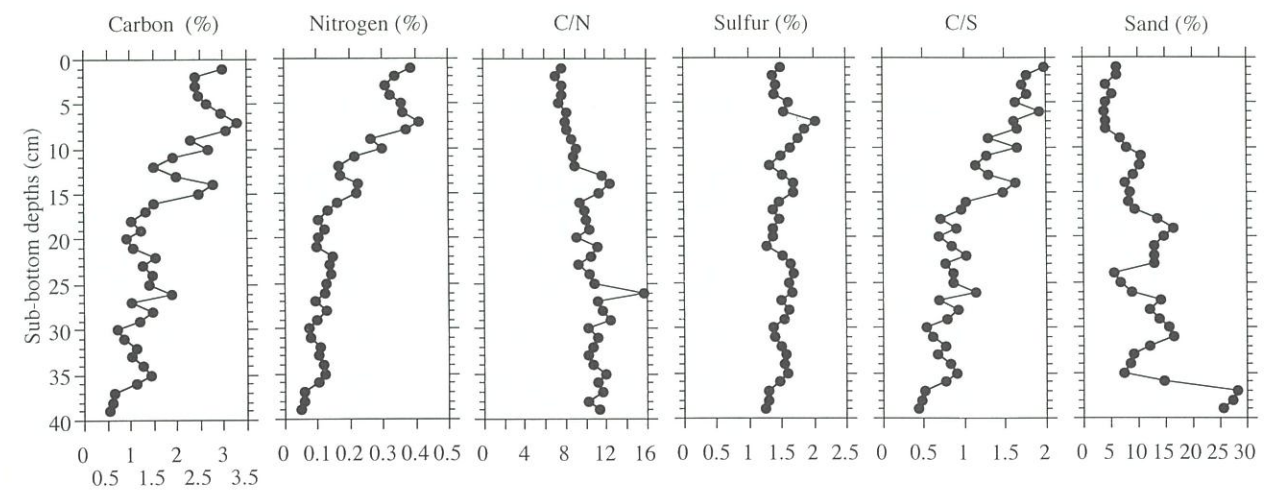


図 9. 矢田地点における有機元素量と硫黄含有量の変化。

Fig. 9. Stratigraphic distributions of organic carbon, organic nitrogen, C/N, sulfur, and C/S at Yada station.

70 年代後半の COD 値には月によって著しい変動を示している。大橋川上流地点でも同様に 1980 年に一致して相対頻度および有孔虫数とも急増する。*Ammonia beccarii* のこのような産出は、野村・吉川 (1995) が宍道湖の東部、長江沖で確認してきたことと一致しており、矢田地区が宍道湖側より 5~6 年前に湖水環境の変動が始まったことを示している。ここで、COD の上述のようなイベントに対して *A. beccarii* の特徴的な産出を *Ammonia* イベントと呼ぶことにする (図 6)。

COD は、水質の汚濁の程度を示す指標として扱われているが、有孔虫群集も基本的に水の汚濁、すなわち有機物の付加と同調して、その産出程度を変化させてきている。

ここで、留意すべきは COD 値は 1980 年にそのレベルを上昇させて以降、何らかのフィードバック効果によって一定に保たれている点である。これに対して、有孔虫群集は大きく変動を示しながらも *A. beccarii* のように増加したり、または *H. canariensis* のように減少するか明瞭な傾向を示している。有孔虫群集のこのような反応は、明らかに生態的な結果であり、その種の生態的許容範囲の内外で増加または減少しているものと考えられる。基本的な環境要因としては、COD に示される有機物の湖底への付加に反応しているものと考えられる。COD の季節変動はクロロフィル量の変化と一致しており、総じて水中の有機物量とみなされる。したがって、上層水における基礎生産者の量的変動と一致するはずであるが、栄養素の極めて複雑な湖底堆積物との間の遊離・沈降過程が考えられ、経年的変動のもつ意味を不明にしている。また、矢田地点の最表層部で *A. beccarii* の個体数が減少している点については、大橋川上流地点で *M. fusca* が急激に増加していること

と関係して、新たな環境変化に対応した結果かもしれない。この点については、さらに検討をしていきたいと考えている。

堆積物の化学的特徴

堆積環境を化学的立場から検討する基本的な観点に堆積場の酸化還元状態の復元がある。とくに堆積物中の有機物量や硫黄含有量は、第一次的な酸化還元状態を評価するために利用されることが多い。しかし、これには継続的な変化も起こり得るため、有孔虫群集との関係で比較検討する必要がある。一般的に、淡水から汽水域にかけて、窒素に対する炭素の比は植物性の富栄養湖では 11 程度で、貧栄養湖では 9 程度である。これにはセルロース質の多い高等植物は高い C/N 比 (一般的に >20) を有しているのに対して、高蛋白質の海藻類では C/N が 4~10 の範囲にある (たとえば, Tenzer et al., 1997)。また、硫黄に対する炭素の比 (C/S 比) は、硫酸塩還元バクテリアの活動度を反映することから、底質の還元性の程度を示す指標と解釈することができる。すなわち、高い比はバクテリアの活動の弱まった硫化物の形成されにくい酸化環境を示す。反対に低い C/S 比は、より還元的環境を示唆する。以上のような基礎的情報を基に大橋川の堆積物を検討する。

矢田地点では、炭素および窒素量は含砂率と明瞭な相関をなしているように、砂含有量が多くなると有機物量の保存も悪くなっている (図 9)。しかし、表層から湖底下 20cm までとそれより深い部分との間には量的な不連続がみられ、急激に高くなっている。これを C/N でみると、湖底下 20~25cm を境して、上位の表層まで 10 前後から 7~8 まで緩やかに