

伊勢湾・三河湾における現生底生有孔虫群集の分布

横井大作*・阿部 理**・井龍康文**

*愛知県立熱田高等学校・**名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻

Distributions of modern benthic foraminiferal assemblages in Ise and Mikawa bays, central Japan

Daisaku Yokoi*, Osamu Abe** and Yasufumi Iryu**

*Aichi prefectural high school of Atsuta, 1-17-71, Chitose, Atsuta-ku, Nagoya 456-0054, Japan (dyokoi@pop01.odn.ne.jp); **Department of Earth and Environmental Sciences, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, Japan

Abstract. The distributions of modern benthic foraminiferal assemblages were investigated in Ise and Mikawa bays, Japan, using surface sediments collected in September 2007. Forty seven species belonging to 40 genera were identified from Ise and Mikawa bays. Agglutinated species were dominant in the inner part of Ise and Mikawa bays, while calcareous species were dominant in the central part of Ise Bay. Significant shifts of assemblages were found in comparison with the distribution from surface sediments collected in 1940 from Ise Bay; calcareous species were replaced with agglutinated species in the inner part and the composition of calcareous species had changed completely in the central part. These results suggest that the present bottom environments are more eutrophic and anoxic than they were 67 years ago. Indicator species also suggested that Ise Bay is presently more eutrophic and anoxic than Mikawa Bay. A comparative study of distributions in Tokyo and Osaka bays demonstrated several similarities, while regional characteristic also were found there.

Key words: benthic foraminifera, Ise Bay, Mikawa Bay

はじめに

我が国の内湾における底生有孔虫の分布に関しては、Nomura (1981) による総説に記載されている43ヶ所(汽水湖や海跡湖を含む)に、それ以降の調査を加えると、50ヶ所以上から報告がある(吉田ほか, 1986; 紺田・千地, 1987, 1989; 亀丸, 1996; 野村ほか, 2008など)。これらの多くは現在の分布を明らかにして、過去の分布と比較した研究であり、比較的短期間で優占種の構成が大きく変化した例がいくつかの内湾で確認できる。

吉田ほか(1986)は、瀬戸内海播磨灘西方海域において1950年代と1970年代の底生有孔虫群集の比較を行い、両年代間で優占種の構成に大きな変化はないものの、膠着質殻種の *Eggerella* cf. *advena* の分布範囲が広くなり、石灰質殻種の *Murrayinella globosa* の分布範囲が狭くなったことを報告した。

紺田・千地(1989)は、紀伊半島の田辺湾において1950年代、1960年代、1980年代の底生有孔虫群集の比較を行った。その結果、湾南東部の内之浦枝湾では、1960年代以降に石灰質殻種の *Ammonia beccarii* を主体とする群集が膠着質殻種の *Trochammina hadai* を主体とする群集に変化したことが確認された。また、湾北東部の文里

(もり) 港では、1950年代は石灰質殻種の *A. beccarii* や *Elphidium subincertum* を主体とする群集であったが、1960年代には膠着質殻種の *T. hadai* を伴う群集に変化し、1980年代も同種を伴う群集であったことが認められた。さらに湾中央部では、1950年代以降、石灰質殻種主体の群集組成に大きな変化はないが、1980年代には内之浦枝湾や文里港でみられる膠着質殻種の *Textularia earlandi* が分布するようになったことが報告された。

大阪湾において1930年代、1950年代、1980年代の優占種構成の比較を行った紺田・千地(1987)によると、湾西部において1930年代に卓越した石灰質殻種の *Bolivina robusta* などの黒潮浅海種は、1950年代には少量の産出となり、1980年代にはほとんどみられなくなった。また、沿岸部において1950年代にみられた石灰質殻種の *A. beccarii*, *Buccella frigida*, *Elphidium advenum* は1980年代にはみられなくなり、代わって膠着質殻種の *T. hadai*, *Eggerella scabra*, *Ammobaculites agglutinans*, *T. earlandi* が優占するようになった。このような優占種の石灰質殻種から膠着質殻種への変化の原因として、第二次世界大戦後の都市開発や人口増加による沿岸海洋環境の悪化(富栄養化や貧酸素化)が示唆された。Tsujimoto *et al.* (2006a, b, 2008) は、大阪湾の底生有孔虫を用いた一連の研究の

中で、1980年代に沿岸部の優占種であった膠着質殻種の *T. hadai* が、1999年には河口付近の一部を除いてその数を大きく減少させる一方、同じ膠着質殻種の *Eggerella advena* (紺田・千地, 1987の *E. scabra*) が湾内全域で増加したことを報告した。また、湾奥部では1990年以降の10年ほどの短期間で、石灰質殻種の *A. beccarii* が減少し、同じく石灰質殻種の *Uvigerinella glabra* が増加したことが認められた。

以上のように、内湾における底生有孔虫は、10年程度の時間間隔でその群集組成が大きく変化し、水質などの海洋環境や海洋生態系の変化に敏感に反応している可能性が高い。よって、底生有孔虫を用いて精度よく過去の海洋環境を復元するためには、短期間の環境変化への応答を含め、現在の分布と生息環境との関係を明らかにする必要がある。

我が国の三大都市圏下の内湾である伊勢湾・三河湾については、1940年に採取された試料を用いた長浜 (1951) による現生群集の報告がある。この報告によると、伊勢湾奥部では石灰質殻種の *Rotalia beccariiformis* (本論の *Ammonia beccarii* に相当する) と *Quinqueloculina seminulum* を主体とする *Rotalia-Quinqueloculina* 群集が、そして伊勢湾中央部では *R. beccariiformis* を優占種とする *Rotalia* 群集が確認された。伊勢湾ではそれ以降の研究例はなく、三河湾については過去の調査例は皆無である。本研究では、伊勢湾の奥部・中央部および三河湾における現生底生有孔虫の分布と群集組成を報告する。また、過去の伊

勢湾 (長浜, 1951) と現在の伊勢湾・三河湾の底生有孔虫群集を比較し、その分布を規制する要因を考察する。さらに、他の大都市圏下内湾である東京湾および大阪湾における底生有孔虫の分布や群集組成との共通点・相違点を議論する。

伊勢湾・三河湾の概況

伊勢湾の地形および海況

伊勢湾は南北約60km、東西約30kmの広がりを持ち、面積は約1,700km²である (図1)。伊良湖岬―神島―答志島―鳥羽市を結んだ線によって太平洋と区分される (阿知波, 2008)。海底地形は海盆状をなし、湾中央部の最も深いところで水深約40mである。湾奥部から湾中央部にかけてシルト～粘土が堆積する一方、湾口部では潮流の影響により主として砂が堆積する。主な流入河川としては、湾奥部に木曾川、揖斐川 (河口近くで長良川が揖斐川に合流) がある。これらの流入河川により、特に夏季に強い密度成層が生じ、底層への酸素供給が減少するため、底層水は貧酸素になりやすい。

海流は総観的には下層流入・上層流出のエスチュアリー循環を形成している。柳ほか (1998) は、伊勢湾の夏季の残差流 (湾内の潮流成分を除いた流れ; 柳, 1989) について、湾口部では外洋水が湾内の中層に進入し、湾中央部の上層で時計回り、中層で反時計回りの残差循環流が存在すると述べている。また、藤原ほか (2000) は、

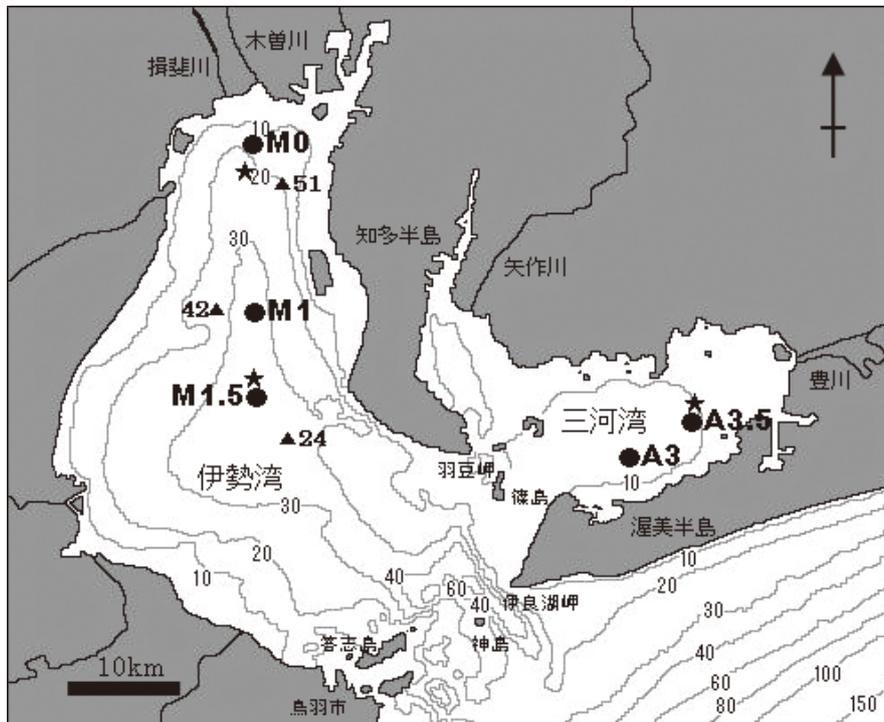


図1. 伊勢湾・三河湾の海底地形と試料の採取地点。●本調査、▲1940年の採取地点 (Miyadi, 1941)、★伊勢湾奥部は三重県による水質調査 (図4) の地点、伊勢湾中央部および三河湾は愛知県による水質調査 (図4) の地点。

表1. 試料の採取地点と底質.

| | 採取地点 | 水深[m] | 緯度 | 経度 | 底質 |
|-----|------|-------|------------|-------------|------------|
| 伊勢湾 | M0 | 14 | 34°59'06"N | 136°45'12"E | 暗灰緑色粘土 |
| | M1 | 35 | 34°50'06"N | 136°45'06"E | 暗灰緑色シルト質粘土 |
| | M1.5 | 37 | 34°45'06"N | 136°45'06"E | 暗灰緑色シルト質粘土 |
| 三河湾 | A3 | 14 | 34°43'00"N | 137°08'00"E | 暗灰緑色粘土 |
| | A3.5 | 12 | 34°42'54"N | 137°13'00"E | 暗灰緑色粘土 |

伊勢湾の秋季の残差流について、湾口部では外洋水が湾内の底層に進入し、その後湾奥部に向かった流れは上昇しながら表層付近で時計回りの渦を形成し、湾西部に向かった流れは同様に上昇しながら時計回りの渦を形成しているとした。

三河湾の地形および海況

三河湾は南北約25 km, 東西約35 kmに広がり、面積は約600 km²である(図1)。伊良湖岬—篠島—知多半島羽豆岬を結ぶ線によって伊勢湾と区分される(阿知波, 2008)。海底地形は湾奥部から湾口部に向かってゆるやかな傾斜をなし、平均水深は約10 mである。湾奥部から湾中央部にかけてシルト～粘土が堆積し、湾口部では主として砂が堆積している。主な流入河川としては、豊川および矢作川がある。伊勢湾と同様、流入河川により特に夏季に密度成層を生じることがある。

海流に関しては佐々木ほか(1980)が夏季の三河湾について、下層は定常的に流入傾向であり、上層は流向が周期的に変化しているが、全体としては流出傾向にあることを報告した。伊勢湾と同様、密度成層によって夏季に貧酸素状態になるが、その期間は伊勢湾よりも2ヶ月程度短いことが黒田・藤田(2006)によって報告されている。

研究方法

試料の採取および採取地点

三重大学練習船「勢水丸」航海(SE0723; 2007年9月23日～25日)において、スミス・マッキンタイヤーグラフ採泥器(採泥面33 cm平方)を用いて5地点(M0, M1, M1.5, A3, A3.5)より海底表層堆積物を採取した(図1および表1)。M0は伊勢湾奥部に、M1およびM1.5は伊勢湾中央部に、A3およびA3.5は三河湾中央部に位置する。

試料の処理方法

船上にて、採泥器によって採取された堆積物から表層1 cmを分取して500 mlポリエチレン製容器に入れ、10%中和ホルマリンを加えて冷蔵庫で保管した。下船後、容器内のpHを調べて酸性になっていないことを確認し、容器を静置した状態で堆積物の湿潤体積を測った。その後、

200 meshのふるいを用いて水洗し、ローズベンガル水溶液(1 g/l)で約10時間、生体染色を行った(桑野, 1956; 尾田, 1978)。

乾燥後、1/2～1/4に分割した試料から底生・浮遊性有孔虫をすべて拾い出して個体数を数え、赤色に染色された個体は生体と見なした。その後、底生有孔虫の同定を行い、産出個体数を湿潤試料体積10 ml中の値に換算した。試料中には生体と遺骸もしくは遺骸のみが含まれており、生体のみが認められる場合はなかった。試料の採取を行った9月は、夏季に発達する底層の貧酸素水塊の終末期かまたは消滅直後であることから、試料中の遺骸はほぼ死滅直後のものであり、死滅後の移動はほとんどなく、生息していた場所で採取されたと考えられる。これは、有孔虫殻の保存状態が良好であり、運搬による摩耗を被った形跡が認められないことによって裏付けられる。なお、各試料中における生体の個体数は非常に少なく、すべての地点で3%未満であった。また、生体群集と遺骸群集の間に種組成の差異は見出されなかった。よって、本研究ではこれ以降、生体と遺骸の区別は行わない。

底生有孔虫の同定結果

底生有孔虫の同定は、主にLoeblich and Tappan(1994), Asano(1950–1952)に従った。

伊勢湾のM0から19属34種、M1から29属34種、M1.5から33属35種、三河湾のA3から25属26種、A3.5から18属18種の底生有孔虫が産出した(表2)。以下に各地点における全底生有孔虫個体数に対する相対頻度が3%以上の種を記す(図2)。

伊勢湾内のM0では、膠着質殻種の*Trochammina hadai*(45.2%), *Textularia earlandi*(27.3%)が卓越し、石灰質殻種の*Uvigerinella glabra*(11.7%)が伴って認められた。

M1では石灰質殻種の方が優勢であり、*U. glabra*(43.5%)および*Bulimina marginata*(13.0%), *Stainforthia fusiformis*(3.5%)の計3種が3%以上産出した。膠着質殻種としては、*T. earlandi*(15.9%)および*T. hadai*(8.8%)が3%以上の相対頻度を示した。

M1.5でも同様に石灰質殻種が卓越し、*U. glabra*(34.7%)および*B. marginata*(17.2%), *S. fusiformis*(3.8%)が認められた。膠着質殻種としては、*T. earlandi*(11.5%),

表2. 湿潤試料体積 10 ml中の底生有孔虫産出個体数と相対頻度 [%]. 「0.0」は0.05未満を意味する. 丸括弧内に生体の個体数を示す.

| | 海域 | | 伊勢湾 | | | | 三河湾 | | | | | | | | |
|---|------------|-------|-------|-------|--------|------|---------|-------|-------|-------|---------|------|-------|-------|------|
| | 採取地点/水深[m] | | M0/14 | | M1/35 | | M1.5/37 | | A3/14 | | A3.5/12 | | | | |
| | 個体数 | % | 個体数 | % | 個体数 | % | 個体数 | % | 個体数 | % | 個体数 | % | | | |
| 膠着質 | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Ammobaculites agglutinans</i> (d'Orbigny) | 0.4 | 0.5 | 0.9 | 0.2 | 2.6 | 0.7 | 19.7 | 7.0 | 12.1 | 7.2 | | | | | |
| <i>Cribrostomoides anomaloides</i> (Rhumbler) | | | 0.2 | 0.0 | 0.4 | 0.1 | 0.4 | 0.1 | | | | | | | |
| <i>Eggerella advena</i> (Cushman) | | | 2.6 | 0.5 | 3.8 | 1.0 | | | | | | | | | |
| <i>E. humboldti</i> Todd and Brönnimann | | | 0.2 | 0.2 | | | | | | | | | | | |
| <i>E. propinqua</i> (Brady) | 0.7 | 0.9 | 12.6 | 2.5 | 6.2 | 1.7 | | | | | | | | | |
| <i>Gaudryina arenaria</i> Galloway and Wissler | | | | | 0.3 | 0.1 | | | | | | | | | |
| <i>Haplophragmoides columbiensis</i> Cushman | | | 0.7 | 0.1 | 18.9 | 5.1 | | | | | | | | | |
| <i>Hyperammina</i> spp. | 0.7 | 0.9 | | | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | | | | | | | |
| <i>Lagenammina</i> sp. | 0.1 | (0.1) | 0.2 | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudotrochammina arenacea</i> (Heron-Allen and Earland) | | | 7.4 | 1.5 | 5.1 | 1.4 | | | | | | | | | |
| <i>Reophax gracilis</i> (Kiaer) | 0.4 | (0.1) | 0.5 | 1.8 | 0.4 | 0.3 | (0.1) | 0.1 | | | | | | | |
| <i>R. nana</i> Rhumbler | 0.9 | 1.0 | 7.7 | 1.5 | 5.1 | 1.4 | 6.5 | (0.4) | 2.3 | 2.4 | 1.4 | | | | |
| <i>R.</i> spp. | | | 0.2 | 0.0 | 1.0 | 0.3 | 1.3 | 0.5 | | | | | | | |
| <i>Textularia earlandi</i> Parker | 22.4 | (0.3) | 27.3 | 80.9 | 15.9 | 42.6 | 11.5 | 4.5 | (0.4) | 1.6 | 0.1 | 0.1 | | | |
| <i>T.</i> sp. | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.1 | | | | | | | | | | | |
| <i>Trochammina hadai</i> Uchio | 37.1 | (0.7) | 45.2 | 44.8 | 8.8 | 35.8 | 9.7 | 125.5 | (0.7) | 44.2 | 127.9 | 76.1 | | | |
| <i>T. latestoma</i> (Zheng) | | | | | 2.8 | 0.8 | | | | | | | | | |
| " <i>T.</i> " <i>ochracea</i> (Williamson) group | 0.4 | 0.5 | | | 0.2 | 0.1 | 2.7 | 0.9 | 1.0 | 0.6 | | | | | |
| <i>T.</i> spp. | 1.6 | (0.1) | 1.9 | | 4.3 | 1.2 | | | | | | | | | |
| 小計 | 65.0 | (1.4) | 79.2 | 160.4 | (0) | 31.6 | 129.6 | (0.1) | 35.0 | 160.8 | (1.5) | 56.7 | 143.6 | (0) | 85.4 |
| 石灰質(磁器質) | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Massilina inaequaris</i> Cushman | | | 0.1 | 0.0 | | | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.2 | | | | | |
| <i>M. milletti</i> (Wiesner) | | | | | 0.3 | 0.1 | | | | | | | | | |
| <i>M. secans</i> (d'Orbigny) | | | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 0.7 | 0.2 | | | | | | | |
| <i>M.</i> spp. | | | | | | | 1.2 | 0.4 | | | | | | | |
| <i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linné) | | | | | | | | | 0.3 | 0.2 | | | | | |
| <i>Q. vulgaris</i> d'Orbigny | | | | | | | 0.4 | 0.1 | | | | | | | |
| <i>Q.</i> spp. | 1.3 | 1.6 | 3.4 | 0.7 | 2.4 | 0.7 | 42.7 | 15.0 | 3.0 | 1.8 | | | | | |
| <i>Sigmoilina</i> sp. | | | 0.3 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | | | | | | | | | |
| <i>Triloculina</i> sp. | | | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | | | | | | | | | |
| 小計 | 1.3 | (0) | 1.6 | 4.2 | (0) | 0.8 | 3.7 | (0) | 1.0 | 45.1 | (0) | 15.9 | 3.6 | (0) | 2.1 |
| 石灰質(ガラス質) | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Ammonia beccarii</i> (Linné) forma 1 | 0.4 | 0.5 | | | | | 4.0 | 1.4 | 4.6 | 2.7 | | | | | |
| <i>A. beccarii</i> (Linné) forma 2 | | | | | | | 2.8 | (0.1) | 1.0 | 2.7 | 1.6 | | | | |
| <i>A. angulata</i> Kuwano | | | 0.9 | 0.2 | 0.9 | 0.2 | | | | | | | | | |
| <i>A.</i> spp. | | | 0.2 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 1.1 | 0.4 | | | | | | | |
| <i>Bolivina pacifica</i> Cushman and McCulloch | | | | | 0.4 | 0.1 | | | | | | | | | |
| <i>B. robusta</i> Brady | | | 1.9 | (0.3) | 0.4 | 1.4 | 0.4 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | | | | |
| <i>B. striatula</i> Cushman | | | 1.7 | (0.1) | 0.3 | 1.8 | 0.5 | 0.7 | 0.2 | | | | | | |
| <i>B.</i> spp. | | | 1.2 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | | | | 0.3 | 0.2 | | | | |
| <i>Bulimina marginata</i> d'Orbigny | 1.9 | (0.1) | 2.3 | 66.2 | 13.0 | 63.6 | 17.2 | 3.1 | (0.4) | 1.1 | 0.9 | 0.5 | | | |
| <i>Buliminella elegantissima</i> (d'Orbigny) | 1.1 | 1.4 | 2.6 | 0.5 | 2.9 | 0.8 | 4.8 | (1.5) | 1.7 | 3.7 | (0.4) | 2.2 | | | |
| <i>Cassidulina norvangi</i> Thalmann | | | 0.1 | 0.0 | | | | | | | | | | | |
| <i>C.</i> spp. | | | | | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | | | | | | | |
| <i>Cibicides</i> sp. | | | | | 0.1 | 0.0 | | | | | | | | | |
| <i>Dentalina</i> ? sp. | 0.6 | 0.7 | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Elphidium advenum</i> (Cushman) | | | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | | | | | | | | | |
| <i>E. reticulosum</i> Cushman | | | | | | | 0.7 | (0.1) | 0.2 | 0.7 | 0.4 | | | | |
| <i>E. somaense</i> Takayanagi | | | | | 0.1 | 0.0 | | | | | | | | | |
| <i>E. subarcticum</i> Cushman | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 2.3 | 0.8 | 0.7 | 0.4 | | | | | |
| <i>E. subgranulosum</i> Asano | 0.1 | 0.2 | 1.6 | 0.3 | 1.2 | 0.3 | 5.7 | 2.0 | 1.0 | 0.6 | | | | | |
| <i>E.</i> spp. | | | | | | | 2.1 | 0.8 | 0.3 | 0.2 | | | | | |
| <i>Fissurina</i> spp. | 0.6 | 0.7 | 4.8 | 0.9 | 2.0 | 0.5 | 12.0 | 4.2 | 0.9 | 0.5 | | | | | |
| <i>Globulina</i> sp. | | | | | | | 0.1 | 0.0 | | | | | | | |
| <i>Lagena</i> cf. <i>perlucida</i> (Montagu) | | | 0.1 | 0.0 | | | 0.3 | 0.1 | | | | | | | |
| <i>L. distoma</i> Parker and Jones | | | 0.5 | 0.1 | | | | | | | | | | | |
| <i>L. striata</i> (d'Orbigny) | | | 0.2 | 0.0 | | | 0.3 | 0.1 | | | | | | | |
| <i>L.</i> spp. | | | | | 0.7 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | | | | | |
| <i>Murrayinella globosa</i> (Millett) | | | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.9 | 0.3 | 1.4 | 0.8 | | | | | |
| <i>Nonion japonicus</i> Asano | | | 0.2 | 0.0 | 0.8 | 0.2 | | | | | | | | | |
| <i>N.</i> spp. | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | | | | | | | | | |
| <i>Nonionella stella</i> Cushman and Moyer | 1.0 | 1.2 | 8.7 | 1.7 | 8.7 | 2.3 | | | | | | | | | |
| <i>N.</i> spp. | | | | | 0.3 | 0.1 | | | | | | | | | |
| <i>Oolina</i> sp. | | | | | 0.1 | 0.0 | | | | | | | | | |
| <i>Pararotalia nipponica</i> (Asano) | | | | | | | | | | 0.1 | 0.1 | | | | |
| <i>Pseudononion japonicum</i> Asano | | | 0.8 | 0.2 | 1.9 | 0.5 | 1.1 | 0.4 | | | | | | | |
| <i>P.</i> spp. | 0.1 | 0.2 | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudoparrella naraensis</i> Kuwano | | | 2.4 | (0.1) | 0.5 | 2.8 | 0.8 | 0.8 | 0.3 | | | | | | |
| <i>P. tamana</i> Kuwano | | | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | | | | | | | | | |
| <i>Pullenia</i> sp. | | | | | | | 13.5 | 4.7 | 1.1 | 0.7 | | | | | |
| <i>Rosalina</i> sp. | | | 0.1 | 0.0 | | | | | | | | | | | |
| <i>Saidovina karreriana</i> (Brady) ? | | | | | 0.1 | 0.0 | | | | | | | | | |
| <i>Stainforthia fusiformis</i> (Williamson) | 0.1 | 0.2 | 17.7 | 3.5 | 13.9 | 3.8 | 0.4 | 0.1 | | | | | | | |
| <i>Uvigerinella glabra</i> (Millett) | 9.6 | (0.3) | 11.7 | 222.0 | (13.0) | 43.5 | 128.4 | (0.7) | 34.7 | 16.7 | (3.5) | 5.9 | 1.7 | 1.0 | |
| <i>Valvulineria hamanaoensis</i> (Ishiwada) | | | | | | | 1.2 | 0.4 | | | | | | | |
| <i>Virgulinerella fragilis</i> Grindell and Collen | | | 10.9 | 2.1 | 2.9 | 0.8 | 2.7 | (0.1) | 0.9 | 0.6 | 0.3 | | | | |
| 小計 | 15.9 | (0.4) | 19.3 | 345.6 | (13.5) | 67.7 | 237.1 | (0.7) | 64.0 | 27.7 | (5.7) | 27.4 | 21.0 | (0.4) | 12.5 |
| 合計 | 82.1 | (1.9) | | 510.2 | (13.5) | | 370.3 | (0.8) | | 283.6 | (7.2) | | 168.1 | (0.4) | |
| 生体の割合 | | 2.3% | | 2.6% | | | 0.2% | | | 2.5% | | | 0.2% | | |

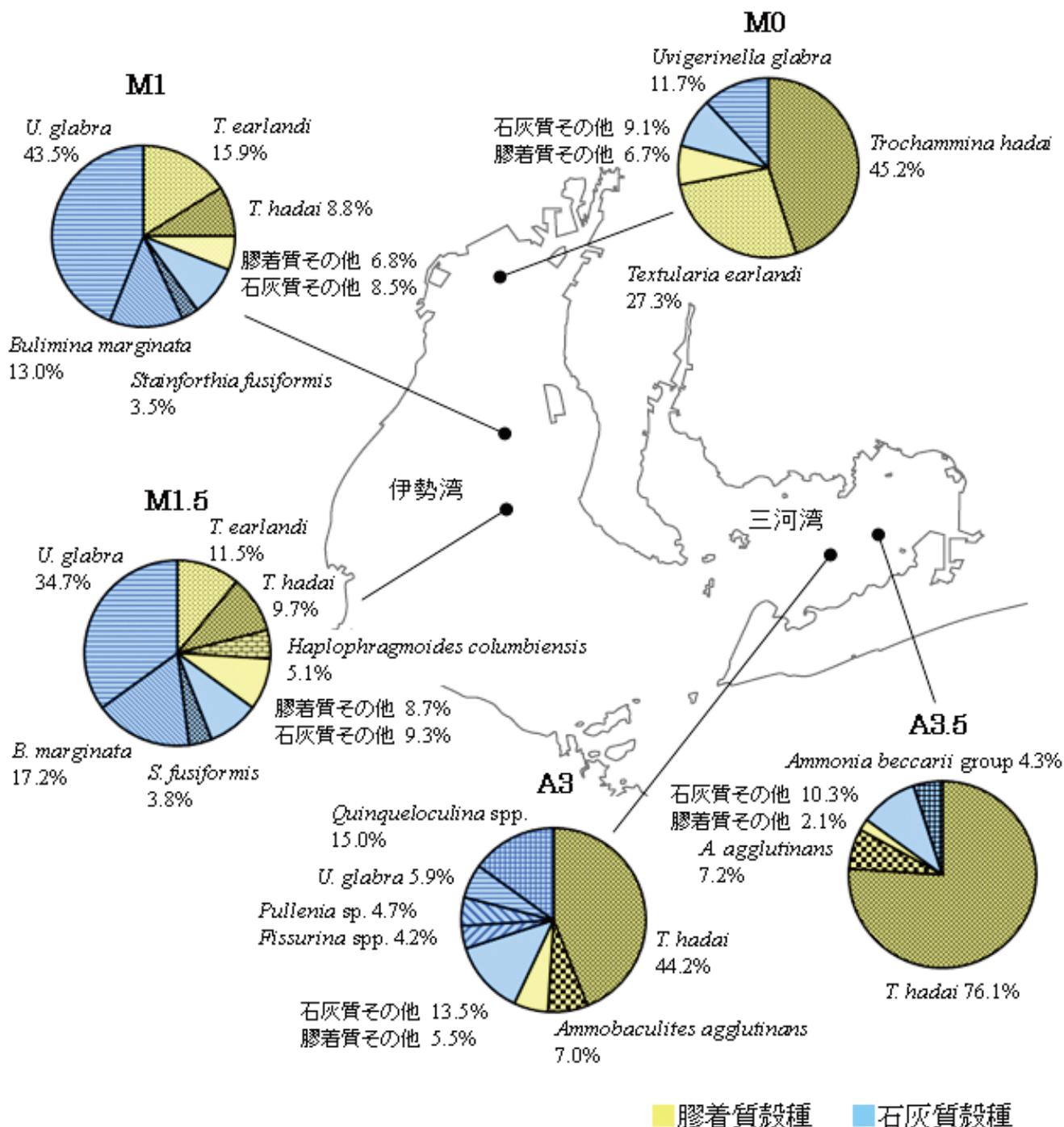


図2. 伊勢湾および三河湾における底生有孔虫の群集組成。

T. hadai (9.7%), および *Haplophragmoides columbiensis* (5.1%) がみられた。

三河湾内の2地点では、いずれも膠着質殻種が卓越していた。A3では、膠着質殻種の主体を占めるのは *T. hadai* (44.2%), および *Ammobaculites agglutinans* (7.0%) であった。石灰質殻種としては、*Quinqueloculina* spp. (15.0%) および *U. glabra* (5.9%), *Pullenia* sp. (4.7%), *Fissurina* spp. (4.2%) が3%以上産出した。

A3.5では、膠着質殻種が非常に優勢であり、*T. hadai*

(76.1%) および *A. agglutinans* (7.2%), *Ammonia beccarii* group (4.3%) が全底生有孔虫の約9割を占めた。なお、本研究ではMatoba (1970) にならって *A. beccarii* を forma 1, 2 に細分したが、産出量が少なかったため、*A. beccarii* group として一括した。このグループには、長浜 (1951) によって報告された *R. beccarii* formis が含まれる。

殻種の違いをみると、伊勢湾奥部と三河湾中央部では膠着質殻種が卓越し、その相対頻度はM0では79.2%, A3では56.7%, A3.5では85.4%であった。一方、伊勢湾中

中央部では石灰質殻種が卓越し、その相対頻度はM1では68.4%、M1.5では65.0%であった。

考察

伊勢湾・三河湾における優占種の生息要因と1940年との比較

本項では、調査海域における多産種であり試料の採取地点による相対頻度の違いが明瞭な *T. hadai* および *T. earlandi*, *U. glabra*, *B. marginata* の4種 (図3) に注目し、その分布を規制する要因を考察する。さらに、1940年の群集と比較するために、当時卓越していた *A. beccarii* group について生息要因を検討する。

1. 伊勢湾優占種の現在と1940年との比較

長浜 (1951) は、伊勢湾奥部の水深20mの地点 (地点51) と湾中央部の水深26mの地点 (地点42) から、*R. beccariiiformis* および *Q. seminulum* を主体とする *Rotalia-Quinqueloculina* 群集を報告した。また、湾中央部の水深34mの地点 (地点24) から、*R. beccariiiformis* を優占種とする *Rotalia* 群集を報告した (図1)。これら3つの地点は、それぞれ本研究のM0, M1, M1.5に近く、水深もほぼ等しいため、相互比較が可能である。

現在の湾奥部 (M0) における優占種は、膠着質殻種の *T. hadai* と *T. earlandi* の2種で、それぞれの相対頻度は45.2%および27.3%であった。一方、1940年当時に湾奥部で優占していた石灰質殻種の *Quinqueloculina* spp. および *A. beccarii* group の相対頻度は、現在ではそれぞれ1.6%および0.5%である。よって、湾奥部では1940年から現在の間には石灰質殻種主体の群集から膠着質殻種主体の群集に変化したことがわかる。

現在の湾中央部 (M1およびM1.5) における優占種は、

石灰質殻種の *U. glabra* と *B. marginata* の2種で、M1ではそれぞれの相対頻度は43.5%および13.0%、M1.5ではそれぞれ34.7%および17.2%である。1940年に優占していた石灰質殻種の *A. beccarii* group は現在ではみられない。よって、湾中央部では石灰質殻種主体の群集が存続したものの、種構成が大きく変化したことがわかる。

現在の湾奥部の優占種である *T. hadai* は、Uchio (1962) によって信濃川河口域から新種として報告された。同報告では、本種は河川水の流入による塩分低下の認められない海域に生息することより、本種の分布は塩分によって制限されているのではなく、むしろ河川によって運ばれる有機物などの量が主たる規制要因であるとされた。その後、Matoba (1970) は松島湾における底生有孔虫群集の研究から、本種を広塩性種と定義した。また近年では、大阪湾奥部の堆積物コアの解析より、本種は富栄養化に伴って個体数が増加していることが示された (Tsujiimoto *et al.*, 2006a, 2008) ほか、京都府久美浜湾でも富栄養化によって本種が優占種となっていることが報告された (野村ほか, 2008)。以上より、伊勢湾奥部では1940年以降、優占種であった *A. beccarii* group がほとんど生息できなくなるほど富栄養化が進み、当時は卓越しなかった *T. hadai* が海底の富栄養化とそれに伴う貧酸素化により優占種化したと推測される。

現在の湾中央部では、*T. hadai* よりも *U. glabra*, *B. marginata*, *T. earlandi* の3種が卓越している。湾中央部は湾奥部よりも水深が大きいため、冬季を除いては湾奥部よりも湾中央部の溶存酸素飽和度が低くなる (図4)。よって湾中央部では1940年以降、湾奥部以上に富栄養化が進み、さらに貧酸素化が *T. hadai* の生息限界に近い水準にまで達しているため、上記の3種が優占種化したと推定される。これより、*U. glabra*, *B. marginata*, *T. earlandi* は、*T. hadai* を始めとする他の底生有孔虫よりも

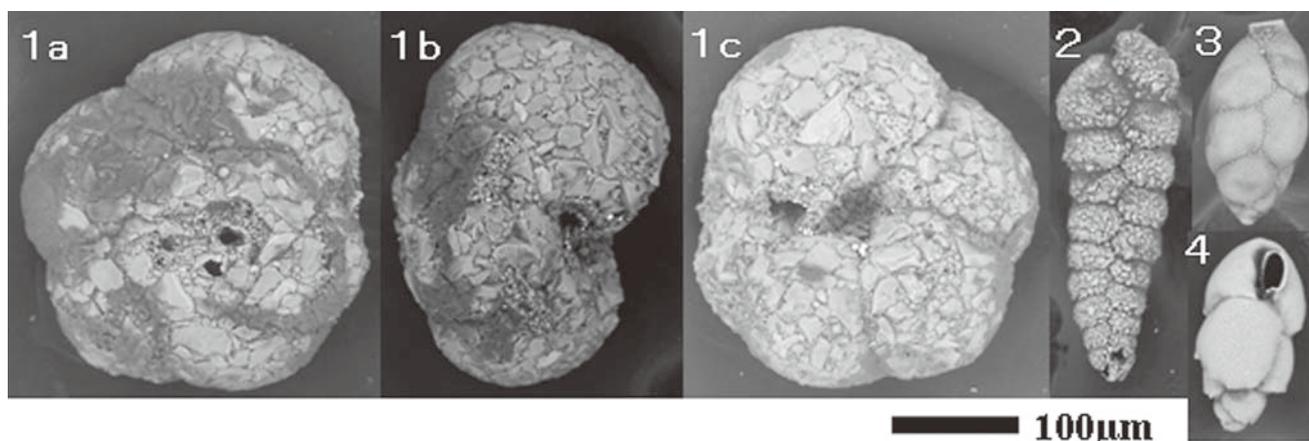


図3. 伊勢湾・三河湾でみられる代表的な底生有孔虫の走査型電子顕微鏡写真 (個体の産地: 1は三河湾のA3, 2~4は伊勢湾のM1)。1. *Trochammina hadai* Uchio (a. dorsal view. b. peripheral view. c. ventral view). 2. *Textularia earlandi* Parker. 3. *Uvigerinella glabra* (Millett). 4. *Bulimina marginata* d'Orbigny.

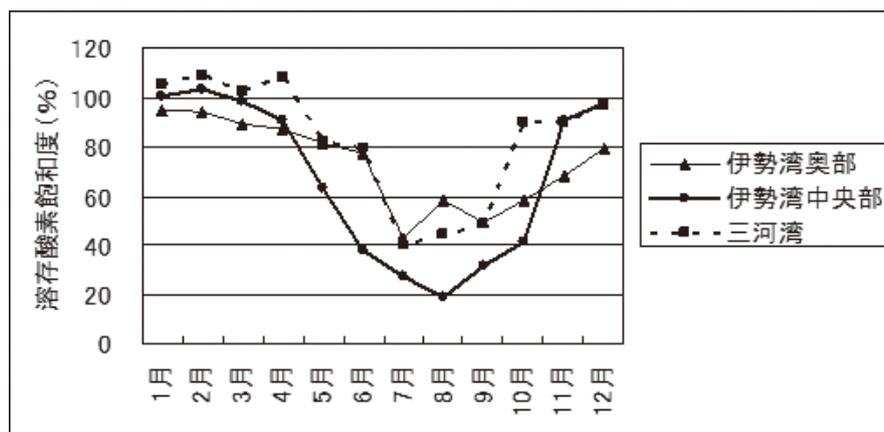


図4. 伊勢湾奥部・中央部および三河湾における底層水の溶存酸素飽和度の季節変化。2002年10月～2007年9月までの5年平均値を示す。伊勢湾奥部については三重県科学技術振興センター水産研究部（2003–2007）および三重県水産研究所（2008）のデータを基に、伊勢湾中央部および三河湾については愛知県環境部水環境課（2003–2005）および愛知県環境部水地盤環境課（2006–2008）のデータを基に作成した。伊勢湾奥部については本研究の採取地点（M0）の水深（14m）と合わせるため、水深10mと20mのデータの平均を用いた。

低酸素環境でも生息可能であることが示唆される。

2. 伊勢湾と三河湾の群集の比較

伊勢湾・三河湾における *T. hadai*, *T. earlandi*, *U. glabra*, *B. marginata* の相対頻度（図2）をみると、伊勢湾奥部および三河湾中央部では *T. hadai* が優占し、伊勢湾全域で産出する *T. earlandi* は、三河湾中央部ではほとんどみられない。これらのことから三河湾中央部においても伊勢湾と同様に、海底の富栄養化により *T. hadai* が優占種化していると推測できる。伊勢湾と三河湾における *T. earlandi* の産出状況の差異は、伊勢湾の方が三河湾より貧酸素の度合いが大きいことに関係していると思われる（図4）。このことは現在ほど貧酸素環境ではなかったと推測される1940年に伊勢湾で多くみられた *Quinqueloculina* spp. および *A. beccarii* group は、現在の伊勢湾ではほとんどみられないのに対して、三河湾中央部ではこれらの相対頻度がそれぞれ15.0%および4.3%に達することによっても裏付けられる。よって、上述したように *T. earlandi* は *T. hadai* よりも貧酸素環境に対して強い耐性があるとみなされる。Alve and Goldstein (2010) は *T. earlandi* について、広範囲かつ多様な環境に適応できる種であると指摘しており、貧酸素環境で同種が卓越する例が知られている（例えば Schafer *et al.*, 1991; Bernhard *et al.*, 1997 など）。

伊勢湾中央部の優占種である *U. glabra* は、伊勢湾奥部や三河湾中央部でも産出が認められるため、その分布は水深に関わらず、富栄養化が進行した海底に生息する種であると考えられる。Tsujiimoto *et al.* (2006a) は、大阪湾奥部における *U. glabra* の増加は餌であるデトリタスの組成変化によるものと考察している。彼らによると、大阪湾では近年の水質改善傾向に伴って、赤潮を引き起こす植物プランクトンが、1970年代までの渦鞭毛藻主体か

ら1980年代以降は珪藻主体へと変化した結果、デトリタスの組成変化が生じ、それが底生有孔虫の種組成変化の原因となったという。伊勢湾においては図5で示すように、1990年代後半以降、赤潮の年発生日数は減少しており、*Skeletonema* 属の珪藻の占有率は観測期間を通して著しく高いことから、赤潮が珪藻主体となっていることは確認できるが、大阪湾のような渦鞭毛藻種の顕著な衰退もしくは消滅は認められない。従って、伊勢湾における *U. glabra* の増加は大阪湾と同様の原因である可能性もあるものの、本研究では断定することは難しい。今後、同種についての生理・生態学的な研究が必要と指摘される。

夏季の酸素飽和度の減少が最も著しい伊勢湾中央部のみでみられる *B. marginata* は、貧酸素・無酸素環境に対する耐性が強い種であると指摘されている（Murray, 2006）。Ernst *et al.* (2005) および Pucci *et al.* (2009) はアドリア海より採取した底泥試料に含まれる本種の飼育実験を行い、*B. marginata* は無酸素状態でも生存できること、酸素濃度にあまり影響を受けないことを確認した。Alve and Bernhard (1995) はノルウェーのオスロフィヨルドより採取した底泥試料に含まれる本種の飼育実験から、同種が無酸素環境においても繁殖することを確認した。また彼らは、*B. marginata* よりもさらに無酸素環境に耐性が強い種として、伊勢湾中央部でもみられる *S. fusiformis* を挙げている。*B. marginata* および *S. fusiformis* は水深の小さい伊勢湾奥部や三河湾中央部ではほとんど産出しない。従ってこれらの種は、富栄養化が進行し、時期によっては無酸素環境に達するような比較的深い海底で多く生息する種であると考えられる。

以上をまとめると、浅い内湾域においては、富栄養化に伴う貧酸素化の進行によって、*Quinqueloculina* spp. および *A. beccarii* group から *T. hadai* へと種構成が変化し（現在の三河湾中央部）、さらに貧酸素化が進むと *T. earlandi*

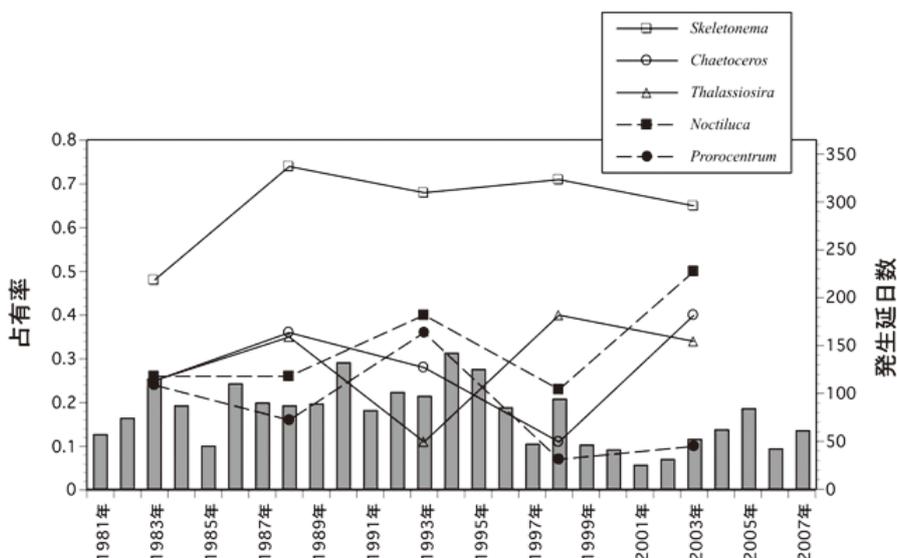


図5. (棒グラフ；右軸) 伊勢湾における1981年から2007年までの年間の赤潮発生延日数. (折れ線グラフ；左軸) 赤潮発生日数に対する主要珪藻種(白抜き)および主要渦鞭毛藻種(黒塗り)の占有率(各種の発生日数/赤潮発生日数). 占有率は5年平均です. 珪藻および渦鞭毛藻は1981年から2007年の平均占有率が0.1を超える種のみを示す. 愛知県水産試験場(1981-2008)のデータを基に作成した.

や *U. glabra* が卓越するようになると推測される(現在の伊勢湾奥部). 季節的に無酸素水塊が発生するようなさらに深い内湾ではこれらの種に加えて *B. marginata* や *S. fusiformis* などの無酸素耐性が強い種もみられるようになると推測される(現在の伊勢湾中央部). なお, *U. glabra* が伊勢湾中央部で増加した理由としては, 富栄養化および貧酸素化のほかに, 赤潮の渦鞭毛藻から珪藻への主組成変化の可能性が指摘される.

Scourse *et al.* (2002) はケルト海で採取した完新世の堆積物コア試料の解析から, 同試料採取域では水深が小さく, 十分な鉛直混合によって海底まで酸素が供給される時期(約8,500年前まで)は *Q. seminulum* や *Ammonia batavus* が優占していたが, 海水準上昇により水深が大きくなり, 成層が発達したため, 海底が貧酸素環境となった約7,000年前以降は, *B. marginata* および *S. fusiformis* がみられるようになったことを示している. 同研究で示された群集組成と溶存酸素量の関係は, 本研究で示した伊勢湾中央部における両者の関係と類似している.

三大都市圏内湾の群集組成の比較

表3に, 伊勢湾・三河湾, 東京湾, 大阪湾における本研究で注目した底生有孔虫5種の産出状況およびそれらの時系列変化を示す.

1. 伊勢湾・三河湾と東京湾の比較

東京湾における底生有孔虫群集の分布を初めて報告した丸橋(1948)によれば, 1940年頃の東京湾奥部には *Ammoglobigerina-Rotalia* 群集が, 湾中央部には *Rotalia* 群集(= *Ammonia* 群集)がみられ, 本研究の *T. hadai* に相

当する *Ammoglobigerina globigeriniformis* は湾奥部以外ではほとんどみられなかった. なお, 同報告では生体・遺骸は区別されなかった. 松本(1981, 1983)は, 1979年に東京湾中央部で採取した堆積物コア試料の深度30 cmより上層で, *T. hadai* (1981年の報告では *T. globigeriniformis* とされた)が優占することを報告した. 小杉ほか(1991)は, 1989年に採取された東京湾東岸の潮間帯から沖合にかけての底生有孔虫の生体群集の分布と, 塩分・底質・水深などの環境要因との対応を調べ, 5つの環境指標群を設定した. 本研究で扱った種に関しては, 石灰質殻種の *A. beccarii* は内湾奥部群集(潮間帯)に, 膠着質殻種の *Trochammina* spp. と石灰質殻種の *U. glabra* は内湾沖部泥底群集(湾中央部)に属すると報告されている. そして, 湾中央部の優占種として *Elphidium excavatum* f. *excavata* を報告した.

以上の研究から, 東京湾中央部ではかつて認められた *Ammonia* 群集がみられなくなり, 代わって *T. hadai* および *U. glabra*, *E. excavatum* f. *excavata* が分布するようになったという変化が読みとられる.

さらに松本(1981)は, 堆積物コアの深度3~8 cmの層準(1977~1973年に相当する)から, *T. hadai* に伴って *Textularia* sp. が産出することを報告した. 本種は, 現在の伊勢湾奥部の優占種である *T. earlandi* と同一種である可能性が高く, 東京湾および伊勢湾とも富栄養化に伴って, 本種の産出が増加したと考えられる.

現在の伊勢湾中央部で *U. glabra* の次に多産する石灰質殻種の *B. marginata* については, 1948年および1989年にわずかに分布することをそれぞれ Morishima (1955) と小杉ほか(1991)が報告している. なお後者では *Bulimina*

表3. 伊勢湾・三河湾でみられる代表的な底生有孔虫4種および *Ammonia beccarii* group の過去と現在の産出状況と、それらの東京湾および大阪湾との比較.

| 海域 | 採取年 | <i>Trochammina hadai</i> | <i>Textularia earlandi</i> | <i>Uvigerinella glabra</i> | <i>Bulimina marginata</i> | <i>Ammonia beccarii</i> group | 文献 |
|----------------|-------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 伊勢湾・三河湾 | | | | | | | |
| 伊勢湾奥部 | 1940 | × | × | × | × | ● | 長浜 (1951) |
| | 2007 | ● | ■ | △ | × | × | 本研究 |
| 伊勢湾中央部 | 1940 | × | × | × | × | ● | 長浜 (1951) |
| | 2007 | △ | △ | ● | △ | × | 本研究 |
| 三河湾 | 2007 | ● | × | △ | × | △ | 本研究 |
| 東京湾 | | | | | | | |
| 湾奥部 | 1940頃 | ● | × | × | × | ● | 丸橋(1948) |
| | 1948 | ● | × | × | × | △ | Morishima (1955) |
| | 1979 | — | — | — | — | — | 松本(1981) |
| | 1989 | — | — | — | — | — | 小杉ほか (1991) |
| 湾中央部 | 1940頃 | × | × | × | × | ● | 丸橋 (1948) |
| | 1948 | △ | × | × | × | △ | Morishima (1955) |
| | 1979 | ● | △ ^b | × | × | × | 松本(1981) |
| | 1989 | △ ^a | × | △ | × ^c | × | 小杉ほか(1991) |
| 大阪湾 | | | | | | | |
| 湾奥部 | 1933 | — | — | — | — | — | Takayanagi (1953) |
| | 1952 | △ | × | × | × | ● | 中世古(1953) |
| | 1983 | ● | △ | × | × | △ | 紺田・千地(1987) |
| | 2001 | △ | × | △ | × | △ | Tsujimoto <i>et al.</i> (2006a) |
| 湾中央部 | 1933 | × | × | △ | △ | △ | Takayanagi (1953) |
| | 1952 | × | × | × | × | △ | 中世古(1953) |
| | 1983 | △ | × | × | × | ● | 紺田・千地 (1987) |
| | 1999 | △ | × | △ | × | △ | Tsujimoto <i>et al.</i> (2006b) |

● 優占種, ■ 20%以上, △ 3%以上20%未満, × 3%未満, — 未報告

a. *Trochammina* spp., b. *Textularia* sp., c. *Bulimina* sp.

sp.とされている。

以上より、現在の東京湾と伊勢湾・三河湾の底生有孔虫群集の共通点として、都市に隣接する湾奥部で過去に卓越した *A. beccarii* group が現在では無産出もしくは稀産出種となり、代わって *T. hadai* や *T. earlandi* および *U. glabra* が生息するようになった点を挙げる事ができる。また相違点として、東京湾中央部の優占種である *E. excavatum* f. *excavata* が伊勢湾・三河湾ではみられない点を挙げる事ができる。

丸橋 (1948) の東京湾試料は、長浜 (1951) の伊勢湾試料とほぼ同時期に採取されたものであり、富栄養環境で見出される *T. hadai* は、当時、東京湾奥部からは報告されているが、伊勢湾からは報告されていないことから、東京湾奥部は伊勢湾よりも早い時期から水質や底質の富栄養化が始まっていたことが示唆される。

2. 伊勢湾・三河湾と大阪湾の比較

大阪湾における現生底生有孔虫の研究は、1933年に採取された表層試料から49属127種の底生有孔虫を報告した Takayanagi (1953) が最初である。同報告では群集に

ついては言及されなかった。続いて中世古 (1953) は、1952年に採取された表層試料を検討し、4つの混合群集(生体+遺骸)を報告した。その後、紺田・千地 (1987) は、1983年に採取された表層試料を検討し、8つの混合群集を報告した。彼らはさらに Takayanagi (1953) の産出リストから1933年当時の群集の分布を決定し、1966年に採取された試料の検討結果を加えた上で、1930年代から1980年代にかけての底生有孔虫群集の変化を論じた。最近では、Tsujimoto *et al.* (2006b) が1999年に採取された表層試料の検討に基づいて、3つの生体群集を報告し、過去50年間の底生有孔虫群集の変化を示した。

中世古 (1953) は、大阪湾東部沿岸域に *A. beccarii* 群集が分布することを報告したが、紺田・千地 (1987) は1960年代後半以降に同湾沿岸部において、群集の優占種が *A. beccarii* から *T. hadai* へと変化したことを示した。このような石灰質殻種から膠着質殻種への変化は、伊勢湾奥部と共通である。Tsujimoto *et al.* (2006b) は現在、大阪湾では石灰質殻種の *A. beccarii* は減少し、代わって膠着質殻種の *E. advena* が増加しているとした。また、膠着質殻種の中でも *T. hadai* は減少し、その分布は淀川河口

の狭い範囲に限られていることを報告した。彼らはこの原因を、水質規制により赤潮の発生回数が徐々に減少し、赤潮の原因となる植物プランクトンが渦鞭毛藻から珪藻主体へと変化したからであると考察した。現在、伊勢湾では *A. beccarii* は産出せず、三河湾中央部に同種を含む *A. beccarii* group が少量のみ産出する。一方、大阪湾奥部で近年の増加傾向が顕著な *U. glabra* (Tsujiimoto *et al.*, 2006a, 2008) は、現在の伊勢湾中央部における優占種でもある。

以上より、現在の大阪湾と伊勢湾の底生有孔虫群集の共通点として、*A. beccarii* の減少あるいは無産出化と *U. glabra* の増加が挙げられる。一方、相違点として大阪湾では、伊勢湾における優占種の一つである膠着質殻種の *T. hadai* が減少し、代わって *E. advena* が増加している点が挙げられる。

よって、伊勢湾、東京湾、大阪湾のいずれにおいても、*A. beccarii* が減少または消滅し、*U. glabra* が増加するという共通した特徴がみられると結論される。一方、各海域に特有の種として、東京湾の *E. excavatum* f. *excavata*、大阪湾の *E. advena*、そして伊勢湾の *T. earlandi* および *B. marginata* を挙げる事ができる。これらの種はいずれも、汚染された環境に耐性がある種とされるが (Murray, 2006)、中でも *B. marginata* は無酸素環境に対する耐性が特に強い種である。伊勢湾は湾口部の水深が浅く閉鎖的な環境であるため、底層水塊の滞留時間が長く、夏季に貧酸素状態が持続しやすい。このため、本種は都市型内湾域でも伊勢湾中央部のみで優占したと考えられる。

E. excavatum は *Ammonia* 属より貧酸素環境に対する耐性が低いとみなされ、*Ammonia* 属と *E. excavatum* の相対頻度は貧酸素度の指標として提唱されている (Sen Guputa *et al.*, 1996)。東京湾中央部における丸橋 (1984) と小杉ほか (1991) による底生有孔虫群集の検討結果を比較すると、*A. beccarii* が減少し *E. excavatum* f. *excavata* が優占する傾向にあり、これは水質が清浄化していることを示唆する。これに対して同湾中央部では、本研究および松本 (1981, 1983) により富栄養環境を特徴づける種とされた *T. hadai* が卓越するようになっており、これは逆の傾向を示唆する。この矛盾を解消するためには、今後、伊勢湾および東京湾において堆積物コアに含まれる底生有孔虫群集の時系列解析を含めた詳細な調査を広範囲にわたって行う必要がある。

まとめ

1) 伊勢湾奥部・中央部および三河湾内の代表的な5地点で底生有孔虫の全体群集を調べた。伊勢湾奥部には *Trochammina hadai* と *Textularia earlandi* が卓越する群集、中央部には *Uvigerinella glabra* と *Bulimina marginata* が卓越する群集、本研究が初の報告となる三河湾では

T. hadai が卓越する群集が認められた。

- 2) 1940年当時の伊勢湾では石灰質殻種の *Ammonia beccarii* および *Quinqueloculina seminulum* が卓越していたが、現在これらの種はほとんどみられず、湾奥部では膠着質殻種である *T. hadai* が卓越する群集へ、湾中央部では同じ石灰質殻種ではあるが、*U. glabra* および *B. marginata* が卓越する群集へと組成が変化した。
- 3) 伊勢湾・三河湾の浅部では、富栄養化に伴う貧酸素化の進行によって、*Quinqueloculina* spp. および *A. beccarii* group が優占する群集から *T. hadai* が優占する群集へと組成が変化し、さらに貧酸素化が進むと *T. earlandi* や *U. glabra* が卓越するようになる (現在の三河湾中央部および伊勢湾奥部)。季節によって無酸素状態になるような深部では、これらの種に加えて *B. marginata* や *Stainforthia fusiformis* などの無酸素環境に対する耐性が強い種もみられるようになる (現在の伊勢湾中央部)。近年の *U. glabra* の増加の原因に関しては、富栄養化および貧酸素化のほかに、赤潮の原因となる植物プランクトンが渦鞭毛藻から珪藻へと変化したことによる可能性も指摘される。
- 4) 伊勢湾・三河湾、東京湾、大阪湾の底生有孔虫群集の比較を行った結果、伊勢湾奥部では東京湾および大阪湾と同様に石灰質殻種から膠着質殻種への変化が認められた。また、いずれの海域においても、かつての優占種である石灰質殻種の *A. beccarii* に代わって、膠着質殻種の *T. hadai* と石灰質殻種の *U. glabra* が普遍的にみられるようになった。一方、現在の伊勢湾では膠着質殻種の *T. earlandi* および石灰質殻種の *B. marginata* がみられるようになり、大阪湾では膠着質殻種の *Eggerella advena* が増加し、東京湾では石灰質殻種の *Elphidium excavatum* forma *excavata* が増加した。このように、近年の水質変化に伴う底生有孔虫群集組成の変化には、共通性と地域性という2つの側面が認められる。

謝辞

三重大学勢水丸に乗船して伊勢湾・三河湾の海底堆積物試料を採集するにあたり、内田誠船長以下乗組員の方々にご協力いただいた。また、底生有孔虫の同定について秋田大学名誉教授の的場保望先生にご指導いただいた。電子顕微鏡の使用に際しては、名古屋大学博物館の蛭薙観順准教授のご助力をいただいた。伊勢湾の水質データについては、三重県水産研究所鈴鹿水産研究室研究員の岩出将英氏からご提供いただき、同室長の藤原正嗣氏にはその使用をお認めいただいた。伊勢湾の赤潮データは、愛知県農林水産部水産課環境・栽培グループの柴田晋作氏からご提供いただいた。初稿の査読者である熊本大学の長谷川四郎教授と島根大学の野村律夫教授には有益なご助言を賜り、本稿を改善することができた。以上の方々

に厚くお礼申し上げる。

文献

- 阿知波英明, 2008. 愛知県沿岸にある湾の範囲はどこか?—太平洋, 伊勢湾, 三河湾, 知多湾と渥美湾のそれぞれの境界についての考察—。愛知県水産試験場研究報告, **14**, 23–29.
- 愛知県環境部水環境課, 2003–2005. 平成14–16年度公共用水域等水質調査結果(資料編)。愛知県環境部水環境課。
- 愛知県環境部水地盤環境課, 2006–2008. 平成17–19年度公共用水域等水質調査結果(資料編)。愛知県環境部水地盤環境課。
- 愛知県水産試験場, 1981–2008. 昭和55年–平成19年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況。愛知県水産試験場。
- Alve, E. and Bernhard, J. M., 1995. Vertical migratory response of benthic foraminifera to controlled oxygen concentrations in an experimental mesocosm. *Marine Ecology Progress Series*, **116**, 137–151.
- Alve, E. and Goldstein, S. T., 2010. Dispersal, survival and delayed growth of benthic foraminiferal propagules. *Journal of Sea Research*, **63**, 36–51.
- Asano, K., 1950–1952. *Illustrated Catalogue of Japanese Tertiary Smaller Foraminifera, Parts 1–15 and Supplement 1*. 183p., Hosokawa Printing Co., Tokyo.
- Bernhard, J. M., Sen Gupta, B. K. and Borne, P. F., 1997. Benthic foraminiferal proxy to estimate dysaerobic bottom – water oxygen concentrations: Santa Barbara Basin, US Pacific continental margin. *Journal of Foraminiferal Research*, **27**, 301–310.
- Ernst, S., Bours, R., Duijnsteer, I. and Zwaan, B. van der, 2005. Experimental effects of an organic matter pulse and oxygen depletion on a benthic foraminiferal shelf community. *Journal of Foraminiferal Research*, **35**, 177–197.
- 藤原正幸・藤原建紀・大橋行三・杉山陽一, 2000. 伊勢湾の秋季の残差流。海の研究, **9**, 91–100.
- 羽田良禾, 1939. 汽水産有孔虫類の研究VI. 中海の有孔虫類。動物学雑誌, **51**, 135–139.
- 亀丸文秀, 1996. 1960年代から1990年代の松島湾における底生有孔虫群集の変化。化石, (61), 1–20.
- 紺田 功・千地万造, 1987. 大阪湾における有孔虫群集の変化。関西自然保護機構会報, **14**, 11–22.
- 紺田 功・千地万造, 1989. 紀伊半島田辺湾における最近の有孔虫群集の変化。高柳・石崎, 論集: 日本列島の有孔虫, 105–110, 東光印刷, 仙台。
- 小杉正人・片岡久子・長谷川四郎, 1991. 内湾域における有孔虫の環境指標種群の設定とその古環境復元への適用, 化石, (50), 37–55.
- 黒田伸郎・藤田弘一, 2006. 伊勢湾と三河湾の貧酸素水塊の短期変動及び長期変動の比較。愛知県水産試験場研究報告, **12**, 5–12.
- 桑野幸夫, 1956. 有孔虫の生体染色法について。資源科学研究所彙報, **41–42**, 67–75.
- Loeblich, A. R., Jr. and Tappan, H., 1994. *Foraminifera of the Sahul Shelf and Timor Sea*. 661p., Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Cambridge.
- 丸橋正穂, 1948. 東京湾奥部の有孔虫群。資源科学研究所彙報, **12**, 37–41.
- Matoba, Y., 1970. Distribution of Recent Shallow Water Foraminifera of Matsushima Bay, Miyagi Prefecture, Northeast Japan. *Science Reports of the Tohoku University, 2nd Series (Geology)*, **42**, 1–85.
- 松本英二, 1981. 沿岸海域汚染に関する調査研究活動。地質ニュース, **319**, 52–58.
- 松本英二, 1983. 大都市に面した内湾海域の環境変動史。地質学論集, (23), 91–95.
- 三重県科学技術振興センター水産研究部, 2003–2007. 平成14–18年度漁況海況予報関係事業結果報告書(漁海況データ集), 三重県科学技術振興センター水産研究部。
- 三重県水産研究所, 2008. 平成19年度漁況海況予報関係事業結果報告書(漁海況データ集), 三重県水産研究所。
- Miyadi, D., 1941. Marine benthic Communities of the Ise-wan and the Mikawa-wan. *Memoirs of the Imperial Marine Observatory (Kobe)*, **7**, 503–524.
- Morishima, M., 1955. Deposits of foraminiferal tests in the Tokyo Bay, Japan. *Memoirs of the College of Science, University of Kyoto, Series B*, **22**, 213–222.
- Murray, J., 2006. *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*. 426p., Cambridge University Press, Cambridge.
- 長浜正穂, 1951. 本邦に於ける2, 3の内湾の有孔虫群の研究。資源科学研究所彙報, **19–21**, 142–148.
- 中世古幸次郎, 1953. 大阪湾の有孔虫遺骸(その1)。大阪大学南・北校理科報告, **2**, 101–105.
- Nomura, R., 1981. List and bibliography of the recent benthonic foraminifera of Japan, 1925–1981. *Memoirs of the Faculty of Education, Shimane University (Natural Science)*, **14**, 31–69.
- 野村律夫・蜷川清隆・西戸裕嗣, 2008. 京都府久美浜湾における最近60年間の有孔虫群集の変化が示す海面水位変動の意義。地学雑誌, **117**, 967–984.
- 尾田太良, 1978. 試料処理と標本の作成, I. 有孔虫・貝形虫。高柳洋吉, 微化石研究マニュアル, 33–46, 朝倉書店, 東京。
- Pucci, F., Geslin, E., Barras, C., Morigi, C., Sabbatini, A., Negri, A. and Jorissen, F. J., 2009. Survival of benthic foraminifera under hypoxic conditions: Results of an experimental study using the CellTracker Green method. *Marine Pollution Bulletin*, **59**, 336–351.
- 佐々木克之・松村皐月・松川康夫・鈴木輝明, 1980. 三河湾の夏季の海水交換と窒素の循環。沿岸海洋研究ノート, **17**, 99–107.
- Schafer, C. T., Collins, E. S. and Smith, J. N., 1991. Relationship of foraminifera and thecamoebian distributions to sediments contaminated by pulp mill effluent: Saguenay Fjord, Quebec, Canada. *Marine Micropaleontology*, **17**, 255–283.
- Scourse, J. D., Austin, W. E. N., Long, B. T., Assinder, D. J. and Huws, D., 2002. Holocene evolution of seasonal stratification in the Celtic Sea: refined age model, mixing depths and foraminiferal stratigraphy. *Marine Geology*, **191**, 119–145.
- Sen Gupta, B. K., Turner, R. E. and Rabalais, N. N., 1996. Seasonal oxygen depletion in continental shelf waters of Louisiana: historical record of benthic foraminifera. *Geology*, **24**, 227–230.
- Takayanagi, Y., 1953. Distribution of the recent foraminifera from adjacent seas of Japan. *Records of Oceanographic Works in Japan, New Series*, **1**, 78–85.
- Tsujimoto, A., Nomura, R., Yasuhara, M., Yamazaki, H. and Yoshikawa, S., 2006a. Impact of eutrophication on shallow marine benthic foraminifera over the last 150 years in Osaka Bay, Japan. *Marine Micropaleontology*, **60**, 258–268.
- Tsujimoto, A., Nomura, R., Yasuhara, M. and Yoshikawa, S., 2006b. Benthic foraminiferal assemblages in Osaka Bay, southwestern Japan: faunal changes over the last 50 years. *Paleontological Research*, **10**, 141–161.
- Tsujimoto, A., Yasuhara, M., Nomura, R., Yamazaki, H., Sampei, Y., Hirose, K. and Yoshikawa, S., 2008. Development of modern benthic ecosystems in eutrophic coastal oceans: the foraminiferal record over the last 200 years, Osaka Bay, Japan. *Marine Micropaleontology*, **69**, 225–239.
- Uchio, T., 1962. Influence of the River Shinano on foraminifera and sediment grain size distributions. *Seto Marine Biological Laboratory Publications*, **10**, 363–393.
- 柳 哲雄, 1989. 沿岸海洋学—海の中でのものはどう動くか—。154p., 恒星社厚生閣, 東京。
- 柳 哲雄・黒田 誠・石丸 隆・才野敏郎, 1998. 伊勢湾の夏季の残差流。沿岸海洋研究, **35**, 185–191.
- 吉田静江・加藤道雄・多井義郎, 1986. 瀬戸内海播磨灘西方海域

における有孔虫群集の変化. 月刊海洋科学, 18, 577-582.

(2010年4月13日受付, 2010年11月21日受理)

