

豊後水道海域の有孔虫群集

菅谷正美*・中尾征三**

SUGAYA, Masami and NAKAO, Seizo (1983) Distribution of recent shallow water foraminifera of Bungo Suido. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 34 (10), p. 483-496.

Abstract: Bungo Suido is a strait situated between Kyushu and Shikoku Islands, where the Inland Sea and the Pacific waters are exchanged through. Bottom surface sediments from 245 stations there including several bays and inlets are analyzed for foraminiferal remains. Seven dead benthonic foraminiferal assemblages identified are as follows; A) *Hopkinsina-Buccella* assemblage observed in the deep interior only of the Beppu Bay, B) *Hopkinsina-Textularia* assemblage observed in the embayment areas of Beppu, Saiki and Iwamatsu-Byochi bays, C) *Hopkinsina-Bulimina* assemblage observed in the bays of Beppu, Usuki, Tsukumi, Saiki and Uwajima except the areas of the assemblages A and B, D) *Cassidulina-Bolivina* assemblage observed in the mouth area of each bay, E) *Rosalina-Bolivina* assemblage observed in the close outside of the area of D assemblage, F) *Pseudorotalia-Millionella* assemblage observed at only two stations, one in the mouth of Beppu Bay and another in the Bungo Suido, and G) *Cibicides-Textularia* assemblage observed in the central part of the strait.

Following characteristic features are pointed out for the environmental indices. (1) Living foraminifera appear occupying ca. 15%, in average, of the total foraminiferal tests. Living assemblages of foraminifera are almost concordant with those of fossils, in respect to the indices and constituents. (2) The number of species is larger in the central part and the mouth area of each bay. (3) Planctonic foraminifera are abundant in the southern part of the strait, but poor or scarce in the bay areas. (4) Agglutinated tests of foraminifera tend to be abundant in the embayment areas. (5) Porcelaneous tests of foraminifera are abundant in the mouth areas. (6) In the central part of the strait, hyaline calcareous test occupy more than 90% of total foraminiferal tests.

Difference in grain size distribution of bottom sediments is well concordant with that in the foraminiferal assemblages. The assemblage G is observed in the area deeper than ca. 80 m, whereas other six assemblages which are observed in the area of 13-77 m deep are not differentiated according to the water depth. Temperature, chlorinity, total nitrogen content, silica content and Do in bottom water, and BOD, sulphide sulfur content, total nitrogen and pH value in bottom sediments have more or less a relation with the distribution of the six assemblages except that G.

はじめに

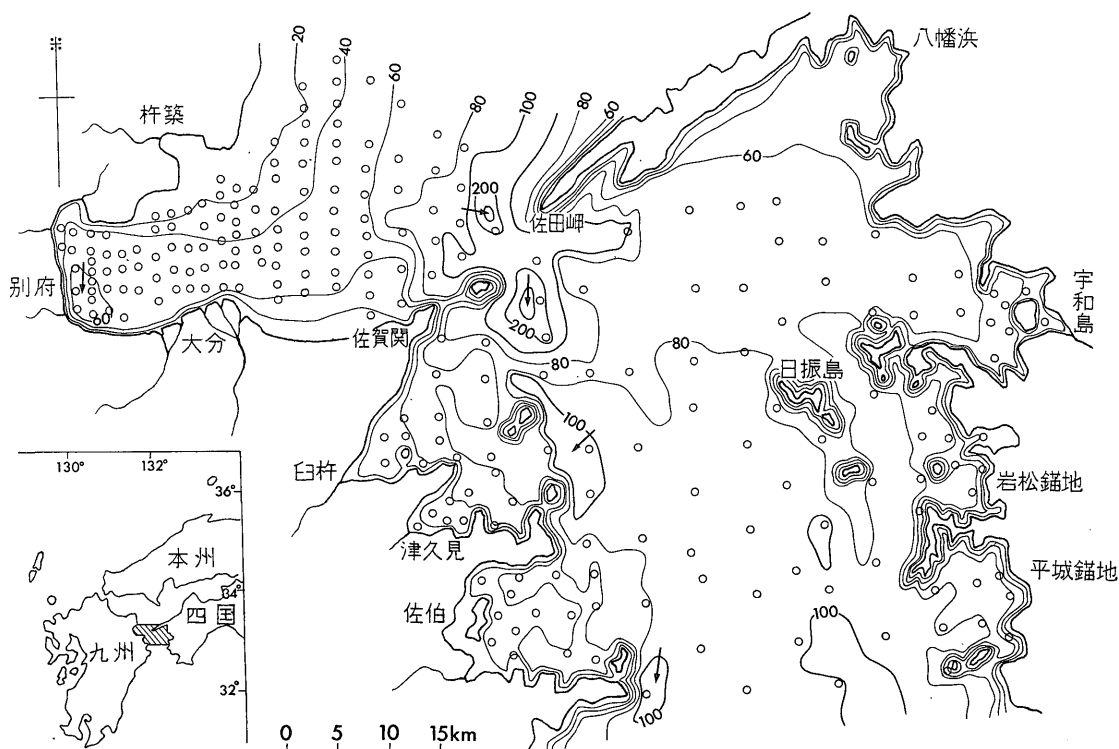
筆者らは、「豊後水道海域における精密海洋観測」調査(科学技術庁特別研究促進調査費 1971-1972年)において、別府湾および豊後水道の海底地形および水質・底質の調査を行なった(中尾ほか, 1971; 中尾ほか, 1975)。

筆者らは、この調査において採集した底質試料の有孔虫分析を行ない、調査海域に分布する有孔虫群集組成とその分布パターンとを明らかにし、各群集分布変化をもたらした環境因子についての検討を行なった。観測した

環境諸因子のデータを基にして、生物統計的な種々の検討も試みた。本論文では、別府湾および豊後水道に生息する現生有孔虫群集の分布と、その分布を規定する環境因子との関係について報告する。

本論を発表するに際して、菅谷に乗船の機会を与えて下さった地質調査所の水野篤行海洋地質部長、共に乗船して調査研究に御協力いただいた大嶋和雄、小野寺公児、石橋嘉一、望月常一、青木市太郎の各技官ならびに日本大学(当時)の稲子誠氏に感謝の意を表する。また、筑波大学の青木直昭教授からは有孔虫の同定および結果の解析について多大な御教示を受けた。さらに、小野寺公児技官および佐藤宏子さんに図を作製していただいた。

* 東京都貝塚中学校 ** 海洋地質部



第1図 海底地形図および採泥点

以上の方々に厚くお礼申し上げる。

1. 調査海域の概況

調査海域範囲(第1図)は、 $32^{\circ}57'N-33^{\circ}26'N$, $131^{\circ}30'E-132^{\circ}35'E$ にわたる九州—四国間の海域で、佐田岬沖北側の伊予灘南部から南へ豊後水道のほぼ中央部にかけての範囲と、それに面する九州側の佐伯および臼杵湾、四国側の宇和海および宇和島湾、さらに佐賀関半島の北西に広がる別府湾を含んでいる。

調査海域の東西幅は約 50 km, 南北の距離は約 70 km である。

豊後水道は、瀬戸内海西南端の太平洋側への出入口にあたり、南は日向灘に続いている。水道中央部の水深は 90m 前後で、南端では 100 m 前後となる。九州側の臼杵湾、津久見湾および佐伯湾の湾内水深は 40-60 m, 四国側の宇和海、宇和島湾およびその南の内海はやや深く、60m 前後である。

九州—四国間の距離が最も接近して (13 km), 潮流の速い速吸瀬戸の北側と南側には、それぞれ水深 450m および 350m に達する摺鉢状の海釜が発達する。

別府湾は、東西 30 km, 南北 15-20 km の幅を有して、西端には別府市、南縁には大分市が位置し、東方は伊予

灘に開いている。最深部(水深約 70m)は湾奥部の高崎山沖にあり、湾内地形は、湾央(50 m 前後)から湾口部(45 m 前後)にむけてゆるやかに浅くなる。また湾北部の八坂川前面には、デルタ状の浅海域が発達する。南の大分市側からは、大分川と大野川が流入しているが、両河川のデルタ域は、工場用地として埋立てられている。

豊後水道は、北からの瀬戸内海沿岸水と南からの太平洋黒潮系外洋水とが混合するために、複雑な海況を示している。速吸瀬戸における潮流観測によると、6ノットの北流と5ノットの南流とが $\frac{1}{4}$ 周期で交代している。恒流系については、表層(水深 50m まで)では南下流、底層(50m 以深)では北上流が認められ、前者では沿岸水が流出し、後者では外洋水が流入すると考えられている(岩佐ほか, 1975)。

また水温・塩分濃度の分布から、外洋水(高水温・高塩分)は豊後水道の四国側から、沿岸水(低水温・低塩分)は西側の九州側から流出していることがわかる。すなわち、年間を通してみると豊後水道東側の四国側水域が水温・塩分量ともに最も高く、ついで九州側の水域、次いで別府湾の順となる。

各湾内の環境は、外洋水の流入によって変化し、豊後水道に面する湾では、四国側の南に位置する湾ほど外洋

水の影響を強く受けている。また、宇和島湾、九州側の佐伯湾、津久見湾、臼杵湾の順に、次第に内湾性が強くなり、北端の別府湾では、最も塩分濃度が低く、内湾性の強い水域となっている(岩佐ほか, 1975)。

2. 試料の採取および分析方法

別府湾内の採泥は、1971年11月15日から12月4日に、太平洋探海 K.K. 所属の「洋工丸」によって、また豊後水道では、1972年11月28日から12月15日に、芙蓉海洋開発 K.K. 所属の「わかしお」を用船して行なった。

使用した採泥器は、スミス・マッキンタイヤ、エクマン・バーズ、小型柱状採泥器および小型ドレッジである。スミス・マッキンタイヤおよびエクマン・バーズ採泥器による底質試料は、採泥試料の表面(約1cm)をかきとり中性ホルマリンを加えて保存した。小型柱状採泥器による底質試料は、乱されない堆積物の最上部約1cmの部分のコア中の底層水とともに採取し、上記と同様に処理保存した。

研究室では、各試料を200メッシュの篩上で水洗したのち、原形質染色のために、すべての試料をローズベンガル溶液で処理した。鏡下では1試料につきランダムに底生種200個体を摘出し、同定のうえ計数した。このとき染色された生体有孔虫についてもチェックした。浮遊性有孔虫については、底生種200個体を同定するあいだに認められた個体をチェックした。

3. 分析結果

3.1 有孔虫群集

本海域から得られた有孔虫群集は、7つの群集(A-G)に区分される。これらの主要構成種や特徴種を第2図に示した。群集区分にあたっては、試料間の相関係数に基づいて、クラスター分析と因子分析による解析も行ない、その結果は、上記の区分を満足することが確認されている。7群集の分布は第3図に示すが、つぎのようにまとめられる。

湾内……………A・B・C群集

湾口部……………D・E・F群集

湾外・水道部……G群集

湾内：別府湾や豊後水道の各湾からの試料は、すべて *Hopkinsina glabra* が最優勢である。そしてこの内湾性の有孔虫は、共産する優勢種・特徴種によって3群集(A-C群集)に区分することができる。この3群集は、*Hopkinsina glabra*, *Buccella frigida*, *Textularia* cf. *tenuissima*, *Elphidium advenum* var. を主とし、殻が少し歪小化した個体からなる種構成の貧弱な群集(A群集[第1表], *Hop-*

kinsina-Buccella 群集とよぶ)と、内湾一汽水性で *Textularia* cf. *tenuissima*, *Reophax* spp., *Eggerella* cf. *advenum*, *Haplophragmoides* spp., *Trochammina squamata* などの膠着質有孔虫を主体とする群集(B群集[第2表], *Hopkinsina-Textularia* 群集とよぶ)、及び内湾一汽水性で、*Hopkinsina glabra* に加え、*Bulmina marginata*, *Elphidium somaense*, *Nonionella stella* などのガラス状石灰質有孔虫を主とする群集(C群集[第3表], *Hopkinsina-Bulmina* 群集とよぶ)である。これら3つの群集のうち、A群集は後述するように別府湾の一部に限って認められるものである。

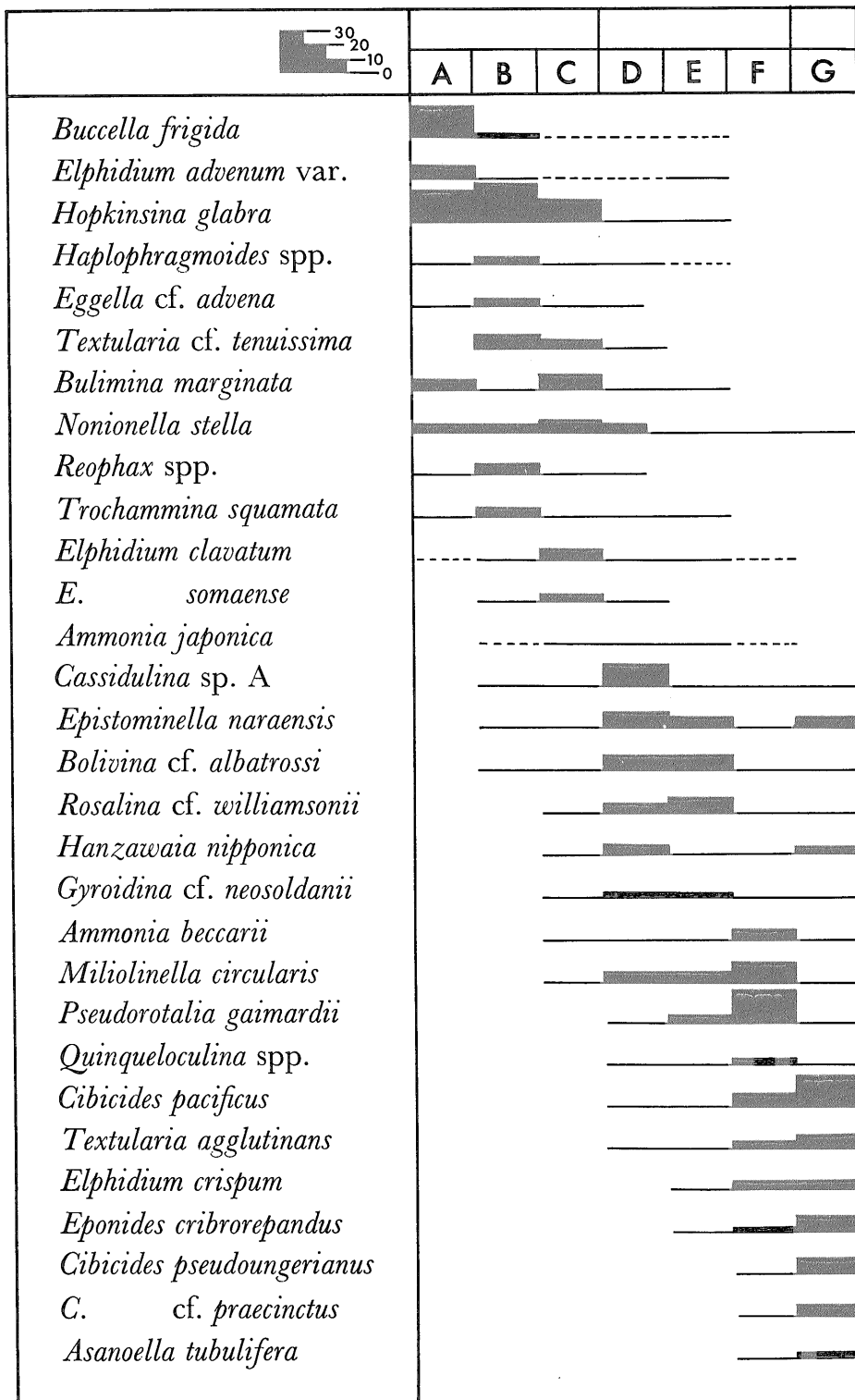
湾口部：湾口部から外側の水道部にむかって底生有孔虫群集は、内湾の特徴種が減少し、浅海性種にとって変っていく。この漸移部といえる各湾の湾口部には、次の3群集が認められる。内湾から湾外へ D・E・F の順に分布している。3群集の構成種は、お互いにほとんど共通であるが、種の頻度に差があることと、分布域が異なることによって、次のように区分される。それらは、*Cassidulina* sp. A を優勢として、*Bolivina* cf. *albatrossi*, *Elphidium clavatum* var., *Hanzawaia nipponica* *Epistominella naraensis* などを主体とする群集(D群集[第4表], *Cassidulina-Bolivina* 群集とよぶ)と *Rosalina* cf. *williamsonii*, *Bolivina* cf. *albatrossi*, *Miliolinella circularis*, *Pseudorotalia gaimardi*, *Hanzawaia nipponica* を主体とする群集(E群集[第5表], *Rosalina-Bolivina* 群集とよぶ)と、*Pseudorotalia gaimardii*, *Milliolinella circularis*, *Elphidium crispum* を優勢とする群集(F群集[第6表], *Pseudorotalia-Milliolinella* 群集とよぶ)である。

水道部：湾外の水道部には、*Cibicides pacificus*, *Textularia agglutinans*, *Eponides procerus*, *Cibicides pseudoungerianus*, *Eponides cribrorrepandus* のような砂質底に生息する種と浅海性種よりなる群集(G群集[第7表], *Cibicides-Textularia* 群集とよぶ)が広く分布している。

3.2 有孔虫生体群集

ランダムに摘出した有孔虫殻の中に含まれる生体殻の割合は、多くの試料で10-20%、平均15%程度である。生体有孔虫の産出頻度が比較的高いところは、別府湾内の大野川と大分川の河口付近の3試料と、津久見湾沖と佐伯湾湾口の2試料で、30-40%であった。反対に産出が少なく、10%以下のところは、湾奥では別府湾、臼杵湾、宇和島湾、佐伯湾、平城錨地に、湾口部では別府湾、岩松錨地、佐伯湾に点在している。別府湾の中央部および豊後水道中央部では、ほぼ10-30%である。

生体群集の種構成をみると、上記の内湾のA-C群集では、遺骸群集の場合と同じく、*Hopkinsina glabra* が最優勢である。その中で、B群集内では、*Textularia* cf. *te-*



第2図 有孔虫群集の主要構成種および特徴種

第1表 A 群集: *Hopkinsina-Buccella* 群集

Hopkinsina glabra (MILLET)
Buccella frigida (CUSHMAN)
Elphidium advenum (CUSHMAN) var.
Bulimina marginata D'ORBIGNY
Nonionella stella CUSHMAN and MOYER

第2表 B 群集: *Hopkinsina-Textularia* 群集

Hopkinsina glabra (MILLET)
Textularia cf. *tenuissima* EARLAND
Reophax spp.
Eggella cf. *advena* (CUSHMAN)
Haplophragmoides spp.
Nonionella stella CUSHMAN and MOYER
Trochammina squamata JONES and PARKER
Buccella frigida (CUSHMAN)

第3表 C 群集: *Hopkinsina-Bulimina* 群集

Hopkinsina glabra (MILLET)
Bulimina marginata D'ORBIGNY
Nonionella stella CUSHMAN and MOYER
Elphidium clavatum CUSHMAN var.
E. somaense TAKAYANAGI
Textularia cf. *tenuissima* EARLAND
Ammonia japonica (HADA)

第4表 D 群集: *Cassidulina-Bolivina* 群集

Cassidulina sp. A
Bolivina cf. *albatrossi* CUSHMAN
Rosalina cf. *williamsonii* (PARR)
Hanzawaia nipponica ASANO
Epistominella naraensis (KUWANO)
Elphidium clavatum CUSHMAN var.
Gyroidina cf. *neosoldanii* BROTZEN
Nonionella stella CUSHMAN and MOYER
Quinqueloculina spp.

第5表 E 群集: *Rosalina-Bolivina* 群集

Rosalina cf. *williamsonii* (PARR)
Bolivina cf. *albatrossi* CUSHMAN
Miliolinella circularis (BORNEMANN)
Pseudorotalia gaimardii (D'ORBIGNY)
Elphidium advenum (CUSHMAN) var.
Hanzawaia nipponica ASANO
Quinqueloculina spp.
Gyroidina cf. *neosoldanii* BROTZEN

第6表 F 群集: *Pseudorotalia-Miliolinella* 群集

Pseudorotalia gaimardii (D'ORBIGNY)
Miliolinella circularis (BORNEMANN)
Cibicides pacificus CUSHMAN
Amminia beccarii (LINNE) vars.
Quinqueloculina spp.
Textularia agglutinans D'ORBIGNY
Elphidium crispum (LINNAEUS)
Eponides cribrorrepandus (FICHTEL and MOLL)

第7表 G 群集: *Cibicides-Textularia* 群集

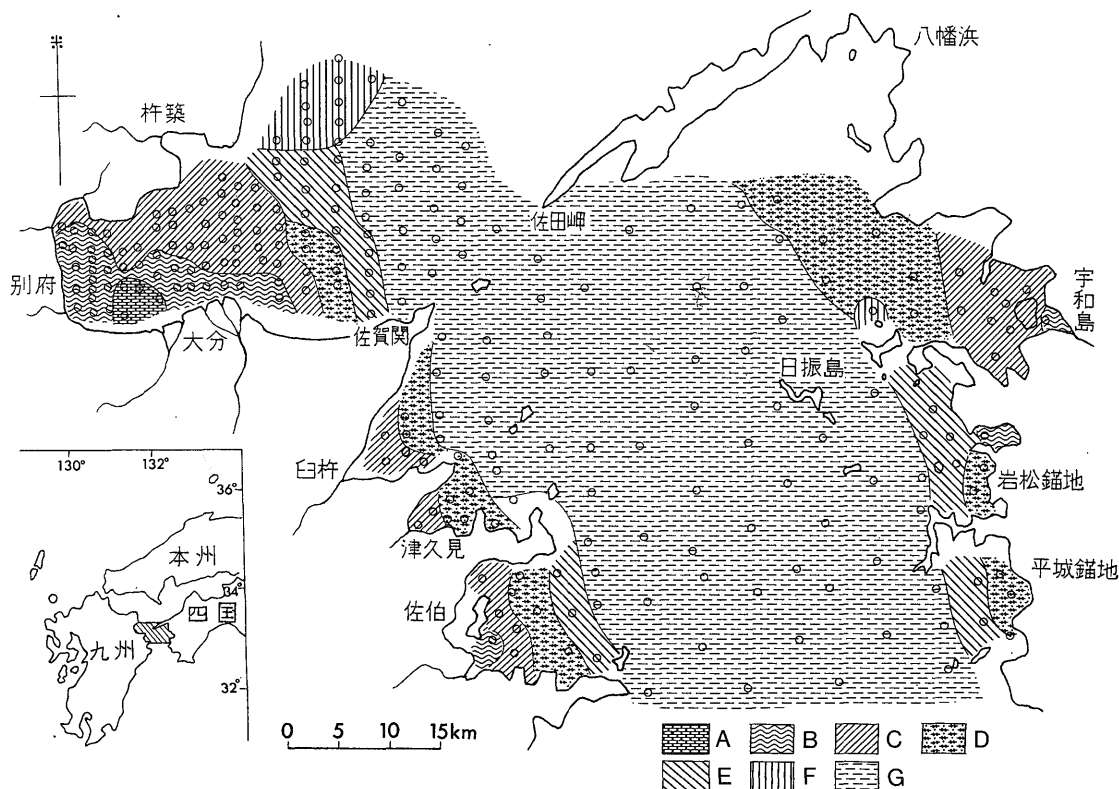
Cibicides pacificus CUSHMAN
C. pseudoungerianus (CUSHMAN)
Textularia agglutinans D'ORBIGNY
Eponides cribrorrepandus (FICHTEL and MOLL)
Hanzawaia nipponica ASANO
Cibicides cf. *praecinctus* (KARRER)
Asanoella tubulifera HERON-ALEN and EARLAND
Quinqueloculina spp.
Elphidium crispum (LINNAEUS)

nuissima, *Haplophragmoides* spp., *Eggellera* cf. *advena*, *Reophax* spp., *Trochammina squamata* の産出が目立っている。C 群集でも, *Bulimina marginata*, *Nonionella stella*, *Elphidium clavatum* var. *Ammonia japonica* などの生体有孔虫の産出が多く, 両群集ともに生体群集と遺骸群集の構成種および産出頻度についても差は認められない。

別府湾の湾口部では, 生体有孔虫の産出が少なく, D-F 群集の3区分を認めることは困難である。F 群集内では, 生体有孔虫の産出頻度が遺骸の3.5%と他の群集内よりも低い, その中で *Quinqueloculina* 属および *Miliolinella* 属の生体有孔虫の割合が, 他の特徴種より多くなっている。

豊後水道に面する湾に分布するD群集においては, 生体有孔虫にも *Cassidulina* spp., *Bulimina marginata*, *Nonionella stella*, *Pseudononion gaimardii*, *Epistominella naraensis* などが, E 群集においては, *Hanzawaia nipponica*, *Gyroidina* cf. *neosoldanii*, *Bolivina* spp., *Quinqueloculina* spp., *Cassidulina* spp. などが多い。

湾外のG群集では, *Cibicides pacificus*, *Eponides cribrorrepandus*, *Hanzawaia nipponica*, *Cibicides pseudoungerianus*, *Textularia agglutinans* などが多く見られる。これらの生体有孔虫群集は, いずれも遺骸群集と類似の種構成をもっているが, E 群集では生息場所や生態がちがうため, 遺骸群集中に常に優勢な *Rosalina* cf. *williamsonii* の



第3図 有孔虫群集分布

A: A群集 B: B群集 C: C群集 D: D群集 E: E群集 F: F群集 G: G群集

生体殻の産出が少ない。

磁器質殻有孔虫の割合は、湾内および湾外の豊後水道部では低く、各湾の湾口部に高くなる傾向がある。このことは遺骸群集でも生体群集でも変わらない。

C群集の砂質種の産出頻度は、生体群集では28%と遺骸群集での17%に比べて高くなる。その他の群集では、生体群集は遺骸群集に比べて、膠着質やガラス状石灰質有孔虫の割合は $\frac{1}{2}$ 程度に減少している。しかし、それぞれの群集組成を大きく変えるものではない。

このように、生体群集と遺骸群集の群集構成種には大きな差がないことが明らかになった。これは、この海域の現在の海底に分布する堆積物の、二次的な移動が比較的少ないことを示唆するものであろう。

3.3 有孔虫群集の地理的分布

前述の7群集の分布域は第3図に示した。別府湾では、強内湾性の *Hopkinsina glabra* の優勢な群集(A-C群集)から水道部のG群集まで、7群集がひと通り認められる。

A群集は、別府湾湾奥最深部東側の限られた水域にのみ分布している。

B群集は、別府湾の湾奥部から湾内南半部、佐伯湾および岩松錨地奥に分布し、内湾性の高い水域に限られる。

C群集は、B群集に接してより湾外側に拡がり、別府湾では湾の北半部に分布している。また臼杵湾、津久見湾、佐伯湾および宇和島湾では、湾内に広く分布する。

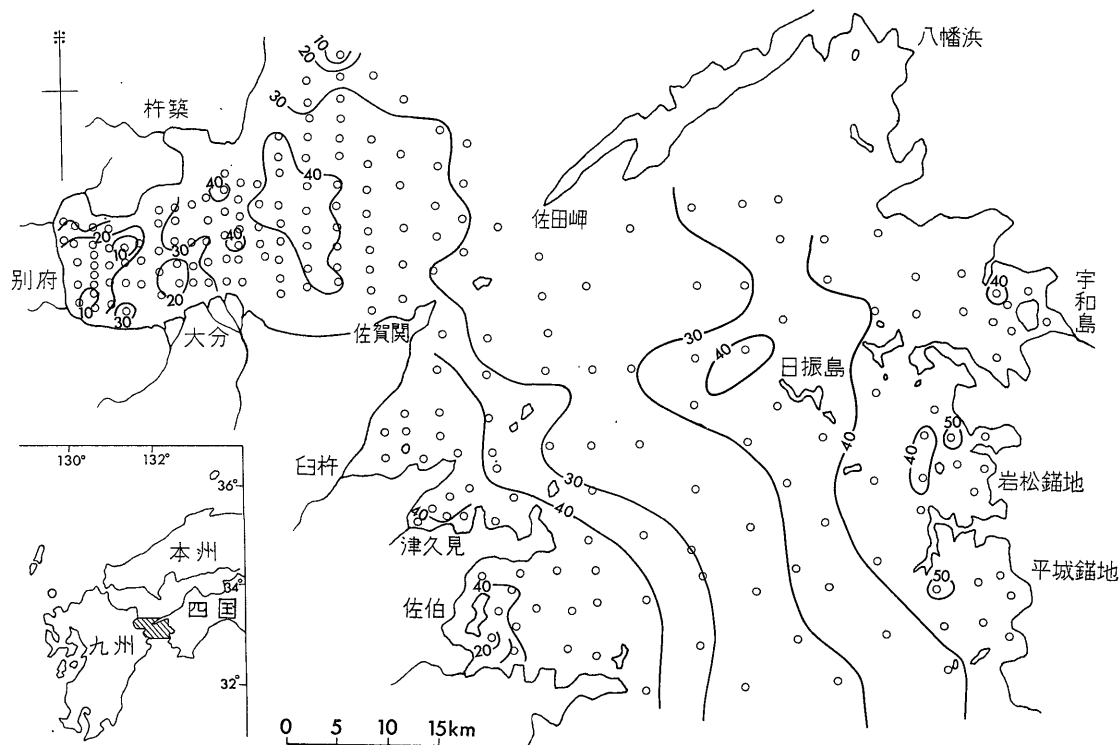
湾口部では、湾口から外にむかってD、E、Fの群集が、この順にほぼ帯状に分布している。F群集は、別府湾の湾口部に分布する。

湾外では、上記湾口部の群集の外側に、G群集が分布している。

本海域のどの湾においても、有孔虫群集はこの順序で湾奥から湾外にかけて帯状の分布をとっている。しかし別府湾以外では、7群集のうち一部の群集が欠けている。たとえば臼杵湾および宇和島湾には、BとE群集が見られない。四国側南の平城および岩松錨地では、湾内の奥にD群集が、その外側にはE群集が分布しており、ここでは内湾汽水性の群集は認められない。

豊後水道のほぼ全域と別府湾から伊予灘にかけて、調査海域の大半を占めて分布しているのがG群集である。

この群集は、速い潮流の、岩盤上に薄い砂礫が分布する



第4図 種 数 分 布

速吸瀬戸の採泥点にも認められた。

別府湾については、長浜(1951)による湾内の有孔虫群集の報告がある。長浜によると、湾内には、*Eponides* 群集、*Lagena* 群集、*Eponides-Rotalia* 群集、*Rotalia-Eponides* 群集の4群集が認められ、それらは、湾の西端から湾口にむけて、*Eponides-Rotalia* 群集、*Eponides* 群集、再び *Eponides-Rotalia* 群集と変化し、湾口部には、*Rotalia-Eponides* 群集と *Lagena* 群集が分布すると報告している。また、これら有孔虫群集の分布を規定するものは、深度による水温の変化であると結論している。長浜による上記の群集区分および分布と比較してみると、報告されている産出種が今回の調査とは異なっており、また群集の分布パターンも一致していないようである。

長浜(1951)が同定した *Eponides repadus*, *Rotalia beccarii* などの種は、当時、湾奥部まで産出するとされている。今回の調査では、湾口部および湾外に分布している種が、当時の別府湾の湾奥部にまで分布していたことになり、興味あるデータを示している。

3.4 有孔虫群集の生態

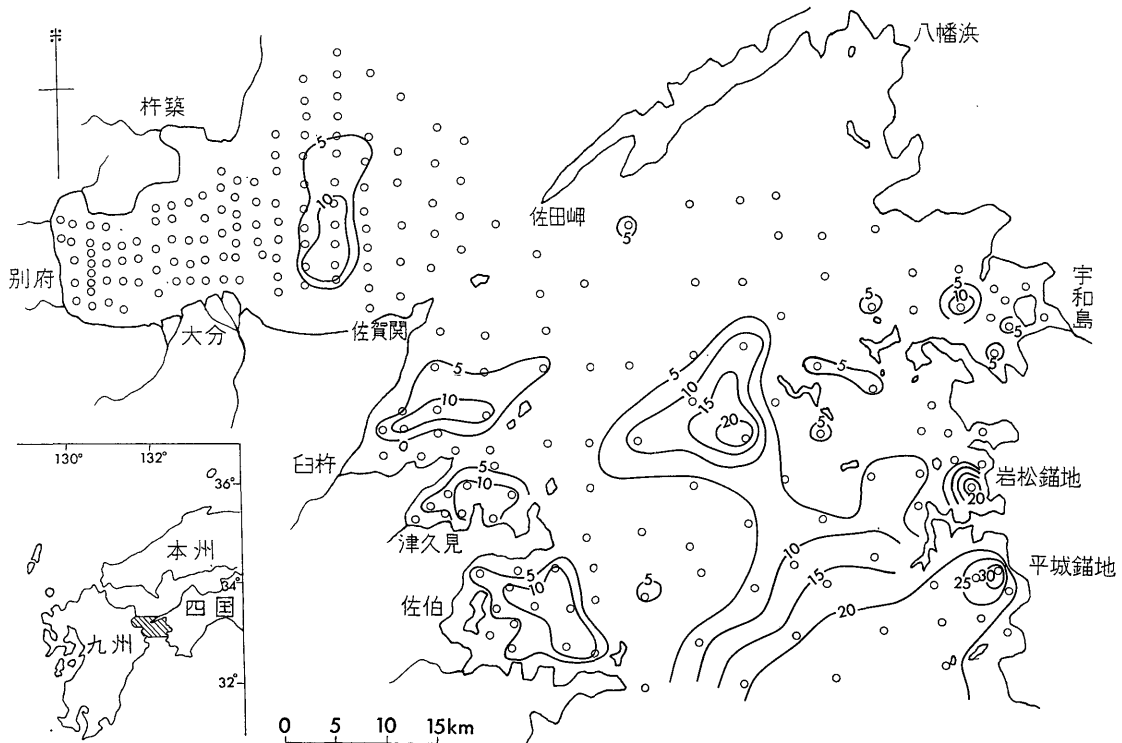
有孔虫群集に関する指標として、通常取りあげられている種数・浮遊性有孔虫の割合、膠着質、磁器質、ガラス状石灰質の頻度分布をそれぞれ第4図から第7図に示

した。

ここでいう種数(第4図)は、1試料ごとにランダムに拾った底生有孔虫200個体中に含まれる種の数である。種数が40種以上の水域は、各湾中央部と湾口部に認められ、そこから湾奥にむかって種数は次第に減少する。種数が10種以下の水域は、別府湾およびその他の湾内においては、最も内湾性環境の強い湾奥部に認められる。湾外の豊後水道中央部では、種数が20-30程度とやや少なく、東西の両岸にむかって種数が増加する傾向にある。

外洋水表面に生息する浮遊性有孔虫の有孔虫総個体数(200)に対する割合(第5図)は、外洋水の内湾への混入程度を反映するものとされている。本海域では、外洋水の流入経路にあたる豊後水道南部および中央部に、浮遊性有孔虫が20%以上のところがあり、各湾の湾口部にも5-20%と高いところがある。水道の中央部から北部へ、また各湾の湾口から湾内へむけて少なくなっている。別府湾の湾奥をはじめ、各湾の湾奥-内湾部ではゼロとなる。

本海域に分布する膠着質有孔虫のうち、主要な構成種である *Saccamina* cf. *diffugiformis*, *Reophax* spp., *Haplophragmoides* spp., *Trochammina squamata*, *Textularia* cf. *tenuissima* などは、おもに内湾性の強い海域に分布する種である。



第5図 浮遊性有孔虫(%)

したがって本海域の内湾では、全底生有孔虫に対する膠着質有孔虫の占める割合(第6図)は、湾口部から湾奥にむけて高くなっている。水道部に、膠着質有孔虫は少ないが、上記の種と生態が異なる *Textularia agglutinans* が散点的に分布する。

磁器質有孔虫の割合が高いのは、湾口部に分布する D・E・F 群集である。なかでも、浅い砂質底に分布する F 群集がもっとも多く 23% で、他は 13-17% である。内湾の A・B・C 群集では、3% 以下である。湾外の豊後水道部の G 群集では、10% 程度である(第7図)。

ガラス状石灰質有孔虫(第8図)は、膠着質および磁器質有孔虫よりも個体数において優勢である。とくに水道中央部では、ガラス状石灰質有孔虫は 90% 以上の高い割合を示し、東西の内湾へむかって、その産出パーセントが低くなる。各湾の湾奥では、膠着質有孔虫が高頻度のため、ガラス状石灰質有孔虫は 5% 程度ときわめて少なくなる。

底生有孔虫を、群集ごとに、殻によって、膠着質、磁器質およびガラス状石灰質の 3 グループに区分し、頻度を百分率で表わすと第9図のようになる。内湾性の B 群集では、膠着質有孔虫の頻度が平均 60% と、他の群集よりもとびぬけて高い。B 群集以外の群集では、C 群集の

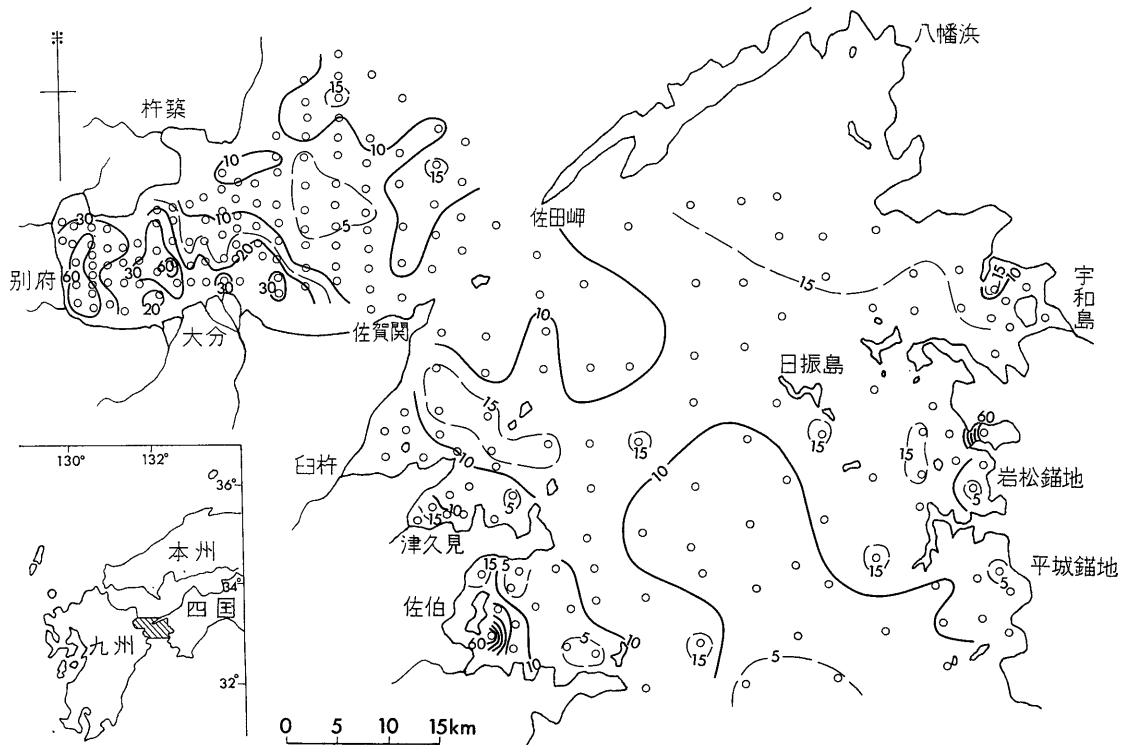
膠着質有孔虫が 17% と高く、他の群集では 10% 前後である。

4. 環境因子との関係

内湾ないし浅海性の現生有孔虫群集の分布を規制する環境諸因子については、日本周辺でも、いくつかの海域において検討されており、水深、水温、塩素量、溶存酸素量などと有孔虫群集の分布との関係が調べられている(MATOBA, 1970; 的場, 1975)。豊後水道海域では、今回の採泥時の観測や、ほぼ同時期におこなわれた海上保安庁水路部(岩佐ほか, 1975)と大分県公害局(1973)による観測によって、水深、水温、水質、底質、生物などに関する各種の観測値・分析値が得られている。これらのデータは、別府湾内では密な測点があり、十分に利用できるものがあるが、湾口部から湾外の豊後水道にかけては、測点が少なく、今回区分された 7 群集すべてについて、環境諸因子との対応関係について検討することは困難である。各群集の分布する水域ごとの、観測値・分析値をまとめると第8表のようになる。

4.1 水深

有孔虫群集の分布を規制する因子の中で、水深については、RHEIGER(1960)が一般的な群集変化の傾向をまと



第6図 膠着質有孔虫(%)

めている。今回の調査では、18m未満の試料は無く、かつ最深部 200m 程度までで、7 群集と水深との関係は第 11 図に示したとおりである。

A 群集は、別府湾湾奥の最深凹部の東側、水深 50m 前後のところに産出する。B 群集は、おもに別府湾内の水深 33m から 77m までの深度域に分布する。なお岩松錨地および佐伯湾の 2 試料は、それぞれ水深 40m と 23m である。C 群集は、各湾内の 13m から 54m の深度範囲に広く分布する。宇和島湾内では深く、水深 50m から 60m である。D 群集は水深 28m から 54m、E 群集は 17-72m の深度域に分布する。F 群集は 18m から 45m の水深に分布し、他の湾口部の D・E 群集よりもより浅い海底に分布する。湾外の G 群集は、九州側の 3 測点(水深 45m 前後)を除くと、すべて 52m から 210m の範囲に分布し、7 群集の中では、もっとも深く、深度範囲も広い。

以上のことから、7 群集と水深との関係は、A-F 群集はすべて水深 13-77m の範囲にあり、その 6 群集の間にとくに水深分布について有意な差は認められない。湾外に広く分布している G 群集と、その他の 6 群集の深度域との間には差が認められる。

また本海域では、湾内ないし湾口部の D・E・F 群集と湾外の G 群集とが接している水深は、別府湾ではおよ

そ 50m、豊後水道の九州側の臼杵湾では 60m、津久見湾と佐伯湾では 60-80m、四国側の宇和島湾では 90m、岩松および平城錨地では 80m である。これらの深度範囲は、上記の各湾の湾口部の深度に該当し、湾内と湾外という地形区分とほぼ一致している(第 1 図・第 3 図)。

4.2 底質の粒度組成

前述の環境諸因子のうち、有孔虫群集分布と最も密接な関係が認められたのは、底質の粒度組成である。底質粒度組成区分(第 10 図)と有孔虫群集とは、分布範囲や分布パターンが類似している。

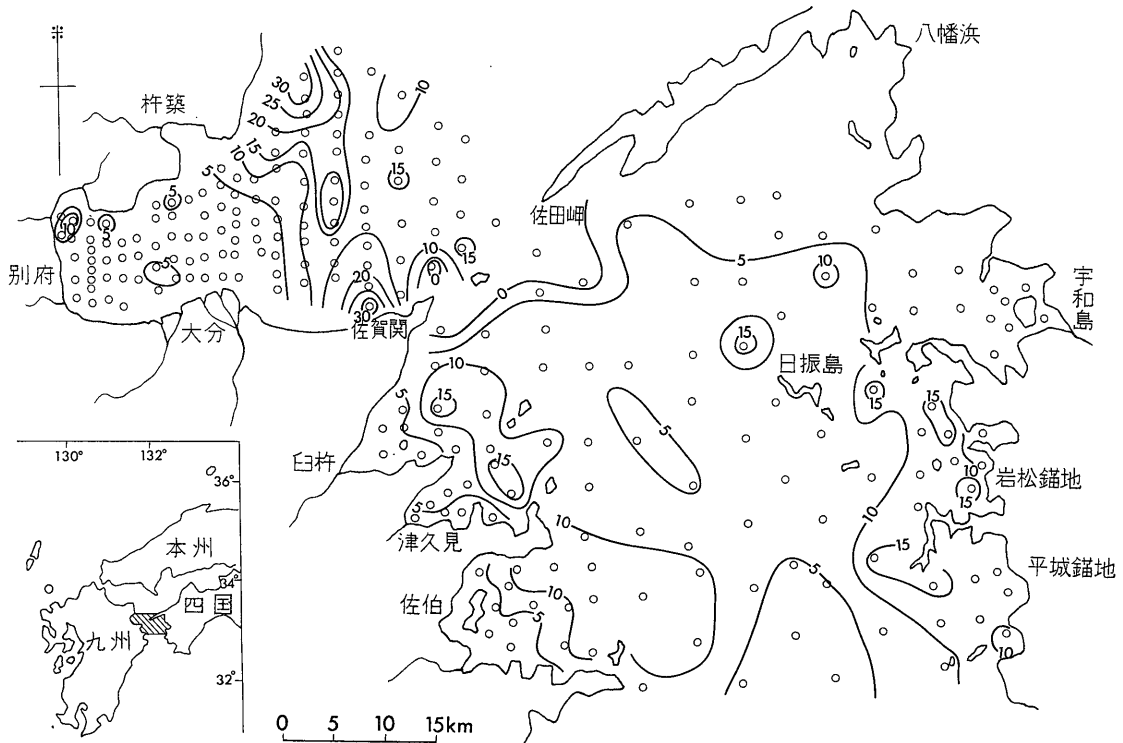
本海域において認められた 7 つの有孔虫群集と底質堆積物分布との関係をまとめると次のようになる(第 11 図)。

A 群集は、別府湾湾奥の泥底質域に限られる。

B 群集は、別府湾湾内の泥底質域に広く分布し、この一部には黒色腐泥が分布する(中尾ほか, 1974)。豊後水道に面する岩松錨地奥の 1 測点では砂質泥からも産出している。

C 群集は、各湾内に広く分布し、泥から一部は砂質泥底質まで分布している。

各湾の湾口部では、粒度組成が湾内から湾外へ粗粒化するにしがたい、有孔虫群集も変化している。すなわ



第7図 磁器質有孔虫(%)

ち、D群集は砂質泥から泥質砂に、E群集は泥質砂から細粒砂に対応している。豊後水道東側の岩松錨地などでは湾内には泥底質は分布せず、砂質泥のところにD群集が分布している。

湾外の豊後水道に広く分布する中粒砂—礫の粗粒堆積物にはG群集が産する。速吸瀬戸北側海釜の底質は、細砂底ではあるがG群集が分布している。

別府湾湾口部の八坂川河口沖には、粗粒砂—礫の粗粒堆積物があり、F群集の分布域となっている。なおF群集は宇和島湾沖の礫底にも認められる。

4.3 その他の環境因子

水深および底質の粒度組成の他に、主に別府湾内について、次のような観測値・分析値(中尾ほか, 1971; 1975; 大分県公害局, 1973)についても、有孔虫群集分布との関係を検討した。

(水温) 表層水温, 底層水温

(水質) pH, 溶存酸素, 塩素, シリカ, 全窒素, 全磷, 塩分濃度, 透明度, COD

(底質) pH, BOD, 全窒素, 硫化物, 全磷, N/P値, n-ヘキサン抽出物, 全泥量

(生物) 各種プランクトン, 貝類遺骸群集, 底生生物のB.P.I. 値

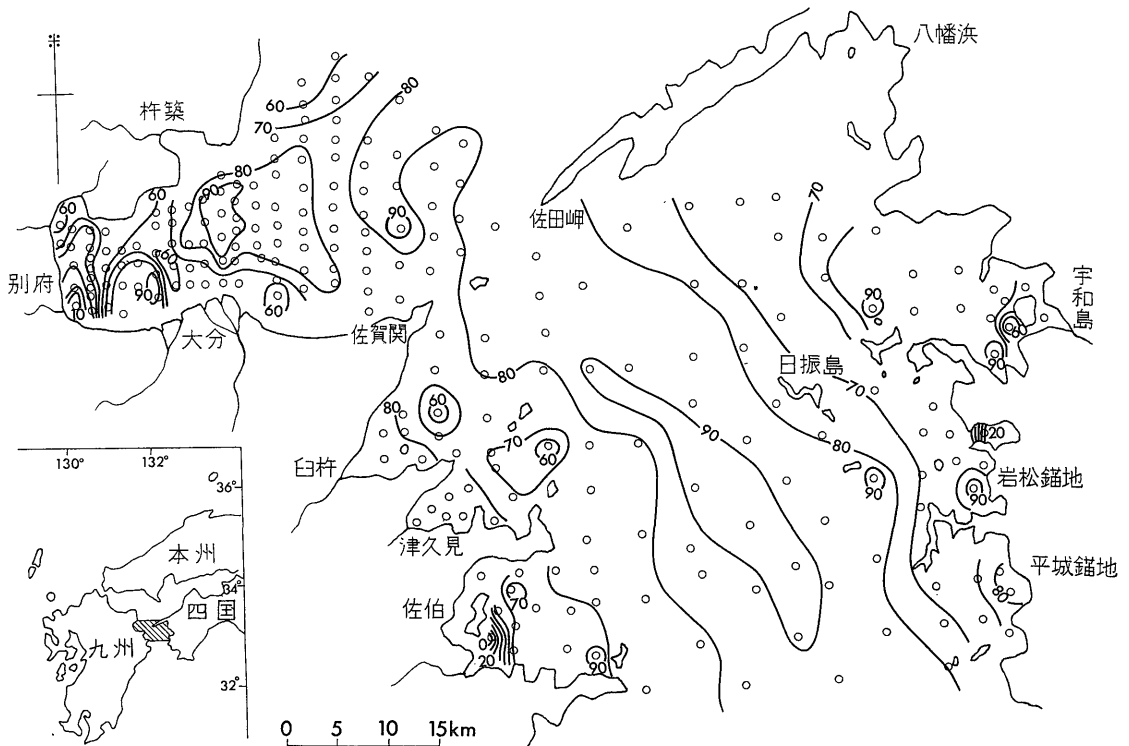
これらの各種環境因子の中で、有孔虫群集分布との間になんらかの関連性があると思われるものは、次のようなものである(第8表)。

底層水温は、水深と関係が深い、今回の採泥時期の11月末—12月上旬では、別府湾奥の最深部がもっとも低く(13℃)、ここにはA群集が分布している。湾口部の水深50m内外では高く、20℃前後となっている。B群集は、この低水温域から19℃の範囲に分布している。C群集は、湾口部よりやや水温の低い(18—19℃)水域に分布する。湾口部から湾外のD—G群集分布域については、20℃以上の水域が推定されるが、今回の資料では、水温に顕著な差は認められない。

底層水中の塩素量では、B群集分布域が低く(18.1—18.5‰)、ついでC群集分布域(18.2—18.5‰)となる。A群集分布域は、B、C群集分布域よりも、平均値で高い値(18.4‰)を示している。湾口部では、D群集分布域が、18.5‰と高い値となっている。

底層水中の全窒素量とシリカ量では、塩素量と異り、A群集分布域で、もっとも高い値を示している。ついでB群集、C群集の順に低くなり、湾口部のD群集がもっとも低い値である。

底層水中の溶存酸素量では、上記諸量とは反対にA群



第8図 ガラス状石灰質有孔虫 (%)

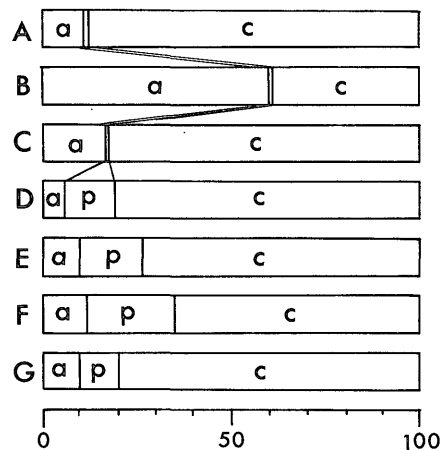
集分布域は、もっとも溶存酸素量が少ない水域(0-5 ppm)となっている。ついでA群集分布域に接するB群集分布域がやや低い値(1-7 ppm)となっている。C群集分布域は、7 ppm以上の値を示し湾口部のD・E群集分布域との差が認められない。

底質中の各種化学分析値の中で、各有孔虫群集分布域の値に、もっとも大きな差が認められたのは、BOD量である。A群集分布域はもっとも値が高く、最大値の2,000 ppm以上を含み、すべて1,500 ppm以上である。ついでB群集分布域で、700-1,600 ppm、次にC群集分布域で、400-1,100 ppmとなっている。湾口部のD群集では、200-500 ppm、E群集分布域では、200 ppm以下となっている。

底質中の硫化物量と全窒素も、BOD量と同様な傾向を示し、A群集分布域では、それぞれ、0.02-0.03%と0.2-0.3%の最高値を示している。ついで、B群集、C群集、D群集分布域の順に低い値を示している。

底質のpH値では、B群集分布域がもっとも低く、7.4-7.8となっている。ついでA群集分布域の7.7が低い値となっている。C・D群集分布域には差が無い。

生物に関する測定値の中で、有孔虫群集の分布域と、相関が認められたものには、総植物プランクトン量、

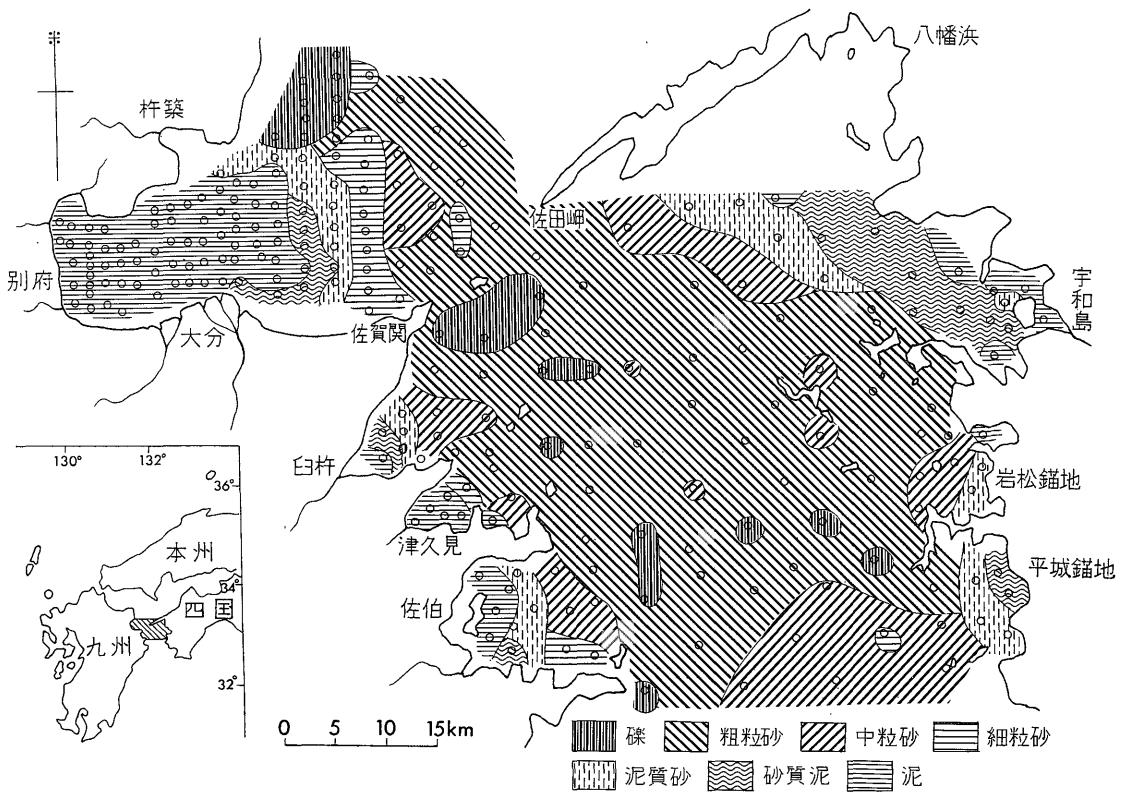


第9図 膠着質・磁器質・ガラス状石灰質有孔虫の割合

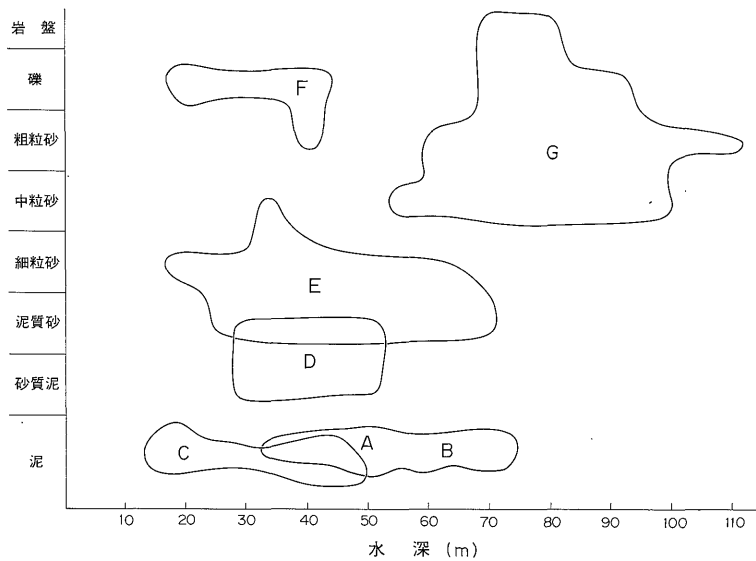
a: 膠着質有孔虫 p: 磁器質有孔虫 c: ガラス状石灰質有孔虫

Coscinodiscus radiatus 量、B.P.I. 値などである。総植物プランクトン量と *Coscinodiscus radiatus* 量は、A群集分布域で最大値を示し、ついでB・C・Dの各群集の分布域の順に小さくなる。

底生生物の生息量を示すB.P.I. 値では、生物が生息していないゼロの値の水域が、A群集分布域にあたって



第10図 底質粒度組成区分



第11図 有孔虫群集 (A-G) と底質粒度・水深

第8表 有孔虫群集分布域の観測値：分析値

群集	底 層			水 質			底			生 物			水質
	水温 [°C]	塩素量 [‰]	全窒素量 [ppm]	シリカ量 [ppm]	溶存酸素量 [ppm]	BOD 量 [ppm]	pH [値]	硫化物量 [g/kg×10%]	全窒素量 [g/kg×10%]	総植物プラン クトン量 [100万/トン]	Cosci- noidiscus 量 [千個/トン]	B.P.I. 値	透明度 [m]
湾 内	A 13	18.4	0.4-0.6	2.0-6.0	5 以下	1500以上	7.7	0.2-0.3	2.0-3.0	3.5-4.0	300-400	0	13-14
	B 13-19	18.1-18.5	0.2-0.6	1.0-6.0	1-7	700-1600	7.4-7.8	0.15-0.5	1.5-3.0	1.5-4.0	100-400	1.5以下	10-15
	C 18-19	18.2-18.5	0.2-0.5	1.0	7-7.24	400-1100	7.8-7.95	0.05-0.2	1.25-2.45	0.5-3.5	50-250	0.25-1.75	7.5-14
湾 口	D 20	18.5	0.1-0.3	1.0以下	7-7.24	200-500	7.75-7.95	0.08-0.15	1.0-1.75	0.5-2.5	50-250	1.75	8
	E 20		7.0以下		200以下	7.5-7.95	0.08以下	1.0以下	0.5以下	50以下	1.75以上	8 以下	
	F 20	18.5以上	0.1以下		200以下								
湾 外	G 20以上				7.0以下	200以下							

いる。B群集分布域も底生生物数の少ないところで、B.P.I. 値 1.5以下である。ついで、C群集・D群集分布域の順に値が大きくなっている。

海水の透明度は、A・B群集の分布域が、ほぼ同じ14 m前後で、ついで、C・D群集分布域の順に、湾内から湾口にむけて、低くなる。

豊後水道海域の貝類群集は、湾内から湾外へ4つに区分されている(中尾ほか, 1975)。これら4群集の分布パターンは、有孔虫群集と群集区分の細さや分布傾向がよく似ている。各有孔虫群集と対応している貝類群集の主要構成種は、つぎようになる。

B群集—〔強内湾型〕*Raeta rostralis*, *Theora lata*

C群集—〔内湾型〕*Nassarius festivus*, *Fulvia mutica*, *Paphia undulata*, *Pitar lineolatum*, *Pecten albicans*.

D・E・F群集—〔弱内湾型〕*Kurosoia fascialis*, *Vere-molpha minuta*, *Placamen tiara*, *Pillucina pisidium*, *Myadora fluctuosa*

G群集—〔外湾型〕*Oxyperas bernardi*, *Crassatellites japonicus*, *Venericardia ferruginea*, *Laevicardium undatopitum*

以上のように各有孔虫群集分布域と各種の環境因子との間には、関連性が認められて各群集ごとの環境因子をまとめると以下ようになる。

A群集分布域は、別府湾内の1カ所のみであるが、他の群集分布域とは著しく異なった環境のように思われる。上述の水温、底層水および底質の各成分含有量、生物に関する各種の環境因子の中に、最大値や最小値を示すものがある。中でも注目されるのが、最も低い値を示す底層水中の溶存酸素量と、逆に最も高い値を示す底質中のBOD量である。これらの値が示すように、この水域には、有孔虫以外の底生動物は発見されてはおらず、底生有孔虫にとっても特殊な環境の水域であると思われる。

A群集分布域の特徴は、多量のケイ藻を主とするプランクトンの堆積とその分解によって、底層水中の酸素が消費され、さらに地形的な凹地であるために、冷水塊が停滞することによって起っていると思われる。

B群集分布域は、塩素量の最も低い値(18.1‰)を示すことを除くと、すべてA群集分布域の値に準じた値を示している。この水域で、塩素量の低い値を示すのは、別府湾に注ぐ河川の沖合である(大分県公害局, 1973)。

B群集分布水域は、別府湾内では、ほぼ湾の南半部を占め、大分市や別府市の沖合にあたり、A群集分布域と同様、プランクトン遺骸が多く、有機物の分解によって酸素が消費されている水域であろう。またA群集分布域

と同様に、底生生物の少ないところでもある。

佐伯湾の湾奥にもB群集が分布しているが、この水域も、別府湾内と同様な環境であろうと思われる。

C群集分布域も、A・B群集分布域と同様底質は泥である。C群集分布域における各種環境因子の値は、ほとんどB群集分布域における値についている。またこれらの値は、より湾外のD群集の値に近いものである。またC群集分布域は、別府湾内では、湾の北半部に分布している。ここには、都市や、都市を経由してくる流入河川もなく、より湾奥に分布しているAおよびB群集分布域よりも、人工的な影響が少ない環境下にあると思われる。

湾口部のD-Fの3群集間については、底層水や底質堆積物に関する資料が少なく詳しく検討は出来ないが、いずれの群集の分布パターンも前述のように、底質の粒度のパターンと類似している。

D群集分布域は、境を接するC群集分布域と、底層水の水温、塩素量、全窒素量、底質堆積物中のBOD量、硫化物量、全窒素量にわずかであるが差が認められ、湾内の環境とは異っている。

G群集分布域は、水深50mより深く、底層水温20-22℃の範囲で、底質は中粒砂から礫の環境下にあるといえる。G群集分布域の環境を直接示すような因子は、資料が少ないために、今回は見出すことは出来なかった。

ま と め

豊後水道海域底質中の底生有孔虫の分析により以下のような結果が得られた。

1) 底生有孔虫は、A-Gの7群集に区分される。これらの群集のうちA・B・C群集は湾内に、D・E・F群集は湾口部に、G群集は湾外の豊後水道部に分布している。A群集は別府湾内の最深部にのみ分布している。

2) 生体有孔虫の割合は、豊後水道海域の平均で10-20%程度であった。生体有孔虫群集と遺骸有孔虫群集の間には、構成種および特徴種に大きな差は認められない。

3) 浮遊性有孔虫は、外洋水が流入する豊後水道中央部に多く、瀬戸内海側と水道に面する各湾へむけて減少している。また別府湾をはじめ各湾の湾奥には認められない。

4) 膠着質有孔虫は、各湾の湾奥に多く認められた。豊後水道中央部にも、分布域は狭いが内湾種とは生態の異なる種が分布する。また磁器質有孔虫は、各湾の湾口部に多く産出する。

5) 7つの群集の分布を規制する最も重要な環境因子は、底質の粒度組成である。また、水深と群集との関係は、湾内および湾口部では明瞭でなく、湾外の群集(G)

と湾内・湾口の群集との間で差が認められた。

6) 水深や底質粒度組成以外の環境因子の中で、湾内および湾口部の群集分布域について、差が認められたものは、底層水に関するものでは、水温、塩素量、全窒素量、シリカ量、溶存酸素量、底質に関するものでは、BOD量、硫化物量、全窒素量、pH値であった。

7) 貝類遺骸群集も、底生有孔虫と同程度の群集に区分されており、両者の分布パターンは、非常によく似ている。

文 献

- 岩佐欽司ほか(1975) 豊後水道海域における海象の物理的調査研究。昭和47年度特別研究促進調査費、豊後水道海域における精密海洋観測総合研究報告書、科学技術庁研究調整局、p. 81-114.
- MATOBA, Y. (1970) Distribution of Recent Shallow Water Foraminifera of Matsushima Bay, Miyagi Prefecture, Northeast Japan. *Sci. Rept. Tohoku Univ.* 2nd Ser. (Geol.), vol. 42, no. 1, p. 1-85.
- 的場保望(1975) 底棲有孔虫—日本近海における分布—。海洋科学, vol. 7, no. 4, p. 41-46.
- 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, no. 19-21.
- 中尾征三・小野寺公児・望月常一・青木市太郎・稲子 誠(1971) 豊後水道海域における海底地形地質調査(その2)。昭和46年度特別研究促進調整費、豊後水道海域における精密海洋観測総合研究報告書、科学技術庁研究調整局, p. 235-264.
- 小野寺公児・大嶋和雄・石橋嘉一・青木市太郎・稲子 誠(1975) 豊後水道海域における海底地形地質調査(その2)。昭和47年度特別研究促進調整費、豊後水道海域における精密海洋観測総合研究報告書、科学技術庁研究調整局, p. 221-248.
- 大分県公害局(1973) 別府湾生物環境調査報告。66 p.
- PHLEGER, F. B. (1960) *Ecology and Distribution of Recent Foraminifera*. The Johns Hopkins Press, Baltimore, Md., 297 p.

(受付: 1983年2月9日; 受理: 1983年3月31日)