

大村湾のマクロベントス群集(1)

誌名	養殖研究所研究報告 = Bulletin of National Research Institute of Aquaculture
ISSN	03895858
巻/号	24
掲載ページ	p. 43-53
発行年月	1995年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



大村湾のマクロベントス群集—I 動物群集と底層環境との対応

横山 寿*

(1994年11月14日受理)

Macrobenthic Assemblages in Omura Bay—I Community Parameters versus Bottom Environmental Factors

Hisashi Yokoyama*

To delineate a pattern in the gradients of the community parameters of the macrobenthos, and to assess the possible relationships of environmental factors to this pattern, a quantitative bay-wide survey was conducted in August-September 1992 and March-April 1993 in Omura Bay, which has an enclosed basin suffering depleted oxygen concentrations during summer. High values for biomass, density and the number of species occurred in the mouth or the peripheral part of the bay, while in the main basin the values were relatively low. This spacial pattern did not vary with the season, although these parameters increased in the spring. Community parameters and environmental factors were tested for correlations. Density and the number of species were positively correlated to dissolved oxygen in the bottom water in the summer. But, coefficients of these correlations were low ($r=0.599, 0.617$) in comparison with those as to the sediment factors (the silt-clay fraction, $Md\phi$, ignition loss, and COD_{sed}) which showed significant negative relations to the community parameters ($r < -0.81, p < 0.001$). This may result in applying temporary DO values at the sampling time. High abundance and increased species richness in sandy areas are explained by assuming that these areas have a rich variety of microhabitats and food availability based on high velocities of water movement. Large biomasses at the innermost part of the bay near sewage outlets suggest that a relatively high concentration of sulfide ($0.45-0.75 \text{ mg g}^{-1}$ dry sediment) never prevents distributions of animals and that organic enrichment of the sediments is sufficient to provide a rich food source but is not yet high enough to cause serious oxygen depletion.

Key words: low-oxygen, macrobenthos, Omura Bay, sediment, silt-clay fraction

長崎県中央部に位置する大村湾は表面積 320 km^2 、平均水深 15 m の典型的な半閉鎖状沈水海湾で、湾内では小型底引き網を主とする漁業が営まれている。また、本湾は古来より天然真珠の産地としても知られ、1960年代以前には真珠養殖が活発に行われていたが、最近では養殖場環境の悪化によるものか、真珠生産は低迷している (山口 1991)。

大村湾では針尾瀬戸を通して流出入する1潮汐あたりの海水の量が湾容積の約3%と少なく、湾

* 養殖研究所大村分室 (Omura Branch, National Research Institute of Aquaculture, Omura, Nagasaki 856, Japan)

内水の交換が不十分である(飯塚・関 1989)。このため成層が形成される夏季にしばしば底層水が貧酸素化する。この環境特性が赤潮の発生(飯塚・入江 1969)や種々の漁業被害(森 1961, 森ら 1973)をもたらしている。

大村湾沿岸は約25万人の人口を擁し、その70%が湾南東部の大村市から南部の時津町にかけて居住している。この地域からの主に生活廃水に由来する有機物の負荷量が近年、増加傾向をたどり、水質汚濁の進行が懸念されている(飯塚 1976, 長崎県水質審議会・長崎県環境部 1981, 長崎県衛生公害研究所 1991)。しかし、1992年6月から10月にかけての湾内水の溶存無機態窒素(DIN)の平均は $1.5 \mu\text{g at l}^{-1}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ は $0.14 \mu\text{g at l}^{-1}$ で(長崎県水産試験場 1993), それぞれ富栄養化水域の一般的な値である $2\sim 10 \mu\text{g at l}^{-1}$, $0.2\sim 1.0 \mu\text{g at l}^{-1}$ (吉田 1983)と比べると、湾内水の栄養塩濃度は低いレベルを保持している。

マクロベントス群集や各種の分布は局所的な場所の一定の期間に互る環境を総合的に反映しやすいとされ、最近、この観点からマクロベントスを指標とした生物調査がしばしば行われるようになった。大村湾のマクロベントスについては、沖野(1978)と沖野ら(1979)が1972~73年に調査を行い、湾内における生息密度や出現種数の分布を明らかにした。その他、長崎県水産試験場(1967)が1964~65年に大村地先水域で、また長崎大学水産学部(1976)が1973~74年に湾内の5地点でそれぞれ調査を行ったが、湾全域における種組成や生物量に関する知見は十分に得られていない。大村湾におけるマクロベントス群集の現況を明らかにするため、筆者は1992年夏季と1993年春季に湾全域を調査し、動物分布と底層環境との関係を検討した。

材料および方法

1992年8月20日から9月10日、および1993年3月22日から4月1日にかけての2回、調査を行った。調査地点はFig. 1に示したように、大村湾内にはほぼ均等に配置した28地点である。

動物の採集には4kgの鉛板をつけて加重したエクマン・バージ型採泥器(採泥面積: 0.04 m^2)を用い、各地点で2回採泥した。採取した底土を中性ホルマリンで固定して実験室に持ち帰った。これを1mm目のふるいにかけて洗い、残った動物を選別して70%のエタノール中に移した。地点別に採集動物の湿重量と個体数を計量、計数し、種数を数えた。計量に際し、棲管は除き、軟体動物の殻は含めた。

生息場所の環境を把握するために、各調査地点において採水器(離合社, リゴーB号)により採取した底層水(海底上約50cm)の水質と同上採泥器により採取した堆積物(表面から深さ約5cmまで)の底質を分析した。水質については、塩素量を硝酸銀滴定法により、また溶存酸素量(DO)をウインクラー法により分析した。底質については、粒度組成をふるい分け法とピベット法により、強熱減量(IL)を 550°C で6時間加熱する方法により、および過マンガン酸カリウムによる酸素消費量(COD_{sed})と硫化物量(硫化物態硫黄量)を底質調査方法(環境庁水質保全局 1988)に定める方法により分析した。

結 果

調査水域の環境 底層水の塩素量は、夏季の調査時には16.8~18.2‰, 春季には18.2~19.1‰の範囲にあった。両調査時とも最大値は湾口直近のSt. 1かSt. 5に、最小値は湾最奥部のSt. 28に

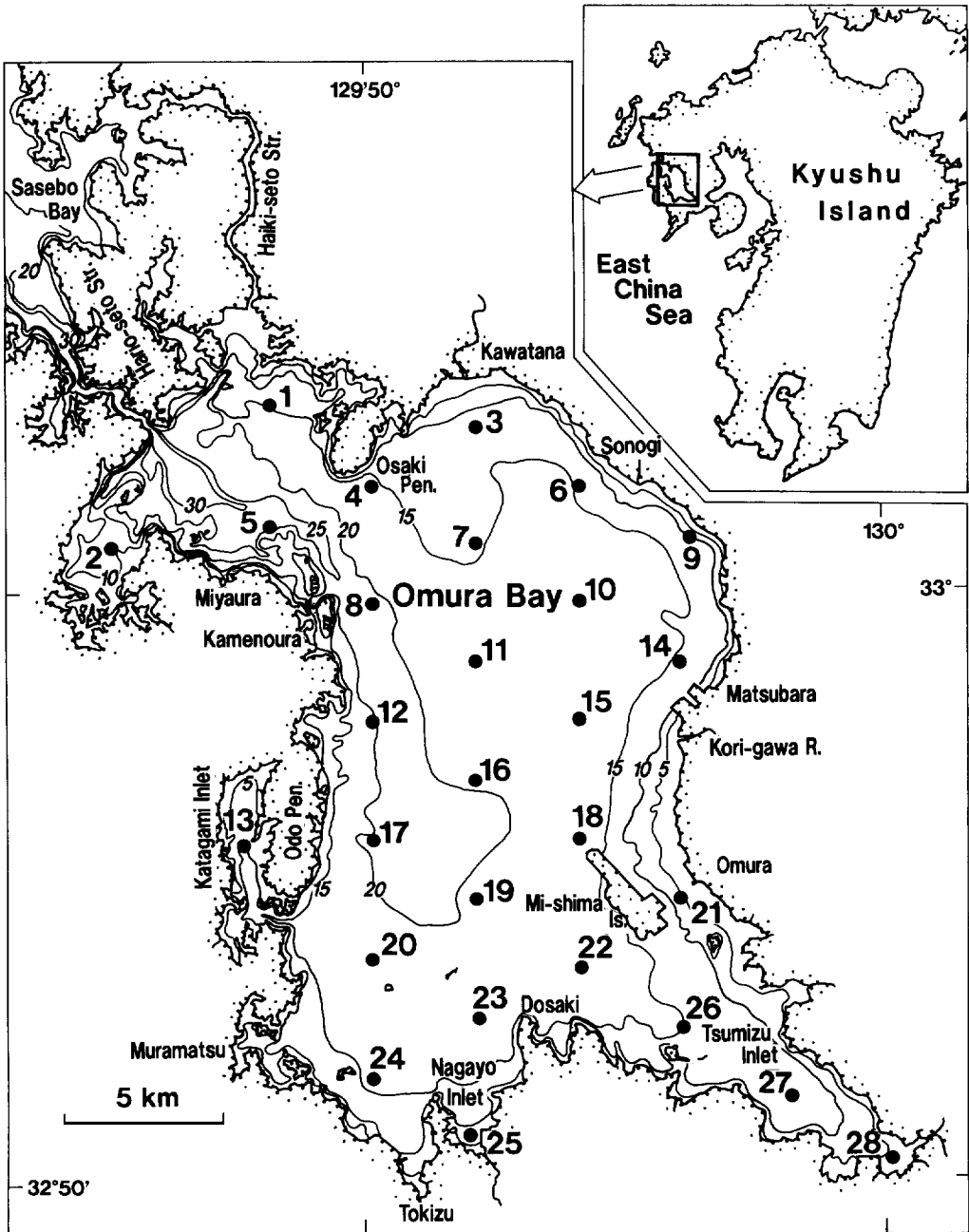


Fig. 1. Map of Omura Bay showing sampling stations with depth contours in meters.

あり、この間に較差は小さいものの塩分傾度の存在がうかがえた。

底層水の溶存酸素量の分布を Fig. 2 に示した。夏季の調査時に、亀ノ浦から尾戸半島沖にかけ

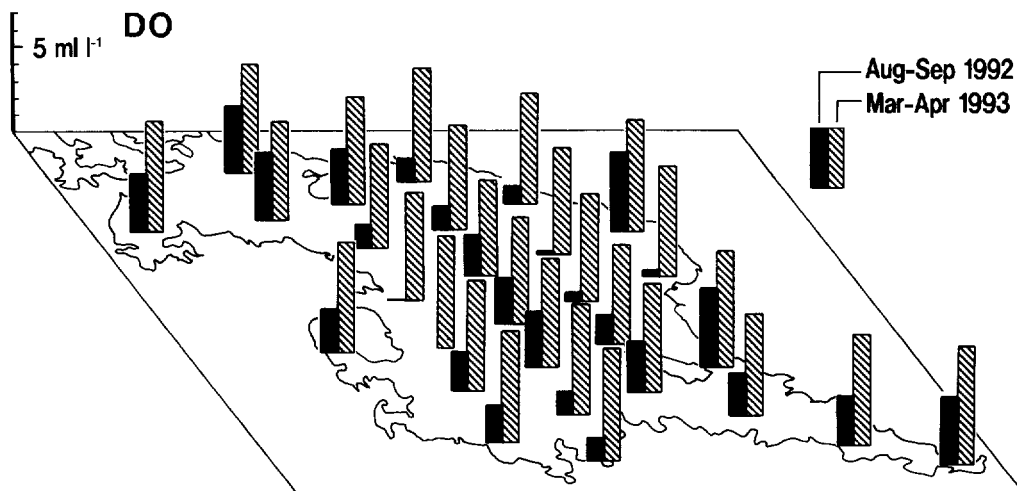


Fig. 2. Distribution of dissolved oxygen in August-September 1992 (filled bars) and March-April 1993 (hatched bars).

ての湾西部，川棚から箕島にかけての湾東部および長与浦から堂埼にかけての湾南部に 1.7 ml l^{-1} (飽和度35%) 以下の貧酸素水があった。とくに，尾戸半島沖では無酸素状態であり，また湾東部の松原沖では 0.5 ml l^{-1} (飽和度10%) 以下に貧酸素化していた。貧酸素化がもっとも起こりやすい水域は松原と尾戸半島の間あたりである (飯塚 1985) とされるが，この付近の St. 11, 16 および19では，夏季の調査時に酸素量が $2.4\sim 3.3 \text{ ml l}^{-1}$ (飽和度49~69%) を示したように，著しい貧酸素化はみられなかった。湾口直近の St. 1 と5および沿岸部の St. 9, 21と28では 3.9 ml l^{-1} (飽和度82%) 以上であり，酸素量は多かった。なお，春季の調査時には全地点で 5.7 ml l^{-1} 以上を示し，飽和状態であった。

底質分析の結果，いずれの項目についても2回の調査結果の間で明らかな変化が認められなかったため，各地点における2回の測定値を平均し，等値線図として Fig. 3 に示した。

湾口から西彼町宮浦地区に至る水域では針尾瀬戸から湾内に流出入する水の流れが速く，海底では岩盤が露出している。これに接する St. 5 は水深 25 m 前後と調査地点のなかでもっとも深く，堆積物は中央粒径値 ($\text{Md}\phi$) が $-0.1\sim -0.2$ となる貝殻混じりの粗砂で構成されている。湾東部沿岸の St. 9 と St. 21 では砂質であり，とくに St. 9 では $\text{Md}\phi$ が $-1.2\sim -0.60$ を示したように，堆積物の粒子は粗い。湾口付近および湾沿岸部を除く湾の大部分は水深 15~20 m と平坦である。この水域の堆積物は，含泥率 (62 μm 以下の粒子の重量%) が90%以上， $\text{Md}\phi$ が7以上，また淘汰度 ($\text{Qd}\phi$) がほぼ1.5以下を示すように，よく淘汰された泥である。箕島沖の湾中央部 (Sts. 16, 17, 19, 20, 22) では含泥率が97%以上， $\text{Md}\phi$ が7.8以上であり，微細粒子の割合がとくに高い。

堆積物中の有機物含量の指標となる IL と COD_{sed} は，Table 1 に示したように，粒度組成との関連性が高かった。すなわち，砂底 (Sts. 5, 9, 21) では IL は6%以下， COD_{sed} は 8 mg g^{-1} (乾泥) 以下と少なく，湾主盆部泥底ではそれぞれ12%以上， 15 mg g^{-1} 以上と多かった。両者とも微細粒子の割合が高い箕島沖の St. 19 において最大値となる15% (春季) と 33.0 mg g^{-1} (夏季) が得られた。

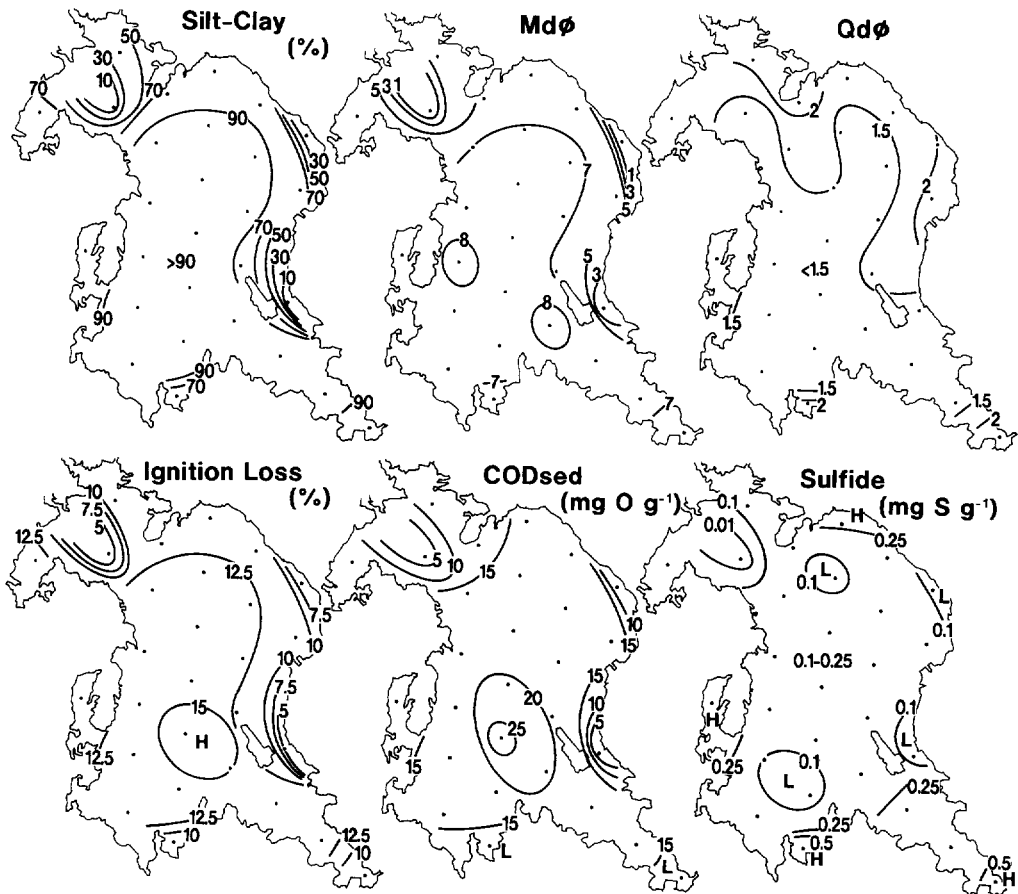


Fig. 3. Distributions of phyco-chemical factors of sediments. The results are the average of two surveys.

Table 1. Correlation matrix of sediment factors. Upper, August-September 1992; lower, March-April 1993.

	Silt-clay	Mdφ	IL	COD _{sed}	Sulfide
Silt-clay	—	0.975*	0.937*	0.860*	0.043
Mdφ	0.965*	—	0.900*	0.851*	0.065
IL	0.853*	0.813*	—	0.804*	-0.156
COD	0.875*	0.830*	0.791*	—	-0.025
Sulfide	0.289	0.297	0.019	0.286	—

* significant ($p < 0.001$)

硫化物量は粒度組成や有機物含量と有意 ($p < 0.05$) の関連性を示さなかった (Table 1)。これは、有機物含量の高い湾主盆部泥底での硫化物量がほぼ $0.3 \text{ mg g (乾泥)}^{-1}$ 以下であった一方、底土粒子がやや粗くなる湾最奥部の長与浦 (St. 25) と津水湾 (St. 28) で $0.45 \sim 0.75 \text{ mg g}^{-1}$ の比較的高

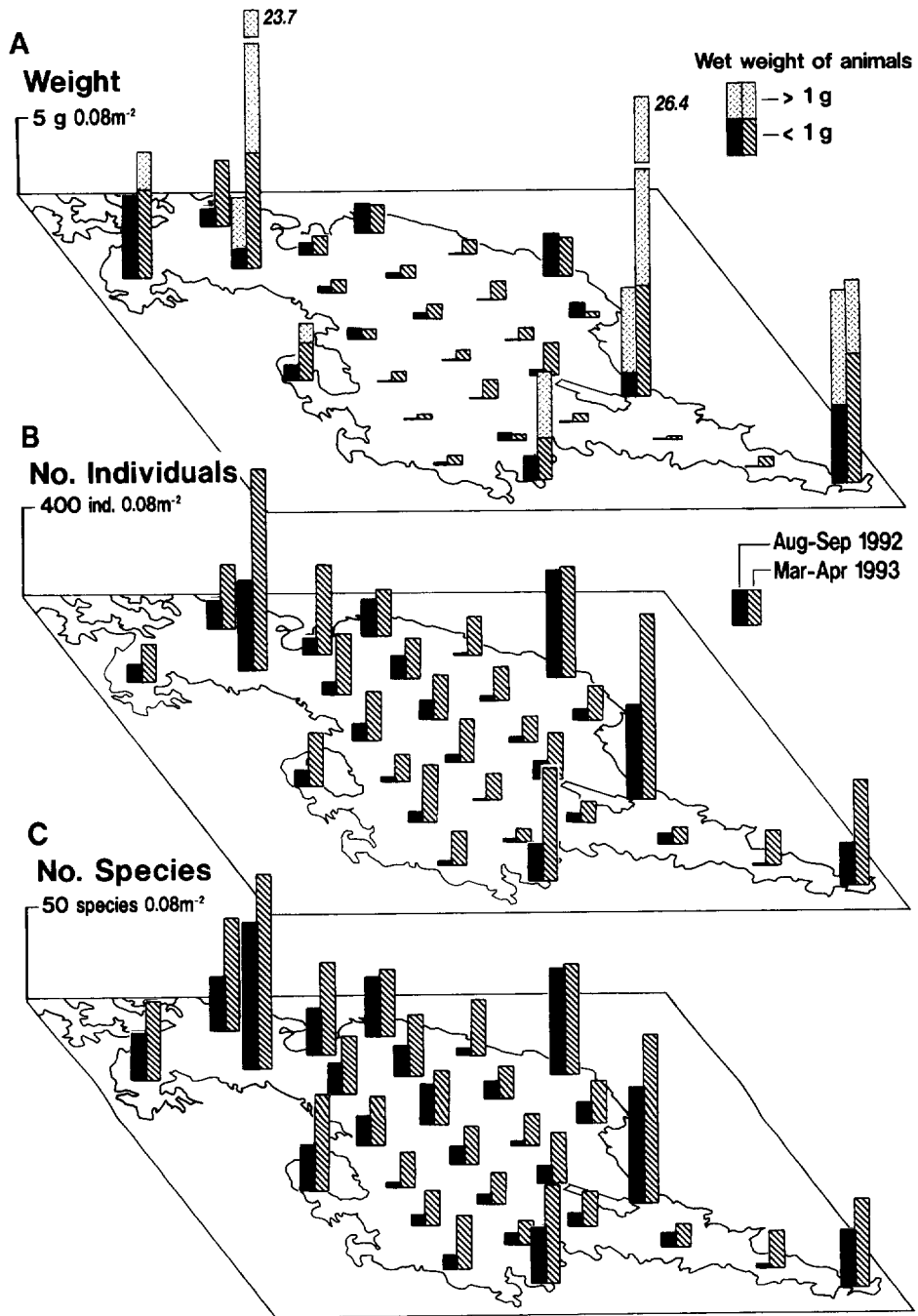


Fig. 4. Distributions of (A) wet weight, (B) the number of individuals and (C) the number of species of the macrobenthos in August-September 1992 (filled bars) and March-April 1993 (hatched bars).

い値が得られたことによる。なお、湾東岸部の砂底 (Sts. 9, 21) での硫化物量は 0.1 mg g^{-1} 以下と少なく、湾口の St. 5 ではほとんど検出されなかった。

マクロベントスの湿重量、個体数および種数の分布 各地点で採集した (採泥面積, 0.08 m^2) マクロベントスの湿重量、個体数および種数の分布を Fig. 4 に示した。夏季には地点あたり $0.002 \sim 12.4 \text{ g}$ (1 g 以上の大型個体を除くと最大 5.0 g)、 $5 \sim 487$ 個体、 $2 \sim 83$ 種の範囲にあったが、春季にはいずれもほとんどの地点で増加し、 $0.19 \sim 26.4 \text{ g}$ (大型個体を除くと最大 8.3 g)、 $58 \sim 916$ 個体、 $12 \sim 109$ 種を示した。湾口部と湾沿岸部に湿重量、個体数および種数の多い地点が分布していた。とくに砂底の Sts. 5, 9, 21 では、 2.7 g (大型個体を除くと 1.3 g)・ 407 個体・ 60 種以上 (夏季)、 2.4 g ・ 502 個体・ 63 種以上 (春季) の高い値が得られた。湾軸に沿った分布をみると、いずれも湾口から湾奥にむかうにしたがい漸減したが、湾最奥部 (Sts. 25, 28) で $1.5 \sim 12.4 \text{ g}$ (大型個体を除くと最大 5.0 g)・ $165 \sim 191$ 個体・ $30 \sim 31$ 種 (夏季)、 $6.9 \sim 13.1 \text{ g}$ (大型個体を除くと $2.7 \sim 8.3 \text{ g}$)・ $151 \sim 155$ 個体・ $48 \sim 54$ 種 (春季) と増加に転じた。湿重量、個体数および種数とも箕島沖周辺水域でもっとも少なく、とくに夏季にはこの水域内で 5 mg ・ 6 個体・ 5 種以下と、無生物に近い地点 (Sts. 19, 27) もみられた。

群集の数量的要素と底層環境との関連性を検討した (Table 2)。個体数および種数と底質の含泥率, $\text{Md}\phi$, IL および COD との間に有意 ($p < 0.001$) の負の関係があり、とくに、相関係数が $-0.891 \sim -0.924$ を示したように、含泥率との関連性が強かった (Fig. 5)。個体数および種数と夏季の DO との間に正の関係があったが、相関係数はいずれも 0.6 前後であり、底質の 4 項目と比べると関連性は弱かった。春季の湿重量と硫化物量を除く底質項目との間にも有意の関係があった。硫化物量については、動物群集の 3 要素とも有意の関係は認められなかった。

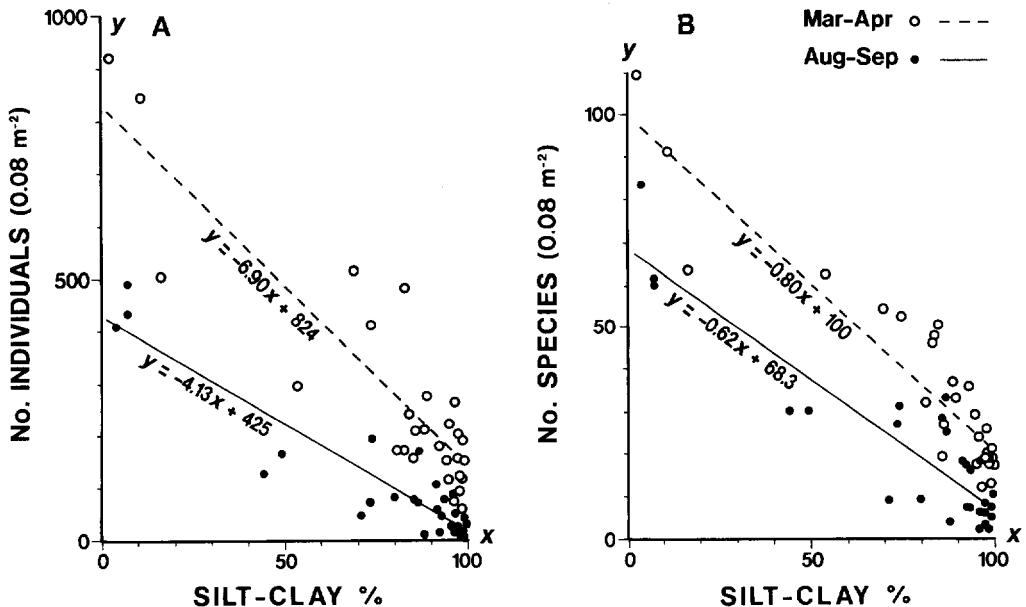


Fig. 5. Relationships between the silt-clay fraction, and (A) the number of individuals and (B) the number of species.

Table 2. Correlation coefficients between community parameters and bottom environmental factors.

	DO	Silt-clay	Md ϕ	IL	COD _{sed}	Sulfide
Aug-Sep 1992						
Wet weight	0.541	-0.496	-0.415	-0.629*	-0.464	0.369
No. individuals	0.599*	-0.927*	-0.924*	-0.904*	-0.817*	-0.040
No. species	0.617*	-0.904*	-0.900*	-0.876*	-0.821*	-0.025
Mar-Apr 1993						
Wet weight	0.134	-0.780*	-0.661*	-0.793*	-0.783*	-0.094
No. individuals	0.064	-0.891*	-0.813*	-0.851*	-0.854*	-0.060
No. species	0.032	-0.922*	-0.860*	-0.810*	-0.867*	-0.188

* significant ($p < 0.001$)

考 察

夏季と春季に行った本調査により、大村湾におけるマクロベントスの生物量、生息密度および種数は湾口部や湾沿岸部では多く、湾中央から湾奥の水域にかけて少ないことが示された。沖野 (1978) と沖野ら (1979) はすでに大村湾において本調査で得られたと同様の分布パターンの存在を報告し、この現象をもたらす主要な環境要因として底層水の貧酸素化をあげている。しかし、本調査では密度や種数と底土の含泥率との間に強い負の関係が認められ、夏季の底層水の DO との関係はこれより弱かった。

大村湾における底層水の貧酸素化現象は組織的な海洋調査が開始された1950年前後より観測されている (辻田 1953, 長崎県水産試験場 1954)。その発生の場所や規模は必ずしも一定しておらず、年により変化する (森 1961, 森・入江 1966, 轟木 1977, 飯塚・関 1989, Akagi and Hirayama 1991)。また、大村湾の水深は湾口を除くとせいぜい 20 m と浅いため、強風により容易に成層がくずれ、底層水の DO が短期間のうちに大きく変動することがある (玉河 1980, 平山・川端 1982)。今回の夏季調査時に、もっとも貧酸素水塊の発生頻度が高い (飯塚 1985) とされる湾中央部において 3 ml l^{-1} 前後の比較的高い DO 値が観測されたのも、このような海況特性のためであろう。ちなみに、長崎県水産試験場 (1993) が1992年 6月から9月にかけて毎月行った観測結果から底層水の DO 最小値の分布を描くと、彼杵から亀ノ浦を結ぶ線以南の大部分の海底はこの期間中に少なくとも一度は 1 ml l^{-1} 以下の貧酸素水に覆われたことがわかる (Fig. 6)。このような貧酸素状態はその場所の生息密度や種数を著しく減少させる (e.g. 今林 1983, 風呂田 1991)。大村湾において密度や種数と DO との間に高い関連性がみられなかったのは調査時の一時的な観測値を適用したためであり、湾中央から湾奥にかけて密度や種数が低いレベルにとどまっている主要因の一つとして貧酸素水塊の存在があげられよう。

沖野ら (1979) は大村湾中央部周辺では溶存酸素量が回復する秋から春にかけても個体数や種数が少ないことを指摘した。彼らはこの要因として底土中の硫化物をあげ、硫化物量が $0.3 \sim 0.4 \text{ mg g}^{-1}$ をこえると動物の生息が阻害されることを示唆した。今回の春季調査時においても湾中央から湾奥にかけての個体数と種数は比較的低いレベルにとどまっていたが、硫化物量との相互関係は認められなかった。これは、個体数や種数の多い湾沿岸部のなかで砂底における硫化物量はきわめて

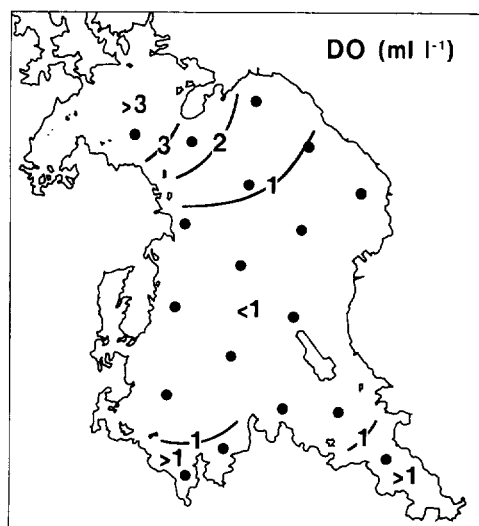


Fig. 6. Distribution of the minimum values of dissolved oxygen during June-September 1992 which were obtained from monthly observations by the Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries.

少なかった一方、陸からの有機物負荷を直接受ける場所に位置し、有機汚濁の影響が推測される長与浦と津水湾最奥部では $0.45\sim 0.75\text{ mg g}^{-1}$ と湾内でもっとも高かったことに起因している。沖野らの調査時においても、硫化物量が 0.4 mg g^{-1} 以上を示した湾南西岸水域で動物量が多い結果が得られ、彼らはこれを富栄養化水域あるいは強内湾性の適応種が出現したための特異的な現象とみなしている。しかし、これらの種がこの水域より硫化物量の少ない湾中央部で高密度とならない理由は説明されておらず、湾中央部における生物量や生息密度の低下をもたらし要因として硫化物をあげるには疑問が残る。ちなみに、硫化物量が 5 mg g^{-1} を超える大阪湾最奥部の大阪港内では溶存酸素量が回復する秋から冬にかけて多毛類の *Capitella* sp. や甲殻類のコノハエビ *Nebalia bipes* などが急増し、マクロベントスの密度が $10,000\text{ 個体 m}^{-2}$ を超えることがある (横山 1986)。大村湾中央部における硫化物量はほぼ $0.1\sim 0.25\text{ mg g}^{-1}$ の範囲にあり、沖野らによる測定値 $0.3\sim 0.4\text{ mg g}^{-1}$ と比べやや低いのが、いずれにせよ、この程度の硫化物量が動物分布を著しく阻害するとは考え難い。

大村湾の湾中央から湾奥にかけての海底堆積物はきわめて微細な粒子から構成され、有機物量の指標となる IL や COD_{sed} の値が高い。この水域における堆積物中の有機炭素と全窒素含有率はそれぞれ、2.4%、0.27%であり、湾沿岸部より多いことが報告されている (鎌田ら 1980)。しかし、溶存酸素が回復する冬季においてもこの水域での生物量や生息密度の値が低かったことは、堆積物中に蓄積された有機物がマクロベントス生産のエネルギー源として有効に利用されていないことを示している。

大村湾は栄養塩類の濃度レベルからみて中栄養的性質を有している (飯塚 1985)。また、主湾部表層水のクロロフィル *a* は通常 $5\text{ }\mu\text{g l}^{-1}$ 前後を示し (ウオウトウゼン・飯塚 1990)、 $10\text{ }\mu\text{g l}^{-1}$ 以上となる一般的な富栄養化水域 (吉田 1983) より少ない。さらに、湾中央部における植物プランクトンの生産量は湾沿岸部と比べ少ない (長崎県衛生公害研究所 1991)。一方、大村湾より富栄養で一次生産量の多い有明海 (代田・近藤 1985, 塚原・藁 1985) では潮下帯泥底域におけるマクロベントスの生息密度が $5,000\text{ 個体 m}^{-2}$ を越えることは珍しくない (古賀 1991)。大村湾では一

次生産の低さが直接、あるいは間接的に餌料の欠乏を招き、循環期においてもマクロベントスの生息密度を $2,000$ 個体 m^{-2} 以下の低いレベルにとどめているのかもしれない。

大村湾では底土の微細粒子の割合が低いほどマクロベントスの湿重量、個体数および種数が多くなる傾向があった。通常、採泥器により採集される堆積物の量は粒度が粗くなるにつれ少なくなる。今回の調査時においても、泥底では採泥器は底土表面より 10 cm 前後まで潜入したが、Mdφが3未満の砂底 (Sts. 5, 9, 21) ではせいぜい 5 cm 程度までであった。砂底における採泥量が泥底と同程度であれば、より多くの動物が採集されたであろう。

底土の粒径は底層水の流れに支配されており、水の流動性が高いほど粒子は粗くなる。水の流動性が高い場所では、水流により運ばれる堆積物・水境界層の有機物粒子が豊富で、このような有機物が直接あるいは間接にマクロベントスに取り込まれ、多い生物量を支えているのかもしれない。また、粗い粒子の間隙や表面に多様な生息空間が形成されることも多様性の高い群集の形成に寄与している可能性がある。

以上のように、大村湾ではおもに地形や海洋構造に基づく水の流動性が夏季の貧酸素化や餌料、生息場所など生活環境の質的、量的要素を通してマクロベントス群集に影響を及ぼしている可能性が考えられた。ただし、生物量や生息密度を左右する要素となる加入量、加入後の生残率および成長量などの要素と底層環境の様々な因子との具体的な関連性はほとんど把握し得ていない。今後の研究課題として残されている。

謝 辞

養殖研究所大村支所の菅幸義技官には調査船“くしま”を操船していただき、吉村 渉事務官には調査に協力していただいた。また、船越将二支所長 (現 日光支所長) には本研究の遂行に種々の配慮をいただいた。本報をまとめるにあたり、養殖研究所の伊藤克彦環境管理部長および前田昌調餌料生物研究室長より助言をいただいた。諸氏に厚くお礼を申し上げる。

文 献

- Akagi, S. and F. Hirayama 1991. Formation of oxygen-deficient water mass in Omura Bay. *Mar. Pollut. Bull.* **23**: 661-663.
- 風呂田利夫 1991. 東京湾内湾底生動物の生き残りと繁栄. 沿岸海洋研究ノート **28**: 160-169.
- 平山和次・川端豊喜 1982. 大村湾南部水域海水による赤潮プランクトン *Gymnodinium* sp. ('65年型種) の培養-I 1977, 1978, 1979年夏期の海況と生物学的分析結果. 長崎大水研報 **52**: 29-40.
- 飯塚昭二 1976. 大村湾における汚染の進行と赤潮プランクトンの変遷. 日プランクトン会報 **23**: 31-43.
- 飯塚昭二 1985. 大村湾 pp. 879-893, 日本全国沿岸海洋誌. 東海大学出版会, 東京.
- 飯塚昭二・入江春彦 1969. 大村湾における *Gymnodinium* 赤潮発生と海底無酸素化現象との関連. 日プランクトン会報 **16**: 99-114.
- 飯塚昭二・関 齋虹 1989. 大村湾における無酸素水塊の形成. 沿岸海洋研究ノート **26**: 75-86.
- 今林博道 1983. 底生動物群集に及ぼす貧酸素水塊の影響. 日水誌 **49**: 7-15.
- 鎌田泰彦・近藤 寛・堤由美子 1980. 九州北西部伊万里湾・大村湾の底質と CHN 組成. 長崎大教育自然科学研報 **31**: 63-82.
- 環境庁水質保全局 1988. 底質調査方法 69 pp.
- 古賀秀昭 1991. 有明海北西海域の底質及び底生生物. 佐賀水試研報 **13**: 57-79.
- 長崎県衛生公害研究所 1991. 大村湾内部生産水質影響調査結果報告書 170 pp.

- 長崎大学水産学部 1976. 大村湾水質汚濁対策総合調査報告書 114 pp.
- 長崎県水産試験場 1954. 大村湾調査報告 第一報 (長崎水試資料第60号) 117 pp.
- 長崎県水産試験場 1967. 大村地先海域における澱粉工場廃水による水質汚濁調査 (長崎水試登録第277号) 61 pp.
- 長崎県水産試験場 1993. 平成4年度赤潮貝毒監視事業報告Ⅱ 赤潮調査 (資料集) (長崎水試登録第581号) 92 pp.
- 長崎県水質審議会・長崎県環境部 1981. 大村湾水質汚濁対策基本計画 175 pp.
- 沖野哲昭 1978. 佐世保湾および大村湾における大型底棲動物の現存量と底質の硫化物含量との関係. 長崎水試研報 4: 23-29.
- 沖野哲昭・玉河道徳・森 重敏・矢田武義 1979. 大村湾における底生動物の分布—1. 現存数の分布—. 水産土木 16: 15-19.
- 森 勇 1961. 大村湾の苦潮について. 日水誌 27: 389-394.
- 森 勇・徳永武雄・桑岡亦好・藤木哲夫 1973. 大村湾の底層貧酸素水と底生有用水族の分布. 日水誌 39: 753-758.
- 代田昭彦・近藤正人 1985. 有明海 Ⅲ化学 pp. 846-862, 日本全国沿岸海洋誌. 東海大学出版会, 東京.
- 玉河道徳 1980. 夏季大村湾の底層低酸素水塊の分布に及ぼす風の影響. 長崎水試研報 6: 29-35.
- 森木重敏 1977. 近年の夏季大村湾における底層水低酸素水域の動向. 長崎水試研報 3: 95-100.
- 辻田時美 1953. 大村湾の海洋生態学的一考察. 日海洋誌 9: 1-10.
- 塚原 博・裏 公勲 1985. 有明海 Ⅳ生物 pp. 863-878, 日本全国沿岸海洋誌. 東海大学出版会, 東京.
- ウオウトウゼン サム・飯塚昭二 1990. 大村湾の表層水クロロフィル *a* 分布と人工衛星データの解析. 長崎大水研報 67: 51-71.
- 山口一登 1991. 長崎県における真珠養殖の変遷(下). 養殖研ニュース 21: 39-44.
- 横山 寿 1986. 大阪港およびその周辺海域における底生動物の分布 (第2報)—夏季相と冬季相の相違—. 全国公害研会誌 11: 73-82.
- 吉田陽一 1983. 生物指標法 pp. 25-46, 漁業環境アセスメント. 恒星社厚生閣, 東京.