

## 播磨灘堆積物中の有機態炭素・窒素, 全リン およびフェオフィチンの水平分布\*

門谷 茂\*\*, 多田邦尚\*\*, 岡市友利\*\*

### Distribution of organic carbon, organic nitrogen, total phosphorus and pheo-pigments in surface sediment from Harima-nada, the Seto Inland Sea, Japan\*

Shigeru MONTANI\*\*, Kuninao TADA\*\* and Tomotoshi OKAICHI\*\*

**Abstract:** The organic carbon, organic nitrogen, total phosphorus and pheo-pigments in marine sediments were determined using the core samples collected at 72 stations all over the Harima-nada, the Seto Inland Sea, Japan. The contents of organic carbon, organic nitrogen, total phosphorus and pheo-pigments per dry sediments were 3.1-24.7 mg/g, 0.41-3.35 mg/g, 0.15-0.68 mg/g and 9.0-60.5  $\mu\text{g/g}$  in the surface layer (0-2 cm) of the sediments, respectively. The contents of these materials were higher in the northern coastal area and the central area than in the areas near the Akashi and Naruto channels. The atomic ratio of carbon to nitrogen fluctuated in the range from 8.0 to 11.5. It seems likely that the local change of the contents in surface sediments mainly depends upon the tidal residual flow pattern in the Harima-nada and the size distribution of sediments. A good positive correlations were found between organic carbon, organic nitrogen, total phosphorus and pheo-pigments, expressed as  $Y_C = 0.304 X + 2.44$  ( $r = 0.894$ ),  $Y_N = 0.0395 X + 0.352$  ( $r = 0.841$ ), and  $Y_P = 0.00444 X + 0.229$  ( $r = 0.682$ ), where  $X$  is pheo-pigments ( $\mu\text{g/g}$ ), and  $Y_C$ ,  $Y_N$  and  $Y_P$  are organic carbon, organic nitrogen and total phosphorus (mg/g), respectively. These results suggest that most of organic matters in the surface sediments originated from *in situ* primary production. From such distributions of organic carbon, organic nitrogen, total phosphorus and sedimentation rates, the annual burial fluxes to bottom sediment in the Harima-nada were estimated to be 56,000 tons in organic carbon, 7,200 tons in organic nitrogen and 1,440 tons in total phosphorus.

#### 1. はじめに

東部瀬戸内海に位置する播磨灘は、面積 3,426 km<sup>2</sup>、平均水深 25.6 m、容積 87.7 × 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> の閉鎖性の強い内湾である。灘の北岸には、大規模な臨海工業地帯が存在する。流入する河川の多くは灘北部に集中し、加古川・市川・揖保川・千種川の 4 河川で、同海域に流入する総河川流量の 80% 近くを占めている。一方、四国および

淡路島・小豆島からの流入量は極めて限られている。

播磨灘の海洋環境の特性は、赤潮発生との関連で論じられることが多く、特に 1972 年以降、*Chattonella* 属の赤潮による度重なる大きな漁業被害のため、赤潮発生対策やその予知について社会的に大きな関心を呼んできた。しかし、赤潮発生とも関係が深いと思われる播磨灘の底質環境についての総合的な調査は、沿岸諸県の水産試験場や、塩沢ら (1979) の他 2~3 に過ぎず、灘北部の極く沿岸部の観測点が少いことから、北部河川の影響が明瞭でない。また灘全域にわたる堆積物中の有機物の詳細な分布に関しては多くの不明な点が残されている。

著者らは、播磨灘全域の 72 調査点から 1 点当り 4~5 本の柱状堆積物試料を採取し、各種の有機物の分析・定量

\* 1987年 2月26日受理 Received February 26, 1987  
播磨灘の底質環境に関する研究 I The environmental study on the Harima-nada sediment I  
香川大学農学部, 〒761-07 香川県木田郡三木町  
Faculty of Agriculture, Kagawa University,  
Miki, Kagawa, 761-07 Japan

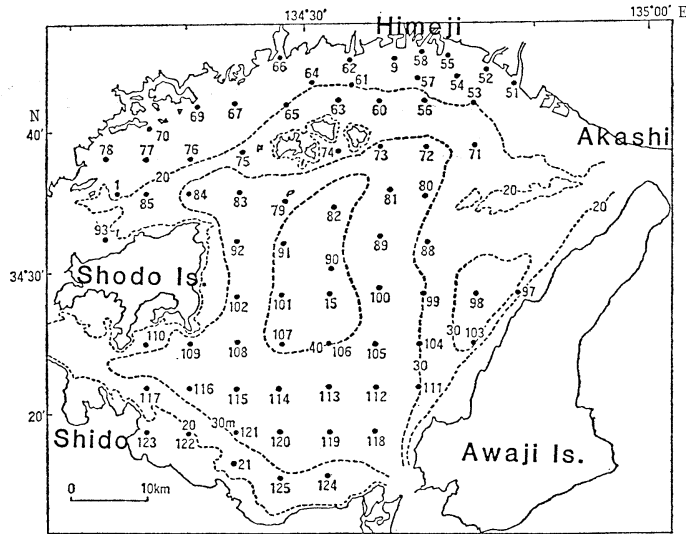


Fig. 1. Location map of sampling stations in Harima-nada, the Seto Inland Sea.

を行ってきた。本報告では、これらの分析結果に基づき、堆積物表層(0~2cm)における有機態炭素・窒素、全リンおよびフェオフィチンの分布を明らかにするとともに、播磨灘でこれまでに報告されている堆積速度から、有機態炭素・窒素および全リンの沈積埋没量を推定することを試みた。

## 2. 試料採取および分析方法

### (1) 試料採取

堆積物の柱状試料は、Fig. 1 に示した播磨灘全域の72定点で、1982年および1983年の10月~12月に、広島大学生物生産学部所属の豊潮丸ならびに、香川大学農学部の調査船カラヌスを使用して採取した。各地点とも、内径38mmの柱状採泥器を用いて4~5本の柱状試料を採取し、船上にて直ちに2~3cm毎に切断してから凍結保存して実験室に持ち帰った。実験室で凍結乾燥後、デシケーター中で保存して、後の分析に供した。

### (2) 有機態炭素・窒素の定量

乾燥堆積物試料約2gを200ml容ナス型フラスコに精秤して入れ、0.5N HCl 20mlを加えて一晩室温中に放置した後、ロータリーエバポレーターを用いて、50°C以下で減圧乾固し、無機態炭素を除去した。このフラスコ内の試料を、メノウ乳鉢で粉末状にして分析時までデシケーター中に保存した。これを有機態炭素・窒素分析用の試料とし、柳本 MT-500 型 C・N コーダーを用いて同時定量した。なお、無機態炭素については本報では議論しない。

### (3) 全リンの定量

乾燥堆積物試料約200mgを精秤し、100ml容肉厚ガラスビン(Schott社製、ねじロビン)に取り、これに1N HClを30ml加えて一昼夜室温で放置した後、GF/Cフィルターを用いて濾別した。濾液は適当倍に希釈し、モリブデンブルー法で比色定量した。この画分を塩酸抽出リン(HCl-P)と呼ぶ。また、堆積物の抽出残渣は、GF/Cフィルターごと100ml容テフロンビーカーに入れ、46%フッ化水素酸(HF)と12N HClをそれぞれ5mlずつ加えてホットプレート上で酸分解乾固後、これに1N HCl 10mlを加え、5分間超音波処理をして残余のリンを抽出した。この抽出液を先と同様にモリブデンブルー法で分析定量し、これを難溶性リン(Res.-P)とした。HCl-PとRes.-Pの和を全リン(T-P)とした。本報ではこの全リンについてのみ報告する。

### (4) フェオフィチンの定量

乾燥堆積物試料1gを精秤し、10ml容共栓付遠沈管に入れ、90%アセトン5mlを加え約15分間超音波処理を行なって粒子を分散させた後、5°C前後で12時間抽出を行なった。ついで、遠心分離(3,000rpm, 5分間)し、その上澄液についてPARSONS *et al.* (1984)の方法で比色分析し、フェオフィチン量を求めた。なお、今回は抽出液に1N HClを添加し、一部残存している可能性のあるクロロフィルもフェオフィチンに変え定量した。

## 3. 結果および考察

播磨灘の表層堆積物(0~2cm深)中の有機態炭素お

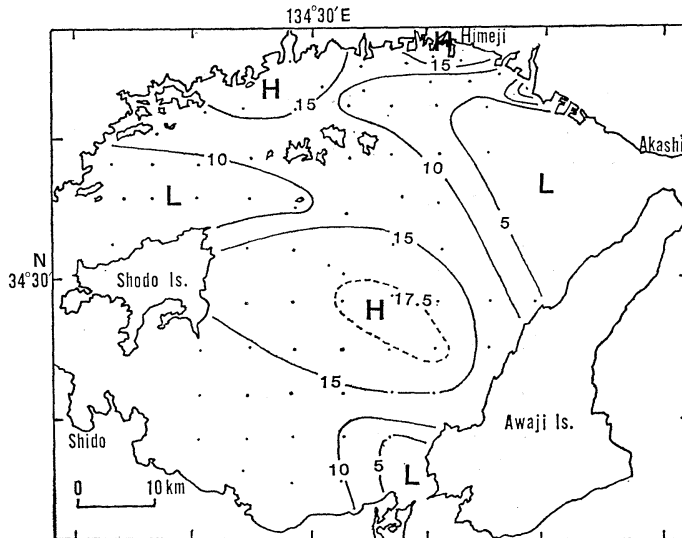


Fig. 2. Distribution map of organic carbon in surface sediments (mg/g).

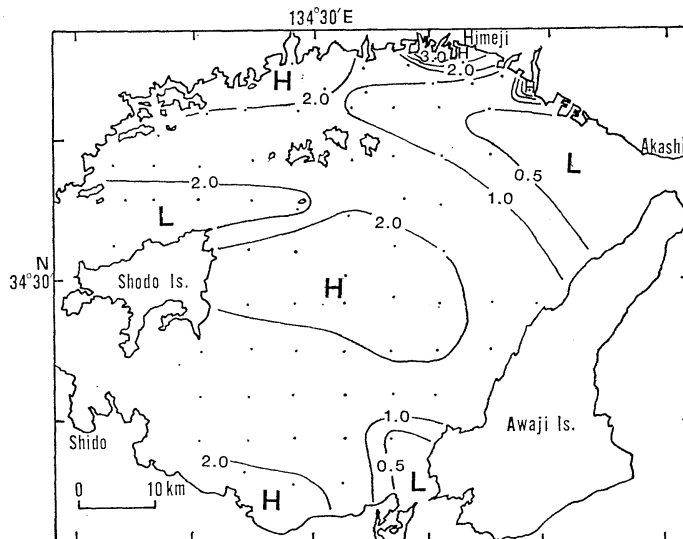


Fig. 3. Distribution map of organic nitrogen in surface sediments (mg/g).

よび窒素の水平分布をそれぞれ Fig. 2 と Fig. 3 に示した。有機態炭素と窒素は、ほぼ同じ分布傾向を示しており、灘北部沿岸域と灘中央部で、それぞれ  $15\text{mgC/g}$ 、 $2.0\text{mgN/g}$  以上の高濃度域がみられた。とりわけ、加古川・市川両河口部の表層堆積物中では、有機態炭素がそれぞれ  $27\text{mgC/g}$ 、 $25\text{mgC/g}$ 、窒素については  $3.6\text{mgN/g}$ 、および  $3.4\text{mgN/g}$  という高濃度の値が得られ、これらの都市河川の汚染が進行していることが推測される。有機態炭素についてみれば、MURAKAMI

(1977)、塩沢ら (1979)、山岡 (1983) が報告している値 (灘北部沿岸域や灘中央部で  $20\text{mgC/g}$  以上) に比べ、若干低い傾向にあるが、これは本報告では無機態炭素を完全に除去していることと、定量法が異なっているためと考えられる。窒素については大きな違いはなく、互いに比較的良く一致している。

Fig. 4 に表層堆積物中の全リンの濃度分布を示した。有機態炭素・窒素と同様に市川河口の St. 58 で最も高濃度 ( $0.68\text{mg/g}$ ) の値が得られたが、加古川河口部 (St.

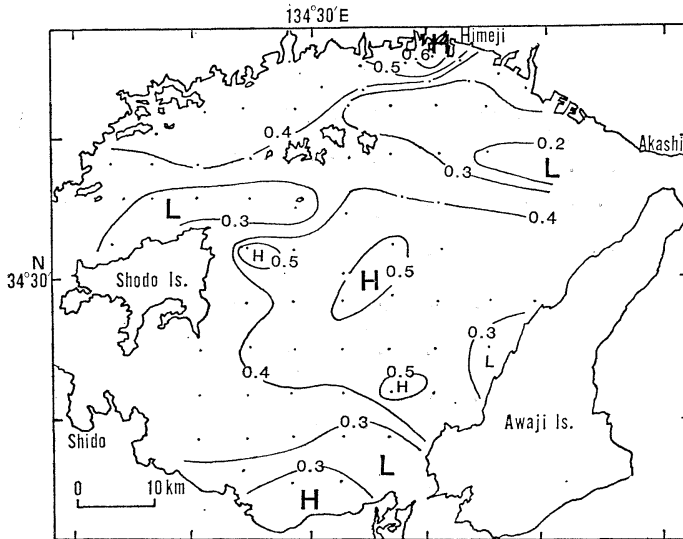


Fig. 4. Distribution map of total phosphorus in surface sediments (mg/g).

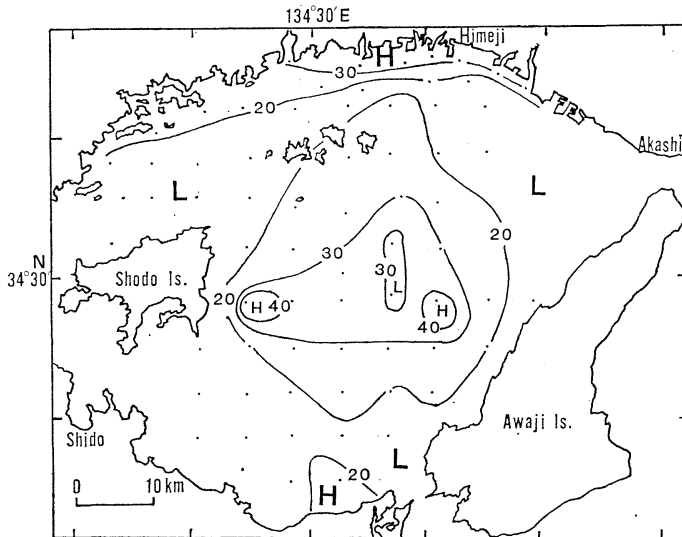


Fig. 5. Distribution map of pheo-pigments in surface sediments ( $\mu\text{g/g}$ ).

51) では  $0.3 \text{ mg/g}$  とむしろ低い値を示しており、各河川によって運ばれてくる陸起源粒子のリン含量に多寡があるものと予想される。また、灘中央部の St. 89 で  $0.50 \text{ mg/g}$  の高濃度の値が得られた。一方、明石海峡、鳴門海峡および淡路島西側、小豆島西側では、 $0.3 \text{ mg/g}$  以下の低濃度域が広がっており、これら以外の海域はおおむね  $0.4 \sim 0.5 \text{ mg/g}$  の濃度範囲であった。

次にフェオフィチンの水平分布を Fig. 5 に示した。フェオフィチンも有機態炭素・窒素と同様に、灘北部沿

岸域および灘中央部において高濃度の値がみられ、逆に明石海峡、鳴門海峡付近および小豆島の北部に低濃度域がみられた。また、灘北部沿岸域では、何れの地点でも  $20 \sim 40 \mu\text{g/g}$  の範囲に入っており、灘中央部では、 $40 \mu\text{g/g}$  を超える値が得られた。

以上のように、表層堆積物中のこれらの物質の水平分布は、何れも良く似た形をしており、明石、鳴門両海峡を通過する潮流の流路付近では低濃度であり、一方灘中央部から南部および北西沿岸部に多量に分布していた。

井内(1982)によると, 播磨灘の堆積物の多くは中央粒径値(Mdφ)が4以上の泥質堆積物であるが, Mdφ6以上のごく細粒なものは灘中央部および南部に広く分布し, 北部海域では点在している。

また, 真鍋・竹末(1974)は, 播磨灘北部海域の堆積物中の重金属濃度と, 堆積物粒子中で粒径53μm以下の微細な粒子の占有割合の多寡が良く一致していることを報告している。

これらのことから, 播磨灘表層堆積物中の有機物の水平分布パターンは, 直上の有光層中で生産される植物プランクトン現存量の多寡だけでなく, 播磨灘に存在する恒流系(柳, 1982)から見て灘中央部に微細粒子が集積する過程が考えられ, これにより大きく影響を受けていると思われる。

次に, 表層堆積物中のフェオフィチンと有機態炭素, 窒素および全リン含有量の関係をそれぞれ Fig. 6, 7, 8に示した。

これらを見ると, 三者ともに比較的高い相関関係(C: 0.894, N: 0.841, P: 0.682)と, 炭素・窒素については小さな, リンでは大きなy切片値(フェオフィチンの量が0の時の有機態炭素・窒素および全リン濃度, C: 2.44 mg/g, N: 0.352 mg/g, P: 0.229 mg/g)をもっていることがわかる。このy切片値の多くは陸起源粒子のものと考えられることができるが, そのC:N:P比は27.5:3.4:1となり, きわめてリンに富んでいることがわか

る。

また, 有機態炭素・窒素についてはy切片値が小さいことから, 灘の大部分の海域で堆積している有機物の多くは, 播磨灘の有光層中で生産されたものであると思わ

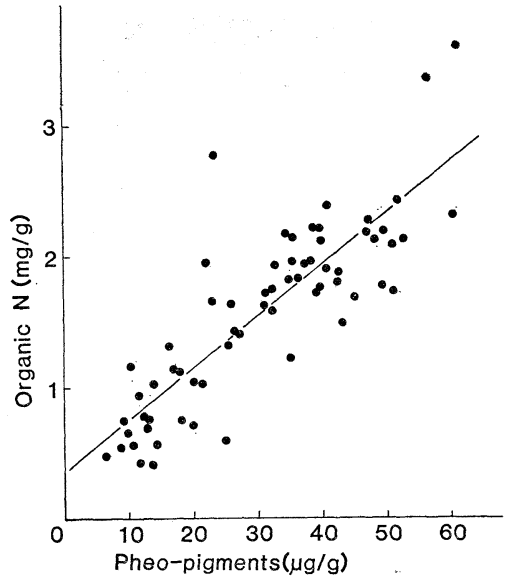


Fig. 7. Correlation between pheo-pigments and organic nitrogen in surface sediments. The data follow the equation; organic N=0.0395×pheo-pigments+0.352 (r=0.841).

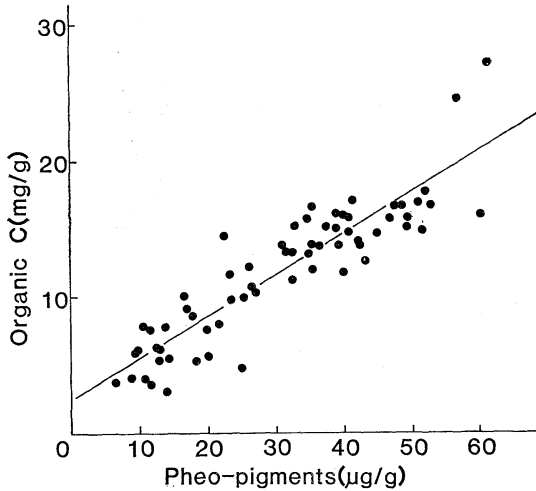


Fig. 6. Correlation between pheo-pigments and organic carbon in surface sediments. The data follow the equation; organic C=0.304×pheo-pigments+2.44 (r=0.894).

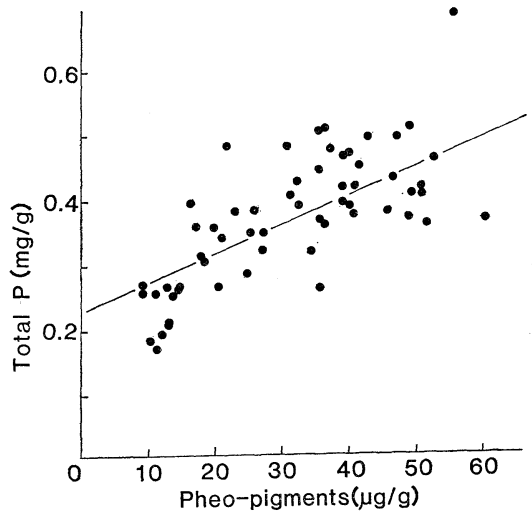


Fig. 8. Correlation between pheo-pigments and total phosphorus in surface sediments. The data follow the equation; total P=0.00444×pheo-pigments+0.229 (r=0.682).

れる。

次に、今回求めた播磨灘表層堆積物中の有機態炭素・窒素および全リンの濃度と、堆積速度からこれらの年間堆積量を求めた。

星加ら (1983), 門谷・岡市 (1984) が報告している播磨灘全域の 8 点における堆積速度は,  $0.11 \sim 0.33 \text{ g/cm}^2/\text{y}$  であり, 北部では比較的小さく南部で大きい傾向にあるが, 平均すると  $0.2 \text{ g/cm}^2/\text{y}$  程度と見積ることができる。今回得られた有機態炭素・窒素および全リン濃度の平均値は, それぞれ  $14.0 \text{ mg C/g}$ ,  $1.80 \text{ mg N/g}$ ,  $0.36 \text{ mg P/g}$  であり, 堆積域を泥質堆積物のおおよその分布域 ( $2,000 \text{ km}^2$ ) とみなすと, 播磨灘における有機態炭素・窒素の年間堆積量は, それぞれ  $56,000 \text{ トン}$ ,  $7,200 \text{ トン}$ ,  $1,440 \text{ トン}$  と見積ることができる。

播磨灘の基礎生産量は, 遠藤ら (1982) によって平均  $0.37 \text{ gC/m}^2/\text{day}$  と報告されているので, 灘全体の 1 年当りの生産量は, 炭素についておよそ  $463,000 \text{ トン}$  となり, 先の年間堆積量  $56,000 \text{ トン}$  は, この 12% に相当する。

窒素とリンについてみると, 播磨灘への陸上からの流入負荷は, 1 日当たりそれぞれ  $70$  および  $7 \text{ トン}$  (柳ら, 1985) と推定されているので, 堆積している量は窒素についてはその 28%, リンでは 56% を占めていることになる。つまり, リンの方がより粒子化され易く, 海水中から多量に除去されることをこの数字は示している。

以上の結果が示すように, 播磨灘のような内湾では陸上からの窒素やリンの流入負荷量のうちのかなりの部分が, 低次生物生産過程を通して底泥堆積物に移行しており, このプロセスが沿岸生態系に与える影響は大きいと言わなければならない。

また, 先に求めた播磨灘表層堆積物中の有機態炭素, 窒素・全リンの平均値の原子比は  $\text{C}:\text{N}:\text{P}=101:11.1:1$  となり, 鎌谷 (1979) が報告している東京湾での値  $76:7.6:1$  に比べてリンの比が小さいことがわかる。これは, 堆積するプロセスがほぼ同様だと考えるなら, 河川を通して流入する有機物の組成の差異を表わしているものと考えられる。すなわち, 播磨灘では東京湾に比べてリンの流入する比率が低いことを物語っている。このことは, 周辺の工業化の程度, 人口などを比べてみると興味深い事実であろう。

最後に, 試料採取に御協力いただいた香川大学農学部浜垣孝司技官および広島大学生物生産学部豊潮丸の船長はじめ乗組員の皆さんに記して感謝します。

なお, 本研究の一部は, 文部省科学研究費 (奨励研究 56760133, 57760167) の補助の下に実施された。

## 文 献

- 遠藤拓郎, 小山治行, 今林博道 (1982): 播磨灘における植物プランクトンと, 海況とくに栄養塩の分布および水質の生理分析. 環境科学研究報告書, B148-R-14-8, 海洋環境特性と赤潮発生に関する基礎研究, p. 81-92.
- 星加 章, 塩沢孝之, 松本英二 (1983): 播磨灘における堆積速度と重金属汚染. 日本海洋学会誌, **39**, 82-87.
- 井内美郎 (1982): 瀬戸内海における表層堆積物の分布. 地質学雑誌, **88**, 665-681.
- 鎌谷明善 (1979): 東京湾における懸濁物及び堆積物中の燐, 珪素, 炭素と窒素について. 日本水産学会誌, **45**, 1109-1114.
- 真鍋武彦, 竹末敏男 (1974): 播磨灘底土の汚染について I. 汚染の数値的解析について. 兵庫県水産試験場報告 (14), 61-67.
- 門谷 茂, 岡市友利 (1984): Pb-210 法による播磨灘の堆積速度. 香川大学農学部学術報告, **36**, 25-30.
- MURAKAMI, A. (1977): Organic pollution of bottom mud in the Seto Inland Sea and its removal experiment. Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab., **10**, 53-72.
- 塩沢孝之, 川名吉一郎, 星加 章, 谷本照己, 滝村 修 (1979): 瀬戸内海の底質. 中国工業技術試験所報告, (4), 1-24.
- PARSONS, T.R., Y. MAITA and C.M. LALLI (1984): A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford. 173 pp.
- 山岡到保 (1983): 東部瀬戸内海底質中の脂肪酸分布. 日本農芸化学会誌, **57**, 845-849.
- 柳 哲雄 (1982): 播磨灘の赤潮発生機構に関する一考察. 環境科学研究報告書 B148-R-14-8 海洋環境特性と赤潮発生に関する基礎研究, p. 121-126.
- 柳 哲雄, 柴木秀之, 武岡英隆 (1985): 播磨灘・大阪湾の塩分, 窒素, リン収支. 沿岸海洋研究ノート, **22**, 159-164.