

— 論文 —

## 有明海奥部と諫早湾における表層堆積物中の有機物の分布と 有機炭素安定同位体比\*

岡村 和麿<sup>†</sup> · 田中 勝久<sup>†</sup> · 木元 克則<sup>†</sup> · 清本 容子<sup>†</sup>

### 要 旨

2002年および2003年の夏季に有明海奥部・中部域および諫早湾において、表層堆積物の含泥率、酸化還元電位、有機炭素量、全窒素量、クロロフィル色素量および有機炭素安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ )を測定した。有機炭素量は、有明海奥部の鹿島沖泥質平坦地の六角川と塩田川に挟まれた干潟浅海域および諫早湾の小長井沖から湾中部にかけての海域において、高濃度( $>18\text{ mgC gDW}^{-1}$ )を示した。クロロフィル色素量は、有明海奥部の塩田川沖海底水道北部周辺海域および諫早湾の中部域において、高濃度( $>100\text{ }\mu\text{g gDW}^{-1}$ )を示した。 $\delta^{13}\text{C}$ は、有明海奥部の浅海域で低く( $<-22.0\text{ ‰}$ )、諫早干拓潮受け堤防付近を除く諫早湾と有明海中部域で高い値を示した( $-21.0\sim-19.4\text{ ‰}$ )。クロロフィル色素量および $\delta^{13}\text{C}$ の分布様式から、諫早湾では植物プランクトン起源の有機物が高濃度に堆積していることが推察され、実際に広い範囲で酸化還元電位が低下していることが観測された。潮流速の低下した諫早湾および諫早湾湾口の周辺では、赤潮植物プランクトン起源有機物の堆積により貧酸素水塊の頻発や慢性化が危惧される。

キーワード：有明海，諫早湾，堆積物，有機物，安定同位体比

### 1. はじめに

近年の有明海では、赤潮の頻発や大規模化(堤ら, 2003)、底層貧酸素水塊の発生、2000年度ノリ漁期の大規模な珪藻赤潮によるノリの色落ち被害等の環境異変が、大きな社会問題となっている。有明海では最大干満差5 m以上に達する潮汐により海水が攪拌され、酸素が海底まで供給されることによりベントスが豊富に生息し、巻き上げられた底泥が赤潮の発生を抑制していたとされている(日本海洋学会海洋環境問題委員会,

2001)。しかし、有明海中部から奥部の近年の潮流の減少(藤原ら, 2004; 柳・塚本, 2004)が底泥の巻き上げを減少させて浮泥の堆積を促すとともに、透明度の上昇を招き、赤潮植物プランクトンの増加をもたらす可能性が指摘されている(田中・児玉, 2004)。有明海奥部と諫早湾の底層では、夏季に大規模な貧酸素水塊が発生することが報告されている(日本海洋学会海洋環境問題委員会, 2002)。また、有明海奥部西側から諫早湾にかけての海域では、底質の細粒域が拡大しているとの報告もある(有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会, 2002; 近藤ら, 2003)。したがって、赤潮植物プランクトン起源の有機物の細粒域への沈降・堆積とその分解による酸素消費が、近年における貧酸素水塊の発生要因のひとつとして重要であることが推察される。

\* 2005年4月27日受領；2005年12月1日受理  
著作権：日本海洋学会, 2006

<sup>†</sup> 独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所；  
〒851-2213 長崎県長崎市多良町 1551-8  
主著者 e-mail address : mrmro@fra.affrc.go.jp

しかし、貧酸素水塊の発生とも関連が深い有明海・諫早湾の底質環境と有機物の分布については、1980年代以前の干潟域における調査例(鎌田ら, 1979; 近藤, 1986)および近年の有明海全域における調査例(近藤ら, 2003)があるが、底泥中の有機物の起源など多くの不明な点が残されている。

そこで本報告では、2002年7月と2003年6月に有明海奥部・中部域および諫早湾において採取された表層堆積物試料を用いて、含泥率、酸化還元電位、有機炭素量、全窒素量、クロロフィル色素量および有機炭素安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ )等の底質と有機物の特性を把握し、表層堆積物中の有機物の起源と貧酸素水塊との関係について検討した。

## 2. 方法

2002年7月7日, 8日および2003年6月22日~24日に独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所所属の調査船「しらふじ丸」により、有明海奥部(2003年は西側の海域のみ)・中部域および諫早湾の水深約5 m以深の海域の堆積物をコア採取器(G.S. 表層採取器, 離合社製, アクリル製チューブ内径75 mm, 長さ600 mm)を用いて採取した(Fig. 1)。また、主に水深5 m以浅の定点では、小型漁船により2002年7月25日, 26日に有明海奥部の干潟域において、2003年6月23日に諫早干拓潮受け堤防前面の浅海域において、エクマン・バージ採取器を用いて堆積物を採取した。堆積物試料採取定点数は、2002年7月は56定点, 2003年6月は52定点である。

G.S. 表層採取器は1回の採泥で底泥コアを3本のアクリルチューブに採取できる。底泥コア試料は採泥後しばらく静置した後、3本のうち2本を表層泥が巻き上がらないように直上水をサイフォンおよび下部からの押し上げにより取り除き、表層泥(0~1 cm)を採取した。一方の試料はプラスチック容器に入れ冷凍保存し、他方の試料は良く攪拌した後に一部(湿重0.5 g前後)をN, N-ジメチルホルムアミド(DMF) 12 mlの入ったバイアル3本に入れて冷凍保存し、クロロフィル色素量(クロロフィル a 量およびフェオ色素量)の分析に供した。分析は遠心分離(3,000 rpm, 10分間)した上澄み液についてDMFを用いた蛍光測定法(Suzuki and

Ishimaru, 1990)に従った。なお、今回はクロロフィル a 量およびフェオ色素量の和(クロロフィル色素量)の平均値を解析に用いた。残りの底泥コア1本を用い、直上水を残した状態で船上においてORP計(RM-20P; DKK・TOA製)を底泥表面から1 cm差し込み酸化還元電位を測定した。測定値には、標準水素電極に対する補正を行ない、酸化還元電位(Eh)を求めた。

プラスチック容器に冷凍保存した底泥試料は、凍結乾燥後秤量し含水率(%), 含泥率(粒径64  $\mu\text{m}$ 未満の重量%)の測定を行なった。有機炭素量, 全窒素量および有機炭素安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ )の分析には、粒径500  $\mu\text{m}$ 未満の表層堆積物を用い、元素分析装置EA1110(CEインストルメンツ社製)と質量分析装置DELTAPlus(サーモエレクトロン社製)からなるオンライン分析システムを使用した。なお、有機炭素量および $\delta^{13}\text{C}$ の分析は三島・星加(1995)の方法に従い、堆積物を銀製容器に入れた後、無機の炭酸塩を除くために1 N-HClを気泡が発生しなくなるまで加え、真空デシケータ中で乾燥させた試料を用いた。有機炭素量, 全窒素量の分析精度は、それぞれ $\pm 1.0$ ,  $\pm 1.3$ %であった。 $\delta^{13}\text{C}$ は標準物質からの同位体比の差の1,000分率で以下のように表される。

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = (\text{R}_{\text{SA}}/\text{R}_{\text{ST}} - 1) \times 1,000$$

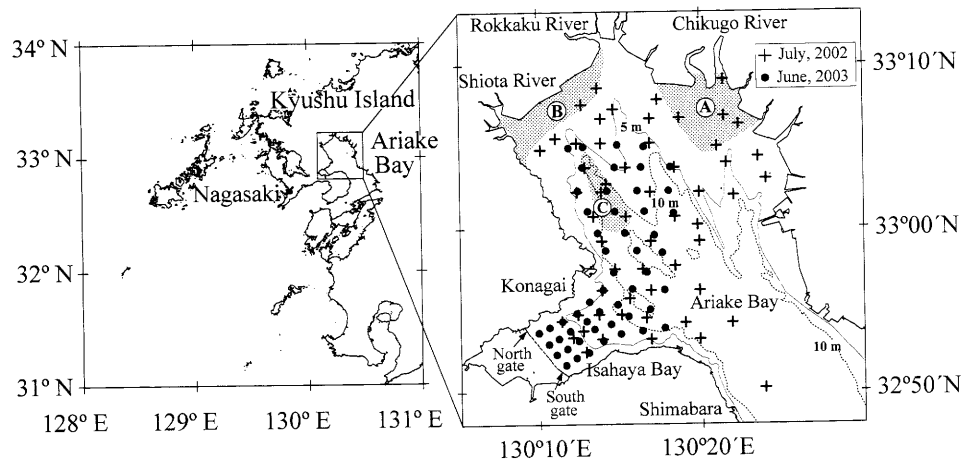
ここで、 $\text{R}_{\text{SA}}$ は試料中の安定同位体比( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ),  $\text{R}_{\text{ST}}$ は標準物質(PDB)の安定同位体比( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ )である。実際の測定にはNBS19で検定したL-アラニンを作業標準物質として用いた(分析精度: $\pm 0.10$ ‰)。

エクマン・バージ採取器で採取した底泥からは、直上水がある状態で内径30 mmのポリプロピレン製チューブ(注射筒の筒先部を除去したもの)でコア数本を採取し、ORP計による底泥表面下1 cmのEhの測定を行い、直上水を排水した後、表層泥(表層より厚さ1 cmまで)を採取し、底泥コアと同様の分析に供した。

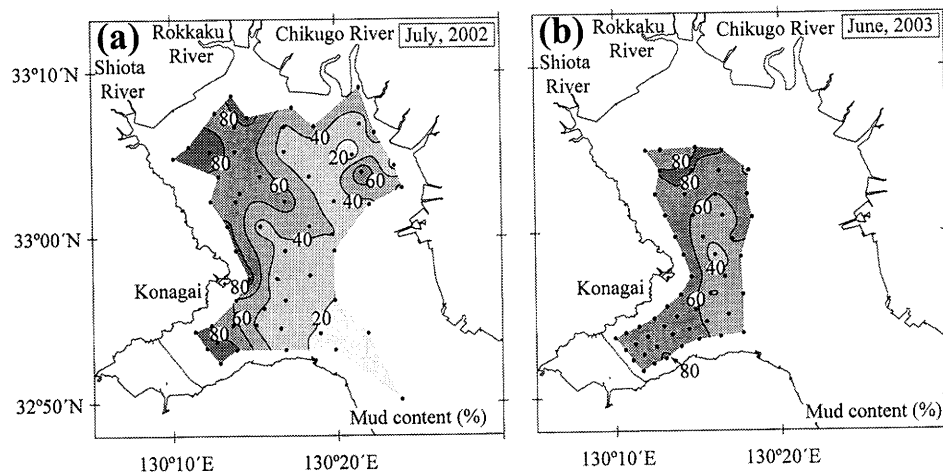
## 3. 結果

### 3.1. 底質と有機物

2002年の表層堆積物の含泥率(Fig. 2)は、筑後川デルタ(Fig. 1, A)とその周辺の東部海域で20~60%と低いのに対し、西部の鹿島沖泥質平坦地(Fig. 1, B)から



**Fig. 1.** Sampling stations for surface sediments in the inner part of Ariake Bay and Isahaya Bay in July 2002 and June 2003. Hatched areas A, B and C indicate the Chikugo River delta, mudflat area off Kashima and the submarine channel off the Shiota River, respectively (Kamada, 1979).



**Fig. 2.** Horizontal distributions of mud content ( $\phi < 64 \mu\text{m}$ ) in the surface sediments of the inner part of Ariake Bay and Isahaya Bay in July 2002 (a) and June 2003 (b).

諫早湾にかけての水深 10 m 以浅のほとんどの海域で 60%以上を示し、5 m 以浅では 80%前後を示した。2003 年ではほぼ同様の海域で表層堆積物の含泥率は 60%以上を示したが、その中で有明海奥部沖合の水深 5~10 m の海域には含泥率 80%以上を示す定点が見られ、含泥率 60%以上を示す海域も 2002 年に比べ沖合に拡大した。また、諫早湾では 2002 年に見られた 80%以上の含泥率を示す表層堆積物の範囲は 2003 年には大きく減少する一方、含泥率 60%以上を示す海域は 2002 年に比べ沖合に拡大していた。このような経年含泥率変動の

原因としては、河川や諫早湾調整池からの懸濁物供給量の変動、風浪や台風等の気象条件による底質への物理的な影響などが考えられる。

表層堆積物中の有機炭素量 (Fig. 3) は、鹿島沖泥質平坦地と諫早湾の水深 10 m 以浅において  $16 \text{ mgC gDW}^{-1}$  以上を示し、その分布は含泥率 60%以上の範囲 (Fig. 2) とほぼ一致した。有明海奥部の  $18 \text{ mgC gDW}^{-1}$  以上の海域は、2002 年では鹿島沖泥質平坦地の六角川と塩田川に挟まれた岸側海域 (最大値:  $23.0 \text{ mgC gDW}^{-1}$ ) を中心に広がり、2003 年では奥部の含泥率 80%以上を示

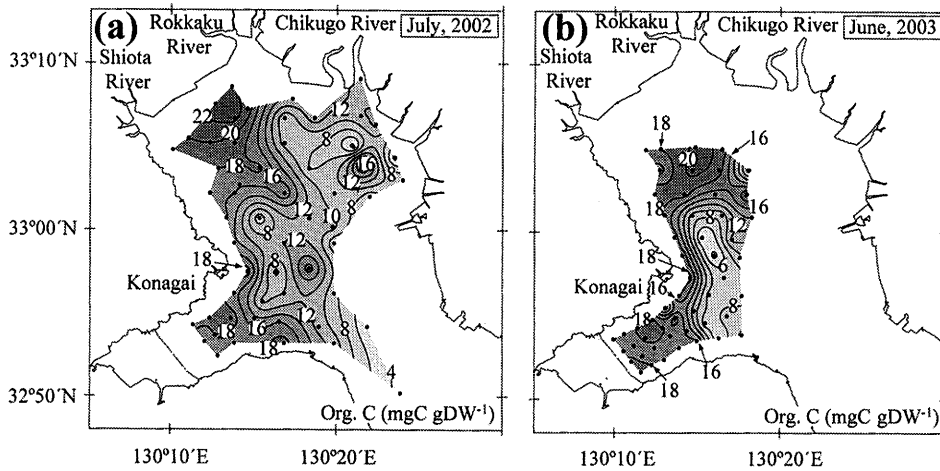


Fig. 3. Horizontal distributions of organic carbon in the surface sediments of the inner part of Ariake Bay and Isahaya Bay in July 2002 (a) and June 2003 (b).

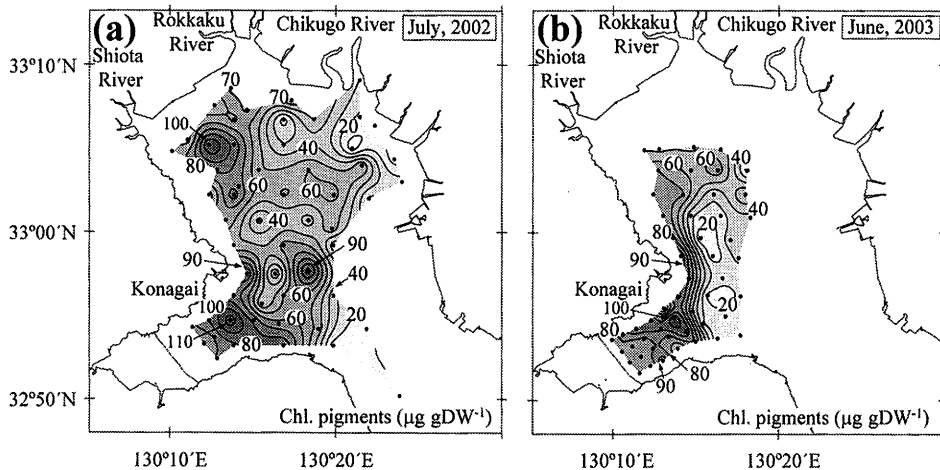


Fig. 4. Horizontal distributions of chlorophyll pigments (chlorophyll *a* + phaeopigments) in the surface sediments of the inner part of Ariake Bay and Isahaya Bay in July 2002 (a) and June 2003 (b).

す範囲 (Fig. 2) 付近に分布していた。諫早湾では、兩年とも小長井沖から諫早湾中部にかけて有機炭素濃度の高い海域が存在し、最大値で  $19.9 \text{ mgC gDW}^{-1}$  (2003年) に達した。一方、含泥率の低い筑後川デルタと塩田川沖海底水道 (Fig. 1, C) 以南から島原沖にかけての大部分では、 $16 \text{ mgC gDW}^{-1}$  以下であった。

表層堆積物のクロロフィル色素量 (クロロフィル *a* 量 + フェオ色素量) (Fig. 4) は、六角川河口と鹿島沖泥質平坦地から塩田川沖海底水道北部にかけての海域および諫早湾とその周辺海域で高く、 $60 \text{ } \mu\text{g gDW}^{-1}$  以上

の値を示した。また、塩田川沖海底水道北部および諫早湾中部域では、 $80 \sim 100 \text{ } \mu\text{g gDW}^{-1}$  以上と高く、2002年の諫早湾中部域では最大値  $112 \text{ } \mu\text{g gDW}^{-1}$  を示した。諫早湾とその周辺の高濃度のクロロフィル色素量を示す海域は、有機炭素濃度の高い海域 (Fig. 3) にほぼ一致していたが、塩田川沖海底水道北部の高濃度域の中心 ( $80 \sim 100 \text{ } \mu\text{g gDW}^{-1}$  以上) は有機炭素濃度の高い岸側海域より沖に分布していた。一方、含泥率の低い筑後川デルタや島原沖の大部分では、 $40 \text{ } \mu\text{g gDW}^{-1}$  以下の海域が広がっていた。

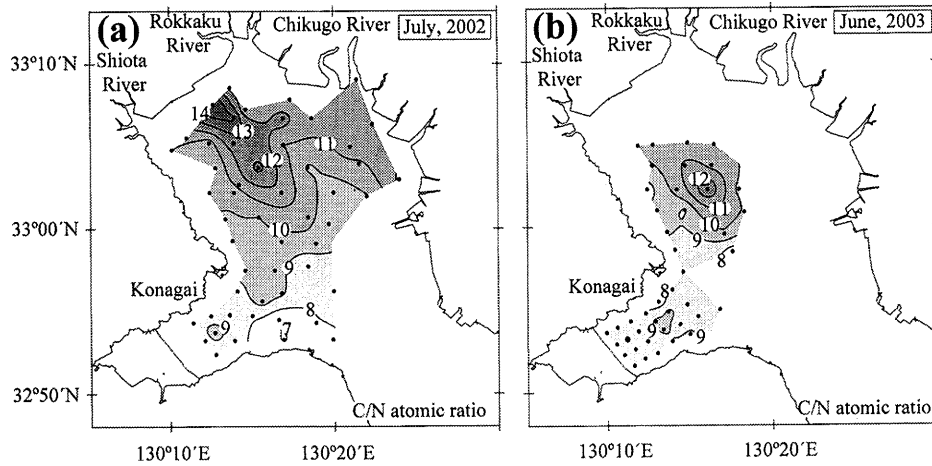


Fig. 5. Horizontal distributions of the C/N atomic ratio in the surface sediments of the inner part of Ariake Bay and Isahaya Bay in July 2002 (a) and June 2003 (b).

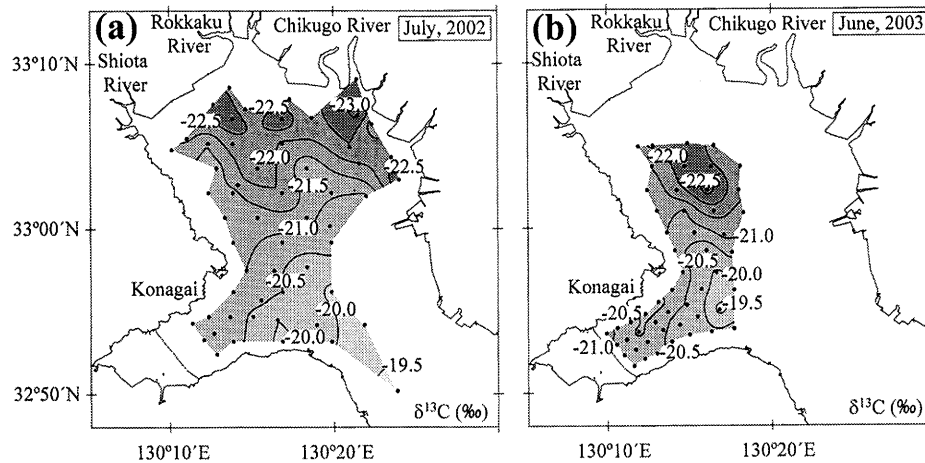


Fig. 6. Horizontal distributions of  $\delta^{13}\text{C}$  in the surface sediments of the inner part of Ariake Bay and Isahaya Bay in July 2002 (a) and June 2003 (b).

2002年の表層堆積物のC/N比 (Fig. 5) は、筑後川デルタから鹿島沖泥質平坦地までの干潟域から水深10 m以浅のほとんどの海域で11以上であり、鹿島沖泥質平坦地の六角川と塩田川に挟まれた干潟浅海域で14以上の高い値を示した。2003年では鹿島沖泥質平坦地の六角川と塩田川に挟まれた海域の沖合(10 m以浅)で10以上を示した。両年とも、南方ほどC/N比は低くなる傾向にあり、諫早湾および有明海中部域では一部の海域を除き9以下 (Fig. 5) を示した。ただし、2002年の諫早湾湾口南部周辺では8以下を示した。

表層堆積物の $\delta^{13}\text{C}$  (Fig. 6) は、有明海奥部の筑後川デルタから鹿島沖泥質平坦地までの干潟域から水深5 m以浅の浅海域において $-22.0\text{‰}$ 以下(2002年)と低く、鹿島沖泥質平坦地の六角川と塩田川に挟まれた海域で $-22.9\text{‰}$ 、筑後川河口付近で $-23.1\text{‰}$ を示した。一方、諫早湾では2003年の諫早干拓潮受け堤防の北部および南部排水門付近において、それぞれ $-21.4\text{‰}$ 、 $-21.0\text{‰}$ と周囲に比べ若干低い値を示した。2002年と2003年を通じて有明海中部域では $-21.0\text{‰}$ ~ $-19.4\text{‰}$ 、排水門付近を除いた諫早湾では $-20.8\text{‰}$ ~ $-20.0\text{‰}$ で、有明

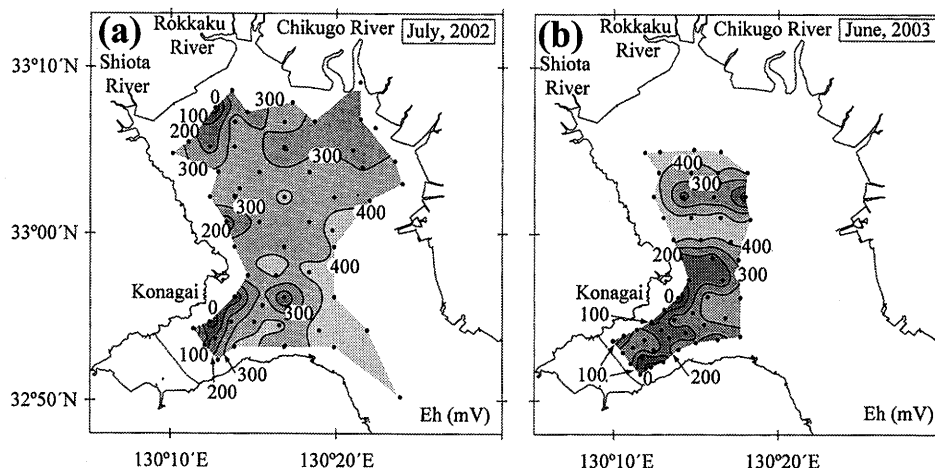


Fig. 7. Horizontal distributions of redox potential (Eh) in the surface sediments of the inner part of Ariake Bay and Isahaya Bay in July 2002 (a) and June 2003 (b).

海奥部で低く、諫早干拓潮受け堤防付近を除く諫早湾と有明海中部域で高い値を示した。

### 3.2. 表層堆積物の酸化還元電位

表層堆積物の酸化還元電位 (Eh) (Fig. 7) は、2002 年では鹿島沖泥質平坦地の六角川と塩田川に挟まれた岸側海域 ( $-21$  mV) と諫早湾北部小長井沖の水深 5 m 付近の海域 ( $-112$  mV) において、負の値を示した。さらに 2003 年では、諫早湾湾口部北部沿岸の水深 5 m 付近の海域および北部・南部排水門付近において 100 mV 以下を示し、湾口部北側と南部排水門付近で最も低く、それぞれ  $-29$  mV,  $-37$  mV と負の値となった。Eh が負の値を示した海域では、有機炭素量も  $18$  mgC gDW $^{-1}$  以上と高い傾向があった (Fig. 3)。

## 4. 考察

沿岸海域の表層堆積物中の主要な有機炭素の起源として、植物プランクトンなどの海産生物起源および河川から負荷される陸起源 (主に陸上植物由来) の有機物が考えられる。近年、陸起源有機物の有機炭素安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) が海産生物起源有機物の  $\delta^{13}\text{C}$  より低いことを利用して  $\delta^{13}\text{C}$  を用いた有機物の起源の推定が行なわれている (Hedges and Parker, 1976; Fry and Sherr, 1984; Wada *et al.*, 1987; Gordon and Goñi, 2003)。

有明海と同じ閉鎖性の高い内湾として大阪湾や東京湾などが挙げられ、古くから夏季に赤潮や貧酸素が問題となっている (城, 2002; 星加, 2002; 鎌谷, 1993)。大阪湾では湾奥の表層堆積物 (表層から 2 cm) の有機炭素量は  $16\sim 26$  mgC gDW $^{-1}$  であり、有明海 (Fig. 3) とほぼ同じ値の範囲を示す。また、 $\delta^{13}\text{C}$  の研究結果から、その約 80% は海洋起源と推定されている (Mishima *et al.*, 1999)。大阪湾底泥中のクロロフィル色素量は、水深 20 m 以浅で  $60$   $\mu\text{g}$  gDW $^{-1}$  以上、最大で  $87$   $\mu\text{g}$  gDW $^{-1}$  (水深 10~20 m) を示し (門谷ら, 1991)、有明海の最大値  $112$   $\mu\text{g}$  gDW $^{-1}$  (諫早湾) に比べて低かった (Fig. 4)。一方、東京湾の湾奥では、表層堆積物 (表層から 5 cm) の有機炭素量は  $10\sim 36$  mgC gDW $^{-1}$ 、クロロフィル色素量は  $31\sim 220$   $\mu\text{g}$  gDW $^{-1}$  と有明海に比べて最大で 1.5~2 倍高い値を示した。 $\delta^{13}\text{C}$  は荒川や多摩川の河口域において  $-24$  ‰以下、それ以外では  $-20.4$  ‰~ $-18.1$  ‰と有明海に比べて高く、東京湾の高い一次生産性とそれによる有機物の堆積を反映していた (小川ら, 1994)。このように、有明海の浅海域における表層堆積物中の有機炭素およびクロロフィル色素の濃度は、有機炭素では東京湾ほど高くないものの大阪湾に近く、クロロフィル色素では大阪湾を上回っていた。

有機炭素安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) は、一般に中緯度の海産植物プランクトンで  $-20.0$  ‰前後、陸域の C3 植物で  $-27.0$  ‰前後を示すことが知られている (例えば、和田,

1986; O'Leary, 1981)。有明海では表層堆積物の  $\delta^{13}\text{C}$  (Fig. 6) は、筑後川河口付近が  $-23\%$ 以下で最も低く、筑後川デルタには筑後川から負荷された陸起源の有機物が多く含まれると考えられる。また、鹿島沖泥質平坦地とその周辺の水深 5 m 以浅の海域においても、ほとんどの表層堆積物の  $\delta^{13}\text{C}$  は  $-22\%$ 以下の低い値を示し、同様に陸起源有機物の影響が強いものと考えられる。一方、諫早湾の表層堆積物の  $\delta^{13}\text{C}$  (Fig. 6) は、有明海奥部に比べて  $1\sim 2\%$ 程度高い値を示すが、これは陸起源有機物に比べて高い  $\delta^{13}\text{C}$  をもつ海産生物起源有機物の影響を強く受けているためと推察される。

C/N 比も有機物の起源の指標として使用され、海産植物プランクトンで 6.9 前後、陸上植物では 35 以上を示すことが知られている (例えば, Bordovskiy, 1965; 中井ら, 1982; Saito *et al.*, 1989)。有明海の表層堆積物の C/N 比 (Fig. 5) は、筑後川デルタから鹿島沖泥質平坦地にかけて 11 以上、鹿島沖泥質平坦地の六角川と塩田川に挟まれた浅海域で 14 以上と最も高い値を示し、C/N 比の分布も  $\delta^{13}\text{C}$  と同様に陸起源有機物の強い影響を示している。一方、諫早湾および有明海中部域では 9 以下 (Fig. 5) を示し、有明海奥部に比べて海産生物起源有機物の影響が増加していることが推察される。

以上のように、 $\delta^{13}\text{C}$  および C/N 比の分布から、有機物の起源についてほぼ同様の傾向が示唆され、筑後川デルタから鹿島沖泥質平坦地にかけて陸起源有機物の強い影響が推察された。中川 (2003) は、流速計による観測から、筑後川から西向きに泥の輸送が生じていることを指摘している。本研究で得られた有明海奥部における表層堆積物の  $\delta^{13}\text{C}$  の分布も、筑後川から負荷された陸起源有機物が筑後川デルタから鹿島沖泥質平坦地にかけて堆積していることを示している。しかし、C/N 比は鹿島沖泥質平坦地で 14 以上と最も高く、筑後川河口域よりも陸起源有機物の影響が強いことが示され、 $\delta^{13}\text{C}$  とは異なる傾向を示していた。これは、堆積物の C/N 比が微生物の媒介する初期の続成作用 (分解) による影響を受けて、値が変化し易いことや (Thornton and McManus, 1994; Meyers, 1994)、陸域では有機物に含まれる植物の種類等によっても値が大きくばらつく傾向にある (Tan and Strain, 1979) ためと考えられる。

有明海奥部の六角川河口と鹿島沖泥質平坦地から塩田川沖海底水道北部にかけての海域および諫早湾では、表層堆積物中にクロロフィル色素量が高濃度に存在し有機物への植物プランクトンの寄与が示唆される。しかし、干潟域には底生微細藻類が生息し、その基礎生産の高さから干潟域の物質循環に重要な役割を果たすことが知られている (Montani *et al.*, 2003)。有明海奥部は日本で最も干潟が発達した海域であり、底生微細藻類による基礎生産は有明海全体で  $156,000 \text{ tC y}^{-1}$  に達すると見積もられている (柳, 2002)。したがって有明海奥部の干潟前面から沖合域にかけての海域では、表層堆積物中に存在した高濃度のクロロフィル色素量の起源として、植物プランクトンのほかに干潟域から輸送された底生微細藻類が考えられる。一方、諫早湾では干拓締め切りにより大部分の干潟が消滅したため、表層堆積物中のクロロフィル色素量に対する底生微細藻類の寄与は比較的少ないものと推察される。

諫早湾には、調整池から底泥の巻き上がりにより年間数万トン以上におよぶ懸濁粒子が流入する (佐々木ら, 2003)。調整池の底泥は本来干拓締め切り前に干潟を形成していた泥質堆積物で構成されていると考えられ、底泥中の有機物には本明川起源の陸起源有機物以外に、海産生物起源有機物が大量に含まれていると推察される。また、調整池のクロロフィル *a* 濃度は数十～数百  $\mu\text{g L}^{-1}$  の高濃度を示す場合が多い (佐々木ら, 2003) ことから、調整池では慢性的な赤潮の発生が推察され、諫早湾には調整池から大量の淡水産植物プランクトン (2002 年の 4～7 月は開門調査により海産植物プランクトン (九州農政局, 2003)) が流入することが考えられる。

また、諫早湾調整池から諫早湾には調整池締め切り前に比較して懸濁粒子とともに多くの窒素、リンが負荷され (佐々木ら, 2003)、調整池堤防締め切りにより諫早湾では潮流の減少が顕著になり (宇野木, 2002; 灘岡・花田, 2002)、湾内における栄養塩の滞留時間も長くなっていると考えられる。実際に、諫早湾では 1997 年以降 2003 年までの間に、6～9 月にかけて小長井沖を中心に鞭毛藻による赤潮が毎年発生する等 (水産庁九州漁業調整事務所, 1981～2003) 赤潮が頻発している。

以上のように、諫早湾調整池から大量の植物プラン

クトンが流入し、湾内で赤潮が頻発する諫早湾の海底には大量の植物プランクトンが沈降・堆積しているものと考えられる。このことは、諫早湾において表層堆積物中のクロロフィル色素量が有明海で最も高濃度であることから強く示唆される (Fig. 4)。

諫早湾調整池北部・南部排水門前面および諫早湾北部の小長井沖から湾口部にかけての海域において、表層堆積物の酸化還元電位 (Eh) が周囲に比べて低く、還元的な環境にあった (Fig. 7)。諫早湾調整池北部・南部排水門前面においては、調整池から排出された赤潮状態の植物プランクトンを含む高濃度の懸濁物が排水門前面に広がり (佐々木ら, 2003), 調整池内で再浮上した底泥と調整池の植物プランクトンが海水中の塩分による凝集作用により排水門付近で急速に凝集・沈降し、これらの分解によって還元的な状態になったものと推察される。また、諫早湾北部の小長井沖から湾口部にかけての海域は、クロロフィル色素量と有機炭素量がともに高濃度で存在し (Fig. 3, 4), 潮受け堤防の締め切りによる潮流の減少 (宇野木, 2002; 灘岡・花田, 2002) と小長井沖を中心とした赤潮の頻発 (水産庁九州漁業調整事務所, 1981~2003) により、主に植物プランクトン起源有機物が蓄積し、その分解による還元化が Eh 低下の原因として考えられる。

2002年と2003年に実施した両調査ともに、諫早湾では植物プランクトン起源有機物が高濃度に堆積していると考えられ、実際に広い範囲で Eh が低下していることが観測された。諫早湾調整池から大量の栄養塩や有機物が流入していると推定される状況 (佐々木ら, 2003) において、潮流速の低下の見られる諫早湾および諫早湾湾口の周辺 (宇野木, 2002; 灘岡・花田, 2002) では、湾内および調整池起源の赤潮植物プランクトン起源有機物の堆積により、底層貧酸素水塊の頻発や慢性化が危惧される。

## 謝 辞

本研究は農林水産省農林水産技術会議行政対応特別研究「有明海の海洋環境の変化が生物生産に及ぼす影響の解明」に基づき実施された。試料の採取については、独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所漁業調査船「しらふじ丸」の山崎 英信船長お

よび乗組員各位、ならびに長崎県小長井町漁業共同組合の方々の協力を得て遂行することができた。感謝の意を表したい。

## References

- 有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会 (2002): 有明海の現状について - 13年度調査と過去の資料の解析を踏まえて。農林水産省, 200 pp.
- Bordovskiy, O. K. (1965): Accumulation and transformation of organic substances in marine sediments. *Mar. Geol.*, **3**, 3-114.
- Fry, B. and E. B. Sherr (1984):  $\delta^{13}\text{C}$  measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contrib. Mar. Sci.*, **27**, 13-47.
- 藤原 考道, 経塚 雄策, 濱田 孝治 (2004): 有明海における潮汐・潮流減少の原因について. *海の研究*, **13**, 403-411.
- Gordon, E. S. and M. A. Goñi (2003): Sources and distribution of terrigenous organic matter delivered by the Atchafalaya River to sediments in the northern Gulf of Mexico. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **67**, 2,359-2,375.
- Hedges, J. I. and P. L. Parker (1976): Land-derived organic matter in surface sediments from the Gulf of Mexico. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **40**, 1,019-1,029.
- 星加 章 (2002): 第2章, 海域環境の特徴とその推移 溶存酸素・貧酸素, p. 20-24. 水産研究叢書 **49** 大阪湾の海域環境と生物生産, 日本水産資源保護協会, 東京.
- 城 久 (2002): 第2章, 海域環境の特徴とその推移 植物プランクトンと基礎生産, p. 34-37. 水産研究叢書 **49** 大阪湾の海域環境と生物生産, 日本水産資源保護協会, 東京.
- 鎌田 泰彦 (1979): 有明海の地形・地質. 沿岸海洋研究ノート, **17**, 72-85.
- 鎌田 泰彦, 近藤 寛, 津留 美恵子 (1979): 有明海沿岸の干潟堆積物の予察的研究. 長崎大学教育学部自然科学研究報告, **30**, 75-92.
- 鎌谷 明善 (1993): 第1章, 東京湾の姿 赤潮・青潮, p. 44-50. 東京湾-100年の環境変遷-, 小川 紀雄編, 恒星社厚生閣, 東京.
- 近藤 寛 (1986): 有明海北部沿岸の干潟堆積物に含まれる有機物. 長崎大学教育学部自然科学研究報告, **37**, 45-56.
- 近藤 寛, 東 幹夫, 西ノ首 英之 (2003): 有明海における海底堆積物の粒度分布とCN組成. 長崎大学教育学部紀要 (自然科学), **68**, 1-14.
- 九州農政局 (2003): 短期開門調査, p. 17-24. 諫早干拓事業開門総合調査報告書 (概要版), 九州農政局.
- Meyers, P. A. (1994): Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chem. Geol.*, **114**, 289-302.



- 三島 康史, 星加 章 (1995): 海洋堆積物試料中の炭素・窒素安定同位体比のオンライン分析法について. 中国工業技術研究所報告, **45**, 17-22.
- Mishima, Y., A. Hoshika, and T. Tanimoto (1999): Deposition rates of terrestrial and marine organic carbon in the Osaka Bay, Seto Inland Sea, Japan, determined using carbon and nitrogen stable isotope ratios in the sediment. *J. Oceanogr.*, **55**, 1-11.
- 門谷 茂, 三島 康史, 黒川 一幸, 岡市 友利 (1991): 大阪湾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. 香川大学農学部学術報告, **43**, 77-87.
- Montani, S., P. Magni, and N. Abe (2003): Seasonal and interannual patterns of intertidal microphytobenthos in combination with laboratory and areal production estimates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **249**, 79-91.
- 灘岡 和夫, 花田 岳 (2002): 有明海における潮汐振幅減少要因の解明と諫早堤防締め切りの影響. 海岸工学論文集, **49**, 401-405.
- 中川 康之 (2003): 有明海における底泥輸送現象のモデル化. 港湾空港技術研究所報告, **42**, 25-42.
- 中井 信之, 太田 友子, 藤澤 寛, 吉田 正夫 (1982): 堆積物コアの炭素同位体比, C/N 比および FeS<sub>2</sub> 含有量からみた名古屋港周辺の古気候, 古海水準変動. 第四紀研究, **21**, 169-177.
- 日本海洋学会海洋環境問題委員会 (2001): 有明海環境悪化機構究明と環境回復のための提言. 海の研究, **10**, 241-246.
- 日本海洋学会海洋環境問題委員会 (2002): 有明海環境悪化機構究明と環境回復のための提言 2. 海の研究, **11**, 631-636.
- 小川 浩史, 青木 延浩, 近 磯晴, 小川 紀雄 (1994): 夏季の東京湾における懸濁態および堆積有機物の炭素安定同位体比. 地球化学, **28**, 21-36.
- O'Leary, M. H. (1981): Carbon isotope fractionation in plants. *Phytochemistry*, **20**, 553-567.
- Saito, Y., A. Nishimura, and E. Matsumoto (1989): Transgressive sand sheet covering the shelf and upper slope off Sendai, Northeast Japan. *Mar. Geol.*, **89**, 245-258.
- 佐々木 克之, 程木 義邦, 村上 哲生 (2003): 諫早湾調整池からの COD・全窒素・全リンの排出量および失われた浄化量の推定. 海の研究, **12**, 573-591.
- 水産庁九州漁業調整事務所 (1981~2003): 昭和 56 年~平成 15 年 赤潮発生状況. 昭和 56 年~平成 15 年 九州海域の赤潮.
- Suzuki, R. and T. Ishimaru (1990): An improved method for determination of phytoplankton chlorophyll using N, N-Dimethylformamide. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **46**, 190-194.
- 田中 勝久, 児玉 真史 (2004): 有明海湾奥部の環境変動に及ぼす浮泥の影響. 水環境学会誌, **27**, 307-311.
- Tan, F. C. and P. M. Strain (1979): Organic carbon isotope ratios in recent sediments in the St Lawrence Estuary and the Gulf of St. Lawrence. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, **8**, 213-225.
- Thornton, S. F. and J. McManus (1994): Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratios as source indicators of organic matter provenance in estuarine systems: evidence from the Tay Estuary, Scotland. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **38**, 219-233.
- 堤 裕昭, 岡村 絵美子, 小川 満代, 高橋 徹, 山口 一岩, 門谷 茂, 小橋 乃子, 安達 貴浩, 小松 利光 (2003): 有明海奥部海域における近年の貧酸素水塊および赤潮発生と海洋構造の関係. 海の研究, **12**, 291-305.
- 宇野木 早苗 (2002): 有明海における潮汐と流れの変化-諫早湾干拓事業の影響を中心にして-. 海と空, **78**, 19-30.
- 和田 英太郎 (1986): 生物関連分野における同位体効果-生物界における安定同位体分布の変動-. *Radioisotopes*, **35**, 136-146.
- Wada, E., M. Minagawa, H. Mizutani, T. Tsuji, R. Imaizumi, and K. Karasawa (1987): Biogeochemical studies on the transport of organic matter along the Otsuchi River watershed, Japan. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **25**, 321-336.
- 柳 哲雄 (2002): 有明海の低次生物生産構造-ノリ不作問題に関連して-. 応用数理, **12**, 49-53.
- 柳 哲雄, 塚本 秀史 (2004): 有明海における潮汐振幅の経年変動. 海の研究, **13**, 295-300.

## Distribution of Organic Matter and Organic Carbon Stable Isotope Ratios in the Surface Sediments of Inner Ariake Bay and Isahaya Bay, Japan.

Kazumaro Okamura<sup>†</sup>, Katsuhisa Tanaka<sup>†</sup>, Katsunori Kimoto<sup>†</sup>, Yoko Kiyomoto<sup>†</sup>

### Abstract

Mud content, oxidation-reduction potential (Eh), organic carbon, total nitrogen, chlorophyll pigments and the stable isotope ratio of organic carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) in surface sediments were determined using core samples collected from the inner part of Ariake Bay and Isahaya Bay. High organic carbon concentrations ( $> 18 \text{ mg C gDW}^{-1}$ ) were observed in the shallow mudflat area located between the Rokkaku River and the Shiota River of the inner part of Ariake Bay and in the area off Konagai in the central part of Isahaya Bay. High chlorophyll pigment concentrations ( $> 100 \mu\text{g gDW}^{-1}$ ) were observed in the northern area of the submarine channel off the Shiota River and in the central part of Isahaya Bay.  $\delta^{13}\text{C}$  values were lower in the shallow area of the inner part of Ariake Bay ( $< -22.0 \text{ ‰}$ ) and higher in the central part of Ariake Bay and Isahaya Bay ( $-21.0 \sim -19.4 \text{ ‰}$ ) excluding outside of the embankment. These suggest that high concentrations of phytoplankton origin organic matter accumulated in the central part of Isahaya Bay, where Eh showed low values. It is considered that organic matter originating from red-tide phytoplankton was responsible for the oxygen depletion in the bottom water of Isahaya Bay.

**Key words:** Ariake Bay, Isahaya Bay, sediment composition, organic matter, stable isotope ratio

(Corresponding author's e-mail address: mrmaro@fra.affrc.go.jp)

(Received 27 April 2005; accepted 1 December 2005)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2006)

---

<sup>†</sup> Seikai National Fisheries Research Institute, 1551-8 Taira-machi, Nagasaki 851-2213, Japan