

# 冬季有明海湾奥部浅海域における底層懸濁態物質の空間構造と輸送特性

八木 宏\* ・井瀬 肇\*\* ・石田大暁\*\*\*  
灘岡和夫\*\*\*\* ・中山哲厳\*\*\*\*\* ・小谷正幸\*\*\*\*\*

冬季の有明海湾奥部における懸濁物質の空間構造と輸送特性を現地調査結果に基づいて検討した。その結果、潮位変化が大きい本海域では、懸濁物質濃度 (SS) は湾奥部全体で朔望周期の変動が卓越するものの、懸濁物質の一部を構成するクロロフィル色素量は東部 (筑後川沖～六角川沖) と西部 (六角川沖以西) でその挙動が大きく異なり、植物プランクトンの浮泥への吸着状況の違いが場所によって異なることが示唆された。また、懸濁物質の輸送特性については、筑後川河口沖に絞って詳細な検討を行い、懸濁物質濃度 (SS) とクロロフィル色素量の輸送特性の相連や滞筋・干潟といった地形構造の違いが懸濁物質輸送に与える影響を現地計測結果に基づいて明らかにした。

## 1. はじめに

有明海湾奥部は浮泥の海として知られ、粘土鉱物粒子を主成分とする浮泥が最大干満差 5 m 以上に達する潮汐によって海底から巻き上げられ、干潟浅海域一帯に高濁度域を形成している。このような浮泥の再懸濁現象は、植物プランクトンの光合成制限、浮泥の有する吸着・凝集作用による栄養塩・有機物の吸着などを通して植物プランクトンの消長に影響を及ぼすのと同時に、その凝集作用によって海底に堆積した有機物の分解により、通常は溶存酸素レベルが高いと考えられている干潟浅海域において貧酸素化を引き起こすなど、近年環境劣化が著しい有明海の水環境システムを解明する上で重要な環境支配要因となっている。

有明海の流れや物質輸送特性については、近年現地観測をベースとした実態解明が精力的に試みられており (小松ら, 2003)、浮泥や懸濁物質の時空間変動特性や輸送特性についても、例えば中川ら (2002) は現地観測に基づき基本的な懸濁態物質の時空間変動特性を示した上で、有明海湾奥部には東部 (筑後川沖) から西部に向けて懸濁態物質が輸送される傾向があることを示している。一方、田中ら (2004) は、冬季を中心とした筑後川河口沖の長期定点計測から SS やクロロフィル色素量の基本的な時間変動特性やノリ養殖施設が SS 濃度レベルに与える影響などを検討している。このように、有明海湾奥部の懸濁態物質の挙動については徐々にその性質が明らかにされつつあるが、湾奥部に広がる広大な干潟浅海域における懸濁態物質の性質や輸送特性については十分に明らかにされているとは言えない。そこで、本研究では、

冬季有明海湾奥部浅海域を対象として、底層懸濁物質の特徴とその時空間変動構造、輸送特性を現地計測に基づいて把握することを試みた。

## 2. 現地観測

本研究では、有明海湾奥部浅海域における懸濁態物質の特徴と輸送特性を把握するために、計測位置、期間、計測内容の異なる 3 種類 (観測 A, B, C) の現地観測を行った。このうち観測 A は、有明海湾奥部浅海域全体の底層懸濁態物質の特徴とその空間構造を把握するために実施したもので、冬季全体にわたる長期計測 (2003 年 11/24～2004 年 3/31: Sta.T1-T3, 図-1 参照) と、それに併せてより詳細な空間構造を把握するために観測点を追加して実施した短期計測 (2004 年 1/15～2/2: Sta.A1-A6) から構成され、海底面上 50～60 cm における濁度、蛍光高度、水温、塩分を連続計測した。一方、観測 B は、懸濁態物質の輸送特性を把握するために、対象を筑後川沖の滞筋域 (Sta.B1: 水深 4 m) と干潟上 (Sta.B2: 水深 3 m) に絞り、海底面上 50～60 cm における濁度、蛍光高度、水温、塩分及び超音波ドップラー流速計による流速鉛直分布の連続計測 (2004 年 12/2～2005 年 1/8) を実施したものであり、観測 C では、観測 B と同

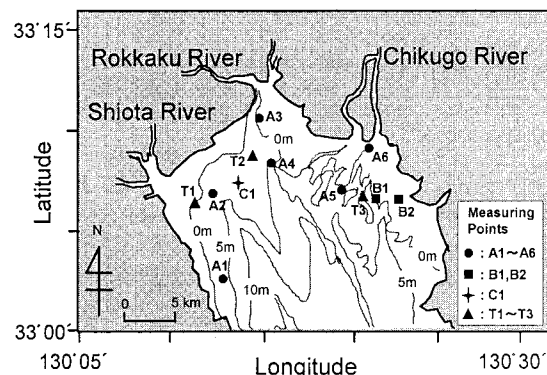


図-1 対象海域と計測点位置

\* 正 会 員 工博 東京工業大学大学院助教授 情報理工学研究科  
\*\* 学生会員 東京工業大学大学院情報理工学研究科  
\*\*\* 学生会員 東京工業大学大学院理工学研究科  
\*\*\*\* フェロー 工博 東京工業大学大学院教授 情報理工学研究科  
\*\*\*\*\* 正 会 員 工修 (独法) 水産総合研究センター水産工学研究所  
\*\*\*\*\* 福岡県庁水産振興課

様の計測を六角川河口沖干潟域において短期間行った(2004年12/12~14:観測点C1)。なお、本研究では、現地計測によって得られた濁度、蛍光高度を田中ら(2004)による換算式を用いて、SS、クロロフィル色素量(クロロフィルa+フェオ色素)に変換し以下の検討に用いている。

### 3. 底層懸濁物質濃度の時空間変動特性

図-2は、観測Aによって得られた冬季全体のSta.T1(塩田川河口沖)とSta.T3(筑後川河口沖)における潮位、SS、クロロフィル色素量の時系列を示したものである。懸濁物質総量を表すSSについてはSta.T1, T3ともに、潮位変動に対応して潮汐周期及び朔望周期の変動が明瞭に現れており、懸濁物質全体としては潮流による再懸濁・沈降及び移流によってその動態が支配されていることを示している。一方、クロロフィル色素量については、筑後川河口沖のSta.T3では、SSと同様に潮位変動に対応した濃度変化が現れているのに対し、西部海域のSta.T1では、12月末から3月にわたる長期変動の上に潮汐周期、朔望周期などの短周期変動が重なった形となっており、このことは懸濁態物質の一部を構成する植物プランクトンやそれに関連したデトリタス等については、その存在形態(浮泥への吸着状況等)や変動特性が場所によって異なっていること示唆している。そこで、湾奥部浅海域における懸濁態物質の空間分布特性を把握するために、観測点が充実している短期計測期間(2004

年1/15~2/5, Sta.T1-T3, Sta.A1-A6)の観測結果に基づいて、SSとクロロフィル色素量の相関関係から懸濁物質の特徴とその空間構造について検討を行った。その結果、SSとクロロフィル色素量の相関関係は、図-3(a)に示すように3つのパターンに分類され(Type-A:低クロロフィル色素量でSSとクロロフィル色素量が高い相関関係を示す場合、Type-C:低SSで高いクロロフィル色素量を示し、両者の相関が相対的に低い場合、Type-B:Type-A, Cの中間的な性質を示す場合)、各観測点における懸濁態物質のタイプは図-3(b)のようになった。これを見ると、筑後川河口近傍はType-Aであり、クロロフィル色素量が潮汐によって変動するSSと高い相関を示すことから、植物プランクトンやそれに関連したデトリタス等が浮泥に吸着した状態で潮流による沈降・再懸濁を繰り返していることが考えられる。一方、湾奥部西部海域はType-Cとなっており、低SSで比較的高いクロロフィル色素量を示し両者の相関がType-Aと比べ低いことから、浮泥に吸着されることなく存在している植物プランクトン等の比率が高いと考えられる。さらにType-Bに分類される筑後川や六角川の河口沖では、浮泥に吸着された植物プランクトン等と吸着されないものが混在した状態にあると考えられ、同じ湾奥部浅海域でも、場所によって懸濁態物質の性質、特に植物プランクトン等の存在形態に相違があることが示唆される。

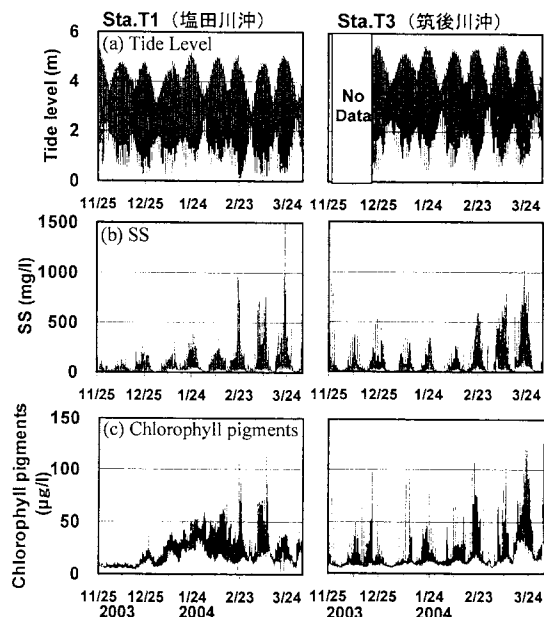
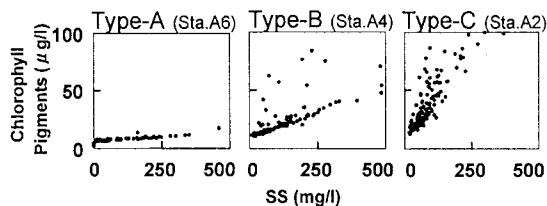
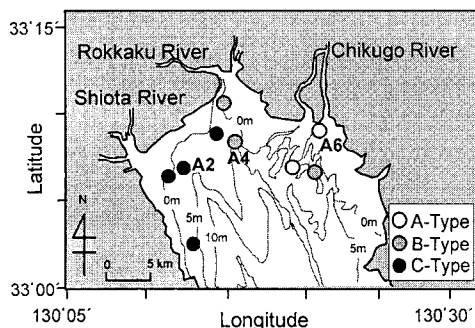


図-2 冬季の有明海湾奥部浅海域(Sta.T1, T3)における潮位, SS, クロロフィル色素量の時系列



(a) SSとクロロフィル色素量の相関パターン



(b) SSとクロロフィル色素量の相関パターンの空間分布

図-3 SSとクロロフィル色素量の相関特性とその空間分布

#### 4. 有明海湾奥部における底層懸濁物輸送特性

次に、筑後川河口沖の2カ所 (Sta.B1: 湊筋, Sta. B2: 干潟上, 図-1 参照) で実施した潮位, 流速鉛直分布, SS, クロロフィル色素量の連続計測結果 (図-4) に基づいて、湾奥部浅海域の懸濁物質輸送を支配する流れとその輸送特性について検討を行った。

##### (1) 筑後川沖海域の残差流特性

図-4(d)には、計測された流速に対して25時間移動平均した平均流成分 (南北, 東西成分) を表示している。これを見ると、平均流は大潮期に増大, 小潮期に減少する朔望周期の変動を示しており、平均流の主体が潮汐残差流であることを示している。図-5(a)に、大潮期の残差流速ベクトル (観測期間前半の大潮期の5日間平均値) を示しているが、両観測点ともに残差流は南又は南東向き (湾口向き) となっており、その大きさは6 cm/s 程度となっている。筑後川河口沖の残差流の構造については、Hukuda ら (1994) の数値実験によって時計回りの環流 (沿岸部で南向き) が形成される可能性が指摘されているが、今回の計測結果をそれと対応させて考えると、本観測結果は筑後川河口沖に形成される反時計回り環流の陸側の部分 (東側) を捉えたものと推測される。

##### (2) SS 輸送特性

計測された流速と SS から算出した SS フラックス (海底上50~60 cm) の時系列を図-4(e)に示す。SS フラックスは大潮期に増加, 小潮期に減少しており、湊筋 (Sta.B1), 干潟上 (Sta.B2) いずれにおいても SS の輸送が潮汐によって支配されていることを示している。図-5(b)に、大潮期の SS 輸送量ベクトル (観測期間前半の大潮期の5日間平均値) を示しているが、SS の輸送方向については Sta.B1 (湊筋) で南 (沖向き), Sta.B2 (干潟上) では北東 (陸岸向き) と湊筋と干潟上で輸送方向が異なっていた。そこで SS 輸送フラックスを次式のように平均流 (残差流) による輸送成分 (第一項) と潮汐に起因した非定常相関輸送成分 (第二項) に分解してそれぞれの寄与を調べてみた。

$$\bar{C} \cdot \bar{V} = \bar{C} \cdot \bar{V} + \bar{C}' \cdot \bar{V}' \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $\bar{V}, \bar{C}$ : 流速と SS,  $\bar{V}', \bar{C}'$ : 流速と SS の25時間平均値,  $\bar{V}, \bar{C}$ : 流速と SS の25時間平均値からの偏差である。図-6(a)は、その結果をベクトル表示したものであるが、これを見ると、湊筋 (Sta.B1) では残差流による輸送と非定常相関輸送成分が南及び南東向き (沖向き) であるのに対し、干潟上 (Sta.B2) では非定常相関成分が逆に北東向き (岸向き) となっており、これが残差流による南東向き (沖向き) 輸送を上回るために正味の SS 輸送量は岸向きになっている。このように、湊

筋と干潟における SS 輸送方向の違いは、SS 輸送の非定常相関輸送成分の影響が大きいため、非定常相関輸送成分に強く影響する一潮汐間の SS の経時変化について、湊筋 (Sta.B1) と干潟 (Sta.B2) を比較した (図-7)。これを見ると、湊筋域については、上げ潮時よりも下げ潮時の方が明らかに SS 濃度が大きく、これが非定常相関輸送成分を冲向きとする原因であることがわかる。田中ら (1982) によれば、筑後川河口域には潮汐変動に伴い高濁度水塊が形成され、それが下げ潮時に河川内から河口沖に移動することが指摘されているが、湊筋 (Sta. B1) における下げ潮後半の高い SS はこの高濁度水塊に対応したものと考えられ、Sta.B1 (湊筋域) では河口域

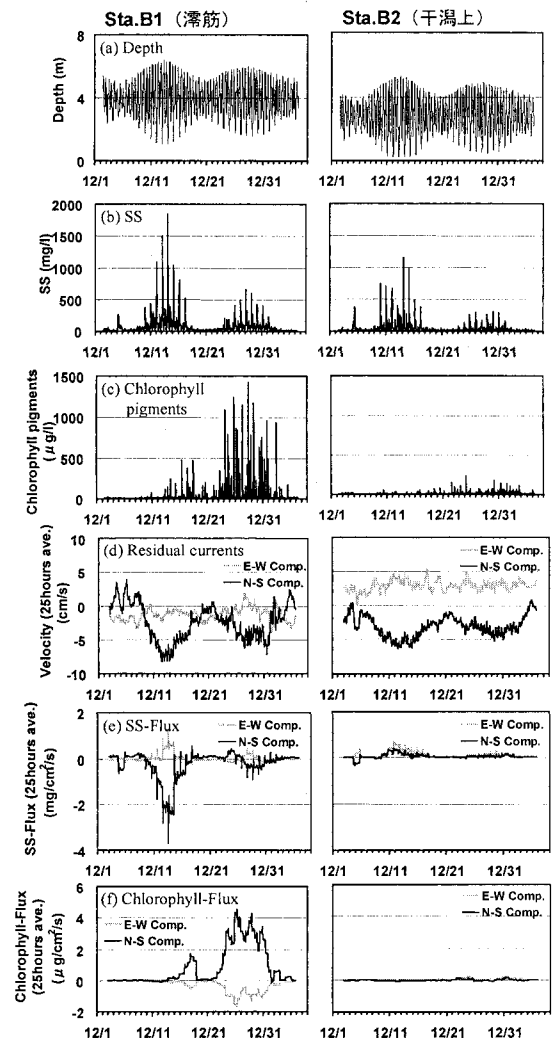


図-4 筑後川河口域の観測点 Sta.B1 (湊筋, 左図), Sta.B2 (干潟上, 右図)における現地観測結果 (図(d) (e) (f)については北向き, 東向きを正として表示)

を移動する高濁度水塊の挙動がSSフラックスにとって重要な役割を果たしていると考えられる。一方、干潟上では滞筋ほど上げ潮時と下げ潮時にSS濃度レベルの差がなく、逆に上げ潮時には相対的に長い時間SS濃度レベルが維持されているために正味では岸向き輸送になっている。干潟域におけるこのような上げ潮時と下げ潮時のSS濃度継続時間の非対称性とそれによって引き起こされるSSの岸向き輸送については、そのメカニズムを今後検討する必要があるが、同様の現象は同時期に六角川沖干潟上で実施した観測C(図-1中の観測点C1)でも捉えられており(図-8)、干潟域において正味のSS輸送方向が岸向きとなる重要な要因と考えられ

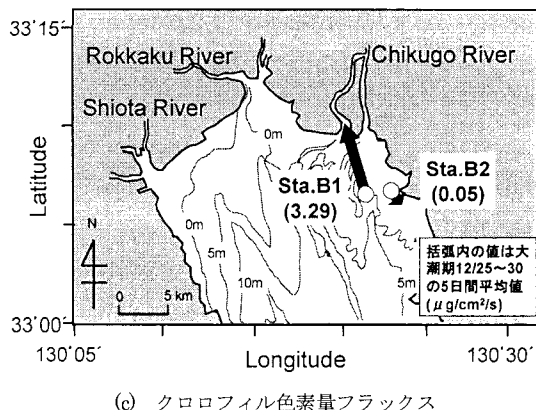
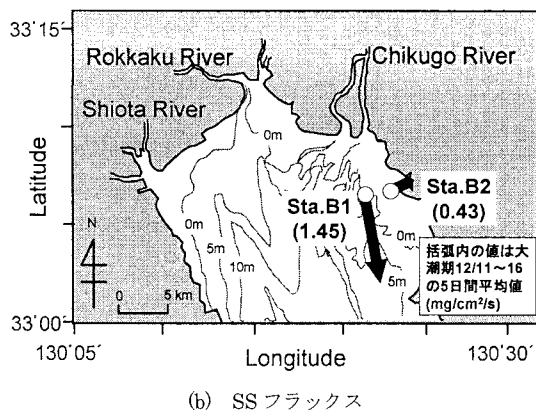
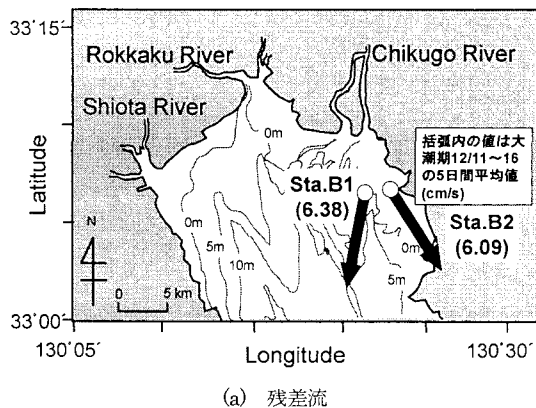


図-5 大潮期5日間平均の残差流, SSフラックス, クロロフィル色素量のフラックス

ムを今後検討する必要があるが、同様の現象は同時期に六角川沖干潟上で実施した観測C(図-1中の観測点C1)でも捉えられており(図-8)、干潟域において正味のSS輸送方向が岸向きとなる重要な要因と考えられ

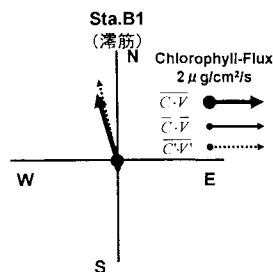
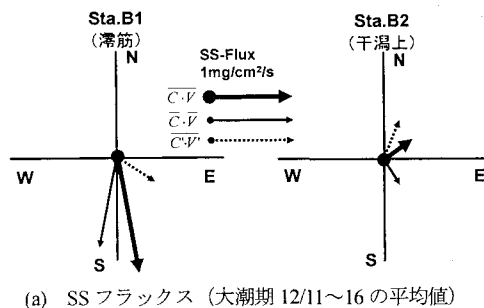


図-6 SS及びクロロフィル色素量輸送フラックスの内訳

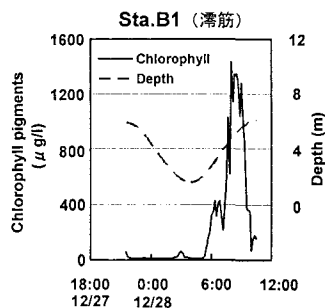
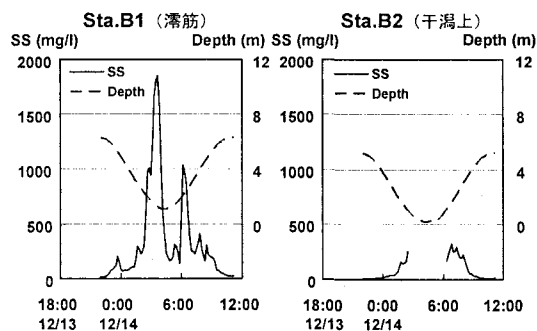


図-7 大潮時・潮汐間のSS, クロロフィル色素量, 潮位の時系列

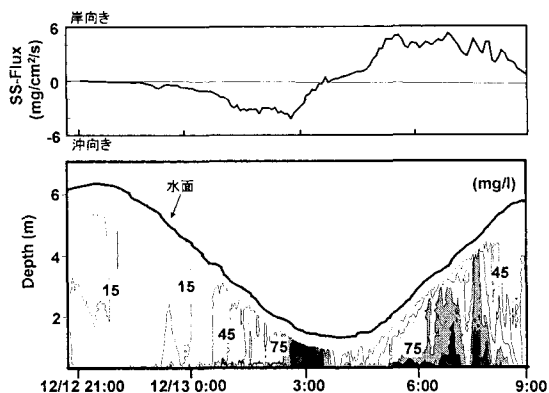


図-8 六角川河口沖干潟域 (Sta. C1) における SS フラックスと SS 濃度時空間分布 (フラックスは海底上50～60 cm の値, SS は ADCP の反射強度からの推定値)

る。

### (3) クロロフィル色素量の輸送特性

クロロフィル色素量フラックスについても同様の検討を行った結果、輸送量については大潮期に増加する傾向があること (図-4(f)), 輸送方向は滞筋 (Sta.B1) で北向き (河口向き) となり, SS フラックスの輸送方向とは逆となることがわかった (図-5(c)). 一方, 干潟上 (Sta.B2) ではクロロフィル色素量の濃度レベルが低く輸送量も微小であった。そこで、有意な輸送量を示した滞筋 (Sta.B1) について、式 (1) に基づいてクロロフィル色素量フラックスを成分分解した結果を図-6(b) に、大潮期一潮汐間のクロロフィル色素量の時系列を図-7(b) に示す。これを見ると、クロロフィル色素量は SS とは逆に上げ潮時に濃度が高くなっており、それが岸向きの大きな非定常相関輸送成分を生じることで、正味のクロロフィル色素量の輸送が岸向きとなっている。上げ潮時には、沖合の海水が筑後川河口側に向かって移動することから、沖合海域で生産された植物プランクトンが上げ潮時に滞筋を通して河口域に輸送され、これが浮泥への吸着作用などで河口域にトラップされることで、正味で北向き (河口向き) のクロロフィル色素量フラックスが生じているものと考えられる。

## 5. ま と め

冬季の有明海湾奥部浅海域における懸濁物質の空間構造と輸送特性について現地計測に基づく検討を行い以下の知見が得られた。

(1) 潮位変化が大きい本海域では、懸濁物質濃度 (SS) は湾奥部全体で朔望周期の変動が卓越しているものの、クロロフィル色素量は東部 (筑後川沖～六角川沖) と西部 (六角川沖以西) でその挙動が大きく異なり、この違いが植物プランクトンの浮泥への吸着状況の違いである可能性を示した。

(2) 筑後川河口沖を対象として、残差流の特徴や懸濁物質の輸送特性を検討した。その結果、①筑後川河口沖では南向き (湾口向き) の潮汐残差流が卓越すること、②懸濁態物質の輸送方向は残差流の方向と必ずしも一致せず、SS 輸送は滞筋で沖向き、干潟上で岸向きとなり、クロロフィル色素量は滞筋で岸向き輸送となるなど、滞筋・干潟上といった地形構造や輸送される懸濁物質によって輸送量や輸送方向が変化することを示した。

謝辞：現地調査を行う上で助言を頂いた独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所田中勝久氏、また計測機器の設置及び観測データの提供についてご協力頂いた福岡県水産海洋技術センター有明海研究所岩測光伸氏、佐賀県有明水産振興センター川村嘉明氏に対してここに記して謝意を表します。また本研究は科学研究費基盤研究(c)『ベントス系を中心とした沿岸生態系の劣化と保全・再生戦略に関する研究企画調査』(代表者：灘岡和夫), 『ベントス幼生広域供給経路同定に基づく沿岸生態系保全に関する研究』(代表者：灘岡和夫), (c)『相互作用系として捉えた河川—沿岸域間の動的水環境形成機構解明と河口機能の評価』(代表者：八木 宏) の補助を受けて行われたものである。

## 参 考 文 献

- 小松利光・安達貴浩・金納聡・矢野真一郎・小橋乃子・藤田和夫 (2003)：有明海における流れと物質輸送に関する現地観測，海岸工学論文集，第50巻，pp. 936-940.
- 田中勝久・児玉真史・熊谷香・藤本尚伸 (2004)：有明海筑後が差河口域における冬季のクロロフィル蛍光と濁度変動，海の研究，13巻，2号，pp. 163-172.
- 田中勝久・浜田七郎・代田昭彦 (1982)：有明海における懸濁物質の研究—Ⅱ. 筑後川河口域における植物プランクトンとデトリタスの分布と挙動，西海区水産研究所研究報告，第57号，pp. 19-30.
- 中川康之・今林章二・末次広児 (2002)：有明海の底泥輸送現象に関する現地データの解析，海岸工学論文集，第49巻，pp. 566-570.
- Hukuda, H., J.H.Yoon and T.Yamagata (1994)：A Tidal Simulation of Ariake Bay - A Tideland Model, Journal of Oceanography, Vol.50, pp. 141-163.