

有明海の底泥輸送現象に関する現地データの解析

中川 康之*・今林 章二**・末次 広児***

シルトや粘土などの細粒分(泥質物)の輸送・堆積現象は、栄養塩物質の輸送や底生生物の生息環境の形成等を通じて沿岸域の環境に深く関わっている。特に浮遊泥の輸送が湾内の高い生物生産を支える重要な要素の一つとされる有明海において、近年になり水産資源の減少のほか、泥の輸送に関連した様々な環境の変化が顕在化しつつある。そこで、本研究では有明海における底泥輸送過程の解明を目的として、湾内 4 地点において濁度・流況等に関する定点連続観測を 2001 年 10 月 10 日から同 11 月 15 日の約 1 ヶ月間実施し、湾内での浮遊泥濃度の変動要因やその輸送特性について検討した。

1. はじめに

湾奥部では 6 m を越える大きな潮位差で特徴づけられる有明海においては、栄養物質を吸着した泥質物の再浮遊と沈降の繰り返しが、底質の好気的環境と様々な生物への栄養物質供給を維持し、そこでの高い生物生産能力を支えているものと考えられている(佐藤, 2000)。また、浮遊泥濃度の分布は、海水の透明度を通じて、植物プランクトンや藻場の生育条件にも影響を及ぼす。さらには、海域での堆積泥の分布は、富栄養化や堆積物の嫌気化の抑制に関与する底生生物の生息域との関連性も強い(池松, 1980)。一方、近年の水産資源の漁獲量の減少にみられるように、有明海における海域環境の種々の変化が顕在化しつつある中で、浮遊泥濃度の減少に起因すると考えられる透明度の変化(良化傾向)や、湾奥部における底質粒径の細粒化と二枚貝生息分布の変化が指摘されている(農林水産省, 2001)。

このような海域の環境動向を把握し、必要な環境改善策を検討する上では、現地データに基づく湾内の微細粒子(泥質物)の輸送・堆積過程の解明と、さらに底泥の輸送と水・底質や生態系との関連性について明らかにしていくことが必要である。これまでの有明海における底泥輸送に関する研究としては、湾奥部の浮遊泥濃度の平面分布と地形変化の関係を調べた調査(満田, 1968)や、定点観測による流れと懸濁物濃度の関係を調べた(瀬口ら, 1989)ものなどがある。しかし、浮遊泥の輸送に関する広域的かつ長期的な変動特性に関する理解は必ずしも十分ではない。

そこで本研究では、泥質物が広範囲に堆積する有明海北部海域と同中部東岸海域において、約 1 ヶ月間にわたる定点連続観測を実施し、浮遊泥濃度の変動要因やその輸送特性について検討した。

2. 現地観測の概要

現地観測は、2001 年 10 月 10 日から 11 月 15 日の間に、有明海北部海域の 3 地点と中部東岸海域の 1 地点の合計 4 地点において実施した(図-1)。なお、図-1 中の各測点のカッコ内の数字は平均水深を表す。鎌田(1980)によると、有明海の底質分布については、湾奥西部(鹿島沖)と湾中部東側(熊本沖)において泥質物の堆積が顕著であり、また、湾奥東部の筑後川デルタにおいては、泥質域と砂質域が混在した複雑な底質分布を形成している。一方、島原沖の湾中央部では、砂礫質の分布が南北に分布する。図-2 は各調査地点で採取した底質サンプルから、ふるいおよび沈降試験により求めた粒度分布を示したものである。上記の底質分布特性を反映して、St. 1 および St. 4 の底質は泥質堆積物により構成され、これに対して St. 2 および St. 3 ではシルトや粘土等の細粒分の割合が 11.7% および 25.0% とそれぞれ小さく、主に砂質堆積物により底質が構成されている。

本観測における主な測定項目は、超音波式ドップラー流速計による流向・流速の鉛直分布と、底面上 20 cm, 50 cm および水面下 100 cm の鉛直 3 点における濁度(後方散乱光学式濁度計)、Chl-*a*(蛍光光度計)、および水温・塩分である。また、St. 1 と St. 3 については超音波式波

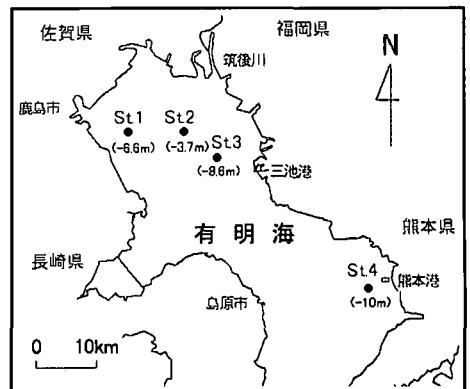


図-1 観測地点

* 正会員 工修 (独法) 港湾空港技術研究所海洋・水工部
** 国土交通省(前九州地方整備局港湾空港部)
*** 国土交通省下関港湾空港技術調査事務所

高計を設置した。流速分布の測定に関しては、30 分毎に 2 分間計測しその平均値を記録している。また、濁度および水質項目の測定間隔は、10 分 (St. 4 の濁度のみ 5 分) とし、濁度については各測定毎に 1 Hz で 10 秒間計測された結果の平均値をデータ解析に用いている。また、浮遊粒子の捕獲を目的として、いずれの地点においても大潮期および小潮期それぞれを対象とした 3 日間に、海面下 100 cm と底面上 50 cm が採取面となるようセディメント・トラップを設置した。

3. 観測結果と考察

(1) 浮遊泥の粒径特性

St. 1~St. 3 については 10 月 31 日から 11 月 2 日の 2 日間、St. 4 については 10 月 16 日から同 19 日の 3 日間に、底面上 50 cm のセディメント・トラップ (口径 252 mm) により捕獲された沈降物の粒度分布を図-2 中に丸印で示した。沈降物の粒径測定には、St. 1 から St. 3 についてはコールターマルチサイザーを用い、St. 4 については底質の粒度分析と同様にふるいおよび沈降試験により求めた結果である。図-2 において、各地点の堆積物と沈降物の粒度分布を比較すると、St. 3 を除く全ての地点では、きわめて類似した粒径特性を示している。

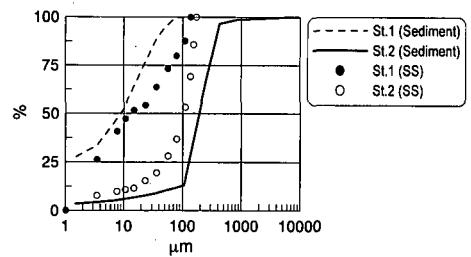
これらをふまえ、濁度計の出力値から SS 濃度への換算係数は、各地点の堆積物粒子で濃度を調整した試料濁水を対象とした検定から求めるものとした。堆積物と浮遊物の粒径に差異がみられる St. 3 についても、浮遊泥粒子を用いた検定が困難であることから、同様な手法による検定をここでは用いた。以下に示す濁度計の計測結果においては、すべて本方法により換算された SS 濃度として表現する。

(2) 大潮・小潮周期に対応した SS 濃度の変動

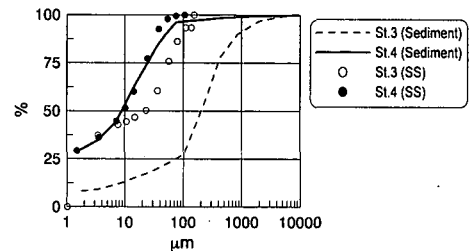
図-3 に観測期間中の St. 1 における水位と、各地点で測定された底面上 20 cm での SS 濃度の変動の様子を示す。各地点での SS 濃度においては、短周期の細かな変動が数多く見られるが、これらの変動量は概ね大潮・小潮の周期に対応して変化し、特に大潮期に SS 濃度の上昇が顕著となることがわかる。また、10 月 28 日の St. 1~3 や、11 月 6 日の St. 2~4 において、突発的な SS 濃度の上昇が見られるが、これらは波浪観測結果との比較により、来襲波浪の影響によるものと確認されており、作用外力の種類や程度に応じて SS 濃度の変動に変化が生じることがわかる。

(3) 潮汐変動と SS 濃度の関係

ここでは特に、潮汐変動と各地点における SS 濃度の変動の関係の詳細について検討する。図-4(a)~(d) は、St. 1 から St. 4 の各地点における水位、流速 (底面上 70 cm での絶対値および水平 2 成分)、および鉛直 3 点で測



(a) St. 1 および St. 2



(b) St. 3 および St. 4

図-2 各観測地点における底質および浮遊懸濁物の粒度分布

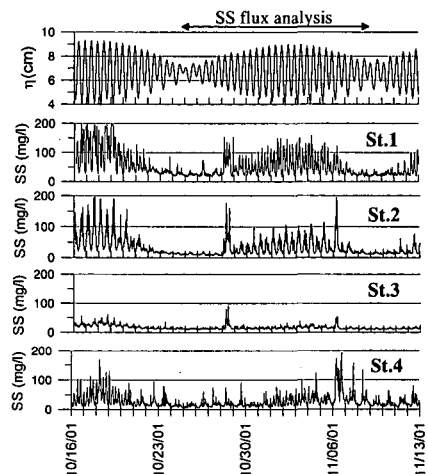


図-3 観測期間中の水位と濁度の変動

定された SS 濃度と塩分の変動を示したものである。表示期間は、大潮期を対象とした平成 13 年 11 月 2 日午前 0 時から同 4 日午前 0 時までの 3 日間である。

まず、湾奥部の泥質物堆積域である St. 1 の結果について注目すると、ここでは底面上 20 cm および 50 cm の SS 濃度の変動が絶対流速の変動に対応していることがわかる。すなわち、上げ潮および下げ潮の流速増大時に SS 濃度が上昇し、満潮時および干潮時の憩流時に濃度は下降し、卓越する半日周潮の 1 周期の間に 2 度 (1 日 4 回) のピークが生じている。上記の SS 濃度変動パターンは底面上 20 cm および 50 cm にのみ見られることや、

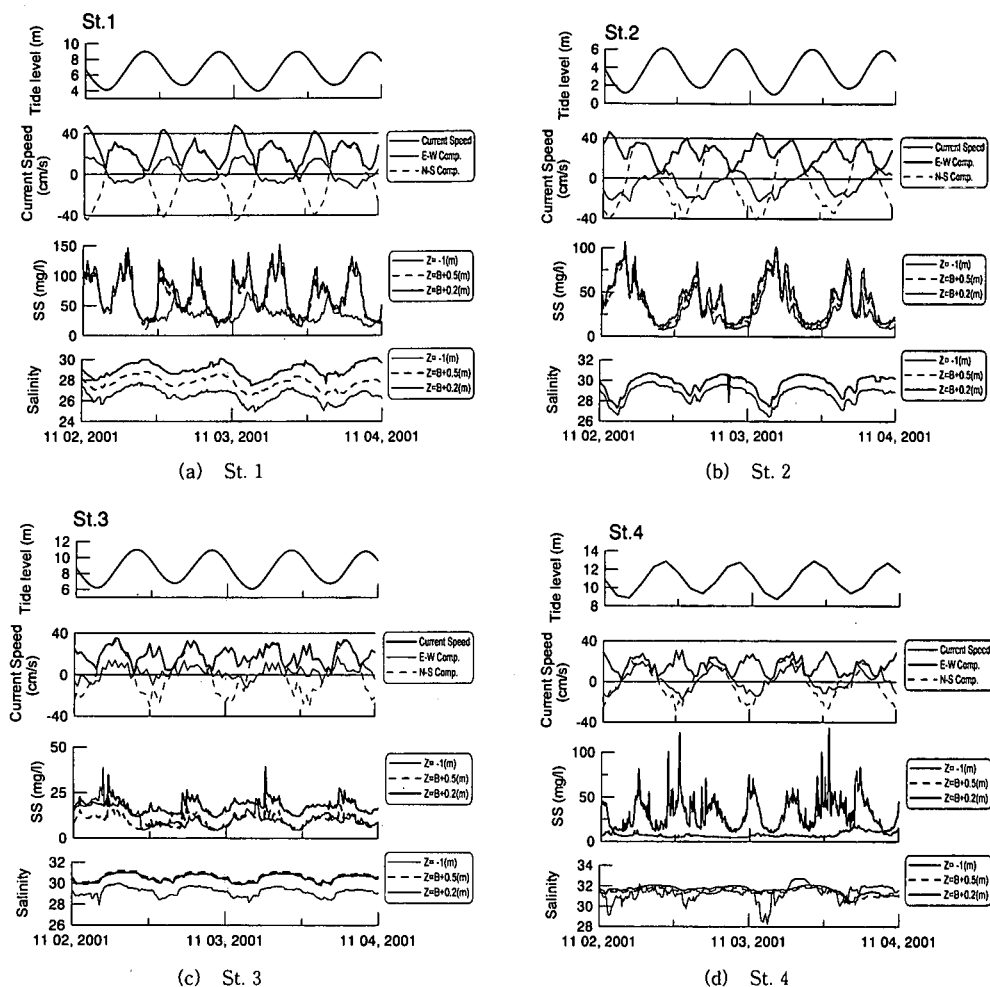


図-4 各観測地点における大潮時 (11月2日0:00~4:00) の水位, 流速, SS濃度, 塩分の変化

図-2で示した堆積物と浮遊泥の粒径特性が類似していることを考慮すると, St. 1における底面付近でのSS濃度変動は堆積物の巻き上げが主な原因であると考えられる。このような変動パターンは, 熊本港沖の泥質物の堆積域を対象とした観測点であるSt. 4においても見られる。

一方, 筑後川河口沖に位置するSt. 2における観測結果(図-4(b))を見ると, ここでは平均水深が3.7mと浅いため鉛直方向にSS濃度の大きな差はなく, ほぼ一様に变化している。その時間的な変動の特徴としては, SS濃度が最低となる満潮時から, 下げ潮時の濃度上昇を経て, 干潮時付近でSS濃度が最大となり, 次の満潮時には再び濃度は低下する。すなわち, St. 2におけるSS濃度の変動は, 大局的には潮位変動に対応した1日2回のピークを有するものとなっている。このようなSS濃度の変動へは, 潮汐流の作用による浮遊泥の攪拌作用やその場での巻き上げの効果が影響していることが図-4(b)の

結果から推測される。まずSt. 2においては, 潮汐周期内での潮汐流変動の非対称性が強く, 満潮時にみられる憩流状態は干潮時に生じることはなく, 干潮時付近においても依然として20 cm/s以上の強い流れが生じている。このことが, 干潮時における浮遊物の沈降の妨げとなり, 同時期におけるSSが高濃度となる理由の1つと考えられる。また, 上げ潮や下げ潮時の最強流時に対応して, SS濃度の二次的な濃度のピークがみられる場合もあることから, これらの流れによる巻き上げの効果もSS濃度変動に影響を及ぼしているものと考えられる。さらに, St. 2でのSS濃度が干潮時に最大となる要因として, St. 2の北側海域の筑後川河口付近に存在する高濃度水塊(満田, 1968)の移流の影響も考えられる。そこで, St. 2におけるSS濃度と塩分の関係について比較(図-5)すると, 塩分濃度の低下とSS濃度の上昇は明確に対応する。したがって, 河川水起源の高濃度水塊が干潮時には河口付近から沖合まで拡がり, St. 2のSS濃度にも影響

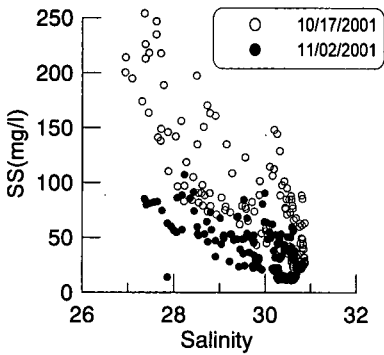


図-5 St. 2 における SS 濃度と塩分の関係

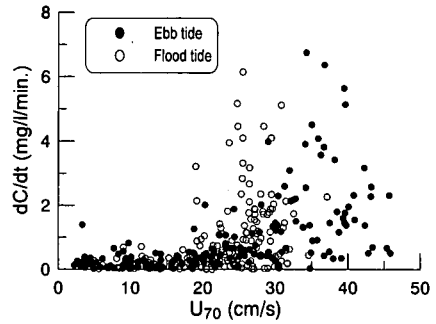


図-6 SS 濃度変化率と底面付近流速との関係

を及ぼしていると考えられる。ただし、図-5では10月17日と11月2日の各1日間の結果を示しているが、両日の結果にはSS濃度、塩分ともにその変動幅に差異が見られることから、河川流量や濁質供給条件の違いにより、このような濁水の移流によるSt.2のSS濃度変動への影響は大きく変化するものと考えられる。これらのことから、St.2においては、その場での巻き上げ作用や濁度水塊の移流効果等が複合的に関与することにより、SS濃度の変動が生じていることがわかる。

St.3については、今回の観測結果の中で、最もSS濃度の変動量が小さいものの、その変動にはやはり潮汐周期との対応が見られる。特に底面上20cmのSS濃度において、流速が大きくなると濃度も上昇しており、流れによる底質の巻き上げが生じているものと考えられる。このとき、St.3は砂質を主体とする底質であること、底面上50cmでは同様な濃度変動は見られないこと、さらにはSS濃度の上昇がきわめて短時間のうちに下降していることなどから、砂などの比較的粒径の粗い（沈降速度の速い）粒子の巻き上げが底面付近で生じているものと考えられる。なお、St.3における浮遊物の粒度分析結果（図-2）を見ても砂分がほとんど捕獲されていないのは、セディメントトラップの検査面が底面上50cmに設定されており、濁度計の結果からもわかるように、堆積物の巻き上げ高さが底面近傍のみに限られていたためと考えられる。

(4) 底泥巻き上げに関する限界流速に関する検討

堆積泥の巻き上げと外力との関係は、底泥輸送現象を把握する上できわめて重要なパラメータの一つである。このような関係を取得するため、現地泥を用いた水槽内での実験により、その巻き上げ特性について検討された例もいくつか見られる（たとえば、楠田ら、1989；村上ら、1989）が、ここでは、底面付近での濁度計と流速計の現地測定結果を利用して、底泥の巻き上げ条件について検討した。

検討対象地点は、潮汐流の強弱に対応して底面付近の浮遊泥濃度の上昇が顕著となるSt.1とした。底面上20cmにおけるSS濃度の急激な上昇が底面からの巻き上げ効果により生じているものと考え、ここではSS濃度の変化率と底面上70cmで測定された流速値との比較から、堆積泥の巻き上げが生じる限界流速について検討した。図-6はSt.1における10月30日～11月7日のデータを対象として、上記の関係について調べた結果である。なお、ここでの検討は巻き上げによるSS濃度の上昇時を対象とするため、濃度の上昇率が正の場合のみを同図では示している。SS濃度の変化率が、例えば2mg/l/min.を越える比較的大きな濃度の上昇は、底面付近（底面上70cm）の流速が20cm/sを越える場合にのみ発生していることがわかる。また同図では、上げ潮時と下げ潮時のデータをそれぞれ印を変えてプロットしているが、上げ潮時の方がより小さな流速で浮遊泥濃度の変化率の上昇が生じていることがわかる。St.1では満潮時と干潮時の憩流時にはいずれもSS濃度が下降するが、干潮時のSS濃度の方が満潮時よりも常に大きく、湾奥部からの懸濁物の移流の影響が現れていると考えられる。これにより、干潮時には底面付近に存在する浮遊状態の懸濁物量が多く、それらが上げ潮時に容易に巻き上げられるため、上げ潮時の方が下げ潮時よりも巻き上げの生じる移動限界流速が見かけ上小さくなっているものと考えられる。

(5) 浮遊泥輸送フラックスの算定

各地点におけるSS濃度および潮汐流の観測結果を基に、浮遊泥の輸送フラックスの算定を行った。ここでは、SS濃度の鉛直分布についての十分なデータはないため、底面上20cmでのSS濃度のデータと底面上70cmでの流速データについて、30分毎のそれぞれの観測値を掛け合わせることで、底面付近における浮遊泥の輸送量と輸送方向の変動特性について検討するものとした。図-7は、上記による浮遊泥輸送フラックス算定結果に対して、25時間の移動平均をとった結果を示したものであ

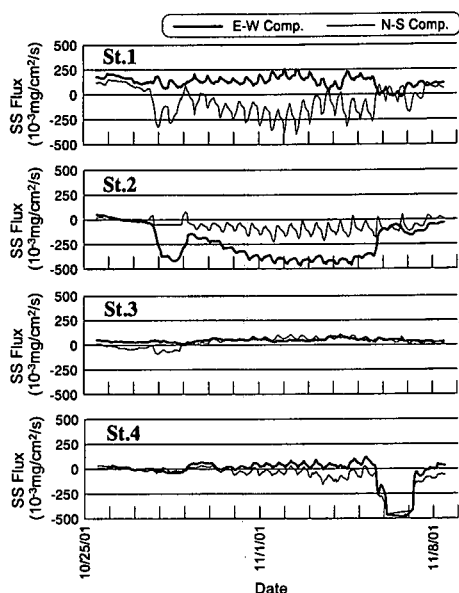


図-7 各観測地点における浮遊泥輸送フラックスの時間変化

る。同図では、図-3 中上部の矢印で示された 10 月 25 日午前 0 時～11 月 9 日午前 0 時の 15 日間分の計算結果を示している。大潮・小潮の周期に対応したフラックスの変化が、特に湾奥部の St. 1 と St. 2 において顕著となっているほか、10 月 28 日における湾奥部 (St. 1 および St. 2) あるいは 11 月 6 日における St. 4 では、高波浪による底泥輸送の影響も現れている。大潮期に増大する浮遊泥の輸送については、St. 1 では南東方向へ、St. 2 では西方向への輸送量が増大する。また、これらの輸送量は、10 月 28 日の荒天時と同程度の輸送が生じており、これらの地点における底泥輸送が潮汐流に強く支配されていることがわかる。一方、St. 3 や St. 4 における輸送量は、St. 1 や St. 2 に比べて小さい。ただし、St. 4 においては 11 月 6 日における高波浪による底泥輸送量が大きく、荒天時の影響については今後の検討課題としたい。

4. 結 論

有明海の底泥輸送過程の把握を目的として、北部海域 3 地点と中部東岸海域 1 地点で浮遊泥濃度と流況を主な観測項目とした定点連続観測を実施した。その結果、①底面付近の SS 濃度の変動は大潮期の潮汐流による底質の巻き上げ作用の影響を強く受け、また大河川の河口付近では、河川由来の濁水の影響も受ける、②湾奥西岸側の泥質堆積域における観測点 (平均水深約 6.6 m) では、潮汐流による巻き上げは、流速 (底面上 70 cm で計測) が 20 cm/s になると顕著となり、その限界流速は上げ潮時の方が小さい、さらに③浮遊物質の輸送量は大潮期に増大し、湾北部では高波浪時の輸送量に匹敵する底泥の移動が生じる、ことがわかった。

謝辞：現地調査の実施に際しては、国土交通省港湾局環境整備計画室および九州地方整備局博多港湾空港工事事務所、熊本港湾空港工事事務所の関係者諸氏に甚大なるご協力を頂いたことを記し、感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 池松 弥 (1980): 有明海のエビ・カニ・貝類, 月刊海洋科学, Vol. 12, No. 2, pp. 97-104.
- 鎌田泰彦 (1980): 有明海の沿岸地質・海底地形と底質, 月刊海洋科学, Vol. 12, No. 2, pp. 88-96.
- 楠田哲也・山西博幸・吉見博之・二渡 了 (1989): 撈乱・不撈乱底泥の巻き上げ特性に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 314-318.
- 佐藤正典編 (2000): 有明海の生きものたち, 海游社, 396 p.
- 瀬口昌洋・渡辺 潔・加藤 治 (1989): 有明海奥部浅海域における底層の流れと濁りについて, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 819-823.
- 農林水産省 (2001): 有明海ノリ不作の対策等に関する中間とりまとめ (有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会資料).
- 満田雅男 (1968): 海中浮泥の分布と渦面への影響について, 第 15 回海岸工学講演会講演集, pp. 175-179.
- 村上和男・菅沼史典・佐々木均 (1989): 円形回転水路による底泥の巻き上がりと沈降に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, 第 28 巻, 第 1 号, pp. 43-76.