

有明海湾奥部干潟前縁域の流動構造と懸濁態物質輸送特性に関する現地観測

Spatial and temporal variations of current and suspended solid in the sub-tidal and inter-tidal zone at the Head of Ariake Sea

八木 宏¹・井瀬 肇²・松村航裕³・木元克則⁴
Hiroshi YAGI, Hajime ISE, Kousuke MATSUMURA and Katsunori KIMOTO

¹正会員 博(工) 東京工業大学大学院助教授 情報理工学研究科情報環境学専攻 (〒152-8553 東京都目黒区大岡山2-12-1)

²学生会員 東京工業大学大学院修士課程 情報理工学研究科情報環境学専攻

³学生会員 東京工業大学 工学部土木工学科

⁴非会員 (独法)水産総合研究センター西海区水産研究所有明海・八代海漁場環境研究科長(〒851-2213 長崎県長崎市多以良町1551-8)

Field observations were performed to understand the spatial and temporal variations of current and suspended solid in the sub-tidal and inter-tidal zone of Ariake Sea. The tidal currents are dominant in the sub-tidal and inter-tidal zone of Ariake Sea, while the wind has an important role on generating the residual currents. A large amount of sediment is suspended in the inter-tidal zone and the shallower region of sub-tidal zone due to the combined effect of tidal currents and wind waves. Large variations of Chlorophyll pigments concentration during the neap tide are induced in the sub-tidal zone due to the intrusion of Chlorophyll pigments from the offshore sub-surface layer.

Key Words : Ariake Sea, tidal current, wind-driven current, sub-tidal tidal zone, suspend solid

1. はじめに

近年, 有明海湾奥部では, 赤潮の頻発化やこれまで好氣的と考えられてきた干潟浅海域が貧酸素化し, 貝類などの底生生物が大量斃死するなど, 水環境の劣化が著しいことが報告されている(例えば, 木元ら¹⁾). このように環境機能低下が著しい有明海, 特に湾奥部の水環境を保全・再生していくためには, 湾奥部に広がる広大な泥質干潟域も含め, 浅海域から沖合海域までを一体として捉えた湾奥海域全体の物質循環構造や生態環境機能を明らかにしていくことが不可欠である.

このうち湾奥沖合海域については, 湾スケールの流れや水質構造(小松ら²⁾), 懸濁物質の輸送特性(中川ら³⁾), 懸濁物質の挙動と酸素消費速度(徳永ら⁴⁾)などについて現地観測をベースとした実態解明が行われており, 一方, 干潟域についても底泥輸送や底微小藻類など底質環境に関する検討(田中⁵⁾), 八木ら⁶⁾), 山西ら⁷⁾)が始まっているが, 沖合海域と干潟域間の物質輸送, 特に両者を結ぶ干潟前縁域の性質については, その実態を把握するための検討が行われておらず十分な理解が得られているとは言えない.

そこで本研究では, 有明海湾奥部の佐賀県沖の干潟域~沖合海域を対象とし, 赤潮や貧酸素化が顕著な夏季について, 流動構造や懸濁物質の輸送特性に関する現地調査を行い, 干潟前縁域の流れや成層構造, 干潟域~沖合海域間の物質輸送特性を把握することを試みた.

2. 現地観測概要

本研究では, 夏季の干潟前縁域における流動構造と懸濁物質の挙動を把握するために, 有明海湾奥部の佐賀県福富沖の干潟前縁域(図-1)において2005年8月7日~8月18日の期間に現地調査を行った. 調査内容は,

干潟前縁域の岸沖方向4力所の固定観測点(Sta.1-4)における流速, 水温, 濁度, 蛍光光度, 溶存酸素の連続計測, 大潮時(8/8), 小潮時(8/15)における干潟前縁域の流速, 塩分, 水温, 濁度, 蛍光光度, 溶存酸素の岸沖断面構造計測(Sta.A~Sta.4), 1潮汐間の懸濁態物質の水平及び鉛直輸送フラックス計測(8/10, Sta.1-3), 貧酸素水塊の空間分布計測(8/7, 8/13, 8/17)である. 観測期間は, 大潮終盤から小

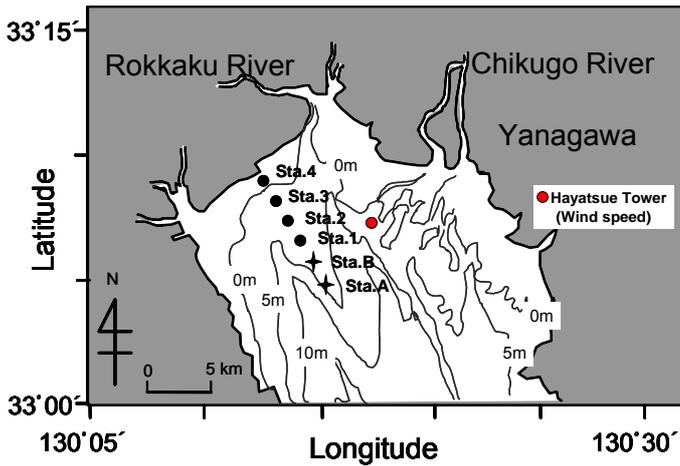


図-1 観測対象領域と観測点位置

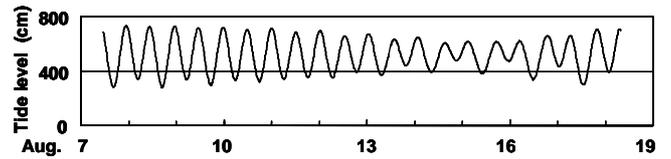
潮を経て中潮の時期にあたり、また天候については夏季の安定した晴天が続く、出水など顕著な陸水影響は見られなかった。なお、本観測で計測された濁度、蛍光光度の計測値は、田中ら⁵⁾が提案する換算式を用いて、SS、クロロフィル色素量(クロロフィルa + フェオ色素)に変換し以下の検討に用いている。

3. 現地観測結果と考察

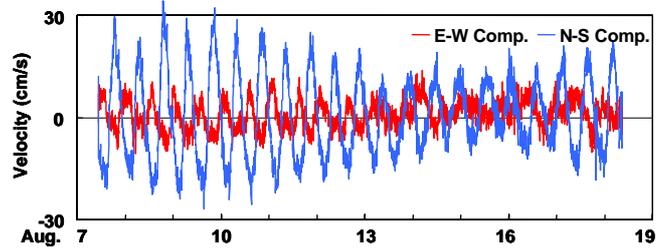
(1) 干潟前縁域の流動特性

図-2(a)(b)に、観測期間中の潮位とSta.2における底層流速(海底上0.5m)の時系列を示す。潮汐が大きい有明海の特徴を反映し、流速には半日周期の流速変動が卓越している。図-3は、Sta.1~4における観測期間全体の底層流速をホドグラフとして表示したものである(但し、Sta.4は8/11-13のみ計測)。これを見ると、潮流の主軸は、湾軸方向よりも六角川河口方向の北側にずれており、主軸の北側へのずれは陸岸に近づくほど大きくなっている。このような潮流の特徴は、陸岸と六角川河口の存在による地形効果を反映したものと考えられ、高橋⁸⁾の潮流数値シミュレーションの潮流楕円の傾向と一致したものとなっている。

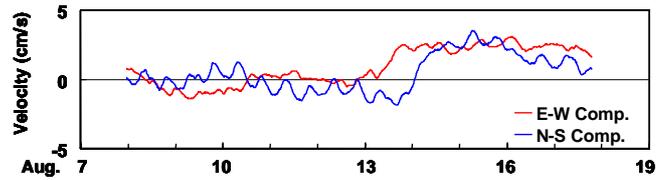
図-2(c)は、底層流速を25時間移動平均して算出した平均流成分(残差流)の時系列である。残差流には顕著な大潮小潮依存性は見られず、むしろ潮汐が大きい観測期間前半に残差流が小さく、小潮期の8/13ごろから北東方向の残差流が発達している。図-4(a)には、Sta.2における流速鉛直分布の時間変化を示すが、潮流の主軸に近い南北方向の流速成分には、観測期間前半を中心に明瞭な往復流が発生している。一方、東西方向成分は、観測期間前半には、潮流に対応した往復成分が見られるものの、8/13以降に水深全体にわたって東向きの流れが発達しており、これが先に示した北東方向の底層残差流に対応している。図-5に、観測期間



(a) 潮位



(b) 底層流速



(c) 底層流速の25時間平均(残差流)

図-2 潮位とSta.2における底層流速の時系列

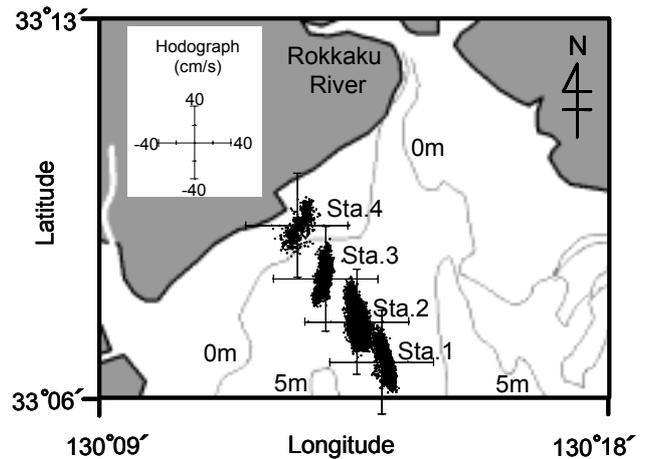


図-3 Sta.1~4の底層流速のホドグラフ

中の海上風ベクトルの経時変化(佐賀県水産振興センター早津江タワー、図-1参照)を示すが、これを見ると、観測期間前半の8/8~8/12に比較的強い南風が連吹しており、8/13以降西風に変化している。風向及び風向変化の時期などから、観測期間後半に発達する北東方向の残差流は海上風に起因したものと考えられ、潮流が卓越する有明海湾奥部の干潟前縁域においても、残差流には吹送流が重要な役割を果たしていることを観測結果は示している。

図-4(b)には、図-4(a)に示した流速値から鉛直平均流速を差し引いた流速偏差成分の時空間分布(南北成分)を示す。潮流成分が大きい観測期間前半には、上下の流速差が上げ潮、下げ潮ごとに变化しており、こ

これは往復流である潮流の鉛直構造に起因したものである。一方、小潮期には、中層に潮位変化に連動して上下する薄い北向き（岸向き）流速の層が発達している（図-4(c)中の矢印の期間A）。この中層の薄い北向き流速は、小潮期に顕著となる水温・塩分躍層付近に発生することから、密度構造に起因することが推測されるが、その詳細な発生メカニズムについては今後さらに検討する必要がある。

(2)干潟前縁域の懸濁態物質の時空変動構造と輸送特性
干潟前縁域の成層構造及び懸濁態物質の時間変動構造と輸送特性について、大潮期、小潮期に実施した一潮汐間岸沖断面観測、固定観測点における流速、水温、濁度、クロロフィル色素量の連続計測結果に基づいて、その特徴を把握することを試みた。

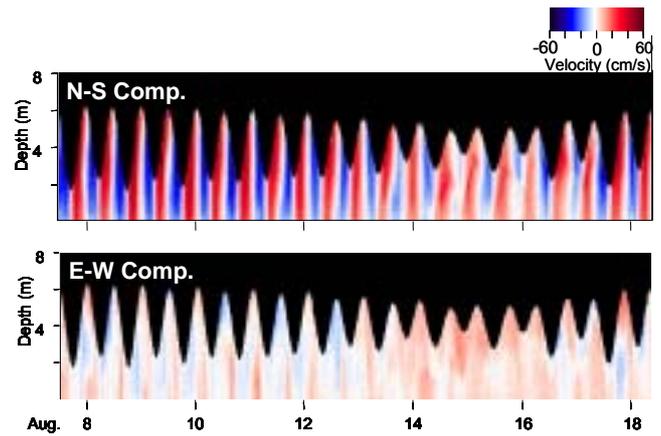
(a)干潟前縁域の岸沖断面構造

図-6に、大潮期、小潮期における(a)水温、(b)SS、(c)クロロフィル色素量の岸沖断面分布とその一潮汐間の変化を示す。水温の岸沖断面分布からわかるように、大潮期、小潮期いずれの場合も、上げ潮時に沖合から成層した水塊が干潟前縁域に流入することで成層が強化され、下げ潮時に沖合に流出することで成層強度が低下する傾向がある。成層強度は大潮期と小潮期で異なり、小潮期には鉛直方向変化がシャープな水温、塩分躍層が形成され、干潮時の浅海域側においても躍層が維持されるなど強い成層構造が発達している（塩分躍層も水温躍層と同様に発達）。このことは、潮位差が大きい有明海の浅海域であっても、小潮期には明確な成層構造が発達することを示している。

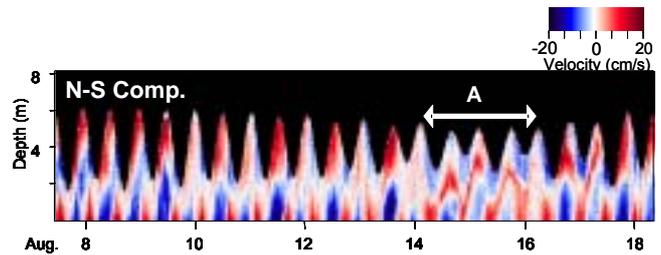
懸濁態物質総量を表すSSについては、満潮時の浅海域底層で大きな値を示し、下げ潮から干潮にかけて高濃度域が沖側に広がり、上げ潮時に岸側に移動している。小潮時には、岸に近い浅海域底層でのみ濃度上昇が見られ、干潟前縁域全体としては濃度レベルが低い。以上の結果は、基本的には大潮期の浅海域を中心として底質が大量に巻き上げられ、それが潮流によって岸沖方向に輸送されていることを示している。一方、クロロフィル色素量は、小潮期の沖合海域亜表層から中層に濃度レベルが高い領域（クロロフィル極大層）が存在することが特徴であり、それが上げ潮時に干潟前縁域に進入するなど、沖合海域から干潟前縁域への影響を考える上で重要な役割（植物プランクトンの流入など）を果たしている。

(b)懸濁態物質の時間変動特性

図-7に、Sta.1～Sta.4の底層（海底上50cm）のSSとクロロフィル色素量の時系列を示す。SSの時間変動は、基本的には潮汐に対応したものとなっており、いずれの場所も干潮時前後の下げ潮後半、上げ潮前半に濃度レベルが高く、小潮期よりも大潮期で濃度変動が大きい。また、岸沖方向に比べると、水深が浅い岸側の海



(a) 流速（南北成分・東西成分）



(b) 水深平均流速からの偏差成分（南北成分）

図-4 Sta.2における流速の時空間コンター

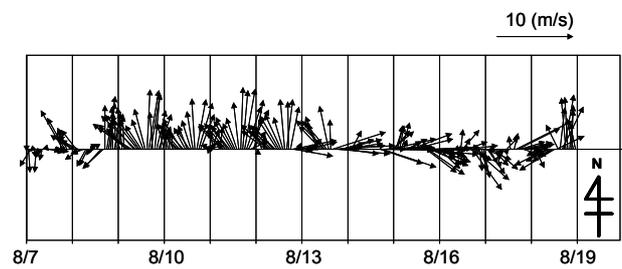
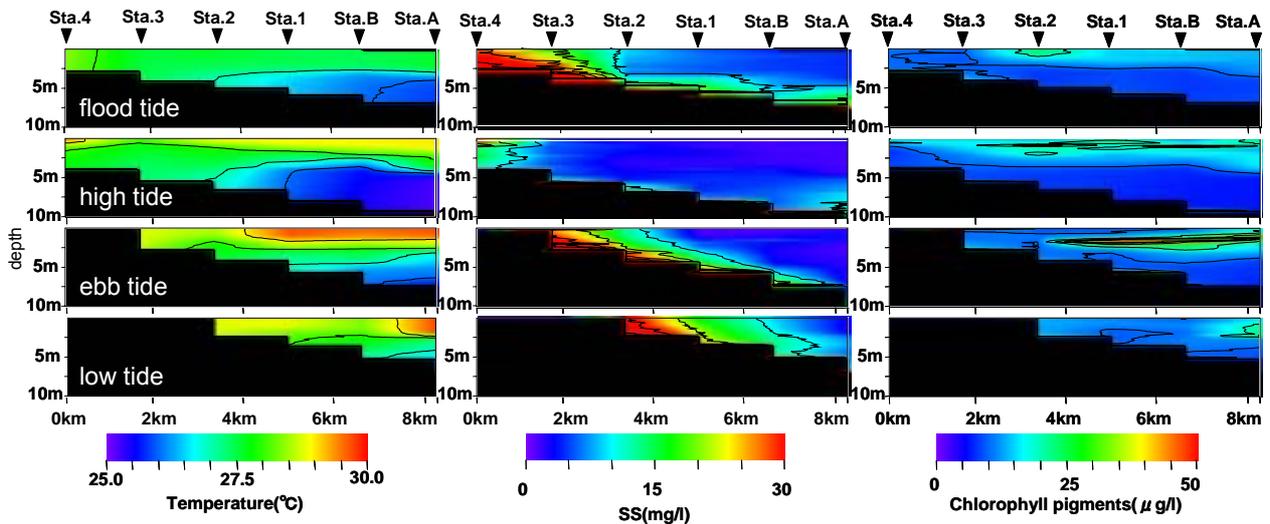
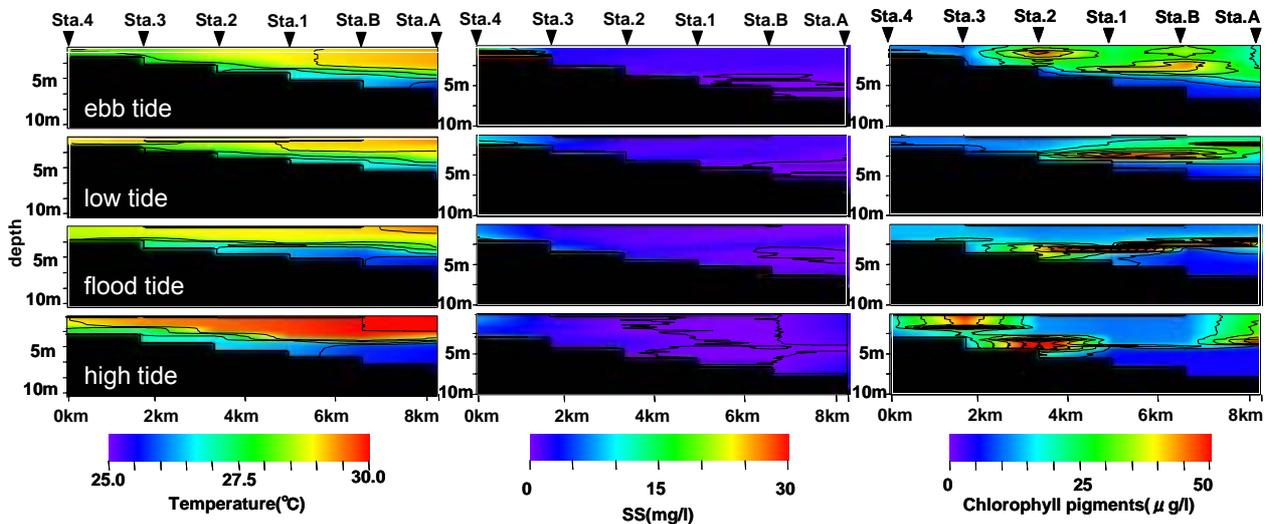


図-5 海上風ベクトルの時系列

域の方がSS濃度レベルが高くなっており、これらの傾向は、先に示した大潮期、小潮期の岸沖断面計測結果とも一致したものとなっている。このように、SSの変動は基本的には潮汐の影響を受けているが、濃度変動と潮差の関係を調べると、必ずしも潮差だけで濃度レベルが支配されているわけではない。本観測期間中でSS濃度変動が最も大きくなるのは8/9（図中矢印B）であり、潮差だけで考えれば、その前の8/7,8の方が大きい。図-5に示した、海上風の経時変化からもわかるように、SS濃度レベルが最大となる8/9以前は、風速が比較的小さく、8/9から強い南風が連吹している。南風が連吹する8/9以降、観測対象海域には海上風によって発達したと思われる周期の短い風波が現地調査時に確認されており、潮流に波浪の効果が重なることで、水深の浅い領域を中心に底質がより大きく巻き上げられ、結果として大潮期のピークを過ぎた8/9に、SS濃度変動



(a) 大潮期(2005年8月9日)



(b) 小潮期(2005年8月15日)

図-6 水温, SS, クロロフィル色素量の岸沖断面分布

が最大となったものと推測される。

一方、クロロフィル色素量は、大潮期よりも小潮期に濃度変動が大きい傾向がある。Sta.2における小潮期の濃度ピーク（図中矢印C）は、先に示した小潮期の岸沖断面観測時に一致しているので沖合海域との関係性を調べると、小潮期に沖側海域の垂表層～中層に形成されたクロロフィル極大層が上げ潮時に干潟前縁域にまで到達しており、これがSta.2における底層クロロフィル色素量変動の原因あることがわかる（図-6参照）。このように、干潟前縁域では、小潮期を中心として沖側海域のクロロフィル極大層から植物プランクトンが供給され、底層の懸濁物質環境に影響を及ぼしていることが考えられる。

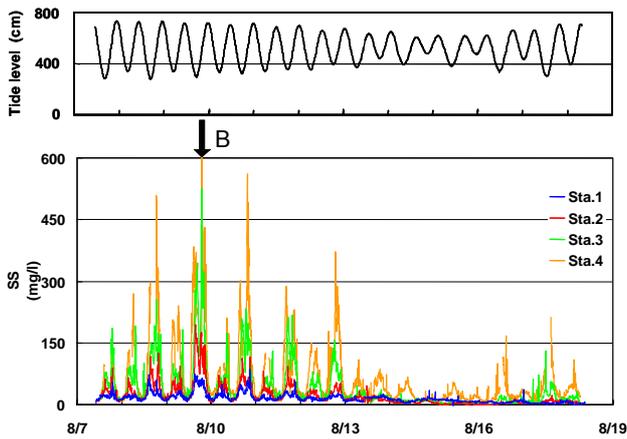
(C) 懸濁態物質の輸送特性

図-8、図-9に、Sta.2におけるSS及びクロロフィル色素量フラックスの時系列を示す。図中には、25時間移

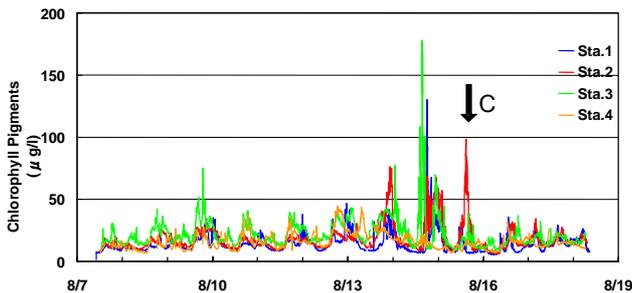
動平均値も併せて表示している。これを見ると、濃度変動に対応して、SSは大潮期～中潮期に、クロロフィル色素量は小潮期に輸送フラックスが大きな値を示している。輸送方向は、25時間平均でみるといずれも岸向きであり、沖合海域と干潟域をつなぐ干潟前縁域では、SS及びクロロフィル色素（植物プランクトン）ともに岸向きに輸送する性質があることがわかる。SSやクロロフィル色素量が岸向きに輸送されるメカニズムについては、数値シミュレーション等も併せて今後詳細な検討をする必要がある。

4. おわりに

有明海湾奥部干潟前縁域における現地調査から、干潟前縁域の流れや懸濁物質の時空間変動・輸送特性と



(a) SS



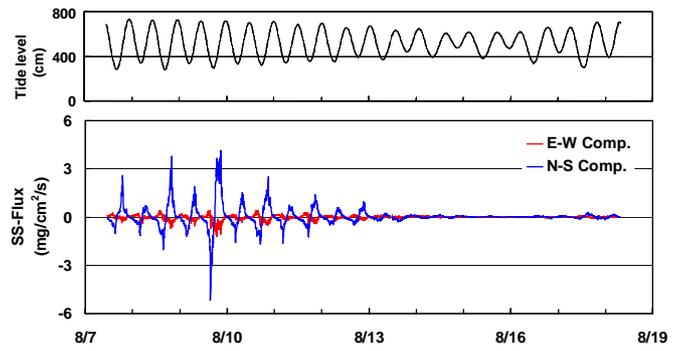
(b) クロロフィル色素量

図-8 SSとクロロフィル色素量の時系列

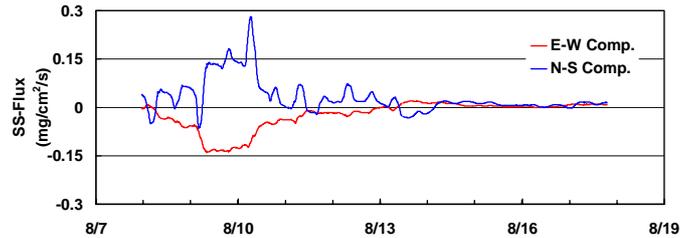
して以下の性質があることを示した。

1. 有明海湾奥部干潟域～沖合域の流れは、基本的には岸沖方向に往復する潮流が卓越しているが、残差流の形成には吹送流が重要な役割を果たしている。
2. 懸濁態物質 (SS) は、浅海域ほど濃度レベルが高く、これは懸濁態物質の巻き上げに、潮流だけでなく、海上風によって生成された波浪の影響が大きいたことが原因と考えられる。
3. クロロフィル色素量の変動は、大潮期よりも小潮期に大きい。これは成層が顕著となる小潮期に沖合海域垂表層～中層に形成されるクロロフィル極大層の干潟前縁域への流入の影響と考えられる。
4. 懸濁態物質 (SS) フラックスは大潮期に、クロロフィル色素量フラックスは小潮期に大きくなり、正味の輸送方向 (25時間平均) は、いずれも岸向きになる。

謝辞：現地調査を行う上で、計測機器を提供して頂いた独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所中山哲蔵氏、西海区水産研究所 岡村和磨氏、気象データの提供並びに現地調査についてご助言を頂いた佐賀県有明水産振興センター川村嘉明氏、また現地調査に多大な協力を頂いた西村商会榎柴原芳一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

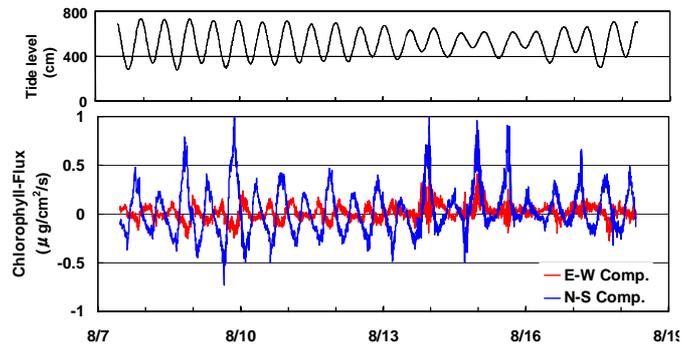


(a) SSフラックス

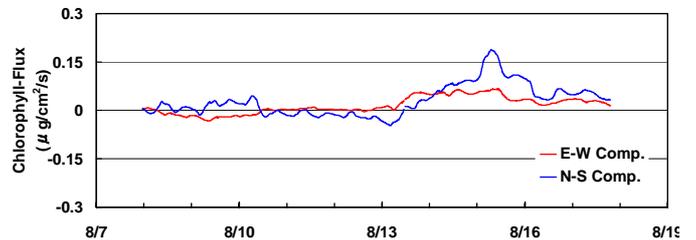


(b) SSフラックス (25時間平均)

図-9 Sta.2におけるSSフラックスと潮位の時系列



(a) クロロフィル色素量フラックス



(b) クロロフィル色素量フラックス (25時間平均)

図-10 Sta.2におけるクロロフィル色素量フラックスと潮位の時系列

究費基盤研究 (c) (課題番号：17560454, 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

- 1) 木元克則・田中勝久・児玉真央・山本憲一・那須博史：有明海奥部における貧酸素水塊の動態，2005年度日本海洋学会春季大会講演要旨集，p196,2005.
- 2) 小松利光・安達貴浩・金納聡・矢野真一郎・小橋乃子・藤田和夫：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.936-940,2003.
- 3) 中川博之・今林章二・末次広児：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.566-570,2002.
- 4) 徳永貴久・松永信博・阿部淳・児玉真史・安田秀一：有明海西部海域における高濁度層の観測と懸濁物質による酸素消費の実験，土木学会論文集，No.782,pp.117-129,2005.
- 5) 田中勝久・児玉真史・熊谷香・藤本尚伸：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.163-172,2004.
- 6) 八木 宏・井瀬 肇・石田大暁・灘岡和夫・中山哲巖・小谷正幸：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，海岸工学論文集，第52巻,pp.941-945,2005.
- 7) 山西博幸・荒木宏之・高哲煥・清川徹・茂木裕介・古賀憲一：有明海湾奥部干潟域における懸濁物輸送と底泥付着藻類の変動特性に関する研究，環境工学研究論文集，Vol.40，pp.587-594，2003．
- 8) 高橋亜依：有明海湾奥部における流動構造と浮泥輸送に関する研究，東京工業大学大学院修士論文,100p.，2003.

(2005.9.30受付)