

## 内湾浅海域における懸濁物質濃度の変動特性について

九州大学大学院 学生員 ○吉武竜馬 正員 押川英夫・田井明 佐賀大学 速水祐一

### 1. 研究目的

熊本港等の九州の港湾ではシルトや粘土による航路埋没が顕著であり、その対策は重要な課題となっている。そのような背景の下、近年沿岸域における泥質粒子などの微細懸濁物質の挙動に関する研究が多く行われているが、未だにその物理・化学的特性の十分な把握・評価には至っていない。本研究では、閉鎖性内湾である有明海諫早湾内の浅海域を対象に流況・水質等に関する定点連続観測を実施して、内湾浅海域の懸濁物質に及ぼす乱れ・波・流れ等の影響の把握を試みた。

### 2. 現地観測の概要

2013年12月22日から2014年2月22日の2か月間にわたり、Fig.1に示す有明海諫早湾内の測点 B3(32°53'48"N, 130°12'59"E)において、各種計測機を海底設置させて連続観測を行った。使用機器と主要な計測条件を Table1 に示す。測定高さは設置時の海底面上のセンサーの位置である。なお、設置時の表層底泥の中央粒径は  $d_{50}=26\mu\text{m}$  であった。

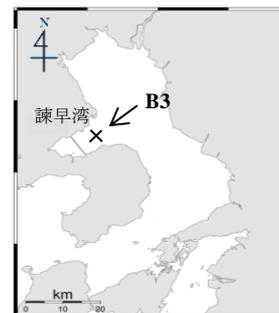


Fig.1 有明海の概略図と観測地点

### 3. 解析手法と結果の考察

乱れの計測を意図した Vector による流速のデータについては、単純なレイノルズ分解に基づく乱流統計量（乱れ強度、乱れエネルギー、レイノルズ応力等）では、波浪が卓越する場合に波と乱れが重なった統計量が得られるため、波浪成分を除去した乱流統計量を算出した（詳細は後述）。また、後述の潮位  $WS$  は波高計のデータより算出されており、濁度の値はカオリン溶液による標準検定結果で、バースト毎の前後1時間の移動平均値である。

Fig.2 に観測期間中の観測点 B3 における、有義波高  $H_{1/3}$ 、有義波周期  $T_{1/3}$ 、 $WS$ 、差分に基づく  $WS$  の時間変化  $dWS/dt$ （潮流の代表値）、乱れエネルギー  $k$ 、濁度の時系列を示す。 $H_{1/3}$  と濁度はともに2月中旬に大きくなっていることが分かる。 $k$  は大潮の時期に大きくなっており、 $WS$  との関連が示唆される。

土砂動態の代表値と考えられる濁度に影響を与える独立な物理量とそれらの寄与の程度を把握するために、 $k$ 、レイノルズ応力、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 、波パワー ( $WP \equiv 0.5H_{1/3}^2 T_{1/3}$ )、底層平均流速、 $WS$ 、 $dWS/dt$  等の物理量を説明変数として重回帰分析を行った。その結果、濁度を目的変数として、 $k$ 、 $WP$ 、 $WS$ 、 $dWS/dt$  を説明変数とした組合せが良い結果として得られた。その結果を Table2 に示す。標準偏回帰係数を見ると、濁度には  $WP$  が著しく寄与しており、次に  $k$ 、そして  $WS$ 、 $dWS/dt$  が若干影響していることが分かる。重相関係数は 0.72 である。

次に、 $k$ 、 $WP$ 、 $WS$ 、 $dWS/dt$  のそれぞれの影響が大きい幾つかのイベントについて、詳細な検討を行った。時系列データをスペクトル解析した各イベントの結果を Fig.3 に示す。 $F_u(f)$ 、 $F_v(f)$ 、 $F_w(f)$  は、各流速成分 ( $u, v, w$ ) のスペクトルであり、 $F_s(f)$  は超音波式波高計による水面変位のスペクトルである。なお、後述するように Fig.3(a)' のみが乱

Table1 使用機器と計測条件

測定項目	使用機器	測定高さ	記録間隔など
流速	超音波式流速計 (Nortek社製 Vector)	25cm	2時間ごとに32Hzで128秒
	超音波式流速分布計 (Nortek社製 Aquadopp profiler 2000kHz)	20cm	10分ごとに1Hzで1分間
波と潮位	超音波式波高計 (アイオーテック社製 Wave Hunter04Σ)	50cm	1時間ごとに5Hzで20分間
濁度	クロロフィル濁度計 (GFEアドバンテック社製 Compact-CLW)	35cm	30分ごとに2Hzで30秒間

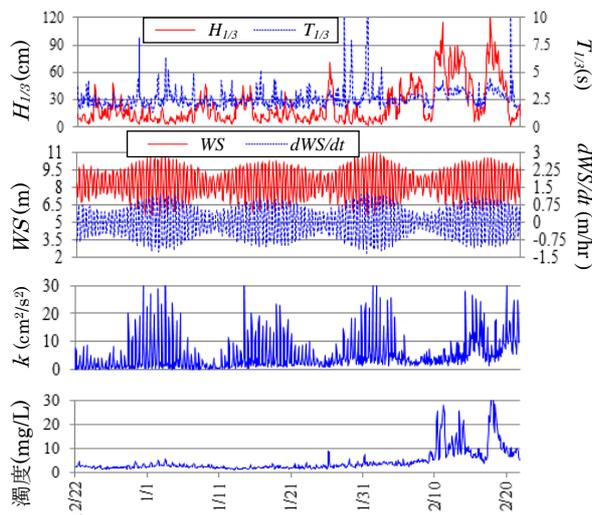


Fig.2 各平均量の時系列 (有義波,  $WS$ ,  $dWS/dt$ ,  $k$ , 濁度)

Table2 重回帰分析の結果 (p: p-value)

	標準偏回帰係数
乱れエネルギー $k$	0.12**
波パワー $WP$	0.71**
平均水位 $WS$	-0.095**
平均水位の時間変化 $dWS/dt$	-0.095**
重相関係数	0.72

\*\* : p<0.01, \* : p<0.05

キーワード 懸濁物質, 土砂動態, 内湾浅海域, 有明海諫早湾, 重回帰分析, 風波

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 九州大学 W2 号館 1013 号室 TEL : 092-802-3412

れ成分を抽出した結果である。

2014年2月18日13時のイベント(a)の結果を示す Fig.3(a)より,  $F_s(f)$  には  $f=0.23\text{Hz}$  に顕著なピークが見られるとともに, 傾きが-4の周波数帯が発達しており, -4乗則に従う風波が発達していることが理解される. また, 各流速スペクトルについても同じ  $f=0.23\text{Hz}$  に顕著なピークが見られており, 風波の運動が底面付近の流速波形にも明瞭に表れていることが分かる. また, ピーク付近を除くと乱流の-5/3乗則に従う慣性小領域が見られている. 風波が発達している条件では, このように乱れと波が重合していることから, 風波のピーク周波数付近の流速スペクトルのパワーを-5/3乗則で置き換え [ $F(f)=af^{-5/3}$ ,  $a$ はイベント毎に定数として同定], フーリエ逆変換した流速の時系列から乱流統計量を再計算した. その結果の例が Fig.2にも示された波浪成分を除去した  $k$  である. 再計算されたスペクトル(流速3成分のみ)が Fig.3(a)'で, 乱れ成分のみであることから風波のピークは見られず慣性小領域が広く分布している.

イベント(a)の濁度は  $28\text{ mg/L}$  であり, かなり大きな値を示している.  $k$ ,  $WP$ ,  $WS$ ,  $dWS/dt$  はそれぞれ,  $5.7\text{ cm}^2/\text{s}^2$ ,  $2.1\text{ kW/m}$ ,  $9.6\text{ m}$ ,  $-0.72\text{ m/hr}$  で, Fig.2より,  $WS$  と  $WP$  は大きく,  $k$  はやや大きい場合で,  $dWS/dt$  は小さいイベントと判断される. また, Table2において  $WS$  と  $dWS/dt$  の標準偏回帰係数は負値であることから, このイベントに  $WS$  は殆ど寄与していないものの,  $dWS/dt$  は標準偏回帰係数の絶対値が  $WP$  等と比較して小さいことから判断してわずかに寄与している可能性がある. したがって, 前述のスペクトルの結果も踏まえると, このイベントの濁度には波浪が著しく影響しており, 乱れと潮流が若干寄与していることが考えられる.

2014年2月16日19時のイベント(b)の濁度は  $10\text{ mg/L}$  で, 濁度がある程度大きな場合である.  $k$  は  $15\text{ cm}^2/\text{s}^2$  とイベント(a)と比較しても大きく,  $WP$  は  $0.010\text{ kW/m}$  と非常に小さく,  $WS$  は  $7.7\text{ m}$  で平均的な値,  $dWS/dt$  は  $0.95\text{ m/hr}$  と大きな値となっている. 水面変位のスペクトルを見ると, -4乗則が成立している周波数帯がなく, スペクトルのピークの値も3オーダー程度小さいので, 風波は発達していないことが理解される. 一方, 流速のスペクトルを見ると, -5/3乗則が成立しているとともに, スペクトルのパワーは1オーダー程度大きいので (Fig.3(b)と Fig.3(a)'の縦軸の最大値付近を見れば理解できる), 比較的強い乱流が発達していることが分かる. したがって, この時の濁度には乱れが大きく影響しており, 潮流は僅かに寄与している可能性がある.

2014年1月4日5時のイベント(c)の濁度は  $5.3\text{ mg/L}$  と2月の高波浪期を除くと濁度がやや大きな場合である. この時,  $k$ ,  $WP$ ,  $WS$  はそれぞれ,  $1.4\text{ cm}^2/\text{s}^2$ ,  $0.0033\text{ kW/m}$ ,  $5.5\text{ m}$  と非常に小さく, また,  $dWS/dt$  も  $-0.42\text{ m/hr}$  と比較的小さい. Fig.3(c)の水面変位のスペクトルを見ると, Fig.3(a)よりも-4乗則が成立している周波数帯が非常に狭く, さらにスペクトルのピーク値も3オーダー以上小さいので, 波は発達していないことが理解される. 流速のスペクトルを見ると, 乱流の-5/3乗則はある程度成立しているものの, スペクトルのパワーが Fig.3(b)と比較して1オーダー程度小さいので, 乱れは強くないことが分かる ( $k$ の値の比較からも理解できる). したがって, 前述の重相関係数の負号を考慮すると, この時の濁度には, 主に  $WS$  と  $dWS/dt$ , つまり, 水深が浅い時間帯の潮流が寄与しているものと考えられる.

#### 4. 結論

内湾浅海域における懸濁物質の特性を把握するために有明海諫早湾内の現地データの解析を行った. 浮遊懸濁物質の代表量として濁度を用いたところ, 底面付近の濁度には風波が著しく影響していることが明らかとなった. 更に, 寄与の程度は比較的小さいものの乱れも濁度に影響しており, 潮位と潮流も若干影響していることが分かった. したがって, 内湾浅海域の土砂動態の評価・予測においては波浪の影響を十分に考慮する必要性が示唆された.

謝辞: 本研究は有明海地域共同観測プロジェクト(COMPAS)の援助の下に行われた. ここに記して謝意を表します.

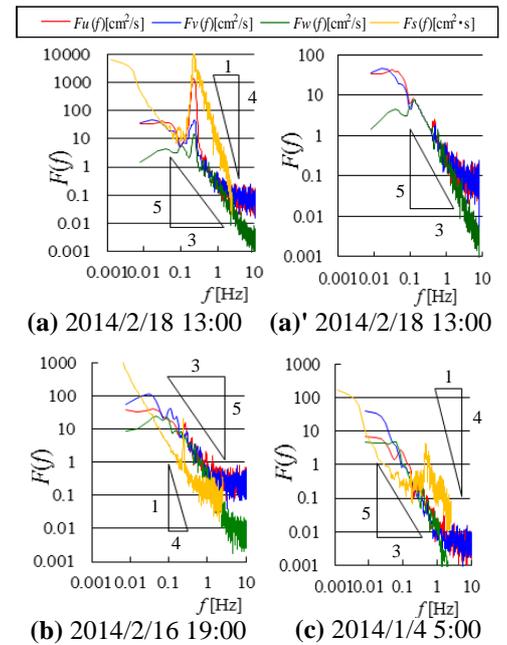


Fig.3 周波数スペクトル