

有明海諫早湾内の土砂動態に関する現地データの解析

九州大学 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. はじめに

底質の輸送現象は、栄養塩物質の輸送や底生生物の生息環境などの沿岸域環境を形成する重要な要素の一つである。近年、有明海において水産資源の減少や水質環境の劣化への対応が迫られている。そこで本研究では、有明海諫早湾内における底泥動態の解明を目的とし、濁度・流況等に関する定点連続観測を実施して、湾内での土砂動態に及ぼす乱れ・波・流れの影響の把握を試みた。

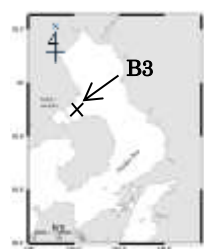


Fig.1 有明海の概略図と観測地点

2. 現地観測の方法

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。

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合した統計量が得られるため、波と乱れの分離を行い、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、後述の平均水位（潮位）WSは波浪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、バースト毎の平均値を用いている。

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、 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。

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, 水圧センサー付き)	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 1000kHz)	20cm	10分ごとに1Hzで1分間
波と潮位	超音波式波高計 [アイオーテクノロジー社製 Wave Hunter99-Σ]	50cm	1時間ごとに5Hzで20分間
濁度	クロロフィル濁度計 (JFE アドバンテック社製 Compact-CLW)	35cm	30分ごとに2Hzで30秒間

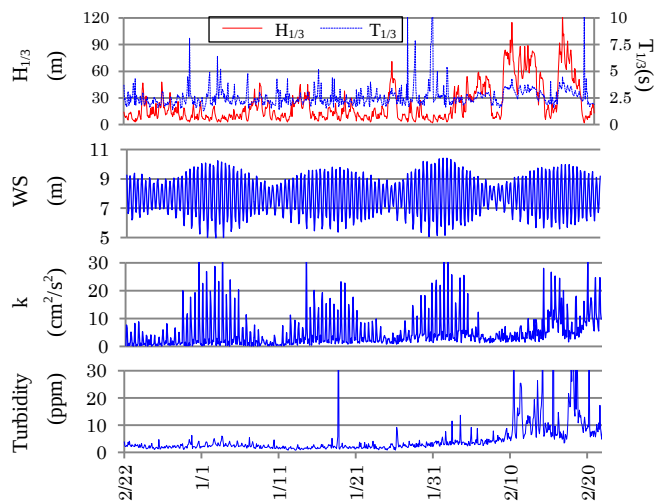


Fig.2 各平均量の時系列（有義波、WS、 k 、濁度）

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、WSの時間変化（潮流の代表値）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を説明変数とした組合せが比較的良好な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、次にWSと k が若干影響していることが分かる。重相関係数は0.48である。

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	0.063
波パワー WP	0.469**
平均水位 WS	-0.132**
重相関係数	0.482
**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$	

次に、乱れ (k)、波 (WP)、平均水位 (WS) のそれぞれの影響が大きいイベントについて、詳細な検討を行った。2014年2月18日13時のイベント(a)は波と乱れの影響が大きい場合であり、2014年2月1日19時のイベント(b)は乱れの影響が大きい場合、2014年1月4日5時のイベント(c)は平均水位の影響が大きい場合である。

結果の例として、イベント(a)における流速と圧力（水頭）の瞬時値の時系列（一部）をFig.3に示す。流速ベクトル (u , v , w)は、 u が北方、 v が東方、 w が鉛直上向きの各成分であり、 p は水圧センサーの出力値で水面変位にほぼ相当する。これより、イベント(a)では周期4

秒程度の波に乱れが重合していることが見て取れる。

Fig.3に示したような時系列データをFFTによりスペクトル解析した各イベントの結果を**Fig.4**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.4(a)'**のみが乱れ成分を抽出した結果である。

イベント(a)の結果を示す**Fig.4(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。因みに、 $f=0.23\text{Hz}$ を周期に直すと4.3秒であり、前述の周期4秒程度とも一致する。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、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 $[F(f)=\alpha f^{-5/3}]$ 、 α 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.4(a)'**で、乱れ成分のみであることから、当然なが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26.1 ppmであり、かなり大きな値を示している。 k は $5.68\text{ cm}^2/\text{s}^2$ とやや大きく、WSとWPはそれぞれ9.55 m, 2.08 kW/mと共に大きな値となっている。**Table2**においてWS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。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、乱れも若干寄与していることが考えられる。

イベント(b)時の濁度は5.9 ppmで、濁度がある程度大きな場合である。 k は $22.6\text{ cm}^2/\text{s}^2$ とイベント(a)と比較しても大きく、WPは 0.0067 kW/m と小さく、WSは7.46 mで平均的な値となっている。水面変位のスペクトルを見ると、**Fig.4(a)**と比較して-4乗則が成立している周波数帯が非常に狭く、スペクトルのピーク(実際には二山になっている)の値も2オーダー以上小さいので、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周波数帯はイベント(a)よりも大きく、スペクトルのパワーも1オーダー程度大きいので(**Fig.4(b)**と**Fig.4(a)'**の縦軸の最大値を見れば理解できる)、非常に強く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、平均水位は僅かに寄与している可能性がある。

イベント(c)における濁度は6.0 ppmとイベント(b)と同程度で、濁度がやや大きな場合である。この時は、 $k=1.4\text{ cm}^2/\text{s}^2$, WP=0.00328 kW/m, WS=5.01mと全てが小さい場合である。水面変位のスペクトルを見ると、**Fig.4(a)**よりも-4乗則が成立している周波数帯が狭く、さらにスペクトルのピーク値も3オーダー程度小さいので、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、-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.4(b)**と比較して1オーダー以上小さいので、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、この時の濁度には、主に平均水位が寄与していることが考えられる。

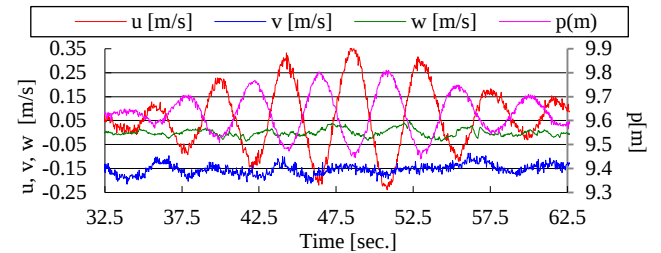
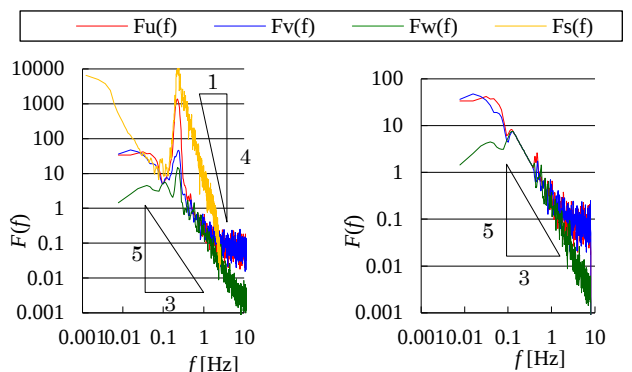
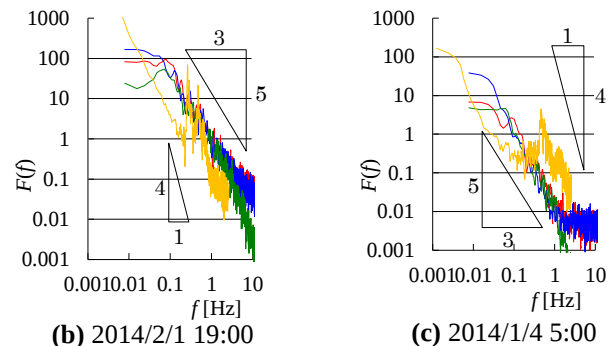


Fig.3 流速と圧力の瞬時値の時系列(2014/2/18/13 時)



(a) 2014/2/18 13:00

(a)' 2014/2/18 13:00



(b) 2014/2/1 19:00

(c) 2014/1/4 5:00

Fig.4 周波数スペクトル

4. 終わりに

本研究では、諫早湾内で行われた海底設置機器による連続観測データの解析を行った。波浪成分を除去した乱れ成分の統計処理等を行った結果、濁度には風波が著しく影響していること、また潮位と乱れが若干寄与していることなどが明らかとなった。更にイベント毎の解析を行い、それらの影響が顕著な場合の特性について検討した。今後は濁度だけでなく、海底面の変化やSSフラックス等についても検討した上で、土砂動態の解明とそのモデル化を行っていく予定である。

謝辞: 本研究は、有明海地域共同観測プロジェクト(COMPAS), および JSPS 科研費 25420526 の援助の下に行われた。ここに記して謝意を表します。