

有明海奥部浅海域における底層の流れと濁りについて

瀬口昌洋*・渡辺 潔**・加藤 治**

1. まえがき

有明海奥部浅海域には、広大な干潟が発達している。そして、この海域の広い範囲にわたって粘土、シルトよりなる底質が分布している(鎌田, 1980; 藤本, 1989)。このような底質分布と激しい潮流とにより、ここには他に類を見ないような高濁水域が形成される。このような海水の濁りは、ここでの海域環境のみならず、生態系にも少なからず影響を及ぼしている。

この研究は、特に水産生物の生息及び生産の場である干潟の動態と密接な関係にある底質の巻き上げ現象の実態を、底層の流れと濁りを中心とした現地観測データから探ろうとしたものである。ここでは、まず流況及び底質の異なる奥部浅海域の3地点で得られた底層の流速と濁度の連続観測データを基に、それらの経時的変動性及び両者の関連性、さらには濁度と懸濁物質(SS)濃度の鉛直分布と流れ特性との関連性などを中心に検討した。そして、これらの結果を基に、この海域での底質の巻き上げ現象について考察した。

2. 現地観測の概要

図-1 は、有明海奥部の海底地形及び底質分布(鎌田, 1980)を示したものである。図示されるように、この海域の海底地形及び底質分布、さらにはこれらを反映した潮流構造は非常に複雑である。

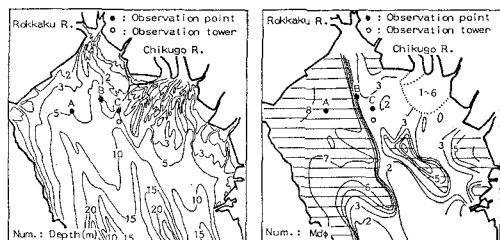


図-1 海底地形及び底質分布と観測地点

現地観測は、これらを考慮し、流況及び底質の異なる3地点 A, B, C で、それぞれ異なる日(いずれも大潮日)に実施された。ここで、A 地点(1988年6月15日実施)は流入河川の直接的影響の少ない水深 $h=5$ m、底質の中央粒径 $d_{50}=0.009$ mm の地点、また B 地点(1988年7月13日実施)は六角川の滞筋上で $h=3$ m、 $d_{50}=0.134$ mm の地点、さらに C 地点(1988年8月26日実施)は筑後川の滞筋上で $h=5.5$ m、 $d_{50}=0.154$ mm の地点である。なお、これら3地点における底質の粒径加積曲線を示すと、図-2 となる。

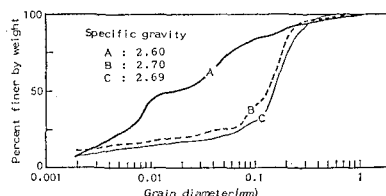


図-2 3地点 A, B, C の粒径加積曲線

これらの現地観測では、支持台に取り付けられたメモリー型電磁流速計とメモリー型濁度計を並列にして海底に沈め、底層(海底から20 cmの高さ)での3次元方向の1秒毎の流速と5秒毎の濁度の連続測定をほぼ1周期(12時間)にわたって実施した。また、これらの測定に並行して1時間毎の平均流速、濁度などの鉛直分布の測定と深さ0.5~1.0 m 毎に採水器を用いて採水を行い、SS 濃度の鉛直分布を求めた。なお、波高データは、佐賀大学海象観測塔で収集されたものである。

3. 観測結果及び検討、考察

(1) 流速の鉛直分布

まず、流況の全般的傾向を見るために、水深と平均流速の鉛直分布の経時的変化を示すと、図-3 となる。図示されるように、各地点の流況は、それぞれの海域環境を大きく反映している。すなわち、A 地点の平均流速の鉛直分布は、上げ潮時及び下げ潮時ともほぼ対数分布となっている。しかし、C 地点のそれは、下げ潮時では一

* 正会員 農博 佐賀大学助教授 農学部浅海干潟総合実験施設

** 正会員 農博 佐賀大学教授 農学部生物生産学科

様な分布で大きな値を、また上げ潮時では Coutte 流れに類似した直線的な分布を示している。これは、筑後川からの流れが強く影響したためと考えられる。さらに、B 地点では、A、C 両地点の中間的な性状が伺われる。

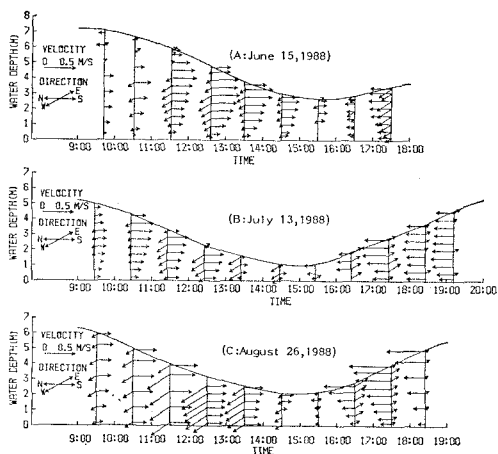


図-3 流速の鉛直分布

(2) 底層の流れと濁り

ここでは、まず底層の流れ特性を把握するために、流速の連続測定値を60秒間の移動平均により平均流速成分と変動流速成分に分離した。図-4~6は、各地点の流速測定値、平均流速成分及び変動流速成分の経時変化を1分間毎に示したものである。なお、ここには水深と1時間毎の有義波高の経時変化も併せて示されている。図示されるように、各地点の平均流速成分は、巨視的には比較的類似した経時変化を呈している。すなわち、平均潮位付近で流速は大きく、また干潮時から上げ潮時にかけて時計回りに流向がほぼ 180° 逆転している。しかし、微視的には各地点毎の差異が見られる。特にC地点では、筑後川からの流れの影響を強く受け、上げ潮時及び下げ潮時における流れの非対称性が顕著に現れている。一方、変動流速成分は各地点毎に大きく異っている。すなわち、A、B地点では干潮位付近で、またC地点では下げ潮時及び上げ潮時の平均潮位付近で、変動流速成分の増加が見られる。特にB地点の変動流速成分は大きい。また、この成分と有義波高とは、ほぼ類似した経時変化を示している。

このような底層での流速の変動性を定量的に評価するために、流速変動エネルギースペクトルを推算すると、図-7となる。図示されるように、これらのエネルギースペクトル分布には上述した各地点の流速の変動傾向が如実に現れている。すなわち、A、B地点のエネルギースペクトルには大きなレベルの差こそ見られるが、その分布は類似しており、特に周期3秒付近に大きなエネルギー

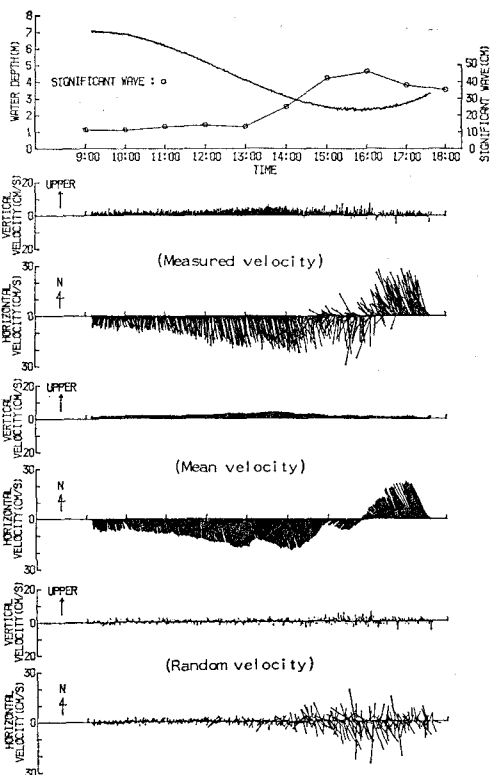


図-4 底層の流れ(A地点: 1988年6月15日)

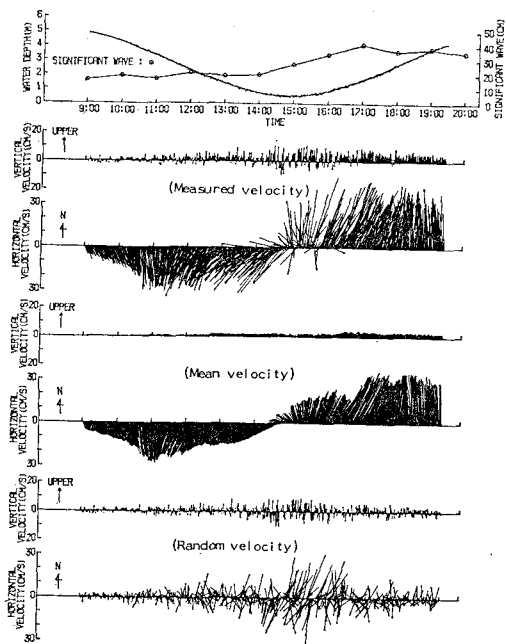


図-5 底層の流れ(B地点: 1988年7月13日)

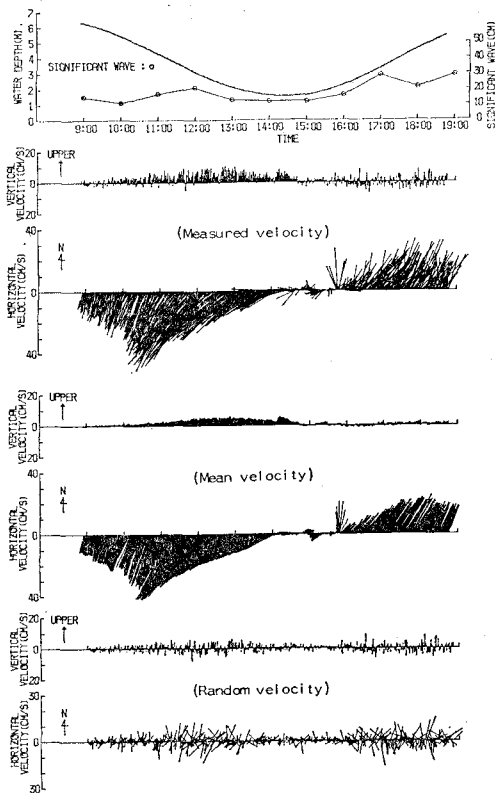


図-6 底層の流れ(C地点: 1988年8月26日)

ギーの集中が見られる。これは、波浪によるエネルギーの搬入に起因するものと考えられる。しかし、C地点のエネルギースペクトルは、A、B地点のそれと大きく異っており、河川乱流などに見られる $-5/3$ 乗則が成り立っている。これは、ここでの流れが河川流に近い状態にあったことを示している。また、周期3秒付近でのエネルギースペクトルのピークは、A、B地点に比べて小さく、波浪によるエネルギーの搬入は少ない。

さらに、3地点における各時刻の有義波高から微小振幅波理論に基づき、(1)式より算定された底層(海底から20 cm)での水平(南北)方向の流速振幅 U_b とそれに対応する乱れ強度 $\sqrt{u'^2}$ との関係を示すと、図-8となる。

$$U = a\sigma \frac{\cosh k(h+y)}{\sinh kh} \sin(kx - \sigma t) \quad \dots\dots (1)$$

ここに、 U : y (静水面から上向きに正)における x (水平)方向の流速、 a : 有義波高の振幅、 σ : 角周波数、 k : 波数、 h : 水深、 t : 時間

図示されるように、A、B地点においては両者の間に強い相関性が見られる。しかしC地点では、その相関性は必ずしも明らかではない。すなわち、A、B地点での流速変動成分は、主に波浪に起因している。しかし、C地点のそれは、必ずしも波浪に基づくものではない。こ

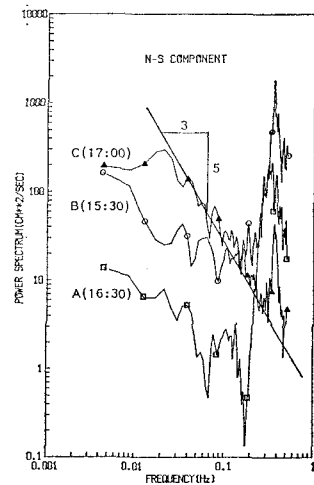
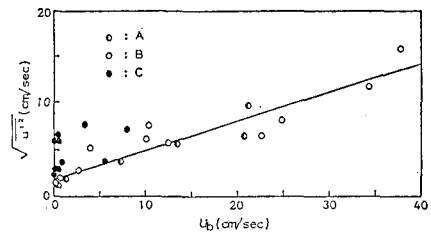


図-7 底層の流速変動エネルギースペクトル


 図-8 U_b と $\sqrt{u'^2}$ との関係

れらの関係は、上に述べたエネルギースペクトル分布の結果とも一致する。また、このようにA、B地点の流速変動成分に波浪の影響が大きく現れたのは、干潮位において比較的大きな波浪が発生したためと考えられる。

次に、水深及び底層での濁度と流速の乱れ強度の経時的变化を示すと、図-9となる。図示されるように、3地点とも濁度は干潮位前後において増加している。さらに、A、B地点では濁度の経時的变化と乱れ強度のそれとの間には、かなり明白な対応性が見られる。しかし、C地点では、それらの対応性は必ずしも明らかではない。また、C地点に比べ、A、B地点の濁度の変動が大きい。したがって、少なくともA、B地点では、底層における流れの乱れにより底質が巻き上がり、濁度が増加したと考えられる。すなわち、粒径加積曲線に示されたように、A地点では底質が微細土であるため、また一方B地点では、底質が砂質土であるが、C地点に比べて乱れが異常に大きかったため、両地点で底質が巻き上げられたと推測される。しかし、C地点では底質が粗く、乱れも小さかったために、底質の巻き上げはほとんど発生せず、むしろ筑後川方面からの懸濁物質の移流により濁度は増加したと考えられる。さらに、水平方向の乱れ強度

と濁度との関係を示すと、図-10となる。図示されるように、A, B 地点においては、少とも濁度 100 ppm 以下では両者の間に相関性が伺われる。しかし、C 地点においては、その相関性は見られない。したがって、A, B 地点においては底層での変動流速成分が濁度、すなわち底質の巻き上げ現象に大きく作用しているといえる。

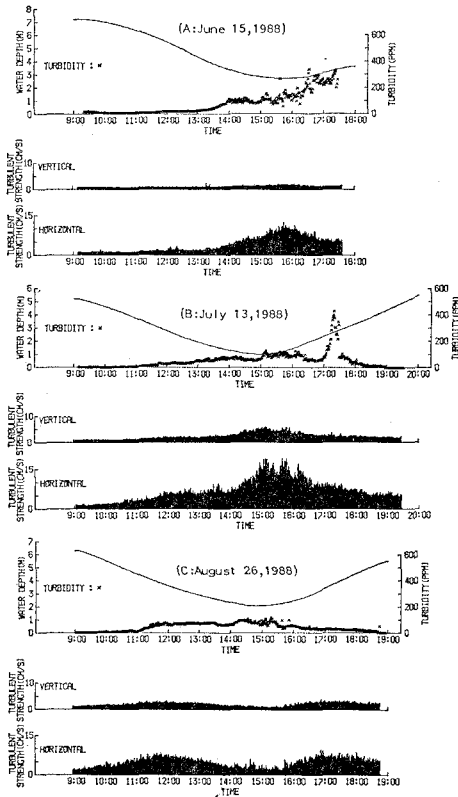


図-9 底層の濁度と乱れ強度の経時的変化

(3) 濁度と SS 濃度の鉛直分布

ここでは、底質の巻き上げ現象の実態をより詳細に把握するために、濁度と SS 濃度の鉛直分布について検討した。まず、水深と濁度及び SS 濃度の鉛直分布の経時

的变化を示すと、図-11 となる。図示されるように、A, B, C の 3 地点とも満潮位付近では濁度及び SS 濃度は数 ppm(mg/l)~10 数 ppm(mg/l) と小さく、鉛直方向にはほぼ様な分布となっている。しかし、水深の減少に伴って、3 地点でのこれらの分布性に大きな差異が現れている。すなわち、干潮位付近において、A, B 地点では海底から 1 m 以下の底層で濁度及び SS 濃度の急増が見られる。しかし、C 地点では、このような傾向は小さく、鉛直方向にはほぼ様な増加となっている。したがって、このことは、干潮位付近において A, B 地点では激しい底質の巻き上げが、また一方、C 地点では上流域からの懸濁物質の移流が発生したことを物語っている。このような濁度及び SS 濃度の経時的変動傾向は、図-9 に示された底層での濁度の連続測定値の経時の変化とも符合しており、上に述べた波浪に起因する底層での変動流速成分と底質の巻き上げ現象との密接な関連性を示したものである。

さらに、図-11の測定結果を基に、濁度と SS 濃度との関連を示すと、図-12となる。図示されるように、B, C 地点では濁度と SS 濃度との間にほぼ類似した関係が見られる。しかし、A 地点ではこれと異った関係が成り立っている。これは、A 地点と B, C 地点との懸濁物質の性質が異なっていたためと考えられる。

最後に、流速の鉛直分布がほぼ対数分布となっている A 地点の SS 濃度の鉛直分布 (12 時以後) に、(2) 式で表される Rouse の濃度分布式 (例えば、椿, 1974) を適用し、係数 Z 及び懸濁粒子の沈降速度 V_s 、さらには (3) 式で表される Rubey の沈降速度式 (例えば、椿, 1974) を基に、 V_s から懸濁粒子の平均的粒径 d を推算した。

$$\frac{C}{C_a} = \left(\frac{h-y}{y} \cdot \frac{a}{h-a} \right)^Z, \quad Z = \frac{V_s}{\beta \kappa u_*} \quad \dots (2)$$

ここに、 C : SS 濃度、 y : 海底からの高さ、 h : 水深、 C_a : $y=a$ における C 、 $\beta=1.2$ 、 $\kappa=0.4$ 、 u_* : 摩擦速度

$$\frac{V_s}{\sqrt{sgd}} = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{sgd^3}} - \sqrt{\frac{36\nu^2}{sgd^3}} \quad \dots (3)$$

ここに、 s : 水中比重、 ν : 動粘性係数

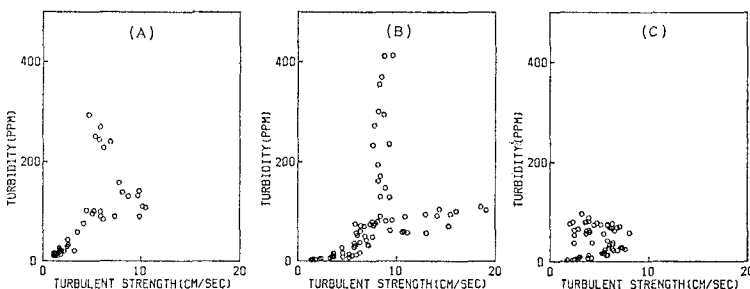
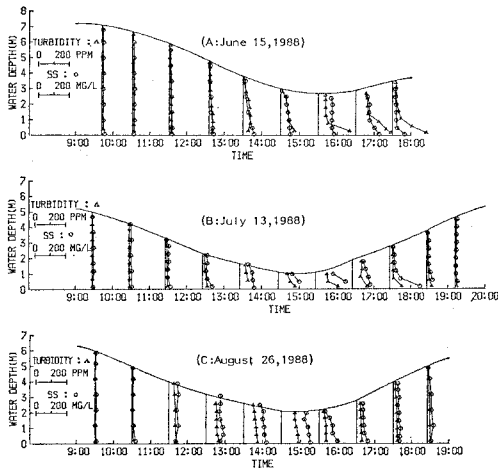
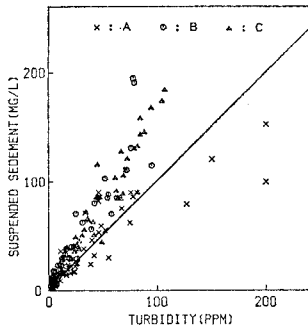


図-10 水平方向の乱れ強度と濁度との関係

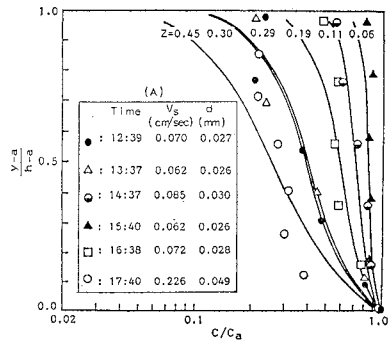


図—11 濁度及び SS 濃度の鉛直分布の経時的変化



図—12 濁度と SS 濃度との関連性

図—13は、(2) 式の適用結果及び推算された懸濁物質の平均的粒径などを示したものである。図示されるように、A 地点での SS 濃度の鉛直分布は Rouse の濃度分布式により概ね表現される。また、17時40分を除いた各時刻の d は 0.027 mm 前後となる。この d は、A 地点の粒径加積曲線（図—2）における加積通過率 60% に相当しており、これはほぼ妥当な推定値といえる。一方、17時40分における d は 0.049 mm（加積通過率72%）となり、他の時刻のそれに比べてかなり大きな値となって



図—13 SS 濃度の鉛直分布と Rouse の濃度分布式

いる。これは、図—9 あるいは 11 から明らかなように、この時刻が底質の巻き上げの最盛時付近にあったために、比較的粒径の大きな底質が巻き上げられたためと推測される。

4. ま と め

この研究では、有明海奥部浅海域での底質の巻き上げ現象を把握するために、底層での流れや濁りなどの現地観測データについて検討、考察した。ここで得られた結果を要約すると、次の通りである。

(1) 有明海奥部浅海域での底層の流れ特性が把握された。特に水深の浅い干潮時に波浪が発生した場合、底層の変動流速成分は急増する。

(2) この海域における底層の流れ、特にその変動成分と濁度との密接な関連性が明らかにされた。また、ここでの濁りの主要な発生原因の1つとして、波浪の重要性が認識された。

(3) 底層での流れと濁りとの関連性や SS 濃度の鉛直分布性などを通じて、この海域での底質の巻き上げ現象の実態の一部が明らかにされた。

参 考 文 献

- 鎌田泰彦 (1980): 有明海の沿岸地質・海底地形と地質, 海洋科学, 12巻, 2号, pp. 88~96.
 例えば, 椿 東一郎 (1974): 水理学Ⅱ, 森北出版, 272 p.
 藤本昌宣 (1989): 有明海奥部底質の粒度分布について, 農土誌, 57巻, 2号, pp. 105~110.