

有明海におけるフロック径と乱流エネルギー散逸率の同時観測

九州大学 学生員 ○紺野 晶裕 九州大学大学院 正会員 齋田 倫範
九州大学大学院 学生員 田井 明 九州大学大学院 学生員 志岐 慎介
九州大学大学院 フェロー 小松 利光

1 はじめに

九州西岸に位置する有明海は、かつて「豊饒の海」と称されるほど高い生産性を誇っていた。しかし、近年種々の環境問題が深刻化している。この一因として、有明海湾奥部における透明度の上昇や底質の細粒化といった浮遊懸濁物に関連した水環境の変化が挙げられる。これらの問題を解決するために、有明海の懸濁物質輸送現象をより高精度に評価可能な数値モデルを確立する必要がある。

本研究では、凝集やフロックの崩壊を乱流エネルギー散逸率で表現する Winterwerp¹⁾ の懸濁物輸送モデルを有明海に適用することを目的として、乱流エネルギー散逸率と懸濁物質(SS)の動態の関係を評価するための現地観測を実施した。

2 観測概要

観測は 2008 年 12 月 3 日(中潮)に Fig.1 に示す点 A(32°56'58"N, 130°14'58"E)において一潮汐間にわたって行った。観測当日の大浦における潮位変動および観測時間帯を Fig.2 に示す。フロック径の測定には水中顕微鏡(アレック電子社製 Image-Particle-Counter)を用い、海底から 1m, 4m, 8m の位置において 60 分毎に連続写真撮影を行った。撮影スピードは毎秒 10 枚で、各層においてそれぞれ 500 枚撮影した。エネルギー散逸率の測定は、微細構造プロファイラ(アレック電子社製 TurboMAP)を約 0.5m/s で自由落下させる方法で観測時間中に 300 回の測定を行った。さらに、多項目水質計による 60 分毎の塩分、水温、濁度の測定、ならびに採水による SS 測定と採泥も併せて実施した。

3 データ処理方法

水中顕微鏡で得られた画像データを画像解析することによって粒度分布を求めた。求められた粒度分布をもとに SS が有する沈降速度の平均値を計算し、平均沈降速度を生じさせるフロック径を各時刻、各層における代表値とした。エネルギー散逸率は、齋田ら²⁾と同様の方法を用いて算出し、30分間の移動平均によってノイズを除去した。SS 濃度は点 A で採取した泥で作成した試料濁水を用いて検定し、多項目水質計の濁度値から算定した。

4 結果および考察

Fig.3 に SS 濃度の経時変化を示す。SS 濃度は、3.0~11.0mg/l の間で変動していた。海底から 1m と 8m においては上げ潮時、下げ潮時に SS 濃度の値が大きくなっていることがわかる。一方、海底から 4m における SS 濃度は他の層と比較して変動が小さい点で特徴的であった。

Fig.4 に海底上 1m, 4m, 8m での ε の経時変化を示す。

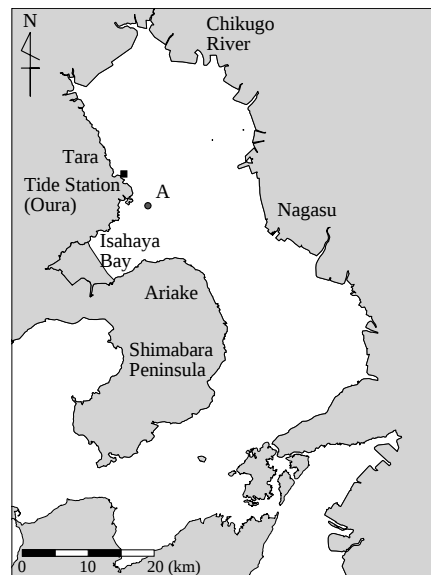


Fig.1 有明海の概略図と観測地点

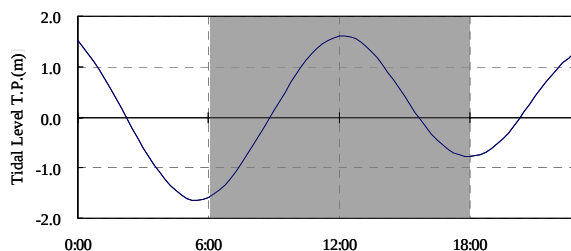


Fig.2 大浦の潮位と観測時間帯
(図中のハッチは観測時間帯を示す)

エネルギー散逸率は、全ての層で流速の大きい上げ潮時、下げ潮時に大きな値を示し、憩流時には比較的小さな値を示した。また、海底から 1m の層では一潮汐間にわたって他の層に比べ、1 オーダー程度大きな値を示した。

Fig.5 に水中顕微鏡によって実測されたフロック径と Winterwerp のモデルによって見積もったフロック径を示す。なお、計算に用いたモデル式は式(1)、(2)であり、本研究では移流、拡散、巻き上げ・堆積は考慮せずフロキュレーション関数のみを計算対象とした。フロキュレーション関数は式(1)の右辺第一項の崩壊を表す項と第二項の凝集を表す項からなる。

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = k_B (D - D_p)^p D^{2q} N \left(\frac{\varepsilon}{\nu} \right)^{\frac{q+1}{2}} - k'_A (1 - \phi) D^3 N^2 \left(\frac{\varepsilon}{\nu} \right)^{0.5} \quad (1)$$

$$\phi = \frac{c}{\rho_s} \left(\frac{D}{D_p} \right)^{3-n_f} = f_s N D^3 \quad (2)$$

ここで、 N はフロックの数密度、 ϕ は懸濁の体積濃度、

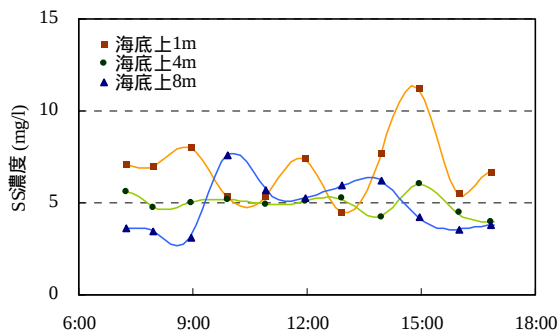


Fig.3 懸濁物質濃度の経時変化

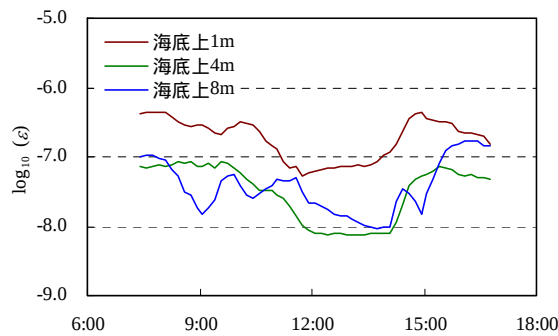


Fig.4 乱流エネルギー散逸率の経時変化

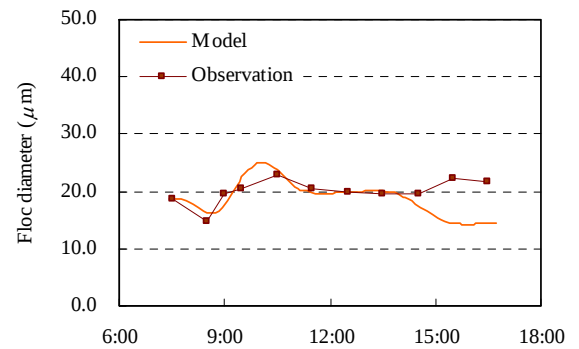
D はフロック径 D_p はフロックを構成する粒子径 ($2\mu\text{m}$), ε は乱流エネルギー散逸率, ν は動粘性係数, ρ_s はSS密度 (2650kg/m^3), c はSS濃度, f_s は形状係数 ($\pi/6$), n_f はフロックのフラクタル次元 (2.3)である. また, p, q, k_A, k_B は凝集とフロックの崩壊に関するパラメータであり, それぞれ, 1, 0.5, 0.31, $3.1 \times 10^4 (\text{s}^{1/2}/\text{m}^2)$ とした. 実測されたSS濃度とエネルギー散逸率を用い, $\Delta t=600\text{s}$ としてフロック径を計算した. SS濃度については60分毎のデータをスプライン補間によって内挿し, 10分毎のデータとして計算に用いた. また, 初期のフロック径には実測値を用いた.

海底上1m, 4m, 8mのすべてにおいて, 実測フロック径は $20\mu\text{m}$ 前後であった. 山本ら³⁾による有明海湾奥の粒径の観測では $100\mu\text{m}$ 前後のフロック径が観測されているが, その値よりも今回の観測値は小さかった. これは, 観測中のSS濃度が低かったためと考えられる. また, 一朝夕間にわたってフロック径に大きな変化は見られないものの, 海底上8mでは流速最強時にフロック径の値が若干大きくなっていることがわかる.

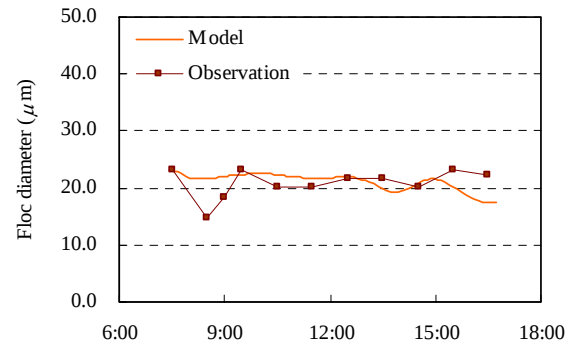
モデルによる推定値と観測値とを比較すると, 海底上4mと8mではフロック径の変化がおおむね再現できていることがわかる. 特に, 海底上8mの層については下げ潮時以降を除き, ほぼ同じ変動を示した. しかし, 海底に近いほど, 観測結果との差異が見られる. 本研究で用いたモデル式では上層から沈降してくるフロックの影響や海底から巻き上げられた直後のフロックの影響が考慮されていないため, このような差異が生じたと推察される.

5. まとめ

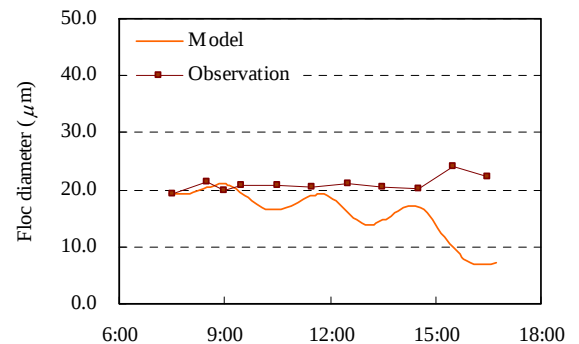
本研究により, SS濃度やエネルギー散逸率の変動とフ



(a) 海底上8m



(b) 海底上4m



(c) 海底上1m

Fig.5 フロック径の経時変化

ロック径の変化との関係を実海域で測定することができた. 今後は, 移流や拡散などを考慮したモデルにより, 有明海の懸濁物質輸送に関わるモデルパラメータのチューニングを行いたい.

JFE アレック株式会社矢津敏弘氏には, 水中顕微鏡を貸与していただいた. ここに記して感謝申し上げます.

参考文献

- 1) J.C. Winterwerp (2002): On the flocculation and settling velocity of estuarine mud, *Continental Shelf Research* 22, pp1339-1360
- 2) 齋田ら (2008): 現地観測による島原半島沿岸の鉛直混合強度の評価, *水工学論文集*, 第53巻, 印刷中
- 3) 山本ら (2007): 有明海奥部における底泥の再懸濁・沈降に関する研究, *佐賀大学有明海総合研究プロジェクト成果報告集*, 第3巻, pp1-8.