

# 有明海における一潮汐間の乱流エネルギー散逸率の変動

九州大学大学院 学生員 ○志岐 慎介  
九州大学大学院 学生員 田井 明

九州大学大学院 正会員 齋田 倫範  
九州大学大学院 フェロー 小松 利光

## 1. はじめに

有明海はわが国の代表的な閉鎖性内湾の一つであり、かつては「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、赤潮や貧酸素水塊の大規模化といった水環境の問題が深刻化している。有明海の水環境悪化の一因として密度成層の強化が挙げられており、密度成層の消長を支配する鉛直混合強度の定量的な評価を目的として、鉛直微細構造の直接測定が行なわれてきた<sup>1)</sup>。齋田ら<sup>2)</sup>の行なった夏季成層期の観測により、大潮期にはエネルギー散逸率の値が流速に対応して変動することが示された。しかし、エネルギー散逸率が憩流時の満潮時と干潮時において1~2オーダー程度異なり、流速の大きさのみに依存していないことも同時に示されている。

本研究では、沿岸域において主たる乱れの生成要因と考えられる海底近傍のエネルギー散逸率の変動特性を把握することを目的として、冬季混合期に有明海において一潮汐間の微細構造観測を実施した。

## 2. 観測概要

観測は、2007年8月30日（大潮：以下 Obs. 1）および2008年12月3日（中潮：以下 Obs. 2）にそれぞれ約一潮汐間にわたって行なった。なお、Obs. 1の結果については志岐ら<sup>3)</sup>で既に報告されている。観測地点は Fig. 1 に示すように、Obs. 1は有明と長洲を結んだ直線上の点A (32° 51' 56" N, 130° 21' 27" E)、Obs. 2は竹崎島沖の点B (32° 56' 55" N, 130° 15' 00" E) である。Obs. 1では微細構造プロファイラ（アレック電子社製 TurboMAP）を一旦海底まで沈めた後、海面に向かって浮力により上昇させながら乱流シアの測定した。一方、Obs. 2では先端部に錘を取り付け、海面から海底に向かって自由落下させながら測定した。いずれの観測においても、超音波ドップラー流速計（RDInstruments 社製 Workhorse ADCP 600kHz）による平均流の流向・流速の測定を行なった。

## 3. データ処理方法

使用する乱流シアのデータは、シアプローブの計測条件である TurboMAP の浮上（降下）速度がほぼ一定とみなせる範囲のデータとした。

$\varepsilon$  は乱れ速度の鉛直シアデータのパワースペクトルを積分して得られるシアの分散から式(1) によって求められる。

$$\varepsilon = \frac{15}{2} \nu \overline{\left(\frac{du'}{dz}\right)^2} = \frac{15}{2} \nu \int_{k_1}^{k_2} \phi(k) dk \quad (1)$$

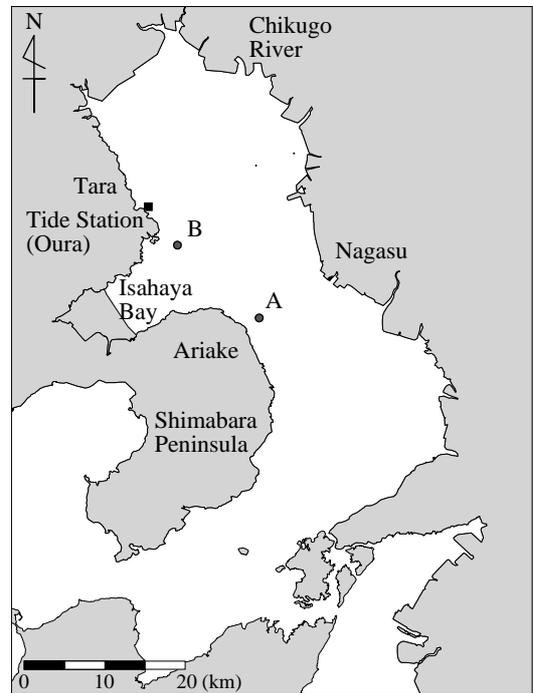


Fig. 1 有明海の概略図と観測地点

ここで  $u'$  は水平方向の乱れ強度、 $z$  は鉛直座標（上向きを正）、 $\nu$  は海水の動粘性係数、 $\phi(k)$  は  $u'$  の鉛直シアのスペクトル密度関数である。

本研究では、層厚 1m のデータを用いて  $\varepsilon$  が算出しているため  $k_1$  は 1cpm に設定した。  $k_2$  は、式(2) から求められる Kolmogoroff スケールに対応する波数  $k_s$  と  $k_2$  との比較を行ない、  $k_2$  が  $k_s$  に達するまで計算を繰り返した。

$$k_s = \left(\frac{\varepsilon}{\nu^3}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

なお、  $k_s$  が機器の振動によるノイズが出現する波数（300cpm 付近）よりも高波数側にある場合は、それ以降の区間のスペクトルが波数の増加に伴って海洋乱流で普遍型とされる Nasmyth スペクトルと同様であると考え、 Nasmyth スペクトルを積分した。

## 4. 結果及び考察

Fig. 2, 3 に Obs. 1, 2 それぞれの観測日の大浦における潮位、平均流流速、平均流シアの絶対値、およびエネルギー散逸率  $\varepsilon$  のインプレットを示す。なお Obs. 1 については機器の不調と雷の影響により、6:00~9:00、13:00~14:30 に測定を中断した。また、TurboMAP 本体が等速直線運動している区間のデータのみ解析対象としているため、Obs. 1 については

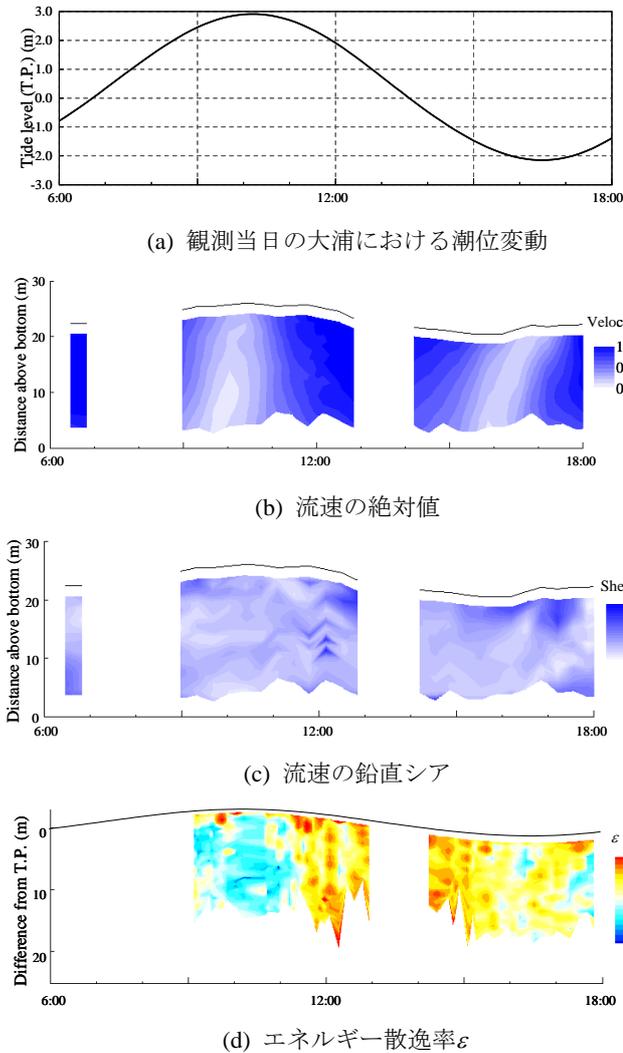


Fig. 2 Obs.1(2007/8/30)におけるイソプレット

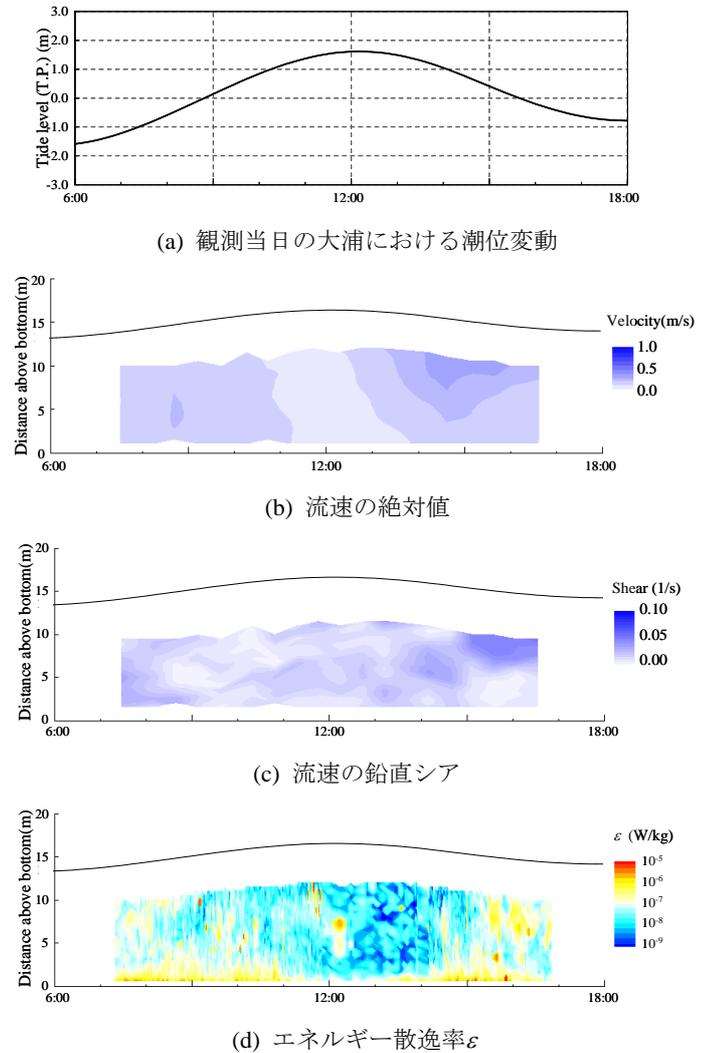


Fig. 3 Obs.2(2008/12/3)におけるイソプレット

海底側, Obs. 2 については海面側の表示範囲が測定毎に異なる。

Fig. 2, 3 より  $\epsilon$  は潮時変化に対応して, Obs. 1 では  $10^{-8} \sim 10^{-5} \text{ W/kg}$ , Obs. 2 においては  $10^{-9} \sim 10^{-6} \text{ W/kg}$  の間で変動している。Obs. 1, Obs. 2 のいずれにおいても, 流速の変動に応じて乱れが発達・減衰していることが分かる。特に, Obs. 2 においては上げ潮時, 下げ潮時の流速が大きい時間帯に底層より乱れが発達し, 上層に向かって拡散していくのが確認できる。

また, 憩流時の  $\epsilon$  の値が, Obs. 1 では満潮時に  $\epsilon \sim 10^{-8} \text{ W/kg}$ , 干潮時に  $\epsilon \sim 10^{-6} \text{ W/kg}$  と 2 オーダー程度異なっている。同様に Obs. 2 でも満潮時に  $\epsilon \sim 10^{-9} \text{ W/kg}$ , 18:00 付近の干潮時に  $\epsilon \sim 10^{-7} \text{ W/kg}$  と異なっており, 平均流流速のみに依存して変動していないことが分かる。Obs. 1 における平均流シアの変動を見ると, 全体的に 0.00~0.05 程度でほぼ一様である。しかし, 10:30 付近の満潮時には平均流流速とそのシアがともに低くなっているのに対し, 16:30 付近の干潮時には流速は小さいものの上層のシアの値が 0.1 程度の大きな値を示している。同様に Obs. 2 においても, シアの変動が  $\epsilon$  の変動と概ね対応する傾向が見

られ, 干潮(17:00) 付近の海底から 5~10m で他の層よりシアの値が大きくなっている。これらより, 流速の小さな時間帯には  $\epsilon$  の値が流速シアの影響を受けている可能性が示された。

5. まとめ

本研究では冬季における打ち下ろしによる微細構造観測により, 底層における乱れの影響を捉えることができた。また, 憩流時における  $\epsilon$  のオーダーの違いが平均流のシアに依存している可能性が示された。

参考文献

- 1) 松野健, 中田英昭: 有明海の流れ場を支配する物理過程, 沿岸海洋研究, 第42巻, pp.11-17, 2004.
- 2) 齋田倫範, 志岐慎介, 田井明, 重田真一, 矢野真一郎, 小松利光: 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, 2009.
- 3) 志岐慎介, 齋田倫範, 田井明, 重田真一, 矢野真一郎, 小松利光: 夏期有明海における乱流エネルギー散逸率の変動特性, 平成 17 年度土木学会西部支部研究発表会, 2008.