

## 夏期有明海における乱流エネルギー散逸率の変動特性

九州大学 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 矢野 真一郎

九州大学大学院 正会員 齋田 倫範  
九州大学大学院 学生員 重田 真一  
九州大学大学院 フェロー 小松 利光

### 1. はじめに

赤潮や貧酸素水塊の大規模化といった有明海における水環境悪化の一因として、密度成層の強化が指摘されている。この密度成層の強化は鉛直混合力の低下に起因すると考えられるため、鉛直混合を支配する乱流構造を把握することは有明海の水環境を考える上で重要と言える。しかしながら、有明海における乱流構造の観測例（例えば、松野・中田<sup>1)</sup>）は少なく、鉛直混合強度の定量的な評価は未だ十分に行われていない。

そこで、本研究では有明海における鉛直混合強度の評価を目的として、主に乱れ速度の鉛直シアを測定する機器である乱流微細構造プロファイラ（アレック電子社製 TurboMAP）を用いて有明海島原市沖における乱流微細構造計測を実施した。

### 2. 観測概要

観測は2007年8月24日（中潮）および30日（大潮）に一潮汐間にわたって行った。観測点は Fig.1 に示す有明と長洲を結んだ直線上の点 C1 (32°51'56"N, 130°21'27"E) である。乱流微細構造の測定は TurboMAP を約 0.5m/s で自由浮上させながら行い、測定間隔が10分以下になるように繰り返し実施した。併せて超音波ドップラー流速計（以下 ADCP）による平均流の流向・流速の連続測定を行った。さらに、多項目水質計による塩分、水温測定を30分毎に行った。各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。

観測実施日の、アメダス（島原）における降水量、および風速は、24日の観測では0mm、1~4m/s、30日の観測では4mm、3~4m/sであった。成層状況については、24日の表層と底層の $\sigma_t$ の差が3~4程度であり、比較的成層の強い状況下での観測であった。一方、30日は $\sigma_t$ の差が1程度であり成層が弱い状況での観測であった。なお30日の観測では13:00~14:30に雷のため観測を中断した。

### 3. データ処理方法

使用する乱流シアのデータは、シアープロブの計測条件である TurboMAP の浮上速度がほぼ一定とみなせる範囲のデータとした。具体的には、打ち上げ毎に浮上速度の最大値を求め、速度がその値から-1cm/sとなった水深より浅い部分のデータを用いた。

エネルギー散逸率 $\varepsilon$ の算定については、松野らと同様の方法<sup>2)</sup>を用いた。 $\varepsilon$ は乱れ速度の鉛直シアデータの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。

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

ここで  $u'$  は水平方向の乱れ強度、 $z$  は鉛直座標（上向

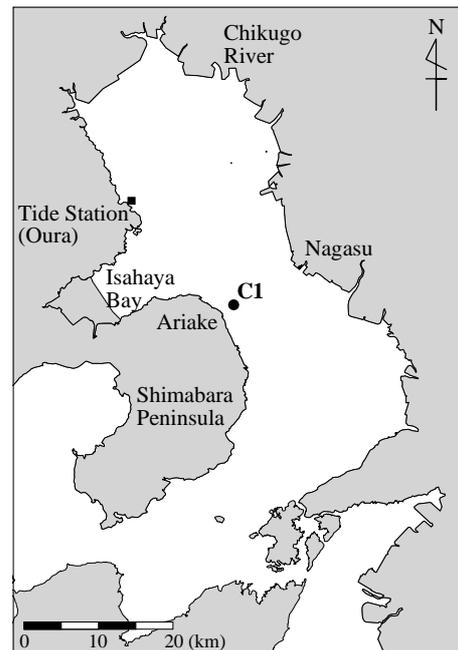


Fig.1 有明海の概略図と観測地点

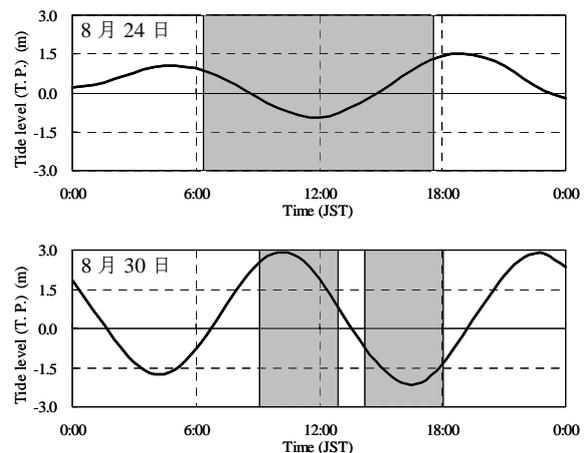


Fig.2 大浦の潮位変動と観測時間帯  
(図中のハッチは観測時間帯を示す)

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 のデータを用いて算出しているので  $k_1$  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る、 Nasmyth スペクトルを積分した。

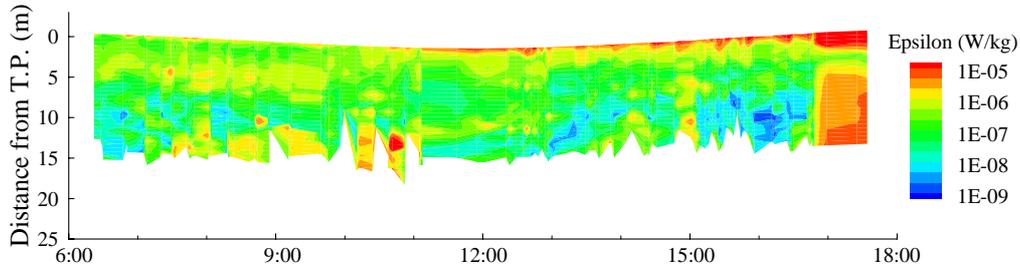


Fig.3 2007年8月24日(中潮)における $\epsilon$ のイソプレット図

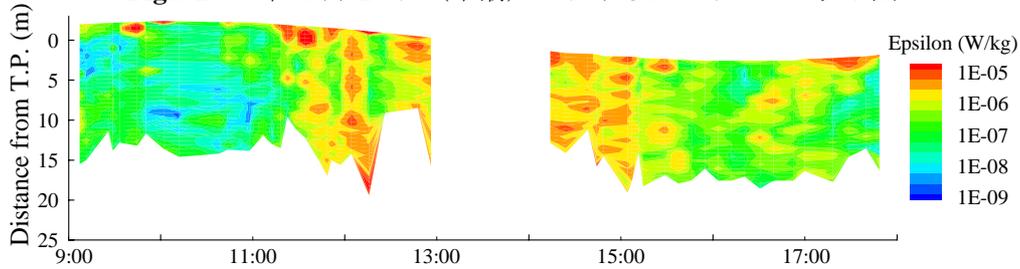


Fig.4 2007年8月30日(大潮)における $\epsilon$ のイソプレット図

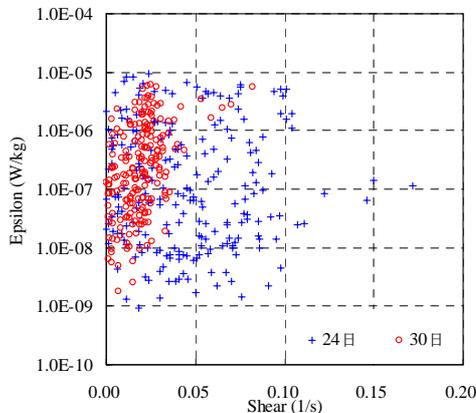


Fig.5  $\epsilon$ と平均流シアの相関

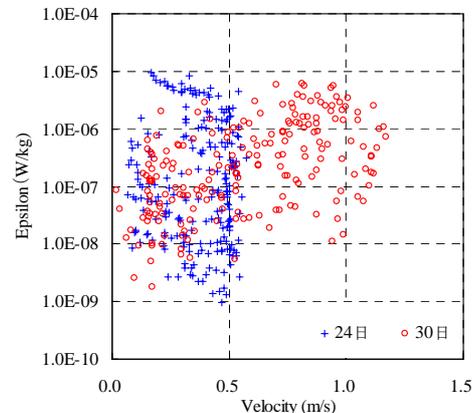


Fig.6  $\epsilon$ と平均流速の相関

4. 結果及び考察

Fig.3, 4に各観測における $\epsilon$ のイソプレット図を示す. なお, 大浦の潮位変動に対応させてデータを図示しており, 機器が等速直線運動を始める水深が測定毎に異なるため海底側の $\epsilon$ の表示範囲が変化している. また, 表層3~4m付近では, 密度躍層の影響により TurboMAP の上昇速度にわずかな加速・減速が生じていたが併せて図示している.

中潮期の結果である Fig.3においては $\epsilon$ の鉛直方向の変化が顕著であり, 特に下げ潮時の水深5~10m付近に $\epsilon$ が大きい層が見られる. また, 上げ潮(16:00付近)の中層で $\epsilon$ が極端に小さくなる層が存在し, 表層に向かって大きくなっている. 表層の大きな値は波による影響と密度躍層による TurboMAP の速度変化影響の両方が考えられる. 一方, 大潮期の結果である Fig.4においては潮時による $\epsilon$ の変化が顕著であり, 下げ潮最強時に $\epsilon \sim 10^{-5}$ (W/kg), 満潮の憩流時に $\epsilon \sim 10^{-9}$ (W/kg), 干潮の憩流時には $\epsilon \sim 10^{-6}$ (W/kg)を示している. 同じ憩流時でも満潮と干潮とでは層全体で $\epsilon$ の値に2オーダー程度の違いが見られた. 大潮期, 中潮期を全体として比較してみると, 憩流時にはあまり違いは確認できないが, 最強時に関しては大潮期のほうが2オーダー程その値が大きかった.

Fig.5に平均流シアと $\epsilon$ の相関を示す. 大潮期である30日の比較的シアが大きい範囲において $\epsilon$ が小さい値を示さない傾向が確認できる. ケンドールの順位相関検定を行うと大潮期には $\tau=0.300$  ( $P<0.0001$ )となっており, 比較的高い正の相関を示している. それに対し中潮期には $\tau=-0.024$  ( $P=0.598$ )となりほぼ無相関であった. Fig.6に示した流速と $\epsilon$ との関係においても大潮時に $\tau=0.347$  ( $P<0.0001$ ), 中潮時 $\tau=-0.052$  ( $P=0.248$ )となっており, 平均流シアの場合と同様に大潮期にのみ正の相関が見られた.

以上のことから, 潮差の違いにより乱流構造が大きく異なっていることが示唆された.

5. まとめ

本研究により, 鉛直混合力に関連する物理量であるエネルギー散逸率の一潮汐間変動を把握することができた. 今後は鉛直渦拡散係数の評価を行い, 水環境の悪化との関連性を検討したい.

参考文献

- 1) 松野健, 中田英昭 (2004): 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.
- 2) Matsuno, T. and Fabian, W. (2005): Observations of turbulent energy dissipation rate  $\epsilon$  in the Japan Sea, Deep Sea Research II, Vol.52, pp.1564-1579.