密度成層場における乱流エネルギー散逸率の現地観測

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

1. はじめに

沿岸域における乱れ構造は,密度成層の崩壊や浮遊 懸濁物質の凝集過程を考える上で重要である.そのた め,実海域で乱流エネルギー散逸率を測定するための プロファイラが使用されてきた.また,近年では多く の沿岸域において,赤潮や貧酸素水塊の大規模化とい った水環境の悪化と成層の強化との関連性が議論され ている.このような背景から,沿岸域における乱流工 ネルギー散逸率計測の必要性はさらに増しており,多 くの現地観測が行なわれている¹⁾.しかし,乱流エネル ギー散逸率を算出するための乱流シアの測定時には, シアセンサーの制約からプロファイラが等速直線運動 を行なっている必要がある.そのため,海洋と比較し て水深が小さく,継続した淡水の流入がある沿岸域で は,プロファイラの測定開始直後の加速や密度躍層通 過時の動揺の影響により,全水深にわたってデータを 取得するのが困難な場合が多い.

そこで本研究では,密度躍層付近の情報を補完する ー手法として,微細構造プロファイラ TurboMAP9(JFE アレック社製:以下 TurboMAP)によって 512Hz で取 得される温度勾配のデータから乱流エネルギー散逸率 を推定した.さらに,それを乱流シアデータから算出 された乱流エネルギー散逸率と比較することによって, その有用性を検討した.

2. TurboMAP の浮上速度

乱流シアの測定の制約条件となる TurboMAP の上昇 および下降速度について検討を行なった.Fig.1 に示す ように,躍層付近では上昇速度が急激に変化している ことがわかる.ここで,簡単な計算により海水密度の 変化によって生じる TurboMAP 上昇時の速度変動につ いて考える.TurboMAP の体積,密度,投影面積,抵抗 係数をそれぞれ V, ρ_T , S, C_D ,海水の密度を ρ_f ,重力 加速度を g, TurboMAP の終末速度を v とすると TurboMAP に作用する力の釣り合いは,

$$V\rho_{f}g - V\rho_{T}g - \frac{1}{2}\rho_{f}v^{2}SC_{D} = 0$$
(1)

となり,終末速度vは

$$v = \sqrt{\frac{2Vg(\rho_f - \rho_T)}{\rho_f SC_D}}$$
(2)

により求まる.この式から求めた海水密度とTurboMAP の終末速度の関係をFig.2 に示す.これはFig.1 に示し た実測値とも概ね一致しており,実際に密度成層が発 達した状況下ではTurboMAPの上昇速度に変動が生じ,

九州大字大字院	止会貝	齋田	俪軭
九州大学大学院	正会員	矢野	真一郎
九州大学大学院	フェロー	小松	利光

乱流シアの測定が困難であることが分かる.

3. データ処理方法

本研究では、齋田ら²⁾が2007年8月24日(Obs.1) 2007 年8月30日(Obs.2)にそれぞれ行なった観測で得られた データを使用した.TurboMAPにより得られた乱流シア の鉛直微細構造から乱流エネルギー散逸率を算出する 手法も同様の方法を用いた.

乱流シアと同時に 512Hz で測定される温度勾配 dT'/dt による乱流エネルギー散逸率 *ε*_Tの算出は, Batchelor³⁾により提案され, Roget⁴⁾らにより示されてい る温度勾配の微細構造スペクトルの関数により行なっ た.実際に算出するには,まず測定された温度勾配か ら層厚 1m ごとにパワースペクトルを求めた.そのスペ クトルに Roget が示したスペクトルを最小二乗法によ ってフィッティングさせて最適な*ε*_Tを決定した.

4. 結果

Fig.3 に乱流シアから算出した ϵ_{SH} と温度勾配から算出した ϵ_{T} の関係を示す.Obs.1 ではこれらに相関がなく, ϵ_{T} の変動幅が大きくなっている.一方,Obs.2 では正の相関を示し,互いに同程度の値であることが分かる. これは,Obs.2 の観測当日には密度成層が弱かったためにTurboMAP本体はほぼ等速度運動し, ϵ_{SH} の値が正確に評価されていたためと考えられる.それに対し,Obs.1の観測においては全時間帯にわたって密度躍層が発達しており,躍層付近でTurboMAPに加減速が生じたため,乱流エネルギー散逸率の値を正確に評価できなかったものと考えられる.

さらに,それぞれの値の詳しい比較を行なうために, Fig.4 に Obs.1 における du'/dt, dT'/dt, ε_{SH} , ε_T および σ_T の鉛直分布の一例をそれぞれ示す.これを見ると, いずれの測定においても水深5m 付近に密度躍層が発達 しているが, ε_{SH} は躍層付近においてもほとんど変化せ



Fig.1 観測時の密度成層の状況と TurboMAP の 上昇速度の例



Fig.2 海水密度とTurboMAPの終端速度の関係



Fig.3 温度勾配, 乱流シアそれぞれから算出した乱流エネルギー 散逸率の相関(左:2007/8/24,右:2007/8/30)



Fig.4 2007 年 8 月 24 日の観測における乱流シア,温度勾配, ESH, ET, 海水密度の分布

ずほぼ一様になっている.一方, ε_T は躍層付近で他層に比べ数オーダー程度小さくなっており, ε_{SH} と比べて ε_T のほうが躍層付近での乱れの抑制を評価できていると考えられる.

5.まとめ

本研究では,温度勾配から乱流エネルギー散逸率の 値を算出し,乱流シアより求められた乱流エネルギー 散逸率の値との比較を行なった.成層の弱い状況下で の観測ではいずれの方法でも同程度の値が得られたが, 密度躍層が存在する場合には明確な相関が見られなか った.さらに,密度躍層の存在する海域では,温度勾 配を用いることで乱流シアデータを用いた場合には確 認できないようなエネルギー散逸率の変化を捉えるこ とができた.

参考文献

- 1) 橋本英資,高杉由夫:浮上式MSPによる内湾の鉛直混合 強度の測定,海岸工学論文集,第45巻,pp.966-970,1998.
- 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,pp.1471-1476,2009
- Batchelor G. K.: Small-scale variation of convected quantities like temperature in turbulent fluid:Part 1. General discussion and the case of small conductivity, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol.5, pp.113-133, 1959.
- Roget E., I. Lozovatsky, X. Sanchez, and M. Figueroa, Microstructure measurements in natural waters: Methodology and applications, *Progress in Oceanography*, Vol.70, pp.126-148, 2006.