

高解像度ドップラー流速分布計を用いた内湾表層における鉛直混合パラメーターの測定

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○森 泰二

広島大学大学院工学研究科 正会員 川西 澄

1. 本研究の目的

沿岸域での環境問題を解析、予測するためには乱流運動による混合過程を介して起こされる物質の輸送機構を把握しなければならない。近年、これまで困難であったレイノルズ応力の時空間分布の直接測定が、高精度な測定機器の開発によって可能になり、乱流量を算出することができるようになったと考えられる。そこで沿岸域の表層部における乱流特性を調べ、風や密度成層が乱流場に与える影響を考察し、その結果をもとに既往のモデルの適合性を検討することが本研究の目的である。

2. 方法

2.1 現地観測

図.1 に示す観測地点において 2002 年 8 月 5 日 13:00～8 月 6 日 13:00（中潮）の期間中、流速と密度の同時測定を行った。測定機器として流速測定に HRCP（パルスコヒーレント流速分布計）、密度測定に自動昇降式 CTD をそれぞれイカダ上から吊した。HRCP は水面から 3m の深さに設置し 3cm 間隔で水面から 4.6m までの流速分布を 3 秒間隔で連続測定し、自動昇降式 CTD に関しては水面から 3～5m の深さを片道約 40 秒で連続的に上下させて測定した。CTD のサンプリング間隔は 1 秒、移動速度は 5cm/s である。

2.2 乱流量の算出

測定した流速データはウェーブレット変換によって平均流と乱れ成分に分け、レイノルズ応力をはじめとする乱流量や鉛直混合パラメーターを算出した。各導出式は右に示す。

3. 結果と考察

3.1 平均速度勾配と海水密度勾配

観測期間中の平均速度勾配と海水密度勾配を図.2 に示す。表層での速度勾配は海底からの影響よりも海面を吹く風や、海水の密度勾配に影響を受ける。図.2 より、密度勾配が大きい時間帯では速度勾配も大きく、密度勾配がほとんど無い時間帯では速度勾配も小さいことがわかる。



図.1 観測地点

・ 乱れエネルギー : q

$$q = \sqrt{u'^2 + v'^2 + w'^2}$$

・ 乱れエネルギー生成率 : P

$$P = -\left(\overline{u'w'} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \overline{v'w'} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right)$$

・ 鉛直渦動粘性係数 : K_M

$$K_M = P/S^2, \quad S = \left[\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right)^2 \right]^{1/2}$$

・ 混合距離 : l_m

$$l_m = \left(\frac{P}{S^3} \right)^{1/2}$$

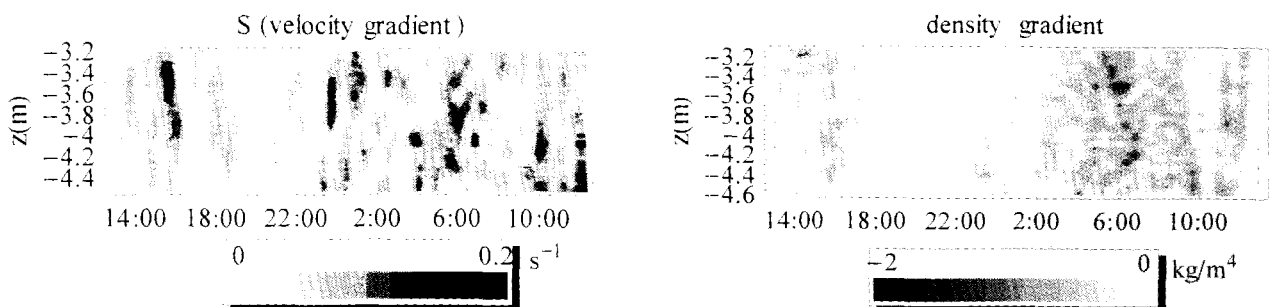


図.2 平均速度勾配と海水密度勾配の時空間分布

3.2 乱流量の時空間分布

図.3 に風と乱流量の経時変化を示す。風のデータは大竹のアメダスデータを用いた。これらの乱流量の時間変動は風速の時間変動にほぼ一致する。これは海面を吹く風が乱流場に乱れエネルギーを供給していることを示している。また風速が同程度の時間帯では、密度勾配が大きいほど鉛直渦動粘性係数は小さくなっている。これは密度成層が鉛直混合を抑えている結果である。渦動粘性係数と渦拡散係数はそれぞれおよそ $0.1 \sim 15$, $0.01 \sim 1.0 \text{ cm}^2/\text{s}$ という値をとった。

3.3 鉛直渦動粘性係数のモデル化について

比較的大きなスケールの渦を取り扱う大気や海洋での数値計算では、渦粘性を表わすのに $k-l$ モデルが用いられ、渦粘性係数は $K_M = l q S_M$ と表わされる。 l は乱れ長さスケール、 S_M は安定化関数という。 $l = l_m$ という仮定を用いて観測結果における安定化関数 S_M はおよそ $0.1 \sim 0.4$ の値を取り、Stacey らの研究と同程度の値となった。図.4 に経時変化を示す。

また Galperin らは $P = \varepsilon$ の仮定を用いて S_M を成層強度を表わす関数 $G_H = N^2 \cdot l^2 / q^2$ によって表わした。そこでその関係と、観測結果から $l = l_m$ の仮定を用いて算出したものとを比較してみた。 S_M と G_H の関係を図.5 に示す。実線は Galperin らが導いた関係である。図に示すように全く異なる結果となった。これは、算出過程を考えれば観測結果のような分布になるのは当然のことで、 $l = l_m$ の仮定が不適切、もしくはモデルを構築する際に用いた仮定が不適切であると考えられる。

4. 結論

- ① 表層での鉛直混合の強さは、海面を吹く風による乱れエネルギーの供給や、密度成層による乱れの減少に伴って変化する。
- ② 乱れエネルギー q が風の影響を受けるため、 $k-l$ モデルにおける渦粘性係数への風の影響は潜在的にモデルに含まれている。
- ③ 安定化関数 S_M はおよそ $0.1 \sim 0.4$ の値を取り、密度成層が強くなっても Galperin の式が示す 0.1 以下の値にはならない。よって現在のモデルでは鉛直渦動粘性係数を過小評価してしまう。

参考文献

- 1) Stacey, M. T., Monismith, S. G., Burau, J. R.: Observation of turbulence in a partially stratified estuary, J. Phys. Oceanogr., Vol.29, pp.1950-1970. 1999.
- 2) Galperin, B., Kantha, L. H., Hassid, S., Rosati, A.: A Quasi-equilibrium turbulent energy model for geophysical flows, J. Atmos. Sci., Vol.45, No.1, pp.55-62. 1987

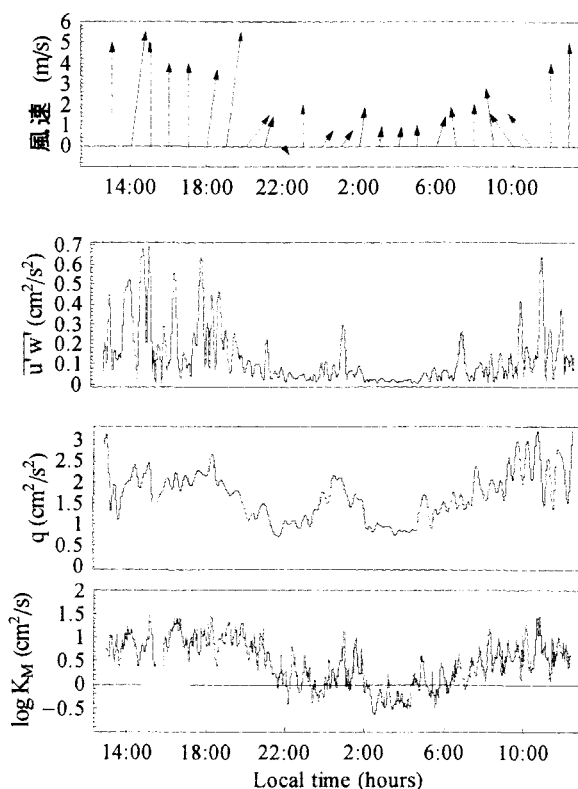


図.3 風と乱流量の経時変化

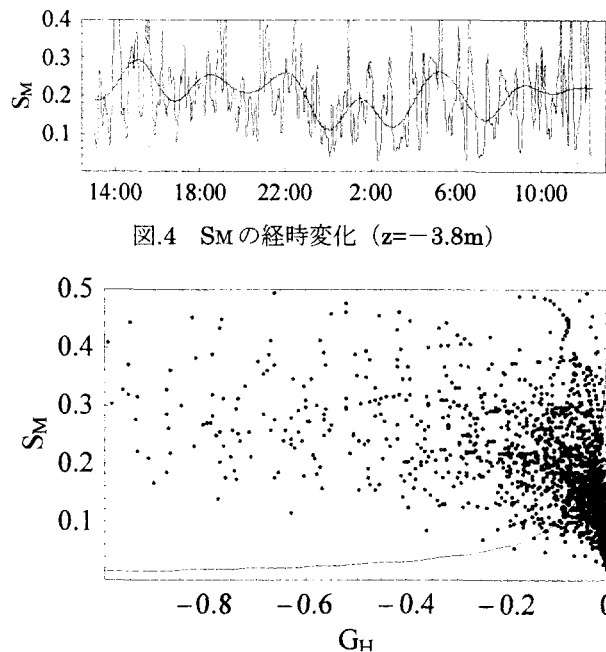


図.4 S_M の経時変化 ($z = -3.8\text{m}$)

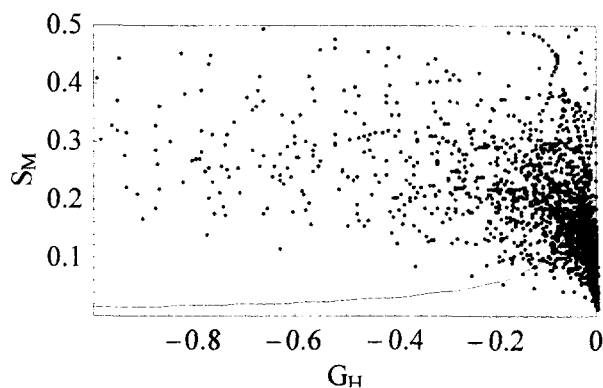


図.5 S_M と G_H の関係