研究課題名 : 海洋中の熱塩循環の渦拡散係数の乱流シミュレーションによる予測とモデル化

研究課題代表者：京都大学大学院工学研究科　花崎秀史
実施年度：平成 19 年度～平成 19 年度

1. 研究目的

海洋モデルで用いる乱流モデルにおいては、通常、高レイノルズ数極限を仮定し、熱と塩分に等しい乱流（渦）拡散係数（K_{Heat}、K_{Salt}）を用いてきた。

しかし、実際には、熱と塩分の分子拡散係数には100倍の差があるため、渦拡散係数が分子拡散の違いの影響を受ける可能性がある。実際、近年の海洋観測及び室内実験においても、$K_{Salt} < K_{Heat}$ を示すデータが得られている。本研究では、こうした渦拡散係数の差異の発生原因を数値シミュレーションにより解明し、熱塩拡散系における乱流モデルの改良を行う。

2. 研究計画

海洋のように分子拡散係数の異なる 2 種類の物質によって密度成層した流体中の乱流拡散を調べる。特に、物質濃度撹乱の最小の空間スケールである Batchelor スケールに至る物質拡散の構造や、それに対応する Ozmidov スケール（海洋観測で用いられる特徴的長さ）や、浮力レイノルズ数 Re_b=ε/νN^2（N は浮力振動数、ε は運動エネルギーの散逸率）の挙動を解析する。そして、それらが実用上重要なマクロな量である渦拡散係数 K_{Heat} 及び K_{Salt}（鉛直熱塩フラックス）に与える影響を解明する。

以上により、渦拡散の支配パラメータを明らかにし、海洋乱流モデルの改良ポイントを明らかにする。

3. 進捗状況

スペクトル法を用いた 3 次元数値シミュレーションを行っている。渦拡散係数は、浮力レイノルズ数 Re_b に大きく依存することが知られているが、Re_b は、その定義からも明らかなように、海洋乱流に特有の長さスケールである Ozmidov スケール: $L_O = \left(\varepsilon / N^3\right)^{1/2}$ と密接な関係にある。このため、まず、Ozmidov スケールの時間変化を調べた。

Ozmidov スケールは、浮力効果と慣性効果がつりあう長さスケールであり、これより大きいスケールでは浮力項が慣性項よりも大きくなり、浮力効果が卓越する。したがって、L_O が乱流の乱れの代表的な長さスケールに比べて小さくなると、渦拡散係数は、浮力と同時に、物質の分子拡散の影響も強く受けることになる。

図 1 は、L_O などの乱れを特徴づける各種のスケール、すなわち、Ozmidov スケール、速度場の最小スケールである Kolmogorov スケール L_K、及び、物質濃度撹乱の最小スケールである Batchelor スケール L_B の時間変化を示したものである。

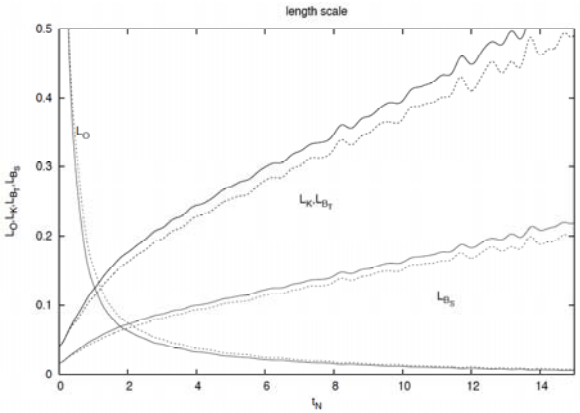

図 1　二重拡散乱流中の長さスケールの時間変化。 L_BT と LB_S は、異なる分子拡散係数の物質の場合の結果を示す(物質 T がプラントル数 Pr=1、物質 S が Pr=6 の場合)。

これより、Ozmidov スケールは時間と共に減少し、短時間のうちに Batchelor スケールよりも小さくなり、成層の効果が早期に全スケールに及ぶことがわかる。このことは同時に、分子拡散の差異が早期に重要になることを示している。Ozmidov スケールの減少は浮力レイノルズ数の減少も同時に意味しており、室内実験において浮力レイノルズ数の減少が $K_{Salt} < K_{Heat}$ に対応していることと考え合わせると、分子拡散の差異と $K_{Salt} < K_{Heat}$ との対応が強く示唆される。

4. 今後の計画

今後、Ozmidov スケール、浮力レイノルズ数などの観測で得られる物理量と渦拡散係数の関係を明らかにし、海洋モデルにおける乱流モデルの改良の方向を明らかにする。

5. 計算機資源の利用状況（2007 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：1　CPU 時間：692 hours
ベクトル化率（平均）：86%