

熱塩二重拡散系における乱流拡散係数

花崎 秀史

京都大学大学院工学研究科機械理工学専攻

1. 背景と目的

海洋の流れは、海水密度を決定する熱と塩分の分布に大きく依存する。海洋数値モデルにおいては、通常、熱と塩分の乱流渦拡散係数は等しく置かれて来た。これは、レイノルズ数が十分大きく、分子拡散の効果は非線形効果に覆い隠されるという仮定のもとでの話である。しかし、近年、両者の違いの可能性やその影響が議論されるようになった。海洋観測や室内実験においても両者の違いを指摘する結果が現れ、IAPSOでも拡散係数に関するワーキンググループを設置した。室内実験によれば、差分拡散は、海洋観測でよく用いられる浮力レイノルズ数 $\epsilon / \nu N^2$ が 10^3 以下程度で発生する（ ϵ は、乱流のエネルギー散逸率、 ν は流体の動粘性率、 N は浮力振動数）が、この値は実は、赤道や極付近の密度躍層や、海洋深層において典型的な値である。本研究では、熱と塩分の分子拡散の違い、すなわち、differential diffusion（以下、和訳として「差分拡散」と呼ぶことにする）が、それらの乱流（渦）拡散係数に与える影響を、数値シミュレーションにより解析する。なお、実際の系では熱（温度）のプラントル数は $Pr_T = 6$ 、塩分のプラントル数は $Pr_S = 600$ であるが、計算機の能力の限界のため、ここではそれぞれ、 $Pr_T = 1$ 及び $Pr_S = 6$ として計算した。

2. 結果及び結論

差分拡散の存在自体は、流れの渦構造のような小スケールの構造にはあまり影響を与えない。図1は、渦の等値面であるが、こうしたpan-cake（パンケーキ）構造自体は、密度成層を構成する要素が熱（温度）だけの場合と実は大きな差はない。実用上重要な問題は、大スケールの構造が効く熱と塩分のフラックス（あるいは乱流渦拡散係数）である。これらは、比較的初期の時刻に分子拡散の影響による差を生じる。しかもその差は、時間が経っても消滅せず、ずっと後まで影響を引きずることになる。図2は、塩分と熱の渦拡散係数（ K_S と K_T ）の比 $d = K_S / K_T$ の時間変化を示しているが、時間と共に減少し、0.5付近の小さい値に漸近することがわかる。このことは、 $d = K_S / K_T = 1$ を仮定すると、拡散係数が実際とずれてくる可能性を示している。ただし、渦拡散係数も密度成層の強さに依存する

ため、浮力レイノルズ数に依存し、室内実験では $d = 0.2$ 程度の低い値も得られている。したがって今後、観測等との比較の観点からも、浮力レイノルズ数依存性の解析が不可欠である。

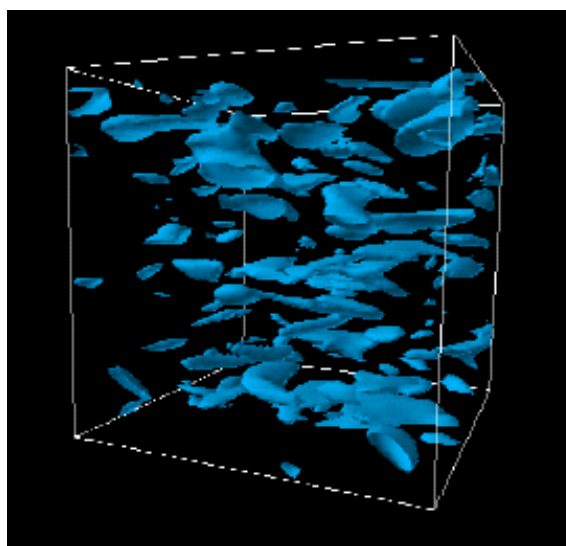


図 1 成層流体中の渦度の等値面（パンケーキ構造）。

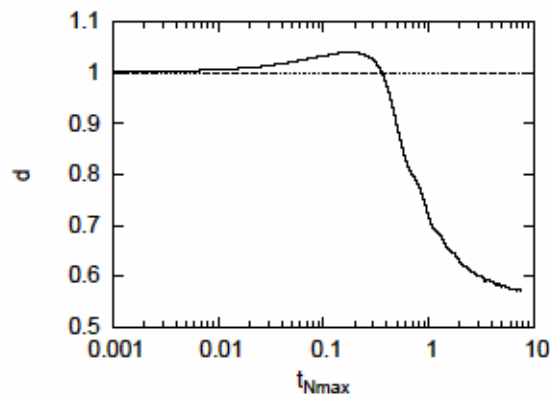


図 2 塩分と熱の渦拡散係数の比 d の時間変化。