

論文内容の要旨

論文題目

A Numerical Study on Vertical Turbulent Diffusivity in the Ocean

(海洋鉛直乱流拡散に関する数値的研究)

氏名

平林 紳一郎

O (10m) 程度の水塊中の鉛直拡散係数は、熱や物質の小スケール拡散現象から海洋中の温度や塩分濃度の広範囲に渡る分布を予測する上で重要なパラメータである。

本研究では、小スケール乱流場における鉛直拡散係数をエネルギー散逸率、バイサラ周波数、およびエネルギーの最大長さスケールの 3 つの支配パラメータによって表すことを試みた。提案する鉛直拡散モデルが適用できるのは、一様でせん断により駆動される定常乱流場である。また、対象として O (10m) の領域を考えているため、Coriolis 力の影響は無視できると仮定している。

最初に一様な非等方乱流場を数値的に模擬するための forcing 手法を提案した。この手法ではエネルギー平衡仮定の下、設定した成層強度で任意のエネルギー散逸率を保つことができる。実際の海洋混合層に代表されるような Reynolds 数の高い乱流場を模擬するため、提案する手法を LES に実装し、一辺 16m の立方領域における平衡乱流場を数値的に生成した。この平衡乱流場を用いてアクティブスカラーとパッシブスカラーの鉛直拡散係数を見積もった結果、弱い安定成層下では両者はほとんど一致するが、成層が強くなると前者が後者に比べて小さくなる傾向を得た。これにより、乱流強度に比べて成層が強く、浮力の効果が相対的に大きくなるようなケースでは熱拡散係数モデルをパッシブなスカラーの拡散にそのまま適用するのではなく、修正を施す必要があることが示唆された。

次に、前述した O (10m) の平衡乱流場を様々なエネルギー散逸率、バイサラ周波数、最大長さスケールの 3 つの支配パラメータについて LES により模擬し、turnover Froude 数や flux

Richardson 数などの鉛直混合を表すパラメータを抽出した。各混合パラメータを支配パラメータによりスケーリングした結果、従来考慮されてこなかった最大長さスケールが混合パラメータに大きく寄与していることが分かった。このスケールは流場の Reynolds 数を決めるエネルギー保有スケールに相当すると仮定し、3 つの支配パラメータにより各混合パラメータを表すモデルを提案した。

最後に、実海域における流速データからスペクトル解析と LES を組み合わせることによってエネルギー散逸率を推定する手法を提案した。4 点において同時に計測された流速時系列よりスペクトル解析を用いて流速成分の空間分布を O (1m) 程度で推定し、それらを LES の低波数成分として forcing することでより小さなスケールの渦を生成させるというものである。流速成分の forcing において高波数成分に発生する人工的なエラーを避けるため、partial spectral filter を新たに開発した。このフィルタを導入した LES により、北太平洋における深度 2200m において計測した流速データを用いて流場を再現した結果、生成された高波数成分の誤差はほとんど見られず、慣性小領域と考えられる領域が適切に生成された。この生成流場からエネルギー散逸率および鉛直拡散係数を見積もったところ、それぞれ $2.8 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$ および $3.6 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ となり、地形の影響を受けない深海としては妥当な値を得た。