

論文審査の結果の要旨

氏名 平林 紳一郎

本論文は6章からなり、第1章は緒言で、数 m から数十 m 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ことが述べられた後、本論文の目的として、平衡な非等方乱流場を数値的に再現計算を実施することのできる新たな手法を提案し、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であることが記述されている。

第2章では、本論文の主目的であり、かつ本論文で新たに開発された、一様な非等方平衡乱流場を数値的に再現するための乱流 **forcing** 手法につき説明している。この手法の特徴は、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を可能とした点にある。従来、一様せん断。一様成層乱流の数値計算においては、支配パラメータを試行錯誤的に与え、結果としてエネルギー平衡になるケースにつき、結果を考察していた。本論文で開発された手法によれば、任意の散逸率を与えることで、常にエネルギー平衡となる乱流場を計算機上に生成することが可能となる。

第3章では、第2章で開発した数値計算手法により平衡乱流場を数値的に再現した結果を用い、既存のモデル式と組み合わせて求めたアクティブスカラーの鉛直拡散係数と、実際に染料拡散を数値解析して求めたパッシブスカラーの鉛直拡散係数に関し、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、弱い安定成層下のケースにおいて、開発した数値解析法の検証がなされ、一方、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を示唆した。

第4章では、前述した数 m スケールの平衡乱流場を、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数値計算により再現し、計算結果から **overturn 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。

第5章では、実海域における流速データからスペクトル解析と **Large Eddy Simulation (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 **wavelet** 解析を用いて流速成分の空間分布を数 m 程度で推定し、それらを低波数成分として **forcing** することで、より小さなスケールの渦を数値的に生成させた。本論文では、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** を新たに開発している。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、この海洋流場におけるエネルギー散逸率および鉛直拡散係数を見積もることができ、地形の影響を受けない深海として妥当な値を得た。

第 6 章は本論文の結論であり、一様な非等方平衡乱流場を数値的に再現する新たな数値解析手法を開発したこと、それ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推定し、本手法の検証を行ったこと、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数値計算を実施した結果、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り、これについてモデル式を提案したこと、北太平洋における深度 2200m におけるエネルギー散逸率および鉛直拡散係数を見積もり、妥当な値を得たことについてまとめている。

なお、本論文第 2 章は、佐藤徹（東京大学大学院教授）との共同研究であるが、論文提出者が主体となって開発を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上より、博士（環境学）の学位を授与できると認める。