

海洋鉛直混合観測データを用いた全球海洋環境再現実験

長船 哲史¹、杉浦 望実¹

課題代表者：増田 周平¹（¹ 海洋研究開発機構 地球環境観測研究開発センター）

1. 研究概要

四次元変分法データ同化手法を用い、近年増加しつつある鉛直混合観測データを活用して、これまでの水温、塩分海洋観測データに加え鉛直混合観測データにも整合するような海洋環境再現データセットを作成する。鉛直混合観測は、限られた海域にしかないが、その情報は力学的に海洋循環に直結する為、きわめて有用である。この物理量を加えてデータ統合を行うことで、これまでの海洋循環像がどのようにリバイスされるかを明らかにする。このことにより、海洋の熱・物質輸送に関する理解を深めることができる。

2. 背景と目的

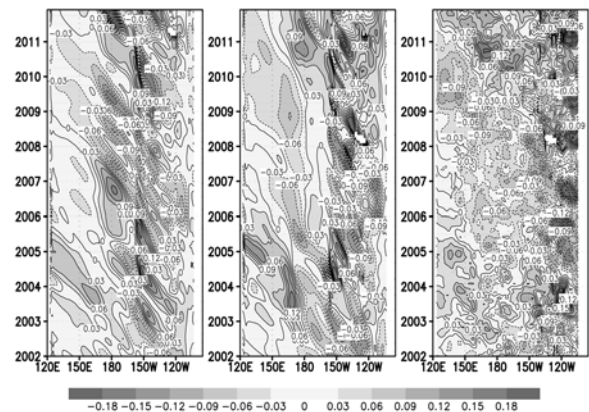
乱流鉛直混合は大規模な海洋循環を制御する重要な物理過程の一つであり、熱や物質の輸送を通じて、物質循環・生態系を含む気候システムの維持・変動機構とも深く関わっている。したがって、鉛直混合の実態解明とその役割の評価は、海洋学における最重要課題の一つであると同時に、より広範な地球科学的観点からも大きな意義を持つ。このような背景で、観測・理論・数値シミュレーションなど、様々な手法を用いて活発な研究が進められているが、未解明な部分も多く残されている。

本研究では、観測と数値モデル双方の優位性を活かすことが可能な四次元変分法データ同化手法を応用した先進的なデータ統合実験を通じて、鉛直混合が海洋循環・物質循環の維持に果たす役割を再評価すること目的とし、鉛直混合に関わる未知パラメータを最適化するシステムを構築する。

3. 手法

四次元変分法データ同化とは、数値モデルを用いて、観測データを力学的に時空間補間する高度なマッピング手法である。我々のグループでは、この手法を応用したデータ統合システム

を用い、過去に得られた水温・塩分等の膨大な海洋観測データと整合的な長期海洋環境再現データセット（ESTOC）を作成し、その解析を通じて気候変動に関わる海洋変動のメカニズム解明に取り組んでいる（例えば図1）。得られた統合データセットは、表層から深層まで、様々な時空間変動をよく再現していることが確かめられている。このように、深層まで含めた全層における全球長期データ統合実験が可能な本システムは、世界的にも稀有である。本研究では、このシステムを基に、新たなシステムを構築する。鉛直混合強度の未知パラメータの最適値を求める。

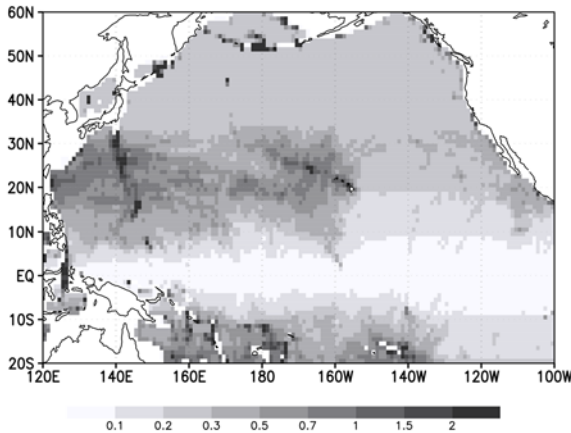


4. 研究成果

（図1）北緯18度における $24.0\sigma_\theta$ 面上における塩分偏差。左から、数値モデル、ESTOC、観測データのみから簡便に作成したデータ。数値モデルでは、中央～西部域においても季節変動が卓越していたのに対し、統合データセットでは、この海域で観測された数年スケールの変動をよく再現している。

鉛直混合の主なエネルギー源は、風と潮汐である。まず、潮汐モデルから推定される現実的な潮汐エネルギー分布を元に、鉛直拡散係数を算出する複数のモデルコンポーネントを、データ統合システムで用いる数値モデルに組み込んだ（図2）。

これにより、エネルギー論的に信頼性のより高いシミュレーション実験が可能となり、観測によって得られた乱流エネルギー散逸率を取り込む基盤を確立した。



(図2) 新たな数値モデルにおける 2500m 深の鉛直拡散係数(cm^2/s)。潮汐エネルギー散逸を反映して、海底地形近傍で強い拡散が生じている。

次に、水温・塩分等の観測データに対する、鉛直拡散係数の感度を計算する随伴モデルを作成した。随伴モデルは、四次元変分法を用いたデータ統合システムの根幹を成すコンポーネントである。図3に、この随伴モデルを用いて計算された現実の水温塩分データに対する鉛直拡散係数の感度を示す。この図は、観測データから評価された、図1に対応する鉛直拡散係数の修正に関する情報をしめしており、この深度では、海底地形に起因するよう見える組織的な感度がみてとれる。

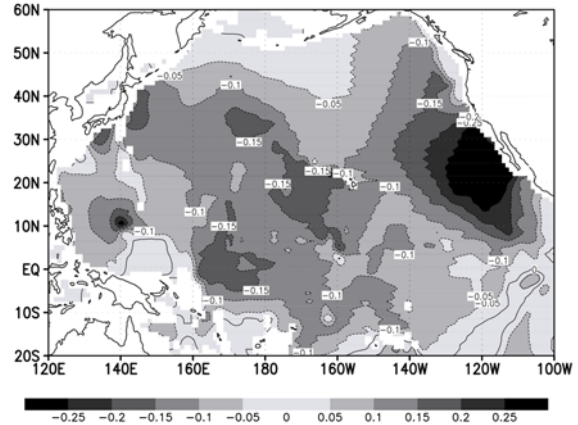
この鉛直拡散係数の感度を元に、潮汐エネルギーマップと鉛直拡散係数を結ぶ未知パラメタの感度を計算する随伴モデルも作成済みであり、この出力結果を用いて、制御変数の検討を進めている。

また、乱流エネルギー散逸率の観測データを取り込む仕組みについても基本的な設計を終え、実装に向けた準備を進めている。

5. 今後の研究計画

現在開発中のシステムを用いたデータ統合実験を行うことで、乱流観測を含む全球海洋観測をベースとした鉛直混合のマッピングを得る。また、得られた統合データの解析を通じて、

乱流観測を陽に取り込むことで、これまでの海洋循環像がどのようにリバイスされるかを明らかにし、鉛直混合の役割を再評価する予定である。



(図3) 歴史的な水温塩分データに関する 2500m 深の鉛直拡散係数(cm^2/s)の感度。