

安全保障技術研究推進制度 令和6年度終了課題 終了評価結果

1. 評価対象研究課題

- (1) 研究課題名：新たなデータ同化手法を使った海中水温・塩分推定／予測手法研究
- (2) 研究代表者：宇宙航空研究開発機構 松井 快
- (3) 研究期間：令和4年度～令和6年度

2. 終了評価の実施概要

日時：令和7年10月16日

場所：TKP新橋カンファレンスセンター

評価委員：未来工学研究所 理事長、上席研究員

東京大学 名誉教授

平澤 洽（委員長）

理化学研究所 革新知能統合研究センター 副センター長

上田 修功

情報セキュリティ大学院大学 研究科長・教授

大久保 隆夫

玉川大学 名誉教授

大森 隆司

東京科学大学 工学院 電気電子系 教授

梶川 浩太郎

東京工業大学（現 東京科学大学） 名誉教授

佐藤 誠

兵庫県立大学大学院 情報科学研究科 教授

田中 俊昭

千葉商科大学 特定教授

筑波大学 名誉教授

東京工業大学（現 東京科学大学） 名誉教授

寺野 隆雄

札幌市立大学 理事長、学長

中島 秀之

山口大学 大学院創成科学研究科 教授

西井 淳

産業技術総合研究所 人間社会拡張研究部門 上級主任研究員

長谷川 良平

福井工業大学 経営情報学部長・主任教授

大阪大学 名誉教授・特任教授

馬場口 登

（委員長以外は五十音順・敬称略）

3. 研究と成果の概要

研究の概要

海中の水温、塩分の推定は、音波探査、水産業で、海洋予測の基礎データとなる。

SWOT 衛星により海面高度情報量が飛躍的に増加し主成分分析にかわる新しい推定方法が望まれる。鉛直方向の改善としてクラスタリング手法を用いた推定、主成分分析の肝となる評価関数の改良、時間方向の改善としてアンサンブル変分法を用いた方法で水温・塩分推定を飛躍的に向上させることを目的とする。

成果の概要

1) 水温・塩分プロファイル推定

「定量的評価として設定した Reduced error ratio^{*1}において、従来の主成分分析手法に対して 40%の精度向上を目指す。」とした目標値に対して

・ JAXA 手法

LLE(locally linear embedding)手法を使った疑似観測データの作成、近接 Argo データを用いたガイド手法を用いて、最終的な水温・塩分推定を実施。従来の主成分分析手法に対して約 40%の精度向上を達成した。

・ RESTEC 手法

主成分を適用する海域区分の詳細化、ARGO フロートデータ、および、海面高度の閾値情報を用いた第一推定値の算出することで海域平均値を第一推定値とした推定に対して、水温、塩分両パラメータ推定で約 40%の誤差低減を達成した。

2) 予測モデルの適用と検証

四次元アンサンブル変分法を確立し SWOT 衛星データを同化、新規機械学習データの同化、四次元同化のそれぞれによって把握空間スケール下限値(CSM)^{*2}を従来に比べて 80%改善を達成した。

4. 終了評価の評点

A 相応の研究成果をあげた。

5. 総合コメント

LLE と近接 Argo を融合した新手法で水温・塩分推定精度を大幅向上し、QGPV 方程式の実データ解法を初実証した。理論と観測を統合した先進的成果で国際的優位性を示した。今後の研究開発に繋がる研究成果は十分に挙げられているとともに、海洋物理に新たな展開を開いており、高く評価できる。

塩分濃度と温度分布が独立変数としてふるまうのか、何らかの相関関係があるのか等の実態的な局面にデータサイエンスの結果を引き直すべきである。そのために

はダイナミックスにかかるアプローチへの糸口が必要である。また、研究成果を世界的な研究動向と比較できる形で示すことが必要である。

今後は、比較的平易な主成分分析ではなく、独立性分析など解析の高度化を目指していただきたい。

6. 主な個別コメント

- 研究成果に対して理論的な意味付けが必要である。
- 成果を主張するには、データ（観測条件、環境）の更なる拡充が必要である。
- どのようなデータに対し、どのような手法で結果を出したかというストーリーや、どの点に革新性があるのかがやや不明瞭であった。
- 更なる精度向上を目指すのであれば、現状、何が問題となっていて、どの程度の精度向上がどの程度の問題解決をするのか説明があると分かりやすい。
- 機械学習を全部行ったと説明しつつ、ディープラーニングやトランスフォーマー系を行っていないので、正確な表現を心がけていただきたい。また、研究成果が相手に伝わるプレゼンテーションを心がけていただきたい。

*1 Reduced error ratio

海洋の解析領域の水温・塩分平均値から、解析手法を用いることでどこまで正解に引き戻すことができるか（修正できるか）を定量的に評価するもの。数値が0に近いほど正解に近く、1だと平均値同等という意味になる。

<Reduced error ratio (rk) の定義式>

$$rk = \sqrt{1/N * \sum (x_{ika} - x_{iko})^2} / \sqrt{1/N * \sum (x_{km} - x_{iko})^2}$$

N: プロファイル数

i: プロファイルのインデックス

k: 状態変数のインデックス

x_{km}: 第1推定値（気候値）

x_{iko}: 観測値

*2 把握空間スケール下限値(CSM)

どの程度の小さなスケールの現象が把握可能かを評価する数値で、表層海流については海洋予測システムで推定したブイ軌跡と実際のブイ軌跡を比較解析することで推定できる。海洋予測システムの表層流速データを Gaussian 相関スケール s で平滑化してブイに見立てた仮想粒子追跡計算を行って得た軌跡と実際のブイの軌跡の根平均二乗残差(RMSD)が最小となる相関スケール s を評価する。

<CSM の定義式>

$$CSM = s \text{ for minimum of } 1/M * \sum \sqrt{1/N * \sum (O_{mn} - M(s)_{mn})^2}$$

(O_{mn} はブイ m の予測期間(予測可能性をもつ小期間に区切る) n におけるブイの位置、M_{mn} はモデル流速によって移動させた仮想粒子の位置、M, N はそれぞれブイの総数、予測期間の数。)