

気候変動適応策の検討に資するための日本周辺海域海洋将来予測データベース構築における大規模アンサンブル実験

課題責任者

五十嵐 弘道 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 地球情報科学技術センター

著者

西川 史朗^{*1}, 杉山 徹^{*1}, 黒木 聖夫^{*1}, 中野 英之^{*2}, 五十嵐 弘道^{*1}, 石川 洋一^{*1}

^{*1} 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 地球情報科学技術センター, ^{*2} 気象庁気象研究所

キーワード: 海洋将来予測, 海洋モデル, ダウンスケーリング, 北太平洋, アンサンブル予測

1. はじめに

本課題では、「文部科学省気候変動予測先端研究プログラム（令和4-8年度）」領域課題3（以下、先端プログラム）のもと、気候変動適応策の検討に資する日本域海洋将来予測データベースを構築する課題に取り組んでいる。昨年度は、そのための海洋モデル実験構成・計画（シナリオ・アンサンブル等）を固め（前年度報告書[1]、図1）、データセット作成の本格実験を開始して先行的・試行的なプロダクト作成をしつつデータ検証を進めた[1]。先端プログラムの4年目となる本年度は、前年度に引き続き上記実験計画に従ってデータセット作成のための大規模アンサンブル実験を継続実施し、データセットの主要部分（北太平洋域10km解像度における過去再現ケースと3つの将来予測シナリオケース）について計算を完了した。本データセットは“d4PDFv2_ocn”と名付ける予定である。得られた結果（d4PDFv2_ocn）について、既存予測データ（FORP[2]）や先端プログラムで作成した海洋再解析データFORA-JPN60[3]などを用いた検証を進めた。本稿では、それらの内容や一部結果について簡単に紹介する。

2. モデルと実験

使用する海洋モデルシステムは、前年度までに開発・調整を行ったものを踏襲している（詳細は[1]参照）。それは水平解像度100km程度の全球海洋モデル（GLB）、水平解像度約10kmの北太平洋海域モデル（NP）、水平解像度約2kmの日本近海モデル（JPN）から構成され、オフラインネスティング手法により広域のものから順に実行する形である。それぞれ気象研究所共用海洋モデルMRI.COMv5コード[4]を使用しており、GLBおよびNPには簡単な生物地球化学過程も組み込んでいる。今年度新たに追加したモデル調整項目として、NPモデルの炭素関係係数（Alk, DIC, DIC_{prei}）における緩和過程の導入がある。データ検証の過程で、これらが杭州湾(121°E, 30.5°N)付近で不安定になりNPモデルの炭素循環過程が損なわれることがわかったため、その問題の生じないGLBの値に緩く緩和する過程を追加した。（その問題の生じた実験ケースをやり直した。）

本稿で紹介する海洋プロダクト（d4PDFv2_ocn）作成実験は、先端プログラムにおける大気側を含めた時間連続

実験（d4PDFv2作成実験）群の一部として実施され、その全体像を示したものが図1である。そこではまず全球大気予測システム（TSE-C[5]）による一連の実験が先行して実施され（※その結果はd4PDF[6]の後継的な大気データセットとなる予定）、そこから海面大気要素を海洋モデル駆動外力データとして取得することで、一連の海洋実験が実施される。GLBおよびNPを用いて図1に示す一連の海洋アンサンブル予測実験を実施することにより、合計10952年におよぶ北太平洋域10km解像度の海洋予測データセットが作成される（これら実験の詳細は[1]参照）。JPN実験では、NP実験（図1）から期間、シナリオ、メンバー数を限定したダウンスケーリング計算を実施することにより日本周辺海域2km解像度のデータセットを作成する。今年度、ニーズ調査も含めたJPN実験仕様詳細の検討を行った結果、JPNでは過去再現（1990–2020年）とSSP2-4.5シナリオ予測（2021–2100年）の連続実験および非温暖化実験（1990–2020年）をそれぞれ6メンバーずつ行う仕様とすることにした（図1の黄字参照）。

今年度は、各モデルを用いた図1に示す本計算を通年的に進め、NP計算として過去再現と3つのSSPシナリオ予測計算を全メンバー・期間分完了することができた。また、JPN計算として一連の過去再現およびSSP2-4.5シナリオ予測実験を全期間・メンバー分完了した。以下ではNP実験で得られた結果を対象に基本的な解析・検証を行った一例を簡単に紹介する。

3. 結果例

図2a,bは、NP過去再現結果の全36メンバー分について日本周辺海域（図2右図）での海面水温・塩分のバイアスを評価した例である。既存のFORPによる結果（図2c,d）と比べて、本NP結果では水温塩分ともにバイアスが全体的に小さく抑えられており、外力に使用したTSE-Cにおける海洋同化（[5]参照）が効いていると考えられる。東シナ海（ECS）にやや大きな高塩分バイアスが見られ、河川が影響している可能性がある。黒潮域・日本海域（KUR、SOJ）に少し低温・低塩分の系統的傾向が見られるが、黒潮のバイアス（あるいは偏西風系のバイアス）に起因する可能性が考えられる。混合域（MWR）ではアンサンブルが適度にばらついているといえる。

図 3a-c は、NP の過去再現～3 種類の SSP 将来予測結果 (1960-2100 年) の各 6 メンバー分を用いて日本周辺海域での海面水温、pH、亜表層酸素のアンサンブル平均での将来予測を解析した例である。FORP による結果 (図 3d-f) と同様・整合的にシナリオ別の海洋温暖化、酸性化、貧酸素化が表現され、FORP における RCP2.6, RCP8.5 予測が本データの SSP1-2.6, SSP5-8.5 予測とよく対応している。FORP では CMIP の各モデルデータを直接外力として使って実施される形のため各ケースの個性・違いに起因すると考えられるばらつき (図 3d,f の信頼区間) が現れるに対し、本予測データは CMIP データから外部強制成分のみを抽出する方法で駆動された TSE-C による (統一的な) 出力を外力に用いるという特徴で、ばらつき (信頼区間) が相対的に小さめであることがわかる (図 3a,c)。

4. 今後に向けて

今年度は、大規模アンサンブル実験を概ね順調に進めることで新しいデータセット (d4PDFv2_ocn) の主要部分の計算を完了させつつ、データの検証も進めた。先端プログラムの最終年度となる来年度は、残りの計算を進めてデータセット作成の全計算を完了させるとともに、気候研究や論文等に向けデータ検証やそれ使用した解析を本格的に進める予定である。また、データセットの一般公開に向けても必要な作業や手続きを進めていく。

謝辞

本課題は、「文部科学省気候変動予測先端研究プログラム」課題 3「日本域における気候変動予測の高度化」(JPMXD0722680734) のもと実施している。

文献

- [1] 西川史朗, 杉山徹, 中野英之, 黒木聖夫, 五十嵐弘道, 石川洋一 "気候変動適応策の検討に資するための高解像度海洋モデルを用いた海洋将来予測データベース構築における海洋モデルアンサンブル実験概要", Annual Report of the Earth Simulator. April 2024 - February 2025, (2025)
- [2] Nishikawa S, Sugiyama T, Kurogi M, Tsujino H, Nakano H, Ishikawa Y "Development of a high-resolution ocean ensemble future projection dataset for the North Pacific incorporating simple biogeochemical processes" Prog Earth Planet Sci 11:67, (2024)
- [3] Usui N, Hirose N, Sakamoto K, et al. "Four-dimensional variational ocean reanalysis for the seas around Japan over 60 years (FORA-JPN60) Part I -- system configuration and basic performance". J Oceanogr, accepted, (2026)
- [4] Sakamoto K, Nakano H, Urakawa S, Toyoda T, Kawakami Y, Tsujino H, Yamanaka G, "Reference manual for the Meteorological Research Institute Community Ocean Model version 5 (MRI.COMv5)". Technical Reports of the Meteorological Research Institute 87, (2023)
- [5] Mizuta R, Endo H, Kawai H, et al. "Climate simulations using MRI-ESM2 with 60 km resolution atmosphere and data assimilated ocean" J Meteor Soc Japan 104:10, (2026)
- [6] Mizuta R, Murata A, Ishii M, et al. "Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60-km global and 20-km regional atmospheric models" Bull Am Meteorol Soc 98(7):1383-1398, (2017)

データセット(d4PDFv2_ocn)作成実験の全体概要

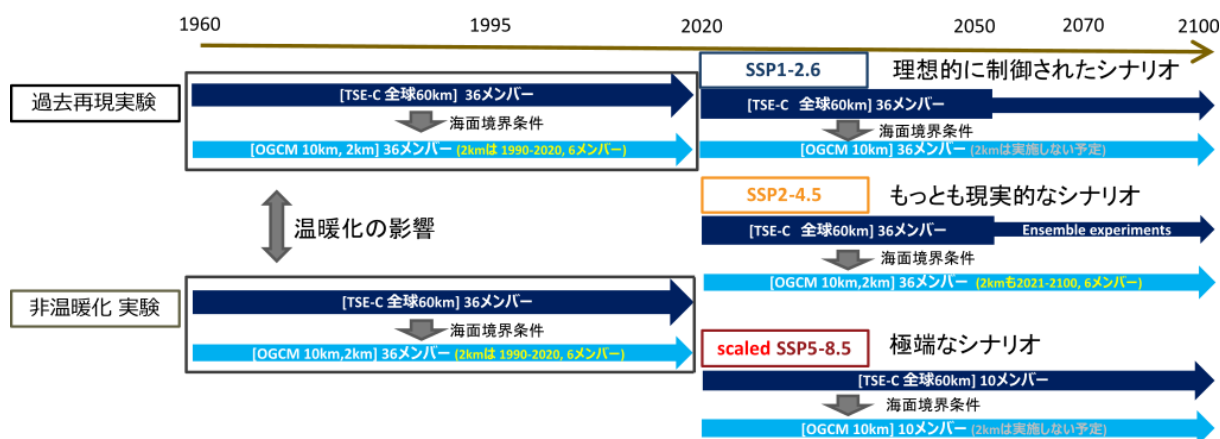


図 1: 先端プログラムにおける時間連続実験 (d4PDFv2 シリーズ作成実験) のうち海洋実験関係部分の抜粋図。前年度報告書[1]の図 1 から一部情報を更新したもの。水色矢印は海洋モデルシステム (GLB, NP) による予測実験 (その中の黄字が JPN によるダウンスケーリング実験仕様) を示し、紺色矢印は TSE-C システム (全球大気予測システム) [5] による予測実験を示している。プログラムではまず TSE-C 実験が実施され、そこから海洋モデル駆動外力作成に必要な海面大気要素を取得することで、各海洋アンサンブル予測実験が実施される。

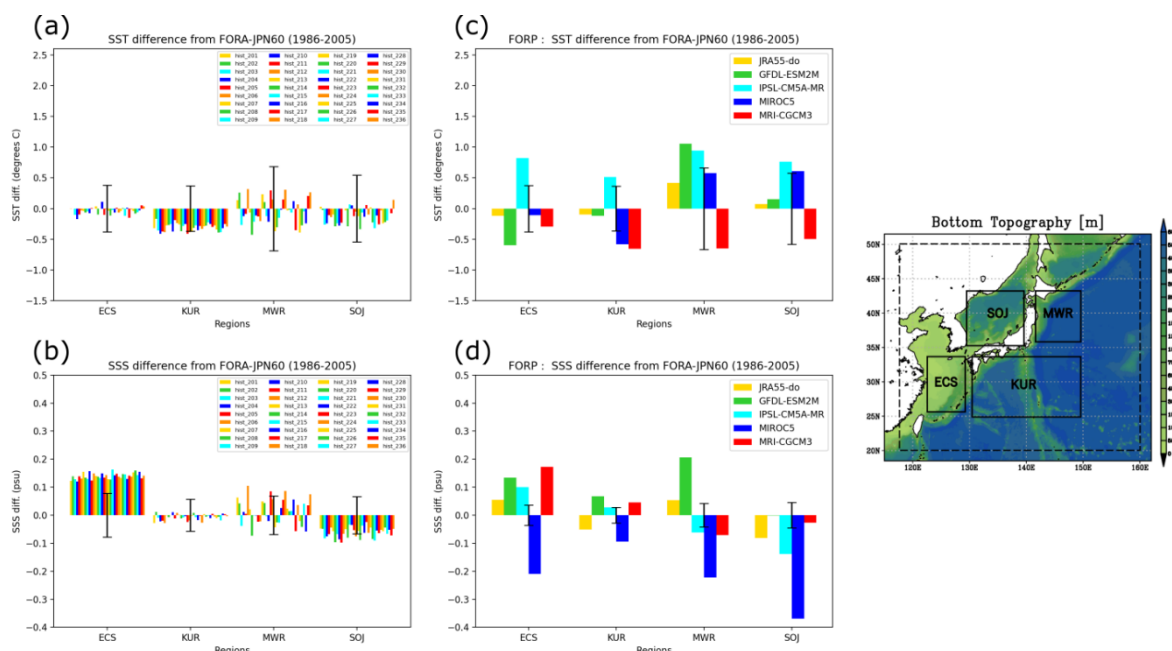


図 2: NP の過去再現結果 36 メンバー分について、右図に示す 4 つの矩形領域 (ECS, KUR, MWR, SOJ) における 1986–2005 年平均気候値での (a) 海面水温バイアスと (b) 海面塩分バイアスを求めたもの。バイアスは海洋再解析データ FORA-JPN60 [3] との差として求めた。(c), (d) は FORP-NP10 データ (Nishikawa et al. 2024 [2]) の 5 ケース分について (a), (b) と同様に求めたもの。エラーバーは FORA-JPN60 による年毎時系列から求めた標準偏差に基づく幅を示す。

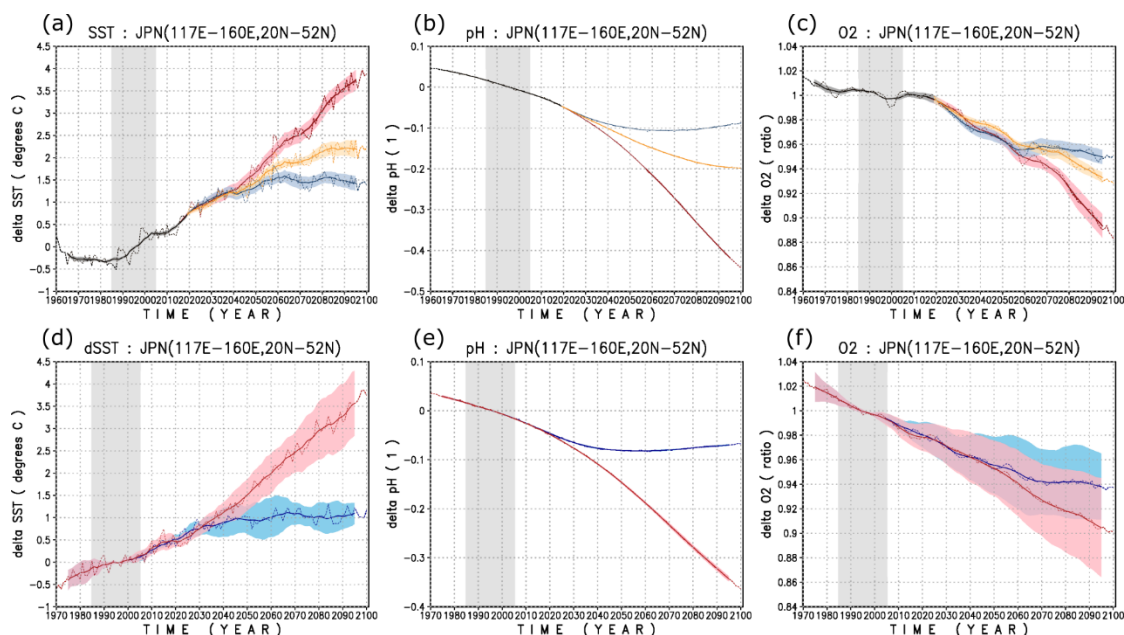


図 3: NP の過去再現 (黒, 1960–2020 年) および 3 つのシナリオ将来予測 (SSP1-2.6: 青, SSP2-4.5: 黄, SSP5-8.5: 赤, それぞれ 2021–2100 年) の各 6 メンバー結果を用いた日本周辺海域 (117°E–160°E, 20°N–52°N) の (a) 海面水温、(b) 海面 pH、(c) 垂表層 (100–600m) 酸素の予測時系列 (1986–2005 年 (灰色) 平均からの偏差で示す)。実線がアンサンブル平均した時系列 (太線: 11 年移動平均、細線: 年別値)、各色シェードはアンサンブルによる 90% 信頼区間。(d–f) は FORP-NP10 の 4 メンバーで (a–c) と同様に求めたもので、将来予測 (2006–2100 年) は RCP2.6 (青) と RCP8.5 (赤) を含む ([2] の Fig.13 参照)。