

気候変動適応策の検討に資するための日本周辺海域大規模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

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}, 中野 英之^{*2}, 黒木 聖夫^{*1}, 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, 大規模アンサンブル

1. はじめに

本課題では、令和4年度より開始された「文部科学省気候変動予測先端研究プログラム（令和4-8年度予定）」（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周辺海域の新たな海洋将来予測データベースとして、これまでにない大規模アンサンブル海洋将来予測データセットを作成することが大きな目標の1つとなっている。先端プログラムの3年目となる本年度は、前年度までの開発により得られた、海洋モデルスピンアップ・初期値化の成果を起点に、データセット作成のためのアンサンブル海洋予測実験（プロダクト作成実験）を開始し、データ作成を進めた。本稿では、本年度実施部分を中心に、プロダクト作成実験の概要、初期結果検証例など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は、オフラインネスティング手法を使った、水平解像度 100 km 程度の全球海洋モデル（GLB）、水平解像度約 10 km の北太平洋海域モデル（NP）、水平解像度約 2 km の日本近海モデル（JPN）から成るシステムで[1]、このうち NP モデルがデータセット作成の基盤となるモデルである。各モデルは、気象研究所共用海洋モデル MRI.COMv5 コード[2] 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。これら海洋モデルの主要な設定・仕様は、当 ES 課題で前に作成した「気候予測データセット 2022」の海洋予測データ（FORP version 4）で使われたものを踏襲しており、それらの詳細についてはその解説・記述文献[3,4]を参照。

プロダクト作成実験の全体概要を図1に示す。実験は、過去再現実験（1960–2020年）、非温暖化実験（1960–2020年）、および3つの将来予測シナリオ実験（2021–2100年）の合計5つの実験（時間連続積分実験）を含んでいる。将来予測実験は、共通社会経済経路（SSP; Shared Socioeconomic Pathways）から SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5 の3つのシナリオに対応する予測実験となっており、これらは過去再現実験の最後を初期値として実施される。各実験は36メンバー（SSP5-8.5のみ10メンバー）のアンサンブル実験（NP, GLB モデル）で構成され、このうち生物地球化学過程は各実験で6メンバーに限定している。

以上より、実験全体としては合計 10952 年分の計算（NP, GLB）を実施して、NP モデル出力を基盤とする北太平洋域（10km 解像度）のアンサンブルデータセットが作成される計画である。さらに各実験の20年程度を対象にした JPN モデルダウンスケーリングによるデータセット作成も計画している（本稿では詳細は割愛）。

先端プログラムにおいて、図1に示す一連の時間連続アンサンブル予測実験は全球気候変動予測システム（TSE-C システムと呼ぶ）においてまず実施される。海洋モデルによる上述の予測実験は、TSE-C による対応する実験結果から海面大気要素を取得して海洋モデル用海面駆動外力データとして構成することで実施される。また、一連の実験の起点となる海洋初期値場（1960年）は、GLB を産業革命前条件で 1800 年スピンアップ積分した後、1851–1960 年を模した条件で GLB, NP を 110 年間積分することにより得た。このスピンアップ・初期値化実験の詳細は前年度の当課題レポート[5]を参照。

本年度は図1に示す全体計画のうち主に過去再現と SSP2-4.5 を対象にテスト実験・本計算を実施して、対応するプロダクト作成を進めることができた。以下ではその結果例を簡単に紹介する。

3. 結果例

ここでは、本年度の計算により得られたテストプロダクト（過去再現実験と SSP2-4.5 実験の各 12 メンバー分結果）について本課題で以前作成して公開された FORP-NP10 version4 データ[4]（4 メンバー分）と比較検討した結果例を示す。

図2は、日本周辺海域の海面水温時系列（各メンバー毎）を過去再現と将来予測の期間を合わせて（1960–2100年）示したものである。過去再現期間について、FORP-NP10 結果（図1b）は JRA55-do ケース（黄線）を基準として $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 程度のばらつき（バイアス）が見られるのに対し、本実験結果（図1a）ではばらつきが全体的に小さくなっているとともに経年変動について再解析結果[6]（黒太線）と一定の対応が見られる。これは、本実験における過去再現期間の海面外力では、その大気データの取得元となる TSE-C 実験において海洋観測データの同化によるバイアス低減がなされていることが効いている。また、本実

験の SSP2-4.5 での世紀末における水温上昇幅は、FORP-NP10 の RCP2.6 での上昇幅と RCP8.5 の上昇幅の中間程度となっており、日本周辺海域の水温について外力から想定される良好な将来予測結果となっているといえる。

図 3 では、過去再現期間における日本周辺海域の海面高度等値線気候値分布を示す。本実験結果（図 3a）と FORP-NP10 データ（図 3b）ともに中規模渦を解像する水平解像度（10km）の海洋モデル使用により、黒潮・黒潮続流系、その南側の亜熱帯循環、北側の亜寒帯循環・親潮系などの主要な海流系が現実的に再現されている。また、FORP-NP10 結果では黒潮続流位置が現実よりやや（2-3°程度）南偏しているのと亜寒帯循環が弱い傾向（バイアス）が見られるのに対し、本実験結果ではこれらのバイアスが解消されてより現実的になっていることがわかる。これらの改善も TSE-C システムによる海面外力のバイアス低減効果の結果と考えられる。

4. 今後に向けて

本年度は、これまでのモデル調整・実験実施環境整備、スピニングアップ・初期値化実験の成果を踏まえてプロダクト作成実験を本格開始し、実験全体計画（図 1）のうち過去再現と SSP2-4.5 シナリオのプロダクト作成を進めるとともに、データの検証・解析にも着手した。来年度は、全体計画の残りの実験と JPN を使った実験を進めてプロダクト作成の大部分が完了予定であるとともに、データの検証・解析や関連する科学研究等を本格的に実施し、データセット公開に関わる開発・作業も開始する予定である。

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, 黒木聖夫, 杉山徹, 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", Annual Report of the Earth Simulator. April 2021 - February 2022, (2022)
- [2] 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)
- [3] "気候予測データセット(DS2022) データセット解説書", <https://diasjp.net/ds2022/manual.html> (accessed May 2024)
- [4] 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)
- [5] 西川史朗, 杉山徹, 黒木聖夫, 中野英之, 碓氷典久, 広瀬成章, 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日本周辺海域大規模海洋将来予測データベース構築に向けた初期値化・再解析実験", Annual Report of the Earth Simulator. April 2023 - February 2024, (2024)
- [6] Usui N, Wakamatsu T, Tanaka Y, et al., "Four-dimensional variational ocean reanalysis: a 30-year high-resolution dataset in the western North Pacific (FORA-WNP30)". J Oceanogr 73: 205-233, (2017)

海洋アンサンブル予測実験の全体概要

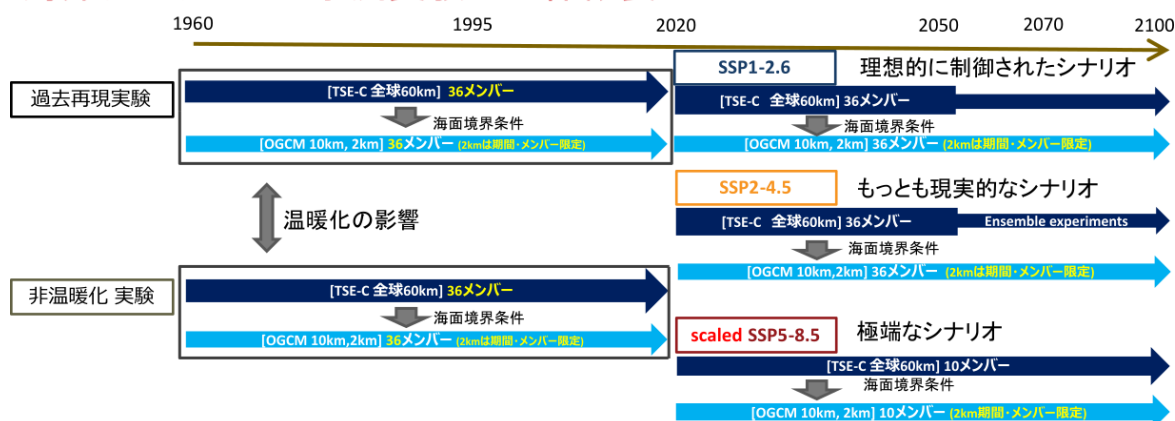


図 1: 先端プログラムにおける海洋予測実験の全体概要図。水色矢印は海洋モデルシステム（GLB、NP）による予測実験を示し、紺色矢印は各海洋予測実験実施に必要な大気外力データの取得先となる TSE-C システム（全球気候変動予測システム）による予測実験を示している。

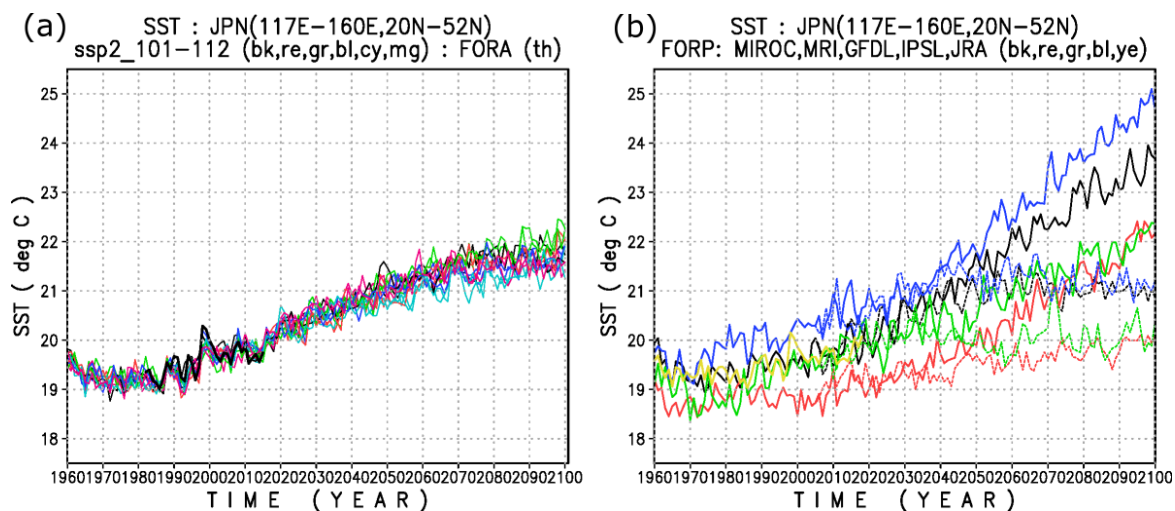


図2: 日本周辺海域 (117°E-160°E, 20°N-52°N) における海面水温 (°C) の時系列。(a) 本課題 NP モデルによる過去再現実験 (1960-2020 年) と SSP2-4.5 実験 (2021-2100 年) の 12 メンバー結果。海洋再解析 FORA-WNP30 [6] の結果 (1982-2015 年; 黒太線) も重ねて示している。(b) FORP-NP10 ver4 (Nishikawa et al. 2024 [4]) による historical (1960-2005 年)、RCP2.6 (2006-2100 年: 細線)、RCP8.5 (2006-2100 年: 太線) の各実験の各 4 メンバー (MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR) の予測結果。JRA55-do ケースの結果 (1960-2018 年: 黄線) も重ねて示している。

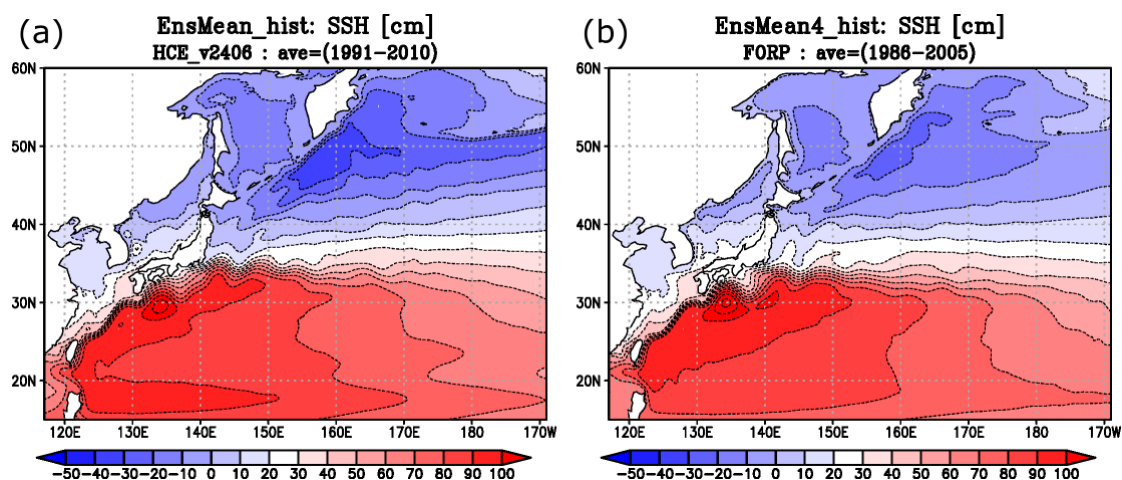


図3: 長期 (気候値) 平均した海面高度等値線分布 (m)。(a) 本課題 NP モデルの 12 メンバー結果 (アンサンブル平均) による 1991-2010 年平均した海面高度等値線分布。(b) FORP-NP10 ver4 の 4 メンバー結果 (アンサンブル平均) による 1986-2005 年平均した海面高度等値線分布。