

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

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}, 碓氷 典久^{*2},
広瀬 成章^{*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, 初期値化, 海洋再解析

1. はじめに

本課題では、昨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。これまで関連する過去のプログラム課題等で海洋予測や再解析のデータセット作成を行ってきた経験を踏まえ、先端プログラムでは、世界でも例のないこれまでにない規模となる、大規模海洋将来予測データセットの構築をプログラム期間内に計画している。5年のプログラムの2年目となる本年度は、初年度に開発・調整・整備を行った海洋モデルシステム及び外力・境界値等データを用いることで、海洋モデルスピナップ・移行実験を実施し、今後の大規模アンサンブル将来予測実験の起点となる初期値化データを作成した。また、今後の海洋過去再現・将来予測データの検証等に資するため、様々な海洋観測データを高度な同化手法・システムにより統合することによる海洋長期再解析データセットの作成を行った。本稿はそれらの実験概要や初期結果を簡単に紹介する。

2. モデルと実験

海洋将来予測に用いる海洋モデルシステムは、オフラインネスティング手法を用いた水平解像度 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]、各モデルは気象庁現業予測システム(例えば、文献[2])と共通スペックとなっている。ベースとなる海洋モデルは、気象研究所共用海洋モデル MRI.COMv5 [3] を使用している。GLB および NP には簡単な生物地球化学過程も組み込まれている。これらの海洋モデル群は、「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、仕様や設定の詳細はその解説書[4]を参照。

先端プログラムでは、TSE-C と呼ばれる全球大気海洋結合予測システムを用いた各種予測実験を実施することが柱となる課題となっている。TSE-C では、海洋部分について観測気候値に CMIP6 に基づく将来変化を加味した場に強制 (同化) することにより、優れた気候再現性を保持しつつ将来変化をモデル内に表現することが大きな特徴

の 1 つとなっている。海洋予測実験に必要な海洋モデル駆動外力データ (大気要素、河川、海面塩分) は TSE-C 実験の出力・使用データから作成する。このようにすることで、TSE-C 課題での各種大規模アンサンブル予測実験に対応した形で、海洋の各種予測実験が実施される。

今年度は、まず TSE-C の産業革命前 (piControl) 実験結果 60 年分を周期的な外力として構成し、気候値&静止状態から GLB 単体による 1800 年のスピナップ実験を実施した。次に、その結果を初期値とし、TSE-C の 1850-1960 年実験を外力に用いて GLB, NP の 1850-1960 実験を実施することで、今後のアンサンブル予測実験の出発点となる GLB, NP の初期値場を作成した。これらのスピナップ・初期値化方法については文献[5]を参考にした。

また、最新の気象庁現業海況予測システムを基盤とする海洋同化システム[2]を用いた実験を実施することにより、日本近海 60 年海洋再解析データ FORA-JPN60 と名付けた新たな海洋長期再解析データの作成を進めた。これは、以前 (2015 年) に海洋研究開発機構と気象研究所で作成した 4 次元変分法に基づく海洋長期再解析データ FORA-WNP30 [6] の後継となるデータセットであり、期間 (1960-2020) や解像度 (2 km)、モデルなどを含め様々な向上がなされている。入手可能な様々な観測データが高度な同化手法に基づく上述のシステムにより同化・統合されている (その手続・手法等詳細は割愛)。

3. 結果例

GLB による全球スピナップ実験結果例として、最後の 20 年平均の水温と塩分の WOA 気候値との差 (バイアス) を図 1 に示す。水温について、温暖化前の状況であることから海面水温は全体的に現在気候より低めとなっている (図 1a) 一方で、太平洋深層のバイアスは $-0.7 \sim -0.4^{\circ}\text{C}$ 程度で弱いバイアスに抑えられており、塩分バイアスも含めリーズナブルな範囲の結果といえる。図 2 は子午面循環流量の解析例を示し、太平洋の子午面循環が若干弱い (図 2b: モデル結果は 4 Sv に対し観測では 10 Sv)、それ以外は概ね想定される妥当な範囲といえる。また、炭素循環の平衡状態の指標として全球積算した CO_2 フラックスの評価では、スピナップ過程でゼロに近づいていき、最終的にその絶対値が目安となる 0.15 PgC/yr

以下に抑えられていることを確認している（図省略）。

図3は、FORA-JPN60の初期結果例として、黒潮大蛇行の指標となる本州東海沖の黒潮再南下緯度を観測と比較したものである。1960年代の初めの方で観測と合っていない部分もあるが、それ以外は観測に見られる黒潮状態の経年・長期変動をよく再現できていることがわかる。その他、日本海海峡通過流量や親潮の異常南下イベントなどの良好な再現性を確認している（詳細略）。

4. 今後に向けて

実施した GLB による産業革命前条件での 1800 年スピンアップ実験結果とそこからの GLB, NP による 1850–1960 年移行実験により、各海洋将来予測モデルの初期値化リスタートデータを作成した。今後、これを出発点に過去実験（1961–2020）や複数シナリオによる将来予測実験（2021–2100）をこれまでにない多数メンバーで実施していく予定である。また、本年度に構築の大部分が完了する海洋長期再解析データ FORA-JPN60 は、今後の海洋将来予測実験結果の検証に用いられる予定であるとともに、データ公開の手続きも進める予定である。

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] Hirose N, Usui N, Sakamoto K, Tsujino H, Yamanaka G, Nakano H, Urakawa S, Toyoda T, Fujii Y, Kohno N, "Development of a new operational system for monitoring and forecasting coastal and open-ocean states around Japan". Ocean Dyn., 69:1333-1357, (2019)
- [3] 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)
- [4] "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)
- [5] Tsujino H, Nakano H, Sakamoto K, et al., "Impact of increased horizontal resolution of an ocean model on carbon circulation in the North Pacific Ocean". J Adv Model Earth System 16, e2023MS003720, (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)

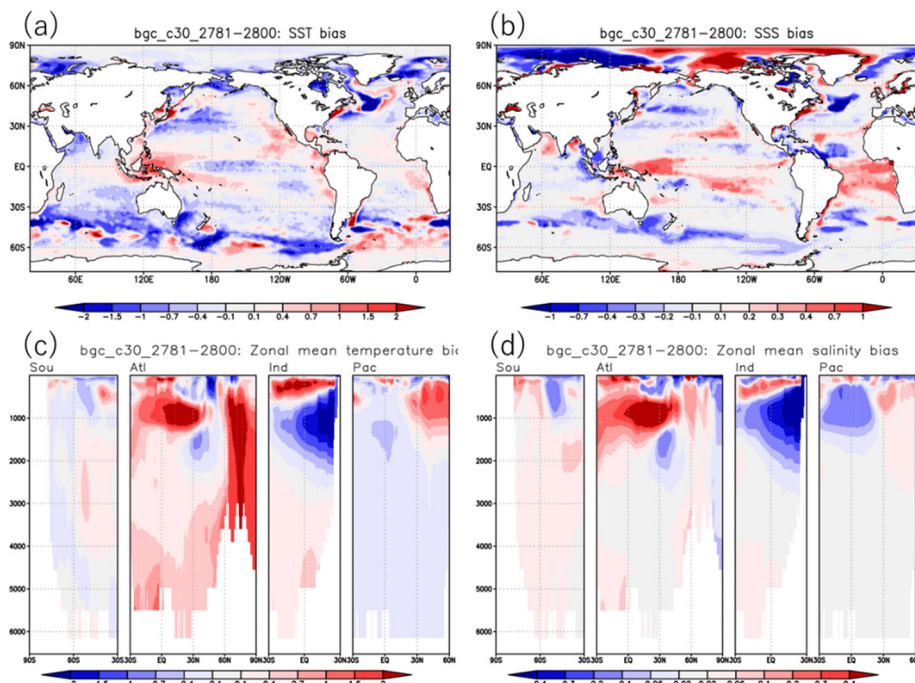


図1: 全球モデル (GLB) による 1800 年スピンアップ実験結果より、最後の 20 年平均の水温・塩分場における World Ocean Atlas (WOA13) 気候値との差 (バイアス) を示したもの。(a) 海面水温 [°C]、(b) 海面塩分 [psu]、(c) 東西平均水温、(d) 東西平均塩分。(c)、(d) は左から南大洋、大西洋、インド洋、太平洋を示す。

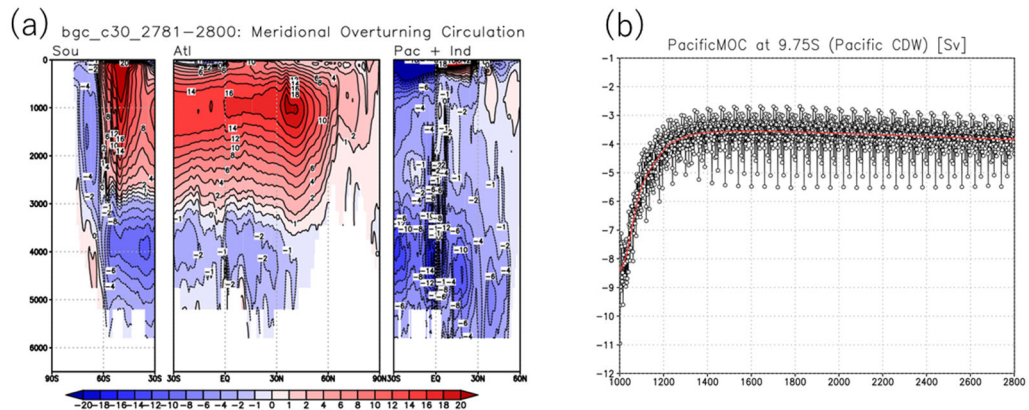


図2: (a) GLB モデルによる 1800 年スピンアップ実験結果の最後の 20 年平均より求めた子午面流線関数 [Sv]。左から、南大洋、大西洋、太平洋+インド洋を示す。(b) 太平洋の子午面循環流量の 1800 年分年々時系列。緯度 9.75°S で評価したもの。図の横軸（時間軸）は 1001 年が積分開始 1 年目、2800 年が 1800 年目に相当する。

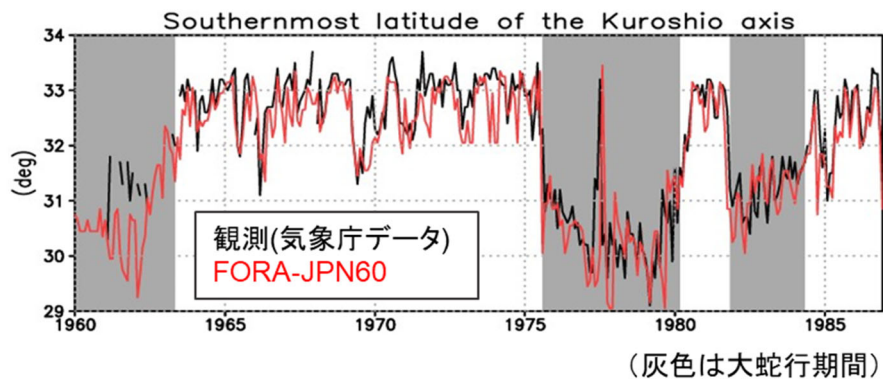


図3: 海洋長期再解析データ FORA-JPN60 の初期結果例として、本州東海沖 (136°E-140°E) における黒潮最南下緯度の年々時系列 (1960-1987) を示したもの。赤線が再解析データ (FORA-JPN60)、黒線が気象庁による観測値を示す。