

# 気候変動適応策の検討に資するための日本周辺海域高解像度海洋将来予測データベース拡充と海洋モデル開発

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<sup>\*1</sup>, 杉山 徹<sup>\*1</sup>, 黒木 聖夫<sup>\*1</sup>, 中野 英之<sup>\*2</sup>, 五十嵐 弘道<sup>\*1</sup>, 石川 洋一<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 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, <sup>\*2</sup> 気象庁気象研究所,

キーワード: 海洋将来予測, 高解像度海洋モデル, CMIP5, ダウンスケーリング, 日本近海

## 1. はじめに

本課題では、令和 2-3 年度にかけて参画した「統合的気候モデル高度化研究プログラム」領域テーマ C のもと、CMIP5 (第 5 次結合モデル相互比較プロジェクト) データを外力に用いた高解像度海洋モデルによるダウンスケーリングシミュレーション手法により、日本周辺海域の将来予測データセット (FORP version 4) を作成した [1]。このデータは、水平解像度約 10km の北太平洋域データ (FORP-NP10 version 4) と水平解像度約 2km の日本近海域データ (FORP-JPN02 version 4) から成る。これらを作成するための海面外力に用いた CMIP5 データとして、MIROC5 および MRI-CGCM3 の 2 モデルの各 historical, RCP2.6, RCP8.5 シナリオを採用し、10km データでは 1970 年から 2100 年までの連続積分データ、2km データではそこからいくつかの 15 年程度の期間を選んだタイムスライスデータとなっている。10km では生物地球化学変数が含まれていること、2km では使用した海洋モデルで潮汐過程が陽に表現されていることが FORP version 4 データセットの特徴となっている。作成したこれらのデータセットは、DIAS (データ統合・解析システム) への登録を行って公開されるとともに、気象庁・文部科学省により取りまとめられて公表された「気候予測データセット 2022」の一部を構成するデータとなっている [2],[3]。

今年度は、CMIP5 外力データとして GFDL-ESM2M および IPSL-CM5A-MR の同様シナリオを用いた追加実験を行うことで、上述の北太平洋域 10km データ (FORP-NP10 version 4) の拡充を行うとともに、今後計画している次期データセット作成のための海洋モデルシステム開発・改良を進めた。

## 2. モデルと実験

使用する海洋モデルシステムは、水平解像度 100km 程度の全球海洋モデル (GLB) からのオフラインネスティングによる水平解像度約 10km の北太平洋海域モデル (NP) である [1],[3]。昨年度までに ES4 上で開発・構築したものを基本的にはそのまま踏襲しつつ、今回、海洋モデルコード MRI.COM [4] のバージョンを v4.6 から v5 に差し替えることを中心とした更新・改良を行った。更新の主なポイントは、v5 においてより高性能で安定性の高い時間差分

スキームが導入されたことである。これにより、v5 ではより長い時間ステップをとることができるようになり、例えば v4.6 では NP モデルでの 1 年計算に ES4 の VE 搭載ノードで 8-10 時間程度を要していたものが、v5 ではその半分程度の時間で済むようになった。また、v4.6 では NP モデルでややシビアな時間ステップを採用していた関係で時々計算不安定による停止が発生していたが、v5 ではそれがほとんど起こらず、より安定的で効率的な計算運用が可能となった。

CMIP5 より GFDL-ESM2M と IPSL-CM5A-MR の 2 つのモデルの historical, RCP2.6, RCP8.5 の各シナリオケースの大気要素からこれまで (MIROC5, MRI-CGCM3) と同様に大気外力データを作成した。河川入力データも昨年度と同様に整備して使用したが ([1]参照)、一部水配分に軽微なバグがあったのでこれを修正している。これらの海面外力のもと、GLB および NP モデルを用いて表 1 の黒字で示す期間 (合計 472 年) 分の連続長期積分実験を昨年度からの追加実験として実施した。その他初期条件や各モデルの設定詳細などの実験条件はこれまでと同様である (文献 [1],[3]参照)。

## 3. 結果例

図 1 は日本周辺海域で平均した海面水温の 1960 年から 2100 年までの時系列を NP モデル各結果で示したもので、図 1a は昨年度までに作成のみで、図 1b はそれに今回実施した GFDL-ESM2M と IPSL-CM5A-MR の各ケースを追加して示したものである。過去再現期間 (1970-2005 年) において JRA55-do を現実的のみならず、選定した 4 つの CMIP5 外力による各モデル結果のバイアスは一定の範囲に収まっているといえる (図 1b)。また、水温の再現・予測に関して適度にばらついており、今回拡充実験により予測モデルが 4 つになることでモデル不確実性の評価もある程度可能となることが示唆される (その具体例は [6] を参照)。

図 2 は 10 年毎平均データによる正味黒潮流量の時系列を前バージョンデータ (FORP-NP10 version 2, 文献 [5]参照)

(図 2a) と今回データ (FORP-NP10 version 4) (図 2b) で示したものである。今回データによる正味黒潮流量 (図 2b) は前バージョン結果 (図 2a) に比べて全体的に 10-20%程

度小さくなっているが、これは海洋モデルの更新により海面外力に関わる一部設定（パラメタリゼーションやバルク式）が変更されたことが影響している。前バージョンの海洋モデル設定（文献[5]参照）では、海面風応力がやや過大に算出される傾向があることがわかり、今回のモデルではその点が改良された（詳細は割愛）。その結果、今回バージョンデータによる正味黒潮流量は、IPSL-CM5A-MR をやや特異なケースとして除外すると、historical 期間で 35 Sv 程度となっており、これは気象庁による長期観測結果[7]に近い見積りで、新バージョンデータで黒潮がより妥当に表現されているといえる。

図3は、生物地球化学変量の例として、historical 期間における長期平均の pH 分布を各外力駆動ケースと観測データで比較したものである。一部モデルで北西太平洋域でのやや高 pH 傾向や東部赤道域で低 pH 傾向のバイアスが見られるものの、モデル結果は観測に見られる北太平洋域の pH 分布の基本的な分布や値を概ねよく再現しているといえる。

#### 4. 今後に向けて

今回の計算結果は、FORP-NP10 version 4 データセットの拡充データとして追加整備・公開される予定である。これにより、本データセットは、4 つの CMIP5 モデル外力による historical 期間および 2 つの予測シナリオでの生物地球化学変量を含めた海域予測データセットとなり、現状で世界的にも例のないデータセットといえる。日本周辺海域での気候変動予測・適応研究など幅広いデータ活用が期待される。

今年度は、令和 4-8 年度にかけて実施予定の「気候変動予測先端研究プログラム（先端プログラム）」が開始された。先端プログラムでは、これまで本 ES 課題を利用して作成してきた上述の FORP データセットをさらに発展させた、大規模アンサンブルによる海域予測データセットの作成を計画している。今回の計算にあたり更新・改良した海洋モデルシステムは、そのデータセット作成の基盤システムとして次年度以降の大規模計算に用いることも踏まえて開発を行っており、引き続き本 ES 課題での計算

遂行を計画している。

#### 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。海洋モデル開発において、気象研究所の辻野様、坂本様、浦川様に多大な協力を頂いた。

#### 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] "気候予測データセット (DS2022)", <https://diasjp.net/ds2022/> (accessed Jan. 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 Jan. 2023)
- [4] Tsujino H, Nakano H, Sakamoto K, Urakawa S, Hirabara M, Ishizaki H, Yamanaka G, "Reference manual for the Meteorological Research Institute Community Ocean Model version 4 (MRI.COMv4)". Technical Reports of the Meteorological Research Institute, 80., (2017)
- [5] Nishikawa S, Wakamatsu T, Ishizaki H, Sakamoto K, Tanaka Y, Tsujino H, Yamanaka G, Kamachi M, Ishikawa Y, "Development of high-resolution future ocean regional projection datasets for coastal applications in Japan", Prog. Earth. Planet. Sci., 8 (7), (2021)
- [6] Yamanaka G, Nakano H, Sakamoto K, Toyoda T, Urakawa S, Nishikawa S, Wakamatsu T, Tsujino H, Ishikawa Y, "Projected climate change in the western North Pacific at the end of the 21st century from ensemble simulations with a high-resolution regional ocean model", J. Oceanogr., 77, 539-560, (2021)
- [7] "黒潮の数か月から十年規模の変動（流量）", 気象庁, [https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/b\\_2/kuroshio\\_flow/kuroshio\\_flow.html](https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/b_2/kuroshio_flow/kuroshio_flow.html)

表 1: GLB/NP モデル実験の期間（黒字：今回実施分、灰字：既存分）

海面外力	Historical	RCP2.6	RCP8.5
GFDL-ESM2M	1960–2005	2006–2100	2006–2100
IPSL-CM5A-MR	1960–2005	2006–2100	2006–2100
MIROC5	1960–2005	2006–2100	2006–2100
MRI-CGCM3	1960–2005	2006–2100	2006–2100
JRA55-do	1960–2018		

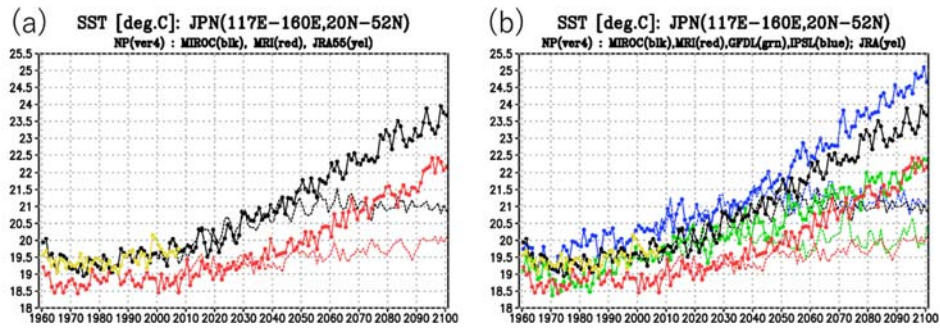


図1: NPモデル結果 (FORP-NP10 version 4) より、日本周辺海域 (117-160°E, 20-52°N) で平均した海面水温の年毎時系列 (1960-2100年)。 (a) MIROC5 (黒)、MRI-CGCM3 (赤)、JRA55-do (黄) の各ケースを示した図。 (b) (a) に GFDL-ESM2M (緑)、IPSL-CM5A-MR (青) の各ケースを追加した図。各ケースにおいて太線は historical+RCP8.5、細線は RCP2.6 を示す。

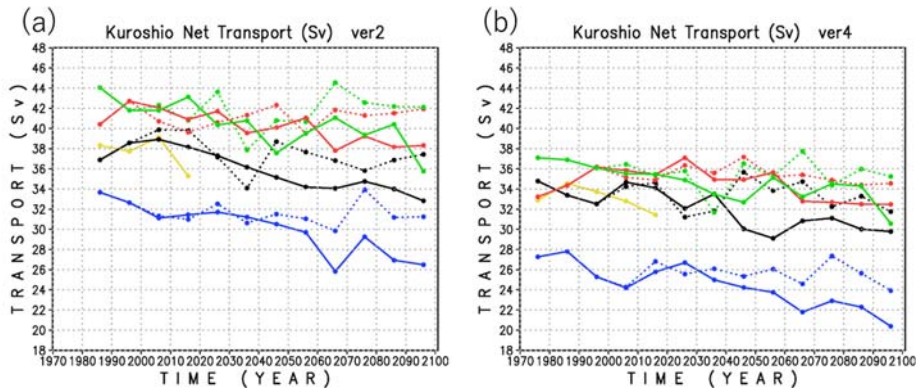


図2: 10年毎平均による正味黒潮流量の評価例 (単位は  $Sv = 10^6 m^3 s^{-1}$ )。 (a) 前バージョンのデータ (FORP-NP10 version 2; [5]) による結果。 (b) 今回データ (FORP-NP10 version 4) による結果。グラフの色と種類は図1と同様。正味黒潮流量の評価方法は文献[5]参照。

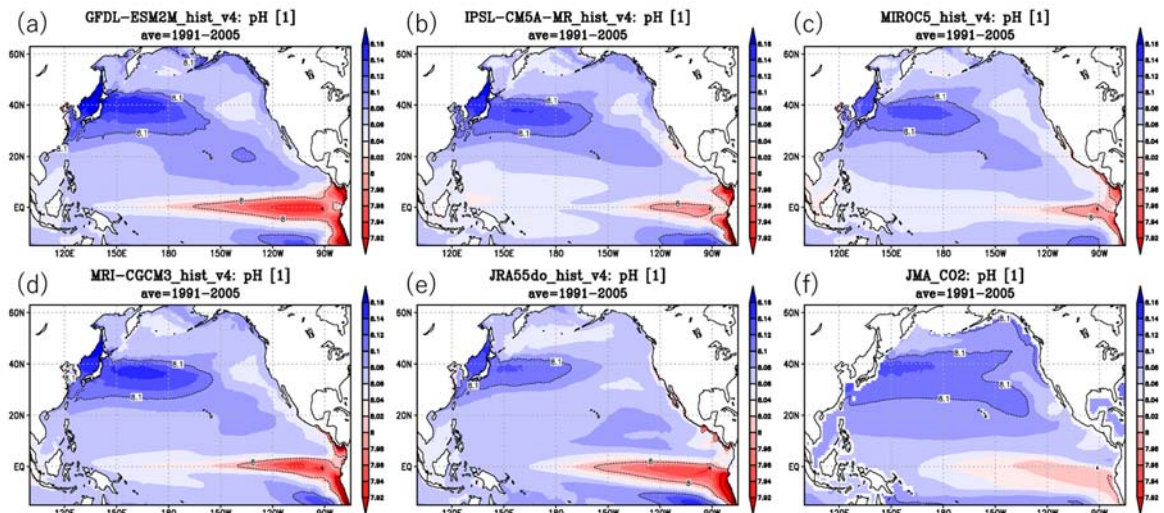


図3: NPモデル結果 (FORP-NP10 version 4) より、1991-2005年で平均した pH の分布の比較。今回実施ケース: (a) GFDL-ESM2M, (b) IPSL-CM5A-MR。既存ケース: (c) MIROC5, (d) MRI-CGCM3, (e) JRA55-do。観測リファレンス: (f) 気象庁 CO2 データによる同期間平均結果。