

気候変動適応策の検討に資するための領域海洋将来予測データセット構築

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 情報エンジニアリングプログラム

著者

西川 史朗*¹, 若松 剛*², 石川 洋一*¹, 五十嵐 弘道*¹

*¹ 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 情報エンジニアリングプログラム, *² Nansen Center/Bjerknes Center for Climate Research

気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT) において、地方自治体等での気候変動適応策の検討に資するため、日本周辺を対象とした高解像度の領域海洋将来予測・力学ダウンスケーリング実験を行うことにより、水平解像度の異なる 2 種類の領域海洋将来予測データセット(FORP) の各改良版(version2) を作成した。1 つは水平解像度約 10 km の北太平洋モデル(NP10) によるデータセット(FORP-NP10)、もう 1 つは水平解像度約 2 km の日本近海モデル(JPN02)によるデータセット(FORP-JPN02) である。大気外力としてCMIP5 からMIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR の 4 モデルを選定し、historical (1960–2005 年) および RCP2.6, RCP8.5 (2006–2100年)のシナリオを採用した。FORP-NP10 では 1960–2100 年の連続積分による合計 860 年分のアンサンブルデータを、FORP-JPN02 では 15 年の期間をいくつか選定することによる合計 240 年分のタイムスライスデータを作成した。

キーワード：海洋将来予測, 力学ダウンスケーリング, 海洋モデル, 気候変動適応, SI-CAT

1. はじめに

気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)では、地方自治体などで利用可能な信頼度及び汎用性が高い気候変動予測情報の創出を目的として、近未来予測技術およびダウンスケーリング技術の開発を行っている。本課題は、SI-CAT において日本周辺地域の海洋近未来予測データを扱うためのデータベース(日本周辺海域近未来予測データベース)の構築を行うために、現在気候および 2030 年近辺の近未来を含む海洋過去再現・将来予測実験ならびにそれを用いた日本沿岸の力学ダウンスケーリング実験を実施する。構築する領域海洋将来予測データセットをFORP (Future Ocean Regional Projection より)と名付けた。これまでにその初期版(version1)データセットを構築した(平成 30 年度レポート[1])。本稿では、その後平成 31 (令和元) 年度に行ったその改良版データセット(version2) の構築概要および結果検証例の一部を簡潔に紹介する。

2. モデル設定の概要

データセット構築のための領域海洋モデルシステムとして、日本近海における黒潮に代表される中規模(数 10 km~数 100 km) の海洋構造が再現可能な水平 10 km 解像度の北太平洋モデル(領域は 100°E–75°W, 15°S–70°N. 以下、NP10 と呼ぶ) および急潮などの数 km 規模の沿岸海洋事象を解像可能な水平 2km 解像度の日本近海モデル(領域は 122.6°E–150°E, 23.7°N–47.5°N. 以下、JPN02 と呼ぶ)を開発した。これらは共に気象研究所共用海洋モデル MRI.COMv4 (Tsujino et al. 2017 [2]) をベースにしている。各モデルの詳細については平成 29 年度の当該課題のレポート[3]を

参照。

CMIP5 (第 5 次結合モデル相互比較プロジェクト) の中のモデル・シナリオデータから海洋モデルを駆動するための大気外力データセットを作成することで、領域海洋アンサンブル過去・将来予測実験を実施する。ここでは、CMIP5 モデルとして MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR の 4 モデルを、シナリオとして historical (1960–2005 年) および RCP2.6, RCP8.5 (2006–2100 年) 将来予測シナリオを選定し大気外力データセットを整備した。

NP10, JPN02 各モデルの基本設定は平成 29 年度までに開発したものをを用いる(平成 29 年度レポート[3]を参照)。改良版における主な設定変更の 1 つとして、NP10 の将来予測計算(RCP シナリオ)における側面境界値(水温、塩分)について WOA 月別気候値に各 CMIP5 海洋データによる将来変化分を加えたものを用いた。

3. 北太平洋域 10 km データセット(FORP-NP10)

北太平洋域 10km モデル NP10 を用い、CMIP5 大気外力による 1960–2100 年までの海洋過去~将来予測計算を実施することで、表 1 に示す合計 860 年分のデータセットを構築し、FORP-NP10 (version2) と名付けた。各ケースとも静止状態かつ WOA の水温塩分気候値を初期条件とし、初め(1960 年)から 1980 年まではスピンアップ期間と見なしてデータセットからは除外した。

作成した海洋過去再現・将来予測データセットの検証・解析例を以下に示す。図 1a に Sverdrup 輸送(海上風から理論的に求まる海洋風成循環の輸送量)を計算した例を示す。これは北太平洋亜熱帯循環に対応し、historical 期間(1981–2005 年)において JRA-55 による概算

値 39 Sv と比較すると±5 Sv のばらつきとなっている。図 1b は FORP-NP10 の各モデル・シナリオにおいて推定した黒潮流量の時系列を示す。historical 期間において代表的な観測値 42 Sv と比較すると、2 モデル (MRI-CGCM3, GFDL-ESM2M) はそれに近い値で、MIROC5 はそれよりもやや小さく (39 Sv 程度)、IPSL-CM5A-MR はさらに小さい (33 Sv 程度)。これらで流量が少なめの傾向であるものの、historical 期間における観測と比較した黒潮流量の再現性は全体としてそれほど悪くないといえる。長期変化傾向をみると、RCP2.6 (実線) はほとんど傾向が見られないのに対し、RCP8.5 (破線) は各モデルでやや減少傾向が見られる。図 1b による各モデル・シナリオの黒潮流量の違いや変化傾向は、図 1a に示す Sverdrup 輸送とよく対応しており、基本的に風応力に対する線形応答理論で説明されることを示唆する。

図 2 は海面から 700 m 深までの平均水温 (表層貯熱量) の偏差の時系列を各 FORP-NP10 結果 (図 2a) および対応する CMIP5 オリジナル海洋データ (図 2b) で示したものである。FORP-NP10 結果は対応する CMIP5 オリジナルデータによるものとよく似ており、表層水温に関して FORP-NP10 結果は CMIP5 海洋の温暖化応答をよく再現しているといえる。

4. 日本近海域 2 km データセット (FORP-JPN02)

日本近海域 2 km モデル JPN02 を用い、上記で作成した北太平洋域 10 km データセット FORP-NP10 (ver2) からより高解像度化した力学ダウンスケーリングデータセットを作成し、FORP-JPN02 (version2) と名付けた。計算は 15 年を計算期間とするタイムスライス法で実施し、複数期間を並列で短期間・効率的に計算した。計算期間について、SI-CAT におけるニーズを踏まえて表 2 に示す期間を選定、合計 240 年分のデータセットとした。

図 3 は西日本周辺の historical 期間におけるある日平均 (2000 年 7 月 10 日) 水温 (18.5 m 深) について FORP-JPN02 ver2 の 4 モデル結果と約 10 km 解像度の海洋再解析結果 (FORA-WNP30, Usui et al. 2017 [4]) 値および大気再解析 JRA-55 による駆動結果 ([1]) を並べて比較したものである。海洋再解析結果 (図 2e) を現実に近いものと見なすと、FORP-JPN02 結果の多く (図 2a-c) は全体としてやや低温バイアス傾向で、一部結果 (図 2d) では部分的に高温バイアスが見られるものの、全体として対馬暖流を中心とした水温分布パターンはある程度現実的といえる。FORP-JPN02 結果 (図 2a-d) では、10 km 解像度の海洋再解析や JRA-55 結果 (図 2e, f) に比べて対馬暖流などに伴う水温フロント構造、それに付随するストリーマ・渦や、島の影響による細かい流動構造など 10 km の解像度では表現されない構造がより詳細に表現されていることがわかる。

図 4 は、図 3 から 90 年後の 2090 年 7 月 10 日において同様に日平均の水温分布 (18.5 m 深) を RCP8.5 の場合について示したものである。どのモデルでも水温が全

体的に上昇しており、モデルや海域にもよるがそれぞれ大部分で 2~4°C 以上の上昇となっていることがわかる。historical 期間において各モデルにある程度のバイアスがあり (詳細は割愛)、図 2 に示されるようにモデル間で水温の上昇率が異なっていることから、図 4 に示す RCP8.5 の世紀末における水温にはモデル間である程度の大きな差異 (ばらつき) が見られることがわかる。このことから、本データセット FORP の使い方としては、データ値そのものよりは現在と将来の差を見る使い方が基本になるといえる。

5. おわりに

本課題で作成した領域海洋予測データセット FORP は、海洋再解析値 (FORA-WNP30) や大気再解析 JRA-55 による駆動結果との比較検証を容易に行えるようにしていることも大きな特徴の 1 つである。FORP は日本周辺の表層水温や主要な流れ場 (黒潮等) についての概ね良好な再現性やそれらの将来変化の応答などが確認される一方で、表層水温や黒潮等でモデルによる一定のバイアスも見られる。必要に応じユーザー側でその事情に応じたバイアス補正を想定しているが、本データを含めた汎用的なバイアス補正方法の開発は将来の課題である。

謝辞

海洋モデルシステム構築において、気象研究所の辻野様、坂本様、浦川様、山中様に、ES での大規模計算実施において NEC の後藤様、坂内様にそれぞれ多大な協力を頂いた。文部科学省による SI-CAT の本課題番号は JPMXD0715667163 である。

文献

- [1] 西川史朗, 若松剛, 石川洋一, 五十嵐弘道, "気候変動適応策の検討に資するための海洋近未来予測・ダウンスケーリング実験と海洋予測データセット構築", Annual Report of the Earth Simulator. April 2018 – March 2019, (2019)
- [2] 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)
- [3] 西川史朗, 若松剛, 石川洋一, 五十嵐弘道, "気候変動適応策の検討に資するための海洋近未来予測・ダウンスケーリング実験と初期プロダクト構築", Annual Report of the Earth Simulator. April 2017 – March 2018, (2018)
- [4] Usui N 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)

表 1： 北太平洋域 10 km データ (FORP-NP10 ver2) の概要

Forcings	Historical	RCP8.5	RCP2.6
MIROC5	1981-2005	2006-2100	2006-2100
MRI-CGCM3	1981-2005	2006-2100	2006-2100
GFDL-ESM2M	1981-2005	2006-2100	2006-2100
IPSL-CM5A-MR	1981-2005	2006-2100	2006-2100

表 2： 日本近海域 2 km データ (FORP-JPN02 ver2) の概要

Forcings	Historical	RCP8.5	RCP2.6
MIROC5	1991-2005	2041-2055, 2086-2100	2086-2100
MRI-CGCM3	1991-2005	2041-2055, 2086-2100	2086-2100
GFDL-ESM2M	1991-2005	2041-2055, 2086-2100	2086-2100
IPSL-CM5A-MR	1991-2005	2041-2055, 2086-2100	2086-2100

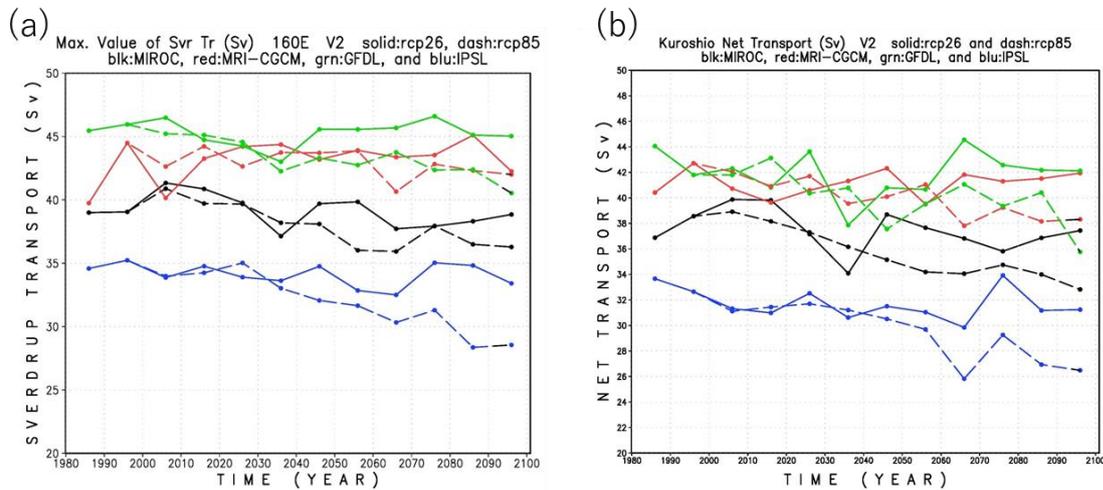


図 1： (a) 海上風より求めた 160°E における Sverdrup 輸送 (単位 Sv=10⁶ m³/s) の最大値の 10 年平均時系列を示したものである。黒線：MIROC5, 赤線：MRI-CGCM3, 緑線：GFDL-ESM2M, 青線：IPSL-CM5A-MR. 実線：RCP8.5, 破線：RCP2.6. (b) 黒潮流量 (単位：Sv) の 10 年平均時系列。日本の四国上の点 (34°N, 134°E) と沖合の点 (26°N, 140°E) の間の体積流量から求めた。線色と線種の意味は(a)と同様。

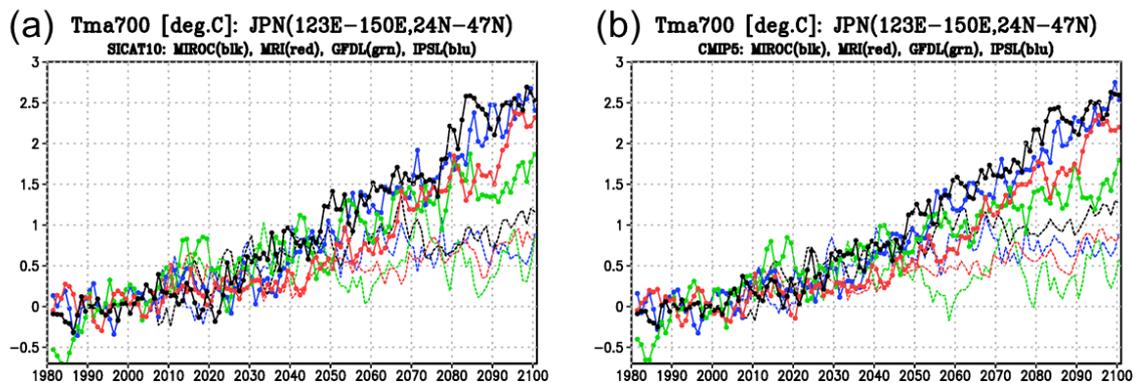


図 2： (a) 領域平均した表層貯熱量 (海面から 700m 深までの平均水温。単位：°C) について 1986-2005 年平均からの偏差で示した時系列。平均領域は日本周辺海域 (24°-47°N, 123°-150°E)。線色は図 1 と同様。太線：RCP8.5, 細線：RCP2.6. (b) 各 CMIP5 オリジナル海洋値で(a)と同様に示したものである。

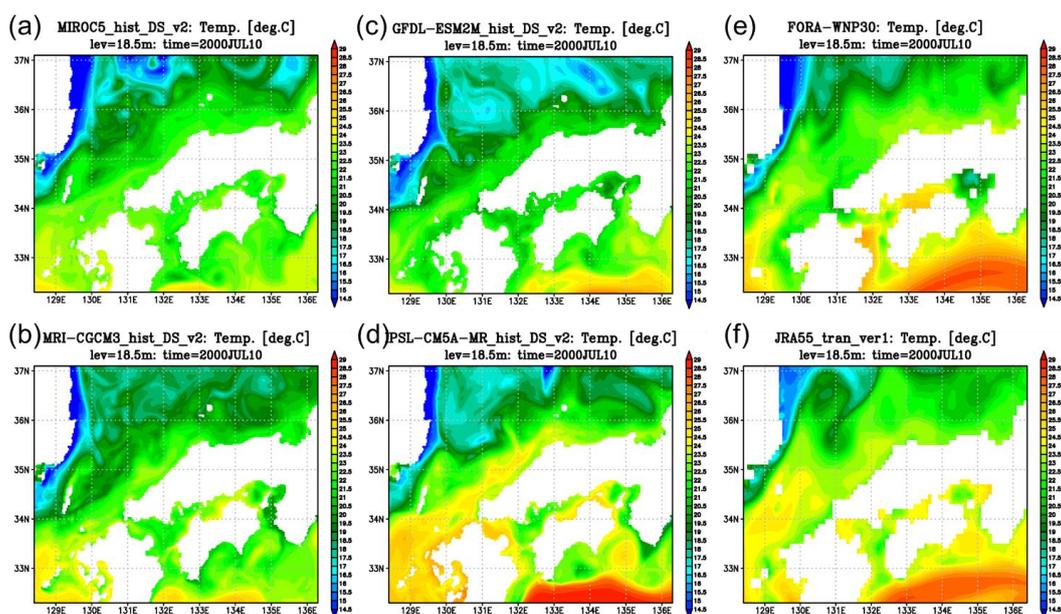


図3： 西日本周辺の historical 期間における日平均 (2000年7月10日) 水温分布 (18.5m深、単位: °C)。(a) MIROC5, (b) MRI-CGCM3, (c) GFDL-ESM2M, (d) IPSL-CM5A-MR は FORP-JPN02 ver2 より。(e) FORA-WNP30. (f) FORP-NP10 ver1 の JRA-55 結果より。

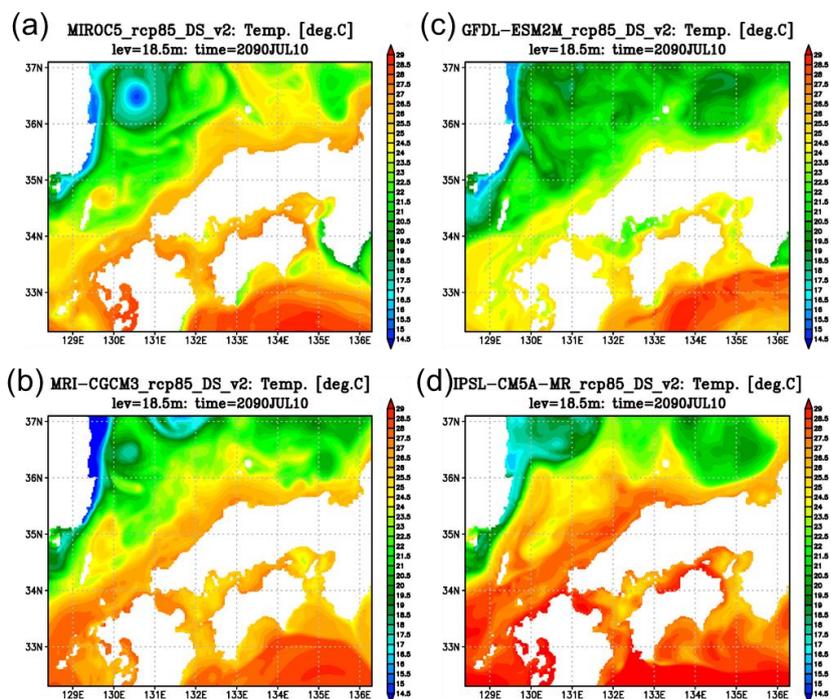


図4： 図3と同様で、RCP8.5期間の2090年7月10日(図3の90年度)における分布。すべてFORP-JPN02 ver2結果を示し、(a) MIROC5, (b) MRI-CGCM3, (c) GFDL-ESM2M, (d) IPSL-CM5A-MR。

Development of Future Ocean Regional Projection Datasets to Contribute the Adaptation Plan against the Climate Change

Project Representative

Hirohichi Igarashi Information Engineering Program, Research Institute for Value-Added-Information Generation, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Authors

Shiro Nishikawa *¹, Tsuyoshi Wakamatsu *², Yoichi Ishikawa *¹, Hirohichi Igarashi *¹

*¹Information Engineering Program, Research Institute for Value-Added-Information Generation, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, *²Nansen Center/Bjerknes Center for Climate Research Department

In Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology (SI-CAT), we have developed two high-resolution future ocean regional projection (FORP) datasets around Japan using regional ocean model simulations with ensemble atmospheric forcings from CMIP5 climate models. One is an ensemble dataset covering continuously from 1981 to 2100 for the North Pacific region with a 10-km horizontal resolution, named FORP-NP10, and the other is a downscaling dataset with several 15-year time slices for the region surrounding Japan with a 2-km horizontal resolution, named FORP-JPN02. To construct the ensemble atmospheric forcings from CMIP5, we adopted MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-ESM2M, and IPSL-CM5A-MR with historical, RCP2.6, and RCP8.5 scenarios.

Keywords : Ocean Future Projection, Dynamical Downscaling, Ocean Model, Climate Change Adaptation, SI-CAT

1. Introduction

Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology (SI-CAT) supported by the Ministry of Education, Culture, Sports Science and Technology (MEXT) aims to develop skills and systems of near-future projection and downscaling and create climate change projection information with high reliability, which will be useful for Japanese local governments to develop climate change adaptation plans. It includes themes of ocean future projection and downscaling. In this project, we have performed a series of regional ocean model simulations of historical and future projection, and further dynamical downscaling to the Japan coastal regions to produce a database of future ocean regional projection around Japan. We have developed the first version of the dataset in the last fiscal year (Nishikawa et al. 2019 [1]). In this paper, we outline the development of the revised datasets with some examples of the results.

2. Model and Settings

We used the following two regional ocean models, which are based on Meteorological Research Institute Community Ocean Model version 4 (MRI.COMv4; Tsujino et al. 2017 [2]). One is the North Pacific model covering (100°E–75°W, 15°S–70°N) with the horizontal resolution of about 10 km (hereafter, NP10), which can resolve mesoscale structures such as the Kuroshio and mesoscale eddies. The other is the regional ocean model surrounding Japan covering

(122.6°E–150°E, 23.7°N–47.5°N) with the horizontal resolution of about 2 km (hereafter, JPN02), which can resolve submesoscale eddies and coastal currents with more realistic coastal geometry necessary for the local prefectural research in SI-CAT. Details of each ocean model are written in Nishikawa et al. (2018 [3]).

To perform ocean historical and future projection simulations, we constructed atmospheric forcings from CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) climate models' data. Here, we have chosen four CMIP5 models: MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-ESM2M, and IPSL-CM5A-MR and used their historical (1960–2005), RCP8.5, and RCP2.6 (2006–2100) scenarios to compose the atmospheric forcings for driving the ocean models.

3. 10-km dataset for the North Pacific region

Using the NP10 ocean model and the ensemble atmospheric forcings from CMIP5, we performed ocean projection simulations continuously from 1960 to 2100 and developed an ensemble simulation dataset named FORP-NP10 (Table 1). The initial condition (from January 1, 1960) was static with the WOA temperature/salinity climatology. Note that the first 20 years (1960–1980) are considered to be spin-up period and excluded from the dataset.

Figure 1 shows an example of the general performance of the FORP-NP10, depicting time series (1981–2100) of the anomaly of the area-mean ocean heat content (OHC, derived

from the surface vertical mean temperature from 0 m to 700 m) against the 1986–2005 mean for historical+RCP8.5 and RCP2.6 scenarios. While the differences among the models and scenarios are relatively small in the near-future term (2030–2050), they rapidly expand after 2070. These general features of the OHC transitions and the tendency of the annual and decadal variations appear to be similar between the FORP-NP10 results and their originals by comparing Figs. 1a and 1b, implying the generally good thermal performance of the dataset.

4. 2-km dataset for the region surrounding Japan

Using the JPN02 ocean model, we performed dynamical downscaling simulations from the FORP-NP10 (ver2) to develop higher-resolution projection dataset for the Japan-surrounding region. To save the computer resources and calculation time, we used "time slice method" by choosing the slices of 15-years shown in Table 2 for the downscaling simulations with the JPN02. The dataset is named FORP-JPN02.

As a representation check of coastal future ocean temperature around Japan, Fig. 2 shows daily mean maps of surface temperature (at 18.5 m) on July 10, 2090, comparing the four model results. The large differences of the coastal temperature between the four models come from basic biases of each model and the difference of the future thermal response by each atmospheric forcing, while the surface thermal property of each model basically reflects each parent model results (FORP-NP10 ver2) (not shown).

5. Concluding Remarks

To validate the FORP datasets, the users can utilize the ocean reanalysis data (FORA-WNP30, Usui et al. 2017 [4])

and the atmospheric reanalysis (JRA-55) forced results ([1]). This is an important feature of the FORP datasets. The datasets have been utilized in the SI-CAT and related programs, and will become available from the DIAS database.

Acknowledgement

We thank Drs. H. Tsujino, K. Sakamoto, S. Urakawa, and G. Yamanaka of the MRI/JMA for many valuable supports in developing the ocean model systems. We also thank K. Goto and K. Sakauchi for their assistance in carrying out many numerical experiments. The grant number of SI-CAT by MEXT is JPMXD0715667163.

References

- [1] Nishikawa S, Wakamatsu T, Ishikawa Y, Igarashi H, "Development of Near-future Ocean Projection and Downscaling Dataset to Contribute the Adaptation Plan against the Climate Change", Annual Report of the Earth Simulator. April 2018 – March 2019, (2019)
- [2] 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)
- [3] Nishikawa S, Wakamatsu T, Ishikawa Y, Igarashi H, "Experiments of Near-future Ocean Projection and Downscaling to Contribute the Adaptation Plan against the Climate Change", Annual Report of the Earth Simulator. April 2017 – March 2018, (2018)
- [4] Usui N 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)

Table 1: Outline of FORP-NP10 ver2 (10-km dataset for the North Pacific region)

Forcings	Historical	RCP8.5	RCP2.6
MIROC5	1981-2005	2006-2100	2006-2100
MRI-CGCM3	1981-2005	2006-2100	2006-2100
GFDL-ESM2M	1981-2005	2006-2100	2006-2100
IPSL-CM5A-MR	1981-2005	2006-2100	2006-2100

Table 2: Outline of FORP-JPN02 ver2 (2-km dataset for the Japan-surrounding region)

Forcings	Historical	RCP8.5	RCP2.6
MIROC5	1991-2005	2041-2055, 2086-2100	2086-2100
MRI-CGCM3	1991-2005	2041-2055, 2086-2100	2086-2100
GFDL-ESM2M	1991-2005	2041-2055, 2086-2100	2086-2100
IPSL-CM5A-MR	1991-2005	2041-2055, 2086-2100	2086-2100

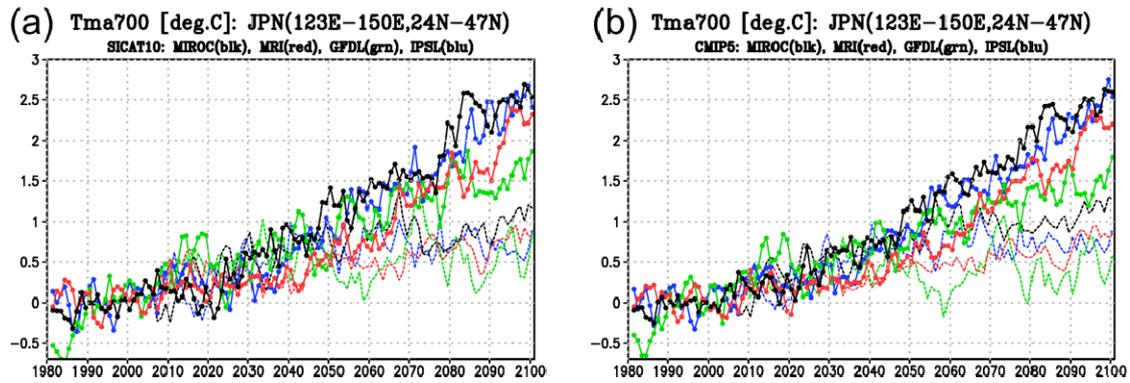


Figure 1: (a) Time series of the ocean heat content (OHC) anomalies ($^{\circ}\text{C}$) against the 1986–2005 mean for the area surrounding Japan (123°E – 150°E , 24°N – 47°N) from the FORP-NP10. The OHC is derived by averaging the surface 700 m layer temperature. Black, MIROC5; red, MRI-CGCM3; green, GFDL-ESM2M; blue, IPSL-CM5A-MR; thick line, historical + RCP8.5; thin line, RCP2.6. (b) The same as (a) but using the corresponding original CMIP5 ocean products.

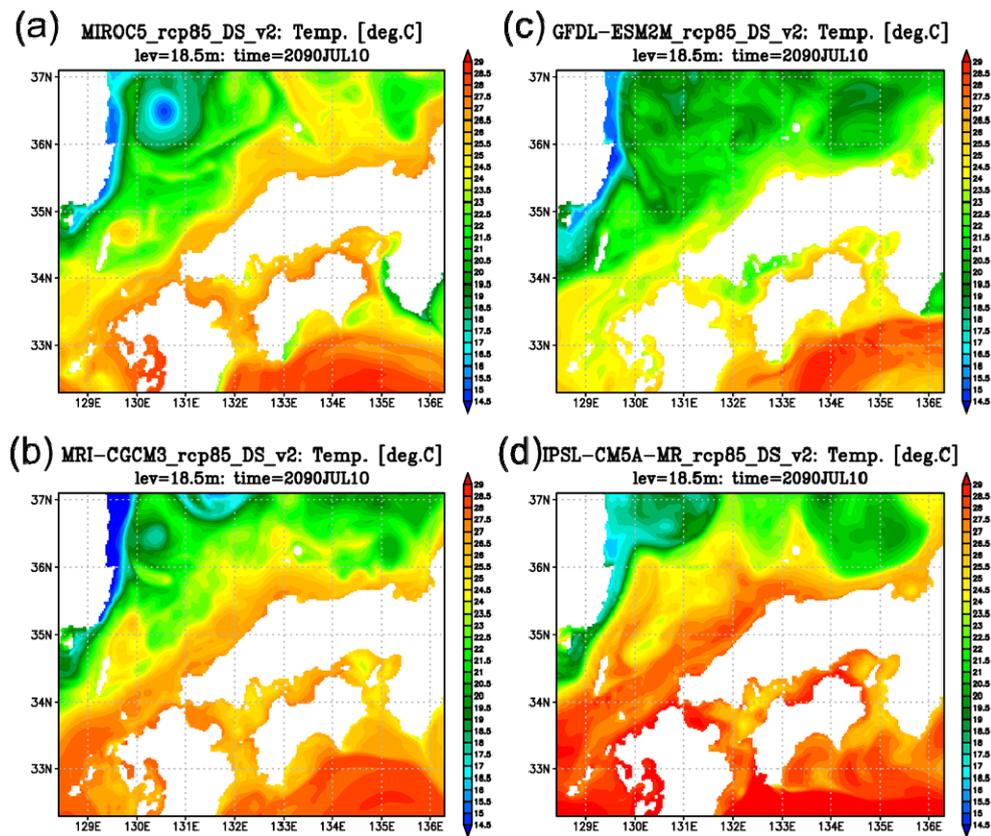


Figure 2: Daily mean maps of temperature ($^{\circ}\text{C}$) at 18.5 m depth on July 10, 2090 around the western Japan from the FORP-JPN02 of the RCP8.5 cases of (a) MIROC5, (b) MRI-CGCM3, (c) GFDL-ESM2M, (d) IPSL-CM5A-MR.