

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

課題責任者

五十嵐 弘道 海洋研究開発機構 気候変動適応技術開発プロジェクトチーム

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 気候変動適応技術開発プロジェクトチーム, *2 Nansen Environment and Remote Sensing 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) のもと、地方自治体等での気候変動適応策策定に資するための日本周辺海域近未来予測データベース構築を目的として、以下の2種類の海洋シミュレーション実験を実施し初期プロダクトを構築した。1つは、北太平洋域水平 10km 解像度モデルを用いて、CMIP5 の2モデル (MIROC5, MRI-CGCM3) を大気外力とした historical (1960-2005) 実験と RCP8.5 シナリオ (2006-2030) 実験ならびに大気再解析データ JRA55 を外力とした historical (1958-2015) 実験を実施した。結果の相互比較により、日本周辺海域における主要な海洋構造のある程度良好な再現性と外力による違いなどを確認した。もう1つは、日本近海水平 2km 解像度モデルを用いて、海洋再解析データ FORA-WNP30 を側面境界値および初期値に用いることによるダウンスケーリングシミュレーション実験を、2003-2014 年をカバーする期間で複数バージョン実施した。結果をダウンスケーリング元データと比較することにより、黒潮などの主要な海洋構造の良好な再現性や海水・河川流入過程の導入による塩分バイアスの改善効果を確認した。得られたプロダクトは、FORA-WNP30 と合わせて比較することでモデル・外力のバイアス評価が可能なものであり、今後実施予定の海洋将来予測実験・ダウンスケーリング実験の基盤となるものである。

キーワード：近未来予測, 海洋大循環モデル, ダウンスケーリング

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) の構築を目指し、現在気候および 2030 年近辺の海洋近未来予測実験ならびにそれを用いた日本沿岸のダウンスケーリング実験を実施する。本稿では、その初期プロダクト構築として実施する、北太平洋 10km 解像度モデルを用いた CMIP5 の2モデルと JRA55 の3種類の大気外力による海洋過去～近未来予測実験ならびに日本近海 2km 解像度モデルを用いた海洋再解析データ

FORA-WNP30 からの長期ダウンスケーリングシミュレーション実験について、その概要と結果を簡単に紹介する。

2. モデルの概要

気象研究所共用海洋モデル MRI.COMv4 (Tsujino et al. 2017[1]) をベースに、日本近海における黒潮に代表される中規模 (数 10km ~ 数 100km) の海洋構造が再現可能な水平 10km 解像度の北太平洋モデル (SICAT10, 図 1 左) 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 (SICAT02, 図 1 右) を開発した (表 1)。

SICAT02 においては、海面外力に河川流入効果を取り入れた。河川流出データとして、JRA55-do データ (Tsujino et al. 2017[2]) の runoff データ (日別, 1/4 度の格子データ)。

表 1 SICAT10 モデルおよび SICAT02 モデルの主な仕様

	SICAT10: 北太平洋モデル	SICAT02: 日本近海モデル
海洋モデル	MRI.COMv4 (Tsujino et al. 2017[1])	MRI.COMv4 (Tsujino et al. 2017[1])
領域	100E-285E, 15S-70N	122.6E-150.0E, 23.7N-47.5N
水平解像度	1/10 × 1/10 度 (約 10km)	1/30 × 1/50 度 (約 2km)
格子点数	水平 1852 × 852, 鉛直 54 層	水平 826 × 1194, 鉛直 54 層
鉛直解像度	1 (表層) - 600m (海底)	1 (表層) - 600m (海底)
地形データ	JTOPO2	JTOPO30v2
その他	海水あり。河川流入、潮汐、熱膨張、大気圧力効果は無し。	海水あり。河川流入効果あり。潮汐、熱膨張、大気圧力効果は無し。

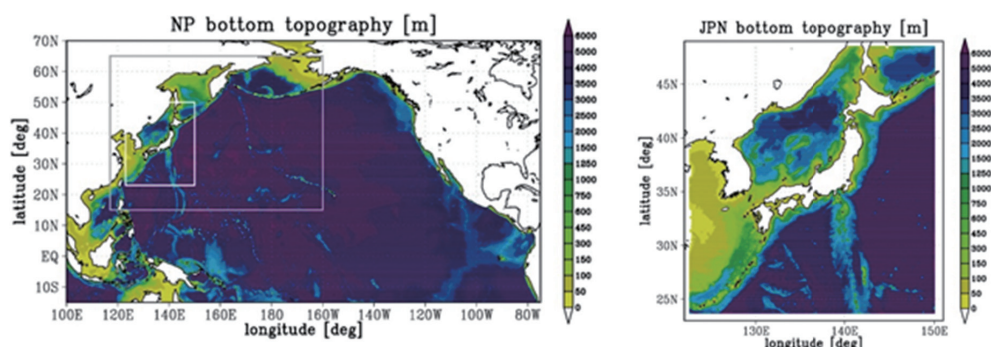


図1 SICAT10 モデル (左) および SICAT02 モデル (右) のモデル領域。等高線は海底地形。

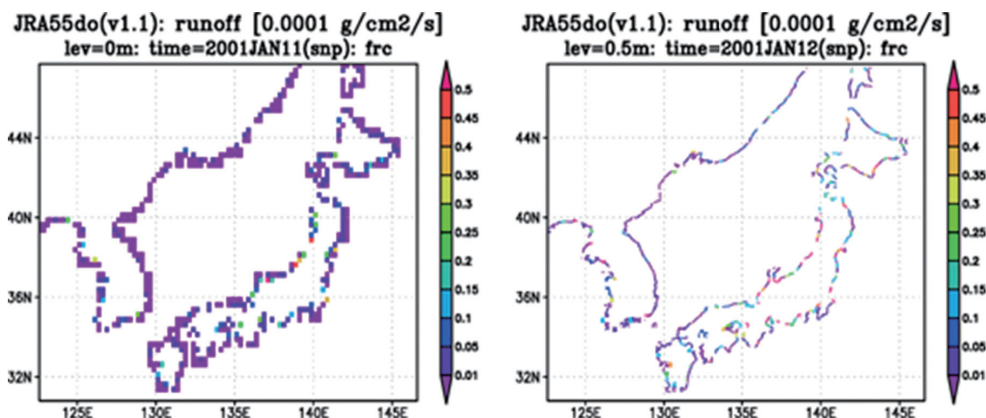


図2 JRA55-do データによる海洋モデル入力用の河川流出データ (淡水フラックス。[10^4 g/cm 2 /s]) の例。左図は JRA55-do の格子 (1/4 度格子) での分布 (2001 年 1 月 11 日平均の例) を示す。右図はそれを SICAT02 モデルの格子に海陸分布を踏まえて再分配したもの (2001 年 1 月 12 日平均の例) を示す。

図2左参照) を導入した。このデータを SICAT02 の河川流入データとして適用するにあたっては、SICAT02 の海陸分布を踏まえて SICAT02 格子へリマッピングを行った (図2右。元データが低解像度のため個々の河口は考慮していないが、海岸付近に流入するようにしている)。

3. 海洋過去再現・近未来予測実験

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・シナリオより、海洋アンサンブル過去・将来予測実験を実施するための大気外力として MRI-CGCM3 と MIROC5 の2モデルを選定し、historical (1960-2005年) および RCP8.5 (2006-2100年) 将来予測シナリオについて海洋モデルを駆動するための外力データセットを整備し、1960-2030年の70年分の海洋過去～将来予測計算を2モデル分実施した。また、大気再解析データ JRA55 を外気外力とした 1958-2015年までの過去～現在再現シミュレーション実験を実施した。3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 (1958/1960年) から 1980年までをスピンアップ期間と見なした。

図3及び図4は、CMIP5 RCP8.5 実験 (MRI-CGCM3, MIROC5)、JRA55 実験の同じ年 (2014年) 平均結果を海洋再解析データ FORA-WNP30 (Usui et al. 2017[3]) と比較して示した例である。これらの比較より、CMIP5 実験結果および JRA55 実験結果は、日本周辺の主要な海洋構造 (黒潮や表層・亜表層の水温・塩分等) についてある程度の良好 (現実的) な再現性が確認された。一方、CMIP5

実験結果では、黒潮が日本南岸において蛇行傾向でやや離岸が早い傾向であること (図3) など、FORA や JRA55 との相違も見られる。

4. 海洋ダウンスケーリング実験

海洋再解析データ FORA-WNP30 を側面境界条件とし、外力に FORA-WNP30 構築に用いられているものと同様の JRA55 大気外力 (ここでは3時間毎) を使用することにより、FORA-WNP30 ダウンスケーリングデータセットを構築した。海水過程と河川流入過程ともに入れていない 2003-2014年の12年シミュレーション (version 1)、それに海水過程を追加した 2001-2014年の14年シミュレーション (version 2)、さらに2節で述べた河川外力を追加した 2001-2014年の14年シミュレーション (version 3) の3つの実験を段階的に実施することで、3バージョンのデータセットを作成した。

図5は、各 2003～2012年の10年間平均した海面塩分について、海水過程を入れた場合 (version 2) と入れない場合 (version 1) の偏差 (図5左) および上記の河川流入効果を入れた場合 (version 3) と入れない場合 (version 2) の偏差 (図5右) を示したものである。これまでの結果から、海水と河川流入導入以前の結果においては、日本海、東シナ海などの縁辺海や日本の海岸付近などを中心として全体的に高塩分バイアスとなることがわかっている (昨年度 ES レポート参照)。図5より、海水過程の導入はオホーツク海の低塩分化に、河川流入効果の導入は日本海や日

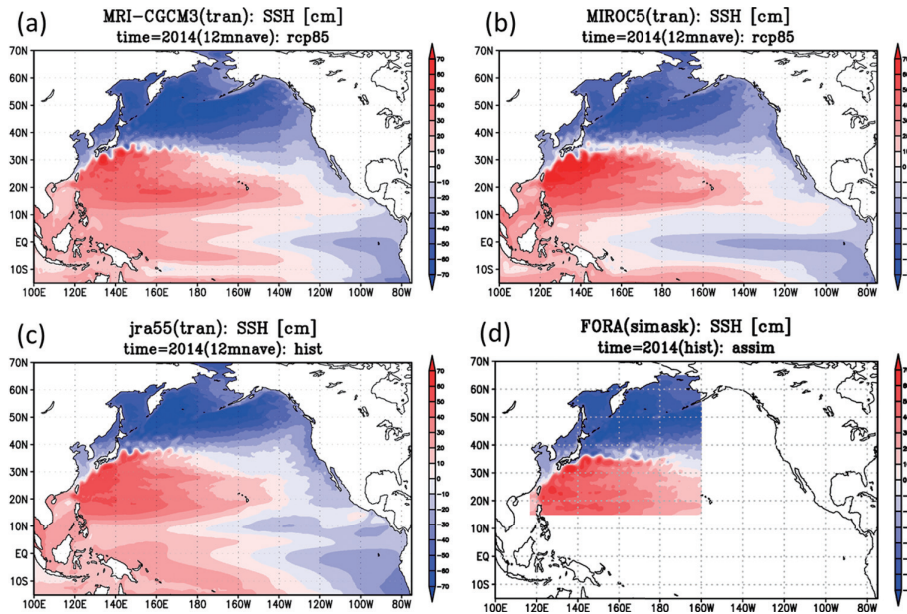


図3 CMIP5 実験 (MRI-CGCM3, MIROC5)、JRA55 実験、海洋再解析 FORA-WNP30 の結果比較例として、2014 年平均の海面高度 [m] を示したもの。(a) MRI-CGCM3、(b) MIROC5、(c) JRA55、(d) FORA-WNP30

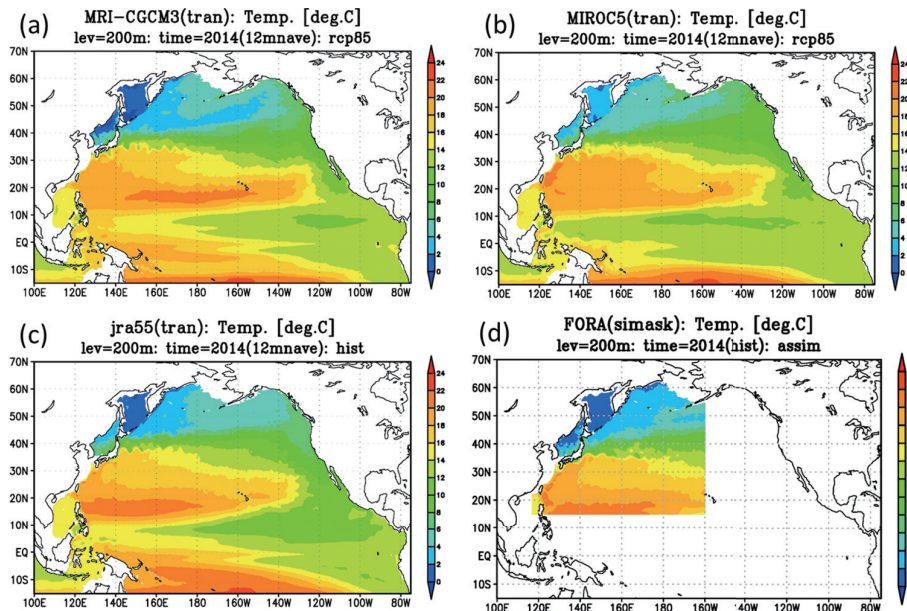


図4 CMIP5 実験 (MRI-CGCM3, MIROC5)、JRA55 実験、海洋再解析 FORA-WNP30 の結果比較例として、2014 年平均の 200m 深度水温 [deg.C] を示したもの。(a) MRI-CGCM3、(b) MIROC5、(c) JRA55、(d) FORA-WNP30

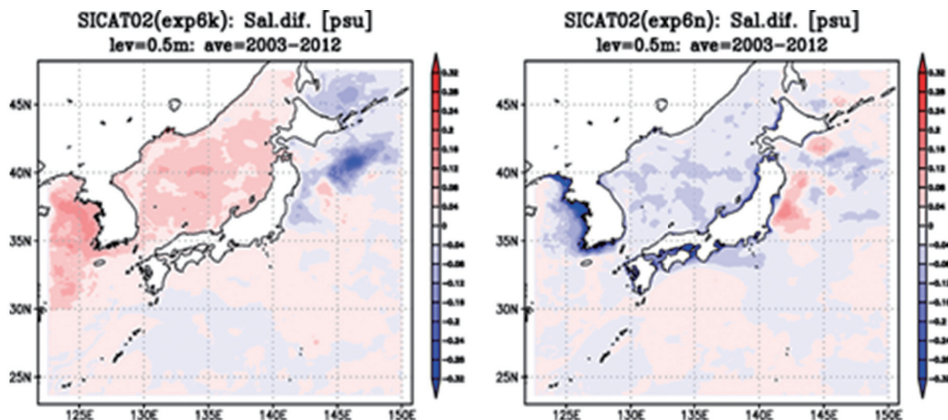


図5 FORA ダウンスケールにおける 2003 ~ 2012 年の 10 年間平均した海面塩分偏差。(左) 海水過程を入れた場合と入れない場合の偏差。(右) JRA55-do による河川流入効果を入れた場合と入れない場合の偏差

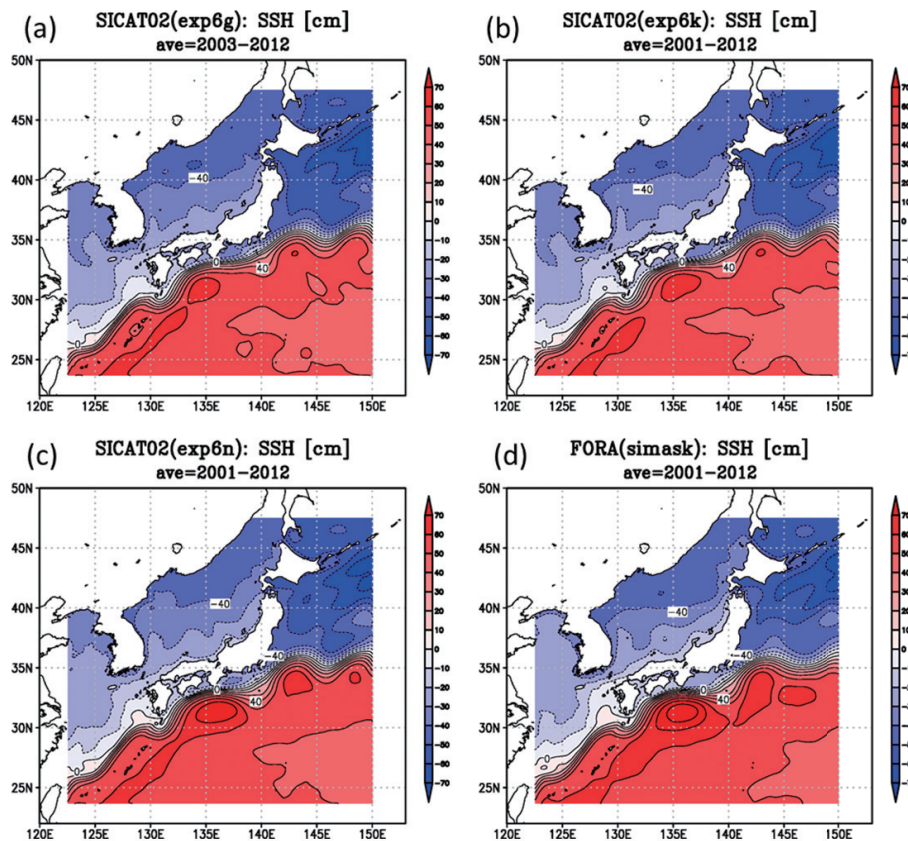


図6 FORA ダウンスケイリングプロダクト (versions 1～3) の結果の比較例として、10～12年間平均した海面高度を示したものの。(a) version 1, (b) version 2, (c) version 3, (d) FORA. (a)のみ2003～2012年の10年間平均、それ以外は2001～2012年の12年間平均

本沿岸付近の低塩分化に効果があることが確認される。

図6は、これらのプロダクトの長期平均結果の比較例として、海面高度の長期平均(2001/2003～2014年平均)をFORA-WNP30の同等期間平均と比較して示したものである。海域で最も重要な構造である黒潮(と黒潮続流)の平均的な流路、位置、蛇行状態などがどのversionも非常によく再現されている他、親潮や日本海の流出入に関わる各海流なども平均場としてよく再現されているといえる。上記のversion間の違いは海面淡水フラックスに関わるものであるため、力学場には直接的な影響はあまりないと考えられる。実際、図6ではversion間で大きな差異が見られるわけではない。一方で、図6では海水過程と河川流入効果を共に取り入れたversion3がFORA-WNP30により似ているということもいえるかもしれない。

5. おわりに

3節の海洋過去再現・近未来予測実験における3つのケース(MRI-CGCM3, MIROC5, JRA55)は、海洋再解析データFORA-WNP30と合わせて相互比較することにより、北西太平洋域におけるCMIP5実験のモデルバイアスや外力バイアスの定量的評価が可能となる。4節のFORA-WNP30ダウンスケイリング実験により、ダウンスケイリングモデル(SICAT02)の基本的な再現性能を評価でき、その結果とFORAデータとの比較によりモデルバイアス情報が得られる。これらの実験によるデータセット群は今後実施予定の海洋将来予測実験・ダウンスケイリング実験の基盤となるものである。

文献

- [1] H. Tsujino, H. Nakano, K. Sakamoto, S. Urakawa, M. Hirabara, H. Ishizaki, and G. Yamanaka : Reference manual for the Meteorological Research Institute Community Ocean Model version 4 (MRI.COMv4). Technical Reports of the Meteorological Research Institute, 80., 2017.
- [2] H. Tsujino, S. Urakawa, H. Nakano, et al. : JRA55 based surface data set for driving ocean-sea ice models (JRA55-do) version 1. (unpublished document), 2017.
- [3] N. Usui, T. Wakamatsu, Y. Tanaka, N. Hirose, T. Toyoda, S. Nishikawa, Y. Fujii, Y. Takatsuki, H. Igarashi, H. Nishikawa, Y. Ishikawa, T. Kuragano, M. Kamachi : Four-dimensional variational ocean reanalysis: a 30-year high-resolution dataset in the western North Pacific (FORA-WNP30). *J. Oceanogr.*, 73, 205-233., 2017.

Experiments of Near-future Ocean Projection and Downscaling to Contribute the Adaptation Plan against the Climate Change

Project Representative

Hikomichi Igarashi Project Team for Climate Change Adaptation Technology, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Authors

Shiro Nishikawa^{*1}, Tsuyoshi Wakamatsu^{*2}, Yoichi Ishikawa^{*1} and Hiromichi Igarashi^{*1}

^{*1} Project Team for Climate Change Adaptation Technology, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ^{*2} Nansen Environment and Remote Sensing Center/Bjerknes Center for Climate Research

In Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology (SI-CAT), we have performed a series of ocean model experiments of past to near-future climate projection and regional downscaling for oceans surrounding Japan, developing ocean model systems enabling these model experiments. By these experiments, we have produced the following simulation datasets: First, we have produced ocean past to future projection dataset in 1960-2030 using MIROC5 and MRI-CGCM3 atmospheric data from CMIP5, and ocean historical prediction dataset in 1958-2015 using JRA55 atmospheric reanalysis data as the surface forcings. Next, we have created three versions of the downscaling dataset (2001-2014) from the FORA-WNP30 ocean reanalysis data by regulating the inclusion of sea-ice and river input processes. Comparison of these dataset enables us to assess biases of models and surface forcings, which would give basic information for the next step of the experiments in the project.

Keywords: Near-future projection of climate change, Ocean general circulation model, Downscaling

1. Introduction

In Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology (SI-CAT), we are developing skills and systems of near-future projection and downscaling to create climate change projection information with high reliability and versatility. SI-CAT includes themes of ocean prediction and downscaling, which aim to create a database of ocean near-future projection around Japan. In these themes, we are performing a series of ocean model experiments of past climate reproduction, near-future projection, and regional downscaling for oceans surrounding Japan by developing ocean model systems enabling these model experiments. In this paper, we briefly introduce the ocean model systems, the ocean projection and downscaling experiments, and the results.

2. Outline of the Model system

We have developed the following two ocean model systems, which are based on Meteorological Research Institute Community Ocean Model version 4 (MRI.COMv4; Tsujino et al. 2017[1]): One is the North Pacific model with the horizontal resolution of about 10 km (hereafter, the SICAT10 model), which can resolve mesoscale structures such as the Kuroshio and mesoscale eddies, important in the oceans surrounding Japan. The other is the Japan-surrounding ocean model with the horizontal resolution of about 2 km (hereafter, the SICAT02), which has more realistic coastal geometry necessary for the local prefectural research in SI-CAT and thus can resolve submesoscale eddies and local coastal currents. Some details of SICAT10 and SICAT02 are summarized in Table 1.

Table 1 Outline of the SICAT10 and SICAT02 models

	SICAT10: (North Pacific)	SICAT02: (Japan-surrounding)
Model code	MRI.COMv4 (Tsujino et al. 2017[1])	MRI.COMv4 (Tsujino et al. 2017[1])
Region	100E-285E, 15S-70N	122.6E-150.0E, 23.7N-47.5N
Resolution (Hor.)	1/10 x 1/10 degs. (about 10 km)	1/30 x 1/50 degs. (about 2 km)
Number of Grids	1852 x 852 x 54	826 x 1194 x 54
Resolution (Ver.)	1 (surf.)–600m (bot.)	1 (surf.)–600m (bot.)
Geometry	JTOPO2	JTOPO30v2
Processes	With: sea-ice. W/O: river input, tides, thermal expansion effect, atmospheric pressure effect.	With: sea-ice, river input. W/O: tides, thermal expansion effect, atmospheric pressure effect.

3. Ocean past-future projection experiments

To perform ocean past-future projection experiments, we use CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) atmospheric data and JRA55 atmospheric reanalysis data. Here, we have chosen MIROC5 and MRI-CGCM3 from the CMIP5 models. We have performed the following three runs: 1) MIROC5 run consists of historical (1960-2005) and RCP8.5 (2006-2030) runs. 2) MRI-CGCM3 run also consists of historical (1960-2005) and RCP8.5 (2006-2030) runs. 3) JRA55 historical run is from 1958 to 2015. The initial condition of these 3 runs are the same and static with the WOA temperature/salinity climatology. We consider the first 20 years (1958/1960 to 1980) as the spinup period.

Figure 1 shows annual mean sea surface height in 2014 from MIROC5 and MRI-CGCM3 RCP8.5 runs and JRA55 run, comparing with FORA-WNP30 (Usui et al. 2017[2]) ocean reanalysis data. The main ocean physical structures such as the Kuroshio and surface/subsurface temperature (not shown) are basically reasonable. On the other hand, we may find some important difference between these cases, especially between JRA/FORA and CMIP5 runs. The example is the Kuroshio state south of Japan coast. Figure 1 indicates that the Kuroshio in the CMIP5 runs (MIROC5 and MRI-CGCM3) tends to take highly meander state and to separate from the Japan coast somewhat earlier than JRA55 and FORA cases. We will further investigate these differences and utilize such difference (bias) information for the next future experiments.

4. Ocean downscaling experiments using ocean reanalysis data

Based on the SICAT02 model (section 2), we have performed ocean downscaling experiments using the FORA-WNP30 ocean reanalysis data as the initial condition and side boundaries and JRA55 data as the surface forcings to produce the FORA downscaling dataset. We have created three versions of the FORA downscaling dataset step by step as follows: The first one (2003-2014; version 1) is by the experiment without both sea-ice and river input processes. The next one (2001-2014;

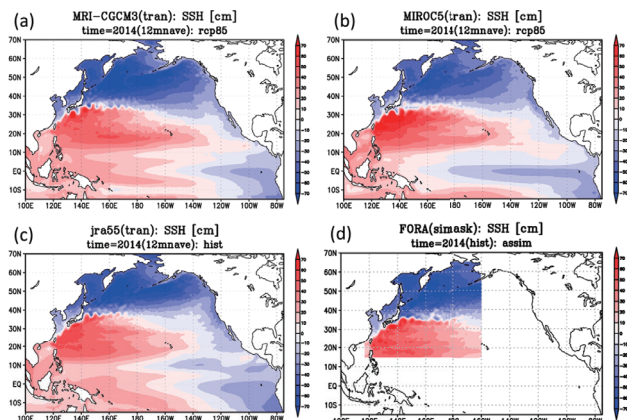


Fig. 1 Annual mean sea surface height in 2014. (a) MRI-CGCM3, (b) MIROC5, (c) JRA55, (d) FORA-WNP30.

version 2) is by the experiment with sea-ice process and without river input process. The last one (2001-2014; version 3) is by the experiment with both sea-ice and river input processes.

We have confirmed that the downscaling model (SICAT02) has a saltier bias in sea surface salinity (SSS) particularly in the Japan Sea and near coastal region around Japan, which is typically found in the version 1 data (not shown). By comparing the versions 1-3 data, we have also confirmed that the introduction of the sea-ice and river input processes effectively reduces the saltier bias of SSS around Japan, although there is still a saltier bias in the version 3 data (not shown).

Figure 2 shows long term (2001/2003-2012) mean sea surface height in the FORA downscaling results (versions 1-3), comparing with that from FORA-WNP30. As indicated from the figure, the FORA downscaling models well reproduce important surface flow structures around Japan such as the Kuroshio, its extension, the Oyashio and strait throughflows around the Japan sea. It may be noted that the inclusion of sea-ice and river input does not have significant impact on the dynamic structure.

5. Summary

We have produced ocean past-future projection dataset in 1960-2030 using MIROC5 and MRI-CGCM3 atmospheric data from CMIP5, and ocean historical projection dataset in 1958-2015 using JRA55 atmospheric reanalysis data as the surface forcings, based on the SICAT10 model. We also created three versions of the downscaling dataset (2001-2014) from the FORA-WNP30 ocean reanalysis data by regulating the inclusion of sea-ice and river input processes, based on the SICAT02 model. Comparison of these dataset enables us to assess biases of models and surface forcings. The bias information would be important for the next step of the future projection and downscaling experiments.

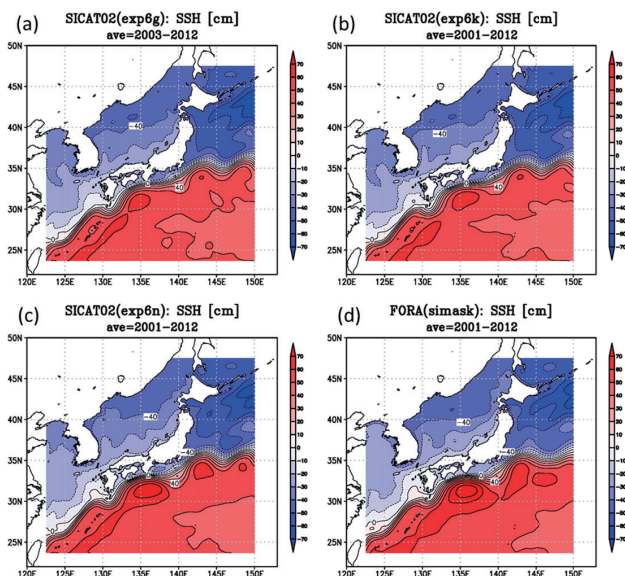


Fig. 2 Long-term (2001/2003-2012) mean sea surface height from the FORA downscaling data (a) version 1, (b) version 2, and (c) version 3, comparing with that from (d) FORA-WNP30.

References

- [1] H. Tsujino, H. Nakano, K. Sakamoto, S. Urakawa, M. Hirabara, H. Ishizaki, and G. Yamanaka : Reference manual for the Meteorological Research Institute Community Ocean Model version 4 (MRI.COMv4). Technical Reports of the Meteorological Research Institute, 80., 2017.
- [2] N. Usui, T. Wakamatsu, Y. Tanaka, N. Hirose, T. Toyoda, S. Nishikawa, Y. Fujii, Y. Takatsuki, H. Igarashi, H. Nishikawa, Y. Ishikawa, T. Kuragano, M. Kamachi : Four-dimensional variational ocean reanalysis: a 30-year high-resolution dataset in the western North Pacific (FORA-WNP30). *J. Oceanogr.*, 73, 205-233., 2017.

