

# 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

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\*<sup>1</sup>, 若松 剛\*<sup>2</sup>, 石川 洋一\*<sup>1</sup>, 五十嵐 弘道\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> 海洋研究開発機構 地球情報基盤センター, \*<sup>2</sup> 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近未来予測・ダウンスケーリング実験を行うことにより、2種類の海洋予測データセットを作成した。1つは水平解像度約10kmの北太平洋域モデルによるデータセット、もう1つは水平解像度約2kmの日本近海域モデルによるデータセットである。大気外力としてCMIP5からMIROC5とMRI-CGCM3の2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他、現実との相互比較をしやすくするために大気再解析データJRA55を大気外力とした実験も行った。その結果、10kmデータとして合計465年分、2kmデータとして合計120年分を作成した。作成したデータにおける日本周辺海域の温暖化インパクトを確認した。

**キーワード**：海洋近未来予測, 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ダウンスケーリング実験を実施する。本稿では、平成30年度に行ったそのデータセット構築の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 (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 (Tsuji et al. 2017 [1]) 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[2]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RCP2.6, 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[1]を参照)。ここでは、JPN02 について将来予測実験のため特に考慮を行った部分について記す。海面塩分緩和に用いる海面塩分参照場および河川外力について以下の通りとした。まずCMIP5 (MIROC5等) のhistorical 実験 (1996-2005年) およびJRA55実験においては、海面塩分参照場はWOA 月別気候値を用い、河川外力はJRA55-do 河川流出データ (Suzuki et al. 2018 [3]) の日別値をSI-CAT02 入力用に編集したものを用いた (平成29年度レポート[1]参照)。一方CMIP5のRCP実験 (2006年~) においては、次の設定とした: 海面塩分参照場は、親モデル (NP10) 結果の各DS期間 (10年間) 分のデータから月別海面塩分気候値を作成しこれを使用した。河川外力については、JRA55-doの1996-2015年の20年間分日別値から日別気候値を作成し、これに、各CMIP5の降水量の日本周辺海域 (123.5°E-148.75°E, 25°N-46.75°N) での各年平均値と1996-2015年平均値 (historical+RCP) の比を年別のファクター (2006-2100年) として求めたものを掛け合わせることでRCP実験における河川外力とした。

## 3. 北太平洋域10kmデータ

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~将来予測計算および大気再解析データ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を実施することで、表1に示す合計465年分のデータセットを構築した。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（1958/1960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簡単な検証・解析例を図1及び図2に示す。図1はMIROC5とMRI-CGCM3の各シナリオ（RCP2.6, RCP8.5）における各海域（北太平洋及び日本近海）の領域平均海面水温の時系列例を示したものである。両モデルともRCP8.5では2006年に対して2100年では北太平洋全体で3度程度、日本周辺海域で3.5-4度程度上昇していることがわかる。また、MIROC5ではRCP8.5期間を通してコンスタントに上昇しているのに対して、MRI-CGCM3では上昇の仕方が2050年頃までゆるやかでそれ以降急になるといったケース間の違いも見られる。図2は10年平均した海面水温について現在（2006-2015年平均）と近未来（2046-2055年平均）の差をとったものである。MIROC5とMRI-CGCM3において、北西太平洋で上昇量が大きくなる傾向が共通して見られる一方で、その傾向の強さや全体的なパターンなどでケース間の違いが見られる。

#### 4. 日本近海域 2km データ

日本近海域 2km モデル JPN02 を用い、上記で作成した北太平洋域 10km データセットをより高解像度化したダウンスケージング（DS）データセットを作成した。計算は10年または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・効率的に計算できるようにした。計算期間について、SI-CAT におけるニーズを踏まえて表2に示す期間を選定することで、合計120年分のデータセットを構築した。

図3は、NP10のMRI-CGCM3結果（historical, RCP8.5, RCP2.6）での各海域（日本近海および日本海）における領域平均海面水温時系列（黒線）に重ねて、JPN02による各DS結果（赤線、青線）を示したものである。各DS結果は親モデル結果によく対応しており、いずれも小さく、ドリフト等も見られない。図4は、2006-2015年（現在気候）の10年平均した海面水温分布に対する、2046-2055年（近未来）平均との差（40年後の変化）と2086-2095年（将来）平均との差（80年後の変化）を、DS結果（JPN02結果）およびNP10結果について比較

して示したものである。日本周辺では平均的に40年後は0.5-1度程度、80年度は2-3度程度上昇量であるといった値の大きさや、黒潮の北側で上昇量が大きく日本海北部で特に大きいなどのある程度詳細なパターンを含めて、JPN02によるDS結果は元のNP10の平均的な水温場をよく再現できているといえる。

#### 5. おわりに

今後の課題として、日本周辺海域における再現性や予測性能を、観測データ、海洋再解析データ、外力に使用したCMIP5オリジナルの海域予測データなどと相互比較して解析することにより各データセットの詳細な検証を行っている。また、外力に用いるCMIP5モデルの追加や一部のモデル設定の見直しによる各データセットの改良を予定している。

#### 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。

#### 文献

- [1] 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 (MRL.COMv4)". Technical Reports of the Meteorological Research Institute, 80., (2017)
- [2] 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・ダウンスケージ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)
- [3] Suzuki T, Yamazaki D, Tsujino H, Kumuro Y, Nakano H, Urakawa S, "A dataset of continental river discharge based on JRA-55 for use in a global ocean circulation model", J Oceanogr 74, 421-429 (2018)

表1： 北太平洋域 10km データの概要

Forcings (CMIP5/JRA55)	Historical	RCP8.5	RCP2.6
MIROC5	1981-2005	2006-2100	2006-2100
MRI-CGCM3	1981-2005	2006-2100	2006-2100
JRA55	1981-2015		

表 2 : 日本近海域 2km データの概要

Forcings (CMIP5/JRA55)	Historical	RCP8.5	RCP2.6
MIROC5	1996-2005		
MRI-CGCM3	1996-2005	2006-2015, 2016-2025, 2026-2035, 2036-2045, 2046-2055, 2086-2100	2086-2100
JRA55	1996-2005, 2006-2015		

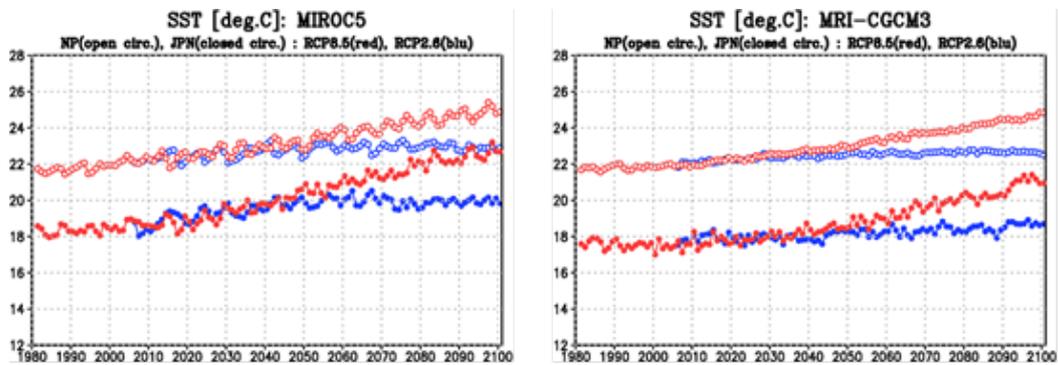


図 1 : 領域平均した海面水温[°C]の時系列例 (NP10 モデル結果)。(左) MIROC5, (右) MRI-CGCM3. それぞれ historical+RCP8.5 (1981-2100) を赤で、RCP2.6 (2006-2100) を青で示す。Open circles (高温側の 2 線) は北太平洋域平均 (100°E-75°W, 15°S-70°N)、closed circles (低温側の 2 線) は日本近海領域平均 (122.6°E-150°E, 23.7°N-47.5°N) を示す。

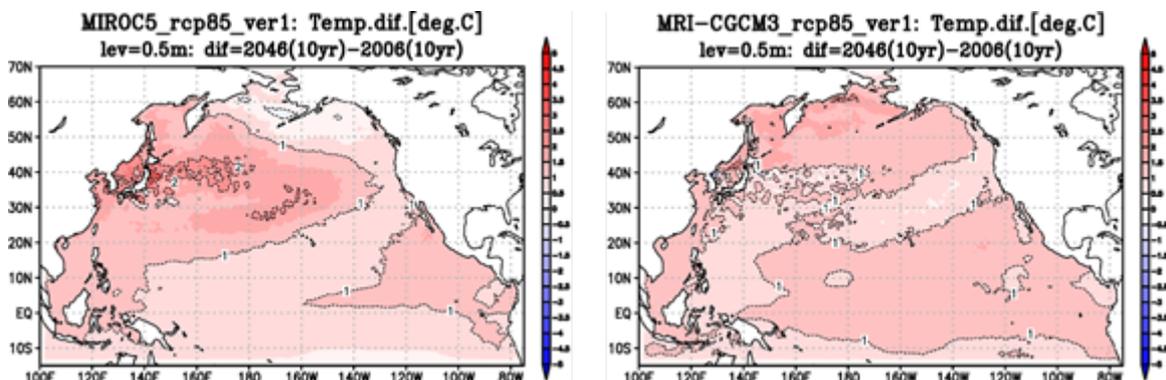


図 2 : 10 年平均した海面水温[°C]の 40 年後変化量 (NP10 モデル結果)。2046-2055 年平均と 2006-2015 年平均の差を示したもの。(左) MIROC5, (右) MRI-CGCM3.

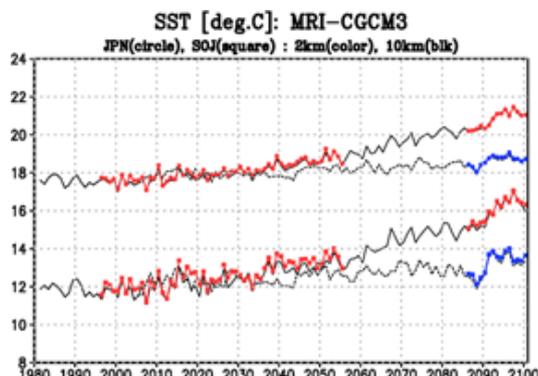


図3： MRI-CGCM3 実験による領域平均海面水温[°C]の月別時系列。赤線・青線はJPN02によるDS実験結果を示し（赤：historical or RCP8.5、青：RCP2.6）、黒線は対応するNP10結果を示す。高温側（17°C以上）の各線は日本近海域（122.6°E-150°E, 23.7°N-47.5°N）を領域平均した時系列、低温側（17°C以下）の各線は日本海主要部分（129°E-140°E, 36°N-45°N）を領域平均した時系列を示す

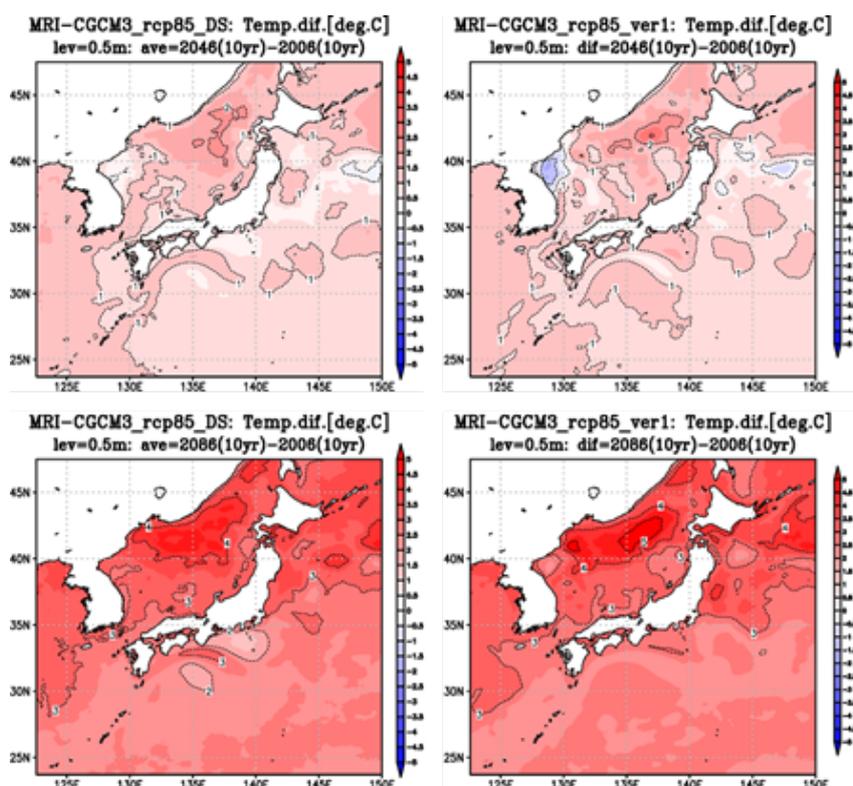


図4： 10年平均した海面水温[°C]（2006-2015年）に対する40年後および80年後の変化量。（上）2046-2055年平均と2006-2015年平均の差を示したもの。（下）2086-2095年平均と2006-2015年平均の差を示したもの。左側は2kmモデル（JPN02）結果、右側は10kmモデル（NP10）結果で、ともにMRI-CGCM3モデル（RCP8.5）である。

# Development of Near-future Ocean Projection and Downscaling Dataset to Contribute the Adaptation Plan against the Climate

Project Representative

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

Authors

Shiro Nishikawa \*<sup>1</sup>, Tsuyoshi Wakamatsu \*<sup>2</sup>, Yoichi Ishikawa \*<sup>1</sup>, Hiromichi Igarashi \*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup>Center for Earth Information Science and Technology Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

\*<sup>2</sup>Nansen Center/Bjerknes Center for Climate Research Department

In Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology (SI-CAT), we have developed high-resolution ocean regional projection dataset for past to future ocean climate around Japan using CMIP5 and JRA55 atmospheric forcings. One is ensemble continuous dataset covering from 1981 to 2100 for the North Pacific region with 10km horizontal resolution (465 years in total), and the other is the downscaling dataset with time slices for the Japan-surrounding region with 2km horizontal resolution (120 years in total). From the CMIP5 atmospheric data, we adopted MIROC5 and MRI-CGCM3 with historical, RCP2.6, and RCP8.5 scenarios. As an example of the assessments, the future changes of sea surface temperature around Japan are assessed among the results with different models and scenarios.

**Keywords** : Near-future projection, 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 ocean model experiments of past climate reproduction, future projection, and their regional downscaling for Japan coastal regions to produce a database of ocean past/future projection around Japan. In this paper, we briefly introduce the dataset development and an example of the assessment of the results.

## 2. Outline of Model and Settings

We use 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 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, important in the oceans surrounding Japan. The other is the Japan-surrounding ocean model covering (122.6°E-150°E, 23.7°N-47.5°N) with the horizontal resolution of about 2 km (hereafter, JPN02), 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. Details of each ocean model are written in Nishikawa et al. (2018 [2]).

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 and used their historical (1960-2005), RCP8.5 and RCP2.6 (2006-2100) scenarios to compose the atmospheric forcing data for driving the ocean models.

## 3. 10km dataset for the North Pacific region

Using the NP10 ocean model and the CMIP5 and JRA55 atmospheric forcings described in the previous section, we performed ocean projection simulation from 1958/1960 to 2100 and developed an ensemble simulation dataset shown in Table 1 (up to 465 years). The initial condition (from January 1, 1958/1960) is static with the WOA temperature/salinity climatology. Note that the first 20 years (1958/1960-1980) are considered to be spin-up period and excluded from the dataset.

Figure 1 depicts time series of area-mean sea surface temperature (SST) for historical+RCP8.5 and RCP2.6 scenarios of MIROC5 and MRI-CGCM3 from the NP10 results. The SST changes from 2006 to 2100 are +3°C for the North Pacific region and +3.5-4°C for the Japan-surrounding region, where MIROC5 indicates earlier and larger increases and MRI-CGCM3 slower and less increase.

#### 4. 2km dataset for the Japan-surrounding region

Using the JPN02 ocean model, we performed downscaling experiments from the NP10 simulations to develop higher resolution ocean projection dataset for the Japan-surrounding ocean. Since the JPN02 model requires large computer resources and calculation time, we used "time slice method" with the slices of 10 or 15 years shown in Table 2 and developed 120 years dataset in total.

In Fig. 2, time series of area-mean SST of MRI-CGCM3 from the NP10 (black lines) and JPN02 (red and blue lines) results are compared. The JPN02 results well follow the corresponding NP10 results without shifts and drifts.

#### 5. Summary and Future Works

We developed high-resolution ocean regional projection dataset for past to future ocean climate around Japan using CMIP5 and JRA55 atmospheric forcings with 10 and 2 km horizontal resolution. Increase of the ensemble cases (CMIP5 atmospheric forcings) and some revision of the model settings are planned for future works.

#### 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.

#### References

- [1] 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)
- [2] 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)

Table 1 : Outline of 10km dataset for the North Pacific region.

Forcings (CMIP5/JRA55)	Historical	RCP8.5	RCP2.6
MIROC5	1981-2005	2006-2100	2006-2100
MRI-CGCM3	1981-2005	2006-2100	2006-2100
JRA55	1981-2015		

Table 2 : Outline of 2km dataset for the Japan-surrounding region.

Forcings (CMIP5/JRA55)	Historical	RCP8.5	RCP2.6
MIROC5	1996-2005		
MRI-CGCM3	1996-2005	2006-2015, 2016-2025, 2026-2035, 2036-2045, 2046-2055, 2086-2100	2086-2100
JRA55	1996-2005, 2006-2015		

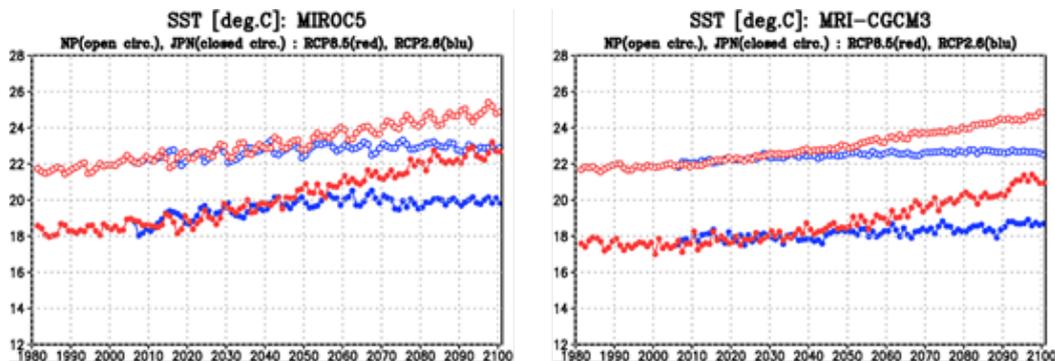


Figure 1: Time series of area mean sea surface temperature (SST) from the NP10 model results. (left) MIROC5, (right) MRI-CGCM3. Red line denotes historical+RCP8.5 and blue lines RCP2.6 results. In each panels, warmer lines (around 22°C in 1981) correspond to the area mean of the North Pacific region (100°E-75°W, 15°S-70°N), and colder ones (around 18°C in 1981) correspond to the area mean of the Japan-surrounding region (122.6°E-150°E, 23.7°N-47.5°N).

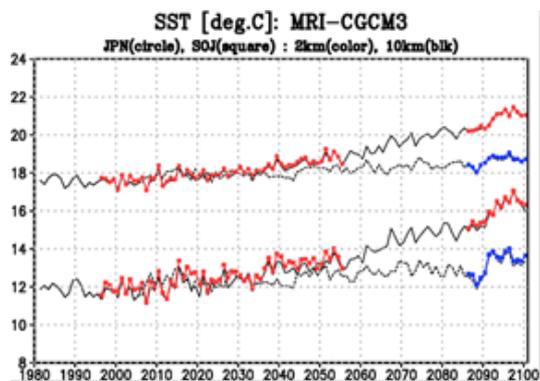


Figure 2: Time series of area mean sea surface temperature (SST) from the NP10 results (black lines) and JPN02 results (red and blue lines). Red lines denote historical/RCP8.5 and blue lines denote RCP2.6 for JPN02 results. In the panel, warmer lines (around 18°C in 1981) correspond to the area mean of the Japan-surrounding region (122.6°E-150°E, 23.7°N-47.5°N), and colder ones (around 12°C in 1981) correspond to the area mean of the Japan Sea region (129°E-149°E, 36°N-45°N).