

# 現在及び近未来の気候変化への温暖化の寄与の評価に資する高解像度大アンサンブル気候データセットの作成

課題責任者

辻野 博之

気象業務支援センター 研究推進部 第一研究推進室

著者

辻野 博之<sup>\*1,2</sup>, 水田 亮<sup>\*2,1</sup>, 野坂 真也<sup>\*2,1</sup>, 川瀬 宏明<sup>\*2,1</sup>, 吉田 康平<sup>\*2,1</sup>, 関澤 偲温<sup>\*2,1</sup>, 初塚 大輔<sup>\*1</sup>, 伊東 瑠衣<sup>\*3</sup>, 鈴木 智恵子<sup>\*3</sup>, 岡地 寛季<sup>\*4</sup>, 宮本 真希<sup>\*4</sup>, 鈴木 真一<sup>\*5</sup>, 高橋 千陽<sup>\*6</sup>, 林 未知也<sup>\*7</sup>, 今田 由紀子<sup>\*6</sup>, 山本 浩大<sup>\*8</sup>, 萬 和明<sup>\*8</sup>, 石川 洋一<sup>\*3</sup>

\*1 気象業務支援センター 研究推進部 第一研究推進室, \*2 気象庁 気象研究所, \*3 海洋研究開発機構 付加価値情報創成部門 地球情報科学技術センター, \*4 北海道大学大学院 工学研究院, \*5 東北大学大学院 理学研究科, \*6 東京大学 大気海洋研究所, \*7 国立環境研究所, \*8 京都大学 防災研究所

キーワード: 気候変化, 近未来, アンサンブル実験, 全球気候モデル, 力学的ダウンスケーリング

## 1. はじめに

IPCC 第6次評価報告書<sup>1)</sup>には、人為起源による温暖化は間違いなく、自然変動の範囲を超えた損害が生じていると記述されている。近年、日本においても気候変化や猛暑の恒常化、豪雨の高頻度化等、自然災害が顕著となっている。気象庁の異常気象分析検討会では、極端現象の多くに地球温暖化が影響した可能性があるとの分析が示されており、将来の気候変化を踏まえた対策の必要性がますます高まっている。

亜熱帯から亜寒帯域に属する日本には、多様な気候と極端現象がみられ、これらは地形の影響を大きく受けるため、正確なシミュレーションには高分解能が求められる。また、極端現象は発生頻度が低いため、シミュレーションの多アンサンブル化は必須である。従って、日本の気候や極端現象の変化の分析には、日本を網羅する高分解能領域モデルによる多アンサンブルシミュレーションデータが最適となる。また、南北の気温差が大きい日本を対象とするには、領域モデルに境界値を与える全球モデルの精度も重要となる。

文部科学省気候変動予測先端研究プログラムでは、これまで十分に提供されていなかった、過去・現在・将来に亘って時間的に連続する気候変動のデータセット作成を目的に、全球60kmモデルによる予測実験と、それを境界として全国を対象とした20km及び5kmメッシュの力学的ダウンスケーリングを実施している。今回の計算では、全球モデルに大気-海洋相互作用を導入することにより、d4PDF やそれに基づく全国5kmメッシュアンサンブル気候予測データを高精度化している。ただし、この実験はメンバー数を必要最低限に抑えた基盤データ作成実験であるため、低頻度の極端現象を網羅し、各年代の気候状態の変化を正確に評価するには、期間を限定してメンバー数を増強するとともに、非温暖化実験も実施する必要がある。これによりd4PDFでは評価できなかった、近未来及び今世紀末までの各年代における、気候変化シナリオ別の気候状態や極端現象の頻度や規模の変化の評価等も可能

となる。

本課題では、1990年代から2010年代の30年間を対象とした過去実験、及び2030年代から2050年代に相当する30年間を対象とした将来予測実験について、アンサンブルメンバー増強を行い、気候状態や極端気象を比較し、適応計画の立案に貢献できるような分析を実施する。本年度は、全球60kmモデル及び日本域20kmモデルによる予測実験を先行実施して、来年度以降に実施する日本域5km力学的ダウンスケーリング実験に備えた。

## 2. 実験設定

### 2.1. 全球モデル

全球モデルは、気象研究所の気候モデルMRI-ESM2<sup>2)</sup>の大気解像度を120kmから60kmに高解像度化したものを使用し、海水温・塩分濃度・海氷密度をIncremental Analysis Update<sup>3)</sup>の手法で10日(海氷のみ5日)の緩和時間スケールで同化する。このモデルをTime Sequential Experiments with Coupled model (TSE-C)と呼んでいる。過去実験の期間(1961-2020)は客観解析データ<sup>4)</sup>に同化した。将来実験期間(2021-2100)においては、CMIP6の代表的な6モデルにおける海洋の人為的将来変化(EOF第1及び第2モードとして抽出することで年々変動を除去したもの)に客観解析の年々の内部変動(EOF第1及び第2モードを除去したもの)を加えたものを海洋の予測値とし、それに同化した。

### 2.2. 日本域モデル

非静力学地域気候モデル(NHRCM<sup>5)</sup>)を用いて、全球モデルの計算結果を境界条件として20km解像度にダウンスケーリングした計算を実施した(NHRCM20)。さらにNHRCM20の結果を境界条件として5km解像度へとダウンスケーリングした(NHRCM05)。計算領域は図1に示す。計算期間は、1990年から2019年までの現在気候と、2030年から2059年までの将来気候それぞれ30年である。積分はNHRCM20では各年7月20日から翌年8月末まで、NHRCM05では、

各年 7 月 24 日から翌年 8 月末までを実施している。d4PDF5kmDDS<sup>®</sup>と比較して、本実験では、NHRCM20 の計算領域を拡大したほか、スペクトルナッジングが動作する最低高度を低くしナッジングする波長を長くしたことで、境界データとして用いる全球モデルの気圧の日本域モデル内での再現性を向上させている。NHRCM05 では、積雲対流パラメタリゼーションを調整し、海岸や島での降水の再現性を向上させている。なお、NHRCM05 は計算が完全には完了せず、また後処理に時間がかかる都合で結果がまだ十分解析できていないため、本報告では日本域実験については NHRCM20 の結果を報告する。

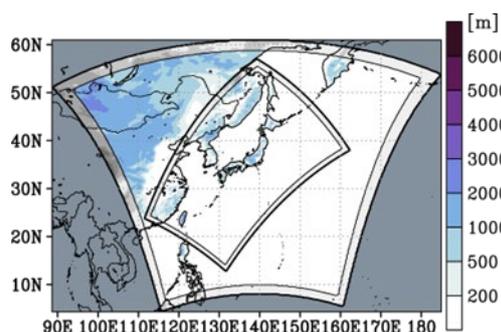


図 1 日本域モデルの実験領域 (外枠が NHRCM20, 中枠が NHRCM05)。シェードは標高 (m)。

### 3. 全球モデルによる実験結果

図 2 は全球 60km モデルにおける年平均地上気温を日本域で平均したもので、上が 6 メンバー、下が 24 メンバーを使用したものである。いずれのメンバーでも黒太線の観測の変動、特に長周期の変動を再現できている。2021 年以降の将来予測期間においては結果にばらつきが見られるが、その幅は 21 世紀中盤にかけて観測の年々変動幅とほぼ同等となっている。ただし 6 メンバーの結果からはそのばらつきの大きさにも年々の変動が見られる一方で、メンバー数を 24 に増やした結果ではばらつきの大きさが一定に近づいている。このばらつきの大きさが将来変化の不確実性に対応することから、多アンサンブル化が予測の信頼性の向上に寄与することが分かる。

### 4. 日本域モデルによる実験結果

NHRCM20 では、現在気候と将来気候を比較すると、日本の陸上平均で 1.4 度昇温していた (図 3)。同期間に、年間降水量は 18 アンサンブル平均で +0.4% とほとんど変化しなかった。一方で、年最大日降水量は 4% 増加していることが分かった。

冬季の気圧や風、降水量の変化を図 4 に示す。冬季は海陸の温度上昇の差により西高東低が弱まる予測となっている。その結果、本州の日本海側では降水が減少し、太平洋側では降水が増加する予測となった。陸上平均での変化は 2% の増加だった。各アンサンブルの結果を図 5 に示す。多くのアンサンブルにおいて太平洋で気圧が高くなる傾向が見え、西高東低が弱まり、日本海沿岸地域で降水減少するメンバーも多い。しかし、メンバーによっては太

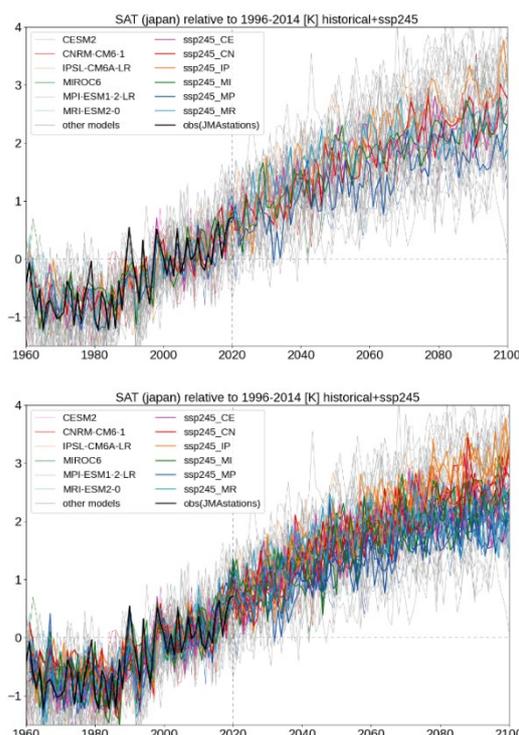


図 2 全球モデル実験における、日本域 (128°-147°E, 30°-47°N) 平均の年平均地上気温の時系列 (単位は°C)。1996-2014 年平均の値を 0 としている。太線が全球モデルによる結果で、上が 6 メンバー、下が 24 メンバーを使用したもの。細線が CMIP6 各モデルによる結果を表している。黒太線は都市化の影響が小さい 15 地点の観測所データの平均値。

### 現在気候 (1990-2019) 将来変化 (2030-2059)

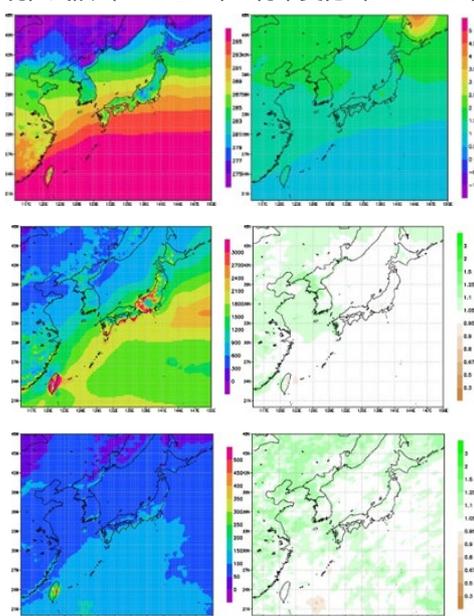


図 3 日本域モデル (解像度 20km) における、現在気候 (1990-2019) (左列) の気温 (上)、年間降水量 (中)、年最大日降水量 (下) とその将来気候 (2030-2059) との差 (右列)。

平洋での気圧の高まりがみられず、日本海沿岸部での降水減少や太平洋側での降水増加のないメンバーもあった。一方で、どのメンバーも共通して、北海道の北のオホーツク海では低圧化が進み、北海道周辺では西風が強まる傾向がみられる。これは温暖化による海氷減少がどのメンバーでも一致するため、海氷減少による周囲より大きい温暖化が気圧の低下を引き起こしていることを示している。

現在気候 (1990-2019) 将来変化 (2030-2059)

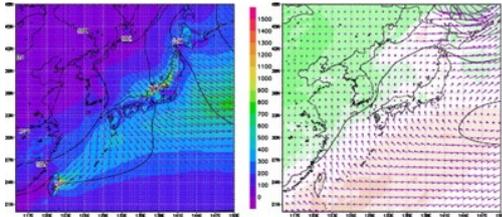


図4 現在気候(左)の冬季積算降水量(シェード)、気圧(コンター)、風(ベクトル)とその将来気候との差(右)。

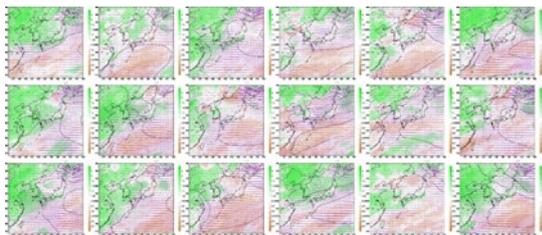


図5 各アンサンブルメンバーの冬季積算降水量(シェード)、気圧(コンター)、風(ベクトル)の将来気候と現在気候の差。

夏季の気圧や風、降水量の変化を図6に示す。夏季の陸上平均した降水量の変化は1%未満と小さいが、変化の地域的な特徴として、九州西部での降水増加や本州での降水減少がみられる。各アンサンブルの結果を図7に示す。多くのメンバーでは沖縄周辺で気圧が高くなり、九州付近への南西風の流れ込みが強化する傾向があり、その結果降水が増加している。一方で、本州付近の降水域の変化はアンサンブルメンバー間のばらつきが大きい。既存の研究でも梅雨前線の降水はメンバー間のばらつきが大きいことが指摘されており、本実験でも夏季降水量はメンバー間の違いが大きいという結果が表れている。

## 5. まとめ

本課題では、これまで十分に提供されていなかった、過去・現在・将来に亘って時間的に連続する気候変動のデータセット作成を目的に、文部科学省気候変動予測先端研究プログラムで開発した気候予測モデルによる基盤実験を補強してデータセットの利用価値を高める実験を実施した。全球60km及び日本域20kmモデルによる計算を実施した結果、アンサンブルメンバーの増強により、予測結果の多様性を確保しつつ、気候の時間連続的变化におけるばらつきの度合いが安定化するなど、データセット全

体の包括性や一貫性が高まることを確認することができた。今後は、非温暖化実験や多様な将来変化シナリオに対応するなどして、データセットの更なる充実化を図り、データセットに表現される気候変動の性質やその要因を明らかにしていく予定である。

現在気候 (1990-2019) 将来変化 (2030-2059)

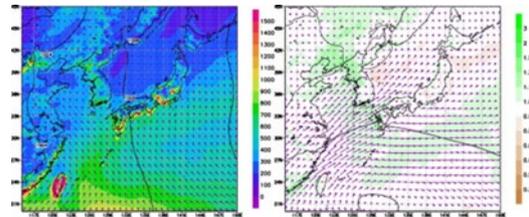


図6 現在気候(左)の夏季積算降水量(シェード)、気圧(コンター)、風(ベクトル)とその将来気候との差(右)。

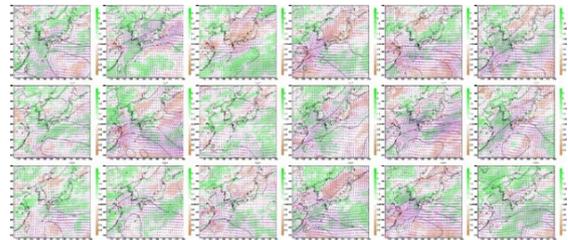


図7 各アンサンブルメンバーの夏季積算降水量(シェード)、気圧(コンター)、風(ベクトル)の将来気候と現在気候の差。

## 謝辞

本課題に使用した予測システムの開発及び基盤実験は、文部科学省気候変動予測先端研究プログラム領域課題3「日本域における気候変動予測の高度化」(JPMXD0722680734)において実施されたものである。実験の仕様決定や実験の実施にあたっては、同プログラムの領域課題1(JPMXD0722680395)、領域課題4(JPMXD0722678534)の支援を受けた。

## 文献

- [1] IPCC, "Summary for Policymakers." In: Climate Change 2021, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. (2021).
- [2] Yukimoto, S., Kawai, H., Koshiro, T., Oshima, N., Yoshida, K., Urakawa, S., Tsujino, H., Deushi, M., Tanaka, T., Hosaka, M., Yabu, S., Yoshimura, H., Shindo, E., Mizuta, R., Obata, A., Adachi, Y., & Ishii, M., "The Meteorological Research Institute Earth System Model Version 2.0, MRI-ESM2.0: Description and basic evaluation of the physical component." Journal of the Meteorological Society of Japan, 97, 931-965, <https://doi.org/10.2151/jms.j.2019-051>, (2019).

- [3] Bloom, S. C., Takacs, L. L., Da Silva, A. M., & Ledvina, D., “Data assimilation using incremental analysis updates.” *Monthly Weather Review*, 124, 1256-1271, (1996).
- [4] Ishii, M., Fukuda, Y., Hirahara, S., Yasui, S., Suzuki, T., & Sato, K., “Accuracy of global upper ocean heat content estimation expected from present observational data sets.” *SOLA*, 13, 163-167. <https://doi.org/10.2151/sola.2017-030>, (2017).
- [5] Sasaki, H., Kurihara, K., Takayabu, I., & Uchiyama, T., “Preliminary experiments of reproducing the present climate using the non-hydrostatic regional climate model.” *SOLA*, 4, 25-28. <https://doi.org/10.2151/sola.2008-007>, (2008).
- [6] Kawase, H., Nosaka, S., Watanabe, S. I., et al., “Identifying robust changes of extreme precipitation in Japan from large ensemble 5-km-grid regional experiments for 4K warming scenario.” *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, <https://doi.org/10.1029/2023JD038513>, (2023).