

## 地球環境変動予測に向けた北極域の変動とその全球的影響の解明

課題責任者

小室 芳樹 海洋研究開発機構 地球環境部門 北極環境変動総合研究センター

西井 和晃\*<sup>1</sup>, 佐藤 友徳\*<sup>2</sup>, 中村 哲\*<sup>3</sup>\*<sup>1</sup> 三重大学 大学院生物資源学研究所, \*<sup>2</sup> 北海道大学 大学院地球環境科学研究所, \*<sup>3</sup> 気象庁 大気海洋部

キーワード：北極温暖化増幅, 極端気象, 北極海海氷, 海面水温偏差, 大気大循環モデル

## 1. はじめに

北極域では近年急激な環境変化が生じており、その影響は極域のみならず中緯度帯の極端気象など全球へ及ぶことが明らかになりつつある。本課題では、気候モデルやそれを構成する大気、海洋、氷床などの各モデル群を用いて、北極域や全球規模の気候変動のメカニズム解明と予測精度の改善を目的とした研究を行った。本報告では、冬季と夏季の北半球規模の天候について、大気大循環モデルを用いて調べた結果について述べる。

## 2. 2021-22年冬季の大気大循環場

2021-22年冬季平均の海面水温偏差場は、熱帯太平洋東部で負であり、ラニーニャ傾向を示している(図1a)。気象庁によるとこの期間の NINO.3 インデックスは-1.1であった。また、北半球の中高緯度には顕著な高温偏差があり、太平洋十年規模変動(PDO)指数は-2.34であった(NOAA NCEI)。一方、海氷密度度の偏差は正と負が混在しており(図1b)、海氷の減少は必ずしも顕著ではなかった。北半球の500hPa高度偏差場では、北太平洋上で顕著な波列構造が見られ、特に北東太平洋上の高気圧性偏差はラニーニャ時の冬季に特徴的にみられるものである(図2a)。そこで、これらの観測された海面水温や海氷の偏差に対する大気応答を大気大循環モデル(AGCM)実験に基づき求め、

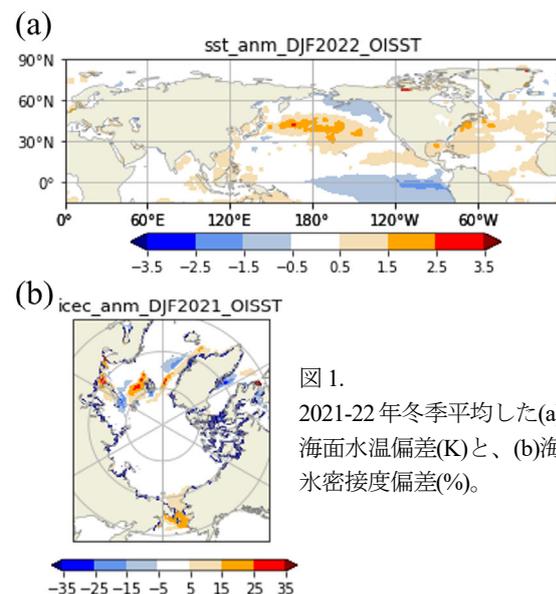


図1. 2021-22年冬季平均した(a)海面水温偏差(K)と、(b)海氷密度度偏差(%)。

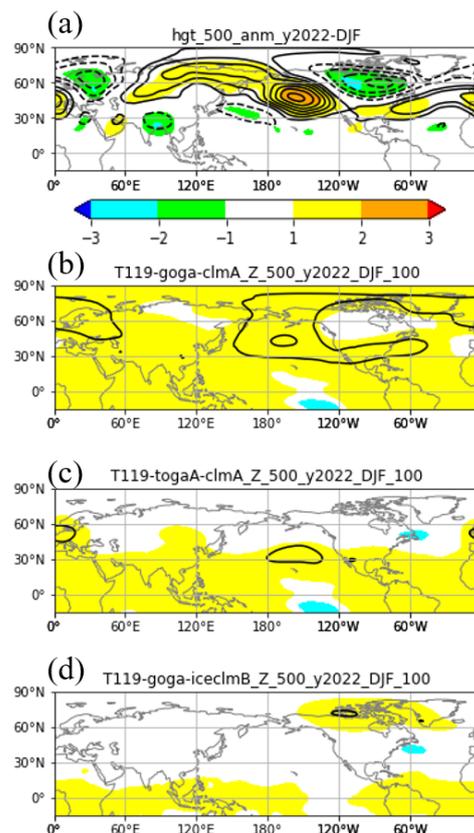


図2. 2021-22年冬季平均した500hPa高度場の(a)再解析の偏差、(b)全球海水温と海氷への応答、(c)熱帯水温への応答、(d)海氷偏差への応答。(a)の色は基準化した偏差。(b-d)で黄色は有意水準5%で有意な応答。等値線は20m間隔。

この応答がこの冬に見られた大気循環場の特徴をどれだけ説明するかを調査することが、本研究の目的である。

本研究では大気大循環モデルAFES[1, 2]を用いた。水平解像度はT119(約100km)である。海面水温と海氷密度度データは日別のOISSTv2.1を用いた。境界条件の異なる4種類の、(A)観測された海面水温と海氷を与える実験、(B)海面水温は観測値を与える一方、海氷は気候値を与える実験、(C)海面水温は熱帯(中高緯度)に観測値(気候値)を与え、海氷は気候値を与える実験、(D)気候値の海面水温と海氷を与える実験、を行った。実験期間は2021年9

月 1 日から 2022 年 3 月 31 日、各実験のアンサンブルメンバー数は 100 である。温室効果気体の濃度は全ての実験において、現在気候の値で一定とした。気候平均場として 1991 年から 2020 年の平均を用いた。

実験 A と D のアンサンブルメンバー平均の差から求めた全球海面水温と海氷偏差への 500hPa 高度場の応答場 (図 2b) では、北東太平洋上で高気圧性応答が見られ、観測された偏差 (図 2a) と整合的である。一方、熱帯海面水温偏差への応答 (実験 C と D の差) でも、同様に北東太平洋に高気圧性応答が見られるが (図 2c)、図 2b よりも振幅が小さい。このことは中高緯度の海面水温偏差、または海氷偏差が、北東太平洋上の高気圧性応答を増幅していた可能性を示唆する。海氷偏差への応答を実験 B と D との差から求めると、北米大陸の北に弱い高気圧性応答が見られるが、その他の中高緯度には有意な応答は見られない。そのため、図 2b の北東太平洋で見られた高気圧性応答は、海面水温よりも、中高緯度の海面水温場によって強化された可能性が高いことを示唆する。

前年 (2020-21 年) の冬季を対象とした同様な実験では、2020 年 12 月に海氷偏差に対してウラル上空の高気圧性応答とユーラシア大陸中央部で低温応答が見られた [3]。しかし、本実験では 12、1、2 月それぞれの月平均場で確認しても海氷偏差に対する高度場や気温の有意な応答は北半球中緯度で確認できなかった (図略)。前年の方がバレンツ・カラ海での海氷減少が顕著であり (図略)、それに対する大気応答が顕著だった可能性がある。今後は他年の冬に対しても同様な実験を行い、海氷偏差への大気応答の強弱についてさらに理解を深める必要がある。

### 3. 北極温暖化に対する夏の中高緯度大気場の応答

2020 年 6 月から 7 月にかけて、シベリア北東部で記録的な熱波が発生し、極東のベルホヤンスクで 38°C の高温を記録した。その後、東アジアにおいては中国の長江流域および日本の九州を中心に強い降水が観測され、大きな被害があった。先行研究では、これらの関係性に着目し、再解析データや気象庁の全球アンサンブル予報モデルのデータを用いて調査を行った [4]。本研究では、極端な北極温暖化が進行した状態を模した大気大循環モデル実験により、このような高緯度と中緯度で同時期に発生した極端イベントに対して北極温暖化が寄与した可能性を調査する。

使用したモデルは AFES4.1 (解像度: T79L56) [1, 2] である。コントロール実験として Merged Hadley/OISST から作成した現在の月別気候値の海面水温と海氷 (1981-2010) を下部境界に与えたランを行った。比較対象となる北極温暖化を模した実験として、気候モデルによる将来予測に基づく海面水温と海氷を観測値に加算したものを与える。ここでは、d4PDF の 2K 昇温実験 [5] で使用した 6 種類の海面水温と海氷パターンを 55° 以北のみに与える設定とした。それぞれの実験について最初の 10 年を除いた 50 年間を解析に用いた。

ここでは夏季大気場の気候値に着目する。図 3 に 6 月

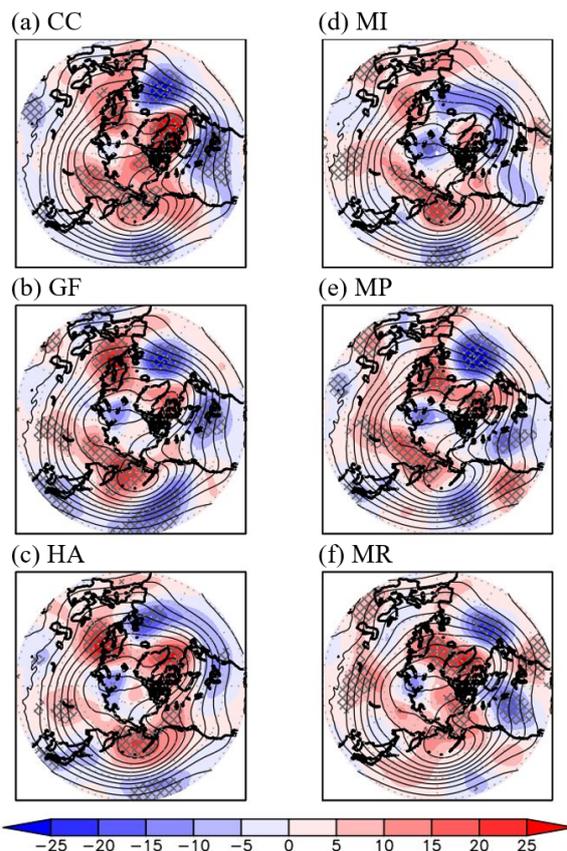


図 3.6 月の 500hPa 面高度の変化(カラー、単位は m; 北極温暖化実験とコントロール実験の差)。(a)-(f)はそれぞれ異なる SST、海氷の摂動を与えた実験。等値線はコントロール実験の高度(間隔 50m)を表す。有意水準 5% で有意な領域にハッチを重ねる。

平均の 500hPa 高度の変化を、摂動に用いた海面水温・海氷データ毎に整理した。6 つの実験のアンサンブル平均では、スカンジナビア半島、北東シベリア、グリーンランドの西の各地域で正の、バレンツ・カラ海や北大西洋で負の高度変化が見られた (図略)。このうち、北東シベリアの正の高度偏差は平均場における東シベリアのリッジの強まりとアリューシャンのトラフの弱まりによるものである。東シベリアのリッジの強まりは HA と MR の境界条件を除く 4 つの実験で共通しており (HA と MR も気候値は正の変化であるが有意ではない)、これが東シベリアの熱波の強化と関係している可能性がある。一方、グリーンランドの西からスカンジナビアにかけての正の高度変化は 6 つの実験でほぼ共通した傾向であることから、海面水温の上昇や海氷縮小の不確実性を考慮したとしても現れるロバストな応答である可能性が高い。

日本付近に着目すると MR を除いて概ね負の高度変化が卓越している。これは先行研究 [4] が指摘する降水強化とも整合しており、北極温暖化によって梅雨期のトラフが活発になりやすい傾向を示唆する。図 3 に示した多くの実験でバイカル湖付近のリッジ強化がみられていることも、日本周辺の高度場応答に関係している可能性がある。

## 謝辞

本研究は「北極域研究加速プロジェクト (ArCS II) JPMXD1420318865」の支援を受けて実施された。

## 文献

- [1] Ohfuchi, W., et al., “10-km mesh meso-scale resolving simulations of the global atmosphere on the Earth Simulator: Preliminary outcomes of AFES (AGCM for the Earth Simulator)”, *Journal of Earth Simulator*, 1, 8-34, 2004.
- [2] Kuwano-Yoshida, A., et al., “An improved PDF cloud scheme for climate simulations”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 136(651), 1583-1597, 2010.
- [3] Nishii, K., Taguchi, B., Mori, M., Kosaka, Y., and Nakamura, H., “Arctic Sea Ice Loss and Eurasian Cooling in Winter 2020-21”, *SOLA*, 18, 199-204, 2022.
- [4] Nakamura, T., and T. Sato, “A possible linkage of Eurasian heat wave and East Asian heavy rainfall in Relation to the Rapid Arctic warming”, *Environmental Research.*, 209, 112881, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112881>, 2022.
- [5] Fujita, M., R. Mizuta, M. Ishii, H. Endo, T. Sato, Y. Okada, S. Kawazoe, S. Sugimoto, K. Ishihara, and S. Watanabe, “Precipitation changes in a climate with 2 K surface warming from large ensemble simulations using 60 km global and 20 km regional atmospheric models”, *Geophysical Research Letters*, 45. DOI: 10.1029/2018GL079885, 2018.