

極東域におけるブロッキング高気圧を伴う熱波の地球温暖化による変化

北出拓海（筑波大学理工情報生命学術院）

釜江陽一（筑波大学生命環境系）

松枝未遠（筑波大学計算科学研究センター）

1. はじめに

21 世紀初頭以降、夏季に高温が数日間続く現象である熱波は中高緯度の世界各地で多く発生しており、大きな社会経済的打撃をもたらしている（Sun et al. 2014 など）。熱波のうち、80%以上がブロッキング高気圧と関連しているとされている（Pfahl and Wernli 2012）。

ブロッキング高気圧の発生頻度や強度、継続期間の変化予測は、近年、結合モデル相互比較プロジェクト phase3, phase5, phase6 の大気海洋結合モデルを用いて行われている。これらのモデルを用いた温暖化予測実験により、ブロッキング高気圧の発生頻度は、全体的に減少することが指摘されている（Davini and D'Andrea 2020 など）。一方で、Matsueda and Endo（2017）では、6 種類の海面水温（Sea Surface Temperature; SST）上昇パターンでモデルを駆動し、温暖化時の夏季の太平洋域でのブロッキング高気圧が増加もしくは変化しないという結果を得ている。

本研究は、他の地域と比べてブロッキング高気圧発生頻度の変化傾向が異なる、極東域の夏季に焦点を当て、地球温暖化の進行によるブロッキング高気圧の頻度と熱波の頻度およびそれらの関係性の変化を評価する。

2. データと解析手法

気象研究所高解像度大気大循環モデル MRI-AGCM3.2（Mizuta et al. 2012）を用いたアンサンブル気候予測データベース d4PDF（Mizuta et al. 2017 など）の過去実験および

4K 上昇実験の結果を利用した。4K 上昇実験では、CMIP5 マルチモデル実験から得られた SST 上昇パターンのうち、主要な 6 パターン（CCSM4; CC, GFDL; GF, HadGEM2-AO; HA, MIROC5; MI, MPI-ESM-MR; MP, MRI-CGCM3; MR）を仮定している。同一の大気大循環モデルに異なる海面水温上昇パターンを仮定することで、SST 上昇パターンによる不確実性を検証することができる。アンサンブルメンバー数は、過去実験 10 メンバー、温暖化実験は 6 種類の SST パターンごとに 15 メンバー、合計 90 メンバー分使用した。

まず、以下の式 (1), (2), (3), (4) を用いて 1 日ごとに 500hPa ジオポテンシャル高度の南北勾配からブロッキング高気圧を抽出する（Davini and D'Andrea 2020）。

$$\begin{cases} \text{GHGN} = \frac{Z(\lambda, \varphi_N) - Z(\lambda, \varphi_0)}{\varphi_N - \varphi_0} \\ \text{GHGS} = \frac{Z(\lambda, \varphi_0) - Z(\lambda, \varphi_S)}{\varphi_0 - \varphi_S} \\ \text{GHGS}_2 = \frac{Z(\lambda, \varphi_S) - Z(\lambda, \varphi_{S_2})}{\varphi_S - \varphi_{S_2}} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \varphi_N = \varphi_0 + 15^\circ \\ \varphi_S = \varphi_0 - 15^\circ \\ \varphi_{S_2} = \varphi_0 - 30^\circ \end{cases} \quad (2)$$

$$45^\circ \leq \varphi_0 \leq 75^\circ \quad (3)$$

$$110^\circ \leq \lambda \leq 165^\circ \quad (4)$$

さらに、以下の式 (5) の条件をすべて満たし、それが 5 日以上持続する場合、対象となるそれぞれの日をブロッキング日と定義する。

$$\begin{cases} \text{GHGN} < -9\text{m}/(\text{deglat}) \\ \text{GHGS} > 0 \\ \text{GHGS}_2 < -5\text{m}/(\text{deglat}) \end{cases} \quad (5)$$

次に、熱波の抽出のために日最高気温を基に気候学的 90%-ile 値を算出し、その値を超えた日を極端な高温日とする (Fang and Lu 2020). 極端な高温日が 3 日以上持続する場合、対象となるそれぞれの日を熱波日とする. なお、閾値として用いる 90%-ile 値は、過去実験、4K 上昇実験それぞれの気候値を使用する.

定義したブロッキング日と熱波日の結果を用いて、ブロッキング高気圧と熱波の関係性や個々の特徴についての将来変化を調べる.

3. 結果と考察

極東域夏季 (6, 7, 8 月) におけるブロッキング日の発生頻度は、全実験の広い領域で、変化なしまたはわずかな増加傾向である (図 1). 熱波との関連を見ることを見据え、陸域における 6 実験間の違いに注目する. 大きな

違いが確認できるのは、オホーツク海北沿岸部付近 (東経 140 度-160 度, 北緯 60 度-69 度) であり、実験によってブロッキング日発生頻度の減少パターンに差がある. MI 実験は 1-2%の減少を示し、他の実験よりも減少率が高い. 一方で、CC 実験は頻度の増加の可能性を示している. 6 実験間で差が生じた一つの要因として背景場としての偏西風の蛇行のしやすさが影響していると考えられる. 北緯 40 度と 60 度の 500hPa 高度偏差を算出して得た東西指数を見ると、6 実験すべての値が過去の値よりも小さくなっており、温暖化で偏西風の蛇行がしやすい背景場となる可能性が示唆されている (図 2). オホーツク海北沿岸部付近を含む東経 140 度-160 度で、CC 実験が常に最低指数であり、偏西風の蛇行が一番起こりやすい背景場である. 一方で、発生頻度が顕著に減少している MI 実験は、東に行くにつれ高指数となったことで、東西の流れが卓越し偏西風の蛇行が起こりにくくなり、オホーツク海北沿岸部におけるブロッキング高気圧の発生頻度の減少に

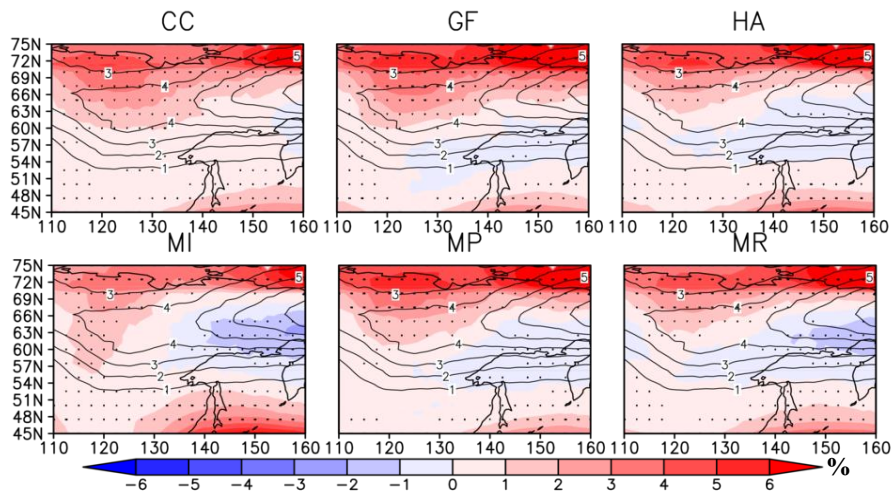


図 1 4K 上昇 6 実験ごとの、極東域の夏季 (6, 7, 8 月) における夏季日数に占めるブロッキング日の頻度 (%) 分布. 等値線: 過去実験のブロッキング日の発生頻度 (%), 陰影: 4K 上昇実験のブロッキング日の発生頻度から過去実験の値を引いた差 (%), 黒点: 99%信頼区間

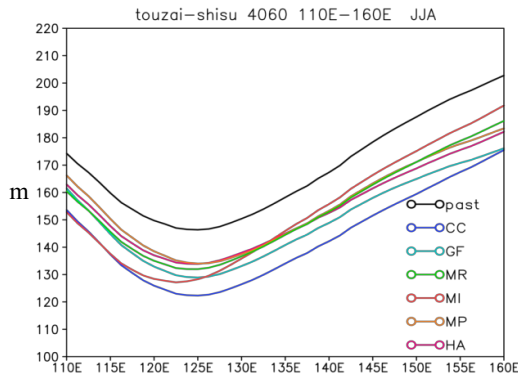


図2 東西指数(北緯40度と60度の500hPa高度偏差)の気候値. 横軸:経度, 縦軸:500hPaの高度差(m), 黒線:過去の値(m), 色線:4K上昇6実験それぞれの値(m)

影響していると考えられる.

抽出した夏季の熱波日の変化を示したものが図3である. 温暖化時の熱波日の頻度は増減2%以内であり, 過去気候下における熱波日の数とあまり変わらない. 変化の少ない中で, 北緯60度の北側では頻度減少, 南側では増加しており, 傾向が分かれている.

ブロッキング日と熱波日の関係を調査した結果, 熱波日に占めるブロッキング高気圧

が発生する割合が変化した(図4). 概ね北極海に面している地域で値が増加し, 熱波の発生時にブロッキング高気圧が発生している割合が増えていると考えられる. オホーツク海に面している地域では, 割合の値が減少傾向であるためブロッキング高気圧とは関係ない熱波が増える可能性が示唆されている.

4. まとめと今後の課題

本研究では, 夏季における極東域でのブロッキング高気圧および熱波が, 地球温暖化によってどのように変化するか, SST上昇パターンの異なる6種類のアンサンブル実験を使用して調査した.

ブロッキング高気圧の頻度は, 広い範囲で増加するが, オホーツク海北沿岸部では減少する可能性が高い. 増加の要因として, 6実験すべてにおいて, 過去よりも偏西風が蛇行しやすい気候場であるため, ブロッキング高気圧が形成されやすくなることが挙げられる.

過去実験と SST 上昇パターンの異なる 6

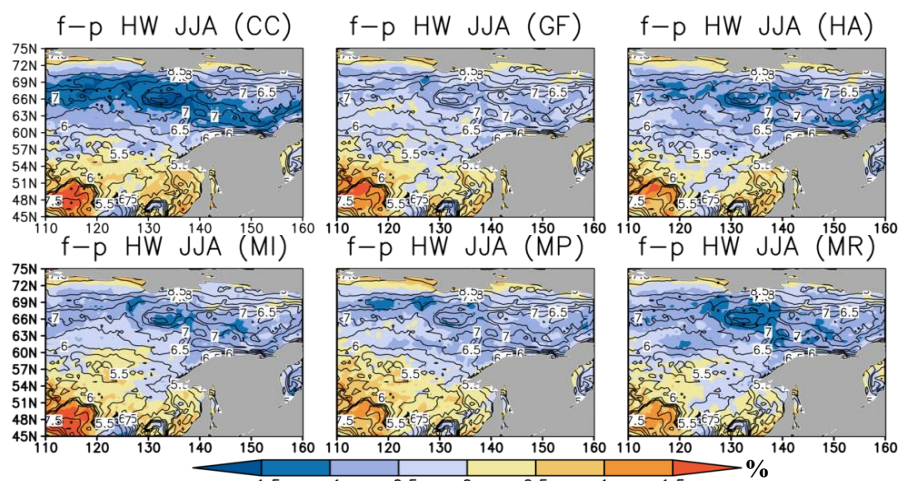


図3 4K 上昇 6 実験ごとの, 極東域の夏季(6, 7, 8月)における夏季日数に占める熱波日の頻度(%)分布. 等値線:過去実験の熱波日の発生頻度(%), 陰影:温暖化実験の熱波日の発生頻度から過去実験の値を引いた差(%)

種類の4K上昇実験で得られた気温の変動の大きさを基に、熱波の閾値を設定し、その発生割合の変化を調査した。過去と温暖化時の熱波の発生頻度に大きな差は確認できなかった。

ブロッキング高気圧と熱波の関係を調査すると、熱波日に占めるブロッキング高気圧が発生する割合が変化し、その傾向に地域差が見られた。その割合は、熱波の発生割合が減少しブロッキング高気圧が増加する北極海側の陸地で増加し、熱波の割合があまり変化せずブロッキング高気圧が減少するオホーツク海側の陸地で減少する。

ブロッキング高気圧と熱波の関係について、SST上昇パターンの異なる6実験間で統一した有意な結果が得られたことだけでなく、異なる結果も存在する。今回使用した6実験間での差について、違いを決定づける物理的要因の模索が今後も必要である。

本研究は文部科学省(JPMXD0722680395)および科研費(19H05704)の支援を受けた。

参考文献

- Davini, P., and F. D'Andrea, 2020: From CMIP3 to CMIP6: Northern Hemisphere atmospheric blocking simulation in present and future climate. *J. Climate*, **33**, 10021–10038.
- Fang, B., and Lu, M., 2020: Heatwave and blocking in the Northeastern Asia: Occurrence, variability, and association. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **125**, doi: 10.1029/2019JD031627.
- Matsueda, M., and H. Endo, 2017: The robustness of future changes in Northern Hemisphere blocking: A large ensemble projection with multiple sea surface temperature patterns. *Geophys. Res. Lett.*, **44**, 5158–5166.
- Mizuta, R., A. Murata, M. Ishii, H. Shiogama, K. Hibino, N. Mori, O. Arakawa, et al. 2017: Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60-km global and 20-km regional atmospheric models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **98**, 1383–1398.
- Mizuta, R., et al. 2012: Climate simulations using MRI-AGCM3.2 with 20-km grid. *J. Meteor. Soc. Japan*, **90A**, 233–258.
- Pfahl, S., and Wernli, H. 2012: Quantifying the relevance of atmospheric blocking for co-located temperature extremes in the Northern Hemisphere on (sub -) daily time scales. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L12807, doi:10.1029/2012GL052261.
- Sun, Y., Zhang, X., Zwiers, F. W., Song, L., Wan, H., Hu, T., et al. 2014: Rapid increase in the risk of extreme summer heat in Eastern China. *Nature Climate Change*, **4**, 1082–1085.

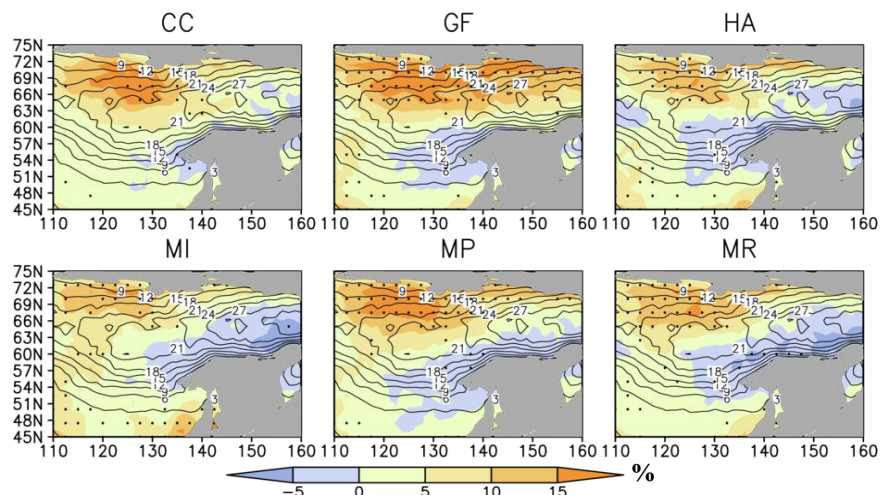


図4 極東域夏季における熱波日数に占めるブロッキング日と熱波日が同時に発生しているイベント数の割合(%)。等値線：過去の値(%), 陰影：温暖化時から過去の値を引いた差(%), 黒点：99%信頼区間