

令和 4 年 5 月 31 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01964

研究課題名(和文)北極海氷の減少が如何にして東アジアの異常寒波を形成・増幅させるのか？

研究課題名(英文)How does Arctic sea ice loss shape and amplify extreme cold waves in East Asia?

研究代表者

森 正人 (Mori, Masato)

九州大学・応用力学研究所・助教

研究者番号：00749179

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：地球温暖化に伴う北極域の海氷の急速な減少は、北極の気候のみならず、中緯度域の気候にも影響を及ぼすことが指摘されている。海氷減少が近年東アジアで頻発している厳冬の形成に与える影響とそのメカニズムを調査した。東アジアに寒冬をもたらす大気循環変動(WACEパターン)は基本的には大気の内部分動であるが、観測データと大規模マルチモデルアンサンブルシミュレーションの解析より、WACEの変動の一部は海氷により外的に強制されていることが示された。また、結合モデルシミュレーションと大気のみシミュレーションを比較した結果、大気と海氷の相互作用がWACEの分散を高めるように作用していることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

上記の結果は、WACEパターンに伴う大気循環偏差と海氷偏差との相互作用が、WACEパターン自身の成長に無視できない寄与を果たしていることを示唆している。これはこれまでにない全く新しい知見であり、今後の新しい学術的な展開が期待される。また、東アジアの寒冬の季節予測のさらなる精度向上のためには、大気・海洋だけでなく海氷変動の現実的な予測性能が不可欠である可能性を示唆しており、社会的にも重要な知見であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Arctic sea ice is rapidly decreasing with global warming, which has been suggested to affect not only Arctic climate but also weather and climate in the midlatitude. This study investigated the impact of Arctic sea-ice loss on the formation and enhancement of extreme cold waves and severe winters that have been occurring frequently in East Asia in recent years, and the mechanisms underlying these events by using numerical model simulation. Although the large scale atmospheric circulation variability that responsible for the East Asian cold winters, named WACE, is basically atmospheric internal variability, a hybrid analysis of observations and multi-model large ensemble simulation showed that a part of the WACE variability is externally forced by sea-ice anomaly. In addition, the comparison of coupled model simulations with the atmosphere-only simulations indicated that the atmosphere-ice coupling processes act to enhance the variance of WACE.

研究分野：気候力学

キーワード：海氷 北極 地球温暖化 異常気象 気候変動 テレコネクション

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

海氷面積の急速な縮小を伴う北極域の加速度的な温暖化とは対照的に、冬季ユーラシア大陸の中緯度域では近年、異常寒波や厳冬が頻発し、北極域とは逆に寒冷化が進んでいる。観測データの解析や大気モデルを用いた感度実験により、当該地域に低温偏差をもたらす大気内部変動モードの発生確率が海氷減少に呼応して増加していることが明らかになってきた。このことは、海氷偏差が大気循環変動を変調していることを示唆しているが、海氷から大気への影響だけでなく、大気から海氷への影響も考慮した包括的なメカニズムの解明が求められている。

### 2. 研究の目的

本研究では、冬季ユーラシア大陸の中央部から東アジアの中緯度域に異常寒波や寒冬をもたらす大気変動モードである Warm Arctic/Cold Eurasia (WACE) パターンと呼ばれる大気循環変動モードに主に注目し、その形成・維持メカニズム、ならびに北極海氷減少によるモードの励起・増幅メカニズムを明らかにすることで、地球温暖化に伴い急激に変化する北極圏が、如何にして中緯度域の気象・気候に影響を与えるのかを明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

既存のシミュレーション実験の結果や再解析データに加え、最新の大気大循環モデル (AGCM) や大気海洋結合モデル (CGCM) を駆使した長期の気候再現実験や特定年の異常気象の再現実験などを大規模アンサンブルメンバーで実施することで、北極海氷変動が大気へ与える影響や結合過程の影響を定量化する。

### 4. 研究成果

(1) 北極域の海氷変動によって駆動される大気循環変動を同定するために、7つの主要な大気大循環モデル (AGCM) による長期のアンサンブル過去再現シミュレーションと再解析データとを組み合わせた SVD 解析を行った。その結果、外部変動として WACE パターンが同定され、WACE パターンは基本的には大気内部変動モードであるものの、変動のある部分は確かに北極域の海氷変動によって駆動されていることが確認された。また、解析した全ての AGCM が WACE パターンの分散を過小評価しており、特に海氷駆動成分の寄与が弱いことが確認された。これらの結果は Nature Climate Change 誌から出版された (Mori et al. 2021)。

(2) 上記の結果は、AGCM ではそもそも考慮されていない大気と海氷の結合過程が WACE パターンの分散 (振幅) の過小評価の一因である可能性を示唆している。そこで、結合過程を考慮した大気海洋結合モデル (CGCM) による長期積分と、その出力である海面水温や海氷密接度を境界条件とした大気大循環モデル (AGCM) の長期積分とを比較することで、WACE パターンの分散 (振幅) に対する大気 - 海氷相互作用の重要性を評価した。その結果、WACE の振幅は CGCM でより大きくなることが明らかになった (図 1)。このことは、大気 - 海氷間の正のフィードバックが WACE の振幅を増幅させていることを示唆している。これらの結果は Nature Climate Change 誌から出版された (Mori et al. 2019)。

(3) 上記の結果より、大気 - 海氷結合過程が WACE の振幅を増幅させることが示唆されたものの、依然として WACE パターン全体の分散は過小評価されていることが分かった (図 1a)。これは、現在気候に比べ海氷が厚く変動も小さい産業革命前の気候条件下でのシミュレーション結果を解析に用いたことが影響したと考えられる。そこで、最新の大気 - 海洋結合モデルである MIROC6 を用いて、現在気候下で大規模アンサンブルシミュレーションを実施した。MIROC6-CGCM による historical 実験から得られた海面水温 (SST) と海氷密接度をモデルの大気部分である MIROC6-AGCM へ与え、50 メンバーの大規模アンサンブル AMIP 実験 (1979-2021 年) を行った。両者の比較より、WACE の振幅が CGCM で増幅していることが確認され、大気 - 海洋 - 海氷相互作用が WACE パターンの形成に無視できない寄与を果たしていることが明らかになった (森ら 2021)。

(4) WACE パターンは基本的には大気内部変動モードのため、海氷との相互作用はモードの存在の可否というよりは、自身の振幅や持続性、出現確率の増大に寄与していると考えられるが、一方で、熱帯海面水温偏差も同様な寄与を果たしている可能性がある。そこで、再解析データや AGCM ならびに CGCM を駆使し、ENSO の発達・衰退に伴う熱帯海面水温変動の影響を調査した。その結果、ラニーニャ現象の衰退に伴う熱帯大西洋の降温が極域へ伝わるロスビー波列を励起し、それが WACE 変動のある部分を強制することが分かった。また、WACE を強制するためには大西洋

の海面水温偏差のみでは不十分であり、バレンツ・カラ海の海水減少を伴わなければならないことを AGCM 実験から示した。このことはやはり、大気循環と海水の相互作用が WACE の発現に重要であることを示唆している。これらの結果は Nature Communications 誌から出版された (Matsumura and Kosaka 2019)。

(5) 東アジア周辺で近年頻発している異常寒波に対する海水変動の寄与を定量化するため、観測された海水密度度や SST を与えた AGCM による再現実験を行った。複数の異なる境界条件による大規模アンサンブルの比較から、海水変動の寄与が同定された (西井ら 2020, 2021)。

(6) また、近年のユーラシアの寒冷化が地球温暖化の停滞に寄与していることも分かった。近年の冬季ユーラシア寒冷化に現れている海陸温度コントラストの変化 (負の Cold Ocean-Warm Land パターン) を気候モデルシミュレーションにより解析した。この変動パターンは熱帯太平洋十年規模変動とは独立な変動だが、近年これらが十年規模で同期して変動したことで、2000 年代の地球温暖化の停滞とその後の加速に寄与したことを示した。これらの結果は Nature Climate Change 誌から出版された (Yang et al. 2020)。

(7) 北極海水減少が中緯度大気へ影響を与えていることが明らかになってきたものの、海水減少に対する大気応答がモデルによって異なることが世界的な問題になっており、問題解決に向けた国際モデル相互比較プロジェクト (PAMIP: polar amplification model intercomparison project) が発足した。このプロジェクトに参画し、気候モデル MIROC6 による大規模アンサンブル実験を実施し、結果を提供した。将来の海水減少分布 (全モデル共通) に対する大気応答を 16 の AGCM で比較したところ、ユーラシア中緯度域の地上気温応答のばらつきがモデル間で符号まで異なることが分かった。また、観測データによる制約により、モデルは海水減少に対する大気応答を過小評価している可能性が指摘され、これまでの結果と矛盾ない結論が得られた。これらの結果は Nature Communications 誌から出版された (Smith et al. 2022)。

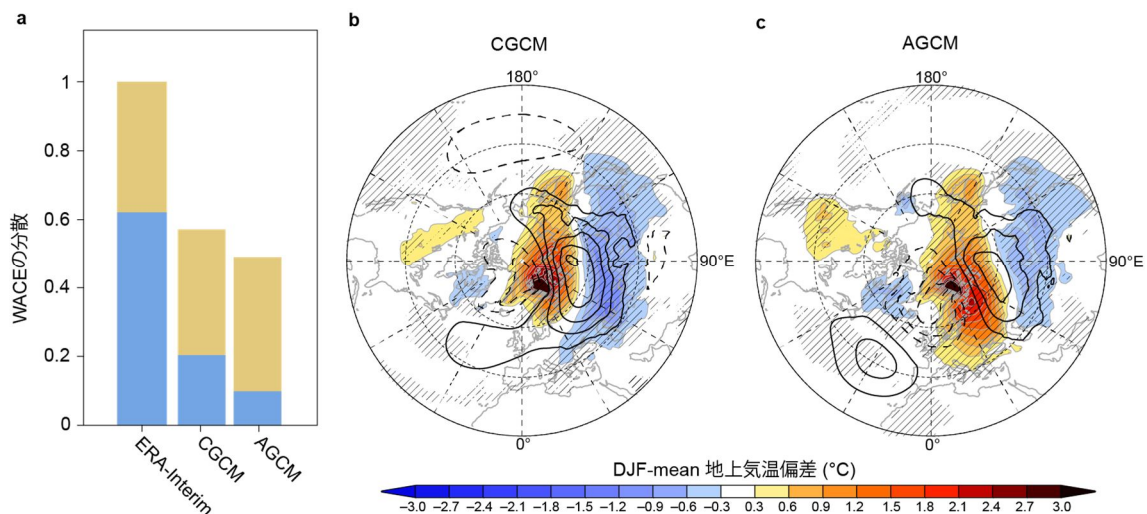


図1. a, WACE パターンに伴う冬平均地上気温偏差の解析領域 (20-90N, 0-180E) における全分散 (黄棒 + 青棒)、ERA-Interim と CGCM (CESM1-CAM5) 実験、CGCM の SST と海水密度度で駆動された AGCM (CAM5) 実験。青棒は決定係数より見積もられた海水結合 (海水駆動) 成分を表す。黄棒は、北極外の SST の影響が無視できるならば、WACE 分散のうち非結合 (内部変動) 成分を表すと解釈される。縦軸は ERA-Interim の分散でスケールされている。b, c, SVD の展開係数に射影された冬平均の地上気温偏差 (色) ならびに海面気圧偏差 (等値線; 0.6hPa 間隔、負値は点線)。CGCM (b) と AGCM (c)。射線は 95%以上の統計的信頼性を表す。Mori et al. (2019) より。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Smith D. M., Eade R., Andrews M. B., Ayres H., Clark A., Chripko S., Deser C., Dunstone N. J., Garc?a-Serrano J., Gastineau G., Graff L. S., Hardiman S. C., He B., Hermanson L., Jung T., Knight J., Levine X., Magnúsdóttir G., Manzini E., Matei D., Mori M. et al.	4. 巻 13
2. 論文標題 Robust but weak winter atmospheric circulation response to future Arctic sea ice loss	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-022-28283-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Inatsu Masaru, Kawazoe Sho, Mori Masato	4. 巻 60
2. 論文標題 Trends and projection of heavy snowfall in Hokkaido, Japan as an application of self-organizing map	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Meteorology and Climatology	6. 最初と最後の頁 1483 ~ 1494
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/JAMC-D-21-0085.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sekizawa Shion, Nakamura Hisashi, Kosaka Yu	4. 巻 34
2. 論文標題 Remote influence of the interannual variability of the Australian summer monsoon on wintertime climate in East Asia and the western North Pacific	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 1 ~ 54
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/JCLI-D-21-0202.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Mori Masato, Kosaka Yu, Watanabe Masahiro, Taguchi Bunmei, Nakamura Hisashi, Kimoto Masahide	4. 巻 11
2. 論文標題 Reply to: Eurasian cooling in response to Arctic sea-ice loss is not proved by maximum covariance analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Climate Change	6. 最初と最後の頁 109 ~ 111
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41558-020-00983-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yang Jun-Chao, Lin Xiaopei, Xie Shang-Ping, Zhang Yu, Kosaka Yu, Li Ziguang	4. 巻 10
2. 論文標題 Synchronized tropical Pacific and extratropical variability during the past three decades	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Climate Change	6. 最初と最後の頁 422 ~ 427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41558-020-0753-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Hai, Xie Shang Ping, Zheng Xiao Tong, Kosaka Yu, Xu Yangyang, Geng Yu Fan	4. 巻 47
2. 論文標題 Dynamics of Southern Hemisphere Atmospheric Circulation Response to Anthropogenic Aerosol Forcing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020GL089919	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Martineau Patrick, Nakamura Hisashi, Kosaka Yu, Taguchi Bunmei, Mori Masato	4. 巻 33
2. 論文標題 Modulations of North American and European Weather Variability and Extremes by Interdecadal Variability of the Atmospheric Circulation over the North Atlantic Sector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 8125 ~ 8146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JCLI-D-19-0977.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mori Masato, Kosaka Yu, Watanabe Masahiro, Taguchi Bunmei, Nakamura Hisashi, Kimoto Masahide	4. 巻 9
2. 論文標題 Reply to: Is sea-ice-driven Eurasian cooling too weak in models?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Climate Change	6. 最初と最後の頁 937 ~ 939
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41558-019-0636-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsumura Shinji, Kosaka Yu	4. 巻 10
2. 論文標題 Arctic-Eurasian climate linkage induced by tropical ocean variability	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-11359-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Johnson Nathaniel C., Amaya Dillon J., Ding Qinghua, Kosaka Yu, Tokinaga Hiroki, Xie Shang-Ping	4. 巻 188
2. 論文標題 Multidecadal modulations of key metrics of global climate change	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Global and Planetary Change	6. 最初と最後の頁 103149 ~ 103149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gloplacha.2020.103149	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計13件(うち招待講演 6件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 森 正人
2. 発表標題 北極海の海水減少と東アジアの寒冬について
3. 学会等名 研究会「長期予報と大気大循環」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西井和晃, 田口文明, 中村尚
2. 発表標題 2017/18 年寒冬と2019/20 年暖冬のAGCM による再現実験
3. 学会等名 日本気象学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森正人, 今田由紀子, 塩竈秀夫, 小坂優, 高橋千陽, 荒井美紀, 釜江陽一, 長谷川聡, 渡部雅浩
2. 発表標題 2017/18 年の東アジアの寒冬に対する温暖化寄与の定量化
3. 学会等名 日本気象学会2019年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森正人, 小坂優, 渡部雅浩, 中村尚, 木本昌秀
2. 発表標題 近年のユーラシアの寒冷化に果たす北極海 氷減少の影響
3. 学会等名 日本気象学会2019年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mori, M., Y. Kosaka, M. Watanabe, H. Nakamura, M. Kimoto
2. 発表標題 A reconciled estimate of the influence of Arctic sea-ice loss on recent Eurasian cooling
3. 学会等名 International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nishii, K., B. Taguchi, H. Nakamura
2. 発表標題 An AGCM Assessment of Oceanic Impacts on Extreme Climatic Events over Japan in July 2018
3. 学会等名 International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森正人, 小坂優, 渡部雅浩, 中村尚, 木本昌秀
2. 発表標題 近年のユーラシアの寒冷化に果たす北極海水減少の影響
3. 学会等名 日本海洋学会2019年度 秋季大会, (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mori, M., Y. Kosaka, M. Watanabe, H. Nakamura, M. Kimoto
2. 発表標題 A reconciled estimate of the influence of Arctic sea-ice loss on recent Eurasian cooling
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会小倉連携セッション "Deepening understanding of weather and climate from dynamical perspective" (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kosaka, Y., T. Takigawa, L. Svendsen, B. Taguchi, Y. Imada
2. 発表標題 Remote influence of the tropical Pacific internal variability on Arctic climate.
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会小倉連携セッション "Deepening understanding of weather and climate from dynamical perspective" (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kosaka, Y., T. Takigawa, L. Svendsen, B. Taguchi, Y. Imada
2. 発表標題 Remote influence of the tropical Pacific variability on Arctic climate.
3. 学会等名 10th International Workshop in Marine Environmental Changes (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Mori, M., Y. Kosaka, M. Watanabe, H. Nakamura, M. Kimoto
2. 発表標題 A reconciled estimate of the influence of Arctic sea-ice loss on recent Eurasian cooling
3. 学会等名 American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kosaka, Y., T. Takigawa, L. Svendsen, B. Taguchi
2. 発表標題 Remote influence of the tropical Pacific variability on Arctic climate.
3. 学会等名 Sixth International Symposium on Arctic Research (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mori, M., Y. Kosaka, M. Watanabe, H. Nakamura, M. Kimoto
2. 発表標題 A reconciled estimate of the influence of Arctic sea-ice loss on recent Eurasian cooling
3. 学会等名 Sixth International Symposium on Arctic Research (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	西井 和晃  (Nishii Kazuaki)  (50623401)	三重大学・生物資源学研究科・准教授   (14101)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	小坂 優  (Kosaka Yu)  (90746398)	東京大学・先端科学技術研究センター・准教授    (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
英国	英国気象庁ハドレーセンター			
米国	カリフォルニア大学スクリプス 海洋研究所			
中国	中国海洋大学			
ノルウェー	University of Bergen			
米国	Princeton University	University of California		