

北極域の海氷減少が中緯度に及ぼす影響と対流圏-成層圏結合

山崎孝治^{1,2}、中村哲^{1,2}、浮田甚郎³、岩本勉之^{1,3,6}、本田明治³、三好勉信⁴、小川泰信^{1,5}、富川喜弘^{1,5}

¹ 国立極地研究所

² 北海道大学

³ 新潟大学

⁴ 九州大学

⁵ 総合研究大学院大学

⁶ 紋別市役所

Impact of Arctic sea-ice decline on mid-latitude climate and troposphere-stratosphere coupling

Koji Yamazaki^{1,2}, Tetsu Nakamura^{1,2}, Jinro Ukita³, Katsushi Iwamoto^{1,3,6}, Meiji Honda³, Yasunobu Miyoshi⁴,
Yasunobu Ogawa^{1,5}, and Yoshihiro Tomikawa^{1,5}

¹*National Institute of Polar Research, Tachikawa, Japan*

²*Hokkaido University, Sapporo, Japan*

³*Niigata University, Niigata, Japan*

⁴*Kyushu University, Fukuoka, Japan*

⁵*The Graduate University for Advanced Studies*

⁶*Mombetsu City Government*

This study examines the possible linkage between the recent Arctic sea-ice decline and the winter climate in mid-latitudes, especially, the Arctic Oscillation (AO). Observational analyses reveal that a reduced sea-ice area in late autumn leads to more negative phase of the AO in winter. A high-top atmospheric general circulation model (AGCM for Earth Simulator, AFES version 4.1) is used to simulate the atmospheric response to observed sea-ice anomalies. The results from the simulation reveal that the recent Arctic sea-ice reduction results in cold winters in mid-latitude continental regions, which are linked to an anomalous circulation pattern similar to the negative phase of AO with an increased frequency of large negative AO events by a factor of over two. Associated with this negative AO phase, cold air advection from the Arctic to the mid-latitude increases. We found that the stationary Rossby wave response to the sea-ice reduction in the Barents Sea region induces this anomalous circulation. We also found a positive feedback mechanism resulting from the anomalous meridional circulation that cools the mid-latitudes and warms the Arctic. This feedback adds an extra heating to the Arctic air column equivalent to about 60% of the direct surface heat release from the sea-ice reduction.

The results from this high-top model experiment also suggest a crucial role of the stratosphere in affecting the tropospheric AO in winter through stratosphere-troposphere coupling. Although other recent studies also suggest the stratospheric role, the exact role remains elusive. With additional experiments in which the stratospheric wave-mean interaction is artificially weakened, it is clearly shown that the tropospheric AO response caused by the Arctic sea-ice reduction largely disappears. The results confirm a crucial role of the stratosphere in the sea-ice impacts on the mid-latitudes, particularly by interaction between the stratospheric polar vortex and planetary-scale waves and by resultant change in the zonal wind in the lower stratosphere. They also imply that realistic representation of both Arctic surface boundary conditions and stratospheric processes are critical for improving predictions of weather and climate in the mid-latitudes across sub-seasonal to decadal time scales.

当研究は近年の北極域の海氷減少と中緯度の気候、特に北極振動(Arctic Oscillation: AO)との間の関連を調べる。観測データの解析から晩秋の海氷減少が冬季に負の AO をもたらすことが明らかになった。ハイトップ大気大循環モデル(AFES version 4.1)を用いて観測された海氷減少に対する大気の応答を調べた。シミュレーション結果は、最近の北極域の海氷減少が中緯度の大陸域に寒い冬をもたらすことを示した。これは負の AO に似たパターンであり、AO 指数が大きな負となる頻度が倍以上に増加した。この負の AO に伴って北極から中緯度への寒気移流が増加する。バレンツ海の海氷減少が定常ロスビー波を励起し、この循環偏差をつくる。子午面循環偏差は中緯度を冷やし高緯度を暖める正のフィードバック効果をもつ。この子午面循環フィードバックによる北極域温暖化効果は海氷減少による海表面からの直接の熱フラックスによる北極域温暖化の 60%に相当する。

この AFES モデルの結果はまた成層圏・対流圏結合を通して対流圏の AO に影響する点において、成層圏が決定的に重要であることを示唆する。最近の他の研究も成層圏の役割を示唆するが、まだその正確な役割についてははっきりしていない。ここでは成層圏における波-平均流相互作用を人工的に弱める追加実験によって、対流圏の AO 応答は非常に弱くなることを示した。この結果は海水が中緯度に与える影響において成層圏、特に、極渦とプラネタリー波の相互作用およびその結果の下部成層圏の東西風変化が決定的に重要であることを確認するものである。また中緯度の気象や気候の季節内から 10 年規模の時間スケールでの予測精度を向上させるためには、北極域の境界条件と成層圏過程の現実的な表現が必須であることを意味している。

References

Nakamura, T., K. Yamazaki, K. Iwamoto, M. Honda, Y. Miyoshi, Y. Ogawa, and J. Ukita (2015), A negative phase shift of the winter AO/NAO due to the recent Arctic sea-ice reduction in late autumn, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, doi:10.1002/2014DJ022848.