北極海氷域減少に伴う東アジアの寒冬と 成層圏過程の役割

Cold winters in East Asia due to the recent Arctic sea ice reduction and role of the stratospheric processes

山崎孝治, 中村哲(国立極地研究所/北海道大学), 岩本勉之(国立極地研究所/新潟大学), 本田明治, 浮田甚郎(新潟大学), 三好勉信(九州大学),

小川泰信, 冨川喜弘 (国立極地研究所/総合研究院大学)

Koji Yamazaki, Tetsu Nakamura, Katsushi Iwamoto, Meiji Honda, Jinro Ukita, Yasunobu Miyoshi, Yasunobu Ogawa, and Yoshihiro Tomikawa

1. はじめに

北極域の海氷面積は近年急速に減少しており、北極域の気温は全球平均の 2 倍の速さで温暖化している.一方、冬季、東アジアや欧州など北半球中緯度では寒冬の頻度が増している.秋の北極海の海氷減少が東アジア域の寒冬をもたらすことが観測や数値実験で明らかになってきた $^{1),2}$, 3).昨年の北海道支部研究発表会でもこのテーマで述べたが、その時のモデルの地表境界条件にバグがあったので修正した結果を報告する 3).さらに、海氷減少が北極振動を負位相にシフトさせ、東アジアに寒冬をもたらす上で成層圏の役割を調べた実験の結果を紹介する.

2. データと方法

海面水温(SST)及び海氷密接度(SIC)の観測データは the Merged Hadley NOAA/OI SST and SIC (Hurrell et al. ⁴⁾) を用いた. 大気データは ECMWF の ERA-interim (Dee et al. ⁵⁾)を用いた. 期間 はいずれも 1979- 2011 年の 33 年間である。

大気大循環モデル(AGCM)として、地球シミュレータの AFES ver.4.1.T79L56 を用いた.本研究で使用したモデルの上端は 60 km と高い、数値実験は 1979-1983 年の昔の5年平均の境界条件(SST と SIC)を与えたランを control(CNTL) run とし、海氷だけを最近の条件にしたものを N.Ice run とし、N.Ice run から CNTL run を引くことで海氷減少の効果を論ずる、詳しくは Nakamura et al. $(2015)^{3}$ を参照されたい、次に、成層圏の役割を明確にするために、成層圏の 10/30/100 hPa より上層の帯状平均東西風を CNTL ランの日々の気候値に引っ張る実験を行った。気候値に戻すという意味で、Restoring 実験 (RS 実験) とよぶ事にする。RS10/30/100 実験は 10/30100 hPa 以上で気候値に戻す力を加え、その時定数は 3/10/30 hPa 以上で1日とするように変化させた(図1左)、その結果、なにもしない Free ランに比べて成層圏での帯状平均東西風の年々変動は減少した(図1右)、ただし、対流圏ではほとんど変化はない。これらのランは 10 年のスピンアップ後、各々60 年積分した結果を解析する.

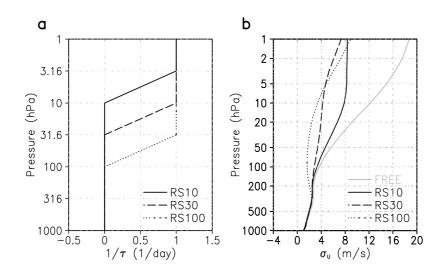


図1(左) RS10,RS30,RS100 実験における damping 係数の鉛直分布. (右) 各ランにおける1月の60Nの帯状平均東西風の標準偏差. CNTL ランの60 年積分から計算.

3. 結果

図2は海氷減少の冬季における影響を示している. どのランにおいても北極域の海 氷減少は北極海やオホーツク海などの海氷減少地域及びその近辺で大気下層の気温上 昇をもたらす(図2下). 理由は晩秋~初冬にかけてバレンツ海・カラ海の海氷面積が 減少すると暖かい海表面からの乱流熱フラックスが増加し下層大気を暖めるからであ る. 一方、東アジア域の有意な低温偏差は FREE ランのみみられ, RS10 ランでは弱い 低温偏差はあるものの有意ではない. RS30/100 では東アジアの低温域は見られない.

対流圏の大気循環(500 hPa 高度、図 2 中)を見ると、FREEでは欧州・シベリア・極東の波状パターンを伴い、北極域で正偏差、中緯度で負偏差の北極振動/北大西洋振動の負のパターンが顕著である。下部成層圏(図 2 上)でも負の北極振動パターンが見られる。しかし、RS10 ランでは 300 hPa でのバレンツ海付近での正偏差のみ FREEと共通で、その他は似ていない。ただし、成層圏では弱い負の北極振動パターンが見られる。RS30/100 ではバレンツ海上の対流圏での正高度偏差を除いて、FREE ランとは全く異なる。これから、海氷減少域の直接の温暖化は成層圏とは関係なく起こるが、東アジアの寒冷化のような遠隔応答は全成層圏を適切に扱うモデルでないと表現できない。これは東アジアの寒冷化は成層圏経由の現象であることを強く示唆している。

次に、海氷減少シグナル(N.ICE-CNTL)の鉛直構造と季節進行について述べる. 北極振動は高緯度(60N付近)の西風の変動を伴う. そこで北極振動のプロキシとして60Nの平均西風偏差の時間・高度断面図を図3上に示す. また、成層圏の西風の変動をもたらす100hPaにおけるEPfluxの上向き成分偏差を図3下に示す. FREEでは、12月下旬から1月にかけて対流圏から成層圏へのプラネタリー波のフラックスが増えて(図3右下)、上部成層圏(~1hPa)の西風が減速し、減速シグナルが1月下旬~2月に対流圏に降りてきて(図3右上)負の北極振動/北大西洋振動を形成する. RS10では成層圏のシグナルはあるが非常に弱く、100hPaまでは降りてくるが、対流圏までよい. RS30/100では偏差は上部成層圏に限られ、対流圏ではシグナルがない.

4. まとめ

北極域の海氷減少が大気循環に与える影響に関する AGCM 実験を行った. 実験からわかった海氷減少が東アジアで低温偏差を生じさせるメカニズムは以下の通り. 海氷減少にバレンツ海・カラ海は晩秋以降, 温暖化し上空に高気圧偏差ができる. これが南東向きのロスビー波を誘起しとしてシベリアに伝播し, もともとあるトラフを深くする. 増幅したプラネタリー波は成層圏に伝播しそこの西風を減速し北極振動を負にシフトさせる. 成層圏での偏差が対流圏に影響し, 対流圏での負の北極振動をもたらすと考えられる. このため成層圏は「海氷減少による東アジアの寒冷化」を再現するためには必須である.

今回の結果は海氷減少に限らず、数値モデルによる長期予報や温暖化予測において も成層圏を適切に表現したモデルが必要であることが強く示唆するものである.

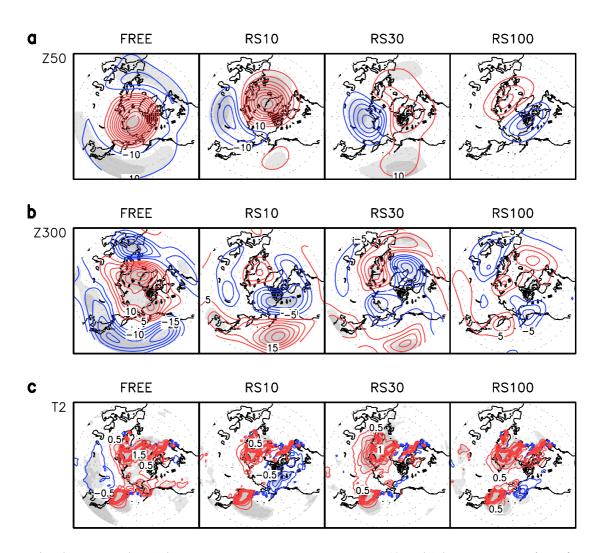
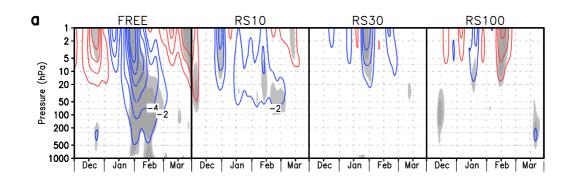


図2 冬 (12,1,2月) 平均の N.ICE ランと CNTL ランの差. (上) 50 hPa のジオポテンシャル高度. 等値線間隔は 10m. (中) 300 hPa のジオポテンシャル高度. 等値線間隔は 5m. (下) 地表 2m 高度の気温. 等値線間隔は 0.5K. いずれも赤は正, 青は負でゼロ線は省略. 薄い (濃い) 灰色の影は差の統計的有意性が 95(99)%以上のところ. (左から右へ) FREE ラン, RS10 ラン, RS30 ラン, RS100 ラン.



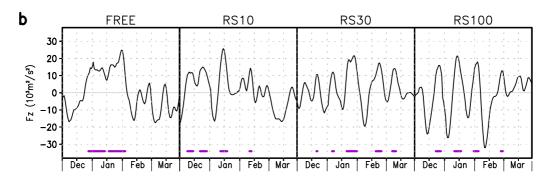


図3 (上) 60Nの日平均帯状平均西風偏差の時間・高度断面図. 等値線間隔は 2m/s. 正は赤, 負は青. 差が 95(99)%で有意な所に薄い (濃い) 影. (下) 50-80N 平均の 100 hPa での EP flux の鉛直成分 (Fz) 偏差. 偏差が 10⁴ m²s⁻²以上の所を紫で示す. (左から右へ) FREE ラン, RS10 ラン, RS30 ラン, RS100 ラン.

謝辞

当実験で使用した AFES モデル実験は JAMSTEC の地球シミュレータで行った. 当研究は GRENE 北極気候変動事業の一環として行った.

【引用文献】

- 1) Mori, M., M. Watanabe, H. Shigeo, J. Inoue, and M. Kimoto (2014), Robust Arctic sea-ice influence on the frequent Eurasian cold winters in past decades, *Nat. Geosci.*, 7, 869-873, doi:10.1038/ngeo2277.
- 2) Kim, B.-M., et al. (2014): Weakening of the stratospheric polar vortex by Arctic sea-ice loss. *Nat. Commun.*, 5, 4646, doi: 10.1038/ncomms5646.
- 3) Nakamura, T., K. Yamazaki, K. Iwamoto, M. Honda, Y. Miyoshi, Y. Ogawa, and J. Ukita, (2014), 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:10.1002/2014JD022848.
- 4) Hurrell, J., J. Hack, D. Shea, J. Caron, and Rosinski, 2008: A new sea surface temperature and sea ice boundary dataset for the Community Atmosphere Model, *J. Climate*, **21**, 5145-5133.
- 5) Dee, D. P., and 35 co-authors, 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system, Q. J. R. Meteorol. Soc., 137, 553-597, doi:10.1002/qj.828.