

熱帯大西洋起源のテレコネクションが 北極域の海氷に与える遅延影響

気象・気候ダイナミクス研究室 519355 平賀 詩之助

指導教員：立花 義裕 教授

Keywords：北極域の海氷，熱帯大西洋，対流活動，テレコネクション，線形回帰分析，LBM

1. 序論

北極域の海氷は年々変動しているが、海氷が少ない年に日本へ寒波をもたらす可能性が示唆されている。このトピックは近年、研究者の間で活発に議論されており (e. g., Honda et al., 2009) ^[1]、北極域の海氷変動の原因を解明することは重要である。北極域の海氷が年々変動する理由について考察した研究はいくつか存在する。Sato et al., 2014 では、北大西洋の SST がテレコネクションを励起し同時期の北極域の海氷に影響するといったことが示唆されている^[2]。また、Xie et al., 2004 では、熱帯大西洋の対流活動がテレコネクションを励起することが示された^[3]。したがって本研究では、熱帯大西洋の対流活動によって励起されたテレコネクションが北極域の海氷変動に影響するという仮説をもとに検証を行った。

2. 使用データと解析手法

対流活動の指標としてアメリカ海洋大気庁 (NOAA) 外向き長波放射 (OLR), 大気場のデータとして気象庁 55 年長期再解析データ JRA-55^[4] からジオポテンシャル高度の月平均データを使用した。海面水温 (SST) と海氷密度 (SIC) のデータは HadISST^[5] を使用した。解析期間は 1979-2021 年 (43 年間) の 10-12 月である。

まず、東経 20 度-東経 70 度、北緯 70 度-北緯 85 度の領域 (図 2a の緑枠) で 12 月の SIC を領域平均し時系列を作成した。これを線形トレンド除去および標準化をし、長期減少トレンドを取り除いた北極域の海氷インデックス (図 1a) を作成した。このインデックスを使用し、12 月から 1 ヶ月ずつ遡って大気・海洋場データとの線形回帰分析を行った。次に、西経 50 度-西経 20 度、北緯 7.5 度-北緯 17.5 度の領域 (図 2b の紫枠) で 10 月の OLR を領域平均し、時系列を作成した。これを標準化し、熱帯大西洋 OLR インデックス (図 1b) として、同様に大気・海洋場データとの線形回帰分析および相関分析を行った。

最後に、熱帯大西洋の対流活動に伴う熱源に対する大気の定常応答を確認するために、線形傾圧モデル (LBM: Watanabe and Kimoto 2000^[6]) を用いた実験を行った。回帰分析により計算した非断熱加熱の分布に従って、熱

帯大西洋の対流圏中層に最大 0.8 K/day の熱源を与えた。

3. 結果・考察

まず、12 月の北極域の海氷インデックスを 12 月から一月ずつ遡って各月の 300 hPa 面ジオポテンシャル高度に回帰した。その結果、10 月に明瞭なテレコネクションパターンが見られ、アメリカ東海岸付近は高気圧偏差、グリーンランド付近は低気圧偏差、北極域周辺は高気圧偏差となった (図 2a)。また、12 月の北極域の海氷インデックスを 10 月の OLR に回帰した結果、他の赤道域に比べ熱帯大西洋上の対流活動が活発であった。 (図 2b)。そこで、10 月の熱帯大西洋 OLR インデックスを同じ月の 300 hPa 面のジオポテンシャル高度に回帰した。その結果、12 月の北極域の海氷インデックスを 10 月の 300 hPa 面のジオポテンシャル高度に回帰したとき (図 2a) と類似するテレコネクションパターンが見られた (図 3a)。以上の解析から、10 月の熱帯大西洋の対流活動、アメリカ東海岸から北極域までのテレコネクションパターン、12 月の北極域の海氷との間に統計的な関係が見られた。

続いて、熱帯大西洋の対流活動とテレコネクションパターンとの因果関係を示すために、LBM 実験を行った。図 4 を見ると、アメリカ東海岸から中央ユーラシア付近までのテレコネクションパターンが見られ、回帰分析に類似した結果が得られた。よって、熱帯大西洋の対流活動がテレコネクションを励起することが示唆された。

続いて、10 月のテレコネクションが数か月遅れて北極域の海氷に影響する理由を探るために、テレコネクションが海洋に与える影響について考察した。10 月の熱帯大西洋 OLR インデックスを 10 月の潜熱+顕熱フラックス、SST に回帰した。その結果、バレンツ海からノルウェー海にかけて潜熱+顕熱フラックスの値は負となり (図省略)、その直上で SST の正偏差が見られた (図 3b)。また、11 月から 12 月までの SST に回帰すると同様の結果が得られた (図省略)。10 月から 12 月の SIC に回帰した結果 (図省略)、10 月の北極域の海氷とは有意な関係が見られなかったが、11 月、12 月は負偏差となり、12 月の方がより負偏差の領域が拡大していた。この理由とし

て、10月から12月は北極域の海水が増加する時期にあたるので、北極域の SST の高温偏差が10月から12月まで持続することで海水が拡大しにくい状態が続き、北極域の海水に影響したと考えられる。

4. まとめと今後の展望

回帰分析の結果により、熱帯大西洋上の活発な対流活動がテレコネクションを励起し、数ヶ月遅れて北極域の海水減少に影響することが示唆された。さらに因果関係を説明するために LBM 実験を行った。回帰分析と類似したテレコネクションパターンが現れたことから、熱帯大西洋の対流活動がテレコネクションを励起したことが示された。また、回帰分析により、そのテレコネクションは北極域の SST を上昇させる結果が得られた。さらに、北極域の SST が高い状態が持続することにより、海水に影響することが示唆された。

この研究では、北極域における SST の高温偏差が持続することにより、海水に影響するという仮説を立てている。しかし、それ以外の影響も考えられるので、今後はその理由について考察を深める必要がある。

5. 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導をいただきました立花義裕教授には深く感謝いたします。また、多くのご助言を賜りました同研究室の春日悟研究員、竹端光希氏、松田佳奈氏、山中晴名氏、天野未空氏、加藤実紗氏、佐野芳氏、恒川知也氏、山本諒氏、そしてその他研究室の皆様へ感謝の意を表します。

6. 参考・引用文献

- [1] Honda, M. et al., 2009: Influence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters. *Geophysical Research Letters*, **36**(8), L08707.
- [2] Sato, K. et al., 2014: Influence of the Gulf Stream on the Barents Sea ice retreat and Eurasian coldness during early winter. *Environmental Research Letters*, **9**(8), 084009.
- [3] Xie, S. P. and J. A. Carton, 2004: Tropical Atlantic variability: Patterns, mechanisms, and impacts. *Earth's Climate: The Ocean-Atmosphere Interaction, Geophys. Monogr.*, **147**, 121-142.
- [4] Kobayashi, S. et al., 2015: The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5-48.
- [5] Rayner, N. A. et al., 2003: Global Analyses of Sea Surface Temperature, Sea Ice, and Night Marine Air Temperature since the Late Nineteenth Century. *J. Geophys. Res.*, **108**(14), 4407-4410.
- [6] Watanabe, M. and M. Kimoto, 2000: Atmosphere-ocean thermal coupling in the North Atlantic: A positive feedback. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **126**, 2247-2250.

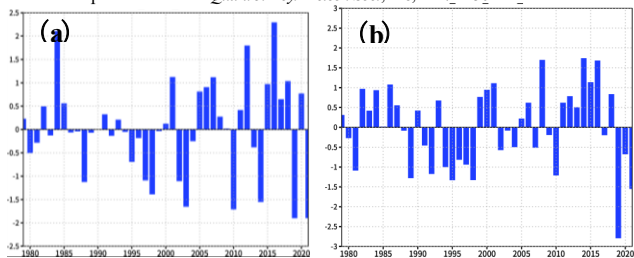


図1 (a) 12月の北極域の海水インデックス (1979-2021年) 少氷年に対応する場を示すために海水インデックスの符号を反転させている。
(b) 10月の熱帯大西洋の OLR インデックス (1979-2021年) 対流が活発な年に対応する場を示すために OLR インデックスの符号を反転させている。

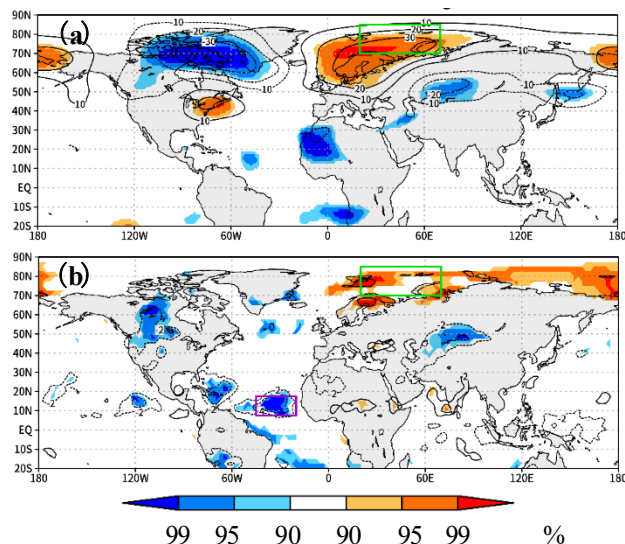


図2 12月の北極域の海水インデックスと (a) 10月のジオポテンシャル高度 (b) 10月の OLR との回帰。等値線: 回帰係数 (a) [m], (b) [W/m^2], 陰影: 信頼係数[%]

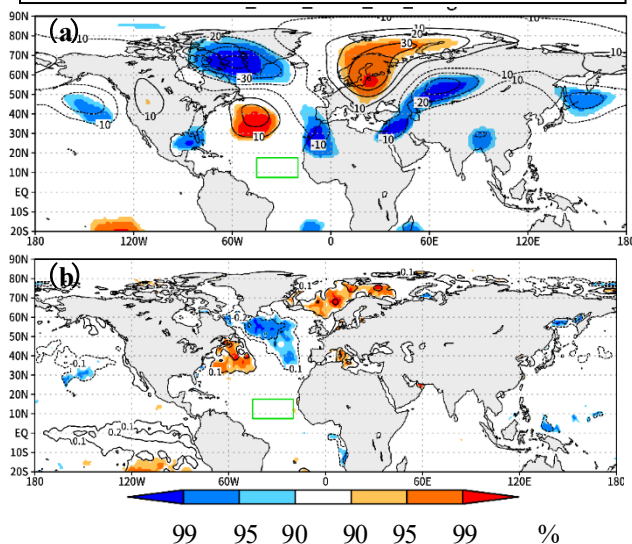


図3 10月の熱帯大西洋の OLR インデックスと (a) 10月のジオポテンシャル高度 (b) 10月の SST との回帰。等値線: 回帰係数 (a) [m], (b) [$^{\circ}C$] 陰影: 信頼係数[%]

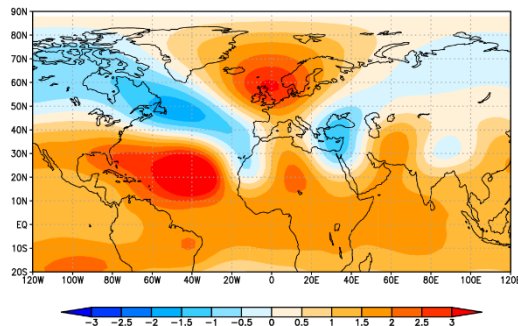


図4 LBM 実験 10月 300 hPa 面。色: ジオポテンシャル高度の偏差[m]