

2010 年猛暑をもたらした北極振動の極性反転の他の年への応用

大富 裕里子 (三重大院・生物資源)・立花 義裕 (三重大院・生物資源/JAMSTEC)
中村 哲 (環境研/極地研/北大)・吉田 聡 (JAMSTEC)

1. 序論

2010 年の夏は、日本を始め、北半球の各地で記録的な猛暑となった。特に、東ヨーロッパや西ロシアでは6月下旬から8月上旬まで、ブロッキング高気圧による非常に暑い夏が記録された (Matsueda¹⁾, 2011)。それとは対照的に、2009/2010 年の冬はユーラシア大陸で寒く、過去 30 年で最も大きい負の北極振動インデックスが記録された (Wang and Chen²⁾, 2010)。Ogi et al.³⁾ (2004) によって初めて定式化された季節の変化を考慮した北極振動 (seasonal variations of the Northern Hemisphere annular mode: SV NAM) インデックスによると、北極振動の負の傾向は2009年12月頃から2010年5月頃まで続き、7月頃に大きく正に反転、その後8月の始めまで正の状態を維持した。また、北極振動の強い負から強い正への急激な反転と、ユーラシア大陸の2009/2010年の寒い冬から2010年の暑い夏への変化はよく一致していた (図1)。従って、夏の北極振動の発達を予測することは、夏の異常な猛暑の理解と予測精度を高めるために非常に重要である。本研究は、Otomi et al.⁴⁾ (2012) に基づいた研究であり、2010年の北極振動が強い負から強い正へ反転した原因を解明し、そのメカニズムを他の年へ応用させ、猛暑を早い段階から予測することを目的とする。

冬の負の北極振動から翌夏の正の北極振動への影響を考えるにあたり、冬の異常な負の北極振動の影響が、熱容量の大きい海に記憶され、それが夏の北極振動に影響を及ぼしたのではないかという仮説を立てた (図2)。

冬に負の北大西洋振動 (North Atlantic Oscillation: NAO) が生じると、北大西洋の海面温度 (sea surface temperature: SST) は、低緯度域・高緯度域で暖かく、中緯度域で冷たい三段構造になる傾向があることが知られている (Rodwell et al.⁵⁾, 1999)。NAOは北大西洋では北極振動と水平構造が似ている

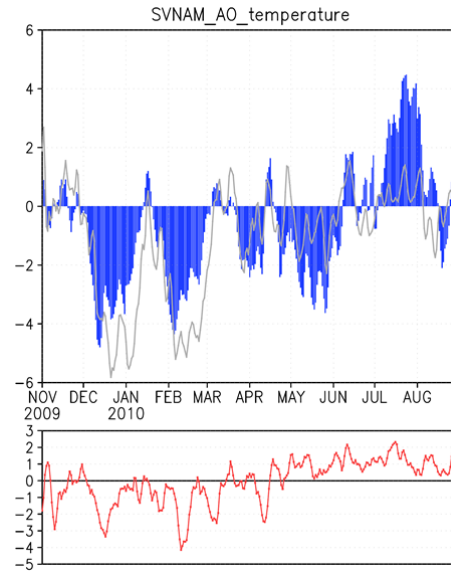


図1 [上段]: 北極振動 (灰色) と SV NAM (青色) の時系列. [下段]: ユーラシア大陸 950hPa 面の平均気温の時系列.

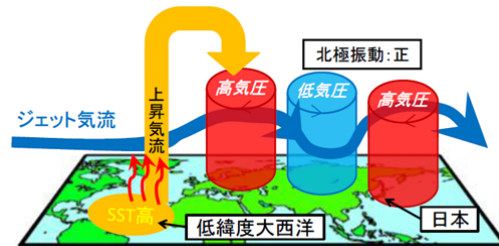


図2 北極振動が反転する仮説.

ため、2009/2010 年の冬の強い負の北極振動も低緯度・高緯度北大西洋の SST を非常に高い状態にさせたと考えられる。海の熱容量は陸面に比べて大きいため、SST が高い状態は季節を超えて長い期間維持される。SST が高い状態が維持されることで、大気は暖められ、大西洋に強い対流活動が生じる。熱帯大西洋の活発な対流活動は中緯度大西洋へ遠隔的に作用することが知られている (Cassou et al.⁶⁾, 2005)。この影響により、ヨーロッパ域で高気圧が形成され、ジェット気流の蛇行が生じる。ジェット気流の蛇行はブロ

ッキング高気圧の形成に寄与し (Tachibana et al.⁷⁾, 2010), 北極振動の“正”の気圧配置が固定される. その結果, 長期間このブロッキング高気圧に覆われた地域は猛暑になったと考えられる.

2. 解析方法

本研究では, 夏の北極振動をとらえやすい SV NAM インデックスを北極振動インデックスとして使用する. 前述で示した仮説を裏付けるため, まず北極振動が連続的に正 ($+2\sigma$ 以上) だった期間の 2010 年 7 月 10 日から 8 月 4 日までの 26 日間 (Positive AO days) の平均の北半球の大気場を解析した. 次に 2009 年 12 月から 2010 年 8 月までの北大西洋域の大気場と海洋場の 9 か月間の推移を見た.

北大西洋 SST からヨーロッパ域の高気圧偏差形成への影響をみるため, 2010 年 7 月の非断熱加熱偏差を与える線形モデル実験を行った.

3. 使用データ

ジオポテンシャル高度, 気温, 風速, 波活動度フラックス (Takaya and Nakamura⁸⁾, 2001), 北極振動インデックスの解析には, NCEP/NCAR reanalysis 1 を使用した.

月平均 SST の解析には NOAA_ERSST_V3 を使用した.

月平均の潜熱・顕熱フラックスの解析には, JRA-25/JCDAS を使用した.

外向き長波放射 (Outgoing longwave radiation: OLR) の解析には, NOAA Interpolated を使用した.

全てのデータで, 1979 年~2010 年の 32 年間のデータを使用した.

4. 結果

4.1. Positive AO days の大気場

Positive AO days の 300hPa 面の平均ジオポテンシャル高度偏差場は, 西ロシア, モンゴル, 東シベリア, 太平洋の北東付近で強い高気圧偏差を示した (図 3). また北極域では強い低気圧偏差を示していた. ジオポテンシャル高度の等高線は大きく蛇行し, ジェット気流の蛇行も見られた. 300hPa 面の波活動度フラックスは, ヨーロッパからアラスカの

南まで緯度線に沿って並んでいる. 波活動度フラックスとは, 定常ロスビー波のエネルギー伝播の指標であり, 定常ロスビー波の伝播があると気圧配置は固定されやすく, そのエネルギー源も特定することができる. 特に西ロシアや東シベリアで強い波活動度フラックスが見られた.

850hPa 面の気温では, 西ロシアや東シベリアで強い高温偏差が見られ, 北極域や中央ロシアでは低温偏差が見られた (図略).

また, 東経 135 度の鉛直断面の東西風速では, 北緯 45 度, 75 度付近で強い西風が見られ, ダブルジェットが存在していたことがわかった (図略).

北大西洋域での OLR 偏差では, アフリカ大陸の北緯 10 度~20 度付近やカリブ海付近で強い負偏差を示した (図 4).

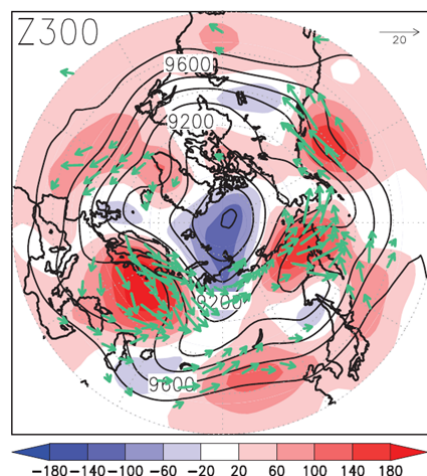


図 3 Positive AO days での 300hPa 面ジオポテンシャル高度. 線: 26 日間平均 (m, 100m 間隔), 色: 平年からの偏差, 矢印: 波活動度フラックス ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$).

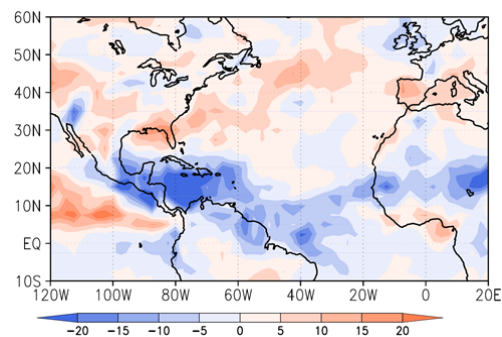


図 4 Positive AO days での OLR の平年からの偏差 (W m^{-2}).

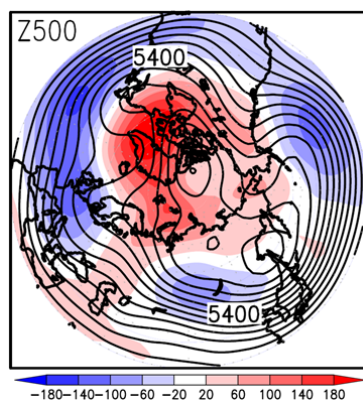


図 5 2009/2010 年 冬 (12,1,2 月) の 500hPa 面ジオポテンシャル高度. 線: 3 か月平均 (m, 50m 間隔), 色: 平年からの偏差.

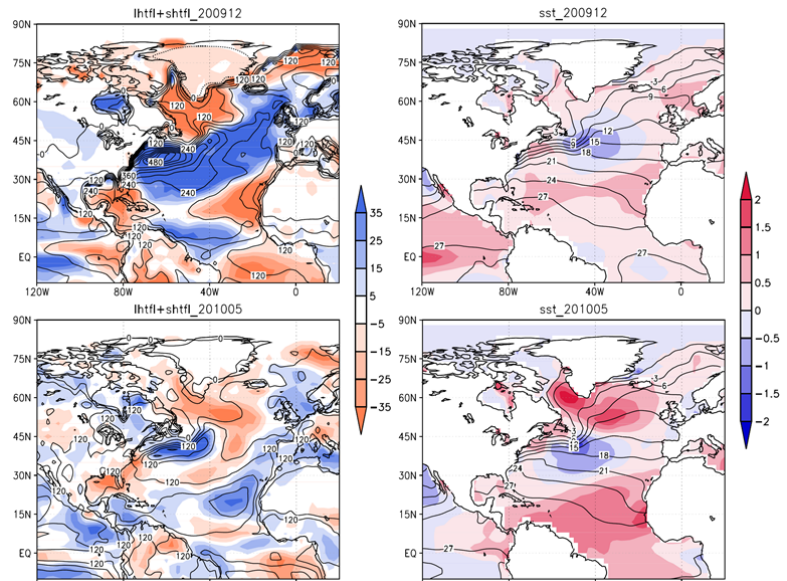


図 6 [左]: 潜熱と顕熱 (W m^{-2}), [右]: SST($^{\circ}\text{C}$). それぞれ, 上段が 12 月, 下段が 5 月, 線: 月平均, 色: 平年からの偏差.

4.2. 冬から夏への海洋・大気の変動

2009/2010 年の冬の 500hPa 面のジオポテンシャル高度偏差は北大西洋で南北にコントラストが強く, NAO の負のパターンを示した (図 5).

同じ時期の北大西洋 SST は, 低緯度と高緯度で高温偏差, 中緯度で低温偏差を示した. この状態は 8 月まで続いていた. 冬の潜熱・顕熱フラックスは, 低緯度と高緯度で海を暖める下向きフラックス偏差, 中緯度で海を冷やす上向きフラックス偏差を示した (図 6). この状態は 2010 年 4 月まで続いたが, 5 月からは低緯度のフラックス偏差が上向きに変わった. この上向き偏差は徐々に西へ移動したが, 8 月まで持続していた.

2010 年 7 月の非断熱加熱偏差を与えた線形モデル実験では, 北大西洋域に熱を与えた場合, ヨーロッパ, 西ロシアに高気圧偏差が現れた (図 7). しかし, ユーラシア大陸域に熱を与えた場合では, ヨーロッパ域での高気圧偏差は現れなかった (図略).

5. 考察

2009/2010 年冬の北大西洋上空では強い負の NAO が存在し (図 5), 潜熱・顕熱フラックス偏差は北大西洋高緯度と低緯度で強い下向きフラックス偏差を示していた (図 6).

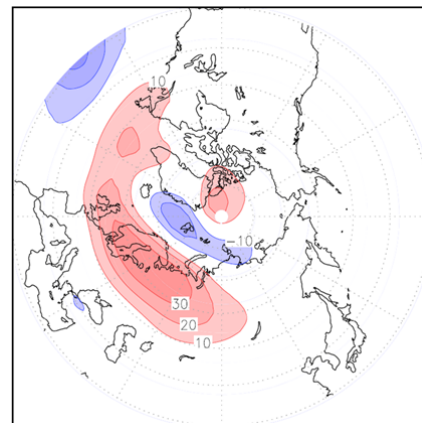


図 7 北大西洋のみの 2010 年 7 月の非断熱加熱偏差を与えた線形モデルの実験結果 (300hPa 面のジオポテンシャル高度偏差).

これは冬の異常な北極振動負が北大西洋の SST を非常に暖めていたことを示す. 高緯度の潜熱・顕熱フラックス偏差が 5 月から上向きになったことから, 5 月からは海が大気を暖め始めていた. この状態は 8 月まで維持されていた. 北大西洋の低緯度では OLR 負偏差が強く (図 4), 対流活動が活発であったことを示している. また北大西洋域に熱を与えた線形モデル実験ではヨーロッパ付近に高気圧偏差が形成された (図 7). それゆえ, この北大西洋の熱源がヨーロッパ付近の高気圧偏差をもたらしたと考えられる. こうして

形成されたヨーロッパの高気圧偏差がロスビー波を東へと伝播させ (図 3), ブロッキング高気圧の形成を導いたと考えられる. これらの影響により, 正の北極振動の気圧配置が長い間維持され, 高気圧に長く覆われたヨーロッパや西ロシア, 日本では猛暑になったと考えられる. 以上の結果から, 「冬の強い負の北極振動の影響が北大西洋の SST に蓄積され, 夏の強い正の北極振動に影響を与えていた」という一連のプロセスを説明することができた.

6. 今後の課題

実際の地球上では様々な要因が相互作用することで気象・海洋変動が決定している. そのためヨーロッパの高気圧偏差形成に北大西洋の SST が主要な要因として影響しているのか確認する必要がある. そのために大気大循環モデル (Atmospheric General Circulation Model: AGCM) を用いて, 大西洋の SST を変化させ, 大気がどのように変化するかを実験することを計画している. 12~7 月の北極振動と SST との回帰図 (図 8) を見ると, 2010 年の SST とよく似たパターンが現れている. 図 8 の正と負の境目を参考にして, SST を変える領域を決める予定である. SST を変える期間は猛暑だった 7 から 8 月を予定している.

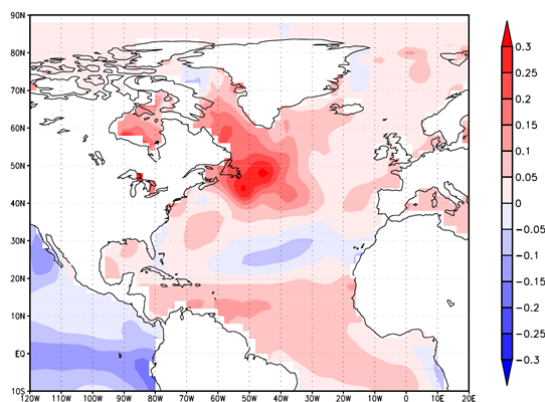


図 8 12~7 月の各月の北極振動と 7 月の SST との回帰を計算し、それを 8 か月平均した図. 12~5 月を北極振動負, 6~7 月を北極振動正として計算した.

引用文献

- 1) Matsueda M. (2011), Predictability of Euro-Russian blocking in summer of 2010, *Geophysical Research Letters*, **38**, L06801, doi: 10.1029/2010GL046557.
- 2) Wang, L. and W. Chen (2009), Downward Arctic Oscillation signal associated with moderate weak stratospheric polar vortex and the cold December 2009, *Geophysical Research Letters*, **37**, L09707, doi: 10.1029/2010GL042659.
- 3) Ogi, M., K. Yamazaki, and Y. Tachibana (2004), The summertime annular mode in the Northern Hemisphere and its linkage to the winter mode, *Journal Geophysical Research*, **109**, D20114, doi: 10.1029/2004JD004514.
- 4) Otomi, Y., Y. Tachibana, and T. Nakamura (2012), A possible cause of the AO polarity reversal from winter to summer in 2010 and its relation to hemispheric extreme summer weather, *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-012-1386-0.
- 5) Rodwell, M. J., D. P. Rowell, and C. K. Folland (1999), Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate, *Nature*, **398**, 320-323.
- 6) Cassou, C., L. Terray, and A. S. Phillips (2005), Tropical Atlantic influence on European heat wave, *Journal of Climate*, **18**, 2805-2811.
- 7) Tachibana, Y., T. Nakamura, H. Komiya, and M. Takahashi (2010), Abrupt evolution of the summer Northern Hemisphere annular mode and its association with blocking, *Journal Geophysical Research*, **115**, D12125, doi: 10.1029/2009JD012894.
- 8) Takaya K. and H. Nakamura (2001), A formulation of a phase-independent wave-activity flux for stationary and migratory quasigeostrophic eddies on a zonally varying basic flow, *Journal of the Atmospheric Sciences*, **58**, 608-627.