

北極振動の増幅と変調は何故 20 世紀末に生じたか？

Why was AO Amplified and Modulated at the end of 20th century?

地球環境気候学研究室 鈴木はるか (513M228) : 指導教員 立花義裕教授

Haruka Suzuki

Keywords : Arctic Oscillation, Amplification, Modulation, Empirical Orthogonal Function

1. 序論

近年、異常気象という言葉を目にする機会が増えた。例として 2005 年 12 月から 2006 年 2 月にかけて日本各地に豪雪をもたらした「平成 18 年豪雪」や 2011 年にアメリカ東部を襲った豪雪などが挙げられる。これらの異常気象との関連が示唆される大気パターンとして、冬季北半球に最も卓越する北極振動 (AO) が挙げられる。Thompson and Wallace(1998)¹⁾は、20°N 以北の月平均海面気圧場の EOF 解析によって得られた変動パターンを、北極振動という言葉を用いて定義した。北極振動は気圧偏差が 60°N を境に南北逆相関を持つ大気の大規模なテレコネクションパターンで、活動中心を北極域・北太平洋域・北大西洋域に持つ変動を示す。北極振動は地球温暖化、北極海の海氷減少、海洋循環や太陽活動周期とも関連があると言われている。日本の気候との関係は、北極振動 index が負の場合には寒冬、正の場合には暖冬と言われている。2000 年頃まで、地球温暖化に伴い北極振動 index は増加傾向にあることが示された(Thompson,2000)²⁾。

北極振動の発生メカニズムについては 1 つの例として、成層圏からの伝播が挙げられる。成層圏循環強度の変動イベントが下部成層圏に伝播し、対流圏での異常な気候レジームを引き起こし、その後 60 日間に亘る北極振動構造の維持が Baldwin and Dunkerton(2001)³⁾で確認された。このように形成された北極振動は成層圏にまで及ぶ背の高い気圧偏差の構造を持つこともある。卒業研究では近年北極振動が増幅しているという事実を発見した。本研究では前述したような成層圏からの伝播による北極振動形成ではなく、温暖化による海面水温の変化という点から議論したい。

2. 使用データ・解析手法

本研究では NCEP/NCAR 再解析データ (Kalnay et al., 1996)⁴⁾のジオポテンシャル高度場、温度場、東西風、南北風と HadISST (Rayner et al., 2003)⁵⁾の海面水温(SST)データの月平均データを 1958 年~2012 年の 55 年分を使用した。

初めに領域を 20°N 以北、対象月を 12 月として、1000hPa 高度場において EOF 解析 (経験的直交関数解析 : Empirical Orthogonal Function analysis) を行った。EOF 解析とは直交条件を持つモードを抽出する解析手法で任意の時系列において最も現れやすいモードを客観的に評価する手法である。気象現象等の複雑な事象を簡便に理解する為に用いられる。最も現れやすいモードを EOF-1 と記す。スコアを算出することで、各年における任意の時系列内で大気パターンがどの程度振動するのかを定量的に判断する。

次に、EOF-1 から活動中心の領域を極域・太平洋域・大西洋域についてそれぞれ特定した。特定したそれぞれの領域について気候値からの偏差を領域平均し 55 年分の時系列を作成した。それぞれの時系列を極域 index,太平洋 index,大西洋 index(まとめて領域 index)とし、相関係数や標準偏差を計算し転調の時期を調べた。再び 1988 年以前 (before) ・ 1989 年以降 (after) に期間を分けて EOF 解析を行い、さらに領域 index を用いてジオポテンシャル高度場との回帰計算を行った。

さらに SST 場の変化が増幅の原因であると仮定し、before 期間と after 期間について比較した。さらに温度場や東西波伝播の指標であるストームトラックについての解析を行った。これは温帯低気圧や移動性の高気圧の活動度が高い領域を評価する指標で、高気圧性擾乱の通り道となりやすく、ストームトラックの北側で東西風が強化される。

3. 結果と考察

3-1. 中緯度の同期

12 月の 55 年間のデータを用いて EOF 解析を行うと第 1 モードに北極振動のパターンが現れるが、期間を分けた EOF 解析を行うと before 期間には第 1 モードは北極振動ではなく、波の構造を持つ。1 月についても同様の結果が見られ、一方で 11 月ではどの期間でも北極振動は卓越しないことが明らかとなった。それぞれの領域 index の比較から、太平洋

と大西洋が 1989 年以降に同期したことでこのような結果になったと言える。

3-2. 中緯度 index

北極振動の増幅,つまり中緯度と高緯度の気圧偏差の極端化を考えるうえで,太平洋と大西洋の同期という観点から議論したい。そこで,単純に太平洋 index と大西洋 index を足し合わせた中緯度 index を作成した。これまでの解析同様,中緯度 index とジオポテンシャル高度場, SST 場, 東西平均ジオポテンシャル場について回帰係数を求め,回帰図を作成した。after 期間においてジオポテンシャル高度場は index を作成した領域と極域にのみ有意な相関が現れる。before 期間では見られなかった成層圏との強い繋がりも確認できた。SST 場に対しては PDO との対応は消え,主に領域を作成した直下のみシグナルが現れる。

3-3. 海面水温の中緯度における温暖化

11月の海面水温の変化が12月の北極振動を増幅させた可能性を考察するため before 期間と after 期間において海面水温の変化を示す(Fig.1)。

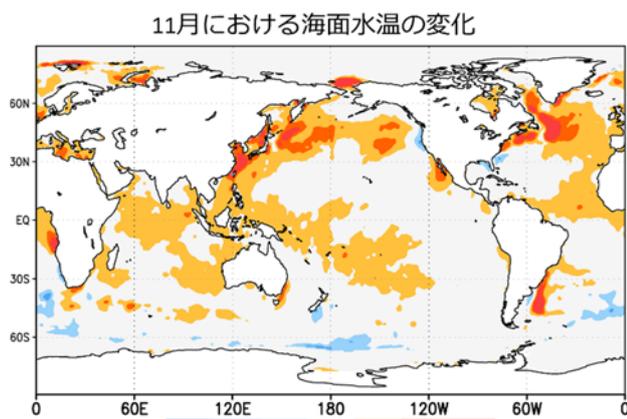


Fig.1 Difference in SST between before period and after period.

北半球 11 月における海面水温は上昇しており,特に日本付近~太平洋,大西洋において 0.6°C 以上の上昇が明らかとなった。この 11 月における海面水温の上昇が太平洋・大西洋上空の大気を温め,東西の波伝播を強化し,翌月の中緯度を同期している可能性が示唆される。

3-4. ストームトラックの変化

次に,12月におけるストームトラックの変化を経度高度断面で示す(Fig.2)。45°N から 55°N までの平均値を計算した。値が大きいほど波の東西伝播強化を指す。太平洋・大西洋上におけるストームトラ

ックが対流圏海面付近で繋がっていることが見て取れ,更に成層圏まで伝播していることが明らかである。

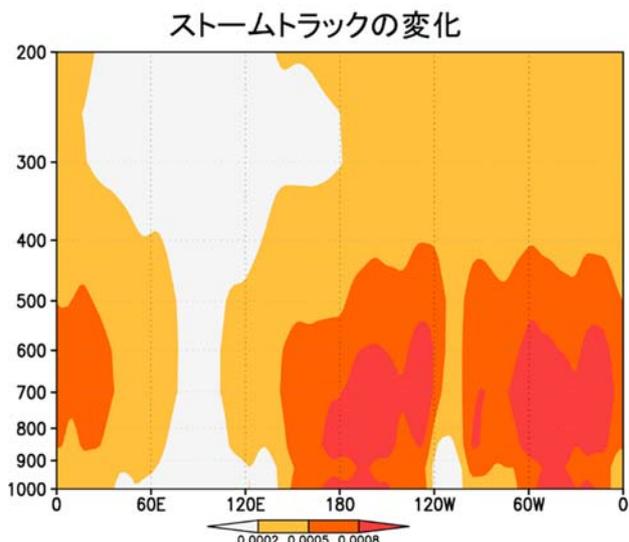


Fig. 2 Difference in storm track between before period and after period.

4. まとめと展望

北半球に最も卓越する大気パターンは 1988 年以前と 1989 年以降で様相や振る舞いが異なることが明らかとなった。以前は 12 月に北極振動の構造を持っていた年は少なく,以降には高頻度になり振幅が大きくなったこと,環状化していることが示された。原因としては中緯度における海面水温の温暖化によって対流圏と成層圏が結合し,太平洋と大西洋が同期したためと考えられる。既往の研究では成層圏からの伝播が北極振動を強めるという議論は数多くなされているが,海面水温が対流圏に与える影響について示唆できた。中緯度の海面水温は数十年規模の振動を持つため,その振幅や位相差が大気大循環を決定付けていることが今後明らかとなれば長期予報や異常気象に対する更なる予測精度の向上が期待できる。

5. 引用文献

- 1) Thompson, D. W. J. and J. M. Wallace, 1998 : The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 1297-1300.
- 2) Thompson, D. W. J. and J. M. Wallace, 2000: Annular modes in the extratropical circulation. Part I : Month-to-month variability. *J. Climate*, **13**, 1000-1016.
- 3) Mark, P. Baldwin. and Timothy, J. Dunkerton 2001: Stratospheric Harbingers of Anomalous Weather Regimes. *Science*, **294**, 581-584.
- 4) KALNAY, Eugenia, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American meteorological Society*, 1996, **77.3**: 437-471.
- 5) RAYNER, N. A., et al. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012)*, 2003, **108**.D14.