

近年の北極振動の増幅と変調は何故生じたか？

鈴木はるか¹⁾、立花義裕¹⁾、山崎孝治^{1),2)}、小寺邦彦^{1),3)}

1)三重大院生物資源、2)北海道大、3)名古屋大

1. 序論

冬季北半球に最も卓越する大気パターンとして、北極振動(AO)が挙げられる。Thompson and Wallace(1998)¹⁾において、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環状テレコネクションパターン(Limpasuvan and Hartmann, 1999)²⁾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。

近年、異常気象という言葉に耳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。また、日本における真冬日の累積地点数は年々増加傾向にあると言われている。北極振動は前述したような異常気象と関連していると考えられ、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)³⁾。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)⁴⁾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。

しかし、北極振動は EOF 解析のような統計的なモードに過ぎないという主張も存在する(Desser, 2000)⁵⁾。このため、本研究では北極振動が統計上のモードではなく実際に存在するモードであるのか、また実在するモードであるならば、何が増幅や変調をもたらしたのか、という疑問について極域・太平洋・大西洋の領域的観点から議論する。

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)⁶⁾のジオポテンシャル高度場、HadISST (Rayner et al., 2003)⁷⁾の海面水温(SST)データの月平均データを 1958 年～2012 年の 55 年分使用した。

初めに北極振動の活動中心を決定するため領域を 20°N 以北、対象月を 12 月として、1000hPa 高度場において EOF 解析を行った。最も現れやすいモードを EOF-1、続いて現れるモードを EOF-2, EOF-3 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変調の時期を調べた。また、同時に変動している場所を特定するため領域 index と全球場の回帰係数を求め、ラグ相関回帰計算を行った。

3. 結果と考察

3-1. 北極振動は実在するモードであるのか？

EOF-1 より 12 月に卓越する大気場は北極振動の構造を持つことが改めて確認された(Fig.1)。統計上の北極振動である可能性を考慮し、以下の条件で新たに北極振動 index を作成した。

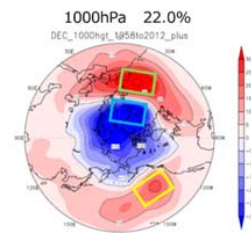


Fig.1 EOF-1 regression map 1958 to 2012 at z1000 (Enclosed areas in square : Activity center)

極域 index が正(負), 太平洋・大西洋 index が負(正) のどちらも満たす場合には北極振動が負(正)とみなし, どれか 1 つでも満たさない年は北極振動の構造をしていないとみなす. 振幅を表現するためそれぞれの絶対値の和をとり, 北極振動が正の場合には+, 負の場合には-の符号を付け, 北極振動ではない場合には 0 を与えた (Fig.2).

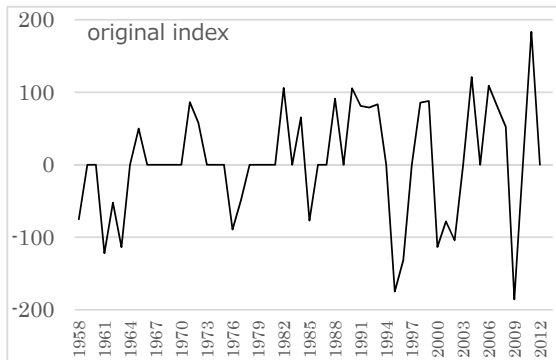


Fig.2 Original AOindex.

新たな北極振動 index では 0 以外の値をとる年が 1988 年までの 31 年間では 13 年, 1989 年以降の 24 年間で 17 年存在することから, 北極振動というモードは実在し, さらに増加・増幅傾向にあることが判明した.

3-2. 変調した年代を特定する

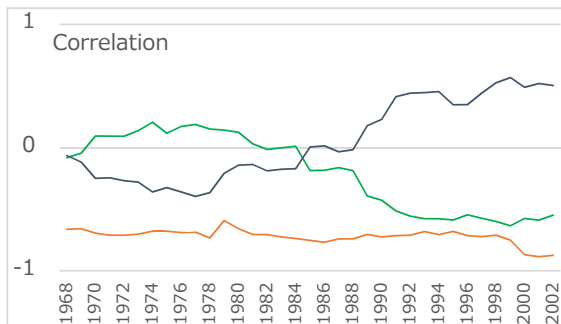


Fig.3 Moving correlation 21year.

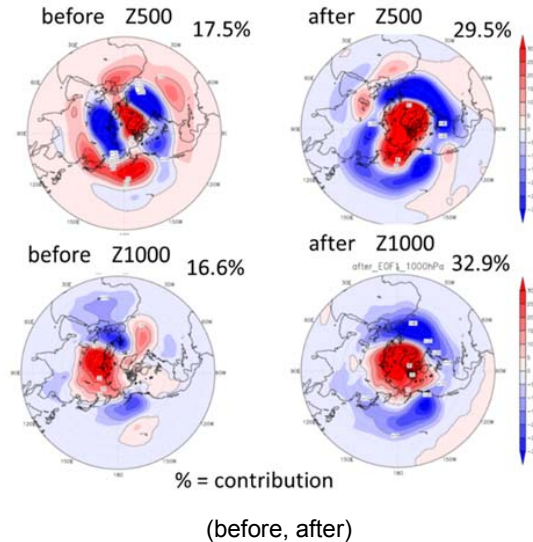
Blue : pacific vs atlantic, Red : arctic vs atlantic,
Green : arctic vs pacific

太平洋 index と大西洋 index の 21 年毎の移動相関係数を計算すると 1988 年を境に正相関へと変移し, 近年ほど相関係数が高い傾向にある(Fig.3).

この変移した 1988 年を基準に 1958-1988 年 (before), 1989-2012 年 (after) と期間を分け

て再び EOF 解析を行うと before では EOF-1, EOF-2, EOF-3 のいずれにも北極振動の構造は見られず, 位相のずれた波構造が現れた. after では EOF-1 に北極振動の構造が見られ, z500 において同様の結果が得られたため, 順圧構造をしていると考えられる(Fig.4).

Fig.4 EOF first mode
for Z500 and Z1000, December.



% = contribution

(before, after)

3-3-1. 同時相関回帰 各領域 index vs Z, SST

各領域 index に対して index と同月である 12 月の全球ジオポテンシャル高度場 Z1000 から Z10 の計 17 層, 全球 SST 場について回帰計算を行った(Fig.5). before 期間と after 期間では活動中心と全球場の関係が異なることが見て取れる. Before 期間では太平洋 index, と全球ジオポテンシャル高度場の回帰図は南北方向の波構造を持ち(Fig.5-1), index 同士の解析結果と同様, 相関は認められない. 一方で after 期間には全ての領域 index との回帰図においても北極振動の構造をとり(Fig.5-5,5-11), 対流圏上部まで繋がりが確認され(Fig.5-4,5-10), 期間を分けた EOF-1 の結果と矛盾しない.

SST 場との関係は before 期間において有意に相関があるが, after 期間では相関がなくなることが明らかとなった. 特にその傾向は大西洋 index で見られる(Fig.5-9,5-12).

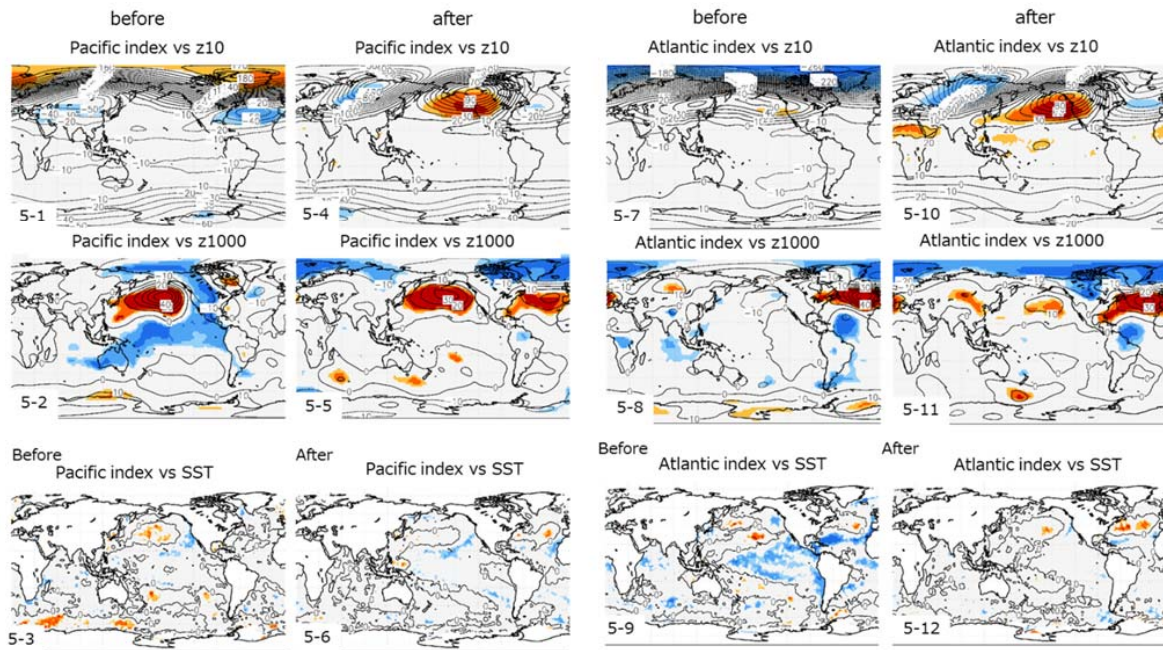


Fig.5 Regression map of areal index and atmospheric field (Z10, Z1000), SST field.

Pacific index : 5-1 to 5-6, Atlantic index : 5-7 to 5-12

Contour : regression, shade : significant

3-3-2. ラグ相関回帰 各領域 index vs Z, SST

before 期間と after 期間で領域 index と全球場の関係が異なり、北極振動が増幅した原因を特定するため、ラグ回帰相関係数を求めた。12月の北極振動の増幅について考慮するため領域 index は12月、全球場は前述した12月に加え、11月・翌年1月について解析を行った。11月の場合と12月の領域 index の回帰係数を求めると、極域・太平洋域・大西洋域全ての index において地上との有意な相関は殆どなく、成層圏に低気圧偏差である極渦が存在する。これは、序論で紹介した成層圏の極渦が対流圏に伝播するという Baldwin and Dunkerton の主張と一致する。

3-3-3. ラグ相関回帰 各領域 index vs 東西平均場

成層圏との繋がりを確認するため、東西平均したジオポテンシャル高度場データを作成し、これまでと同様に同時相関回帰・ラグ相関回帰を求めた。いずれの領域においても before 期間と after 期間では異なる振る舞いを見ることが取れる。特に太平洋 index との回帰では、before 期間には11月の東西平均場と領域では有意な相関が全く見られず、一方 after 期間で

は高緯度に成層圏から繋がるシグナルが確認された(Fig.6)。大西洋 index との回帰図に関しても、どの月も before 期間と比較して after 期間の方が高緯度域にシグナルが確認された。

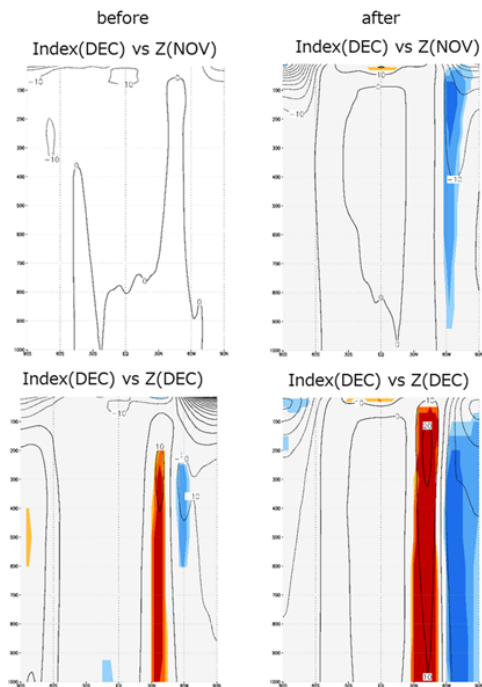


Fig.6 Lag Regression zonal mean geopotential height and pacific index.

3-3-4. 中緯度 index

前章で index はそれぞれの領域ごとの平均であったが、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 index を作成したものを中緯度 index と呼ぶ。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(Fig.7)。before 期間においてジオポテンシャル高度場は index を作成している太平洋・大西洋上に加えて熱帯上に有意な相関が見られた。成層圏との繋がりは全く存在しないと言える。SST 場に対しては太平洋十年規模振動との対応が明瞭に現れた。

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にシグナルが現れる。

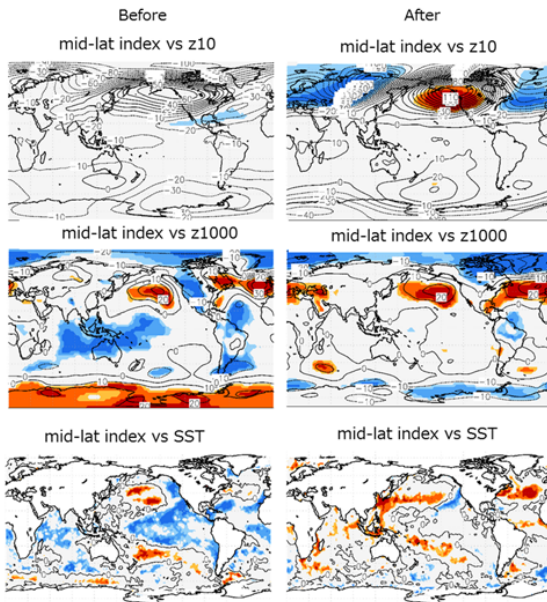


Fig.7 Regression map mid-latitude index and geopotential field(Z10, Z1000), SST field.

3-4. SST 場の EOF 解析

12 月の SST 場における主要モードの変化を確認するため、SST 場に対して EOF 解析を行った。EOF 解析の性質上、熱帯域を計算領域に含めると純粋な変動場の考察が困難となるため、計算対象域を 35°N-50°N, 0°E-360°E とした。before 期間では 20.2%であった寄与率が after では 22.9%と大幅に増加した(Fig.8)。

また、EOF-2 の様相が全く異なることが確認された。before 期間では太平洋・大西洋共に波形構造が見られた。before 期間における太平洋 index と大気場の回帰図に存在する南北の波構造が SST によって形成されていた可能性を示唆すると考える。

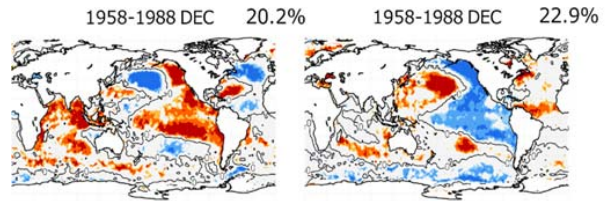


Fig.8 SST EOF-1, EOF-2 regression map (before, after)

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。原因としては太平洋と大西洋の同期が考えられる(Fig.4)。相関回帰計算から 11 月の成層圏極渦シグナルの対流圏伝播が増えた可能性が挙げられる(Fig.6,7,8)。1988 年以前には熱帯域との応答が強く現れていたが、1989 年以降には成層圏との応答へ変化していると考えられる(Fig.8)。

12 月以外の月に関してもジオポテンシャル高度場の EOF-1 パターンは変化しているが、北極振動の増幅は 12 月に顕著に現れる。今後は他の月との関連を追究したい。

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) Limpasuvan, V. and D. L. Hartmann, 1999: Eddies and the annular modes of climate variability, *Geophys. Res. Lett.*, in press
- 3) 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.
- 4) Mark, P. Baldwin. and Timothy, J. Dunkerton 2001: Stratospheric Harbingers of Anomalous Weather Regimes. *Science*, **294**, 581-584.
- 5) Deser, C. (2000). On the teleconnectivity of the "Arctic Oscillation". *Geophysical Research Letters*, **27**(6), 779-782.
- 6) KALNAY, Eugenia, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American meteorological Society*, 1996, **77**.3: 437-471.
- 7) 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