

5. 北極振動と日本の夏

山崎 孝治*・小木 雅世**・立花 義裕***

1. はじめに

北極振動 (Arctic Oscillation : AO) または北半球環状モード (Northern Hemisphere annular mode : NAM) は、北半球冬季に卓越する大気変動であり、北極域と中緯度域の海面気圧のシーソー的変動モードである (Thompson and Wallace, 1998, 2000, 以下 TW1998, TW2000). 大西洋域では北大西洋振動 (North Atlantic Oscillation : NAO) とほとんど同じである. NAO や NAM が冬季の北半球大気循環に大きな影響を与えることは良く知られている (Hurrell, 1995 ; Xie *et al.*, 1999). NAO/AO が正の位相の時は、ユーラシアで地表気温が高くなる. 日本でも NAO/AO が正の時に暖冬になる傾向がある. また、冬の NAO/AO には正のトレンドがあり近年のシベリアの温暖化と密接に関係している (Thompson *et al.*, 2000). しかし冬の NAO/AO がその後の春や夏の大気循環にどのような影響を与えるかという点についてはほとんど調べられていなかったが、最近、Ogi *et al.* (2003a, 2003b) は冬の NAO は夏の北半球高緯度の大気循環と相関があることを示した. 日本付近では1月の NAO/AO と6月のオホーツク海高気圧との間に正の相関がある (Ogi *et al.*, 2004a). この冬の NAO と関係する夏の500 hPa 高度パターンは北極を中心とした環状パターンとなる. しかし冬の NAM よりは南北スケールが小さく、こじんまりしている. この夏の環状シグナルは夏の環状モードではないかと考えたのが当研究の動機である.

TW2000では環状モードを抽出するために北半球 (20°N 以北, 1000-50 hPa) の月平均帯状平均高度場の

主成分分析を一年通して行い、その第1モードは TW1998で示した冬季の海面気圧場の第1モード、即ち AO とほとんど同じ構造であり、NAM は一年中存在することを示した. すべての月を含んだ解析であっても高度場の変動は冬に大きいので、TW2000の第1モードは冬に卓越するモードを見ていると考えられる. TW2000の方法では第1モードは年を通じて1つであるが、各年各月の偏差場を固有モードに射影することにより、各年各月の AO index が求まる. TW2000では、この AO index に大気場を回帰することにより AO/NAM の季節変化を調べており、夏にはやや南北スケールが小さくなることを示している. この方法は簡単ではあるが忠実に NAM の季節変化を表現しているとは言えない. そこで本研究では各月ごとに帯状平均高度場の主成分分析を行い、得られた第1モードの季節変化を調べることとした.

2. データと主成分分析

大気の日データとしては45年間 (1958~2002年) の NCEP/NCAR 再解析データを用いた.

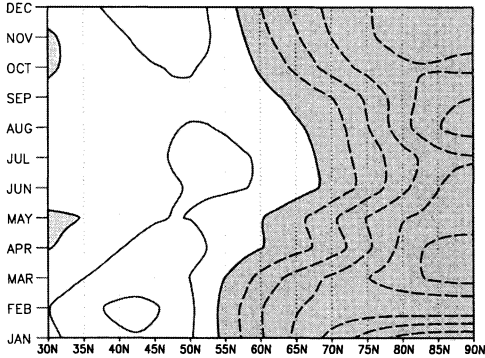
前節で述べたように、より忠実に NAM の季節変化を見るために北半球中高緯度対流圏の帯状平均高度場 (40°N 以北, 1000~200 hPa) の主成分分析を各月ごとに行った. TW2000では下部成層圏も含めているが、当研究では NAM が対流圏に限られている夏季も扱うので対流圏に限ることとした. 主成分分析の結果、どの月も北極域と中緯度のシーソーパターンが第1モードとなった. これを各月の NAM とした. 以後、これを季節変化する NAM (Seasonally Varying NAM : SV-NAM) ということにする. なお、TW2000と同じく 20°N 以北で主成分分析を行うと、夏の第1モードは領域で一様な符号のモードとなり、シーソーモードは第2モードとなる. 第2モードは第1モードと直交するという制約のために歪むことがあるので、シーソー

* 北海道大学大学院地球環境科学研究科.

** 地球環境フロンティア研究センター.

*** 東海大学総合教育センター・地球環境観測研究センター.

© 2005 日本気象学会



第1図 SV-NAMの季節変化。带状平均500 hPa高度場のSV-NAM indexからの回帰係数を示す。等値線間隔は10 m。負領域に影。

モードが第1モードとなることが望ましく、当研究では40°N以北の領域とした。また寄与率に関しては、冬のNAMは50%以上あるが、夏は30~50%と低くなる(TW2000では45%)。夏のNAMは冬のNAMに比べるとそれほど卓越性は高くなく、主に高緯度で卓越するといえる。

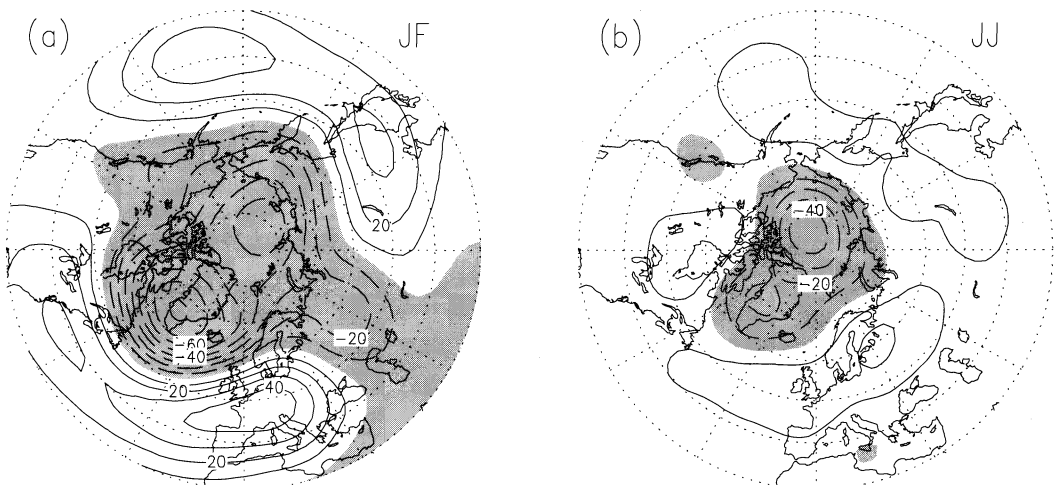
3. 季節変化する北半球環状モード (SV-NAM)

第1図はSV-NAM indexから带状平均500 hPa高度への回帰図である。冬は55°Nに節(ゼロ線)があるが、夏には節は65°N、中緯度の腹が50°N付近となり、

大きな季節変化を示す。夏のSV-NAMは冬に比べて南北スケールが小さくなることが確認された。SV-NAM indexとAO indexの相関を各月ごとに計算してみると、12月から3月までは0.9以上の高い相関を示し、SV-NAMはAOと同じとよいが、夏、特に6月と7月は0.7、0.72と低い相関しか示さない。夏に関しては、SV-NAMはAOと似てはいるが異なるというべきであろう。

次に水平パターンを見るために、冬(1, 2月)のSV-NAMの500 hPa高度場と対応する夏(6, 7月)の場を第2図に示す。この図は各月のSV-NAM indexに対する回帰係数の平均を示してある。冬はおなじみのAOのパターンを示し、北極域の負の中心はアイスランド低気圧のやや西のグリーンランド南端にあり、弱い中心が北極海にある。夏は負の中心は北極海にあり負領域の南への広がり小さい。冬にユーラシア中部にあった負領域は夏には正領域となっている。極東では冬には華北から北日本を中心とした正領域があるが、夏はオホーツク海北部に移る。冬も夏もパターンはほぼ順圧的で海面気圧のパターンも500 hPa高度と同じである。この図から、SV-NAMが正のとき、冬は日本付近で高圧偏差となり暖冬になりやすく、夏はオホーツク海高気圧が発達しやすいことがわかる。

冬のAO indexには1960年代後半から顕著な正のトレンドがあることが知られている。他方、夏は8月に



第2図 (a) 冬(1, 2月)と(b)夏(6, 7月)のSV-NAMの水平構造。SV-NAM indexから冬(a)と夏(b)の500 hPa高度場への回帰係数を示す。等値線間隔は10 m。負の領域に影。ただし、ゼロの線は省略。

第1表 SV-NAM index の線形トレンド (1958-2002年) Index は標準偏差で規格化したもの。単位は/10年。*は95%で有意, **は99%で有意を示す。

| 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|------|-------|------|-------|------|--------|--------|--------|------|-------|-------|------|
| 0.22 | 0.28* | 0.07 | -0.00 | 0.00 | 0.33** | 0.32** | 0.43** | 0.07 | -0.08 | -0.00 | 0.07 |

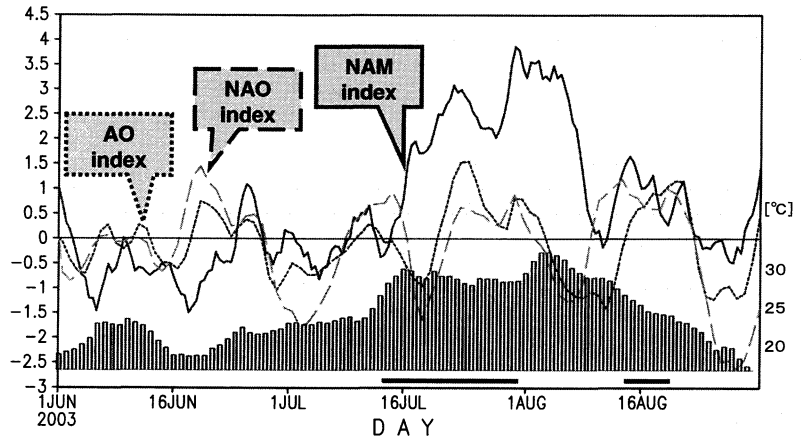
90%で有意な正のトレンドがあるのみである (Thompson *et al.*, 2000). SV-NAM index のトレンドを調べてみると, 6月から8月まで99%で有意な顕著な正のトレンドがあることがわかった(第1表). 6~8月平均では, 1958~2002年の45年間のトレンドは0.36/10年に達する. Index は標準偏差で規格化したものである, 45年間で標準偏差の1.6倍増加したことになる.

4. 2003年の夏の異常気象

2003年の夏, 日本では10年来の冷夏であった. 一方, ヨーロッパでは記録的な猛暑になり干ばつや森林火災などが多発し, 異常な状態は半球規模に及んでいた. ここでは2003年の夏のSV-NAM index を調べる. 2003年のデータには気象庁提供のGPV データを使用した. 気候値はNCEPの再解析データ(1958~2002年)を使用し, [GPV-NCEP気候値]で日々の偏差を求めた. 6, 7, 8月の固有ベクトルの平均に日々の偏差場を射影して日々のSV-NAM index を計算した. AO index と NAO index はCPCのホームページのデータを使用した.

第3図に2003年夏のSV-NAM index の時系列を示す. 6月から7月上旬までは負かほぼゼロ付近であった. しかし7月中旬~8月上旬にかけてSV-NAMが突如として異常な正偏差となり, 標準偏差の2倍を越える状態が約半月以上持続した. 一方, AO と NAO index には異常は見られず, 2003年の異常気象はAO/NAOでは表現できない.

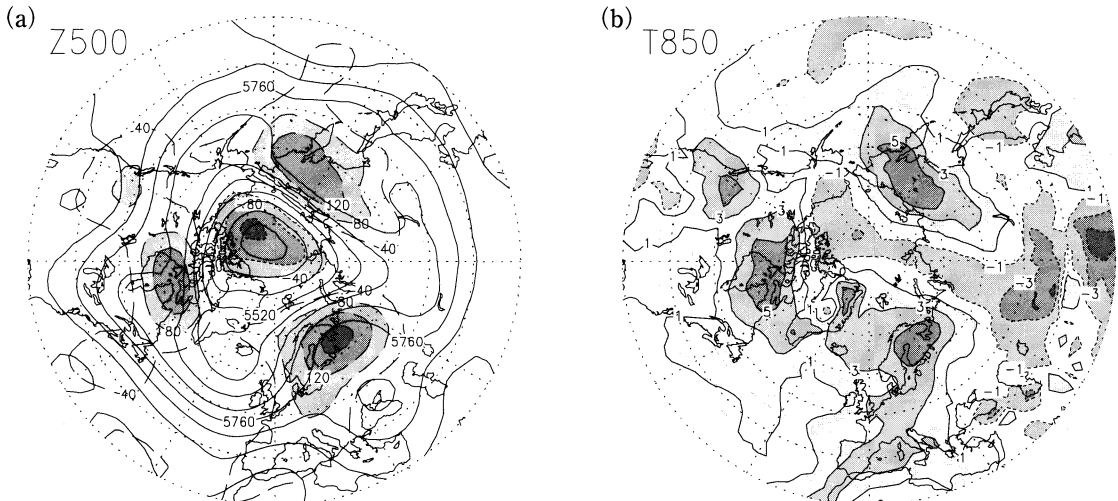
この時期(7/17~8/6)の平均500 hPa 高度パターン(第4図a)は, 極で高度が下がり, 中緯度, 特にヨーロッパ, オホーツク海北部, アメリカ大陸北部の大陸上で高度が高い. 同じ時期の850 hPa 温度場をみると



第3図 2003年夏の毎日のSV-NAM index (実線), AO index (点線)及びNAO index (破線). 下の棒グラフは, ヨーロッパ5都市(パリ, モスクワ, ヘルシンキ, ワルシャワ, ウィーン)の最高気温の平均. 棒グラフの下の横棒は東京での最高気温が平年より3°C低かった期間. 気温はいずれも5日移動平均. Ogi *et al.* (2005) のFig.1を改変.

(第4図b), 中緯度側の高温偏差地域は, 高度偏差が高い所に対応している. これらのパターンは夏季に卓越する環状モード(SV-NAM)に非常によく一致する. つまり, 2003年夏季にはSV-NAMが卓越したことが世界的な異常気象をもたらしたと考えられる. なお, オホーツク海北部の大きな正偏差が下層のオホーツク海高気圧の発達をもたらした, 日本の冷夏にも寄与したと考えられる. オホーツク海高気圧については中村氏の報告を参照されたい.

同時にこの時期に帯状平均東西風に顕著なダブルジェット構造が見られた. ダブルジェット構造への遷移はEP flux でみると, 6月から7月上旬まで50~70°Nで上向き極向きに向かっていたフラックスが7月中旬に赤道向きに向きを変え, 70°Nの西風を加速し, 55~60°Nの西風を減速したことによって生じた. SV-NAMが正であった7月中旬~8月上旬の間, このEP fluxのパターンが持続した. 8月10日頃にSV-NAMが急速に低下したときは, EP fluxは再び極向きとなり70°Nの西風を減速した. ダブルジェットについては前田氏の報告を参照されたい.



第4図 (a) 2003年7月17日～8月6日の期間平均の500 hPa 高度場 (実線: 等値線間隔は60 m) と気候値からの偏差 (負偏差は点線, 正偏差は破線: 等値線間隔は40 m, ゼロ線は省略). 偏差の絶対値が40 m以上の領域に陰影. (b) 同期間の850 hPa 気温の偏差. 実線は正偏差, 点線は負偏差. 偏差の絶対値が1, 3, 5Kの等値線を示す. 偏差の絶対値が1K以上の領域に陰影. Ogi *et al.* (2005) の Fig. 2を改変.

5. まとめ

2003年夏(7, 8月)の北半球の異常気象は主に夏のSV-NAMが大きな正であったことの反映である.

夏のSV-NAM indexは顕著な正のトレンドがあり, これが地球温暖化のためであり, このまま正のトレンドが続くとすれば, 2003年のようなヨーロッパの夏の猛暑も将来は普通に起こるかもしれない, 日本ではオホーツク海高気圧が発達傾向となり梅雨前線は活発となり, 温暖化が進んでも時々北日本を中心に冷夏が起こる可能性がある.

なお, 本研究の詳細はOgi *et al.* (2004b, 2005)を参照されたい.

参考文献

- Hurrell, J. W., 1995: Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation, *Science*, **269**, 676-679.
- Ogi, M., Y. Tachibana, and K. Yamazaki, 2003a: Impact of the wintertime North Atlantic Oscillation (NAO) on the summertime atmospheric circulation, *Geophys. Res. Lett.*, **30**(13), 1704, doi: 10.1029/2003GL017280.
- Ogi, M., K. Yamazaki, and Y. Tachibana, 2003b: Solar cycle modulation of the seasonal linkage of the North Atlantic Oscillation (NAO), *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 2170, doi: 10.1029/2003GL018545.
- Ogi, M., Y. Tachibana, and K. Yamazaki, 2004a: The connectivity of the winter North Atlantic Oscillation (NAO) and the summer Okhotsk high, *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 905-913.
- Ogi, M., K. Yamazaki, and Y. Tachibana, 2004b: The summertime annular mode in the Northern Hemisphere and its linkage to the winter mode, *J. Geophys. Res.*, **109**, D20114, doi: 10.1029/2004JD004514.
- Ogi, M., K. Yamazaki, and Y. Tachibana, 2005: The summer northern annular mode and abnormal summer weather in 2003, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L04706, doi: 10.1029/2004GL021528.
- 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.
- 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.
- Thompson, D. W. J., J. M. Wallace, and G. C. Hegerl, 2000: Annular modes in the extratropical circulation. Part II: Trends, *J. Climate*, **13**, 1018-1036.
- Xie, S.-P., H. Noguchi, and Matsumura, 1999: A hemispheric-scale quasi-decadal oscillation and its signature in northern Japan, *J. Meteor. Soc. Japan*, **77**, 573-582.