

冬季北大西洋振動 (NAO) の夏季大気循環への影響と太陽周期による変動

大気海洋圏環境科学専攻 気候モデリング講座
博士課程3年 小木 雅世 (指導教官: 山崎 孝治)

冬季 NAO と夏季大気循環の関係を調べた。冬季 NAO が正の時、北極域で高度が下がり、中緯度で高度が上がる。冬季 NAO が春季や夏季の海氷や積雪に影響し、夏季大気へ影響を及ぼす可能性がある。また、冬季 NAO を太陽活動の活発・不活発な時に分けると、太陽活動の活発な時ほど上記で得られた冬季 NAO と夏季の変動との関係が顕著に現れる。

1. はじめに

冬季北半球に卓越する変動である北大西洋振動 (NAO) には、数十年の長周期変動があり、冬季 NAO の現象と冬季の大気 - 海洋循環の関係については多くの研究結果が存在する。しかし、冬季 NAO の変動と夏季の大気 - 海洋循環の関連性を明らかにした研究はほとんどない。NAO が長周期変動をしているならば、冬季ばかりではなく夏季の大気 - 海洋変動と関係があってもおかしくはない。また、近年 NAO は正のトレンドがあり地球温暖化と関係がある可能性があるため、冬季 NAO と夏季大気循環との関連の解明は、温暖化した場合の夏季の気候予測も可能にする。そこで、本研究の目的は、冬季 NAO が夏季の大気 - 海洋変動と関係があるのかを調べること、さらには、どのような過程を通じて関連するのかを検証することである。

Kodera (2002^[1]、2003^[2]) は、冬季北半球に卓越する変動である北大西洋振動 (NAO) を、太陽活動の 11 年周期の極大期 (Smax) と極小期 (Smin) にわけて地上気圧との年々変動の相関をとると、明らかにパターンが違ふことを示した。この結果から、冬季 NAO と夏季大気大循環の関連性の強弱も太陽活動の強弱と関係がある可能性が示唆される。そこで、さらに、冬季 NAO を太陽活動の活発な時と不活発な時にわけて夏季大気大循環との連関性の解析を行った。

2. 使用データ

本研究では、大気データは NCEP/NCAR 再解析データ (58 - 01 年) (Kalnay et al. 1996^[3]、Kistler et al. 2001^[4]) を用いた。海面水温と海氷密度データは、GISST2.3b (58 - 01 年) を用いた。積雪データについては、NOAA-NESDIS Weekly Northern Hemisphere Snow Charts (71 - 95 年) (Robinson et al. 1993^[5]) を用いた。冬季 (DJF) NAO index (58 - 01 年) は Hurrell (1995^[6]) によるアゾレスとアイスランドの海面気圧の差から求めたものを使用した。太陽活動の指標は、冬季 (DJF) 10.7 cm の太陽電波フラックスを用いた。

3. 冬季の NAO が夏季の大気循環に与える影響

図 1 に冬季 NAO と zonal mean をした 500hPa 高度場とのラグ相関図を示す。1-2 月、つまり同時相関には、中緯度と高緯度のシーソーパターンがみえるが、3 月になると弱くなる。しかしながら、春季から夏季にかけての中緯度の相関が高くなる。この結果は、冬季 NAO と春季から夏季にかけての大気循環と関係があることを示している。さらに、冬季 NAO とそれに続く春季から夏季の海面気圧 (SLP)、500hPa 高度場、850hPa 気温場との相関・回帰図である。春季の SLP と 500hPa 高度場をみると、北大西洋域にシーソーパターンがある。さらに、気温場をみると、ユーラシア大陸を覆うように正相関が広がっている。さらに、冬季 NAO と夏季の大気循環をみると、極に負、中緯度に正という変動が見られる。つまり、冬季の NAO が正であれば、北極域で高度が下がり、中緯度で高度が上がる傾向にあることがわかる。特に中緯度の正偏差は顕著であり、オホーツク海北部については、夏季のみに現れるオホーツク海高気圧が冬季の NAO と関係があることを示唆している。気温場をみても、500hPa 高度場と同じ場所に変動がある。この現象は、他の高度及び気温の変動も同様で、順圧的なパターンを示す。したがって、冬季の NAO は夏季の大気循環にも影響を及ぼすことがわかった。

大気循環が冬季から夏季にかけて持続することは考えにくく、NAO にも冬季と夏季には自己相関がないことから、大気以外の長期記憶をもつ過程によって冬季から夏季へ影響を及ぼしていると考えられる。そこで、冬季の NAO と春季から夏季にかけての海氷、SST、積雪の関係を調べてみた (図 2)。そ

の結果、NAO が正であると、春季から夏季にかけて北極域の海氷や中緯度の積雪が少なくなることがわかった。この関係から、冬季の NAO の変動は、冬季の海氷や積雪に影響し、その変動が春季から夏季にかけて海氷や積雪に持続され、夏季の大気循環に影響を及ぼす可能性があることがわかった。特に、積雪は融解後も土壌水分の変化を通して夏季の大気に影響を与える可能性がある。Yasunari et al. (1991^[7])は、AGCM による数値実験で、ユーラシア大陸の春季の積雪が夏季の大気に及ぼす影響について調べており、その結果は、本研究結果と一致する。

4. 太陽周期による変動

太陽活動の活発な年 (Smax) と不活発な年 (Smin) にわけて、冬季の NAO と帯状平均 500hPa 高度場のラグ相関を行った結果をみると、Smax の時は冬季の中緯度と高緯度の相関が顕著であり、さらに中緯度の正相関が夏季まで持続していることがわかる。しかし、Smin の時は冬季の高緯度と春季の中緯度の負相関だけで持続性がない。つまり、冬季の NAO は Smax の時、シーソーパターンが顕著であり、さらに冬季 NAO のシグナルが夏季まで影響を及ぼすことがわかった。

図 3 に Smax と Smin でわけた、冬季 NAO と冬季から夏季にかけての 500hPa 高度場との相関図を示す。同時相関をみると、Smax の時 (図 3 a) は、北半球を覆うようなシーソーパターンがみえるが、Smin の時 (図 3 b) は、大西洋のみのパターンであることがわかる。さらに、冬季 NAO と春季の高度場をみると、Smax (図 3 c) では、冬季と同じようなシーソーパターンがみえているが、Smin (図 3 d) では、冬季と同じような変動は残っていない。さらに、冬季 NAO と夏季の大気パターンをみると、Smax (図 3 e) では極と中緯度のシーソーパターンが強くでているが、Smin (図 3 f) では、変動がほとんど残っていないことがわかる。

次に、冬季 NAO と冬季から夏季にかけての帯状平均をした東西風との相関を図 4 に示す。同時相関では、Smax (図 4 a) では、30 度付近では負相関で、60 度付近では正相関であり、この変動が成層圏まで続いていることがわかるが、Smin (図 4 b) では、シーソーパターンが対流圏までしか続いていることがわかる。さらに、冬季 NAO と春季の東西風の関係をみると、Smax (図 4 c) では冬季のシーソーパターンが極にシフトしながら残っているが、Smin (図 4 d) ではあまり変動が残っていない。さらに、下記の変動をみると、Smax (図 4 e) では高緯度に顕著な正相関が現れているが、Smin (図 4 f) では変動が残っていないことがわかる。

さらに、Smax と Smin に分けて冬季の NAO と春季の海氷、SST、積雪の関係を調べた。その結果、Smax の時は Smin と比べて、ユーラシア大陸の積雪や北極域の海氷がより少なくなることがわかった。この関係から、冬季の NAO の変動は、Smax の時の方が広範囲の冬季の大気循環に影響を及ぼし、その影響が積雪や海氷に影響することで、その変動が持続され、夏季の大気循環に影響を及ぼす可能性があることが示唆される。太陽活動の影響がオゾン加熱により成層圏に影響を及ぼすということはすでに知られており (たとえば、Hood 1997^[8])、さらに、成層圏の影響が対流圏に影響を及ぼすという過去の研究も存在する (Baldwin and Dunkerton, 2001^[9])。本研究の図 4 a と図 4 b を比較すると、太陽活動が活発な時 (図 4 a) は、成層圏と対流圏がつながっている変動を示しているが、不活発な時 (図 4 b) は対流圏のみの変動であることから、太陽活動が活発な時は不活発な時に比べて、成層圏により影響を及ぼし、対流圏まで影響を及ぼすことは十分考えられる。

5. まとめ

冬季北大西洋振動 (NAO) と夏季の北半球高緯度における大気循環との関係を調べた結果、有意な相関があることがわかった。それは、冬季の NAO が正だった場合、夏季の北極海の高度場が負となり、中緯度地域は正になる。さらに、この関係は、ユーラシア大陸の積雪などが冬季から夏季へのメモリーを残している可能性があることがわかった。

さらに、これらの関係は、太陽活動が活発な時にはよりはっきりしており、不活発な時には有意な関係がみられないことがわかった。これは、太陽活動が活発な時ほど、成層圏と対流圏がつながっており、成層圏の影響が対流圏に伝わる可能性があることが示唆される。

6. 参考文献

[1] Kodera K., Solar cycle modulation of the North Atlantic Oscillation: Implication in the spatial structure of the

- NAO. *Geophys. Res. Lett.*, 29(8), 1218, doi:10.1029/2001GL014557, 2002.
- [2] Kodera K., Solar influence on the spatial structure of the NAO during the winter 1900-1999. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1175, doi:10.1029/2002GL016584, 2003.
- [3] Kalnay, E., M. Kanamitsu, and co-authors, The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471, 1996.
- [4] Kistler R, E. Kalnay, and co-authors, The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82(2), 247-267, 2001.
- [5] Robinson, D. A., K. F. Dewey, and R. R. Heim, Jr., Global snow cover monitoring: an update. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 74, 1689-1696, 1993.
- [6] Hurrell, J. W., Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676-679, 1995.
- [7] Yasunari, T., A. Kitoh, and T. Tokioka, Local and remote responses to excessive snow mass over Eurasia appearing in the northern spring and summer climstudy with the MRI • GCM. *J. Meteor. Soc. Japan*, 69, 473-487, 1991.
- [8] Hood, L. L., The solar cycle variation of total ozone: Dynamical forcing in the lower stratosphere. *J. Geophys. Res.*, 102, 1355-1370, 1997.
- [9] Baldwin M.P and T.J. Dunkerton, Stratospheric harbingers of anomalous weather regimes. *Science*, 294, 581-584, 2001.

7 . 論文・学会発表リスト

論文

- [1] Ogi, M., Y. Tachibana and K. Yamazaki., Impact of the wintertime North Atlantic Oscillation (NAO) on the summertime atmospheric circulation, *Geophys. Res. Lett.*, 30(13), 1704, doi:10.1029/2003GL017280, 2003a.
- [2] Ogi, M., K. Yamazaki, and Y. Tachibana, Solar cycle modulation of the seasonal linkage of the North Atlantic Oscillation (NAO), *Geophys. Res. Lett.*, 30(22), 2704, doi:10.1029/2003GL018545, 2003b.
- [3] Ogi, M., Y. Tachibana, K. Yamazaki, The connectivity of the winter North Atlantic Oscillation (NAO) and Okhotsk High, *J. Meteor. Soc. Japan*, revised, 2004.
- [4] Ogi, M., Impact of the winter North Atlantic Oscillation on the summer atmospheric circulation and characteristics of the summer Annular Mode. Ph.D. dissertation, Hokkaido University, Sapporo, Japan, 2004.

学会発表

国際学会

- [1] Masayo Ogi, Yoshihiro Tachibana, Koji Yamazaki. The connectivity of wintertime North Atlantic Oscillation (NAO) with summertime Atmospheric and Oceanic conditions. IUGG 2003, Sapporo, July, 2003.
- [2] Masayo Ogi, Koji Yamazaki, Yoshihiro Tachibana, Impact of the Wintertime NAO on the Summertime Atmospheric Circulation and its Solar Cycle Modulation. AGU Fall Meeting, San Francisco, December, 2003.

国内学会

- [1] 小木雅世、立花義裕、山崎孝治 「冬季北極振動 (AO) と夏季の大気 - 海洋循環との関係」
日本気象学会 2003 年春季大会、つくば、2003 年 5 月
- [2] 小木雅世、立花義裕、山崎孝治 「冬季北大西洋振動 (NAO) が夏季の大気循環に与える影響」
大槌シンポジウム、大槌、2003 年 8 月
- [3] 小木雅世、山崎孝治、立花義裕 「冬季北大西洋振動 (NAO) の夏季大気循環への影響についての太陽周期による変調」 日本気象学会 2003 年秋季大会、仙台、2003 年 10 月

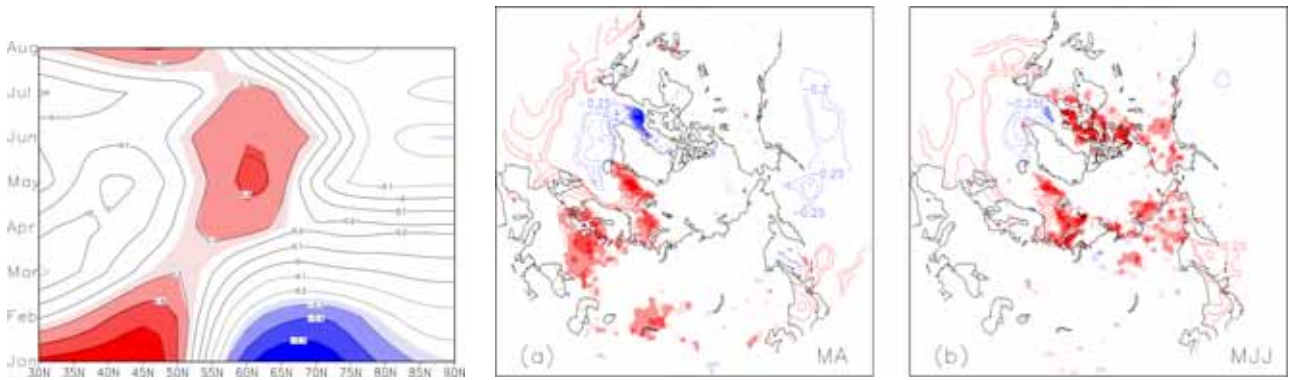


図 1 (上段): 冬季 (12-1-2 月平均) NAO インデックスと帯状平均をした月毎の 500hPa 高度場とのラグ相関係数分布図。影はそれぞれ、90%、95%、99%で有意なほど影を濃くしている。

図 2 (下段): (a) 冬季 NAO インデックスと春季の海面水温 (コンター)、海氷密度度 (海上の影)、積雪面積 (陸上の影) との相関係数分布図。影は図 1 と同じように有意水準を越えているところをつけている。

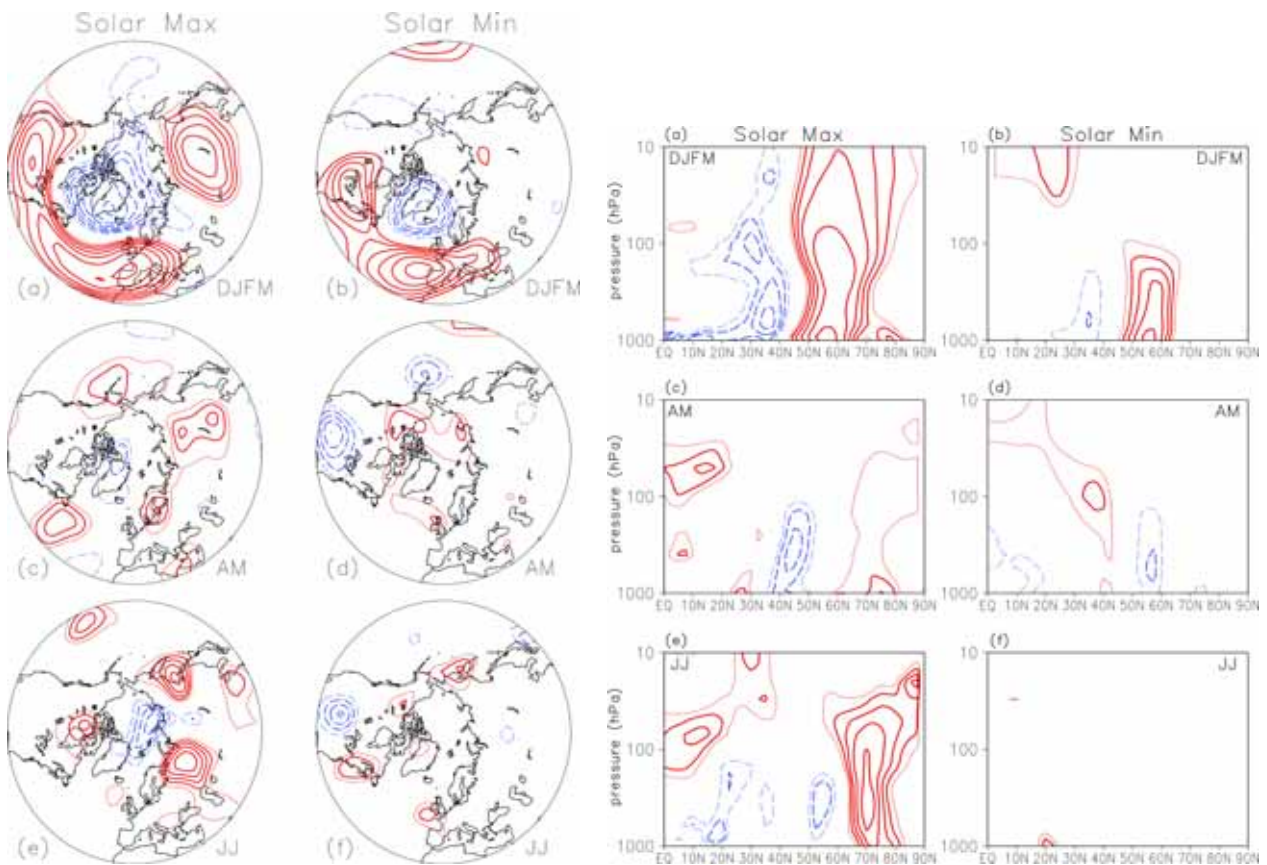


図 3 : 冬季 NAO インデックスと 500hPa 高度場との相関係数分布図。(左側): 太陽活動の活発な時。(右側): 太陽活動の不活発な時。上から冬季 (12-1-2-3 月)、春季 (4-5 月)、夏季 (6-7 月)、等値線間隔は 0.1 で、絶対値は 0.3 以上を書いてある。正相関は実線、負相関は点線。

図 4 : 冬季 NAO インデックスと帯状平均東西風との相関係数分布図。(左側): 太陽活動の活発な時。(右側): 太陽活動の不活発な時。上から冬季 (12-1-2-3 月)、春季 (4-5 月)、夏季 (6-7 月)、等値線間隔などは図 3 と同じ。