

# 日本の異常気象と北極振動の関係

筑波大学 計算科学研究センター 田中博

## 1. はじめに

北極振動 (Arctic Oscillation: AO) とは、ワシントン大学の Wallace 教授らにより1998年に提唱された現象で、北緯約60度を挟んで南北に海面更正気圧場が相関を持つというものである(図1)。Namias (1950) による東西指数 (Zonal Index) とほぼ同義であり、古くは Exner (1925) や Walker and Bliss (1932) にさかのぼって同様の現象の報告を見いだすことが出来る。北極振動は周期的な振動ではないため、北半球環状モード(NAM)と呼ばれることがある。また、AOと北大西洋振動 (NAO) は同義であると考えられる立場もある。古典的な東西指数が北緯45度付近の偏西風ジェットの強弱に注目し、亜熱帯ジェットと寒帯前線ジェットを合わせた偏西風ジェットの強弱を見ていたのに対し、北極振動指数は明らかに寒帯前線ジェットと極夜ジェットを合わせた偏西風ジェットの強弱に注目しているという点で、両者は異なっている(Wallace 2000)。

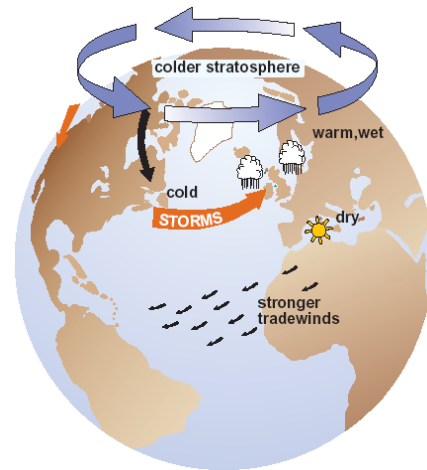


図1 北極振動の概念図

北極振動指数 (AO Index: AOI) が正の時には、北極域で低圧偏差、中緯度で高圧偏差が生じる。北極振動指数と世界の異常気象との関係を見ると(図2)、北極振動指数が正の時には、ヨーロッパでは偏西風の強化により温和で雨が多くなり、日本付近では温和な天候が続く。逆に北極振動指数が負の時には、気圧場や気温場の正負の符号が反転し、極域で高圧偏差、中緯度で低圧偏差が生じ、ヨーロッパでは晴天が続き、寒気の流入で寒冷化すると同時に日本付近も寒冷化する傾向にある。日本という北半球の1地点の天候が、このように北半球規模の異常気象とリンクして発生するという点が、北極振動という現象の特徴である。

北極振動は北半球の海面更正気圧を、統計的な経験直交関数(EOF)に展開した場合の第一主成分(EOF-1)として定義され、北極海的作用中心とは逆符号の作用

中心が太平洋と大西洋の2カ所に見られるのが特徴的である。冬季の季節平均場を用いて解析すると、A0が占める分散の割合は21%に増加する。海洋においてエルニーニョが変動の第1モードとして注目されるように、A0は大気大循環の変動の第1モードとして注目すべき対象である。大気大循環においてA0がいかに重要な研究対象であるかを伺わせるものである。

## 2. 北極振動と近年の日本の異常気象の関係

日々の再解析データに基づく過去50年間の北極振動指数の時系列を見ると、近年の地球温暖化に伴い、負から正に増加傾向が見られる。そのトレンドに重なるように、気候シフトと呼ばれる1976年の急変と1989年の急変が特徴的であるが、1990年代には正から徐々に負に転じている（図省略）。近年の北極振動指数を季節平均値（90日移動平均）で調べると、1988/1989年の気候シフトの際には、冬季において北極振動指数は過去最高の正の値となり、寒帯前線ジェットが極端に強まったことが伺える。このように大きな正の北極振動指数は1989, 1990, 1993, 1995, 2000, 2002, 2003, 2007, 2008年の冬季において発生し、これ等の年はいずれも日本に暖冬をもたらしている（図3）。特に、2002年の暖冬は桜の異常開花をもたらした。本来、関東では入学式頃に満開となるソメイヨシノが、この年には平年より3週間も早く卒業式の頃に満開になってしまった。この年の異常気象は、まさしく北極振動が正に大きくふれたことと関係している。地球温暖化が脚光を浴びるようになった1989年以降は、ほぼ毎年のように正の値に振れ、暖冬が恒常化したように思えたが、1993年に久しぶりに負となった後、1998, 2001, 2003, 2004, 2006年と寒冬が頻発するようになった。



図2 北極振動と世界の異常気象





できる。ちなみに、この冬の海面水温偏差はややラニーニャ的であるが、それほど大きな平年水温偏差を示していたわけではない。したがって、何ゆえに北極振動指数が負に転じたのかを理解し、それを事前に予測することができれば、このような自然災害から多くの生命と財産を救済できたはずである。

一転して、2006/07年冬は記録的な暖冬となった。気象庁によると、冬型の気圧配置は一時的にしか現れず、全国的に気温が高く経過した。秋田、仙台、東京、名古屋、大阪、高松、福岡など63の気象官署で、冬の平均気温の高い記録を更新した。各地域の気温（平年差）は、北日本： $+1.6^{\circ}\text{C}$ 、東日本： $+1.7^{\circ}\text{C}$ 、西日本： $+1.6^{\circ}\text{C}$ 、南西諸島： $+1.2^{\circ}\text{C}$ であり、特に東日本と西日本においては、地域平均の統計のある1946/47年の冬以降で最も高かった。全国的に降雪はかなり少なく、冬の降雪量は北陸地方で平年の9%となるなど、北日本、東日本、西日本日本海側の降雪量は地域平均の統計のある1961/62年以降で最も少なかった。雪のない北陸ではスキーやボードに代わって真冬のゴルフ場の景気が好調となった。東京では暖冬により雪がなく、初雪を観測しないまま桜の開花を迎えると思われたが、3月16日に最も遅い初雪が観測された。このような暖冬の際には北極振動指数は正に転じており、やはり北極振動研究の重要性をうかがわせる事例となった。

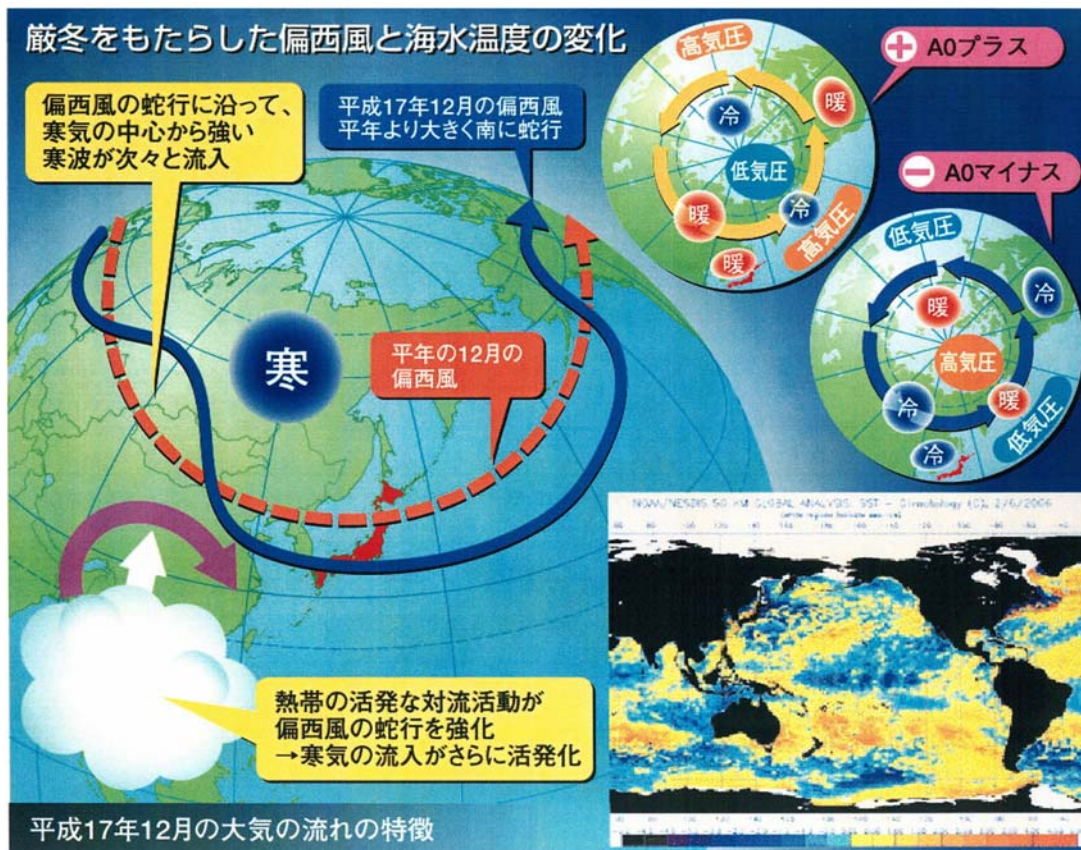


図4 北極振動と平成18年豪雪

### 3. 北極振動の理論と予測

北極振動指数は寒帯前線ジェットの強弱の指標であり、亜熱帯ジェットの強弱とは逆相関を示す。また、偏西風ジェットの偏差の鉛直構造は対流圏下層、上層、成層圏でほぼ一貫しており、順圧的な構造を持つことが明らかである。北極振動はその順圧的な構造から、地衡風関係式により上空の寒帯ジェットが強まったり弱まったりすることと力学的に同値である。このことから、我々は北極振動を順圧大気大循環モデル（順圧Sモデル）を用いて研究してきた(田中 2002; 2005)。そして、冬季の気候場でモデル方程式を線形化し、その固有値解析を行うことで、北極振動が大気のひとつの固有振動であることを理論的に突き止めた(Tanaka and Matsueda 2005)。この固有振動は固有値がゼロとなる特殊なモードであることから、特異固有解と名づけられた(図5)。

さらに本研究では、大気の順圧成分を予測する順圧Sモデルを用いて、北半球の冬の天候の指標である北極振動指数 (AOI) の長期予測が可能かどうかを検証した(加藤・田中 2007)。具体的には、記録的な寒冬となった2005/06年冬、対照的に記録的な暖冬となった2006/07年冬を対象に、それぞれの年の11月頃を初期値としてモデルを走らせ、AOIの60日予測を行った。そして現実のAOIと比べることで、AOIの長期予測が可能であったかどうかを調べた。なお、モデルによるバイアスを修正するため、初期値直前のある一定期間の平均バイアスを補正したアンサンブル予報を行うことで、予報精度の向上を図った。その結果、AOのような順圧的で長い周期をもつ変動は、大気の順圧成分を予測することで、2週間を超えて予測できる可能性が示された。ただし、初期値によっては予報が大きく変わることもあり、日替わり予報的な面も見られた。今後の課題としては、新

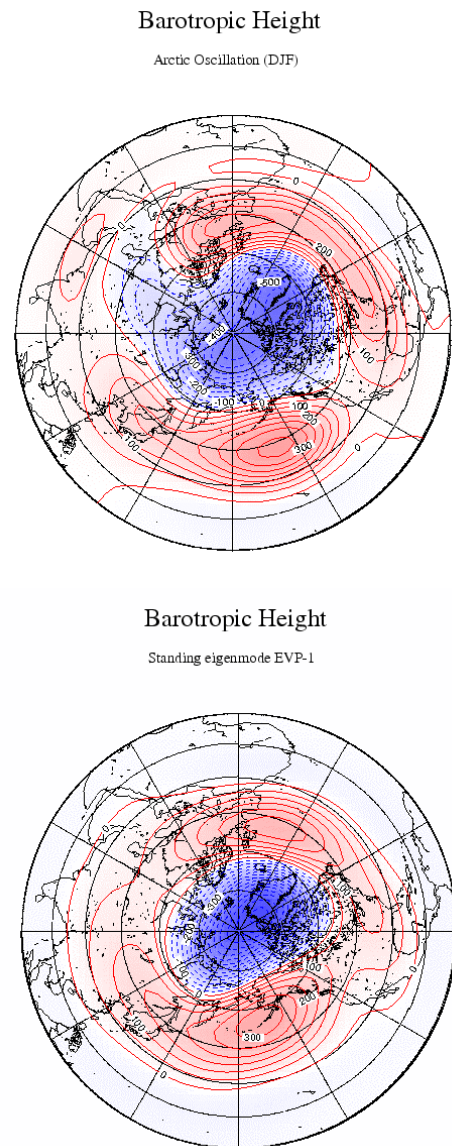


図5 観測される北極振動(上)と特異固有解(下)の比較

たな外力のパラメタリゼーション、および更なるアンサンブル予報技術の開発が挙げられる。また、予報精度の評価のためには、客観的な指標を導入する必要があるだろう。北極振動の長期予報が可能になれば、北陸地方の豪雪の予測がある程度可能となるので、今後の一層の研究に期待が寄せられる。

本研究を遂行するにあたり、(財)アサヒビール学術振興財団から研究助成金をいただきました。ここに記して感謝いたします。

## 参考文献

- 加藤真悟・田中博 2007: 順圧大気大循環モデルによる北極振動指数の予測. 気象研究ノート. 気象研究ノート、216号、2005/06年日本の寒冬・豪雪、241-252.
- 田中博 2002: 順圧大気大循環モデルによる北極振動の数値実験およびその力学的固有解の解析. グロースベッター、気象庁、40、1--18.
- 田中博 2005: 順圧大気大循環モデルによる北極振動の数値実験およびその力学的考察. 気象研究ノート、206、71-107.
- Exner, F. M., 1925: *Dynamische Meteorologie*. Wien Verlag von Julius Springer. 415 pp. (Translated by T. Sato, 1998, Iwanami Books, 338 pp in Japanese)
- Namias, J., 1950: The index cycle and its role in the general circulation. *J. Meteor.*, 7, 130--139.
- Tanaka, H. L. and M. Matsueda, 2005: Arctic Oscillation analyzed as a singular eigenmode of the global atmosphere. *J. Meteor. Soc. Japan*, 83, 611-619.
- 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.
- Walker, G. T. and E. W. Bliss, 1932: World Weather V., *Mem. R. Meteor. Soc.*, 4, 53--83.
- Wallace, J. M., 2000: North Atlantic oscillation / annular mode: Two paradigms -- one phenomenon. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 126, 791--805.