

顕著な負の AO 時の予測精度

南 敦・高谷 祐平・平井 雅之・竹村 和人（気象庁気候情報課）

1. はじめに

北極振動（AO）は北半球の大気循環に卓越する半球規模の変動パターンである（Thompson and Wallace, 2000）。AO の負（正）位相（以下負（正）の AO と記述）では、極域が低（高）圧偏差、中緯度域が高（低）圧偏差となる特徴が見られる。負の AO の場合、この偏差パターンに関係して高緯度域を流れる寒帯前線ジェット気流が弱く、極域の寒気が中緯度域に流入しやすくなる。その結果、冬季には特に、北半球の広範囲にわたって顕著な低温がもたらされることがある。2009 年 12 月から 2010 年 2 月に発生した負の AO では、ヨーロッパからロシア、東アジア北部やアメリカで低温、または異常低温となり、記録的な大雪が観測された地域もあった（気象庁, 2010）。このように、負の AO は顕著な現象の発生により大きな社会的インパクトをもたらす場合がある。従って、こうした現象を数週間の時間スケールで精度良く予測することは、非常に重要である。また、こうした現象を予測し、国民に対して情報の発信を行っている気象庁にとっては、より良い情報提供を行っていくため、数値予報モデルの改良によって現象の予測精度を向上させることに加え、そのモデルにおいて現象の予測精度がどの程度なのかを把握しておくことも重要である。

そこで本研究では、気象庁 1 か月アンサンブル予報システム（1 か月 EPS）における負の AO の予測精度を調べた。また、予測精度の背景にある力学的メカニズムについて考察するため、事例解析を行った。

2. データ

負の AO の気象庁 1 か月アンサンブル予報システム（1 か月 EPS）における予測精度を調べるため、1 か月 EPS の予測データ及びハインドキャストデータを使用した。

1 か月 EPS の仕様、及びハインドキャスト実験の仕様を表 1 および表 2 に示す。また、検証用のデータには JRA-25/JCDAS (Onogi et al. 2007) を使用した。

表 1: 1 か月 EPS の仕様

水平解像度		約 110km, 1.125°
鉛直層数		60 層
メンバー数		50 メンバー（25 メンバー×2 初期時刻）
アンサンブル手法		BGM 法と LAF 法
初期条件・境界条件	大気初期条件	全球大気データ同化
	陸面	陸面解析値から予測
	海面水温	COBE-SST

表 2: ハインドキャスト実験の仕様

実験期間	1979 年～2009 年
初期日	各月 3 初期日 (10, 20, 月末)
初期値	JRA-25, 陸面気候値
境界値	COBE-SST
初期摂動	BGM 法

3. 方法

負の AO の 1 か月 EPS における予測精度を, 1 か月 EPS のハインドキャストデータを使用して統計的に調べた. その方法を本章では示す. 本研究では, 北半球冬季の負の AO に着目するため, 1979 年から 2009 年の間で, 予測期間が 12 月から 3 月となる初期日のハインドキャストデータを使用した. また, 1 か月 EPS の予測精度の指標として, 500hPa 高度 (Z500) と海面気圧 (SLP) の 28 日平均予測場のアノマリー相関 (ACC) を使用した. 北極振動の位相ごとの予測精度を調べるため, AO 指数を次のように計算して使用した. まず, 解析の月平均の SLP について主成分分析を行い, その第 1 主成分を 1 月から 12 月まで年平均したパターンを求めた. そのパターンに日々の SLP を射影することで日々の AO 指数を計算し, その後, ハインドキャスト初期日の 7 日前から 28 日後までの 35 日間で平均した AO 指数を求めた. これは, ハインドキャスト初期日前から 1 か月程度の時間スケールの場合で見られる AO に対する, 1 か月 EPS の予測精度を調べるためである. このようにして求めた AO 指数を使用し, ハインドキャストによる予測事例を, 負位相・正位相・平常の 3 つのパターンに分類し, 各々のパターンごとの予測精度を評価した.

4. 結果

本章では, 1 か月 EPS における負の AO の予測精度, および事例解析の結果について述べる.

4.1. 負の AO の予測精度

Z500, SLP における AO の位相ごとの予測精度を図 1 に示す. 図 1 から, 1 か月 EPS のハインドキャストにおいて, 負の AO の場合は他の場合と比較して ACC の値が大きい

階級で予測の頻度が多くなっている, 即ち相関が高いことが分かる. 定量的に評価するため, ACC が 0.7 を上回る階級に着目すると, 負の AO の場合, ACC が 0.7 を上回る精度の予測をした頻度は, SLP で約 30% (15%), Z500 では約 20% (15%) 平常 (正の AO) の場合より高かった. これはすなわち, 負の AO の予測精度が他の場合と比較して高いことを示している.

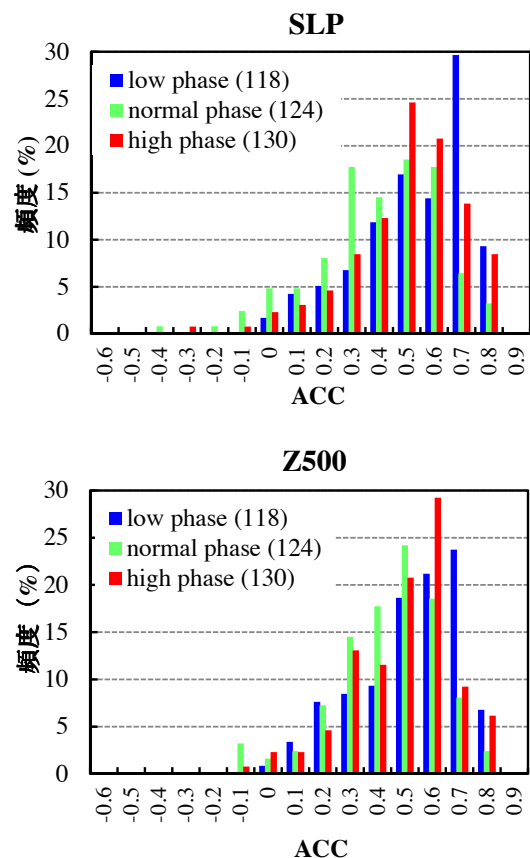


図 1: AO の位相ごとの予測精度. 青, 緑, 赤のグラフは各々, 負, 平常, 正の AO の場合を示し, 括弧内の数字は事例数. 縦軸の頻度は, ハインドキャストの中で, ACC の各階級を記録した予測事例の割合を示す. (上) SLP における予測精度, (下) Z500 における予測精度.

表 3: 顕著な負の AO の予測精度. 1979 年から 2009 年の間の顕著な負の AO の事例を示す. ここで, 顕著とは標準偏差で規格化した AO 指数が-2.0 以下の場合とした. 表の右からハインドキャストの初期日, 標準偏差で規格化した AO 指数, SLP, Z500 における ACC を示す. 太字は, ACC が 0.7 を上回っていることを示す.

初期日	AO 指数	SLP	Z500
1985/1/20	-3.01	0.784	0.656
2009/12/10	-2.99	0.786	0.784
2009/12/20	-2.97	0.785	0.761
1985/1/10	-2.37	0.724	0.649
1985/11/30	-2.34	0.734	0.709
1979/1/20	-2.31	0.717	0.642
2001/2/28	-2.22	0.852	0.771
1979/1/10	-2.14	0.226	0.081
1980/1/10	-2.08	0.267	0.457
1985/11/20	-2.04	0.857	0.858

さらに表 3 から, 顕著な負の AO の場合, ACC が 0.7 を上回る割合は, SLP で 10 事例中 8 例, Z500 でも 10 事例中 5 例と, さらに予測精度が高いことが分かった.

4.2. 顕著な負の AO の事例解析

顕著な負の AO の予測精度が高い背景には, どのような力学的メカニズムが働いていたのかを調べるため, 顕著な負の AO が発生し, かつ 1 か月 EPS による予測精度も高かった 2009 年 12 月, 2010 年 2 月, 2013 年 3 月の事例解析を行った. 事例解析は, 多くの研究で AO 等の低周波振動の維持のメカニズムとして指摘されている, 総観規模擾乱との相互作用や (e.g., Lorenz and Hartmann 2003; Feldstein 2003), プラネタリー波の寄与に着目して行った. 以降では主に, 2013 年 3 月の事例の結果を示す.

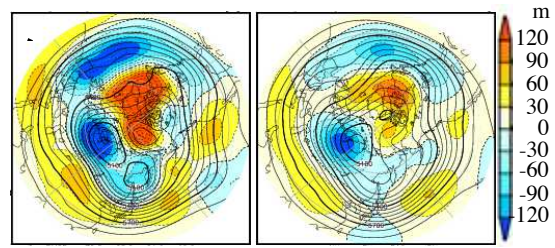


図 2: 2013 年 3 月の事例における Z500 (m) の解析場と予測場の比較. 等値線は Z500, 陰影はその平均偏差を示す. (左) 解析の Z500, (右) 予測の Z500. 平均期間は, 2013 年 2 月 21 日から 3 月 21 日である.

図 2 は 2013 年 3 月の事例で, 28 日平均の解析と 1 か月 EPS の予測場を比較した図である. 極域で高圧偏差, 中緯度で低圧偏差という負の AO の特徴が解析されており, その特徴を 1 か月 EPS は精度良く再現していたことが分かる.

まず, 負の AO の維持に対する擾乱の寄与を調べた結果を示す. 図 3 は, 周期 10 日のハイパスフィルタをかけて抽出した擾乱の渦度フラックスによる, Z500 の時間変化傾向の平均偏差を示す. 図 2 に見られる中緯度の負偏差に良く対応して, 高度場を大きく下げる効果が解析されている. また 図 4 は, Z500 で負偏差が大きかった北大西洋域 ($0-60^{\circ}$ W, $40-60^{\circ}$ N) における, 2013 年 3 月の事例と同一期間での Z500 の高度変化率の年々変動を示す. 2013 年 3 月の事例では, 過去の同時期と比較しても高度場を下げる効果が強く働いていることが分かる. これらの結果は, 負の AO の維持の一つの要因として, 擾乱による寄与があったことを示唆している. また 1 か月 EPS でも, 偏差は小さくなっているものの, こうした特徴が良く再現されている (図 3, 図 4), この結果は他の 2 つの事例でも共通していた.

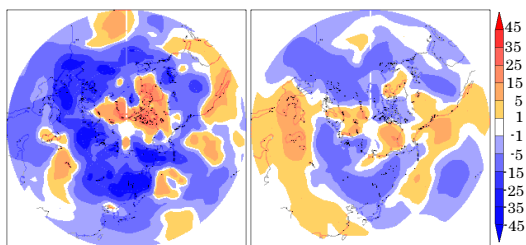


図 3: 擾乱の渦度フラックスによる, Z500 における高度変化率 (m/day) . 陰影は平年偏差を示す. (左) 解析の高度変化率, (右) 予測の高度変化率. 平均期間は, 2 月 22 日から 3 月 26 日である.

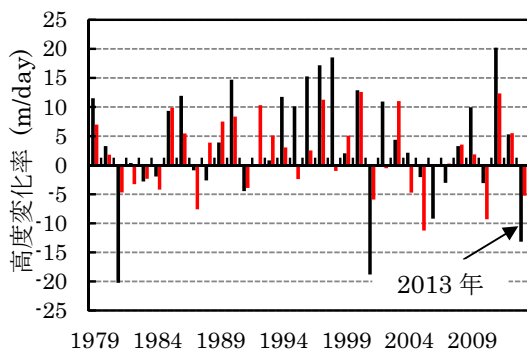


図 4: 北大西洋域 (0-60° W, 40-60° N) で平均した Z500 における高度変化率 (m/day) の年々変動. 1979 年から 2013 年までの各年の, 2 月 22 日から 3 月 26 日平均の高度変化率を示しており, 黒, 赤のグラフはそれぞれ, 解析, 予測である.

次に, プラネタリー波の伝播による寄与を調べた結果を示す. 図 5 は 2013 年 3 月の事例で, 東西波数 1 のプラネタリー波の Eliassen-Palm フラックス (EP フラックス), およびその収束・発散を示す. ロスビー波が北極方面へ屈折し, 高緯度域の上部対流圏で EP フラックスの収束が強く解析されている. また図 6 は, 図 5 の赤い四角内 (60-80° N, 300-200hPa) で平均した EP フラックスの発散量の年々変動を示す. 2013 年 3 月の事例では, 過去の同時期と比較して

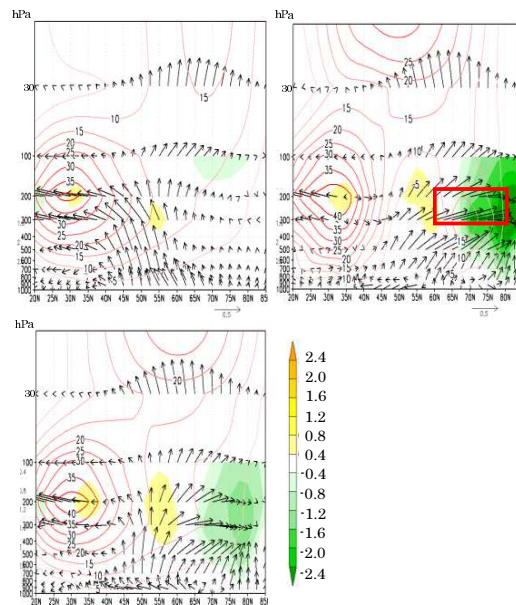


図 5: 東西波数 1 のプラネタリー波の伝播. 等値線は帯状平均東西風 (m/s), ベクトルは EP フラックス (南北成分: m^3/s^2 , 鉛直成分: m^2/s^2), 陰影はその収束・発散 (m/s/day) を示す. 見易さを考慮して y 成分は 10^{-6} 倍, z 成分は $p^{-1/2}$ 倍している (p : 気圧). 平均期間は, 2 月 22 日から 3 月 26 日である.

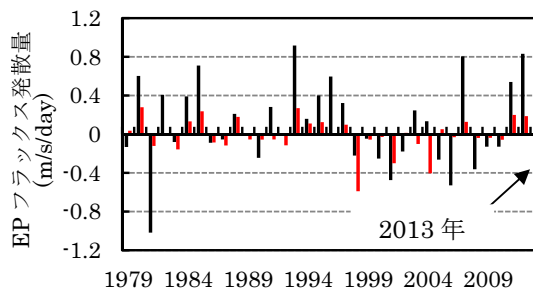


図 6: 60-80° N, 300-200hPa で平均した EP フラックスの発散量 (10^6ms^{-2}) の年々変動. 1979 年から 2013 年までの各年の, 2 月 22 日から 3 月 26 日平均の高度変化率を示しており, 黒, 赤のグラフはそれぞれ, 解析, 予測である.

収束量が顕著に大きくなっており, 波数 1 のプラネタリー波によっても負の AO が維持されていたことが分かった.

こうした特徴を1か月EPSの結果と比較してみると、図5から収束量は小さくなっているものの、高緯度上部対流圏でのEPフラックスの収束のパターンは、良く再現されていたことが分かる。また6図から、解析と同じように過去と比較してもその効果が大きいことが再現されていた。こうした特徴は2010年2月の事例でも共通していたが、2009年12月の事例では、プラネタリー波による寄与は小さかった(図7)

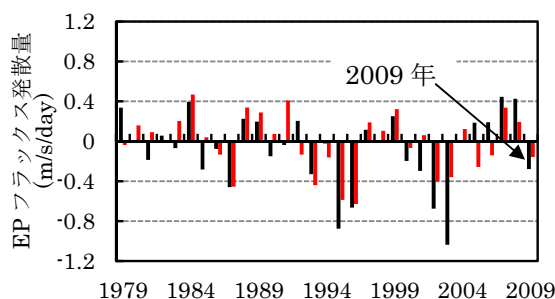


図7: 図6と同じ。ただし、平均期間は12月10日から1月11日である。

5. まとめ

北半球冬季において、半球規模で顕著な現象を引き起こすことがある負のAOの予測精度を、気象庁1か月EPSの予測データ、およびハインドキャストデータを使用して調べた。規格化したAO指数の値として±0.5という基準値を設定し、すべての事例を正・平常・負という3つのパターンに分類し、各々の場合の1か月EPSでの予測精度を調べると、負のAOの場合が最も予測精度が高いことが分かった。また、規格化したAO指数が-2.0を下回る顕著な事例では、さらに予測精度が高い傾向があることが分かった。

顕著な負のAOの予測精度が特に良い背景にある力学的メカニズムを調べるため、顕著な負のAOが発生し、かつ1か月EPS

による予測精度も高かった2009年12月、2010年2月、2013年3月の事例解析を行った。いずれの事例でも、擾乱によって負のAOが維持されており、その効果は過去の同時期と比較しても顕著に大きかった。一方で、この効果に加えてプラネタリー波の伝播が負のAOの維持に寄与していた事例も見られ、事例ごとに若干の差異があった。しかしいずれの事例においても、1か月EPSはこれらの力学的メカニズムを精度良く予測しており、こうしたことが顕著な負のAOの予測精度が高かった要因であったことが示唆された。

参考文献

- Feldstein, S. B., 2003: The dynamics of NAO teleconnection pattern growth and decay. *quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **129**, 901-924.
- Lorentz, D. J., and D. L. Hartmann, 2003: Eddy-Zonal flow feedback in the northern hemisphere winter. *J. Clim.*, **16**, 1212-1227.
- Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsishika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji, and R. Taira, 2007: The JRA-25 reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 369-432.
- Thompson, D. W. J., and J. M. Wallace, 2000: Annular mode in the extratropical circulation. Part I : Month-to-month variability. *J. Climate*, **13**, 1000-1016
- 気象庁, 2010: 北半球中緯度帯に顕著な寒波をもたらした大気の流れについて。異常気象分析検討会報道発表資料, 気象庁地球環境・海洋部。