

北極振動指数の中長期予測実験

田中博(筑波大)、加藤真悟(気象庁)

1. はじめに

北極振動 (Arctic Oscillation: 以下 AO) とは、冬季北半球に卓越する北極域と中緯度域の海面更正気圧の逆相関的変動モードのことである。AOは冬季における北半球の天候の指標であり、日本はAOが正のとき暖冬、負のときは寒冬になる。AOは海面更正気圧場のEOF-1として定義されるが、この変動は大気の大気成分の変動と力学的に等価であることから、我々はAOを順圧大気大循環モデル (順圧Sモデル) を用いて解析してきた。

これまでに、この順圧SモデルによりAOが再現できることを示し (Tanaka 2003)、その力学的な成因として、固有値がほぼ0となる特異固有モードの準共鳴によってAOが励起される、との仮説を提唱している (Tanaka and Matsueda 2005)。また、AOは近年の温暖化の空間パターンを説明するが、IPCC-AR4のモデル群は20世紀のAO指数を再現することができないため、AOは大気の大気成分の非線形内部力学によりカオス的に変動する自然変動と考えられることを大橋・田中 (2009) は主張した。このようなAOの特徴や成因の理解に基づき、本研究では順圧Sモデルを用いた物理過程アンサンブル予測によるAO指数 (AOI) の中長期予測を行い、AO指数が短期的にどの程度まで予測できるものかを調査した。

2. 外力のバイアス補正を加えた順圧Sモデル

本研究で用いたモデルは Tanaka (2003, JAS) で示した順圧 S-モデルで、それは従属変数 (u, v, ϕ) を 3-D スペクトル展開した順圧展開係数 w_i で表される。

$$\frac{dw_i}{dt} = -i \sigma_i w_i - i \sum_{jk} r_{ijk} w_j w_k + f_i$$

NCEP/NCAR 再解析データから状態変数 w_i を計算し、この方程式の残差として、外力の順圧成分 f_i をデータベース化する。これを状態変数 w_i で統計的に線形回帰する逆問題として方程式系を閉じることから順圧 S モデルと呼んでいる。本研究では、再解析データを真値と考えて、モデルバイアスを各時間ステップで逆算し、初期値直前のモデルバイアスを用いて物理過程を補正するという物理過程アンサンブル予測モデルを構築した。初期値直前の 10 日間平均から 5 日ずつ平均期間を延ばし最大 45 日間の平均バイアスを補正することで、アンサンブル数 8 の予測モデルを構築し、このモデルを用いて 60 日間の時間積分を繰り返し行った。

対象とした期間は冬季 11 月から 12 月の 60 日間を初期値とした 2 カ月 (60 日) 予測で、実験対象として AO 指数が正に大きく振れた 1988/89、1992/93、2006/07 年の 3 年と、AO 指数が負に大きく振れ

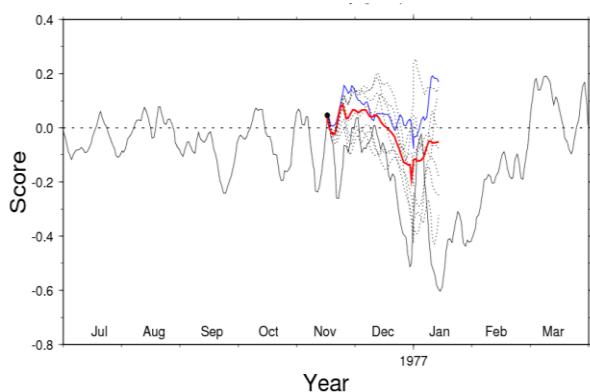


図1 1976/77のAOIの予測例

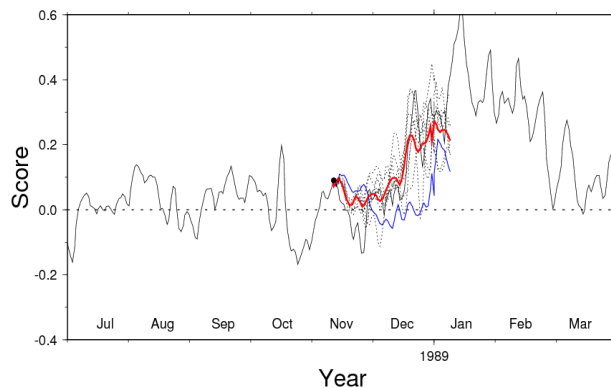


図2 1988/89のAOIの予測例

た 2000/01, 2002/03, 2005/06 年の 3 年間についての合計 6 年間について、観測された A0 指数と予報された A0 指数の散布図を作成し、その相関係数を計算することで予報精度を評価した。

3. 北極振動指数の予報実験の結果

図 1 は 1976/77 年冬の A0I の予報実験の例、図 2 は 1988/89 年冬の A0I の予報例で、これらの年は A0I が大きく負および正に振れた年である。細線が実況で、青線が誤差補正をしないコントロールラン、点線が各メンバーで赤線がアンサンブル平均である。北半球全体のアノマリ相関という評価では予報精度は伸びないものの、60 日という延長予報の期間で、正または負という大まかな予報では的中するケースが多い。そこで、1988/89 年のケースについて、A0I の 60 日予報の平均値と実況値を、11 月 1 日から 12 月 30 日までの日々の初期値で計算し、その散布図を描いた結果を図 3 に示した。図中の丸印は 11 月、四角印は 12 月初期値で、青はコントロール、赤はアンサンブル平均である。60 日平均に対して、実況よりは低く予測されるものの、予測と実況の相関は十分に高い。特に 11 月初期値のアンサンブル予報についての相関係数は 0.91 となった。

A0I が正に大きく振れた 1988/89, 1992/93, 2006/07 年の 3 年と、負に大きく振れた 2000/01, 2002/03, 2005/06 年の 3 年間の 6 事例について、同様の散布図を作成した結果を以下に示す。図 4 は A0I の予報の最初の 7 日間の平均についての、計 360 回の予報実験の散布図である。青は A0 指数が負の年の結果で、赤は正の年の結果である。丸印はコントロール、四角印はアンサンブル予報のアンサンブル平均である。予報実験の結果を相関係数で定量化すると、A0 指数が正負の年についての相関係数はコントロールもアンサンブル予報も 0.9 程度という結果になった。ただし、この結果には A0I の持続性が大きく貢献している。計算結果によると A0I の自己相関は 40 日でゼロとなった。持続予報でも A0I の相関は十分に高い。

図 5 は A0 指数の予報の最初の 42 日間平均についての、上記 6 年間の計 360 回の予報実験の散布図である。予報実験の結果、A0 指数が正の年についての相関係数はコントロールが 0.61、アンサンブル予報が 0.63 という結果になった。この結果は、A0 指数の 42 日予報が可能であることを意味

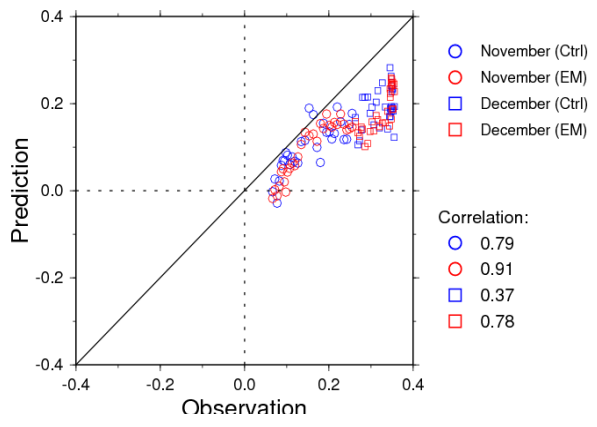


図 3 A0I の 60 日予報と実況の例

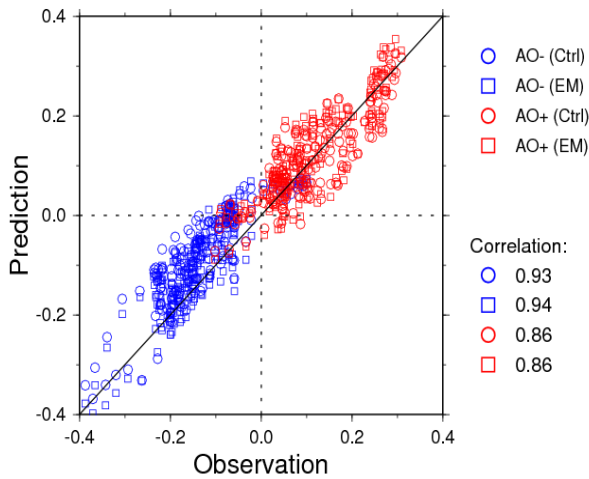


図 4 A0I の 7 日平均の予報と実況

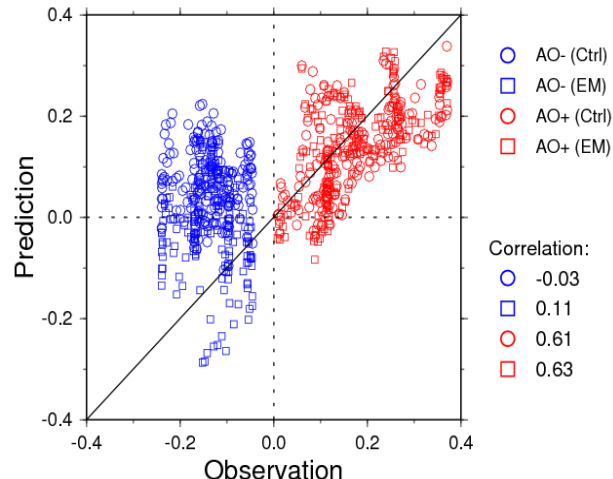


図 5 A0I の 42 日平均の予報と実況

する。それに対し、AO 指数が負の年についての相関はコントロールもアンサンブル予報も無相関に近い。予報値はほぼゼロの周りに分布しており、42 日予報は無理であることを示唆している。

実験の結果をまとめると、AO 指数の 7 日予測はほぼ完璧で、AO 指数が負の年の相関は 21 日平均から急激に落ちるが、アンサンブル予報は高い相関をしめした。AO 指数が正の年の相関は黄色で示したように 42 日平均に対しても 0.6 以上の高い相関がみられた(表 1)。

表 1. 予報と実況の散布図における相関係数

	期間	7 日	14 日	21 日	28 日	42 日	56 日
AO-	Ctrl	0.93	0.58	0.10	0.00	-0.03	0.03
	EM	0.94	0.76	0.55	0.34	0.11	-0.02
AO+	Ctrl	0.86	0.72	0.79	0.79	0.61	0.36
	EM	0.86	0.72	0.77	0.78	0.63	0.33

4. まとめと考察

大気のカオス性により、2 週間を超える決定論的な将来予測は理論的にも不可能であるとされるが、3 次元空間の 1 点 1 点の予測ではなく、時空間で平均した量については、予報精度が伸びる期待が残されている。北極振動は半球スケールの現象で、北極振動指数は半球スケールの内積（いわば加重平均）で定義され、しかも鉛直平均量である順圧大気に注目している。そのため、北極振動指数の中長期予報は 2 週間を超えてなお意味のある予報になることが示された。AOI が正の時はポーラジェットが強い状態の予報であり、予報精度が高い。一方、AOI が負の時はポーラジェットが弱く、ブロッキングが発生しやすい状態であり、この時の予報は困難であるという結果である。

本研究で得られた高い相関は、持続予報そのものが高い相関を示すことによる部分が大きい。1988/89 年について持続予報による散布図を作成し、同様な計算を行ったところ、7 日平均の予測に対して 0.85、42 日平均の予測に対して 0.65 という結果を得た（本学研究科の下悠子さんの研究による）。したがって、高い持続性に依存する部分はあるものの、AOI が正の場合には、順圧 S モデルには十分な予測スキルが存在する事を確認した。本研究による予測実験の成果が実際の予報に役立てられれば幸いである。

参考文献

- Tanaka, H.L., 2003: Analysis and modeling the Arctic Oscillation using a simple barotropic model with baroclinic eddy forcing. J. Atmos. Sci., 60, 1359-1379.
- 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.
- 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.
- 大橋正宏・田中博 2009: 地球温暖化予測モデルに見られる北極振動の解析的研究. 天気, 56, 743-753.
- 加藤真悟 2009: 順圧大気大循環モデルを用いた北極振動指数の予測可能性. 筑波大学生命環境科学研究科、修士論文、77 PP.