

境界条件を与えた全球大気モデルによるアンサンブル実験を用いた 日本付近の季節予報可能性について

千葉丈太郎・木本昌秀(東京大学大気海洋研究所)

1. はじめに

北半球の季節予報可能性についてはこれまで数多くの研究がなされてきたが、中・高緯度では内部変動が大きいため、有効な予測可能性を見出すのは難しかった。また、数値モデル実験での解像度やアンサンブルのメンバー数にも限りがあった。本研究では、近年行われた高解像度の大規模アンサンブル実験の結果を用いて、季節平均の大気場だけでなく、季節内で起きる内部変動の長期変動にも踏み込んだ解析を行う。本研究会では、中・高緯度の代表的な内部変動の一つであるブロッキング現象の季節予報可能性について報告する。

2. 研究の背景と目的

Eade et al. (2014)では、従来の予測可能性の指標である潜在的予測可能性 R (Rowell et al. 1995, 杉 2002)は中・高緯度を過少に評価している可能性を指摘し、新たに RPC (Ratio of Predictable Components)という指標を導入した。その結果、冬季の日本付近はアンサンブルサイズを大きくすることで予測スキルの向上が見込まれる領域であることが示された。本研究では、大アンサンブル実験の結果を用いて、日本付近の季節予報可能性について調査することを目的とする。

3. データ

アンサンブル実験の結果として d4PDF (database for Policy Decision making for Future climate change; Mizuta et al. 2017)

の過去実験を用いた。これは気象研究所の大気大循環モデル MRI-AGCM3.2 (Mizuta et al. 2012)に外部境界条件として 1951 年以降に観測された SST 及び海氷を与えた 100 メンバーのアンサンブル実験である。大気モデルの水平解像度は約 60km、鉛直層数は 0.01hPa を上端として 64 層となっている。モデルと比較する観測データは、大気については JRA-55 (Kobayashi et al. 2015)、SST については COBE-SST2 (Hirahara et al. 2014)を用いた。観測・モデルともに 1981-2010 年を気候値とした。

4. ブロッキングインデックス

ブロッキング現象について定量的に調べるために Tibaldi and Molteni (1990) のブロッキングインデックスを使用した。特定の緯度について以下の 2 つのインデックスを各経度で計算し、 $GHGN < -10$ かつ $GHGS > 0$ を満たした場合にブロッキングが発生していると判定し、そのときの $GHGS$ をインデックスとする。

$$GHGN = \left[\frac{Z(80^\circ + \delta) - Z(60^\circ + \delta)}{(80^\circ + \delta) - (60^\circ + \delta)} \right] (m/deg)$$

$$GHGS = \left[\frac{Z(60^\circ + \delta) - Z(40^\circ + \delta)}{(60^\circ + \delta) - (40^\circ + \delta)} \right] (m/deg)$$

式中の Z は 500hPa 高度を表し、 δ はブロッキング高気圧の南北方向の位置ずれを補正するために設けられている。

本研究では 150E-170E 平均のインデックスを $ESBI$ とし、個々のブロッキングは $ESBI > 0$ が 5 日以上連続したイベントと定義し、2 日連

続で $ESBI=0$ となればブロッキング終了とする。これによってブロッキングの発生頻度・持続性・強度などの情報が得られる。

5. 結果

5.1 季節平均場の解析

図 1 は冬季(12-2 月)平均 500hPa 高度(Z500)偏差の観測とアンサンブル平均の相関係数を示している。北半球の中・高緯度に注目すると東シベリア付近に高い相関があり、その領域(150E-170E, 55N-65N)で平均した偏差(ESZ500)の相関係数は 0.59 であった(図 2)。このことは、ESZ500 の年々変動には外部強制成分があることを示唆している。

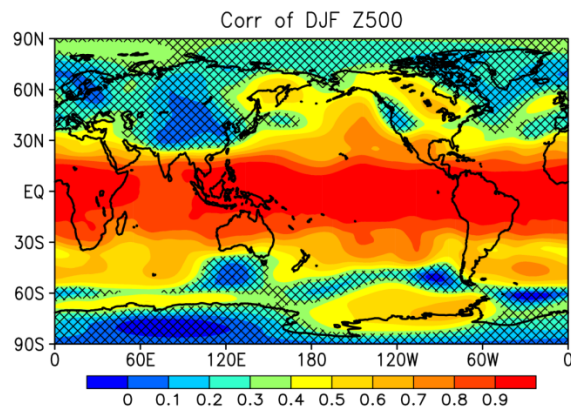


図 1: 冬季平均 Z500 偏差の観測とモデルの相関係数。期間は 1958-2010 年。99%の有意水準に満たない領域は網掛けしてある。

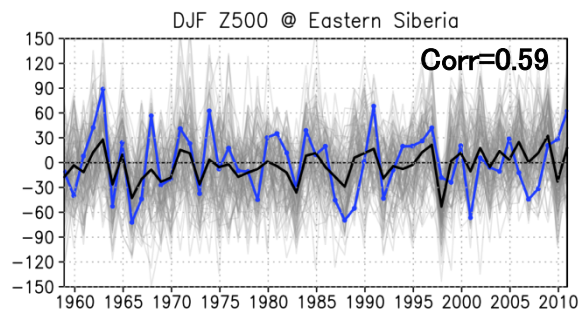


図 2: 東シベリアにおける観測とモデルの冬季平均 Z500 偏差の時系列。偏差は(150E-170E, 55N-65N)の領域平均偏差。青線は観測、黒線はアンサンブル平均、灰線は各メンバーを表す。

5.2 季節内擾乱の解析

5 日移動平均 $ESZ500$ が 3 日以上連続して 1 標準偏差を超えた事例を高気圧偏差イベントとして抽出し、はじめて 1 標準偏差を超えた日の前後でコンポジット解析を行った(図 3)。ベーリング海付近から高気圧偏差が西進し東シベリアまで達している。また、偏差に冬季の気候値を重ねると Day4 ではジェットの分流がみられ、ブロッキング現象が季節平均 $ESZ500$ の年々変動に寄与していると考えられる。

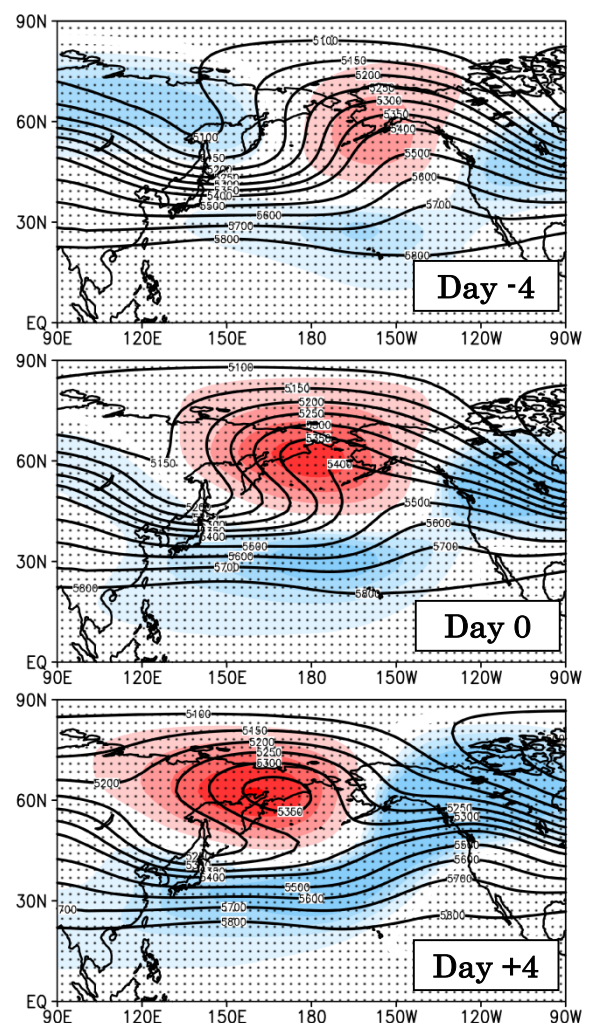


図 3: 高気圧偏差事例の Z500 偏差のコンポジット。シェードは偏差、等値線は偏差に 12-2 月の気候値を重ねたもの。上図はモデルの結果で、ドットは有意水準 99%で有意な領域。

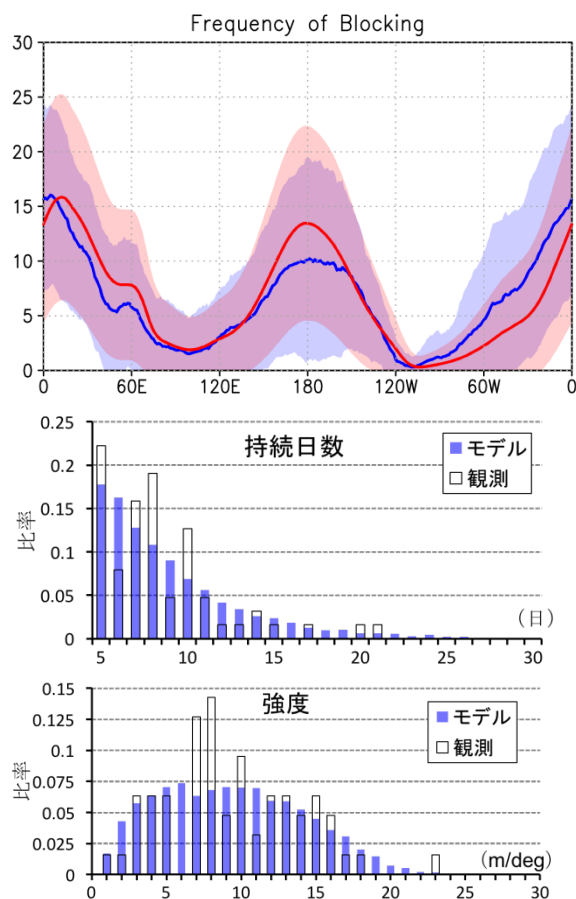


図 4: 観測とモデルにおけるブロッキングの各指標。(上段)各経度における1冬季あたりの発生頻度。単位は一季節あたりの日数。陰影は1標準偏差を表すスプレッド。(中段)持続日数の頻度分布(下段)ピーク時の強度の頻度分布。

5.3 モデルにおけるブロッキングの表現

本研究で用いられているモデルのブロッキング現象の再現性について検証しておく。図4は観測とモデルにおけるブロッキングの発生頻度の経度分布(上段)、個々のブロッキングの持続日数・ピーク時の強度(中・下段)を示している。全ての要素でモデルは観測を良く表現し、6000年相当のサンプル数により滑らかなヒストグラムが描けている。

5.4 ブロッキングの外部強制成分

東シベリアにおけるブロッキングの一冬季あ

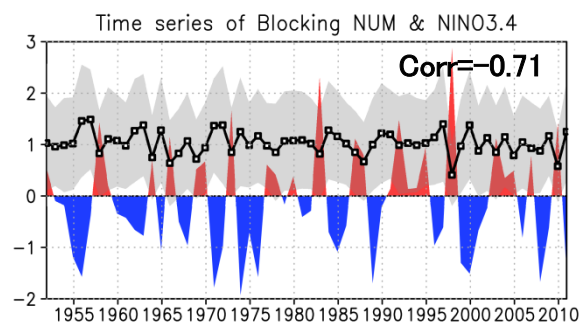


図 5:1 冬季あたりのブロッキングの発生個数とNDJF平均したNINO3.4インデックスの時系列。黒線はアンサンブル平均、陰影は1標準偏差のスプレッド、色塗りはNDJF平均のNINO3.4インデックスを表している。

たりの発生回数とNINO3.4インデックスの年々変動を示したのが図5である。両者には高い相関があり、持続日数や強度についても同様であった。また、各指標の年々変動にSSTとZ500を回帰させると、ENSO(El Niño-Southern Oscillation)とPNA(Pacific/North American pattern; Wallace and Gutzler 1981)がみられた。ブロッキングとENSO・PNAとの関係についてはRenwick and Wallace(1996)に詳しい。また、ブロッキングの年々変動について観測とモデルを比較すると、発生個数と持続日数は0.57と高い相関を示した。ただし、この結果は、外部境界条件の予測が完璧にできたと仮定したときに見込まれる値である。

5.5 メンバー数とシグナルの関係

本研究の大部分は100メンバー全てを用いてブロッキングの外部強制成分について調査を行ってきたが「100メンバーでも足りないのではないか」、逆に、「100メンバーも必要ないのではないか」という疑問が生じる。図6は冬季平均ESZ500偏差と一冬季あたりのブロッキングの発生個数の年々変動について、メンバー数を色々と変えた時のアンサンブル平均と

100 メンバーのアンサンブル平均(シグナル)との相関係数を示している。内部変動的な要素の強いブロッキングの長期変動の予測には、より多くのメンバーが必要なことがわかる。

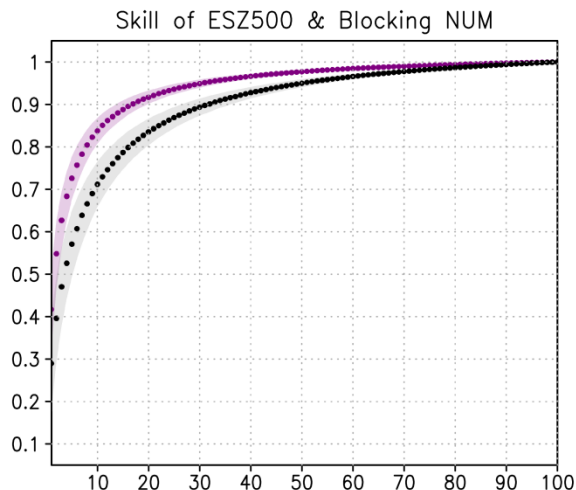


図 6: 各メンバー数(横軸)におけるアンサンブル平均と 100 メンバーのアンサンブル平均との相関係数。黒線は一冬季あたりのブロッキングの発生回数、紫線は冬季平均 ESZ500 偏差の年々変動についての結果である。ランダムにメンバーを選ぶ施行を 1 万回繰り返し、それらから計算された相関係数の平均値をプロットしている。陰影は標準誤差を表す。

6. まとめと課題

本研究は、高解像度の大アンサンブル実験を用いることで、外部強制による内部変動の長期変動を調べることができる可能性を示した。その一例として、一般的には内部変動に分類され、しかも 1 シーズンに 1-2 回しか発生しないブロッキング現象の外部強制成分を定量的に示すことができた。また、東シベリア域の天候に影響を及ぼしうるプロセスは、フィリピン付近の対流活動による南からの影響、亜熱帯ジェット・寒帯前線ジェットを介した西からの影響など他にもいくつか考えられるので、それらの解析も必要である。

参考文献

Eade, R., D. Smith, A. Scaif, E. Wallace, N. Dunstone, L. Hermanson, and N. Robinson, 2014: Do seasonal-to-decadal climate predictions underestimate the predictability of the real world? *Geophysical Research Letters*, 41, 5620-5628.

Hirahara, S., Ishii, M., and Y. Fukuda, 2014: Centennial-scale sea surface temperature analysis and its uncertainty. *J of Climate*, 27, 57-75.

Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Mori, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, 93, 5-48, doi:10.2151/jmsj.2015-001.

Mizuta, R., H. Yoshimura, H. Murakami, M. Matsueda, H. Endo, T. Ose, K. Kamaguchi, M. Hosaka, M. Sugi, S. Yukimoto, S. Kusunoki and A. Kitoh, 2012: Climate simulations using MRI-AGCM3.2 with 20-km grid. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 233-258.

Mizuta, R., A. Murata, M. Ishii, H. Shiogama, K. Hibino, N. Mori, O. Arakawa, Y. Imada, K. Yoshida, T. Aoyagi, H. Kawase, M. Mori, Y. Okada, T. Shimura, T. Nagatomo, M. Ikeda, H. Endo, M. Nosaka, M. Arai, C. Takahashi, K. Tanaka, T. Takemi, Y. Tachikawa, K. Temur, Y. Kamae, M. Watanabe, H. Sasaki, A. Kitoh, I. Takayabu, E. Nakakita, and M. Kimoto, 2017: Over 5000 Years of Ensemble Future Climate Simulations by 60 km Global and 20 km Regional Atmospheric Models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 98, 1383-1398.

Renwick, J., and J. M. Wallace, 1996: Relationships between North Pacific wintertime blocking, El Niño, and the PNA pattern. *Monthly Weather Review*, 124, 2071-2076.

Rowell, D. P., C. K. Folland, K. Maskell, and M. N. Ward, 1995: Variability of summer rainfall over tropical north Africa(1906-92): Observations and modelling. *Q. J. R. Meteor. Soc.*, 121, 669-704.

Tibaldi, S., and F. Molteni, 1990: On the operational predictability of blocking. *Tellus*, 42A, 343-365.

Wallace, J. M., and D. S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, 109, 784-812.

杉正人, 2002: 季節予報の技術的背景とその展望. 平成 14 年度季節予報研修テキスト, 気象庁 気候・海洋気象部, 2-7.