

255 アンサンブルメンバーでの大気ブロッキング事例の季節予測実験

課題責任者

榎本 剛 京都大学防災研究所

著者

山崎 哲*1, 榎本 剛*2, 吉田 聡*2, 中野 満寿男*3, 山口 宗彦*4, 松枝 未遠*5,
山根 省三*6, 佐藤 和敏*7

*1 海洋研究開発機構アプリケーションラボ, *2 京都大学防災研究所, *3 海洋研究開発機構シームレス環境予測研究分野, *4 気象庁気象研究所, *5 筑波大学計算科学研究センター, *6 同志社大学理工学部, *7 北見工業大学工学部

地球シミュレータ用に最適化された大気大循環モデル AFES を用いて、アンサンブル全球再解析 ALERA2 を初期値としたアンサンブル予報実験を行った。アンサンブルメンバー数を 255 メンバーとした初期値から、最長 7 日間の予報実験を行い、2010 年夏（7 月）に発生したヨーロッパ～ロシア西部上空での大気ブロッキング（ロシアブロッキング）の予測可能性について調査した。2010 年 6 月 1 日を初期値として海面水温を現実的に時間変動させた 3 ヶ月アンサンブル予報実験での、ブロッキングの発生頻度について調べた。さらに、太平洋や大西洋海盆の海面水温のみを気候値に取り替えたものや、初期値を交換した感度実験を行った。2010 年 7 月でのロシアブロッキングについて、現実的な海面水温分布を与えた実験が感度実験に比べてより現実に近い頻度を予測することがわかった。ただし、どの実験も、解析される現実的なロシアブロッキングの発生頻度を過少見積りしており、モデルのパラメータチューニングなどの重要性を示唆する結果が得られた。

キーワード：アンサンブル予報，アンサンブル解析，大気大循環モデル，予測可能性，ブロッキング

1. はじめに

我々の課題では、地球シミュレータ上で大気大循環モデル AFES [1] や NICAM [2] などの複数の予報モデルと、アンサンブル大気再解析 ALERA2 データ [3], [4] や全球の現業解析、長期再解析データ（例えば [5], [6]）などを用いて、初期値を交換した「たすき掛け」予報実験を行っている。たすき掛け実験では、予報モデルと初期値に用いる解析データの組み合わせを交換（たすき掛け）して予報実験を行い、その予報結果を比較することで、予測可能性変動に対するモデルと初期値の相対寄与を見積もる。地球シミュレータで AFES や NICAM をモデルとするたすき掛け実験を行い、京都大学のスーパーコンピュータシステムを用いて ECMWF の地球システムモデル IFS [7] や気象庁の全球モデル GSM [8] を用いた実験を進めている。

今年度は、2010 年 7 月にロシア西部で持続したブロッキング（以下、ロシアブロッキング）について、255 メンバーの ALERA2 初期値（ALERA2-M255）からの AFES を使ったアンサンブル予報実験を行った。ロシアブロッキング持続期間中に、7 日アンサンブル予報実験を日替わりで行ったのに加えて、6 月 1 日を初期値とした 3 ヶ月のアンサンブル季節予報実験を行った。ここでは、その結果について紹介する。

2. 季節予測実験

7 日予報と同じ設定の AFES を使って、アンサンブル季節予報実験を行った。2010 年 6 月 1 日 00UTC の ALERA2-M255 を初期値として、3 ヶ月の予報実験を行った（図 1）。解像度は T119L48（水平 $1^\circ \times 1^\circ$ 格子、モデルトップ約 3 hPa）の AFES を用いた。この時、初期値は ALERA2-M255

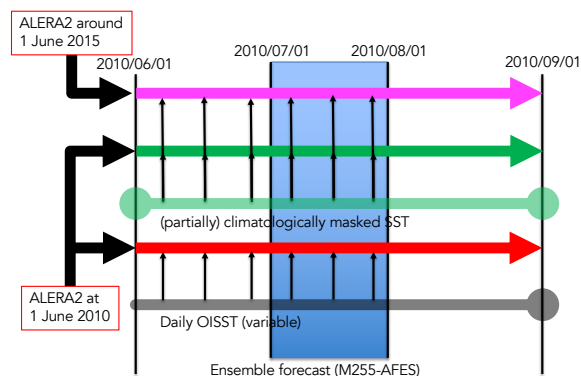


図 1: アンサンブル季節予報実験の概念図。赤矢印が CTL 実験、緑・薄紅色の矢印が感度実験を示す。実験は 2010 年 6 月 1 日を初期値として、8 月末まで海面境界条件のみを時間変化させた。青い枠は 2010 年 7 月（分析期間）を示している。とし、Daily $1/4^\circ$ OISSTICE データ [9] を海面水温（SST）・海水を与える実験を行った。この実験を CTL 実験とする。さらに、海洋や大気の初期値がブロッキングの頻度を与える影響を調査するために、合計 4 つの感度実験を行った。まず、海洋について、(1) 太平洋とインド洋の SST を気候値に取り替えた実験（ExATL）、(2) 大西洋の SST を気候値に取り替えた実験（ATL）、(3) 全球の SST を気候値に取り替えた実験（global）を行い、CTL 実験と比較した。さらに、(4) 初期値を 2015 年 6 月 1 日付近の ALERA2 に変更し、かつ全球の SST を気候値に取り替えた実験（g_init2015）実験を行い、海洋や初期値がロシアブロッキングの季節予測に与える影響を調査した。なお、ここで

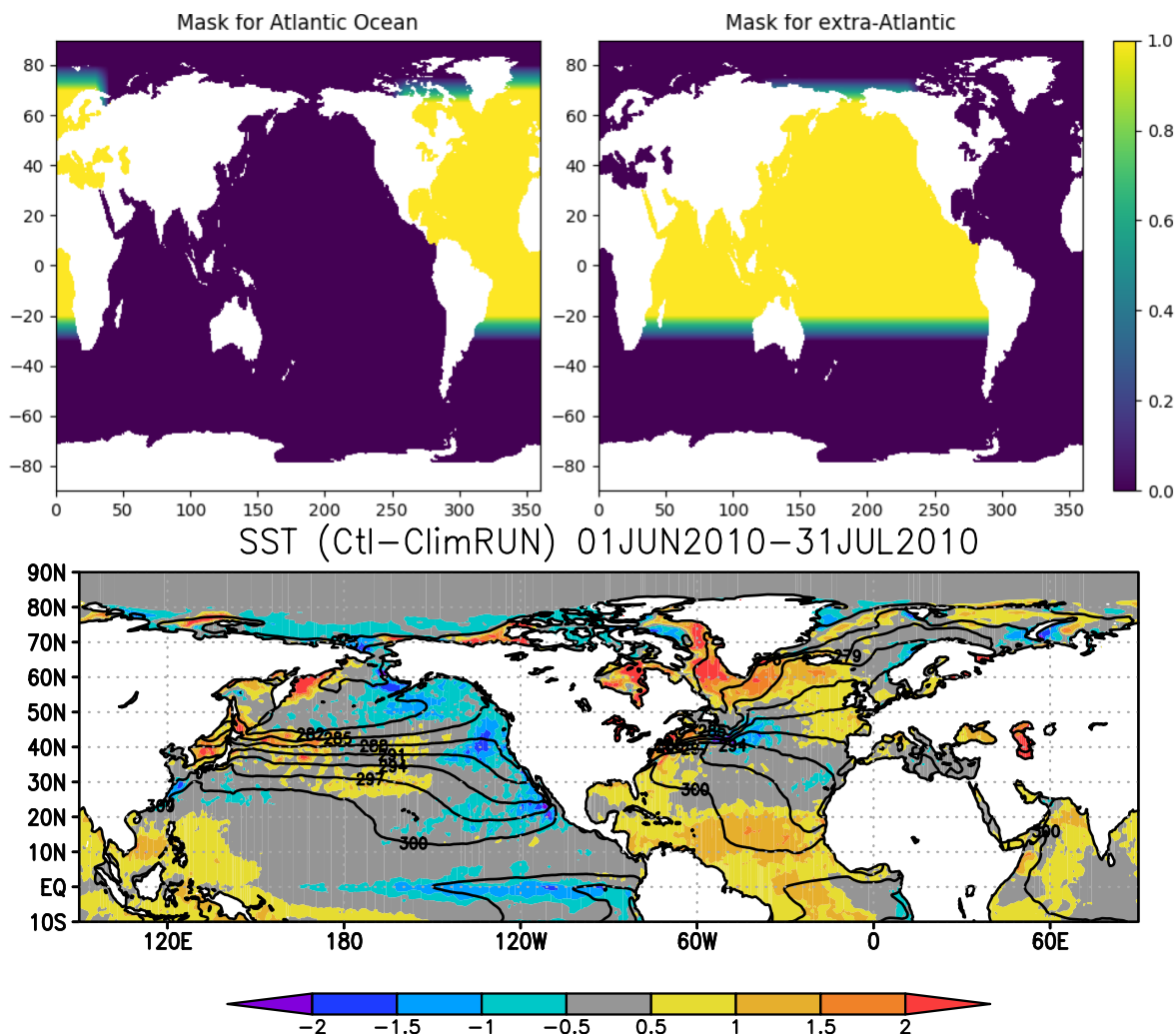


図 2: (右上) ATL 実験と (左上) ExATL 実験のためのマスク領域と, 2010 年 6~7 月平均の SST 偏差 (陰影, [K]) および気候値 (コンター, [K]). マスク 1.0 (0.0) の領域では気候値に偏差が 100% (0%) 上乘せされる設定になっている.

の気候値は 1982 年から 2016 年までの各カレンダー日での 36 年平均としている. 図 2 は, 2010 年夏 (6 月~7 月) での全球 SST の気候値からの偏差と, ATL 実験および ExATL 実験でのマスク領域を示している.

図 3 は, 7 月平均でのブロッキングの発生頻度の描画である. CTL 実験と感度実験でのブロッキング指標 [10] の差が, 海洋や初期値がブロッキングに与える影響を示している. まず, CTL 実験を見ると, 20° W 付近と 30° E 付近でブロッキング発生頻度のピークが存在している. 30E のピークの位置がロシアブロッキングの発生位置になる. ただし, CTL 実験で予測されるブロッキングの発生頻度は解析値の 2 割程度になっている.

感度実験はどれもロシアブロッキングの発生頻度が下がっている. このことは, ロシアブロッキングの再現には, 現実的な海洋分布と初期値が両方寄与したという結果を示している. また, ATL 実験と ExATL 実験との比較から, この事例では大西洋よりも太平洋の SST 分布による大気との相互作用の方がブロッキングの形成や維持に重要であったことを示唆している.

ただし, この実験は 255 メンバーを有しても非常に大

きなノイズを含んでいる. 例えば, global 実験では CTL 実験とほとんど差がないのに対して, g_init2015 実験では CTL 実験から有意なブロッキング頻度の減少が見られている. また, CTL 実験でのブロッキング頻度も解析値に比べて低いことも挙げられる. CTL 実験がロシアブロッキングの形成や持続を引き起こす現実的なプロセスを再現できているか, また, 現実的な大気大循環モデルとの比較も今後必要であろう.

3. まとめ

大アンサンブル (255 メンバー) での AFES の予測実験を, 3 ヶ月の季節予測スケールに拡張した実験を行った. さらに, 海洋の一部を気候値にマスクする感度実験を行ったことで, アンサンブル季節予測実験に資するシステムの構築を行った. このシステムでは, 初期値を ALERA2 のアンサンブル大気解析データで与えているため, タイムスライス実験のような過去の異常気象についての事例解析を季節予測スケールで行うことが可能となる.

今回は, 2010 年夏のロシアブロッキングを対象として, 1 ヶ月先の予測可能実験を行い, 大西洋や太平洋の海盆を

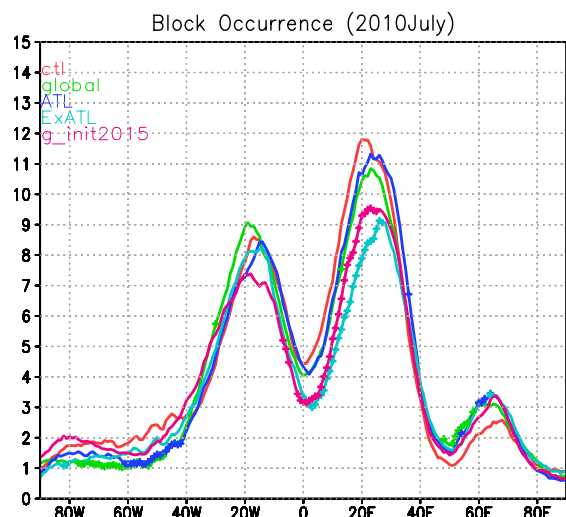


図 3：2010 年 7 月平均でのブロッキングの発生頻度[%]予測。

CTL(赤), global(緑), ATL(青), ExATL(薄青), g_init2015(薄紅)実験の結果を示す。予測結果はアンサンブル平均値である。線に印がついている実験はその経度での CTL との差が 95%有意であることを示す。

分けて SST のブロッキング形成・持続への寄与を調査した。実験の結果、2010 年夏の現実的な SST 分布がロシアブロッキングの発生頻度に影響を与えることがわかった。アンサンブル実験をベースにしているため、予測可能性研究にとどまらず、メカニズム研究などにも有効な知見が今後得られることが期待される。

次の課題として、AFES のチューニングパラメータや解像度依存性についても調査を進めていく予定である。

文献

- [1] Enomoto T., A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, W. Ohfuchi, "Description of AFES2: Improvements for high-resolution and coupled simulations," In *High Resolution Numerical Modelling of the Atmosphere and Ocean*, K. Hamilton and W. Ohfuchi (ed.), chap. 5, pp. 77–97, 2008.
- [2] Satoh, M., et al., "The Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model: description and development," *Prog. Earth Planetary Sci.*, 32 pp., December 2014.
- [3] Enomoto, T., T. Miyoshi, Q. Moteki, J. Inoue, M. Hattori, A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, and S. Yamane, "Observing-system research and ensemble data assimilation at JAMSTEC," In *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrological Applications (Vol. II)*, S. K. Park and L. Xu (ed.), chap. 21, pp. 509–526, Springer, 2013.
- [4] Yamazaki, A., T. Enomoto, T. Miyoshi, A. Kuwano-Yoshida, and N. Komori, "Using observations near the poles in the AFES–LETKF data assimilation system," *SOLA*, 13, 41–46, March 2017.
- [5] Dee, D. P., et al., "The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system," *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 137, 553–597, April 2011.

[6] Kobayashi, S., et al., "The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics," *J. Meteor. Soc. Japan*, 93, 5–48, March 2015.

[7] ECMWF, "IFS documentation," <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/documentation-and-support/changes-ecmwf-model/ifs-documentation>.

[8] Japan Meteorological Agency, "JMA's Global Spectral Model," <https://www.wis-jma.go.jp/ddb/>.

[9] Reynolds, R. W., Smith, T. M., Liu, C., Chelton, D. B., Casey, K. S., and Schlax, M. G., "Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature," *J. Climate*, 20, 5473–5496, November 2007.

[10] Matsueda, M., "Predictability of Euro-Russian blocking in summer of 2010," *Geophys. Res. Lett.*, 38, 6 pp., March 2011.

Seasonal Forecast Experiments with 255 Ensemble Members for a Case of Euro-Russian Blocking in Summer 2010

Project Representative

Takeshi Enomoto

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Authors

Akira Yamazaki*¹, Takeshi Enomoto*², Akira Kuwano-Yoshida*², Masuo Nakano*³, Munehiko Yamaguchi*⁴, Mio Matsueda*⁵, Shozo Yamane*⁶, Kazutoshi Sato*⁷

*¹ Application Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, *² Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, *³ Department of Seamless Environmental Prediction Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, *⁴ Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, *⁵ Center for Computational Sciences, University of Tsukuba, *⁶ Faculty of Science and Engineering, Doshisha University, *⁷ Faculty of Engineering, Kitami Institute of Technology

Using the Atmospheric General Circulation Model (AGCM) for the Earth Simulator (AFES), seasonal ensemble forecast experiments were conducted from the AFES-LETKF experimental ensemble reanalysis 2 (ALERA2) to investigate the predictability of the atmospheric blocking occurred in summer 2010 over western Russia (Euro-Russian blocking). The experiments were conducted from the initial values: the analysis of ALERA2 with 255 ensemble members. In addition to the control experiment, in which realistic daily variable sea-surface temperature was prescribed as a boundary condition, several sensitivity experiments in each of which a certain ocean basin sea-surface temperature over a certain ocean basin was replaced with climatological values were performed and compared. Results showed that the control experiment could better reproduce occurrence frequency of Euro-Russian blocking for 1-month-lead forecast than the sensitivity experiments.

Keywords : ensemble forecast, ensemble analysis, AGCM, predictability, atmospheric blocking

1. Introduction

We have conducted weather forecasting experiments using multiple global models and multiple initial atmospheric conditions prepared from operational centers, reanalysis datasets, and our data assimilation system. Each model is run from different initial conditions: we call this approach the “cross-multiply experiment”. In this project, forecast experiments using two general circulation models, i.e., the Atmospheric General Circulation Model (GCM) for the Earth Simulator (AFES [1]) and Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM [2]) from an ensemble analysis that is ALERA2 (AFES-LETKF experimental ensemble reanalysis 2 [3],[4], where the LETKF stands for the local ensemble transform Kalman filter [5]) have been conducted in order to clarify mechanisms of predictability variations in high-impact weather events found in global numerical weather prediction.

This year, ensemble seasonal experiments were conducted. As conducted in the last year’s project, the purpose of this study is to clarify the effects of increasing ensemble members to generate initial conditions were examined 255 generated by the same data assimilation system for ALERA2 (ALERA2-M255). The model used was AFES with the same setting of the data assimilation system. The horizontal resolution was T119 (~1° × 1°) and the vertical level was

48 (up to ~3 hPa).

2. Ensemble seasonal forecast experiment

We conducted 3-month forecast experiments from 00UTC 1 June 2010 initialized with ALERA2-M255. The targeted atmospheric phenomenon is atmospheric blocking event occurred during summer 2010 over western Russia (Euro-Russian blocking). We examined seasonal predictability of Euro-Russian blocking during July 2010: i.e., at the 1-month-lead forecast period.

As the boundary condition, daily variable sea-surface temperature (SST) analysis fields were used (CTL experiment). The SST data was taken from the daily 1/4° OISSTICE dataset [6]. In addition, we conducted sensitivity experiments in each of which a certain ocean basin SST over a certain ocean basin was replaced with climatological one. The sensitivity experiments conducted here were the following. One is that SST over the Atlantic Ocean was replaced with daily climatological SST fields (ATL experiment), and the other is that SST over the Pacific and Indian Ocean was replaced with the climatology (ExATL experiment). Comparing with the CTL with the sensitivity experiments, we exploited impacts of the SST variability during summer.

Blocking occurrence in the forecast experiments was

quantified by the Tibaldi and Molteni's blocking index used in [7]. Blocking frequencies in the experiments were counted by how many days blocking occur during July 2010 in each experiment over Euro-Russian regions (near 30° E).

Results showed that the blocking frequency in the CTL experiment was 11%, which is the higher values than those in the sensitivity experiments. Because the analyzed blocking frequency was about 60%, the CTL experiment could better reproduce the realistic blocking. The results in turn imply that the SST distribution in the summer 2010 contributed to the occurrence of Euro-Russian blocking. However, the differences of the frequency between the CTL and sensitivity experiments were at most 2% or 3% (between the CTL and ExATL experiments). Moreover, the blocking frequency reproduced in the CTL experiment was one-sixth as much as the analyzed frequency. Therefore, we have to further investigate the inherent mechanisms about the seasonal predictability of Euro-Russian blocking and have to develop and/or tune the model to increase the blocking frequency in the seasonal forecast experiment.

References

- [1] Enomoto T., A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, W. Ohfuchi, "Description of AFES2: Improvements for high-resolution and coupled simulations," *In High Resolution Numerical Modelling of the Atmosphere and Ocean*, K. Hamilton and W. Ohfuchi (ed.), chap. 5, pp. 77–97, 2008.
- [2] Satoh, M., et al., "The Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model: description and development," *Prog. Earth Planetary Sci.*, 32 pp., December 2014.
- [3] Enomoto, T., T. Miyoshi, Q. Moteki, J. Inoue, M. Hattori, A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, and S. Yamane, "Observing-system research and ensemble data assimilation at JAMSTEC," *In Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydro-logical Applications (Vol. II)*, S. K. Park and L. Xu (ed.), chap. 21, pp. 509–526, Springer, 2013.
- [4] Yamazaki, A., T. Enomoto, T. Miyoshi, A. Kuwano-Yoshida, and N. Komori, "Using observations near the poles in the AFES-LETKF data assimilation system," *SOLA*, 13, 41–46, March 2017.
- [5] Miyoshi, T., and S. Yamane, 2007: Local ensemble transform Kalman filtering with an AGCM at a T159/L48 resolution, *Mon. Wea. Rev.*, 135, 3841–3861, November 2007.
- [6] Reynolds, R. W., Smith, T. M., Liu, C., Chelton, D. B., Casey, K. S., and Schlax, M. G., "Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature," *J. Climate*, 20, 5473–5496, November 2007.
- [7] Matsueda, M., "Predictability of Euro-Russian blocking in summer of 2010," *Geophys. Res. Lett.*, 38, 6 pp., March 2011.