

台風とブロッキング事例における予測可能性に対する水平解像度の影響

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^{*1,2}, 吉田 聡^{*1}, 中野 満寿男^{*3}, 山口 宗彦^{*4}, 松枝 未遠^{*5,6}, 山根 省三^{*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 ビッグデータ活用予測プロジェクトチーム, *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 オクスフォード大学, *7 同志社大学 理工学部

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。最長7日間の予報実験を行い、(1) 2013年の台風3号の進路予測実験と(2) 2010年夏に発生したヨーロッパ～ロシア西部上空でのブロッキング現象の予測可能性について、水平解像度全球約100kmのものとそれを2倍に変更した実験とを比較することで予測可能性が変化する要因(メカニズム)の調査を行った。(1)では一つの初期時刻から5日間の予報実験、(2)ではブロッキングの発生期間中で初期時刻を1日ずつずらしてそれぞれから7日間の予報実験を行い予測可能性変動の時系列を調査した。

解像度の増加により、(1)の台風事例では進路予測に改善が見られたが、(2)のブロッキング事例では見られなかった。台風事例の進路予測の改善には、台風進路の前面にある対流活動の再現性が影響を与えている可能性が示唆された。ブロッキングの予測可能性変動については、特にブロッキングの予測精度が減少する時期にブロッキングの近傍に予測精度の低いトラフが接近することでブロッキング領域の予測精度を下げている様子が見られた。

キーワード：アンサンブル予報, 予測可能性変動, 台風, 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 (Atmospheric general circulation model For the Earth Simulator [1], [2], [3]) や NICAM (Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model [4]) などの複数の予報モデルと、実験的アンサンブル大気再解析 ALERA2 (AFES-LETKF experimental ensemble reanalysis 2 [5], [6]) や全球の現業解析などを用いて、初期値を交換した「たすき掛け」予報実験を行っている(図1)。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。

今年度は、初期値には ALERA2、予報モデルには AFES の組み合わせだけを用いるが、予報モデルの水平解像度を T119 (水平約100km) と T239 (約50km) に設定してそれぞれの結果を比較することで、対象とする現象の予測可能性が変化する要因を調査する。予報実験の対象として、今年度は2013年の台風第3号(Yagi)と2010年夏にヨーロッパ～ロシア西部で発生したブロッキング(以下、ロシアブロッキング)の2つの大気擾乱に注目して、それらの予測精度に影響を与える大気循環場の特徴を調査した。

初期値に用いる ALERA2 は、アンサンブル同化手法 LETKF (Local Ensemble Transform Kalman Filter [7], [8]) と AFES で地球シミュレータを用いて作成されている。そのため、複数ノードで AFES を用いることで容易にアンサンブル予報実験を行うことができる。ALERA2 は、水平解像度 T119、鉛直48層、63個のアンサンブルメンバー数を持つ。予報モデル AFES は ALERA2 と同じ水平・鉛直解像度を持つ。この実験を以下 T119 実験とし、それに対して、水平解像度を2倍(T239)にした実験を T239 実験とする。なお、T239 実験では ALERA2 を水平方向に内挿してから予報実験を行っている。

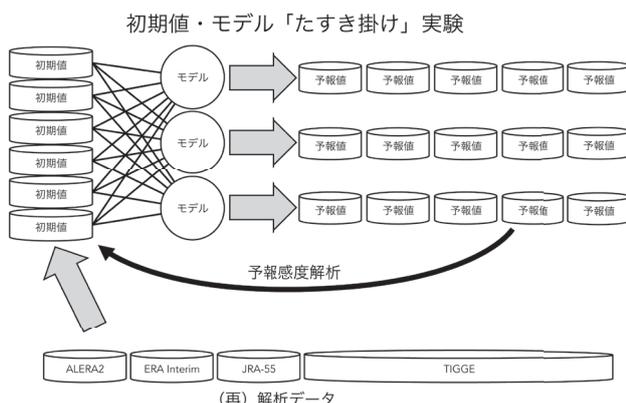


図1 「たすき掛け」予報実験の概念図。

2. 台風 Yagi の進路予測に対する水平解像度の影響

前年度の課題において、ALERA2 の初期値を用いて水

平解像度を T119 から T239 にすると、2013 年台風第 3 号 (Yagi) の進路予測が向上する結果が得られた。今年度は出力される予報値について、解像度の変更に伴う大気循環場の違いを分析することで何が進路予測を改善したのかを調査した。予報の初期時刻は 2013 年 6 月 9 日 12UTC で、そこから 5 日の予報実験を行っている。

まず、台風の中心気圧の変化を調べると、T239 実験の方が全てのメンバーで、気圧の大きさや変化傾向が気象庁のベストトラックデータに近くなっていた。このことから、中心気圧に関しても T239 実験の方が T119 実験より現実に近い台風をシミュレートできていることを示す。

それぞれの実験での台風の周りの大気循環場の違いを見ると、予報前半において、台風の進路前面 (本州南沖) の海面気圧のアンサンブル平均場とスプレッド場に違いが見られ、特に後者の違いが顕著であった (図 2)。対応する時刻での衛星画像 (<http://weather.is.kochi-u.ac.jp> 参照) にを見ると、T239 実験でのスプレッドの大きな領域と対流積雲域の分布が対応しており、これらの積雲活動の活発さが海面気圧のスプレッドの大きさとして可視化され

ていることが示唆される。この結果はさらに、台風の周辺での対流活動の表現が全球モデルにおける台風進路の精度に大きな影響を与えていることを示唆する。また、図 2 では台風中心のすぐ東側にもスプレッド極大域が見られ、この大きさも T119 と T239 実験で大きく異なっている。台風中心近傍での対流活動の表現が進路予測に大きな影響を与えることが [9] で指摘されているが、本州の南沖でのスプレッド極大は台風から大きく離れた進路前方に位置しており、それが予測進路に与える影響は自明ではない。どちらのスプレッド極大場、あるいは対流活動の表現が進路予測の改善に寄与したのかについて、今後、初期値やモデルを交換した実験同士での比較を行い調査していく予定である。

3. 2010 年夏季のロシアブロッキングの予測可能性変動

2010 年の 6 月～8 月初旬にかけて発生し、ヨーロッパやロシア域での熱波、山火事などの様々な異常気象を引き起こした ([10], [11], [12] など) ロシアブロッキングについての予測可能性の変動をその発生期間において調査した。特にブロッキングが顕著であった 7 月から 8 月初旬において (図 3a)、毎日 12UTC から 1 日毎に 7 日間の予報を行い、予測可能性変動を調査した。

T119 実験において、7 月の下旬 (26 日前後) を対象とした予報で予測精度が大きく低下している (図 3b)。これはブロッキングの上流 (西) 側の領域では見られないことから (図 3b 緑線)、ブロッキングの大気循環場の予測が難しかったことを示している。この時期の予測精度の減少は先行研究でも指摘されている ([12], [13])。興味深いことに、この予測精度の減少は T239 実験でも同様に現れていて (図 3b 赤線)、水平解像度の増加がこの予測可能性変動に影響しないことがわかった。この予測精度低下時期の総観場を見ると、ブロッキング領域に北西 (グリーンランド付近) からトラフ (20E 付近) が侵入し、その侵入の予測にバイアスがあったためにブロッキング領域での予測精度を低下させていた (図 3c)。このトラフの侵入の予測は、全球モデルでの水平解像度には依らない、トラフと関係する温帯低気圧の (雲) 物理・力学過程の表現に関係しているのかもしれない。このトラフの起源や、その予測精度を向上させる要因について、水平解像度以外の観点から調査を行っていく予定である。

4. まとめと今後の方針

同じ初期値 (ALERA2) から AFES の水平解像度を T119 と 2 倍 (T239) にした 63 メンバーアンサンブル予報実験の結果を比較して、モデルの高解像度化とそれによる大気循環場の再現性向上の要因について調査を行った。2013 年の台風第 2 号 (Yagi) と 2010 年夏のロシア西部でのブロッキングの予測精度の改善につながる大気循環場の特徴を調査した。前者では、解像度の増加により進路と中心気圧の予測が改善し、その要因として台風の進路前面での積雲対流のモデルでの表現が重要である可

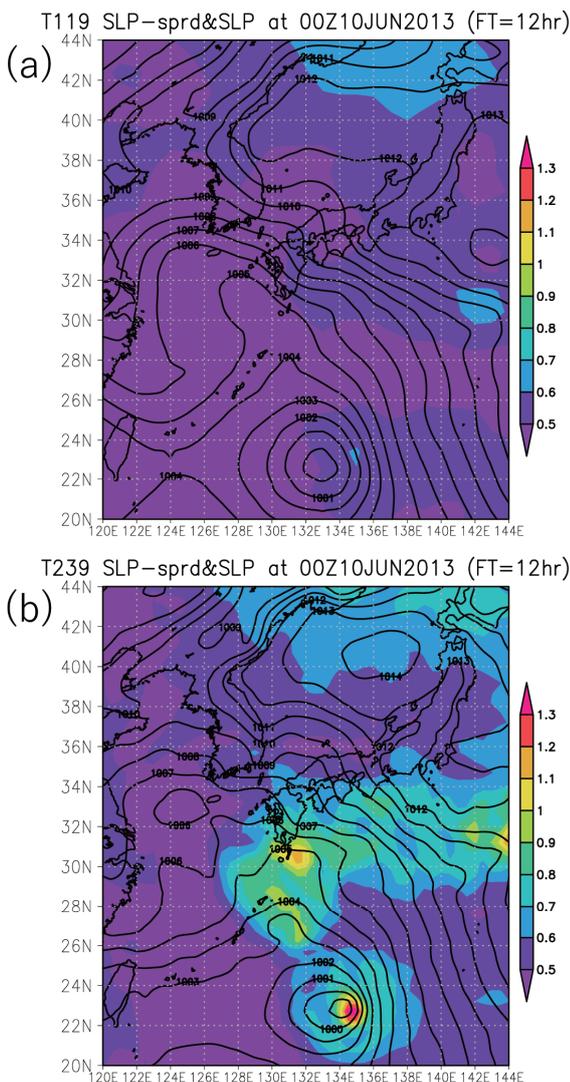


図 2 予報開始 12 時間後 (2013 年 6 月 10 日 00UTC) での (a) T119 実験と (b) T239 実験での海面気圧アンサンブルスプレッド (陰影, [hPa]) とアンサンブル平均 (コンター, [hPa])。

能性が示唆された。後者では、特定の時期（7月の下旬後半）にブロッキングの予測精度が下がる要因が北西からブロッキング域へ侵入するトラフが関係していて、それは解像度の増加によって予測精度の向上は見られないことがわかった。

台風 Yagi の進路予報事例に関しては、他のモデルを用いた実験も並行して行っており、これらの結果を総合的に比較して初期値やモデル交換による進路予測改善への相対的寄与や、予測に重要な再現されるべき大気循環場の特徴についてのまとめを進めている。ロシアブロッキングの事例では、今後、モデルや初期値を交換しての同様な予測実験を行う。また、予測可能性変動が水平解像度に依らないことがわかったので、T119 の解像度でより大きなアンサンブル数（例えば、255 メンバー）での

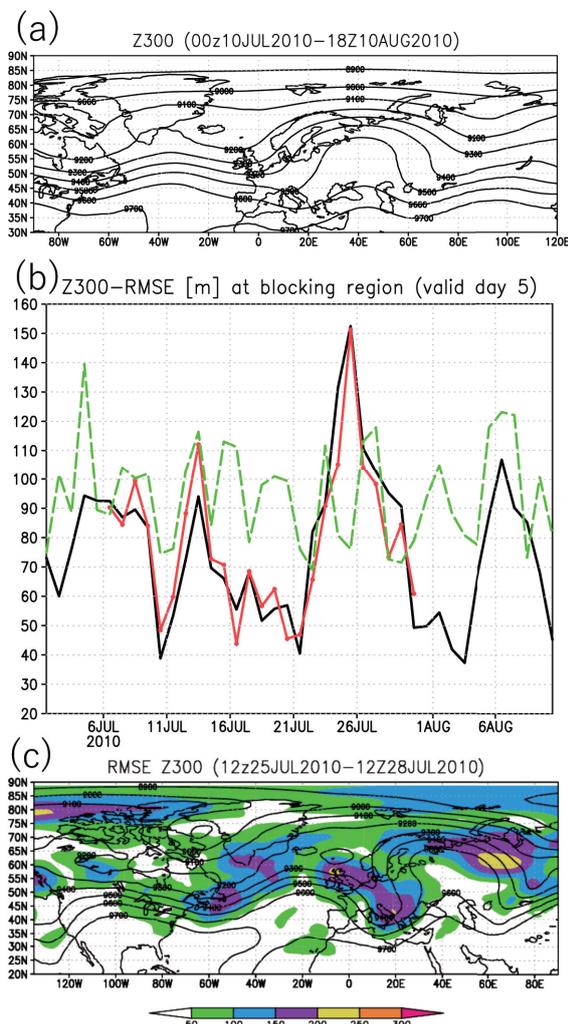


図3 (a) ALERA2 での、2010年7月10日から8月10日で平均した300 hPa ジオポテンシャル高度場(Z300)[m]。(b)ブロッキング領域(10E-70E, 40N-70N; 黒と赤線)とその上流域(90W-0W, 40N-60N; 緑点線)で平均した、ALERA2 に対する Z300 の5日予報値(アンサンブル平均)の根2乗平均誤差[m]。横軸は予報対象日を示す。黒線と赤線はそれぞれ T119 実験と T239 実験の結果を示す。(c)ブロッキング予測精度減少時期(7月25日12UTC~7月28日12UTC)平均での Z300 の5日予報値の ALERA2 に対する根2乗平均誤差分布(陰影、[m])と ALERA2 での Z300 分布(コンター、[m])。

ALERA2 の予測実験を行い、メンバー間の比較から精度の低下を防ぐための要因について調査を行っていきたい。

文献

- [1] Ohfuchi, W., et al., 2004: 10-km mesh meso-scale resolving simulations of the global atmosphere on the Earth Simulator—Preliminary outcomes of AFES (AGCM for the Earth Simulator)—, *J. Earth Simulator*, 1, 8–34.
- [2] Enomoto T., A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, and W. Ohfuchi, 2008: Description of AFES2: Improvements for high-resolution and coupled simulations, *High Resolution Numerical Modelling of the Atmosphere and Ocean*, chap. 5, 77–97.
- [3] Kuwano-Yoshida, A., T. Enomoto, and W. Ohfuchi, 2010: An improved PDF cloud scheme for climate simulations, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **136**, 1583–1597.
- [4] Satoh, M., et al, 2014: The Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model: description and development, *Prog. Earth Planetary Sci.*, 1:18, doi:10.1186/s40645-014-0018-1.
- [5] Enomoto, T., et al., 2013: Observing-system research and ensemble data assimilation at JAMSTEC, *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications (Vol. II)*, chap. 21, 509–526.
- [6] Yamazaki, A., T. Enomoto, T. Miyoshi, A. Kuwano-Yoshida, and N. Komori, 2017: Using observations near the poles in the AFES-LETKF data assimilation system, *SOLA*, **13**, 41–46.
- [7] Hunt, B. R., E. Kalnay, E. J. Kostelich, E. Ott, D. J. Patil, T. Sauer, I. Szunyogh, J. A. Yorke, and A. V. Zimin, 2004: Four-dimensional ensemble Kalman filtering, *Tellus*, **56A**, 273–277.
- [8] 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.
- [9] Yamada, H., T. Nasuno, W. Yanase, and M. Satoh, 2016: Role of the vertical structure of a simulated tropical cyclone in its motion: A case study of typhoon Fengshen (2008), *SOLA*, **12**, 203–208.
- [10] Dole, R., et al., 2011: Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L06702.
- [11] Webster, P., V. E. Toma, and H.-M. Kim, 2011: Were the 2010 Pakistan floods predictable? *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L04806.
- [12] Quandt, L.-A., J. H. Keller, O. Martius, and S. C. Jones, 2017: Forecast variability of the blocking system over Russia in summer 2010 and its impact on surface conditions, *Wea. Forecasting*, **32**, 61–82.
- [13] Matsueda, M., 2011: Predictability of Euro-Russian blocking in summer of 2010, *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L06801.

Predictability Studies for a Typhoon and Atmospheric Blocking: Effects of Horizontal Resolution

Project Representative

Takeshi Enomoto Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Authors

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

*1 Application Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, *2 Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, *3 Project Team for HPC Advanced Predictions utilizing Big Data, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, *4 Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, *5 Center for Computational Sciences, University of Tsukuba, *6 University of Oxford, *7 Doshisha University

Using the Atmospheric General Circulation Model (AGCM) for the Earth Simulator (AFES), ensemble forecast experiments were conducted from the AFES-LETKF experimental ensemble reanalysis 2 (ALERA2) to investigate the predictability of Typhoon Yagi 2013 and of the atmospheric blocking occurred in summer 2010 over western Russia. The experiments were conducted with two horizontal resolutions in AFES: approximately 100 and 50 km in grid scale for comparison. In the typhoon case the higher resolution model can improve the track, presumably by improving the representation of convective clouds ahead of the typhoon track. In the blocking case, by contrast, the higher resolution does not improve the predictability during the period of poor forecast skill. It is found that a trough approaching the blocking from the northwest would bring low predictability.

Keywords: Predictability Variation; Ensemble Forecast; Typhoon; Atmospheric Blocking

1. Introduction

In our project, forecast experiments using multiple general circulation models such as the Atmospheric General Circulation Model for the Earth Simulator (AFES [1]) and Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM [2]) from multiple analyses and ensemble analysis such as operational analyses and ALERA2 (AFES-LETKF experimental ensemble reanalysis 2 [3],[4], where LETKF stands for the local ensemble transform Kalman filter [5]) have been conducted in order to clarify the variation mechanisms of predictability of high-impact weather events in global numerical weather prediction. This year, the effects of different horizontal resolutions were examined by comparing the models with the resolution of T119 (~100 km in grid scale) and T239 (~50 km) initialized with the same analysis. The model and the analysis were AFES and ALERA2, respectively. In the following two case studies, we compared the results from the models with two different horizontal resolutions and investigated the difference in atmospheric circulation between them; (1) Typhoon Yagi 2013 and (2) atmospheric blocking event occurred during summer 2010 over western Russia (Russian blocking).

2. Impact of the horizontal resolution on forecasting tracks of Typhoon Yagi 2013

The operational track forecasts of Typhoon Yagi 2013 disagreed among the centers. Last year we found the ensemble experiment with the high (T239) resolution improved the forecast track of the typhoon rather than that with the low (T119) resolution. This year, we investigate the difference between these forecast results in the atmospheric circulation surrounding Typhoon Yagi.

Among 5-day forecast it is found that the ensemble spread of the sea level pressure ahead of the typhoon track, along the southern coast of the Main Island of Japan and just to the east of the typhoon center, became larger in the high-resolution experiment. Because the distribution of the larger spread was similar with that of convective clouds seen in satellite imageries (see, <http://weather.is.kochi-u.ac.jp>), the spread difference in the high- and low-resolution experiments would be caused by representation of the convective clouds in the model. This implies that the representation of convective clouds around a typhoon in a model would be crucial for typhoon track forecasts (e.g., [6]).

3. Predictability variation of the Russian blocking during summer 2010

The Russian blocking occurred during June–early August 2010 over Europe and western Russia and causes various weather extremes such as heat waves and wild fires there (e.g., [7]). We have found that the predictability of the block fluctuated and dropped in the end of July (around 26 July 2010) as found in [7] and [8]. Here we investigate the difference of predictability variations in the high- and low-resolution experiments.

As a result, the drop of the predictability is found in both resolution experiments. In addition, the drop was related to intrusion of the forecast trough located to the west of the Russian blocking originating from the northwest (near Greenland); the trough accompanies large bias (root-mean square error from the analysis) and brings the low predictability into the blocking region. Thus, the predictability variation of the Russian blocking especially the drop of the forecast skill in the end of July may be related to the skill for the trough intruding into the blocking, which is insensitive to horizontal resolution of AFES. It may be rather related to representation of cloud processes in the trough (extratropical cyclone) irrelevant to the resolution.

References

- [1] Enomoto T., A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, and W. Ohfuchi, 2008: Description of AFES2: Improvements for high-resolution and coupled simulations, *High Resolution Numerical Modelling of the Atmosphere and Ocean*, chap. 5, 77–97.
- [2] Satoh, M., et al, 2014: The Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model: description and development, *Prog. Earth Planetary Sci.*, 1:18, doi:10.1186/s40645-014-0018-1.
- [3] Enomoto, T., et al., 2013: Observing-system research and ensemble data assimilation at JAMSTEC, *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications (Vol. II)*, chap. 21, 509–526.
- [4] Yamazaki, A., T. Enomoto, T. Miyoshi, A. Kuwano-Yoshida, and N. Komori, 2017: Using observations near the poles in the AFES–LETKF data assimilation system, *SOLA*, **13**, 41–46.
- [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.
- [6] Yamada, H., T. Nasuno, W. Yanase, and M. Satoh, 2016: Role of the vertical structure of a simulated tropical cyclone in its motion: A case study of typhoon Fengshen (2008), *SOLA*, **12**, 203–208.
- [7] Quandt, L.-A., J. H. Keller, O. Martius, and S. C. Jones, 2017: Forecast variability of the blocking system over Russia in summer 2010 and its impact on surface conditions, *Wea. Forecasting*, **32**, 61–82.
- [8] Matsueda, M., 2011: Predictability of Euro-Russian blocking in summer of 2010, *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L06801.

