

# 数値天気予報における予測可能性変動メカニズムの解明

課題責任者

榎本 剛 京都大学 防災研究所

著者

山崎 哲<sup>\*1</sup>, 中野満寿男<sup>\*2</sup>, 榎本 剛<sup>\*1,3</sup>, 吉田 聡<sup>\*1</sup>, 山口 宗彦<sup>\*4</sup>,  
松枝 未遠<sup>\*5,6</sup>, 山根 省三<sup>\*7</sup>

\*1 海洋研究開発機構 アプリケーションラボ

\*2 海洋研究開発機構 シームレス環境予測研究分野

\*3 京都大学 防災研究所

\*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

予報モデルとして地球シミュレータ用大気大循環モデル (AFES) と全球非静力学大気モデル (NICAM) を、初期値として気象庁全球解析値と実験的グローバルアンサンブル再解析 (ALERA2) を用いて、台風・集中豪雨・ブロッキング現象を対象としたアンサンブル予報実験を実施した。これらの現象はいずれも非線形性の強い大気現象であり、これらのメカニズムの理解とこれらの現象が引き起こす予測可能性変動について調べるのが本課題の目的である。

これらの現象について事例解析を行い、そのメカニズムと大気現象が引き起こす予測可能性変動について下記の結果を得た。台風 Yagi (2013 年 6 月) の進路予報は、予報モデル AFES の水平解像度を上げることで改善されることがわかった。2014 年に広島で起きた集中豪雨の発生のポテンシャルは、NICAM を用いたアンサンブル予報実験により予測可能であることが示された。AFES を用いた 2010/11 年冬季アンサンブル予報実験から、北半球でのブロッキングの発生位置が北半球大循環の予測可能性変動に関係している可能性が示唆された。

キーワード：アンサンブル予報, 予測可能性変動, 台風, 集中豪雨, 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 2 つの大気大循環モデル AFES (Atmospheric General Circulation Model for the Earth Simulator [1]) と NICAM (Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model [2]) を用いて、初期値を交換したアンサンブル予報実験を行った。予報実験の対象として、集中豪雨・台風・ブロッキングの 3 つの大気現象を選んだ。これらは、いずれも極端気象や異常気象であり、災害を引き起こす可能性がある社会的影響の大きな現象であるとともに、メカニズムや予測可能性といった科学的な知見に関しても未解明な部分が多い。本課題での予報実験からは、防災・減災に貢献する成果だけでなく、科学的な成果も期待される。同時に、これらの大気現象は非線形性の強い顕著な擾乱であるので、本課題の目的である、非線型誤差成長を理論的に分析して、これらのメカニズムの理解とこれらの現象が引き起こす予測可能性変動について調べる。

本課題で用いる基本的な手法は、複数の初期値 (大気解析場) と複数の大気モデルを使って予報実験を行い、ある現象の予測誤差に対して初期値と大気モデル (予報部分) の不確実性の相対的な寄与を定量化することである。今年度は、特にアンサンブル同化手法 LETKF (local ensemble transform Kalman filter [3]) によって作成された

アンサンブル再解析値を初期値とし、AFES と NICAM を使ってアンサンブル予報実験を行った。

具体的には、下記の 3 つの大気場についてハインドキャスト実験を行った。

1. 台風 Yagi (2013 年台風第 3 号)
2. 2014 年 8 月の広島豪雨
3. 2010/11 年冬季の大循環場

以下の節でそれぞれ実験の詳細と結果について示す。初期値には全て地球シミュレータを用いて作成された実験的アンサンブル大気再解析 ALERA2 (AFES-LETKF experimental ensemble reanalysis 2 [4]) を用いた。ALERA2 は、水平解像度 1 度、鉛直 48 層の妥当な解析精度を持っており (例えば、[5])、64 個のアンサンブルメンバー (63 個のメンバーとその平均) を用いてアンサンブル予報での予測可能性研究を行うことができる。また、2 については、気象庁全球解析値を ALERA2 のアンサンブル平均の代わりに用い、ALERA2 の摂動を加えることで、気象庁全球解析のための擬似的なアンサンブル初期値を作成した。

## 2. 台風 Yagi の進路予測

2013 年の台風 3 号 Yagi の進路予測は、多くの予報機関が実際の進路よりも西寄りの進路を予測していた。ここ

では AFES の水平解像度だけを変更し、進路予測の改善が見られるか調査した。初期値は共通の ALERA2 (水平解像度 T119、約 100km 格子) を用いて、アンサンブル AFES 予報を鉛直層数 48、水平解像度 T119 と T239 (約 50km 格子) の 2 つで 5 日の予報実験を行った。

図 1 はそれぞれの予報実験での台風進路の結果を示している。予報開始 2～3 日目までは T239 の方が北東寄りのベストトラック (実際の進路) をよく再現している。また、メンバー間の進路のばらつきも T119 より広がっており、ベストトラックに近いメンバーも見られる。したがって、高解像度化でバイアスの改善だけでなく、アンサンブルメンバーを利用したポテンシャル予測の有用性も高まるという結果が得られた。ただし、どちらの実験でも、それ以降の予報は北西進し、いくつかのメンバーはトラックを現実的に追跡できなくなっている (ここでは SLP の極小を追跡している)。

この台風事例に関しては、モデルの水平高解像度化は、台風進路のアンサンブル予測の有用性を高めることがわかった。

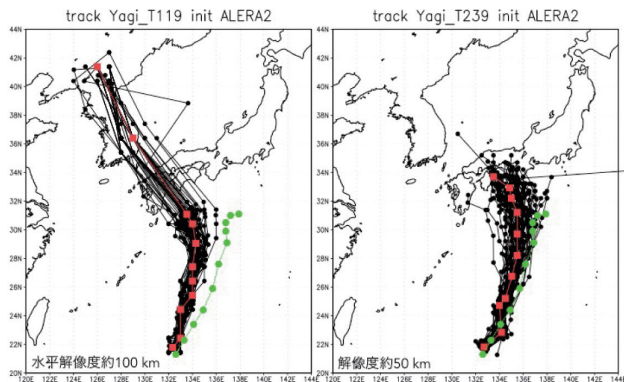


図 1 (左) T119 と (右) T239 アンサンブル予報実験での 3 日間の台風トラック。2013 年 6 月 9 日 12UTC を初期値としている。黒線 (丸印) が各メンバーの進路、赤線 (四角印) がアンサンブル平均場での進路、緑色点線 (丸印) が気象庁のベストトラックである。

### 3. 2014 年 8 月広島豪雨のアンサンブル予報実験

2014 年 8 月 20 日の未明から明け方にかけて、広島市で集中豪雨が発生した。この集中豪雨は、広島・山口付近に発生した幅 20～30km、長さ約 100km の線状降水帯の停滞により引き起こされた [6]。この線状降水帯について、水平解像度 14km 鉛直層数 38 の NICAM を使ってアンサンブル予報実験を行った。19 日 0900JST の ALERA2 解析値 (63 メンバー) を初期値とするアンサンブル実験を行ったところ、すべてのメンバーで広島付近の 24 時間積算降水量が 10mm 以下であった。そこで、同時刻の気象庁全球解析に ALERA2 の各メンバーから求めた摂動を加えた初期値 (JMA-pALERA2) アンサンブル実験を行った。その結果、いくつかのメンバーが広島付近に 100mm 以上の大雨を予測した (図 2)。この結果は、全球モデルでもローカルな降水現象のポテンシャル予測が可能であることを示唆している。ALERA2 と JMA 初期値の差については、

ALERA2 と気象庁全球解析の可降水量に大きな差は見られなかったが、下層 (1000～850hPa) の鉛直積算水蒸気量は、九州・四国の南海上で気象庁全球解析の方が多かった。

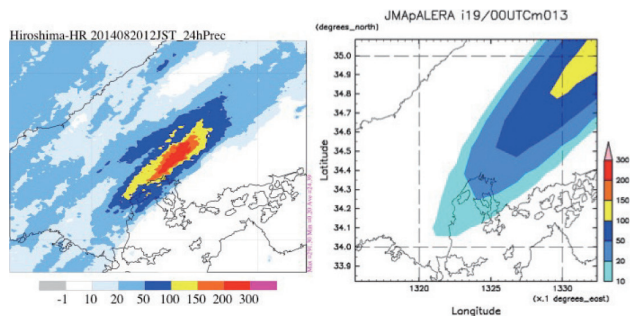


図 2 (左) 解析雨量と、(右) JMA-pALERA2 の 1 メンバーから NICAM で予報された 2014 年 8 月 20 日 1200JST の前 24 時間積算降水量 (mm) の分布。左図は「2014 年広島豪雨に関する予報検討会」サイト <https://sites.google.com/site/mesometseminar2015/home/yoho> より抜粋 [7]。

### 4. 2010/11 年冬季のアンサンブル予報実験

大気ブロッキングの発生に関する予測可能性変動を調査するために、ブロッキングが複数回発生した 1 冬季 (2010/11 年) について日替わり予報実験を行った。日替わり予報実験は、2010/11 年 12 月～2 月の毎日 12UTC での ALERA2 を初期値として、それぞれで 20 日間のアンサンブル予報実験を行った。日替わりのアンサンブル予報実験を行うことにより、1 冬季中での予測可能性の変動を詳細に調査できることが期待される。予報モデルは 2 節と同様に T119 と T239 の 2 つの水平解像度の AFES を用いた。ここでは T119 での結果だけを示す。

図 3 に、2010 年 12 月 1 日 (Day 1) から 2011 年 2 月 28 日初期値 (Day 90) までの日毎の予報 10 日、15 日、20 日目の、大気再解析 (ALERA2) に対する北半球全域対流圏中層での予報誤差 RMSE (Root Mean Square Error) を示す。全般的に、10 日・15 日・20 日のどの予報対象日でも RMSE の値がほとんど変わっておらず、北半球全体では予報誤差の成長が飽和しているようだ。しかしながら、どの予報対象日に対しても、同一のモデル・初期値を用いているにもかかわらず、予測精度が日々変動していることがわかった。この予測精度の日々変動に注目して初期値の大気循環場を見る。他の期間に比べて予報誤差が小さくなる時期 (2010 年 12 月 10 日前後と 2011 年 1 月 9 日前後) の大気循環場を見ると、北部太平洋付近にブロッキング高気圧が発生していることがわかった。ここでのブロッキングの発生と北半球全体での予測可能性変動が関係している可能性がある。今後、変動のメカニズムや水平解像度変更の影響、また、より限られた領域での予報誤差変動との関係について、より詳細な調査を行っていく予定である。



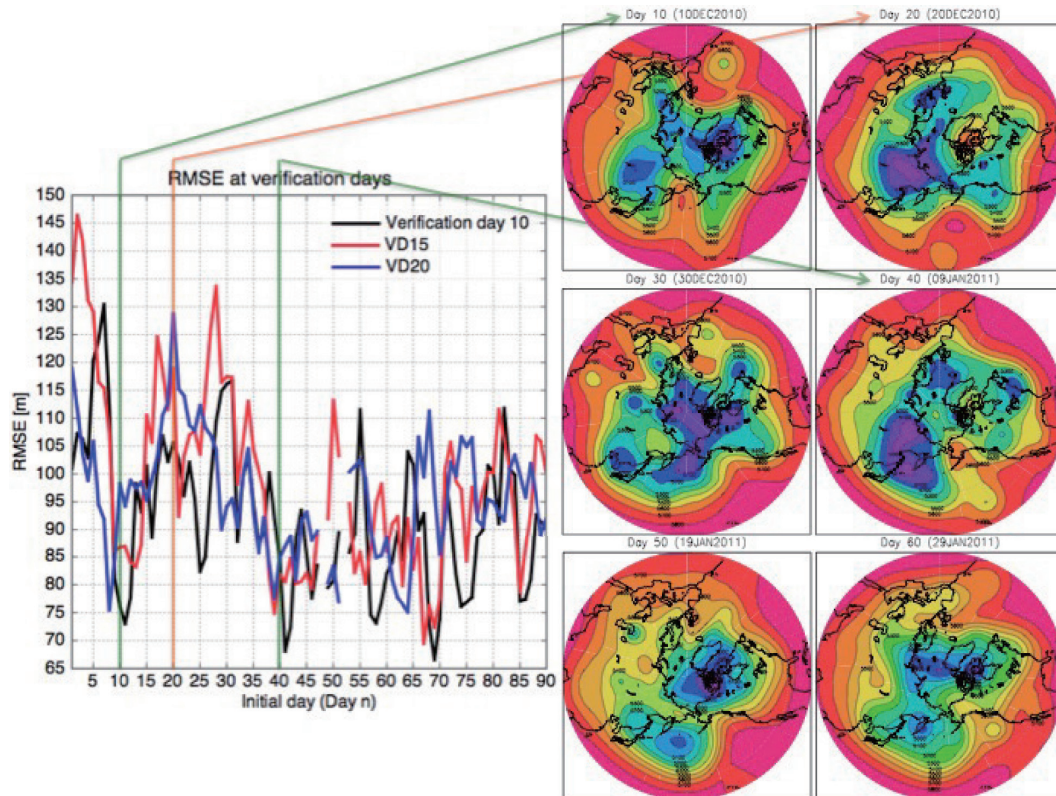


図3 (左) 2010年12月1日から2011年2月28日までの日替わりアンサンブル予報での、北半球500hPaジオポテンシャル高度(Z500)についてのRMSE(m)。横軸は予報開始日(2010年12月n日初期値ならDay n)を示し、縦軸は予報開始日から10日(黒)、15日(赤)、20日(青)目でのRMSEを示す。(右) Day 10～60(10日毎)予報初期日でのZ500大気場のALERA2再解析値。左図の緑(橙)線は相対的に予報誤差の小さい(大きい)時期を示している。

## 5. まとめと今後の方針

今年度特筆すべき点は、昨年の更新により計算性能が向上した地球シミュレータでこれまでより高解像度・大アンサンブルメンバーで大気大循環モデルを使った予報ができるようになったことである。今後、予報期間を変えることで分析する事例を増やしていく。そして、複数事例の分析から大気現象による予測可能性変動の原因をより詳細に調査する。また、今回注目した以外の大気現象についても調査を広げていく予定である。今後、本課題の目的である複数のモデルを用いながら、さらに初期値も複数個交換した「たすき掛け実験」を進めていき、顕著現象のメカニズム理解とこれらが引き起こす予測可能性変動を明らかにしていく。

## 文献

- [1] Enomoto T., A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, 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] 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.
- [4] 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.
- [5] Yamazaki, A., J. Inoue, K. Dethloff, M. Maturilli, and G. König-Langlo, 2015: Impact of radiosonde observations on forecasting summertime Arctic cyclone formation, *J. Geophys. Res. Atmos.*, **120**, 3249-3273.
- [6] 気象研究所, 2014: 平成26年8月20日の広島市での大雨の発生要因～線状降水帯の停滞と豊後水道での水蒸気の蓄積～. 気象研究所報道発表資料, [http://www.mri-jma.go.jp/Topics/H26/260909/Press\\_140820hiroshima\\_heavyrainfall.html](http://www.mri-jma.go.jp/Topics/H26/260909/Press_140820hiroshima_heavyrainfall.html).
- [7] 津口裕茂ほか, 2016: 「2014年広島豪雨に関する予測検討会」の報告, *天気*, **2**, 29-37.

# Predictabilities of Atmospheric Disturbances: Typhoon, Extreme Precipitation, and Atmospheric Blocking

Project Representative

Takeshi Enomoto Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Authors

Akira Yamazaki<sup>\*1</sup>, Masuo Nakano<sup>\*2</sup>, Takeshi Enomoto<sup>\*1,3</sup>, Akira Kuwano-Yoshida<sup>\*1</sup>,  
Munehiko Yamaguchi<sup>\*4</sup>, Mio Matsueda<sup>\*5,6</sup> and Shozo Yamane<sup>\*7</sup>

\*1 Application Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

\*2 Department of Seamless Environmental Prediction Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

\*3 Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

\*4 Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

\*5 Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

\*6 University of Oxford

\*7 Doshisha University

In order to investigate predictability (variations) of typhoon, extreme precipitation, and atmospheric blocking events, which are highly nonlinear disturbances, ensemble forecast experiments were conducted using an atmospheric general circulation model (AFES) and a global nonhydrostatic atmospheric model (NICAM) as the forecast models, and the global analysis of the Japan Meteorological Agency and ALERA2 as the initial values. Case studies have been conducted for three events. Preliminary results indicate the importance of high horizontal resolution for typhoon-track forecast, benefit of global ensemble forecasting for an extreme precipitation event in Japan, and influence of blocking occurrence on the predictability variation of the Northern Hemisphere.

**Keywords:** Predictability Variation, Ensemble Forecast, Typhoon, Extreme Precipitation, Atmospheric Blocking

## 1. Introduction

Atmospheric uncertainty and its temporal variations emerge from atmospheric disturbances with high nonlinearity, such as typhoon, extreme precipitation, and blocking. The large contribution to forecast errors of these disturbances motivated us to conduct ensemble forecast experiments using Atmospheric General Circulation Model (AGCM) for the Earth Simulator (AFES [1]) and a Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model (NICAM [2]) initialized with ALERA2 (AFES-LETKF experimental ensemble reanalysis 2 [3], where LETKF stands for the local ensemble transform Kalman filter [4]) and the global analysis of the Japan Meteorological Agency. The following three cases were studied:

1. Typhoon Yagi 2013,
2. Extreme precipitation event in Hiroshima on August 2014, and
3. Blocking events in the Northern Hemisphere during 2010/11 winter.

## 2. Forecasting tracks of Typhoon Yagi 2013

The track of Typhoon Yagi 2013 was not correctly forecast in the operational forecasts. Last year we found AFES runs had a systematic bias for tracking of the central position. This year,

we performed ensemble forecast experiments using two models with different horizontal resolutions based on AFES initialized with ALERA2 of the horizontal resolution of T119 (~100 km in grid scale). The resolutions of the two models were set to T119 and T239 (~50 km), respectively. Note that the vertical resolution was set to be 48 levels (up to ~3 hPa) in both models.

Figure 1 shows forecast typhoon tracks in the experiments

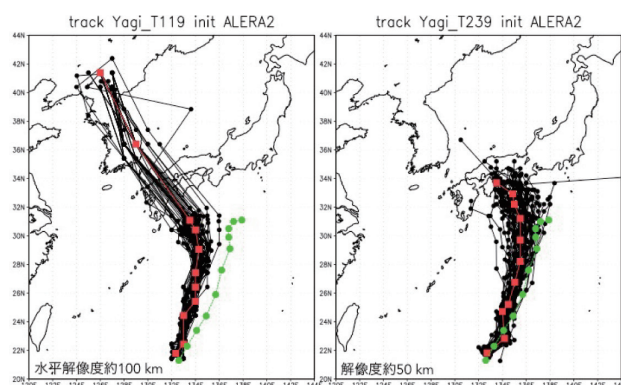


Fig. 1 Typhoon tracks in ensemble experiments with (left) lower and (right) higher horizontal resolutions during 3-day forecast. Black lines with circles indicate tracks of all members, red with square tracks of the ensemble mean, and green with circle the best track produced by the Japan Meteorological Agency.

with the two models. We can find that the tracks in the experiment with the higher resolution are closer to the best track based on satellite observations and have a broader spread than those in the experiment with the lower resolution. Thus, a higher horizontal resolution leads to a better forecast for the typhoon track in this case.

### 3. Ensemble forecast experiment for the extreme precipitation event in Hiroshima in August 2014

The extreme precipitation occurred in Hiroshima in August 2014, which constituted the worst landslide disaster in the previous 30 years in Japan [5]. We demonstrated the ensemble forecast experiment using NICAM initialized with ensemble analysis data approximately 1 day before this event. The analysis data is comprised of the global analysis of the Japan Meteorological Agency with the perturbations from ALERA2 (each ensemble member minus the ensemble mean). Some ensemble members can reproduce precipitation amounts close to the realistic value even in the global atmospheric model initialized with (re)analysis data, which imply that the potential of such extreme precipitation could be forecast with the ensemble forecasting approach.

### 4. Forecast experiments for the Northern Hemisphere general circulation during 2010/11 winter

Predictability variations associated with blocking occurrence were investigated during a winter. We used AFES initialized with ALERA2. Forecast experiments were performed from 12 UTC everyday during the 2010/11 winter (December to January).

Preliminary results indicate that the day-to-day variation of predictability in the Northern Hemisphere exists and periods of the higher predictability can be related to occurrence of the North Pacific blocking events.

More detailed investigations, omitted here, will be reported elsewhere. In addition to blocking, we plan to examine other atmospheric phenomena (disturbances), such as explosive extratropical cyclones, stratospheric sudden warmings, and so on.

## References

- [1] Enomoto T., A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, 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] 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.
- [5] Hirota, N., Y. N. Takayabu, M. Kato, and S. Arakane, 2016: Roles of an atmospheric river and a cutoff low in the extreme precipitation event in Hiroshima on 19 August 2014, *Mon. Wea. Rev.*, **144**, 1145-1160.

