

台風とブロッキング事例における予測可能性に対するアンサンブルメンバー数増加の影響

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^{*1,2}, 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 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 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 (Yagi) の進路予報実験と (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、アンサンブルメンバー数を63メンバーで解析・予報した実験と、255メンバーで解析・予報した実験とを比較することで予測可能性が変化するかを調査した。(1) では一つの初期時刻から5日の予報実験、(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。

メンバー数の増加に対して、(1) の台風事例では進行速度と予報後半での中心気圧の変化に改善がある程度見られ、(2) のブロッキング事例ではブロッキングの解析・予報両方の再現性に改善が見られた。どちらの事例でもメンバー数の増加が確率予測に有益である結果が示された。

キーワード：アンサンブル予報, アンサンブル大気解析場, 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 [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¹ 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、地球シミュレータを用いて、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、予報モデルのアンサンブルメンバー数を63メンバー (M63) と255メンバー (M255) の2つで実験を行った。初期値には ALERA2 を用いた。アンサンブル同化手法 LETKF [9] 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 (約 1° 格子)、鉛直 48 層 (トッ

プ約 3 hPa)、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 と同じ鉛直解像度とアンサンブルメンバー数を持つ。水平解像度は、T119 のものとそれを2倍にしたもの (T239、約 0.5° 格子) の2つで、最大7日間のアンサンブル予報を行った。

さらに今年度は、上記アンサンブルメンバー数の ALERA2 初期値 (M63anl) と AFES 予報実験 (M63exp) に加えて、データ同化システムのメンバー数を4倍 (255メンバー) に増加して作成した初期値 (M255anl) とそこからの予報実験 (M255exp) を追加した。メンバー数の増加によって、初期値解析の向上と確率分布の予測性能の向上が期待される。

予報実験の対象として、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。

2. 台風 Yagi の進路予測に対するメンバー数増加の効果

2013年6月の台風 Yagi について、現業システムを摸した設定で、全球モデルでの5日予報での進路予測を行ってきた。これまでのたすき掛け実験での研究によって、

¹ <http://www.iimc.kyoto-u.ac.jp/ja/services/comp/supercomputer/> (2018年5月4日閲覧)

- 初期値に応じて、どのモデルを用いても進路に系統的な差が出る、
- 同一モデルで水平解像度を大きくすると進路・中心気圧の予測精度が向上する、

ということがわかってきた。ここでは、T119 と T239 の予報実験で、メンバー数の増加による初期値精度向上の効果と確率密度分布の稠密化の影響を調べた。

図1は、2013年6月9日12UTCを初期値とした、T119 (a,b) と T239 (c,d) での予報実験で、初期値には M63anl (a,c) と M255anl (b,d) を用いている。進路予測については、台風進路をベストトラックに近い東寄りへ改善するのはモデル解像度の影響が大きい。初期値変更の影響は、東西位置に関しては小さいが、北進バイアスを抑えている。また、メンバー数の増加によって予報 2~3 日目の経度方向へのばらつきが大きくなり、進路の不確実性をより捉えるセンスに働いている。

図2は台風中心気圧の時系列をプロットしている。中心気圧は、予報前半(2日予報以前)は T239 (高解像度) 実験の方がベストトラックに近い値を予測しており、初期値改善の効果は特に T119 実験で小さいように見える。予報後半(予報開始4~5日後)においては、多メンバー初期値 (M255anl) からの予報の方がよりベストトラックデータに近い中心気圧の時間変化を予測しており、メンバー数の増加による確率分布の稠密化の正の効果が見ら

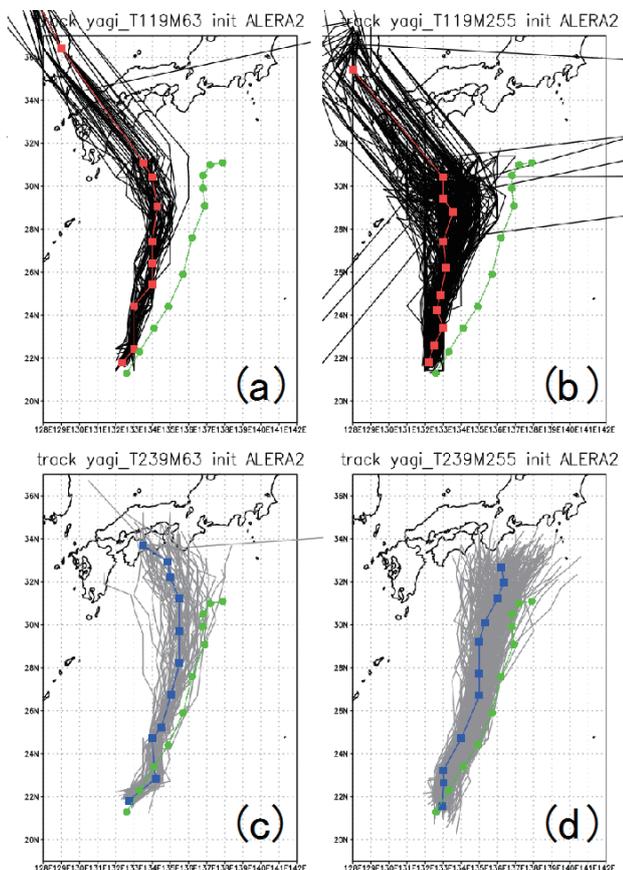


図1 予報開始から3日後までの (a) T119M63exp、(b) T119M255exp、(c) T239M63exp、(d) T239M255exp での台風予測進路 (a,b: 黒線、c,d: 灰色線) とそのアンサンブル平均 (a,b: 赤線)。緑線は気象庁のベストトラックを示す。

れるようだ。ここで、これらの実験での台風の中心位置は海面気圧の極小を追跡しており、特に T119 実験では予報後半には他の低気圧システムを検出している可能性があることに注意すべきである。

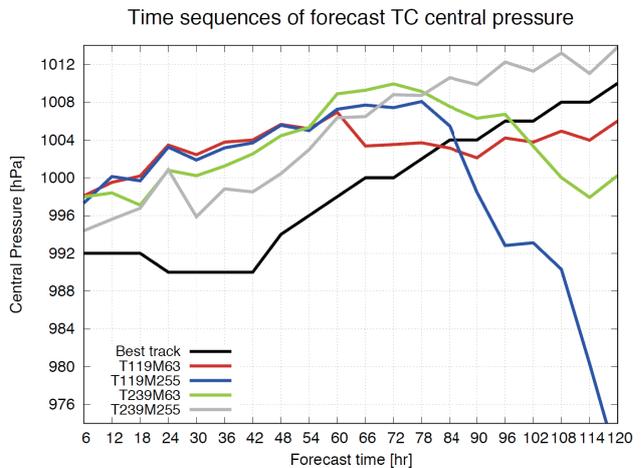


図2 予報開始から5日後(120時間)までの台風中心気圧の時系列。(黒線)ベストトラックデータ、(赤)T119M63exp、(青)T119M255exp、(緑)T239M63exp、(灰色)T239M255expの予報アンサンブル平均場について。

3. ロシアブロッキングの予測可能性変動に対する初期値変更の影響

2010年の6月~8月初旬にかけて発生したロシアブロッキングについての予測可能性の変動を、特にブロッキングの振幅が大きかった7月~8月初旬にかけて調査した。毎日12UTCの初期値を用意し、そこから7日間のアンサンブル予報実験を行い、ロシアブロッキングの予測可能性変動が調査された。これまで M63exp において、7月末(7月26日以降)を対象とした予報で予測精度が大きく低下することが発見された(図4a参照)。今回は、M255anl と M255exp で、ブロッキングの解析場での再現性や予測精度が M63anl、M63exp に比べてどの程度変化するのか調べた。ここでは予報の水平解像度は全て T119 としている。

図3は ALERA2 の M63anl と M255anl でのブロッキングの再現性の違いを示している。M63anl でも大まかなブロッキングの分布や時間変化を捉えているが、JRA-55 に比べるとブロッキングの発生を過小見積りしている。それに対して M255anl ではこの過小見積りが改善され、7月中旬でのブロッキングの継続や7月末のブロッキングの東への遷移の再現性が向上している。

M63exp と M255exp での7日後のブロッキング発生確率予測を見る(図4)。M63exp でも多くのメンバーがブロッキングの発生位置や時間変化を定性的に予測できていたのに対し、M255exp では7月初旬~中旬にかけてのブロッキング発生有無と位置の予測を外したメンバーが少なくなっている。さらに、7月末でのブロッキングの東への遷移を M63exp では大半のメンバーが誤って西側に予測し、東への遷移を予測できたメンバーが存在しなかったのに対して、M255exp では誤った予測をするメンバー数が減り、少数のメンバーが正しい遷移を予測している。

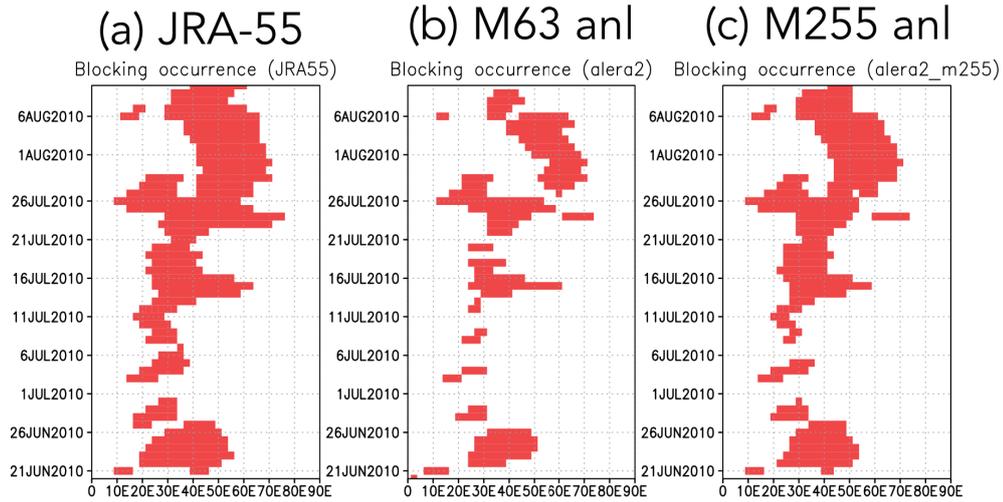


図3 (a) JRA-55 [6]、(b) M63anl、(c) M255anl 解析場（初期値）でのブロッキング発生位置の経度・時間断面図。ブロッキング発生位置（経度）は [10] の定義で検出され、赤域はブロッキング発生経度を示している。

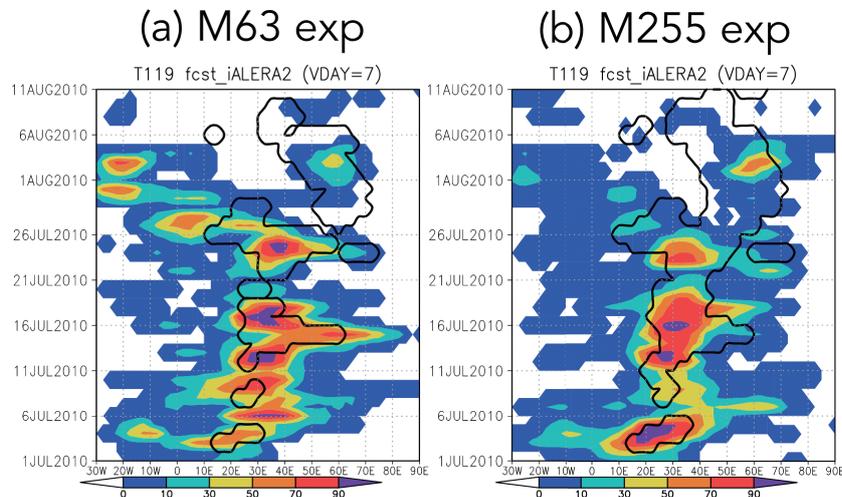


図4 (a) M63exp、(b) M255exp の7日予報でのブロッキング発生割合（陰影、[%]）の経度・時間断面図。縦軸は予報対象時刻を示す。各メンバーの予報結果に対して図3と同じ定義でブロッキング発生を検出し、その経度・時間で何割のメンバーがブロッキングを検出したかを示している。黒線は解析場（図3と同様）でのブロッキング発生位置を示す。

4. まとめと今後の方針

アンサンブルメンバー数を63と255で作成した異なる初期値（ALERA2）からAFESの水平解像度をT119あるいは2倍（T239）にしたアンサンブル予報実験の結果を比較して、初期値の改良・多メンバー化とそれによる大気擾乱の再現性及び予測精度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2つの大気擾乱について調査した。

台風では、予報モデルの高解像度の方が東西方向の進路予測と予報初期の中心気圧の予測により寄与し、初期値の変更は北進バイアスの低減と予報後半（4~5日予報）の中心気圧の予測に寄与した。ただし、メンバー数の増加によって進路予測のばらつきが予報後半に増加した。ブロッキングでは、メンバー数の増加によって解析場（初期値）のブロッキング再現性と、7日予報での精度が向上した。さらに、63メンバー初期値からでは予測できなかったブロッキングの遷移を255メンバーでは少数メンバーが成功することがわかった。

これらのメンバー数の増加は、各メンバーを分類して

詳細にデータ解析したり、あるいは確率分布を統計的に分析したりする際にも有利であると考えられる。ここで得られた255メンバーの出力結果をこれから詳細に調査していく予定である。

また、開発的な観点では、「たすき掛け実験」をさらに推進するために、地球シミュレータ上でAFESやNICAM以外のモデルを動かす実験に今後取り組もうと考えている。これらの実験を駆使して、今後は今回の2事例以外の擾乱も調査し、モデルや初期値作成法の改善に資する知見を得たいと考えている。

5. 略語一覧

AFES: Atmospheric general circulation model For the Earth Simulator

ALERA2: AFES-LETKF experimental Ensemble ReAnalysis 2

GSM: Global Spectral Model

IFS: Integrated Forecasting System

JRA-55: Japanese 55-year ReAnalysis

LETKF: Local Ensemble Transform Kalman Filter

NICAM: Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model

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] 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] Dee, D. P., et al., 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **137**, 553–597.
- [6] Kobayashi, S., et al. 2015: The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5–48.
- [7] ECMWF: *IFS documentation*, <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/documentation-and-support/changes-ecmwf-model/ifs-documentation> (2018年5月4日閲覧).
- [8] Japan Meteorological Agency: *JMA's Global Spectral Model*, <https://www.wis-jma.go.jp/ddb/> (2018年5月4日閲覧).
- [9] 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.
- [10] 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 Increasing Ensemble Members in Initial Values

Project Representative

Takeshi Enomoto Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Authors

Akira Yamazaki^{*1}, Takeshi Enomoto^{*1,2}, Akira Kuwano-Yoshida^{*1,2}, 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 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 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 from two sets of initial values: the analysis of ALERA2 with 63 ensemble members (original) and that with 255 members.

In the typhoon case forecasts from the analysis with the larger ensemble improved the track, although the improvement was more substantial when forecasting with higher horizontal resolution of the model. In the blocking case, on the contrary, the larger ensemble analysis significantly improved representation of the blocking in the initial values fields, and weekly forecast from the fields.

Keywords: Predictability Variation, Ensemble Forecast, Typhoon, 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 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, the effects of increasing ensemble members to generate initial conditions were examined by comparing the ALERA2 with the ensemble members of 63 (original version) and 255 generated by the same data assimilation system. The model used was AFES. In the following two case studies, we compared the analyzed and forecast fields with two different initial conditions and tried to clarify which fields are more

important to reproduce the following atmospheric disturbances; (1) Typhoon Yagi 2013 and (2) atmospheric blocking event occurred during summer 2010 over western Russia (Russian blocking).

2. Impact of the ensemble size on forecasting tracks of Typhoon Yagi 2013

The operational track forecasts of Typhoon Yagi 2013 disagreed among the centers ([6]). We have found out that the ensemble experiment with the GCMs with higher resolutions can improve the forecast track of the typhoon rather than that those with the lower resolutions. This year, we performed similar forecast experiments yet using two initial conditions generated by different ensemble members. Five-day forecasts were conducted using AFES with T119 and T239 horizontal resolutions (T119 and T239 experiments, respectively) and with ALERA2 by 63 and 255 ensemble members (M63 and M255 analyses, respectively). Note that both ALERA2 have the same T119 resolution.

The results show that the horizontal resolution was more important to forecast realistic tracks of the typhoon than the ensemble members, consistent with experiments with ECMWF OpenIFS ([7]). Furthermore, it was also found that larger

ensemble members and more improved initial values can represent better uncertainty of the typhoon track during the last part of the forecast and better forecast traveling speeds of the typhoon.

3. Impacts of the ensemble numbers in analysis on analyzing and forecasting the Russian blocking during summer 2010

The Russian blocking occurred during June–early August 2010 over Europe and western Russia. We have found that the predictability of the block fluctuated and dropped in the end of July (around 26 July 2010). Here we investigate whether the M255 analysis can improve the reproducibility of the Russian block and the difference of predictability variations in the forecast experiments initialized by M63 and M255 analyses (M63exp and M255exp, respectively).

Results indicate that the increasing ensemble members for analysis significantly improved reproducibility of the Russian blocking. As for forecast, the M255exp forecast better the blocking after 7 days than the M63exp.

We have been speculated throughout this project that reproducing and forecasting summertime blocking, such as the Russian blocking, can be rather sensitive to the size of ensemble members to create initial values than the horizontal resolution of forecast model. Of course, further investigations are needed and we will continue experiments for more blocking cases.

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] 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] Enomoto, T, A. Yamazaki, A. Kuwano-Yoshida, M. Matsueda, S. Noguchi, M. Yamaguchi and S. Yamane, 2015: Predictabilities of Typhoon Yagi 2013, *Annual Report of the Earth Simulator: April 2014–March 2015*, 107–112.
- [7] Enomoto, T, A. Kuwano-Yoshida, A. Yamazaki, M. Nakano, S. Yamane, M. Yamaguchi and M. Matsueda, 2017: Track forecast experiments of typhoon Yagi 2013 with atmospheric general circulation models, *DPRI Annuals*, **60B**, 466–469.