

# 従来型観測の同化による高解像度日本域領域再解析による 平成 27 年 9 月関東東北豪雨の再現性

課題責任者

福井 真 東北大学 大学院理学研究科

著者

福井 真 東北大学 大学院理学研究科

岩崎 俊樹 東北大学 大学院理学研究科

斉藤 和雄 東京大学 大気海洋研究所

瀬古 弘 気象庁 気象研究所

過去のメソスケール極端現象の解析や気候変動に対する地域気候の応答把握には長期間に渡り一貫性のある高解像度大気場データが必要である。我々はこうした目的に適うデータを作成するために、地上における気圧の直接観測及びラジオゾンデによる高層観測データといった従来型観測のみを同化する水平格子間隔 5km で日本域を覆う長期領域再解析の実施を計画している。長期再解析を実行する前に、領域再解析システムを確立する必要がある。再解析では、その利用の観点から、過去の個々の極端現象を再現することが非常に重要である。そこで本研究では、地球シミュレータを利用して水平格子間隔 5km で日本域を覆う領域再解析実験をおこなった。本稿では、平成 27 年 9 月の関東東北豪雨に着目してシステムの再現性について検討した結果について報告する。現状の領域再解析システムでは、関東東北豪雨を再現することはできていなかった。豪雨をもたらした台風が従来型観測の疎らな地域を通るため、これらの同化だけでは、必ずしも台風の挙動を正しく決めることができていないことが理由として挙げられる。今後は、こうした台風の再現性向上のため、台風関連データも同化することを検討する必要がある。

キーワード：領域再解析, 極端現象, メソスケール, データ同化, 領域気象モデル

## 1. はじめに

過去の大気場を高精度かつ長期間に渡り均質に再現した高解像度データセットは、幅広い分野から需要がある。過去のメソスケール極端現象の解析、複雑な地形の影響も含めた気候変動に対する地域スケールでの応答の把握、さらには、気象データを利用した農業や自然エネルギー管理をはじめとした産業支援などにとって、非常に有用な基礎データとなる。

現在、ラジオゾンデによる観測網が全球に張り巡らされるようになってからおよそ 60 年が経過し、長期間に及び大気観測データも蓄積されてきた。また一方で、計算機資源が拡充してきていることも支えとなり、数値気象モデルの精緻化やデータ同化スキームの高度化されてきたことによって、数値気象予報システムによる大気場の予測精度は着実に向上してきている [1]。こうした背景の下、蓄積されてきた過去の観測データと最新の数値気象予報システムを一貫して用いることによって、気象場を過去に遡って精度よくまた期間を通じて均質に再現する再解析が主要現業センターで行われるようになった [2]。日本の気象庁の全球再解析 JRA-55 [3] もその一例である。

ところが、こうした全球再解析の水平解像度は最新のものでも 50 km 程度である。そのため、メソスケール現象を十分捉えるには更なる高解像度化が不可欠である。高解像度化を行う手法として、全球再解析などの低解像度データを側面境界値として与えて、高解像度領域モデ

ルを駆動させる力学的ダウンスケールが、近年よく行われるようになってきている。しかし、力学的ダウンスケールでは、総観規模現象も含めた個々の現象の再現性が悪化するなど品質に問題があることが指摘されている [4]。これは、数値モデルによる物理法則による拘束と側面境界からの強制だけではモデル内部の場を必ずしも正しく決めることができないためである。

そこで、側面境界値による強制に加えて領域内部にある観測データを同化しながら高解像度領域気象モデルを駆動させる領域再解析を実施することを考える。ここで、同化する観測を再解析の期間を通して入手可能な従来型観測に限定する。このように同化するデータを限定することで、観測システム変遷による影響を混入させることなく、気候変動に対するシグナルの抽出が可能となる [5]。将来的な領域再解析の実施に向けて、実際に長期間の計算を実行する前に、まず領域再解析システムを確立する必要がある。特に領域再解析の利用目的を考えると、極端現象を現実的に再現することは非常に重要である。本稿では、平成 27 年 9 月関東東北豪雨の事例に着目して、領域再解析システムの再現特性を調査した結果を報告する。

## 2. 実験概要

領域再解析システムには、気象庁非静力学モデル (NHM) [6] を用いて第一推定値を求め、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (LETKF) [7] によって観測値を

同化して解析値を求める NHM-LETKF[8]を採用した。ここで、LETKFは、アンサンブルカルマンフィルタの一種で、アンサンブル予報に基づいて場に応じた不確実性を反映した修正を行うことができる特徴がある。本研究では、LETKFの第一推定値として、摂動なしの解析からの決定論的予報を用いた。これは、通常LETKFにおいて第一推定値は摂動ランのアンサンブル平均が用いられている[7]が、アンサンブル平均をとることで場が平滑化され、スピンアップ問題を回避するためである。水平格子間隔約55kmのJRA-55に対して二重の一方方向ネスティングの要領で再解析を行った。一段目は水平格子間隔25kmで東アジア域を覆い(図1外枠)、二段目は水平格子間隔5kmで日本域を覆うようにした(図1内枠)。同化に用いる観

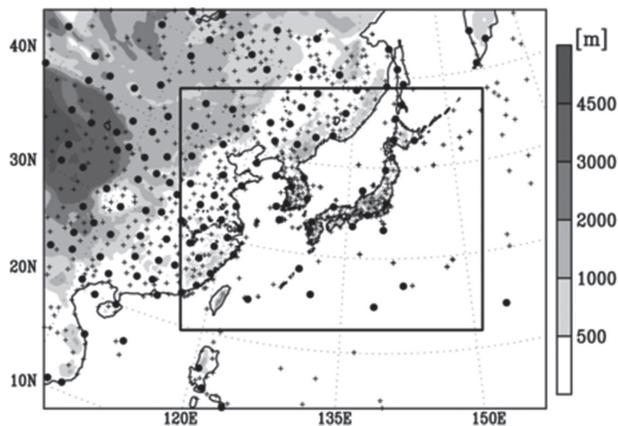


図1 計算領域。外枠は25km格子間隔のNHM-LETKF領域、内枠が5km格子間隔のNHM-LETKFの領域。十字印が地上観測地点、丸印が高層観測地点を示す。

測値は、従来型観測である地上での気圧の直接観測及びラジオゾンデによる高層観測のみとした。尚、これらの観測値は気象庁現業解析用に品質管理が施されている。

### 3. 概況

2015年9月9日から11日にかけて、関東地方及び東北地方において、日本海上にある台風第18号から変わった温帯低気圧と太平洋上にある台風第17号(図2左)の影響により下層での暖湿気の流入(図2中央)に加え、上空の深いトラフの前面に位置したという条件が長時間にわたり継続したことにより、多数の線状降水帯が発生した[9]。強雨域は、9日から10日にかけて関東地方を南北に伸びており、栃木県日光市では24時間雨量500mmを超える記録的な降水が観測された(図2右)。この一連の豪雨により、堤防が決壊するなどしたことで鬼怒川(茨城県)をはじめとした河川で洪水が発生し、多くの死傷者が出るに至った[10]。

### 4. 結果

図3(左)は本領域再解析システムによって再現された9日18UTCの海面更正気圧を示す。太平洋に台風第17号及び日本海に台風第18号から変わった低気圧は概ね再現されていた。しかし、日本の南海上に、実況では確認できない偽の低圧部が再現されてしまっていた。図3(中央)は、再現された9日18UTCの925hPa面の比湿と水蒸気フラックスを表している。実況では見られない渦が水蒸気を集め、関東地方への下層における水蒸気供給を妨害してしまっている。結果として、関東地方が実況に比べ

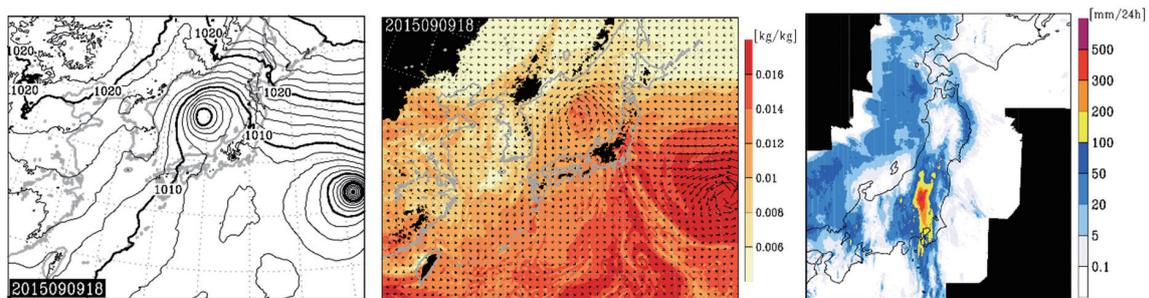


図2 平成27年9月関東東北豪雨時の概況。2015年9月9日18UTCの(左図)海面更正気圧、(中図)925hPa面における水蒸気量(陰影)とフラックス(矢印)。(右図)2015年9月9日00UTCから10日00UTCにかけての積算降水量。海面更正気圧及び水蒸気量・フラックスは気象庁メソ解析値、積算降水量は気象庁解析雨量を用いた。

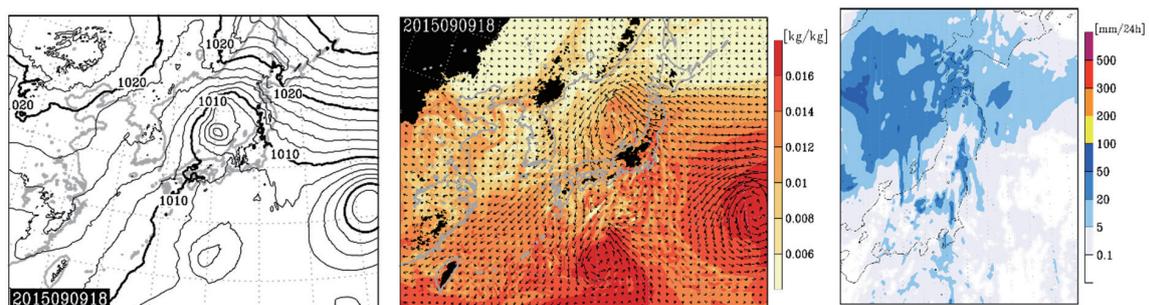


図3 領域再解析システムにより再現された平成27年9月関東東北豪雨時の概況。2015年9月9日18UTCの(左図)海面更正気圧、(中図)925hPa面における比湿(陰影)と水蒸気フラックス(矢印)。(右図)2015年9月9日00UTCから10日00UTCにかけての積算降水量。

乾いた状態となっていた。図3(右)は、領域再解析システムにより再現した24時間積算降水量を示す。北関東に降水域が再現されてはいるが、降水量は最大でも100mmに満たず、実況にあるような関東地方を南北に貫くような強雨域は再現されていなかった。

関東での豪雨を再現できないようにしたこの偽の渦が解析場にできてしまっている理由として、台風の通過域において同化した観測データが少ないことにある。台風第18号が日本へ接近する際に日本の南海上を通る。しかし、この領域は図1に示した通り、同化に用いた従来型観測が非常に少ないため、台風が観測の豊富な日本列島に達するまでは、観測データによって十分修正されず、実況との乖離が大きくなってしまふ。実況で台風が日本列島に十分近づくと、観測データから実況に合うように台風が生成されるが、その時点では第一推定値との乖離が非常に大きくなってしまっているため、もともと第一推定値にある台風は十分修正されず日本の南海上に取り残されたと考えられる。台風第18号は、日本列島に接近する前にはその進路の予想が難しかった[11]ことが指摘されており、予測の難しさも実況との乖離を生む一因であろう。

## 5. まとめ

関東東北豪雨事例に着目して、日本域を対象とした従来型観測のみを同化する高解像度領域再解析システムの再現性について調査した。現状の領域再解析システムでは、関東東北豪雨を再現することはできていなかった。これは、日本列島に接近している台風について、実況と再現結果とに大きな乖離があることに由来する。日本列島の南から東の海上は、多くの台風が日本列島に上陸するまでに通過してくる領域であるが、これまで用いてきた従来型観測(地上での気圧観測とラジオゾンデによる高層観測)が非常に少なく、これらの同化だけでは、必ずしも台風の挙動を正しく決めることができていないことがわかった。

台風は、領域再解析にとって重要な再現対象である。台風さらに台風の影響による豪雨の再現性向上のためには、観測の不足を補うことが必要である。今後は、台風の中心気圧及び位置の同化[12]といった長期間入手可能な台風に関する情報を付加的に同化することにより台風の挙動そのものや台風の影響に伴う豪雨などの再現性向上の可能性について検討を行っていく。

## 謝辞

本研究は気象研究所と東北大学の共同研究の一環で行い、一部は文部科学省フラグシップ2020(ポスト「京」)重点課題4「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」の支援を受けた。実験は海洋研究開発機構の地球シミュレータ特別推進課題で実施した。

## 文献

- [1] Bauer, P., A. Thorpe and G. Brunet, “The quiet revolution of numerical weather prediction,” *Nature*, 525, 47–55, 2015.
- [2] Kalnay, E., and Coauthors, “The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project,” *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437–471, 1996.
- [3] Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, “The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics,” *J. Meteor. Soc. Japan*, 93, 5–28, 2015.
- [4] Kayaba, N., T. Yamada, S. Hayashi, K. Onogi, S. Kobayashi, K. Yoshimoto, K. Kamiguchi, and K. Yamashita, “Dynamical regional downscaling using the JRA-55 reanalysis (DSJRA-55),” *SOLA*, 12, 1–5, 2016.
- [5] Kobayashi, C., H. Endo, Y. Ota, S. Kobayashi, H. Onoda, Y. Harada, K. Onogi, and H. Kamahori, “Preliminary results of the JRA-55C, an atmospheric reanalysis assimilating conventional observations only,” *SOLA*, 10, 78–82, 2014.
- [6] Saito, K., J. Ishida, K. Aranami, T. Hara, T. Segawa, M. Narita, and Y. Honda, “Nonhydrostatic atmospheric models and operational development at JMA,” *J. Meteor. Soc. Japan*, 85, 271–304, 2007.
- [7] Hunt, B. R., E. J. Kostelich, and I. Szunyogh, “Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: A local ensemble transform Kalman filter,” *Physica D*, 230, 112–126, 2007.
- [8] Kunii, M., “Mesoscale data assimilation for a local severe rainfall event with the NHM-LETKF system,” *Wea. Forecasting*, 29, 1093–1105, 2014.
- [9] 気象研究所, “平成27年9月関東・東北豪雨の発生要因～2つの台風からの継続的な暖湿流の流入と多数の線状降水帯の発生～,” 2015. (<http://www.mri-jma.go.jp/Topics/H27/270918/press20150918.pdf>, 2018.05.30 閲覧)
- [10] 内閣府, “平成27年9月関東・東北豪雨による被害状況等について(台風18号等による大雨に係る被害等を含む),” 2016. ([http://www.bousai.go.jp/updates/h27typhoon18/pdf/h27typhoon18\\_28.pdf](http://www.bousai.go.jp/updates/h27typhoon18/pdf/h27typhoon18_28.pdf), 2018.05.30 閲覧)
- [11] 高山大, “実例に基づいた予報作業の例,” 平成28年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 4-8, 2014.
- [12] Kunii, M., “Assimilation of tropical cyclone track and wind radius data with an ensemble Kalman filter,” *Wea. Forecasting*, 30, 1050–1063, 2015.

# The Reproducibility of the High-resolution Regional Reanalysis Assimilating Conventional Observations for the Kanto-Tohoku Heavy Rainfall in September 2015

Project Representative

Shin Fukui Graduate School of Science, Tohoku University

Authors

Shin Fukui Graduate School of Science, Tohoku University

Toshiki Iwasaki Graduate School of Science, Tohoku University

Kazuo Saito Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo

Hiromu Seko Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

We are developing a long-term regional reanalysis system assimilating only the conventional observations to estimate the past high-resolution atmospheric fields for about recent 60 years. In order to optimize the regional reanalysis system, we examined its reproducibility for the Kanto-Tohoku heavy rainfall in September 2015, as an example of extreme events.

The regional reanalysis system failed to reproduce the heavy rainfall over Kanto. The behaviour of the typhoon that induced the heavy rainfall was not accurately analysed over the ocean to the south of the Japan islands. A reason of the failure is in the sparse distribution of the conventional observations used for the assimilation over the area the typhoon passing through. These suggests that additional data associated with typhoons available over long term are necessary to analyse accurately the behaviour of typhoons and such extreme events induced by typhoons.

**Keywords:** regional reanalysis, extreme event, meso scale, data assimilation, regional weather model

## 1. Introduction

The data of the past high-resolution atmospheric fields for long term is demanded for various purposes. About sixty years has passed since the radiosonde observing system was constructed across the globe. Numerical weather prediction (NWP) models and data assimilation schemes also have been advanced, which contributes to the gradual improvement of the weather prediction, supported by enhancing computational resources [1]. Under these circumstances, major operational NWP centres conduct global reanalyses, which are produced with a frozen state-of-the-art NWP system, to provide data with accuracy and long-term consistency in quality [2]. However, the horizontal resolution of even the newest global reanalysis is roughly 50 km, which is insufficient to resolve meso-scale phenomena. Dynamical downscaling is often applied to obtain higher-resolution information from coarser atmospheric data such as global reanalyses. However, the downscaling data have some problems in its quality [3]. This is because the constraints from the physical laws in model and the lateral boundary conditions cannot always determine the internal fields accurately. To address these issues, we propose a regional reanalysis assimilating conventional observations only. Assimilating only the conventional observations enables us to detect signals of climate change by avoiding affection of transitions of observing systems [4].

For the conduction of the long-term regional reanalysis assimilating only the conventional observations in future, it is necessary to design the regional reanalysis system. From the perspective on applying the reanalysis, it is essential for the system to reproduce the past extreme events accurately. We examine the reproducibility of the system that we are developing for the reanalysis, targeting the Kanto-Tohoku heavy rainfall in September 2015, as an example of extreme events.

## 2. The system design

We adopted the NHM-LETKF [5], which is composed of the JMA's nonhydrostatic model (NHM) [6] and local ensemble transform Kalman filter (LETKF) [7]. The NHM-LETKF covers Japan and its surrounding area with a horizontal grid spacing of 5 km, applying the one-way double nesting to JRA-55 [8]. The observations used for the assimilation are only surface observations and upper observations with radiosondes. The first guess field for the LETKF was given from the deterministic run initialized at the analysis without perturbations.

## 3. Overview of the Kanto-Tohoku heavy rainfall in September 2015

The heavy rainfall was observed from 9 to 11 September 2015 over the eastern part of Japan. Typhoon Kilo (2015) and the extratropical cyclone transformed from Typhoon Etou

(2015) induced the humid and warm airflow into the eastern part of Japan at lower layer (Fig. 1a,b). In addition, the upper trough extended the western part of Japan [9]. The 24-hour accumulated precipitation more than 500 mm was observed in Tochigi (Fig. 1c).

#### 4. Results

Figure 3a shows the mean sea level pressure fields at 18 UTC 9 September reproduced by the regional reanalysis system. The typhoon over the Pacific Ocean and the extratropical cyclone over the Japan Sea are well reproduced. However, a depression that does not appear in the actual fields was analysed over the ocean to the south of the Japan islands. Figure 3b shows the specific humidity and the water vapour flux fields at 18 UTC 9 September. The false depression disturbed the provision of the humid and warm airflow into Kanto district and caused the region to be drier. Figure 3c shows the 24-hour accumulated precipitation from 9 to 10 in September. Although precipitations are found in the northern part of the Kanto district, the amount was less than 100 mm. The intense precipitation area running from north to south over Kanto district, which is found in Fig. 1c, was not simulated.

The insufficient coverage of observations used for the assimilation over the area Typhoon Eta passing through caused the false depression. The typhoon came from the southward of the Japan islands where the conventional observations are sparse. The typhoon in the analysis fields largely departed from

that in the actual fields because observations cannot correct it sufficiently, before the typhoon reached the Japan islands where the conventional observations are dense. After the typhoon reached the Japan islands, a new typhoon were analysed to fit the actual field with assimilation of the observations. However, the departure between the typhoons in the first guess and actual fields are too large at that time, resulting in the false depression remaining over the ocean to the south of the Japan islands.

#### 5. Conclusion

We examined the high-resolution regional reanalysis system assimilating the conventional observations, specifically surface pressure and radiosonde observations, targeting the Kanto-Tohoku heavy rainfall in September 2015. We found that the current regional reanalysis system fails to reproduce the heavy rainfall event. The insufficient coverage of the conventional observations caused the large departure of the typhoons approaching the Japan islands in the actual and reanalysis fields, which results in the failure. The conventional observations used in the reanalysis are sparse over the ocean to the south-east of the Japan islands where the typhoons approaching Japan often pass through. It suggests that assimilating the conventional observations only are insufficient to analyse typhoons behaviour accurately.

Typhoons are an important target for regional reanalysis. In order to address the limitation of the coverage of the conventional observations, it is necessary to introduce additional

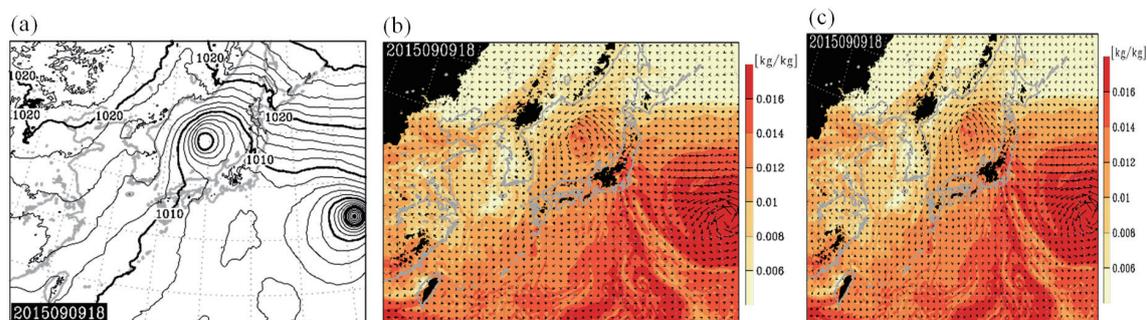


Fig. 1 The actual fields for the Kanto-Tohoku heavy rainfall event. (a) Mean sea level pressure at 18 UTC 9 September 2015 from the JMA's meso-scale analysis (MA), (b) specific humidity and water vapour flux at 925 hPa from MA, (c) accumulated precipitation from 00 UTC 9 to 00 UTC 10 September 2015 from the JMA's radar/raingauge-analyzed precipitation data.

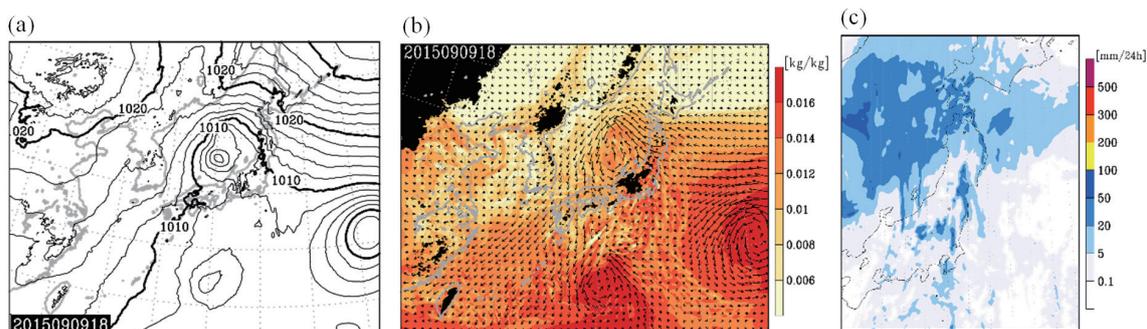


Fig. 2 The reproduced fields by the regional reanalysis system for the Kanto-Tohoku heavy rainfall event. (a) Mean sea level pressure and (b) specific humidity and water vapour flux at 18 UTC 9 September 2015, (c) accumulated precipitation from 9 to 10 September 2015.

data associated with typhoons available over long term for the assimilation such as the positions and pressures of typhoon centres from the typhoon best-track data [10].

### Acknowledgement

This work was done as a part of joint research project between Meteorological Research Institute and Tohoku University and supported by the FLAGSHIP2020, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology-Japan within the priority study 4 (Advancement of meteorological and global environmental predictions utilizing observational “Big Data”). The numerical experiments were conducted at the Earth Simulator (ES) under the Strategic Project with Special Support.

### References

- [1] Bauer, P., A. Thorpe and G. Brunet, “The quiet revolution of numerical weather prediction,” *Nature*, 525, 47–55, 2015.
- [2] Kalnay, E., and Coauthors, “The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project,” *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437–471, 1996.
- [3] Kayaba, N., T. Yamada, S. Hayashi, K. Onogi, S. Kobayashi, K. Yoshimoto, K. Kamiguchi, and K. Yamashita, “Dynamical regional downscaling using the JRA-55 reanalysis (DSJRA-55),” *SOLA*, 12, 1–5, 2016.
- [4] Kobayashi, C., H. Endo, Y. Ota, S. Kobayashi, H. Onoda, Y. Harada, K. Onogi, and H. Kamahori, “Preliminary results of the JRA-55C, an atmospheric reanalysis assimilating conventional observations only,” *SOLA*, 10, 78–82, 2014.
- [5] Kunii, M., “Mesoscale data assimilation for a local severe rainfall event with the NHM-LETKF system,” *Wea. Forecasting*, 29, 1093–1105, 2014.
- [6] Saito, K., J. Ishida, K. Aranami, T. Hara, T. Segawa, M. Narita, and Y. Honda, “Nonhydrostatic atmospheric models and operational development at JMA,” *J. Meteor. Soc. Japan*, 85, 271–304, 2007.
- [7] Hunt, B. R., E. J. Kostelich, and I. Szunyogh, “Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: A local ensemble transform Kalman filter,” *Physica D*, 230, 112–126, 2007.
- [8] Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebita, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, “The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics,” *J. Meteor. Soc. Japan*, 93, 5–28, 2015.
- [9] Meteorological Research Institute, “The factors of the occurrence of the Kanto-Tohoku heavy rainfall in September 2015 – continuous warm and humid inflow from the two typhoons and occurrence of many line-shaped precipitation systems –,” 2015. (Available at <http://www.mri-jma.go.jp/Topics/H27/270918/press20150918.pdf>, accessed at 30/05/2018) (in Japanese)
- [10] Kunii, M., “Assimilation of tropical cyclone track and wind radius data with an ensemble Kalman filter,” *Wea. Forecasting*, 30, 1050–1063, 2015.