

全球非静力学大気モデルを用いた台風特異年を対象とした高解像度・大アンサンブル実験

課題責任者

小玉 知央 海洋研究開発機構 シームレス環境予測研究分野

著者

山田 洋平^{*1,2}, 小玉 知央^{*1,2,3}, 中野 満寿男^{*1}, 那須野 智江^{*1,2,3}, 佐藤 正樹^{*2,4}, 杉 正人^{*5}, Ying-Wen Chen^{*2}, 清木 達也^{*2}, 野田 暁^{*2}, 宮川 知己^{*4}, 大野 知紀^{*4}

*1 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, *2 海洋研究開発機構 気候変動リスク情報創生プロジェクトチーム, *3 海洋研究開発機構 シームレス環境予測研究分野, *4 東京大学 大気海洋研究所, *5 気象庁 気象研究所

台風は日本をはじめ世界各地で暴風や豪雨、洪水といった大きな自然災害をもたらす。2016年は台風1号の発生が7月初めと例年よりも遅く、その後は8月の連続発生によって年間発生数は26個と平常並みまで回復する特異な年であった。しかし、このような特異性をモデルが再現出来るかどうかは明らかではない。エルニーニョ終焉との関連が指摘されているが、発生時期が極端に遅れるメカニズムや台風の強度に与える影響は分かっていない。本研究では台風を強度まで再現可能な高解像度全球非静力学大気モデル NICAM を用いて、2016年および1998年という台風発生が極端に遅れた特異年における台風の大アンサンブル実験を行った。初期解析の結果、モデルは発生時期の遅れや各年の特徴を捉えていることが分かった。

キーワード：台風, post-El Niño, アンサンブル実験

1. はじめに

熱帯低気圧（以下、台風と略す）は毎年のように大きな自然災害を引き起こす要因であり、社会的にも関心の高い気象現象の一つである。月から季節、さらには年スケール程度先の台風の活動度について高精度の確率予測を提示できれば、台風による被害の軽減に資することができる。2016年は北西太平洋の台風の活動が特異な一年であった。気象庁のベストトラックによると2016年前半は台風が一個も発生せず、7月3日になってようやく台風1号が発生した。台風1号の発生日としては1998年の7月9日に次いで史上二番目に遅い年であった。台風1号の発生が遅い年の共通点として、El Niño が勢力を弱めるタイミングであることが知られている。El Niño の勢力が弱まる際にインド洋では高温偏差が記録され、これにより北西太平洋の亜熱帯で高気圧偏差となり対流が弱められることが報告されている [1]。この期間中は北西太平洋では台風が発生しづらくなると考えられている [2]。1998年については台風1号の発生後も発生数が回復することではなく、年間の総発生数は16個と平常に比べて少なかった。一方、2016年については8月の連続発生によって急激に発生数を増やし、年間総発生数は26個と平常並みの発生数となった。

このように、台風1号の発生時期の遅延はEl Niño と関係することが示唆されてきたが、観測されたEl Niño イベントの数は限られおり、台風に対するEl Niño の影響を観測から統計的に議論するのは困難である [3]。我々の研

究グループでは、高解像度の全球非静力学モデル NICAM [4,5,6] を用いて1979年から2008年までの30年間気候実験を実施した [7]。その結果、1998年における台風1号の発生時期の遅れ、および年全体での過小偏差を再現しており（図1）、海面水温を与えることで台風の数を再現できる可能性を示した。

そこで本課題では、月から季節、年スケール程度先の台風予測に対する基礎的な知見を得るために、高解像度 NICAM を用いた大アンサンブル実験を行った。その出力を用いて El Niño に対する台風活動の応答を理解し、月、季節、年スケール以上にまたがる台風シームレス予測の精度向上に資することを目指す。具体的には台風1号の発生時期が

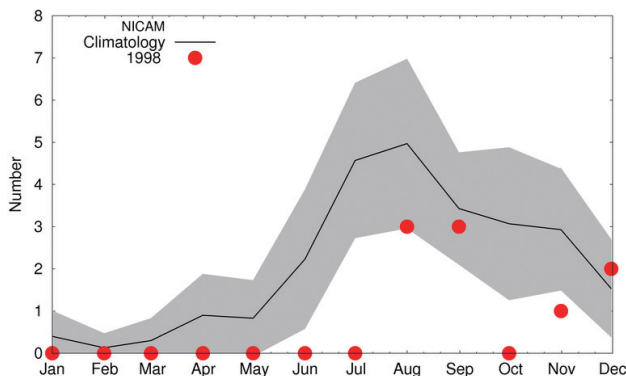


図1 NICAM AMIP 実験 [7] の月別台風発生数を示す。黒線は1979年から2008年の平均値を示し、灰色は標準偏差を示す。赤丸は1998年の月別台風発生数示す。

遅れた2016年と1998年の夏季(6月から10月)を対象とし、観測された海面水温偏差を外部強制とするNICAMのアンサンブル実験(メンバー数50)を実施して台風の応答を評価した。以下では初期解析の結果を紹介する。

2. 手法

2016年と1998年の数値実験には全球非静力学モデルNICAMを用いた。水平格子間隔は14kmで積雲対流スキームは利用していない。モデル設定は基本的にKodama et al [7]と同じである。ただし台風の発生位置を観測に近づけるために地形性重力波抵抗スキーム [8]を導入した。海面水温は一層のスラブ海洋モデルを用いて予報し、米国海洋大気局の観測値 [9] にナッジングした。6月から10月までで平均した海面水温の水平分布を図2に示す。1998年は東太平洋の赤道域で海面水温が低下した典型的なLa Niñaの分布であり、インド洋では全体的に高温の偏差が示されている。2016年は1998年ほどでは無いが、東太平洋の赤道域で低温偏差を示し、インド洋では1998年に見られたような高温偏差を確認はできない。初期条件は気象庁55年長期再解析 [10,11] から内挿して作成した。アンサンブルメンバーは計算開始日を5月19日18時(UTC)から6月1日0時(UTC)まで6時間毎にずらして作成した。2016年と1998年のアンサンブル実験をそれぞれEN16とEN98実験と称す。6月から10月までの台風の活動に注目するだけでなく、2016年の7月まで台風が発生しない状態をNICAMが再現できていたかを確認するために初期日を10日ずらした各9メンバーの実験もテスト実験として実施した。この実験をEN16Tと称す。発生した台風は [12] の手法で検出しており、気候モデル研究で用いられている風速のバイアス補正は用いていない [13, 14]。

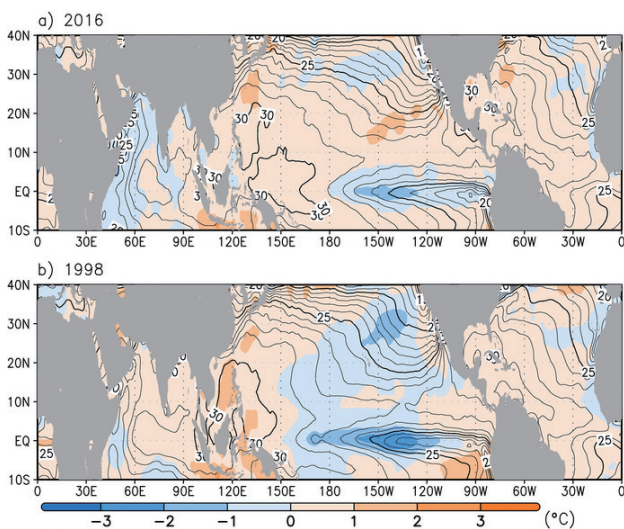


図2 (a) 2016年と(b) 1998年の6月から10月の平均海面水温の観測値を示す。等値線は平均値、色は気候値からの偏差を示す。気候値は1982年から2015年までの平均値で定義した。等値線の間隔は1°Cである。

3. 結果と今後の課題

図3はEN16T実験の台風の全メンバーと観測の1月1日からの台風の累積発生数を示す。4月11日と5月1日初期値の実験は5月中旬(1月1日から135日後)迄に、3月11日と21日と5月11日初期値の実験は6月中旬(1月1日から167日後)頃に台風が発生しているが、他のメンバーは観測に近い日付に発生していることが確認でき、NICAMは2016年の台風1号の発生のを概ね再現することができた。さらに3月1日、11日と5月1日の初期値の実験は8月末までの累積発生数が12個であり観測13個に近い台風をシミュレートしていた。

図4はEN16実験とEN98実験で発生した6月以降の台風の累積発生数を示す。観測では1998年と2016年の違いとして、2016年は7月後半から急激に発生数が増加していることがわかる。アンサンブル実験の結果では、2016年は観測よりも早く6月から台風発生数が増加しているが、1998年よりも発生数が多い傾向は観測と類似した特徴をとらえている。今後は台風の発生位置や1998年の環境場などにどのような違いがあったのかに注目して、EN16実験とEN98実験の結果を比較していく予定である。

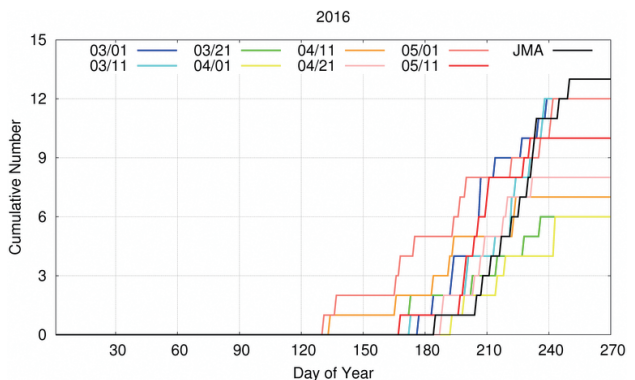


図3 台風の累積発生数。線の色は実験開始日に対応し、黒線は気象庁のベストトラックから作成した観測値。

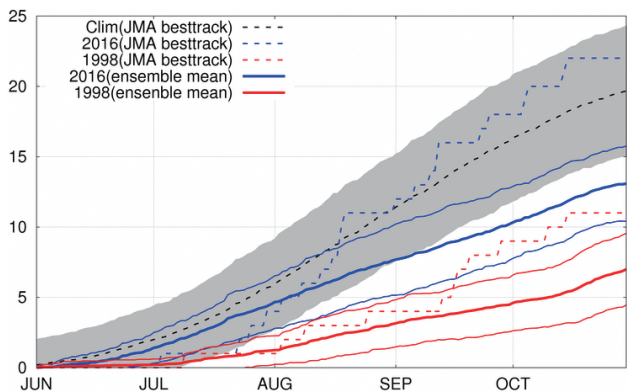


図4 6月1日からの累積台風発生数を示す。点線は気象庁ベストトラックによる観測値を示し、黒が1979年から2008年の平均値で、青が2016年、赤が1998年を示す。灰色の領域は観測の標準偏差を示す。太い実線は青がEN16実験の結果、赤がEN98実験の結果を示す。細かい実線はアンサンブル平均の標準偏差を示す。

謝辞

本研究の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」および気候変動リスク創生プログラムの支援を受けた。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。実験の実施には池田美紀子氏からご助力をいただいた。

文献

- [1] S.-P., Xie, K. Hu, J. Hafner, H. Tokinaga, Y. Du, G. Huang, and T. Sampe, “Indian Ocean capacitor effect on Indo–Western Pacific climate during the summer following El Niño,” *J. Climate*, vol.22, no.3 pp.730–747, February 2009.
- [2] Y. Du, and L. Yang, S.-P. Xie, “Tropical Indian Ocean influence on Northwest Pacific tropical cyclones in summer following strong El Niño,” *J. Climate*, vol.24, no.1, pp.315–322, January 2011.
- [3] R. Han, H. Wang, Z.-Z. Hu, A. Kumar, W. Li, L.N. Long, J.-K.E. Schemm, P. Peng, W. Wang, D. Si, X. Jia, M. Zhao, G.A. Vecchi, T.E. LaRow, Y.-K. Lim, S.D. Schubert, S.J. Camargo, N. Henderson, J.A. Jonas, and K.J.E. Walsh, “An assessment of multimodel simulations for the variability of western North Pacific tropical cyclones and its association with ENSO,” *J. Climate*, vol.29, no.18, pp.6401–6423, September 2016.
- [4] H. Tomita, and M. Satoh, “A new dynamical framework of nonhydrostatic global model using the icosahedral grid,” *Fluid Dyn. Res.*, vol.34, no.6, pp.357–400, June 2004.
- [5] M. Satoh, T. Matsuno, H. Tomita, H. Miura, T. Nasuno, S. Iga, “Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM) for global cloud resolving simulations,” *Journal of Computational Physics*, vol.227, no.7, pp.3486–3514, March 2008.
- [6] M. Satoh, H. Tomita, H. Yashiro, H. Miura, C. Kodama, T. Seiki, A.T. Noda, Y. Yamada, D. Goto, M. Sawada, T. Miyoshi, Y. Niwa, M. Hara, T. Ohno, S. Iga, T. Arakawa, T. Inoue and H. Kubokawa, “The non-hydrostatic icosahedral atmospheric model: description and development,” *Progress in Earth and Planetary Sci.*, vol.1, 18, August 2014.
- [7] C. Kodama, Y. Yamada, A.T. Noda, K. Kikuchi, Y. Kajikawa, T. Nasuno, T. Tomita, T. Yamaura, H.G. Takahashi, M. Hara, Y. Kawatani, M. Satoh, M. Sugi, “A 20-year climatology of a NICAM AMIP-type simulation,” *J. Meteor. Soc. Japan*, vol.93, no.4 pp.393–424, August 2015.
- [8] N.A. McFarlane, “The effect of orographically excited gravity wave drag on the general circulation of the lower stratosphere and troposphere,” *J. Atmos. Sci.*, vol.44, no.14, pp1775–1800, July 1987.
- [9] R.W. Reynolds, N.A. Rayner, T.M. Smith, D.C. Stokes, and W. Wang, “An improved in situ and satellite SST analysis for climate,” *J. Climate*, vol.15, no.13, 1609–1625, July 2002.
- [10] S. Kobayashi, 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*, vol.93, no.1, pp.5–48, March 2015.
- [11] Y. Harada, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, S. Kobayashi, Y. Ota, H. Onoda, K. Onogi, K. Miyaoka, and K. Takahashi, “The JRA-55 Reanalysis: Representation of atmospheric circulation and climate variability,” *J. Meteor. Soc. Japan*, vol.94, no.3, 269–302, May 2016.
- [12] M. Nakano, M. Sawada, T. Nasuno, and M. Satoh, “Intraseasonal variability and tropical cyclogenesis in the western North Pacific simulated by a global nonhydrostatic atmospheric model,” *Geophys. Res. Lett.*, vol.42, pp.565–571, January 2015.
- [13] M. Zhao, and I. Held, “An analysis of the effect of global warming on the intensity of Atlantic hurricanes using a GCM with statistical refinement,” *J. Climate*, vol.23, no.23, pp.6382–6393, December 2010.
- [14] M. Sugi, H. Murakami, and K. Yoshida, “Projection of future changes in the frequency of intense tropical cyclones,” *Climate Dynamics*, vol.49, no.1–2, pp.619–632, July 2017.

High-resolution Large-ensemble Experiments for Anomalous Tropical Cyclone Year Using Global Non-hydrostatic Atmospheric Model

Project Representative

Chihiro Kodama Department of Seamless Environmental Prediction Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Authors

Yohei Yamada^{*1,2}, Chihiro Kodama^{*1,2,3}, Masuo Nakano^{*1}, Tomoe Nasuno^{*1,2,3}, Masaki Satoh^{*2,4}, Masato Sugi^{*5}, Ying-Wen Chen^{*2}, Tatsuya Seiki^{*2}, Akira T. Noda^{*2}, Tomoki Miyakawa^{*4} and Tomoki Ohno^{*4}

*1 Project Team for HPC Advanced Predictions utilizing Big Data, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, *2 Project Team for Risk Information on Climate Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, *3 Department of Seamless Environmental Prediction Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, *4 Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, *5 Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

Typhoons cause major natural disasters such as heavy rains and floods in many parts of the world including Japan. In 2016, the first-typhoon over the Northwestern Pacific (Nepartak) was generated at July 3, which was considerably later than that on average. After Nepartak, many typhoons were generated in the Northwestern Pacific and the accumulated number of typhoons in 2016 reaches 26, which was almost equal to the mean. However, it is not clear whether model can reproduce such an extreme typhoon year like 2016. Although relationship between El Niño and typhoon activity has been pointed out, mechanisms that the genesis of the first-typhoon occurrence is extremely delayed in the year following El Niño and how such an environment affects intensity of typhoon remain controversial because of few El Niño events in observation. In this study, we conducted large ensemble simulations using a high-resolution global non-hydrostatic atmospheric model called NICAM to investigate delay of the first-typhoon generation in 2016 and 1998. Preliminary analysis shows that the model captures the delay of the typhoon generation and some features in 2016 and 1998.

Keywords: Typhoon, post-El Niño, ensemble simulation

1. Introduction

Tropical cyclones including typhoons and hurricanes causes natural disasters, and attract not only scientific but also socioeconomically attentions. If accurate probability predictions of typhoon activity in one month, seasonal, and annual scale were achieved, this system would contribute to a reduction of damages associated with typhoon.

Focusing on the activity of typhoon in the western North Pacific, 2016 was a extreme year. For instance, according to a best-track dataset provided by the Japan Meteorological Agency, the first-typhoon (Nepartak) was generated at July 3. Its genesis date was late relative to usual years. Year of the most delaying genesis was 1998, and its date was July 9. The delaying in 2016 follows 1998. In years when typhoons in the western North Pacific were not generated until early summer, there is a common characteristic in post-El Niño event. Warm sea surface temperature anomalies in the Indian Ocean were observed during decaying El Nino. This warm anomaly formed high-

pressure anomalies over the western North Pacific, and suppress convections [1]. Du et al. [2] showed that, in this period, typhoons tend to not be generated in the western North Pacific. In 1998, annual typhoon genesis frequency was 16, which had fewer than that in usual year. In 2016, however, the annual frequency is 26 comparable to usual year.

The delaying genesis date of the first-typhoon may be related to El Niño Southern Oscillation. However, the number of recorded El Niño events is limited in observation [3]. This may complicate statistical discussion on relationships between El Niño Southern Oscillation and typhoon activity. In our research group, climate simulation was performed for 30 years between 1979 and 2008 using a high resolution global non-hydrostatic model called NICAM [4, 5, 6]; and the model relatively well simulated horizontal distribution of tropical cyclogenesis and its seasonal change [7]. Furthermore, the result of the simulation showed that typhoons were not generated until early summer in 1998 (Fig. 1).

In this study, a large ensemble simulation is conducted

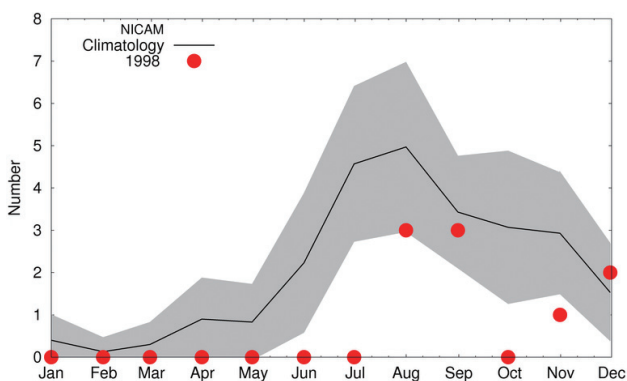


Fig. 1 Monthly genesis number of typhoon from NICAM AMIP simulation [7]. Black line shows average value from 1979 to 2008, and gray-colored region shows standard deviation. Red circle shows the number of monthly typhoon genesis in 1998.

using high-resolution NICAM, to gain knowledge for typhoon prediction in one month, seasonal, and annual scale. By using NICAM, we aim to understand the response of typhoon to El Niño and to contribute to an improvement of the accuracy of typhoon seamless prediction. As a first step, we conduct 50-member ensemble simulations of boreal summer (June to October) in 2016 and 1998; and report preliminary results of the ensemble simulations.

2. Methodology

NICAM was used for ensemble simulations in 2016 and 1998. The horizontal grid spacing was 14 km without cumulus parameterization. The model setting was the same as Kodama et al. [7] except that the gravity wave drag scheme [8] was implemented. Sea surface temperature was calculated by a slab ocean model, which was nudged to observation [9]. Figure 2 shows horizontal distribution of sea surface temperature averaged during June to October in 2016 and 1998. The sea surface

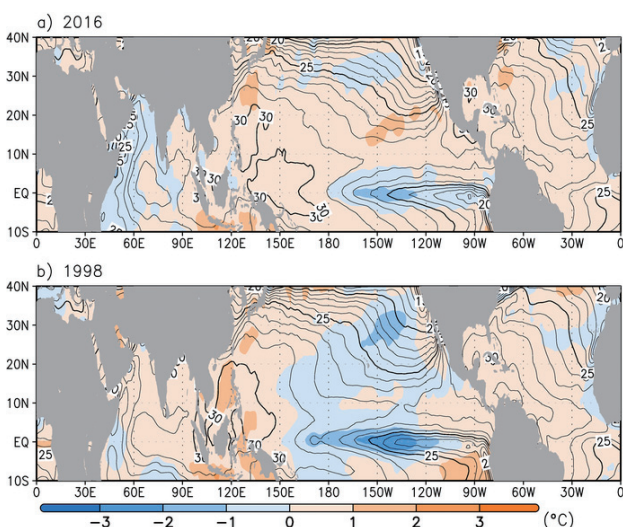


Fig. 2 Horizontal distributions of observed sea surface temperature (contour) and its anomaly relative to climatology (shade) in Jun2016 and 1998. The contour interval is 1 degree Celsius. The climatology is defined by averaging the observed sea surface temperature over 1982 and 2015.

temperature anomalies in 1998 show a typical horizontal distribution of La Niña where the sea surface temperature declines in the equatorial Eastern Pacific, and the positive temperature deviation is shown overall in the Indian Ocean. As for 2016, the anomalies show the weaker negative anomaly in the equatorial eastern Pacific than that in 1998, and we could not confirm the uniform positive anomaly seen in 1998 over the Indian Ocean. The initial condition was prepared by interpolating from the JRA-55 reanalysis [10, 11]. The 50 members were produced by changing the initial time by 6 hourly from May 19th (18UTC) to June 1st (00UTC) for 2015 and 1997. These ensemble simulations for 2016 and 1998 are referred to as EN16 and EN98 runs, respectively. In order to confirm whether NICAM was able to reproduce the condition that typhoon does not occur until July in 2016, we conducted 9-member ensemble simulation in which initial days was changed by 10-day from March 1 to May 11. This ensemble simulation is referred to as EN16T run. Simulated typhoons were detected by utilizing a tracking method [12].

3. Results and future works

Figure 3 shows cumulative typhoon genesis number in EN16T and observation from January 1 in 2016. In ensemble members started from April 11 and May 1, the first-typhoon is generated at mid-May (about 135 days from January 1). As for ensemble members started from March 11 and 21, and May 11, the first-typhoon is generated at mid-June (about 167 days from January 1). In the other members, however, the simulated first-typhoons are generated on the date closer to the observation (July 3). In general, NICAM reproduces the delaying genesis date of the first-typhoon in 2016. Furthermore, in the members initiated on March 1 and 11, and May 1, cumulative genesis number reaches 12, which are comparable to observed number (13).

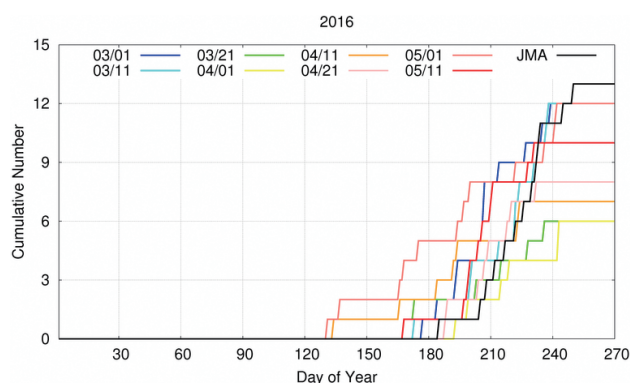


Fig. 3 Time series of cumulative number of typhoons from January 1 in 2016 from EN16T run and observation. The colored lines indicate the respective ensemble member, and the black line is the observation value created from the best track produced by Japan Meteorological Agency.

Figure 4 shows the cumulative genesis number of typhoons since June 1 in EN16 and EN98 runs, and observation. The observation shows that the number of typhoon has increased rapidly since late July in 2016 compared with 1998. In the

results of ensemble simulations, the number of typhoons in EN16 run has increased since June earlier than the observation. The model may simulate that cumulative genesis number in 2016 is larger than that in 1998 as seen in the observation. In the future, we will compare differences in typhoon activity, such as genesis location, and environmental conditions between 2016 and 1998 using the results of EN16 and EN98 runs.

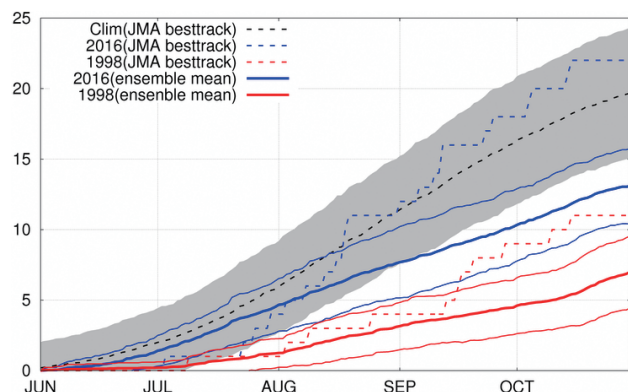


Fig. 4 Time series of cumulative typhoon number from June 1. The dotted line shows the observation by the best track of Japan Meteorological Agency; black means the average value from 1979 to 2008, blue indicates 2016, red indicates 1998. The gray area shows the standard deviation of observation. The bold solid line shows the results of EN16 run (blue) and EN98 run (red). The thin solid line shows the standard deviation of the ensemble mean.

Acknowledgement

This work is 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”). All numerical experiments were run on the Earth Simulator (NEC SX-ACE) under support of “The Earth Simulator Strategic Project with Special Support” of JAMSTEC. The authors thank Ms. Ikeda for her cooperation in performing the ensemble simulations.

References

- [1] S.-P., Xie, K. Hu, J. Hafner, H. Tokinaga, Y. Du, G. Huang, and T. Sampe, “Indian Ocean capacitor effect on Indo–Western Pacific climate during the summer following El Niño,” *J. Climate*, vol.22, no.3 pp.730–747, February 2009.
- [2] Y. Du, and L. Yang, S.-P. Xie, “Tropical Indian Ocean influence on Northwest Pacific tropical cyclones in summer following strong El Niño,” *J. Climate*, vol.24, no.1, pp.315–322, January 2011.
- [3] R. Han, H. Wang, Z.-Z. Hu, A. Kumar, W. Li, L.N. Long, J.-K.E. Schemm, P. Peng, W. Wang, D. Si, X. Jia, M. Zhao, G.A. Vecchi, T.E. LaRow, Y.-K. Lim, S.D. Schubert, S.J. Camargo, N. Henderson, J.A. Jonas, and K.J.E. Walsh, “An assessment of multimodel simulations for the variability of western North Pacific tropical cyclones and its association with ENSO,” *J. Climate*, vol.29, no.18, pp.6401–6423, September 2016.
- [4] H. Tomita, and M. Satoh, “A new dynamical framework of nonhydrostatic global model using the icosahedral grid,” *Fluid Dyn. Res.*, vol.34, no.6, pp.357–400, June 2004.
- [5] M. Satoh, T. Matsuno, H. Tomita, H. Miura, T. Nasuno, S. Iga, “Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM) for global cloud resolving simulations,” *Journal of Computational Physics*, vol.227, no.7, pp.3486–3514, March 2008.
- [6] M. Satoh, H. Tomita, H. Yashiro, H. Miura, C. Kodama, T. Seiki, A.T. Noda, Y. Yamada, D. Goto, M. Sawada, T. Miyoshi, Y. Niwa, M. Hara, T. Ohno, S. Iga, T. Arakawa, T. Inoue and H. Kubokawa, “The non-hydrostatic icosahedral atmospheric model: description and development,” *Progress in Earth and Planetary Sci.*, vol.1, 18, August 2014.
- [7] C. Kodama, Y. Yamada, A.T. Noda, K. Kikuchi, Y. Kajikawa, T. Nasuno, T. Tomita, T. Yamaura, H.G. Takahashi, M. Hara, Y. Kawatani, M. Satoh, M. Sugi, “A 20-year climatology of a NICAM AMIP-type simulation,” *J. Meteor. Soc. Japan*, vol.93, no.4 pp.393–424, August 2015.
- [8] N.A. McFarlane, “The effect of orographically excited gravity wave drag on the general circulation of the lower stratosphere and troposphere,” *J. Atmos. Sci.*, vol.44, no.14, pp1775–1800, July 1987.
- [9] R.W. Reynolds, N.A. Rayner, T.M. Smith, D.C. Stokes, and W. Wang, “An improved in situ and satellite SST analysis for climate,” *J. Climate*, vol.15, no.13, 1609–1625, July 2002.
- [10] S. Kobayashi, 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*, vol.93, no.1, pp.5–48, March 2015.
- [11] Y. Harada, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, S. Kobayashi, Y. Ota, H. Onoda, K. Onogi, K. Miyaoka, and K. Takahashi, “The JRA-55 Reanalysis: Representation of atmospheric circulation and climate variability,” *J. Meteor. Soc. Japan*, vol.94, no.3, 269–302, May 2016.
- [12] M. Nakano, M. Sawada, T. Nasuno, and M. Satoh, “Intraseasonal variability and tropical cyclogenesis in the western North Pacific simulated by a global nonhydrostatic atmospheric model,” *Geophys. Res. Lett.*, vol.42, pp.565–571, January 2015.