

複数の次世代非静力学全球モデルを用いた高解像度台風予測実験

課題責任者

吉村 裕正

気象庁 気象研究所

著者

吉村 裕正^{*1}, 大西 領^{*2}, 那須野 智江^{*3}, 中野 満寿男^{*3},

和田 章義^{*1}, 中川 雅之^{*1}, 杉 正人^{*1},

後藤 浩二^{*4}, 坂内 健大^{*4}, 佐々木 亘^{*5}

^{*1} 気象庁 気象研究所, ^{*2} 海洋研究開発機構地球情報基盤センター, ^{*3} 海洋研究開発機構シームレス環境予測研究分野, ^{*4} 日本電気株式会社, ^{*5} 株式会社 風力エネルギー研究所

2020年代後半に現業予測での利用を想定した高解像度全球数値モデルの台風予測に対する有効性を測るため、また高解像度での台風予測改善のための知見を得るため、3種類の次世代非静力学全球モデル（DFSM, NICAM, MSSG）を使用して、高解像度（水平解像度約 7km）での台風予測実験を実施した。この課題において、これまでに様々な台風事例について予測実験を行い、高解像度化やマルチモデルアンサンブルの台風進路・強度予測への有効性を確認している[1]。今年度は、これまでに行ってきた台風予測実験について解析を行うとともに、モデルの予測結果の改善を目指して、物理過程の変更や、初期値の与え方の変更等を行う感度実験を実施した。台風発生に着目した 18 日積分の実験を解析することにより、季節内振動等の長周期変動の再現性を高めることの重要性が確認された。MSSGで計算初期に可降水量が増大していく原因を調べるためにいくつかの感度実験を行い、初期土壌水分量の与え方を変更すれば改善されることが判明した。また、大気海洋相互作用が台風や海面水温に与える影響を調べるため、大気海洋結合モデルでの実験も実施した。台風経路に沿った海面水温の低下により、結合モデルでは大気モデル単体の時と比べて台風が弱まることを確認した。また、AMSR2衛星観測でも結合モデルと同様の海面水温低下が観測されることを確認した。

キーワード：数値予測, 全球モデル, 熱帯低気圧（台風）, 台風予測比較実験

1. 目的と意義

台風による自然災害は社会・経済活動に深刻な影響を与えることから、その軽減のために台風の進路や強度の予測精度向上が常に社会から求められている。しかし台風の予測精度は未だ不十分であり、その原因の一つとして現業全球モデルの水平解像度（2019 年現在約 20km）が粗く台風内部コアが十分解像できていないことが考えられる。

本研究は、気象庁気象研究所および海洋研究開発機構（JAMSTEC）が連携し、JAMSTEC「地球シミュレータ（ES）公募課題」で与えられた計算資源を利用して、2020 年代後半での現業利用の実現可能性を想定した 7km の高い水平解像度で 3 種類の次世代全球モデルを用いて台風予測実験を実施する。それぞれのモデルで予測される台風の特徴を明らかにし、台風予測の系統的誤差を評価し、また台風の科学的理解を深め、台風予測改善のための知見を得ることにより、台風に伴う大雨や暴風の予測の精度向上に寄与することを目的とする。

これまでに様々な台風事例について予測実験を行い、台風進路・強度予測について系統的な誤差を評価しており、解像度を 20km から 7km に上げることにより、またモデルアンサンブルを行うことにより、台風の進路・強度予測の誤差が低減されることを確認している[1]。その一方、モデルの違いやモデルの物理過程の違いにより、台風内部構造や台風の進路・強度や台風の発生等に違いが見られる。その違いの原因を調査する。また、これらの高解像度大気モデルに海洋モデルを結合した大気海

洋結合モデルを用いた実験を実施し、大気海洋相互作用が台風や海面水温に与える影響を評価する。これらのことにより、台風予測改善のための知見を得る。

2. 実験概要

本研究では、気象庁現業モデル GSM をベースに高解像度向けに非静力学・二重フーリエ級数の力学コアを導入した DFSM（気象研究所）、陰陽格子の MSSG（JAMSTEC）、20 面体格子の NICAM（JAMSTEC/AORI/AICS）の 3 つの 7km 解像度の次世代非静力学全球モデルを使用する。今年度は、モデルの予測結果の改善を目指して、物理過程の変更や、初期値の与え方の変更等を行う感度実験を実施した。また、大気海洋相互作用が台風や海面水温に与える影響を調べるため、大気海洋結合モデルでの実験を実施した。

3. 台風発生予測に関する比較実験

夏季西太平洋における台風発生は、背景場となるモンスーン循環の変調や、季節内振動を始めとする 20-90 日程度の周期性をもつ対流活動を伴う移動性擾乱の消長に大きく左右される。従って、台風の発生予測においては、これらの変動現象を的確に予測することが有望と考えられる。これまで本課題では、日本に接近した台風事例を対象に、台風進路や強度に関する 5 日計算を中心に扱ってきたが、今年度は、季節内振動の活発期に熱帯で台風が連続発生した事例に注目し、台風発生予測に関する実験結果の比較解析を行った。

計算開始時刻は、台風連続発生約 10-6 日前の 2015 年 6 月 23 日、25 日、27 日とし、18 日の積分を行った。6 日前(6 月 27 日)からの計算では、何れのモデルでも、季節内振動の通過に伴うモンスーン循環(熱帯の下層西風)の強化、これに付随する水蒸気の集積など、台風初期渦の発達に好都合な大規模場の変化が再現され、台風の発生位置やタイミングについては現実とは必ずしも一致しないものの、連続発生はよく捉えられていた。

6 月 25 日からの計算では、DFSM ではモデル下層西風の発達が弱く、台風の発生個数も少ない傾向があり、MSSG では台風の発生個数が現実より多い傾向が見られた。6 月 23 日からの計算(図 1)では、これらの違いがさらに顕在化し、下層西風の過発達するモデルではより多くの台風が発生し、モンスーン循環が衰退するモデ

ルでは台風が発生しなかった。DFSM において積雲対流のパラメタリゼーションの使用を停止した計算や、設定を変更した計算も実施し、モンスーン循環の再現性が良好な設定では、台風連続発生もよく再現されることを確認した(図 1 右下)。現実との比較の観点では、NICAM、MSSG、DFSM(積雲対流スキーム停止)ともに下層西風の南西方向の張り出しが弱く北偏する傾向がみられ、台風の発生位置の誤差の一因と考えられる。

以上の結果は、季節内振動等の長周期変動の再現性を高めることの台風発生予測への有効性および、特に 10 日から先のモデルの誤差傾向を制御することの重要性を示唆する。今後さらに調査を進め、特に大きなインパクトを持つ物理過程や物理要素を特定する必要がある。

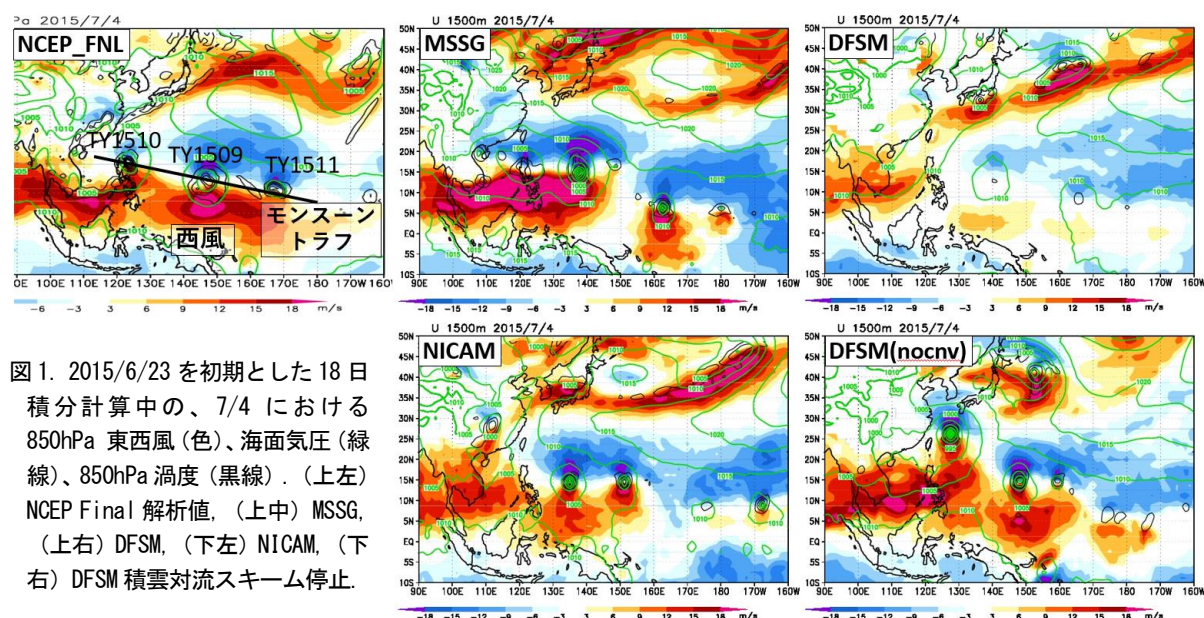


図 1. 2015/6/23 を初期とした 18 日積分計算中の、7/4 における 850hPa 東西風(色)、海面気圧(緑線)、850hPa 温度(黒線)。(上左) NCEP Final 解析値、(上中) MSSG、(上右) DFSM、(下左) NICAM、(下右) DFSM 積雲対流スキーム停止。

4. 初期土壌水分量が可降水量に及ぼす影響(MSSG モデル結果に見られた可降水量増大傾向の修正)

MSSG モデルの結果を解析する中で、他モデルと比較して明らかに計算初期に可降水量が増大していくという傾向が見られた。いくつかの感度実験を行い、原因を特定したところ、初期土壌水分量に問題があることがわかった。MSSG は土壌水分量計算にバケツモデルを用いている。NCEP FNL データの深さ 40cm までのデータを利用していた。それを深さ 10cm までのデータを利用するように変更したところ、可降水量の明らかな増大傾向は見られなくなった(図 2)。バケツモデルは簡便なモデルであり、長期積分を行うためには多層モデルに変更していく必要がある。

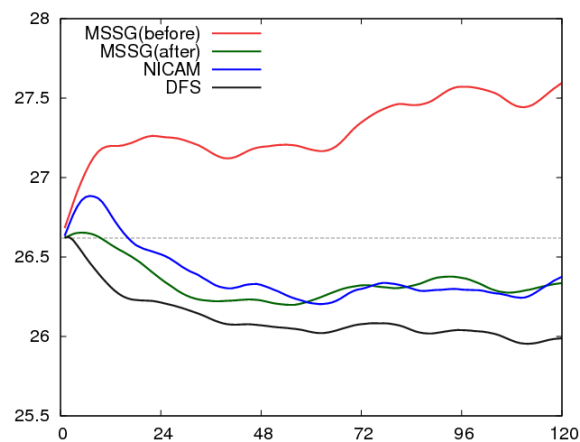


図 2. 2016 年 08 月 22 日 12:00UTC から開始したケース(2016 年台風第 10 号)の可降水量の時間変化。

5. 大気海洋結合モデルによる台風・海面水温予測

大気海洋相互作用が台風や台風付近の海面水温 (SST) に与える影響を調べるため、大気海洋結合モデルを用いて台風予測実験を行った。図 3 は、2016/08/25/00UTC を初期時刻とした 4 日積分後の 2016/08/29/00UTC の海面水温予測と、08/25/00UTC~08/29/00UTC の 4 日間の海面水温変化量を示す。DFSM と MSSG の予測結果を、極軌道衛星に搭載された高性能マイクロ波放射計 AMSR2 による観測[2]と比較する。AMSR2 の 00UTC の観測値として、ここでは前日の午後と当日の午前の観測の平均値を用いる。

4 日間の海面水温変化量を見ると、2016 年台風 10 号 (Lionrock) の移動経路に沿って DFSM では 3~5 度程度、MSSG では 3~7 度程度の海面水温の低下が見られた。DFSM と MSSG の大気モデルの解像度は同じ 7km であるが、DFSM の海洋モデルは 1x0.5 度の低解像度、MSSG の海洋モデルは 7km の高解像度であり、DFSM でも海洋モデルの解像度を上げると海面水温がより低下する可能性が

ある。AMSR2 衛星観測でも、台風経路に沿った同様の 3~5 度程度の海水温低下が見られた。ただ、衛星の軌道に入らなかったことや雲に隠れたことによる欠測の領域で、海水温がより低下した場所があることも考えられる。

DFSM は、大気モデル単体の実験では 08/29/00UTC の台風中心気圧は 907.8hPa であり、観測の 945hPa と比べて台風が過発達であった。大気海洋結合モデル実験では同時刻の台風中心気圧は 928.7hPa であり、過発達がかなり改善された。結合モデルでは台風付近の海面水温低下により海面からの顕熱・潜熱が減少しており、そのことにより大気モデル単体時と比較して台風が弱まったと考えられる。MSSG では、同時刻の台風中心気圧は、大気モデル単体実験では 933.1hPa、結合モデル実験では 935.0hPa であり、結合時に台風が弱まるものの違いは小さい。DFSM と MSSG で海洋結合による台風強度への影響に違いが見られる原因については今後の調査課題である。

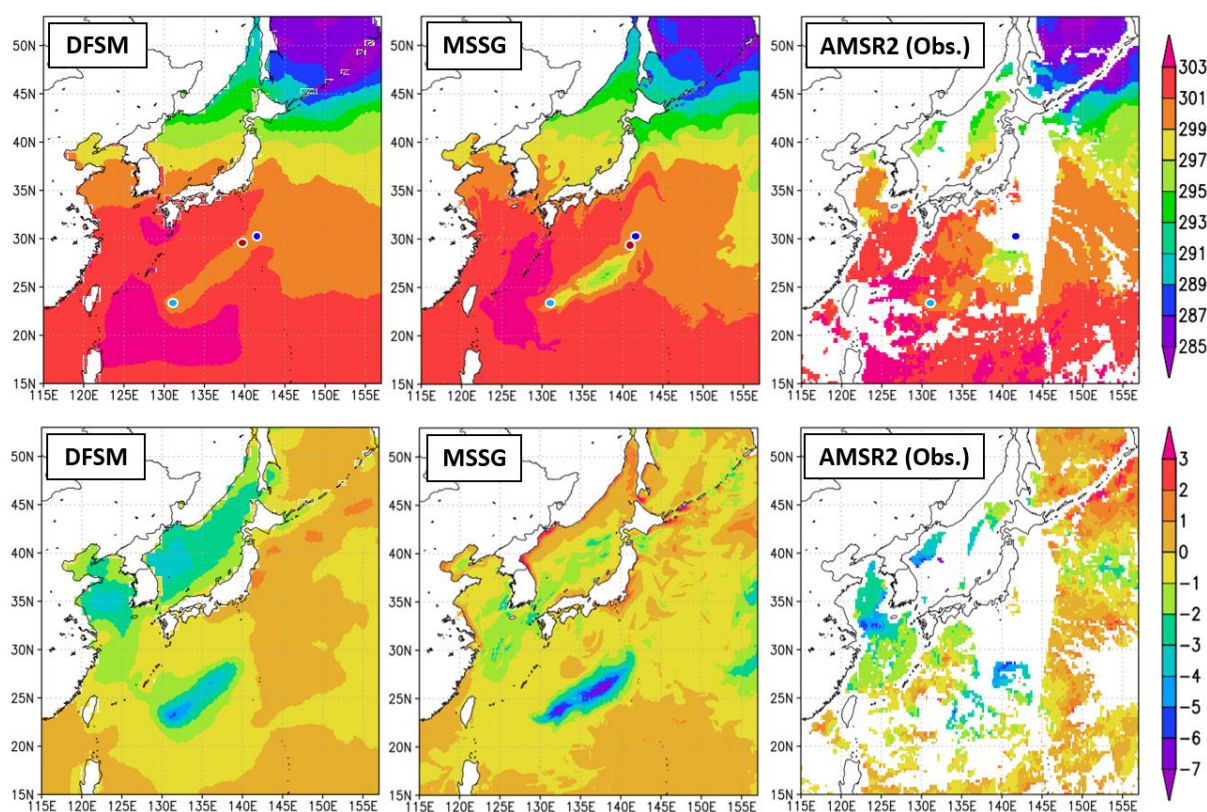


図 3. 大気海洋結合モデルによる 2016/08/25/00UTC を初期時刻とした 4 日積分後の 2016/08/29/00UTC の海面水温 (上図) と 4 日間の海面水温変化量 (下図)。(左) DFSM、(中) MSSG の予測結果。(右) AMSR2 衛星観測。

●(水色) 8/25/00UTC の観測台風位置、●(青) 8/29/00UTC の観測台風位置、●(茶) 8/29/00UTC のモデル台風位置。

6. 結論と今後の予定

今年度の成果のポイントは以下の通りである。

- ・10 日以上前からの台風発生に関するモデル比較から、季節内振動等の長周期変動の再現性を高めることの重要性が確認された。予測可能性の向上のために、感度の高い物理過程を特定し、詳しい調査を行う必要がある。
- ・MSSG で、初期土壌水分量の与え方を変更することより、可降水量が増大していく傾向が見られなくなった。
- ・大気海洋結合モデルによる台風予測実験で台風進路に沿って海水温の低下が見られること、AMSR2 衛星観測でも同様の海水温低下が観測されることを確認した。
- ・DFSM の大気モデル単体実験で見られた台風の過発達は、大気海洋結合モデルでは改善されることを確認した。結合モデルにおいて、台風付近の海面水温低下により海面からの顕熱・潜熱が減少したことが、台風の弱まる原因と考えられる。

平成 31 年度地球シミュレータ公募課題の一つとして実施される本研究（2019 年 4 月～2020 年 3 月）では、これまでの実験の結果の解析を引き続き行うとともに、最近日本に上陸し災害をもたらした台風についても実験・解析を行う。解像度の違いやモデルの違いにより台風予測に違いが起きる原因についても調査する予定である。

謝辞

本研究は地球シミュレータ公募課題（2018 年 4 月～2019 年 3 月）のもとで地球シミュレータを用いて実施された。また、本研究の一部は、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」、JSPS 科学研究費補助金の基盤研究 B「台風進路予測の変動メカニズムの解明」（研究代表者：榎本剛・京都大学、連携研究者：中野満寿男、課題番号 26282111）、および基盤研究 C「台風強度予測精度向上のための台風強化停止プロセスの解明」（研究代表者：和田章義・気象研究所、課題番号 15K05292）の支援を受けて行われた。

文献

- [1] Nakano, M., A. Wada, M. Sawada, H. Yoshimura, R. Onishi, S. Kawahara, W. Sasaki, T. Nasuno, M. Yamaguchi, T. Iriguchi, M. Sugi, and Y. Takeuchi, “Global 7-km mesh nonhydrostatic Model Intercomparison Project for improving Typhoon forecast (TYMIP-G7): Experimental design and preliminary results,” *Geosci. Model Dev.*, 10, 1363-1381, doi:10.5194/gmd-10-1363-2017 (2017).
- [2] Wentz, F.J., T. Meissner, C. Gentemann, K.A. Hilburn, J. Scott, “Remote Sensing Systems GCOM-W1 AMSR2 Daily Environmental Suite on 0.25 deg grid, Version 8,” Remote Sensing Systems, Santa Rosa, CA (2014). Available online at www.remss.com/missions/amr2.

Global 7-km mesh Nonhydrostatic Model Intercomparison Project for Improving Typhoon Forecast (TYMIP-G7)

Project Representative

Hiromasa Yoshimura Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

Authors

Hiromasa Yoshimura ^{*1}, Ryo Onishi ^{*2}, Tomoe Nasuno ^{*3}, Masuo Nakano ^{*3}

Akiyoshi Wada ^{*1}, Masayuki Nakagawa ^{*1}, Masato Sugi ^{*1},

Koji Goto ^{*4}, Kenta Sakauchi ^{*4}, Wataru Sasaki ^{*5}

^{*1} Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, ^{*2} Center for Earth Information Science and Technology, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ^{*3} Department of Seamless Environmental Prediction Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ^{*4} NEC, Ltd., ^{*5} Wind Energy Institute of Tokyo, Inc.

We conducted typhoon forecast experiments using the three 7-km mesh nonhydrostatic global atmospheric models, DFSM, MSSG and NICAM to obtain new findings for improving typhoon prediction by high resolution global atmospheric model. Our project has conducted numerous numerical experiments on various cases of typhoons and atmospheric disturbances, and confirmed the effectiveness of high-resolution atmosphere model and multi-model ensemble [1]. This fiscal year we analyzed the typhoon prediction experiments that we have conducted so far, and also conducted sensitivity experiments to improve the performance of the models. The importance of the reliable prediction of the tropical intraseasonal oscillation was confirmed by analysis of 18-day integration experiments focusing on typhoon genesis. By conducting several sensitivity experiments, it was found that the excessive precipitable water in the MSSG simulations was improved by modifying the initial soil moisture setting. Experiments using coupled atmosphere-ocean models were also conducted to investigate the effects of air-sea interaction on typhoon and SST. It was confirmed that the decrease in SST along the typhoon track in the models was similar to that in the AMSR2 observation.

Keywords: Numerical Weather Prediction, Global Atmospheric Model, Tropical Cyclone, Model Intercomparison

1. Introduction

Natural disasters caused by typhoons seriously affect social and economic activities. It is always sought by society to alleviate the damages by improving the accuracy of the track and intensity forecast of typhoons. However, the accuracy is still insufficient. One of the reasons is that the horizontal resolution of the operational global atmosphere model is relatively coarse (20 km as of 2019) to resolve the inner core of typhoons.

In this project, we conducted numerous typhoon forecast experiment by the global atmosphere models with the 7-km horizontal resolution by utilizing computational resources for the project on 'Earth Simulator (ES) Proposed Research Projects' in cooperation with the Meteorological Research Institute (MRI) and the Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC). The 7-km resolution is expected for the operational use in the late 2020s. Clarification of the characteristics of typhoons predicted in each model, estimates of systematic errors on typhoon predictions, and deeply understanding of typhoons from a scientific view contribute to the improvement of the accuracy of predictions on typhoons.

2. Experiments

We conducted typhoon forecast experiments using the following three 7-km mesh nonhydrostatic global atmospheric

models: the Double Fourier Series spectral Model (DFSM) developed in MRI, the Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment (MSSG) developed in JAMSTEC and the Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model (NICAM) developed in JAMSTEC, AORI and AICS. In this fiscal year, we conducted sensitivity experiments to change the physical process and the initial condition setting, etc., to improve the predicted results of the models. We also conducted experiments using coupled atmosphere-ocean models to investigate the effects of air-sea interaction on typhoons and SST.

3. Model inter-comparison of TC genesis prediction

Tropical Cyclone (TC) genesis over the western Pacific is affected by large-scale atmospheric conditions, such as the modulation of the Asian summer monsoon associated with the tropical intraseasonal oscillation (ISO). Enhanced occurrence of TCs in the active period of ISO is recognized, and the ISO is regarded as a promising source of predictability of TC genesis. In this FY, we focus on this issue, and examined the multi-model simulation outputs of the successive TC genesis case that occurred during the active period of and ISO event in late June, 2015. The initial time of the simulations are 23, 25, and 27 June, 2015, which are 10, 8, and 6-day prior to the successive TC genesis, and 18-day long simulations are conducted.

Figure 1 shows the simulations initialized on 23 June. significant differences among the models are found; in the models with intense (retreating) monsoon westerlies, TC genesis was enhanced (suppressed). The same relationship between the large-scale fields and TC genesis is also confirmed in the sensitivity experiments of DFSM with

turning off the cumulus parameterization scheme (Fig. 1, lower right panel). The above results suggest the importance of the reliable prediction of the ISO to the TC genesis forecasts, especially beyond 10 days lead time is confirmed. To achieve higher model performance, key physical processes and parameters will be identified in the forthcoming studies.

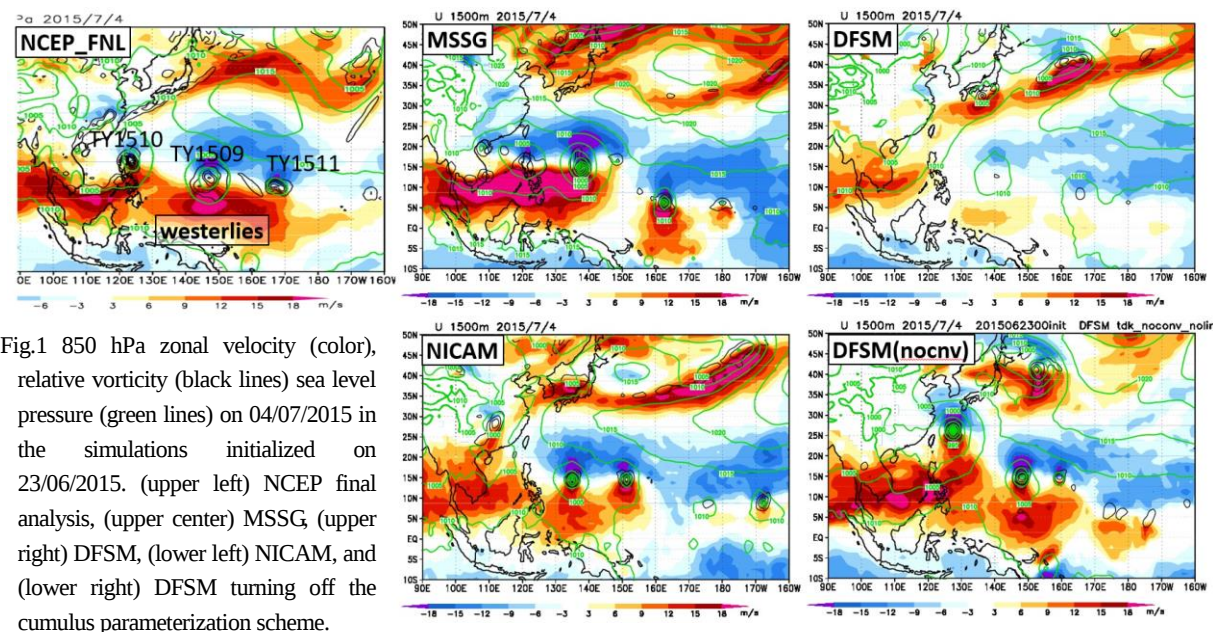


Fig.1 850 hPa zonal velocity (color), relative vorticity (black lines) sea level pressure (green lines) on 04/07/2015 in the simulations initialized on 23/06/2015. (upper left) NCEP final analysis, (upper center) MSSG, (upper right) DFSM, (lower left) NICAM, and (lower right) DFSM turning off the cumulus parameterization scheme.

4. Impact of initial soil moisture setting on precipitable water budget

It was found that the precipitable water in the MSSG simulations was larger than that in other simulations. The MSSG adopts the so-called bucket model for the soil moisture calculation. In the reference setting, the soil moisture above 40cm depth of the NCEP FNL, which adopts a multi-layer soil model, was used for the initial values for the MSSG

simulations. In the modified setting, the moisture above 10cm depth (i.e., shallower than the reference depth) is used. The MSSG simulations with the modified setting show similar values of the precipitable water as shown in Fig. 2. This shows a significant impact of the soil moisture setting on the precipitable water budget.

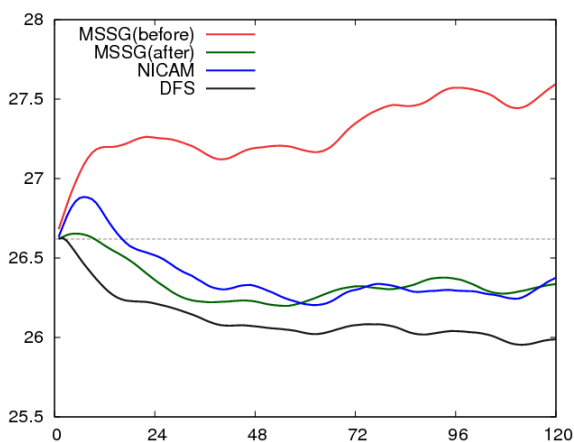


Fig. 2 Time evolution of precipitable water in the simulation started from 12UTC 22nd August 2016 (the case of Typhoon No. 10 in 2016).

5. Prediction of Typhoon and sea surface temperature (SST) with coupled atmosphere-ocean models

We conducted typhoon prediction experiments using coupled atmosphere-ocean models to investigate the impact of atmosphere-ocean interaction on typhoons and SST. Figure 3 shows the predicted SST of 00UTC 29th August 2016 after the 4-day integration from the initial time of 00UTC 25th August 2016 and the change of SST for four days. The SSTs predicted by the models (DFSM and MSSG) are compared with the observation by the Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2) [2] onboard the polar orbit satellite.

Along the track of Typhoon No. 10 (Lionrock), SST decreased in DFSM and MSSG. The similar decrease of SST near the typhoon was observed by AMSR2 satellite observation. The typhoons in the coupled atmosphere-ocean models were weaker than those in the atmosphere models, especially in DFSM, due to the decrease of SST.

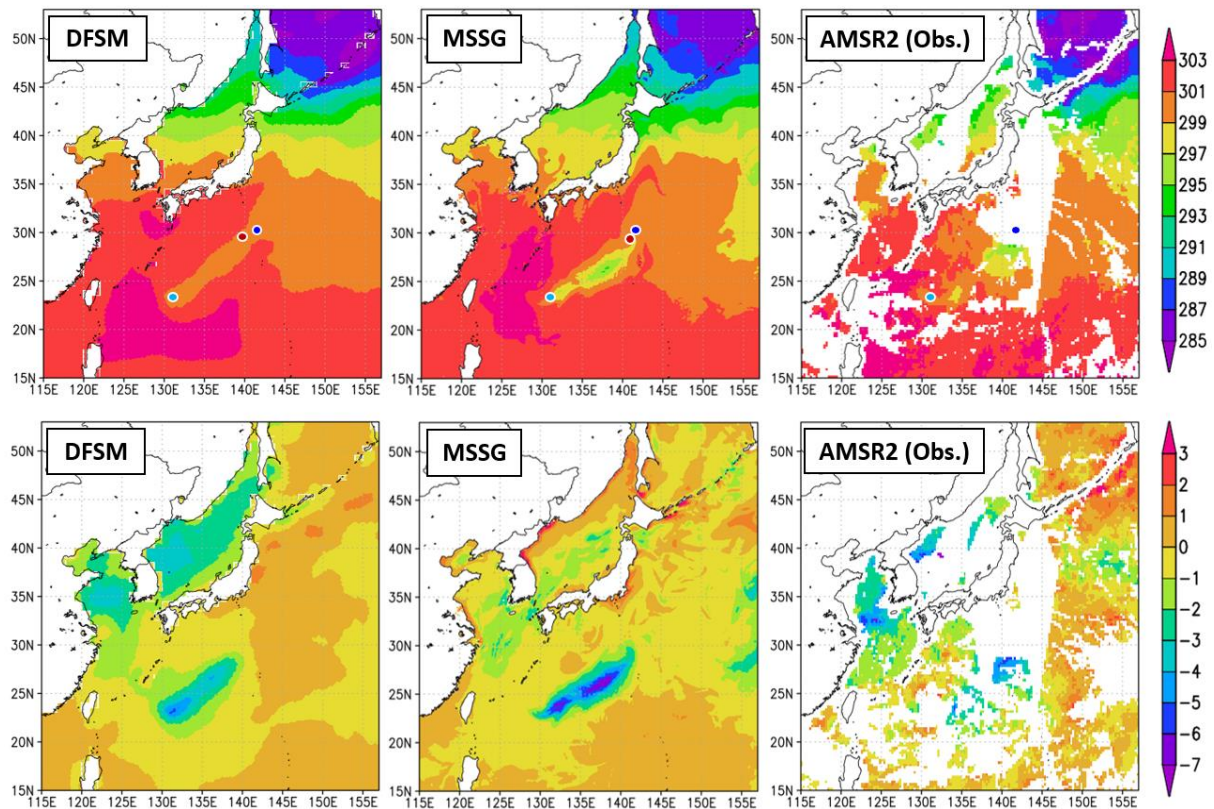


Fig. 3 (Upper) Predicted SST of 00UTC 29th August 2016 after 4-day integration from the initial time of 00UTC 25th August 2016 with the coupled atmosphere-ocean model. (Lower) Change of SST for 4 days.
 (Left) predicted results of DFSM. (Middle) predicted results of MSSG (Right) AMSR2 satellite observation.
 (Small circles of light blue) observed typhoon position at 00UTC 25th August. (Small circle of blue) observed typhoon position at 00UTC 29th August. (Small circle of brown) predicted typhoon positions at 00UTC 29th August.

6. Conclusions and future works

The main achievements of this fiscal year are as follows.

- The importance of the reliable prediction of the ISO to the TC genesis forecasts, especially beyond 10 days lead time is confirmed.
- The excessive precipitable water in the MSSG simulations was improved by modifying the initial soil moisture setting.
- It was confirmed that the decrease in SST along the typhoon track in the coupled atmosphere-ocean models was similar to that in the AMSR2 satellite observation.

In the subsequent project, we will continue to analyze the results of numerical experiments obtained in this project. We will also conduct experiments of typhoons that recently landed in Japan and caused disasters. We will also investigate the causes of differences in typhoon predictions due to differences in resolutions and models.

Acknowledgement

All numerical experiments were run on the Earth Simulator (NEC SX-ACE).

References

- [1] Nakano, M., A. Wada, M. Sawada, H. Yoshimura, R. Onishi, S. Kawahara, W. Sasaki, T. Nasuno, M. Yamaguchi, T. Iriguchi, M. Sugi, and Y. Takeuchi, "Global 7-km mesh nonhydrostatic Model Intercomparison Project for improving Typhoon forecast (TYMIP-G7): Experimental design and preliminary results," *Geosci. Model Dev.*, 10, 1363-1381, doi:10.5194/gmd-10-1363-2017 (2017).
- [2] Wentz, F.J., T. Meissner, C. Gentemann, K.A. Hilburn, J. Scott, "Remote Sensing Systems GCOM-W1 AMSR2 Daily Environmental Suite on 0.25 deg grid, Version 8," Remote Sensing Systems, Santa Rosa, CA (2014). Available online at www.remss.com/missions/amr2.