

非静力学大気海洋結合モデルを用いた台風 - 海洋相互作用の研究

課題責任者

坪木 和久 名古屋大学 宇宙地球環境研究所

著者

坪木 和久^{*1}, 辻野 智紀^{*1}, 相木 秀則^{*1}, 吉岡 真由美^{*1,2}, 加藤 雅也^{*1}

*1 名古屋大学 宇宙地球環境研究所, *2 情報通信研究機構

台風などの熱帯低気圧の最大強度は海面水温によって大きく規定される。海面水温は海洋の一側面と考えるべきで、むしろ海洋上部の海水が持つ貯熱量のほうが本質的である。海洋上部貯熱量の変動が台風の強度に与えるインパクトを明らかにすることを目的として、台風 Haiyan (2013)、Megi (2010)、サイクロン Pam (2015) などのスーパー台風をはじめとして伊勢湾台風や狩野川台風などの日本に歴史的な大災害をもたらした台風についてのシミュレーションとインパクト実験を実施する。ここでは初期結果として Haiyan の大気だけのモデルによる結果について報告する。スーパー台風 Haiyan (2013) については、これまで強度と急速発達についてある程度再現されていたが、進路は 250km ほど観測とずれていた。今回、スペクトルナッジングの導入により、進路について顕著な改善がみられた。また、気圧の低下の開始時期についてもある程度の改善がみられた。今後、発達時期の遅れについて初期値の改善などさらなる改善を目指す。

キーワード：台風, Haiyan, 雲解像モデル, 大気海洋結合モデル, 台風-海洋相互作用

1. 研究の目的と意義

台風などの熱帯低気圧の最大強度は海面水温によって大きく規定される（たとえば最大可能強度の理論など）。しかしながら、海面水温は海洋の熱エネルギーにかんする一側面と考えるべきで、むしろ海洋上部の海水が持つ貯熱量のほうが本質的である。海洋上部の貯熱量は、季節変化やエルニーニョ・ラニーニャなどの海洋の長期変動、さらに地球温暖化などで変動するが、その変動が台風、特に最も強いクラスの台風であるスーパー台風の強度変化にどのようなインパクトを与えるかは未解明である。Haiyan (2013) や Megi (2010) などのスーパー台風に対して、海洋内部の水温上昇が関係しているという指摘もあるが、明確な答えは得られていない。そこで本課題では、台風 Haiyan (2013)、Megi (2010)、サイクロン Pam (2015) などのスーパー台風をはじめとして伊勢湾台風や狩野川台風などの日本に歴史的な大災害をもたらした台風について、これまでに整備してきた雲解像モデル CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) (Tsuboki and Sakakibara, 2002; Tsuboki, 2008[1], [2]) と非静力学大気海洋結合モデル (相木ほか, 2015[4]) を用いて、シミュレーションとインパクト実験を実施する。今年度はまずスーパー台風 Haiyan について重点を置いて、CReSS を用いたシミュレーションを実施した。

Haiyan のような熱帯低気圧は比較的低緯度に発生したものであるが、地球温暖化の進んだ未来では、このような強い台風が日本付近の海面水温は現在のその領域程度にまで達する。Tsuboki et al. (2015[3]) は、今世紀末ごろには海面水温の上昇によりスーパー台風が日本付近に達することを示した。現在低緯度に発生するスーパー台風に対するシミュレーションは、将来の日本付近の最強台風

の強度予測の予測精度を上げることに繋がるものである。また、海洋内部の温度変化を計算する結合モデルを用いて台風のシミュレーションをすることは、台風と海洋の間の熱エネルギーの交換をより正確に計算することになり、台風強度のより正確な予測に繋がるものである。さらに台風が海洋に与えるインパクトについても調べることが可能になり、海洋の短時間変動の一つを明らかにすることにつながる。

2. 研究内容

ここでは初期結果としてスーパー台風 Haiyan の雲解像モデルを用いた実験の結果について報告する。2013 年 11 月 8 日にフィリピンに上陸し、大きな被害をもたらした。上陸直前の最低中心気圧は 895hPa に達した。この台風のシミュレーションにおける問題点として次のものがあげられる。

- ① 進路が北にずれる (300km 程度北にずれる)。
- ② 最低中心気圧が低くならない (950hPa 程度にしか達しない)。
- ③ 急速発達が再現できない。
- ④ 気圧の低下開始が遅れる。

これらの問題のうち、②と③についてはすでに改善されていた。進路についての改善のため、辻野 (名古屋大学宇宙地球環境研究所) が雲解像モデル CReSS に導入したスペクトルナッジングを利用した。スペクトルナッジングは大気場をスペクトル展開し、その低波数のもののみを親モデルあるいは解析場のそれにダンピングする方法で、それにより大規模な流れを親モデルまたは解析場の流れ場に強制することができる。

3. 研究成果

2013年の台風30号 Haiyan は、11月にフィリピンに上陸し、暴風と高潮により、7000人を超える犠牲者と800億円を超える被害額を出した。このような低緯度で発生する強い台風は次の2つの点で重要である。一つは低緯度の台風は現在の気候における熱帯低気圧の到達最大強度と考えられることである。もう一つは気候変動に伴い今世紀後半には日本付近の海面水温が現在のフィリピン東方海上の海面水温程度になるので、将来の日本付近に達する台風の最大強度を推定することになるという点である。これらの点で Haiyan を再現しその台風-海洋相互作用を明らかにすることは重要である。

図1に台風 Haiyan のベストトラックと2013年11月7日の海面水温分布を示す。台風 Haiyan はほぼ西に向かって進んだので、その経路上の海面水温が常に29~29.5℃であった。台風 Haiyan はフィリピン上陸直前まで発達し、上陸時の中心気圧は895hPaに達していた。この経路にそって鉛直シアも小さく、発達を抑制する要因がほとんどなかったこともその要因と考えられる。その結果、台風 Haiyan の発達では急速に強化するプロセスが見られた。台風 Haiyan のシミュレーションでは上記の4つの問題点があるが、そのなかでも進路がベストトラックに比べて大きく北にずれる(最大で250~300kmのずれ)は、この台風のシミュレーションで大きな問題であった。

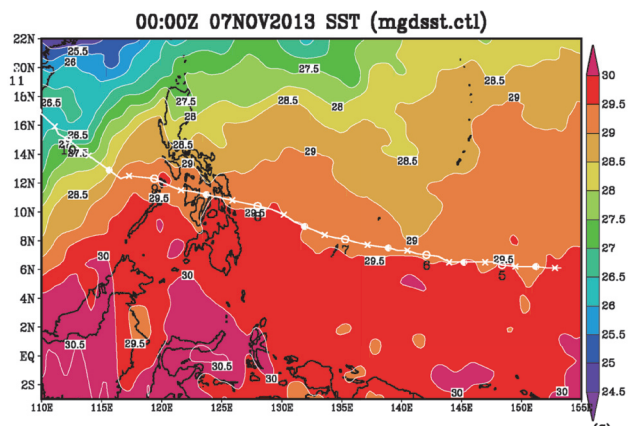


図1 スーパー台風 Haiyan のベストトラックと2013年11月7日の海面水温分布。

シミュレーション実験は2013年11月4日12UTCを初期値として、5日間の積分を行った。初期値・境界値には気象庁全球解析値を用いた。図2に通常の子報実験とスペクトルナッジングを導入した場合の結果を示した。通常の子報実験(図2a)ではこれまで通り、計算のほぼ全期間にわたってベストトラックより北側に進路がずれている。そのずれ幅は最大で300km程度にも達している。一方でスペクトルナッジングを導入した場合(図2b)、進路のずれは最大でも50km程度となっており、上陸地点はほぼベストトラックと同じになるなど、顕著な改善が見られる。これにより問題点の①は解決されたといえる。

これらのシミュレーションにおける中心気圧と最大地上風速の時間変化を図3に示した。ベストトラックデー

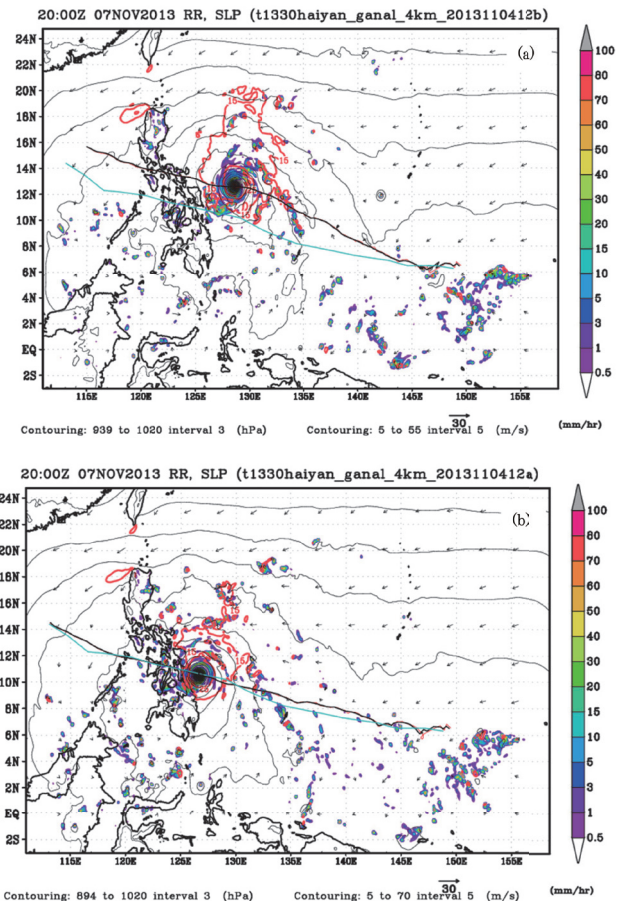


図2 水平解像度4kmで実施した雲解像モデルCReSSによる Haiyan (2013) のシミュレーション結果。(a) 通常の子報実験、(b) スペクトルナッジングを導入した場合の子報実験。

タから、台風 Haiyan は5日12UTC付近から急速に発達を始めている通常の子報実験では、そのタイミングは7日の12UTCと2日程度遅れ、最低中心気圧をとる時刻も1日程度遅れている。これに対してスペクトルナッジングを導入した場合では、急速発達は7日00UTCごろに早まり、また、最低中心気圧をとる時刻が8日00UTCと半日程度の遅れにまで改善している。気圧の時間変化がやや改善しているように見える。また、最大地上風速ではよりその改善が顕著である。ただし依然として急速発達のタイミングが遅れるという問題は残されている。これについては、初期値における渦の解像の問題などが関係していると考えられ、さらに改善が必要である。

4. まとめ

低緯度の非常に強い台風について、海洋の効果を調べることを目的として、台風のシミュレーションを実施している。スーパー台風 Haiyan (2013) については、これまで強度と急速発達についてある程度再現されていたが、進路は250kmほど観測とずれていた。今回、スペクトルナッジングの導入により、進路について顕著な改善がみられた。また、気圧の低下の開始時期についてもある程度の改善がみられた。今後、発達時期の遅れについて初期値の改善などさらなる改善を目指す。さらに今年度は大気モデルの結果の改善までであったが、この結果に

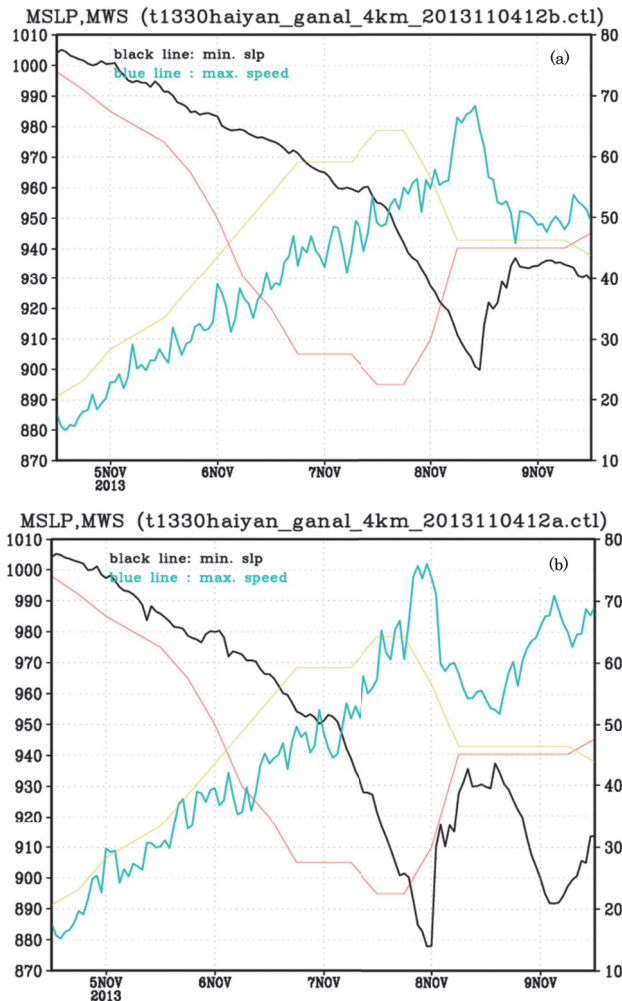


図3 図2に示したシミュレーションでの中心気圧（赤細線はベストトラック、黒太線はモデル）と最大地上風速（黄色細線はベストトラック、水色太線はモデル）の5日間の時間変化。(a) 通常の予報実験、(b) スペクトルナudgingを導入したもの。

対応した大気・海洋結合モデルを用いたシミュレーションを引き続き来年度に実施する。Haiyanなどの非常に強い熱帯低気圧の多くは低緯度に発生するものであるが、将来の日本付近の海面水温は現在の低緯度領域程度にまで達するので、低緯度の台風を調べることは、将来の日本付近の最強台風の強度予測の予測精度を上げることにつながる。

文献

- [1] Tsuboki, K., and A. Sakakibara (2002), Large-scale parallel computing of Cloud Resolving Storm Simulator, in High Performance Computing, edited by H. P. Zima, K. Joe, M. Sato, Y. Seo, and M. Shimasaki, pp. 243-259, Springer, New York.
- [2] Tsuboki, K. (2008), High-resolution simulations of high-impact weather systems using the cloud-resolving model on the Earth Simulator, In High Resolution Numerical Modeling of the Atmosphere and Ocean, edited by K. Hamilton, and W. Ohfuchi, 141-156, Springer, New York.
- [3] Tsuboki, K., M. K. Yoshioka, T. Shinoda, M. Kato, S. Kanada, and A. Kitoh (2015), Future increase of supertyphoon intensity associated with climate change, *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 646–652, doi:10.1002/2014GL061793.
- [4] 相木秀則, 吉岡真由美, 加藤雅也, 森本昭彦, 篠田太郎, 坪木和久, 2015: “大気海洋波浪結合モデルの開発と台風実験への応用”, 沿岸海洋研究.

Typhoon-ocean Interaction Study using the Coupled Atmosphere-ocean Non-hydrostatic Model

Project Representative

Kazuhisa Tsuboki Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

Authors

Kazuhisa Tsuboki^{*1}, Satoki Tsujino^{*1}, Hidenori Aiki^{*1}, Mayumi K. Yoshioka^{*1,2}, Masaya Kato^{*1}

^{*1} Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, ^{*2} National Institute of Information and Communications Technology

While the intensity of typhoon is strongly controlled by the sea surface temperature, the upper ocean heat content (UOHC) is more essential for the typhoon intensity. To understand the impact of UOHC variation on the typhoon intensity, we perform simulation experiments and sensitivity experiments of Typhoon Haiyan (2013), Megi (2010), and Cyclone Pam (2015) as well as historical typhoons such as Typhoon Vera (1959) (Isewan Typhoon) and Ida (1958) (Kanogawa Typhoon) using a cloud-resolving model and a coupled atmosphere-ocean regional model. In this year, we focused on the Supertyphoon Haiyan (2013) and performed simulation experiments using the cloud-resolving model as a preliminary study. The simulation of Haiyan has four problems; (1) track error is large, (2) maximum intensity is much less than the observation, (3) the rapid intensification is not simulated, and (4) deepening of pressure is delayed. The problem (1) is significant and the track error is as large as 250~300 km. In the present study, a spectral nudging technique was introduced to CReSS. As a result, the track error was significantly improved. The delay of pressure deepening was also slightly improved. Further improvement is necessary for the delay problem. In the next step, experiments of Haiyan using the coupled model are expected.

Keywords: Typhoon, Haiyan, Cloud-resolving model, Atmosphere-ocean coupled model, Typhoon-ocean interaction

1. Introduction

The sea surface temperature is a primary factor to control an intensity of tropical cyclones. On the other hand, it is considered that the upper ocean heat content (UOHC) is more essential for the intensity. The impact of UOHC change on the tropical cyclone intensity is an important problem. Previous studies suggest that the increase of UOHC is a factor to increase intense supertyphoons such as Haiyan (2013) and Megi (2010). It is important to understand the impact of the UOHC change on the intensity of these typhoons. In the present study, we perform simulation and sensitivity experiments of intense typhoons such as Haiyan (2013), Megi (2010) and Cyclone Pam (2015) using a cloud-resolving model and a coupled atmosphere-ocean model to examine the above problem. As a preliminary study, we performed the supertyphoon Haiyan (2013) using the cloud-resolving model CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) (Tsuboki and Sakakibara, 2002; Tsuboki, 2008[1], [2]).

In the present climate, most supertyphoons such as Haiyan (2013) and Megi (2010) developed in the lower latitude. In the future warmer climate, however, they could reach the main islands of Japan (Tsuboki et al., 2015[3]) because of the increase of sea surface temperature. The study of intense typhoons in the lower latitude is important for the intensity projection of future intense typhoons in the mid-latitude.

2. Methods

We summarize here results of simulation experiments of the supertyphoon Haiyan (2013) using the CReSS model. Haiyan struck the Philippines on September 8, 2013 and caused huge disasters owing to the strong winds and the storm surge. The minimum central pressure was recorded as 895 hPa before its landfall. In the simulation experiments of Haiyan, there are the following problems in some previous researches.

- (1) The simulated track is shifted 250~300 km to the north relative to the best track. This is a large track error.
- (2) The maximum intensity is less than that of observation.
- (3) The rapid intensification is not simulated.
- (4) The timing of pressure deepening is delayed.

Among these problems, (2) and (3) are almost solved in CReSS simulations while the track error was still significant. To improve the track error, the spectral nudging technique is introduced to the CReSS model. In the technique, horizontal velocity field was transformed to a spectral space and the some lowest wave number components are dumped to those of observed data.

3. Results

The observed SST field and the best track of Haiyan are shown in Fig. 1. Since Haiyan moved almost westward, the track is almost along the SST contour lines of 29~29.5°C. The vertical

shear which is a main inhibition factor for typhoon development was weak along the track and Haiyan has developed by its landfall. In the development process, Haiyan exhibited a rapid intensification and resulted in the supertyphoon intensity. To solve the problem of (1) in the simulation experiment of Haiyan, the spectral nudging technique was introduced to CReSS. All the simulation experiments were started at 12 UTC September 4,

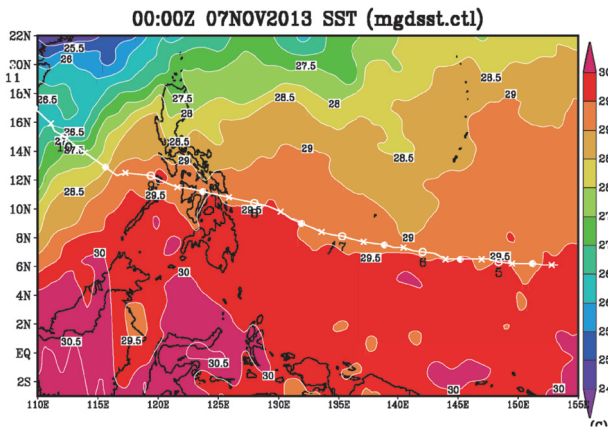


Fig. 1 Best track of the supertyphoon Haiyan (2013) (white line with open and closed circles) and the sea surface temperature on September 7, 2013.

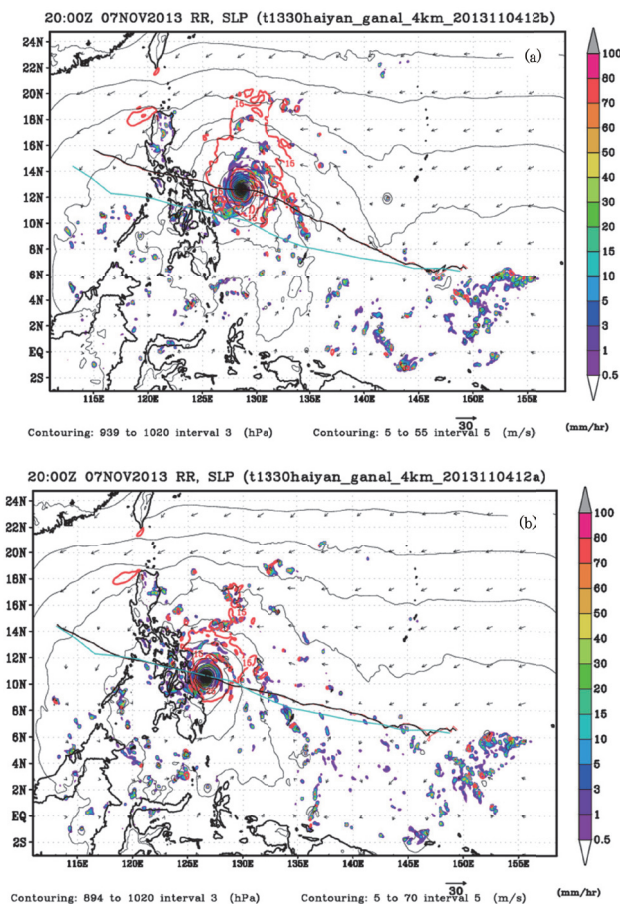


Fig. 2 Rainfall intensity (color levels), sea level pressure (contour lines) and the surface wind (arrows) at 20 UTC September 7, 2013 obtained by the simulation experiments of the supertyphoon Haiyan (2013) using CReSS with a horizontal resolution of 4km. (a) Without the spectral nudging technique and (b) with the spectral nudging technique.

2013 and five day integrations were performed. The initial and boundary conditions for the experiments were provided by the JMA (Japan Meteorological Agency) Global Analysis.

Figure 2 shows the simulation experiments without the spectral nudging technique (Fig. 2a) and with it (Fig. 2b). The former result showed that the simulated typhoon track was shifted northward for the almost all period of simulation. The maximum track error is about 300 km. This result is the same as the previous result of simulation. On the other hand, the experiment with the spectral nudging technique showed a significant improvement. The maximum track error was reduced to about 50 km at most and the landfall point is almost the same as the best track. The result indicates that the above problem (1) was solved.

Time series of the central pressure and the maximum surface wind are shown in Fig. 3. In the observation, Haiyan started to intensify rapidly around 12 UTC September 5. The simulation without the spectral nudging showed two days delay to start the rapid intensification and one day delay of the minimum central

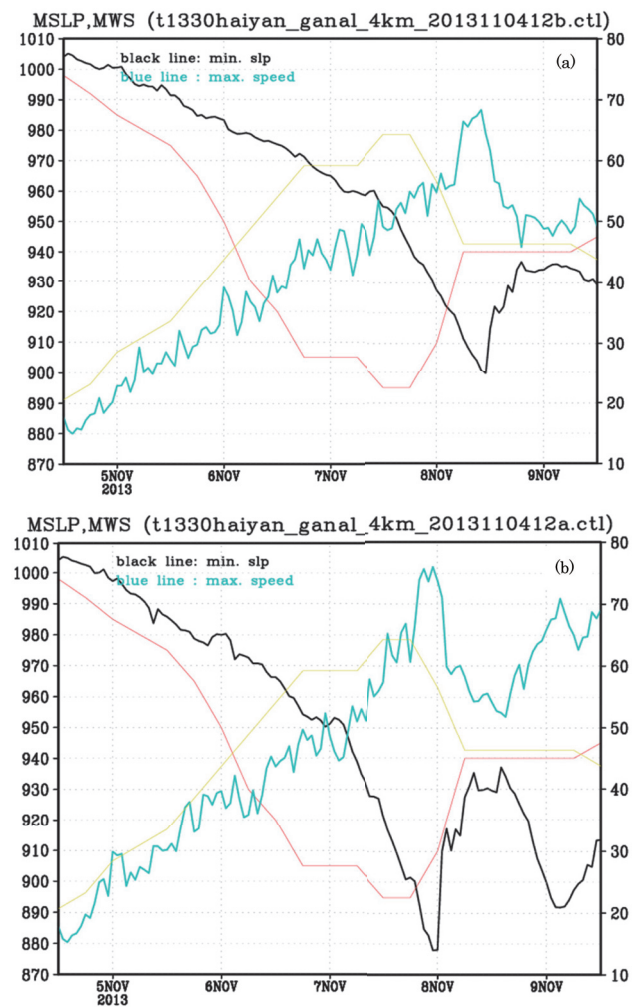


Fig. 3 Time series of the intensity of Haiyan (2013): the central pressures in the CReSS simulation (the black line) and in the best track data (the red line), and the maximum surface wind speeds in the CReSS simulation (the blue line) and in the best track data (the yellow line). (a) Without the spectral nudging technique and (b) with the spectral nudging technique.

pressure. On the other hand, the result with the spectral nudging showed that the rapid intensification began around 00 UTC September 7 and the minimum central pressure was 00 UTC September 8. The intensification process was also improved by the spectral nudging technique as well as the track. However, the timing of the rapid intensification is still delayed and this problem remains to be solved in the further study.

4. Concluding Remarks

To study typhoon-ocean interaction and impact of UOHC change, the supertyphoon Haiyan (2013) is an important case for simulation experiments. Before simulation experiments using the coupled model are performed, we should solve the problems in the simulation of Haiyan and show a realistic simulation. In the present study, we introduced the spectral nudging technique to improve the track of typhoon. The result showed a significant improvement of track. Further improvement is necessary for the timing of rapid intensification and a coupled model experiment remain for the study in the next year.

References

- [1] Tsuboki, K., and A. Sakakibara (2002), Large-scale parallel computing of Cloud Resolving Storm Simulator, in High Performance Computing, edited by H. P. Zima, K. Joe, M. Sato, Y. Seo, and M. Shimasaki, pp. 243-259, Springer, New York.
- [2] Tsuboki, K. (2008), High-resolution simulations of high-impact weather systems using the cloud-resolving model on the Earth Simulator, In High Resolution Numerical Modeling of the Atmosphere and Ocean, edited by K. Hamilton, and W. Ohfuchi, 141-156, Springer, New York.
- [3] Tsuboki, K., M. K. Yoshioka, T. Shinoda, M. Kato, S. Kanada, and A. Kitoh (2015), Future increase of supertyphoon intensity associated with climate change, *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 646–652, doi:10.1002/2014GL061793.