

# 気象モデル WRF を用いた台風・高潮予測精度に関する検討

課題責任者

有川 太郎

中央大学理工学部都市環境学科

著者

白井 知輝\*<sup>1</sup>, 有川 太郎\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> 中央大学理工学部都市環境学科

キーワード：台風，高潮，WRF，予測，感度分析（5ワード程度）

## 1. はじめに

高潮は、沿岸域において人やインフラ、産業などに甚大な被害をもたらす。人的・経済的損失を低減するためには、可能な限り早い段階から適切に高潮災害に備えることができるよう、高潮の予測精度の向上が望まれる。高潮予測における大きな課題の一つは、外力である台風の予測の不確実性である<sup>1)</sup>。高潮は台風予測の誤差に敏感であり、わずか十数 km 程度の台風経路のずれであっても、高潮予測は大きな影響を受ける。そのような背景があり、近年では、台風予測研究に多く用いられる気象モデル WRF<sup>2)</sup> (Weather Research and Forecasting model)において、選択肢の幅が広い入力データや計算条件設定を最適化・改善することで、気象予測精度を向上させるための研究が多数行われてきた。

これらの結果は、台風毎に得られる結果の傾向が変わることから、一般的な知見を得ることが難しい。従って、高潮予測精度を向上させるためには、どのような台風に対して、どのような WRF の条件設定で台風予測をおこなった際に、台風予測結果がどの程度変化するかという知見をあらゆる台風に対して蓄積する必要があるが、未だ検討が不足している。そこで本研究では、WRF の計算条件である格子解像度や Nesting 手法、データ同化、初期値境界値、物理オプションの設定に着目して、その設定の違いによる台風予測への影響に対して感度解析を行い、ケーススタディとして知見を蓄積することを目的とする。また、WRF の計算条件の違いによってばらついた台風予測結果が高潮予測に与える影響について考察し、今後の課題についても言及する。

## 2. 感度解析条件

### 2.1 対象とする台風イベント

本研究で感度解析を行う対象である台風イベントは、近年比較的似た経路で日本に上陸し、関東・東北地方を中心に大きな被害をもたらした、2019年19号(T1919, 2019/10/9 12:00UTC 予測開始)及び2017年21号(T1721, 2017/10/21 0:00UTC 予測開始)の2台風とする。計算結果については、気象庁ベストトラックデータをデジタル台風<sup>3)</sup>より取得し、それを真値とみなして WRF による台風経路(中心位置)及び台風の最低中心気圧、最大風速の計算結果に対する精度評価を行う。

### 2.2 対象とする WRF の計算条件

#### 2.2.1 計算領域

図-1に示した、領域に関する感度解析については、全てのケースにおいて、水平解像度  $0.25^\circ$  の解析値である the Global Forecasting System of National Centers for Environment Prediction の最終解析値(ds083.3, 以下, NCEP-FNL)を初期値及び境界値(6時間ごと)として用い、直接ダウンスケーリングを行った。予測においては、計算コストや計算にかかる時間の制約を強く受ける。そこで、計算コストを比較的抑えたまま台風の目の周りを詳細に解析することができる移動 Nesting を行った場合(Vortex)と、計算コストの制限上、比較的粗い格子解像度で計算された場合(12km)の、台風予測結果への影響を調査する。また、領域位置の設定については、今回検討対象とする2台風を予測する際に考えられる3種類の領域位置設定の違いが台風予測に与える影響について、ケーススタディ的に検討する。

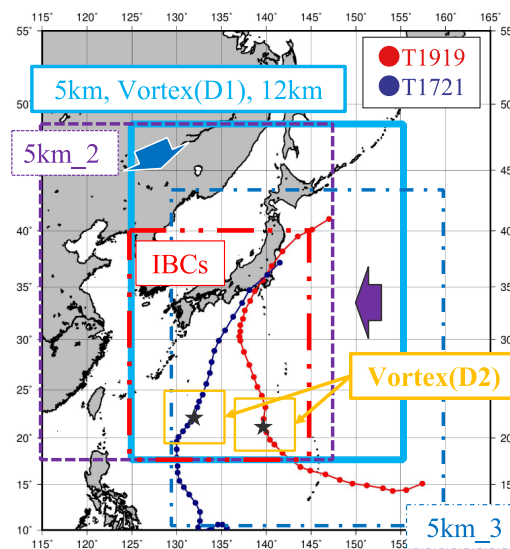


図-1 計算領域。図中の星印は予測開始時台風位置

#### 2.2.2 初期値境界値(IBCs)

現状、数種類の GPV 解析値が WRF の IBCs として利用可能である。中でも、日本周辺の台風を対象とした計算に比較的良好に用いられる GPV データ(NCEP-FNL, 気象庁 GSM)の選択の違いが、台風計算結果にもたらす影響を調査する。また、WRF の全球計算の機能を用いて、

通常は GPV データから与えられる側方境界値を WRF の全球計算結果をダウンスケーリングして子領域に与える計算も行う。WRF の全球計算については、台風予測に用いられた事例がいくつかあり、計算の妥当性が確認されているが、初期値を GSM に変更した場合の検討事例はないため、ケーススタディ的に検討を行う。

### 2.2.3 物理オプションの感度解析

Shirai *et al.*<sup>4)</sup> の内容を WRF の計算条件に対しても拡張して感度解析を行い、計算条件設定の違いによる台風予測のばらつきを定量的に評価するものである。

## 3. 感度解析結果

### 3.1 領域・初期値境界値に対する感度解析結果

水平解像度を 12 km とすると、ケース 5 km に比べて最大風速の予測値は、RMSE で約 23 % (T1919)、約 35 % (T1721) 過小評価傾向が増大した。一方、移動 Nesting を用いて台風の目の周辺を高解像度計算すると、ケース 5 km に対して RMSE が 16 % (T1919)、33 % (T1721) 減少した。なお、今回のケースでは、高解像度化や移動 Nesting によって最大風速の精度が向上しているが、中心気圧はほとんど改善していない。

### 3.2 WRF 計算条件の台風・高潮予測への影響

初期値・境界値については、気象庁 GSM と NCEP-FNL の 2 種類の解析値を用いることで、台風の強度と経路両方の予測結果に明確な違いが見られた。また、T1919 と T1721 においては、WRF の側方境界値をこれらの解析値から直接与えるか、あるいはこれらの解析値を初期値とした WRF の全球計算結果から与えるかという違いよりも、どちらの解析値を初期値に用いるかのほうが、台風予測へ与える影響が大きい結果となった。これは WRF の初期値依存性が原因であると推察される。

図-2 に、台風及び高潮の予測開始時刻と、高潮予測誤差の分布を示した。d) には、a) - c) のデータに加え、上陸 4 日前からのデータを含んでいることに注意されたい。

図-2 より、予測開始が遅れるほど最大潮位偏差の予測誤差のばらつきは低減していることが確認できる。具体的には、上陸 4 日前予測開始のケースでは最大潮位偏差の予測誤差の標準偏差が 0.63 m であったのに対し、3 日前には 0.5 m、上陸 2 日前の予測では 0.27 m、上陸 1 日前ではさらにその半分程度の 0.12 m となった。また、全体として最大潮位偏差を過小評価する傾向があった。一方、ピーク時間のずれに対する標準偏差に注目すると、上陸 4 日前予測開始で 2.01 h、その後予測開始が 1 日遅れるごとに、2.05 h、2.32 h、1.03 h と、予測開始を遅らせても、必ずしもピーク時間予測誤差の分布のばらつきが小さくなる訳ではなかった。本研究における T1919 と T1721 の計算についても、いずれの計算条件でも各時刻における台風位置予測が観測よりも南西にやや偏っている、つまり、台風速度が過小評価傾向であった。台風速度の過小評価については、避難の観点からは危険側の予測となるため、どのような台風で、またどのようなメカニズムで

発生するかということに関して、今後検討していく必要がある。台風速度のみならず、台風の経路・強度についても予測精度を向上させるという意味でもデータ同化は有用であると考えられ、高度な手法 (e. g., 4 次元変分法や EnKF) の適用も今後検討が望まれる。

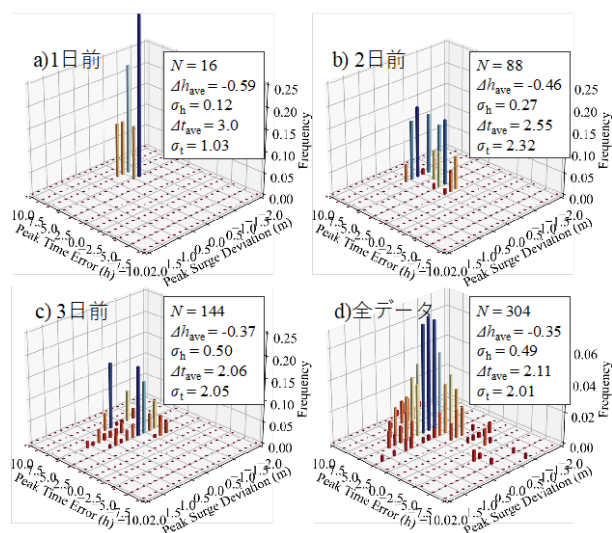


図-2 8 通り (Case1 - Case8) の物理オプションを用いた台風予測結果を外力とした高潮予測結果 (観測地点毎、予測開始時間毎)。a) - d) 高潮ピーク時間の予測誤差 (第 1 横軸、正: 観測に対してピーク発生が遅い) と最大潮位偏差の予測誤差 (第 2 横軸) の組み合わせの発生頻度。上陸の何日前に予測開始したかで場合分けした。N: データ数、 $\Delta h_{ave}$ : 最大潮位偏差誤差の平均と  $\sigma_h$ : 標準偏差、 $\Delta t_{ave}$ : 高潮ピーク時間ずれの平均と  $\alpha_t$ : 標準偏差。

## 文献

- 1) たとえば、Zhong, L., Li, M., and Zhang, D.-L.: How do uncertainties in hurricane model forecasts affect storm surge predictions in a semi-enclosed bay?, *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, 90, 61-72, 2010.
- 2) Skamarock, W. C., and Coauthors.: A description of the Advanced Research WRF version 3, NCAR Tech. Note, NCAR/TN-4751STR, 2008.
- 3) Kitamoto, A.: Digital typhoon: typhoon images and information. <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/index.html>, 2017. 参照: 2022-5-21.
- 4) Tomoki Shirai, Yota Enomoto, Masashi Watanabe & Taro Arikawa (2022) Sensitivity analysis of the physics options in the Weather Research and Forecasting model for typhoon forecasting in Japan and its impacts on storm surge simulations, *Coastal Engineering Journal*, 64:4, 506-532, DOI: 10.1080/21664250.2022.2124040

# Accuracy of Typhoon and Storm Surge Forecasts Using the "WRF"

## Project Representative

Taro Arikawa Faculty of Science and Engineering, Chuo University

## Authors

Tomoki Shirai \*<sup>1</sup>, Taro Arikawa \*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Faculty of Science and Engineering, Chuo University

**Keywords :** Typhoon, Storm surge, WRF, Forecast, Sensitivity analysis

## 1. Introduction

Storm surges cause extensive damage to people, infrastructure, and industry in coastal areas. To reduce human and economic losses, it is desirable to improve the accuracy of storm surge forecasting so that we can adequately prepare for storm surge disasters at the earliest possible stage. One of the major challenges in storm surge forecasting is the uncertainty in forecasting typhoons, which are external forces<sup>1)</sup>. Storm surge is sensitive to errors in typhoon forecasting, and even a slight deviation in the path of a typhoon by a few tens of kilometers can significantly impact storm surge forecasting. Against this backdrop, recent research has been conducted to improve the accuracy of the Weather Research and Forecasting model (WRF)<sup>2)</sup>, widely used in typhoon forecasting research, by optimizing and improving the input data and calculation condition settings, which have a wide range of choices. These results have been used to improve the accuracy of weather forecasting.

These results are difficult to obtain generalized knowledge because the trends vary from typhoon to typhoon. Therefore, in order to improve the accuracy of storm surge forecasting, it is necessary to accumulate knowledge on how much the typhoon forecasting results change for each typhoon and under what WRF conditions, but there still needs to be study. This research aims to accumulate knowledge as a case study by performing sensitivity analysis on the impact of different WRF settings on typhoon forecasts, focusing on the settings of grid resolution, nesting method, data assimilation, initial boundary values, and physics options. The impact of the different WRF calculation conditions on storm surge forecasting is also discussed and future issues will be addressed.

## 2. Sensitivity analysis conditions

### 2.1 Target typhoon events

The typhoon events subject to sensitivity analysis in this research are two typhoon events that have made landfall in Japan along relatively similar paths in recent years and caused significant damage mainly in the Kanto and Tohoku regions: Typhoon No. 2019-19 (T1919, forecast start at 12:00 UTC on 10/9/2019) and Typhoon No. 2017-21 (T1721, forecast start at 0:00 UTC on 10/21/2017): 00 UTC forecast start). For the

calculation results, JMA best-track data are obtained from digital typhoon data<sup>3)</sup>, considered as true values, and the accuracy of the typhoon path (center position), minimum central pressure, and maximum wind speed calculated by WRF are evaluated.

### 2.2 Target WRF calculation conditions

#### 2.2.1 Computation domain

Fig. 1 shows the entire computational domain. For the sensitivity analysis for the area, the final analytical value of the Global Forecasting System of the National Centers for Environment Prediction (ds083.3, hereafter NCEP-FNL), which has a horizontal resolution of 0.25°, was used as the initial value. The boundary value (every 6 hours) for all cases and direct downscaling was performed. NCEP-FNL was used as initial and boundary values (every 6 hours), and direct downscaling was performed. Forecasting is strongly limited by computational cost and time. Therefore, we investigate the effect on the typhoon forecast results of moving nesting (Vortex), which allows detailed analysis around the eye of the typhoon with relatively low computational cost, and the case where a relatively coarse grid resolution is used (12 km) due to the limitation of computational cost. In addition, we will examine the impact on typhoon forecasting of three different possible region settings for forecasting the two typhoons under study in the form of case studies.

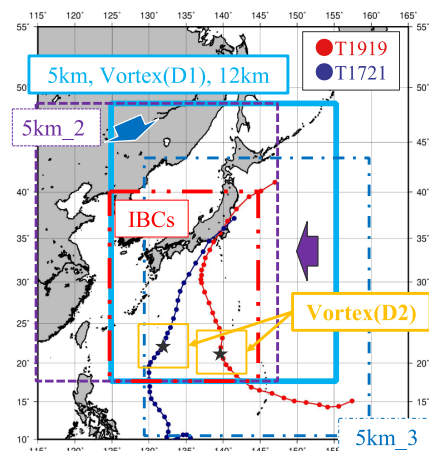


Figure 1: Computational domain. The star in the figure indicates the typhoon's position at the start of the forecast.

### 2.2.2 Initial Boundary Values (IBCs)

Several GPV analysis values are currently available as IBCs for WRF. Among them, we investigate the effects of different choices of GPV data (NCEP-FNL, JMA GSM), which are relatively commonly used in calculations for typhoons around Japan, on the results of typhoon calculations. We also use the global calculation function of WRF to downscale the results of WRF global calculations to give the child regions the side boundary values usually given by the GPV data. However, there is no case study on the case where the initial value is changed to GSM so this study will be conducted as a case study.

### 2.2.3 Sensitivity analysis of physical options

The sensitivity analysis is performed by extending the contents of Shirai *et al.*<sup>4)</sup> to the WRF calculation conditions to quantitatively evaluate the variation in typhoon forecasts due to differences in the calculation condition settings.

## 3. Results of sensitivity analysis

### 3.1 Results for domain and initial boundary values

When the horizontal resolution was set to 12 km, the predicted maximum wind speed increased by about 23% (T1919) and 35% (T1721) in RMSE compared to the 5 km case. On the other hand, the RMSE decreased by 16% (T1919) and 33% (T1721) for the 5 km case when high-resolution calculations were performed around the eye of the typhoon using moving nesting. In the present case, the accuracy of the maximum wind speed was improved by using high-resolution and moving Nesting, but the central pressure was hardly improved.

### 3.1 Effects of WRF calculation conditions on typhoon and storm surge forecasts

For the initial values and boundary values, there was a clear difference in the prediction results for both typhoon intensity and path between the two types of analytical values, JMA-GSM and NCEP-FNL. For T1919 and T1721, the impact on typhoon forecasting is more significant depending on which analytical value is used as the initial value, rather than whether the lateral boundary of the WRF is given directly from these analytical values or from the global calculation of the WRF with these analytical values as initial values. This is due to the dependence on the initial value of WRF. This is presumably due to the dependence of the WRF on the initial values.

Fig. 2 shows the distribution of the starting time of the typhoon and storm surge forecasts and the storm surge forecast error. Note that d) includes data from four days before landfall in addition to the data in a) - c).

Fig. 2 shows that the variability of the forecast error of the maximum tide anomaly decreases with the delay in the start of the forecasting period. Specifically, the standard deviation of the forecast error of the maximum tide deviation was 0.63 m for the case where the forecast started 4 days before landfall, 0.5 m for

the case where the forecast started 3 days before landfall, 0.27 m for the case where the forecast started 2 days before landfall, and 0.12 m for the case where the forecast started 1 day before landfall, which was about half the standard deviation. Overall, there was a tendency to underestimate the maximum tide anomaly. On the other hand, the standard deviations of the peak time deviations were 2.01 h at the start of the forecast 4 days before landfall, and then 2.05 h, 2.32 h, and 1.03 h for each day delay in the start of the forecast, indicating that delaying the start of the forecast does not necessarily reduce the variability of the peak time forecast error distribution. For the T1919 and T1721 calculations in this research, the predicted typhoon position at each time point was slightly biased southwestward from the observation, i.e., the typhoon speed tended to be underestimated for both calculation conditions. The underestimation of typhoon speed is a dangerous prediction from the viewpoint of evacuation, and therefore, the type of typhoon and the mechanism of its occurrence should be studied in the future. Data assimilation is also helpful in improving the accuracy of forecasting typhoon speed, path, and intensity.

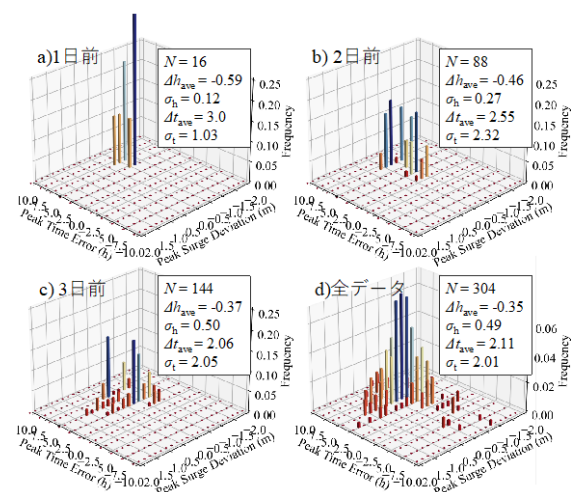


Figure 2: Storm surge forecast results (by observation location and forecast start time) using the typhoon forecast results with 8 different physical options (Case 1 - Case 8). a) - d) Frequency of occurrence of combinations of forecast error of peak storm surge time (first abscissa, positive: peak occurs late relative to observation) and forecast error of maximum tide level anomaly (second abscissa). a) - b) - d) The frequency of occurrence of the combination of (a) - (d). The cases are classified according to the number of days before landfall. N : number of data,  $\Delta h_{ave}$  : mean and  $\sigma_h$  : standard deviation of the maximum tide deviation error,  $\Delta t_{ave}$  : mean and  $\sigma_t$  : standard deviation of the peak storm surge time deviation.

## References

- 1) Ex., Zhong, L., Li, M., and Zhang, D.-L.: How do uncertainties in hurricane model forecasts affect storm

- surge predictions in a semi-enclosed bay?, *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, 90, 61–72, 2010.
- 2) Skamarock, W. C., and Coauthors.: A description of the Advanced Research WRF version 3, NCAR Tech. Note, NCAR/TN-4751STR, 2008.
  - 3) Kitamoto, A.: Digital typhoon: typhoon images and information. <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/index.html.en>, 2017. Ref.: 2022-5-21.
  - 4) Tomoki Shirai, Yota Enomoto, Masashi Watanabe & Taro Arikawa (2022) Sensitivity analysis of the physics options in the Weather Research and Forecasting model for typhoon forecasting in Japan and its impacts on storm surge simulations, *Coastal Engineering Journal*, 64:4, 506-532, DOI: 10.1080/21664250.2022.2124040