

豪雨・高潮・津波の重畳災害に関する研究

課題責任者

有川 太郎

中央大学理工学部

著者

白井 知輝*¹, 原田 達充*¹, 小川 風輝*¹

*¹ 中央大学大学院理工学研究科

キーワード：WRF, STOC, 高潮予測, 台風予測, リアルタイム

1. はじめに

台風や津波、洪水などの自然災害が同時に発生する重畳現象は、発生確率は低いものの甚大な被害をもたらす可能性があるため、その予測とリスク評価が重要である。本研究では、台風・高潮・津波・洪水を結合したモデルを開発し、予測精度の向上や避難計画の改善に資することを目的とする。高精度な気象・海象モデルの統合と、スケールの異なる現象の同時解析を通じて、防護施設設計や都市域の浸水評価への応用を目指す。

そこで本検討では、過去の台風事例に対して行った台風・高潮予測の結果をもとに、同様の計算条件で感度分析を実施する。東京湾を対象としたリアルタイム予測における精度や計算時間の特性を明らかにするため、特に初期値や物理スキームの違いが高潮予測に及ぼす影響、また台風経路の予測誤差やリードタイムの違いによる影響について検討し、予測特性に関する知見を蓄積する。

2. 研究手法

本検討では、気象場の予測計算に NCAR（米国大気研究センター）等を中心に開発されたオープンソースモデルである Weather Research and Forecasting (WRF) model¹⁰ を用いた。WRF の計算条件は表-1 および図-1 に示し、物理過程スキームには、Shirai et al. ⁵⁾による日本周辺の台風に対する感度分析を参考とし、雲微物理3種 (WSM5、WSM6、Lin) と境界層スキーム2種 (MYJ、YSU) の計6通りを採用した。予測開始時刻は台風上陸の約4日前から1日前までの4通りとし、初期値や物理スキームの違いが予測精度に与える影響を検討した。対象は東京湾に顕著な高潮を引き起こした4台風である。

高潮予測には津波・高潮シミュレータ Storm surge and Tsunami simulator in Oceans and Coastal areas (STOC)¹⁵⁾を用い、WRF出力を境界条件として最大潮位偏差や高潮ピーク時刻の予測精度を評価した。また、台風経路誤差を進行方向と直交方向に分解し、高潮予測への影響を定量的に分析した。

3. 台風・高潮予測結果と考察

(1) 台風予測計算結果

WRF を用いて T1115、T1721、T1824、T1919 の4台風を対象に、上陸の4日前から1日前までの予測初期値に基づく経路予測精度の結果を示す。2日前以降の予測では転

向タイミングの再現が改善された。経路誤差は進行方向と直交方向に分解したところ、進行方向の誤差 (AT 誤差) が小さくなる傾向が示された。上陸時の AT 誤差は、1日前で 50 km 以下、2日前で 100 km 程度に収まっていることがわかった。一方、T1721 や T1919 では、地形影響などにより予測誤差が大きい傾向もみられた。最大風速および中心気圧の誤差は、4日前でそれぞれ最大 5.4 m/s、23.2 hPa に達し、1日前にはおおむね半減した。これらの結果から、上陸 2 日前以降の予測は現実的かつ信頼性の高いアプローチであることが示された。

表-1 WRF の計算条件

version	Ver. 3.8.1
Domain	D1: 111 km (360×180), D2: 22 km (200×200), D3: 4.5 km (780×780)
Vert Layers	40
Time Step	D1: 300 s , D2: 90 s , D3: 20 s
Initial Conditions	NCEP FNL d083003 (T1919, T1721, T1824), NCEP FNL d083002 (T1115)
Physics	C. Microphysics: WSM6, WSM5, Lin Culumus: Kain Fristch Radiations: RRTMG Planetary Boundary Layers: Mellor-Yamada-Janjic; MYJ, Yonsei University Scheme; YSU

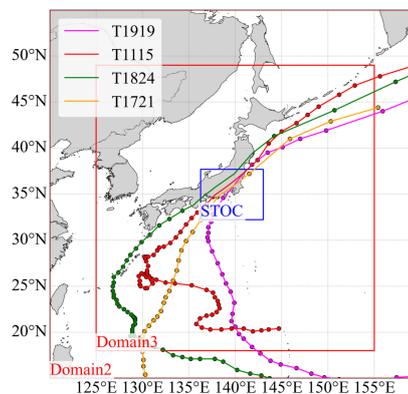


図-1 気象計算条件と選定台風 (領域 1 は全球計算) (図中、台風経路は気象庁ベストトラックデータ)

(2) 高潮予測計算結果

WRF と STOC-ML を用いた高潮予測結果について検討した。最大潮位偏差の予測精度は、上陸 1 日前の初期値を用いた場合、T1824 において約 90%と高い精度を示したが、4 日前では最大 70%のばらつきが生じた。高潮ピーク時間の予測は、初期値の新しさにより誤差のばらつきが減少する傾向があり、1 日前予測では 1~4 時間、2 日前では 1~2 時間の範囲に収まった。また、高潮ピーク時間は、上陸時の台風進行方向における位置誤差 (AT 誤差) と強く相関し、全事例で誤差の 80%以上が AT 誤差で説明された(図-2)。なお、T1115 と T1824 では安全側、T1919 と T1721 では危険側の予測となるなど、イベントごとの差異も認められた。これらの結果は、台風経路の予測精度が高潮予測の信頼性向上に直結することを示している。

4. 並列計算効率とリアルタイム予測の可能性

WRF の気象予測計算における並列計算効率を評価するため、Strong Scaling テストを実施した。計算には NEC SX-Aurora Tsubasa を使用し、領域 3 (D3) の格子数約 2, 430 万点、時間ステップ 12 時間の条件で、1~16 ノードまでの実行性能を検証した。その結果、2 ノード利用時には約 93.7%と高い効率を示したが、ノード数が増えるにつれて効率は低下し、本条件下では、16 ノードでは約 41.6%にとどまった。

気象予測計算に要する時間と実際のリードタイム確保の可能性について検討した。初期値として用いる NCEP FNL (解像度 0.25°) は取得に約 1.5 日の遅れがあるため、たとえば上陸 2 日前の初期値を用いて予測する場合、計算にかかる時間を加味すると、実際のリードタイムは使用ノード数により約 6~11 時間となる。8 ノード利用時には、上陸の約 10 時間前に完了することになり、リアルタイムでの活用が可能であることが示された。また、解像度 1° の初期値 (d083002) は取得ラグが約 1 日と短く、利用するメリットがあるかもしれない、その活用による精度検証を今後行いたい。これらの結果から、実用的なリードタイム内での高精度な予測の可能性が確認された。

文献

- 1) Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D., Duda, M. G., Huang, X.-Y., Wang, W. and Powers., J. G.: A description of the advanced research WRF Version 3, NCAR Tech. Note., NCAR/TN-4751STR, pp. 113, 2008.
- 2) Shirai, T., Enomoto, Y., Watanabe, M., and

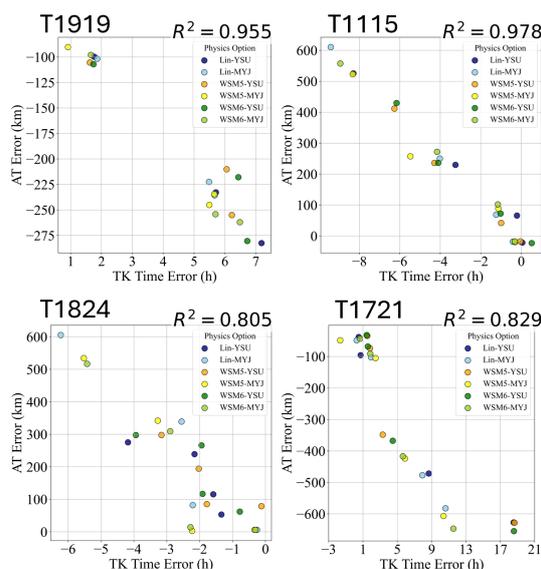


図-2 上陸時の台風進行方向の位置誤差 (AT 誤差) と高潮ピーク時間予測結果の関係 (図の右上は決定係数)

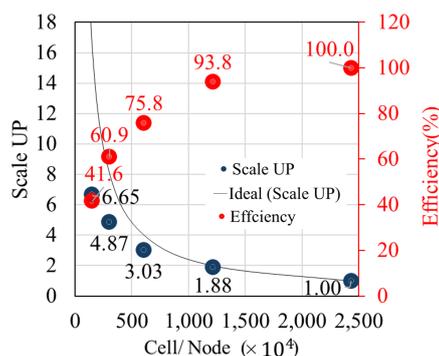


図-3 Strong scaling (格子数固定・CPU 数変更)

表-2 予測開始時間毎の推定計算時間(h)(積分時間は予測開始から上陸までの日数に 1 日を加える。)

Forecast initialization time	Nodes				
	1	2	4	8	16
4 Days before	10.11	5.39	3.33	2.07	1.52
3 Days before	8.08	4.31	2.67	1.66	1.22
2 Days before	6.06	3.23	2.00	1.24	0.91
1 Day before	4.04	2.16	1.33	0.83	0.61

- Arikawa, T.: 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, pp. 506-532, 2022
- 3) 富田孝史, 柿沼太郎: 海水流動の 3 次元性を考慮した高潮・津波数値シミュレータ STOC の開発と津波解析への適用, 港湾空港技術研究所報告, 第 44 巻, 第 2 号, 2005.