

マルチハザードに伴う浸水に対するリアルタイム避難支援システムの構築に関する研究

有川太郎・白井知輝・原田達充

中央大学

1. はじめに

この研究の目標は、沿岸域における高潮・津波・豪雨といったマルチハザードに起因する浸水時において、リアルタイムに避難を支援するシステムの構築である。そのシステムにおいては、事前に多数のシナリオに基づき行った数値計算に基づくデータベースおよびリアルタイム予測を組み合わせ、浸水の不確実性に対してロバストな仕組みの構築が求められる(図-1)。

シナリオに基づく浸水計算は、津波の場合には、地震が生じてから、物理時間で数時間ほどの計算を行うことになるが、台風の場合には、発生から数日、場合によっては1週間ほどの予測計算が必要となる。また、台風の現状の予測精度は、格子解像度や選ぶパラメタに依存しているのが現状である。そこで、本研究では、台風のシナリオ作成において、重要となる、全球モデル計算に対する可能性と高潮予測精度について、検討するものとした。

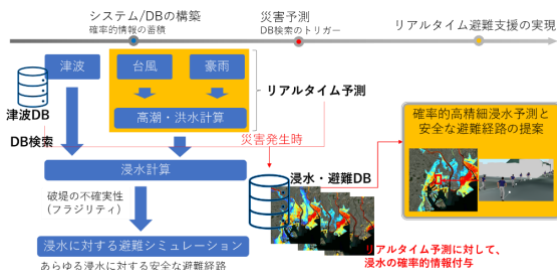


図-1 沿岸域におけるマルチハザードに対するリアルタイム避難支援システムの概要

2. 台風の予測精度について

2.1 計算手法

(1) 対象とした台風

本検討では、東京湾を北上し、顕著な高潮を発生させた4つの台風(T1919, T1115, T1824, T1721)を対象とした。これらの台風は、気象予測に用いる初期値が整備されている2007年12月以降、2024年末までの期間で、気象庁の潮汐・海面水位データの東京観潮所における潮位偏差が上位となる4事例である。これら4台風はいずれも、台風発生地点から北西方

向に進んだ後、日本の南で偏西風や太平洋高気圧の影響を受けて北東方向に転向する事例である。また、いずれの事例も、東京湾の北側を北東方向に通過するが、これは東京都の高潮浸水想定区域図の想定台風経路である大正6年台風コース、伊勢湾台風コースとも類似した経路となっている。

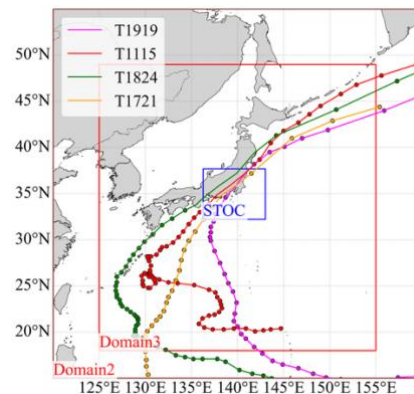


図-2 気象計算条件と選定台風(領域1は全球計算)

(2) 計算条件

本検討では、気象場の予測計算には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) model¹⁾を用いる。WRFの計算条件は図-2に示す。物理過程スキームは、Shirai et al. (2022)²⁾による日本周辺の台風に対する感度分析を参考に、雲微物理3パターン(WRF Single-Moment 5-class scheme (WSM5), WRF Single-Moment 6-class scheme (WSM6), Purdue-Lin (Lin))と惑星境界層2パターン(Mellor-Yamada-Janjic (MYJ), Yonsei University Scheme (YSU))の計6通りの組み合わせを用いる。初期値にはNCEP FNL(d083003またはd083002)を用いて、上陸の約4, 3, 2, 1日前の初期値を用いて、初期値に対する感度分析を行う。本検討では台風上陸の定義を、気象庁ベストトラックを6時間毎に補間し、その中で台風中心位置が東京検潮所に最も近くなる時刻とした。

高潮推算に津波・高潮シミュレータ Storm surge and Tsunami simulator in Oceans and Coastal areas (STOC)³⁾を用いる。中でも、鉛直方向に静水圧近

似を適用した多層型非線形長波方程式に基づく準3次元モデルSTOC-MLを用いた。海面摩擦係数は本多・光易による式⁴⁾を用いる。最小格子サイズについては、全4事例に対する感度分析を事前に実施し、計算コストとの兼ね合いから270 mを採用した。

2.2 計算結果

(1) 台風予測

台風経路誤差は、気象庁の方法を参考に解析値の台風進行方向で分解して位置誤差を算出する。具体的には、解析値と予測値の台風位置誤差について、6時間おきに解析値の進行方向の誤差(Along Track bias (AT))とその法線方向の誤差(Cross Track bias (CT))に分解した。結果、T1919を除いた3台風では1日前予測ではAT誤差は50 km以下となり、2日前では100km程度となった。上陸時刻の最大風速は、4つの台風の予測誤差はそれぞれ、約0.4~5.4 m/s (4日前)、約0.85~7.7 m/s (3日前)、約0.88~6.5 m/s (2日前)、約0.03~5.8 m/s (1日前)の範囲に収まった。また、中心気圧については、4日前から1日前の予測でそれぞれ、約7.5~23.2 hPa (4日前)、約1.7~24.9 hPa (3日前)、約6.7~22.4 hPa (2日前)、約0.4~14.9 hPa (1日前)の予測誤差となった。このように、ばらつきはあるものの、平均的に見れば、気象庁の台風進路予測⁵⁾と概ね同程度の精度であると考えられる。

(2) 高潮予測

最大潮位偏差の予測誤差は、1日前予測ではT1824で平均約90%の予測精度を達成した。4台風全体の1日前予測は最大20%のばらつき、2日前予測では最大30%のばらつき、3日前予測では最大40%のばらつき、4日前予測では最大70%のばらつきがあった。図-3に上陸時の台風進行方向の位置誤差(AT誤差)と高潮ピーク時間の予測結果(TK Time Error)との関係を示した。この図から見て取れるように、高潮ピーク時間は上陸時の台風進行方向の位置誤差(AT誤差)に大きく依存していることが分かる。決定係数は4台風のうち最小のケースでも0.805(T1824)となっており、本事例の場合は、高潮ピーク時間の誤差は80%以上が上陸前の台風進行方向の中心位置誤差で説明された。これらの結果は、本4事例の場合については、予測開始が転向後半または転向後となり、AT誤差が相対的に拡大

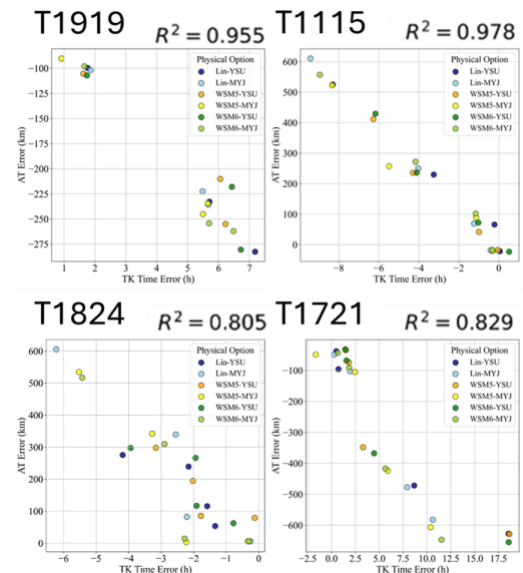


図-3 上陸時の台風進行方向の位置誤差(AT誤差)と高潮ピーク時間予測結果(各図右上は決定係数)

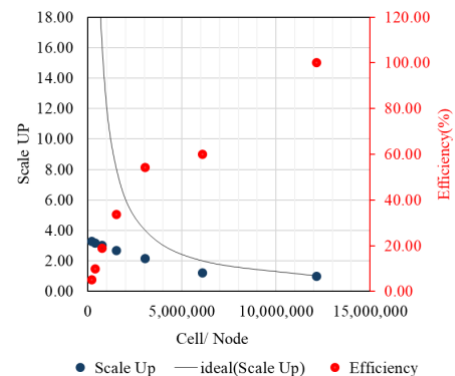


図-4 ノードあたり格子数に対する計算スケールアップ(赤)と計算効率(青)の関係

しにくい上陸約2日前からの予測を行うことで、比較的高精度な台風経路と高潮ピーク時間の予測結果を得られることを意味する。

(3) 計算効率

台風予測に用いる WRF モデルの計算効率について検討を行った(図-4)。計算条件(格子数2436万、時間ステップ20秒×2160ステップ)に対して、2ノード(96コア)を用いた場合、12時間積分を約6170秒(約1.7時間)で完了し、実時間の約7倍速での計算が可能であった。24時間積分であっても約3.4時間で完了する見込みであり、予測対象時刻の20時間以上前に結果取得が可能となる、さらにノード数を増やすことで計算時間の短縮は可能だが、ノード数に比例して計算効率は低下する傾向が見られ、チューニングにより改善する必要がある。

3. まとめと考察

本研究では、台風上陸の 1~2 日前の気象・高潮予測の精度と、WRF による数値シミュレーションの計算効率を踏まえ、早期避難支援への応用可能性を検討した。台風の予測精度に関しては、経路の進行方向誤差（AT 誤差）は 1 日前で 50km 以下、2 日前で 100km 程度、中心気圧の予測誤差も 1 日前で 0.4~14.9hPa と実用水準に達している。高潮のピーク時間予測においては、AT 誤差との相関が高く（決定係数 0.805 以上）、経路予測の改善が高潮予測精度の向上につながることを示された。計算面では、WRF を 2 ノードで実行した場合、12 時間積分は約 1.7 時間、24 時間積分は約 3.4 時間で完了し、実時間の約 7 倍の速度で予測が可能である。これにより、1 日前の初期値からでも約 20 時間前に 24 時間先の気象・高潮状況を取得することが可能となり、住民への事前周知、避難所開設、交通整理等の計画立案に十分な時間的猶予をもたらす。また、並列計算を活用して複数シナリオを同時実行することで、進路や勢力の不確実性を考慮した多様なリスク評価が可能となり、より頑健な避難判断支援システムの構築に寄与すると期待される。

REFERENCES

- 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 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, 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. [Tomita, T. and Kakinuma, T.: Development of a numerical storm surge and tsunami simulator STOC that takes into account the three-dimensional nature of seawater flow and its application to tsunami analysis, *Report of Port and Airport Research Institute*, Vol. 44, Issue 2, 2005.]
- 4) 本多忠夫, 光易恒: 水面に及ぼす風の作用に関する実験的研究, 第 27 回海岸工学講演会論文集, pp.90-93, 1980.[Honda, T. and Mitsuyasu, H.: Experimental study of wind action on water surfaces, *Proceedings of Coastal Engineering, JSCE*, Vol. 27, pp. 90-93, 1980.]
- 5) 気象庁: 台風予測の精度検証結果, 参照2025-05-05 <https://www.data.jma.go.jp/typhoon/verification/index.html>