

台風経路アンサンブルシミュレーションを用いた日本の沿岸における高波リスクの算出 Calculating the Risk of Significant Wave Height along the Coast of Japan based on Typhoon Track-Ensemble Simulations

鈴木創太*1, 筆保弘徳*1, 高野洋雄*2, 竹見哲也*3, 清原康友*4, 大滝寿一*5

Souta SUZUKI, Hironori FUDEYASU, Nadao KOHNO,
Tetsuya TAKEMI, Yasutomo KIYOHARA, Toshikazu OTAKI

The maximum waves caused by Typhoons Vera (1959) and Trami (2018) were examined using a JMA wave model, and by simulations based on a meteorological model. The typhoon track ensemble simulation demonstrated that the maximum wave was dependent on perturbation of the typhoon track along the entire coast of the Japanese islands. Although these values may differ for other typhoons and sampling points, it is important to estimate the maximum waves and worst-case courses at all coastal areas because this will provide important information enabling effective disaster prevention and risk management.

1. はじめに

温帯低気圧や熱帯低気圧、台風などの気象現象が洋上で発生し、それらが沿岸域に近づくと、高潮や高波(波浪)が発生する。高潮で潮位が高くなっているときに高波がくると、護岸の破壊や浸水などの被害が発生する危険性が高まる。高波による浸水が起きると、様々な人的・物的被害が発生する。近年の大きな高波災害の例としては、2018年9月の、台風21号(Jebi)と台風24号(Trami)がある。これらの台風は、紀伊半島及び大阪湾に接近・上陸し、それに伴って発生した高波によって大きな被害が発生した。また、2019年には、台風15号(Faxai)と台風19号(Hagibis)が立て続けに関東地方及び東京湾に接近・上陸し、それに伴って発生した高波によって大きな被害が発生した。

このような高波災害による被害を軽減するためには、台風の規模や経路ごとに高波リスクがどのように高まるかということを、地域ごとに定量的に把握することが有効である。そこで本研究では、

山崎ほか(2017)の台風経路アンサンブルシミュレーションと気象庁波浪モデル(MRI-III)を用いて、台風経路や海岸地形による高波リスクを海岸線に沿って算出する。さらに、大滝ほか(2020)で算出された高潮リスクとの関係を調べることを目的とする。

2. 高波(波浪)の定義

海岸で見られる波の多くは、海上で吹いている風によって生じた水面の小さな変動が、風からエネルギーを受けて大きく成長し、洋上を伝わってやってきたものである。

海上で吹いている風の下(風域)にあり、風からエネルギーを受けて成長している波のことを風浪(または風波)と呼ぶ。風浪は発達途上または十分に発達した波で、波の形状は不規則で尖っている。

一方で、風浪が成長し、風が吹いている場所(風域)から抜け出して洋上を進んでいる波のことをうねりと呼ぶ。うねりは減衰過程の波で、波の形

*1 横浜国立大学教育学部 suzuki-souta-dg@ynu.jp
Faculty of Education, Yokohama National University

*2 気象庁気象研究所
Meteorological Research Institute

*3 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

*4 気象予報士会
Certified and Accredited Meteorologists of Japan

*5 いであ株式会社
IDEA Consultants, Inc.

状は規則的で丸みを帯びている。実際の海では、風浪とうねりが重なり合っており、両者のことを合わせて高波(波浪)と呼ぶ。

3. 計算対象とした台風

3.1 1959 年台風 15 号(Vera)

1959 年 9 月 21 日に発生した台風 15 号(Vera)は、9 月 23 日 15 時にはアメリカ軍の観測飛行機によって中心気圧 894 hPa, 最大風速 75 m/s と観測された。26 日 9 時には潮岬の南南西 400 km に達したが、中心気圧 920 hPa, 最大風速 60 m/s と非常に強い勢力を保っていた。26 日 18 時過ぎに潮岬の西 15 km に上陸し、13 分には潮岬で最低気圧 930 hPa を観測した。暴風域は半径 300 km に達していた。伊勢湾台風による全国の死者・行方不明者は 5098 人であり、その 7 割は伊勢湾の高潮による者であった。Vera の進路は、伊勢湾西部と伊勢湾内に高潮を起こす上で最悪のものであった。(間瀬ほか, 2011 年)

3.2 2018 年台風 24 号(Trami)

2018 年 9 月 21 日に発生した台風 24 号(Trami)は、非常に強い勢力で日本に接近し、和歌山県田辺湾の湾口に位置する田辺中島高潮観測塔に最接近した 9 月 30 日 20 時には 960 hPa になったものの、勢力を保ったまま通過した。風速は 2018 年台風 21 号(Jebi)ほど強くなかったが、波浪は Jebi を上回り、田辺中島高潮観測塔では有義波高が 11 m を越えて計測器が被害を受けた。(馬場ほか, 2019 年)

4. 解析手法

本研究では、山崎ほか(2017)の気象モデルによる台風経路アンサンブルシミュレーションの結果を、気象庁波浪モデル(MRI-III)のインプットにする手法を用いて波浪計算を行った。この手法は、数値シミュレーション上で緯度を初期値で固定し、台風場を含む大気場を東西にずらすことで、対象とした台風の実際の経路を作為的にずらす。

気象モデルは Weather Research and Forecasting (WRF-ARW) Version 3.6.1 を用いる。

5. 結果

5.1 Trami における観測データとの比較

図 2 は、図 1 で示した 3 つの地点について、実際の観測データと Trami における波浪モデルの

ントロールランの波浪推算結果を比較したものである。3 地点ともに有義波高がピークとなる時間帯はほぼ一致するが、有義波高の値は過小に算出されている。本研究での波浪モデルの計算設定の初期値は静穏スタートとなっているため、海洋からのうねりの影響が過小に算出されたと考えられる。

5.2 和歌山県潮岬におけるアンサンブルシミュレーションの結果

図 3 に、台風経路アンサンブルシミュレーションでずらした仮想の Vera と Trami それぞれの経路全てで有義波高の計算を行い、各経路における和歌山県潮岬での最大有義波高の結果を、直撃コースを中心として示した。潮岬で一番気圧が低くなったコースを直撃コースとし、横軸が負であれば西側にずれたコースの最大有義波高を、正であれば東側にずれたコースでの最大有義波高を示している。

Vera において、潮岬での気圧が一番低い値となった直撃コースでは、最大有義波高は 10.87 m となった。その他のアンサンブル結果を見ると、直撃コースから西側 120 km のコースで 14.39 m と、最大有義波高のピークとなっている。また、Trami において、潮岬での気圧が一番低い値となった直撃コースでは、最大有義波高は 5.65 m となった。その他のアンサンブル結果を見ると、直撃コースから西側 80 km のコースで 7.43 m と、最大有義波高のピークとなっている。

台風の特徴により違いはあるが、二つの台風ともに直撃よりも西側のコースで最大有義波高のピークとなっている。潮岬はほぼ南向きの海岸線になっているため、台風が西側を通過した際に風の影響を大きく受け、それに伴う風波によって高い有義波高が算出されることが考えられる。

Vera では、潮岬における最悪コースにおいて Trami の 2 倍近くの値が算出されている。Vera は潮岬の南南西 400 km の地点において最大風速 60 m/s が観測されているのに対して、Trami は最大でも 45 m/s ほどであることから、両者の値の違いには風速が大きく影響していることが考えられる。

5.3 台風 Vera における最悪コースでの最大有義波高

図 4 は、Vera において、山陰地方沿岸、本州南岸、四国沿岸、九州沿岸について、各沿岸地点の



図1：比較を行った3つの地点。高知県上川口はUSW、高知県室戸岬沖はGPS、静岡県御前崎は海象系による観測データである。いずれも国土交通省港湾局リアルタイムナウファスの波浪データを参照。

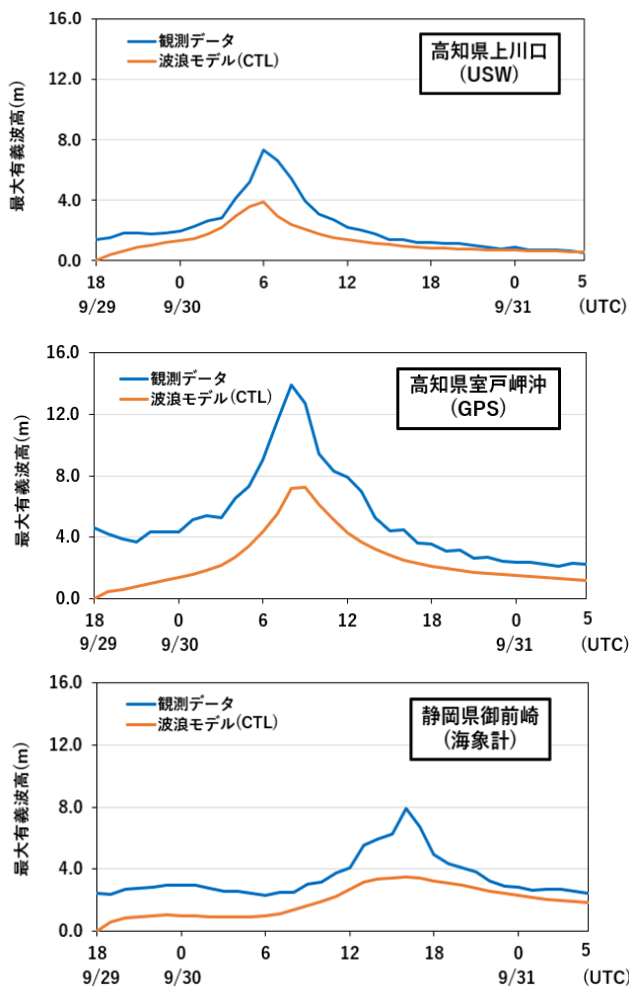


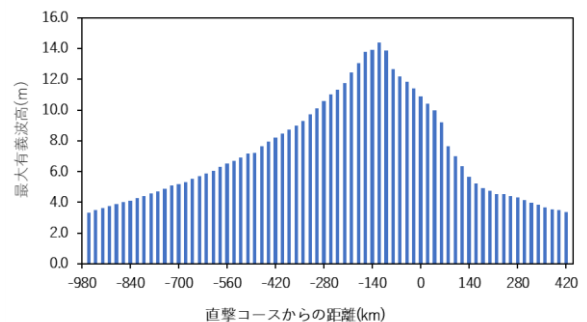
図2：3つの地点それぞれにおける、Trami の実際の観測データとコントロールランの有義波高の時系列変化。

最悪コースでの最大有義波高を地図上に示したものである。また、より定量的に示すために、本州南岸の各沿岸地点の最悪コースでの最大有義波高を、図5に連続的にグラフで示した。

紀伊半島沿岸や四国南岸、房総半島南岸などの海洋に広く面した海岸地点や半島の先端部では、

最大有義波高が比較的高く算出された。本州南岸で最大有義波高が一番高く算出されたのは、静岡県の御前崎灯台付近で18.42 mだった。海洋に広く面した海岸地点や半島の先端では、吹送距離が長く、風波が発達したり、外洋からうねりが入ってきたりしやすいため有義波高が高く算出されたと考えられる。一方で、瀬戸内海沿岸などの狭い海域に面した海岸地点や、東京湾や駿河湾、伊勢湾、三河湾などの湾奥部、山陰地方沿岸などの北・北西向きの海岸地点では、最大有義波高が比較的低く算出された。本州南岸で最大有義波高が一番低く算出されたのは、広島県福山市柳津町で1.29 mだった。また、岡山県備前市曾島付近では1.38 mと、瀬戸内海沿岸では連続して低い結果が算出された。瀬戸内海沿岸などの狭い海域に面した海岸地点や湾奥部などでは、吹送距離が短く、風波が十分に発達しなかったり、外洋からのうねりが入ってきたりしにくいため有義波高が低く算出されたと考えられる。

(a)



(b)

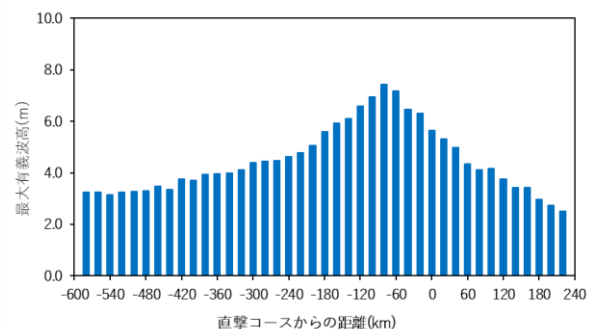


図3：和歌山県潮岬における、台風経路アンサンブルシミュレーションでずらしたそれぞれの経路での最大有義波高の結果。(a)Vera、(b)Trami の結果。

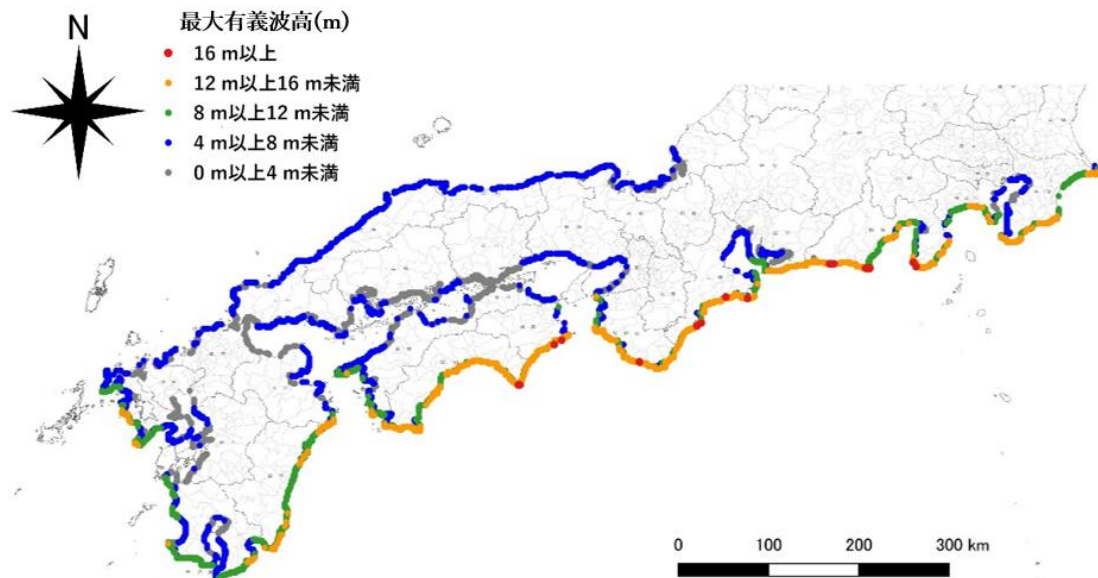


図4：Veraにおいて、山陰地方沿岸、本州南岸、四国沿岸、九州沿岸について、各沿岸地点の最悪コースでの最大有義波高を地図上に示した。

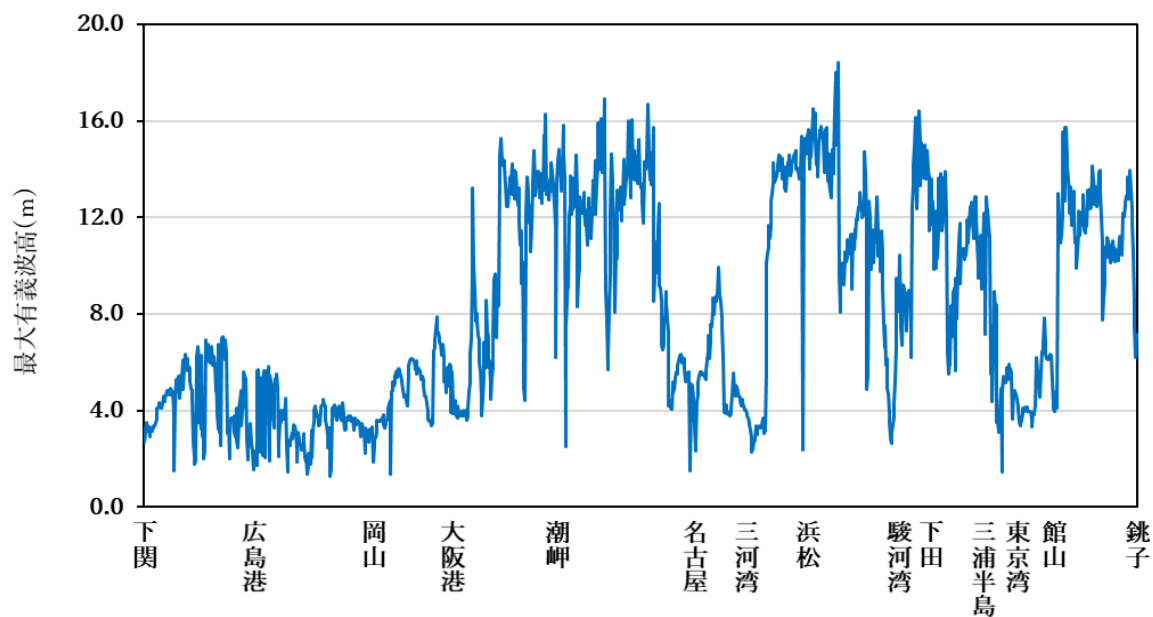


図5：Veraにおいて、山陰地方沿岸、本州南岸、四国沿岸、九州沿岸について、各沿岸地点の最悪コースでの最大有義波高を地図上に示した。

5.4 台風 Vera における本州南岸の高波リスクと高潮リスクの比較

図6は、Veraにおいて、大滝ほか(2020)で算出された本州南岸の各海岸地点における最悪コースでの最大潮位偏差と、本研究で算出した本州南岸の各海岸地点における最悪コースでの最大有義波高を連続的にグラフに示したものである。図7は、Veraにおける各海岸地点の最悪コースでの最大潮

位偏差と最大有義波高を散布図で示したものである。最大潮位偏差と最大有義波高の相関係数は -0.79 だった。

最大有義波高が比較的高く算出された紀伊半島沿岸や房総半島南岸などの海洋に広く面した海岸地点や半島の先端では、最大潮位偏差は低くなり、反対に、最大有義波高が比較的低く算出された瀬戸内海沿岸などの狭い海域に面した海岸地点や、

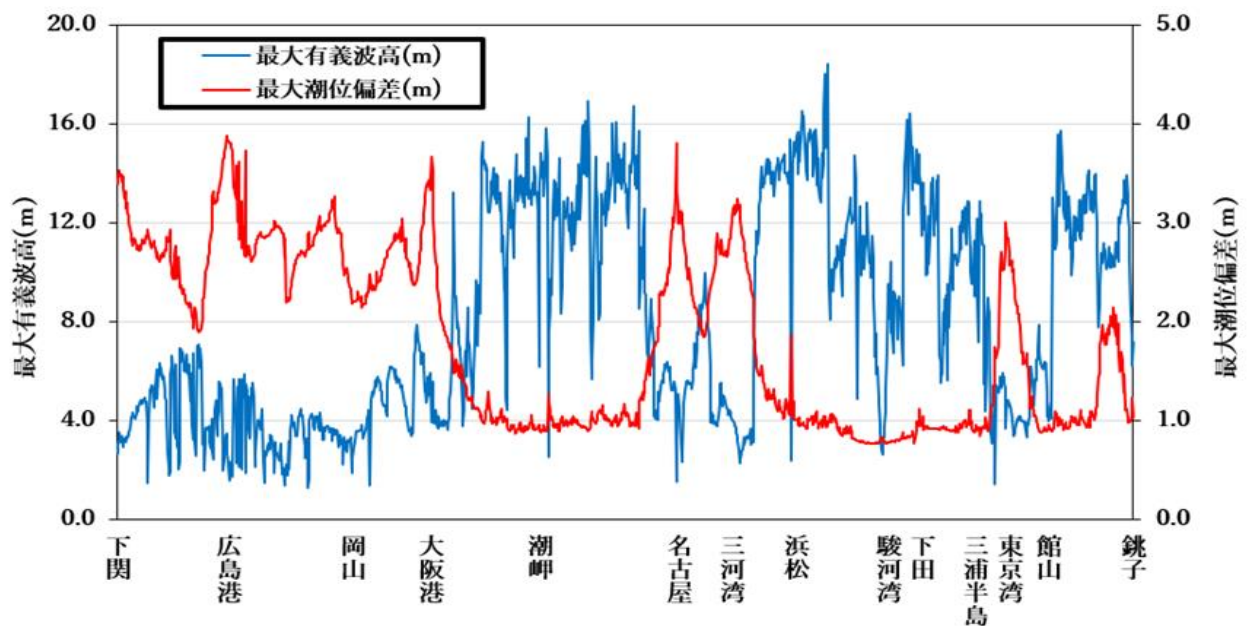


図6：Veraにおいて、山陰地方沿岸、本州南岸、四国沿岸、九州沿岸について、各沿岸地点の最悪コースでの最大有義波高と、大滝ほか(2020)で算出された最大潮位偏差を地図上に示した。

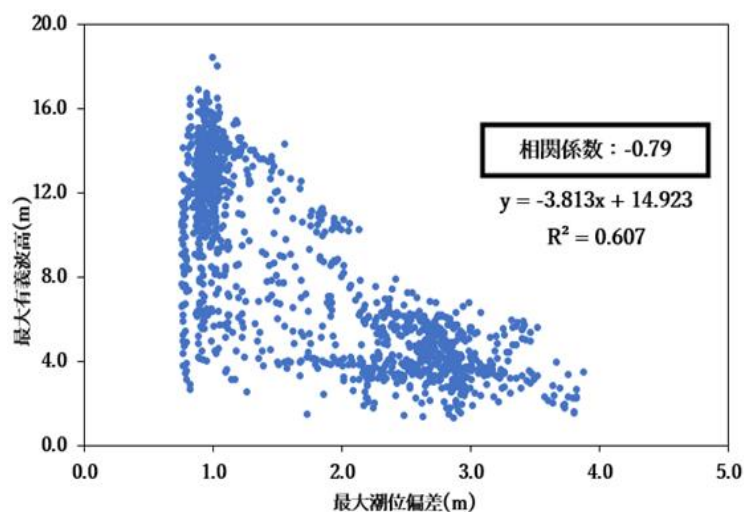


図7：Veraにおける各海岸地点の最悪コースでの最大潮位偏差と最大有義波高を散布図で示した。

東京湾や駿河湾、伊勢湾、三河湾などの湾奥部では最大潮位偏差は高かった。これらの結果より、最大有義波高と最大潮位偏差では好条件に違いがあることが分かる。

4. まとめ

本研究の内容を以下にまとめた。

(1) 台風 Trami において、波浪モデルの計算結果と観測データを比較した。有義波高は観測データより過小に算出されたが、最大有義波高を記録する時刻は概ね合っていた。

(2) 台風経路アンサンブルシミュレーションの手法を用いて、台風経路や海岸地形の影響の受け方を調べた。紀伊半島沿岸や四国南岸、房総半島南岸などの海洋に広く面した海域や半島の先端では、最大有義波高が高かった。一方で、瀬戸内海などの狭い海域や、東京湾や駿河湾、伊勢湾などの湾奥部、山陰地方沿岸などの北・北西向きの海岸では、最大有義波高が低かった。

(3) 台風 Vera において、大滝ほか(2020)で算出された本州南岸の各海岸地点における最悪コースでの最大潮位偏差と、本研究で算出した本州南岸

の各海岸地点における最悪コースでの最大有義波高を比較した。最大有義波高と最大潮位偏差では、海岸地点によって違いがあった。

謝 辞

本研究は、文部科学省統合的気候モデル高度化研究プログラムと、日本学術振興会科学研究費助21K03658の支援を受けた。

参 考 文 献

- 大滝寿一，2021：台風経路アンサンブルシミュレーションを用いた日本の沿岸における潮位偏差の算出，横浜国立大学教育学研究科，修士論文
- 国土交通省気象庁，2018：2018年台風第24号 TRAMI(1824)位置表
<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/typhoon/T1824.pdf>，（閲覧日：2021年11月14日）
- 馬場康之，久保輝広，森信人，渡部靖憲，山田朋人，猿渡亜由未，大塚淳一，内山雄介，二宮順一，2019：2018年夏期に観測された台風に伴う高波浪について，土木学会論文集, 75(2), 271-276
- 間瀬肇，武藤遼太，森信人，金洙列，安田誠宏，林祐太，2011：詳細気象予測値を用いた伊勢湾台風高潮の再現実験．土木学会論文集, 67(2), 401-405
- 山崎聖太，筆保弘徳，加藤雅也，竹見哲也，清原康友，2017：台風による強風ハザードの評価：台風ノモグラムの開発．日本風工学会論文集, 42(4), 121-133