

## 波飛沫を考慮した全球アンサンブル気候実験による台風特性評価

## Typhoon Assessment based on Global Ensemble Climate Experiment Considering Wave-mediated Sea Spray

○松尾 佳星・志村 智也・森 信人・宮下 卓也・水田 亮

○Yoshiki MATSUO, Tomoya SHIMURA, Nobuhito MORI, Takuya MIYASHITA, Ryo MIZUTA

Typhoons are one of the most impactful extreme events in Japan. Probabilistic assessment of typhoon characteristics is crucial for disaster prevention. While a global climate model (GCM) is a powerful tool for typhoon simulations, it often struggles to produce sufficient samples and neglects key physical processes such as ocean-wave interactions and sea spray, which significantly impact typhoon intensity. This study proposes a computationally efficient "fixed-SST ensemble climate experiment" to overcome these limitations. We conducted 150-month continuous simulations focusing on 1959 September climate conditions under fixed Sea Surface Temperature (SST) patterns using a newly developed wave-coupled GCM. Our fixed-SST simulations with a 60 km resolution GCM successfully reproduce the intensity distribution of historical typhoons, validated through a comparison with observational data (IBTrACS). At the conference, we will present a comparative analysis using the wave-coupled GCM to quantify the impact of wave-coupling on typhoon simulation. These findings will contribute to developing more robust climate models for assessing future typhoon risks.

## 1. はじめに

日本の風水害に対して、台風は最も影響のある極端な気象イベントである。猛烈な台風に対する防災・減災対策には、台風の強度と確率の定量的予測が必要である。台風災害に対する気候の影響評価には全球気候モデル (GCM) が不可欠であり、日本における極端現象の評価には、気象庁気候研究所の全球大気大循環モデル (MRI-AGCM) を用いた気候シミュレーションが多く用いられている。GCM を用いた台風強度の正確な予測には、海洋波浪応答を考慮した大気海洋間の相互作用の理解が不可欠であるが、空間解像度の制約から現行の多くの台風評価には波浪モデルが結合されておらず、海洋波浪応答が十分に表現されていない。台風発達に大きく影響し強風場で顕著となる波飛沫についても、波浪モデルの不在により考慮されていない。また、GCM 気候実験における海面での熱・運動量フラックスは、90 年代に提案された風速依存式により単純化されており、台風下の波飛沫による影響を考慮したものではない。

本研究は、WAVEWATCHIII を結合した空間解像度約 60km の MRI-AGCM を用いて、海洋波浪応答における波飛沫の影響を考慮した全球アンサンブル気候実験を行い、波浪モデルの結合有無による台風特性への影響評価を行う。具体的には、伊勢湾台

風が発生した 1959 年の 9 月の気候条件に焦点を当て、9 月の月平均 SST を境界条件として固定した状態で 150 か月の連続計算を行った。なお、波飛沫の実装については、風速依存式による不確実性を低減するため、波レイノルズ数に依存する波飛沫生成関数 (SSGF) を波飛沫の生成源として採用した。本研究の目的は、全球大気波浪結合気候モデルにもとづく独自のアンサンブル実験を提案し、波浪モデルの有無が台風特性に与える影響を明らかにすることである。

## 2. 波飛沫依存の運動量・熱フラックス効果

本研究では、全球気候モデルにおける台風の強度および構造変化をより物理的に再現するため、Xu et al. (2022) と同様のアプローチをとり、Andreas et al. (2008) に準拠した以下の波飛沫過程を含むバルクフラックススキームを採用した。

$$\tau = \tau_{int} + \tau_{sp} \quad (1)$$

$$H_S = H_{S,int} + H_{S,sp} \quad (2)$$

$$H_L = H_{L,int} + H_{L,sp} \quad (3)$$

ここで、運動量( $\tau$ )・顕熱( $H_S$ )・潜熱( $H_L$ )の各全フラックスは、海面粗度長に基づく従来の界面フラックス(int)と、波飛沫に起因するフラックス(sp)の和として表される。

上記の波飛沫によるフィードバックの強度は、

海面からの飛沫生成量を見積もる SSGF に大きく依存する。本研究では風速のみならず波浪状態を考慮できる Zhao et al. (2006) による SSGF を MRI-AGCM に実装した。風波レイノルズ数  $R_B$  は、風の強制力と波浪の発達段階（波齢）の結合効果を表す無次元パラメータであり、これを用いた波飛沫依存フラックスは以下の式で与えられる。

$$\tau_{sp} = 2.53 \times 10^{-8} \beta^{0.55} R_B^{1.09} \tau_{int} \quad (4)$$

$$Q_{S,sp} = \rho_w c_{ps} \int (T_w - T_{eq}) \left( \frac{4\pi}{3} r^3 \frac{dF(R_B)}{dr} \right) dr \quad (5)$$

$$Q_{L,sp} = \rho_w L_v \int \left\{ 1 - \left( \frac{r_f}{r} \right)^3 \right\} \left( \frac{4\pi}{3} r^3 \frac{dF(R_B)}{dr} \right) dr \quad (6)$$

$\rho_w, c_{ps}, L_v$  は海水密度、定圧比熱、蒸発潜熱を示し、 $T_w, T_{eq}$  は海面水温と液滴の平衡温度、 $r, r_f$  は液滴の初期および着水時の半径、 $dF/dr$  は  $R_B$  依存の SSGF である。このスキームにより、風と波の相互作用の結果として生じる海面状態の激しさを飛沫生成量に動的に反映させることが可能となる。

以上を用いた全球アンサンブル実験の結果にもとづき、波浪結合効果が台風の最大風速、中心気圧、およびその気候学的特性に与える影響について評価する。

### 3. 結果

全球アンサンブル気候実験より得られた、台風の最大風速に関する累積分布関数 (CDF) を図 1 に示す。なお、本解析では日本付近を通過する台風に焦点を当てるため、解析領域を緯度  $0-40^\circ$  N、経度  $100-180^\circ$  E とした。波浪モデルを結合し波飛沫効果を考慮した実験と、結合を行わない実験の CDF を比較すると、結合実験（図中橙線）では非結合実験（青線）に比べて高風速側の超過確率が顕著に低下しており、波飛沫の導入によって台風の強度が抑制される傾向が確認された。これは、高風速域において顕著となる波飛沫が、台風へのエネルギー供給効果を上回る運動量損失をもたらしたことが一因と考えられる。これら波飛沫による熱・運動量フラックスへの影響評価を含む詳細な考察については、講演会にて発表する。

### 4. 参考文献

- Xu et al., 2022: Sea spray impacts on tropical cyclone Olwyn using a coupled atmosphere-ocean-wave model. J. Geophys. Res. Oceans, 127, e2022JC018557.
- Andreas et al., 2008: A bulk turbulent air-

sea flux algorithm for high-wind, spray conditions. J. Phys. Oceanogr., 38, 1581-1596.

• Zhao et al., 2006: New sea spray generation function for spume droplets. J. Geophys. Res. Oceans, 111, C02007.

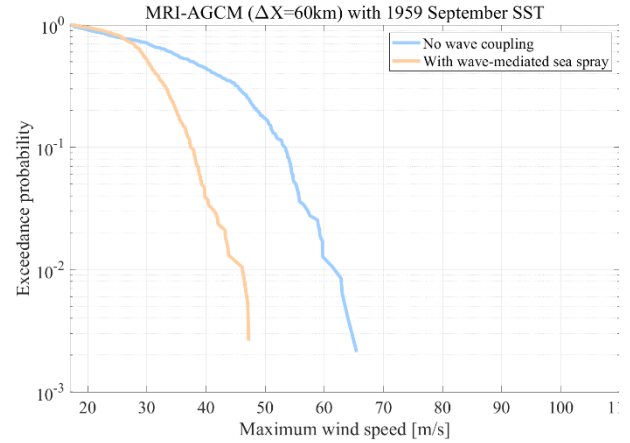


図-1：1959 年 9 月の月平均 SST を境界条件として与えた全球アンサンブル気候実験における台風強度の比較。縦軸は超過確率を示し、横軸は最大風速を示す。