

## 第Ⅱ部門

## 可能最大高潮モデルを用いた HighResMIP 実験にもとづく日本沿岸の高潮リスクの将来変化予測

京都大学工学部 学生員 ○伊藤 駿

京都大学防災研究所 正会員 志村 智也

京都大学防災研究所 正会員 宮下 卓也

京都大学防災研究所 正会員 森 信人

## 1. 研究目的

昨今、地球温暖化の進行による気温や海面上昇以外の影響が出始めている。中でもわが国において大きな災害につながる気象現象の一つである台風は、その強度が強まることが示唆されており、高潮への影響が懸念される。わが国の主要都市は沿岸部の低平地にあるため、その長期評価は極めて重要である。高潮は、強風や大雨に比べて低頻度事象であり、台風の通過進路や移動速度等も考慮した定量的な長期評価は困難である。本研究では、Emanuel<sup>1)</sup>による台風の可能最大強度理論 (Maximum Potential Intensity; MPI) により最大クラスの台風強度の将来変化を推定し、森ら<sup>2)</sup>による可能最大高潮モデル (Maximum Potential Storm surge height; MPS) を用いて、最大クラスの高潮の将来変化予測を行う。MPI および MPS を用いることで気候場をもとにした評価を行う。

## 2. 高潮の推定手法とデータ概要

高潮偏差の推定にあたって、まず台風強度について考える必要がある。本研究では、Emanuel による MPI 理論を用いて、台風の可能最大強度を推定する。この理論では、台風の発達過程をカルノーサイクルエンジンであると仮定し、大気の安定不安定度を意味する対流有効位置エネルギー (Convective Available Potential Energy; CAPE) を用いて、環境場における台風の可能最大強度を推定する。その MPI 値を利用して、MPS モデルよりある湾における高潮の上限値を推定する。MPS モデルでは、プラウドマン共鳴効果が起こると予想される台風移動速度が湾内の長波速度に近くなる場合を考え、Myers の気圧分布式から吸い上げ効果を導出する。また、吹き寄せ効果を風の定常状態を仮定し、以下の式で表現する。

$$\frac{d\zeta_w}{dx} = \frac{\rho_a}{\rho_w g} \cdot \frac{K}{h(x)} \cdot U^2$$

ここで、 $\zeta_w$  は吹き寄せ効果による高潮偏差、 $x$  は岸沖方向の座標(岸向き正)、 $\rho_a$  は空気密度、 $\rho_w$  は海水密度、 $g$  は重力加速度、 $K$  は湾定数、 $h$  は水深、 $U$  は風速とする。

MPI および MPS 計算には、全球気候モデル GCM による気候計算結果を用いた。気候条件として、CMIP6 の HighResMIP 実験 (High Resolution Model Intercomparison Project) の大気モデルと大気海洋結合モデルのうち、MPI 計算が可能なデータを持つ 19 種のモデルを用いた。HighResMIP 実験は、高解像度の気候計算の台風等の相互比較に焦点を当てた実験である (現在気候 (1950~2014 年)、将来気候 (2015~2050 年、ただし MRI-AGCM3.2 系のみ 2099 年まで))。用いた気候シナリオは RCP8.5 である。大気モデルは各モデルで同一の海面水温 (Sea Surface Temperature; SST) を与えており、大気海洋結合モデルはモデル内で SST が計算される。HighResMIP 実験には、同じモデルで高解像度モデル (HR と表記) と低解像度モデル (LR と表記) が存在する。合計 35 モデルによる予測が行われ、水平解像度は高解像度モデルで 20~50km、低解像度モデルで 60~250km である。

## 3. 日本周辺の MPI 将来変化

北西太平洋において月ごと及び緯度ごとの MPI の将来変化を調べたところ、9 月、北緯 30~40 度帯でその将来変化が最大になることが確認された。そこで、日本周辺 (北緯 25~40 度帯) に範囲を絞り、大気モデルと大気海洋結合モデルから求めた 9 月の月平均 MPI の時系列を図 1 に示す。また、比較として大規模アンサンブル気候予測実験 d4PDF の結果も載せている。どのモデルも将来気候にかけて MPI が強化 (低下) する。大気海洋結合モデルの方が、大気モデルよりも予測間のばらつきがある。一方、大気モデルは大規模アンサンブルの結果と類似している。MPI

の将来変化量は、2050 年までに大気モデルの平均で-3.5hPa, 大気海洋結合モデルで-5.8hPa であり、一貫した強化傾向が得られた。気候再解析値 JRA-55 と比較し、北西太平洋における現在気候 9 月平均 MPI の空間相関は、大気、大気海洋結合モデルの両方で 0.87 であり、観測値との整合性も確認した。さらに d4PDF との比較から、MPI を用いると、アンサンブル数は 10 メンバ程度で十分であることを明らかにした。

#### 4. 日本三大湾の高潮将来変化

三大湾を対象に MPS モデルより高潮偏差の将来変化を評価した。図 2, 3 は大気モデル及び大気海洋結合モデルを用いた日本三大湾の 2050 年の将来気候における高潮偏差である。日本三大湾に加えて、東京湾の湾軸の定義を変えた結果を Tokyo2 としている。吹き寄せ効果が吸い上げ効果の 4~5 倍、高潮偏差に影響を与えている。最も大きな変化が見られた大阪湾では、将来気候のアンサンブル平均値は、大気モデルで 3.01m, 大気海洋結合モデルで 3.52m の高潮偏差が得られた。現在気候からの変化量は大気モデルで +0.45m, 大気海洋結合モデルで +0.36m である。ついで、MPS と高潮偏差の観測最大値との比較を行った。大阪湾における高潮偏差の観測最大値は、2018 年の台風 21 号の 2.77m である。観測最大高潮発生時のアンサンブル平均による MPS 値は 3.92m であり、可能最大高潮偏差を推定できている。最後に、湾付近の SST が 1℃上昇するときの MPS の感度を調べた。大阪湾、9 月平均にて 0.31m/℃であり、2050 年までに全球の平均気温が 2℃上昇すると仮定すれば、0.62m の高潮偏差の上昇が見込まれることとなる。

#### 5. 結論

本研究では、日本周辺における台風強度の将来変化予測と日本三大湾における高潮偏差の将来変化予測を行った。日本周辺において台風強度の連続的な強化傾向が明らかとなり、2050 年までに大気海洋結合モデルで 5.8hPa の強化傾向であった。また、日本三大湾において高潮偏差の上昇が確認され、最も変化が見られた大気モデルにおいて大阪湾で 0.45m であった。

#### 6. 参考文献

1) Bister M., and K. Emanuel: Low frequency variability of tropical cyclone potential intensity, 1, Interannual to

interdecadal variability, J. Geophys. Res., 107, 4801, pp.ACL26-1-ACL26-15, 2002.

2) 森壮太郎他: 気候変動による日本主要湾における可能最大クラス高潮の長期変化, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.77, No.2, pp.I 937-I 942, 2021

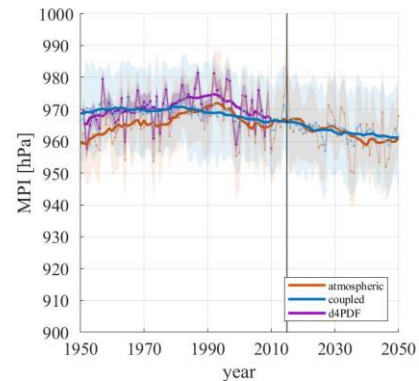


図 1: 日本周辺の MPI 将来変化 (橙色: 大気モデル, 青色: 大気海洋結合モデル, 紫色: d4PDF, 細線: 9 月平均値, 太線: 10 年間の移動平均値, 背景色: モデル間の分散もしくはメンバ間の分散)

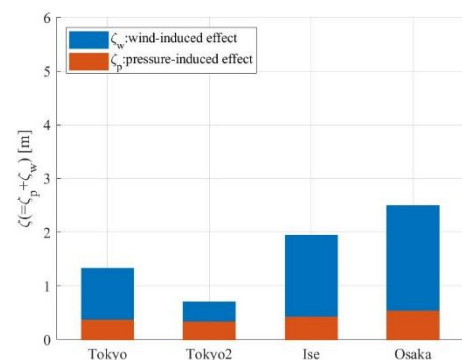


図 2: 将来気候における台風月(7-10 月)の大気モデルの MPS (青色: 吹き寄せ効果, 赤色: 吸い上げ効果, 横軸は湾名)

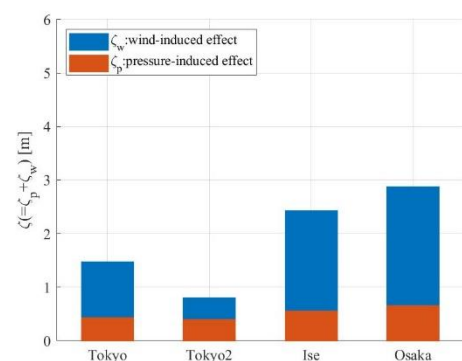


図 3: 将来気候における台風月(7-10 月)での大気海洋結合モデルの MPS (配色, 軸は図 2 と同様)