

京都大学工学部	学生員	○岸本 理紗子
京都大学防災研究所	正会員	森 信人
京都大学防災研究所	正会員	安田 誠宏
京都大学防災研究所	正会員	間瀬 肇

**1. 研究目的** 近年、気候変動が人間生活に与える影響が懸念されており、その影響は沿岸環境にも大きく及ぶ。主要な沿岸の影響としては、高潮、波浪、海面上昇があるが、波浪は予測評価研究が進んでおらず、現在の気候モデルでは予測されていない。しかし、風速や気圧変化などの動的な気候変化は波浪に影響を与えることが予想され、その影響は海岸の運用や構造物の設計、生態系や産業などと深く関わりを持つ。

上記のように、沿岸の動的な環境の将来変化予測は重大な課題である。このため、気候モデルから波浪を予測する必要があるが、実験の行われているアンサンブル数は少なく、不確実性も高い。そこで、本研究では、波高予測の中でも力学モデルと比べて短時間で多くのアンサンブルに適用できる統計モデルを開発する。ついで、CMIP5における温室効果ガスの将来濃度シナリオ（RCP2.6, 4.5, 6.0 及び 8.5）条件下の気候変動予測に適用し、月平均波高及び極大波高の将来変化予測を行った。

**2. 波浪の統計的予測手法の開発** 波浪の統計的な将来変化予測を行うため、予測手法の開発を行った。用いたデータは JRA-55+Wave 再解析であり、これは JRA-55 で出力された風と海氷のデータを外力に、波浪スペクトルモデル WaveWatchIII v4.18 (Tolman, 2014) を用いて波浪データを計算したものである。空間解像度は約 60km で、観測値との比較から良好な精度が確認されている。まず、この再解析の解析期間前半（1958～1987 年）の気象データと波高の間に線形関係を考え解析し、統計モデルを構築した。得られたモデルを用いて再解析の解析期間後半（1988～2012 年）の説明変数の値から 6 時間ごとの波高、月平均波高、年 99% 値及び 99.9% 値などの極大波高を予測し、精度検証を行った。大気再解析データの種類を変えて、複数の予測手法の結果を比較検討し、最適な予測手法を開発した。説明変数として用いた気象データは海上風速の 2 乗 ( $U_{10}^2$ )、海面気圧 (SLP) 及びその勾配 ( $\Delta SLP$ ) である。このうち、1 から 3 つを説明変数として用いて、

合計 7 パターンの格子点毎の線形回帰モデルの開発を行った。

図 1～2 に月平均波高および年 99% 波高（極大波高と定義）について精度検証を行った結果の誤差を示す。平均波高については広い海域で 0.8 以上の相関が得られ、3 つの説明変数を全て用いたモデルが最も相関がよかった。赤道域や北緯 20° 近辺、南緯 30° 近辺では主に大陸の西側で誤差が大きい海域が現れている。本研究では、波高と風の関係に注目してモデリングを行っているため、偏西風や貿易風の吹く海域では、年間を通じて風が強いために波高への風の影響が強くなり、相関が良くなると考えられる。逆に、赤道域のように風が強くなく、うねりが卓越する海域では相関が悪い。しかし絶対的な誤差については、赤道域では平均波高が小さいために誤差は小さい。また、風が強い海域でも、風に乗って波が伝播すると、その場の風の強さよりもうねりの影響が卓越するようになる。したがって、南北アメリカ大陸等の大陸の西側で相関が悪くなる。特に北大西洋では、平均波高が大きいいため、相関係数が高いにも関わらず誤差は大きい。

また極大波高については、 $U_{10}^2$  のみを説明変数とするモデルで最も相関がよかった。平均波高と同様に、風の強い海域では相関が良く、赤道域のような風の弱い海域では相関が悪くなった。風の強さよりうねりの影響が卓越する、南北アメリカ大陸やオーストラリア大陸、アフリカ大陸の西側で相関が悪くなった。図 2 の誤差分布を見ると、その場所での極大波高が大きい日本の南や北大西洋で誤差が大きい。

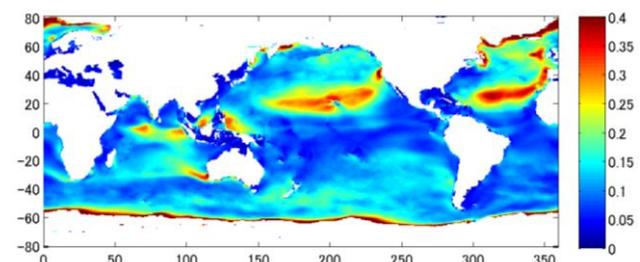


図 1 平均波高の平均 2 乗誤差 [m]  
(説明変数:  $U_{10}^2$ , SLP,  $\Delta SLP$ )

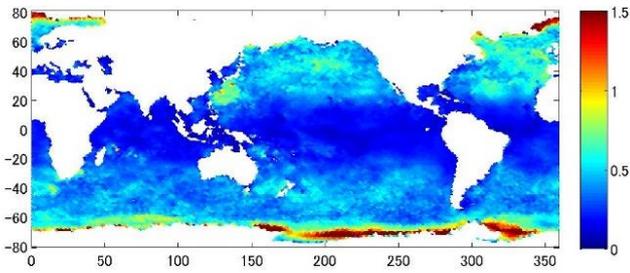


図2 極大波高の平均2乗誤差[m] (説明変数:  $U_{10}^2$ )

**3. 将来変化の予測計算** 作成した統計的波高予測モデルを用いて、温室効果ガスの様々な将来濃度シナリオのもとで、現在と比べて将来に波高がどう変化するかについて予測計算を行った。波高変化予測に用いたデータは、気象庁気象研究所高解像度全球大気モデル (MRI-AGCM 3.2H) による気候予測実験の結果であり、用いた手法は、比較実験を行った7つの統計モデルのうち、 $U_{10}^2$ のみを説明変数とする手法、 $U_{10}^2$ と $\Delta SLP$ を用いた手法、 $U_{10}^2$ , SLP 及び $\Delta SLP$ の3つの説明変数を全て用いた手法の3つとした。現在気候で精度検証を行ったところ、大部分の海域で精度は約10%である。また、南極海や北極海、陸のそばでは精度は悪い。北大西洋や南アメリカ大陸南部周辺、赤道域でもわずかに精度が悪い。

今回予測を行ったのは月平均波高と年99%波高である。月平均波高については以下のことがわかった。

- 北太平洋の北部ではシナリオが高位になるにしたがって増加の程度が減少する。
- 北大西洋や北太平洋中央部、南緯40度付近はシナリオが進むにつれて波高は減少する。
- 南極海では、RCP2.6では波高は減少するが、RCP4.5, 6.0, 8.5となるにつれて増大していく。

$U_{10}^2$ のみを説明変数とする手法を用いた場合の、現在気候の波高に対する平均年99%波高の将来変化量 (RCP2.6シナリオ)の割合を図3に示す。図中の点は、精度検証において相関係数が0.7を超えた場所を表す。 $U_{10}^2$ のみを説明変数とする手法で4つのシナリオの波高変化予測結果を緯度方向に平均した結果を図4に示す。極大波高についても平均波高予測について示した結果と同様の結果が得られた。将来変化の範囲は約±1mである。平均波高と異なる結果を示しているのは、日本近海や北アメリカ大陸の西側、南インド洋、オーストラリア大陸の東側などである。例えば日本近海では、月平均波高の変化は北太平洋中緯度と同様の傾向がこの領域まで広がっているが、年99%波高では、

RCP2.6で約0.5m増加、RCP4.5と6.0で約0.2mのわずかな増加、RCP8.5で約0.8mの減少となった。南インド洋については、特にマダガスカル島の東側で、RCP2.6で0.8m近い増加、RCP4.5で増加領域と減少領域がともに現れ、RCP6.0で約0.5mのわずかな減少、RCP8.5で約0.7mの減少となった。これらの海域で月平均波高と異なる分布を示しているのは、これらの海域が熱帯低気圧の高頻度な通過領域であるからだと考えられる。

**4. 結論** 統計的波高予測モデルの開発を行った。得られたモデルを波高の将来変化に用いた結果、月平均波高では北太平洋北部で波高の大きな増大、北大西洋全域と北緯・南緯30°付近、太平洋赤道域の東部で大きな減少が見られた。極大波高は、概ね月平均波高と同様の変化を示すが、熱帯低気圧が通過する海域で異なる振る舞いを示し、その変化は温室効果ガスの将来濃度シナリオによって様々であった。

**4. 参考文献** 1) Tolman, H. L. (2014) : User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 4.18. NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note 316.

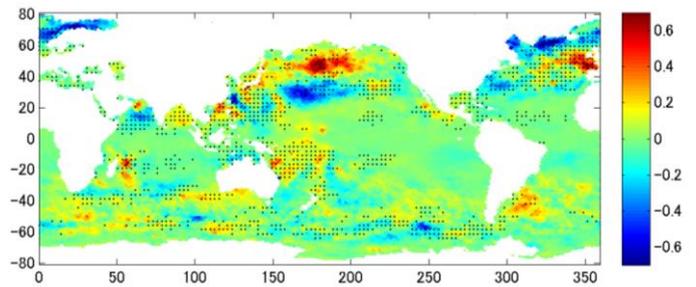


図3 RCP2.6シナリオでの極大 (平均年99%) 波高将来変化 (説明変数:  $U_{10}^2$ , SLP,  $\Delta SLP$ )

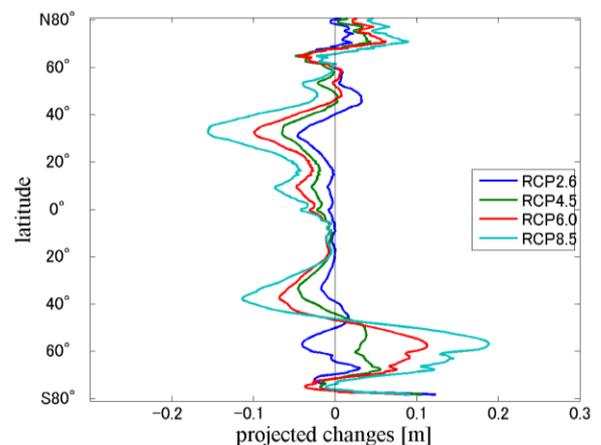


図4 緯度平均の極大 (平均年99%) 波高将来変化[m] (説明変数:  $U_{10}^2$ , SLP,  $\Delta SLP$ )