

気候変動による波浪特性の変化

高知工科大学 システム工学群
建築・都市デザイン専攻 海岸工学研究室
1230187 渡邊七海
指導教員：佐藤慎司

1. 研究背景と目的

近年、西日本豪雨(2018)や東日本台風(2019)など極端な自然災害が多発しており、気候変動の影響が懸念されている。沿岸に着目すると、台風や低気圧などの突発的なイベントや、海浜変形、港湾の静穏性が失われるなど、防災・海岸利用への影響が大きい。将来、波浪特性の変化によってますますこれらの被害は拡大することが予測されるため、波浪特性の変化を解明することが重要であり、「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方」提言(2020年7月)などにに基づき、各種の研究や検討が進められている。(Odérizら, 2021)

高知周辺への影響については、田川(2020)や荒井(2021)の研究が挙げられる。田川(2020)は、波高計による過去約30年間の実測値を解析し、高知海岸に訪れる波浪エネルギーが徐々に大きくなるとともに、波の向きが南西方向から南方向へ変化したことを見出した。荒井(2021)の研究では、JRA55という風の再解析データから、波向きの長期変化を解析した。1958年と2018年の海上風を比較すると、風速が強くなるとともに、高知海岸に近い海域では風向が反時計回りに変化していることを明らかにした。このことから強風の風向変化が波向きの変化をもたらすものと推察している。

以上のように、波浪特性に及ぼす気候変動の影響を明らかにすることは、喫緊の課題であるが、高知周辺への影響については、波や風の過去のデータに基づく分析に限定されている。そこで本研究では、将来の大気環境予測の巨大データベースであるd4PDFを用いて、将来の波浪特性の変化を検討することを目的とした。

2. d4PDFとは

d4PDFとは、文部科学省による複数の学術研究プログラム間連携及び地球シミュレータにより作成されたデータセットである。IPCC第5次報告書に提出された各機関の大気海洋結合モデル実験(CMIP5)の結果を用いて将来についてシミュレーションを行っている。大気モデルに外部境界条件として海面水温(SST)や温室効果気体濃度等を与えて、将来の気候状態についてのモデル実験を整理したものである。本研究では、最も温暖化が進むRCP8.5(対策を取らずに現在のように温室効果ガスを排出し続けた場合)を想定した4°C上昇実験について過去実験と比較し検討した。

表1にあるSSTとは、海面水温分布であり、大気モデルの予測結果に強く影響するため、昇温実験では、代表的な6モデルの予測結果が用いられている。過去実験では観測された海面水温(COBE-SST2)が用いられている。本研究では、MIROC5という海洋モデルによる予測結果を対象とすることとした。分析に用いた海上風は6時間ごとの風速瞬間値2次元データである。

表1 d4PDFにおける予測データの諸条件

	年	SST	摂動	データ数
過去実験	1951-2010年	1	100	6000
4°C上昇実験	2051-2110年	6	15	5400

3. 波浪と海上風

波浪は風浪とうねりに分けられる。風浪とは、海上を吹く風からエネルギーを与えられて発生する波のことで、風浪が風の吹かない海域に伝播することでうねりが発生する。高知海岸の波浪特性を分析するためには、海上風が発達する遠くの海域での波浪特性を明らかにする必要がある。

波浪の代表的な算定手法として有義波法(SMB法)では、有義波高は次式で表される。

$$\frac{gH_{1/3}}{U_{10}^2} = 0.30 \left[1 - \left\{ 1 + 0.004 \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{1/2} \right\}^{-2} \right] \quad (1)$$

ここで、 $H_{1/3}$: 有義波高[m]、 U_{10} : 海上から10mの高さの風速[m/s]、 F : 吹送距離[km]である。上式に示されている通り、有義波高は風速の二乗にほぼ比例することから、波浪特性を分析するには風場の理解が重要になる。

本研究では、将来の大気環境であるd4PDFを用いて、海上風の特徴がどのように変化するかを明らかにすることで、波浪特性の変化を検討することとする。

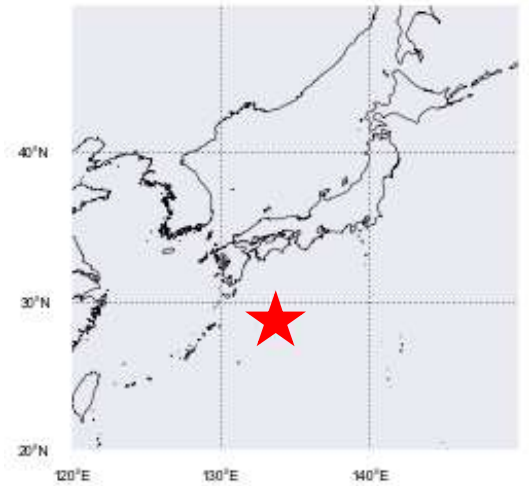


図1: 研究対象領域(北緯28°, 東経133°)

4. 波浪の将来変化

将来、気候変動によって台風や低気圧による極端な波浪による被害が強大化することが懸念される。極端波浪だけでなく、平常時の波浪も海岸の地形・環境変化など長期的な変化をもたらす。そこで、大きく分けて極大波浪である設計波と常時波浪について分析することとした。高知周辺海岸に來襲する波浪に焦点を当て、図1の四国南方沖(北緯28°, 東経133°)の海上風を分析した。

4-1. 設計波

図2は、強風の頻度が高くなる8月の風速の頻度分布を示したものである。過去実験を青色、4°C上昇実験を赤色で示しており、どちらも60年間9メンバの6時間ごとの風速データを対象としているため、データ数はどちらも66,960データである。設計波に影響するのは風速が極端に大きいデータである。図2の右上に示したように、気温上昇時の方が強風の頻度が高く強風の強度が大きくなることから、設計波高は増大することがわかる。これに対し、常時波浪では、風速10m/s~40m/sの頻度は過去実験の方が高く、気温上昇時には常時波浪の波高は小さくなるものと推察される。

設計波の変化をさらに詳細に検討するために、月最大風速について分析したものが図3である。図3を見ると、月最大風速の上位5データの風速の平均は過去実験では53m/s、4°C上昇実験では62m/sと15%程度増加する。得られた風速からSMB法により波高を求めると、過去実験では平均13m、4°C上昇実験では17mとなり、波高は約30%増加することがわかる。過去実験における波高13mは、現在高知海岸で用いられている設計波13.0mと整合する値である。波高が1.3倍になると、例えば波消しブロックの重量は1.3の3乗倍=2.2倍が必要なことになり、施設の再設計が必要となる。なお、540年間で5回起きる高波を対象としているので、ここでの設計波はほぼ100年確率波に対応する。

さらに、図3を見ると、極端波浪が発生する時期も変化することがわかる。6月に着目すると、温暖化が進むと30m/s以上の風は発生していない。強風を発生させる要因として低気圧や台風が挙げられる。30m/sを超える風が7月以降に現れることから、台風が來襲する時期が1か月ほど遅くなることになる。

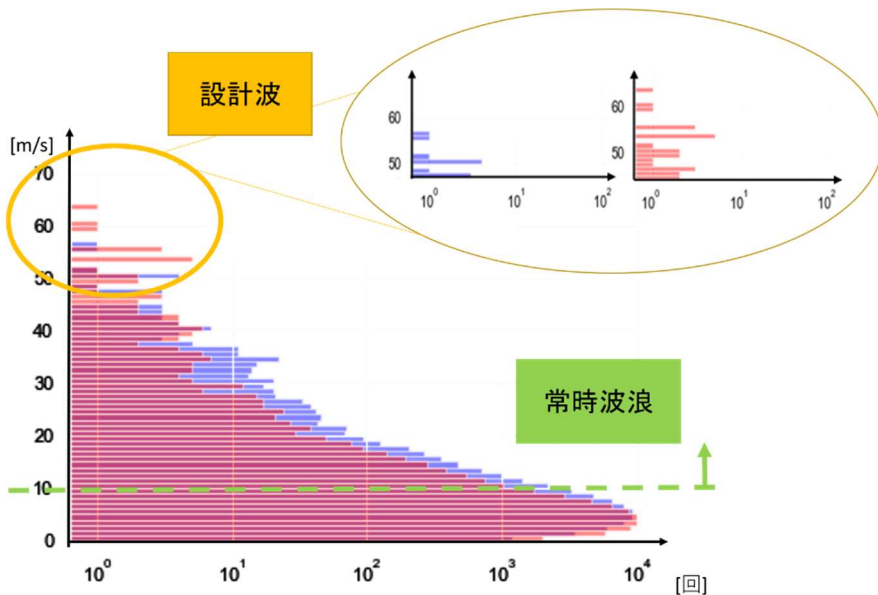


図2: 8月の風速の頻度分布/縦軸: 風速[m/s], 横軸: 頻度[回] / 青: 過去実験, 赤: 4°C上昇実験

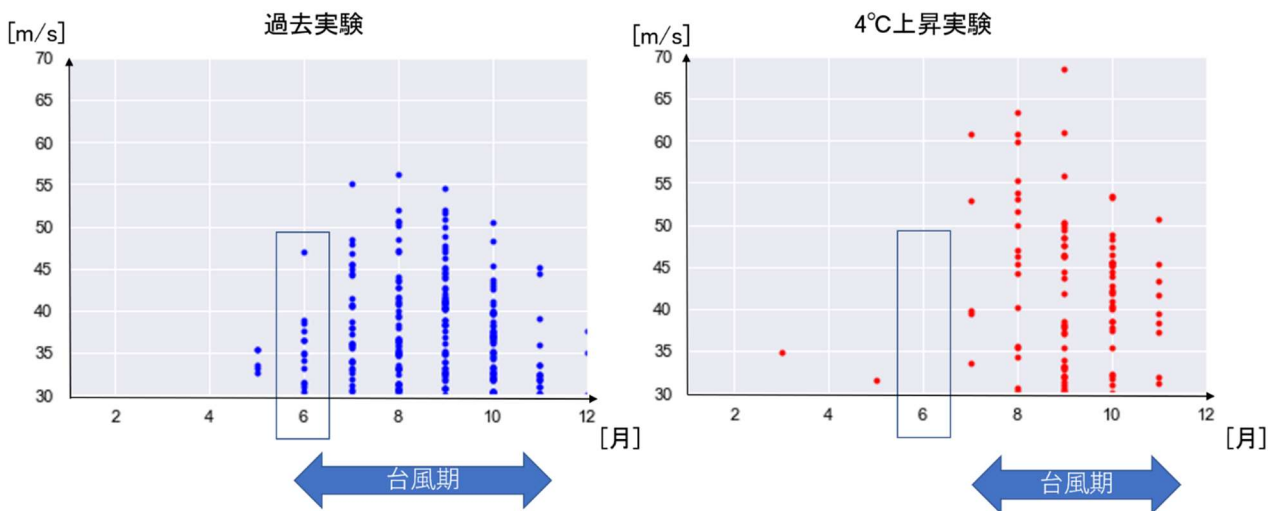


図3: 最大風速/縦軸: 風速[m/s], 横軸: 月[月]

4-2. 常時波浪

海岸地形や水質環境などは、極端波浪だけでなく、常時波浪の影響をより強く受ける。海上風の風速が 10m/s 以上になると波浪が発達するため、常時波浪の検討では、図2の風速 10m/s 以上の全データを対象とした。図2を見ると、過去実験に比べると、4°C上昇実験の方が全体的に強風の頻度が少ないため、将来の波浪はやや小さくなると推察される。そこで風速の全データの平均を用いて、吹送距離 10km で固定し、SMB 法で波高を求めると図4のように 4°C 上昇実験の方が波高が小さくなっていることが確認できる。図5は、沖合の参照地点で強風が発生する7月と8月に対して、月平均風速をベクトル表示したものである。1メンバあたり60年分の月平均風速が得られるが、これを10年分ずつ平均してベクトルを表示しており、過去・将来共に54個のデータがベクトルで表示されている。同図を見ると、過去実験では西～北西方向への風速が多いのに対し、昇温実験では北～北東方向への風速が多いことがわかる。波浪は風の向きの方角に発達するため、常時波浪の波向きは時計回りに大きく変化すると考えられる。これは、台風の経路が変化することが大きく影響していると考えられる。

常時波浪の波向きが時計回りに変化することは海浜変形に大きく影響を及ぼすと考えられる。海岸の砂浜は波を減衰させて人が住む地域への侵入を防ぐ重要な役割を担っている。近年、ダム建設などの人為的改変により海岸に供給される土砂量が減少している。また、海岸浸食によって砂浜の面積が少なくなっている。将来常時波浪の波向きが大きく時計回りに変化することから、海浜変形や海岸浸食の仕組みが変わり、より一層海岸施設の整備が重要になるだろう。

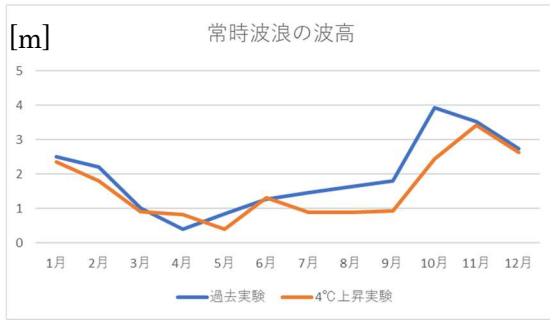


図 4: 常時波浪の波高

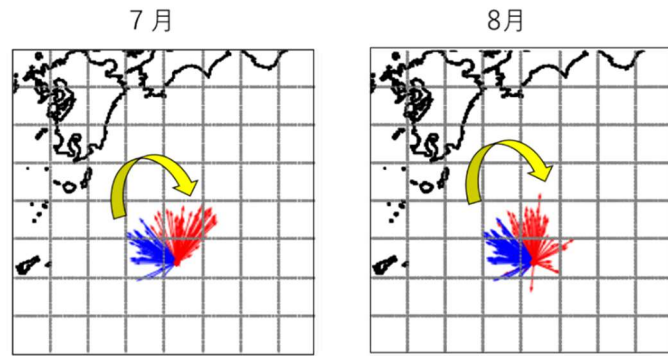


図 5: 月平均風速をベクトル表示したもの
青: 過去実験 , 赤: 4°C 上昇実験

5. 結論

本研究では、大気モデルを用いたアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)を用いて、高知周辺海岸に焦点を当てて波浪特性の将来変化を検討した。気温上昇を想定した4°C上昇実験では、極端事象が増加し風速が約15%増加するため、海岸施設の設計波高は約30%増加することが分かった。また、極端波浪の来襲時期は1か月程度遅くなることも確認できた。さらに、常時波浪の強度は過去と比べると弱くなるが、波向きは時計回りに大きく変化するため、海岸への影響が大きく表れると考えられる。これらの将来変化に対する海岸保全の対応には数十年の期間が必要なため、早期に対応に着手する必要がある。

“「海岸防護」は、高潮、津波、波浪の侵入から国民の生命、財産を守り、国民の共通の資産である海浜を浸食から守ることである。”(国土交通省,2020,p2)とあるように、極端波浪に合わせたむやみやたらに高い防波堤を作るのみではなく、居住地をリスクの低い高所に誘導するなど多重的な対策を講じることがこれからの課題である。

参考文献

- 1) 田川(2020): 気候変動下における高知海岸来襲波浪と漂砂特性の変化, 高知工科大学卒業研究.
- 2) 荒井(2021): 高知海岸の来襲波浪に及ぼす気候変動の影響, 高知工科大学卒業研究.
- 3) d4PDF. ”DIAS データ統合・解析システム”. d4PDF データダウンロードシステム.
<https://dias.jp.net/service/d4pdf-data-download/> (2023年1月19日 閲覧)
- 4) 国土交通省. ”気候変動を踏まえた海岸保全のあり方”. 気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/hozen/index.html (2023年1月19日 閲覧)
- 5) Odériz, R. Silva, T. R. Mortlock, N. Mori, T. Shimura, A. Webb, R. Padilla-Hernández, S. Villers (2021) : Natural Variability and Warming Signals in Global Ocean Wave Climates
<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2021-06-15-2>, (2023年1月24日 閲覧)