

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 4 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289153

研究課題名(和文) 気候システムの自然変動と沿岸災害リスクについてのインパクト評価

研究課題名(英文) Impact assessment of natural variability of climate system on coastal disaster risk

## 研究代表者

森 信人 (Mori, Nobuhito)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：90371476

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：波浪の長期変動に見られる線形トレンドに加えて、数ヶ月～数十年周期の変動成分についての評価を行った。全球の月平均波高Hsに対する主成分分析の結果、数十年以上の変動である第1および第2モードに続く、第3モードが5年から10年の変動成分を持つことがわかった。さらに、冬季月平均波高とWestern Pacific (WP) インデックスの相関から、日本海沿岸および東日本太平洋沿岸と西日本太平洋沿岸の間で、WPパターンに対する波高変動の応答は逆であることを明らかにした。最後に、北太平洋域における冬季平均波高の将来変化予測より、将来の北西太平洋北緯30度付近の冬季波高は減少する可能性が高いことがわかった。

研究成果の概要(英文)：This study analyzed seasonal to multi-decadal variation of long-term wave climate based on JRA-55 reanalysis and future wave climate projections. The 3rd mode of monthly mean wave height shows 5 to 10 year period variations based on principal component analysis. The monthly mean wave height in winter season shows clear correlation between Western Pacific (WP) index. The response of monthly mean wave height in winter season around Japan to WP index is opposite in comparison between the eastern and western Pacific coast of Japan. Furthermore, future changes of monthly mean wave height in winter season around 30 degree in the latitude will be decreased based on multi-model ensemble of future wave climate projection.

研究分野：海岸工学

キーワード：防災 海洋科学 自然現象観測・予測

### 1. 研究開始当初の背景

温暖化影響評価研究では、海面上昇などの長期トレンドの予測が重要課題の1つであり、次のIPCC第5次報告書でも1章を割いて議論されている。海水温(SST)や風速の長期的な観測や将来予測の結果は、長期トレンドに加えて、気候システムの自然変動に起因する数年～十数程度の変動(以下、自然変動)を示している。同様な変動特性は、海面上昇等、他の現象でも見られ、影響評価では長期トレンドに加えてこの自然変動をどう評価するのかが重要な課題である。特に長期変化を評価する上で、自然変動のウェイトは、全球から日本等の領域スケールへと狭くなるに従って顕著になり、領域スケールの影響評価や適応策を考える上で大きなウェイトを占める。また、このような自然変動の影響は、海浜変形の長期変化でも重要である。

### 2. 研究の目的

工学的に重要な暴波浪災害や海岸侵食などの評価には、波浪の長期的な変動特性を明らかにする必要がある。このような波浪場の長期変動には温暖化影響評価で評価される線形的なトレンドの他に数ヶ月～数年周期の変動成分が見られるが、後者についてはほとんど検討されていない。

本研究は、気候に起因する数ヶ月～十数年の自然変動に着目し、気候と波浪の長期変動の関係を明らかにすることを目標とする。特に海岸工学で重要となる平均波浪場や極限波浪場に着目し、1)数ヶ月～十数年の変動特性、2)自然変動の要因、3)沿岸災害の発生と自然変動との関係、さらに自然変動の将来変化予測を目的とする。

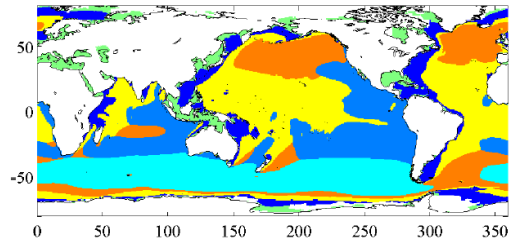
### 3. 研究の方法

研究の実施では主に波浪に関する以下の3項目に着目し、実施した。

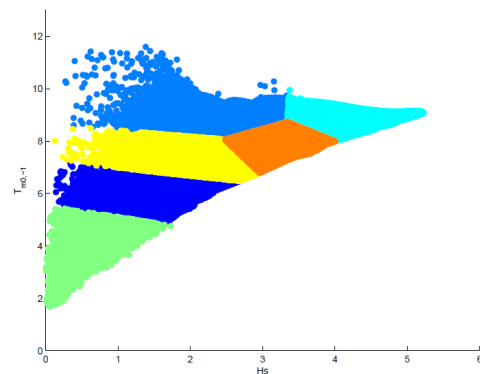
- 1)過去の気候自然変動・長期沿岸リスク変化の解析
- 2)沿岸災害リスクに関わる自然変動要因の抽出
- 3)沿岸災害リスクの将来変化予測

項目1で、主に過去の気象、波浪、海浜の観測・解析値を用いて、現在までの長期沿岸リスクと気候自然変動について解析する。項目2では、項目1で得られた気候と沿岸災害リスクの長期トレンドや変動について解析し、気候システムの自然変動とリンクした沿岸災害リスク、海域、季節依存性等について明らかにする。さらに海洋や大気の変動指数からそれぞれの沿岸災害リスクを予測する手法を構築する。最後に項目3では、項目2の結果を気候変動予測結果に適用し、将来の沿岸災害リスクの変動を評価する。全体を通して、気候自然変動と各沿岸災害リスクの関係を評価する。

### 4. 研究成果



(a) JRA-55 の解析結果



(b) Hs-Ts のクラスター分析結果

図1 月平均波高 Hs と月平均周期 Ts のクラスター分析結果と空間分布の関係

#### (1) 全球評価

全球の波浪の自然変動の評価を行った。JRA-55を外力として、スペクトル型波浪モデル(WaveWatchIII)を用いた全球の長期波浪推算を実施し、精度検証を行った。ついで得られた結果の詳細な解析を行い、波浪特性の長期変動特性について明らかにした。

波浪の計算条件は、計算期間は JRA-55 と同じ 1958 年から 55 年間、計算範囲は全球を対象とした。また、空間解像度は JRA-55 と同じ約 60km、時間解像度は 1 時間であり、海底地形は米国地球物理データセンター(NGDC)のデジタル地勢データ ETOPO5 を用い、300m 以深は深海条件として計算した。さらに、観測海水分布データを用いて、極域の海水についても波浪推算で考慮した。

波浪計算の外力である JRA-55 の高度 10m 風速  $U_{10}$  と波浪推算結果の代表統計量である有義波高 Hs および有義波周期 Ts の計算精度については、洋上の長期観測データ(以下ブイデータ)および ESA の GlobWave による衛星高度計データとの比較検証した。その結果、十分な精度の過去再現結果が得られた。

上記の計算結果は、これまでの長期波浪推算結果と比較して、JRA-55 による平均波高および極大波高の推定精度が良いことがわかった。そこで月平均波高と月平均周期の関係についての解析を行った。図 1 に示すのは、JRA-55 の各月の Hs と Ts の関係を k 平均クラスター分析した結果であり、図 1(a)は類似度

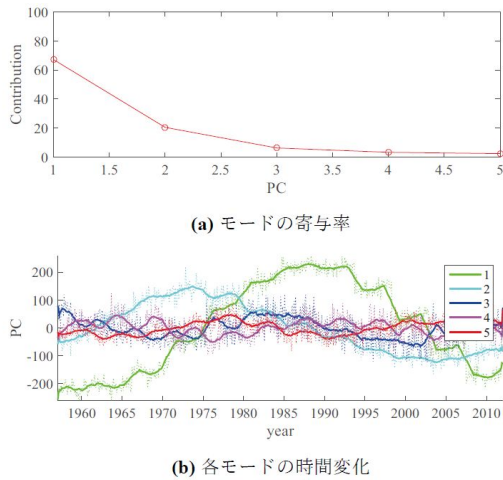


図2 月平均波高 Hs に対する主成分分析のモードの寄与率と時間変化

で分類した空間分布であり、(b)は、クラスター分析された Hs と Ts の分類である。Hs と Ts を6種類のクラスターに分類した結果、月平均周期が長い、うねりの割合が大きい赤道域では、ERA-40 等のこれまでの結果と差異は大きく、南極海やインド洋などの短いフェッチもしくは風波が支配的な海域での差は小さいことがわかった。また、本研究で得られた結果より、日本周辺は日本海側と太平洋側で波浪特性がはっきりと異なる分類に分かれ、それぞれ特徴的な Hs と Ts の関係を持つことがわかった。

ついで推算された長期波浪データをもとに、Hs の長期変動(以下変動)と温暖化影響によるトレンドについて解析を行った。月平均波高 Hs に対する主成分分析の第1モードの分布である。第1モードの空間分布は、南極海の陸近傍を除くと平均波高の空間分布と非常に似ている。主成分分析で表される年々変動については、図2に示すように、主成分の3成分の寄与が支配的であり、第1から第3モードの寄与率は65.4%、21.1%、6.1%である。特に第1モードは、房総半島付近を挟んで東西で符号が逆転しており、日本周辺の領域スケールでも、変動成分の日本沿岸への寄与が海域に依存することがわかった。また、主成分分析のモードの時間変化より、数十年以上の変動である第1および第2モードに続く、第3モードが5年から10年の変動成分を多く持つことがわかった。

## (2) 日本領域の評価

全球の結果をもとに、日本領域の波浪の自然変動について解析を行った。先行研究より、日本の冬季の波浪特性には、北太平洋で卓越するテレコネクションパターンの1つとして West Pacific (WP)パターンが重要であることがわかっている。WPパターンの変動に対応した北太平洋域の温帯低気圧経路の南北シフトにより、北太平洋域で帯状の波高変動パターンが存在し、特に北西太平洋北緯30度付近における波高変動は、WPパターンに対応

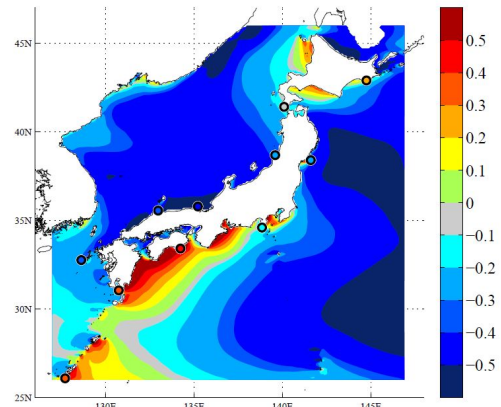


図3 冬季月平均波高とWP インデックスの相関係数の空間分布。

した波高変動パターンの影響を強く受ける。WPパターンは、対流圏中上層高度場(例えば、500hPa 高度)偏差に経験直交関数(EOF)解析を適用することで定義される。対流圏中上層高度の温暖化条件下の将来変化は、熱力学的な変化および大気循環場の変化を含む。ここでは、大気循環場の変化のみを扱うために、熱力学的変化(気温上昇)があまり影響しないと考えられる海面更正気圧(Sea Level Pressure: SLP)の月平均値によって WP パターンを定義する。北太平洋中高緯度における SLP 南北勾配は、WPパターンが正(負)のフェーズのとき大きくなる(小さくなる)。

この WP パターンの変化に対応した冬季波高変化の日本沿岸に対する影響について、検討した。JRA-55にもとづく日本周辺の高解像度波浪計算結果を用いて全球の波浪解析結果をもとに検討を行った。冬季月平均波高と WP インデックスの相関係数分布を図3に示す。日本海沿岸および東日本太平洋沿岸と西日本太平洋沿岸の間で、WPパターンに対する波高変動の応答は逆である。日本海沿岸および東日本太平洋沿岸(西日本太平洋沿岸)では、WPパターンが正のとき平均波高が減少(増加)する。WPパターンに対する風速の変動については、日本海沿岸および東日本太平洋沿岸と西日本太平洋沿岸の間での応答の逆転は見られない。つまり、日本海沿岸および東日本太平洋沿岸と西日本太平洋沿岸の間での応答の逆転は波浪独特の要因に因るものである。

最後に、北太平洋域における冬季平均波高の将来変化予測を行った。波浪の将来変化予測は、それぞれ(a) A1B シナリオにもとづくシングル GCM アンサンブル実験(12 アンサンブルメンバー)、(b) RCP8.5 シナリオにもとづくシングル GCM アンサンブル実験(4 メンバー)、(c) RCP4.5 シナリオにもとづくマルチ GCM アンサンブル実験(8 メンバー)、(d) RCP8.5 シナリオにもとづくマルチ GCM アンサンブル実験(8 メンバー)を用いた。いずれの

将来予測においても、北西太平洋北緯 30 度付近で波高の減少(最大-0.3m 程度)が見られた。一方で、北太平洋中央部から東部では、波高増大または減少が見られ、予測結果間の整合性の低さから予測の不確実性が高いといえる。以上の結果より、北西太平洋北緯 30 度付近の将来の冬季波高は減少する可能性が高いことがわかった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

##### [雑誌論文](計 16 件)

- Shimura T., N. Mori and H. Mase (2015) Future projection of ocean wave climate: analysis of SST impacts on wave climate changes in the Western North Pacific, *Journal of Climate*, Vol.28, pp.3171-3190.
- Shimura T., N. Mori and H. Mase (2015) Future projections of extreme ocean wave climates and the relation to tropical cyclones -Ensemble experiments of MRI-AGCM3.2H, *Journal of Climate*, Vol.28, pp.9838-9856.
- Mori, N., M. Kato, S. Kim, H. Mase, Y. Shibutani, T. Takemi, K. Tsuboki and T. Yasuda (2014) Local amplification of storm surge by Super Typhoon Haiyan in Leyte Gulf, *Geophysical Research Letters*, 10.1002/2014GL060689
- Nakajo, S., N. Mori, T. Yasuda and H. Mase (2014) Global stochastic tropical cyclone model based on principal component analysis with cluster analysis, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol.53, pp.1547-1577.
- Hemer, M.A., Y. Fan, N. Mori, A. Semedo and X.L.Wang (2013) Projected changes in wave climate from a multi-model ensemble, *Nature Climate Change*, 6p., doi:10.1038/nclimate1791.
- Shimura T., N. Mori and H. Mase (2013) Ocean waves and teleconnection patterns in the Northern Hemisphere, *Journal of Climate*, American Meteorological Society, 26, pp.8654-8670.
- Kitano, T., S. Jayaprasad, W. Kioka (2015) An Extended Poisson test for detecting the difference between the past and future rates of extremes of sea wave height, *Procedia Engineering*, Vol. 116, pp.583-591.
- 北野利一・喜岡 渉 (2015) 気候変動による影響の検出に伴う 2 つの過誤のバランス, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol. 71, No. 2, p. I\_97-I\_102.
- 北野利一・高橋倫也・田中茂信 (2015) 降水量の極値特性の気候変動に伴う差異の検出～変化の現れ方の想定により生じる問題, *水工学論文集*, 第 59 巻, pp.I\_361-I\_366.

- 加島寛章・平山克也・森信人 (2014) 最高波高の出現頻度を考慮した防波堤の波圧特性, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol.70, No.2, I\_1021-I\_1025.
- 北野利一・高橋倫也・田中茂信 (2014) 極値統計解析による降水量の上限の推定可能性, *水工学論文集*, 第 58 巻, pp.451-456.
- 森 信人・高木友典・川口浩二・加島寛章・間瀬 肇・安田誠宏, 島田広昭 (2013) 2012 年 4 月 3~4 日に日本海で急発達した低気圧による暴波浪特性, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol. 69 (2013) No. 2, p. I\_126-I\_130
- 中條壮大・金洙列・森 信人・安田誠宏・間瀬 肇・山田文彦 (2013) 確率台風モデルと観測台風資料を組み合わせた高潮イベントアトリビューション —八代海を対象とした最悪台風経路の基礎的検討—, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol. 69, No.2, p. I\_366-I\_370.
- 中條壮大・森信人・安田誠宏・間瀬肇 (2013) 時系列相関型の全球確率台風モデルの開発, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol. 69, No.1, p. 64-76.
- 北野利一・信岡尚道・喜岡 渉, 観測期間長の曖昧な伝説的記録を含む水域外力の極値統計解析 (2013) *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol. 69, No. 2, p. I\_111-I\_115.
- 北野利一・高橋倫也・田中茂信, 降水量の極値の予測区間 ~ 確率降水量の信頼区間を誤解していませんか? (2013) *土木学会論文集 B1 (水工学)* Vol.69, No.4, pp.I\_271-I\_276.

##### [学会発表](計 6 件)

- Kitano, T. (2015) A Simple but Enhanced Test for Detecting the Occurrence Difference in Past and Future Climates, *Extreme Value Analysis*, Ann Arbor, USA, 15-19th June, 2015.
- Kitano, T. (2015) Balancing Two Types Errors in Detecting the Difference between the Occurrence Rates of Extremes due to the Climate Change, *International Conference on Advances in Extreme Value Analysis and Application to Natural Hazards*, IH Cantabria, Santander, Spain, 16-18th Sept. 2015.
- Mori, N., T. Shimura, S. Nakajo, D. Tsujio, T. Yasuda, H. Mase and K.D. Suh (2013) Projection of future wave climate change and application to coastal structure design, *Proceedings of Breakwater Conference*, Edinburgh, 9p.
- Kashima, H., K. Hirayama and N. Mori (2013) Numerical study of aftereffects of offshore generated freak waves shoaring to coast, *Proceedings of Coastal Dynamics*

2013, Arcachon, France, #086, 10p.  
Yasuda, T., D. Tsujio, N. Mori and H. Mase  
(2013) Hindcast of extreme swell and damage analysis of composite breakwater with wave-dissipating blocks, Proceedings of Coastal Dynamics 2013, Arcachon, France, #186, 10p.  
Nakajo, S., N. Mori, S. Kim and T. Yasuda,  
Consideration of applicability of stochastic tropical cyclone model for probability assessment of storm surge, Proceedings of 7th International Conference on Asian Pacific Coasts, Bali, Indonesia.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

<http://www.coast.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

森 信人 (MORI, Nobuhito)  
京都大学・防災研究所・准教授  
研究者番号：90371476

### (2) 研究分担者

間瀬 肇 (MASE, Hajime)  
京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号：30127138

北野 利一 (KITANO, Toshikazu)  
名古屋工業大学・工学研究科・准教授  
研究者番号：00284307

中條 壮大 (NAKAJO, Sota)  
熊本大学・自然科学研究科・助教  
研究者番号：20590871

栗山 善昭 (KURIYAMA, Yoshiaki)  
独立行政法人 港湾空港技術研究所  
特別研究官  
研究者番号：60344313

平山 克也 (HIRAYAMA, Katsuya)  
独立行政法人・港湾空港技術研究所  
海洋研究領域・波浪研究グループ・グループ長  
研究者番号：60371754

川口 浩二 (KAWAGUCHI, Koji)  
独立行政法人・港湾空港技術研究所  
海洋情報・津波研究領域・海象情報研究グループ・グループ長  
研究者番号：50371753

### (3) 連携研究者

向川 均 (MUKOUGAWA, Hitoshi)  
京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号：20261349

竹見 哲也 (TAKEMI, Tetsuya)  
京都大学・防災研究所・准教授  
研究者番号：10314361

安田 誠宏 (YASUDA, Tomohiro)  
京都大学・防災研究所・助教  
研究者番号：60378916

加島 寛章 (KASHIMA Hiroaki)  
独立行政法人 港湾空港技術研究所  
海洋研究領域・波浪研究グループ・主任研究官  
研究者番号：60463098