

平成 31 年 4 月 23 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K06243

研究課題名(和文) 気候変動に伴う海面上昇と波候変化に対する海浜応答の全球的予測とリスク評価

研究課題名(英文) Global Prediction and Risk Estimation of Coastal Response to Sea Level Rise and Wave Climate Change under the climate change

研究代表者

伴野 雅之 (Banno, Masayuki)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・主任研究官

研究者番号：80549204

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、様々な海岸で観測された地形変化、波浪、海面水位のデータをもとに数値計算モデルを構築し、過去の地形変化を再現するとともに、将来の海面上昇や波候の変化によって生じる地形変化を予測し、波の遡上範囲の将来変化を示すことで、海浜における気候変動に伴うリスクを検討した。海面上昇と波候の変化によってこれまでに経験したことのない海岸侵食、水際線の後退、波の遡上が生じる可能性があり、適応策の検討の必要性を示した。また、そのリスクは全球的に一様ではなく、海面上昇や波候変化の大きさの空間的な違いや海岸の特性によっても大きく異なることが予測された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動に伴う外力変化によって海浜地形は大きな影響を受けると危惧されていながらも、そのリスクを定量的に評価した事例は、これまでに前例がなく、本研究で海浜における気候変動の影響評価の手法を確立したことは、適応策の検討を行う上で非常に重要であり、全球スケールでの計画的な海浜保全事業の立案にも大きく寄与すると考えられる。本研究によって構築された地形変化モデルは、将来における台風等の高波浪時における一時的な侵食量等を評価することも可能なものであり、学術上の価値だけでなく、防災面での利用も期待され、社会的な有益性も高い。

研究成果の概要(英文)：This study developed the numerical model for simulating shoreline changes based on the observation data of waves, water levels and beach profile changes at several beaches. The shoreline changes in the past were hindcasted by the model. The future shoreline positions and the wave runup due to the sea level rise and wave climate changes were also predicted. It was predicted that the sea level rise and wave climate changes would cause the unexperienced erosion, shoreline retreats and wave runup. The risks will be different among beaches due to the physical characteristics of the beaches and the spatial variations in the sea level rises and wave climate changes.

研究分野：海岸工学

キーワード：気候変動 砂浜 海面上昇 波高 汀線変化 長期観測データ 将来予測 海浜変形

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第 5 次報告書では、今後 100 年間の海面上昇量は最大で 82cm という第 4 次報告書を大きく上回る予測値が公表された。また、気候変動による風候の変化に伴って波候についても変化が生じ、平均波高や極値波高は全球的に多様に変化することが報告されている。これらの変化に対して海浜地形にも大きな変化が生じると考えられ、特に潮間帯においては外力の変化によって大きな影響を受けると考えられる。海浜は防災および環境の機能を有しており、全球的にどのような場所で、どの程度の侵食が生じるのかを予測することは海岸管理上、非常に重要性が高い。特に我が国のような島嶼国においては国土保全に係る重要な事案の一つである。

海面上昇や波候変化は全球で一様なものではなく、地域によってその変化は様々である。また、海浜の物理的環境 (例えば、底質粒径や潮汐差) についても、海浜ごとに大きく異なる。そのため、気候変動に伴った海浜の地形変化及びそのリスクを各海浜において予測・評価するためには、様々な海浜で適用可能な一般化されたツールが必要であった。

海面上昇に対する海浜地形の変化を予測する手法としては、Bruun 則と呼ばれる予測手法がある (図-1)。これは地形断面が水深によって規定されると仮定し、海面水位の上昇に従って地形断面が平行移動することを用いたもので、その適用のしやすさから、これまでいくつかの非常に有用な結果が得られている。しかしながら、Bruun 則は平衡状態における長期的な地形断面の変化を予測することはできるものの、時々刻々変化する波に対する非平衡状態の地形断面を予測することはできない。つまり、将来における一回の台風などのイベントによって、一時的にどの程度の侵食が生じ得るかといったことについては予測できず、沿岸災害リスクを評価する上では不十分であった。

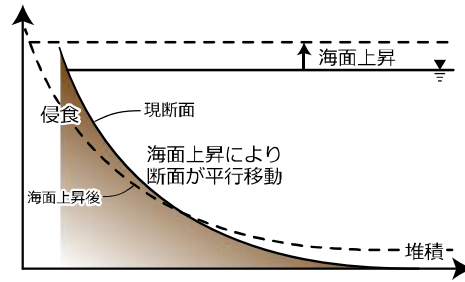


図-1 Bruun 則の概念図

2. 研究の目的

本研究では、将来の気候変動による海浜地形変化を全球的に予測し、そのリスクを評価することで、砂浜における気候変動に対する適応策の検討に資することを目的とした。具体的には、波浪と海面水位の影響を考慮した潮間帯の地形変化を予測できる数値モデルを開発し、現地観測データに基づいた過去再現計算を実施し、その精度を検証した。さらに、大気循環モデルと波浪推算モデルによって予測された将来波浪データおよび将来海水準データに対応した将来シナリオに対して、地球上の複数の海浜において将来の海浜地形変化を予測し、沿岸災害リスクを評価した。

3. 研究の方法

(1) 概要

本研究では、全球における海浜地形変化予測の第一歩として、環太平洋圏の茨城県波崎海岸、愛知県浜浜海岸、カリフォルニア州 Ocean Beach を対象にした。なお、本研究実施期間中にはフランスの Porsmilin 海岸、Truc Vert 海岸、オーストラリアの Collorary-Narrabeen 海岸などのデータ収集・整理も合わせて行い、今後の研究発展に備えた。本研究は、地形変化モデルの構築、汀線変化の過去再現計算、気候変動に伴う汀線変化予測とリスク評価の 3 点を軸に実施し、海浜地形の将来予測手法を確立させたことで、今後の全球の海浜地形変化予測に対して重要な発展となった。

(2) 地形変化モデルの構築

本研究では岸沖方向の土砂移動による潮間帯付近の地形変化を対象とした平衡型地形変化モデルであり、波浪エネルギーを基本外力とするものである。モデルの基本式は式(1)で表され、それぞれの波浪や海面水位に対応した平衡断面（平衡汀線位置）が存在し、現断面は平衡断面に漸近するように時間的に変化するとした。

$$\frac{dy_s}{dt} = a_{force} (y_{eq} - y_s) + \varepsilon \quad (1)$$

ここで、 dy_s/dt : 汀線変動量 (前進を正)、 a_{force} : 漸近の程度を表すパラメータ (漸近率)、 y_{eq} : 平衡汀線位置、 y_s : 現在の汀線位置、 ε : 残差である。なお、高波浪時における侵食は急速に生じるものである一方、静穏時の堆積はゆっくりと生じるものであることから、平衡汀線位置への漸近率 a_{force} は式(2)のように定式化した。

$$a_{force} = \beta_1 E_f^{0.5} \quad (2)$$

ここで、 β : 係数、 E_f : 沖波エネルギーフラックスである。

本研究では、潮間帯の地形変化 (汀線変化) を対象とすることから、波浪と海面水位に対応した平衡汀線位置を式(3)のように定式化した。平衡汀線位置の定式化は、Bruun 則に基づいて

おり、時々刻々変化する波浪と海面水位に従って平衡断面も時々刻々変化する事で、地形変化が生じる。これにより、波候の変化による影響だけでなく、海面上昇によって生じる地形変化を評価可能にした。また、モデルにはキャリブレーションが必要なパラメータが存在し、それらは各海浜の観測データを用いて調整する必要がある。

$$\begin{aligned}
 y_{eq} &= y_{eq, fixed} + y_{eq, random} \\
 &= (y_0 + \Delta y_{SLR}) + y_{eq, random} \\
 &= \left(\frac{\beta_3 E_f^{0.5} + \beta_4}{\beta_1 E_f^{0.5} + \beta_2} + \frac{(\beta_5 E_f^{0.5} + \beta_6)(\eta_{ave} - \bar{\eta}_{ave})}{\beta_1 E_f^{0.5} + \beta_2} \right) + y_{eq, random} \quad (3)
 \end{aligned}$$

ここで、 $y_{eq, fixed}$ ：平衡汀線位置、 $y_{eq, random}$ ：平衡汀線位置の不確実性を表す項、 y_0 ：波浪によって求まる平衡汀線位置、 Δy_{SLR} ：海面上昇による平衡断面の遷移に伴う平衡汀線位置の変化、 η_{ave} ：海面水位である。

(3)汀線変化の過去再現計算

上述したモデルを用いて、波崎海岸、表浜海岸、Ocean Beach において汀線変化の過去再現計算を行った。再現計算に用いた地形観測データの期間は、それぞれ 1986 年～2006 年（波崎海岸）、1999 年～2013 年（表浜海岸）、2004 年～2016 年（Ocean Beach）である。波崎海岸では休日を除くほぼ毎日の観測が行われており、表浜海岸では週に 1 回程度、Ocean Beach では月に 1 回程度の観測が行われている。再現計算のタイムステップはいずれも 1 日であり、それぞれ 1 日ごとの平均沖波エネルギーフラックス、平均海面水位を入力値として計算を実施した。波浪データには観測値のほかに、気象再解析データをもとにした波浪推算結果を用い、海面水位データは近隣の検潮所の観測値を基本とした。モデルパラメータは過去の汀線変動を最も良く表すようにキャリブレーションし、各海浜におけるパラメータの値からモデルの汎用化に向けた情報を捉えた。

(4)気候変動に伴う汀線変化予測とリスク評価

将来の波浪と海面水位のシナリオデータを作成し、キャリブレーションされたモデルによって波崎海岸および Ocean Beach における今世紀末までの汀線変化を予測した。予測計算におけるタイムステップは再現計算と同様に 1 日とした。また、波崎海岸においては、波の遡上高をもとに将来の浸水確率を求めることで、気候変動による影響を評価した。

4. 研究成果

(1)汀線位置の再現計算によるモデルの検証

本モデルを用いて計算した波崎海岸の汀線位置は良好な再現結果を示しており（図-2）、特に H.W.L. 付近の地形変化に対して適合度が高かった。一方で、H.W.L. よりも低い場所の地形変化に対しては適合度が低く、本モデルでは再現できない複雑な地形変化が生じていると考えられた。また、本モデルで考慮されていないメカニズムによって長期的な堆積や侵食が生じており、それらの要因についてはさらなる検討が必要である。

同様に、表浜海岸と Ocean Beach においても再現計算を行った結果、非常に良好な再現結果が得られた（図-3）。最適なパラメータ決定の手法やパラメータを粒径や潮汐差等の物理指標と関連付けるモデルの一般化についてはまだ十分な成果が得られていないけれども、観測データを有する海浜においては、良好な過去再現が可能であり、本モデルを用いて将来予測を実施する上では大きな問題は生じないと考えられた。なお、本モデルは岸沖漂砂による地形変化を再現するモデルであることから、沿岸漂砂が卓越する海岸においては、沿岸漂砂による地形変化の影響を除いた上でモデルを適用する必要がある。そのため、沿岸漂砂と岸沖漂砂による地形変化を分離する手法についても十分に検討する必要がある。

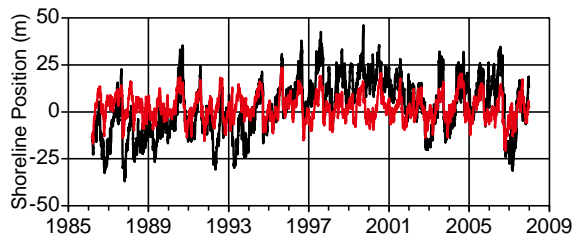


図-2 波崎海岸における汀線位置の観測値（黒）と計算値（赤）

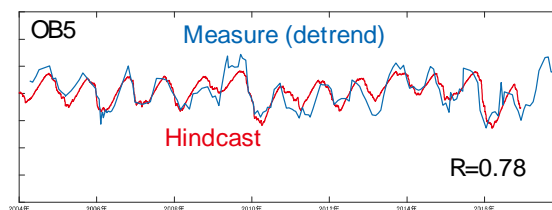


図-3 Ocean Beach における汀線位置の観測値（青）と計算値（赤）

(3)将来予測結果およびリスク評価

将来の平均波高が 3% 減少し、超過確率 1% の波高（極大波相当）が 15% 増加するとともに、100 年間の海面上昇量が 59cm となる将来シナリオに対する波崎海岸の将来の汀線位置の予測結果（図-4）は、50 パーセントイル値で汀線が約 10m 後退する（侵食が生じる）ことが示さ

れた。同時に、極大波高の増大によって一時的に顕著な汀線の後退が生じており、これまで経験したことのない侵食が生じることが予測された。また、Ocean Beach における同様の検討では、150cmの海面上昇が生じるシナリオを用いた場合、波崎海岸と同様の約 10m の汀線の後退が予測され、海岸によって影響の大きさの程度が異なることが示された。この予測結果については、まだ予測精度における課題が残っているものの、本研究によって汀線変化の将来予測手法が確率で切れおり、今後の全球予測において重要な発展となった。

なお、この汀線位置は現在の基準水面における汀線位置であることから、基準面上昇によって実際の海岸線はより陸側に位置する。将来の波の遡上高も基準面の変化と波浪の変化によって現在とは大きく異なると考えられる。図-4 に示す波の遡上高を地形変化と併せて考慮し、波崎海岸における波の遡上に伴った浸水域を求めることで気候変動による影響を評価した(図-5)。その結果、現在では80年間に1日程度しか波の遡上が到達しない場所(基準線-70m)においても、将来は1年間に3.2日も波の遡上が到達するようになることが示された。つまり、海面上昇によって水際線が陸側に移動すると同時に、気候変動に伴った海岸侵食が生じることで、海浜における沿岸災害リスクは大きく高まると考えられた。

海面上昇は全球的に生じるものであることから、全球の多くの海浜において汀線の後退が生じると考えられる。波候変化については、全球の多くの海浜においても海面上昇と比較して影響は小さいと考えられるが、極大波によって一時的に生じる汀線の大幅な後退は、沿岸災害を引き起こす可能性があることから、極大波高が増加すると予測されている海岸においては、特に海岸管理上の注意が必要である。将来においては、気候変動によって今まで発生したことのない規模での海岸侵食、水際線の後退、波の遡上が生じることが懸念され、今後適応策を早急に検討していかなければならない。

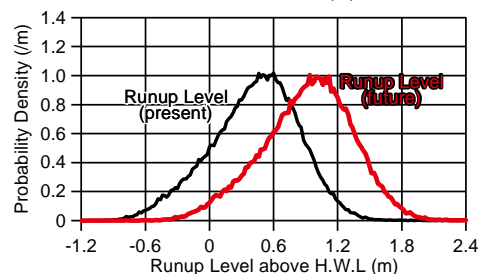
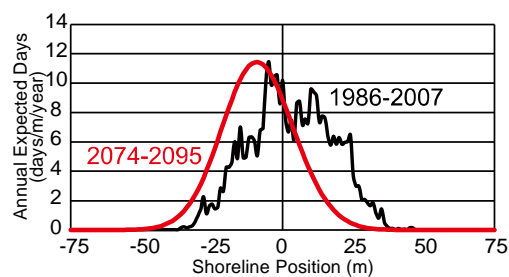


図-4 波崎海岸における現在と将来の汀線位置の確率分布(上段)および波の遡上高の確率分布(下段)

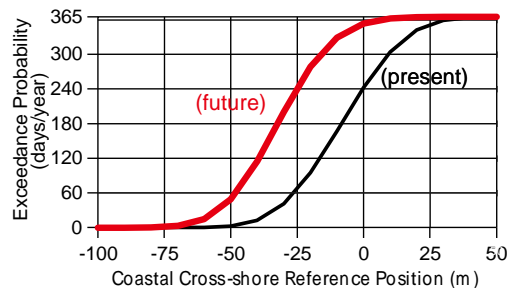


図-5 波崎海岸の現在と将来における各基準線における波の遡上の超過確率

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

1. Masayuki Banno and Yoshiaki Kuriyama: Sea-level Effect on Annual Cyclic Beach Morphology in Swash Zone at Hasaki Coast, Coastal Engineering Proceedings, 1 (36), 35, 2018.
DOI: 10.9753/icce.v36.sediment.35
2. Yoshiaki Kuriyama, Masayuki Banno: Countermeasure Against Erosion Behind Submerged Breakwater Due To Sea Level Rise, Coastal Engineering Proceedings, 1 (36), 62, 2018.
DOI: 10.9753/icce.v36.structures.62
3. Kuriyama, Y. and Banno, M.: Shoreline change caused by the increase in wave transmission over a submerged breakwater due to sea level rise and land subsidence, Coastal Engineering, 112, 9-16, 2016.
DOI: 10.1016/j.coastaleng.2016.02.003
4. Patrick L. Barnard, Andrew D. Short, Mitchell D. Harley, Kristen D. Splinter, Sean Vitousek, Ian L. Turner, Jonathan Allan, Masayuki Banno, Karin R. Bryan, André Doria, Jeff E. Hansen, Shigeru Kato, Yoshiaki Kuriyama, Evan Randall-Goodwin, Peter Ruggiero, Ian J. Walker & Derek K. Heathfield: Coastal vulnerability across the Pacific dominated by El Niño/Southern Oscillation, Nature Geoscience, 8, 801-807, 2015.
DOI: 10.1038/ngeo2539
5. Nadeem Ahmad, Takayuki Suzuki and Masayuki Banno: Analyses of Shoreline Retreat by Peak Storms using Hasaki Coast Japan Data, Procedia Engineering, 116, 575-582, 2015.
DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.328
6. 伴野雅之・栗山善昭・中川康之・橋本典明: 沿岸災害リスクの評価に基づく海浜の確率的維持管理手法, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 71, 511-516, 2015.
DOI: 10.2208/kaigan.71.I_511

7. Banno, M., Kuriyama, Y. and Hashimoto, N: Equilibrium-based foreshore beach profile change model for long-term data, The Proceedings of the Coastal Sediments 2015, 2015.
DOI: 10.1142/9789814689977_0235

〔学会発表〕(計5件)

1. Masayuki Banno: Global-scale Prediction of Shoreline Response. Hindcast and Future Projection to Climate Change, The 6th KIOST-PARI-CDIT-WAVE Joint Workshop, 2018年12月11日, 福岡
2. 伴野雅之: 長期地形観測から見る砂浜の未来, 第14回環境研究シンポジウム, 2016年11月22日, 一橋講堂
3. Banno, M., Kuriyama, Y. and Hashimoto, N.: Shoreline Measurement for 30 Years and Projection by the End of This Century, Ocean Sciences Meeting 2016, 2016年02月21日~2016年02月26日, New Orleans, USA
4. Patrick Barnard, Andrew D Short, Mitchell D. Harley, Kristen Splinter, Sean Vitousek, Ian L Turner, Jonathan C Allan, Masayuki Banno, Karin R Bryan, Andre Doria, Charles H. Fletcher, Jeff Hansen, George M Kaminsky, Shigeru Kato, Yoshiaki Kuriyama, Evan Randall-Goodwin, 他3名: Recent Pacific Ocean basin coastal response to inter-annual climate variability with implications for future climate change impacts, Ocean Sciences Meeting 2016, 2016年02月21日~2016年02月26日, New Orleans, USA
5. Masayuki Banno: Shoreline Projection under Global Climate Change at Hasaki and Its Risk Estimation, The 3rd KIOST-PARI-CDIT-WAVE Joint Workshop, 2015年10月06日, Ansan, 韓国

〔その他〕

伴野雅之: 様々な時間スケールにおける汀線の動的応答特性と将来の汀線変動予測, 博士論文, 九州大学

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号(8桁):

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 森 信人

ローマ字氏名: Nobuhito Mori

研究協力者氏名: Patrick L. Barnard

研究協力者氏名: Marissa Yates

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。