砂浜侵食に伴うレクリエーション価値の損失と 適応政策の効果の推計

佐尾 博志¹・供田 豪²・森 龍太³・森杉 雅史³・
大野 栄治³・中畠 一憲⁴・坂本 直樹⁵

¹正会員 国立環境研究所 社会環境システム研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)
E-mail:sao.hiroshi@nies.go.jp

²学生会員 名城大学大学院 都市情報学研究科 (〒461-0048 愛知県名古屋市中区矢田南4-102-9)

³正会員 名城大学 都市情報学部 (〒461-0048 愛知県名古屋市中区矢田南4-102-9)
E-mail:morisugi@meijo-u.ac.jp

⁴正会員 兵庫県立大学 環境人間学部 (〒〒670-0092 兵庫県姫路市新在家本町1-1-12)

⁵正会員 山形大学 人文学部 (〒990-8560 山形市小白川町1丁目4-12)

砂浜侵食による対策は様々な工法を組み合わせられて実施されている。しかし、これらの対策は人工構造物や波による砂の流出に対するものであり、地球温暖化を想定した対策は検討されていない。本研究では、地球温暖化に対する適応政策を検討する際に必要な情報の提供を目的とし、著者らの既存研究より新しい交通網データ及び砂浜侵食の影響を用いて、仮想的な適応政策による費用対効果を算出した。具体的には、各都道府県の砂浜を対象に、気候モデルMIROCのRCP2.6とRCP8.5のシナリオの下、砂浜侵食による被害額を推計した。また、各都道府県の過去に行われた養浜事業の実績から、仮想的な適応政策の効果を検討した。データの更新により、砂浜侵食の被害額の過大推計を抑えられ、また、各都道府県の養浜事業を考慮した費用対効果となったと言える。

Key Words : global warming, sandy erosion, travel cost method, cost benefit, adaptation policy

1. はじめに

近年、日本各地で砂浜侵食が懸念されており、様々な対策が実施されている。この影響が発生する要因として、人為的な砂浜周辺の環境の変化と地球温暖化による海面上昇が考えられる。前者は港や突堤の建設により、河川から流れる砂の流動を遮断したことが要因である。これについては、紀国・有働(2015)¹⁾では、戦前と戦後の海岸侵食の特性が異なっており、戦後は沿岸に港等の人工物による影響も存在すると述べている。そのため、砂浜侵食を食い止めるために、砂浜の復元及び砂浜侵食を緩和させる対策事業が国土交通省または県が主導で実施されている。一方、後者は地球温暖化によって海水の膨張や氷河の融解が原因であり、気象庁によると²⁾、1980年以降日本沿岸の海面水位は上昇傾向にあると述べている。このように、砂浜侵食は人為的な要因と自然現象の要因が複雑に絡んで発生しているが、現時点では、地球温暖化による影響が顕著に表れている訳ではなく、ど

らかとえば、人為的な砂浜周辺の環境の変化が砂浜侵食をもたらしている可能性が高い。したがって、地球温暖化の対策は今のところ国内で実施している事業が見当たらない。

これらの影響への対策を実施するためには、費用便益分析を実施することが求められており、自国ないしは都道府県ではどのような影響があり、どの程度の被害額になるかを把握する必要がある。なお、各都道府県における地球温暖化に伴う砂浜侵食による影響については、三村(1994)³⁾、須川ら(2013)⁴⁾、有働ら(2013)⁵⁾、有働ら(2014)⁶⁾等で推計されている。しかし、これらの既存研究では砂浜侵食の状況に留まっており、想定される被害額の検討を行っていない。

地球温暖化による各都道府県の砂浜を対象とした既存研究は著者らの研究があり、大野ら(2009)⁷⁾と佐尾ら(2013)⁸⁾が挙げられる。大野ら(2009)⁷⁾は旅行費用法(TCM : Travel Cost Method)を用いて、日本全国の砂浜のレクリエーション価値を推計し、三村(1994)³⁾の海面上

昇による砂浜侵食率を用いて、各都道府県の砂浜の被害額を算出した。しかし、この研究では、都道府県間のODデータは古いデータ(平成11年)を使用している。また、被害額も砂浜の利用客数に比例する形で算出しているため、過大推計になっていると考えられる。佐尾ら(2013)⁸⁾はTCMに整合した応用一般均衡(CGE: Computable General Equilibrium)モデル及び三村(1994)³⁾の海面上昇による砂浜侵食率を用いて、地球温暖化に伴う海面上昇による各都道府県の砂浜の1m²あたりの被害額の算出及び仮想的な適応政策(養浜事業)を想定し、その事業の効果を費用便益分析で検討した。この研究は、地球温暖化による砂浜侵食に対する適応政策として養浜事業の効果を初めて検討したものであるが、使用した養浜事業例は限定的であり、各都道府県の個別事業を反映させた具体例としては不十分である。また、ベースとなるTCMのデータは大野ら(2009)⁷⁾と同じため、都道府県間のODデータは古いものを使用している。

本研究では、各都道府県の砂浜を対象に、気候モデルMIROCのRCP2.6とRCP8.5のシナリオの下、砂浜侵食による砂浜のレクリエーション価値の損失額(以降、砂浜侵食による被害額と称す)を推計する。また、将来における砂浜侵食による影響を食い止めるために、各都道府県で仮想的な適応政策を実施することを想定し、それによる効果がどの程度であるかを検討する。なお、仮想的な適応政策の事業費用は各都道府県で実際に行われた養浜事業とし、全ての事業の平均事業費用を用いた。ここで、著者らの既存研究の大野ら(2009)⁷⁾及び佐尾ら(2013)⁸⁾と異なる点は4つある。1つ目は各都道府県間のODデータの更新、2つ目は国土交通省または各都道府県の管轄の下で実施した養浜事業の資料を収集し、本研究で想定する養浜事業に該当する事業を抽出し、各地の養浜事業を含んだ平均事業費としたこと、3つ目は砂浜への交通需要関数の説明変数を一般化交通費用と砂浜の面積で表すことにより、推計結果が過大推計になる懸念を排除したこと、4つ目は各都道府県の砂浜侵食による影響の更新である。これにより、交通網や砂浜侵食の影響をより新しい状況下で推計結果が過大推計になりにくく、適応政策として様々な都道府県の実施状況が反映されると言える。

2. 養浜事業について

(1) 養浜事業とは

養浜事業は主に国土交通省または県主導の下で行われる海岸保全事業であり、砂浜を保全することで様々な災害を軽減させることが目的で実施されている。この事業は様々な工法があるが、一般的には突堤や潜堤、離岸堤、

養浜工が主流であり、それぞれの工法は異なった効果がある。突堤は海岸線に直角方向に設置され、一定の間隔で数本から数十本設置し、砂の流出を軽減させる手法⁹⁾である。また、突堤と突堤の間に流された砂をそこに留めやすく、砂浜が広くなるという効果がある。潜堤(人工リーフ)は海岸付近の浅瀬に造ることが多く、波の勢いを失わせる手法⁹⁾である。これにより、砂は波にさらわれにくくなるという効果がある。離岸堤は沖合100m前後、水深2m～5m程度の場所に海岸線と平行に幅10m、長さ100m程度の消波ブロックを島状に設置する手法⁹⁾である。これにより、波の勢いを消すと同時に砂が沖に流されにくくなり、離岸堤の背後に砂を溜める効果がある。

また、これら以外に近年では、サンドバイパス、サンドリサイクルという工法も導入されている。サンドバイパスとは、周辺に設置された構造物が原因で川から海岸へ流れるはずの砂がせき止められなくするために、砂の移動を人工的にバランス調整するための手法⁹⁾である。これにより、砂は構造物が無かったときと同じような流れとなり、砂浜の復元に繋がる。サンドリサイクルとは、上手の海岸の砂が流され、下手側に溜まった砂を上手の海岸に戻す手法⁹⁾である。これにより、直接砂を移動させるため、砂浜の復元に繋がる。

このように、砂浜侵食を防ぐための対策は様々存在し、実際に行われている養浜事業ではこれらの工法を組み合わせで実施している。これにより、津波や高潮等の災害を軽減させて砂浜を保全することで、砂浜が持つ様々な機能も保全することが出来る。しかし、これらの工法にはデメリットも存在し、景観や自然環境の悪化、浜崖や海流の変化等で危険区域の増加、海洋生物への悪影響等、負の効果も存在する。

(2) 養浜事業による景観悪化の事例

ここでは、養浜事業による景観悪化の事例として、静岡県静岡市の三保の松原を例に挙げる。三保の松原とは、日本三大松原の1つであり、2013年に世界文化遺産に登録された富士山の構成資産として登録されている。登録された要因は、富士山の代表的な景観地であり、数多くの浮世絵や絵画・和歌に表現された「芸術の源泉」¹⁰⁾である。この地域では、漂砂の減少や海面上昇による砂浜侵食は世界遺産の登録よりもずいぶん前から懸念されていた。そのため、静岡県の管轄で養浜事業が実施され、主に離岸堤、突堤、L字突堤、消波工、根固工、サンドバイパス、サンドリサイクル等が施工された。この対策により、平成12年度以降、砂浜侵食域の拡大のストップ及び土砂の減少の歯止め等、事業実施による効果が確認されている。

一方で、世界遺産の登録後、国際記念物遺跡会議(ICOMOS: International Council on Monuments and Sites)から

富士山の下に位置する離岸堤が景観の悪化となっていることを指摘された。つまり、砂浜侵食には正の効果があつたが、景観としては負の効果であつた。そのため、景観を重視するために、日本には前例のないL字突堤が採用され、2015年に整備が進められた。この事業を三保モデルと言われている。これに見習い、様々な場所で景観に配慮した海洋構造物を整備することが増えた。

3. 既存研究

ここでは、国内の砂浜を対象に、砂浜の価値を計測した既存研究と地球温暖化による砂浜侵食の被害額やそれに対する適応政策の評価を行った既存研究を紹介する。

まず、砂浜の価値を評価した既存研究は盛岡(1995)¹¹⁾、今村ら(1999)¹²⁾、竹内(1999)¹³⁾、小島・橋本(2002)¹⁴⁾が挙げられる。

盛岡ら(1995)¹¹⁾はTCMや仮想市場評価法(CVM: Contingent Valuation Method)を用いて、須磨海水浴場等の水質維持や水質改善の環境経済価値を計測した。その結果、大阪湾沿岸全体の水質維持に対する地域住民の支払意思額(WTP: Willingness to Pay)は利用価値が788円/人/年、利用価値と非利用価値の合計が4,713円/人/年と示した。今村ら(1999)¹²⁾はCVMを用いて、新潟海岸を対象に新潟市民にアンケート調査を行い、砂浜の消失を回避するためのWTPを算出した。その結果、新潟海岸の保全に対するWTPは年間1,110円/世帯/年と示した。竹内(1999)¹³⁾はTCMを用いて、二色の浜(大阪府貝塚市)のレクリエーション価値を計測した。その結果、訪問者1人当たりの平均値は年間7,400円であることを示した。小島・橋本(2002)¹⁴⁾はCVMを用いて、白石浜海水浴場等(福岡県)の環境経済価値を計測した。その結果、自然砂浜海岸の白石浜海水浴場の保全に対して、海水浴客のWTPは1,850円/世帯/年、福岡県民のWTPは3,520円/世帯/年であることを示した。これらの研究は現状の砂浜の価値の算出に留まっており、将来推計は全く行っていない。

次に、地球温暖化による砂浜侵食の被害額を算出した既存研究は大野ら(2009)⁷⁾、坂本・中畠(2012)¹⁵⁾、山本ら(2016)¹⁶⁾が挙げられる。大野ら(2009)⁷⁾はTCMを用いて、都道府県別の砂浜のレクリエーション価値と単位面積あたりの貨幣評価原単位を算出した。その結果、日本全国の砂浜のレクリエーション価値は922億円/年であり、1m²あたりの貨幣評価原単位は12,058円と示した。坂本・中畠(2012)¹⁵⁾は大野ら(2009)⁷⁾におけるTCMの需要関数をCGEと整合的にし、説明変数に環境質を取り込んだ定式化を用いて、砂浜侵食による各都道府県の被害額を算出している。その結果、日本全体の砂浜侵食による被

害額は海面上昇0.3mでは247億円/年、0.65mで440億円/年、1mで551億円/年と示した。山本ら(2016)¹⁶⁾はCVMを用いて、日本全国の成人男女を対象としたWeb形式のアンケート調査を実施し、砂浜の利用価値及び非利用価値を含む環境経済価値を推計した。その結果、日本全国における砂浜の経済価値は866億円/年(砂浜侵食率40%)～1,106億円/年(砂浜侵食率100%)となり、単位面積当たりの被害額は14,488円/m²(砂浜侵食率100%)～28,736円/m²(砂浜侵食率40%)と示した。このように、これらの研究では、地球温暖化による被害額を把握することが出来るが、その対策を検討する際の被害額ないしは便益の数値の情報を提供するに留まっている。

砂浜の適応政策の評価を行った既存研究は佐尾ら(2013)⁸⁾、澁谷ら(2016)¹⁷⁾が挙げられる。佐尾ら(2013)⁸⁾は日本全国の砂浜を対象とし、TCMに整合したCGEモデルを用いて、地球温暖化に伴う海面上昇による各都道府県の砂浜の1m²あたりの被害額の算出及び仮想的な適応政策(養浜事業)を想定し、その事業の効果を費用便益分析で検討した。その結果、純便益の推計値はCGEモデルとTCMの推計結果が小数点6桁の精度で変わらないことを示した。また、仮想的な適応政策の効果は海面30cm上昇時に17都道府県、65cm上昇時に20都道府県が費用便益比が1を上回った。澁谷ら(2016)¹⁷⁾は鳥取県浦富海水浴場を対象に、海水浴客、観光客、漁業従事者にアンケートを行い、気候変動への意識や適応政策へのWTPを導出した。その結果、気候変動への適応政策に対するWTPは約700円/月と推計された。しかし、アンケート調査では具体的な政策は示していないため、仮想的な保全策としての評価と言える。

本研究では、佐尾ら(2013)⁸⁾の既存研究から得られた知見より、比較的に簡易な推計方法であるTCMを採用することとした。この手法を用いて、大野ら(2009)⁷⁾と同様に、砂浜への移動を目的とした実行動データをもとに、各都道府県の砂浜のレクリエーション価値及び将来における砂浜の被害額を算出する。また、その被害額と仮想的な適応政策を検討して、どこの都道府県で養浜事業が効率性が高いかを把握する。ここで、大野ら(2009)⁷⁾と佐尾ら(2013)⁸⁾との違いは1章にも記述したが、前者は平成11年の都道府県間のODデータを使用していたが、本研究では、より新しい都道府県間のODデータを使用した。後者は仮想的な適応政策として7つの限られた養浜事業を採用していたが、本研究では、後述する事業資料が入手出来たもの、そして、本研究で想定する養浜事業として判断が可能な各都道府県の養浜事業を反映したことである。

4. データの収集

本研究では、砂浜侵食に伴う経済的な被害額の算出と砂浜侵食の適応政策の実施による効果を検討するためには、「都道府県間のODデータ：砂浜への訪問者数及びそこへの移動に要する費用」、「将来の各都道府県の砂浜侵食の物理的度合い」、「過去に実際に行った養浜事業の実績」の情報が必要となる。なお、各詳細については、以下で説明する。

(1) 砂浜を目的とした都道府県間のODデータ

一般財団法人計量計画研究所(IFS)に依頼して、平成17年OD集計用マスターのデータ及び及び平成15年の漁業センサスの海水浴場の利用者データに基づいて作成した。具体的には、前者は平成17年の休日におけるOD集計用マスターのデータを用いており、そのデータから砂浜を目的とした都道府県間のODデータを作成した。また、同データには、同一のOD間であっても、高速道路を使用する場合としない場合の2パターンの情報が存在するため、ここではそれぞれ独立したODとして扱った。なお、移動手段は自家用の乗用車類に限定しており、軽乗用車、乗用車、バスが該当する。ここで、ODデータと海水浴場の利用者データが古いデータを使用した点について、前者は平成22年OD集計用マスターのデータの場合、平日のデータしか使用出来ない状態であり、一方で、海水浴は休日の方が訪問者が多いと考えられる。そのため、休日のデータがある平成17年OD集計用マスターのデータを使用することとした。後者はODデータと同じ年のデータを使用することが望ましいが、漁業センサスは5年ごとに公表されていること、そして、平成20年には海水浴場の利用者に関する項目が除外されていたことを踏まえて、平成15年漁業センサスのデータを用いることとした。

一般化交通費用については、高速道路料金や時間価値の他に、国土交通省の資料にもある走行経費を用いた。ちなみに、走行経費とは、自動車1台が走行した場合に消費する経費であり、国土交通省の定義¹⁹⁾では、燃料費や油脂費、タイヤ・チューブ費、整備費、車両償却費が該当する。

時間価値は平成11年度道路行政における乗用車の時間評価値を参考にしており、1分当たり54.3円を採用した。ただし、余暇活動時では、労働賃金から算出された時間価値の2～4分の1¹⁹⁾が妥当と言われており、ここでは、時間価値が高くなり過ぎないように4分の1を採用した。同乗者人数は2.5人とした。

(2) 海面上昇による都道府県別の砂浜侵食のデータ

海面上昇による砂浜侵食後の都道府県別の砂浜の面積

については、使用する気象モデルやGHGs排出と気象の感応度に大きく影響されるが、ここでは「MIROC」を用い、気候シナリオはRCP2.6、RCP8.5の二つの極端なケースを取り上げる。なお、この将来シナリオについては、環境省環境研究総合推進費・戦略開発領域S-8「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究（代表者：三村信男）」のサブ課題S-8-1(4)「沿岸・防災リスクの推定と全国リスクマップ開発（代表者：風間聡）」の中で推計されたものを提供して頂いた。

(3) 砂浜侵食に対する適応政策のデータ

本研究では、砂浜侵食に対する適応政策として、養浜事業と定義した。養浜事業は日本各地で行われており、国土交通省が管轄する事業と都道府県が管轄している事業がある。これらの多くは都道府県が管轄のもと行われているが、予算の関係から事業費用の一部を国庫補助で賄っている事業もある。

これらの養浜事業の資料を収集するために、国土交通省が管轄している事業は同機関が公表している事業データ²⁰⁾をダウンロードし、一方、都道府県が管轄している事業は各都道府県の担当課に電話やE-mailにて問い合わせた。その結果、各段階の事業評価を1つずつとしてカウントすると、国土交通省が公表している事業は15都県21事業、都道府県から入手した事業は27都道府県71事業が入手できた。なお、前者の海岸関連の事業は16都県56事業ほど存在するが、その多くが津波や高潮等の対策事業または侵食防護面積が不明であるため、ここでは対象外とした。後者の事業では、8府県でデータが入手出来なかった。その理由については、岩手県では東日本大震災によって関連資料が失われ、大阪府、岡山県、広島県、愛媛県、大分県、長崎県では養浜事業を行っていない、と回答を得た。また、佐賀県は海岸保全事業を実施しているものの、砂浜防護面積の情報がなかった。したがって、国土交通省の公表と都道府県から入手した養浜事業に関連する資料は合計で33都道府県92事業が集まった。

ここで、これらの資料の中で必要な情報は事業費用とその事業による侵食防護面積である。国土交通省が公表している事業では、全て統一されたフォーマットで作成されていることから、侵食防護面積の情報が容易に入手が出来た。一方で、都道府県から入手した事業では、都道府県によって記載事項が異なっていたり、養浜事業の保全に関する情報が面積または長さになっている等、統一された情報が得られなかった。したがって、本研究では、侵食防護面積が記載されている事業に限定するため、国土交通省が公表している事業は15都県17事業、都道府県から入手した事業では27都道府県36事業が使用可能な資料である。ここで、本来は全ての事業を用いるべきであるが、著者らでは長さの情報を侵食防護面積に変換す

ることが難しい。また、それぞれの事業費用や侵食防護面積について、砂浜に限定したものは少なく、堤防やその後ろにある住宅や畑等、砂浜に関連しない土地の防護も含まれている。これについては、入手した資料ではそれぞれに分けることが不可能なため、ここでは、上記も含めた数値を養浜事業と仮定した。そのため、後述する養浜事業の平均事業費用を考慮する際、数値が過大評価の可能性が否めない。

これらの養浜事業の実績状況を図-1に示す。なお、X軸は侵食防護面積、Y軸は事業費用を表しており、ゼロ点は全ての事業の平均侵食防護面積及び平均事業費用である。つまり、X軸はゼロ点付近にあり、かつ、Y軸はプラス域(マイナス域)にある事業は侵食防護面積が全国平均と変わらないものの、事業費用が比較的に高コスト(低コスト)の事業と言える。ここでは、この事業を高事業費用(低事業費用)の養浜事業と称す。一方で、X軸はプラス域(マイナス域)にあり、かつ、Y軸はゼロ付近にある事業は事業費用が全国平均レベルだが、政策の実施範囲が比較的に広い(狭い)事業と言える。ここでは、この事業を広域侵食対策(狭域侵食対策)の養浜事業と称す。

図より、高事業費用の養浜事業は「富山県下新川海岸直轄海岸保全施設整備事業」が挙げられる。この事業は下新川海岸を対象に、6区間に分け、面的に防護施設の整備が行われており、侵食防護面積は約1,600haと平均並の実施面積だが、10以上の多種多様な整備が行われていることが要因と考えられる。

一方で、広域侵食対策の養浜事業は「茨城県旭海岸侵食対策事業」と「茨城県鹿島灘海岸侵食対策事業」が挙げられる。これらの事業は主にヘッドランド整備にあわせて養浜工を実施しているため、実施面積の割には事業費用が比較的に安くなると考えられる。

図-1 養浜事業の実績状況

5. 砂浜のレクリエーション価値の推計方法

(1) 砂浜への訪問を目的とした交通需要関数の設定

本研究では、砂浜のレクリエーション価値を算出するために、各都道府県の砂浜への訪問を目的とした交通需要関数を式(1)で定義した。また、式(1)の一般化交通費用については、式(2)で示すように、走行経費、有料道路代の移動費用と金銭換算した時間費用を合算し、それを同乗者数で除すことで一人当たりの一般化交通費用を算出した。

$$\ln\left(\frac{X_{i,j}}{N_i}\right) = \alpha + \beta \cdot P_{i,j} + \gamma \cdot Q_j + \varepsilon_{i,j} \quad (1)$$

$$P_{i,j} = \frac{TP_{i,j}^d + TP_{i,j}^c + w \cdot T_{i,j}}{PN} \quad (2)$$

ただし、 X ：砂浜への訪問者数、 N ：人口、 P ：一般化交通費用、 Q ：砂浜の面積、 ε ：誤差項、 i ：発地点、 j ：着地点、 TP^d ：往復の走行経費、 TP^c ：往復の有料道路代、 w ：時間価値、 T ：所要時間、 PN ：同乗者数、 α 、 β 、 γ ：未知のパラメータ。

なお、TCMでは、レクリエーション価値は代理市場で評価され、一般的には、交通市場における消費者余剰(CS：Consumer Surplus)で算出される。砂浜への訪問を目的としたレクリエーション価値は以下のように表される。

$$\begin{aligned} CS &= \sum_{i,j} \int_{p_{i,j}}^{\infty} X_{i,j} dp_{i,j} \\ &= -\frac{1}{\beta} \cdot \sum_{i,j} X_{i,j} \end{aligned} \quad (3)$$

なお、式(3)は砂浜のレクリエーション価値の総計であり、これを都道府県間の砂浜への訪問者数で除すことで、1回あたりのレクリエーション価値が算定される。すなわち、 β は一般化交通費用のパラメータであるため、距離に応じてレクリエーション価値が異なるということである。

(2) パラメータの推定結果

4章1節のデータと式(1)を用いて、最小二乗法によるパラメータの推定を行った。その結果を表-1に示す。推定されたパラメータについては、それぞれ十分な t 値により、統計的に有意な結果が得られた。また、各変数の符

表-1 パラメータの推定結果

パラメータ	係数	t 値
α	-4.452 ***	-40.152
β	-2.831×10^{-4} ***	-34.197
γ	6.992×10^{-8} ***	6.487
補正済み R^2	0.553	
サンプル数	963	

***：有意水準1%

号は一般化交通費用のパラメータ β がマイナス、砂浜の面積 γ がプラスとなり、これらから距離が遠いほど訪問者数が少なく、一方で、砂浜の面積が大きいほど訪問者が多いということが示された。

(3) 砂浜侵食による影響シナリオと被害額の算出方法

式(1)及び表-1のパラメータでは、砂浜侵食前のレクリエーション価値(以後、現在の砂浜のレクリエーション価値と称す)の算出に留まっている。もし、将来における砂浜のレクリエーション価値を算出したい場合には、将来における砂浜の面積の情報が必要となる。そこで、本研究では、地球温暖化による砂浜侵食の被害額を算出するために、気象モデルMIROCのRCP2.6とRCP8.5のシナリオ下、2031年～2050年と2081年～2100年における砂浜の面積を適用する。これにより、シナリオ別の将来の砂浜のレクリエーション価値の算出が可能となる。そして、現在の砂浜のレクリエーション価値とシナリオ別の将来のその価値の差分を気候変動による砂浜の被害額とする。

6. 砂浜のレクリエーション価値の推計結果

(1) 現在の砂浜のレクリエーション価値の推計結果

式(1)及び表-1のパラメータの推定結果より、現在の砂浜のレクリエーション価値は日本全体で約1,494億円/年と算出された。ここで、既存研究の推計結果を表-2に示す。表より、大野ら(2009)⁷⁾の推計値は922億円/年である。ここで、同じ手法を用いた本研究と大野ら(2009)⁷⁾の推計値の差は使用したODデータの違いと一般化交通費用に走行経費を含めているか否か、であると考えられる。前者については、大野ら(2009)⁷⁾が使用したODデータは平成11年度に対して、本研究では平成15年度である。道路の整備状況²⁰⁾を確認すると、この4年間で様々な一般道路や高速道路が造られており、道路の交通網が異なっている。したがって、高速道路の利用状況が増加する可能性があり、その分移動時間も減少するため、一般化交通費用の増減を特定しづらい。後者は大野ら(2009)⁷⁾では、有料道路代と移動に要する時間価値を一般化交通費用としているが、本研究では、有料道路代と走行経費と移動に要する時間価値を用いた。したがって、一般化交通費用は大野ら(2009)⁷⁾よりも本研究の方が高くなっている可能性があり、その差がレクリエーション価値の差として現れていると考えられる。一方、中畠・坂本(2012)¹⁵⁾及び佐尾ら(2013)⁸⁾はCGEの枠組みの評価であるため、現在のレクリエーション価値を算出していない。

次に、都道府県別の砂浜のレクリエーション価値は図-2に示す。なお、図の円の大きさは砂浜のレクリエーション価値の大きさを表している。図より、神奈川県が一

表-2 既存研究との推計結果の比較

	本研究	大野ら (2009) ⁷⁾	坂本・中畠 (2012) ¹⁵⁾	佐尾ら (2013) ⁸⁾
現在のRV	1,494	922	—	—
RCP2.6	2050年：254 2100年：426	—	—	—
RCP8.5	2050年：284 2100年：494	—	—	—
0.30m上昇による被害額	—	522	247	290
0.65m上昇による被害額	—	753	440	530
1.00m上昇による被害額	—	832	551	—

(単位：億円/年)

図-2 都道府県別の砂浜のレクリエーション価値と被害額

番高い値を示し、その価値は約178億円/年と推計された。それに次ぎ、新潟県が約141億円/年、沖縄県が約128億円/年に高いことがわかった。つまり、海水浴場として人気が高く、遠方からも多くの人々が訪れる砂浜のある都道府県が砂浜のレクリエーション価値が高くなる。一方で、近隣ないしは比較的に近い場所からしか海水浴客が訪れない都道府県では、その価値も比較的に低くなる。

(2) 地球温暖化による砂浜の被害額の推計結果

式(1)及び地球温暖化の影響シナリオ、表-1のパラメータの推定結果より、将来における地球温暖化による日本全体の被害額はRCP2.6では約254億円/年(2031年～2050年)、約426億円/年(2081年～2100年)となり、RCP8.5では約284億円/年(2031年～2050年)、約494億円/年(2081年～2100年)と推計された。ここで、既存研究の推計結果を表-2に示す。表より、大野ら(2009)⁷⁾は約522億円/年(海面上昇0.3m)～約832億円/年(海面上昇1.0m)、中畠・坂本(2012)¹⁵⁾は約247億円/年(海面上昇0.3m)～約551億円/年(海面上昇1.0m)、佐尾ら(2013)⁸⁾は約290億円/年(海面上昇0.3m)～約530億円/年(海面上昇0.65m)であった。これについては、海面上昇量とRCPでの推計結果のため、

単純に比較は出来ないが、TCMを用いている大野ら(2009)⁷⁾の推計結果と比べるとずいぶん小さな数値となった。これは、大野ら(2009)⁷⁾による砂浜の侵食に伴う被害額は砂浜利用者と砂浜面積との比例関係で示しているため、推計結果が過大推計になったと考えられる。一方、本研究は中畠・坂本(2012)¹⁵⁾及び佐尾ら(2013)⁸⁾と同様に、砂浜への需要関数に砂浜面積を説明変数として扱っており、砂浜利用者と砂浜面積と非線形関係で示しているため、砂浜侵食による被害額は大きく差が無いことが分かる。また、本研究の被害額の推計結果について、2031年～2050年の推計値は中畠・坂本(2012)¹⁵⁾の海面上昇0.3m<本研究(RCP2.6)<本研究(RCP8.5)<佐尾ら(2013)⁸⁾の海面上昇0.3mとなり、2081年～2100年の推計値は本研究(RCP2.6)<中畠・坂本(2012)¹⁵⁾の海面上昇0.3m<本研究(RCP8.5)<佐尾ら(2013)⁸⁾の海面上昇0.3mの関係性となった。これについては、有働ら(2013)⁹⁾によると、RCP2.6では海面上昇量が0.2～0.23m、RCP8.5では0.28～0.31mと推計されている。これについては、上述したように、本研究はODデータのアップデートとも一般化交通費用に走行経費を追加しており、特に後者の影響で現在のレクリエーション価値が約1.6倍高くなっている。そのため、算出される被害額も同様に高めになったと考えられる。

次に、都道府県別の砂浜の被害額は図-2に示す。なお、図の円の大きさは砂浜の被害額の大きさを表している。図より、2031年～2050年におけるRCP2.6は沖縄県で約66億円/年、北海道で約34億円/年、新潟県で約30億円/年となり、RCP8.5は沖縄県で約72億円/年、北海道で約37億円/年、新潟県で約33億円/年と推計された。一方、2081年～2100年におけるRCP2.6は沖縄県で約80億円/年、新潟県で約56億円/年、北海道で約44億円/年となり、RCP8.5は沖縄県で約80億円/年、新潟県で約71億円/年、北海道で約45億円/年と推計された。

最後に、砂浜侵食による被害額を砂浜侵食の面積で除すことで、単位面積当たりの被害額を算出した。その結果を図-3に示す。なお、色の濃さは濃くなるにつれて、単位面積当たりの被害額が高いことを表している。図より、年間の砂浜の被害額とは順位が変動しており、比較的に有名な砂浜が存在し、かつ、訪問者が多い神奈川県、千葉県、新潟県で高い傾向となった。

(3) 仮想的な適応政策の実施による効果

本研究では、砂浜侵食が発生した砂浜に対して、仮想的な適応政策を実施することで、現状の砂浜の面積まで回復すると想定する。ここでは、想定する適応政策は上述した過去に実際行われた各都道府県の養浜事業としており、この事業の単位面積当たりの平均事業費は21,596円/㎡である。すなわち、この数値が適応政策の費用と

図-3 都道府県別の単位面積当たりの被害額

図-4 都道府県別の仮想的な適応政策の実施による効果

なり、前節で算出した単位面積当たりの被害額と比較して適応政策の事業費用の方が高い場合、費用>便益の関係となるため、あまり事業の効率性が良くないと言える。一方で、単位面積当たりの被害額の方が高い場合、費用<便益の関係となるため、養浜事業の実施の余地があると言える。

これらの適応政策の事業費用と砂浜の被害額を用いて、仮想的な養浜事業の費用対効果を検討した。その結果を図-4に示す。なお、黒色は費用対効果が1を超え、一方で、灰色は費用対効果が1を下回ることを表している。図より、RCP2.6及びRCP8.5は2031年～2050年では2ヶ所(神奈川県、新潟県)、2081年～2100年では1ヶ所(神奈川県)においてB/Cが1を上回った。ここで、佐尾ら(2013)⁸⁾と比較すると、海面上昇が0.3mでは17ヶ所、海面上昇が0.65mでは20ヶ所でB/Cが1を上回った。ここで、本研究と佐尾ら(2013)⁸⁾の推計結果に大きな差が発生した理由は単位面積当たりの平均事業費が挙げられる。佐尾ら(2013)⁸⁾の単位面積当たりの平均事業費は18,276円/㎡であり、本研究よりも単位面積当たりの事業費用が3,320

円ほど低い。この差については、佐尾ら(2013)⁹⁾で使用した養浜事業は7ヶ所の養浜事業を対象に算出した数値であり、比較的に事業費用が安いものを使用していると言える。また、使用した7ヶ所の養浜事業は地域の偏りがあり、東京湾や大阪湾、瀬戸内海の限定的な情報となっている。そのため、佐尾ら(2013)⁹⁾の事業費用はその他の地域特性が加味されていない状態で費用対効果を行っていると言える。

7. まとめ

本研究では、各都道府県の砂浜を対象に、気候モデルMIROCのRCP2.6とRCP8.5のシナリオの下、砂浜侵食による被害額を推計した。また、将来における砂浜侵食による影響を食い止めるために、各都道府県で仮想的な適応政策を実施することを想定し、それによる効果がどの程度であるかを検討した。なお、仮想的な適応政策の事業費用は各都道府県で実際に行われた養浜事業とし、全ての事業の平均事業費用を用いた。その知見を以下に示す。

- ① 日本全体の砂浜の被害額はRCP2.6では約254億円/年(2031年～2050年)、約426億円/年(2081年～2100年)となり、RCP8.5では約284億円/年(2031年～2050年)、約494億円/年(2081年～2100年)と推計された。
- ② 各都道府県で過去に実施された養浜事業の事業費用の下では、RCP2.6及びRCP8.5は2031年～2050年では2ヶ所(神奈川県、新潟県)、2081年～2100年では1ヶ所(神奈川県)においてB/Cが1を上回った。

しかし、本研究には課題が残されている。本研究における評価値は利用価値に限定しているため、非利用価値を含めない費用対効果は過小評価になっていると考えられる。例えば、砂浜の適応政策には消波ブロックやL字突堤等、周辺環境の景観を悪化させてしまう対策も存在する。すなわち、養浜事業としては正の効果であっても、景観に対しては負の効果が存在すると考えるため、その効果も含めて評価することが望ましい。また、本研究では、海水浴に限定したODデータでの分析を行っているが、実際には別の砂浜に行く可能性がある。そのため、本研究で得られた推計値は過大評価となっている可能性が十分にありうる。これについては、本研究で使用したデータでは周遊行動まで把握出来ないため、シングルサイトモデルで分析した。この問題を解消するためには、マルチサイトモデルで評価する必要がある。

謝辞：本研究は文部科学省の平成29年度の気候変動適応技術社会実装プログラム（研究課題：気候変動の影響評

価技術の開発、代表者：脇岡靖明）の助成を受けた研究成果の一部である。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 紀国亮，有働恵子：日本全国の海岸における過去の長期汀線変化特性の解析，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 71，No. 2，pp. I_613-I_618，2015.
- 2) 気象庁：日本沿岸の海面水位長期変化傾向，http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/a_1/sl_trend/sl_trend.html (最終閲覧日 2017年6月20日)
- 3) 三村信男，井上馨子，幾世橋慎，泉宮尊司，信岡 尚道：砂浜に対する海面上昇の影響評価 (2) 予測モデルの妥当性の検証と全国規模の評価，海岸工学論文集，Vol. 41，pp.1161-1165，1994.
- 4) 須川太一，有働恵子，三村信男，真野明：海面上昇に伴う全国砂浜侵食量の推定，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 67，No. 2，pp.I_1196-I_1200，2011.
- 5) 有働恵子，武田百合子，吉田惇，真野明：最新の海面水位予測データを用いた海面上昇による全国砂浜侵食量の将来予測，土木学会論文集 G(環境)，Vol. 69，No. 5，pp. I_239-I_247，2013.
- 6) 有働恵子，武田百合子：海面上昇による全国の砂浜消失将来予測における不確実性評価，土木学会論文集 G(環境)，Vol. 70，No. 5，pp. I_101-I_110，2014.
- 7) 大野栄治，林山泰久，森杉壽芳，野原克仁：地球温暖化による砂浜消失の経済環境価値，地球環境論文集，Vol.14，No. 2，pp. 291-297，2009.
- 8) 佐尾博志，森杉雅史，大野栄治，坂本直樹，中畠一憲，森杉壽芳：気候変動による砂浜侵食の地域別被害計測並びに適応策の検討，土木学会論文集 G(環境)，Vol. 69，No.5，pp.I_249-I_257，2013.
- 9) 国土交通省：用語集，<http://www.mlit.go.jp/kisha/boshu/boshu32/yougo.pdf> (最終閲覧日 2017年6月20日)
- 10) 静岡市の文化財：三保の松原，<http://www.shizuoka-bunkazai.jp/mihomatsubara/> (最終閲覧日 2017年6月20日)
- 11) 盛岡通，梁鎮宇，城戸由能：大阪湾沿岸域水環境の経済価値評価の試み，土木学会論文集，No.518，pp. 107-119，1995.
- 12) 今村能之，佐藤慎司，笠井雅広，原文宏，平野宜一：CVM による新潟海岸の環境整備便益の計測，海洋開発論文集，Vol. 15，pp. 659-664，1999.
- 13) 竹内憲司：トラベルコスト法は使えるか．環境評価の政策利用，第3章，勁草書房，pp.49-62，1999.
- 14) 小島治幸，橋本誠也：仮想評価法(CVM)調査による砂浜海岸の環境価値，日本沿岸域学会論文集，No.14，pp.63-74，2002.
- 15) 坂本直樹，中畠一憲：地球温暖化による砂浜消失の経済評価：旅行費用法によるアプローチ，土木学会論文集 G(環境)，Vol.68，No.6，(環境システム研究論文集 第40巻)，pp.II_217-II_228，2012.
- 16) 山本誠也，佐尾博志，森龍太，大野栄治，森杉雅史，中畠一憲，坂本直樹，森杉壽芳：付け値ゲーム方式の CV 調査に基づく砂浜の環境経済価値の推計，第24回地球環境シンポジウム講演集，pp.159-164，2016.
- 17) 澁谷 容子，林 健太郎，森 信人，後藤 拓海，黒岩 正

- 光：気候変動に伴う砂浜への影響に対する市民の意識と適応策への支払意思額に関する研究，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol. 72，No. 2，p. I_850-I_855，2016.
- 18) 国土交通省：時間価値原単位及び走行費用原単位(平成 20 年価格)の算出方法，
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hyouka-syuhou/4pdf/s1.pdf>(最終閲覧日 2017 年 6 月 20 日)
- 19) 国土交通省：道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート No. 21-1，
<http://www.mlit.go.jp/road/tech/jigo/h21/pdf/report21-1.pdf>(最終閲覧日 2017 年 6 月 20 日)
- 20) 国土交通省：事業評価カルテ検索，
<http://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/jghks/chart.htm>
 (最終閲覧日 2017 年 6 月 20 日)
- 21) 高速道路資料室：
<http://www.ne.jp/asahi/expressway/dataroom/> (最終閲覧日 2017 年 6 月 20 日)
- (2017. 4. 7 受付)

ESTIMATION OF LOSS OF RECREATIONAL VALUE DUE TO SAND BEACH EROSION AND EFFECT OF ADAPTATION POLICY

Hiroshi SAO, Gou TOMODA, Ryuta MORI, Masafumi MORISUGI, Eiji OHNO,
Kazunori NAKAJIMA and Naoki SAKAMOTO

Countermeasures against sand beach erosion are carried out by combining various construction methods. These are measures against outflow of sand by artificial structures and waves, but not necessarily assuming global warming. This study aims to provide information necessary for considering adaptation policy to global warming, and we have calculated cost-effectiveness of the policy by using new data concerning impact on sand beach erosion and new estimation model on recreational value of sand beach. Here, some previous public works on sand beach preservation in each prefecture were investigated. The damage cost on recreational value due to sand beach erosion in each prefecture was estimated under the climate model MIROC and the scenarios RCP 2.6 and RCP 8.5. And the cost-effectiveness of adaptation policy was examined.