気候変動による砂浜侵食の地域別被害計測 並びに適応政策の検討

佐尾 博志^{1*}・森杉 雅史¹・大野 栄治¹・
坂本 直樹²・中畠 一憲³・森杉 寿芳⁴

¹名城大学都市情報学部 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)

²東北文化学園大学総合政策学部 (〒981-8551 宮城県仙台市青葉区国見6-45-1)

³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)

⁴日本大学理工学部 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14)

* E-mail: sao@urban.meijo-u.ac.jp

地球温暖化に伴う海面上昇の影響は地域によって異なることが予測されており、現在と比べて65cm 以上になる場合、砂浜が完全に消滅する地域も存在する。したがって、砂浜消失による経済的被害額や適応政策の適用効果の算出を試みた場合、その地域差が明示的となる評価手法の採用が望ましい。これに対して筆者らは先行研究にて、旅行費用法によりレクリエーション需要関数を導出し、また、これに整合的な効用関数の特定化を図った応用一般均衡モデルを構築し、被害評価を試みている。本論文ではさらにこれらを発展させ、海面上昇予測シナリオ別に各地域の砂浜消失による被害額、並びに、過去の代表的な養浜事業を元に仮想的な適応政策を設定し、その効果を都道府県別の費用便益比として算定した。この数値実験の結果、各都道府県の砂浜被害額は海面上昇30cmの場合、約0.8億円/年(徳島県)から約60.0億円/年(沖縄県)、65cmの場合、約1.6億円/年(徳島県)から約72.5億円/年(沖縄県)と大きく地域差が存在し、また、砂浜の存在する39 都道府県のうち、海面上昇30cmでは17 地域、海面上昇65cmでは20 地域において同適応政策案の有効性が確認された。

Key Words :global warming, sand erosion, adaptaion policy, computable general equilibrium model,integrability problem , travel cost method

1. はじめに

地球温暖化に伴い、氷床の融解に伴う海水の増加や海水の熱膨張によって海面上昇を引き起こすといわれており、このような物理的影響の将来予測を行った研究として、三村ら(1994)¹⁾が挙げられる。三村らは日本全国の海岸線を対象として、IPCC WG1(1990)の予測に基づき、2100年までに起こりうる海面上昇レベル30cm, 65cm, 100cm の3つのシナリオを設定し、それぞれのシナリオで砂浜侵食の予測を行っている。これによると、海面上昇に対して何も対策を行わなかった場合、日本全体の砂浜侵食率は海面上昇レベル30cm, 65cm, 100cmの時それぞれ56.6%, 81.7%, 90.3%となるが、都道府県別で見ると地域によって侵食率は大きく異なる。この物理的影

響予測を応用一般均衡分析(CGE : Computable General Equilibrium)を用いて被害評価を図った先行研究としては、坂本ら(2012)²⁾が挙げられる。同研究では、大野ら(2009)³⁾において旅行費用法(TCM : Travel Cost Method)により日本各地の砂浜へのレクリエーション需要関数を導出していることを受け、この関数形と整合的、かつ、説明変数として環境質を取り入れ込んだ効用関数を定式化し、CGEモデルを構築し、三村ら(1994)¹⁾の日本全体の砂浜侵食予測に応じた砂浜消失の経済的被害値を算定している。このモデルでは砂浜への訪問を目的として消費する財を都道府県をゾーンとするゾーン間取引として扱う構造を持っているため、本来空間的 CGE(SCGE : Spatial CGE)モデルとも言える。完全競争市場を想定したCGEでは、TCMの過程で得られる訪問需要関数を用いて得られる

余剰の変化分，すなわち直接効果はそのまま総便益（負の効果の場合は総被害）となる．このようなモデルを構築する本来の意義は，どの地域またはどの部門に便益・被害が帰着し，分布しているのかを判別することにある．

しかし，坂本ら(2012)²⁾による被害評価は1国の経済全体に留まっており，地域別の被害額評価には至っていない．これに対して，三村ら(1994)¹⁾の予測はより細かい地域単位に基づいており，その予測値を十分に生かしておらず，本来地域特性に応じて講じられるべき適応政策の作成においては不十分な情報量となる．

また，算定された将来被害額の予測精度の問題が挙げられる．坂本ら(2012)²⁾の砂浜被害額の算定は三村ら(1994)¹⁾が予測した日本全体の砂浜侵食率(56.6%，81.7%，90.3%)を各都道府県に同じ割合で与えているが，前述したように，本来砂浜の侵食率は地域差がある．海面上昇100cmのシナリオの場合，日本全体の約1/5の砂浜が完全消失し，その他の砂浜の侵食率は約72%～約99%と地域によって異なる．このようなシナリオの状況下では，砂浜が完全に失われることで，砂浜に関する消費財の需要量が0となり，事前の状況とは全く異なる状況となる．砂浜が完全に失われる状況下では，事前と事後では財・サービスの種類が変化してしまうことになり，応用一般均衡分析の評価枠組みでは連続性が保たれない．

これに対して本論文では，坂本ら(2012)²⁾によって構築されたモデルを踏襲するが，砂浜侵食による地域別被害並びに適応政策の評価を最終目的とする．具体的には，日本全国の砂浜を対象とし，都道府県別の砂浜侵食による被害額を算定する．ここでは，海面上昇のレベルは30cm及び65cmの2つに設定し，それぞれの被害額の算定を行う．また，外部影響から砂浜を守るという過去の公共事業例からプロトタイプとなる仮想的な適応政策案を設定し，この政策を実施した場合の効果を都道府県別で評価する．

2. TCMのレクリエーション需要関数と整合したSCGEモデル

(1) TCMとは

TCMとは，対象となる財の通常の需要関数を価格について積分することで得られる消費者余剰(CS: Consumer's Surplus)を用いて便益を算定する．しかし，この手法は積分経路の依存性があるため，価格経路の変化によってCSは一意に定まらない問題がある．そこで，社会厚生指標として，補償変分(CV: Compensating Variation)あるいは等価変分(EV: Equivalent Variation)を用いることが提唱されており，後者は効用変化の単調変換となるため，理論上では社会厚生指標として優位とされ

ている．一方で，実務上の便益計測では，補償需要関数の導出を前提とするCV及びEVの導出は困難な場合が多い．そのため，森杉(1997)⁴⁾により提唱されたショートカット法によって間接効果がキャンセルアウトされ，総便益の近似解を導出することが多く試みられている．しかし，この手法では総便益の近似解を導出することは可能であるが，どの地域の代表的個人に被害または便益が帰着するかが分からない．そこで，帰着先を把握するためには，一般均衡の枠組みで個別評価を行う必要がある．

(2) 本モデルの概要

本論文は砂浜を保有する生産部門（ここでは，各都道府県）が砂浜サービス(海水浴)を生産し，家計部門がそのサービスを消費するというモデルを仮定する．

本論文のSCGEモデルの経済主体は家計部門と3つの生産部門（合成財，ガソリン財，有料道路財を生産）から成り，それぞれの部門の構造については，図-1及び図-2に示すとおりである．生産時に投入財として本源的生産要素となるのは労働と資本のみとする．

家計部門の行動は初期保有する労働及び資本を各生産部門に提供することによって得た所得を予算制約として，合成家計消費財と砂浜への訪問需要回数(ここでは，部分効用と呼ぶ)によって効用を得る．砂浜に関するレクリエーション需要関数は旅行費用(合成財価格，ガソリン財価格，有料道路財価格，時間価値)及び砂浜面積によって決まる．また，家計部門による砂浜利用目的のガソリン財及び有料道路財の消費量はある砂浜に関するレクリエーション需要関数に依存する．

以上より，ここで想定している家計消費は砂浜の利用を目的とする家計消費と砂浜の利用を目的としない家計消費の2つの仮想的な最終需要部門から成るものとする．

一方，生産部門の行動については，多段階入れ子型CES (Nested Constant Elasticity of Substitution) 関数を想定し，各要素間の代替性を考慮する．各生産部門は合成財及びガソリン財，有料道路財，そして，家計部門が保有する合成生産要素（労働及び資本）を中間投入として生産を行う．なお，生産された各生産財は生産部門の中間投入または家計部門によって消費される．

市場均衡条件として，財市場，労働市場及び資本市場において需要量と供給量が一致する．

以上より，本論文の分析は家計(最終需要)部門が2つ，生産部門が3つ，生産要素が2つを想定したモデルの下で行う．なお，家計部門及び生産部門の行動の詳細，各種パラメータの設定，他の市場均衡条件については，坂本ら(2012)²⁾と同様であるので，ここでは割愛する．

CGEモデルを用いて数値計算を行う際，基準均衡データとなる社会会計表 (SAM: Social Accounting Matrix) を作

消費」とした。

効用 (U)

【ゾーンaからゾーンbへ】

合成家計消費財 (N/H)

家計消費財1 (X_{H1})

家計消費財2 (X_{H2})

家計消費財3 (X_{H3})

部分効用 (U_{Zab})

レクリエーション需要 (z_{ab})

ガソリン使用量 (x_{Zab})

有料道路使用量 (x_{Zab})

砂浜面積 (q_b)

【ゾーンに関する総和】

ガソリン財 (X_{ZR})

有料道路財 (X_{ZR})

【砂浜利用目的の家計消費財】

生産財 (Y_j) σ_j^Y

CES型

合成中間財 (V_j) 合成生産要素 (V^A_j)

中間財 1 (X_1) 中間財 2 (X_2) 中間財 3 (X_3) σ_j^N

CES型

労働 (L) 資本 (K) σ_j^{VA}

CES型

分析対象範囲を n ゾーンに分割し、各ゾーンにはレク

$$\ln\left(\frac{z_{ab}}{n_a}\right) = \hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 \cdot p_{ab} + \hat{\gamma}_2 \cdot q_b + \hat{\varepsilon}_{ab} \quad \forall a, b \quad (1)$$

ここで、レクリエーションサイトの需要量を定式化する場合、本来は訪問地における滞在時間や訪問に伴う消費を考慮する必要がある。しかし、本論文ではモデルの簡素化のため、訪問地における滞在時間は一定とし、訪問に必要なガソリンと有料道路以外の財は既に所有していて、訪問地では何も消費しないものと仮定する。

得た都道府県別の砂浜面積の対数値を用いることとした。

(5) レクリエーション需要関数のパラメータ推定の結果

式(1)及び上記のデータより、最小二乗法により推定した結果、表-1に示す。一般的に、旅行費用に関する回帰係数 $\hat{\gamma}_1$ は負、そして、砂浜の面積に関する回帰係数 $\hat{\gamma}_2$ は正の値となることから、符号条件は満たされている。また、 $\hat{\gamma}_1$ 及び $\hat{\gamma}_2$ の t 値はともに統計的に有意な推定結果となった。 $\hat{\gamma}_2$ の推定値は1より小さいことから、訪問回数は砂浜面積に比例せず、砂浜面積の減少に対して緩やかに減少することが分かる。

表-1 レクリエーション需要関数のパラメータ推定値

	推定値	t 値
$\hat{\gamma}_0$	-4.604	-7.575
$\hat{\gamma}_1$	-4.110×10^4	-14.029
$\hat{\gamma}_2$	0.329	3.178
$\bar{R}^2$	0.477	
標本数	227	

(6) TCMIにおけるレクリエーション需要関数と整合した効用関数の設定

需要関数は家計の効用最大化行動から導かれることから、理論的には、それに対応する効用関数が必ず存在する。需要関数から効用関数を導かれる問題はVarian(1992)⁹⁾、Mas-Colell et al.(1995)¹⁰⁾、Jehle and Reny(2001)¹¹⁾で解説されているように積分可能性問題として知られる。本論文では、式(1)のように定式化したレクリエーション需要関数から積分可能性問題を解き、式(1)を効用最大化問題の解となる効用関数を誘導する。なお、これは式(1)の関数形も含めて、需要関数から支出関数を導出する方法を網羅的に分析しているvon Haefen(2007)¹²⁾と整合的である。

まず、ゾーン a における代表的家計が直面する予算制約式を以下のように設定する。

$$x_a + \sum_b p_{ab} \cdot z_{ab} = m_a \quad (3)$$

ここで、

$$m_a \equiv \frac{M_a}{p^{NH}} \quad (4)$$

ただし、 x_a ：ゾーン a の家計の合成財消費量、 M_a ：ゾーン a の家計の要素所得である。

次に、式(3)を予算制約式とする効用最大化問題の解として式(1)が得られるような効用関数を誘導する。初めに、簡素化のために式(1)を以下のようにする。

$$z_{ab} = \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \cdot p_{ab}) \quad \forall b \quad (5)$$

ここで、

$$\hat{\gamma}_{ab} \equiv \hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_2 \cdot q_b + \hat{\varepsilon}_{ab} + \ln n_b \quad \forall b \quad (6)$$

式(5)は所得と独立であることから、需要関数であると同時に補償需要関数でもある。また、支出関数の価格に関する偏微分が補償需要関数になることから、以下の偏微分方程式が成立する。なお、式(8)は境界条件である。

$$\frac{\partial e(p_a, v(\bar{p}_a, \bar{m}_a))}{\partial p_{ab}} = \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \cdot p_{ab}) \quad \forall b \quad (7)$$

$$e(\bar{p}_a, v(\bar{p}_a, \bar{m}_a)) = \bar{m}_a \quad (8)$$

ただし、 $e(\cdot)$ ：支出関数、 $v(\cdot)$ ：間接効用関数、 $p_a = (1, p_{a1}, \dots, p_{aN})$ 、 $\bar{p}_a = (1, \bar{p}_{a1}, \dots, \bar{p}_{aN})$ である。上記の偏微分方程式の解は以下のように求められる。

$$\begin{aligned} e(p_a, v(\bar{p}_a, \bar{m}_a)) &= \sum_b \int_{p_{ab}}^{\bar{p}_{ab}} \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \cdot t) dt + C \\ &= \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \cdot \sum_b \{ \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \cdot \bar{p}_{ab}) - \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \cdot p_{ab}) \} + C \end{aligned} \quad (9)$$

ただし、 C ：積分定数であり、これは境界条件により、 $C = m_a$ のように定まる。したがって、間接効用関数は次式のように表される。

$$v(p_a, m_a) = \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \cdot \sum_b \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \cdot p_{ab}) + m_a \quad (10)$$

ここで、間接効用関数から効用関数を誘導するためには、予算制約式を制約条件として、全ての財の価格で間接効用関数を最小化すればよいことが知られている。よって、この最小化により得られた最適値関数が効用関数となる。詳しくはVarian(1992)⁹⁾を参照されたい。

$$\min_{p_1^Y, p_{a1}, L, p_{aN}} \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \cdot \sum_b \exp \left\{ \hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \left(\frac{p_{ab}}{p^{NH}} \right) \right\} + \frac{M_a}{p^{NH}} \quad (11)$$

$$s.t. \quad x_a + \sum_b \frac{p_{ab} \cdot z_{ab}}{p^{NH}} = \frac{M_a}{p^{NH}}$$

ここで、

$$p_{ab} = p_2 \cdot g_{ab} + p_3 \cdot c_{ab} + w \cdot t_{ab} \quad (12)$$

上記の問題を解くことにより、効用関数は以下のようにになる。

$$u_a = x_a + \sum_b \left\{ \frac{z_{ab} \cdot \ln z_{ab} - (1 + \hat{\gamma}_{ab}) \cdot z_{ab}}{\hat{\gamma}_1} \right\} \quad (13)$$

ただし、 u_a ：ゾーン a の家計の効用である。

式(1)のレクリエーション需要関数は、式(3)を制約条件として、式(13)を最大化することによって得られる。しかし、予算制約式である式(3)には金銭的な支払いが無い時間価値が含まれている。そこで、本論文では、式(3)が準線形であることに着目し、レクリエーション祭とまでの移動にかかる時間は以下のように不効用として効用関数に組み込むこととした。

$$u_a = x_a + \sum_b \left\{ \frac{z_{ab} \cdot \ln z_{ab} - (1 + \hat{\gamma}_{ab}) \cdot z_{ab}}{\hat{\gamma}_1} - \frac{w \cdot t_{ab} \cdot z_{ab}}{p^{NH}} \right\} \quad (14)$$

この効用関数を式(6)に注意して整理することにより、式(15)のような効用関数が得られる。また、レクリエーションサイトまでにかかる移動時間を効用関数に組み込んだことに伴い、書き改めた予算制約式が式(16)である。

$$u_a = x_a + \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \cdot \sum_b z_{ab} \cdot (\ln z_{ab} - \ln \Gamma_{ab} - 1) \quad \forall a \quad (15)$$

$$p^{NH} \cdot x_a + \sum_b (p_2^Y \cdot g_{ab} + p_3^Y \cdot c_{ab}) \cdot z_{ab} = M_a \quad \forall a \quad (16)$$

ここで、

$$\Gamma_{ab} \equiv n_a \cdot \exp \left\{ \hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 \cdot \left(\frac{w \cdot t_{ab}}{p^{NH}} \right) + \hat{\gamma}_2 \cdot q_b + \varepsilon_{ab} \right\} \quad \forall a, b \quad (17)$$

ただし、 Γ_{ab} ：ゾーン a とゾーン b の間の有料道路料及びガソリン代がゼロであった場合($p_2^Y = p_3^Y = 0$ の場合)のゾーン a からゾーン b への訪問者数である。もし、 $\hat{\gamma}_1 < 0$ であれば、消費者の主体的均衡において $z_{ab} \leq \Gamma_{ab}$ となり、式(15)の第2項は非負の値をとる。

(7) 各ゾーンにおける集計後の効用関数と予算制約式

本来CGEでは、一国を複数の地域に分割し、地域ごとの家計の行動を明示的に定式化することが可能であるが、本論文では簡素化したものを構築するため、1国全体で1主体を想定する。すなわち、式(15)及び式(16)を各ゾーンに関して集計することにより、以下のような効用関数と予算制約式を定式化する。

$$U = NH + \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \cdot \sum_a \sum_b z_{ab} \cdot (\ln z_{ab} - \ln \Gamma_{ab} - 1) \quad (17)$$

$$p^{NH} \cdot NH + \sum_a \sum_b (p_2^Y \cdot g_{ab} + p_3^Y \cdot c_{ab}) \cdot z_{ab} = M \quad (18)$$

ただし、 U ：家計の効用関数(= $\sum_a u_a$)、 NH ：家計の合成消費財(= $\sum_a x_a$)、 M ：家計の所得(= $\sum_a M_a$)である。

なお、前述のとおり、生産部門の行動や他の一般市場均衡条件の細部については坂本ら(2012)²⁾に譲り、上式における各変数並びに価格は計算された一般市場均衡解

であることに留意されたい。

3. 便益の定義

厚生分析における便益はEVにより計測することとする。EVは、価格と環境質を事前状態に固定した支出関数を使って単調変換した効用水準の差分として定義される。よってCVとは異なり、複数の状態比較を図った際でも推移律を満たす。

今、砂浜侵食により各ゾーンの砂浜面積ベクトルが q^0 (現状)から q^1 へ変化したとする。一般均衡分析の観点からは、こうした外生変数の変化は均衡価格や要素所得も変化させることになる。以降で詳述するように、各ゾーンの砂浜面積ベクトルは海面上昇による長期的な影響、あるいは仮想的な適応政策の実行によって変化する。これらに伴い、価格体系は p^w から p^Y へ、要素所得は M^0 から M^1 へ変化し、 E を支出関数、 V を間接効用関数と定義すると、EVは次のように定式化される。

$$EV_{0 \rightarrow 1} = E(p^{Y0}, V(p^{Y1}, M^1, q^1), q^0) - E(p^{Y0}, V(p^{Y0}, M^0, q^0), q^0) \quad (19)$$

すなわちEVでは、事前・事後の間接効用水準を達成するために必要な事前価格体系で評価した支出の差分として、外生変数の変化の帰着ベース評価がなされる。状態1から更なる変化をもたらす状態2を想定したとしても、支出関数を評価する価格体系は現状の状態0であることに留意されたい。

$$EV_{0 \rightarrow 2} = E(p^{Y0}, V(p^{Y2}, M^2, q^2), q^0) - E(p^{Y0}, V(p^{Y0}, M^0, q^0), q^0) \quad (20)$$

ここで式(20)と式(19)の差分である $EV_{1 \rightarrow 2}$ を計算すると、各々の右辺第二項は相殺され、各状態における間接効用水準を状態1の価格体系で評価した支出関数の差分として表現される。この算定式を用い、本論文における地域毎の被害の計測及び適応政策の評価を図っていく。

4. 適応政策のシミュレーション

(1) 砂浜の被害シナリオの設定

本論文における数値実験の目的は、各ゾーンに位置する砂浜が被る温暖化進展による海面上昇に伴う被害の算定である。本論文の砂浜の被害シナリオは以下の2つのケースを比較し、総被害額の差額を各都道府県の被害額とする。

ケース① 全ての都道府県において三村ら(1994)¹⁾の予測に基づくシナリオで砂浜侵食が発生した場合

の日本全体の総被害額

ケース② 任意の一つの都道府県で砂浜侵食が発生せず（現状維持），それ以外の都道府県では上記のシナリオの砂浜侵食が発生した場合の日本全体の総被害額

図-3 ケース①の状況時の総被害

図-4 ケース②の状況時の総被害

ケース①については前章で述べたように、現状である状態0 q^0 と、何も対策を施さない場合の将来予測値状態1 q^1 を比較した式(19)によって計算される。ケース②については、状態1から対象地のみ状態0の砂浜面積値に戻すとして q^2 を定義する。ここで式(20)を計算し、さらに式(20)と式(19)の差分である EV_{1-2} を計算することで、砂浜侵食による各都道府県の被害額を算定する。

砂浜侵食の参考値としては、三村ら(1994)¹⁾の海面上昇(30cm, 65cm)による都道府県別の砂浜侵食率の予測値を設定する。すなわち、レクリエーション需要関数における q_j を都道府県ごとに砂浜侵食分だけ変化させる。ここで、海面上昇65cmの場合、岡山県の砂浜だけ完全に消失することから、シミュレーションに使用したGAMSのプログラムでは砂浜の面積を0とすると、異常な値となる問題が発生する。そこで、海面上昇65cmのときの岡山県の砂浜消失率は意図的に砂浜が残存するように、99.999%減少するように設定した。

以上より、本論文では上記のシナリオ及び砂浜侵食率の予測値をもとに、各都道府県の砂浜被害額を算定する。

(2) シミュレーションによる砂浜被害額の結果

シミュレーションによる砂浜被害額の結果を図-5から図-7に示す。砂浜被害額の結果における際立った特徴について、第一に、砂浜侵食による日本全体の被害額は海面上昇30cm, 65cm時でそれぞれ約290億円/年、約530

億円/年と算定された。一方、先行研究の砂浜被害額と比較すると、まず、大野ら(2009)³⁾のTCMを用いて推計した日本全体の被害額はそれぞれ約522億円/年、753億円/年となっており、本論文の算定値と大きな差が見られる。これについては、大野ら(2009)³⁾による砂浜被害額の算定は砂浜面積の変化に対し、比例的に訪問者数も変化するものとして算出されており、砂浜侵食による価格変化や所得変化が考慮されていないことが原因と考えられる。次に、坂本ら(2012)²⁾による砂浜侵食による日本全体の被害額はそれぞれ約247億円/年、約753億円/年となり、本論文とは異なった算定結果を示した。これについては、坂本ら(2012)²⁾による砂浜の被害額は日本全体における砂浜侵食の予測値を用いており、その値を各都道府県の砂浜侵食率として全国一律に設定している。それに対して、本論文は各都道府県の予測値を用いて、個別の砂浜侵食率を設定しているため、結果として各都道府県の1㎡当たりの侵食被害額及び訪問者数への影響が異なることが一致しない原因と考えられる。

図-5 各都道府県の海面上昇シナリオ別の砂浜被害額

第二に、各都道府県の砂浜被害額を見ると、図-5より、海面上昇30cmでは約0.8億円/年(徳島県)から約60.0億円/年(沖縄県)、海面上昇65cmでは約1.6億円/年(徳島県)から約72.5億円/年(沖縄県)となり、砂浜侵食率が大きくなるにつれて、砂浜の被害額も高くなることがわかる。

第三に、各都道府県の砂浜被害額を砂浜侵食単位面積当たりの被害額に換算すると、図-6及び図-7より、大阪、岡山、佐賀の順で高くなっていることがわかる。これらの県の特徴として、砂浜の被害額を全国で順位づけすると、それぞれ21位、13位、38位とそれほど高いわけではないが、現状の砂浜の広さは39位、37位、38位と全国で下から3県であることがわかる。ゆえに、上記の3県は単位面積当たりの砂浜の被害額が他の県に比べて高くなりやすいと考えられる。また、一部の県では海面上昇65cmより30cmの単位面積当たりの砂浜の被害額が高く

なり、逆転関係になっている部分がある。これについては、海面上昇量30cmから65cmのときの砂浜侵食面積が急激に増加しているため、被害額の増加分よりも侵食面積の増加分の方が上回ったことが原因と考えられる。

図-6 各都道府県の砂浜侵食単位面積当たりの被害額
(海面上昇30cm時)

図-7 各都道府県の砂浜侵食単位面積当たりの被害額
(海面上昇65cm時)

(3) 仮想的な適応政策の設定

本論文では砂浜の適応政策として仮想的な養浜事業を想定する。ここで想定する養浜事業とは、事業実施に当たって物理的な政策効果の限界はなく、砂浜が侵食した後、事業を実施することで砂浜を侵食前、すなわち、現状の状況に戻すことができるものとする。また、この仮想的な適応政策の費用については以下のように設定する。

近年、埋め立てや護岸工事等の開発によって失われた自然海岸を復元するために様々な地域で人工海浜の造成が行われてきた。その多くは人々の憩いの場の提供となる人工砂浜であり、生物多様性や水質の維持を目的とした人工干潟の実例は少ない。ここで、全国の人工干潟は71か所あるが、そのうち東京湾野鳥公園、葛西海浜公園等¹³⁾の7か所の造成事例を取り上げ、まとめると以下の

ようになる。人工海浜の総面積は5,648,000m²、総事業費は283億円となり、単位面積当たりの平均事業費は18,276円/m²となる。この値を本論文で掲げる仮想的な適応政策、すなわち養浜事業(砂浜造成事業)における単位面積当たりの事業費とする。

(4) 仮想的な適応政策による費用対効果

ここでは、上記で記した仮想的な適応政策(養浜事業)による事業実施の効果(費用便益比)を評価する。なお、費用便益比の便益は上記で示した砂浜侵食単位面積当たりの被害額の値をそのまま用いる。これについては、砂浜侵食による被害と物理的限界を持たない仮想的な適応政策の効果(便益)は、表裏一体の関係にあり、それぞれの絶対値は等しくなるため、ここでは砂浜被害額を砂浜保全額に置き換える。

その結果、仮想的な養浜事業による費用対効果を見ると、図-7及び図-8より、海面上昇30cm、65cmの両シナリオにおいて費用便益比が1を超える都道府県はそれぞれ17カ所、20カ所となり、65cmのみ費用便益比が1を超える県は鳥取県、山口県、福岡県の3ヶ所であった。つまり、これらの都府県は養浜事業に対し、投資効率性が高いことを示しており、近い将来発生する海面上昇に対して、早急に対策を行っていくことが望まれる。しかし、本論文による事業効果は利用価値に限定しているため、利用価値と非利用価値を含んだ便益または被害の算定には至っていない。また、砂浜の侵食が進行することで、波浪等による二次被害が多発化するといわれており、今回の算定にはその被害を考慮していない。以上より、本論文は利用価値に限定した簡易的なシミュレーションであるため、非利用価値や二次被害等を考慮すると、上記の県以外にも費用対効果が1を超える可能性は十分あると考えられる。

図-8 各都道府県の費用便益比(海面上昇30cm時)

図-9 各都道府県の費用便益比(海面上昇65cm時)

5. まとめ

本論文は砂浜侵食による地域別被害並びに適応政策の評価を最終目的とした。具体的には、都道府県別の砂浜侵食による被害額を算定した。また、坂本ら(2012)²⁾が行っていない公共事業による外部影響から守るという仮想的な適応政策の検討及びその実施した場合の効果を都道府県別に算定した。その結果、本論文で得られた知見は以下に示すとおりである。

- ① 砂浜の被害額は砂浜侵食率が大きくなるにつれて、その効果も大きくなり、海面上昇30cmでは約0.8億円/年(徳島県)から約60.0億円/年(沖縄県)、海面上昇65cmでは約1.6億円/年(徳島県)から約72.5億円/年(沖縄県)と推計された。
- ② 仮想的な養浜事業による費用対効果について、海面上昇30cmでは39 都道府県中17都道府県、海面上昇65cmでは39 都道府県中20都道府県で費用便益比で1を超えたことから、それらの地域では養浜事業が妥当性が高いことが示された。

今後の課題としては、大きく四つ挙げられる。第一に、本論文の算定結果は当該地域の帰着効果ではなく、当該地域の砂浜侵食に端を発する、総被害や適応政策の総効果であり、国を代表する家計が被る被害または適応政策の恩恵の算定に過ぎない。したがって、SCGEモデルによる利点を完全には生かし切れていない。この問題には、集計されたSAMを都道府県毎に拡張することが有効であると思われるが、目下、都道府県間のゾーンごとで均衡を保つためには、ゾーン間における帰着先を産業連関表の地域別かつ部門別で特定化する必要があり、現状そこまでには至っていない。第二に、本論文では適応政策

による費用はSCGEモデルに内生的に組み込まれておらず、実際の事例を元に固定的に算定したものをを用いている。本来、適応政策による費用をどの地域、どの部門がどの程度負担するのか、それによって波及効果はどのように作用するのか、また、費用と物理的な効果はどのようにモデル化されるべきか、各々精緻化を図っていく必要がある。第三に、本モデルでは来期への社会資本の持ち越しや投資等、すなわち動学的特性を有しない。第四に、本モデルではレクリエーション価値に限定して評価しており、非利用価値の評価手法は確立していない。

これらの技術的問題は全ての責は筆者らに帰するものであり、今後の研究における主要なテーマである。

謝辞

本論文は、環境省の環境研究総合推進費(研究課題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)及び文部科学省の気候変動リスク情報創生プログラム(研究課題ii-a:気候変動に伴う水資源に関する社会・経済的影響及びその不確実性の評価研究、代表者:田中賢治)を受けた研究成果の一部である。ここに記して、謝意を表したい。

参考文献

- 1) 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,第41巻,pp.1161-1165,1994.
- 2) 坂本直樹,中嶋一憲:旅行費用法と整合的な応用一般均衡モデルの開発,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.217-II_228,2012.
- 3) 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評価:旅行費用法によるアプローチ,地球環境,Vol.14, No.2, pp.291-297, 2009.
- 4) 森杉壽芳:社会資本整備の便益評価,勁草書房,1997.
- 5) 総務省:平成17年(2005年)産業連関表,2009.
- 6) Cooper, J. and Loomis, J.: Testing whether waterfowl hunting benefits increase with greater water deliveries to wetlands, Environmental and Resource Economics 3, pp.545-561, 1993.
- 7) 国土交通省:平成11年度道路交通センサスOD集計用マスターデータ,2000.
- 8) 農林水産省:平成15年度海洋性レクリエーション施設年間利用客数(海水浴場),2004.
- 9) Varian, H. R.: Microeconomic Analysis, W. W. Norton & Company, Inc., 1992.
- 10) Mas-Colell, A., Whinston, M. D. and Green, J. R.: Microeconomic Theory, Oxford University Press, 1995.
- 11) Jehle, G. A. and Philip J. Reny, P. J.: Advanced Microeconomic Theory, Addison Wesley, 2001.

<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001019588&cycode=0>
(最終アクセス日:2012年3月21日)

12) von Haefen, R.H. : Empirical Strategies for Incorporating Weak complementarity into Consumer Demand Models, Journal of Environmental Economics and Management, 54(1), pp.15-31, 2007.

13) 国土交通省関東地方整備局: , 「東京湾再生のための行動計画について」について, 2003.

http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000010117.pdf

(2013. 4. 12 受付)

(2013. 7. 28 受理)

Examination of Regional Impacts of Adaptation Policies and Sand Erosion Damage due to Climate Change

Hiroshi SAO¹, Masafumi MORISUGI¹, Eiji OHNO¹, Naoki SAKAMOTO²,
Kazunori NAKAJIMA³ and Hisayoshi MORISUGI⁴

¹Faculty of Urban Science, Meijo University

²Faculty of Policy Management, Tohoku Bunka Gakuen University

³School of Human Science and Environment, University of Hyogo

⁴College of Science and Technology, Nihon University

Sea level rise due to global warming will cause different impacts for each region. For a example, some prefectures in Japan may suffer from disappearance of sandy shore when the rise level is over 65cm. As precedent researches, we have conducted to derive recreation demand function by travel cost method, to construct an applied general equilibrium model with the specified utility function which is consistent with the demand function above, and then to evaluate the damage of sand erosion in monetary terms. This study also modifies the model to estimate the damages by region and scenario of sea level rise. In addition, a prototype virtual adaptation policy is designed with some past instances of artificial beach nourishment project, and is examined in context of cost-benefit analysis. As a result, when the sea level rise are 30cm and 65cm, the minimum damage are estimated as 0.08 and 0.16 billion yen per year for Tokushima Pref. and the maximum ones are 6.0 and 7.25 billion yen per year for Okinawa Pref.. On the viewpoint of effectiveness about the designed virtual adaptation policy, the cost-benefit ratio exceeds 1 for 17 Pref. (30cm) and 20 Pref. (65cm) among 39 regions those have sand shore in their area.