

旅行費用法と統合的な応用一般均衡モデルの開発: 気候変動による砂浜浸食の経済評価

中畠 一憲¹・坂本 直樹²

¹正会員 兵庫県立大学准教授 環境人間学部 (〒670-0092 兵庫県姫路市新在家本町1-1-12)
E-mail: nakajima@shse.u-hyogo.ac.jp

²非会員 東北文化学園大学准教授 総合政策学部 (〒981-8551 宮城県仙台市青葉区国見6-45-1)
E-mail: nsakamo@pm.tbgu.ac.jp

気候変動が自然環境に及ぼす経済的影響を評価する方法として、旅行費用法や仮想市場法の適用が考えられる。しかしながら、これらの手法は個別の事例を対象とした部分均衡分析であり、気候変動による経済的影響の波及効果を計測することは困難である。一方、応用一般均衡分析は気候変動が経済主体の行動の変化を通じて経済全体に与える影響を把握することが可能である。そこで、本研究は気候変動による自然環境被害の経済的影響を計測するために、旅行費用法におけるレクリエーション需要関数を応用一般均衡モデルに統合することを目的とする。本研究は日本全国の砂浜を対象として、積分可能性問題を解くことにより、レクリエーション需要関数から合成消費財、砂浜への訪問回数、砂浜面積を独立変数とする効用関数を導出し、その効用関数を応用一般均衡モデルに適用する。また本研究は、気候変動による砂浜浸食が経済全体に及ぼす影響を定量的に計測する。

Key Words : *computable general equilibrium, travel cost method, integrability problem, climate change, beach erosion*

1. はじめに

気候変動は自然環境や生態系、社会経済、人体等、様々な側面に影響を及ぼすことは、IPCC(2007)¹⁾の研究を含む多くの研究成果によって知られている。気候変動の影響は経済主体の効用や生産の低下を引き起こし、経済主体の行動の変化を通じて経済全体に影響を及ぼす。このような気候変動の経済的影響を定量的に把握するための方法の1つとして、応用一般均衡分析が考えられる。応用一般均衡モデル(CGE: Computable General Equilibrium model)は経済主体の目的関数を明示的に定式化することから、気候変動が経済主体に与える直接的影響を把握することが可能である。また、応用一般均衡モデルは全ての市場を対象とすることから、気候変動が経済主体の行動の変化を通じて経済全体に与える影響を間接的に把握することも可能である。しかしながら、応用一般均衡モデルを用いることによって、気候変動が引き起こす自然環境への経済的影響を定量的に把握するためには、自然環境への影響を定式化すると共に、そのパラメータを推定しなければならない。

一方、自然環境や生態系の経済的価値や統計的生命の価値を計測するために、旅行費用法(TCM: Travel Cost

Method)や仮想市場法(CVM: Contingent Valuation Method)が数多くの研究において用いられてきた。しかしながら、これらの評価手法は個別の事例を対象とした部分均衡論的アプローチであるため、気候変動による自然環境の変化や、環境保全政策が経済全体に及ぼす影響やその波及効果を把握することはできない。当然のことながら、TCMやCVMによって自然環境の経済的価値や統計的生命の価値を計測したとしても、それらの結果をすぐに応用一般均衡モデルに適用し経済全体への影響を評価することはできない。

旅行費用法による評価の場合、収集されたデータを用いることにより、レクリエーション・サイトへの訪問回数に関する需要関数(以後、レクリエーション需要関数)が推定される。一方、仮想市場法による評価の場合、収集されたデータを用いて、間接効用関数が推定される。経済学における消費者行動理論に従えば、効用最大化問題における最適解と最適値がそれぞれ需要関数と間接効用関数として定義される。つまり、この関係性を用いれば、TCMあるいはCVMによって推定された需要関数と間接効用関数から、それらと経済理論的に統合的な効用関数を誘導することが可能である。また、需要関数が既知である場合は、偏微分方程式を解くことにより、その

需要関数と経済理論的に整合的な効用関数を導出することができる。このことは積分可能性問題として知られている。

そこで、本研究は気候変動による自然環境の変化が経済全体に及ぼす影響を計測するために、旅行費用法におけるレクリエーション需要関数から環境質を独立変数として持つ効用関数を導出し、その効用関数を統合した応用一般均衡モデルの理論的枠組みを開発することを目的とする。具体的には、日本全国の砂浜を対象として、海水浴に関するレクリエーション需要関数から、上述した積分可能性問題を解くことにより、合成消費財、砂浜への訪問回数、砂浜面積を独立変数とする効用関数を導出し、その効用関数を応用一般均衡モデルに統合することを試みる。また、本研究は砂浜浸食シナリオを用いた数値実験により、本研究で開発したモデルの挙動を確認し、実証分析への適用可能性を示す。これによって、例えば、気候変動による砂浜消失が経済全体にどのような影響を及ぼすのかということを定量的に計測することが可能となる。

本研究の構成は、2. において、レクリエーション需要関数の応用一般均衡モデルへの適用に関する既存研究について述べる。3. では、ゾーン別旅行費用法におけるレクリエーション需要関数から効用関数を誘導し、それを応用一般均衡分析に適用可能な形に変換する。4. では、本研究における応用一般均衡モデルの定式化を行う。5. では、砂浜浸食シナリオを用いて、ここまで示したCGEモデルによる数値実験を行う。最後に、6. において、本研究で得られた知見の取りまとめ及び今後の課題について述べる。

2. 既存研究

応用一般均衡分析において、あらかじめ定式化した需要関数から効用関数を誘導するアプローチをとっている先駆的研究としてはMiyata (1995)²⁾がある。この研究では、廃棄物料金に対する廃棄物排出量の弾力性が先行研究により算出可能であることから、それに基づいて合成財消費量と廃棄物排出量との関係式を設定し、予算制約式から合成財と廃棄物に関する需要関数を求めて、それらと整合的な効用関数を積分可能性問題を解くことにより導出するという方法がとられている。Miyata (1995)²⁾は、この方法により得られた効用関数を用いることによって、廃棄物という外部不経済を応用一般均衡モデルに導入している。

一方、本研究が対象とするレクリエーション需要関数を応用一般均衡モデルに統合することを試みた研究としては、Seung *et al.*(2000)³⁾と高木ら(2002)⁴⁾が挙げられる。

Seung *et al.*(2000)³⁾は、米国ネバダ州の水再分配問題(Water Reallocation Issues)を対象にして、レクリエーション需要関数を応用一般均衡モデルに適用している。この方法により、水再分配問題がレクリエーション関連部門のみならず、農業部門に与える影響も分析することができるとしている。しかしながら、この研究で用いられているレクリエーション需要関数は一般化交通費用が考慮されておらず、効用関数との整合性はない。また、高木ら(2002)⁴⁾は、長良川支川の吉田川を対象にし、河川における水環境保全策を経済的に評価するために、水環境評価モデルを組み込んだレクリエーション需要関数を地域間応用一般均衡モデルに統合することを試みている。この研究では、レクリエーション需要関数の推定式を用いた家計生産モデルを定式化し、家計が時間を投入してレクリエーション・サービスを生産する過程を表現している。さらに、生産されたレクリエーション・サービスは効用関数の独立変数として組み込まれている。しかしながら、レクリエーション需要関数が効用関数と独立に定式化されており、この意味で、両者の整合性がとれているかは明らかではない。

ところで、本研究は、地球温暖化が自然環境や生態系、人体に及ぼす経済的影響を総合的に評価するための手法の開発を意識しているが、本研究と同様の問題意識を持つ研究としてはCiscar *et al.*(2011)⁵⁾がある。この研究は、ヨーロッパにおける気候変動の経済的・物理的影響評価を行ったものであり、物理的影響項目として農業、沿岸域、河川氾濫、ツーリズムを扱っている。社会経済シナリオを前提として将来予測による気候データから各物理的影響項目の将来値を算出し、それらの値に基づいて経済モデルにより将来の経済的影響を評価するという手法がとられているが、各影響項目の評価値と経済モデルとの間には理論的整合性はない。

そこで、本研究では、地球温暖化によって消失が懸念される全国の砂浜を対象としてレクリエーション需要関数を推定し、その推定式から誘導される効用関数を応用一般均衡モデルに適用する。レクリエーション需要関数からの効用関数の誘導はMiyata (1995)²⁾と同様に、積分可能性問題を解く方法を採用する。これにより、消費者行動理論と整合的な分析が可能となる。

3. 効用関数の誘導

(1) レクリエーション需要関数と整合した効用関数

本研究では、ゾーン別旅行費用法により推定されたレクリエーション需要関数から効用関数を誘導して、それを応用一般均衡モデルに適用する。

N ゾーンに分けられた国を考え、各ゾーンには分析の対象とする自然環境(本研究では砂浜)が存在する状況を想定する。いま、ゾーン a からゾーン b へのレクリエーション需要関数が回帰分析により以下のように推定されたとする。関数形としては、訪問率の推定値が負となることを排除し、また、各ゾーンの人口の差から生じる分散不均一性に対処するため、片側対数型を採用している。詳しくは、Cooper and Loomis (1993)⁶⁾を参照されたい。

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

$$p_{ab} \equiv \frac{p_2^y g_{ab} + p_3^y c_{ab} + w t_{ab}}{p_1^y} \quad \text{for } \forall a, b \quad (2)$$

ここで、 z_{ab} はゾーン a からゾーン b への訪問回数で、 n_a はゾーン a の人口である。したがって、 (z_{ab}/n_a) はゾーン a からゾーン b への訪問率を表す。 p_{ab} はゾーン a とゾーン b を往復するために必要な訪問1回あたりの旅行費用であり、式(2)のように合成財価格 p_1^y との相対価格で定義している。なお、 $p_{ab} = p_{ba}$ である。 p_2^y, p_3^y, w はそれぞれガソリン価格、有料道路料金、時間価値である。また、 g_{ab}, c_{ab}, t_{ab} はそれぞれゾーン a とゾーン b を往復するために必要な訪問1回あたりのガソリン使用量、有料道路利用量、時間である。 q_b はゾーン b の環境質(本研究では砂浜面積)である。このように、説明変数に環境質を明示的に含めることにより、環境質の変化による応用一般均衡分析が可能となる。 $\hat{\gamma}_0, \hat{\gamma}_1, \hat{\gamma}_2$ はパラメータの推定値であり、 $\hat{\gamma}_1 < 0, \hat{\gamma}_2 > 0$ であることが求められる。最後に $\hat{\varepsilon}_{ab}$ は残差である。

旅行費用法では、式(1)から消費者余剰 CS を計測して、自然環境の経済評価を行う。片側対数型のレクリエーション需要関数の場合、以下に示すように、消費者余剰は訪問回数の合計に比例する。

$$\begin{aligned} CS &\equiv \sum_a \sum_b \int_{p_2^y g_{ab} + p_3^y c_{ab} + w t_{ab}}^{\infty} n_a \\ &\quad \times \exp\left\{\hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 \left(\frac{l}{p_1^y}\right) + \hat{\gamma}_2 q_b + \hat{\varepsilon}_{ab}\right\} dl \\ &= -\frac{p_1^y}{\hat{\gamma}_1} \sum_a \sum_b n_a \exp(\hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 p_{ab} + \hat{\gamma}_2 q_b + \hat{\varepsilon}_{ab}) \\ &= -\frac{p_1^y}{\hat{\gamma}_1} \sum_a \sum_b z_{ab} \end{aligned} \quad (3)$$

しかしながら、消費者余剰は部分均衡アプローチによ

る便益計測であり、その計測値は合成財価格、有料道路料金、ガソリン価格が一定であることを前提としている。環境質の変化の影響は訪問回数の変化を通じて他の市場に波及すると考えられるが、旅行費用法ではそうした効果は捨象されることになる。

ところで、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、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く問題は積分可能性問題として知られている。積分可能性問題の詳細については、Varian (1992)⁷⁾, Mas-Colell et al. (1995)⁸⁾, Jehle and Reny (2001)⁹⁾を参照されたい。式(1)をレクリエーション需要関数として持つ家計の効用関数及び予算制約式はそれぞれ以下のように導かれる。詳細は付録を参照されたい。

$$u_a = x_a + \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \sum_b z_{ab} (\ln z_{ab} - \ln \Gamma_{ab} - 1) \quad \text{for } \forall a \quad (4)$$

$$p_1^y x_a + \sum_b (p_2^y g_{ab} + p_3^y c_{ab}) z_{ab} = M_a \quad \text{for } \forall a \quad (5)$$

$$\Gamma_{ab} \equiv n_a \exp\left\{\hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 \left(\frac{w t_{ab}}{p_1^y}\right) + \hat{\gamma}_2 q_b + \hat{\varepsilon}_{ab}\right\} \quad \text{for } \forall a, b \quad (6)$$

ここで、 u_a はゾーン a の家計の効用、 x_a はゾーン a の家計の合成財消費量、 M_a はゾーン a の家計の要素所得である。なお、 Γ_{ab} はゾーン a とゾーン b の間の有料道路料金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 への訪問者数に対応する。 $\hat{\gamma}_1 < 0$ 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(4)の第2項は非負の値をとる。

応用一般均衡分析では、一国を複数の地域に分割し、地域ごとに家計の行動を明示的に定式化することもあるが、本研究では簡単化のため一国全体で一主体の家計を想定して分析する。したがって、式(4)と式(5)をゾーンに関して集計し、それぞれ効用関数と予算制約式とする。

$$U = X_{1H} + \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \sum_a \sum_b z_{ab} (\ln z_{ab} - \ln \Gamma_{ab} - 1) \quad (7)$$

$$p_1^y X_{1H} + \sum_a \sum_b (p_2^y g_{ab} + p_3^y c_{ab}) z_{ab} = M \quad (8)$$

ここで、 U は家計の効用(= $\sum_a u_a$)、 X_{1H} は家計の合成消費財の量(= $\sum_a x_a$)、 M は家計の所得(= $\sum_a M_a$)である。

(2) 社会会計表との対応

応用一般均衡分析において用いられる効用関数の独立変数は、社会会計表の生産部門が生産する財と対応している。しかしながら、式(7)はそのような形になってお

らず，社会会計表に対応するように変換する必要がある。

効用関数の独立変数のうち z_{ab} はゾーン a からゾーン b への訪問回数である。この訪問を行うために必要なガソリン使用量を $x_{2,ab}$ とし，有料道路利用量を $x_{3,ab}$ とすると，それらは以下のように表される。

$$x_{2,ab} = g_{ab} z_{ab} \quad \text{for } \forall a, b \quad (9)$$

$$x_{3,ab} = c_{ab} z_{ab} \quad \text{for } \forall a, b \quad (10)$$

これらは，以下のレオンチェフ型生産関数に基づく費用最小化問題の最適解とみなすことができる。

$$z_{ab} = \min \left\{ \frac{x_{2,ab}}{g_{ab}}, \frac{x_{3,ab}}{c_{ab}} \right\} \quad \text{for } \forall a, b \quad (11)$$

したがって，家計は式(11)によってレクリエーション・サイトへの訪問回数を「生産」していると捉えることができる。また，式(11)を部分効用関数とみなすこともできる。これを図-1では UZ_{ab} と表している。

次に，すべてのゾーン間について，家計のガソリン使用量と有料道路利用量をそれぞれ以下のように集計する。

$$X_{2H} = \sum_a \sum_b x_{2,ab} \quad (12)$$

$$X_{3H} = \sum_a \sum_b x_{3,ab} \quad (13)$$

総務省 (2009)¹⁰⁾によると，社会会計表の元になる産業連関表(190部門表)では，ガソリンは「石油製品」部門で，有料道路は「その他の運輸付帯サービス」部門で生産される財である。そこで，本研究では，以下の方法により，砂浜利用目的のガソリンと有料道路を生産する新たな部門をそれぞれ設けることとした。

後述するように，本研究では砂浜利用を目的とした都道府県間の年間交通量と旅行費用の全国データからレクリエーション需要関数を推定する。したがって，このデータを利用して，一国全体で一年間に砂浜を利用するために消費されるガソリンと有料道路の量を金銭単位で計算することができる。まず，このようにして計算した砂浜利用目的のガソリン使用量を産業連関表における石油製品部門の家計消費から分割することとした。さらに，石油製品部門の中間財投入および要素投入についても家計消費と同じ比率で分割した。有料道路利用量も同様に処理して，砂浜利用目的のガソリン部門と砂浜利用目的の有料

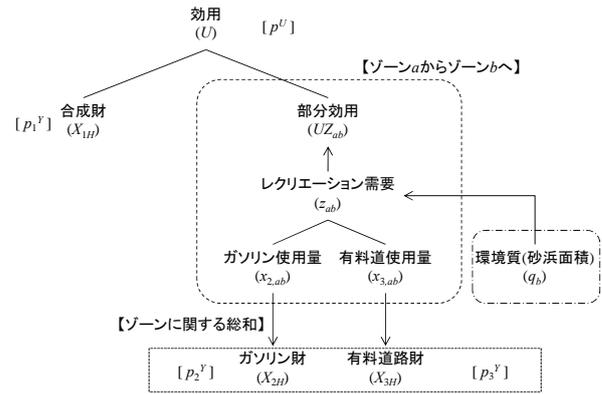


図-1: 家計の消費構造

道路部門を設けたこととした。他の生産部門はまとめて合成財部門とする。なお，以下では，砂浜利用目的のガソリン部門が生産する財を砂浜利用目的のガソリン財（または単にガソリン財），砂浜利用目的の有料道路部門が生産する財を砂浜利用目的の有料道路財（または単に有料道路財）と呼ぶことにする。

4. レクリエーション需要関数を統合した応用一般均衡モデルの構築

(1) モデルの概要

本研究はレクリエーション需要関数の推定式を応用一般均衡モデルに適用することが目的であるため，可能な限り簡略化したモデルの定式化を行う。

本研究のCGEモデルにおける経済主体は，合成財，砂浜利用目的のガソリン財，砂浜利用目的の有料道路財を生産する3つの生産部門，及び家計部門から成る。以下では，財及び部門を表す添字として，合成財は1を，砂浜利用目的のガソリン財は2を，砂浜利用目的の有料道路財は3を，そして家計部門はHを用いる。各生産部門は家計が保有する労働及び資本を生産要素とし，また合成財，ガソリン財，有料道路財を中間投入として生産を行う。生産された各生産財は，生産部門及び家計によって消費される。一方，家計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制約として，各財を消費する。このとき，家計部門におけるガソリン財及び有料道路財の消費は，ある環境質に関するレクリエーション需要関数に依存する。また，環境質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)，及び環境質によって決まる。なお，本研究における環境質は砂浜面積を想定している。

ここで、 p_j^Y , p_j^N , p_j^{VA} はそれぞれ生産財価格、合成中間財価格、合成生産要素価格を、 α_j^Y , ϕ_j^Y はパラメータを、そして σ_j^Y は代替弾力性パラメータを表わす。そして、合成中間財の需要関数は式(24)、合成生産要素の需要関数は式(25)、そして生産財価格は式(26)として表わされる。

$$N_j = Y_j \left(\frac{\alpha_j^Y (\phi_j^Y)^{\rho_j^Y} p_j^Y}{p_j^N} \right)^{\frac{1}{1-\rho_j^Y}} \quad (24)$$

$$VA_j = Y_j \left(\frac{(1-\alpha_j^Y) (\phi_j^Y)^{\rho_j^Y} p_j^Y}{p_j^{VA}} \right)^{\frac{1}{1-\rho_j^Y}} \quad (25)$$

$$p_j^Y = \frac{1}{\phi_j^Y} \left[\left(\alpha_j^Y \right)^{\frac{1}{1-\rho_j^Y}} \left(p_j^N \right)^{\frac{\rho_j^Y}{1-\rho_j^Y}} + \left(1-\alpha_j^Y \right)^{\frac{1}{1-\rho_j^Y}} \left(p_j^{VA} \right)^{\frac{\rho_j^Y}{1-\rho_j^Y}} \right]^{\frac{1-\rho_j^Y}{\rho_j^Y}} \quad (26)$$

b) 第2段階(1): 合成中間財

第2段階における第 j 生産部門の合成中間財 N_j は、各中間投入財 X_{ij} を用いて生産され、それらの需要関数は以下の費用最小化問題を解くことにより得られる。

$$p_j^N N_j = \min_{X_{1j}, \dots, X_{3j}} \sum_{i=1}^3 p_i^Q X_{ij} \quad (27)$$

$$\text{s.t. } N_j = \phi_j^N \left[\sum_i \alpha_{ij}^N X_{ij}^{\rho_j^N} \right]^{\frac{1}{\rho_j^N}}, \quad (28)$$

$$\text{where } \rho_j^N = \frac{\sigma_j^N - 1}{\sigma_j^N}, \sum_i \alpha_{ij}^N = 1$$

ここで、 α_{ij}^N , ϕ_j^N はパラメータを、そして σ_j^N は代替弾力性パラメータを表わす。そして、各中間投入財の需要関数は式(29)、そして合成中間財価格は式(30)として表わされる。

$$X_{ij} = N_j \left\{ \frac{\sum_i \alpha_{ij}^N (\phi_j^N)^{\rho_j^N} p_j^N}{p_j^Q} \right\}^{\frac{1}{1-\rho_j^N}} \quad \text{for } \forall i \quad (29)$$

$$p_j^N = \frac{1}{\phi_j^N} \left[\sum_i (\alpha_{ij}^N)^{\frac{1}{1-\rho_j^N}} \left(p_i^Q \right)^{\frac{\rho_j^N}{1-\rho_j^N}} \right]^{\frac{1-\rho_j^N}{\rho_j^N}} \quad (30)$$

c) 第2段階(2): 合成生産要素

第 j 生産部門の合成生産要素 VA_j は、労働 L_j 及び資本 K_j を用いて生産され、それらの需要関数は以下の費用最小化問題を解くことにより得られる。

$$p_j^{VA} VA_j = \min_{L_j, K_j} p^L L_j + p^K K_j \quad (31)$$

$$\text{s.t. } VA_j = \phi_j^{VA} \left(\alpha_j^{VA} L_j^{\rho_j^{VA}} + (1-\alpha_j^{VA}) K_j^{\rho_j^{VA}} \right)^{\frac{1}{\rho_j^{VA}}} \quad (32)$$

$$\text{where } \rho_j^{VA} = \frac{\sigma_j^{VA} - 1}{\sigma_j^{VA}}$$

ここで、 p^L , p^K はそれぞれ労働及び資本の要素価格を、 α_j^{VA} , ϕ_j^{VA} はパラメータを、そして σ_j^{VA} は代替弾力性パラメータを表わす。そして、労働及び資本の需要関数は式(33)、式(34)、及び合成生産要素価格は式(35)として表わされる。

$$L_j = VA_j \left(\frac{\alpha_j^{VA} (\phi_j^{VA})^{\rho_j^{VA}} p_j^{VA}}{p^L} \right)^{\frac{1}{1-\rho_j^{VA}}} \quad (33)$$

$$K_j = VA_j \left(\frac{(1-\alpha_j^{VA}) (\phi_j^{VA})^{\rho_j^{VA}} p_j^{VA}}{p^K} \right)^{\frac{1}{1-\rho_j^{VA}}} \quad (34)$$

$$p_j^{VA} = \frac{1}{\phi_j^{VA}} \left[\left(\alpha_j^{VA} \right)^{\frac{1}{1-\rho_j^{VA}}} \left(p^L \right)^{\frac{\rho_j^{VA}}{1-\rho_j^{VA}}} + \left(1-\alpha_j^{VA} \right)^{\frac{1}{1-\rho_j^{VA}}} \left(p^K \right)^{\frac{\rho_j^{VA}}{1-\rho_j^{VA}}} \right]^{\frac{1-\rho_j^{VA}}{\rho_j^{VA}}} \quad (35)$$

(5) 政府部門と投資部門

本研究における政府部門及び投資部門はHosoe *et al.* (2010)に従い定式化する。政府部門は家計から所得税 T^d を、企業から生産税 T_i^y を、そして外国から関税 T_i^{IM} を税収とし、これを全て政府消費として支出とする。ここで、各財に対する政府消費は政府支出総額に占める配分率 η_{iG} に従って決まると仮定すれば、第 i 産業部門に対する政府消費 X_{iG} は式(36)として表される。なお、

τ_i は各種税率を表す。

$$\begin{aligned} X_{iG} &= \frac{\eta_{iG}}{p_i^O} \left(T^d + \sum_i T_i^Y + \sum_i T_i^{IM} \right) \\ &= \frac{\eta_{iG}}{p_i^O} \left[\tau^d (p^L \bar{L} + p^K \bar{K}) \right. \\ &\quad \left. + \tau_i^Y p_i^Y Y_i + \tau_i^{IM} p_i^{IM} IM_i \right], \end{aligned} \quad (36)$$

$$\text{where } 0 \leq \eta_{iG} \leq 1, \sum_i \eta_{iG} = 1$$

他方、投資部門は家計貯蓄 S^H 、及び外貨建ての海外所得移転 S^F を合わせた総貯蓄を投資の原資とする。本研究の投資行動は、政府消費と同様に、各財に対する投資支出は投資支出総額に占める配分率 η_{ii} に従って決まると仮定すれば、第 i 産業部門に対する投資支出 X_{ii} は式(37)として表される。

$$\begin{aligned} X_{ii} &= \frac{\eta_{ii}}{p_i^O} (S^H + \varepsilon S^F) \\ &= \frac{\eta_{ii}}{p_i^O} \left[\mu_{ii} (p^L \bar{L} + p^K \bar{K}) \right. \\ &\quad \left. - \varepsilon \left(\sum_i p_i^{WEX} EX_i - \sum_i p_i^{WIM} IM_i \right) \right], \end{aligned}$$

$$\text{where } 0 \leq \eta_{ii} \leq 1, \sum_i \eta_{ii} = 1$$

(6) 国際貿易

本研究における国際貿易はHosoe *et al.* (2010)に従い定式化する。図-2は本研究の輸出及び輸入の取扱いを示しており、本研究は国内財および輸出財、国内財および輸入財はこれらの代替関係に不完全代替を仮定したArmingtonの仮定を適用する。また、 ε を為替レート、 p_i^{WEX} を輸出財の外貨建て価格、 p_i^{WIM} を輸入財の外貨建て価格とすれば、輸出財価格 p_i^{EX} 及び輸入財価格 p_i^{IM} はそれぞれ式(38)及び式(39)で定義される。さらに、輸出を EX_i 、輸入を IM_i とすれば、国際収支条件は式(40)で定義される。

$$p_i^{EX} = \varepsilon p_i^{WEX} \quad (38)$$

$$p_i^{IM} = \varepsilon p_i^{WIM} \quad (39)$$

$$\sum_i p_i^{WEX} EX_i + S^F = \sum_i p_i^{WIM} IM_i \quad (40)$$

まず、国内で生産された財 Y_i を国内および海外に供給するとき、国内財 D_i と輸出財 EX_i との関係は限界変形率が一定である CET(Constant Elasticity of Transformation)

型変形関数によって表される。また、企業は国内で生産された財を利潤が最大になるように国内財と輸出財を配分するため、国内財および輸出財の配分は CET 型変形関数による技術制約下での利潤最大化問題として以下のように定義される。

$$\pi_i^{YT} = \max_{EX_i, D_i, Y_i} \left(p_i^{EX} EX_i + p_i^D D_i \right) - (1 + \tau_i^Y) p_i^Y Y_i \quad (41)$$

$$\text{s.t. } Y_i = \phi_i^{YT} \left(\alpha_i^{YT} EX_i^{\rho_i^{YT}} + (1 - \alpha_i^{YT}) D_i^{\rho_i^{YT}} \right)^{\frac{1}{\rho_i^{YT}}}, \quad (42)$$

$$\text{where } \rho_i^{YT} = \frac{\sigma_i^{YT} - 1}{\sigma_i^{YT}}$$

ここで、 p_i^D は国内財価格を、 α_i^{YT} 、 ϕ_i^{YT} はパラメータを、そして σ_i^{YT} は代替弾力性パラメータを表わす。そして、輸出財及び国内財の供給関数は式(33)及び式(34)として表わされる。

$$EX_i = Y_i \left(\frac{\alpha_i^{YT} (\phi_i^Y)^{\rho_i^{YT}} (1 + \tau_i^Y) p_i^Y}{p_i^{EX}} \right)^{\frac{1}{1 - \rho_i^{YT}}} \quad (37)$$

$$D_i = Y_i \left(\frac{(1 - \alpha_i^{YT}) (\phi_i^Y)^{\rho_i^{YT}} (1 + \tau_i^Y) p_i^Y}{p_i^D} \right)^{\frac{1}{1 - \rho_i^{YT}}} \quad (44)$$

次に、国内財および輸入財に関してArmingtonの仮定を適用する。つまり、国内財と輸入財が統合され、国内で中間投入や最終需要として需要される財(Armington合成財)が生産されるとする。この国内財 D_i と輸入財 IM_i とを統合は生産技術制約下における費用最小化問題として以下のように定義される。

$$p_i^Q Q_i = \min_{IM_i, D_i} \left(1 + \tau_i^{IM} \right) p_i^{IM} IM_i + p_i^D D_i \quad (45)$$

$$\text{s.t. } Q_i = \phi_i^Q \left(\alpha_i^Q IM_i^{\rho_i^Q} + (1 - \alpha_i^Q) D_i^{\rho_i^Q} \right)^{\frac{1}{\rho_i^Q}}, \quad (46)$$

$$\text{where } \rho_i^Q = \frac{\sigma_i^Q - 1}{\sigma_i^Q}$$

ここで、 Q_i 及び p_i^Q は国内供給財(Armington合成財)及びその価格を、 α_i^Q 、 ϕ_i^Q はパラメータを、そして σ_i^Q は代替弾力性パラメータを表わす。そして、輸入財及び国内財の需要関数は式(47)、式(48)及び国内供給財価格は式

(49)としてそれぞれ表わされる。

$$IM_i = Q_i \left(\frac{\alpha_i^Q (\phi_i^Q)^{\rho_j^Q} p_j^Q}{(1 + \tau_i^M) p_i^{IM}} \right)^{\frac{1}{1 - \rho_j^Q}} \quad (47)$$

$$D_i = Q_i \left(\frac{(1 - \alpha_i^Q) (\phi_i^Q)^{\rho_j^Q} p_j^Q}{p_i^D} \right)^{\frac{1}{1 - \rho_j^Q}} \quad (48)$$

$$p_i^Q = \frac{1}{\phi_i^Q} \left[\left(\alpha_i^Q \right)^{\frac{1}{1 - \rho_j^Q}} \left\{ (1 + \tau_i^M) p_i^{IM} \right\}^{\frac{\rho_j^Q}{1 - \rho_j^Q}} + (1 - \alpha_i^Q)^{\frac{1}{1 - \rho_j^Q}} \left(p_i^D \right)^{\frac{\rho_j^Q}{1 - \rho_j^Q}} \right]^{\frac{1 - \rho_j^Q}{\rho_j^Q}} \quad (49)$$

(7) 市場均衡条件

市場均衡条件に関して、財市場は式(50)、労働市場は式(51)、そして資本市場は式(52)としてそれぞれ以下の様に表わされる。

$$Q_i = \sum_j X_{ij} + X_{IH} + X_{iG} + X_{iI}, \text{ for } \forall i \quad (50)$$

$$\bar{L} = \sum_j L_j \quad (51)$$

$$\bar{K} = \sum_j K_j \quad (52)$$

ここで、 \bar{L} 、 \bar{K} はそれぞれ家計が初期保有する労働及び資本を表わす。

5. 数値実験によるモデルの挙動確認

(1) 基準データの作成

3. 及び4. において構築したCGEモデルを用いて数値実験を行うために、基準データとなる社会会計表(SAM: Social Account Matrix)を作成する必要がある。本研究は基準データとして総務省(2009)¹⁰による平成17年(2005年)産業連関表のデータを利用した。また、生産部門は合成財、砂浜利用目的ガソリン財、砂浜利用目的有料道路財の3部門とし、最終需要部門は家計部門、政府部門、投資部門、外国部門とした。ここで、砂浜利用目的ガソリン財、砂浜利用目的有料道路財は産業連関表においてデータとして存在しないため、これらのデータを作成した。具体的には、前述したレクリエーション需要

関数の推定に用いたデータから、旅行費用におけるガソリン代及び有料道路料金がそれぞれ10,189百万円、2,376百万円と算出され、これらを砂浜利用目的ガソリン財、砂浜利用目的有料道路財に関する家計消費とした。そして、砂浜利用目的ガソリン財は産業連関表(190部門表)における「石油製品」に、また砂浜利用目的有料道路財は同表(同部門表)における「その他の運輸付帯サービス」に対応すると想定し、これらの部門から差し引くことによって砂浜利用目的の家計消費を作成した。また、砂浜利用目的ガソリン財、砂浜利用目的有料道路財を生産する部門に関しては、これらの財の家計消費額との比率を用いて按分した(例えば、砂浜利用目的ガソリン財と石油製品との比)。さらに、2つの砂浜利用目的財以外の財に関しては、全て合成財として集約した。生産要素は労働及び資本の2つの要素に集約した。以上より、基準データとなるSAMを作成した。

(2) パラメータ推定

a) レクリエーション需要関数

本研究では、全国の砂浜を対象として、式(1)のレクリエーション需要関数を推定する。推定にはゾーン別旅行費用法を用いることとし、ゾーンとして都道府県を想定する。データについては、本研究と同様の推定を行っている大野ら(2009)¹²と同じものを用いることにした。大野ら(2009)¹²は、国土交通省(2000)¹³と農林水産省(2004)¹⁴に基づいて、都道府県間の砂浜利用目的交通量(砂浜への訪問回数)及び砂浜を目的地とする一般化交通費用(旅行費用)に関する全国規模のデータを作成している。このデータの作成方法に関しては、大野ら(2009)¹²を参照されたい。また、大野ら(2009)¹²が推定に用いていない各都道府県の人口のデータは2009年時点のものを用い、各都道府県の砂浜面積のデータは三村ら(1994)¹⁵から得ている。なお、砂浜面積のデータには自然対数をとっている。

以上のデータを用いて、最小二乗法により推定した結果は、表-1の通りである。旅行費用に関する回帰係数は負値をとり、環境質に関する回帰係数は正値をとることから、符号条件は満たされている。また、ともに統計的に有意な推定結果となっている。環境質に関する回帰係数は1より小さい値であり、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。一方、大野ら(2009)¹²は説明変数として環境質を加えておらず、砂浜面積の変化に対して比例的に訪問回数が増えるものとして経済評価を行っている。

b) 効用関数

効用関数のパラメータのうち、レクリエーション需要関数に関する $\hat{\gamma}_0, \hat{\gamma}_1, \hat{\gamma}_2, \hat{\varepsilon}_{ab}$ は回帰分析により推定値が

得られている。スーパーSCRIPTで基準時点を表すものとする、式(1)より次式が恒等的に成り立つ。

$$z_{ab}^0 \equiv n_a^0 \exp(\hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 p_{ab}^0 + \hat{\gamma}_2 q_b^0 + \hat{\varepsilon}_{ab}) \quad \forall a, b \quad (53)$$

c) 生産関数

本研究において用いられる生産関数は全てCES型生産関数を想定しているため、式(23)、(28)、(32)における各生産関数の未知パラメータは α 、 σ 、 ϕ である。ここで代替弾力性パラメータ σ は全てにおいて2.0と外生的に仮定している。一方、未知パラメータ α 、 ϕ は、上述した基準データを用いてキャリブレーションによって推定した。これらの推定結果を表-2に示す。

(3) 海面上昇による砂浜浸食の厚生分析

a) 砂浜浸食シナリオの設定

ここでは砂浜浸食シナリオの設定について説明する。本研究における数値実験の目的は、環境質の変化による家計行動の変化を通じた厚生分析を行うことによって、レクリエーション需要関数を統合したCGEモデルの挙動を確認することである。そのため、本研究の砂浜浸食シナリオは、環境質の変化を砂浜浸食による消失として捉え、砂浜浸食率を10%から90%まで10%刻みで変化させる感度分析シナリオとして設定する。つまり、式(14)における環境質 q_b を砂浜浸食率分だけ変化させる。また、砂浜浸食の参考値として、三村ら(1994)¹⁵の気候変動に伴う海面上昇が引き起こす3つの砂浜浸食率の予測値を用いた数値実験を気候変動シナリオとして行う。ここでは、大野ら(2009)¹²の試算結果を参考として比較する。なお、表-3は本研究で用いる砂浜浸食シナリオを示している。

b) 便益の定義

本研究では、海面上昇による砂浜面積の減少に関して厚生分析を行うが、等価変分 EV により便益を計測するものとする。等価変分は支出関数を用いて定義されるが、支出関数は式(21)を M について解くことにより以下のようになれる。

$$E = pU - CS \quad (54)$$

海面上昇による砂浜面積の減少に関する EV は次のようになる。

表-1: 効用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	
N. of observations	227	

表-2: 生産関数のパラメータ推定値

	1. 合成財	2. ガソリン財	3. 有料道路財
α_j^Y	0.507	0.813	0.530
α_j^{VA}	0.535	0.452	0.598
α_j^{VT}	0.777	0.810	0.738
α_j^O	0.227	0.304	0.224
α_{1j}^N	0.990	0.988	0.976
α_{2j}^N	0.007	0.010	0.018
α_{3j}^N	0.003	0.002	0.006
ϕ_j^Y	2.000	1.436	1.993
ϕ_j^{VA}	1.990	1.982	1.926
ϕ_j^{VT}	2.696	2.284	2.442
ϕ_j^O	1.549	1.747	1.532
ϕ_j^{NA}	1.020	1.025	1.048

表-3: 砂浜浸食シナリオの設定値

	設定値
感度分析シナリオ	砂浜浸食率を10%から90%まで10%刻みで変化させる
気候変動シナリオ	三村ら(1994) ¹⁴ に基づき、3つの海面上昇量に対応する砂浜浸食率を想定する ①0.30m: 56.6%, ②0.65m: 81.7%, ③1.00m: 90.3%

$$\begin{aligned} EV &= (p^0 V^1 - CS^0) - (p^0 V^0 - CS^0) \\ &= \left(p^0 \frac{M^1 + CS^1}{p^1} - CS^0 \right) - \left(p^0 \frac{M^0 + CS^0}{p^0} - CS^0 \right) \\ &= p_0 \left(\frac{M^1 + CS^1}{p^1} - \frac{M^0 + CS^0}{p^0} \right) \\ &= p^0 \left\{ \left(\frac{M^1}{p^1} - \frac{M^0}{p^0} \right) - \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \sum_a \sum_b (z_{ab}^1 - z_{ab}^0) \right\} \end{aligned} \quad (55)$$

ここで、スーパーSCRIPTの「0」は海面上昇前の価格体系と環境質の下での値を表し、同じく「1」は海面上昇後のそれである。部分均衡分析において想定される $p^0 = p^1, M^0 = M^1$ という状況では、 $EV = CS^1 - CS^0$ となる。これは効用関数が合成消費財と訪問回数に関して準線形であることによるよく知られた結果であるが、一般均衡分析においては通常 $p^0 \neq p^1, M^0 \neq M^1$ であり、

等価変分は消費者余剰の変分として表すことができない。本研究では、応用一般均衡モデルを用いることにより、環境質の変化による価格体系や所得の変化も捉えて、等価変分を計測する。

(4) 数値実験による結果

本研究における数値実験の結果を図-3から図-8及び表-4に示す。初めに、感度分析シナリオの結果から見ると、第一に、図-3及び図-4より砂浜浸食率が大きくなるにつれて、レクリエーション需要量の減少に伴い、等価変分(EV)及び消費者余剰の差(ΔCS)は被害額として約35億円/年から約550億円/年まで共に大きくなる。ここで、消費者余剰の差は砂浜浸食の有無の差として定義している。また、EV及び ΔCS はいずれのシナリオにおいても、ほぼ同じ値であることが分かる。このことは図-5及び図-6を見ると、各シナリオにおける所得及び合成財価格の変化率が極めて小さいため、式(55)における所得及び合成財価格の変化の差が小さくなっていることに起因すると考えられる。しかしながら、EV及び ΔCS は極めて小さいながらも差は存在し、両者は一致していない。このことは、式(55)によって定義されたEVにおいて、部分均衡アプローチから導出される消費者余剰では考慮されない価格変化及び所得変化が、本研究のCGEモデルにより反映されていることを意味している。

第二に、図-6の生産財価格の変化を見ると、ガソリン財及び有料道路財の生産財価格はいずれの砂浜浸食シナリオにおいても上昇している。一方、図-7よりガソリン財及び有料道路財の生産量は各シナリオにおいて減少していることに対して、図-8から家計におけるガソリン財及び有料道路財の消費量も各シナリオにおいて減少している。つまり、ガソリン財及び有料道路財の価格上昇に対して、これら砂浜利用目的財の供給量(生産量)及び需要量(消費量)は減少していることが分かる。一般的な経済理論において、需要量の減少は右下がりて表された需要曲線の左シフトによって説明されるため、供給量が不変ならば、需要曲線が左シフトした後の均衡価格は低下することに対して、供給量の減少は右上がりて表された供給曲線の左シフトによって説明されるため、需要量が不変ならば、供給量減少後の均衡価格は上昇する。つまり、本研究の数値実験の結果は、ガソリン財及び有料道路財の需要量の減少に伴う価格低下よりも、これらの財の供給量の減少に伴う価格上昇の方が相対的に大きいことに起因すると考えられる。

第三に、図-8から砂浜浸食率が大きくなるにつれて、家計におけるガソリン財及び有料道路財の消費が減少することに対して、変化率は極めて小さいものの合成財消費は増加している。このことは上述したように所得が増

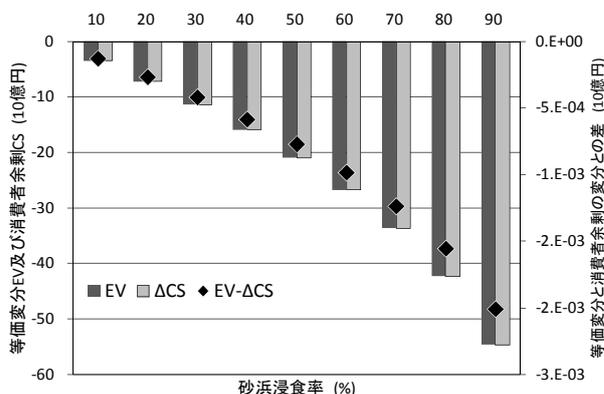


図-3: 各シナリオにおける等価変分及び消費者余剰

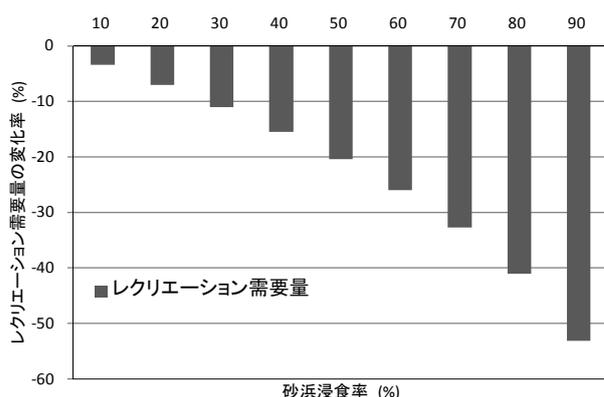


図-4: レクリエーション需要量の変化率

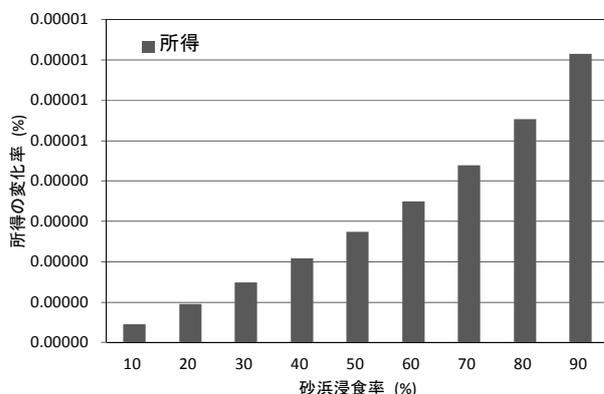


図-5: 所得の変化率

加しているため、ガソリン財及び有料道路財の家計消費が減少した分、家計の合成財消費が増加したものと考えられる。

次に、三村ら(1994)¹⁵⁾に基づく気候変動シナリオの数値実験結果に関して表-4を見ると、0.30m、0.65m、1.00mの海面上昇量により、本研究のEV及び ΔCS は247億円/年、440億円/年、551億円/年の被害額であるのに対して、大野ら(2009)¹²⁾による経済的被害額は522億円/年、753億円/年、832億円/年と大きく異なることが分かる。このことは、大野ら(2009)¹²⁾による砂浜消失の経済的損失は、上述したように、砂浜利用者と砂浜面積との比例関係によって算出されることが、本研究の数値実験の結果と大

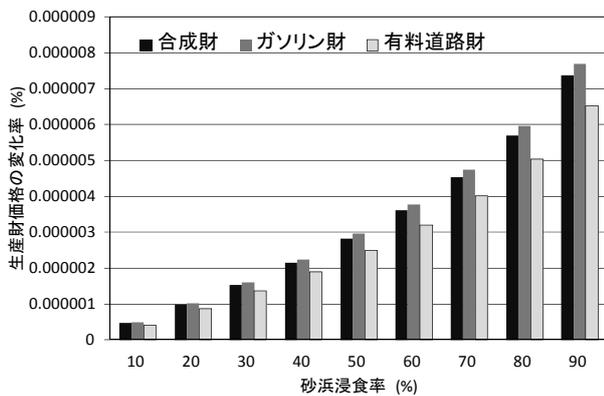


図-6: 生産財価格の変化率

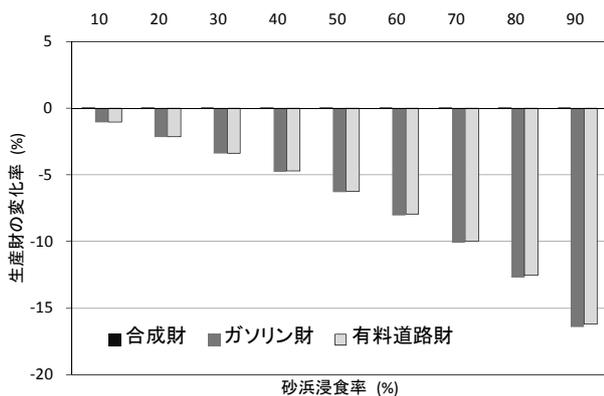


図-7: 生産財の変化率

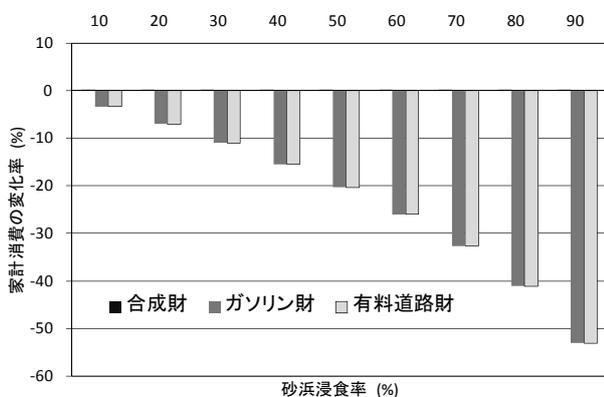


図-8: 家計消費の変化率

大きく異なる原因である。以上のことから、極めて簡易ではあるものの、気候変動シナリオによる数値実験の結果から、本研究のレクリエーション需要関数を統合したCGEモデルの妥当性が確認されたと考えられる。

6. おわりに

本研究は気候変動による自然環境への変化が及ぼす経済的影響を計測するために、旅行費用法におけるレクリエーション需要関数から環境質を独立変数として持つ効用関数を導出することによって、その効用関数を統合し

表-4: 気候変動シナリオによる結果

	EV	ΔCS	大野ら(2009) ¹¹⁾
0.30m 上昇 (56.6%)	-24.7	-24.7	-52.2
0.65m 上昇 (81.7%)	-44.0	-44.0	-75.3
1.00m 上昇 (90.3%)	-55.1	-55.1	-83.2

(単位: 10億円)

た応用一般均衡モデルの理論的枠組みを示し、砂浜浸食シナリオを用いた数値実験によってモデルの挙動を確認した。その結果、本研究で得られた知見を以下に示す。

- ① 消費者行動理論における積分可能性問題を解くことにより、旅行費用法におけるレクリエーション需要関数の推定式から合成消費財、レクリエーション・サイト(砂浜)への訪問回数、レクリエーション・サイトの環境質(砂浜面積)を独立変数とする効用関数を導出し、この効用関数と整合的な応用一般均衡モデルの理論的枠組みを示した。
- ② 砂浜浸食シナリオを用いた数値実験によって、部分均衡アプローチから導出される消費者余剰では考慮されない合成財価格の変化及び所得の変化を、本研究で開発したCGEモデルを用いることによって評価できることを示した。
- ③ 砂浜浸食シナリオを用いた数値実験から、本研究のCGEモデルの妥当性を確認し、それに伴って、より現実的な実証分析への適用可能性を示した。

今後の課題として、第一に、環境質の利用価値だけでなく、非利用価値を計測することができるモデルへの拡張が必要である。本研究は旅行費用法によって計測される環境質の利用価値に着目したが、仮想市場法と理論的整合性を持つ応用一般均衡モデルの枠組みを開発することにより、環境質の非利用価値を含めた経済評価が可能となると考えられる。第二に、数値実験で用いたCGEモデルをより現実的なモデルへ拡張する必要がある。本研究の数値実験は、開発した理論モデルの挙動を確認するための極めて簡便なモデルを用いて行ったが、より現実的なモデルへ拡張することによって、気候変動による砂浜浸食の経済的影響を詳細に分析することが可能となると考えられる。

謝辞: 本研究は、環境省地球環境研究総合推進費S-8の助成を得たことに深甚の謝意を表する次第である。また、分析にあたり大野栄治教授(名城大学都市情報学部)及び佐尾博志氏(名城大学大学院)には、快くデータ提供にご

協力頂いたことに厚く謝意を表したい。さらに、森杉壽芳名誉教授(東北大学)及び森杉雅史准教授(名城大学都市情報学部)には、貴重なコメントを頂いたことに謝意を表す。なお、本研究における誤りの全ては筆者らに帰すことは言うまでもない。

付録 積分可能性問題

ここでは、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、それを効用最大化問題の解として持つ効用関数を誘導する。この問題は積分可能性問題として知られている。

ゾーン a における代表的家計が直面する予算制約式は以下の通りである。

$$x_a + \sum_b p_{ab} z_{ab} = m_a \quad (\text{A1})$$

ここで、

$$m_a \equiv \frac{M_a}{p} \quad (\text{A2})$$

以下では、式(A1)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。はじめに、簡単化のため、式(1)を以下のように書き改める。

$$z_{ab} = \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 p_{ab}) \text{ for } \forall b \quad (\text{A3})$$

ここで、

$$\hat{\gamma}_{ab} \equiv \hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_2 q_b + \hat{\varepsilon}_{ab} + \ln n_a \text{ for } \forall b \quad (\text{A4})$$

式(A3)は所得と独立であることから、需要関数であるととも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。

$$\frac{\partial e(\mathbf{p}_a, v(\bar{\mathbf{p}}_a, \bar{m}_a))}{\partial p_{ab}} = \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 p_{ab}) \text{ for } \forall b \quad (\text{A5})$$

$$e(\bar{\mathbf{p}}_a, v(\bar{\mathbf{p}}_a, \bar{m}_a)) = \bar{m}_a \quad (\text{A6})$$

ここで、 $\mathbf{p}_a = (1, p_{a1}, \dots, p_{aN})$ 、 $\bar{\mathbf{p}}_a = (1, \bar{p}_{a1}, \dots, \bar{p}_{aN})$ であり、 $e(\cdot)$ は支出関数、 $v(\cdot)$ は間接効用関数である。また、式(A6)は境界条件である。この偏微分方程式の解は以下のように求められる。

$$\begin{aligned} e(\mathbf{p}_a, v(\bar{\mathbf{p}}_a, \bar{m}_a)) &= \sum_b \int_{p_{ab}}^{\bar{p}_{ab}} \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 t) dt + C \\ &= \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \sum_b \{ \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \bar{p}_{ab}) - \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 p_{ab}) \} + C \end{aligned} \quad (\text{A7})$$

ここで、 C は積分定数であるが、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ことがわかる。

$$v(\mathbf{p}_a, m_a) = \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \sum_b \exp(\hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 p_{ab}) + m_a \quad (\text{A8})$$

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、すべ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。この最小化による最適値関数が効用関数となる。詳しくはVarian (1992)を参照されたい。旅行費用と所得を合成財価格で実質化していたことに注意すると、効用関数を誘導するための最小化問題は以下ようになる。

$$\begin{aligned} \min_{p, p_{a1}, \dots, p_{aN}} \quad & \frac{1}{\hat{\gamma}_1} \sum_b \exp \left\{ \hat{\gamma}_{ab} + \hat{\gamma}_1 \left(\frac{P_{ab}}{p} \right) \right\} + \frac{M_a}{p} \\ \text{s.t.} \quad & x_a + \sum_b \frac{P_{ab} z_{ab}}{p} = \frac{M_a}{p} \end{aligned} \quad (\text{A9})$$

ここで、

$$P_{ab} = p_2 g_{ab} + p_3 c_{ab} + w t_{ab} \quad (\text{A10})$$

この問題を解くことにより得られる最適値関数が効用関数であり、それは以下のものである。

$$U_a = x_a + \sum_b \left\{ \frac{z_{ab} \ln z_{ab} - (1 + \hat{\gamma}_{ab}) z_{ab}}{\hat{\gamma}_1} \right\} \quad (\text{A11})$$

式(1)のレクリエーション需要関数は、式(A1)を制約条件として、式(A11)を最大化することにより得られる。しかしながら、予算制約式である式(A1)には金銭的な支払いのない時間価値 $w t_{ab} z_{ab}$ が含まれる。そこで、本研究では、式(A11)が準線形であることに着目し、レクリエーションサイト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にした。

$$U_a = x_a + \sum_b \left\{ \frac{z_{ab} \ln z_{ab} - (1 + \hat{\gamma}_{ab}) z_{ab}}{\hat{\gamma}_1} - \frac{w t_{ab} z_{ab}}{p} \right\} \quad (\text{A12})$$

この効用関数を式(A4)に注意して整理することにより、式(4)が得られる。また、レクリエーションサイトまでの移動にかかる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(5)である。

参考文献

- 1) IPCC: Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Contribution of Group III to the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2007.
- 2) Miyata, Y. : A general equilibrium analysis of waste-economic system - A CGE modeling approach -, 土木計画学研究・論文集, No. 12, pp.259-270, 1995.
- 3) Seung, C. K., Harris, T. R., Englin, J. E. and Netusil, N. R.: Impacts of Water Reallocation: A Combined Computable General Equilibrium and Recreation Demand Model Approach, *Annals of Regional Science*, Vol.34, pp.473-487, 2000.
- 4) 高木朗義, 武藤慎一, 村松穂高: GIS データベースに基づいた水環境保全策の経済評価手法の開発, 環境システム論文集, Vol.30, pp.161-169, 2002.
- 5) Ciscar, J.-C., Iglesias, A., Feyen, L., Szabo, L., Regemorter, D.V., Amelung, B., Nicholls, R., Watkiss, P., Christensen, O.B., Dankers, R., Garrote, L., Goodess, C.M., Hunt, A., Moreno, A., Richards, J. and Soria, A.: Physical and Economic Consequence of Climate Change in Europe, *PNAS*, 2011.
<http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1011612108>
- 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) Varian, H. R. : *Microeconomic Analysis*, W. W. Norton & Company, Inc., 1992.
- 8) Mas-Colell, A., Whinston, M. D. and Green, J. R. : *Microeconomic Theory*, Oxford University Press, 1995.
- 9) Jehle, G. A. and Philip J. Reny, P. J. : *Advanced Microeconomic Theory*, Addison Wesley, 2001.
- 10) 総務省: 平成 17 年(2005 年)産業連関表, 2009.
<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)
- 11) Hosoe, N., Gasawa, K. and Hashimoto, H.: *Textbook of Computable General Equilibrium Modelling: Programming and Simulations*, Palgrave Macmillan, 2010.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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.

DEVELOPMENT OF GENERAL EQUILIBRIUM MODEL CONSISTENT WITH TRAVEL COST METHOD: ECONOMIC EVALUATION OF BEACH EROSION BY CLIMATE CHANGE

Kazunori NAKAJIMA and Naoki SAKAMOTO

The travel cost method (TCM) and the contingent value method evaluate economic impacts of global warming on natural environment. These methods, however, are partial equilibrium approaches for individual cases, and they are difficult to measure ripple effects throughout the economy due to climate change. To measure economic impacts of environmental change, the purpose of this study is to develop theoretical framework of computable general equilibrium model (CGE) consistent with utility function derived from recreation demand function estimated by the TCM, by solving an integrability problem. And, this study verifies our CGE model behavior and shows applicability to empirical analysis with our CGE model, by numerical experiment using hypothetical beach erosion scenarios covering beach around Japan.