

海面上昇の被害とその対策の便益の計測手法*

Measurement Method of Damage Costs of Sea Level Rise and Benefits of Countermeasures *

森杉壽芳^{*1}, 大野栄治^{*2}, 小池淳司^{*3}, 高木朗義^{*4}, 高橋靖英^{*5}

By Hisayoshi MORISUGI ^{*1}, Eiji OHNO ^{*2}, Atsushi KOIKE ^{*3}, Akiyoshi TAKAGI ^{*4}, Yasuhide TAKAHASHI ^{*5}

1. はじめに

海面上昇とは、現在問題になっている地球温暖化による二次的影響の一つであり、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) によれば、2030 年までに 18 cm、2100 年までに 66 cm 程度の上昇が予測されている¹⁾。

この海面上昇による影響は、深刻かつ広範囲に及ぶものであり、これに対し Fankhauser はアメリカを対象として、被害項目の列挙とそれぞれについての計測を行っている²⁾。いくつか例を挙げると、まず土地及び干潟の喪失に関しては、それぞれの価格を 200 (万 \$/km²)、500 (万 \$/km²) と仮定して計測している。また生態価値に関しては、使用価値、オプション価値および存在価値の合計値とし、自然災害については、ハリケーンを例としてその被害を現状の 1.5 倍に仮定し、物的被害と人的被害 [統計的人命価値 (150 万 \$/人) × 死亡人数] の和で計測している。しかし、これらの計測には、被害の二重計測および計測漏れの恐れがある。また、ここで仮定している価格をどのように設定するのかといった問題がある。さらに、後者に関しては有効な手法として価値意識法 (Contingent Valuation Method) があるが、この手法はアンケート調査をもとにしており、個人の先入観などが含まれるため、その推定値の信頼性が低いという問題がある。

そこで、本研究では、海面上昇対策の便益を世帯、農家の 2 つの主体について、等価的偏差 E V の概念を適用することによって定義する。そしてその定義式を一般均衡のフレームで展開することによって、便益を宅地 (農地) の需要関数のシフトにより生じる消費者余剰の増加分で近似的に計測が可能なモデルを構築することを目的とする。

2. 海面上昇対策の波及効果の定式化

(1) 社会経済モデル

海面上昇対策の効果を捉えるために、図-1 のような社会経済に対し、以下の仮定をおく。

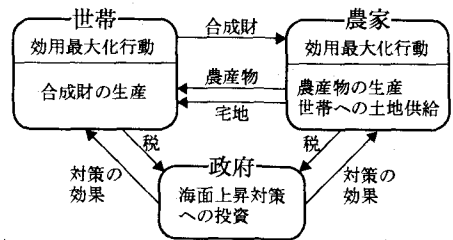


図-1 社会経済モデル

①社会はN戸の世帯とN戸の農家と政府からなるものとする (N: メッシュの数)。

②世帯は企業的性格も持ち合わせているとする。すなわち、合成財を生産する一方で、合成財、農産物の消費も行ふものとする。

③農家は地主的性格も持ち合わせているとする。すなわち、農産物を生産する一方で、世帯に土地を供給しており、さらに、合成財、農産物の消費も行ふものとする。また、農家が消費する土地、すなわち農地については、宅地として利用されることはないも

*キーワード: 整備効果計測法, 地価分析, 地球環境問題

^{*1}正員 工博 岐阜大学教授 工学部土木工学科 (岐阜市柳戸 1-1, TEL 058-230-1111, FAX 058-230-1248)

^{*2}正員 工博 筑波大学講師 社会工学系 (つくば市天王台 1-1-1, TEL 0298-53-5222, FAX 0298-55-3849)

^{*3}正員 工修 岐阜大学助手 工学部土木工学科

^{*4}正員 工修 岐阜大学大学院博士後期課程 中日本建設コンサルタント (株)

(名古屋市中区錦 1-8-6, TEL 052-232-6035, FAX 052-221-7833)

^{*5}学生員 岐阜大学大学院博士前期課程

のとする。

④すべての財は完全競争市場であり、静学的な意味で長期的に均衡状態にあるものとする。

(2) 世帯の行動モデル

世帯は、予算制約下で Z_{i1} , Z_{i2} , X_{i1} をコントロールして効用最大化行動をとるものとする。

$$V_i = \max U_i(Z_{i1}, Z_{i2}, X_{i1}, S_i) \quad (1.a)$$

$$\text{s.t. } [f(X_{i1}, S_i) - Z_{i1}] p_1 - Z_{i2} p_2 - X_{i1} R_{i1} = y_i \quad (1.b)$$

ただし、 U_i : 世帯 i の効用関数

V_i : 世帯 i の間接効用関数

Z_{i1} : 世帯 i の合成財の消費量

Z_{i2} : 世帯 i の農産物の消費量

X_{i1} : 世帯 i の土地需要量

p_1 : 合成財の価格

p_2 : 農産物の価格

R_{i1} : 宅地の地代

$f(X_{i1}, S_i)$: 合成財の生産量

なお、 y_i は世帯 i への補助金(+)、もしくは税金(-)を示す。また、 S_i は海面上昇対策のあり、なしによって変化する住環境の状態を示す変数(本研究では、これを海面上昇対策レベルと呼ぶ)とする。

(1) 式を解くことによって、世帯の間接効用関数 V_i は $V_i(q, R_i, y_i, S_i)$ と表せる。ただし、 q を価格ベクトル $[=(p_1, p_2)]$ 、 R_i を地代ベクトル $[=(R_{i1}, R_{i2})]$ 、 R_{i2} を農地の地代(一定と仮定)とする。

(3) 農家の行動モデル

農家は、予算制約下で Z_{i1} , Z_{i2} , X_{i1} , X_{i2} をコントロールして効用最大化行動をとるものとする。

$$V_i = \max U_i(Z_{i1}, Z_{i2}, X_{i1}, S_i) \quad (2.a)$$

$$\text{s.t. } [F(X_{i2}, S_i) - Z_{i2}] p_2 - Z_{i1} p_1 + X_{i1} R_{i1} = y_i' \quad (2.b)$$

$$\text{s.t. } X_{i1} + X_{i2} = X_i [C_i(S_i)] \quad (2.c)$$

ただし、 U_i : 農家 i の効用関数

V_i : 農家 i の間接効用関数

Z_{i1} : 農家 i の合成財の消費量

Z_{i2} : 農家 i の農産物の消費量

X_{i1} : 農家 i の世帯 i への土地供給量

X_{i2} : 農家 i の土地需要量

$F(X_{i2}, S_i)$: 農産物の生産量

$C_i(S_i)$: メッシュ i における対策費用

なお、 y_i' は農家 i への補助金(+)、もしくは税金(-)を示す。ここで (2.c) 式は宅地と農地の面積の合計が、対策費用によって決定される利用可能面積 $X_i [C_i(S_i)]$ に等しいことを示している。また、農家は土地を投機的な目的でも所有しており、したがって、土地(宅地)の供給量 X_{i1} の変化は農家の効用に変化を及ぼすものとしている。

世帯の場合と同様に、(2) 式を解くことによって、 V_i は $V_i(q, R_i, y_i', S_i)$ と表せる。

(4) 政府の行動モデル

政府は、世帯への課税(補助金) y_i と農家への課税(補助金) y_i' を財源として海面上昇対策への投資を行うものとする。

$$N(y_i + y_i') = \sum_i C_i(S_i) \quad (3)$$

(5) 市場均衡条件

$$\text{合成財} : \sum_i f(X_{i1}, S_i) = \sum_i (Z_{i1} + Z_{i1}) \quad (4.a)$$

$$\text{農産物} : \sum_i F(X_{i2}, S_i) = \sum_i (Z_{i2} + Z_{i2}) \quad (4.b)$$

$$\text{宅地} : X_{i1} = X_{i1} \quad (4.c)$$

(4) 式において、式の数は $(N+2)$ 、未知数は p_2 と R_{i1} で、その数は $(N+1)$ であり、Walras の法則より 1 つの式が不要になる³⁾。したがって、上記の一般均衡式の均衡解が唯一存在すると仮定しても一般性を失わない。

3. 便益の定義と計測モデル

図-1 に示したように、海面上昇対策の効果は世帯および農家に波及する。まず、政府が世帯および農家からの税収をもとに海面上昇対策を実施することによって、海面上昇対策レベルが s^A から s^B に変化するものとする。ここで、本研究では海面上昇対策レベル s に関する一般均衡を考えているため、この変化によって市場メカニズムを通して財の価格 q 、宅地の地代 R_{i1} および世帯の所得 y_i が変化し、そ

の結果、世帯の効用水準は、 $v_i^A = v_i(q^A, R_i^A, y_i^A, s_i^A)$ [対策なし] から $v_i^B = v_i(q^B, R_i^B, y_i^B, s_i^B)$ [対策あり] に変化する。また農家の場合も同様に考えると、農家の効用水準は $V_i^A = V_i(q^A, R_i^A, y_i'^A, s_i^A)$ [対策なし] から $V_i^B = V_i(q^B, R_i^B, y_i'^B, s_i^B)$ [対策あり] に変化する。なお、 R_i について農地の地代は一定なので $R_{i2}^A = R_{i2}^B$ としている。

そこで、海面上昇対策の便益を等価的偏差 EV の概念を適用して (5) 式で定義する。ただし、世帯の便益を EV_i 、農家の便益を EV_i' とする。なお、この EV は、対策を実施した後の効用水準を維持するという条件の下に、実施前の状態にとどまるために必要であると世帯が考える最小補償額を便益とするという考え方に基づいている。

$$v_i(q^A, R_i^A, y_i + EV_i, s_i^A) = v_i^B \quad (5.a)$$

$$V_i(q^A, R_i^A, y_i' + EV_i', s_i^A) = V_i^B \quad (5.b)$$

次に (5) 式を世帯（農家）の間接効用関数より導いた支出関数 e を用いて、 EV について解く。ここで、 $e(q, R_i, v_i, s_i)$ とは価格水準 q, R_i 、海面上昇対策レベル s_i という条件の下で効用水準 v_i (V_i) を達成するために必要な最小所得（ここでは y および y' ）を示している。そして、世帯（農家）の間接効用関数を共に Gorman 型（所得に関して線形）と仮定して展開することによって、世帯の総便益 ΣEV_i および農家の総便益 $\Sigma EV_i'$ が求められ、海面上昇対策の便益は 2 つの便益の総和になる。

$$\Sigma EV_i = N \int_{A \rightarrow B} e_{yi} (y_i ds + dy) \quad (6.a)$$

$$\Sigma EV_i' = N \int_{A \rightarrow B} e_{yi'} (y_i' ds + dy') \quad (6.b)$$

ただし、 $\int$ は線積分を意味し、 $A \rightarrow B$ は $(q^A, R_i^A, y_i^A, s_i^A) \rightarrow (q^B, R_i^B, y_i^B, s_i^B)$ を示している。ただし、農家については $y_i \rightarrow y_i'$ 。また、 e_{yi} ($e_{yi'}$) は e の y_i (y_i') による偏微分を意味し、間接効用関数 v_i (V_i) が Gorman 型であるという仮定を用いると、 e_{yi} ($e_{yi'}$) は全世帯（農家）共通の値をとる。なお、(6) 式の第 1 項はそれぞれの社会的純便益を、第 2 項は対策への世帯（農家）の負担額、すなわち対策費用を示している。

ここで、 $N \int_{A \rightarrow B} e_{yi} dy$ 、 $N \int_{A \rightarrow B} e_{yi'} dy'$ をそれぞれ C_1 、 C_2 とおき、さらに (6) 式の第 1 項にテーラー展開の 2 次項までの近似計算を施すと、(7) 式のようになる⁴⁾。ただし、 $s^B - s^A$ を Δs とする。

$$\Sigma_i EV_i = \frac{1}{2} N (y_i^A + y_i^B) \Delta s + C_1 \quad (7.a)$$

$$\Sigma_i EV_i' = \frac{1}{2} N (y_i'^A + y_i'^B) \Delta s + C_2 \quad (7.b)$$

次に、これをさらに変形して、本研究の目的でもある宅地（農地）の需要関数のシフトにより生じる消費者余剰の増分の形に帰着させる。ただし、この変形に関しては、世帯と農家でその変形の過程が同じなのでここでは世帯について示し、農家については結果のみを示す。

(1) 世帯の便益

(7.a) 式中の $N y_i^A \Delta s$ と $N y_i^B \Delta s$ をそれぞれ変形し、最後に代入する形をとる。

a) $N y_i^A \Delta s$ の計測

海面上昇対策後 (s^B) のときの効用水準を維持するという条件の下で、世帯が $s^A \rightarrow s^B$ の変化をあきらめるために妥当と考える宅地の地代を $R_1(s^B)$ とする。すなわち、 $v[q^A, R_1(s^B), R_2, y^A, s^A] = v[q^A, R_1^A, R_2, y^A, s^A]$ を満たすような価格水準であり、これを用いて変形すると、

$$N y_i^A \Delta s = \int_{R_1(s^A)}^{R_1(s^B)} X_1(q, R, y, s^A) dR_1 \quad (8)$$

となり、これは図-2 の斜線部①の面積に相当する。

b) $N y_i^B \Delta s$ の計測

海面上昇対策前 (s^A) のときの効用水準を維持するという条件の下で、世帯が $s^A \rightarrow s^B$ の変化を獲得するために妥当と考える宅地の地代を $R_1(s^A)$ とする。すなわち、 $v[q^A, R_1(s^A), R_2, y^A, s^A] = v[q^B, R_1^B, R_2, y^B, s^A]$ を満たすような価格水準であり、これを用いて (1) と同様に変形すると、

$$N y_i^B \Delta s = \int_{R_1(s^A)}^{R_1(s^B)} X_1(q, R, y, s^B) dR_1 \quad (9)$$

となり、これは図-2の斜線部②の面積に相当する。

4. おわりに

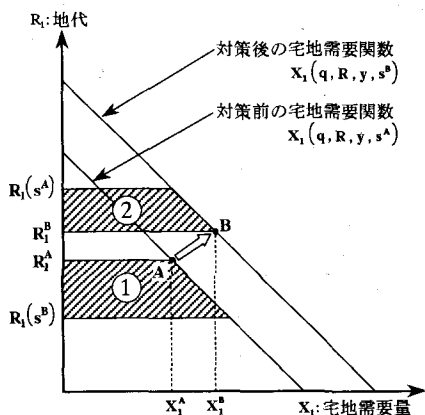


図-2 $Ny^A \Delta s$, $Ny^B \Delta s$ の計測

(2) 農家の便益

a) $Ny^A \Delta s$ の計測

世帯と同様に考えて、仮定の価格水準 $R_2(s^A)$ を設定し、変形すると(10)式ようになる。

$$Ny^A \Delta s = \int_{R_2(s^A)}^{R_2^A} X_2(q, R, y^A, s^A) dR_2 \quad (10)$$

b) $Ny^B \Delta s$ の計測

世帯と同様に考えて、仮定の価格水準 $R_2(s^B)$ を設定し、変形すると(11)式ようになる。

$$Ny^B \Delta s = \int_{R_2(s^B)}^{R_2^B} X_2(q, R, y^B, s^B) dR_2 \quad (11)$$

したがって、(8)式、(9)式より世帯の便益は図-2の①と②の面積の平均と対策費用 C_i の和で表されることがわかる。また、農家についても(10)式、(11)式を用いて同様にして表すことができる。そして、この便益は一般均衡のフレームで展開・定義したものであるから、海面上昇対策の直接効果のみならずその波及効果までも含んでいる。

また、(8)式、(9)式は、海面上昇対策レベルの変化に等価な地代の変化を発見することによって、海面上昇対策レベル s の限界価値、すなわち対策を行うことによって改善される住環境の質の限界価値を図-2に示した①および②の台形の面積として求めることができるということを意味している。

本研究では、海面上昇対策の便益を世帯、農家の2つの主体別に等価的偏差 $E V$ の概念を適用して定義し、一般均衡のフレームでこの定義式を展開した。その結果、便益が宅地（農地）の需要関数のシフトにより生じる消費者余剰の増加分で近似的に計測されることがわかった。この手法は、一般均衡で考えているため、従来の評価手法で問題となっていた便益の二重計測や計測漏れを避けることができ、また、需要関数（宅地および農地）さえ推定すればよいので計算が簡略であるといった利点をもっている。なお、実際の計測において、宅地（農地）の需要関数に相当するようなものが存在することは考えにくい。これに関しては、計量経済学における「識別問題」の考え方を適用することによって、その推定が可能である⁵⁾。

しかし、本研究では、海面上昇そのものの、もしくは高潮・津波などが有している不確実性に関して触れておらず、これらをどのようにモデルに組み入れていくべきかという問題が残されている。これに関して、特に高潮・津波については、海面上昇によってその発生頻度に変化が生じることが予想され、さらに、実際に被害を及ぼすのは海面上昇そのものではなく、高潮・津波などの気象変化であるから、海面上昇の影響を考慮したそれらの発生確率をモデルに導入していくべきではないかと思われる⁶⁾。

なお、本研究は環境庁地球環境総合推進費を得て行われた研究成果の一部である。

参考文献

- 1) IPCC WG I: Climate Change - The IPCC Scientific Assessment-Cambridge University Press, p.365,1990.
- 2) Fankhauser, S.: Some Monetary Estimates, CSERGE Global Environmental Change Working paper, GEC 92-29, University College London and University of East Anglia, 1992.
- 3) ハル・R・ヴァリアン: 入門ミクロ経済学, 劉草書房, pp.418-420, 1992.
- 4) 森杉壽芳: プロジェクト評価に関する最近の話題, 土木計画学研究・論文集, No.7, pp.1-33, 1989.
- 5) R. J. ウォナコット・T. H. ウォナコット共著: 計量経済学序説, 培風館, pp.153-167, 1991.
- 6) 大野栄治・森杉壽芳・星健一・高木朗義・高橋靖英: 海面上昇対策による世帯便益の定義について, 土木計画学研究・講演集, No.7, pp.1009-1014, 1993.