

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

近年の地球環境問題において極めて深刻視されているものの一つに海面上昇がある。そして、この海面上昇による影響は、社会経済をはじめとして多岐に渡り、かつ壊滅的な被害を受ける国すら予想されているほど甚大なものであるといわれている。

この海面上昇の影響の計量化に関しては、既にいくつかの研究が行われている。例えば、松井ら¹⁾は、現状、海面0.3 m, 0.5 m, 1.0 m上昇の4シナリオに対して海拔0 m以下に存在する土地・資産・人口を算定することにより、人為的に保護すべき土地の広がりや重要度を示している。しかし、この研究はいわば被害ポテンシャルの最大値の計測であり、概算の意味合いが強い。すなわち、人的被害についても単純な被災人数の推定にとどまっており（人命価値まで考慮されていない）、さらに波及的な被害が考慮されていないといった問題が残されている。一方、Samuel Fankhauser²⁾は、地球温暖化の枠組みで考えた海面上昇の被害として、堤防建設、土地の喪失、干潟の喪失、生態価値、農業、林業、漁業、エネルギー、水資源、レクリエーション、快適性、健康、大気汚染、移民、自然災害、その他の16の被害項目を挙げ、それぞれの計測を行っている。この研究では、波及的被害まで考慮されているが、被害

の二重計測および計測漏れの恐れがある、計測段階で適用した一部の数値に恣意性が含まれる（この計測では、統計的人命価値を150万\$/人としているのに対し、Clineはそれを60万\$/人としている）といった問題が残されている。さらに、この海面上昇への対策事業のような公共投資の便益計測によく用いられる資産価値法（Property Value Method）は、ある理想的な状況（small-openの仮定）においてのみ成立する理論であり³⁾、実用的にも不十分な面がある。

そこで、本研究では、この海面上昇対策事業による効果を代替財の需要関数の消費者余剰の変化分で計測することを提案し、この計測モデルを構築することを第1の目的とする。具体的には、まず、海面上昇対策の波及効果を捉えるために社会経済モデルを構築し、各主体の享受便益を等価的偏差EVの概念を適用することによって定義する。そして、このEVを一般均衡のフレームで展開することによって、最終的に効果の影響が計測しやすい土地の需要関数のシフトによる消費者余剰の増加分で計測しようとするものである。また、事例研究を通して本手法の実用性を示すことを第2の目的とする。

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のような長期的均衡状態にある社会経済に対し、以下の仮定をおく。

①社会経済は、それぞれN個の世帯1, 世帯2および私企業と政府の4主体から成るものとする。

②社会経済は、土地市場と合成財市場の2市場から成るものとする。

* 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 058-293-2441、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

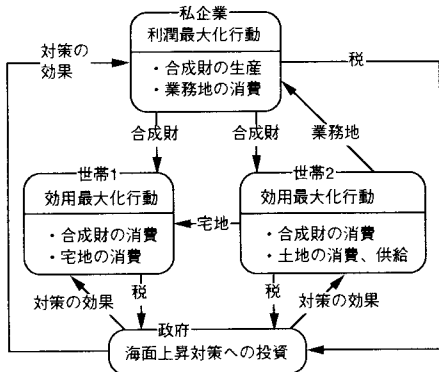


図1 社会経済モデル

- ③純粋な世帯的性格を持つ世帯1に対し、世帯2は地主的性格を持ち合わせており、世帯1および私企業への土地供給も行うものとする。
- 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1の行動モデル

世帯1は、予算制約下で z_{11} と x_{11} をコントロールして効用最大化行動をとるものとする。

$$v_{11} = \max u_{11}(z_{11}, x_{11}, s_1) \quad (1a)$$

$$s.t. z_{11}p_1 + x_{11}R_1 = w_{11} + y_{11} - g_{11} \quad (1b)$$

ただし、 u_{11} ：世帯1の効用関数，

v_{11} ：世帯1の間接効用関数，

z_{11} ：世帯1の合成財の消費量，

x_{11} ：世帯1の宅地需要量，

p_1 ：合成財の価格，

R_1 ：宅地の地代（＝業務地の地代），

w_{11} ：世帯1の賃金，

y_{11} ：世帯1の資産所得（私企業から世帯1への利潤配分），

g_{11} ：世帯1に課される一括固定税。

なお、 s_1 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1の間接効用関数が次式のように得られる。

$$v_{11} = v_{11}(p_1, R_1, \Omega_{11}, s_1) \quad (1c)$$

$$\text{ただし、} \Omega_{11} = w_{11} + y_{11} - g_{11}。 \quad (1d)$$

(3) 世帯2の行動モデル

世帯2は、予算制約下で z_{12} 、 X_{11} 、 X_{12} および X_{13} をコントロールして効用最大化行動をとるものとする。

$$v_{12} = \max u_{12}(z_{12}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, s_1) \quad (2a)$$

$$s.t. z_{12}p_1 = (X_{11} + X_{13})R_1 + w_{12} + y_{12} - g_{12} \quad (2b)$$

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} = X_1[C_1(s_1)] \quad (2c)$$

ただし、 u_{12} ：世帯2の効用関数，

v_{12} ：世帯2の間接効用関数，

z_{12} ：世帯2の合成財の消費量，

X_{11} ：世帯1への宅地供給量，

X_{12} ：世帯2への宅地供給量，

X_{13} ：私企業への業務地供給量，

w_{12} ：世帯2の賃金，

y_{12} ：世帯2の資産所得（私企業から世帯2への利潤配分），

g_{12} ：世帯2に課される一括固定税，

$C_1(s_1)$ ：メッシュ*i*における対策費用。

ここで(2c)式は宅地と業務地の面積の合計が、対策費用により決定される利用可能面積 $X_1[C_1(s_1)]$ に等しいことを示している。

(2)式を解くことによって、世帯2の間接効用関数が次式のように得られる。

$$v_{12} = v_{12}(p_1, R_1, X_1[C_1(s_1)], \Omega_{12}, s_1) \quad (2d)$$

$$\text{ただし、} \Omega_{12} = w_{12} + y_{12} - g_{12}。 \quad (2e)$$

(4) 私企業の行動モデル

私企業は、生産技術制約下で x_{13} と Z_1 をコントロールして利潤最大化行動をとるものとする。

$$\pi_1 = \max [Z_1(x_{13}, s_1)p_1 - x_{13}R_1 - w_{11} - w_{12} - g_{13}] \quad (3a)$$

ただし、 π_1 ：私企業の利潤関数，

$Z_1(x_{13}, s_1)$ ：合成財の生産量，

x_{13} ：私企業の業務地需要量，

g_{13} ：私企業に課される一括固定税。

(3 a) 式を解くことによって、私企業の利潤関数が次式のように得られる。

$$\pi_1 = \pi_1(p_1, R_1, w_{11}, w_{12}, g_{13}, s_1) \quad (3.b)$$

(5) 政府の行動モデル

政府は、世帯 1、世帯 2 および私企業への課税を財源として海面上昇対策への投資を行うものとする。

$$\sum_i (g_{i1} + g_{i2} + g_{i3}) = \sum_i [C_i(s_i)] \quad (4)$$

(6) 市場均衡条件

市場均衡式は次式ようになる。

$$Z_1(x_{13}, s_1) = z_{11} + z_{12} \quad (\text{合成財}) \quad (5.a)$$

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} = X_{11} + X_{12} + X_{13} \quad (\text{土地}) \quad (5.b)$$

(5) 式において式の数 は (2 N)、未知数は p_1 と R_1 で、その数は (2 N) であり、均衡解が唯一存在するといえる

(7) 海面上昇対策の波及効果

図-1 に示したように、海面上昇対策の効果は世帯 1、世帯 2 および私企業に波及する。

まず、政府が各主体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_1^A (対策なし) から s_1^B (対策あり) に変化するものとする。ここで、本研究では s_1 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合成財の価格 p_1 、地代 R_1 が変化する。また、私企業の利潤 π_1 は世帯 1 および世帯 2 に再配分されるため、 y_{11} および y_{12} も変化する、この結果、世帯 1 の効用水準は v_{11}^A から v_{11}^B に、世帯 2 の効用水準は v_{12}^A から v_{12}^B に変化する。

そして、以上より、海面上昇対策の効果は世帯 1 および世帯 2 の効用の増大として捉えることができる。ただし、これら 2 主体の物的被害の軽減による便益については別途に計測する必要がある。

3. 便益の定義と計測モデル

本研究では、海面上昇対策による世帯 1 および世帯 2 の便益を等価的偏差 EV の概念を適用して (6)

式で定義する。この定義は、対策後の効用水準を維持するという条件のもとに、対策前の状態にとどまるために必要であると世帯 1 および世帯 2 が考える最小補償額を便益とするという考え方に基づく。

$$v_{11}(p_1^A, R_1^A, \Omega_{11}^A + EV_{11}, s_1^A) = v_{11}^B \quad (6.a)$$

$$v_{12}(p_1^A, R_1^A, X_{11}[C_1(s_1^A)], \Omega_{12}^A + EV_{12}, s_1^A) = v_{12}^B \quad (6.b)$$

ここで、(6) 式を支出関数 e (価格 p_1 、 R_1 なる状態下で効用水準 v を達成するために世帯 1 および世帯 2 が必要と考える最小所得) を適用して、世帯 1 の便益 EV_{11} および世帯 2 の便益 EV_{12} について解くと、次式ようになる。

$$EV_{11} = e_{11}(p_1^A, R_1^A, s_1^A, v_{11}(p_1^B, R_1^B, \Omega_{11}^B, s_1^B)) - e_{11}(p_1^A, R_1^A, s_1^A, v_{11}(p_1^A, R_1^A, \Omega_{11}^A, s_1^A)) \quad (7.a)$$

$$EV_{12} = e_{12}(p_1^A, R_1^A, X_{11}[C_1(s_1^A)], s_1^A, v_{12}(p_1^B, R_1^B, X_{11}[C_1(s_1^B)], \Omega_{12}^B, s_1^B)) - e_{12}(p_1^A, R_1^A, X_{11}[C_1(s_1^A)], s_1^A, v_{12}(p_1^A, R_1^A, X_{11}[C_1(s_1^A)], \Omega_{12}^A, s_1^A)) \quad (7.b)$$

さらに、(6) 式で定義した世帯 1 および世帯 2 の間接効用関数を Gorman 型 (所得に関して線形) であるとし、次式のように仮定する。

$$v_{11}(p_1, R_1, \Omega_{11}, s_1) = \xi_{11}(p_1, R_1, s_1) + \eta_{11}(p_1, R_1, s_1) \Omega_{11} \quad (8.a)$$

$$v_{12}(p_1, R_1, X_{11}[C_1(s_1)], \Omega_{12}, s_1) = \xi_{12}(p_1, R_1, X_{11}[C_1(s_1)], s_1) + \eta_{12}(p_1, R_1, s_1) \Omega_{12} \quad (8.b)$$

そして、(7) 式に (8) 式およびロアの定理を適用することによって、社会的純便益 SNB は次式のように表すことができる。ただし (9 a) 式は、前述の通り海面上昇対策の効果は世帯 1 と世帯 2 の効用の増大として捉えることができることに基づいている。

$$SNB = \sum_i (EV_{i1} + EV_{i2}) = \oint_{A \rightarrow B} e_{\Omega} \sum_i \{-z_{i1} dp_1 - x_{i1} dR_1 + d\Omega_{i1}$$

$$+ \Omega_{1s} ds_1 + z_{12} dp_1 + (X_{11} + X_{13}) dR_1 \\ + d\Omega_{12} + \Omega_{2s} ds_1 \} \quad (9a)$$

ただし、

$$\Omega_{1s} = \partial \Omega_{11} / \partial s_1, \Omega_{2s} = \partial \Omega_{12} / \partial s_1 \quad (9b)$$

$$e_{\Omega} = \partial e_{11} / \partial \Omega_{11} = \partial e_{12} / \partial \Omega_{12} \quad (9c)$$

ここで、(9a)式における各項は、世帯1にとっての合成財の価格低下による便益、地価上昇による不便益、所得増大による便益、対策による住環境向上の便益および世帯2にとっての合成財の価格低下による便益、地価上昇による便益、所得増大による便益、対策による住環境向上の便益を示している。

なお、(9a)式においては、 e_{Ω} が世帯1および世帯2について共通の値をとる（(8)式より、 v の Ω による偏微分の値が世帯1および世帯2で共通であることから導ける）ことを利用している。

次に、(3)式に包絡線定理⁴⁾を適用することによって、次式が得られる。

$$d\pi_1 = Z_1(x_{13}, s_1) dp_1 - x_{13} dR_1 \\ - dw_{11} - dw_{12} - dg_{12} + \pi_s ds_1 \quad (10a)$$

$$\text{ただし、} \pi_s = \partial \pi_1 / \partial s_1. \quad (10b)$$

そして、私企業の利潤が世帯1および世帯2に再配分されるため、 $\pi_1 = y_{11} + y_{12}$ が成立し、これと(1.d)および(2e)式を(9a)式に代入することにより次式が得られる。

$$SNB = \oint_{A \rightarrow B} e_{\Omega} \sum_i \{ (Z_1(x_{13}, s_1) - z_{11} - z_{12}) dp_1 \\ + (X_{11} + X_{13} - x_{11} - x_{13}) dR_1 \\ - (dg_{11} + dg_{12} + dg_{13}) \\ + \Omega_{1s} ds_1 + \Omega_{2s} ds_1 + \pi_s ds_1 \} \quad (11)$$

ここで、市場均衡式(5)より(11)式の第1および2項については全てゼロとなる。また、第3項については(4)式より $-dC_1(s_1)$ となるため、SNBは次式のようになる。

$$SNB = \oint_{A \rightarrow B} e_{\Omega} \sum_i \{ (\Omega_{1s} + \Omega_{2s} + \pi_s) ds_1 - dC_1(s_1) \} \quad (12)$$

(12)式において適用した最も重要なことは、財の価格変化による消費者余剰の増分がその生産者余剰

の増分によってキャンセル（ショートカット法）され、SNBが s_1 の限界価値の積分形のみで表されることにある。そして(12)式より、SNBは、社会的総便益SGB（第1項）と海面上昇対策への投資（第2項）の差で表されることが判る。

さらに、このSGBにテーラー展開の二次項までの近似計算⁵⁾を施すことによって次式のように変形することができる。ただし、 $\Delta s = s^B - s^A$ とする。

$$SGB = \frac{1}{2} (\Omega_{1s}^A + \Omega_{1s}^B + \Omega_{2s}^A + \Omega_{2s}^B + \pi_s^A + \pi_s^B) \Delta s \quad (13)$$

次に、(13)式の各項を本研究の目的でもある土地の需要関数のシフトにより発生する消費者余剰形へと変形する。

(1) 世帯1の価値 $\Omega_{1s} \Delta s$ の計測

世帯1が、宅地の需要者であることに着目する。そして、世帯1の価値が支出関数の差で定義されることを利用する。

① $\Omega_{1s}^A \Delta s$ の計測

まず、(7a)式を次式のように変形する。

$$\Omega_{1s}^A \Delta s = e_{11}(p_1^A, R_1^A, s_1^A, v_{11}(p_1^A, R_1^A, \Omega_{11}^A, s_1^B) \\ - e_{11}(p_1^A, R_1^A, s_1^A, v_{11}(p_1^A, R_1^{\infty}, \Omega_{11}^A, s_1^B) \\ + e_{11}(p_1^A, R_1^A, s_1^A, v_{11}(p_1^A, R_1^{\infty}, \Omega_{11}^A, s_1^B) \\ - e_{11}(p_1^A, R_1^A, s_1^A, v_{11}(p_1^A, R_1^{\infty}, \Omega_{11}^A, s_1^A) \\ + e_{11}(p_1^A, R_1^A, s_1^A, v_{11}(p_1^A, R_1^{\infty}, \Omega_{11}^A, s_1^A) \\ - e_{11}(p_1^A, R_1^A, s_1^A, v_{11}(p_1^A, R_1^A, \Omega_{11}^A, s_1^A) \quad (14)$$

そして、(9b)式とロアの定理より $\Omega_{1s} ds_1 = -x_{13} dR_1$ が導けるため、これと(9c)式を適用することによって次式のように変形することができる。

$$\Omega_{1s}^A \Delta s = \int_{R_1^A}^{R_1^{\infty}} \{ \phi(p_1^A, R_1, s_1^B) \cdot x_{11}(p_1^A, R_1, \Omega_{11}^A, s_1^B) \\ - \phi(p_1^A, R_1, s_1^A) \cdot x_{11}(p_1^A, R_1, \Omega_{11}^A, s_1^A) \} dR_1 + E_{1A} \\ = \frac{1}{2} \{ x_{11}(p_1^A, R_1^A, \Omega_{11}^A, s_1^B) - x_{11}(p_1^A, R_1^{\infty}, \Omega_{11}^A, s_1^B) \\ \cdot (R_1^{\infty} - R_1^A) + E_{1A} \} \quad (15a)$$

ただし、 R_1^{∞} ：宅地の需要がゼロになってしまう程高い地代

$$E_{1A} = e_{11}(p_1^A, R_1^A, s_1^A, v_{11}(p_1^A, R_1^\infty, \Omega_{11}^A, s_1^B)) \\ - e_{11}(p_1^A, R_1^A, s_1^A, v_{11}(p_1^A, R_1^\infty, \Omega_{11}^A, s_1^A)) \quad (15b)$$

ここで (15a) 式の第1項は、宅地の需要 x_{11} の海面上昇対策レベル s_1 に対する消費者余剰の増分を示しており、これを $\Omega_{1s}^A \Delta s$ の利用者便益と呼ぶ。また、第2項は地代が無限大であってもさらに存在する便益を示しており、これを $\Omega_{1s}^A \Delta s$ の存在便益と呼ぶ。

② $\Omega_{1s}^B \Delta s$ の計測

今度は、Bを基準として $B \rightarrow A$ の変化を考え、それにマイナスをつければよい。

$$\Omega_{1s}^B \Delta s = \frac{1}{2} \{ x_{11}^B - x_{11}(p_1^B, R_1^B, \Omega_{11}^B, s_1^A) \} \\ \cdot (R_1^B - R_1^\infty) + E_{1B} \quad (16a)$$

ただし、

$$E_{1B} = e_{11}(p_1^B, R_1^B, s_1^B, v_{11}(p_1^B, R_1^\infty, \Omega_{11}^B, s_1^B)) \\ - e_{11}(p_1^B, R_1^B, s_1^B, v_{11}(p_1^B, R_1^\infty, \Omega_{11}^B, s_1^A)) \quad (16b)$$

(2) 世帯2の価値 $\Omega_{2s} \Delta s$ の計測

世帯2が、宅地および業務地の供給者であると同時に宅地の需要者であることに着目して、世帯1と同様の変形を施すと、次式が得られる。

① $\Omega_{2s}^A \Delta s$ の計測

$$\Omega_{2s}^A \Delta s = \frac{1}{2} \{ x_{12}(p_1^A, R_1^A, X_1[C_1(s_1^A)], \Omega_{12}^A, s_1^B) - x_{12}^A \} \\ \cdot (R_1^\infty - R_1^A) + E_{2A} \quad (17a)$$

ただし、

$$E_{2A} = e_{12}(p_1^A, R_1^A, X_1[C_1(s_1^A)], s_1^A, \\ v_{12}(p_1^A, R_1^\infty, X_1[C_1(s_1^A)], \Omega_{12}^A, s_1^B)) \\ - e_{12}(p_1^A, R_1^A, X_1[C_1(s_1^A)], s_1^A, \\ v_{12}(p_1^A, R_1^\infty, X_1[C_1(s_1^A)], \Omega_{12}^A, s_1^A)) \quad (17b)$$

② $\Omega_{2s}^B \Delta s$ の計測

$$\Omega_{2s}^B \Delta s = \frac{1}{2} \{ x_{12}^B - x_{12}(p_1^B, R_1^B, X_1[C_1(s_1^B)], \Omega_{12}^B, s_1^A) \} \\ \cdot (R_1^B - R_1^\infty) + E_{2B} \quad (18a)$$

ただし、

$$E_{2B} = e_{12}(p_1^B, R_1^B, X_1[C_1(s_1^B)], s_1^B, \\ v_{12}(p_1^B, R_1^\infty, X_1[C_1(s_1^B)], \Omega_{12}^B, s_1^B)) \\ - e_{12}(p_1^B, R_1^B, X_1[C_1(s_1^B)], s_1^B, \\ v_{12}(p_1^B, R_1^\infty, X_1[C_1(s_1^B)], \Omega_{12}^B, s_1^A)) \quad (18b)$$

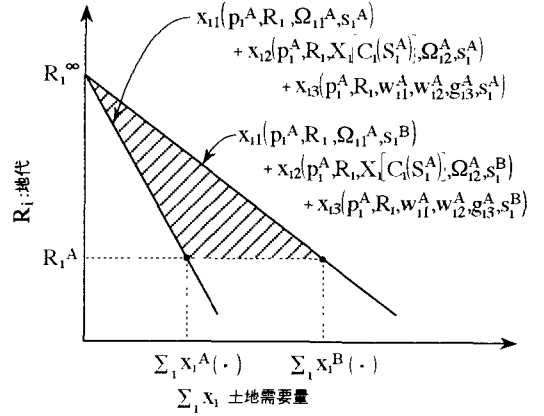


図2 $\Omega_{1s}^A \Delta s$ 、 $\Omega_{2s}^A \Delta s$ および $\pi_s^A \Delta s$ の計測

$$v_{12}(p_1^B, R_1^\infty, X_1[C_1(s_1^A)], \Omega_{12}^B, s_1^A)) \quad (18b)$$

(3) 私企業の価値 $\pi_s \Delta s$ の計測

私企業が、業務地の需要者であることに着目する。そして、私企業の価値が利潤関数の差で定義されることを利用して、世帯1と同様の変形を施すと、次式が得られる。

① $\pi_s^A \Delta s$ の計測

$$\pi_s^A \Delta s = \frac{1}{2} \{ x_{13}(p_1^A, R_1^A, w_{11}^A, w_{12}^A, g_{13}^A, s_1^B) - x_{13}^A \} \\ \cdot (R_1^\infty - R_1^A) + E_{3A} \quad (19a)$$

ただし、

$$E_{3A} = \pi_i(p_1^A, R_1^\infty, w_{11}^A, w_{12}^A, g_{13}^A, s_1^B) \\ - \pi_i(p_1^A, R_1^\infty, w_{11}^A, w_{12}^A, g_{13}^A, s_1^A) \quad (19b)$$

② $\pi_s^B \Delta s$ の計測

$$\pi_s^B \Delta s = \frac{1}{2} \{ x_{13}^B - x_{13}(p_1^B, R_1^B, w_{11}^B, w_{12}^B, g_{13}^B, s_1^A) \} \\ \cdot (R_1^\infty - R_1^A) + E_{3A} \quad (20a)$$

ただし、

$$E_{3A} = \pi_i(p_1^B, R_1^\infty, w_{11}^B, w_{12}^B, g_{13}^B, s_1^B) \\ - \pi_i(p_1^B, R_1^\infty, w_{11}^B, w_{12}^B, g_{13}^B, s_1^A) \quad (20b)$$

そして以上より、海面上昇対策による総便益 SNB は、その存在便益が利用者便益に比べて微小である場合には、(15)～(20)式より求められる各値の

総和の半分で近似的に計測できることが判る。また、全ての土地の地代を同一としているので、(15 a),(17 a),(19 a) 式の総和は図 2 の網掛けされた三角形の面積として求めることができる。なお、(16 a),(18 a),(20 a) 式の総和についても同様に表すことができる。そして、これは、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網掛けされた三角形の面積として求められることを意味している。

また、この便益計測手法は、一般均衡のフレームワークで展開したものであるため、海面上昇対策の直接効果のみならずその波及効果も考慮できている。さらに、需要関数の推定のみで便益の計測が可能であるという点で計測が簡便であるという特徴を有している。なお、この計測法においては、土地の需要がゼロとなるような地代の設定が必要となり、需要関数の形にもよるが、この設定には困難を伴うことがある。これに関しては、一般化価格アプローチ⁴⁾を適用することによって解決される。

5. 事例研究

(1) 対象区域の選定およびデータの抽出

本研究では、伊勢湾台風による浸水域をおおよそ網羅することを対象区域選定の目安とし、国土地理院発行の 25,000 分の 1 地形図⁶⁾の区分における弥富、蟹江、桑名、飛島の 4 地域を選定した。そして、対象区域を図 3 に示すような 1 km × 1 km のメッシュに分割し、そのうち公示地価ポイントの存在する 94 メッシュを採用した。また、宅地の需要および供給関数の変数として、地価 R と宅地率 x の他に標高、堤防高、堤防からの距離、駅からの距離、市街地からの距離、国道からの距離、1975 年～1985 年の 10 年間の地価上昇量、世帯の平均所得⁷⁾、浸水ダミー、名古屋ダミーの 10 の要因を各メッシュから抽出した。ただし宅地率に関しては、実際の地図上において宅地と業務地を正確に区別することが困難であるため、それらを一括して宅地であるとして算定した。

(2) 需要関数の推定

現実の市場において、宅地の需要および供給関数

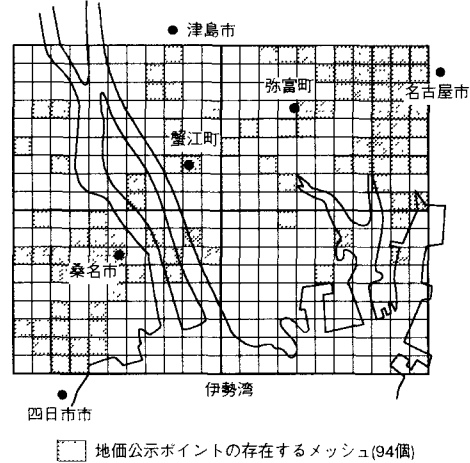


図 3 対象区域

に相当するものが存在するとは考えにくい。そこで、抽出したデータ (R, x) が実際の市場における需要と供給の一致による均衡点であることに着目し、さらにこの点で構成される母集団に識別問題^{8) 9)}の概念を適用することにより各関数の推定を行う。

まず、需要関数と供給関数はともに同一の母集団を構成している要素であるため、それぞれが識別されるためには、この 2 つの関数で構成される方程式体系が次の 2 条件⁹⁾を満たす必要がある。

①需要（供給）関数の中に需要（供給）のみに影響する変数が含まれること

②識別における方程式体系の次数条件

そこで、これらを踏まえ、かつはじめに供給関数を推定するという条件のもとに需要および供給関数を次式のように定式化した。

$$\ln(R) = c_1 + a_1x + b_1H + b_2HT + d_1N \quad (21.a)$$

$$\ln(R) = c_2 + a_2x + b_3H + b_4HT + d_2P \quad (21.b)$$

ただし、R：地価，

x：宅地率，

H：標高，

HT：堤防高，

N：名古屋ダミー（1 or 0），

P：ln(地価上昇分)。

また、(21) 式においては需要のみに影響する要

表1 パラメータ推定結果（供給関数）

	c2	a2	b2	b4	d2
係数	1.72	0.0087	-0.004	-0.007	0.562
t値	8.8	6.84	-1.39	-0.297	13.01

表2 パラメータ推定結果（均衡関数）

	c2	a2	b2	b4	d2	d2
係数	1.81	0.008	-0.004	-0.005	0.136	0.531
t値	9.0	5.94	-1.24	-0.187	1.64	11.35

表3 パラメータ推定結果（需要関数）

	c1	a1	b1	b2	d1
係数	3.33	-0.004	-0.003	-0.038	2.469

因としてNを、供給のみに影響する要因としてPを前述の10の要因から選択した。さらに、HとHTについては、計測理論における海面上昇対策レベルsの代用として導入した。

まず、はじめに二段階最小二乗法を適用することによって供給関数を推定する。これは、通常の最小二乗法を適用した場合に内生変数であるQが関数自体が有している誤差に依存するため、パラメータの一致推定量が得られないことによる。なお、実際の推定操作は、計量経済学において比較的良好に用いられるTSP (Time Series Processor)^{10) 11)}を用いて実行した。推定結果は表1に示す通りであるが、NとPについてはt値、符号条件ともに満足しているものの、HとHTについてはあまり良い値が得られていないことが判る。これは、もともとこの2変数がsの代用としてその必要性から導入された変数であることに起因していると思われる。

次に需要関数を推定するが、その前に均衡点の母集団に適合する関数（以後これを仮に均衡関数と呼ぶ）を考える。ここで、均衡点が需要関数と供給関数の交点であることから、この均衡関数はこれら2つの関数を包括したものであるといえる。そこで、まず均衡関数を推定し、この視点に誘導型⁹⁾（内生変数Rおよびxをその他の外生変数およびパラメータのみで表現した型を指し、これを推定方程式とみなして推定を行う方法）の概念を適用することによって需要関数の推定を行う。

まず、(21)式を考慮した上で均衡関数を(22)式のように定式化し、これに通常の最小二乗法を適用して推定を行った。表2に推定結果を示す。

$$\ln(R) = c_3 + a_3x + b_5H + b_6HT + d_3N + d_4P \quad (22)$$

そして、(21 a)式と(22)式および(21 b)式と(22)式から導かれる2つの誘導型の係数を比較することによって需要関数のパラメータ推定を行った。次式に導かれた誘導型（ここでは推定に用いたxについてのみ）を、表3にその推定結果を示す。

$$x = \frac{c_3 - c_1}{a_1 - a_3} + \frac{b_5 - b_1}{a_1 - a_3}H + \frac{b_6 - b_2}{a_1 - a_3}HT + \frac{d_3 - d_1}{a_1 - a_3}N + \frac{d_4}{a_1 - a_3}P \quad (23 a)$$

$$x = \frac{c_3 - c_2}{a_2 - a_3} + \frac{b_5 - b_3}{a_2 - a_3}H + \frac{b_6 - b_4}{a_2 - a_3}HT + \frac{d_3}{a_2 - a_3}N + \frac{d_4 - d_2}{a_2 - a_3}P \quad (23 b)$$

(3) 海面上昇対策の便益計測

(2)において需要および供給関数を推定したが、これらは共に均衡点の数だけ存在するため、それぞれに対する現状および対策後の各関数を推定する必要がある。そこで本研究では、便益計測の簡略化のために全メッシュを代表した1本の需要および供給関数を仮定し、それから計測される便益にメッシュ数を乗ずるという方法をとる。

まず、外生変数で構成される項、すなわち(21)式の第3項以降を定数項とし、この代表的な需要および供給関数の交点を均衡点の母集団の平均値に最も近い実測点(R, x) = (88.5, 59.3)として仮定した。

以上より推定した現状の需要(D^A)および供給関数(S^A)を次式に示す。

$$D^A : \ln(R) = 4.72 - 0.004x \quad (24.a)$$

$$S^A : \ln(R) = 3.97 + 0.0087x \quad (24.b)$$

そして、以下の仮定に基づいて、海面上昇対策後の需要および供給関数を推定した。

- ① 将来の海面上昇量として、0.65¹²⁾、1 mの2ケースを考える。
- ② 海面上昇という現象を同量の標高の低下とみなす。
- ③ 1 mの海面上昇に対する堤防嵩上げ高は3.5 mと

する（0.65 mについては比例計算で23 m）。
 ④NとPは対策後も一定とする。
 そして、この仮定の下で変数HとHTを操作し、対策後の需要(D^B)および供給関数(S^B)を次式のよ
 うに推定した。なお、ここでは海面1 m上昇につい
 てのみ示すが、0.65 m上昇についても同様の方法
 を用いて推定可能である。

$$D^B : \ln(R) = 4.85 - 0.004x \tag{25.a}$$

$$S^B : \ln(R) = 3.95 + 0.0087x \tag{25.b}$$

以上より得られた対策前後の需要および供給関数
 を図4に示す。この図より、対策の実施によって需
 要関数は上方に、供給関数は下方にシフトしたこと
 が判る。ここで、このシフトの方向に関しては、需
 要関数については実際の需要の動きを想定すれば、
 その方向が常識的なものであると考えられる。一方、
 供給関数については、その動きを想定することが困
 難であり、一概にどちらにシフトするとは言いがた
 い。しかしながら、均衡点については対策の実施によ
 って右上（ほぼ右）方向に移動しており、同一の地
 価に対して対策前よりもより多くの土地供給がなさ
 れるという常識的な状況を示していると考えられる。

そして、3.において提案したモデルにこの計測
 結果を適用することによって、1メッシュあたりの
 便益を図4の2つの三角形の面積の差（消費者余剰
 の増加分）で計測した。そして、これにメッシュ数
 を乗じて総便益を算出した。ただし、対象区域のう
 ち公示地価の存在しない残り229のメッシュ（メッ
 シュ内において海もしくは河川の面積がその大部分
 を示すメッシュは除外）については、便益と宅地率
 の間にほぼ比例関係が成立するものとして、その比
 率から便益を算出した。なお、年便益の計測には割
 引率5%を適用した。

また、対策費用については、単位幅あたりの堤防
 建設費用を211万円/m¹³⁾とし、これに対象区域の
 海岸総延長を乗じて算出した。

以上の結果を表4に示したが、0.65 m上昇に対
 して約4700億円の、1 m上昇に対して約8400億
 円の対策便益が発生することが判った。また、費用便
 益比C B Rは、それぞれ3.6および2.7となり、こ
 の結果からは、いずれの場合も海面上昇対策事業が
 実施に値すると判断できる。また、本研究で取り扱

表4 便益および対策費用（単位：億円）

	1メッシュの 便益	総便益	年便益	対策費用	費用便益比 (C B R)
0.65 m上昇	27.5	4762	238	1337	3.6
1.0 m上昇	48.5	8418	420	3165	2.7

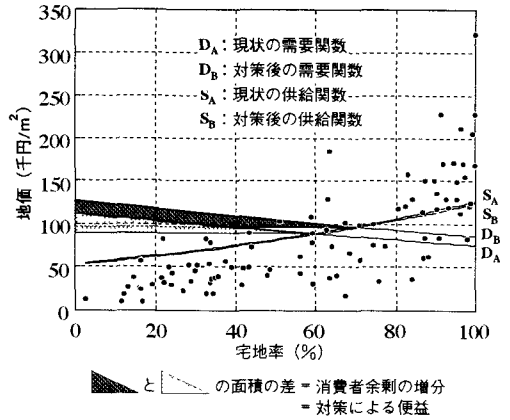


図4 消費者余剰を用いた便益計測（1.0 m上昇）

った対象区域が全般に標高が低い地域であり、水害
 等に対して比較的弱い地勢であることから、対策の
 効果が著しく現れることが予想され、この意味から
 もこの計測結果は、妥当性のあるものであると考え
 られる。

6. おわりに

本研究では、海面上昇対策事業等に代表される公
 共プロジェクトによる効果が土地の需要に跳ね返る
 という考えのもとに、これを土地の需要関数を用い
 て計測することを提案した。具体的には、まず、社
 会経済モデルを構築し、各主体の享受便益を等価的
 偏差E Vの概念を適用して定義し、このE Vを一般
 均衡のフレームで展開することによって、最終的に
 土地の需要関数のシフトにより発生する消費者余剰
 の増加分で計測可能なモデルを構築した。そしてこ
 の計測手法は、一般均衡のフレームワークで展開し
 たものであるから、海面上昇対策の直接効果のみな
 らずその波及効果も計測可能であり、効果の二重計
 測および計測漏れの問題も解決されている。また、

需要関数の推定のみで便益計測が可能であり、計測における簡便性も有している。

事例研究では、本研究で提案したモデルを濃尾平野の一部に適用することによって海面上昇対策事業の便益計測を行った。ここで、便益計測に適用した需要および供給関数については、地図からをサンプリングし、さらに計量経済学における識別問題の概念を適用することによって推定した。そして、これより求められた需要および供給関数を適用して便益計測を行った結果、対策便益は、海面 0.65 m 上昇に対して約 4700 億円、1 m 上昇に対して約 8400 億円発生することが判り、さらにそれぞれの費用便益比 C B R は、3.6 および 2.7 となり、海面上昇対策事業が実施に値すると判断できた。また、これを通して本手法の実用性を示すことができた。

一方、本研究に対する問題点としては、以下のようないものが挙げられる。第 1 に、海面上昇に象徴されるような環境問題は、その正確な予測に困難を伴うため、実際の被害は刻々と変化するものと考えられる。しかし、本モデルは静学モデルであり、断片的な時間しか捉えられていない。第 2 に、海面上昇は、その発生確率等において不確実性を有する現象であるにもかかわらず、これを考慮できていない。これに対しては、本モデルにそれらの発生確率を組み入れるという方法がある¹⁴⁾。第 3 に、需要関数（供給関数）の推定にかなりの困難を伴う。これは、本研究で扱った関数が本来その存在を仮定し難い土地の需要関数であったことにも起因しているが、需要および供給のみに影響する（外生）変数の選定に際し、おおよそ妥当と考えられる変数を想定することが一般的な財と違って困難である。しかしながら、この変数選定は、それが需要および供給関数の推定精度に大きく影響するため重要な意味を持つ。第 4 に、本研究では海面上昇対策レベル s という対策によって変化する住環境の質を示す変数を標高 H と堤防高 H_T で代用したが、これはそのまま関数のシフト量に影響するため最適変数の選定を行う必要があり、選定を誤った場合には、それが大きな推定誤差を招く危険性がある。

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) 松井貞二郎・立石英機・磯部雅彦・渡辺晃・三村信男・柴崎亮介：海面上昇に伴う日本の沿岸域の浸水影響予測，海岸工学論文集，第 39 巻，pp 1031-1035,1992
- 2) Fankhauser, S Some Monetary Estimates, CSERGE Grobal Environmental Change Workig paper, GEC 92-29, University College London and University of East Anglia, 1992
- 3) 奥野正寛，藤原総一，金本良嗣編：交通政策の経済学，日本経済新聞社，p 84, 1989
- 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) ハル・R・ヴァリアン：入門ミクロ経済学，劉草書房，pp.418-420, 1992
- 6) 建設省国土地理院：1/25,000 地形図（名古屋 2 号 -3）1975, 1987，（名古屋 2 号 -3）1975, 1987，（名古屋 2 号 -3）1975, 1987，（名古屋 2 号 -3）1975, 1987。
- 7) 教育社：日本アルマナック 1988，高森圭介，p 638, 1988
- 8) 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.153-320, 1991.
- 9) 稲葉弘道：パソコンによる計量分析－マイクロ AGNESS－，農業総合研究所，pp 63-112, 1987.
- 10) 新田俊三・大杉八郎：経済・社会学のためのコンピュータ入門，朝倉書店，pp.149-170, 1994
- 11) 和合肇・伴金美：T S P による経済データの分析，東京大学出版会，pp.47-65, 1988.
- 12) IPCC WG I : Climnate Change - The IPCC Scientific Assessment-Cambridge University Press, p 365, 1990
- 13) 根本貴史：海面水位上昇等による臨海部の社会経済活動への影響とその対策に関する調査（第 2 報）みなとの防災 114 号，pp 57～62, 1992
- 14) 森杉壽芳：地球温暖化の経済評価の考え方，第 1 回地球環境シンポジウム講演集，pp 118-125, 1993

概要

海面上昇の影響の定量化については、既にいくつかの研究が行われている。しかし、それらは波及的被害が考慮されていない、被害の二重計測および計測漏れの恐れがある、計測値に恣意性が含まれる、ある前提条件が必要となるといった問題を抱えている。そこで本研究では、海面上昇対策事業の便益を土地の需要関数を用いて計測することを提案する。具体的には、等価的偏差の概念を適用して便益を定義し、それを一般均衡のフレームワークで展開することにより、需要関数のシフトにより発生する消費者余剰の増分に帰着させた。また、事例研究を通して本手法の実用性を示した。

Measurment Method of Damage Costs of Sea Level Rise and Benefits of Countermeasures

By Hisayoshi MORISUGI, Eiji OHNO, Atsushi KOIKE, Akiyoshi TAKAGI, Yasuhide TAKAHASHI

ABSTRACT

Some studies on measurement of effect of Sea Level Rise are discussed, but did not take account of indirect damage, are fear double count and lose count of damage etc. In this study, we propose measurement method of benefits of countermeasures of Sea Level Rise by change in consumer's surplus that induces from the shift in land demand function. To be concrete, the definition is used the equivalent valuation method that is developed within the framework of general equilibrium. The practicality of this method is shown through a case study.
