

防災投資の簡便な便益計測法に関する研究*

The Simple Benefit Measurement Method of Natural Disaster Prevention Projects

高木 朗義**

By Akiyoshi TAKAGI

1. はじめに

防災投資の社会的重要性は認知されているものの、現有の経済資源すべてを投入できないという現実がある限り、防災投資の便益を計測する等して、ある採択・優先基準のもとに投資を行う必要がある。また防災投資の便益を計測するためには、災害の特性である不確実性、地域性を捉える必要があり、交通投資の場合と比べても複雑な便益計測手法が必要な場合が多い。現在、わが国における防災投資の典型例である治水投資に対する費用便益分析は、1999年に改訂された治水経済調査マニュアル¹⁾に基づいて行われることとなったが、災害の特性の1つである地域性を捉えた土地利用変化（マニュアルでは高度化便益）については計測手法が確立していないとして、記載されていない状況にある。

不確実性下の便益定義については多くの研究事例がある。Graham²⁾を始め多くの研究が地域性を考慮しない様々な不確実性下の便益定義を提案し、多々納³⁾はこれらの特性を整理するとともに、新たな定義を提案している。これに対し上田⁴⁾、高木他⁵⁾は地域性を考慮した便益定義を提案している。

地域性を考慮した、いわゆる立地変化を捉えた便益計測法も森杉他⁶⁾、上田⁷⁾を始め多くの研究が行われているが、これらは不確実性を明示的に取り込んでいない。これに対し、高木他⁸⁾は不確実性を明示的に取り入れた立地均衡モデルを提案している。そこでは立地に関する均衡計算を必要としており、現在数多く行われている防災投資の費用便益分析に用いるのは経費的にも非常に厳しいと思われる。そこで本研究ではプロジェクト評価の実務で簡単に使える、特に小規模なプロジェクトに有用な簡便な便益計測手法を提案するものである。

本研究では提案する手法はショートカット法と呼ばれ、煩雑な均衡計算を避け、市場から直接得られる情報で簡便に便益を計測する方法であり、様々な教科書⁹⁾にも登場するとともに、交通投資の便益評価に広く利用されている手法である。ショートカット法とは完全競争市場における間接効果はキャンセルアウトされてゼロとなり、発生ベースの便益だけ計測すればよいとの考え方に基づき、一般均衡理論の煩雑な計算作業を回避する方法として、一般均衡理論のフレームの中で一市場、すなわち部

分均衡的な計算により便益計測を行うとしたものであり、Kanemoto and Mera¹⁰⁾や森杉・林山他¹¹⁾など多くの研究者によって提案されている。また、森杉・大野他¹²⁾はその拡張として環境改善、すなわち非市場財のショートカット法を提案し、立地変化を考慮した交通投資の便益計測法としてのショートカット法も大野¹³⁾が研究している。本研究で提案するショートカット法は、非市場財であること及び立地変化、すなわち地域性を考慮しているという2点に加えて不確実性を追加したモデルであると位置付けられる。

本研究で提案するショートカット法は、均衡計算を行わずに立地変化による便益も捉えており、大規模でない場合や多くの代替案に対する事前チェックを行う場合には、作業が煩雑でないという点において利点がある。近年の厳しい財政事情や合意形成問題を背景に今後益々費用便益分析の重要性は高まると考えられ、小規模な事業においても検討されるであろう。このように実際の多くの場面において適用できる手法を開発することは有益であると思われる。

本研究では、まず各主体の行動を不確実性については期待効用理論で捉え、地域性についてはランダム効用理論で捉えた一般均衡理論の枠組みで社会経済モデルを構築する。次に、防災投資の便益を等価的偏差の概念を拡張したNon-Contingent EV¹⁴⁾で定義する。そしてその便益定義の簡便な計測手法としてショートカット法を提案する。最後に数値シミュレーションを行い、便益の推定精度などを検討する。

2. 社会経済モデル

(1) 社会経済モデルの仮定

- ① 社会はいくつかの地域で構成されている。なお、地域内は均一空間であるものとする。
- ② 社会は確率変動する環境状態で構成されている。
- ③ 社会は同一の選好をもつ多数の世帯、同じく同一の選好をもつ多数の私企業（企業所有者）、各地域毎に一括して土地を所有する地主、政府の4部門と土地市場、労働市場、合成財市場の3市場で構成されているとする。
- ④ 世帯および私企業が土地サービスを必要するとき、地主から土地を賃借する。すなわち、土地の使用は賃貸借契約のみとし、売買契約は考えない。
- ⑤ 立地均衡と土地取引は災害が起こるかもしれない

* キーワード：整備効果計測法、防災計画

**正員 博(工) 岐阜大学講師 工学部土木工学科

(岐阜市柳戸1-1 TEL:058-293-2445,FAX:058-230-1248)

将来を見越して現時点で行われると考え、ワルラス的な多市場同時均衡に基づき、各地域毎に土地サービスの取引量と地代が内生的に決定されるとする。

(2) 対象とする災害と発生確率

災害の発生は、ある環境状態が発生する確率とその環境状態における環境質によって決まるものとし、本研究では地域(j)、環境状態(i)毎に異なる環境質 H_i^j を考え、環境状態の発生確率は地域毎に異なる ϕ_i^j ($\sum_i \phi_i^j = 1$) で与える。また、環境質 H_i^j は気象、地形、及び防災施設水準など外生的に与えられる条件から成り立っており、防災投資は環境質 H_i^j と環境状態の発生確率 ϕ_i^j の2つを直接的に変化させるものとする。

災害には地震災害、風水害、土砂災害、火山噴火による災害など様々な種類があるが、本研究では事前かつ地域別に災害危険度、すなわち環境質 H_i^j とその発生確率 ϕ_i^j がわかっている(物理量として客観的にわからなくても各主体が主観的に判断できればよい)ことを前提条件とするため、想定する災害の種類や規模は、これを満足する必要がある。したがって、稀少性、巨大性、集合性をもつカストロフな災害は想定おらず、どちらかという小規模、多頻度の災害を想定している。また、土地自体の消失や人命の損失などの不可逆な現象や資本形成過程を明示的に取り扱っている訳ではないが、それらを総合した地域の災害危険度を各主体が事前に想定できる程度の災害を対象とする。逆に言えば、各主体が広い範囲や規模が大きなものまで事前に災害危険度を判断できれば、本モデルの適用範囲も広がるであろうが、それらは災害予測技術や情報公開などの程度によって決定されるため、本モデルが想定できる規模、範囲もそれに委ねられることになると考えられる。

(3) 世帯の行動モデル

すべての世帯は任意の地域に居住するものとし、2段階の最適化行動をとると仮定する。第1段階は、居住地を仮に決めたときにとる消費活動の最適化行動であり、地域、環境状態毎の予算制約下で、合成財需要量、宅地需要量及び余暇時間をコントロールして期待効用を最大にするものとして、次のように定式化する。

$$E^j(V_i^j) = \max_{z_i^j, a_i^j, T-l_i^j} E^j(U[z_i^j, a_i^j, T-l_i^j, H_i^j]) \quad (1a)$$

$$s.t. \quad p_i z_i^j + r_i^j a_i^j = w_i l_i^j - g_i^j \quad (1b)$$

ここで、 $E^j(V_i^j)$: 期待効用水準、 V_i^j : 効用水準、 $U[\cdot]$: 効用関数、 $E^j(U[\cdot]) (= \sum_i \phi_i^j \cdot U[\cdot])$: 期待効用関数、 a_i^j : 宅地需要量、 z_i^j : 合成財消費量、 l_i^j : 労働時間、 T : 使用可能時間、 p_i : 合成財価格、 r_i^j : 宅地地代、 w_i : 賃

金率、 g_i^j : 一括固定税。

式(1)を解くと、次式の期待間接効用関数を得る。

$$E^j(V_i^j) = E^j(V[p_i, r_i^j, w_i, \Omega_i^j, H_i^j]) \quad (2)$$

ここで、 $V[\cdot]$: 間接効用関数、 $\Omega_i^j = w_i T - g_i^j$ 。

第2段階では、地域での期待効用水準に従って居住地を1つ選ぶと仮定する。世帯が誤差項(ランダム変数)を持ち、それが独立かつGumbel分布に従うと仮定すると、次式のLogitモデルを得る¹⁵⁾。

$$P^j = \frac{\exp\{\theta \cdot E^j(V_i^j)\}}{\sum_j \exp\{\theta \cdot E^j(V_i^j)\}} \quad (3)$$

$$SV = \frac{1}{\theta} \ln \left[\sum_j \exp\{\theta \cdot E^j(V_i^j)\} \right] \quad (4)$$

ここで、 P^j : 立地選択確率、 θ : Logitパラメータ、 SV : 包括的期待効用水準。

(4) 私企業(企業所有者)の行動モデル

すべての私企業は任意の地域に立地するものとし、世帯と同様な2段階の最適化行動をとると仮定する。第1段階では、業務地を仮に決めたときにとる生産活動の最適化行動を捉える。不確実性下では利潤が定かでないという危険に直面しているため、このような危険に対する企業の態度が決定的な役割を演じる¹⁶⁾。この点を勘案し、企業の行動をわかり易くするため、企業を所有し、経営をう人、すなわち企業所有者を想定してその行動を考える。具体的には、利潤を変数とする効用関数を導入し、この効用の期待値の最大化が不確実性下における私企業の目的であると考え、次のように定式化する¹⁶⁾。

$$E^j(V_i^j) = \max_{A_i^j, Z_i^j, L_i^j} E^j(U[\pi_i^j]) \quad (5a)$$

$$s.t. \quad \pi_i^j = p_i Z_i^j - \{R_i^j A_i^j + w_i L_i^j + G_i^j\} \quad (5b)$$

$$Z_i^j = Z[A_i^j, L_i^j, H_i^j] \quad (5c)$$

ここで、 $E^j(V_i^j)$: 期待間接効用関数、 $U[\cdot]$: 効用関数、 π_i^j : 利潤、 A_i^j : 業務地需要量、 Z_i^j : 合成財生産量、 L_i^j : 労働力、 R_i^j : 業務地地代、 G_i^j : 一括固定税、 $Z[\cdot]$: 生産関数。

式(5)を解くと、次式の期待間接効用関数を得る。

$$\pi_i^j = \pi[p_i, R_i^j, w_i, G_i^j, H_i^j] \quad (6a)$$

$$E^j(V_i^j) = E^j(V_i^j[\pi_i^j]) \quad (6b)$$

ここで、 $V[\cdot]$ ：間接効用関数。

第2段階では、私企業は地域の期待効用水準に従って業務地を1つ選ぶと仮定する。世帯の立地選択行動と同様に考えると、次式のLogitモデルを得る。

$$P'^j = \frac{\exp\{\theta' \cdot E^j(V_i'^j)\}}{\sum_j \exp\{\theta' \cdot E^j(V_i'^j)\}} \quad (7)$$

$$SV' = \frac{1}{\theta'} \ln \left[\sum_j \exp\{\theta' \cdot E^j(V_i'^j)\} \right] \quad (8)$$

ここで、 P'^j ：立地選択確率、 θ' ：Logitパラメータ、 SV' ：包括的期待効用水準。

(5) 地主の行動モデル

地主は、地域、環境状態毎の土地供給制約下で、宅地供給量と業務地供給量をコントロールして土地から得られる利潤を変数とした効用の期待値を最大化にするよう行動すると仮定し、次のように定式化する。

$$E^j(V_i'^j) = \max_{k_i^j, K_i^j} E^j(U[\lambda_i^j]) \quad (9a)$$

$$s.t. \lambda_i^j = r_i^j k_i^j + R_i^j K_i^j - g_i'^j \quad (9b)$$

$$k_i^j + K_i^j \leq \bar{K}_i^j [H_i^j] \quad (9c)$$

ここで、 $E^j(V_i'^j)$ ：期待効用水準、 $U[\cdot]$ ：効用関数、 λ_i^j ：利潤、 k_i^j ：宅地供給量、 K_i^j ：業務地供給量、 $g_i'^j$ ：一括固定税、 $\bar{K}_i^j$ ：可住地面積。

式(9)を解くと、次式の期待間接効用関数を得る。

$$\lambda_i^j = \lambda[\bar{K}_i^j, r_i^j, R_i^j, g_i'^j, H_i^j] \quad (10a)$$

$$E^j(V_i'^j) = E^j(V[\lambda_i^j]) \quad (10b)$$

ここで、 $V[\cdot]$ ：間接効用関数。

(6) 政府の行動モデル

政府は、環境状態毎に各主体から税収を徴収して防災投資を行うとし、収支バランスを次のように定式化する。

$$\sum_j P^j N g_i^j + \sum_j P'^j M G_i^j + \sum_j g_i'^j = \sum_j I_i^j \quad (11)$$

ここで、 I_i^j ：防災投資額、 N ：総世帯数、 M ：総私企業数。

災害による影響は、地域間での立地量の配分の変化ではなく、地域全体の立地量の変化であるため、本モデルのように地域全体の総世帯数、総企業数を一定とすると、

過小評価になるという意見もあるが、地域全体を災害危険度以外の要因で決まる立地選択範囲とすれば、地域全体の総立地量が変化しないとしても過小評価にはならないと考えられる。このような範囲を地域全体とすると大きい場合もあるが、多くの場合は本モデルの適用範囲内と考えられる。

(7) 市場均衡条件

本モデルにおける一般的な市場均衡条件は次のように表される。

$$\text{合成財：} \sum_j P^j N \sum_i \phi_i^j z_i^j = \sum_j P'^j M \sum_i \phi_i^j Z_i^j \quad (12a)$$

$$\text{住宅地：} P^j N \sum_i \phi_i^j a_i^j = \sum_i \phi_i^j k_i^j \quad (12b)$$

$$\text{業務地：} P'^j M \sum_i \phi_i^j A_i^j = \sum_i \phi_i^j K_i^j \quad (12c)$$

$$\text{労働：} \sum_j P^j N \sum_i \phi_i^j l_i^j = \sum_j P'^j M \sum_i \phi_i^j L_i^j \quad (12d)$$

上記の社会経済モデルにおける未知数は p_i 、 r_i^j 、 R_i^j 、 w_i で、その数は $(2 \times \text{地域数} + 2) \times \text{状態数}$ である。これに対し、市場均衡条件式は $2 \times \text{地域数} + 2$ 本しか存在しないため、一般的に上記の市場均衡条件式では唯一の均衡解を有しない。したがって、唯一の均衡解を有するのは、各財について市場が環境状態毎に独立に成立しているか、価格が期待値となる等、環境状態にかかわらず変化しないの何れかが成立している場合である。この2つのどちらが成立するかは災害の種類、規模、被災期間の継続する長さ及び財の種類などに依存する。すべての財について前者が成立する場合は市場均衡条件式が $(2 \times \text{地域数} + 2) \times \text{状態数}$ となり、後者が成立する場合は未知数が $2 \times \text{地域数} + 2$ となるため、それぞれ唯一の均衡解を有することとなる。土地は時間を越えて取り引きできないため、ある時間断面における地域の環境状態の組合せは1通りであり、前者が成立することとなる。また、合成財価格や賃金率が環境状態毎に異なることを想定していることは、暗に環境状態毎の需給バランスが異なる、すなわち、環境状態毎に市場が独立して成立していることを想定していると考えられる。これは比較的大規模な災害を想定していることとなるであろう。さらに実際には土地市場は後者が成立している場合が多い。以下では、この条件のうち何れかが成立しているものの、それがどの条件であるかは限定せず、展開を行うこととする。なお、住宅地と業務地が競合する場合には、土地市場が1つとなり、 $r_i^j = R_i^j$ から解は唯一存在することとなる。

(8) 防災投資の効果

政府は各主体からの税収をもとに防災投資を実施し、環境質を $H_i^{A_j}$ から $H_i^{B_j}$ へ、災害の発生確率を $\phi_i^{A_j}$ から $\phi_i^{B_j}$

へと変化させる。このとき、各主体の行動は変化し、市場メカニズムを通して合成財価格 p_i 、地代 r_i^j 、 R_i^j 等が変化する。この結果、各主体の効用水準が V_i^{Aj} 、 $V_i'^{Aj}$ 、 V_i^{*Aj} から V_i^{Bj} 、 $V_i'^{Bj}$ 、 V_i^{*Bj} へと変化するとともに、包括的期待効用水準および期待効用水準が SV^A 、 SV'^A 、 $E^A(V_i^{*Aj})$ から SV^B 、 SV'^B 、 $E^B(V_i^{*Bj})$ へと変化する。このように防災投資の効果は、社会経済フレームを通じて世帯、私企業、地主の期待効用の増大として捉えることができる。

3. 防災投資の便益定義

先に述べたように防災投資の便益定義には支払い形式によってを設定によっていくつかの異なる定義が存在する。このうち、本研究では支払い形式が地域、状態にかかわらず一定であるとした Non-Contingent EV を防災投資の便益定義とする¹⁴⁾。

防災投資を実施しない状態において、防災投資を実施した場合の包括的期待効用水準 SV^B を維持するという条件の下に、防災投資を実施しない状態にとどまるために必要であると個人が考える最小補償額であり、次式を構成する $NCEV$ で表される。

$$SV^B = \frac{1}{\theta} \ln \left[\sum_j \exp \left\{ \theta \cdot E^{Aj} \left(V[p_i^A, r_i^{Aj}, w_i^A, \Omega_i^{Aj} + NCEV, H_i^{Aj}] \right) \right\} \right] \quad (13)$$

4. ショートカット形の導出

環境水準の変化は立地場所に依存しているため、そこでの土地需要の変化を伴うことは一般に認められる。そのため、事業が行われた地域での集計レベルの土地需要（供給）関数を観察して、簡便的に便益を計測する方法が考えられる。この簡便な便益計測手法がショートカット法であり、以下にその導出過程を示す。

(1) Gorman型効用関数の適用

各主体の間接効用関数を以下のような Gorman 型で定義する。

$$V[p_i, r_i^j, w_i, \Omega_i^j, H_i^j] = \xi[p_i, r_i^j, w_i, H_i^j] + \eta[p_i, r_i^j, R_i^j, w_i, H_i^j] \Omega_i^j \quad (14a)$$

$$V[\pi_i^j] = \xi^*[\pi_i^j, R_i^j, w_i, G_i^j, H_i^j] + \eta[p_i, r_i^j, R_i^j, w_i, H_i^j] \pi_i^j \quad (14b)$$

$$V^*[\lambda_i^j] = \xi^*[\bar{K}_i^j, r_i^j, R_i^j, g_i^j, H_i^j] + \eta[p_i, r_i^j, R_i^j, w_i, H_i^j] \lambda_i^j \quad (14c)$$

以降の展開において、微少な変化を考える場合以外には

$\eta[\cdot]$ を主体、地域、状態によらず共通であると仮定する必要がある。この仮定は強いが不確実性を考慮したショートカット形を導出する上では避けられない。ただし、最も簡単な場合として $\eta[\cdot] = 1$ とおけば、所得、利潤の変化が効用の変化と同一であると解釈でき、現実的であるとも考えられる。しかし、Gorman 型効用関数を導入することは、主体がリスク中立的な行動をとることを仮定することとなり、リスクプレミアムを持たない、あるいはリスク回避に対するオプション価値を 0 として、期待所得、期待利潤そのもので行動することを意味する。したがって、本モデルでは、人命損失のような不可逆現象が生じる災害や想定以上の大規模な災害など、リスク回避行動を想定することを避けられない災害については、適用できないと言わざるを得ない。

これより社会的純便益 SNB は次式のようにになる。

$$\begin{aligned} SNB &= N \cdot NCEV + M \cdot NCEV' + \sum_j EV^{*j} \\ &= N \cdot \frac{SV^B - SV^A}{E^{Aj}(\eta_i^{Aj})} + M \cdot \frac{SV'^B - SV'^A}{E^{Aj}(\eta_i^{Aj})} \\ &\quad + \frac{\sum_j \{E^{Bj}(V_i^{*Bj}) - E^{Aj}(V_i^{*Aj})\}}{E^{Aj}(\eta_i^{Aj})} \end{aligned} \quad (15)$$

ここで、 $E^{Aj}(\eta_i^{Aj})$: 地域 j における without の η_i^j の期待値。

(2) 帰着形

式(15)に各主体の行動モデル式を適用すると、社会的純便益 SNB は以下のように変形できる。

$$\begin{aligned} SNB &= \frac{1}{E^{Aj}(\eta_i^{Aj})} \oint_{A \rightarrow B} \left(\sum_j \sum_i P^j N V_i^j d\phi_i^j + \sum_j \sum_i P^j N \phi_i^j dV_i^j \right. \\ &\quad + \sum_j \sum_i P'^j M V_i'^j d\phi_i'^j + \sum_j \sum_i P'^j M \phi_i'^j dV_i'^j \\ &\quad \left. + \sum_j \sum_i V_i^{*j} d\phi_i^{*j} + \sum_j \sum_i \phi_i^{*j} dV_i^{*j} \right) \\ &= \frac{1}{E^{Aj}(\eta_i^{Aj})} \oint_{A \rightarrow B} \left(\sum_j \sum_i (P^j N V_i^j + P'^j M V_i'^j + V_i^{*j}) d\phi_i^j \right. \\ &\quad \left. + \sum_j \sum_i \phi_i^j (P^j N dV_i^j + P'^j M dV_i'^j + dV_i^{*j}) \right) \end{aligned} \quad (16)$$

ここで、 $\oint$ は線積分を意味し、 $A \rightarrow B$ は

$(p_i^A, r_i^{Aj}, R_i^{Aj}, w_i^A, \Omega_i^{Aj}, \lambda_i^{Aj}, \pi_i^{Aj}, H_i^{Aj}) \rightarrow (p_i^B, r_i^{Bj}, R_i^{Bj}, w_i^B, \Omega_i^{Bj}, \lambda_i^{Bj}, \pi_i^{Bj}, H_i^{Bj})$ を示している。

式(16)の dV_i^j 、 $dV_i'^j$ 、 dV_i^{*j} にロアの定理¹⁷⁾を適用し、 $\Omega_i^j = w_i T - g_i^j$ を考慮して整理すると次のようになる。

$$\begin{aligned}
SNB = & \frac{1}{E^{Aj}(\eta_i^{Aj})} \int_{A \rightarrow B} \left\{ \sum_j \sum_i (P^j NV_i^j + P^{*j} MV_i^{*j} + V_i^{*j}) d\phi_i^j \right. \\
& + \sum_j \sum_i \phi_i^j \eta_i^j \left(-P^j Nz_i^j dp_i + P^{*j} MZ_i^j dp_i \right. \\
& \quad - P^j Na_i^j dr_i^j + k_i^j dr_i^j \\
& \quad - P^{*j} MA_i^j dR_i^j + K_i^j dR_i^j \\
& \quad + P^j Nl_i^j dw_i - P^{*j} ML_i^j dw_i \\
& \quad \left. \left. - P^j N dg_i^j + P^{*j} M dG_i^j - dg_i^j \right) \right. \\
& \quad \left. + P^j N \frac{\partial \Omega_i^j}{\partial H_i^j} dH_i^j + P^{*j} M \frac{\partial \pi_i^j}{\partial H_i^j} dH_i^j + \frac{\partial \lambda_i^j}{\partial H_i^j} dH_i^j \right\} \quad (17)
\end{aligned}$$

式(17)を防災投資の便益の帰着形と呼ぶことにする。なぜなら、式(17)における便益は世帯にとっての不確実性変化(災害発生確率の減少)の便益、合成財価格低下の便益、地価上昇の不便益、賃金率増大の便益、所得増大の便益、環境質向上の便益、私企業にとっての不確実性変化(災害発生確率の減少)の便益、合成財価格低下の不便益、地価上昇の不便益、賃金率増大の不便益、税負担増大の不便益、環境質向上の便益、および地主にとっての不確実性変化(災害発生確率の減少)の便益、地価上昇の便益、税負担増大の不便益、環境質向上の便益の合計値で表現されているからである。

(3) 市場均衡条件の適用

式(17)を整理すると次式が得られる。

$$\begin{aligned}
SNB = & \frac{1}{E^{Aj}(\eta_i^{Aj})} \int_{A \rightarrow B} \left\{ \sum_j \sum_i (P^j NV_i^j + P^{*j} MV_i^{*j} + V_i^{*j}) d\phi_i^j \right. \\
& + \sum_j \sum_i \phi_i^j \eta_i^j \left\{ \left(\frac{-P^j Nz_i^j + P^{*j} MZ_i^j}{\textcircled{1}} \right) dp_i \right. \\
& + \left(\frac{-P^j Na_i^j + k_i^j}{\textcircled{2}} \right) dr_i^j + \left(\frac{-P^{*j} MA_i^j + K_i^j}{\textcircled{3}} \right) dR_i^j \\
& + \left(\frac{P^j Nl_i^j - P^{*j} ML_i^j}{\textcircled{4}} \right) dw_i - \frac{P^j N dg_i^j - P^{*j} M dG_i^j - dg_i^j}{\textcircled{5}} \\
& \left. \left. + \left(P^j N \frac{\partial \Omega_i^j}{\partial H_i^j} + P^{*j} M \frac{\partial \pi_i^j}{\partial H_i^j} + \frac{\partial \lambda_i^j}{\partial H_i^j} \right) dH_i^j \right\} \right\} \quad (18)
\end{aligned}$$

市場均衡条件式より、式(18)の①、②、③、④はゼロとなる。また、式(11)より⑤は $-dI_i^j$ となる。よって、SNBは次式のように書き換えられる。

$$\begin{aligned}
SNB = & \frac{1}{E^{Aj}(\eta_i^{Aj})} \int_{A \rightarrow B} \left\{ \sum_j \sum_i (P^j NV_i^j + P^{*j} MV_i^{*j} + V_i^{*j}) d\phi_i^j \right. \\
& + \sum_j \sum_i \phi_i^j \eta_i^j \left(P^j N \frac{\partial \Omega_i^j}{\partial H_i^j} dH_i^j + P^{*j} M \frac{\partial \pi_i^j}{\partial H_i^j} dH_i^j + \frac{\partial \lambda_i^j}{\partial H_i^j} dH_i^j \right) \\
& \left. - \sum_j \sum_i \phi_i^j \eta_i^j dI_i^j \right\} \quad (19)
\end{aligned}$$

式(19)より、防災投資実施による各財の価格変化とそれに伴う需要供給量の変化(波及効果)は、各状態での消

費者余剰の増分と生産者余剰の増分が一致するためにキャンセルされることがわかる。また、式(19)の第1項は災害発生頻度の減少による便益を、第2項は各環境状態の環境質の変化による便益を、第3項は防災投資の投資額を示している。なお、 $\partial \Omega_i^j / \partial H_i^j$ 、 $\partial \pi_i^j / \partial H_i^j$ 、 $\partial \lambda_i^j / \partial H_i^j$ は各環境状態での世帯、私企業、地主の環境質 H_i^j の限界価値である。

特に、土地価格が市場均衡で決定されている場合には、その価格変化による消費者余剰と生産者余剰の変化分がキャンセルされるので、土地価格変化そのものを便益計算の対象から除外してもよいという事実を式(19)は示している。

(4) ショートカット形の誘導

式(19)の第2項の{ }内は、環境質の変化による便益であり、このショートカット形は、森杉・大野¹³⁾によって既に提案されている。よって、ここでは第1項のみに着目し、以下の手順に従ってショートカット形を誘導する。

①平常時と災害時の2つの状態のみを考え、サブスクリプト0, 1(0=平常時, 1=災害時)で表す。そして、平常時と災害時の発生確率の和が1であることから、 $\phi_0^j = 1 - \phi_1^j$ より、 $d\phi_0^j = -d\phi_1^j$ として整理すると次式のようになる。

$$\begin{aligned}
(\text{第1項}) = & \int_{A \rightarrow B} \sum_j \left\{ P^j N (V_0^j - V_1^j) \right. \\
& \left. + P^{*j} M (V_0^{*j} - V_1^{*j}) + (V_0^{*j} - V_1^{*j}) \right\} d\phi_0^j \quad (20)
\end{aligned}$$

② $V_0^j - V_1^j$ が地域 j における平常時と災害時の効用差であるため、{ }内を1→0(災害時→平常時)への線積分で表し、 $\Omega_i^j = w_i T - g_i^j$ 、市場均衡条件を考慮して整理した後、平常時0のまわりでテーラー展開する。

③②で得られた式を式(20)に代入して整理した後、防災投資を行わない状態Aのまわりでテーラー展開する。

④第2項のショートカット形と併せると、社会的純便益SNBは、次式のようになる。

$$\begin{aligned}
SNB = & \frac{1}{2} \sum_j \left[\frac{1}{2} \left\{ \left(P^{Aj} N \frac{\partial \Omega_0^{Aj}}{\partial H_0^{Aj}} + P^{*Aj} M \frac{\partial \pi_0^{Aj}}{\partial H_0^{Aj}} + \frac{\partial \lambda_0^{Aj}}{\partial H_0^{Aj}} \right) (H_0^{Aj} - H_1^{Aj}) \right\} \right. \\
& + \left. \left(P^{Bj} N \frac{\partial \Omega_0^{Bj}}{\partial H_0^{Bj}} + P^{*Bj} M \frac{\partial \pi_0^{Bj}}{\partial H_0^{Bj}} + \frac{\partial \lambda_0^{Bj}}{\partial H_0^{Bj}} \right) (H_0^{Bj} - H_1^{Bj}) \right\} \\
& + \frac{1}{2} \left\{ \left(P^{Aj} N \frac{\partial \Omega_1^{Aj}}{\partial H_1^{Aj}} + P^{*Aj} M \frac{\partial \pi_1^{Aj}}{\partial H_1^{Aj}} + \frac{\partial \lambda_1^{Aj}}{\partial H_1^{Aj}} \right) (H_0^{Aj} - H_1^{Aj}) \right\} \\
& + \left. \left(P^{Bj} N \frac{\partial \Omega_1^{Bj}}{\partial H_1^{Bj}} + P^{*Bj} M \frac{\partial \pi_1^{Bj}}{\partial H_1^{Bj}} + \frac{\partial \lambda_1^{Bj}}{\partial H_1^{Bj}} \right) (H_0^{Bj} - H_1^{Bj}) \right\} \right] (\phi_0^j - \phi_0^{Aj}) \\
& + \frac{1}{2} \sum_j \sum_i \phi_i^j \left\{ \left(P^{Aj} N \frac{\partial \Omega_i^{Aj}}{\partial H_i^{Aj}} + P^{*Aj} M \frac{\partial \pi_i^{Aj}}{\partial H_i^{Aj}} + \frac{\partial \lambda_i^{Aj}}{\partial H_i^{Aj}} \right) (H_i^{Bj} - H_i^{Aj}) \right. \\
& + \left. \left(P^{Bj} N \frac{\partial \Omega_i^{Bj}}{\partial H_i^{Bj}} + P^{*Bj} M \frac{\partial \pi_i^{Bj}}{\partial H_i^{Bj}} + \frac{\partial \lambda_i^{Bj}}{\partial H_i^{Bj}} \right) (H_i^{Bj} - H_i^{Bj}) \right\} \\
& - \frac{1}{2} \sum_j \left\{ (I_0^{Aj} - I_1^{Aj}) + (I_0^{Bj} - I_1^{Bj}) \right\} (\phi_0^j - \phi_0^{Aj}) - \sum_j \sum_i \phi_i^j (I_i^{Bj} - I_i^{Aj})
\end{aligned} \quad (21)$$

式(21)をショートカット形と呼ぶ。この式では防災投資

の社会的純便益 SNB が、環境状態の発生確率 ϕ_i^j と環境質 H_i^j の変化のみで表されていることがわかる。

5. ショートカット形の計測方法

式(21)で示されたショートカット形の計測方法を以下に示す。ただし、世帯、私企業、地主とも同様に計測できるので、以下では世帯についてのみ示す。

(1) 限界価値 $\times (H_0^{Aj} - H_1^{Aj}) \times (\phi_0^{Bj} - \phi_0^{Aj})$ の計測方法

a) $P^{Aj} N \partial \Omega_0^{Aj} / \partial H_0^{Aj} \times (H_0^{Aj} - H_1^{Aj})$ の計測方法

防災投資を実施しなかった場合における災害時の環境質 H_1^{Aj} の効用水準を維持するという条件の下で、世帯が $H_0^{Aj} \rightarrow H_1^{Aj}$ の変化を免れるために妥当と考える宅地の地代を $r(H_1^{Aj})$ とする。これは次式を満たすような価格水準である。

$$V[p_0^A, r(H_1^{Aj}), w_0^A, \Omega_0^{Aj}, H_0^{Aj}] = V[p_0^A, r_0^{Aj}, w_0^A, \Omega_0^{Aj}, H_1^{Aj}] \quad (22a)$$

これを用いて変形すると、次式のようにになる。

$$\begin{aligned} & P^{Aj} N \frac{\partial \Omega_0^{Aj}}{\partial H_0^{Aj}} (H_0^{Aj} - H_1^{Aj}) \\ &= \int_{(H_1^{Aj})}^{(H_0^{Aj})} P^{Aj} N \cdot a[p_0^A, r_i^j, w_0^A, \Omega_0^{Aj}, H_0^{Aj}] dr_i^j \end{aligned} \quad (22b)$$

これは防災投資を実施しなかった場合の平常時の集計土地需要関数における地代 r_0^{Aj} と $r(H_1^{Aj})$ の消費者余剰の差分であり、図-1における MD_0^A の面積を示す。

b) $P^{Aj} N \partial \Omega_1^{Aj} / \partial H_1^{Aj} \times (H_0^{Aj} - H_1^{Aj})$ の計測方法

防災投資を実施しなかった場合における平常時の環境質 H_0^{Aj} の効用水準を維持するという条件の下で、世帯が $H_0^{Aj} \rightarrow H_1^{Aj}$ の変化を免れるために妥当と考える宅地の地代を $r(H_0^{Aj})$ とする。これは次式を満たすような価格水準である。

$$V[p_1^A, r(H_0^{Aj}), w_1^A, \Omega_1^{Aj}, H_1^{Aj}] = V[p_1^A, r_1^{Aj}, w_1^A, \Omega_1^{Aj}, H_0^{Aj}] \quad (23a)$$

これを用いて変形すると、次式のようにになる。

$$\begin{aligned} & P^{Aj} N \frac{\partial \Omega_1^{Aj}}{\partial H_1^{Aj}} (H_0^{Aj} - H_1^{Aj}) \\ &= \int_{r_1^{Aj}}^{(H_0^{Aj})} P^{Aj} N \cdot a[p_1^A, r_i^j, w_1^A, \Omega_1^{Aj}, H_1^{Aj}] dr_i^j \end{aligned} \quad (23b)$$

これは防災投資を実施しなかった場合の災害時の集計土地需要関数における地代 r_1^{Aj} と $r(H_0^{Aj})$ の消費者余剰の差

分であり、図-1における MD_1^A の面積を示す。

式(22b), (23b)は、防災投資を実施しなかった場合における平常時から災害時への環境質の変化に等価な地代の変化を発見することによって、災害の発生により悪化する住環境の質の限界価値を集計土地需要関数のシフトを考慮した消費者余剰で計測できることを意味している。したがって、式(21)におけるこの項は、図-1の2つの斜線部分の平均面積で表される消費者余剰に防災投資による環境状態の発生確率の変化分を乗じ、地域毎に合計することで計測できる。

(2) 限界価値 $\times (H_0^{Bj} - H_1^{Bj}) \times (\phi_0^{Bj} - \phi_0^{Aj})$ の計測方法

a) $P^{Bj} N \partial \Omega_0^{Bj} / \partial H_0^{Bj} \times (H_0^{Bj} - H_1^{Bj})$ の計測方法

防災投資を実施した場合における災害時の環境質 H_1^{Bj} の効用水準を維持するという条件の下で、世帯が $H_0^{Bj} \rightarrow H_1^{Bj}$ の変化を免れるために妥当と考える宅地の地代を $r(H_1^{Bj})$ とする。すなわち、次式を満たすような価格水準である。

$$V[p_0^B, r(H_1^{Bj}), w_0^B, \Omega_0^{Bj}, H_0^{Bj}] = V[p_0^B, r_0^{Bj}, w_0^B, \Omega_0^{Bj}, H_1^{Bj}] \quad (24a)$$

これを用いて変形すると、次式のようにになる。

$$\begin{aligned} & P^{Bj} N \frac{\partial \Omega_0^{Bj}}{\partial H_0^{Bj}} (H_0^{Bj} - H_1^{Bj}) \\ &= \int_{(H_1^{Bj})}^{(H_0^{Bj})} P^{Bj} N \cdot a[p_0^B, r_i^j, w_0^B, \Omega_0^{Bj}, H_0^{Bj}] dr_i^j \end{aligned} \quad (24b)$$

これは防災投資を実施した場合の平常時の集計土地需要関数における地代 r_1^{Bj} と $r_i^j(H_1^{Bj})$ の消費者余剰の差分であり、図-2における MD_0^B の面積を示す。

b) $P^{Bj} N \partial \Omega_1^{Bj} / \partial H_1^{Bj} \times (H_0^{Bj} - H_1^{Bj})$ の計測方法

防災投資を実施した場合における平常時の環境質 H_0^{Bj} の効用水準を維持するという条件の下で、世帯が $H_0^{Bj} \rightarrow H_1^{Bj}$ の変化を諦めるために妥当と考える宅地の地代を $r_i^j(H_0^{Bj})$ とする。すなわち、次式を満たすような価格水準である。

$$V[p_1^B, r_i^j(H_0^{Bj}), w_1^B, \Omega_1^{Bj}, H_1^{Bj}] = V[p_1^B, r_1^{Bj}, w_1^B, \Omega_1^{Bj}, H_0^{Bj}] \quad (25a)$$

これを用いて変形すると、次式のようにになる。

$$\begin{aligned} & P^{Bj} N \frac{\partial \Omega_1^{Bj}}{\partial H_1^{Bj}} (H_0^{Bj} - H_1^{Bj}) \\ &= \int_{r_1^{Bj}}^{(H_0^{Bj})} P^{Bj} N \cdot a[p_1^B, r_i^j, w_1^B, \Omega_1^{Bj}, H_1^{Bj}] dr_i^j \end{aligned} \quad (25b)$$

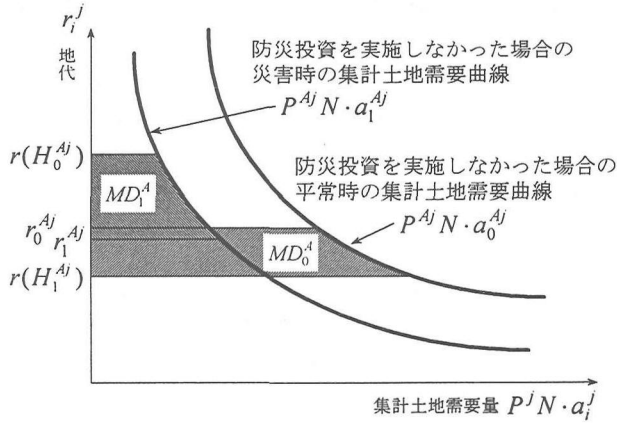


図-1 $P^{Aj} N \partial \Omega_i^{Aj} / \partial H_i^{Aj} \times (H_0^{Aj} - H_1^{Aj})$ の計測方法

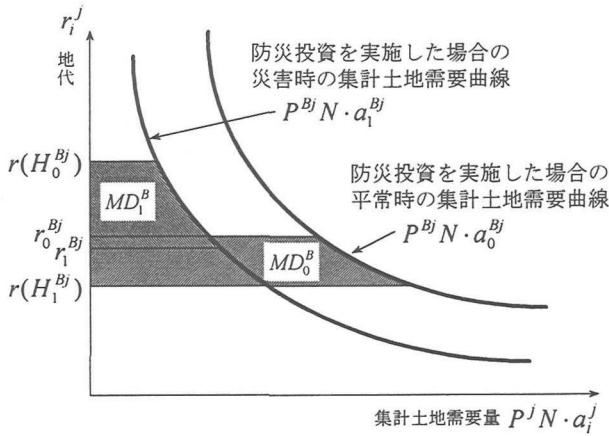


図-2 $P^{Bj} N \partial \Omega_i^{Bj} / \partial H_i^{Bj} \times (H_0^{Bj} - H_1^{Bj})$ の計測方法

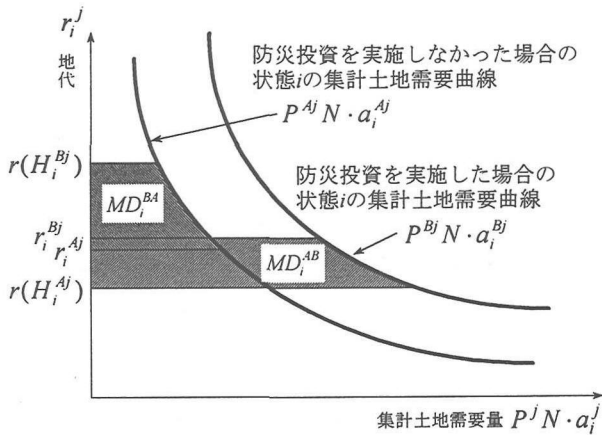


図-3 $P^{Aj} N \partial \Omega_i^{Aj} / \partial H_i^{Aj} \times (H_i^{Bj} - H_i^{Aj})$ と $P^{Bj} N \partial \Omega_i^{Bj} / \partial H_i^{Bj} \times (H_i^{Bj} - H_i^{Aj})$ の計測方法

これは防災投資を実施した場合の災害時の集計土地需要関数における地代 r_1^{Bj} と $r(H_0^{Bj})$ の消費者余剰の差分であり、図-2における MD_1^B の面積を示す。

式(24b),(25b)は、防災投資を実施した場合での平常時から災害時への環境状態の変化による環境質の変

化に等価な地代の変化を発見することによって、各環境状態の環境質 H_i^{Bj} の限界価値、すなわち災害が発生したことにより悪化する住環境の質の限界価値を集計土地需要関数のシフトを考慮した消費者余剰で計測できることを意味している。したがって、式(21)におけるこの項は、図-2の2つの斜線部分の平均面積で表される消費者余剰に防災投資による環境状態の発生確率の変化分（平常時または災害時の発生確率の変化分）を乗じ、地域毎に合計することで計測できる。

(3) 限界価値 $\times (H_i^{Bj} - H_i^{Aj})$ の計測方法

a) $P^{Aj} N \partial \Omega_i^{Aj} / \partial H_i^{Aj} \times (H_i^{Bj} - H_i^{Aj})$ の計測方法

環境状態毎の防災投資を実施した場合の環境質 H_i^{Bj} の効用水準を維持するという条件の下で、世帯が $H_i^{Aj} \rightarrow H_i^{Bj}$ の変化を諦めるために妥当と考える宅地の地代を $r(H_i^{Bj})$ とする。すなわち、次式を満たすような価格水準である。

$$V[p_i^A, r_i^J(H_i^{Bj}), w_i^A, \Omega_i^{Aj}, H_i^{Aj}] = V[p_i^A, r_i^{Aj}, w_i^A, \Omega_i^{Aj}, H_i^{Bj}] \quad (26a)$$

これを用いて変形すると、次式のようにになる。

$$P^{Aj} N \frac{\partial \Omega_i^{Aj}}{\partial H_i^{Aj}} (H_i^{Bj} - H_i^{Aj}) = \int_{r_i^{Aj}}^{r(H_i^{Bj})} P^{Aj} N \cdot a[p_i^A, r_i^J, w_i^A, \Omega_i^{Aj}, H_i^{Aj}] dr_i^J \quad (26b)$$

これは防災投資を実施しなかった場合の環境状態毎の集計土地需要関数における地代 r_i^{Aj} と $r(H_i^{Bj})$ の消費者余剰の差分であり、図-3の MD_i^{AB} の面積を示す。

b) $P^{Bj} N \partial \Omega_i^{Bj} / \partial H_i^{Bj} \times (H_i^{Bj} - H_i^{Aj})$ の計測方法

環境状態毎の防災投資を実施しなかった場合の環境質 H_i^{Aj} の効用水準を維持するという条件の下で、世帯が $H_i^{Aj} \rightarrow H_i^{Bj}$ の変化を獲得するために妥当と考える宅地の地代を $r(H_i^{Aj})$ とする。すなわち、次式を満たすような価格水準である。

$$V[p_i^B, r(H_i^{Aj}), w_i^B, \Omega_i^{Bj}, H_i^{Bj}] = V[p_i^B, r_i^{Bj}, w_i^B, \Omega_i^{Bj}, H_i^{Aj}] \quad (27a)$$

これを用いて変形すると、次式のようにになる。

$$P^{Bj} N \frac{\partial \Omega_i^{Bj}}{\partial H_i^{Bj}} (H_i^{Bj} - H_i^{Aj}) = \int_{r(H_i^{Aj})}^{r_i^{Bj}} P^{Bj} N \cdot a[p_i^B, r_i^J, w_i^B, \Omega_i^{Bj}, H_i^{Bj}] dr_i^J \quad (27b)$$

これは防災投資を実施した場合の環境状態毎の集計

土地需要関数における地代 r_i^{Aj} と $r(H_i^{Aj})$ の消費者余剰の差分であり、図-3の MD_i^{BA} の面積を示す。

式(26b),(27b)は、防災投資の実施による環境質の変化に等価な地代の変化を発見することによって、各環境状態の環境質 H_i^j の限界価値、すなわち防災投資を実施することにより改善される住環境の質の限界価値を集計土地需要関数のシフトを考慮した消費者余剰で計測できることを意味している。したがって、式(21)におけるこの項は、図-3の2つの斜線部分の平均面積で表される消費者余剰の期待値を地域毎に合計することで計測できる。

(4) 投資額に関連する項目の計測方法

a) $1/2 \sum_j \{ (I_0^{Aj} - I_1^{Aj}) + (I_0^{Bj} - I_1^{Bj}) \} \times (H_0^{Bj} - H_0^{Aj})$ の計測方法

防災投資を実施しなかった場合の平常時と災害時の防災投資額の差と防災投資を実施した場合の平常時と災害時の防災投資額の差との平均に、防災投資による環境状態の発生確率の変化分(平常時または災害時の発生確率の変化分)を乗じ、地域毎に合計することで計測できる。

b) $\sum_j \sum_i \phi_i^j (I_i^{Bj} - I_i^{Aj})$ の計測方法

防災投資を実施した場合の各環境状態における防災投資額と防災投資を実施しなかった場合の各環境状態における防災投資額の差の期待値で計測できる。

(5) ショートカット形の計測方法のまとめ

以上の計測方法を整理すると次のようになる。

$$SNB = \frac{1}{4} \sum_j \sum_i (MD_i^{Aj} + MD_i^{Bj}) (\phi_0^{Bj} - \phi_0^{Aj}) + \frac{1}{2} \sum_j \sum_i \phi_i^{Aj} (MD_i^{AB} + MD_i^{BA}) - (\text{防災投資額}) \quad (28)$$

式(28)によると、防災投資による社会的純便益は、

- ① 防災投資を実施しなかった場合における災害時と平常時の消費者余剰の差に、災害の発生確率の変化を乗じて、地域毎に合計する。
- ② 防災投資を実施した場合における災害時と平常時の消費者余剰の差に、災害の発生確率の変化を乗じて、地域毎に合計する。
- ③ 災害時と平常時のそれぞれについて、防災投資を実施した場合としなかった場合における消費者余剰の差を求め、その期待値を地域毎に合計する。

の合計から

④ 防災投資額分

を引いたものとして計測できることを示している。

なお、①～③を計測するためには、防災投資の有無

別、環境状態別に需要曲線を推定する必要があり、そのためのデータが必要となる。しかし、すべてのデータを対象地域において事前に入手することは困難であり、実際には他地域で観測されたデータ等をもとに、推定せざるを得ない場合が多いと思われる。

6. 数値シミュレーション

本研究で導出したショートカット法を用いて、S川における総合治水対策事業による便益計測のシミュレーションを行った。S川流域はG市郊外に位置し、近年の急激な市街化により流出の集中化と増大が著しく、相対的に河道流下能力が低下している。現在S川では総合治水対策事業が進められている。河道と想定氾濫区域の模式図を図-4に示す。

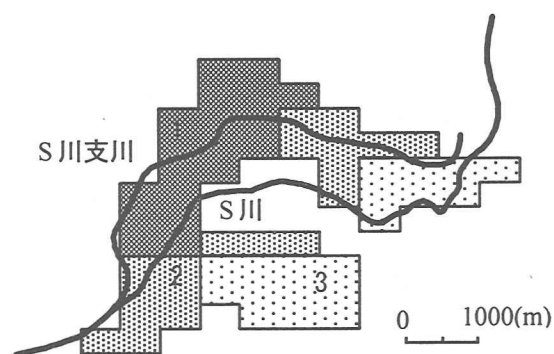


図-4 対象河川と想定氾濫区域の模式図

便益計測に当たっては、まず想定氾濫区域を3ゾーンに区分し、ショートカット法を適用するために必要なデータとして各ゾーンにおける市街化面積、平均地代を整理した。次に別途行った氾濫計算結果から、想定氾濫区域内の何れのメッシュでも床上浸水が発生しない場合を平常時、それ以外を洪水時と想定して、平常時と洪水時におけるゾーン毎の期待平均浸水深(メッシュ数で加重平均値)を求めた。その結果は表-1の上段部分に示すとおりである。なお、withの地代が高いにもかかわらず集計土地需要量が大きくなっているのは、withoutに比べて治水安全度が向上していることにより、需要関数がシフトしているためである(例えば、図-3参照)。

ショートカット法を適用するためには、様々なケースにおける地代を求める必要がある。本来ならば流域内及び周辺地域における地代データと集計土地需要量(市街化面積)や浸水深との関係を調べたり、もしくは住民にアンケートを行って、各ケースの地代を求めるところであるが、ここでは高木他⁸⁾で行っているシミュレーションの効用関数を流用して各ケースの投資を諦める値を求めている。このことは間接的ではあるが立地均衡モデルを利用していることであり、ショートカット法の利点である簡便性を実証分析において検討し切れないと言う反論もあろうが、ここではショートカット法の近似精度の

表-1 数値シミュレーションの条件と結果

項目				単位	記号	ゾーン			計
						1	2	3	
実績値及び推計値	without	状態の生	平常時	—	ϕ_0^{AJ}	0.667	0.667	0.667	
		起確率	洪水時	—	ϕ_1^{AJ}	0.333	0.333	0.333	
		年平均期	平常時	m	H_0^{AJ}	0.041	0.071	0.045	
		待浸水深	洪水時	m	H_1^{AJ}	0.128	0.156	0.111	
	with	状態の生	平常時	—	ϕ_0^{BJ}	0.800	0.800	0.800	
		起確率	洪水時	—	ϕ_1^{BJ}	0.200	0.200	0.200	
		年平均期	平常時	m	H_0^{BJ}	0.008	0.005	0.008	
		待浸水深	洪水時	m	H_1^{BJ}	0.082	0.086	0.082	
	集計土地需要量		without	m ²	PNa_i^{AJ}	919,358	515,403	389,457	1,824,218
			with	m ²	PNa_i^{BJ}	929,441	542,511	397,428	1,869,380
地代		without	円/m ²	r^{AJ}	11,673	9,918	9,189		
		with	円/m ²	r^{BJ}	11,884	10,162	9,240		
年 便 益	without	地代	式(22a)	円/m ²	$r(H_1^{AJ})$	7,400	6,452	6,442	
		式(23a)	$r(H_0^{AJ})$		18,382	15,222	13,095		
		消費者余 剰の増分	式(22b)	百万円/年	MD_0^{AJ}	3,929	1,787	1,070	6,785
			式(23b)		MD_1^{AJ}	6,168	2,734	1,521	10,423
	with	地代	式(24a)	円/m ²	$r(H_0^{BJ})$	8,084	6,773	6,216	
		式(25a)	$r(H_1^{BJ})$		17,449	15,224	13,718		
		消費者余 剰の増分	式(24b)	百万円/年	MD_0^{BJ}	3,532	1,838	1,202	6,572
			式(25b)		MD_1^{BJ}	5,172	2,746	1,780	9,698
	平常時	地代	式(26a)	円/m ²	$r(H_0^{AJ})$	14,099	14,122	11,254	
		式(27a)	$r(H_0^{BJ})$		9,836	7,129	7,542		
		消費者余 剰の増分	式(26b)	百万円/年	MD_0^{ABJ}	1,689	1,437	641	
			式(27b)		MD_0^{BAJ}	2,059	2,149	801	
	洪水時	地代	式(26a)	円/m ²	$r(H_1^{AJ})$	15,122	14,467	10,802	
		式(27a)	$r(H_1^{BJ})$		9,168	6,958	7,859		
		消費者余 剰の増分	式(26b)	百万円/年	MD_1^{ABJ}	2,303	1,525	518	
			式(27b)		MD_1^{BAJ}	3,010	2,336	621	
	合計			百万円/年		2,761	2,142	856	5,760
便益の現在価値(社会的割引率：5%)				億円		552	428	171	1,152

検討を中心に議論し、それ以外については今後の課題としたい。なお、本研究では世帯のみを対象としている。

数値シミュレーションの結果を表-1の下段部分に示す。各ゾーンの便益の現在価値は、それぞれ552億円、428億円、171億円となり、合計では1,152億円となった。本研究と同じ事業を対象に立地均衡モデルを適用して算出した便益の合計が1,076億円⁸⁾であり、その差は7%前後であるので、近似的な値が得られていることが確認できた。また、治水経済調査（改訂前の手法を使用）による同事業の期待被害軽減額の現在価値は919億円¹⁸⁾であり、本モデルによる便益はこの約1.25倍となっている。本モデルでは資産形成過程をモデル化している訳ではないため、被害（軽減）額との関係は明示的でないが、本モデルが社会的総便益を表していれば、その差の233億円は高度化便益等を表していると考えられる。

7. おわりに

本研究では、不確実性を考慮した社会経済モデルを構築し、Non-Contingent EVを便益定義とした後、Gorman型効用関数を適用することにより社会的純便益の帰着形

を示し、それに市場均衡条件を考慮して展開することによって、防災投資の便益を近似的にかつ簡便に計測できるショートカット法を提案した。

このショートカット法では、防災投資による社会的純便益が、防災投資を実施した場合としない場合のそれぞれについて、災害時と平常時の消費者余剰の差をとり災害発生確率の変化を乗じて地域毎に合計して求めた値と、災害時と平常時のそれぞれについて、防災投資を実施した場合としない場合における消費者余剰の差を求め、その期待値を地域毎に合計して求めた値の和から、防災投資額分を差し引いて計測できることを示した。

最後にある治水事業を対象に便益計測の数値シミュレーションを行った。その結果近似的な値が得られることが確認できた。しかし、本研究では立地均衡モデルに用いた効用関数を利用して各ケースの地代を推定しており、実証的に本手法の利点である便益の簡便性を証明し切れていないと思われる。この点については様々な実際の防災投資に適用し、妥当性や適用範囲について検討するとともに推定精度の精度向上を図ることを今後の課題としたい。

謝辞：本稿作成にあたっては上田孝行先生(東京工業大学)、森杉壽芳先生(東北大学)から貴重なコメントを頂いた。ここに記して感謝の意を表する。また、細部にわたるまで注意深く原稿に目を通し、多くの指摘を下された匿名の査読者の方々にも、この場を借りて謝意を表したい。無論、本稿の見解と含まれる誤りについては筆者のみが責任を負っている。

参考文献

- 1) 建設省河川局：治水経済調査マニュアル(案), 1999.
- 2) Graham D.A. : Cost-Benefit Analysis Under Uncertainty, American Economic Review, Vol.71, pp.715-725, 1981. 及び Graham D.A. : Cost-Benefit Analysis Under Uncertainty Reply, American Economic Review, Vol.74, pp.1100-1102, 1984.
- 3) 多々納裕一：不確実性下のプロジェクト評価：課題と展望, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.19-30, 1998.
- 4) 上田孝行：防災投資の便益評価－不確実性と不均衡の概念を念頭に置いて－土木計画学研究・論文集, No.14, pp.17-34, 1997.
- 5) 高木朗義・上田孝行・長谷川俊英・森杉壽芳：不確実性下の便益定義に関する考察, 土木計画学研究・講演集, No.20(2), pp.375-378, 1997.
- 6) 森杉壽芳・大野栄治・宮城俊彦：住環境整備による住み替え便益の定義と計測モデル, 土木学会論文集, 第425号/IV-14, pp.117-125, 1991.
- 7) 上田孝行：交通・立地分析モデルによる都市交通プロジェクトの影響分析, 日交研シリーズ, A-184, 1995.
- 8) 高木朗義・森杉壽芳・上田孝行・西川幸雄・佐藤尚：立地均衡モデルを用いた治水投資の便益評価手法に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp.339-348, 1996.
- 9) 例えば, 道路投資評価研究会著：道路投資の社会経済評価, 中村英夫編, 東洋経済新報社, 1997.
- 10) Kanemoto, Y. and Mera, K. : General Equilibrium Analysis of the Benefits of Large Transportation Improvement, Regional Science and Urban Economics, Vol.15, No.10, pp.343-363, 1985.
- 11) 森杉壽芳・林山泰久・小島信二：交通プロジェクトにおける時間便益評価：簡便化手法の実用化と精度の検討, 土木計画学・論文集, No.4, pp.149-156, 1986.
- 12) 森杉壽芳・大野栄治・小池淳司・武藤慎一：公園整備事業の便益評価－新しい非市場評価法の提案－, 土木学会論文集, 第518号/IV-28, pp.135-144, 1995.
- 13) 大野栄治：ランダム効用理論による交通便益の定義とその計測に関する研究, 京都大学博士論文, 1992.
- 14) Johansson, P.-O. : The Economic Theory and Measurement of Environmental Benefit, Cambridge University Press, 1987.
- 15) 土木学会編：非集計行動モデルの理論と実際, 土木学会, 1995.
- 16) 酒井泰弘：不確実性下の経済学, 有斐閣, 1982.
- 17) ハル・R・ヴァリアン：ミクロ経済分析, 勁草書房, 1986.
- 18) 高木朗義・大野栄治・森杉壽芳・沢木真次：治水事業の経済効果計測に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.11, pp.191-198, 1993.

防災投資の簡便な便益計測法に関する研究

高木 朗義

防災投資の便益を計測するためには、災害の特性である不確実性、地域性を捉える必要がある。本研究ではこのことを念頭に置き、現場で使用できる簡便な便益計測手法を提案するものである。具体的には、不確実性下において社会経済モデルを構築し、Non-Contingent EVで便益を定義してその帰着形を示すとともに、市場均衡条件から便益のキャンセル特性を考慮したショートカット形を導出した。そしてそれを近似的にかつ簡便に計測できるショートカット法を提案した。また実際の治水事業を対象に便益計測の数値シミュレーションを行い、近似的な値が得られることを確認した。

The Simple Benefit Measurement Method of Natural Disaster Prevention Projects

By Akiyoshi TAKAGI

The uncertainty and spatiality which are characteristics of disasters, to measure the benefit of natural disaster prevention projects must be caught. This paper proposed the simple benefit measurement method that is able to use in the practical cost benefit analysis. I constructed the socioeconomic model under uncertainty, defined benefit with Non-Contingent EV, showed the incidence form, and led the form based on the characteristic which benefit was cancelled in the markets. And I proposed the short cut method to be able to measure benefit simply and approximately. It was confirmed that the value of an approximation is obtained, by measuring the benefit of the flood control works.