

治水事業の便益計測手法* — 不確実性下における便益計測手法の提案 —

Measurement Method of Benefit for the Flood Control Works*

- Proposal of Benefit Measurement Method under uncertainty -

森杉壽芳**・高木朗義***・小池淳司****

By Hisa MORISUGI**, Akiyoshi TAKAGI*** and Atsushi KOIKE****

1. はじめに

治水事業は洪水頻度を減少させ、できる限り住民や企業等の経済主体が洪水災害の影響を受けず、通常の社会経済活動を営むことができるようにするための事業である。したがって、治水事業の便益を計測するためには、洪水という不確実な自然現象を捉え、その下で議論を進めなければならない。

わが国の治水事業の便益計測においては、治水経済調査要綱¹⁾に基づき、洪水氾濫による物的被害の軽減額の計測が行われている。しかし、この計測法には、便益の計測漏れや波及効果の二重計算の可能性があり、さらに洪水頻度(=不確実性)の変化が正確に取り扱われていないことなどの問題がある。

前者の問題を解決するために、高木・大野・森杉・沢木²⁾や宮田・安邊³⁾は治水事業の便益を資産価値で計測する方法を提案したが、これらは確実性下で議論が進められており、不確実性下での評価を必要とする治水事業評価に、これらの手法をそのまま適用することはできない。

後者の問題(不確実性)に関しては、既に多くの研究がなされている(例えば、参考文献4), 5), 6))。このうち、多々納⁶⁾は渇水リスクの経済的評価について、家計行動に着目して、便益をオプション価格(Option Price)で定義し、家計の生産関数および間接効用関数を特定化して計測する方法を提案してい

る。しかし、生産関数や間接効用関数を特定化することは大変な作業を伴うと思われる。本研究ではこのような問題の克服も目指している。

そこで、本研究では、治水事業の効果の波及過程を不確実性下における一般均衡のフレームで展開し、治水事業の便益をオプション価格で定義して、計測漏れや二重計算の心配がないような簡便な治水事業の便益計測手法を提案するものである。

2. 治水事業の波及効果の定式化

(1) 社会経済の仮定

- ① 社会は、世帯、私企業、地主、政府から成るものとする。
- ② 各経済主体は、洪水レベルの状態毎に独立な制約条件の下で期待効用最大化行動をとるものとする。
- ③ 土地の使用については賃貸借契約のみとする。
- ④ 社会は長期的均衡状態にあるものとする。

(2) 世帯の行動モデル

世帯は状態(j)毎の予算制約の下で、 a_j, z_j をコントロールして期待効用を最大にするものと仮定し、次のように定式化する。

$$EU = \max_{a_j, z_j} \sum \phi_j[H_j] \cdot U_j[a_j, z_j, H_j] \quad (1.a)$$

$$s. t. \quad r_j a_j + p_j z_j = w_j + y_j - g_j \quad (1.b)$$

ただし、EU: 間接期待効用関数、 $\phi_j[H_j]$: H_j の発生確率($\sum \phi_j[H_j] = 1$)、 H_j : 洪水レベル、 $U_j[\cdot]$: 効用関数、 a_j : 宅地需要量、 z_j : 合成財消費量、 p_j : 合成財価格、 r_j : 宅地地代、 w_j : 賃金、 y_j : 資産所得(私企業から世帯への利潤配分)、 g_j : 一括固定税

(1)式を解くと、各状態における a_j, z_j の各需要関数を得、この解を(1.a)式に代入すると、最大期待効用水準を示す間接期待効用関数を得る。

*キーワード: 公共事業評価法, 整備効果計測法, 河川計画

**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)

***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)

****正員 工修 岐阜大学助手 工学部土木工学科

$$EU = \sum \phi_j [H_j] \cdot V_j [p_j, r_j, \Omega_j, H_j] \quad (2)$$

ただし、 $V_j[\cdot]$: 間接効用関数、 $\Omega_j = w_j + y_j - g_j$

(3) 私企業の行動モデル

不確実性下では、企業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。この点を勘案して利潤量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こそが、不確実性下の企業の目的であるとする⁷⁾。

そして、私企業が状態毎の生産技術制約の下で、 A_j, Z_j をコントロールしてこの期待効用最大化行動をとるものと仮定し、次のように定式化する。

$$EU' = \max_{A_j, Z_j} \sum \phi_j [H_j] \cdot U'_j [\pi_j] \quad (3.a)$$

$$\text{s. t. } \pi_j = p_j Z_j - \{R_j A_j + w_j + G_j\} \quad (3.b)$$

$$Z_j = Z_j [A_j, H_j] \quad (3.c)$$

ただし、 EU' : 間接期待効用関数、 $U'_j[\cdot]$: 効用関数、 π_j : 利潤、 A_j : 業務地需要量、 Z_j : 合成財生産量、 R_j : 業務地地代、 G_j : 一括固定税、 $Z_j[\cdot]$: 生産関数

(3)式を解くと、各状態の A_j の需要関数と Z_j の供給関数を得、この解を(3.a)式に代入すると、各状態の私企業の利潤関数および間接期待効用関数を得る。

$$\pi_j = \pi_j [p_j, R_j, w_j, G_j, H_j] \quad (4.a)$$

$$EU' = \sum \phi_j [H_j] \cdot V'_j [\pi_j] \quad (4.b)$$

ただし、 $V'_j[\cdot]$: 間接効用関数

(4) 地主の行動モデル

地主は、状態毎の予算制約および土地供給制約の下で、 k_j, K_j, z'_j をコントロールして期待効用を最大にするものと仮定し、次のように定式化する。

$$EU'' = \max_{k_j, K_j, z'_j} \sum \phi_j [H_j] \cdot U''_j [k_j, K_j, z'_j, H_j] \quad (5.a)$$

$$\text{s. t. } p_j z'_j \leq r_j k_j + R_j K_j + y'_j - g'_j \quad (5.b)$$

$$k_j + K_j \leq \bar{K}_j \quad (5.c)$$

ただし、 EU'' : 間接期待効用関数、 $U''_j[\cdot]$: 効用関数、 k_j : 住宅地供給量、 K_j : 業務地供給量、 z'_j : 合成財消費量、 y'_j : 資産所得(私企業から地主への利潤配分)、 g'_j : 一括固定税、 $\bar{K}_j$: 可住地面積

(5)式を解くと、各状態の k_j, K_j の供給関数と z'_j の需要関数を得、この解を(5.a)式に代入すると、最大

期待効用水準を示す間接期待効用関数を得る。

$$EU'' = \sum \phi_j [H_j] \cdot V''_j [\bar{K}_j, p_j, r_j, R_j, \Omega'_j, H_j] \quad (6)$$

ただし、 $V''_j[\cdot]$: 間接効用関数、 $\Omega'_j = y'_j - g'_j$

(5) 政府の行動モデル

政府は、状態毎に世帯、私企業、地主からの税収を得て、治水事業に投資する。この収支バランスを次のように定式化する。

$$g_j + G_j + g'_j = I_j \quad (7)$$

ただし、 I_j : 治水事業への投資額

(6) 市場均衡条件

市場均衡条件式は状態毎に次のようになる。

$$\text{住宅地: } a_j = k_j \quad (8.a)$$

$$\text{業務地: } A_j = K_j \quad (8.b)$$

$$\text{合成財: } Z_j = z_j + z'_j \quad (8.c)$$

ここで、住宅地と業務地はゾーニングによって競合しないものと考え、住宅地市場と業務地市場は独立に存在するものとした。

(8)式中の未知数は、状態毎に p_j, r_j, R_j の3個である。これに対し恒等式は状態毎に3本であるので、均衡解が状態毎に唯一存在するといえる。

(7) 治水事業の波及効果

政府は世帯、私企業、地主からの税収をもとに治水事業を実施し、洪水レベルを H^a_j から H^b_j に変化させると考える。このとき、世帯、私企業、地主の行動は変化し、市場メカニズムを通して各状態の合成財の価格 p_j 、地代 r_j, R_j が変化する。また、私企業の利潤 π_j は世帯、地主に再配分され、 y_j, y'_j が変化する。この結果、世帯、地主の効用水準は V^a_j, V^{*a}_j から V^b_j, V^{*b}_j へと変化する。一方、洪水レベルの発生確率が ϕ^a_j から ϕ^b_j へと変化し、結局、期待効用水準が EU^a, EU^{*a} から EU^b, EU^{*b} へと変化する。

以上のように治水事業の効果は、社会経済フレームを通じ、世帯、地主の期待効用の増大として捉えることができる。ただし、世帯、地主の所有している資産に対する物的被害の軽減額については別途に計測する必要がある。

3. 治水事業の便益定義

不確実性下における便益の定義として、等価的偏差EVの概念を拡張する。すなわち、治水事業を実施する前の状態において、治水事業を実施した後の期待効用水準 EU^b を維持するという条件のもとに、治水事業を実施する前の状態にとどまるために必要であると個人（世帯、地主）が考える最小補償額を治水事業の便益とする。この考え方に基づいた便益の定義には、その補償額の支払い形式により3つあるが、ここでは、状態の如何にかかわらず、一定の補償額を支払うとするオプション価格OPがよいと考え⁸⁾、(9)式のように定義する。

$$\sum \phi_j [H^a_j] \cdot V_j [p^a_j, r^a_j, \Omega^a_j + OP, H^a_j] = EU^b \quad (9.a)$$

$$\sum \phi_j [H^a_j] \cdot V''_j [\bar{K}_j, p^a_j, r^a_j, R^a_j, \Omega'^a_j + OP', H^a_j] = EU^{b'} \quad (9.b)$$

4. 治水事業の便益計測手法

(1) 帰着形

社会全体の便益を集計するため、2で定式化した間接効用関数に次式で示すようなGorman型間接効用関数を適用する。

$$V_j [p_j, r_j, \Omega_j, H_j] = \xi_j [p_j, r_j, H_j] + \eta_j [p_j, r_j, R_j, H_j] \Omega_j \quad (10.a)$$

$$V''_j [\bar{K}_j, p_j, r_j, R_j, \Omega'_j, H_j] = \xi'_j [\bar{K}_j, p_j, r_j, R_j, H_j] + \eta_j [p_j, r_j, R_j, H_j] \Omega'_j \quad (10.b)$$

ただし、 η_j は世帯、地主とも共通であるとする。(10)式を(9)式に代入し両辺から $EU^a, EU^{a'}$ を引いて、OP, OP' について解き、合計すると社会的純便益SNBが次式のように得られる。

$$SNB = OP + OP' \quad (11.a)$$

$$= \frac{EU^b - EU^a}{\sum \phi^a_j \eta^a_j} + \frac{EU^{b'} - EU^{a'}}{\sum \phi^a_j \eta^a_j} \quad (11.b)$$

次に(11)式を以下のように変形する。

$$SNB = \frac{1}{\sum \phi^a_j \eta^a_j} \int_{a \rightarrow b} \frac{\partial EU}{\partial \phi_j} d\phi_j + \frac{\partial EU}{\partial V_j} dV_j + \frac{\partial EU''}{\partial \phi_j} d\phi_j + \frac{\partial EU''}{\partial V_j} dV_j \quad (12.a)$$

$$= \frac{1}{\sum \phi^a_j \eta^a_j} \int_{a \rightarrow b} \sum (V_j + V''_j) d\phi_j + \sum \phi_j (dV_j + dV''_j) \quad (12.b)$$

ここで、ロアの定理を適用すると、

$$SNB = \frac{1}{\sum \phi^a_j \eta^a_j} \int_{a \rightarrow b} \sum (V_j + V''_j) d\phi_j + \sum \phi_j \eta_j (-z_j dp_j - a_j dr_j + d\Omega_j + \Omega_{jH_j} dH_j - z'_j dp_j + k_j dr_j + K_j dR_j + d\Omega'_j + \Omega'_{jH_j} dH_j) \quad (13)$$

$$\text{ただし、} \Omega_{jH_j} = \frac{\partial \Omega_j}{\partial H_j}, \Omega'_{jH_j} = \frac{\partial \Omega'_j}{\partial H_j}$$

(13)式を治水事業の便益の帰着形と呼ぶことにする。なぜなら、(13)式における便益は世帯にとっての不確実性変化（洪水発生確率の減少）の便益、合成財の価格低下の便益、地価上昇の不便益、所得増大の便益、洪水レベル低下の便益および地主にとっての不確実性変化（洪水発生確率の減少）の便益、合成財の価格低下の便益、地価上昇の便益、所得増大の便益、洪水レベル低下の便益の合計値で表現されている。

したがって、このままの形で便益を計測しようとすると、あらゆる波及効果を表現できる一般均衡分析による大型シミュレーションモデルが必要である。これは、実際の作業上不可能であるので、次に示すショートカット形で計算することが望ましい。

(2) ショートカット形

ショートカット形を誘導するために、(3)式に包絡線定理を適用すると次式が得られる。

$$d\pi_j = Z_j dp_j - A_j dR_j - dw_j - dG + \pi_{jH_j} dH_j \quad (14)$$

$$\text{ただし、} \pi_{jH_j} = \frac{\partial \pi_j}{\partial H_j}$$

利潤が世帯と地主へ再配分される($\pi_j = y_j + y'_j$)ことを考慮して(14)式を(13)式に代入し、整理すると次式が得られる。

$$SNB = \frac{1}{\sum \phi^a_j \eta^a_j} \int_{a \rightarrow b} \sum (V_j + V''_j) d\phi_j + \sum \phi_j \eta_j \left(\underbrace{(Z_j dp_j - z_j dp_j - z'_j dp_j)}_{\text{①}} - \underbrace{a_j dr_j + k_j dr_j}_{\text{②}} - \underbrace{A_j dR_j + K_j dR_j}_{\text{③}} - \underbrace{dg_j - dg'_j}_{\text{④}} - dG_j + \underbrace{\Omega_{jH_j} dH_j + \Omega'_{jH_j} dH_j + \pi_{jH_j} dH_j}_{\text{⑤}} \right) \quad (15)$$

市場均衡条件(8)式より、(15)式の①, ②, ③はゼロとなる。また、(7)式より④は $-dI_j$ となるため、SNBは次式のようにになる。

$$SNB = \frac{1}{\sum \phi_j^* \eta_j^*} \left\{ \int_{a \rightarrow b} \sum (V_j + V_j^*) d\phi_j + \sum \phi_j \eta_j (\Omega_{jH_j} + \Omega'_{jH_j} + \pi_{jH_j}) dH_j - \sum \phi_j \eta_j dI_j \right\} \quad (16)$$

(16)式より、治水事業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、(16)式の第1項は洪水レベルの発生確率の変化による便益、すなわち、洪水発生頻度の減少による便益を示しており、第2項は、各状態の洪水レベルの変化による便益を、第3項は治水事業の投資額を示している。なお、 Ω_{jH_j} 、 Ω'_{jH_j} 、 π_{jH_j} はそれぞれ各状態における世帯、地主、私企業の洪水レベル H_j の限界価値である。

ここで、第2項に着目し、状態毎についてテーラー展開の2次項までの近似計算を施すと、(17)式が得られる⁹⁾。ただし、 $H_j^b - H_j^a$ を ΔH_j とする。

$$\text{第2項} = \frac{1}{2} \sum \phi_j \{ (\Omega_{jH_j}^a + \Omega'_{jH_j}^a + \pi_{jH_j}^a) + (\Omega_{jH_j}^b + \Omega'_{jH_j}^b + \pi_{jH_j}^b) \} \Delta H_j \quad (17)$$

さらに、治水事業実施前後の各限界価値は以下のように計測できる。ただし、世帯、私企業、地主とも同様な形に変形できるので、ここでは世帯についてのみ示す。

$$\Omega_{jH_j}^a \Delta H_j = \int_{r_j(H_j^b)}^{r_j(H_j^a)} a_j(p_j, r_j, \Omega_j, H_j^a) dr_j \quad (18.a)$$

$$\Omega_{jH_j}^b \Delta H_j = \int_{r_j(H_j^a)}^{r_j(H_j^b)} a_j(p_j, r_j, \Omega_j, H_j^b) dr_j \quad (18.b)$$

ただし、 $r_j(H_j^b)$ (および $r_j(H_j^a)$)は、状態毎の治水事業実施後 H_j^b (前 H_j^a)の効用水準を維持するという条件の下で、世帯が $H_j^a \rightarrow H_j^b$ の変化をあきらめる(獲得する)ために妥当と考える宅地の地代である。

(18)式は治水事業の実施による洪水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、洪水レベル H_j の限界価値、すなわち事業を実施することによって改善される住環境の質の限界価値を土地需要関数のシフトを考慮した消費者余剰の期待値で計測できることを意味している。

一方、(16)式の第1項については、土地需要関数を特定化する段階で効用関数の形を知ることができるため、土地需要関数と同時に効用関数も推定でき

るものと考えられ、計測可能となる。なお、オプション価格と消費者余剰の期待値の差は、オプション価値(Option Value)と定義されており、したがって、第1項はオプション価値である。

5. おわりに

本研究では、治水事業の便益を世帯、地主に対してオプション価格で定義し、不確実性下における一般均衡のフレームで展開した。その結果、治水事業の便益が洪水頻度の減少による便益と洪水レベルの変化による便益に帰着することがわかり、さらに後者については、土地需要関数のシフトを考慮した消費者余剰の期待値によって近似的に計測できることを示した。この手法は、不確実性下での一般均衡で考えているため、従来の便益計測手法で問題となっていた便益の二重計算や計測漏れを避けることができ、また、土地需要関数さえ推定すればよい(効用関数も同時に推定できる)ので計算が簡略であるといった利点をもっている。

今後は現実問題への適用に際し、ケーススタディを通して、本計測手法および計測値の妥当性について検討しなければならない。

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) 建設省河川局編：治水経済調査要綱，1970。
- 2) 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。
- 3) 宮田譲・安邊英明：地価関数に基づく治水事業効果の計測，第26回日本都市計画学会学術研究論文集，pp. 109～114，1991。
- 4) Graham, D.A. : Public Expenditure Under Uncertainty: The Net-Benefit Criteria, American Economic Review, Vol. 82, No. 4, pp. 822-846, 1992。
- 5) 萩原清子・萩原良巳：水質の経済的評価、環境科学会誌6(3), pp. 201～213, 1993。
- 6) 多々納裕一：利水用貯留施設整備代替案の設計・評価の方法論に関する研究，京都大学博士学位論文，1992。
- 7) 酒井泰弘：不確実性の経済学，有斐閣，1982。
- 8) 森杉壽芳・大野栄治・高木朗義：治水事業の便益評価手法—不確実性下の便益定義を中心に—，土木計画学研究・講演集，No. 15，pp. 787～792，1992。
- 9) 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。