

不確実性下における便益定義の計量比較*

Quantitative and Comparison of Benefit Definition Under Uncertainty

森杉 高芳**, 林山 泰久***, 丹野 智之****

By Hisa MORISUGI, Yasuhisa HAYASHIYAMA and Tomoyuki TANNO

1. はじめに

費用便益分析の分野では、Weisbrod (1964)¹⁾の問題提起に端を発する不確実性下の経済的評価手法に関する研究は、Graham²⁾等の議論を含めて蓄積が顕著であり、我が国においてもこの種の議論を総括的に取りまとめた文献として多々納 (1993)³⁾ (1997)⁴⁾ および上田 (1997)⁵⁾ を挙げることができる。これら多々納^{3,4)} や上田⁵⁾ の研究により、不確実性下の便益定義の理論的整理がなされ、それぞれの便益定義が有する順序保存性および符号保存性等の理論的性質が明らかにされている。さらに、これらの便益定義の数値計算例は上田⁵⁾ により示されているものの、実証的適用性に関する知見は得られていないとは判断し難い。一方、これまで土木分野において不確実性下の費用便益分析が適用されている事例としては、渇水、浸水および防災投資を挙げることができ、いくつかの適用事例が見られる。この中で一般均衡理論に依拠した理論モデルを構築し、さらに実証分析を行っている高木 (1996)⁶⁾ の研究は注目に値する。

そこで、本研究では、理論モデルは高木⁶⁾ に依拠するものとし、これまで様々な定義された不確実性下の便益を同一のケース・スタディを通して算出し、これら便益定義の計量比較を行うことを目的とする。また、本研究では、今後、我が国の防災投資の重要性を勘案し、研究レベルで蓄積されてきた不確実性下の便益評価のために構築された多地域一般均衡モデルが実務的に適用可能であるか否かの判断に資することを意図している。

2. 既存研究の問題点と本研究の考え方

この分野において理論研究と実証研究に一貫性が保たれている高木⁶⁾ の研究では、防災投資に関する便益定義としてOption Priceの概念が最も優れているとの立場から、Option Priceを空間経済システムに応用したNon-Contingent EV (NCEV) を定義している。さらに、NCEVを用いて実際の治水整備事業に適用し、便益計測を行っている。高木の理論モデルにおける世帯の立地モデルは、2段階からなるものと仮定し、第1段階では治水整備事業効果のある地域と無い地域を選択し、第2段階で事業効果のある地域内のどこに住むかを選択するという2段階Nested Logit Modelを構築している。しかし、高木モデルでは整備効果が無い地域は全て同一の地域であると仮定しているという問題が残されている。そこで、本研究では、今後、防災投資の費用便益分析が必要不可欠になることを鑑み、できる限り現実に近いゾーン分割を行い、比較的大量なデータを用いた場合における理論モデルの頑強性を検討するものとする。そのため、分析対象地域を118メッシュに分割したゾーニングを行い、多地域一般均衡モデルを構築するものとする。

3. 理論モデルの構築

本研究で用いるモデルは高木モデル⁶⁾ に依拠する。以下にそのモデルの概要を示す。

(1) モデルの特徴

- ① 治水整備事業による直接効果のみならず、広域な波及効果をも分析できるように、社会活動を多地域一般均衡理論の枠組みで捉える。
- ② 治水整備事業における床上浸水確率を用いることにより、治水整備事業による不確実性の減少を表現する。
- ③ 理論モデルでは、治水整備事業が世帯に及ぼす便

* key words: 整備効果計測法, 公共事業評価法, 費用便益分析

** 正 員 工博 東北大学教授 大学院情報科学研究科
(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06)

Tel: 022-217-7498, Fax: 022-217-7500)

*** 正 員 工博 東北大学助教授 大学院経済学研究科
(〒980-8576 仙台市青葉区川内 Tel/Fax: 022-217-6317)

**** 学生員 東北大学大学院情報科学研究科 博士前期課程

益計測に限定しているため、世帯の立地行動のみを考慮し、企業の立地行動は考慮しない。

- ④ 等価的偏差 (Equivalent Variation: EV) の概念を拡張できるよう、消費者行動を災害の生起確率を考慮した期待効用理論に基づいて捉える。

(2) 世帯の行動モデル

(a) 期待間接効用関数

まず、世帯の間接期待効用関数を (1) 式のように特定化する。

$$E^j(V_{in}^j) = \sum_i \phi_{in}^j \cdot V_{in}^j \\ = \sum_i \phi_{in}^j \cdot a \ln(\bar{H} - H_{in}^j) [c^j \ln(R^j) + e(d(AC_{in}^j) + (1-d)(AC_{2n}^j)) + f(DIST^j) + h \ln(I)] \quad (1)$$

ここで、

$E^j(V_{in}^j)$: ゾーンjの期待(間接)効用関数
 V_{in}^j : ゾーンj, 状態i,nにおける(間接)効用関数
 ϕ_{in}^j : ゾーンj, 治水整備状態nにおける環境状態iの生確率
 f_{in} : 1年間に地域内のどこにおいても床上浸水(浸水深 $\geq 0.5m$)が発生しない確率(平常時)
 $f_{in} : f_{in} = 1 - f_{in}$ (洪水時)
 H_{in}^j : ゾーンj, 状態i,nにおける年平均期待浸水深
 $\bar{H}$: 効用関数の序列を整合化する定数 ($\geq H^j$)
 R^j : ゾーンjにおける地代
 AC_{in}^j : ゾーンj, 状態i,nにおける通勤アクセシビリティ
 AC_{2n}^j : ゾーンj, 状態i,nにおける私事アクセシビリティ
 $DIST^j$: ゾーンjにおける駅までの距離
 I : 所得
 i : 環境状態(洪水時 $i=1$, 平常時 $i=0$)
 a, c, d ($0 < d < 1$), e, f, h : パラメータ
 n : 治水整備状態 ($n=0$: 整備無, $n=1$: 整備有)

(b) 立地選択行動

世帯は、地域選択として治水整備事業の整備対象地域である地域A内にあるjゾーンに立地するものと仮定する。従って立地選択行動はLogit Model で表現されることになる。この際、地域選択において達成される最大期待効用値Sは(2)式となる。

$$S = \frac{1}{\theta} \ln \{ \sum_j \exp(\theta \cdot E^j(V_{in}^j)) \} \quad (2)$$

ここで、

S: 全地域における最大期待効用値
 θ : ゾーン選択におけるLogitパラメータ

また、ゾーンjへの選択確率 P^j は(3)式の様にLogit Modelを用いて表すことが出来る。

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

$$\sum_j P^j = 1$$

(3) 不在地主

不在地主は、所有している土地供給面積を地代(均衡価格)により変化させているものとして、(4)式のように定式化する。

$$L_s^j = K^j (1 - \frac{\sigma^j}{R^j}) \quad (4)$$

ここで、

L_s^j : ゾーンjにおける一括供給量
 K^j : ゾーンjにおける供給可能面積
 σ^j : パラメータ

(4) 均衡条件

(a) 市場均衡

土地市場は、ゾーン毎に必ず1つずつ存在するものと仮定すると、各ゾーンに立地した世帯は(1)式の期待間接効用関数からRoy's Identityにより、土地需要関数 q^j を導くことができる。

$$q^j = - \left(\frac{\partial V^j}{\partial R^j} \right) / \left(\frac{\partial V^j}{\partial I} \right) = - \frac{c^j}{h} \cdot \frac{1}{R^j} \quad (5)$$

一方、不在地主は(4)式に基づいて土地供給を行い、各ゾーンの均衡地代は(6)式の市場均衡条件により決定される。ここで、 N^j はゾーンjに立地する世帯数を示す。

$$q^j \cdot N^j = L_s^j \quad (\text{for all } j) \quad (6)$$

(b) 立地均衡

本研究における立地均衡条件は(7)式となる。

$$\sum_j N^j = \bar{N} \quad (7)$$

(c) 立地と市場の同時均衡

以上のような市場均衡条件および立地均衡条件からワルラス的な多市場同時均衡に基づき各ゾーンの均衡地代と立地量が同時に決定される。

4. 不確実性下の便益定義

ここでは、上田³⁾による等価的偏差(Equivalent Variation: EV)の概念を用いて定義した不確実性下の便益定義を示す。なお、定義の詳細は上田³⁾を参照されたい。

① ゾーン・状態別EV(Zone-State Contingent EV: ZSCEV)

ゾーンj, 環境状態(洪水の大きさ)i別に異なる便益であり、(8)式のように定義される。

$$V(I^j + ZSCEV_{ij}^j, Q_{ij}^j) = V_{ij}^j \quad (8)$$

② ゾーン別EV(Zone-Contingent EV: ZCEV)

状態毎には一定であるが、ゾーン毎に異なった最小補償額を便益とした場合である。したがって、状態毎には一定であるが、一般的にゾーン毎に異なった便益

値が算出される。また、これは、多々納⁹⁾のいう等価的 Option Priceと同義である。

$$\sum_i \phi_i V (I_i^j + ZCEV_i^j, Q_i^j) = \sum_i \phi_i V_i^j \quad (9)$$

③Non-Contingent EV(NCEV)

防災投資を実施する前の状態において、防災投資を実施した後の最大期待効用値 S^b を維持するという条件の下で、防災投資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が考える環境状態 i 、ゾーン j によらない最小補償額である。

$$\frac{1}{\theta} [\sum_j \exp [\theta \{E^j(V_i^j(Q_i^j, h(I + NCEV)))\}]] = S^b \quad (10)$$

④Zone-Contingent Fair Bet EV(ZCFBEV)

②と同様に状態毎には一定の補償額を考える。さらに、投資なしの場合に家計の置かれている状況に依存して追加的所得を給付する。その際に投資有と同じ期待効用水準は補償するという条件の下で家計への給付額を最小にするものであり、(11)式で定義される。

$$\begin{aligned} ZCFBEV^j &= \min_{ZSCEV_i^j} \sum_i \phi_i ZSCEV_i^j \\ s.t. \quad & \sum_i \phi_i V (I_i^j + ZSCEV_i^j, Q_i^j) = \sum_i \phi_i V_i^j \end{aligned} \quad (11)$$

⑤Social Fair Bet EV(SFBEV)

次に、状態、ゾーンによらない補償額を考える。その際、④と同じように投資有と同じ期待効用水準を補償する条件の下で家計への給付額を最小にするものであり、(12)式の様に定式化される。

$$\begin{aligned} SFBEV &= \min_{ZSCEV_i^j} \sum_{j \in J} P^{aj} \sum_{i \in I} \phi_i ZSCEV_i^j \\ s.t. \quad & \sum_{j \in J} P^{aj} \sum_{i \in I} \phi_i V (I_i^j + ZSCEV_i^j, Q_i^j) - \frac{1}{\theta} \sum_{j \in J} P^{aj} \ln P^{aj} = S^b \end{aligned} \quad (12)$$

⑥ゾーン別期待EV(Zone-Contingent Expected EV: ZCEEV)

これはゾーン・状態別EVに環境状態 i の生起確率を重みとした加重平均であり、期待値を意味する。

$$ZCEEV^j = \sum_i \phi_i ZSCEV_i^j \quad (13)$$

⑦社会的期待EV (Social Expected EV: SEEV)

さらにゾーン別期待EVに、各ゾーンの立地確率を乗じた加重平均として、(14)式が定義される。

$$SEEV = \sum_j P^{aj} \sum_i \phi_i ZSCEV_i^j \quad (14)$$

これらの定義から考えられるオプション価値 (Option Price)として以下のようなものが考えられる。

⑧社会的オプション価値(Social Option Value: SOV)

$$SOV = NCEV - SEEV \quad (15)$$

⑨Social Fair Bet Option Value-1 (SFBOV1)

$$SFBOV1 = SEEV - SFBEV \quad (16)$$

⑩Social Fair Bet Option Value-2 (SFBOV2)

$$SFBOV2 = NCEV - SFBEV \quad (17)$$

⑪地域選択の自由によるOption Value

$$LCQOV = NCEV - EEV \quad (18)$$

5. 分析対象地域とモデルの構造推定結果

(5) 分析対象地域

本研究における分析対象地域は、平成4年に完成・供用開始された首都圏のA川流域地域に施された治水整備事業である。また、A川流域は、大河川に囲まれた低平地であり、特に、近年は流域地域の都市化・市街化が急速に進んだことも相まって、浸水することにより多大な社会的損失を被ってきた地域である。

(6) 各行動モデルのパラメータ推定結果

A放水路未完成時点(1992年)において、立地均衡および市場均衡状態が成立しているものと仮定し、集計 Logit Modelの構造推定を行った。その構造推定結果を表-1に示す。さらに、 $h=0.001, \theta=1$ を外生的に与えることにより、個別のパラメータが算出されることになる。

表-1 構造推定結果

変数名	偏回帰係数	t値
θ_{ae}	5.32×10^{-2}	2.50
θ_{af}	-1.73×10^{-4}	-5.59
θ_{ah}	0.260	4.49
定数項	-0.698	-8.46

(7) 現況再現性

上記で得られたパラメータ値を用いて、現況の立地量と地代の均衡解を求めた。その際平均絶対誤差率 (Mean Absolute Percentage Error:MAPE)は、均衡地代で3%、均衡立地量で12%と比較的現況再現性が高い結果を得ることができた。

6. 不確実性下の便益定義の計測結果

4. において定義した不確実性下での便益指標を算出するために、世帯の便益に関する各種EVを治水整備事業with and withoutの両ケースにおける均衡計算を行うことにより算出すると以下のような結果が得られた。

これらの結果をみると、高木が主張しているNon-Contingent EVは世帯当たり27,000円/年と算出され、社会的割引率4%で算出した社会的便益は2,025億円となった。また、今回分析対象とした治水整備事業の費用

は約900億円と言われており、何れの便益定義においても費用便益比率は1.0を上回っており、地代を指標とした場合においても費用便益比率は1.0を上回るという結果が得られた。なお、Option Valueの符号の符号の解釈およびその絶対値については、今後の検討課題とし、本稿発表時に解説を加えたいと考える。

表－2 便益定義の算出結果の比較

不確実性下の便益定義	世帯当たりの便益	社会的便益
Expetted EV	53,800	4,035
Non-Contingent EV	27,000	2,025
Social Expected EV	88,800	6,660
Social Fair Bet EV	26,800	2,010
Social Option Value (NCEV-SEEV)	-61,800	-4,635
地域選択によるOption Value	-26,800	-2,010
SFBOV1 (SEEV-SFBEV)	62,000	4,650
SFBOV2 (NCEV-SFBEV)	200	15
地 代	15,600	1,075

注1) 単位:世帯当たりの便益:円/世帯・年, 社会的便益:億円
 注2) 平成4年度価格, 割引率4%

7. おわりに

本研究では、高木による治水整備効果がもたらす便益計測モデルを用い、多々納および上田らにより定式化された不確実性下の便益定義を実証的に計測し、各々の指標の計量比較を行った。その結果、今回の分析では何れの便益定義を用いても、費用便益比率が1.0を上回り、また、地代指標でも安全サイドの費用便益比率が算出されたことは興味深い。さらに、本研究では情報収集が可能な範囲でのゾーン分割を行い、多地域一般均衡モデルを適用しても、種々の便益定義指標が算出可能であることが可能であることが示された。さらに、本研究では、パラメータを変化させた感度分析を行い、各便益定義の値がどの程度敏感に反応するかという頑強性に関する分析を行う予定である。

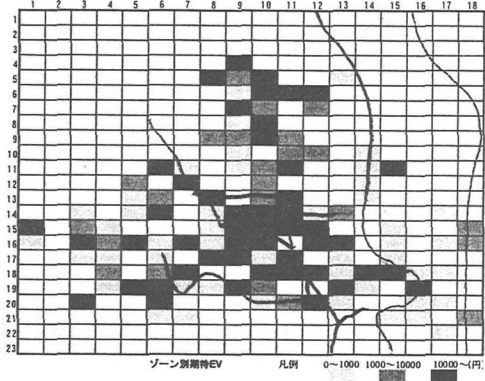
【謝辞】

本稿を草するにあたり(株)中日本建設コンサルタント高木朗義氏には貴重なご助言を頂いた。ここに記して謝意を表する。

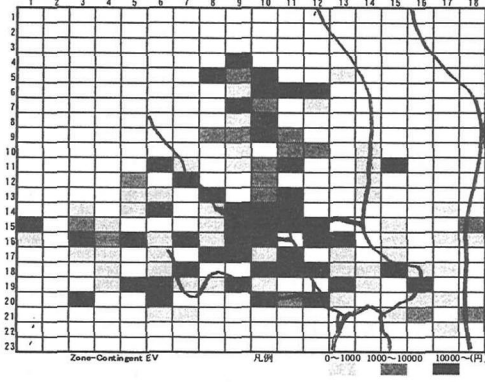
【主要参考文献】

1) Weisbrod,B.A.(1964): Collective Consumption Services of Individual Consumption Goods, Quarterly Journal of Economics, Vol.77, pp.71-77.
 2) Graham,D.A.(1981): Cost-Benefit Analysis under Uncertainty, The American Economic Review, Vol.71, No.4, pp.715-725.
 3) 多々納裕一(1993):洪水リスクの経済的評価法に関する研究-洪水対策プロジェクトに着目して,土木学会論文集,No.464/IV-19,pp.73-82.

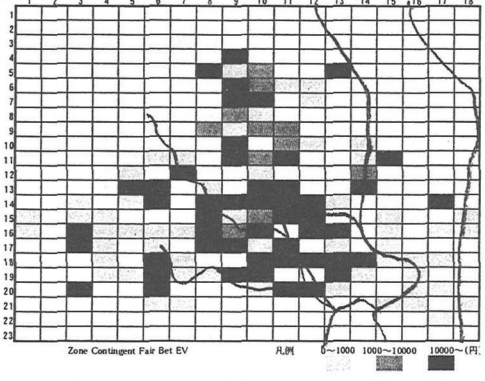
4) 多々納裕一(1997):不確実性下のプロジェクト評価-課題と展望,土木計画学研究・講演集,No.20(2),招待論文,pp.19-30.
 5) 上田孝行(1997):防災投資の便益評価-不確実性と不均衡の概念を念頭において,土木計画学研究論文集,No.14, pp.17-34.
 6) 高木朗義(1996):防災投資の便益評価手法に関する研究,岐阜大学博士論文.



図－1 ゾーン別期待EV



図－2 Zone Contingent EV



図－3 Zone Contingent Fair Bet EV