

不確実性を考慮した便益帰着構成柱状図*

The Benefit Incident Bar Chart under Uncertainty*

上田孝行*¹・高木朗義*²・森杉壽芳*³・佐藤尚*⁴

By Takayuki UEDA*¹, Akiyoshi TAKAGI*², Hisayoshi MORISUGI*³, Takashi SATO*⁴

1. はじめに

防災投資による経済評価を行うにあたって考慮しなければならないことは、第1に、災害は確率的に変化する環境質がとり得る一つの状態であるので、住環境水準の確率変動という不確実性、第2に、整備対象地域の安全性の向上による立地の促進といった立地選択行動である。このような不確実性下の便益定義として、Weisbrod¹⁾をはじめとする多くの研究者の主張を見ると、不確実性下の便益を各環境状態の便益の期待値で定義することは便益（不便益）の一部しか捉えていないことになる。そのため、いわゆるオプション価値を含んだ便益定義を行う必要がある。一方、オプション価値についてはGraham²⁾が補償的偏差CVで展開されており、それはオプション価値の大きさや符号を検討する際の図解による一つの代表的な手法となっていたが、その多くは難解であった。

そこで本研究では、立地選択行動を考慮した不確実性下の便益定義³⁾に基づいて、不確実性下の様々な便益が視覚的に表現できる便益帰着構成柱状図を提案し、治水事業を例にとった便益計測結果⁴⁾に適用する。

2. 各主体の行動モデル

(1) 世帯

立地の魅力度指標は環境質、および環境状態の生起確率に依存した達成可能な期待効用水準を表す条件付き Gorman 型(間接)効用関数で表されるものとする。

$$E^j(V_i^j) = \sum_i \phi_i^j \cdot V_i^j \quad (1.a)$$

$$= \sum_i \phi_i^j \cdot \alpha(H_i^j) (\beta(R^j) + \gamma) \quad (1.b)$$

$E^j(V_i^j)$: ゾーン j の期待(間接)効用関数

V_i^j : (間接)効用関数

ϕ_i^j : ゾーン j における環境状態 i の生起確率

H_i^j : ゾーン j 、環境状態 i における環境質

R^j : ゾーン j における地代

I : 所得

i : 環境状態

j : ゾーン

$\alpha(\cdot), \beta(\cdot)$: 関数

γ : パラメータ

地域(ゾーン)選択において達成される最大期待効用値 W は以下になる。

$$W = \frac{1}{\omega} \ln \left\{ \exp[\omega \cdot S^A] + \exp[\omega \cdot S^B] \right\} \quad (2)$$

W : 全地域における最大期待効用値

S^A : 地域 A における最大期待効用値

S^B : 地域 B における期待効用水準

ω : 地域選択における Logit パラメータ

世帯が地域選択を行う際、ゾーンに分かれている地域 A と地域 B とを比較するための地域 A における最大期待効用値、および地域 B における期待効用水準は以下になる。

$$S^A = \frac{1}{\theta} \ln \left\{ \sum_j \exp(\theta \cdot E^j(V_i^j)) \right\} \quad (3.a)$$

$$S^B = E^B(V_i^B) \quad (3.b)$$

θ : ゾーン選択における Logit パラメータ

① 地域選択

地域 A、および地域 B への立地選択確率 P^A 、 P^B は以下になる。

$$P^A = \frac{\exp[\omega \cdot S^A]}{\exp[\omega \cdot S^A] + \exp[\omega \cdot S^B]} \quad (4.a)$$

$$P^B = 1 - P^A \quad (4.b)$$

② ゾーン選択

世帯が地域 A を選択した後、地域 A 内のゾーン j に立地選択する条件付き確率 P^{Aj} は以下になる。

$$P^{Aj} = \frac{\exp(\theta \cdot E^j(V_i^j))}{\sum_j \exp(\theta \cdot E^j(V_i^j))} \quad (5.a)$$

$$\sum_j P^{Aj} = 1 \quad (5.b)$$

*キーワード：整備効果計測法、防災計画、公共事業評価法

*¹ 正員 工博 岐阜大学助教授 工学部土木工学科

(岐阜市柳戸 1-1, TEL058-293-2447, FAX058-230-1248)

*² 正員 工博 中日本建設コンサルタント(株)

(名古屋市中区錦 1-8-6, TEL052-232-6035, FAX052-221-7833)

*³ 正員 工博 アジア工科大学教授 土木工学科

*⁴ 学生員 岐阜大学大学院博士前期課程

③ゾーン立地量

以上の選択確率より、地域 A における立地量 N^A 、およびゾーン j における立地量 N^{Aj} は以下ようになる。

$$N^A = P^A \cdot N \quad (6.a)$$

$$N^{Aj} = P^{Aj} \cdot N^A \quad (6.b)$$

N : 全地域における立地量 (総立地量)

(2) 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)により変化させるものとして、大橋・青山⁵⁾のモデルを参考に以下のように定式化する。

$$L_s^j = K^j \left(1 - \frac{\sigma^j}{R^j} \right) \quad (7)$$

L_s^j : ゾーン j における集計土地供給量

K^j : ゾーン j における供給可能面積

σ^j : パラメータ

3. 便益定義

立地選択行動を考慮した不確実性下の便益を、等価的偏差 EV の概念を用いて以下のように定義する。

(1) 世帯の便益

(a) 地域・環境状態別 EV ($ZSCEV_i^j$)

地域・環境状態別の効用水準 V_i^j の投資による変化に対して、等価的偏差 EV の定義を適用する。

$$V_i^{bj} = \alpha(H_i^{aj}) \left(\beta(R^{aj}) + \gamma(I^a + ZSCEV_i^j) \right) \quad (8)$$

スーパー スクリプト a, b : without, with
(投資前), (投資後)

(b) 地域別期待 EV ($ZCEEV^j$)

地域・環境状態別 EV に without の環境状態の生起確率を乗じて足し合わせたものと定義する。

$$ZCEEV^j = E^{aj}(ZSCEV_i^j) = \sum_i \phi_i^{aj} \cdot ZSCEV_i^j \quad (9)$$

(c) 地域別 EV ($ZCEV^j$)

地域別の期待効用水準 $E^j(V_i^j)$ の変化に対して、等価的偏差 EV の概念を用いる。

$$E^{bj}(V_i^{bj}) = \sum_i \phi_i^{aj} \cdot \alpha(H_i^{aj}) \left(\beta(R^{aj}) + \gamma(I^a + ZCEV^j) \right) \quad (10)$$

(d) 危険回避によるオプション価値 ($ZCOV^j$)

地域別 EV と地域別期待 EV との差は環境状態の生起確率の変化に対する便益と捉えることが

でき、式(11)に示すように定義する。

$$ZCOV^j = ZCEV^j - ZCEEV^j \quad (11)$$

(e) 期待 EV (EEV)

地域別 EV に without の立地選択確率を乗じて足し合わせ、式(12)に示すように定義する。

$$EEV = \sum_j P^{aA} P^{aAj} ZCEV^j + P^{aB} ZCEV^B \quad (12)$$

(f) Non-Contingent EV[®] ($NCEV$)

全地域における最大期待効用値 W の投資による変化に対して、等価的偏差 EV の概念を用いる。

$$W^b = \frac{1}{\omega} \ln \left\{ \exp \left[\frac{\omega}{\theta} \ln \left\{ \sum_j \exp(\theta \times E^{aj}(\alpha(H_i^{aj}) \left(\beta(R^{aj}) + \gamma(I^a + NCEV) \right))) \right\} \right] \right. \\ \left. + \exp \left[\omega \cdot E^{aB}(\alpha(H_i^{aB}) \left(\beta(R^{aB}) + \gamma(I^a + NCEV) \right)) \right] \right\} \quad (13)$$

(g) 地域選択の自由によるオプション価値 ($LCQOV$)

Non-Contingent EV と期待 EV との差は立地選択確率の変化に対する便益と捉えることができ、立地選択の自由度の増加分 7 による便益と考えられ、式(14)に示すように定義する。

$$LCQOV = NCEV - EEV \quad (14)$$

(h) 総期待 EV ($SEEV$)

地域・環境状態別 EV に without の環境状態の生起確率、それに立地選択確率を乗じて足し合わせ、式(15)に示すように定義する。

$$SEEV = \sum_j P^{aA} P^{aAj} E^{aj}(ZSCEV_i^j) + P^{aB} E^{aB}(ZSCEV_i^B) \quad (15)$$

(i) 総オプション価値 (SOV)

Non-Contingent EV と総期待 EV との差は、地域選択の自由によるオプション価値と危険回避によるオプション価値に立地選択確率を乗じた値の和であり、式(16)に示す SOV として定義する。

$$SOV = NCEV - SEEV \\ = LCQOV + \sum_j P^{aA} P^{aAj} ZCOV^j + P^{aB} ZCOV^B \quad (16)$$

(2) 不在地主の便益

不在地主の便益は生産者余剰の概念により定義し、式(17)に示すように近似的に定義する。

$$LB \cong \sum_j \frac{1}{2} (L_i^{a,j} + L_i^{b,j}) (R^{b,j} - R^{a,j}) + \frac{1}{2} (L_i^{a,b} + L_i^{b,b}) (R^{b,b} - R^{a,b}) \quad (17)$$

4. 便益帰着構成柱状図

3. で定義した不確実性下の様々な便益の間の相互関係を視覚的に理解するために、便益帰着構成柱状図を提案する。そこで、本研究で提案する便益帰着構成柱状図は、縦軸に一世帯当たりの便益の大きさ、横軸に立地選択確率や環境状態の生起確率による重みを表している。したがって、ボックスの面積は総立地量に乗ることによって、社会的純便益を表している。ここで治水事業を例にとった経済システムは、想定氾濫区域である整備対象地域（地域 A）を 3 ゾーンに分割したものと、それ以外の地域（地域 B）である。また、環境状態は平常時（ ϕ_o^j ）と洪水時（ ϕ_f^j ）の 2 つの状態を考えている。

図 1 の影をつけた部分の面積が、地域・環境状態に対して不変の便益とする Non-Contingent EV(NCEV) である。Non-Contingent EV(NCEV) は、地域・環境状態によらないため、縦方向はどの地域・環境状態においても同じ長さが取られている。図 2 は、Non-Contingent EV(NCEV) から取り出してきた、地域毎に異なる地域別 EV(ZCEV^j) である。縦方向の長さが地域別 EV(ZCEV^j) の大きさを表しており、横方向は各地域の立地選択確率の大きさが表されている。影をつけた部分は、地域別 EV(ZCEV^j) に立地選択確率を乗じた値の和を示し、その面積は期待 EV(EEV) を表している。図 3 は、地域別 EV(ZCEV^j) から取り出してきた、地域・環境状態別 EV(ZSCEV^j) である。縦方向はそれぞれの地域・環境状態別 EV(ZSCEV^j) が表されており、横方向は立地選択確率と環境状態の生起確率を考慮した重みが表されている。影をつけた部分は、地域・環境状態別 EV(ZSCEV^j) と立地選択確率、環境状態の生起確率の積の和を示し、その面積は、総期待 EV(SEEV) を表している。図 4 は、図 2 で示した地域別 EV(ZCEV^j) と、図 3 で示した地域・環境状態別 EV(ZSCEV^j) の差が、立地選択確率で重みづけられた危険回避によるオプション価値(ZCOV^j) を表している。図 5 は、図 1 の Non-Contingent EV(NCEV) から、図 3 で示した地域・環境状態別 EV(ZSCEV^j) と立地選択確率、環境状態の生起確率の積の和である、総期待 EV(SEEV) を除いたもので

ある。その面積は総オプション価値(SOV)を示している。図 6 は、図 5 で示した総オプション価値(SOV)から、図 4 に示した危険回避によるオプション価値(ZCOV^j) を差し引いたものである。その部分の面積は、地域選択の自由によるオプション価値(LCQOV)を表している。

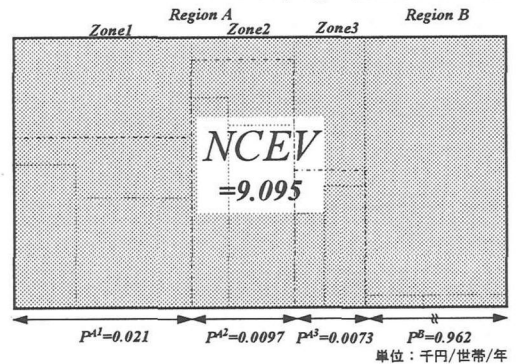


図 1. Non-Contingent EV(NCEV)

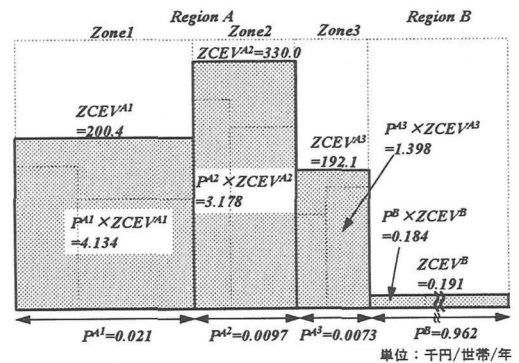


図 2. 地域別 EV(ZCEV^j)

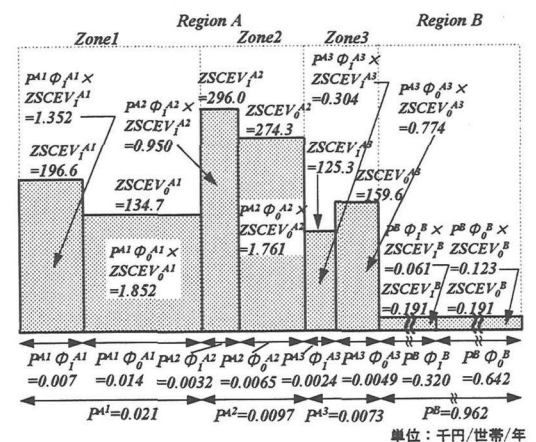


図 3. 地域・環境状態別 EV(ZSCEV^j)

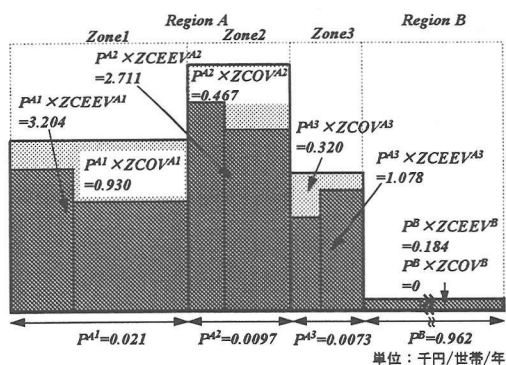


図4. 危険回避によるオプション価値($ZCOV^d$)

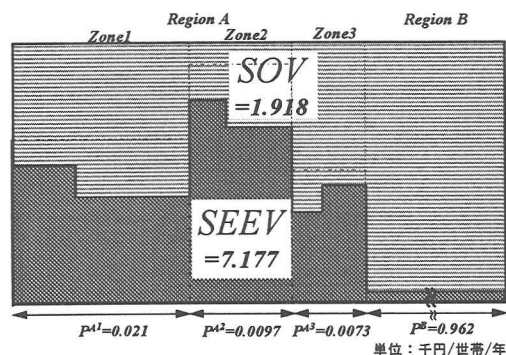


図5. 総オプション価値(SOV)

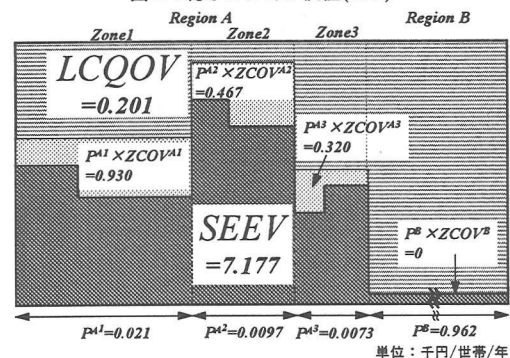


図6. 地域選択の自由によるオプション価値($LCQOV$)

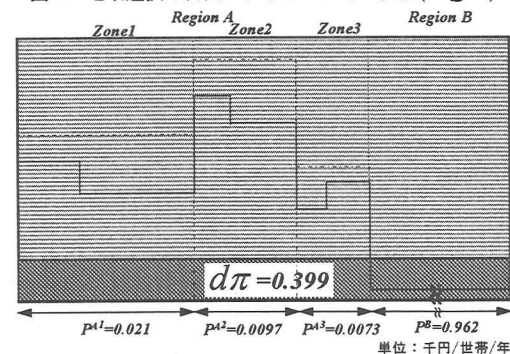


図7. 不在地主の便益($d\pi$)

図1～図6は、世帯に全ての便益が帰着した場合であり、発生ベースで捉えている。一方、図7は、不在地主の便益($d\pi$)を考慮した場合であり、帰着ベースで捉えている。ただし、図7は不在地主の便益が世帯に一樣に再配分した場合である。このように、本研究で提案する便益帰着構成柱状図は、不確実性下の様々な便益が視覚的に表現できるだけでなく、便益の発生、帰着の両方とも捉えることができる。

5. おわりに

本研究では、不確実性下の様々な便益を視覚的に表現できる便益帰着構成柱状図を、治水事業を例にとった便益計測結果に適用した。ここで示した便益帰着構成柱状図では、図示することが難解であった不確実性下の便益の特徴であるオプション価値を直感的に捉えることができ、不確実性下の様々な便益の間の相互関係を視覚的に捉えることができた。今後は、治水事業だけでなく、地震、高潮対策などの防災投資や、交通プロジェクトなどの公共投資の便益計測結果に適用していきたい。

【参考文献】

- 1)Weisbrod,B.A.:Collective-Consumption Services of Individual-Consumption Goods, Quarterly Journal of Economics, Vol.78, pp.471-477,1964.
- 2)Graham,D.A.:Cost-Benefit Analysis under Uncertainty, American Economic Review, Vol.71, No.4, PP.715-725, 1981.
- 3)高木朗義：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、1996.
- 4)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,1996(掲載決定).
- 5)大橋健一・青山吉隆：土地政策からみた地域の開発効果の軽量化に関する研究、土木計画学研究・講演集、No.11,pp.391-397,1988.
- 6)Johansson,P.O.:Cost Benefit Analysis of Environmental Change, Cambridge University Press,1993.
- 7)Miyagi,T.and Morisugi,H.:A Direct Measure of The Value of Choice-Freedom,Papers in Regional Science International(to be appeared).