

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

高木朗義・森杉壽芳・上田孝行・西川幸雄・佐藤尚
土木計画学研究・論文集 No.13 1996年8月

2020/5/26

B4 前田歩美

目次

1. はじめに
2. モデルの全体構成
3. 各主体の行動モデル
4. 均衡条件
5. 治水投資の便益定義
6. モデルの適用
7. おわりに

1. はじめに

治水投資の便益評価が満たすべき3性質

- ①不確実性の評価 ...自然災害は発生そのものが不確実
- ②地域性の評価 ...地域的な特殊性
- ③対象外地域を含む社会全体を1つの枠組みで捉える ...投資の影響は他地域へも波及

1. はじめに

既往研究

- ・ 治水経済調査(日本の治水投資の便益評価手法)
 - 不確実性下の便益 = 被害軽減額の期待値 としている
 - ← WeisbrodやBishop等多くの研究者が「過小評価である」と指摘
 - ・ 不確実性下の便益 = Option Priceとした計測方法
 - Graham, Johansson, 森杉・高木・小池
- ①を取り扱っているが、②③は考慮されていない
- ・ 立地選択行動を捉えた土地利用モデル
 - 森杉・大野・宮城、上田など多数
 - ・ ヘドニック・アプローチ
 - 商品の価格を、その商品の様々な属性の価値に関する集合体とみなし、回帰分析を利用してそれぞれの属性価格を推定する手法 (例: $P_i = \sum_m \alpha_m X_{im} + \beta$)
 - 宮田・安邊、高木・大野・森杉らが治水投資評価に適用
 - ← 適用可能な条件(small-open)の仮定が厳しく、適用範囲が限定される
- ②③を取り扱っているが、①は考慮されていない

1. はじめに

①②③を全て満たした便益評価手法を提案する

提案の流れ

i) 立地均衡モデルを構築

「多地域一般均衡理論」に基づく

複数の環境状態(平常時/災害時)を考えることで不確実性を考慮

ii) 治水投資の便益を定義

「等価的偏差EV」の概念を拡張して用いる

iii) 治水投資の便益評価手法を提案

立地均衡モデルを用いる

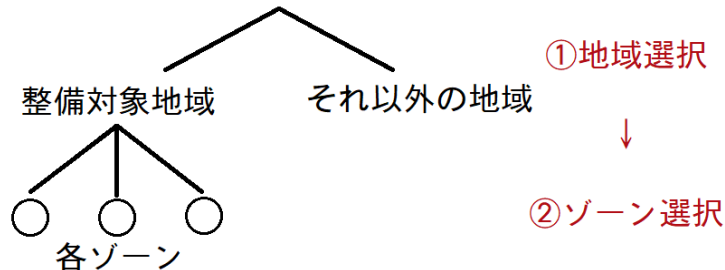
iv) 実際の治水投資に適用し、モデルの適用可能性を示す

2. モデルの全体構成

立地均衡モデルの特徴

- ・ 社会活動を多地域一般均衡理論の枠組みで捉える
地域毎に成り立つ均衡条件と、地域間で成り立つ均衡条件を同時に満たす解を求める
→各地域の均衡解がいっぺんに決まる
- ・ 消費者行動は災害の生起確率を考慮した期待効用理論に基づく
→等価的偏差EVの概念が拡張できる
- ・ 立地選択行動は2段階NL

「それ以外の地域」は、整備対象地域へ立地選択行動する可能性がある地域を想定



- ・ 立地均衡・土地取引は多地域一般均衡理論に基づく
災害が起こるかもしれない将来を見越して行われる
- ・ 経済主体は①多数の世帯、②不在地主のみ
- ・ 総立地量(世帯数)を所与とし、これを各地域・ゾーンへ配分する
- ・ 地域・ゾーン内は均一空間

3. 各主体の行動モデル

(1)世帯

(a)期待(間接)効用関数

$$E^j(V_i^j) = \sum_i \phi_i^j V_i^j = \sum_i \phi_i^j * \alpha(H_i^j) \{\beta(R^j) + \gamma I\}$$

i : 環境状態

j : ゾーン

V_i^j : ゾーン j 、環境状態 i の(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(地代以外のサービス・財の価格・質)

R^j : ゾーン j における地代

I : 所得

α, β : 関数

γ : パラメータ

3. 各主体の行動モデル

(1)世帯

(b)立地選択行動

地域選択における最大期待効用： $W = \frac{1}{\omega} \ln\{\exp(\omega * S^A) + \exp(\omega * S^B)\}$

ゾーン選択における最大期待効用： $S^A = \frac{1}{\theta} \left\{ \sum_j \exp\left(\theta * E_i^j(V_i^j)\right) \right\}$, $S^B = E_i^B(V_i^B)$

W ：全地域における最大期待効用値

S^A ：整備対象地域(A)における最大期待効用値

S^B ：それ以外の地域(B)における期待効用水準

ω, θ ：地域選択／ゾーン選択におけるロジットパラメータ

上に基づいて、選択確率は

$$\text{(地域A)} P^A = \frac{\exp(\omega * S^A)}{\exp(\omega * S^A) + \exp(\omega * S^B)}, \quad \text{(地域B)} P^B = 1 - P^A$$

$$\text{(ゾーンj)} P^{Aj} = \frac{\exp\left(\theta * E_i^j(V_i^j)\right)}{\sum_j \exp\left(\theta * E_i^j(V_i^j)\right)}, \quad \sum_j P^{Aj} = 1$$

ゾーン立地量は $N^A = P^A * N$, $N^{Aj} = P^{Aj} * N^A$ (N ：総立地量)

3. 各主体の行動モデル

(2)不在地主

不在地主は各ゾーン毎に一括して土地を所有
地代によって供給面積を変化させる

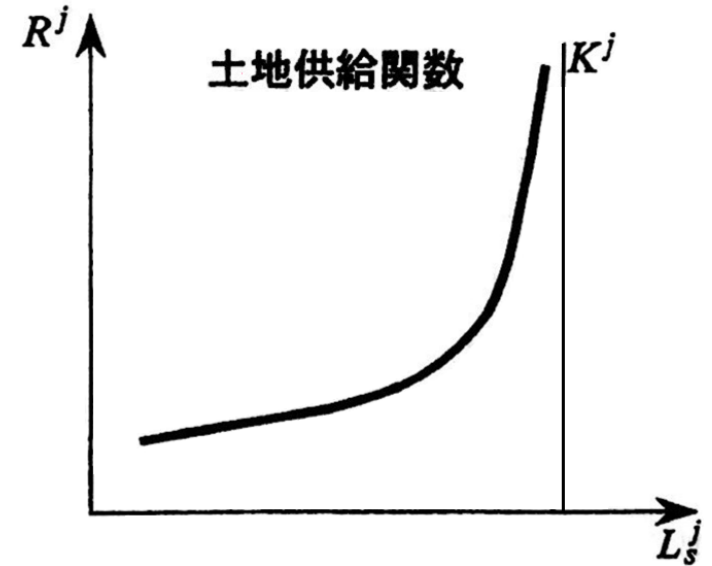
→大橋・青山のモデルを参考に下のよう定義

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

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

(1) 市場均衡

土地市場はゾーン毎に1つずつあると想定

各ゾーンに立地した世帯の土地需要量 q_d^j は、ロアの定理より

$$q_d^j = - \left(\frac{\partial V_i^j}{\partial R^j} \right) / \left(\frac{\partial V_i^j}{\partial I} \right) = - \frac{1}{\gamma} * \beta'(R^j) \quad (\because V_i^j = \alpha(H_i^j) \{ \beta(R^j) + \gamma I \})$$

よって市場均衡条件は

$$\begin{aligned} q_d^j * N^{Aj} &= L_s^j \quad (for \ all \ j) \\ q_d^B * N^B &= L_s^B \end{aligned}$$

未知変数 R^j は $j+1$ 個、均衡条件式 $j+1$ 個 \rightarrow 唯一の均衡解あり

(2) 立地均衡

総立地量 N が所与より $\sum_j N^{Aj} + N^B = N$

(3) 立地と市場の同時均衡★

(1)・(2)を満たす各地域・ゾーンの立地量、地代の均衡解が同時に決定する

5. 治水投資の便益定義

多くの研究者が「不確実性下の便益を、各環境状態の便益の期待値で捉えるのは過小評価であり、**オプション価値**を追加すべき」と主張している

Cicchetti an Freeman, Bishop :

オプション価値 = Option Price(環境状態に対して不変の便益) - 消費者余剰の期待値

森杉・大野・高木 :

オプション価値 = 洪水発生確率の変化に対する便益(洪水の不安感の減少分)

立地選択行動を考慮した不確実性下の便益定義

地域に対して不変 + 環境状態に対して不変 であることが必要

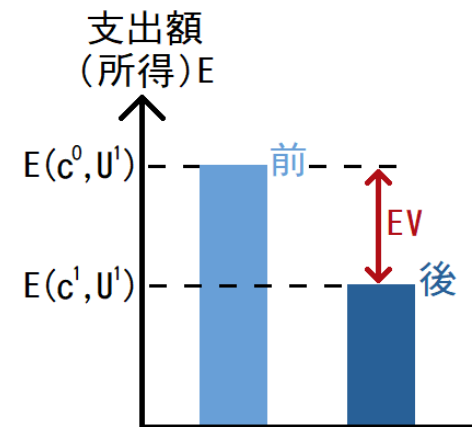
※共通の値で表せるというイミ

※「等価的偏差EV」とは

事業実施前の価格体系 c^0 において、実施後の効用水準 U^1 を実現するために必要な(最小)支出額(所得)

$$EV = E(c^0, U^1) - E(c^1, U^1)$$

= 実施により得られた所得の余剰



5. 治水投資の便益定義

既述のモデルと、等価的偏差EVの概念を拡張して、治水投資の便益の定義した
以下、投資を実施しなかった場合(without)を添字a、実施した場合(with)をbで表す

(1)世帯の便益

(a)地域・環境状態別EV「 $ZSCEV_i^j$ 」

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

支払い形式は地域、環境状態別に異なる

(b)地域別期待EV「 $ZCEEV^j$ 」

$$ZCEEV^j = E^{aj}(ZSCEV_i^j) = \sum_i \phi_i^{aj} * ZSCEV_i^j$$

(a)各環境状態の便益の期待値⇒過小評価

(c)地域別EV「 $ZCEV^j$ 」

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

環境状態に対して不変

5. 治水投資の便益定義

(1)世帯の便益

(d)危険回避によるオプション価値「 $ZCOV^j$ 」

$$(b) ZCEEV^j = \sum_i \phi_i^{aj} * ZSCEV_i^j$$

(a)と(c)比較すると、

$$\sum_i \phi_i^{aj} \alpha(H_i^{aj}) \{ \beta(R^{aj}) + \gamma(I^a + ZSCEV_i^j) \} = \sum_i \phi_i^{aj} \alpha(H_i^{aj}) \{ \beta(R^{aj}) + \gamma(I^a + ZCEV^j) \}$$

$$\Leftrightarrow \sum_i \phi_i^{aj} \alpha(H_i^{aj}) \gamma ZSCEV_i^j = \sum_i \phi_i^{bj} \alpha(H_i^{aj}) \gamma ZCEV^j$$

$$\Leftrightarrow ZCEV^j = \frac{\sum_i \phi_i^{aj} \alpha(H_i^{aj}) ZSCEV_i^j}{\sum_i \phi_i^{bj} \alpha(H_i^{aj})}$$

$$\therefore ZCEEV^j \neq ZCEV^j$$

$ZCOV^j = ZCEV^j - ZCEEV^j$ と定義

$ZCOV^j$ は、環境状態の生起確率の変化に対する便益 = 投資による危険性の軽減による便益と捉えられる

→世帯にとっては「洪水災害に対する不安感の減少分」

5. 治水投資の便益定義

(1)世帯の便益

(e)期待EV「 EEV 」

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

(c)地域別EV × 立地選択確率 の和

(f)Non-Contingent EV「 $NCEV$ 」

$$W^b = \frac{1}{\omega} \ln\{\exp(\omega * S^A) + \exp(\omega * S^B)\}$$
$$= \frac{1}{\omega} \ln \left[\exp \left\{ \frac{\omega}{\theta} \ln \left(\sum_j \exp \left(\theta * E^{aj} \left(\alpha(H_i^{aj}) (\beta(R^{aj}) + \gamma(I^a + NCEV)) \right) \right) \right) \right\} + \exp \left\{ \omega * E^{aB} \left(\alpha(H_i^{aB}) (\beta(R^{aB}) + \gamma(I^a + NCEV)) \right) \right\} \right]$$

環境状態・地域に対して不変

(g)地域選択の自由によるオプション価値「 $LCQOV$ 」

(c)と同様に $EEV \neq NCEV$

$LCQOV = NCEV - EEV$ と定義

$LCQOV$ は、立地選択確率の変化に対する便益 = 投資による整備対象地域の安全度の向上による便益と捉えられる

→世帯にとっては「立地選択の自由度の増加分」

5. 治水投資の便益定義

(1)世帯の便益

(h)総期待EV「 $SEEV$ 」

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

(a)地域・環境別EV × 環境状態の生起確率 × 立地選択確率 の和

(i)総オプション価値「 SOV 」

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

SOV は、(g)地域選択の自由によるオプション価値 + (d)危険回避によるオプション価値の期待値

→治水投資による洪水の生起確率の低下、治水安全度の向上による立地促進効果が捉えられる

2つのオプション価値を捉えてる便益定義は $NCEV$ のみ

+ 不確実性下の多地域一般均衡理論に基づいている

→ $NCEV$ が最適な便益の概念 と定義

※2つのオプション価値が常に正とは限らない

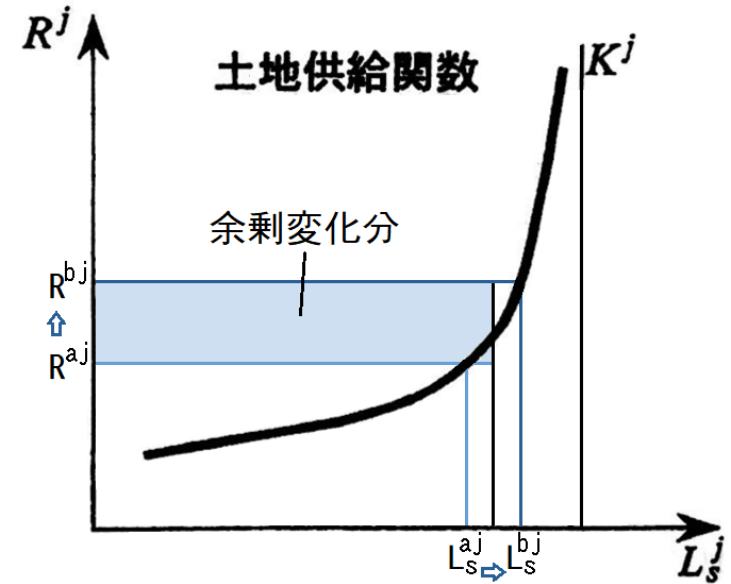
5. 治水投資の便益定義

(2)不在地主の便益「LB」

不在地主の行動モデル(土地供給関数)に基づき、
便益 = 生産者余剰の変化分 とする

下式のように近似的に定義

$$LB \cong \sum_j \frac{1}{2} (L_s^{aj} + L_s^{bj}) (R^{bj} - R^{aj}) + \frac{1}{2} (L_s^{aB} + L_s^{bB}) (R^{bB} - R^{aB})$$



(3)社会的純便益「SNB」

各世帯の便益 × 世帯数 + 不在地主の便益 と定義

$$SNB = N * NCEV + LB$$

6. モデルの適用

妥当性・適用可能性の検討のための事例研究

計測手順

- ①現況把握とデータ収集 ...地代、所得、住宅面積、洪水発生確率etc.
→世帯の効用関数(土地需要関数)・土地供給関数の特定
- ②現況再現 →立地均衡モデルの妥当性を評価
- ③ without / with の将来予測(立地量・地代) →治水投資の便益計測

対象事業と対象地域

対象事業	S川総合治水特定対策
総事業費	約320億円
氾濫区域内ゾーン数	3
氾濫区域内世帯数 N^A	18,269戸 (現況)
Closed city 内世帯数 N	482,411戸 (現況) 591,697戸 (将来)

6. モデルの適用

現況再現

		A1	A2	A3	B
推定結果	地代(円/m ²)	10,444	9,346	8,818	7,820
	立地量(戸)	10,128	4,652	3,491	464,140
実測値	地代(円/m ²)	10,445	9,334	8,827	7,820
	立地量(戸)	10,129	4,630	3,510	464,142
地代相関係数		0.999		立地量相関係数	
				1.000	

算出された均衡値と実測値は非常に近い → モデルの妥当性は高い

将来予測

洪水生起確率, 年平均期待浸水深を $\left\{ \begin{array}{l} \text{without} : \text{現況と同じで} \\ \text{with} : \text{減少させて} \end{array} \right.$ 立地均衡モデルにより予測

(総立地量N=591,697戸、それ以外の変数は現況と同じ)

		A1	A2	A3	B
without	地代(円/m ²)	11,673	9,918	9,189	8,022
	立地量(戸)	12,205	5,697	4,306	569,489
with	地代(円/m ²)	11,884	10,162	9,240	8,020
	立地量(戸)	12,562	6,145	4,418	568,571

洪水発生確率, 環境水準によって地代・立地量が変化することが捉えられている

6. モデルの適用

便益計測

世帯毎の便益(千円/年)	A1		A2		A3		B	
環境状態	洪水	平常	洪水	平常	洪水	平常	洪水	平常
地域・環境状態別期待EV	196.6	134.7	296.0	274.3	125.3	159.6	0.191	0.191
総期待EV	7.177							
Non-Contingent EV	9.095							
総オプション価値	1.918							

不在地主便益(億円/20年)	A1	A2	A3	B
不在地主の便益	39	26	4	-22
不在地主の総便益	47			
総オプション価値 (億円/20年)(全世帯)	227			
社会的純便益(億円/20年)	1,123			
費用便益比	3.51			

従来の手法では捉えられなかったオプション価値が、NCEVの21%と大きな割合を占める
費用便益比3.51と、対象事業の有効性が示されている

←他の便益計測例から判断して妥当

7. おわりに

治水投資の便益評価が満たすべき3性質

①不確実性の評価

→世帯の期待効用関数 $E^j(V_i^j)$ で、複数の環境状態(平常時/災害時)を考える

②地域性の評価

→ V_i^j は、ゾーン j における環境質 H_i^j の関数

③対象外地域を含む社会全体を1つの枠組みで捉える

→「多地域一般均衡理論」に基づき立地均衡モデルを構築

・不確実性下の便益 = 被害軽減額の期待値 とするのは「過小評価である」

→2つのオプション価値を捉えたNCEVを最適な便益定義として提案

今後の課題

・所得は所与としたが、実際には洪水による生産機能の低下が所得の低下に繋がるので、実証分析等によりその影響がどの程度か求める

・住宅、公共施設等のストック被害をどのようにモデルに組み込むのか。(解決策の一つは、保険市場を導入しストック被害を保険市場の価格変化として捉える)

・床上浸水未満/以上で二分したが、浸水深と被害の非線形関係を考慮した上で、状態の区分を決める必要あり

(6. モデルの適用①)

世帯の行動モデル： $V_i^j = a \ln(\bar{H} - H_i^j) \{c^j \ln(R^j) + dI + eGD^j + fGT^j + g\} + \xi^B$

H_i^j ：ゾーン j における環境状態 i の年平均期待浸水深

GD^j ：ゾーン j における最寄り鉄道駅までの距離500m圏内率

GT^j ：ゾーン j における中心駅への通勤時間

i ：洪水時、平常時の2つ

a, c^j, d, e, f, g ：パラメータ

\bar{H} ：定数(=10)

ξ^B ：地域Bの補正定数

※パラメータは地域A内のデータから推定したものをを用いるため

ϕ_0 ：1年間に、地域A内のどのゾーンでも床上浸水(浸水深 $\geq 0.5\text{m}$)が発生しない確率

ϕ_1 ： $1 - \phi_0$

土地需要関数は、ロアの定理より $q_d^j = -\frac{c^j}{d} * \frac{1}{R^j}$

不在地主の行動モデル： $L_s^j = K^j \left(1 - \frac{\sigma^j}{R^j}\right)$

→既往研究から θ, ω, d を設定し、現況データから $a, c^j, e, f, g, \sigma^j$ を推定