

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*

The Benefit Evaluation of The Flood Control Works with Location Equilibrium Model *

高木朗義^{*1}・森杉壽芳^{*2}・上田孝行^{*3}・西川幸雄^{*4}・佐藤尚^{*5}

By Akiyoshi TAKAGI ^{*1}, Hisa MORISUGI ^{*2}, Taka UEDA ^{*3}, Yukio NISHIKAWA ^{*4} and Takashi SATOH ^{*5}

1. はじめに

洪水を始めとする自然災害は、発生そのものが不確実であるのに加えて、各地の地域的な特殊性に基づいて災害の地域性を顕示しており¹⁾、その影響は被災地のみならず他地域へも広く及ぼしている。これは、治水投資の便益評価を行うために、第1に不確実性、第2に地域性、第3に対象地域外を含んだ社会全体を1つの枠組みで捉えるという3つの性質を満たさなければことを意味している。

わが国の治水投資の便益評価手法である治水経済調査²⁾では、第1の性質である不確実性を評価するために被害軽減額の期待値を便益としているが、従来から Weisbrod³⁾や Bishop⁴⁾を始め多くの研究者が、このような期待値は過小評価であると指摘している。また、Graham^{5) 6)}、Johansson^{7) 8)}や森杉・高木・小池⁹⁾は不確実性下の便益定義を Option Price として、その計測方法を提案している。しかし、これらのモデルのように不確実性下の便益を取り扱ってきた従来の研究では、治水投資の便益評価に必要な地域性(第2の性質)、さらには第3の性質を明示的に取り入れた形では便益を取り扱っていない。

一方、第2、第3の性質を捉えた便益評価手法は数多く存在する。例えば、森杉・大野・宮城¹⁰⁾や上田¹¹⁾は立地選択行動を捉えた土地利用モデルを構築している。しかし、これらのモデルは不確実性を明示的に取り込んだものとはなっていない。また、これ以外に第2、第3の性質を捉えた便益評価手法と

してはヘドニック・アプローチがあり、治水投資の評価に適用した例には、宮田・安邊¹²⁾や高木・大野・森杉ら¹³⁾がある。しかし、ヘドニック・アプローチが適用可能な条件としての small-open の仮定は厳しく、適用範囲が限定されることは避けられない。

本研究では、治水投資の便益評価に必要な3つの性質を満足した便益評価手法として、まず不確実性下の多地域一般均衡理論に基づく社会経済モデルの下で立地均衡モデルを構築する。そして、治水投資の便益を等価的偏差 EV の概念を拡張して定義し、その便益定義によって評価する方法、すなわち、立地均衡モデルを用いた治水投資の便益評価手法を提案する。そして、それを実際の治水投資に適用し、モデルの適用可能性などについて示す。

2. モデルの全体構成

本モデルの全体構成は図1に示す通りである。

本研究で構築するモデルの特徴を列挙する。

- I. 治水投資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ている。
- II. 等価的偏差 EV の概念を拡張できるように、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ている。

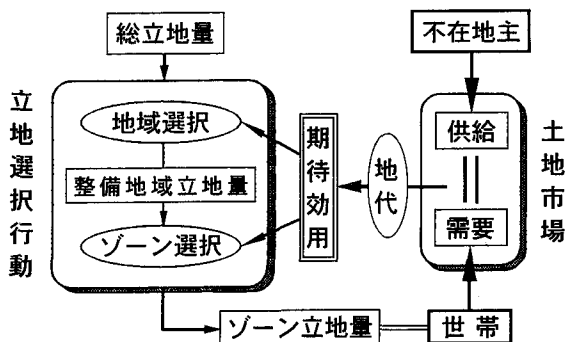


図1 本モデルの全体構成

*キーワード：河川計画，公共事業評価法

^{*1}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, TEL 052-232-6035, FAX 052-221-7833)

^{*2}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 058-293-2445, FAX 058-230-1248)

^{*3}正員 工博 岐阜大学助教授 工学部土木工学科

^{*4}工修 名古屋水道局

^{*5}学生員 岐阜大学大学院博士前期課程

Ⅲ. 整備対象地域の重点的分析に適したモデルの構築を行うため、立地選択行動を整備対象地域とそれ以外の地域の選択を行う地域選択、および整備対象地域内のゾーンの選択を行うゾーン選択という2段階の Nested Logit Model で捉えている。

Ⅳ. 立地均衡と土地取引は災害が起こるかもしれない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、各ゾーン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。その際、土地取引は賃貸借契約のみを考えている。

Ⅴ. 経済主体は、簡便性より同一の選好をもつ多数の世帯と各ゾーン毎に一括して土地を所有する不在地主のみを考えている。

Ⅵ. 本モデルは総立地量が与えられ、これを地域・ゾーンへ配分する構造になっており、closed city を想定した配分型モデルである。ここで、closed city とは整備対象地域への立地選択行動を行う可能性がある地域を想定している。

Ⅶ. 社会を構成する地域・ゾーン内は均一空間であり、確率変動する環境状態で構成されている。

3. 各主体の行動モデル

(1) 世帯

(a) 期待(間接)効用関数

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

この関数型は、環境質がすべての変数に影響する特殊型であり、治水投資は、 ϕ_{i^j} と H_{i^j} を直接変化させるものとする。

$$\begin{aligned} E^j(V_{i^j}^j) &= \sum_i \phi_{i^j}^j \cdot V_{i^j}^j \\ &= \sum_i \phi_{i^j}^j \cdot \alpha(H_{i^j}^j) (\beta(R^j) + \gamma I) \end{aligned} \quad \begin{matrix} (1.a) \\ (1.b) \end{matrix}$$

$E^j(V_{i^j}^j)$: ゾーン j の期待(間接)効用関数
 $V_{i^j}^j$: ゾーン j , 環境状態 i の(間接)効用関数
 $\phi_{i^j}^j$: ゾーン j における環境状態 i の生起確率
 $H_{i^j}^j$: ゾーン j , 環境状態 i における環境質(地代以外の財・サービスの価格・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

(b) 立地選択行動

世帯は図2に示すように、まず地域選択として治水投資の整備対象地域である地域 A か、それ以外の地域 B を選択し、次にゾーン選択として地域 A 内のあるゾーンを選択し立地するものとする。この時、世帯は不確実性を考慮し、各地域(ゾーン)の期待効用水準を所与として、より高い期待効用水準を達成できる地域(ゾーン)へより多く立地しようとする。このような立地選択行動を2段階の Nested Logit Model で表現し、地域 A 内の立地量予測モデルを構築する。このモデルと同じように期待効用水準を指標とした Logit Model の例には小林¹⁴⁾のモデルがある。小林はドライバーの経路選択行動に対し、期待効用水準が最大になる経路を選択するものとして Logit Model を構築している。

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¹⁵⁾。

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

W : 全地域における最大期待効用値(満足度関数)
 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。

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

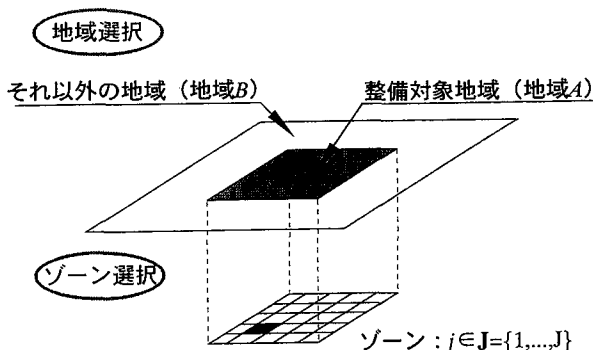


図2 2段階立地選択行動

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

θ : ゾーン選択における Logit パラメータ
 V_i^B : 地域 B, 環境状態 i の (間接) 効用関数
 (式 (1.b) と同じ形で表されるとする.)

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.

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

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

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, 各ゾーン毎に一括して土地を所有し, 地代 (均衡価格) によって供給面積を変化させるものとして大橋・青山¹⁶⁾ のモデルを参考に土地供給関数を以下のように構築する. このモデルを用いるこ

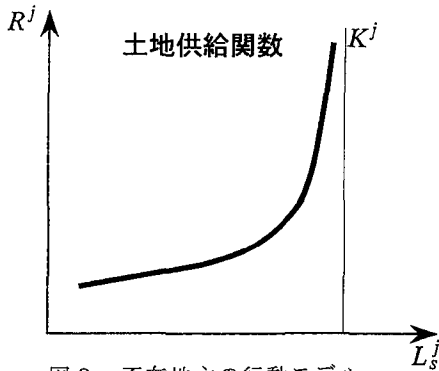


図3 不在地主の行動モデル

とで, 地代の上昇が供給量を増加させ, 下落が供給量を減少させる不在地主の行動を捉えられる.

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

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

本研究では, 土地市場はゾーン毎に 1 つずつあると想定する.

各ゾーンに立地した世帯は式 (1) で構築した (間接) 効用関数からロアの定理¹⁷⁾ により得られる土地需要関数に基づき土地需要を行う.

$$q_d^j = - \left(\frac{\partial V_i^j}{\partial R^j} \right) / \left(\frac{\partial V_i^j}{\partial I} \right) \quad (8.a)$$

$$= - \frac{1}{\gamma} \cdot \beta'(R^j) \quad (8.b)$$

q_d^j : 土地需要量

一方, 不在地主は式 (7) で示したように土地供給を行う. 今, 各立地量が固定された状態を考えると, 市場で集計された需要と供給が均衡し, 各ゾーンの市場均衡価格 (地代) が決定される. 価格が決定される市場均衡条件は以下になる.

$$q_d^j \cdot N^{Aj} = L_s^j \quad (\text{for all } j) \quad (9.a)$$

$$q_d^B \cdot N^B = L_s^B \quad (9.b)$$

ここで, 本研究で構築した社会経済モデルにおける未知変数は R^j で, その数はゾーン数 +1 個である. これに対して, 市場均衡条件式は, ゾーン数 $j+1$ 個となり, 唯一の均衡解を持つ.

(2)立地均衡

市場均衡によって決定された地代により世帯は期待効用最大化行動をとるが, その選択行動は式 (4), (5) により表現される. その結果, 各地域, ゾーンへの立地量が決定される. ここで, 立地均衡条件は以下になる.

$$\sum_j N^{Aj} + N^B = N \quad (10)$$

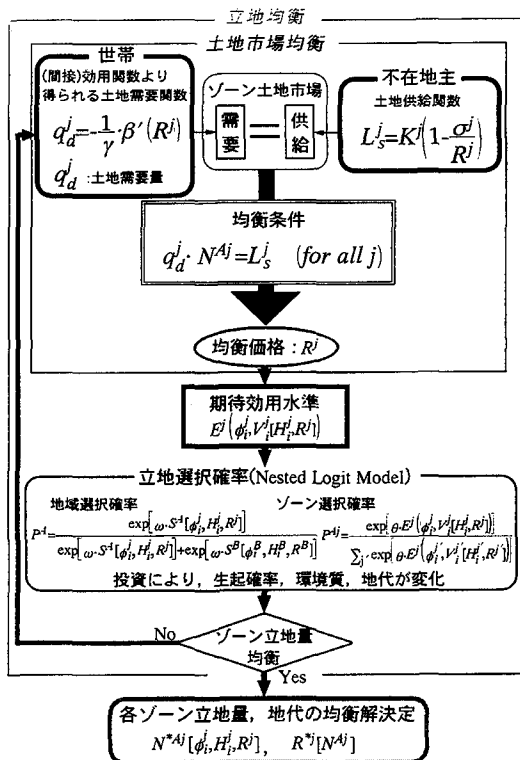


図4 立地量と地代の同時均衡解決定方法

(3) 立地と市場の同時均衡

式(9)の市場均衡条件, 式(10)の立地均衡条件よりワルラス的な多市場同時均衡に基づき, 各地域, ゾーンの立地量と地代の均衡解が同時に決定される。

5. 治水投資の便益定義

Weisbrod³⁾を始めとする多くの研究者は, 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ことは過小評価であり, オプション価値を追加すべきであると主張している。また, Cicchetti and Freeman¹⁸⁾や Bishop⁴⁾は環境状態に対して不変の便益である Option Price と消費者余剰の期待値の差がオプション価値であると定義し, 森杉・大野・高木¹⁹⁾は治水投資のオプション価値を洪水発生確率の変化に対する便益, すなわち, 洪水に対する不安感の減少分であると考えている。

立地選択行動を考慮した不確実性下の便益定義としては, 環境状態に対して不変であるとするだけでなく, 地域に対して不変であることが必要となる。

そこで, 上記したモデルを用い, 等価的偏差 EV

の概念を拡張して治水投資の便益を以下のように定義する。

(1) 世帯の便益

以下では, 地域 A 内の任意のゾーン j に着目して述べていく。

(a) 地域・環境状態別 EV

地域, および環境状態毎に異なる便益を捉える。治水投資を実施しなかった場合 (以下 without と称す) の状態において, 投資を実施した場合 (以下 with と称す) の状態での地域, 環境状態毎における効用水準 V_i^{bj} を維持する条件の下に, without 状態にとどまるために必要と考える最小補償額を便益とする。支払い形式は, 地域, 環境状態毎に異なる。これを地域・環境状態別 EV と呼び, 式(11)に示す $ZSCEV_i^j$ として定義する。

$$V_i^{bj} = \alpha(H_i^{aj}) \left(\beta(R^{aj}) + \gamma(I^a + ZSCEV_i^j) \right) \quad (11)$$

スーパースクリプト a, b : without, with

(b) 地域別期待 EV

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ることで, 地域別期待 EV を式(12)に示す EEV^j として定義する。

$$ZCEEV^j = E^{aj}(ZSCEV_i^j) = \sum_i \phi_i^{aj} \cdot ZSCEV_i^j \quad (12)$$

(c) 地域別 EV

地域毎に異なる便益を捉える。without の状態において, with の地域毎における期待効用水準 $E^{bj}(V_i^{bj})$ を維持する条件の下に, without の状態にとどまるために必要と考える最小補償額を便益とする。支払い形式は, 地域毎に異なる。これを地域別 EV と呼び, 式(13)に示す $ZCEV^j$ として定義する。

$$E^{bj}(V_i^{bj}) = \sum_i \phi_i^{aj} \cdot \alpha(H_i^{aj}) \left(\beta(R^{aj}) + \gamma(I^a + ZCEV^j) \right) \quad (13)$$

(d) 危険回避によるオプション価値

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られ, 投資による危険性の軽減による便益, すなわち洪水災害に対する不安感の減少分と考えられることから危険回避によるオプション価値 $ZCOV^j$ として定義する。

$$ZCOV^j = ZCEV^j - ZCEEV^j \quad (14)$$

(e) 期待 EV

地域別 EV に without の立地選択確率を乗じて足

し合わせるにより，期待EVを式(15)に示すEEVとして定義する．

$$EEV = \sum_j P^{aA} P^{aAj} ZCEV^j + P^{aB} ZCEV^B \quad (15)$$

(f) Non-Contingent EV⁸⁾

地域，環境状態に対して不変の便益を捉える．withoutの状態において，withの最大期待効用値W^bを維持する条件の下に，withoutの状態にとどまるために必要と考える最小補償額を便益とする．支払い形式は，地域，環境状態にかかわらず不変である．これをNon-Contingent EVと呼び，式(16)に示すNCEVとして定義する．

$$W^b = \frac{1}{\omega} \ln \left\{ \exp \left[\frac{\omega}{\theta} \ln \left(\sum_j \exp(\theta \times E^{aj}(\alpha(H_i^{aj}) (\beta(R^{aj}) + \gamma(I^a + NCEV))) \right) \right] \right. \\ \left. + \exp \left[\omega \cdot E^{aB}(\alpha(H_i^{aB}) (\beta(R^{aB}) + \gamma(I^a + NCEV))) \right] \right] \right\} \quad (16)$$

(g) 地域選択の自由によるオプション価値

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，投資による整備対象地域の安全度の向上による便益，すなわち立地選択の自由度の増加分²⁰⁾と考えられることから地域選択の自由によるオプション価値LCQOVとして定義する．

$$LCQOV = NCEV - EEV \quad (17)$$

(h) 総期待EV

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るにより，総期待EVを式(18)に示すSEEVとして定義する．

$$SEEV = \sum_j P^{aA} P^{aAj} E^{aj}(ZSCEV_i^j) + P^{aB} E^{aB}(ZSCEV_i^B) \quad (18)$$

(i) 総オプション価値

地域，環境状態にかかわらず一定の便益として捉えるNon-Contingent EVと地域，環境状態毎に異なる便益の期待値として定義された総期待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る．よってこのオプション価値を総オプション価値，SOVとして定義する．

$$SOV = NCEV - SEEV \\ = LCQOV + \sum_j P^{aA} P^{aAj} ZCOV^j + P^{aB} ZCOV^B \quad (19)$$

以上のように述べてきた立地選択行動を考慮した不確実性下の便益定義を表1に整理する．

この表では現行の治水経済調査要綱で捉えることができない洪水の生起確率の低下，および治水安全度の向上による立地促進の効果が捉えられている．このうち，前者は生起確率の変化に対する便益である危険回避によるオプション価値であり，後者は立地選択確率の変化に対する便益である地域選択の自由によるオプション価値として捉えられている．

以上の2つのオプション価値を捉えている便益定義はNon-Contingent EVのみである．また，不確実性下の多地域一般均衡理論に基づいていることから，波及効果まで捉えているNon-Contingent EVが不確実性下において最適な便益の概念であると考えられる．なお，2つのオプション価値は常に正となる訳ではない．よって，Non-Contingent EVが期待EVより，あるいは地域別EVが地域別期待EVより常に大きくなるとは限らない．しかし，Non-Contingent EVが2つのオプション価値を捉えた唯一の指標であることは変わらないため，本研究では治水投資評価に対してNon-Contingent EVを最適な便益定義とする．

(2) 不在地主の便益

不在地主の行動モデルが土地供給関数により構築されていることから，不在地主の便益は生産者余剰

表1 不確実性下の便益定義

地 域	A			B
ゾーン	1..	j	..J	—
環境状態	0..	i	..I	i ∈ I = {0, ..., I}
地域・環境状態別EV		ZSCEV _i ^j		ZSCEV _i ^B
地域別期待EV		ZCEEV ^j = E ^{aj} (ZSCEV _i ^j)		ZCEEV ^B = E ^{aB} (ZSCEV _i ^B)
危険回避によるオプション価値		ZCOV ^j = ZCEV ^j - ZCEEV ^j		ZCOV ^B = ZCEV ^B - ZCEEV ^B
地域別EV		ZCEV ^j		ZCEV ^B
期待EV		EEV = ∑ _j P ^{aA} P ^{aAj} ZCEV ^j + P ^{aB} ZCEV ^B		
地域選択の自由によるオプション価値		LCQOV = NCEV - EEV		
総期待EV		SEEV = ∑ _j P ^{aA} P ^{aAj} E ^{aj} (ZSCEV _i ^j) + P ^{aB} E ^{aB} (ZSCEV _i ^B)		
総オプション価値		SOV = NCEV - SEEV = LCQOV + ∑ _j P ^{aA} P ^{aAj} ZCOV ^j + P ^{aB} ZCOV ^B		
Non-Contingent EV		NCEV		

の概念により定義する。ここでは、便益を生産者余剰の変化分として式(20)に示すように近似的に定義する。

$$LB \cong \sum_j \frac{1}{2} (L_s^{aj} + L_s^{bj})(R^{bj} - R^{aj}) + \frac{1}{2} (L_s^{aB} + L_s^{bB})(R^{bB} - R^{aB}) \quad (20)$$

(3) 社会的純便益

治水投資の社会的純便益 SNB は、世帯の便益である Non-Contingent EV に総立地量に乗じた値と不在地主の便益との和で定義される。

$$SNB = N \cdot NCEV + LB \quad (21)$$

6. モデルの適用

以上述べてきた立地均衡モデルを用いた治水投資の便益評価手法の妥当性、適用可能性を検討するため事例研究を行う。

(1) 計測手順

事例研究における計測手順を図5に示す。

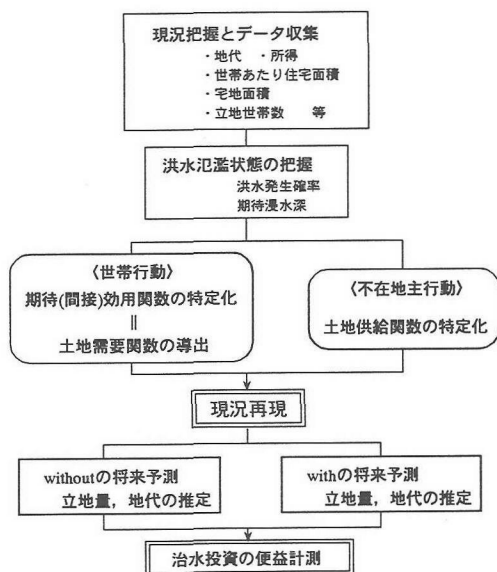


図5 計測手順

(2) 対象事業と対象地域

本研究ではS川総合治水特定対策を対象事業として取り上げる。対象地域は、想定氾濫区域を整備対象地域(地域A)とし、この地域を中心にした11市28町をclosed cityとする。

対象事業、地域の諸条件を表2に、対象河川、お

表2 事業と地域の諸条件

総事業費	約320億円
事業完了年	2000年
想定氾濫区域面積	約15km ²
氾濫区域内ゾーン数	3ゾーン
closed city面積	約1,900 km ²
氾濫区域内世帯数	18,269戸(現況:1992年)
closed city内世帯数	482,411戸(現況:1992年) 591,697戸(将来:2015年)

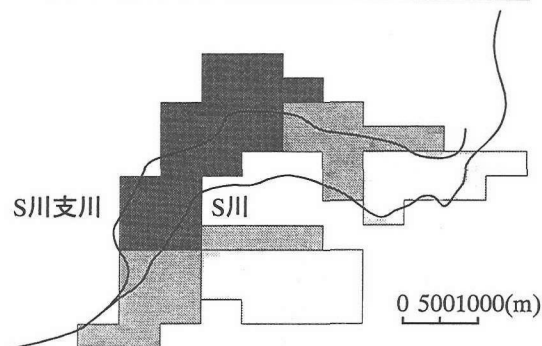


図6 対象河川と整備対象地域

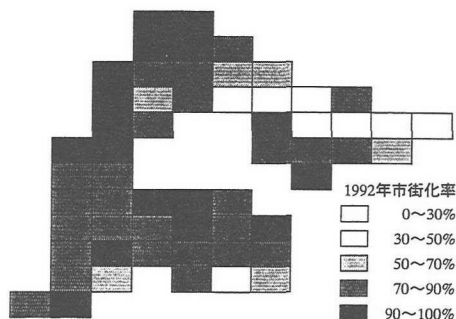


図7 1992年の市街化率

よび整備対象地域を図6に示す。また、現況(1992年)における整備対象地域の市街化率を500mメッシュで表したものを図7に示す。

(3) 世帯の行動モデルの特定化

(間接)効用関数を以下のように特定化する。

$$V_i^j = a \ln(\bar{H} - H_i^j) \left(c^j \ln(R^j) + dI + eGD^j + fGT^j + g \right) + \xi^B \quad (22)$$

- H_i^j : ゾーンj, 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 : 環境状態(洪水時, 平常時)
- a, c^j, d, e, f, g : パラメータ
- $\bar{H}$: 効用関数の序列を整合化する定数 (=10)
- ξ^B : 地域Bの補正定数

ここで、地域Bの効用関数のパラメータは地域A

内のデータにより推定したものを用いるため、現況の立地選択確率に適合するよう補正定数として ξ^B を加える。

環境状態は平常時と洪水時の2つの状態を考えるが、その生起確率については次のように考える。

ϕ_0 : 1年間に想定氾濫区域内のどのゾーンにおいても床上浸水(浸水深 $\geq 0.5\text{m}$)が発生しない確率
 ϕ_1 : 床上浸水する確率($\phi_1 = 1 - \phi_0$)

式(22)の(間接)効用関数よりロアの定理⁹⁾を用いることで以下の世帯の土地需要関数が得られる。

$$q_d^j = -\frac{c^j}{d} \cdot \frac{1}{R^j} \quad (23)$$

現況(1992年)において、立地均衡、市場均衡状態を仮定し、世帯行動モデル式(1),(5),(22),(23)のパラメータを推定した。具体的には、まず式(5)に式(1),(22)を代入し、各ゾーンにおける1kmメッシュ毎のデータを用いて、各メッシュ間の世帯数の比率をとることにより式(5)を線形変換した後、重回帰分析により表3に示す4つのパラメータを推定した。一方、式(23)については q_d^j 、 R^j に各ゾーンの現況実績値を代入し、表4に示すゾーン毎のパラメータを推定した。

表3 世帯行動モデルのパラメータ推定結果

変数	パラメータ推定値	t値
θ_{ad}	1.578×10^{-7}	12.587
θ_{ae}	6.823×10^{-1}	13.773
θ_{af}	-2.356×10^{-2}	-4.673
θ_{ag}	1.619×10	4.501
相関係数	0.922	
H	10	

表4 土地需要関数のパラメータ値

c^1/d	-8.793×10^5
c^2/d	-8.972×10^5
c^3/d	-8.311×10^5
c^B/d	-8.692×10^5

(4) 不在地主の行動モデルの特定化

不在地主の行動モデルである土地供給関数(式(7))の L_s^j 、 K^j 、 R^j に各ゾーンの現況実績値を代入し、表5に示すゾーン毎のパラメータを推定した。

表5 土地供給関数のパラメータ値

σ^1	4.454×10^3
σ^2	6.803×10^3
σ^3	7.231×10^3
σ^B	6.929×10^3

(5) 現況再現

推定したパラメータ値から立地均衡モデルにおける立地選択の自由度 θ 、 ω と所得に関する係数 d を既往の研究¹¹⁾などを参考に設定し、各パラメータ値を特定化した。結果を表6に示す。

以上のように求められたパラメータ値を用い、現況の立地量と地代の均衡値を図4に示した方法により求めた。結果を表7に示す。

この結果、立地均衡モデルにより算出される立地量と地代の均衡値は実測値と非常によく合っている。すなわち、本研究で構築した立地均衡モデルの現況再現性は高く、妥当性を有すると考えられる。

表6 パラメータの特定化

a (年平均期待浸水深)	1.578×10^{-4}
c^1 (ゾーン1の地代)	-87.926
c^2 (ゾーン2の地代)	-89.717
c^3 (ゾーン3の地代)	-83.113
c^B (地域Bの地代)	-86.919
d (所得)	1.000×10^{-4}
e (最寄り駅まで距離500m圏内率)	432.4
f (G駅への通勤時間)	-14.93
g (定数項)	10260
ξ^B (地域Bの補正係数)	0.926
θ (ゾーン選択)	10
ω (地域選択)	5

表7 立地均衡モデルによる現況再現

		A			B
		1	2	3	-
条件	供給可能面積(m^2)	1,486,695	1,641,327	1,828,167	452,689,383
	最寄り駅距離500m圏内率	0.88	0.55	0.31	0.20
	中心駅への通勤時間(分)	6.9	10.4	14.1	30.0
	生起確率				
	平常時	0.667	0.667	0.667	0.667
	洪水時	0.333	0.333	0.333	0.333
条件	年平均期待浸水深(m)				
	平常時	0.041	0.071	0.045	0.052
	洪水時	0.128	0.156	0.111	0.132
推定結果	供給面積(m^2)	852,619	446,555	329,064	51,589,154
	地代(円/ m^2)	10,444	9,346	8,818	7,820
	各世帯需要量(m^2)	84,185	95,993	94,250	111,150
	効用水準				
	平常時	3,797	3,719	3,689	4,502
	洪水時	3,783	3,705	3,679	4,490
	期待効用水準	3,792	3,714	3,686	4,498
	地域Aの最大期待効用値	3.851			-
	全地域の最大期待効用値	4.5057			-
	ゾーン選択確率	0.554	0.255	0.191	-
実測値	地域選択確率	0.038			0.962
	立地量(戸)	10,128	4,652	3,491	464,140
	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 $\approx$ 1.0		立地量相関係数	1.000

(6) 将来予測

治水投資を実施した場合 (with) と実施しなかった場合 (without) の将来 (2015 年) における立地量と地代を立地均衡モデルを用いて予測した。

with に比べて without の整備対象地域 (地域 A) では、918 戸立地量が多くなっている。これは、地域 A の立地量に対しては約 4% であるが、地域 B に対しては 0.2% 程度であり、地代もほとんど変化しておらず、治水投資による立地量の変化は、地域 A により大きく影響を及ぼしていることがわかる。また、最も立地量の変化が大きいのはゾーン 2 であり、治水投資による変化はゾーン立地量に対して約 8% となっている。これは、地域 B からの移住者が環境水準に比べて地代が割安なゾーンとしてゾーン 2 をより多く選択した結果である。

以上、立地均衡モデルにより、地域、ゾーン別における立地量、地代が環境水準、洪水の発生確率の違いによって変化することが捉えられている。

(7) 便益計測

立地均衡モデルによる将来予測の結果から表 1 で定義した各便益を with and without 分析により求める。

治水投資による一世帯当たりの便益を表 10 に、社会的純便益、費用便益分析の結果を表 11 に示す。

計測結果を見てみると、立地量の変化の大きいゾーン 2 の便益が最も大きいことがわかる。これは、他のゾーンに比べて立地量が増え地代が上昇した分を差し引いても効用水準が最も大きく変化しているためである。

また、洪水の発生頻度の減少を捉えている危険回避のオプション価値は、地域 A においては当該地域の地域別期待 EV の約 20 ~ 30% という大きな値となり、合計すると約 200 億にのぼる。さらに、地域選択の自由によるオプション価値も総期待 EV の 3% 程度で 24 億円にのぼる。これらは、従来の便益計測法では未計測であった便益であり、これらの便益計測の重要性が示されていると考える。

Non-Contingent EV は一世帯当たり約 9,000 円であり、世帯における火災保険などと比べても、支払い可能な額であると考えられる。費用便益比は 3.51 となり、対象事業の有効性が示されている。

表 8 立地均衡モデルによる投資 without の将来予測

		A			B	
		1	2	3	-	
条 件	供給可能面積(㎡)		1,486,695	1,641,327	1,828,167	452,689,383
	最寄り鉄道駅500m圏内率		0.88	0.55	0.31	0.20
	中心駅への通勤時間(分)		6.9	10.4	14.1	30.0
	生起 確率	平常時	0.667	0.667	0.667	0.667
		洪水時	0.333	0.333	0.333	0.333
	年平均期待浸 水深(m)	平常時	0.041	0.071	0.045	0.052
洪水時		0.128	0.156	0.111	0.132	
推 定 結 果	供給面積(㎡)		919,358	515,403	389,457	61,702,631
	地代(円/㎡)		11,673	9,918	9,189	8,022
	各世帯需要量(㎡)		75,325	90,462	90,453	108,347
	効用 水準	平常時	3,793	3,717	3,688	4,502
		洪水時	3,779	3,703	3,677	4,489
	期待効用水準		3,789	3,712	3,684	4,497
	地域Aの最大期待効用値		3,848			-
	全地域の最大期待効用値		4,5050			-
	ゾーン選択確率		0.550	0.257	0.194	-
地域選択確率		0.038			0.962	
立地量(戸)		12,205	5,697	4,306	569,489	

表 9 立地均衡モデルによる投資 with の将来予測

		A			B	
		1	2	3	-	
条 件	供給可能面積(m ²)		1,486,695	1,641,327	1,828,167	452,689,383
	最寄り鉄道駅500m圏内率		0.88	0.55	0.31	0.20
	中心駅への通勤時間(分)		6.9	10.4	14.1	30.0
	生起 確率	平常時	0.800	0.800	0.800	0.667
		洪水時	0.200	0.200	0.200	0.333
	年平均期待浸 水深(m)	平常時	0.008	0.005	0.008	0.052
		洪水時	0.082	0.086	0.082	0.132
推 定 結 果	供給面積(m ²)		929,441	542,511	397,428	61,616,778
	地代(円/m ²)		11,884	10,162	9,240	8,020
	各世帯需要量(m ²)		73,986	88,284	89,952	108,371
	効用 水準	平常時	3,798	3,727	3,694	4,502
		洪水時	3,786	3,714	3,682	4,489
	期待効用水準		3,796	3,724	3,691	4,497
	地域Aの最大期待効用値		3,857			-
	全地域の最大期待効用値		4,5053			-
	ゾーン選択確率		0.543	0.266	0.191	-
	地域選択確率		0.039			0.961
立地量(戸)		12,562	6,145	4,418	568,571	

表 10 治水投資の世帯便益計測結果

地 域	A						B	
ゾーン	1		2		3		-	
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EV	196.6	134.7	296.0	274.3	125.3	159.6	0.191	0.191
地域別期待EV	155.3		281.5		148.1		0.191	
危険回避による オプション価値	45.10		48.54		43.92		0	
地域別EV	200.4		330.0		192.1		0.191	
期待EV	8.894							
地域選択の自由 による オプション価値	0.201							
総期待EV	7.177							
総オプション 価値	1.918							
Non-Contingent EV	9.095							

単位は千円/世帯/年

表 11 治水投資の社会的純便益

地 域	A						B	
ゾーン	1		2		3		-	
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EV	480	329	337	313	108	137	22	683
地域別期待EV	379		321		127		22	
危険回避による オプション価値	110		55		38		0	
地域別EV	489		376		165		22	
期待EV	1,052							
地域選択の自由 による オプション価値	24							
総期待EV	849							
総オプション 価値	227							
Non-Contingent EV	1,076							
不在地主の便益	39		26		4		-22	
不在地主の総便益	47							
社会的純便益	1,123							
費用便益比	3.51							

利子率5% 単位は億円

7. おわりに

治水投資の便益評価を行うためには、第1に洪水の発生そのものが不確実であること（不確実性）、第2に各地の地域的な特殊性に基づいて災害の地域性が顕示されていること（地域性）、第3に被害の影響が被災地のみならず他地域へも広く及ぼしていること（他地域への影響）を捉える必要がある。本研究では、これらの治水投資による経済効果を適切に捉えるために、不確実性下の多地域一般均衡理論に基づく社会経済モデルの下で立地均衡モデルを構築した。そして、等価的偏差EVの概念を拡張して地域、環境状態を考慮した便益定義により評価する手法を提案した。本評価手法は、従来の便益評価手法で捉えることができなかった洪水の生起確率の低下、および治水安全度の向上による立地促進の効果を、それぞれ生起確率の変化に対する便益である危険回避によるオプション価値と立地選択確率の変化に対する便益である地域選択の自由によるオプション価値として捉えている。また、Non-Contingent EVは、2つのオプション価値を捉えているだけでなく、不確実性下の多地域一般均衡理論に基づき、波及効果までも捉えていることから、治水投資評価に対して最適な便益定義として提案した。

本研究で構築した立地均衡モデルを用いた便益評価手法を実際の治水投資の便益評価に適用し、適用

可能性を検討した。立地均衡モデルの現況再現性は、算出される立地量、地代の相関係数がほぼ1となったことから、かなり高いことが示された。したがって、本研究で提案した立地均衡モデルの妥当性、適用可能性は高いと考えられる。そして、with and without 分析により2015年における便益を計測した結果、本研究で最適な便益として定義したNon-Contingent EVの1世帯当りの年便益は9,095円、社会的総便益は1,124億円となり、費用便益比は3.51となった。これらの値は他の便益計測例から判断しても、妥当なものであると考えられる。

今後の課題としては次のようなものがあげられる。

本モデルでは所得は外生的に与えられているが、洪水による生産機能の低下は地域の所得を減らし、間接効用値も低下させることに繋がる。企業行動を取り入れ、こうした財生産への影響をも考慮した一般的なモデルについては既に構築している²¹⁾が、実証分析などによりその影響が実際にどの程度であるかを求めていくことが課題の1つである。また被害に占める最も大きな項目は住宅、事業所、公共施設などのストック被害である。ストック被害を生産面や家計効用の面からどのようにモデルの中に組み込んでいくのかは大きな課題である。その1つの解決方法として考えられるのが、保険市場を導入し、その中でストック被害を保険市場の価格変化として捉えることであり、今後の課題としたい。さらに、治水経済調査によれば、住宅などの被害率は床上浸水が2mを越えると、かなり大きくなることが示されている。しかし、本研究では簡便的に状態を床下浸水未満と床上浸水以上の2つに区分しているのみである。したがって、便益を正確に計測するために浸水深と被害との非線形関係も考慮した上で、状態の区分方法などを決めていくことが必要であり、今後の課題である。

【参考文献】

- 1) 松浦勲監修：自然災害科学事典，築地書館，1988。
- 2) 建設省河川局：治水経済調査要綱，1970。
- 3) Weisbrod, B.A.: Collective-Consumption Services of Individual -Consumption Goods, Quarterly Journal of Economics, Vol.78, pp.471-477, 1964。
- 4) Bishop, R.C.: Option Value: An Exposition and Extension, Land Economics, Vol.58, No.1, pp.1-15, 1982。
- 5) Graham, D.A.: Cost-Benefit Analysis Under Uncertainty, American Economic Review, Vol.71, pp.715-725, 1981。

- 6)Graham, D.A.:Public Expenditure Under Uncertainty: The Net-Benefit Criteria, American Economic Review, Vol.82, No.4, pp.822-846, 1992.
- 7)Johansson, P.-O.:The Economic Theory and Measurement of Environmental Benefits, Cambridge University Press, 1987.
- 8)Johansson,P.O.:Cost-Benefit Analysis of Environmental Change,Cambridge University Press,1993.
- 9) 森杉壽芳・高木朗義・小池淳司:治水事業の便益計測手法ー不確実性下における便益計測手法の提案ー,土木計画学研究・講演集 ,No.17,pp.299-302,1995.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 小林潔司:不完備情報下における交通均衡に関する研究,土木計画学研究・論文集 ,No.8,pp.81-88,1990.
- 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) 大橋健一・青山吉隆:土地政策からみた地域の開発効果の計量化に関する研究,土木計画学研究・講演集 ,No.11,pp.391-397,1988.
- 17) ハル・R・ヴァリアン:ミクロ経済分析,勁草書房,1986.
- 18)Cicchetti,C.J. and Freeman,A.M. III.:Option Demand and Consumer Surplus:Further Comment,Quarterly Journal of Economics,Vol.85,pp.528-539,1971.
- 19) 森杉壽芳・大野栄治・高木朗義:治水事業の便益評価手法ー不確実性下の便益定義を中心にー,土木計画学研究・講演集 ,No.15(1),pp.787-792,1992.
- 20)Miyagi,T.and Morisugi,H.:A Direct Measure of The Value of Choice-Freedom,Papers in Regional Science International (to be appeared).
- 21) 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.
- 22) 国土地理院:1/25,000 地形図,1992.

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

概要

従来の治水投資の便益評価手法は、被害の軽減額を便益としているだけであり、生起確率の変化、すなわち不確実性、立地の促進による土地利用変化を捉える立地選択行動、それに波及効果などが捉えきれていない。

そこで本研究では、不確実性、立地選択行動、波及効果を適切に捉えるために不確実性下の多地域一般均衡理論に基づく立地均衡モデルを構築した。また、等価的偏差の概念を拡張して、生起確率の変化に対する便益と立地選択確率の変化に対する便益を捉えることができる Non-Contingent EV を治水投資評価に最適な便益の概念として提案した。

そして事例研究の結果、立地均衡モデル、提案した便益の概念、およびその計測手法の適用可能性を確認した。

The Benefit Evaluation of The Flood Control Works with Location Equilibrium Model

By Akiyoshi TAKAGI, Hisa MORISUGI, Taka UEDA, Yukio NISHIKAWA and Takashi SATOH

ABSTRACT

The past benefit evaluation of the flood control works is nothing but object of reducing damage cost, don't seize change for state probability, that is uncertainty, land use change due to location choice action, and extend effect.

In this paper, we constructed Location Equilibrium Model based on multispace general equilibrium theory under uncertainty. And we defined the benefit, expanded the concept of Equivalent Variation, proposed Non-Contingent EV including the benefits of change for state and location choice probability, as the most rational definition for evaluation.

The applicable possibility of Location Equilibrium Model, Benefit Evaluation was shown through a case study.