

土地利用モデルを用いた防災投資の便益評価手法に関する研究*

The Benefit Evaluation of Disaster Protection Investment with Land Use Model *

森杉壽芳*¹・上田孝行*²・高木朗義*³・小池淳司*⁴・西川幸雄*⁵

By Hisa MORISUGI *¹, Taka UEDA *², Akiyoshi TAKAGI *³, Atsushi KOIKE *⁴ and Yukio NISHIKAWA *⁵

1. はじめに

わが国は、地理的・社会的な条件から地震、洪水、高潮など自然災害の発生頻度が高く、その災害による被害が非常に大きいため、多くの防災投資が施されている。防災投資の実施は、災害の発生頻度を低下させるだけでなく、災害による被害の規模も縮小させる。その結果、災害の危険性が小さくなった整備対象地域の立地に対する魅力度が増大し、その地域への立地が促進されると考えられる。したがって、防災投資の経済的な評価を行うためには、立地選択行動を捉えた土地利用モデルの構築が必要になる。

立地選択行動を捉えた土地利用モデルには、森杉・大野・宮城¹⁾や上田²⁾などのモデルがあるが、これらは不確実性、すなわち住環境の水準が確率変動することを明示的に取り込んだものとはなっていない。一方、森杉・高木・小池³⁾は、不確実性を期待効用最大化行動として捉えた防災投資の評価法を提案しているが、このモデルは立地選択行動を明示的に取り込んではいない。

このような状況の中で、本研究では災害という不確実性を考慮し、期待効用が最大になるような立地選択行動を捉えた土地利用モデルを構築し、防災投資の便益評価手法を提起する。

2. モデルの全体構成

モデルの全体構成は図1に示す通りである。

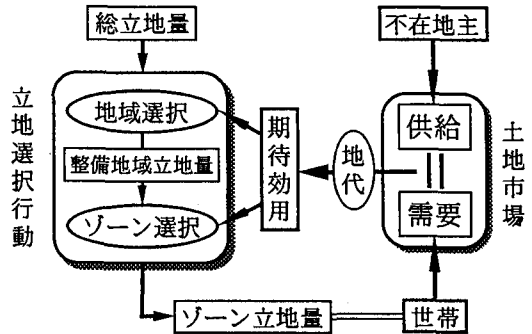


図1 本モデルの全体構成

本研究で構築するモデルの特徴を列挙する。

- I. 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地域とそれ以外の地域の選択を行う地域選択と整備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。
- II. 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。
- III. 主体は、同一の嗜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。
- IV. 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。

*キーワード：防災計画、公共事業評価法

*¹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)

*²正員 工博 岐阜大学助教授 工学部土木工学科

*³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)

*⁴正員 工修 岐阜大学助手 工学部土木工学科

*⁵学生員 岐阜大学大学院博士前期課程

3. 各主体の行動

(1) 世帯

(a) 期待 (間接) 効用関数

立地の魅力度指標は環境質, および環境水準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。

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

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

$E(V_i^j)$: 期待 (間接) 効用関数

V_i^j : (間接) 効用関数

ϕ_i^j : ゾーン j における環境水準 i の生起確率

H_i^j : ゾーン j , 環境水準 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 : 環境水準

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防災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

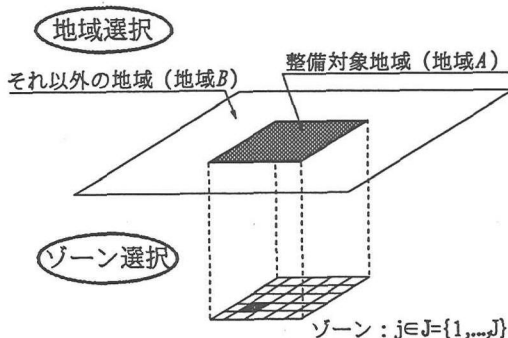


図 2 2 段階選択行動

準を指標とした Logit Model の例には小林⁴⁾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 は以下ようになる⁵⁾。

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

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 : 地域選択におけるロジットパラメータ

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ようになる。

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

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

θ : ゾーン選択におけるロジットパラメータ

V_i^B : 地域 B , 環境水準 i における (間接) 効用関数
(1.b) 式と同じ形で表されるとする。)

① 地域選択

地域 A への立地選択確率 P^A は以下ようになる。

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

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 $P^{A,j}$ は以下ようになる。

$$P^{A,j} = \frac{\exp(\theta \cdot E(V_i^j))}{\sum_j \exp(\theta \cdot E(V_i^j))} \quad (5)$$

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 $N^{A,j}$ は以下ようになる。

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

$$N^{AJ} = P^{AJ} \cdot N^A \quad (7)$$

N : 全地域における立地量 (総立地量)

$$q_a^j = - \left(\frac{\partial V_j^j}{\partial R^j} \right) / \left(\frac{\partial V_j^j}{\partial I} \right) \quad (10.a)$$

$$= - \frac{1}{\gamma} \cdot \beta'(R^j) \quad (10.b)$$

q_a^j : 土地需要量

(2) 地主

今期における地主の総土地供給面積は、前期までの土地供給面積と非都市的土地利用用地面積から今期に転用する新規土地供給面積の和で定義する。

(a) 新規土地供給面積

地主は非都市的土地利用用地に対し賃貸・留保に関する選択行動を行うと考え、その選択行動を確率論に立脚し、Binary Logit Model で表現する。本研究では上田²⁾が構築した土地供給モデルを採用する。

$$L_{ins}^j = \frac{\exp[\eta \cdot (p_t - \tau p_t)]}{\exp[\eta \cdot (p_t - \tau p_t)] + \exp[\eta \cdot \{(p_{t+1} - \tau p_{t+1}) + X_t\}]} L_t^j \quad (8)$$

L_{ins}^j : 今期 (t 期) の新規土地供給面積
 L_t^j : 今期 (t 期) の非都市的土地利用用地面積
 p_t : 今期 (t 期) の地代
 p_t : 今期 (t 期) の地価
 p_{t+1} : 来期 ($t+1$ 期) 以降の予想地代
 p_{t+1} : 来期 ($t+1$ 期) 以降の予想地価
 τ : 固定資産税率
 η : 土地供給選択におけるロジットパラメータ
 X_t : 今期 (t 期) の地代以外の効用項
 t : 時期

(b) 今期土地供給面積

今期の土地供給面積は、前期の土地供給面積と今期の新規土地供給面積の和で求められる。

$$L_{is}^j = L_{i-1}^j + L_{ins}^j \quad (\text{for all } j) \quad (9)$$

L_{is}^j : 今期 (t 期) の土地供給面積
 L_{i-1}^j : 前期 ($t-1$ 期) の土地供給面積

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 (1) 式で構築した (間接) 効用関数からロアの定理³⁾により得られる需要関数に基づき土地需要を行う。

一方、不在地主は (8) 式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が決定される。価格が決定される均衡条件は以下ようになる。

$$q_a^j \cdot N^{AJ} = L_{is}^j \quad (\text{for all } j) \quad (11)$$

(2) 立地と市場の同時均衡

(4) 式の地域選択確率、(5) 式のゾーン選択確率、および (11) 式の市場均衡条件から各ゾーンの立地量と地代が同時に決定される。

5. 防災投資の便益定義

上記したモデルを用い、等価的偏差 EV の概念を拡張して防災投資の便益を以下のように定義する。

(1) Non-Contingent EV ⁷⁾

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 W^b を維持するという条件の下に、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世帯が考える最小補償額を防災投資の便益とする。ただし、その支払い形式は、立地場所、環境水準に対して不変であることとする。これを Non-Contingent EV (以下 $NCEV$ と略す) と呼び、(12) 式に示す $NCEV$ として定義する。

$$W^b = \frac{1}{\omega} \ln \left\{ \exp \left[\frac{\omega}{\theta} \ln \left\{ \sum_j \exp(\theta \times E^a(\alpha(H_i^{aj}) (\beta(R^{aj}) + \gamma(I^a + NCEV)))) \right\} \right] + \exp \left[\frac{\omega}{\theta} \ln \left\{ \sum_j \exp(\theta \times E^b(\alpha(H_i^{bj}) (\beta(R^{bj}) + \gamma(I^b + NCEV)))) \right\} \right] \right\} \quad (12)$$

スーパースクリプト a, b : 投資前、後

(2) 期待EV

一方、立地場所、環境水準毎に異なった支払い形式をとることとし、立地場所、環境水準毎の効用水準の変化 ($V_i^{a,j} \rightarrow V_i^{b,j}, V_i^{a,b} \rightarrow V_i^{b,b}$) に対して、等価的偏差の概念で便益を定義すると (13) 式の EV_i^j, EV_i^b となる。

$$V_i^{b,j} = \alpha(H_i^{a,j}) \{ \beta(R^{a,j}) + \gamma(I^a + EV_i^j) \} \quad (13.a)$$

$$V_i^{b,b} = \alpha(H_i^{a,b}) \{ \beta(R^{a,b}) + \gamma(I^a + EV_i^b) \} \quad (13.b)$$

EV_i^j : ソーン j , 環境水準 i における等価的偏差

EV_i^b : 地域 B , 環境水準 i における等価的偏差

この EV_i^j, EV_i^b の変化前の状態で期待値をとって、期待EV (EEV) を定義する。

$$EEV = \sum_j P^{a,j} P^{a,j} E^a [EV_i^j] + P^{a,b} E^a [EV_i^b] \quad (14)$$

(3) Option Value

Weisbrod⁹⁾をはじめ多くの研究者は、不確実性下の便益定義において各環境水準の便益の期待値で便益を捉えることは過小評価であり、Option Valueを追加すべきであると主張している。また、Cicchetti⁸⁾やBishop¹⁰⁾はOption ValueをNCEV (またはOption Price) と消費者余剰の期待値の差と定義し、森杉・大野・高木¹¹⁾はこれを災害に対する不安感の減少分であると考えた。しかし、本研究で以下のように定義されるOption Valueは、環境水準の生起確率の変化に対する便益に加えて、立地選択確率の変化に対する便益も含んでいると考えられる。したがって、このOption Valueは、災害に対する不安感の減少と立地選択が自由にできるという便益¹²⁾を合わせたものであると考えられる。

$$OV = NCEV - EEV \quad (15)$$

OV : Option Value

(4) 社会的便益

社会的便益 SNB は、世帯の便益 $NCEV$ の総立地量に乗じた値に (17) 式で示す地主の便益 LB を加えればよい。また、この SNB は、本研究で構築してきた土地利用モデルを解く段階で推定されるパラメータを用いて計測可能と考えられる。

$$SNB = N \cdot NCEV + LB \quad (16)$$

$$LB = \sum_j (R^{b,j} L_{i,j}^b - R^{a,j} L_{i,j}^a) \quad (17)$$

6. おわりに

本研究では、立地選択行動を捉えた土地利用モデルを構築し、防災投資による便益を定義した。その際、立地選択行動では地域選択とゾーン選択の2段階での選択を捉え、市場均衡条件から立地量と地代が決定されるものとした。また、防災投資の便益定義では、Non-Contingent EVと期待EVを定義し、その差がOption Valueであり、災害に対する不安感の減少と立地選択の自由性の便益であろうということを述べた。

現在、本モデルをある地域 (対象面積: 約15km², 人口: 約6万人) の治水対策 (総事業費: 320億円) に適用し、本モデルの実用性、妥当性を検討しているところである。なお、結果については講演時に発表する予定である。

【参考文献】

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 森杉壽芳・高木朗義・小池淳司: 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—, 土木計画学研究・講演集, No.17, pp.299-302, 1995.
- 4) 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.
- 5) 土木学会編: 非集計行動モデルの理論と実際, 土木学会, 1995.
- 6) ハル・R・ヴァリアン: ミクロ経済分析, 勁草書房, 1986.
- 7) Johansson, P.O.: Cost-Benefit Analysis of Environmental Change, Cambridge University Press, 1993.
- 8) Weisbrod, B.A.: Collective-Consumption Services of Individual-Consumption Goods, Quarterly Journal of Economics, Vol.78, pp.471-477, 1964.
- 9) 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.
- 10) Bishop, R.C.: Option Value: An Exposition and Extension, Land Economics, Vol.58, No.1, pp.1-15, 1982.
- 11) 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(1), pp.787-792, 1992.
- 12) Miyagi, T. and Morisugi, H.: A Direct Measure of The Value of Choice-Freedom, Papers in Regional Science International (to be appeared).