

土地と建物の 多市場同時均衡に基づく 土地利用交通モデル^{*}

Landuse Transport Model based on General Equilibrium
of Land and Building Markets

平谷 浩三^{**} 中村 英夫^{***} 上田 孝行^{****} 堤 盛人^{*****}

By Kozo HIRATANI, Hideo NAKAMURA, Takayuki UEDA, Morito TSUTSUMI

Many types of landuse transport model have been developed and applied in practice. However, most of these models trade building and land in one set. So, it is not suitable to apply these models to Japan where land and building are traded separately, there exist unsatisfied vacant lands even in the areas of high development potential. And by these models, the policies on building and land can't be analyzed sufficiently. With these backgrounds, this study aims to develop a new type of landuse transport model which can deal with not only land market but also building market explicitly. For this purpose, our model is based on the theoretical framework of Walrasian general markets equilibrium. Applicability of the model is to be verified in the case study, the area is Hiroshima region.

1. はじめに

従来から様々な土地利用交通モデルが開発されてきたが、これらのモデルの多くは、土地と建物を一体の財とみなしてモデル構築が行われている。(例えばAnas¹⁾) そのため、我が国のように土地と建物が別々の不動産として取引され、土地は購入されたが建物が建たないといった状況の表現には適さない。また、都市政策に関する影響分析の手段として土地利用交通モデルを考えると、従来のモデルでは、建物に関する政策(容積率規制等)と土地に関する政策(土地保有税等)を同時に十分に考慮できないといった問題がある。

本研究では、これら既存研究の問題点を踏まえ、土地市場と建物市場を同時に考慮し、それぞれの市場に

おける取引量と価格を内生化した土地利用交通モデルを開発することを目的とする。そして、複数の財に関する市場を同時に扱うため、従来多くの土地利用モデルで用いられた概念である「付け値」²⁾ではなく、ワルラス的な多市場同時均衡論に基づく。ただし、今回、交通モデルについての説明は紙面の都合上省略する。

2. モデルの全体構成

本研究で開発するモデルの全体構成は図1に示す通りである。

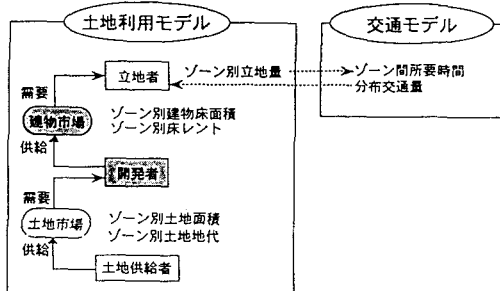


図1 モデルの全体構成

*キーワード: 土地利用交通モデル、一般均衡、建物市場

**学生員 東京大学大学院工学系研究科土木工学専攻

***正会員 東京大学工学部土木工学科教授

****正会員 東京大学工学部土木工学科講師

(〒113 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学工学部)

*****正会員 三菱信託銀行

(〒100 東京都千代田区丸の内1-4-5)

以下にモデルの特徴を列挙する。

- 1) 財市場として前述のように土地市場、建物市場を考える。
- 2) 主体として立地者（住宅立地者、商業・業務立地者の2つに区分される）、開発者、土地供給者の3つを考えている。その内、開発者はゾーン毎に集計された代表的主体とする。
- 3) 立地者は開発者から建物を賃借し、そこで居住あるいは商業・業務活動を行う。開発者は土地を土地供給者から賃借し、その上に建物を建て立地者に賃貸する。土地供給者は、開発者に土地を賃貸する。
- 4) 本研究でのモデルは、各期において土地・建物の賃貸借のみを行う賃貸モデルである。

なお、本稿を通して、添え字 i, j はゾーンを表し、 d, s はそれぞれ市場における需要と供給を表す。

3. 各主体の行動

3-1. 立地者

1) 立地者の行動

立地者の行動は財・サービスの消費量と立地場所に関する効用最大化によって決定される。本研究では、まず立地の魅力を表す指標として「立地余剰」という概念を用いる。立地者としては、住宅立地者と商業・業務立地者の2タイプを考えている。

2) 立地余剰

住宅立地者

住宅立地者にとっての立地余剰は、建物に関する消費者余剰に立地場所に依存した効用である粗効用を加えた形式で定義される。³⁾

$$V_i = f(R_i) + W_i \quad (1)$$

V_i : ゾーン i での立地余剰

$f(R_i)$: 建物に関する消費者余剰

R_i : ゾーン i での建物地代

W_i : ゾーン i での粗効用

建物に関する消費者余剰は、建物需要関数を(3)式と仮定することにより、(2)式のように定義できる。

$$f(R_i) = \int_{R_i}^{\infty} \max\{0, q_d(R)\} dR \quad (2)$$

$$q_d(R) = c - d \cdot R \quad (3)$$

$q_d(R)$: 立地者一人当たりの

建物床需要関数

c, d : パラメータ

従来CALUTAS⁴⁾ で用いられていた立地余剰では、立地者別の占有（土地）面積が固定されていたのに対し、(1)式で定義された立地余剰³⁾ は最適消費行動に基づき内生的に占有（建物床）面積が決定される点が異なっている。

粗効用は、買物利便性、通勤利便性、生活環境インフラ整備水準で説明する。

$$W_i = \gamma^B \cdot \ln ACS_i^B - \gamma^T \cdot \ln T_i + \gamma^Z \cdot Z_i + \text{cont.} \quad (4)$$

ACS_i^B : ゾーン i での買物利便性

T : 通勤利便性（通勤時間）

Z : 生活環境インフラ整備水準

（公園面積、下水道普及率等）

γ : 各説明変数についてのパラメータ

（全ゾーン一定）

買物利便性については、住宅立地者の買物場所選択行動をロジットモデルで表現することにより、以下の(5)式のように導出される。

$$ACS_i^B = \frac{1}{\beta \cdot j} \sum_j N_j' \exp(-\beta \cdot t_{ij}) \quad (5)$$

N_j' : ゾーン j における商業立地者数

t_{ij} : ゾーン i, j 間の所要時間

α, β : パラメータ（全ゾーン一定）

商業・業務立地者

商業・業務立地者にとっての立地余剰も同様に定義される。但し、商業・業務立地者については“'”をつけて表現している。

$$V_{mi}' = f_{mi}'(R_i') + W_{mi}' \quad (6)$$

$$f_{mi}'(R_i') = \int_{R_i'}^{\infty} \max\{0, q_{md}'(R')\} dR' \quad (7)$$

$$q_{md}'(R') = c_{mi}' - d_{mi}' \cdot R' \quad (8)$$

V_{mi}' : 業種 m 、ゾーン i での立地余剰

$f_{mi}'(R_i')$: 建物に関する消費者余剰

W_{mi}' : 業種 m 、ゾーン i での粗効用

粗効用は、業種間取引利便性、商圈、駐車場等のインフラ整備水準で説明する。

$$W_{mi}' = \gamma^B \cdot \ln ACS_{mi}^B + \gamma^P \cdot \ln ACS_{mi}^P + \gamma^Z \cdot Z_{mi}' + \text{cont.} \quad (9)$$

ACS_{mi}^B : 業種 m 、ゾーン i での業種間取引利便性

ACS_{mi}^P : 業種 m 、ゾーン i での商圈

Z_{mi}' : 業種 m 、ゾーン i でのインフラ整備水準

（駐車場面積等）

業種間取引利便性は商業・業務地の集積度、業種間のアクセス、所要時間、つながりの強さに依存する指標で、林・土井・奥田⁵⁾ での表現と同様である。商圈

は集客規模に依存する指標で文⁶⁾での表現と同様である。

$$ACS_{mi}^B = \sum_{i^*} \sum_{m^*} L_m \cdot N'_{m^* i^*} \cdot H_{mi} \quad (10)$$

$$ACS_{mi}^P = \frac{ST_{mi}}{N'_{mi}} \quad (11)$$

L_m : 業種のつながりの強さを示すパラメータ

H_{mi} : 業種 m^* 、ゾーン i^* から業種 m 、ゾーン i への商業・業務トリップ選択率

ST_i : 業種 m 、ゾーン i への集中トリップ数

3) 立地選択行動

立地選択行動はロジットモデルにより記述する。同一の選好を有する立地主体について集計的に捉えたと、そのタイプを代表する一つの意志決定主体が行う最適行動の結果 (c.f 4-1) だとみなすことができるため、ゾーン i での立地量は以下のように表現できる。但し、対象地域内での移転費用の平均を Q_i と仮定する。

$$F_i = \frac{\exp(\xi \cdot V_i)}{\sum_j \exp(\xi \cdot V_j)} \quad (12)$$

$$N_i = N_T \cdot F_i \quad (13)$$

F_i : 立地選択確率

ξ : パラメータ

N_i : 立地者数 (人口)

N_T : 全ゾーンにおける総立地者数

3-2. 開発者の行動

開発者の行動を記述したものに、M. Fujita・M. Kashiwadani⁷⁾、Henderson.J. V⁸⁾、文⁹⁾等がある。本研究では「付け値」を用いないため、後二者と同じ立場を取り、資本と土地を生産要素財とし、容積率規制内で建物生産による利潤を最大にするよう開発者は行動すると考える。但し、建物の除去費用、耐久性、最適開発時点に関しても明示的には考慮していない。

$$\pi_i = \max_{Q_i} \{R_i \cdot Q_i - C(Q_i)\} \quad (14)$$

$$C(Q_i) = \min_{L_i, K_i} (P_i \cdot L_i + I \cdot K_i) \quad (15)$$

$$\text{s.t. } Q_i = A \cdot L_i^a \cdot K_i^b \quad (16)$$

π_i : ゾーン i での開発者の利潤

R_i : ゾーン i での建物地代

Q_i : ゾーン i での開発者の建物生産床面積

$C(\cdot)$: ゾーン i での開発者の建物生産費用

P_i : ゾーン i での土地地代

L_i : ゾーン i で開発者に供給された土地面積

I : 土地以外の資材価格 (一定)

K_i : 土地以外の資材投入量

a, b, A : パラメータ (但し、 $0 < a+b < 1$)

(16)式のような収穫減型の生産関数を仮定した場合、建物生産によって超過利潤が発生する。しかし本研究では、超過利潤発生後の分配先や市場への参入の自由度については考慮していない。

(13)~(15)の最適化問題を解くと利潤関数は次のようになる。

$$\pi_i = \phi_1 \cdot R_i^{\frac{1}{1-a-b}} \cdot P_i^{-\frac{a}{1-a-b}} \quad (17)$$

Hottelling¹¹⁾の補題を用いて、建物床供給関数 Q_s 及び土地需要関数 L_d が導出される。

$$Q_{si} = \phi_2 \cdot R_i^{\frac{a+b}{1-a-b}} \cdot P_i^{-\frac{a}{1-a-b}} \quad (18)$$

$$L_{di} = \phi_3 \cdot R_i^{\frac{1}{1-a-b}} \cdot P_i^{-\frac{1-b}{1-a-b}} \quad (19)$$

ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 : (14)~(16)式で決定される定数

但し、(18)式で算出される建物生産量が法定容積率による制限を超える場合、開発者の建物供給関数、土地需要関数は以下のようになる。

$$Q_{si} = \bar{Q}_i \quad (\bar{Q}_i = \mu_i \cdot \bar{L}_i) \quad (20)$$

$$L_{di} = \frac{\bar{Q}_i}{\mu_i} \quad (21)$$

$\bar{Q}_i$: 法定容積率から算出される限界可能建築建物床面積

μ_i : ゾーン i での法定容積率

また、(20), (21)式の時、すなわち法定容積率による制限が効いてくる時でもHottellingの補題が成立することが確認できる。(c.f 注釈)

3-3. 土地供給者の行動

土地供給者行動のモデル化は多数の研究で行われているが、森杉・大野・松浦¹¹⁾等で指摘されているように、①住み替え、②農山地転用、③政策 (税、用途規制等)、④資産選択等を考慮した土地供給面積の決定メカニズムは複雑で、その全てを考慮したモデル構築は非常に困難である。そこで従来から、各項目に関

して土地利用モデルで一部として、若しくは土地市場の分析手段として土地供給モデルが構築されてきた。

本研究では、①～③を考慮した確率論の立場に立脚した土地供給モデルを構築する。但し、資産選択に関しては考慮していない。

まず、今期のゾーン内での総土地供給面積を前期までの土地供給面積と非都市的土地利用地（主に農地）からの転用である新規土地供給面積の和で定義する。（c.f 図3）

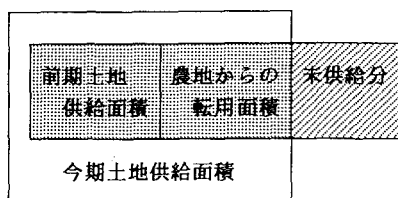


図2 今期土地供給面積

1) 非都市的土地利用地からの転用面積

土地保有者は保有・賃貸に関する選択を行うものとする。またゾーン内で土地供給者が同質であると考え、保有・賃貸に関する選択行動を土地1㎡当たりで考えることが可能となる。本研究ではその選択行動を確率論に立脚し、ロジットモデルで表現する。またその効用項は以下のように定義する。

{保有することによって得られる効用（1㎡当たり）}
=（今期の予想地代）－（今期の予想固定資産税額）

今期の地代を前期までの地代の外挿によって算出された地代だと農地保有者が予想しているものとする。

{賃貸することによって得られる効用（1㎡当たり）}
=（今期の地代）－（今期の固定資産税額）

農地保有者による新規土地供給面積は、立地量の導出のときと同様に考え、ゾーン内の農地に関して集計的に捉え、ゾーンを代表している1タイプの農地保有者が行う賃貸・保有の選択行動の結果だとみなすことが可能になる。以上から、農地からの転用面積は以下のように表現できる。

$$L_{nit}^* = \frac{\exp \eta (P_{it} - \tau \cdot LP_{it})}{\sum_{P, LP} \exp \eta (P_{it} - \tau \cdot LP_{it}) + X_{it}} \cdot L_{nit}^* \quad (21)$$

$$= \frac{L_{nit}^*}{1 + \exp \eta \left\{ \left(1 - \frac{\tau}{i + \tau} \right) (P'_{it} - P_{it}) + X \right\}} \quad (22)$$

L_{nit}^* : ゾーンi, t期での非都市的土地利用地からの転用面積

P_{it} : ゾーンi, t期での土地地代

P'_{it} : ゾーンi, t期での予想土地地代

LP_{it} : ゾーンi, t期での地価

L_{nit}^* : ゾーンi, t期での残存非都市的土地利用面積

i: 利子率（全ゾーンで一定）

τ : 固定資産税、都市計画税等の土地保有税率

X_{it} : ゾーンi, t期での地代以外の効用項

η, X : パラメータ

（但し、賃貸と保有との間の地代以外の効用差はゾーンに依らず一定であると仮定している。）

2) 今期土地供給面積

今期の総土地供給関数 L_{nit} は、以下のようにして求められる。

$$L_{nit} = L_{nit-1} + L_{nit}^* \quad (23)$$

L_{nit-1} : ゾーンi, t-1期までの土地供給面積となる。

4. 均衡

4-1. 立地均衡

立地選択確率は3-1より以下になる。

$$F_i = \frac{\exp(\xi \cdot V_i)}{\sum_j \exp(\xi \cdot V_j)} \quad (11)$$

(11)式は共役性理論から、以下の最大化問題の最適解であることがわかる。¹²⁾

$$\max_{F_i} \left\{ \sum_i F_i \cdot V_i - \frac{1}{\xi} \sum_i F_i \cdot (\ln F_i - 1) \right\} \quad (24)$$

$$\text{s.t. } \sum_i F_i = 1 \quad (25)$$

立地均衡状態は、どのタイプに属する立地主体も、全て、同時に(25)式を満足し、またどのタイプの主体も自らの立地選択確率を変更しても(24)式の目的関数の水準を向上させることができない状態であると説明できる。³⁾

4-2. 市場均衡

本研究で考慮している財は建物、土地である。建物、土地は典型的な移動不可能財、しかも消費される頻度が高いことから日常的な財であると考えられる。このような財の性質から、地域を越えて需要、供給される

ことはなく、市場は地域内で排他的に形成される。従って市場均衡条件は以下のように表現される。

$$N_i(R_i) \cdot q_d(R_i) - Q_{s,i}(R_i) = 0 \quad \text{for all } i \quad (26)$$

$$L_{d,i}(P_i) - L_{s,i}(P_i) = 0 \quad \text{for all } i \quad (27)$$

4-3. 数理最適化問題との関連

市場を介さない外部性に関する項、すなわち(3)、(8)式での立地量を一旦固定すれば、立地均衡と土地及び建物の市場均衡の同時均衡を社会的総余剰最大化問題として表現できる。その双対形式は次のように定式化できる。¹⁰⁾

$$\min_{R_i, P_i} \left\{ \frac{N_i}{\xi} \ln \sum_1 \exp(\xi \cdot V_i) + \sum_1 \pi_i + \sum_1 \frac{1}{\eta} \ln(\exp \eta (P_{1,t} + P'_{1,t})) \cdot L_{1,t} + \sum_1 P_{1,t} \cdot L_{1,t-1} \right\} \quad (28)$$

(28)の最大化問題の一階条件は

$$N_i(R_i) \cdot q_d(R_i) - Q_{s,i}(R_i) = 0 \quad (29)$$

$$L_{d,i}(P_i) - L_{s,i}(P_i) = 0 \quad (30)$$

となる。(29)、(30)はそれぞれ、建物市場及び土地市場における需給の均衡を表している。

適用においてはこれを解いて得られる立地量分布が、最初に固定した立地量と一致するまで繰り返し解く。

5. 適用

本研究で開発したモデルはGIS（地理情報システム）によりサポートされることを前提としている。従って、パラメータの推定及びモデルの適用は、建物等に関する詳細データがHUPiNeS（広島都市計画情報システム）に蓄積されている広島市を対象として行った。

5-1. パラメータ推定

パラメータ推定結果を以下に示す。

1) 立地者

住宅立地者 ((3),(4),(5),(12)式)

パラメータ	推定値 (t 値)	相関係数
ξ	$2.23 \times 10^{-5} (2.23)$	0.921
$\xi \cdot \gamma^a$	1.53 (6.29)	
$\xi \cdot \gamma^T$	$2.26 \times 10^{-1} (3.90)$	
$\xi \cdot \gamma^Z$ (注)	$2.14 \times 10^{-1} (2.07)$	
α	$5.75 \times 10^{-1} (3.31)$	0.538
β	$5.75 \times 10^{-2} (9.57)$	
c	$1.64 \times 10^2 (15.1)$	0.946
d	$5.04 \times 10^{-3} (8.88)$	

(注) 生活環境インフラ整備水準を表す指標として下水道普及率、公園面積を考えたが、公園面積については符号条件を満たさなかった。

商業立地者 ((8),(9),(12)式)

データの制約から今回の適用に関しては、業種を1種類とし、インフラ整備水準を表す指標は考慮していない。

パラメータ	推定値 (t 値)	相関係数
ξ'	$1.14 \times 10^{-6} (2.19)$	0.889
$\xi' \cdot \beta \gamma$	1.39 (2.62)	
$\xi' \cdot \rho \gamma$	$3.40 \times 10^{-5} (6.97)$	
c'	$1.95 \times 10^1 (6.22)$	0.972
d'	$7.77 \times 10^{-6} (8.88)$	

2) 開発者 ((16)式)

パラメータ	推定値 (t 値)	重相関係数
a	$6.29 \times 10^{-1} (4.98)$	0.614
b	$2.61 \times 10^{-1} (1.43)$	
a'	$4.90 \times 10^{-1} (5.89)$	0.805
b'	$4.74 \times 10^{-1} (3.23)$	

3) 土地供給者 ((22)式)

パラメータ	推定値 (t 値)	重相関係数
η	$1.90 \times 10^{-4} (2.86)$	0.805
X	$1.22 \times 10^4 (4.62)$	
η'	$5.23 \times 10^{-5} (3.23)$	0.715
X'	$3.51 \times 10^4 (5.12)$	

5-2. モデルの再現性

1985年の実測値を初期値として、1990年時点での各項目の再現性の確認を行った。再現性の確認は、広島市の8区（中区・東区・南区・西区・安佐南区・安佐北区・安芸区・佐伯区）で行った。また再現性の検討の際、政策として用途指定、固定資産税、都市計画税、容積率規制を考慮した。但し、用途指定については、住宅系のみ立地できる地区と、商業と住宅の両方が混在的に立地できる地区を考えている。また交通ネットワークに関しては、今回リンク交通量・所要時間等のデータが得られなかったため、交通配分モデルは用いず、パーソントリップ調査によるゾーン間所要時間のみを用いている。以下に再現性の検討結果を示す。

1) 立地量

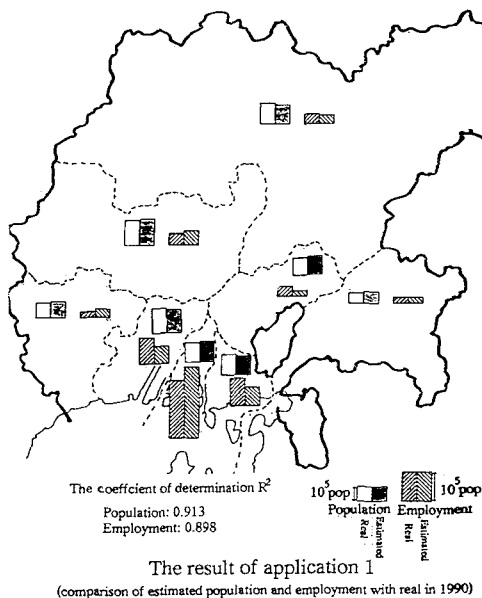


図3 人口、従業者数に関する再現性

2) 建物床面積

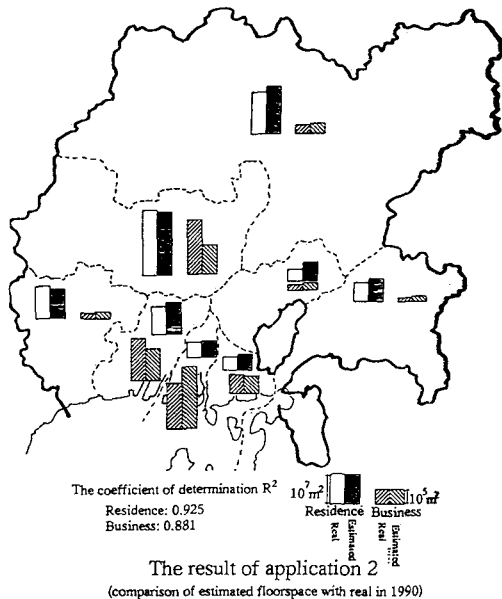


図4 建物床面積に関する再現性

3) 土地面積

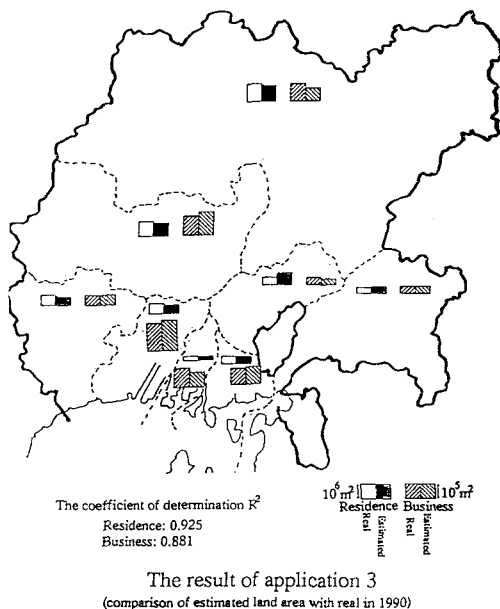


図5 土地面積に関する再現性

4) 地価

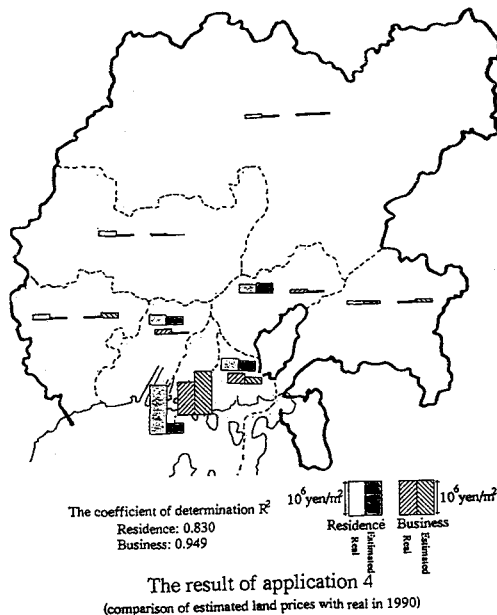


図6 地価に関する再現性

モデルにより再現された各項目に関して、決定係数で0.95～0.83程度の比較的良好な結果を得ており、区といった比較的マクロなレベルでは十分有効であることがわかった。

6. おわりに

6-1. 本研究の成果

本研究で示したモデルはまだ開発の初期段階であるものの、土地市場と建物市場の同時均衡という新たな枠組みに基づいており、その有効性も確認された。

また、建物を明示化していることにより、容積率規制等の政策シミュレーションへの可能性を開いた。

6-2. 本研究で残された課題

- 1) 本研究では立地者、土地供給者の行動を確率論に基づいて表現したが、開発者に関しては、決定論に基づいてモデル構築を行った。モデル全体の整合性という観点から、今後改良が必要と考えられる。
- 2) 本研究で開発した開発者の行動モデルは建物の建て替え費用を考慮しないものであったが、この点についても今後の課題としていきたい。その際にはやはり動学モデルの構築が必要になるであろう。

3) 本研究で開発した土地供給者の行動モデルに資産選択行動を明示的に組み入れる必要がある。その際には2)のように動学モデルの構築が必要になるであろう。

4) 適用範囲をミクロレベルにまで拡張し、モデルの有効性を確認していく必要がある。併せて容積率規制等の政策シミュレーションも行っていきたい。

5) 今回開発したモデルのような離散型モデルでは、必ずといってよいほど地域をゾーンに分割して適用を行っているが、そのゾーン分割の妥当性について考察する必要がある。その際、情報量基準からのアプローチ¹³⁾は参考になると思われる。

6) ゾーンを決めると次にゾーンの代表属性を決めなければならない。例えば、本モデルでは、ゾーン毎の「地価」を用いているが、ゾーンの代表地価とは何か、またそれはどのように決定されるべきかについて、理論的な研究が必要である。

【謝辞】

本研究を進めるにあたり、特にデータに関して広島市都市計画課の木原康男氏を始めとする広島市の関係各氏に協力を頂いた。ここに記して感謝したい。

【注釈】

法定容積率による制限が効いてくる場合、利潤関数は以下ようになる。

$$\pi_1 = R_1 \cdot \bar{Q}_1 - P_1 \cdot \frac{\bar{Q}_1}{\mu_1} - I \cdot \bar{K}_1 \quad (31)$$

このとき、確かに

$$\frac{\partial \pi_1}{\partial R_1} = \bar{Q}_1 \quad (32) \quad - \frac{\partial \pi_1}{\partial P_1} = \bar{L}_1 \quad (33)$$

となっており、Hotellingの補題は成立している。

また以上のことから、(29)(30)式も成立することが確認できる。

【参考文献】

- 1) Anas, A : Residential Location Markets and Urban Transportation., Academic Press, 1982.
- 2) 宮本和明：ランダム効用及び付値分析に基づく土地利用モデルの札幌都市圏への適用，土木計画学研究・講演集12 1989.
- 3) 上田孝行：拡張された立地余剰を用いた一般均衡モデル，土木計画学研究・論文集10, 1992.

- 4) 中村英夫・林良嗣・宮本和明：広域都市圏土地利用モデル,土木学会論文集 第309号,1981.
- 5) 林良嗣・土井健司・奥田隆明：外部経済効果を考慮した、都市交通改善がもたらす開発利益の帰着分析モデル,土木学会論文集 第407号,1989.
- 6) 文世一・小林潔司・吉川和広：商業地再開発の規模と構成に関するモデル分析,土木学会論文集 第401号,1989.
- 7) M.Fujita・M.Kashiwadani：Testing the Efficiency of Urban Spatial Growth., Journal of urban economics 25,1989.
- 8) Henderson,J.V. 折下功訳：経済理論と都市,勁草書房,1987.
- 9) 文世一：デベロッパーの行動に基づいた市街地変化モデル,土木計画学研究・論文集8,1990.
- 10) Varian,H.R.佐藤隆三、三野和雄訳：ミクロ経済分析,勁草書房,1986.
- 11) 森杉壽芳・大野栄治・松浦郁雄：地価を内生化した住宅立地モデル,地域学研究 第18巻,1987.
- 12) 宮城俊彦・小川俊幸：共役性概念に基づくロットモデルのパラメータ推定法 土木計画学研究・論文集3,1986.
- 13) 玉川英則：土地利用比率の同質性から見た最適メッシュ規模に関する考察,第22回日本都市計画学会学術研究論文集,1987.