

わが国における近年の土地利用モデル に関する統合フレームについて

上田孝行¹・堤 盛人²

¹正会員 博士(工学) 東京工業大学助教授 大学院理工学研究科国際開発工学専攻 (〒152-8552 目黒区大岡山2-12-1)

²正会員 博士(工学) 東京大学講師 大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 (〒113-8656 文京区本郷7-3-1)

本研究は土木計画学の分野において80年代後半から開発・適用が試みられてきた5個の土地利用モデルを取り上げ、その共通の理論的基盤を統合フレームとなるモデルとして示す。その上で、各モデルが統合フレームのモデルにおける関数型を特定化することで導出されることを示し、各モデルの特徴について比較を行っている。それにより、各モデルのサブモデルを組み合わせることによって新たな土地モデルが統合フレームの枠組みの中で構成できることを明らかにしている。

Key Words : land-use model, multiple market equilibrium, unified framework, programmability, logit model

1. はじめに

(1) 問題意識

わが国の土木計画分野においては、70年代後半から80年代前半にかけて精力的に土地利用モデルの開発(例えば、中村他(1981,1983)^{1), 2)}が進められ、その適用実績も多く蓄積されてきた(Brotchie et al(1988)³⁾など参照)。当時のモデル開発に当たっては、それらに先行して欧米で開発されていたモデルがベースとなっているものの、わが国の各モデルはそれぞれに特徴を有している。そして、理論的構造や概念についての各モデルの相互関係は必ずしも明確ではなかった(例えば、河野・氷鉈(1981)⁴, 佐々木(1984)⁵における指摘を参照)。青山(1984)⁶では、当時にいたるまでの各種土地利用モデルの開発経緯と特徴についての Overview を記述しているが、そこからも、土地利用モデルをめぐる状況がまさに大袈裟に言えば百家争鳴とも言える状況であったことが伺える。

そのような時期を経て、80年代後半からは、わが国で開発が進められた土地利用モデルには、筆者の見る限りいくつかの共通の方向が見て取れる。その第一は、交通需要予測において既に定着・普及しつつあった離散選択行動モデル、具体的にはロジットモデルを導入することである。この点に関しては、Anas(1982)⁷の影響也非常に大きい。そして、第二は、わが国におけるモデル開発として不可欠と言える土地市場のモデル化を明示

的に行っていることである。そして、第三に、これらの二つの点を理論的に整合したフレームでモデル化するために、都市経済学の理論、あるいはより一般性を持つ多市場同時均衡理論さらには一般均衡理論に立脚しようとする方向である。このような方向は、モデルの実際の政策立案への応用を念頭においた場合、二つの背景があったと思われる。一つには、モデルの経済学的な意味解釈を充実させて説得力を増し、かつ、様々な立地要因を明示的に取り込むという必要性があったことである。もう一つには開発利益還元制度の検討・導入への関心が土地帰着便益を明示的に計量可能なモデルを指向させたことであったと考えられる。しかし、このような共通方向が見て取れるにも関わらず、各モデルを説明した論文では依然としてモデル相互間の共通特性と差異についての明示的な議論が乏しいとの印象を受けるのは筆者のみではないと思われる。"では、これらの土地利用モデル相互間の共通特性と差異(個別的特徴)を明らかにする必要はないであろうか。"

これへの回答は、土地利用モデルと並行してわが国の土木計画学分野において積極的に開発されてきた交通モデルの方へ目を転じれば明らかであると思われる。わが国の交通モデル研究も、土地利用モデルと同様に先行していた欧米のモデルをベースにして進められてきたことは周知の通りである。現在でも交通モデルを扱った研究は土木計画学分野の大半を占めており、交通計画の

実務においてもモデルの適用は定着している。需要・パフォーマンス均衡の概念に基づく統合配分手法などの理論的に精緻化されたモデルも、実務への普及は完全ではないものの、その考え方は多くの専門家に受け入れられている。このような状況が実現している最も大きな理由は、筆者が考える範囲では、各モデルが Wardrop 原則や Beckmann 型均衡問題に代表される理論的枠組みを共有しており、かつ、そのもとでモデル相互間の関係を明らかにすることに大きな努力が払われてきたことにあると思われる。翻って、土地利用モデルに関しては、上述のようにそれらの努力が十分ではなく、そのため、土地利用モデルに取り組もうとする新規研究者が行う自主学習に大きな困難が生じ、かつ、計画実務側からの土地利用モデルへの理解を狭いものとし、それらが相まってわが国での土地利用モデルの発展・普及がスローダウンしていると思われる。このように考えると、本質的には上記のような共通方向を有すると思われるにも関わらず相互関係が未だ不明確な複数の土地利用モデルを取り上げ、それらを統合的な理論フレームの中で位置づけることにより、各モデルの共通特性と差異をここで明らかにすることは十分に意義があると言える。

(2) 本研究の目的とアプローチ

本稿は、前節のような問題意識に基づき、80年代後半以降に土木計画学分野において開発された5つの土地利用モデルを取り上げる。そして、それらのモデルが共通して依拠することができる統合フレームとして、それらを多市場同時均衡の立場から構築される土地利用モデルを定式化する。そのフレームに基づいて、各モデルが共通して有している理論的特性と個別の差異を明らかにすることを目的としている。

本稿は以下のように構成されている。まず最初に、上記の統合フレームとしての土地利用モデルを定式化する。具体的には、1) 空間経済システムに登場する経済主体とその合理的需要・供給行動およびロジットタイプの立地選択行動、2) 土地・建物市場における需給均衡と空間経済システム全体での立地均衡、を一般性を持った関数により定式化する。次に、そのフレームを用いて、取り上げた各モデルの特徴を考察する。すなわち、フレームに登場する各関数の形式を特定化することにより、取り上げた5つのモデルのそれぞれが誘導されることを示す。また、共通の特性を論じる際には、後述する理由により、取り上げるモデルの中でランダム効用とランダム付け値の両方を同時に用いたモデルについては、理論的な観点からいくつかの問題点があると考えられるため、筆者が理解する範囲内で各モデルの意図に沿いながら、それらのモデルのオリジナルに対して代替的な形式を提示して、それを採用することによって各モデルがフ

レームに統合化されうることを示す。

無論、ここで取り上げるモデルは、土地利用モデルの世界的な開発状況から見れば、きわめてわずかな一部でしかない。しかし、前節に述べたような開発上の共通方向を本質的に有しているものとしては、それらのモデルは一つのグループをなし得る。また、いずれもわが国の都市域に対して実際に適用された実績を有している。従って、これらのモデルは今後の計画実務へ普及していく可能性が最も大きく期待されるモデルであり、これら5つのモデルを対象として統合化の方向を探ることは意義があると思われる。当然、今後わが国で開発されていく土地利用モデルや海外のそれも射程に入れ、さらに一般性をもった統合的フレームを模索していくことは必要であり、本稿はそのための中間ステップでもあると考えている。

(3) 取り上げるモデルとその選定理由

本稿で取り上げる土地利用モデルは、次の基準で取り上げた。

A. 土木計画学分野の研究者を中心として開発されたもの。

B. 立地主体総数を一定として、ロジットモデルによる立地配分を行うもの。

C. 土地市場または建物市場を明示的に取り込み、多市場同時均衡理論に立脚するもの。

D. わが国のいづれかの都市圏を対象として適用された実績を有するもの。

これらの基準で以下の5つのモデルを議論の対象とする。

• K-MODEL	柏谷(1986) ⁸⁾ Kashiwadani・Ogura(1987) ⁹⁾
• MOM-MODEL	森杉・大野・宮城(1991) ¹⁰⁾ 大野(1993) ¹¹⁾
• HDO-MODEL	林・土井・奥田(1990) ¹²⁾ 林・土井(1989) ¹³⁾
• RURBAN-MODEL	Miyamoto・Kitazume(1990) ¹⁴⁾ Miyamoto et al(1993) ¹⁵⁾
• UNHT-MODEL	Ueda・Nakamura・Hiratani・ Tsustumi(1993) ¹⁶⁾ 平谷・中村・堤・上田(1993) ¹⁷⁾ 上田(1995) ¹⁸⁾

2. 統合フレームの定式化

(1) 定式化に際しての前提

本稿で示す統合フレームとしてのモデルは、以下のよ

うな主な前提に基づき定式化される。

- A. モデルで対象としている地域は複数のゾーンに分割されている。ゾーンはそれぞれ同じ土地属性や経済社会属性を有すると見なせ、かつ、その中で建物・土地地代が唯一に定義されている範囲として設定される。従って、モデルは離散的空間モデルである。
- B. 対象する地域に立地する立地者は、その属性に応じて複数のタイプに分類されており、各タイプ毎の総立地者数は外的に与えられている。すなわち、都市経済学で言う Closed City の想定に従ったモデルである。
- C. 各ゾーン毎に土地市場または建物床市場が形成されている。同じ属性の土地は代表的土地所有者に所有されており、そこから供給され、また、建物床も代表的な開発者によって供給される。
- D. 立地者は、立地する各ゾーンにおいて、効用を最大にするように土地(建物床)を消費し、かつ、最も高い効用が達成できるゾーンへと立地しようとする。ただし、その際には、不確実性を伴うため、立地行動は確率的選択行動として表される。
- E. 各ゾーンの開発者と土地所有者はそれぞれ利潤が最大になるように土地または建物の供給を行う。ただし、土地供給行動には、立地行動と同様に不確実性を伴うため、確率的な供給として表される。
- F. 立地が均衡した状態は、どの立地者ももはや立地ゾーンを変更してもそれ以上高い効用を達成できる可能性がなくなった状態として定義される。また、土地市場または建物床市場の均衡は、集計需要と集計供給が一致して清算された状態として定義される。

(2) 変数・関数の定義

まず、本稿でのモデルの定式化に際して必要な変数と関数について以下のように定義しておく。

$i \in \{1, \dots, I\}$: ゾーンを表す添字

$k \in \{1, \dots, K\}$: 立地者タイプを表す添字

$m \in \{1, \dots, M\}$: 土地所有者を表す添字(定義から土地の属性グループも意味する)

$(i \in \mathbf{I}_m$: 代表的土地所有者 m が土地を所有しているゾーンを表す添字の集合

$$\bigcup_k \mathbf{I}_m = \{1, \dots, I\}, \text{ and } \mathbf{I}_m \cap \mathbf{I}_{m'} = \emptyset \text{ for all } m \neq m'$$

$(i \in \mathbf{I}_k$: 立地者タイプ k が立地選択可能なゾーンを表す添字の集合

$$\bigcup_k \mathbf{I}_k = \{1, \dots, I\}$$

$N_{ki} \in \mathbb{R}_+$: 立地者タイプ別・ゾーン別の立地者数

$N_k = [N_{k1}, \dots, N_{kI}] \in \mathbb{R}_+^I$: 立地者タイプ k についてのゾーン別の立地者数 N_{ki} からなるベクトル

$$N_{kT} = \sum_i N_{ki} \in \mathbb{R}_+$$

$N = [N_1, \dots, N_K] \in \mathbb{R}_+^{K \times I}$: 立地者タイプ別の立地者数ベクトル N_k からなるモデル全体の立地分布ベクトル

$R_i \in \mathbb{R}_+$: ゾーン i における建物床地代

$R = [R_1, \dots, R_I] \in \mathbb{R}_+^I$: 各ゾーン における建物床地代 R_i からなる床地代ベクトル

$P_i \in \mathbb{R}_+$: ゾーン i における土地地代

$P = [P_1, \dots, P_I] \in \mathbb{R}_+^I$: 各ゾーン における土地地代 P_i からなる土地地代ベクトル

$E_i \in \mathbb{R}^G$, $E_i \in \mathbb{R}_+^G$: ゾーン i における外的な立地場所属性(G 項目からなる)を表すベクトル

$E = [E_1, \dots, E_I]$: ゾーン i における外的な立地場所属性 E_i からなる立地場所属性ベクトル

$e_i = e_i(N) \in \mathbb{R}_+^H$: ゾーン i において立地分布 N に依存して内的に決まる立地場所属性(H 項目からなる)を表すベクトル、すなわち、外部性を表す項

$e = [e_1, \dots, e_I]$: ゾーン i において立地分布 N に依存して内的に決まる立地場所属性(H 項目からなる)を表すベクトル e_i からなるベクトル

$\alpha_k = [\alpha_{k1}, \dots, \alpha_{kH}]$: 立地者タイプ k の立地魅力度を規定するパラメータのベクトル

$\alpha = [\alpha_1, \dots, \alpha_K]$: 各立地者タイプの立地魅力度を規定するパラメータのベクトル α_k からなるベクトル

$Q_i \in \mathbb{R}_+$: ゾーン i における 集計建物床供給量

$Q = [Q_1, \dots, Q_I] \in \mathbb{R}_+^I$: 各ゾーン i における集計建物床供給量 Q_i からなるベクトル

$L_i^D \in \mathbb{R}_+$: ゾーン i における集計土地需要量

$L^D = [L_1^D, \dots, L_I^D] \in \mathbb{R}_+^I$: 各ゾーン i における集計土地需要量 L_i^D からなるベクトル

Z_i : ゾーン i における 集計建物床需要・供給量を規定する外生変数からなるベクトル

$Z = [Z_1, \dots, Z_I]$: 各ゾーンにおける 集計建物床需要・供給量を規定する外生変数ベクトル Z_i からなるベクトル

$L_i^S \in \mathbb{R}_+$: ゾーン i における 集計土地供給量

$L_m \in \mathbb{R}_+$: 土地所有者 m の土地所有量

$L^S = [L_1^S, \dots, L_I^S] \in \mathbb{R}_+^I$: ゾーン i における 集計土地供給量 L_i^S からなるベクトル

W_i : ゾーン i における 集計土地供給量を規定する外生変数からなるベクトル

$W = [W_1, \dots, W_I]$: 各ゾーンにおける集計土地供給量を規定する外生変数ベクトル W_i からなるベクトル

$V_{ki} = V(R_i, e_i, E_i, \alpha_k, Y_k)$: 立地者タイプ k がゾーン i において享受する立地魅力度(間接効用)

$V_k = [V_{k1}, \dots, V_{kI}] \in \mathbb{R}_+^I$: 立地者タイプ k についてのゾーン別の立地魅力度 V_{ki} からなるベクトル

$V = [V_1, \dots, V_K] \in \mathbb{R}_+^{K \times I}$: 各立地者タイプ 別の立地魅力度ベクトル V_k からなるモデル全体での立地魅力度ベクトル

$\pi_i^D = \pi^D(R_i, P_i, Z_i, \beta)$: ゾーン i における 代表的開発者の利潤

$\beta = [\beta_1, \dots, \beta_{H''}]$: 代表的開発者の建物床生産技術を表すパラメータからなるベクトル

$\pi_m^L = \pi^L(P_m, W_m, \gamma)$: 代表的土地所有者 m の利潤

$\gamma = [\gamma_1, \dots, \gamma_{H''}]$: 代表的土地所有者の選好を表すパラメータからなるベクトル(各ゾーン共通)

P_m : I_m に属す添字のゾーンについての土地地代からなるベクトル

$q_{ik} = q(Y_k, R_i, e_i, E_i, \alpha_k)$: 立地者タイプ k に属する個々の立地者がゾーン i において消費する土地(建物床)面積

Y_k : 立地者タイプ k の立地者の所得

$MVI(Y_k, R_i, e_i, E_i, \alpha_k)$: 立地者タイプ k の立地者がゾーン i に立地した場合の所得の限界効用

$a_{ki} = \frac{N_{ki}}{N_{kT}} = a(V_k, \theta_k; i)$: 立地者タイプ k の立地者のゾーン i に対する立地選択比率

$N_{ki} [= N_{kT} a_{ki} = N_{kT} a(V_k, \theta_k; i)] = N_{kT} a(V_{k1}, \dots, V_{kI}, \theta_k; i)$: 立地選択比率と立地者数の関係

$S(V_k, \theta_k)$: 立地者タイプ k の立地選択比率を表すロジットモデルにおける期待最大効用関数(満足度関数)

θ_k : 立地者タイプ k の立地選択比率を表すロジットモデルにおけるパラメータ

$\theta = [\theta_1, \dots, \theta_K]$: 立地者タイプ別のロジットモデルにおけるパラメータ θ_k からなるベクトル

なお、 \mathbf{R} は実数全体の集合を表し、 \mathbf{R}_+ は正の実数全体の集合を、 \mathbf{R}^n は n 次元ベクトル全体の集合を表す。ただし、表記が複雑になるのを避けるため、次元数が明らかな場合やその変数の値域が実数全体をとる場合には、特にそれを明示しておらず、それ以外の場合のみ変数が属す集合を明示している。

(3) 統合フレームのモデル構造

a) 立地者の土地(建物床)消費行動

立地者は、立地したゾーンにおいて、予算制約のもとで土地(建物床)価格と立地場所属性を所与として効用を最大にするように土地(建物床)消費量を選択する。その結果として達成される効用の水準(間接効用)を立地魅力度と呼ぶ。ミクロ経済学における通常の効用最大化行動の定式化では、その目的関数としていわゆる直接効用関数を与え、それから間接効用関数を導出するが、Varian(1992)¹⁹⁾に示されているような直接効用関数と間接効用関数の間の双対性に着目すれば、直接効用関数を特定化することと間接効用関数を特定化することは等しい。従って、立地者の選好を表現する際に直接効用関数あるいは間接効用関数のいづれを用いても差し支えない。そのため、ここでは、間接効用関数としての性質を満足する立地魅力度が定義できるものとし、それを以

て立地者の最適土地(建物床)消費行動を表現する。

b) 立地選択行動

立地者は前記の各ゾーンにおける立地魅力に応じて立地選択を行う。それは、次のような数理最適化問題を基礎として、それから導出されるロジットモデルにより表されるものとする。これは、宮城・小川(1985)²⁰⁾の意味において立地者タイプ別のグループとしての効用最大化行動を表すと解釈し得るものであり、また、効用の不確実性がガンペル分布に従う場合の危険回避者の期待効用最大化行動とも解釈できるものである。

$$\begin{aligned} S(V_k, \theta_k) &= \max_{a_{ki}} \sum_{i \in I_k} \left\{ a_{ki} V_{ki} - \left(\frac{1}{\theta_k} \right) a_{ki} (\ln a_{ki} - 1) \right\} \\ \text{s.t. } & \sum_{i \in I_k} a_{ki} = 1 \end{aligned} \quad (1)$$

これから、周知の以下の満足度関数と立地選択比率が求められる。

$$S(V_k, \theta_k) = \left(\frac{1}{\theta_k} \right) \ln \left\{ \sum_{i \in I_k} \exp(\theta_k V_{ki}) \right\} \quad (2)$$

$$a_{ki} = \frac{\exp(\theta_k V_{ki})}{\sum_{i' \in I_k} \exp(\theta_k V_{ki'})} \quad (3)$$

立地者行動を確定的な選択行動として表現する場合は、上の数理最適化問題において、パラメータ θ_k が十分に大きい場合に相当し、いわゆるエントロピー項が無視できる場合になる。

c) 均衡条件

モデルにおける均衡は、次のような条件式からなる連立方程式の解として定義される。

立地均衡条件

$$\begin{aligned} a_{ki} &= \frac{\exp(\theta_k V(Y_k, R_i, e_i(N), E_i, \alpha_k))}{\sum_{i' \in I_k} \exp(\theta_k V(Y_k, R_i, e_{i'}(N), E_{i'}, \alpha_k))} \\ \text{for all } i &\in \{1, \dots, I\} \text{ and} \\ \text{for all } k &\in \{1, \dots, K\} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} N_{ki} &= N_{kT} a_{ki} \\ \text{for all } i &\in \{1, \dots, I\} \text{ and} \\ \text{for all } k &\in \{1, \dots, K\} \end{aligned} \quad (5)$$

建物市場の清算条件

$$-\sum_{k \in I_i} N_{ki} a_k q(Y_k, R_i, e_i, E_i, \alpha_k) + Q(R_i, P_i, Z_i, \beta) = 0 \\ \text{for all } i \in \{1, \dots, I\} \quad (6)$$

ただし、 $k(i \in I_i)$ は、 i を要素として含む集合のラベル k を意味する。

土地市場の清算条件

$$L_i^S(P_m, W_m, \gamma) - L^D(R_i, P_i, Z_i, \beta) = 0 \\ \text{for all } i \in \{1, \dots, I\} \text{ and } m \in \{1, \dots, M\} \quad (7)$$

市場の清算条件は、各ゾーン毎に定義され、それらが同時に満たされる状態として均衡が定義されるため、このモデルは、多市場同時均衡の概念に基づいていることになる。なお、 P_m はベクトルであるが、 P_i はスカラであることに注意されたい。

(4) 均衡の Programmability

均衡問題をそれに対応した数理最適化問題に変換して解くことができるという性質をここでは Programmability と呼ぶことにする。すなわち、均衡条件を表す方程式(不等式)が数理最適化問題の一階の条件と一致し、両者をそれぞれ解いても同一の解が得られるという性質である。この性質は、交通均衡配分モデルにおける Beckmann の定式化による数理最適化問題の解と Wardrop 原理による均衡解が一致するというよく知られた対応と同じである。この対応が均衡解の探索を効率化するという点で積極的に活用されるのと同様に、土地利用モデルにおいても有用である。多市場同時均衡の理論的フレームにおいては、ある条件のもとでは、多市場同時均衡が社会的総余剰の最大化と等価であること (Varian(1992), 上田(1992)²¹⁾ が示されている。従って、ここで示した統一フレームのモデルの均衡もある条件のもとでは Programmability の性質を有し、均衡解の探索にそれを活用することが可能である。

しかしながら、Programmability の性質自体は、上に述べたようにある条件のもとで満たされるものであり、その条件は、市場を介しない外部性が存在しないこと、すなわち、1)立地余剰関数に直接に含まれる立地分布に依存した要因が内生的に変化しないこと($e_i(N) = \bar{e}_i$)であり、また、2)立地者毎に所得の限界効用が一定($MVI(\bullet) = \overline{MVI}_k$)と見なせることが必要である。(たとえば、直接効用関数がある財について線型に書ける(準線型効用関数の場合など。)この場合には、以下のような形

式の総余剰最大化問題により、立地配分と土地価格・建物床価格の均衡解が得られる。

$$SW(E, \bar{e}, Z, W, \alpha, \theta, \beta, \gamma) = \min_{R, P} \sum_{k=1}^K \frac{N_{ki}}{MIV_k} \cdot S(V_k, \theta_k) \\ + \sum_{i=1}^I \pi^D(R_i, P_i, Z_i, \beta) + \sum_{m=1}^M \pi^L(P_m, W_m, \gamma) \quad (8)$$

この数理最適化問題の一階の条件を求め、以下のような Roy の恒等式、Hotelling の補題、そして、ロジットモデルの満足度関数の性質を用いれば、求めた一階の条件はゾーン別・タイプ別の立地者数も内生化した上で、土地市場と建物市場における清算条件に一致する。

$$-\sum_{k \in I_i} N_{ki} a(V_{ki}(\cdot), V_{kl}(\cdot), \theta_k; i) q(Y_k, R_i, \bar{e}_i, E_i, \alpha_k) \\ + Q(R_i, P_i, Z_i, \beta) = 0 \\ \text{for all } i \in \{1, \dots, I\} \quad (9)$$

$$L_i^S(P_m, W_m, \gamma) - L^D(R_i, P_i, Z_i, \beta) = 0 \\ \text{for all } i \in \{1, \dots, I\} \quad (10)$$

ただし、ここで、以下の性質を用いている。

Roy の恒等式

$$\frac{\partial V(\bullet)}{\partial R_i} = -\overline{MVI}_k \cdot q(R_i, \bar{e}_i, E_i, \alpha_k) \quad (11)$$

Hotelling の補題

$$Q_i = Q(R_i, P_i, Z_i, \beta) = \frac{\partial \pi^D(R_i, P_i, Z_i, \beta)}{\partial R_i} \quad (12)$$

$$L_i^D = L^D(R_i, P_i, Z_i, \beta) = -\frac{\partial \pi^D(R_i, P_i, Z_i, \beta)}{\partial P_i} \quad (13)$$

$$L_i^S = L_i^S(P_m, W_m, \gamma) = \frac{\partial \pi^L(P_m, W_m, \gamma)}{\partial P_i} \quad (14)$$

満足度関数の性質

$$a_k = a(V_k, \theta_k; i) = \frac{\partial S(V_k, \theta_k)}{\partial V_k} \quad (15)$$

都市活動の相互連関が一層強くなり、また、都市環境の改善保全が重要な政策課題として一層強く認識され

Table 1 Comparison of zone setting

Model	Label for zone	Label of zone for locator to locate	Label of zone for landowner to supply land
Unified Framework	i	I_k	I_m
K-MODEL	$i = (k, m) \in \{(1,1), \dots, (K, M)\}$	$I_k = \{(k,1), \dots, (k, M)\}$	$I_m = \{(1,m), \dots, (K,m)\}$
MOM-MODEL	$i = m \in \{1, \dots, M\}$	$I_k = \{1, \dots, M\}$	$I_m = \{m\}$
HDO-MODEL	$i = (k, m) \in \{(1,1), \dots, (K, M)\}$	$I_k = \{(k,1), \dots, (k, M)\}$	$I_m = \{(1,m), \dots, (K,m)\}$
RURBAN-MODEL	$i = (k, m) \in \{(1,1), \dots, (K, M)\}$	$I_k = \{(k,1), \dots, (k, M)\}$	$I_m = \{(1,m), \dots, (K,m)\}$
UNHT-MODEL	$i = m \in \{1, \dots, M\}$	$I_k = \{1, \dots, M'\} \subset \{1, \dots, M\}$	$I_m = \{m\}$

ている現在においては、外部性を内生化した分析は不可欠である。この立場からは、Programmability を活かすことは断念せざるを得ないと一見思われるが、実は、外部性を内生化したモデルの場合にも、依然として Programmability の性質は解の探索に有用な場合もある。外部性に関する変数として組み込んだ立地分布についてはそれを一旦は固定した上で上記の問題を解き、その解が一旦は固定した立地分布に収束して一致するまでこのプロセスを繰り返すことにより均衡解を探索するという方法が可能である。このプロセスの中の子問題において、Programmability の性質は有用である。無論、外部性の性質によっては均衡解が存在しない場合や解が一意でない場合もあり、さらにこのような解法の収束性等についてもより詳細な検討が必要である。なお、この方法の基本的考え方は、変分不等式の解法の一つ(Naguamy(1994)²⁾として提案されているのと同じである。

3. 各モデルにおけるゾーン設定の考察

各モデルの基本的構造の特徴はゾーンの設定に見ることができ、また、それは土地利用モデルにおいて土地供給における用途・供給量等に関する制約条件をどのように想定するかという問題に関わってくる。Table 1 は各モデルにおけるゾーン設定を統合フレームのモデルにおけるゾーンのラベルに対応させて整理したものである。

K-MODEL, HDO-MODEL, RURBAN-MODEL は同じ構造のゾーン設定を行っていると解釈できる。これらの原モデルでは土地属性を同じくする範囲をゾーンとしているが、統合フレームのモデルでは一つの土地(建物)市場が成立してそこで一つの土地(建物床)価格が存在している範囲をゾーンとして定義している。これらのモデルは同じ属性を持った土地であっても立地者タイプ毎に取り引きする際の土地価格が異なっているため、統合フレームに対応させると、立地者タイプと土地所有者の組み合わせ (k, m) 毎にゾーンが設定されていると見

ることができる。従って、この考え方からは一つのゾーンは同じ土地属性を有している土地の集まりではあるが、地上の物理的に捉えられたある範囲の地区と必ずしも対応せず、あくまでもモデルに登場する経済主体にとっての選択肢としてしか意味を持たない。ただし、実際には同じ土地属性を有する地区の中に異なるタイプの立地者が立地しているという状況は表現される。すなわち、 $I_m = \{(1,m), \dots, (K,m)\}$ となっているため、 m というラベルの土地所有者は (k, m) というラベルで表されたゾーンの土地市場へ土地を供給している。原モデルにおけるゾーンは I_m に含まれるラベルのゾーンを一つにまとめたものをゾーンと取り扱っていると言える。これらの 3 モデルの元来の意図は同じ属性を有する土地に異ったタイプの立地者が立地しようとして立地競合が生じることを明示的に取り扱おうとしたものである。しかし、原モデルでは同じ土地属性を有する土地に対して異なったタイプの立地者は異なった価格で土地を需要しているため、市場における一物一価の原則が成立していない。そこで、統合フレームでは一つの土地価格が成立する範囲をゾーンの単位とするように設定している。

MOM-MODEL と UNHT-MODEL は同じ土地属性を持つゾーンに対しては一つの土地価格が成立するようにゾーンが設定されており、同じゾーンに異なったタイプの立地者が混在している場合にはどのタイプの立地者も同じ土地価格で土地を需要していることになる。従つてこれらのモデルでは一物一価の原則が成立している。

4. 立地者行動に着目した各モデルの特徴の考察

立地者の行動モデルは大きくは土地(建物)の消費(生産)行動を反映する最適消費行動と立地選択行動に分けられる。後者については本稿で取り上げたどのモデルもロジットモデルによる同一の形式を有している。前者については、統合フレームでは最適消費(生産)の結果達成される間接効用(利潤)関数として一般化されているが、各モデルの原モデルはその関数形を特定化したもので

Table 2 Comparison of Location attractiveness function and Individual demand function

MODEL	Location attractiveness function (Indirect utility or profit)	Individual demand for space (land or floor)
Unified Framework MODEL	$V_{ki} = V(Y_k, R_i, e_i, E_i, \alpha_k)$	$q_{ik} = q(Y_k, R_i, e_i, E_i, \alpha_k)$
K-MODEL	$V_{ki} = \phi(e_i, E_i, \alpha_k) - R_{ki}$	$q_{ik} = 1$
HDO-MODEL	$V_{ki} = \phi(e_i, E_i, \alpha_k) - R_{ki} \bar{q}_{ki} + \ln\left(\frac{L_i}{\bar{q}_{ki}}\right)$	$q_{ik} = \bar{q}_{ik}$ (= exogenous)
MOM-MODEL	$V_{ki} = \phi(e_i, E_i, \alpha_k) - \rho_k \ln R_i + \varphi_k \ln Y_k$ (ρ_k is specific to each k)	$q_{ik} = \rho_k \frac{Y_k}{R_i}$
RURBAN-MODEL	$V_{ki} = \phi(e_i, E_i, \alpha_k) - \rho \ln R_i + \varphi_k \ln Y_k + \ln\left(\frac{L_i}{q_{ki}}\right)$ (ρ is identical for all k)	$q_{ik} = \rho \frac{Y_k}{R_i}$
UNHT-MODEL	$V_{ki} = \phi(e_i, E_i, \alpha_k) + \int_{R_i}^{R_{max}} \min\{0, a - bs\} ds$	$q_{ik} = a - bR_i$

あり、また、土地(建物)消費量の可変性の扱いについて相違が見られる。これの観点から各モデルの特徴を整理したのが Table 2 である。

まず第一に間接効用関数の設定については、MOM-MODEL と RURBAN-MODEL はコブ・ダグラス型の効用関数を採用しており、効用は通常のミクロ経済学における取り扱いと同様に無次元量で表されている。それに対して、K-MODEL、HDO-MODEL、UNHT-MODEL は間接効用がそのまま貨幣タームで表される形式を採用している。すなわち、これは間接効用関数が所得について線形(直接効用関数が合成財について線形)である場合であり、このような形式の効用関数は準線形効用関数と呼ばれる。このような関数のもとでは、消費者余剰が直接的に間接効用関数の一部になり、特に UNHT-MODEL では建物床サービスを消費することによる消費者余剰がいくつかの項の線形和として表される間接効用関数の中の一つの項となっている。準線形効用関数を用いることの利点の一つは、それが直接に立地者の余剰を表しているため、その変化をもって直ちに便益とすることができるのである。すなわち、等価的偏差や補償的偏差などの定義による便益に比べて計測が容易である。もう一つの利点は、後述するような Programmability の性質が成立するために重要な役割を果たすことである。これについても関連する節において詳述する。

次に、土地(建物)消費量の可変性についての各モデルを比較する。土地消費量については K-MODEL と HDO-MODEL では外生的に固定されており、個々の立地者の行動から内生的に決定される構造にはなっていない。MOM-MODEL、RURBAN-MODEL は立地者の最適化行動から土地需要関数が導出されている。しかし、それらの 4 つのモデルは建物床面積の消費については明

示的に扱っていない。土地消費面積を外生とする K-MODEL と HDO-MODEL ではそれと同時に各土地区画の建物床面積を外生的に与えている解釈される。MOM-MODEL と RURBAN-MODEL は土地消費面積は可変であるが、建物床面積はモデルでは明示的に扱われておらず、しかも、効用関数には直接的に土地消費面積が変数として取り込まれているため、土地面積に比例して建物床面積が消費されると解釈せざるを得ない。従って、Table 2 でもそれらのモデルのオリジナルにおける土地需要量はそのまま建物床面積への需要を表しているものと解釈して整理している。このような想定が採用されている理由として、第一に、土地利用モデルが先駆的に開発されてきた欧米においては建物と土地が一的な不動産として取り引きされ、土地需要と建物床需要を分離してモデル化することに積極的な意義が乏しかったと考えられる。第二に、我が国においては建物床に関するデータが十分には整備されておらず、それをモデルで考慮することが一般には非常に困難であったと考えられる。UNHT-MODEL だけは建物床市場を明示的にモデル化しているため、立地者は建物床を需要し、土地は開発者によって需要されるとしている。立地者の建物床に対する需要は立地者の効用最大化行動と整合的に定義されており、モデル内で内生的に決定される。

土地消費量の可変性を考慮することは長期的な分析においては重要であり、また、都市郊外部での新規開発が予想されるような地域での分析の場合には必要性が高い。また、建物床消費量の可変性を考慮することは土地の高度利用が促進されるような場合や容積率規制の政策効果を分析する場合には必要である。特に、我が国においては容積率の上限まで建物床が実現していない地区が多く見られ、それらの高度化を促進するための様

Table 3 Comparison of Aggregate supply for land

MODEL	Aggregate supply for land
Unified Framework MODEL	$L_i^S = L^S(P, W, \gamma; i)$
K-MODEL	$L_{ki}^S = \frac{\exp(\gamma R_{ki})}{\sum_{k=1}^K \exp(\gamma R_{ki})} L_m \quad \text{for } i \in I_m$
HDO-MODEL	$L_{ki}^S = \frac{\exp(\gamma R_{ki} + \ln N_{ki})}{\sum_{k=1}^K \exp(\gamma R_{ki} + \ln N_{ki})} \cdot L_m \quad \text{for } i \in I_m$
MOM-MODEL	$L_i^S = \bar{L}_i^S (= \text{exogenous})$
RURBAN-MODEL	$L_{ki}^S = \frac{\exp(\gamma \ln R_{ki} + \ln N_{ki})}{\sum_{k=1}^K \exp(\gamma \ln R_{ki} + \ln N_{ki})} \cdot L_m \quad \text{for } i \in I_m$
UNHT-MODEL	$L_i^S = \frac{1}{1 + \exp\{-\gamma(P_i' - \delta P_{i-1}') + \varepsilon\}} \cdot (\bar{L}_i - L_i^{t-1}) + L_i^{t-1}$

々な施策の効果を分析する上で建物床を明示したモデルを用いるべき場面は多いと考えられる。

5. 土地・建物供給行動に着目した各モデルの特徴の考察

K-MODEL, HDO-MODEL, RURBAN-MODEL ではランダム付け値理論によってある同一の属性を有した土地が複数のタイプの立地者に対してそれぞれ供される確率を定義している。

付け値関数は、各タイプの立地者が同一の属性を持つ土地に対して提示する価格タームでの支払い意志額として表現されたものであり、立地者の選好のみから導出される。しかし、それだけでは立地均衡や土地市場における裁定条件として完結しない。すなわち、土地所有者が最も高い価格を提示した主体に対して、自ら有している土地がある種の最適化行動（土地供給により得られる地代収入最大化行動）にしたがって供給することにより初めて最大付け値が実現される。しかし、付け値を関数として表現する際に立地者の効用関数の情報が用いられるため、付け値理論そのものが立地者行動であるとの誤解が生じてきた面が否めない。事実、これらのモデルでは、実現される最大付け値を土地所有者者の土地供給行動の結果であるとは明示的に位置づけてはいない。これに対して本稿では、結果として実現される最大付け値が土地所有者の最適行動を反映したものであることを明示的に捉えるものとする。それによって、他のモデルと同様に統合フレームに含み得るものとする。これらの

モデルにおいて採用されているランダム付け値理論はロジットモデルによる土地供給行動に帰着している。そこで、既に示した立地選択行動の最適化問題による定式化と同様に、土地所有者の効用・利潤最大化行動としてみたランダム付け値概念は以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} \pi_m^L &= \max_{L_i} \sum_{i \in I_m} \left[B(R_i, Z_i) \left(\frac{L_i}{L_m} \right) - \left(\frac{1}{\gamma_i} \right) \left(\frac{L_i}{L_m} \right) \left(\ln \left(\frac{L_i}{L_m} \right) - 1 \right) \right] L_i \\ \text{s.t. } & \sum_{i \in I_m} L_i = L_m \end{aligned} \quad (16)$$

ただし、K-MODEL と HDO-MODEL では、

$$B(R_{(k,m)}, Z_m) = R_{(k,m)} + \ln N_{kT} \quad (17.a)$$

オリジナルの RURBAN-MODEL では、

$$B(R_{(k,m)}, Z_{(k,m)}) = \ln R_{(k,m)} + \ln N_{kT} \quad (17.b)$$

しかし、利潤関数と整合的に供給関数が定義されるため、すなわち、可積分条件が満たされたためには、K-MODEL や HDO-MODEL と同じ(17.a)の形式でなければならない。MOM-MODEL では土地供給量がノーン別に外生的に与えられており、土地所有者の行動は明示的には取り扱われていない。ただし、MOM-MODEL では資産選択行動

Table 4 Aggregate supply for floor and demand for land

MODEL	Aggregate supply for floor	Aggregate demand for land
Unified Framework MODEL	$Q_i = Q(R_i, P_i, Z_i, \beta)$	$L_i^D = L^D(R_i, P_i, Z_i, \beta)$
K-MODEL	$Q_i = L_i^D h_i L_i$ (h_i is specific to each i)	$L_i^D = h_i L_i$ (h_i is specific to each i)
HDO-MODEL	$Q_i = L_i^D h_i L_i$ (h_i is specific to each i)	$L_i^D = h_i L_i$ (h_i is specific to each i)
MOM-MODEL	$Q_i = L_i^D h_i L_i$ (h_i is specific to each i)	$L_i^D = h_i L_i$ (h_i is specific to each i)
RURBAN-MODEL	$Q_i = L_i^D h_i L_i$ (h_i is specific to each i)	$L_i^D = h_i L_i$ (h_i is specific to each i)
UNHT-MODEL	$Q_i = \beta_0 \beta_1 R_i^{\beta_1-1} P_i^{\beta_1-1}$	$L_i^D = \beta_0 \beta_2 R_i^{\beta_2} P_i^{-\beta_2-1}$

に着目した土地供給行動のモデル化が試みられており、それを MOM-MODEL に組み込むことが意図されていたかも知れない。

UNHT-MODEL は土地供給は立地者に対して行われるのではなく、建物床を供給する開発者に対して行われるという想定になっている。これについては次に説明していくが、UNHT-MODEL は適当に区切られた期間毎に静学均衡が成立するとして、土地供給のメカニズムは前期までに供給された土地に加えて本期に残存する供給可能面積の一部が新規に供給されるという構造になっている。残存している土地を本期は供給しないで留保することと、本期の新規供給にあてるこの間の選択を2項選択ロジットモデルで表現している。そして、残存土地面積が減少していくにつれて、前期までの供給分と本期の供給分を合わせた土地供給量が利用可能面積(初期の残存土地面積)に近づき、土地供給量が非弾力的になっていくように定式化されている。以上のような各モデルにおける土地供給関数は Table 3 のようにまとめられる。

建物床の供給については、UNHT-MODEL 以外のモデルでは考慮されてないため、それらのモデルでは建物床供給量は土地供給面積に比例していると暗黙に仮定されていると解釈される。従って、それらのモデルに仮に開発者が導入されて土地投入量に比例して建物床を供給していると解釈すれば、Table 4 のような開発者の建物床供給と土地(要素)需要関数が想定されていると見なすことができる。

UNHT-MODEL の建物床供給は開発者が土地と資本を投入して利潤最大化行動に基づいて建物床を生産して供給しているものとしてモデル化されている。この行動は通常のミクロ経済学における生産・供給行動をその

まま採用しており、特段にそれ以上の工夫がなされている訳ではないため、これ以上の説明は行わない。

以上のような考え方から従って、各モデルの建物床の供給関数と土地需要関数は Table 4 のように整理される。

6. 均衡条件と Programmability に着目した各モデルの特徴の考察

(1) 均衡条件と付け値概念

本稿の統合フレームでは、土地市場・建物床市場はゾーン毎に需給均衡が成立しており、多市場同時均衡の構造になっている。それら以外の財・要素についての均衡は考慮していないため、ミクロ経済学における通常的一般均衡モデルとは異なり、いわゆるワルラス法則は成立していない。しかし、複数の連関した競争的な市場が同時に均衡しているという意味ではワルラス均衡と類似の構造をしていると言える。

MOM-MODEL と UNHT-MODEL はこの構造を明示的に採用しているが、それら以外のモデルは土地(建物)の需給均衡をモデル化するに当たって付け値概念を採用しているため、新都市経済学におけるアロンゾ型の均衡概念に基づいていると考えられる。しかし、付け値概念を用いることは確定的均衡の場合に解析的に均衡解を求める際には有効であるが、ランダム付け値理論ではその長所は一般には発揮されない。既に示したように、ランダム付け値理論を用いた土地需給均衡は統合フレームの多市場同時均衡の構造の中に取り込むことができる。

Table 5 Comparison of Programmability

MODEL	Mathematical Programming
Unified Framework MODEL	$\min_{R, P} \sum_{k=1}^K \frac{N_{kT}}{MIV_k} \cdot S(V_k(\cdot), \theta_k) + \sum_{i=1}^I \pi^D(R_i, P_i, Z_i, \beta) + \sum_{m=1}^M \pi^L(P_m, W_m, \gamma)$
K-MODEL	$\min_{R_k} \sum_{k=1}^K N_{kT} \left(\frac{Y_k}{\varphi_k} \right) \cdot V_k^{\max} + \sum_{m=1}^M L_m \left(\frac{1}{\gamma} \right) \ln \left\{ \sum_{i \in I_m} \exp(y R_i + \ln N_{kT(i \in I_m)}) \right\}$ $s.t. \quad V_k^{\max} = \max_{N_k} \sum_{i \in I_k} (\phi(\bar{e}_i, E_i, \alpha_k) - \rho R_{ki} + \varphi_k \ln Y_k) N_{ki}$ $s.t. \quad \sum_{i \in I_k} N_{ki} = N_{kT}$
HDO-MODEL	$\min_{R_k} \sum_{k=1}^K N_{kT} \left(\frac{Y_k}{\varphi_k} \right) \left(\frac{1}{\theta_k} \right) \ln \left[\sum_{i \in I_k} \exp \left\{ \theta_k (\phi(\bar{e}_i, E_i, \alpha_k) - \rho R_{ki} + \varphi_k \ln Y_k) + \ln L_{mT(i \in I_m)} \right\} \right]$ $+ \sum_{m=1}^M L_m \left(\frac{1}{\gamma} \right) \ln \left\{ \sum_{i \in I_m} \exp(y R_i + \ln N_{kT(i \in I_m)}) \right\}$
MOM-MODEL	$\min_{R_k} \sum_{k=1}^K N_{kT} \left(\frac{Y_k}{\varphi_k} \right) \left(\frac{1}{\theta_k} \right) \ln \left[\sum_{i \in I_k} \exp \left\{ \theta_k (\phi(\bar{e}_i, E_i, \alpha_k) - \rho R_{ki} + \varphi_k \ln Y_k) \right\} \right]$ $+ \sum_{m=1}^M \sum_{i \in I_m} R_i L_m$
RURBAN-MODEL	$\min_{R_k} \sum_{k=1}^K N_{kT} \left(\frac{Y_k}{\varphi_k} \right) \left(\frac{1}{\theta_k} \right) \ln \left[\sum_{i \in I_k} \exp \left\{ \theta_k (\phi(\bar{e}_i, E_i, \alpha_k) - \rho \ln R_{ki} + \varphi_k \ln Y_k) + \ln L_{Ti} \right\} \right]$ $+ \sum_{m=1}^M L_m \left(\frac{1}{\gamma} \right) \ln \left\{ \sum_{i \in I_m} \exp(y R_i + \ln N_{kT(i \in I_m)}) \right\}$
UNHT-MODEL	$\min_{R_i, P_i} \sum_{k=1}^K N_{kT} \left(\frac{1}{\theta_k} \right) \ln \left[\sum_{i \in I_k} \exp \left\{ \theta_k (\phi(e_i, E_i, \alpha_k) + \int_{R_i}^{R_{\max}} \min\{0, a - bs\} ds) \right\} \right]$ $+ \sum_{i=1}^I \beta_0 R_i^{\beta_1} P_i^{-\beta_2} + \sum_{m=1}^M \sum_{i \in I_m} \left[(\bar{L}_i - L_i^{t-1}) \left(\frac{1}{\gamma} \right) \ln \left\{ \exp(y P_i) + \exp(y P_i^{-1}) \right\} + P_i L_i^{-1} \right]$

(2) ランダム効用とランダム付け値の両者を同時に用いたモデルの問題点について

ランダム効用理論とランダム付け値理論を同時に採用しようとする HDO-MODEL と RURBAN-MODEL の着想は、立地者側の不確実性と土地所有者側の不確実性の両方をモデルに反映させようとするものであると解釈できる。経済均衡モデルの一般的な立場として、需要者と供給者はそれぞれ独立の行動規範に従って行動し、それが集計需要・供給に反映されて市場価格を通してそれぞれの行動にフィードバックされるという構造になっている。しかし、それらの 2 モデルでは立地者の効用関数をランダム効用理論で用いながら、ランダム付け値理論において再度その効用関数の情報を用いて付け値関数を導出して用いている点で、需要者行動と供給者行動の両方に同じ効用関数を反映させている。需要者と供給

者が独立の経済行動主体であると見なせない。従って、それらのモデルでは通常の経済均衡モデルから見た場合に、それと同じ意味での均衡概念を用いているのか、あるいはそれ以外のどのような均衡概念を用いているのか、判然としていない。

ランダム効用とランダム付け値の両者を同時に用いたモデルの問題点については、本稿の付録においてその問題点の一つを示しておく。

(3) Programmability から見た各モデルの特徴の考察

Programmability の性質が持つ有用性は既に説明した通りであるが、各モデルのオリジナルにおいては、K-MODEL, HDO-MODEL, UNHT-MODEL はそれが検討されているが、他のモデルでは行われていない。Programmability についての捉え方は各モデルで幾分異なる

っており、K-MODELではエントロピーモデルタイプの最適化問題からロジットタイプのランダム付け値理論による立地配分が導出されている。HDO-MODELではランダム効用理論とランダム付け値理論を一つの二重制約型のエントロピーモデルに統合し、それを最適化問題として解いている。また、宮城・小川(1985)で示された共役性理論を用いてそれと等価な別の形式の最適化問題も導出している。UNH-T-MODELはVarian(1992)に示されている社会的総余剰の最大化問題と多市場同時均衡の等価性に着目して、それにロジットモデルのログサム関数の特性を組み合わせて、立地選択を含む多市場同時均衡問題を社会的余剰の最大化問題として定式化している。これは既に上田(1992)で示されたものを土地利用モデルとして書き改めたものである。

ランダム効用理論とランダム付け値理論の両方を同時に用いたモデルには既に述べたような問題点があるため、それらのモデルを本稿の統合フレームと整合するように解釈した上で、各モデルに対応する最適化問題をTable 5にまとめてある。

7. おわりに

本稿では、わが国において近年開発されてきた土地利用モデルを取り上げ、それらを包含する統合フレームを示し、その特定化された形式として取り上げた各モデルを位置づけ、それを通じて各モデルの特徴を明らかにした。しかしながら、実際の土地利用分析の作業において、どのモデルを用いるのが適当であるかは、言うまでもなく、その分析の意図、適用地域の特性、データ利用の可能性、作業労力等を勘案して決められるべきである。場合によっては、本稿で示した統合フレームの範囲内であれば、例えば、あるモデルの立地者行動モデルと別のモデルの土地所有者の土地供給行動モデルを組み合わせて新たなモデルとして組み立てることが可能であり、言い換えれば、モデルをワンセットで選ぶだけではなく、パーツ毎に選んで組み合わせて適用するという方法が実現しうる。そのような場合にこそ、個々に選んだパーツの組み合わせが、理論的に整合しうることを保証する基礎として、本稿で示した統合フレームが意義をもつものと考えている。

本稿で取り上げた土地利用モデルが統合フレームに包含されるということは、逆に、統合フレームとして示したモデルの問題点・限界がそのまま各モデルに共通するそれらであると言える。同時にそれらは今後のわが国における土地利用モデル研究の方向を意味するものもあるので、ここで若干ふれておく。まず、第一は、動学化の方向である。本稿で取り上げたモデルも、将来の複数時点に適用し、それぞれの時点において静態均衡が

成立しているとすれば、その解を追跡することで土地利用変化を見かけ上は動的に分析することができる。また、海外で開発されたものも含めて土地利用モデルにはタイムラグを先駆的に入れて動学モデルとしているものもある。しかし、それらの方向は経済主体の行動モデル、あるいはミクロ経済学的基礎が明示的に動学化されていないという意味で問題がある。そのため、モデルに登場する経済主体がある時間視野のもとで最適行動を行うことを明示的に取り扱う必要がある。第二には、均衡概念そのものの問題であり、不均衡現象の表現を行うことである。動学化と関連して、立地変更や土地区画変更に伴う調整費用を明示するなどして不均衡現象の生じる原因をモデルに導入して、それによる現象再現性のテストを積み重ねる必要がある。これらの2点は、取り組むのが極めて困難な課題であるが、土地利用モデルのドラスティックな発展を目指す限りは避けられない課題である。

本稿での各モデルに対する解釈は、言うまでもなく、筆者単独の理解に基づくものである。従って、それらの解釈に理論的な誤りや誤解が含まれているとすれば、それは全て筆者が責を負う。その意味で、現在あるいは今後において土地利用モデルの開発に携わる研究者、あるいは同様の理論的な基盤を有する交通モデルの研究者から、幅広く本稿に対してご批判を頂き、本研究のフレームのさらなる改良に結びつけることができればと考えている。とりわけ、ここで取り上げた各モデルの開発者から誌上あるいは学会等の場で直接にご批判頂ければ筆者にとって今後の研究を進める上で何よりの刺激である。

ここで取り上げた各モデルにおいて、関連する他のモデルとの相互関係についての議論が十分でなかったと見る筆者の立場からは、共通の理論的基盤を模索することこそ最重要課題であることを再度強調しておきたい。本稿で示したフレームが一つのたたき台となつていれば幸いである。

謝辞： 本稿をまとめるにあたり、それぞれのモデルの開発者である柏谷増男(愛媛大学)、林良嗣(名古屋大学)、土井健司(東京工業大学)、宮本和明(東北大学)、森杉壽芳(東北大)の各先生方には、多忙な中、議論に応じて頂き貴重なコメントを頂いた。ここに記して心から謝意を表したい。ただし、これらの先生方とは必ずしもモデルの解釈等において合意した訳ではなく、また、議論に応じて頂いた時点から、筆者らの解釈も大きく異なっており、本稿にはさらに議論重ねるべき点が多数あることを断つておく。また、細部にわたるまで注意深く原稿に目を通し、多くの指摘を下さった匿名の査読者の方々にも、

この場を借りて謝意を表したい。無論、本稿の見解と含まれる誤りについては筆者のみが責任を負っている。

付録

RURABN-MODELにおいてランダム効用理論とランダム付け値理論を同時に用いることの問題点

通常の効用最大化問題は次のように定式化される。

$$V(R_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) = \max_{z, q} u(z_{ki}, q_{ki}, Q_i, \sigma_k) \quad (\text{A1.a})$$

$$\text{s.t. } z_{ki} + R_{ki}q_{ki} = Y_k - T_{ki} \quad (\text{A1.b})$$

ここで、

$V(\cdot)$: 間接効用関数

$u(\cdot)$: 直接効用関数

Y : 所得

z : 合成財消費量

q : 土地消費量

R : 土地地代

T : 交通費用

σ : 立地者の選好を表すパラメータ

Q : 環境水準ベクトル

k : 立地者のタイプを表すラベル

i : ノーンを表すラベル

効用最大化問題から次のような需要関数が導出される。

$$q_{ki} = q^V(R_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) \quad (\text{A2.a})$$

$$z_{ki} = z(R_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) \quad (\text{A2.b})$$

都市経済学において伝統的に用いられる付け値関数は次のように定義される。

$$B_{ki} = B(V_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) = \max_{z, q} (Y_k - T_{ki} - z_{ki}) / q_{ki} \quad (\text{A3.a})$$

$$\text{s.t. } u(z_{ki}, q_{ki}, Q_i, \sigma_k) = V_{ki} \quad (\text{A3.b})$$

この最適化問題から付け値関数と整合的な土地需要関数が同時に導出される。

$$\begin{aligned} q_{ki} &= q^B(V_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) \\ &= q^V(B_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) \end{aligned} \quad (\text{A4})$$

都市経済学における確定論的均衡では、どの立地場所においても、どの立地者タイプにおいても、付け値が各立地場所毎の土地市場の均衡価格に一致しており、

$$B_{ki} = R_{ki} \quad (\text{A5})$$

このとき、実現している土地需要を効用最大化から得られる需要関数(A2.a)で考えても、付け値最大化から得られる需要関数(A4)で考えても両者は一致する。

$$\begin{aligned} q_{ki} &= q^V(B_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) \\ &= q^V(R_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) \end{aligned} \quad (\text{A6})$$

効用関数と付け値関数については次の関係が成立つ。

$$V_{ki} = V(R_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) \quad (\text{A7.a})$$

$$B_{ki} = B(V_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) \quad (\text{A7.b})$$

そして、確定論的な均衡の定義として、

$$V_{ki} = V_k = \max\{V_{k1}, \dots, V_{kl}\} \quad \text{for } N_{ki} > 0 \quad (\text{6.a})$$

$$R_{ki} = R_i = \max\{R_{i1}, \dots, R_{il}\} \quad \text{for } L_{ki} > 0 \quad (\text{6.b})$$

このとき、以下が成立つ。

$$V_{ki} = V(R_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) = V(R_k, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) = V_k$$

$$B_{ki} = B(V_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) = B(V_k, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) = R_i$$

土地需要について、実現している土地需要を効用最大化から得られる需要関数(A2.a)で考えても、付け値最大化から得られる需要関数(A4)で考えても両者は一致する。

$$\begin{aligned} q_{ki} &= q^B(V_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) = q^V(B_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) \\ &= q^V(R_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) = q^V(R_i, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) \end{aligned} \quad (\text{A6})$$

一方、RURBAN-MODEL では、その想定している均衡において(都市経済学における確定的均衡との関係で見てどのような均衡概念であるかは判断しないが)、立地場所(ゾーン i)に立地している任意の立地者(タイプ k)を取り上げたとき、その効用関数に入る土地市場均衡価格はログサム関数で次のように定義されている。

$$R_i^* = \left(\frac{1}{\beta} \right) \ln \left\{ \sum_{k \in k} \exp(\beta R_{ki}) \right\} \quad (A8)$$

付け値関数に入る立地者の均衡効用水準も、ログサム関数で次のように定義されている。

$$V_k^* = \left(\frac{1}{\alpha} \right) \ln \left\{ \sum_{k \in k} \exp(\alpha V_{ki}) \right\} \quad (A9)$$

このとき、RURBAN-MODEL では、ゾーン i に立地しているタイプ k の立地者の効用水準とその付け値はそれぞれ以下のように定義されている。

$$V_{ki} = V(R_i^*, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) \quad (A10.a)$$

$$B_{ki} = B(V_k^*, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) \quad (A10.b)$$

しかし、一般に以下のような関係が成立する。

$$V_{ki} = V(R_i^*, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) \neq V(R_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k)$$

$$B_{ki} = B(V_k^*, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) \neq B(V_{ki}, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k)$$

さらに、土地需要についても、

$$q^B(V_k^*, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k) \neq q^V(R_i^*, Y_k - T_{ki}, Q_i, \sigma_k)$$

従って、RURBAN-MODEL では効用最大化から導出される土地需要行動と付け値最大化から導出される土地需要行動が一般には整合していない。RURBAN-MODEL では、効用関数とランダム付け値関数のパラメータの間の関係を規定する条件が土地需給が恒等的に一致するために導出されるとしている。しかし、その条件のもとで土地需給が一致するための数学的な展開は示されていないため、その条件がどの程度一般性を持っているかは判断できない。また、仮にその条件が成立するとして

も、需要者と供給者という本来は独立した経済主体に対してそれらの選好に依存したパラメータにモデルで先驗的に条件を課すことの意味は慎重に検討されなければならない。さらに、恒等的に需給が一致するための条件であるとすれば、価格メカニズムによって需給が一致するという市場モデルの特性に根本的に抵触する可能性がある。この点に関する理論的な不明さは是非とも解消されなければならない。

参考文献

- 1) 中村英夫、林良嗣、宮本和明：広域都市圏土地利用交通分析システム、土木学会論文集 No.335, pp.141-152, 1983.
- 2) 中村英夫、林良嗣、宮本和明：都市近郊の土地利用モデル、土木学会論文集 No.309, pp.103-112, 1981.
- 3) Brotchie, J. F., Echenique, M. H., Floor, H., Flowerdew, A. D. J., Hayashi, Y., Lodwick, A., Lundqvist, L., Mackett, R. L., Putman, S. H., Roy, J. R., Sharpe, R., Toda, T. and Wegener, M. : Urban Land-Use and Transport Interaction, Webster, F. V., Bly, P. H. and Pauley, N. J. eds., Avebury, 1988.
- 4) 河野博忠、氷飽陽四郎：日本における地域学－展望 II－、地域学研究 No.11, pp.221-330, 1981.
- 5) 佐々木公明：モデル推定に関する計量経済学的課題、土木計画学シンポジウム、No.18, pp.121-124, 1984.
- 6) 青山吉隆：土地利用モデルの発展過程、土木計画学シンポジウム、No.18, pp.7-16, 1984.
- 7) Anas, A. : Residential Location Markets and Urban Transportation, Academic Press, 1982.
- 8) 柏谷増男：住宅立地モデルと均衡配分理論、土木計画学研究・講演集、No.8, pp.461-468, 1986.
- 9) Kashiwadani, M. and Ogawa, M. : A hybrid multinomial logit and linear programming model for residential location projection, Papers of the Regional Science Association, Vol.63, pp.59-70, 1987.
- 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、No.425, pp.117-125, 1991.
- 11) 大野栄治：ランダム効用理論による交通便益の定義とその計測に関する研究、京都大学学位論文、1993.
- 12) 林良嗣、土井健司：交通改善に伴う通勤者の便益の土地への帰着分析モデル、土木計画学研究・論文集、No.6, pp.45-52, 1988.
- 13) 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、No.407, pp.67-76, 1989.
- 14) Miyamoto, K. and Kitazume, K. : A land use model based on random utility/rent-bidding analysis (Rurban), Selected Proceedings of the Fifth World Conference on Transport Research,

- Vol.4, pp.107-121; 1990.
- 15) Miyamoto, K., Noami, T., Kuwata, Y. and Yokozawa, K. : An evaluation method of transport projects with the aid of RURBAN Model, Selected Proceedings of the Sixth World Conference on Transport Research, Vol.1, pp.55-66, 1993.
 - 16) Ueda, T., Hiratani, K. and Tsutsumi, M. : Landuse model based on the general equilibrium of land and building markets, Proceedings of International Conference on Land Problem and Urban Policy, Kyoto, pp.183-198, 1993.
 - 17) 平谷浩三, 中村英夫, 上田孝行, 堤盛人 : 建物・土地市場を考慮した土地利用交通モデル, 土木計画学研究・講演集, No.16, pp.545-552, 1993.
 - 18) 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, 日本交通政策研究会, 1995.
 - 19) Vairan, H.R. : Microeconomic Analysis, Norton, 1992.
 - 20) 宮城俊彦・小川俊幸 : 共役性理論を基礎とした交通配分モデルについて, 土木計画学研究・論文集, No.7, pp.301-308, 1985.
 - 21) 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, No.10, pp.183-190, 1992.
 - 22) Nagurney, A : Network Economics, Kluwer Academic Publishers, 1993.

(1998. 4. 23 受付)

A UNIFIED FRAMEWORK OF LAND USE MODELS RECENTLY DEVELOPED IN JAPAN

Taka UEDA and Morito TSUTSUMI

This paper shows the unified theoretical framework of 5 land use models which have developed and applied in Japan since later 80's. It is illustrated that each model can be derived as a special case of the unified framework model with specification of functions in the unified model so that characteristics of each model should be compared with others. This study ensures that the combination of sub-models in 5 models leads to a new land use model which is consistent within the unified theoretical framework.