

効用および付け値の確率変動を考慮した土地利用

シミュレーションモデル構築の試み*

A Pilot Model of Land Use Simulation with Consideration of the Randomness of both Utility and Bid-Rent

宮 本 和 明**

By Kazuaki MIYAMOTO

1. 序 論

土地利用あるいは都市活動の地域内分布を計量的に予測するモデル、すなわち土地利用モデルは、従来から、数多くの都市地域で、また、多種多様な考え方に基づいて作成されて来ている。しかし、それらのほとんどは、かなりの大きさのゾーンを分析単位とするものであり、土地に即した分析を行うものとしては、CALUTASの局地土地利用モデル¹⁾をはじめとする、日本の数少ないモデルが挙げられるにすぎない。その理由としては、欧米に比較して、土地条件が局地的に変化すること、およびそれに起因して、小さな土地単位においてさえ、土地利用の混在が一般的であること等が挙げられよう。

本研究においては、このような土地利用にも適用可能なシミュレーションモデル、言い替えると、小さな区画を分析単位とする、土地に即した大縮尺の

土地利用モデルの作成を試みるものである。

その際、効用および付け値のランダム性を考慮することにより、新都市経済学における立地行動および都市構造を説明する理論モデルから、計量分析が可能なシミュレーションモデルの導出を試みている。本モデルの特徴は、予測モデルの構築のみならずパラメーター推定においても、立地主体の効用最大化原理に基づく立地行動と、土地における付け値を介しての立地競合とを、ランダム効用およびランダム付け値モデルを用いて、同時に考慮していることである。

このことから、本研究は、ランダム効用モデルに基づく非集計行動モデルを用いて、住宅立地行動のみを分析対象とした、著者の土木学会論文奨励賞受賞論文²⁾をより発展させたものとして位置づけられる。

なお、本研究は、理論的な展開に関しては一応の結論を得ていると考えられるが、時間的な理由から、実際のシミュレーションモデルの構築はその簡略モデルが作成されている段階にすぎない。そのため、本稿では、主として、理論展開に関して報告させていただくものである。

* キーワード：土地利用モデル、非集計行動モデル、ランダム効用理論、ランダム付け値モデル、都市活動立地

** 正会員 工博 東京大学助教授 工学部土木工学科、
アジア工科大学院（日本政府派遣教官）地盤および交通工
学部門

（〒113／東京都文京区本郷7-3-1）

2. 既存の関連研究

(1) はじめに

都市の土地利用を説明するモデルとしては、新都市経済学における、数式は用いても基本的には記述的な分析モデル (analytic model) と、実際の計量シミュレーションに用いる実用モデル (operational model) に大別される。後者は、前者の理論展開に基づくか、あるいは、それに矛盾しない新たな理論に基づいて作成されているが、一般には、両者の乖離はかなり大きいと言えよう。ここでは、それらのうち、本研究に密接な関連を有するもののみに関して、簡単に記述するものである。

(2) 新都市経済学における分析モデル

新都市経済学における、効用最大化原理、最大付け値原理に基づく個人均衡および一般市場均衡に関する基礎理論は、あるきわめて限定された条件下においては、完成されたものとみることができよう。しかし、その方法論自体が解析解を指向するものであり、複雑な実際の都市に適用可能な一般解の導出は、事実上困難であると言えよう。言い替えると、数値解を求めることが出来るようなシミュレーションモデルに変換することによりはじめて、この分析モデルは、実際問題に対しても有用なものとなりうると言えよう。

(3) 土地利用シミュレーションモデル

土地利用の計量シミュレーションを行うモデルは、林・宮本³⁾、青山⁴⁾、Foot⁵⁾および ISGLUTI⁶⁾等に表示されるとおり数多く作成されて来ている。それらは、主に変量間の統計的な関連に基づくタイプのモデルと、何らかの行動仮説に基づいて構築されるタイプのモデルに大別することもできよう。前者については、本稿の目的と離れるのでここでは触れない。後者については、Herbert—Stevens モデル⁷⁾に

代表される、簡単な経済原理に基づいて単一の目的関数の最適化を図るタイプ、CALUTAS⁸⁾に代表される、ある行動規範を設定しそれに基づいてシミュレーションを行うタイプ、そして、MEP モデル⁹⁾のように、都市経済学の理論をもとに、出来るだけ忠実にシミュレーションモデルを構築しようとするタイプに分けることもできよう。本研究は、この内の第三者に属すると考えられる。しかし、本研究においては、MEP モデルより、効用および付け値のランダム性をより明示的に表現している。

(4) ランダム効用およびランダム付け値モデル

本研究は、ランダム効用およびランダム付け値モデルに基づいている。

ランダム効用モデルあるいは離散選択モデルに基づく土地利用モデルは、交通関連のモデルに比べて多くはないが、いくつかの試みが既になされている。それらに関しては、土地利用モデルに離散選択モデルを適用する際の問題点、および、Lerman¹²⁾、林・磯部¹³⁾、Anas¹⁴⁾をはじめとする既存の研究の概要等に関して、宮本¹⁰⁾、宮本¹¹⁾において既に報告している。

また、著者が作成に関与したモデルのうち、特に、離散選択モデルを用いたものに関しては、選択肢の利用可能確率を考慮したモデルとして、宮本・宮地¹⁵⁾、住宅立地に関して、今回の論文奨励賞授賞論文である、宮本・安藤・清水²⁾および宮本・中村¹⁶⁾、工業立地に関して、宮本・中村・八木¹⁷⁾、そして、それらを統合したモデルに基づく、パーソナルコンピュータを用いた総合土地利用分析システムに関して、Miyamoto・Nakamura・Shimizu¹⁸⁾、また、発展途上国の都市における住宅市場の需給関係をも表現しようとしたモデルとして Samart・Miyamoto・Nakamura¹⁹⁾等をはじめとするいくつかの論文に、既に発表してきている。

一方、ランダム付け値モデルに関する研究としては、Ellikson²⁰⁾による基本式の導出に始まり、土地価格とのキャリブレーションをも考慮した、Larman・

Kern²¹⁾、そして、実際問題に適用した、林・中村・富田²²⁾、柏谷・小倉²³⁾らの研究が挙げられよう。

以上は、効用および付け値をそれぞれ単独に扱っているが、Miyamoto・Yagi²⁴⁾は、ランダム効用とランダム付け値を同時に考えることにより、土地市場の均衡を表現することを試みている。本稿は、この研究を発展させたものである。

3. モデル構築における前提

(1) はじめに

予測モデルにおいては、ある立地主体がある土地区画に立地する確率が中心となる。ここではこの確率を求める際の前提について整理するものである。この確率は、後に示すとおり、立地主体の立地選択を表現するランダム効用モデルと、土地区画における立地競争を表現するランダム付け値モデルのそれぞれから求められる確率の、同時確率として導かれるものである。

(2) 閉鎖都市

対象地域は、いわゆる閉鎖都市 (Closed City) と仮定する。言い替えると、分析対象の立地主体にとって、対象地域外においては、現在の立地区画より高い立地効用が得られる区画は存在しないし、また、対象地域内の各区画においては、現在の立地主体より高い付け値を付けられる主体は、対象地域外にも存在しないと仮定するものである。この仮定は、各時点において対象地域内の土地市場が均衡していると思わせるならば成立するものである。また、予測モデルを考える場合においては、対象地域内のすべての都市活動の総量を外生的に与えることに対応する。

(3) 土地市場均衡

土地利用現況の分析対象時点においては、対象地域内の土地市場は均衡していると仮定している。ま

た、予測においては、各期の初めには、地域内の需要総量および土地条件の変化に伴う不均衡状態が生ずるが、各期末には、均衡状態に到達すると仮定するものである。

ここでいう均衡状態とは、次の二つの条件を満足するものである。

まず、地域内の立地主体はすべて、現在の区画に立地していることにより最大の効用を得ていることである。これは、他の土地区画に移転立地すると仮定した場合の、移転に伴う不効用をも考慮してのことである。

次に、対象地域内のすべての土地区画においては、現在立地している主体 (空地を含む) が最大付け値を付けており、また、それが実際の地代となっていることである。なお、地価と地代との間には一定の比例関係があると仮定することにより、今後の議論は、原則として、地代を用いて行うこととする。

(4) 帰属地代

土地市場表現の簡単化のために、対象地域は仮想的に一人の大地主に所有されているものとして扱い、土地所有者は明示的には表現しない。現実には地主が自分でその土地を利用している場合は、帰属地代を自分自身に支払っているものとする。

(5) 立地主体と土地区画

基本式の誘導に際しては、まず最初は、個々の立地主体と、一筆一筆の土地区画を考える。そして、前者は、同一の効用関数を有するとみなせるものについて立地主体グループとして統合する。また、後者は、土地条件の差が無視できるとみなせるいくつかの区画をまとめて地区と呼び、その各々の区画は同一地区内のものとして無差別に扱う。

4. モデルの基本式の定式化

(1) はじめに

前章の仮定に基づいて、基本式の導出を行う。なお、ここでは、住宅立地を例に記述するが、効用関数を利潤関数として読みかえることにより、他の工業および商業業務立地に関しても同様の式の導出が原理的には可能である。

(2) 効用関数と付け値関数の導出

本研究では、次の間接対数効用関数と、対数付け値関数を基本式として考えている。これらの2式は、補足に示した展開から導出される。

$$U_{ir} = \beta_{i1} \ln Y_i + \beta_{i2} \ln T(r) + \beta_{i3} \ln H(r) - \beta_{i4} \ln R(r) + \beta_{i5} \dots \dots \dots (1)$$

$$\Psi_{ir} = \{\beta_{i1} \ln Y_i + \beta_{i2} \ln T(r) + \beta_{i3} \ln H(r) - U_i^* + \beta_{i5}\} / \beta_{i4} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、

- i : 立地主体
- r : 立地点
- U_{ir} : 立地主体 i の立地点 r における効用
- Ψ_{ir} : 立地点 r における立地主体 i の付け値
- q : 区画の広さ
- Y_i : 立地主体 i の予算
- $T(r)$: 立地点 r からの交通時間
- $H(r)$: 立地点 r 周辺の住宅地としての条件
- $R(r)$: 立地点 r の地代
- U_i^* : 立地主体 i の効用水準
- $\beta_{ir} \sim \beta_{i5}$: パラメーター

なお、このとき、立地主体 i が利用する区画面積 q は、次の式 (3) から与えられる。

$$q = \frac{\beta_{i4}}{\beta_{i1}} \frac{Y_i}{R(r)} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、地代以外の土地条件を $X(r)$ と一般的にベクトル表現することにより、式 (1), (2) は、次のように表すことができる。

$$U_{ir} = \beta_i X(r) - \alpha_i R(r) \dots \dots \dots (4)$$

$$\Psi_{ir} = \{\beta_i X(r) - U_i^*\} / \alpha_i \dots \dots \dots (5)$$

ここに、

$X(r)$: 立地点 r における土地条件ベクトル

$\{X_{r1}, X_{r2}, \dots\}$

β_i : 立地主体 i に関するパラメーターベクトル

$\{\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots\}$

α_i : 立地主体 i に関するパラメーター

(3) ランダム効用／付け値関数

ここで、上記の効用および付け値が、上記の関数から与えられる値の周りに確率変動すること、すなわち、ランダム効用およびランダム付け値を仮定すると、以下のように表現される。

$$RU_{ir} = U_{ir} + \epsilon_{ir} \dots \dots \dots (6)$$

$$R\Psi_{ir} = \Psi_{ir} + \xi_{ir} \dots \dots \dots (7)$$

ここに、

$RU_{ir}, R\Psi_{ir}$: ランダム効用およびランダム付け値

U_{ir}, Ψ_{ir} : 効用および付け値の確定項

ϵ_{ir}, ξ_{ir} : 効用および付け値の確率変動項

一方、前章における仮定から、立地主体 i が地点 r に立地しているということは、立地主体 i は立地点 r において最大効用を得ているのと同時に、地点 r における最大付け値は立地主体 i が付けていることとなる。このことを考慮すると、立地主体 i が地点 r に立地する確率 $f(i, r)$ は、次の同時確率を表す式で表現される。

$$\begin{aligned} f(i, r) &= \text{Prob} [U_{ir} \geq U_{ir'}; r' \neq r \text{ for all } r' \text{ and } \\ &\quad \Psi_{ir} \geq \Psi_{ir'}; i' \neq i \text{ for all } i'] \\ &= \text{Prob} [U_{ir} + \epsilon_{ir} \geq U_{ir'} + \epsilon_{ir'}; r' \neq r \text{ for } \\ &\quad \text{all } r' \text{ and } \Psi_{ir} + \xi_{ir} \geq \Psi_{ir'} + \xi_{ir'}; i' \neq i' \\ &\quad \text{for all } i'] \\ &\dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

ここで、効用および付け値の確率変動項に対して、それぞれ、パラメーター (λ, η) , (μ, ω) をもつ、独立で、同じ分布型のガンベル分布を仮定すること

により、二つのロジットモデルから求められる確率の同時確率を与える式が導かれる。

$$f(i, r) = \int_{-\infty}^{\infty} g(\epsilon_{ir}) \left[\prod_{\substack{r' \\ r' \neq r}} \int_{-\infty}^{\infty} g(\xi_{ir'}) d\epsilon_{ir'} d\xi_{ir'} \right] \exp(\lambda U_{ir}) \cdot \frac{\exp(\mu \Psi_{ir})}{\sum_{r'} \exp(\lambda U_{ir'}) \cdot \sum_{i'} \exp(\mu \Psi_{ir'})} \quad (9)$$

ここに、

$$g(\epsilon) = \lambda \exp\{-\lambda(\epsilon - \eta)\} \exp[-\exp\{-\lambda(\epsilon - \eta)\}] \quad (10)$$

$$g(\xi) = \mu \exp\{-\mu(\xi - \omega)\} \exp[-\exp\{-\mu(\xi - \omega)\}] \quad (11)$$

(5) 立地主体グループおよび地区の規模に関する考慮

以上の展開においては、個々の立地主体と一筆一筆の区画を想定しているにすぎない。しかし、実際の適用を考える際には、3.(5)で述べたように、立地主体および区画に関して、それぞれ、立地主体グループおよび地区に統合して考える必要がある。そして、また、立地主体グループ間、および、地区間の規模の違い、すなわち、それぞれに属する個々の立地主体の数、および、地区の面積の相違は、それぞれの選択における利用可能性に影響するものである。それらの影響は、Ellikson²⁰⁾、Ben-Akiva・Gunn・Silman²⁵⁾らの考えに基づき、以下のように、効用および付け値の確定項に調整変数を加えることにより処理することができる。以後、 i および r をそれぞれ

立地主体グループおよび地区を表すものとして、

$$U_{ir} = \{\beta_i X(r) - \alpha_i R(r)\} + \ln S_{ir} \quad (12)$$

$$\Psi_{ir} = \{\beta_i X(r) - U_i^*\} / \alpha_i + \ln T_{ir} \quad (13)$$

ここに、

i : 立地主体グループ

r : 地区

S_{ir} : グループ i に属する主体にとっての、地区 r 内の利用可能区画数

T_{ir} : 地区 r に立地を指向する、グループ i に属する主体数

まったく新たに開発されるような地域における初期状態としては、これら二つの変数 S_{ir} 、 T_{ir} は、それぞれ、各地区の総面積を式(3)の単位区画面積で除すことにより与えられる区画数、および、各立地主体グループの全主体数とみなすことができる。しかし、均衡時点においては、前者は、現況の立地主体グループ i の地区 r 内の利用区画数、後者は、地区 r 内のグループ i に属する立地主体数となり、同一のものとなると考えられる。現状のこれを n_{ir} と表す。後述するように、予測モデルにおいては、このことを利用することにより均衡解を見いだすことができる。

また、この調整変数を導入した式は、立地主体および土地区画の統合段階を一般的に表すものと考えられる。すなわち、式(12)、(13)を、式(9)に代入したものは、土地利用決定に関する、一般的な確率式と見なすことができよう。

一方、立地主体グループの規模と地区の大きさが立地者選択および立地点選択に影響を及ぼすことは、GEVモデルの前提²⁶⁾に抵触するものである。また、式(9)において、同時確率を考えることは、一方が他方の選択肢の利用可能確率を表現することとなり、これもGEVの仮定を満たさないものである。この点については、実用上は大きな問題とはならないが、理論的にはつめる必要があるかもしれない。

5. パラメーターの推定方法

(1) はじめに

効用および付け値関数のパラメーター推定は、通常のロジットモデルで用いられる最尤推定法を応用して行うことができる。

(2) 尤度関数

尤度関数は、対象地域内の土地利用パターンが生起する同時確率として次の式で定義することができる。

$$L' = \prod_{i,r} f(i, r)^{n_{ir}} \quad \dots\dots\dots (14)$$

ここに、

i : 立地主体グループ

r : 地区

n_{ir} : 地区 r 内に立地するグループ i に属する立地主体数

式 (14) の対数を取り、ランダム効用とランダム付け値の分散パラメーター λ と μ との比を分散比として ν と表すことにより、次の対数尤度関数が得られる。

$$L = \sum_{i,r} n_{ir} \nu U_{ir} - \sum_{i,r} n_{ir} \ln \sum_r \exp(\nu U_{ir}) + \sum_{i,r} n_{ir} \Psi_{ir} - \sum_{i,r} n_{ir} \ln \sum_{i'} \exp(\Psi_{i'r}) \quad \dots (15)$$

ここに、

ν : 分散比 ($\Sigma \lambda / \mu$)

パラメーターの推定は、式 (15) を最大化することにより原理的には求めることができる。しかし、この対数尤度関数は、常に凸関数であるとは言えないことから、求められた解が広域最適解であるという保証はない。

そこで本研究では、まず、効用関数および付け値関数それぞれ単独に、通常のロジットモデルと同様の推定を行う。次に、式 (3)、(4) から与えられる、両者のパラメーター間の関係をもとに、逐次計算の初期値を求める。そして、その周辺の最適解を求めることにより、最終的なパラメーターの推定値とみなしている。

(3) 地価式の推定

上述の推定から求められる付け値関数は、実際の地価、あるいは地代とのキャリブレーションがなされていないことから、単なるモデル上の関数に過ぎない。このキャリブレーションの方法としては、Lerman・Karn²¹⁾の方法も考えられるが、実際には、非常に困難である。そこで、本研究では、以下の方法を用いている。

本研究では、地価は地区内の代表地価を採用することから、それに対応するモデル指標は、地区内のそれぞれの立地主体の付け値関数の最大値の期待値、いわゆるログサム関数とみなすことができる。すなわち、

$$E\{\max_i \Psi_{ir}\} = \ln \sum_i \exp\{\Psi_{ir}\} \quad \dots\dots\dots (16)$$

一方、パラメーター推定時においては、地価データのみが利用できることと、地価と地代は一定の線形関係があると仮定していることから、実際のシミュレーションモデルにおいては、地価にキャリブレートされた値を、地代の代理指標として用いる。ここで、付け値関数はもともと対数付け値関数であったことから、

$$\begin{aligned} L_p(r) &= a \exp[E\{\max_i \Psi_{ir}\}] + b \\ &= a \exp[\ln \sum_i \exp\{\Psi_{ir}\}] + b \\ &= a \sum_i \exp\{\Psi_{ir}\} + b \quad \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

ここに、

$Lp(r)$: 地区 r 内の代表地価 (観測値)

a, b : パラメーター

実際の地価データとキャリブレートした式 (17) を、モデルの地代 $R(r)$ を表す式として用いる。

6. シミュレーションモデルの構築

(1) はじめに

予測モデルは、以上により求められたランダム効用、および、ランダム付け値関数に基づいて構築される。

予測モデルは、準動学モデルである。すなわち、一定期間の初めに、立地主体グループごとの立地需

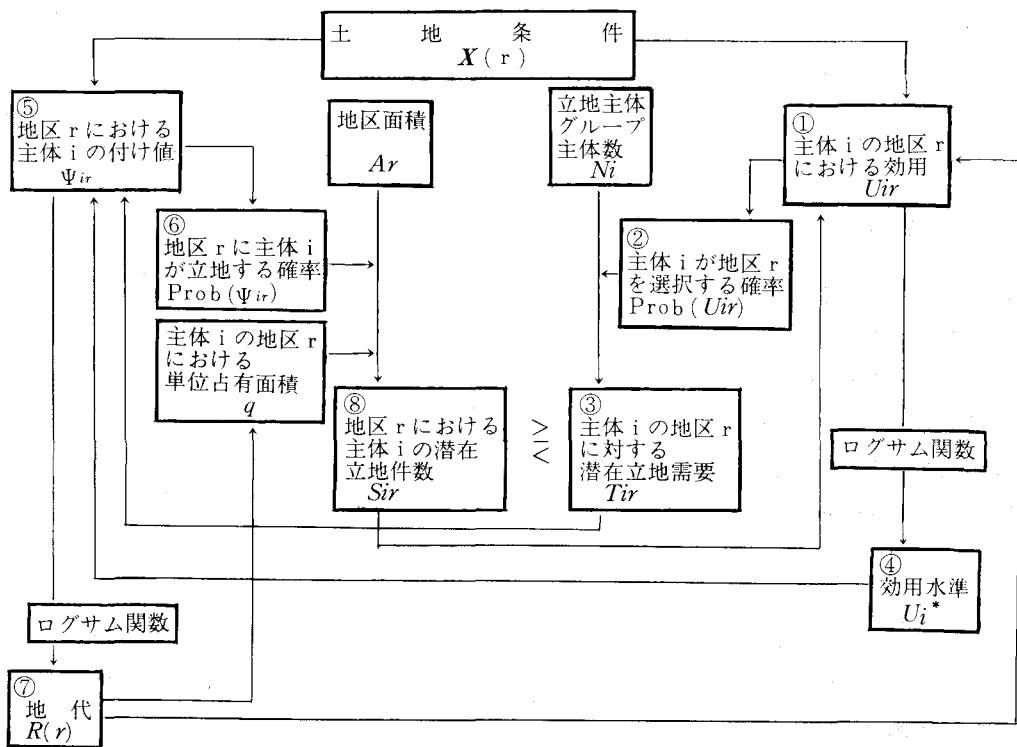
要の総量および土地条件の変化が与えられ、そして、その期末には、その条件下での均衡状態に達すると仮定するものである。そして、その期間内においては、時間に対する考慮はなされない。

また、予測における初期状態においても、土地市場は均衡しているものと仮定する。また、その時の各地区における均衡地代は所与とする。

政策変数は、効用関数および付け値関数に含まれる変数に影響を与えるものは、すべて取り込むことができるのは言うまでもない。一般には、交通施設をはじめする産業および生活基盤施設の改良、都市計画に基づく土地利用規制等が挙げられる。

(2) 市場均衡の導出

予測モデルにおいては、以下の手順で各期の均衡状態を、求めるものである。各手順の関連について



図一 1 ランダム効用およびランダム付け値に基づく土地利用シミュレーションモデル

は、図一に示されている。

① 各立地主体グループ i の各地区 r における効用 U_{ir} を、新たな土地条件 $X(r)$ と前期の均衡地代 $R(r)$ および前期の立地実績 S_{ir} をもとに、式 (12) より求める。

② 求められた効用 U_{ir} から、各立地主体グループが各地区に立地する確率 $\text{Prob}(U_{ir})$ を求める。

③ この確率をもとに、各立地主体グループの各地区への立地潜在需要 T_{ir} を以下のように求める。

$$T_{ir} = N_i \text{Prob}(U_{ir}) \dots\dots\dots (18)$$

ここに、

T_{ir} : 地区 r における立地主体グループ i の
潜在需要

N_i : 立地主体グループ i に属する主体数

④ この時の効用水準 U_i^* を以下のログサム関数から求める。この考え方は、式 (16) を用いて、地区内の地代水準を求めるのと同様である。

$$U_i^* = E\{\max_r U_{ir}\} \\ = \ln \sum_r \exp\{U_{ir}\} \dots\dots\dots (19)$$

⑤ 各地区における各立地主体の潜在需要 T_{ir} と、各立地主体グループの効用水準 U_i^* をもとに、式 (13) より、各立地主体の付け値 Ψ_{ir} を求める。

⑥ 付け値をもとに、各地区内における、各立地主体の立地確率 $\text{Prob}(\Psi_{ir})$ を求める。

⑦ また、各立地主体の付け値から、式 (17) を用いて、各地区の代表地代 $R(r)$ を求める。

⑧ 代表地代が求められると、式 (3) から、各グループの個々の主体の占有面積 q が求められる。それと、地区面積 A_r 、および、⑥で求められた確率 $\text{Prob}(\Psi_{ir})$ から、各地区内のグループ別の潜在立地件数 S_{ir} を求めることができる。

⑨ S_{ir} と T_{ir} の差が無視できるようになるまで、①から⑧までの計算を繰り返す。 S_{ir} と T_{ir} の差

が無視できるようになるということは、立地主体グループの効用水準 U_i^* および地区の代表地価 $R(r)$ が安定することを意味する。言い替えると、土地市場が均衡に達した状態とみなすことができる。

(3) 考 察

以上に述べた予測シミュレーションモデルは、地代を介して対象地域内の土地市場の均衡状態を見いだそうとするものである。この際、初期の地代水準は前期の均衡地代として与えられている。また、総立地需要量の増加、あるいは、土地条件の改善等に起因する特定地区への潜在需要の増加等による地代の上昇機構は、ログサム関数を用いた地代関数を介することにより表現されている。また、地代水準の変化に伴う、効用水準の変化をも、ログサム関数を用いることにより表現されている。また、地代水準に合わせた個々の立地主体の土地占有面積も内生化されている。このように、ランダム効用およびランダム付け値モデルを導入することにより、新都市経済学における基礎モデルはすべてシミュレーションモデルとして表現されている。

7. パイロットモデルの適用

(1) はじめに

前章で述べたシミュレーションモデルの構築は原理的にはもちろん可能であるが、時間的な制約から、まだ、完全なモデルは完成してはいない。しかし、そのパイロットモデルとも呼ぶべき簡略モデルについては、パラメーターの推定から、一応のシミュレーションまで行っているのので、ここでは、それについて簡単に説明するものである。

対象地域としては、土地利用パターンの多様さと、最近ある程度の変化があり、また、データが入手可能であるという条件を満たすことから、千葉県柏市全域約72.4km²をとりあげた。基礎となるデータは、

細密数値情報等をもとに作成している。

(2) パラメーターの推定結果

効用および付け値関数のパラメータの推定は、5. に述べた方法をとっている。立地主体グループとしては、農業および無利用、工業、一般低層居住、密集低層居住、中高層居住、商業業務の6種類に分類した。また、地区としては、細密数値情報の10m×10mの原データを、100m×100mに統合して用いた。また、パラメーター推定においては、全7344地区から特定の用途が支配的であるものをまず選び、次いで、用途を考えたチョイススペースサンプリングにより、200地区を抽出してサンプル集合としている。この抽出は、独立に3回行い、3組のサンプル集合を作成している。また、効用関数の推定においては、各立地主体に対し、実際の立地点の他に200地区から無作為に5地区を抽出することにより代替案として

いる。また、付け値関数の推定においては、各地区において、用途指定から立地可能な主体グループすべてを代替案として扱っている。

推定結果の一例を表-1に示す。対象地域が比較的狭いことから説明変数の値に大きな差がないこともあり、当初導入を試みた変数に比べ、有意な説明変数はかなり少なくなっている。また、対象地域の規模に対して、必ずしも適切な説明変数を選んでいるとも言いきれない。パラメーターの推定に関しては、広域最適解の問題を含め、さらに検討する必要がある。

(3) シミュレーション結果

パラメーターの推定結果はいくつかあるが、そのうちの他の一例を用いて、簡単なシミュレーションモデルを構築した。それを用いて、昭和49年から54年の土地利用変化の予測計算を行ったところ、各土

表-1 ランダム効用および付け値モデルの
パラメーター推定結果の一例

変 数	立地主体	パラメーター推定値	t 値
地 価 (円/㎡)	農業および無利用	-4.70×10^{-5}	-5.09
	工 業	-4.60×10^{-5}	-1.92
	一般低層居住	-1.98×10^{-5}	-1.25
	密集低層居住	-2.80×10^{-5}	-0.59
バス停までの距離 (m)	中高層居住, 商業	-2.91×10^{-3}	-1.22
小中学校までの距離 (m)	一般低層居住	-4.15×10^{-3}	-2.91
	密集低層居住	-9.28×10^{-3}	-4.57
	中高層居住	-9.28×10^{-3}	-4.57
傾 斜 (度)	農業および無利用	-4.02	-7.80
建物密度 (%)	一般低層居住	-2.18×10^{-2}	-2.11
柏駅までの所用時間 (分)	商 業	-1.95×10^{-1}	-3.45
容積率 (%)	工業, 中高層	1.31×10^{-2}	5.06
定 数 (付け値関数)	工 業	-5.89	-7.99
分散比		5.35	3.36

注：尤度比（調整済み）=0.635

地利用変化に関して相関係数で0.8前後の結果を得ている。しかし、これについては、パラメーター推定を改良し、6.に述べた完全なモデルを用いてのシミュレーションに基づいて、改めて議論を行いたい。

8. 結 論

本研究は、土地利用モデルにランダム効用およびランダム付け値モデルを導入するという、従来のモデルとは異なる方法を用いることにより、理論モデルと実用モデルの間に一般に存在する乖離を極力小さくすることを試みたものである。

その結果、土地市場均衡に関する基礎的な理論モデルに関しては、実際のシミュレーションが可能な実用モデルとして書き換えることができた。この方法を用いると、解析モデル分析中心の都市経済学的アプローチにも、シミュレーションによる数値分析手法の適用が可能となり、分析の自由度も増えるのではないかと考えられる。

また、本モデルは、立地行動と付け値競争を同時に表現し、また、実際のシミュレーションにおける立地主体の統合段階と地区単位の大きさをも考慮できることから、従来のモデルより、より一般化されたものと見ることができよう。

なお、本研究においては、理論構築の部分に関しては、改善すべき点があるとしても、一応の結論が出ていると思われるが、パラメーターの推定、および、シミュレーションモデルの構築に関しては、十分な検討が行えているとは言えないことを明確にしておく必要がある。また、実際のモデルシミュレーションを通して、理論部分にも修正すべきところが見いだされることも考えられる。今後の課題である。

謝 辞

まず、はじめに、招待論文という光栄な場を著者にお与え頂いた、土木計画学研究編集小委員会に謝意を表したい。しかし、本稿が、そのご期待にお応えできたか否か、大いに危惧するものである。

そして、この場をかりて、東京大学中村英夫教授に深謝の意を表するものである。中村教授には、論文奨励賞授賞対象論文はもとより、本論文に至るまで、著者の行ってきた研究すべてに渡りご指導を賜ってきている。中村教授のご指導なしにはこのような場を得ることはできなかったと言えよう。

また、名古屋大学 林 良嗣助教授をはじめとする、中村教授を中心とした土地利用交通モデルに関する研究グループの各位には、その共同研究、あるいは、数え切れない議論等における成果が、著者の一連の研究に反映されていることを記し、謝意を表したい。特に、論文奨励賞授賞対象論文の共著者である、現建設省道路局 安藤 淳企画第一係長、および現東京大学 清水英範助手には、特別の謝意を表するものである。

また、本稿には、東京大学大学院八木茂樹君（現日本道路公団）および、Mr. Vallipuram Sivakumaran (Asian Institute of Technology) と共に行った研究に基づく成果を含むことを記し謝意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) 中村英夫・林 良嗣・宮本和明：都市近郊地域の土地利用モデル，土木学会論文報告集，第309号，1981年5月。
- 2) 宮本和明・安藤 淳・清水英範：非集計行動分析に基づく都市圏住宅需要モデル，土木学会論文集，No.365/IV-4，1986年1月。
- 3) 林 良嗣・宮本和明：既存土地利用モデルの概観，都市計画，Vol.104，1978年12月。
- 4) 青山吉隆：わが国の土地利用モデルのレビュー，土地利用と交通—モデルと政策シミュレーション，土木学会，1986年9月。
- 5) Foot, D.: Operational urban Models, Methuen, 1981.
- 6) ISGLUTI (ed. Webster, F. V., Bly, P. H. and Paulley, N. J.): Urban Land—Use/Transport Interaction—Policies and Models, 1987. (forthcoming)

- 7) Herbert, D. J. and Stevens, H. B.: A model for the Distribution of Residential Activity in Urban Areas, *Journal of Regional Science*, Vol. 2, 1960.
- 8) 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, 土木学会論文報告集, 第335号, 1983年7月.
- 9) Echenique, M. H.: An Integrated Land Use and Transport Model, *Transactions of the Martin Center*, 2, 1977.
- 10) 宮本和明: 土地利用モデルへの非集計分析手法の応用, 都市の土地利用モデル, 第18回土木計画学シンポジウム, 1984年7月.
- 11) 宮本和明: 立地選択モデル—非集計行動モデルの土地利用モデルへの応用, 非集計行動モデルの理論と実際, 第15回土木計画学講習会テキスト, 1984年11月.
- 12) Lerman, S. R.: Neighborhood Choice and Transportation Service, 交通システムと計画, 計画交通研究会, 1981年7月.
- 13) 林 良嗣・磯部友彦: 非集計手法を用いた工業立地のモデル化の一手法, 土木計画学研究・論文集, No.1, 1984年1月.
- 14) Anas, A.: Dynamic Forecasting of Travel Demand, Residential Location, and Land Development Policy Simulation with The Chicago Area Transportation/Land Use Analysis System, Paper Prepared for the International Symposium on New Direction in Urban Modelling, 1983.
- 15) 宮本和明・宮地淳夫: 非集計型住宅タイプ選好モデル, 都市計画(別冊)学術研究発表会論文集, 第17号, 1982年11月.
- 16) 宮本和明・中村英夫: 住宅需要予測における非集計分析手法の応用, 日本不動産学会学術講演会梗概集, 1985年10月.
- 17) 宮本和明・中村英夫・八木茂樹: 非集計行動分析を用いた立地選択分析—工業立地分析への適用, 地域学研究, No.16, 1986年11月.
- 18) Miyamoto, K., Nakamura, H. and Shimizu, E.: A Land Use Model Based on Disaggregate Behavior-
al Analyses, Selected Proceedings of the Fourth World Conference on Transport Research, May, 1986.
- 19) Samart, L., Miyamoto, K. and Nakamura, H.: The Bangkok Area Land Use — Transport Analysis System, *Proceeding of Infrastructure Planning*, No.8, January, 1986.
- 20) Ellickson, B.: An Alternative Test of the Hednic Theory of Housing Market, *Journal of Urban Economics*, No.9, 1981.
- 21) Lerman, S. R. and Kern, G.: Hednic theory, Bids rents and Willingness to Pay: Some Extensions of Ellickson's Results, *Journal of Urban Economics*, No.10, 1981.
- 22) 林 良嗣・中村英夫・富田安夫: 土地利用交通モデルを用いた郊外鉄道新線の効果分析の試み, 土木計画学研究・講演集, No.6, 1984年1月.
- 23) 柏谷増男・小倉幹弘: 住宅立地付け値関数の推定, 土木計画学研究・論文集, No.4, 1986年10月.
- 24) Miyamoto, K. and Yagi, S.: A Large-Scale Land Use Model Based on The Random Utility/Bidding Theory, *Proceedings of The International Symposium on Transport, Communication and Urban Form*, Monash University, Melbourne, August, 1987.
- 25) Ben-Akiva, M., Gunn, H. F. and Silman, L. A.: Disaggregate Trip Distribution Model, *Proc. of JSCE*, No.347/IV—1, July, 1984.
- 26) McFadden, D.: *Econometric Models of Probabilistic Choice, Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications*, MIT Press, 1981.

補足（効用関数および付け値関数の導出）

効用関数は、基本的には式（20）のコブダグラス型を仮定している。すなわち、ある立地主体 i がある区画 r に立地する効用 U_{ir} は、

$$U_{ir} = Z^{\alpha_{i1}} \cdot q^{\alpha_{i2}} \cdot T(r)^{\alpha_{i3}} \cdot H(r)^{\alpha_{i4}} \dots\dots\dots (20)$$

ここに、

Z ：合成財の消費量

$\alpha_{i1} \sim \alpha_{i4}$ ：パラメーター

ここで、式（20）の両辺の対数をとることにより、対数線形の効用関数を得ることができる。これを U_{ir} とおき、以下の展開に用いる。

$$U_{ir} = \alpha_{i1} \ln Z + \alpha_{i2} \ln q + \alpha_{i3} \ln T(r) + \alpha_{i4} \ln H(r) \dots\dots\dots (21)$$

一方、立地主体 i の予算制約式は、

$$Y_i = pZ + R(r)q \dots\dots\dots (22)$$

ここに、

p ：合成財の単位価格

そして、この式（22）の予算制約下において、式（21）の効用関数を最大化させることより、次の間接効用関数を導くことができる。

$$U_{ir} = \alpha_{i1} \ln \frac{\alpha_{i1}}{\alpha_{i1} + \alpha_{i2}} + \alpha_{i2} \ln \frac{\alpha_{i2}}{\alpha_{i1} + \alpha_{i2}} - \alpha_{i1} \ln P - \alpha_{i2} \ln R(r) + (\alpha_{i1} + \alpha_{i2}) \ln Y_i + \alpha_{i3} \ln T(r) + \alpha_{i4} \ln H(r) \dots\dots\dots (23)$$

ここで、パラメーターを簡単な形に置き換えると、式（1）となる。この時、同時に式（3）を得る。

一方、付け値関数は、次の地代を表す式（24）を、与えられた効用水準である式（25）の下に最大化するものとして、式（26）のように導出される。

$$R(r) = (Y_i - pZ) / q \dots\dots\dots (24)$$

$$U_i^* = \alpha_{i1} \ln Z + \alpha_{i2} \ln q + \alpha_{i3} \ln T(r) + \alpha_{i4} \ln H(r) \dots\dots\dots (25)$$

$$\Psi'_{ir} = \left(\frac{\alpha_{i1}}{\alpha_{i1} + \alpha_{i2}} \right)^{\left(\frac{\alpha_{i1}}{\alpha_{i2}} \right)} \cdot \left(\frac{\alpha_{i1}}{\alpha_{i1} + \alpha_{i2}} \right) \cdot e^{\left(-\frac{U_i^*}{\alpha_{i1}} \right)} \cdot P^{\left(-\frac{\alpha_{i1}}{\alpha_{i2}} \right)} \cdot Y_i^{\left(\frac{\alpha_{i1} + \alpha_{i2}}{\alpha_{i2}} \right)} \cdot T(r)^{\left(\frac{\alpha_{i3}}{\alpha_{i2}} \right)} \cdot H(r)^{\left(\frac{\alpha_{i4}}{\alpha_{i2}} \right)} \dots\dots\dots (26)$$

ここに、

U_i^* ：与えられた効用水準

Ψ'_{ir} ：立地主体 i の区画 r に対する付け値

この両辺の対数を取り、パラメーターを式（1）と同様の表現で書き換えると、式（2）が得られる。

（昭和61年度土木学会論文奨励賞受賞）