

大都市における立地主体間の競争を考慮した土地利用モデル

A LAND USE MODEL CONSIDERING THE COMPETITION OF LOCATION OF ECONOMIC ACTIVITIES IN URBAN AREA

佐佐木 綱*・朝倉 康夫**

By Tsuna SASAKI and Yasuo ASAKURA

A descriptive land use model is proposed which explicitly involves the competition of location of economic activities in urban area. The principal assumption is that urban land use pattern would be the results of the land-goods exchange in a land market. Location potential sub model estimates the measure of land value, which is the function of accessibility and environmental factor. Market Game Theory is applied in order to describe the land-goods exchange process in competition sub model. Based on the outputs of the first sub model, the land market is formulated by characteristic function. An expanded version of ϵ -Core by Linear Programming is introduced as an equilibrium solution of the game. An application of the model for Osaka city is briefly discussed.

1. はじめに

都市地域、特にわが国の大都市内部（既成市街地）の土地利用は、二次元的な集中、分散にとどまらず、三次元的な都市空間においてもダイナミックに変動を続けている。従来から、土地利用の変化の記述と予測のためにLOWRYモデルをはじめとして多くの計量的土地利用モデルが開発されてきた¹⁾。しかし、変化を引き起こす要因の多さ、要因間の因果関係の複雑さにより、変動過程の記述は容易ではなく、従来の土地利用モデルを用いた解析、予測は必ずしも十分であるとはいえない。その一因としては、都市計画上の規制を受けるにせよ、規制の範囲内ではかなり自由な土地市場が形成されているのが現実にもかかわらず、土地利用モデルにおいて土地市場を明示的に取り込むことが困難であることが挙げられる。土地市場では、土地利用主体は原則として競合関係（立地競争）にあると考えられるため、土地利用の変化の記述において、立地競争のモデル化が必要になってくる。このような視点に立った研究は、中村・林・宮本²⁾

および天野・戸田・阿部³⁾あるいは木下⁴⁾さらに著者ら^{5),6)}によって進められている。

本研究では、特に大都市内部（既成市街地）における土地利用主体間の立地競争に注目し、「現状の土地利用形態を前提とした土地市場における主体間の土地、床の獲得競争の結果、新たな土地利用形態が生ずる」との基本的仮定に基づき、立地競争を明示的に取り込んだ土地利用モデルの構築を目的とする。したがって、公共施設など土地市場の外で計画的にその立地が行われるような土地利用の変動については外生的に取り扱うものとし、立地競争の結果生じる変動に限定してモデル化を行う。

本研究においては、立地競争の記述のために、ゲーム理論を適用していることが大きな長特である。ゲーム理論は、相反する利害関係にある行動主体によって構成されている社会における人間行動の様式を理論的に究明することを目的とする理論であり、経済市場の解析に有効な手段とされている⁷⁾。土地市場は競合関係にある経済主体から構成される社会システムであるとみなすことができるので、競合プロセスのモデル化に対するゲーム理論の適用は妥当であると考えられる。

土地利用に関するゲーム理論の適用例としては、古典的な立地問題に対するゲーム理論からのアプローチに代表される立地理論における研究例^{8),9)}およびゲーミング

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学科
(〒606 京都市左京区吉田本町)

** 正会員 工修 京都大学助手 工学部交通土木工学科
(同上)

シミュレーションを用いて都市の形成過程における多様な意志決定主体の行動メカニズムを明らかにしようとする研究例¹⁰⁾を挙げることができる。しかし、これらの研究は、用途別面積、床面積など立地主体の活動を集計した立地量の予測を直接の目的とするものではない、これに対し本研究では、立地選択に対する評価尺度が構造的に同型と考えられる経済主体を統合し（これを立地主体という）、立地主体の行動に基づいて、交通施設の整備、都市計画規制の変更などによる土地利用の変化を予測できるモデルの開発を目的としている。

2. モデルフレーム

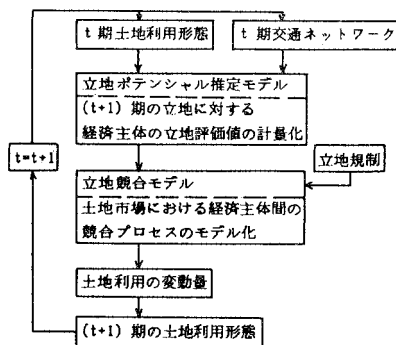
モデルの前提は次のとおりである。

① 都市内に存在する立地主体は有限個であり、都市地域は有限個の区画（ゾーン）から成る。立地主体の数区画の大きさについては、特に制約を設ける必要はなくモデル適用段階においてデータの有無、操作性などの条件から適当な数と大きさを設定すればよい。

② 土地利用の変化を生じさせる原因としては、交通ネットワークの整備に代表される都市施設の整備および用途地域制などの公的規制が考えられるが、これらの原因がなくとも都市空間は慣性により常に変動しており、現状の土地利用は将来の立地変動を規定している。特に、既成市街地においては都市空間の多くがすでに何らかの用途に使用されており、現状の土地利用形態が将来の土地利用を規定する度合いが強いと考えられる。そこで、モデルでは t 期から $(t+1)$ 期にかけての土地利用の変動量を出力し、 t 期の土地利用と変動量を加えることにより $(t+1)$ 期の土地利用形態を求める。

③ 都市空間の高度利用を考慮し、土地利用の指標として用途別の床面積を用いる。モデルを適用する場合は立地主体を土地利用用途あるいは施設と対応させることにより各区画別用途別の床面積を予測することになる。

モデルのフレームを図一に示す。 t 期の状態をインプットし $(t+1)$ 期の状態をアウトプットするために



図一 土地利用モデルの全体フロー

モデルは2つのサブモデルからなる。すなわち、 t 期の情報から $(t+1)$ 期の立地に対する立地主体の評価値を計量化する立地ポテンシャル推定モデルと立地ポテンシャルに基づいて主体間の立地競合プロセスをモデル化する立地競合モデルである。

立地ポテンシャルは土地利用の変動を生じさせる力であり、各主体ごとに各区画に対して定義づけられ、主体間、区画間で比較可能な値であるとする。立地ポテンシャルを決定する要因（立地要因）は、現状の土地利用形態、交通条件および環境条件に集約される¹¹⁾。そこで、立地ポテンシャル推定モデルでは、 t 期の土地利用形態および交通条件を合成した指標および環境条件を表わす集約された指標を説明変数とする回帰モデルにより立地ポテンシャルを計量化する。

立地競合モデルでは、土地市場における土地財の取り引きを主体間の土地財の交換としてとらえる。すなわち各主体が各区画においてそれぞれ異なった立地ポテンシャルをもつとしたとき、ある区画における土地財（床）の交換は、相対的に高い立地ポテンシャルをもち立地量（床面積）を増加させようとする主体群（需要者）と低いポテンシャルをもち床面積を減少させようとする主体群（供給者）との間の床の交換であるとするのである。土地市場において、立地主体はより有利な取り引き、言い換えるとより多くの効用を得る床の交換を試みる。その結果、主体間において床の移動が生じ、市場はある均衡状態となる。このような床の交換プロセスを市場ゲームにより定式化し、ゲームの解として床の変動量が求められる。ここで得られた均衡状態を次期の土地利用形態とみなす。もちろん、この均衡状態は、一時的な均衡であり、さらにこの土地利用形態と新たな交通体系、都市計画規制を前提とした土地利用の変動が続き都市内の土地利用は、次々に更新される。

3. 立地ポテンシャル推定モデル

現状の土地利用形態と交通条件は、交通の利便性からみた経済活動の行いやすさ（以下、経済活動の容易性とよぶ）を支配しており、これが立地ポテンシャル決定の重要な要因の1つになっていると考えられる。もう1つの要因は、交通条件以外の環境条件である。これは居住環境条件が立地ポテンシャルの説明要因になると考えられる場合に重要な要因である。以下では、まず、経済活動の容易性の指標について述べ、次に、環境条件の指標について述べる。さらに立地ポテンシャルを計量化するための回帰モデルについて説明する。

(1) 経済活動の容易性の指標

主体 k が、ゾーン i に立地して活動 m （たとえば、販売、業務活動）を行うときの容易性 C_{kmi} を交通条件

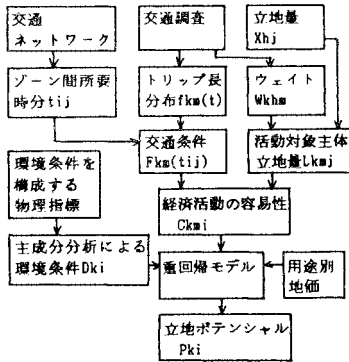


図-2 立地ポテンシャル推定フロー

F と活動対象主体の立地量 L との積和

$$C_{kmi} = \sum_j F_{km}(t_{ij}) L_{kmj} \dots\dots\dots (1)$$

と定義する。ここに、

$F_{km}(t_{ij})$: ゾーン i に立地する主体 k が距離 t_{ij} のゾーン j に立地している主体と活動 m を行うときの交通条件

L_{kmj} : 主体 k が活動 m の対象とする主体のゾーン j における立地量

である。 C_{kmi} は Hansen のいうアクセシビリティ^{12),13)}に類似の概念であるが、一般にアクセシビリティは実際に生じている交通現象とは独立に求められるのに対し、 C_{kmi} は交通調査の結果を利用することにより現実の交通現象を次のように F および L に反映させている。

主体 k の活動 m にかかわる交通の結果を集計したトリップ長分布 $f_{km}(t)$ は、その主体の経済活動領域の大小と密接に関連している。活動の種類を固定した場合、その活動に関する平均トリップ長が長いほど広範囲の経済活動領域が存在し、主体間の経済活動を行う可能性は高いと考えられる。そこで、主体 k がゾーン i から距離 t_{ij} のゾーン j に立地している主体と活動を行うことのできる可能性は、 t_{ij} 以上のトリップ長のトリップが生じる確率（超過確率）に比例すると仮定し、この超過確率を交通条件とした。すなわち

$$F_{km}(t_{ij}) = \int_{t_{ij}}^{\infty} f_{km}(t) dt \dots\dots\dots (2)$$

である。トリップ長分布 $f_{km}(t)$ の関数形を決定するためには交通調査の結果を利用する。その場合、活動の種類 m を交通目的に対応させ、トリップエンドの施設のうちどちらかが主体 k に対応する施設であるようなトリップを、 $f_{km}(t)$ を求めるための対象トリップとして抽出し関数形を決定する。 t_{ij} 間に複数の交通手段が存在する場合には交通手段別に $F_{km}(t_{ij})$ を求め、手段分担率により加重平均することにより交通条件を求めればよい。

主体 k が活動の対象とする主体 h は活動の種類により異なるため、交通調査により得られる主体 k, h 間の交通頻度より、主体 k の活動対象主体 h に対するウェイト W_{kjm} を求め、主体 h のゾーン j における立地量 X_{hj} と W_{kjm} の積和を L_{kmj} とした。

$$L_{kmj} = \sum_h W_{kjm} X_{hj} \dots\dots\dots (3)$$

ウェイト W_{kjm} は、主体 k, h 間の交通目的別の交通頻度を E_{kjm} とするとき、

$$E_{kjm} / \sum_h E_{kjm} \dots\dots\dots (4 \cdot a)$$

$$E_{kjm} / \sum_h E_{hjm} \dots\dots\dots (4 \cdot b)$$

$$E_{kjm} / \sum_h (E_{kjm} + E_{hjm}) \dots\dots\dots (4 \cdot c)$$

の中から活動の種類に対応するものを選択する。(4・a) は主体 k がトリップの発エンド、主体 h が着エンドである場合、(4・b) は主体 k がトリップの着エンド、主体 h が発エンドである場合、(4・c) は主体 k, h がトリップの発着エンドの両方である場合である。主体 k, h 間の交通頻度 E_{kjm} は、交通調査により得られる施設間 OD 交通量により代替することが考えられる。

(2) 環境条件の指標

交通条件以外の環境条件を指標化するために主成分分析を用いて環境条件を構成する要因の総合的評価値を作成する¹⁴⁾。この方法は、数多くの要因の独立な少数の要因への集約という主成分分析の特性を利用し、各ゾーンの環境条件を構成すると考えられる多数の物理指標をもとに環境の良否を示す主成分を抽出し、その主成分スコアを各ゾーンの環境条件を表わす指標とする方法である。具体的な構成要因としては、公園面積、大気汚染に関する指標などが挙げられる。環境条件を表わす主成分のもつ説明力（寄与率）は高いことが望ましく、説明力の高い主成分の抽出のために数回の試行錯誤が必要となる。

(3) 立地ポテンシャルの計量

立地ポテンシャルは各経済主体が次期の立地にあたり個々の区画に対してもつ評価値である。立地ポテンシャルの相対的な差によって土地利用の変動が生じるという仮定に対応し、立地ポテンシャルが立地競争プロセスにおいて意味をもつためには次の条件が必要である。

① 個々の区画内において、各主体のもつ立地ポテンシャルは相互に比較可能であること

② 各主体のもつ立地ポテンシャルは、区画間で比較可能であること

そこで、このような条件を満足する経済指標として用途別の地価を用い、地価を外的指標としそれを各主体のもつ経済活動の容易性および環境条件により説明させる重回帰モデルを作成し、その回帰推定値を立地ポテン

シャルとする。すなわち

$$P_{ki} = \sum_{m \in M_k} \alpha_{km} C_{kmi} + \sum \beta_k D_{ki} \dots \dots \dots (5)$$

である。ここに、

P_{ki} ：主体 k のゾーン i に対する立地ポテンシャル

C_{kmi}, D_{ki} ：主体 k がゾーン i で活動 m を行うときの容易性、および環境条件

α_{km}, β_k ：推定されたパラメーター

M_k ：主体 k が立地にあたって考慮する活動 m の集合

である。

なお、主成分分析により集約される前の個々の環境条件を表わす要因を直接 P_{ki} の説明変数として用いる場合は、要因間の類似性によってパラメーターの符号条件が不都合となり少数の要因しか P_{ki} に反映できないおそれがある。主成分分析を介在させ要因の集約を行うことで、より多くの環境要因を取り込むことができる。

4. 立地競合モデル

(1) 相対的ポテンシャル

先に述べたように、このモデルの基本的仮定は、「相対的に高い立地ポテンシャルをもち床面積を増加させようとする主体群（需要者）と、低いポテンシャルをもち床面積を減少させようとする主体群（供給者）との間の床の交換の結果、土地利用の変化が生じる」である。そこで、主体間の立地ポテンシャルの相対的な差を次式で定義する。

$$S_{ki} = P_{ki} - \frac{\sum_k P_{ki} X_{ki}}{\sum_k X_{ki}} \dots \dots \dots (6)$$

ここに、

S_{ki} ：主体 k のゾーン i における相対的ポテンシャル

P_{ki} ：主体 k のゾーン i における立地ポテンシャル

X_{ki} ：主体 k のゾーン i における立地量

である。 S_{ki} は、 P_{ki} のゾーン i における立地ポテンシャルの平均 ($\sum_k P_{ki} X_{ki} / \sum_k X_{ki}$) からの差である。 S_{ki} を用いることにより、先の仮定は次のように書き直すことができる。「 $S_{ki} > 0$ なる主体は床の需要者、 $S_{ki} < 0$ なる主体は床の供給者として行動する」

このようにして形成された床という財に関する土地市場において、床の需要量が床の供給量を上回る場合には、限られた量の床をめぐる主体間の競合が生じる。もちろん、逆に供給量が需要量を超過する場合を想定することは可能であるが、①利用空間が限定されている大都市地域では供給超過の状態は生じにくいと考えられること、②供給超過の場合も需要超過の場合とモデルの定式化のプロセスは同様であることから需要超過の場合を例に定

式化を行う。

現実の立地競合は都市内のすべての主体間、ゾーン間で生じているが、個々の主体にとってのゾーン間の競合、すなわち、時間 t から $(t+1)$ におけるゾーン間の移動および都市地域への流入時におけるゾーンの選択は、立地場所による魅力の差によるものと考えられる。この差は立地ポテンシャルの大小に反映されており、ゾーン間の競合は P_{ki} の推定の段階でモデル化されている。したがって、ゲーム理論の適用対象は個々のゾーンをそれぞれ独立した市場として取り扱った場合のゾーン内における主体間の競合による土地利用の変動に限定し、以下ではゾーン i の添字は省略する。なお、理論的には都市全域の全主体を含む市場を想定することも可能であるが、ゲームの操作性は著しく低下するため、ゾーン内における主体間の競合に限定してゲームを適用する方が実用的である。ゾーンを独立に扱うことにより、ゾーン数が著しく多い場合にはゾーンをいくつかブロック化しモデル演算することが可能であり、計算機容量を節約できる。

(2) 市場ゲームとしての定式化

ゲームの理論は相反する利害関係にある行動単位よりなる社会における人間行動の様式を理論的に究明することを目的とする理論であり、市場での財の交換における経済主体の行動の分析に対しては市場ゲームからのアプローチが有効であることが知られている。市場ゲームの理論は、経済市場を特性関数形のゲームとして定式化することにより、市場の均衡を競争の結果の安定状態を示すコア(Core)の概念から説明しようとする理論である。そこで、市場ゲームの理論、特に市場均衡に関するコアの概念を土地市場における立地競合プロセスのモデル化に適用し、競争の結果である均衡解として土地利用形態を得ることができると考えた。立地競合モデルの全体フローを図-3に示す。

a) 定式化の前提条件

土地市場における主体間の床の取り引きを市場ゲーム

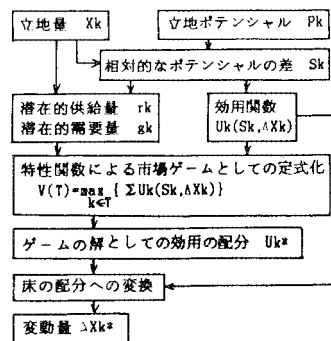


図-3 立地競合モデルのフロー

として定式化すること、すなわち特性関数を同定するためには、プレイヤーの集合、財の種類、効用関数、および初期手持ち量の設定が必要である。

① プレーヤーの集合とは、市場において床の交換を意図するすべての経済主体からなる集合である。これを N とする。 $N = \{1, 2, \dots, n\}$

② 財は床という1種類の財とする。市場内では、床はすべて同質である。

③ 経済主体の効用関数は、取り引きによって増加あるいは減少 ($S_k > 0$ のとき増加, $S_k < 0$ のとき減少) する床の量 ΔX_k と相対的ポテンシャル S_k の関数 $U_k(\Delta X_k, S_k)$ であり ΔX_k と S_k の絶対値との積 $\Delta X_k |S_k|$ に対して一次元的に定義される。 $\Delta X_k |S_k|$ は、取り引きの結果、主体 k が獲得する資産の概念に相当すると考えることができる。そこで効用関数のタイプとしては、資産に対する効用関数としての適合性が高いとされる減少型危険回避的効用関数とする¹⁵⁾。減少型危険回避的効用関数は凹関数であり、ゲームがコアをもつ条件を満足する。さらに、ゲームの解である効用の配分を床の配分に変換するため、床と効用が1対1に対応し、関数に逆関数の存在する一次元効用関数を用いる。このような条件を満足する効用関数としては、たとえば、

$$U_k(\Delta X_k, S_k) = \log(1 + \Delta X_k |S_k|) \dots\dots\dots (7)$$

がある。しかし、最も適当な減少型危険回避的効用関数の関数形の特定化については、今後の研究課題として残されている。

④ 初期手持ちは取り引きに先だちプレイヤーが市場にもちこむ財の量である。 S_k の正負に対してそれぞれ次に示す量 g_k, r_k を設定する。初期手持ち量 g_k, r_k はそれぞれ、主体 k の潜在的需要量、潜在的供給量に相当する。

$$g_k = \lambda S_k X_k, r_k = 0 \text{ for } S_k > 0 \dots\dots\dots (8 \cdot a)$$

$$g_k = 0, r_k = \mu |S_k| X_k \text{ for } S_k < 0 \dots\dots\dots (8 \cdot b)$$

λ, μ はパラメーター

これは立地の変動を生じさせる力である S_k が主体 k の保有する床全体 X_k に及ぶとしたとき、変動の可能性をもつ床の量は S_k と X_k の積に比例することを意味する。なお、 g_k, r_k は土地市場における制約条件でもあり、都市計画上の立地規制を g_k, r_k に対する制約として組み込むことも可能である。

b) 特性関数による定式化

特性関数は、プレイヤーの任意の集合 T (これを提携 T とよぶ) に対して定義される実数値関数 $v(T)$ であり、市場ゲームの表現形式としては最も一般的である。 N に含まれるすべての部分集合 T について $v(T)$ の値を求めることにより市場ゲームは完全に記述されることになる。一般に、 $v(T)$ は T 以外のプレイヤー ($N-T$)

が1つの提携を形成して、 T と $(N-T)$ との間の2人ゲームとしてプレイが行われたときの提携 T が獲得可能な保証水準の最大値とされており、

$$v(T) = \max_a \min_b f(a, b) \dots\dots\dots (9)$$

$a, b : T, (N-T)$ の選択可能な戦略

$f(a, b) : T$ の利得関数

と書くことができる。

市場ゲームにおいて、提携 T が成立するということは T の内部で取り引き (財の交換) が成立することを意味しており、 T に属さない主体からなる提携 ($N-T$) は T の内部における取り引きに干渉することができない。したがって、 T に対して保証し得る効用水準の最大値である $v(T)$ の値は、 T に属する主体が協力して床の交換を行ったと仮定したとき、提携 T 全体として獲得できる効用であり、

$$v(T) = \max_{\Delta X_k} \sum_{k \in T} U_k(\Delta X_k, S_k) \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{Sub to } 0 \leq \Delta X_k \leq g_k \text{ for } S_k \geq 0 \dots\dots\dots (11 \cdot a)$$

$$0 \leq \Delta X_k \leq r_k \text{ for } S_k \leq 0 \dots\dots\dots (11 \cdot b)$$

となる。

$v(T)$ の具体的な計算のアルゴリズムを図-4に示す。 N に含まれるすべての部分集合 T の総数は、個々のプレイヤーが提携に参加するか否かにより、2の n 乗個である。そのすべての T について $v(T)$ の値を求めなければならないが、 T に需要、供給主体の両者がと

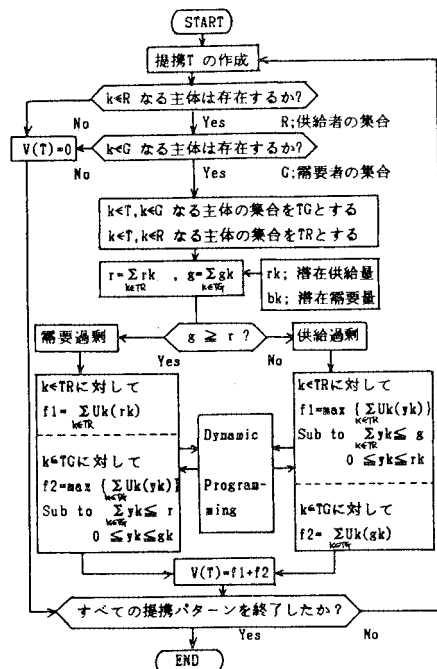


図-4 特性関数の計算アルゴリズム

にも含まれていない場合は、床の交換が不可能であるため $v(T)=0$ としてよい。図中に需要過剰、供給過剰とあるのは、提携 T の内部における需給の超過を意味しており、市場全体としての需要、供給の過剰を意味するものではない。

c) ゲームの解

特性関数形のゲームの解を求めるということは、ゲーム終了後に主体 k が受け取る期待される効用 u_k の配分 (Imputation) の中で安定な配分を求めることである。ゲームの解としては、安定集合、コア (Core)、カーネル (Kernel)、仁 (Nucleolus) などさまざまな概念が提案されているが¹⁶⁾、市場ゲームにおいて重要と考えられているのは、市場均衡の概念と関連が深いとされているコアである¹⁷⁾。

ところが、コアは効用の配分の集合であってコアの中のどの効用の配分が最も安定であるかを一意に定めるものではない。本研究では、効用の配分を床の配分に変換することにより競合モデルのアウトプットとするという手順をとるため、効用の配分は唯一である必要がある。

そこで、コアの取束に関する既存の研究成果^{18), 19)}を参考にして、コアの拡張概念である ϵ コア^{20), 21)}の応用による次のような線形計画問題 (LP) を作成し、その解をゲームの解とした。なお著者らは提携 T に属するメンバー 1 人当たりの不満を基準とする δ コアの応用による LP を用いて数値計算を行っているが²²⁾。その解は上述の LP の解とほとんど差がみられないため、ここではより簡略な ϵ コアによる LP を用いた。 ϵ コアと δ コアの類似性は、ゲームのコアの領域の広さに依存する。潜在的な需要、供給量の差が小さく需要過剰の程度が小さいほどコアの領域は狭くなり、 ϵ コアと δ コアが類似した結果となる。また効用関数が凹関数であることからゲームにはコアが存在し、この LP には最適解が存在することが保証されている。

$$\text{Min } \epsilon \dots \dots \dots (12)$$

$$\text{Sub to } \sum_{k \in T} U_k + \epsilon \geq v(T) \text{ for all } T \dots \dots \dots (13 \cdot a)$$

$$\sum_{k \in N} U_k = v(N) \dots \dots \dots (13 \cdot b)$$

$$U_k \leq U_{k \max} \text{ for all } k \dots \dots \dots (13 \cdot c)$$

ここに、

ϵ : 提携としての不満の程度 ($\epsilon > 0$ のとき不満, $\epsilon < 0$ のとき満足)

$v(N)$: 全員提携に対する効用関数の値

$$U_{k \max} : \max \{U_k(g_k), U_k(r_k)\}$$

である。制約 (13・a)、(13・b) は、効用の配分が ϵ コアであるための条件であり、制約 (13・a) は提携 T を形成した場合よりもより有利な効用の配分が存在し、その効用の配分が提携 T を形成するよりも $-\epsilon$ だけ有

利な効用の配分であるための条件、制約 (13・b) は、パレート最適を満足するための条件である。制約 (13・c) は、配分が初期手持ち量の制約を満足するための条件である。

市場にコアが存在するという事は、①プレーヤー全員の提携、すなわち全主体による財の交換がどのような主体にとっても最も利得の大きい交換条件であり、②プレーヤーがより有利な提携を形成しようとして行動すると仮定したとしても、最終的に落ちつくであろう均衡状態が存在することを意味している。(13・a~c) の制約条件下において、最も小さい ϵ を与える効用の配分 U_k^* は、市場に参加するプレーヤーの不満を最小にする効用の配分であり、プレーヤーが全員提携以外のどのような提携を形成しようとしても U_k^* 以上の効用を得ることは不可能であるため、プレーヤーにとって U_k^* は受入れざるを得ない効用の配分である。言い換えれば、上記の LP の解として得られた効用の配分 U_k^* は、競争の結果の均衡解であり、土地市場においてより有利な床の交換を目標として各主体が行動した結果、落ちつくであろう均衡状態に対応すると考えられる。

さて、ゲームの解は効用の配分であって財 (床) の配分そのものではない。そこで、床の配分 ΔX_k^* を得るために、数学的厳密性は必ずしも十分ではないが、効用関数の逆関数を用いて、効用の配分 U_k^* を床の配分 ΔX_k^* に変換し、それを競合モデルの最終的なアウトプットとする。 ΔX_k^* は、 t 期から $t+1$ 期への床の変動量であり、 $t+1$ 期の床の変動量 $X_k(t+1)$ は

$$X_k(t+1) = X_k(t) + \Delta X_k^* \dots \dots \dots (14)$$

となる。

以上(2)で述べたプロセスを対象地域内のすべての区画に適用することにより、都市内の土地利用の変動を表わすことができる。このようにして得られた土地利用形態は、一時的な均衡状態であり、さらにこの土地利用を前提として変動が連続すると考えられる。

5. ケーススタディ

大阪市を対象地域として、1969年から1977年における土地利用変化の再現を行いモデルの実証性を検討した。立地主体は家計 ($k=1$)、小規模商業 ($k=2$)、大規模商業 ($k=3$)、業務 ($k=4$)、工業 ($k=5$) の5主体とした。商業については、規模による立地行動の差異を考慮し2区分とした。区画単位は、立地ポテンシャル推定モデルでは1969年当時の22行政区、立地競合モデルでは土地利用変化に共通点の多いと考えられる区画を4つの区域に統合しモデルを適用した。用いた主なデータは、区別用途別床面積 (1969, 1977)、第1回京阪神パーソントリップ調査結果 (1970)、公示地価 (1969) である。

(1) 立地ポテンシャルの推定

交通条件の計量化においては活動の種類と交通計画という交通目的を対応させ、活動別のトリップ長分布を交通目的別のトリップ長分布で代替した。活動の種類は、通勤 ($m=1$)、日常的自由 ($m=2$)、非日常的自由 ($m=3$)、業務 ($m=4$) とした。この際、交通手段によりトリップ長分布が異なることを考慮し、車、鉄道、徒歩の3モードごとにトリップ長分布をパーソントリップ調査結果より求めた。ゾーン間所要時分 t_{ij} は、昭和45年時の道路網、鉄道網を与え、最短経路探索を行って設定した。交通条件 $F_{km}(t_{ij})$ は、交通手段別交通条件をゾーン間の交通手段分担率により加重平均することによって求めた。なお、業務活動においてはパーソントリップの結果を用いて主体別の交通を明確に区分することが困難であったため、トリップ長分布はすべて同一の分布形を用いた。活動対象とする主体の重要性は通勤、自由、業務活動に対し、それぞれ式 (4・a)、(4・b)、(4・c) を用いた。

環境条件を求めるための主成分分析の結果を、表一1に示す。第1主成分の因子負荷量の符号は、下水道普及率、1住宅当たり延べ面積など居住環境のよさを表わす変数において負、地盤沈下量、降下ばいじん量など居住環境の悪さを表わす変数において正である。よって、第1主成分を居住環境の良否を表わす主成分と解釈し、その因子得点を居住環境条件とした。

立地ポテンシャルの推定式を表一2に示す。各主体ご

表一1 因子負荷量と累積寄与率

変数	主成分	1	2	3
地盤沈下量		0.081	0.289	-0.334
降下ばいじん量		0.598	-0.267	0.085
イオウ酸化物濃度		0.538	-0.544	0.372
下水道普及率		-0.757	-0.550	-0.120
1住宅当たり延べ面積		-0.782	-0.359	0.360
騒音		0.267	-0.822	-0.199
公園面積		-0.091	0.260	0.863
河川面積		0.855	-0.029	0.115
累積寄与率 (%)		33.1	53.4	68.3

表一2 立地ポテンシャル推定式

$P_{1i} = 0.477 \times 10^4 + 0.294 \times 10^{-2} C_{11i} - 0.567 D_i$	$r = 0.67$
$P_{2i} = 0.406 \times 10^4 + 0.624 \times 10^{-4} C_{21i} + 0.223 \times 10^{-2} C_{24i}$	$r = 0.62$
$P_{3i} = \exp(0.419 \times 10^1 + 0.283 \times 10^{-4} C_{33i} + 0.256 \times 10^{-3} C_{34i})$	$r = 0.90$
$P_{4i} = \exp(0.375 \times 10^1 + 0.564 \times 10^{-4} C_{44i})$	$r = 0.86$
$P_{5i} = 0.125 \times 10^3 + 0.163 \times 10^2 \log C_{54i}$	$r = 0.65$

P_{ki} : 主体 k のゾーン i に対する立地ポテンシャル
 C_{km} : 主体 k のゾーン i における活動 m の容易性
 D_i : ゾーン i の居住環境条件
 r : 重相関係数

とに線形、指数、対数、の3種類の回帰式を検討しパラメーターの符号条件、実績値と推計値の相関より、最も適当な回帰式を選択した。この結果、大規模商業、業務の両主体については活動の容易性の差がより増幅されて立地評価に結びつくのに対し、工業主体では容易性の差による影響が比較的小さいことが示された。なお、各推定式の実績値と推計値の相関係数はすべて0.6以上であるが、必ずしも高い推定精度とはいえない。活動の種類の細分割、パーソントリップ調査以外の交通調査結果の利用の必要があると思われる。

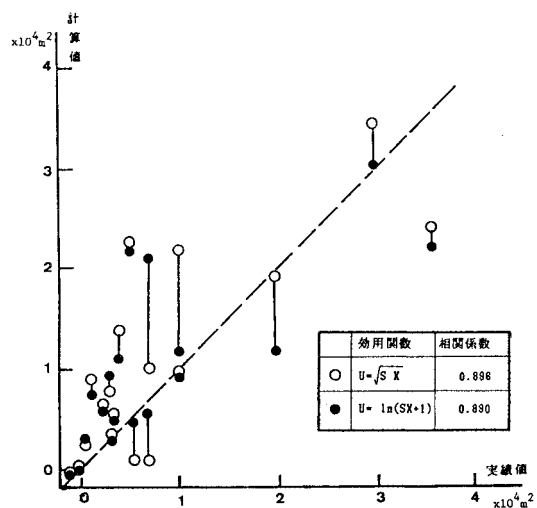
(2) 立地競争モデルの適用

立地競争モデルでは、区画の統合を行ったためインプットとなる立地ポテンシャルは統合された区画の平均値とした。また、新規の床の増加については立地可能面積に容積率を乗じた値を都市空間全体の床とし、未利用空間を1つの仮想的な供給側の主体とすることでゲームを定式化し床の転用以外の新規の床の増加を考慮した。

S_{ki} の正負により主体を需要側、供給側に区分した結果、都心部の家計主体は S_{ki} の値が負であるにもかかわらず実際の変動をみると床が増加していた。公共住宅の建設等、土地市場起動型でない住宅床面積の増加があったものと思われるが、これは本モデルにより表現することが困難であるため、都心部の家計主体については外生的に取り扱った。

初期手持ち量の算定における λ , μ は X_{ki} と S_{ki} の積に対する実際の変動 ΔX_{ki} の比のうち最大の値とした。効用関数は、いくつかの関数形の減少型危険回避の効用関数を設定し、計算を実行した。計算結果の一部を図一5に示す。

図一5より、モデルは実際の変動を比較的良好に再現し



図一5 床面積変動量の実績値と計算値の相関図

ているが、効用関数の関数形によって大きな差はみられないことがわかる（実績値と計算値の相関係数は、 $u = \sqrt{sx}$ のとき 0.896、 $u = \log(sx+1)$ のとき 0.890 であった）。効用関数の関数形による差が小さいことから、ゲームを構成する他の制約条件に比べ、効用関数の関数形がモデル全体に及ぼす影響は小さいことがうかがわれる。

また、家計、工業など市場において弱いと考えられている主体に対しては計算値が実績値を下回っているのに対し、大規模商業、業務に対してはやや過大な計算値を得た。これは、立地変動をすべて土地市場起動型であると仮定しモデルを適用したため、市場メカニズムに影響されない土地利用の変動（たとえば、公共住宅の建設）が再現されていないことによるものであり、市場における主体間の競合関係が増幅されたものと考えられる。

6. おわりに

今後、既成市街地の利用空間が限界に近づくにつれ、用途間の転用という形で土地利用の変化が進むと予想されるため、土地利用主体間の競合を内包した土地利用モデルが交通計画、土地利用計画の影響予測、評価のためにますます重要になると思われる。そこで、本研究では、大都市内部における土地利用形態の変動を経済主体間の床をめぐる競合の結果であるという観点からとらえ市場ゲームの適用により立地競合を考慮した土地利用モデルを構築した。さらに、過去の土地利用変化をモデルにより再現し、モデルの実証性を検討した。本研究の主な成果および適用における課題を以下に示す。

① 立地評価の主な要因として、交通調査の結果を利用することにより、現実の交通現象に対応した経済活動の容易性の指標を新たに作成した。ケーススタディでは交通調査としてパーソントリップ調査を用いたが、物資流動調査、業務パーソントリップ調査等が利用できる場合は、それらの総合的利用が望ましい。

② 市場ゲームの理論、特にコアに関する理論を主体間の競合プロセスに適用し、立地競合を明示的に取り扱い競合の結果の均衡解として床の配分（変動量）を出力できるモデルを構築した。ゲームについては、特性関数の算定プロセス、 ϵ コアを用いた LP 問題の応用などが新しく開発された点である。しかし、現段階では、必ずしもモデル化にあたり設けた諸仮定のすべてが実証例を通じて吟味されたとはいえず、特に、競合立地による土地利用変化の特定化、初期手持ち量の推定についてはさらに検討が必要であろう。

③ 実証性の検討はモデルの現況再現への適用にとどまっており、具体的な交通施設の整備、都市計画規制の変更が土地利用形態に与える影響については検討できなかったが、たとえば前者による影響はゾーン間所要時分

を変化させること、後者は立地規制を初期手持ち量の制約条件とすることによってその影響を分析することができるため影響分析の方法について現在研究を進めている。また、将来予測にモデルを適用する場合、将来の交通行動の変化、土地利用の変化によるトリップ長分布の変化を考慮するためには、トリップ長分布の経年変化について時系列分析が必要であり、さらに交通需要予測モデルとの組合せが必要となる場合もあると思われる。

最後に本研究を行うにあたり、有益なご助言をいただいた西井和夫助手（京都大学工学部）、モデル適用において計算作業をともにした水口 剛氏（京都府庁）に感謝いたします。

参考文献

- 1) 林 良嗣・宮本和明：既存土地利用モデルの概観，都市計画，Vol.104，1979.
- 2) 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，No.309，1981.
- 3) 天野光三・戸田常一・阿部宏史：立地主体の競合を考慮した土地利用変化予測モデルに関する研究，第4回土木計画学研究発表会講演集，1982.
- 4) 木下賢司：交通生成と土地利用変化，第13回道路学会一般論文集，1979.
- 5) 朝倉康夫・佐佐木綱：大都市における土地利用の変動過程に関する一考察，第4回土木計画学研究発表会講演集，1982.
- 6) 朝倉康夫・佐佐木綱：土地利用主体間の立地競合問題に対するゲーム理論の適用，第5回土木計画学研究発表会講演集，1983.
- 7) 鈴木光男：ゲーム理論の展開，東京図書，1973.
- 8) Isard, W. and Smith, T.E. : Location Games with application to classic location problems, Papers, Regional Science Association, Vol.19, 1967.
- 9) Stevens, B. : An application of Game theory to problem in location strategy, Papers, Regional Science Association, Vol.7, 1967.
- 10) 両角光男：マイクロコンピュータを用いた Community Planning Game, オペレーションズリサーチ，Vol.27, No.11, 1982.
- 11) 山田浩之編：都市経済学，有斐閣双書，1978.
- 12) Hansen, W.G. : How Accessibility Shapes Land Use, Jour. of American Institute of Planners, 1959.
- 13) 佐佐木綱：都市交通計画，国民科学社，1972.
- 14) 小沢紀美子・和歌森文男：メッシュデータによる計画実験用住宅立地モデル，オペレーションズリサーチ，Vol.22, No.2, 1977.
- 15) Keeney, R.L. and Raiffa, H. : Decision with Multiple Objectives, John Wiley & Sons, 1976 (高原・高橋・中野訳：多目標問題解決の理論と実例，構造計画研究所，1980).
- 16) 鈴木光男・中村健二郎：社会システム，共立出版，1976.
- 17) 岡田憲夫：ゲーム論的アプローチによる多目的ダムの費用割り振りの方法について，JSCE 第35回年次学術講演会概要集，1980.

- 18) 安田八十五：市場経済のコアとゲーム理論——市場経済のコアと完全競争，オペレーションズリサーチ，Vol.15, No.4, 1970.
- 19) Albers, W. : Core and Kernel variants based on Imputations and demand profiles, Moschline, O. and Pallaschke, D. (eds.), Game Theory and Related Topics, North-Holland, 1979.
- 20) Aumann, R. J. and Maschler, M. : The bargaining set for cooperative games, Dresher, M. and Shapley, L. S. (eds.), Advances in Game theory, Annals of Math. Studies, No.52, Princeton Univ. Press, 1966.
- 21) Shapley, L. S. and Schubik, M. : Quasi-Cores in a monetary economy with non convex preferences, Econometrica, Vol.34, 1966.
- 22) 前掲6)

(1983.8.18・受付)
