

都市圏における市街地変化のモデル化に関する研究*

A Study on Modelling Urban Land Use Changes

文 世一^{**}・吉川和広^{***}・本田武志^{****}・亀井三郎^{****}

By Seil MUN, Kazuhiro YOSHIKAWA, Takeshi HONDA,
and Saburou KAMEI

In this study, a model of urban land use changes which focuses on land conversion of vacant or agricultural area, and succession of built up area is developed for forecasting supplies of floor space by its uses via building construction. The calculation process of this proposed model is as follows; (1) estimating the land area to be developed newly by conversion, (2) estimating the land area where existing buildings are demolished, (3) split of changed land area by its use, (4) estimating land use intensity (floor-area ratio) and calculating the floor area constructed on the changed land area. The proposed model has been estimated and tested by using the data in Osaka Prefecture.

1. はじめに

都市の土地利用は複雑な相互依存関係を有する諸々の社会経済活動の空間への投影であると認識されており、従来より世帯や事業所など活動主体の立地行動を対象とした土地利用予測モデルに関する研究が数多く行われてきた。しかし各種活動主体はいずれも都市内の土地や床等の空間を占有して自らの活動を営むものなので、活動の立地に際してスペースの供給は支配的な要因といえるが、上記の活動立地モデルでは各活動の立地需要に応じて土地や床の供給がただちに行なわれるものとするか、外生的

に与えられた容量制約条件として土地や床の供給を取り扱う場合が多い。一方、土地や床そのものを対象とした土地利用予測モデルもいくつか開発されているが¹⁾²⁾³⁾、これらのモデルも土地や床の供給を扱ったものではなく、それぞれの土地に立地する活動を立地競合の概念によりシミュレートすることに主眼が置かれている。しかし実際の現象として見ると、それぞれの土地に立地する活動を決定するのは土地所有者やデベロッパーであり、立地競合の表現に用いられる活動別のつけ値や立地需要の大きさは彼等の行動における一つの要因として用途決定に反映するものと考えられる。例えばある建物に事務所が立地するのは、その事務所と住宅や工場の需要者との競合の結果ではなく、その建物が事務所の用途として建設されたことによるところが大きい

以上述べたような土地所有者やデベロッパーによる土地や床の供給は既存市街地の更新と、新市街地の形成という市街地変化をともしうものであり、そ

*キーワード 土地利用予測、市街地変化

**学生会員 工修 京都大学大学院博士課程、

日本学術振興会特別研究員

(〒606 京都市左京区吉田本町)

***正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工学科
(同上)

****学生会員 京都大学大学院修士課程(同上)

のプロセスは①市街地更新あるいは市街化の決定、②用途の選択、③土地利用強度（容積率）の決定、という三つのステージに分けて考えることができる。従来の土地利用モデルにおいて土地や床の供給を扱ったものは少ないが、それらにおいても既成市街地と新市街地における変化メカニズムの差異や、種々の要因により土地や床の供給が進み難いことを考慮したモデルはほとんど開発されていない。

上記の土地利用モデル以外で土地や床に着目した研究としては、青山他⁴⁾がポテンシャルの概念を用いて用途別の容積率をモデル化し、これよりゾーン別用途別床面積を推計する方法を提案しているが、クロスセクションの分析なので、市街地の変化メカニズムを表現してはいない。容積率そのものに着目した研究としては、数量化理論を用いて要因分析を行った深海⁵⁾、あるいは工業や商業、業務活動の土地利用における容積率の決定メカニズムについて企業の生産関数により理論的検討を行いさらに実証分析も行ったMcDonald⁶⁾等が挙げられる。一方、既成市街地の更新や新市街地の形成などの空間的パターンやこれを説明する要因を明らかにするための実証的研究⁷⁾⁸⁾⁹⁾は数多く行なわれているが、これらの現象のモデル化に関する研究は見られない。

本研究は、市街地変化に着目して都市圏における土地や床の供給量を予測する方法を提案し、実証分析を通じてその有効性を検証することを試みたものである。

2. 市街地変化モデルの全体構成

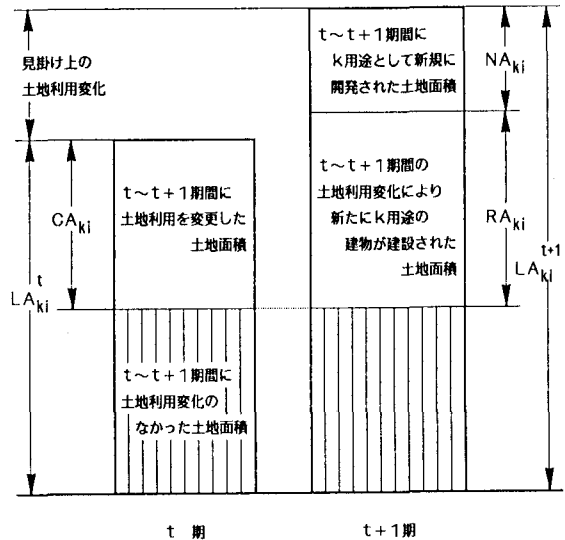
1. で述べたように、都市における市街地の変化は、新市街地の形成と既成市街地の更新に分類されるが、ここで前者は農業その他の土地利用から都市的土地利用への不可逆的变化過程であるのに対して、後者は都市的土地利用内部での変化である。なお大都市圏においては近年、後者の比重が高まってきているが、既成市街地における土地利用変化は既存の建物を除却して、新たな建物を建設することにより進行するものであり、その前後で用途変更の行われる場合があることに注意する必要がある。

図-1には本研究における市街地変化のとりえ方を示したものである。ここでは二つの時間断面間の変化を示しており、図において LA_{ki}^t は t 期における i ゾーンの k 用途土地面積であり、 CA_{ki} はこの LA_{ki}^t の内、 $t \sim t+1$ 期間に土地利用を変更するため除却される建物の敷地面積である。 $t+1$ 期の用途別土地面積 LA_{ki}^{t+1} の内、 NA_{ki} は $t \sim t+1$ 期間に新たに開発される新市街地であり、 RA_{ki} は既成市街地における土地利用変更によって k 用途の建物が建設される敷地面積である。図より明らかなようにこれらの間には次式に示すような関係が成立つ。すなわち

$$LA_{ki}^{t+1} = LA_{ki}^t - CA_{ki} + NA_{ki} + RA_{ki} \quad (1)$$

なお CA_{ki} と RA_{ki} は、既成市街地変化の前後で用途間の転用の行われる場合があるので一致しないが、各用途について足し合わせたものの間には次のような連続条件式が成立つ。

$$\sum_K CA_{ki} = \sum_K RA_{ki} \quad (2)$$



基本的関係式

$$\begin{aligned} LA_{ki}^{t+1} &= LA_{ki}^t - CA_{ki} + NA_{ki} + RA_{ki} \\ \sum_K CA_{ki} &= \sum_K RA_{ki} \\ \sum_K NA_{ki} &= \sum_K LA_{ki}^{t+1} - \sum_K LA_{ki}^t \end{aligned}$$

図-1 市街地変化の概念図

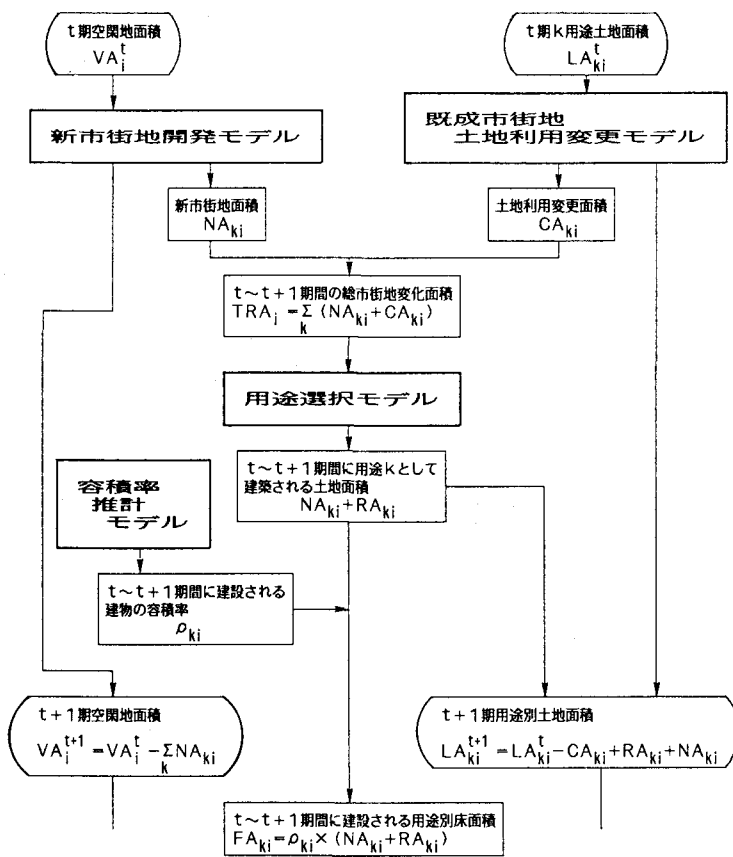


図-2 市街地変化モデルの構成

また市街地面積の増加量は新規開発面積の合計に等しい、すなわち

$$\sum_k (LA_{ki}^{t+1} - LA_{ki}^t) = \sum_k NA_{ki} = TNA_i \quad (3)$$

本研究における市街地変化モデルの構成は、図-2に示す通りである。ここではまず新市街地開発モデルにより TNA_i 、および既成市街地土地利用変更モデルにより CA_{ki} を求めた後、これを一旦足し合せ、用途選択モデルにより市街地変化を経てk用途の建物が建設される土地面積 $NA_{ki} + RA_{ki}$ を求め、これに容積率推計モデルにより求められた用途別容積率を乗じることにより、この期間に建設される用途別床面積が算定される。図に示すように、このモデルではt期における土地、および床面積を入力してt~t+1期間の市街地変化を求めた後、t+1

期における土地、床の面積が計算されるので、さらに次の期の計算を繰り返し行うことができる。

3. モデルの定式化

(1) 新市街地開発モデル

t~t+1期間に都市的土地利用のために開発される土地の量は、開発可能面積が大きく、かつその土地に対する立地需要が大きいほど多くなるものと考えられる。

ここではモデル推定の際に各用途別新規開発面積 NA_{ki} の実績データが得られないので、全用途の新規開発面積 TNA_i をまず推計することとし、その用途構成は後で求めることになる。本研究では開発可能面積としてt期における農地等の空閑地面積 VA_i 、および立地需要の代理変数 X_{ni} ($n=1, 2, \dots, N$)を用い、次式により新市街地として開発される土地の面積 TNA_i を推計することとする。

$$TNA_i = (VA_i^t)^{\alpha} \cdot \prod_n (X_{ni})^{\beta_n} \quad (4)$$

さらにt+1期における空閑地面積は

$$VA_i^{t+1} = VA_i^t - TNA_i \quad (5)$$

となり次期に関する計算への入力情報となる。

(2) 既成市街地土地利用変更モデル

既成市街地におけるt~t+1期間の土地利用変更面積 CA_{ki} はt期のk用途土地面積 LA_{ki}^t に土地利用変更確率 PC_{ki} を乗ずることにより求められ、 PC_{ki} は次式のように表わす。

$$CA_{ki} = LA_{ki}^t \cdot PC_{ki} \quad (6)$$

$$PC_{ki} = \exp(\sum_n \alpha_n X_{kin}) / 1 + \exp(\sum_n \alpha_n X_{kin}) \quad (7)$$

ここで α は推定すべきパラメータであり、 XC_{kim} は土地利用の変更を説明する要因である。説明要因としては、当該用途のその土地への適応性、土地利用変更の容易さ、土地利用変更に対する需要の大きさ等が考えられる。

(3) 市街地変化後の用途選択モデル

土地所有者あるいはデベロッパーは、その土地に対する用途別の立地需要の動向や、法的規制等を考慮して開発後あるいは変更後の用途を決定するものと考えられる。ここでは(1)で求められた新規開発面積と、(2)で求められた土地利用変更面積がどの用途として用いられるようになるかを推計する。まず既成市街地における土地利用変更面積は各用途別に求められるのでこれを全用途について足し合わせる。すなわち

$$TCA_i = \sum_k CA_{ki} = \sum_k RA_{ki} \quad (8)$$

次に NA_{ki} と RA_{ki} は TNA_i と TCA_i の和に用途選択率 PR_{ki} を乗ずることにより求まる。すなわち

$$NA_{ki} + RA_{ki} = (TCA_i + TNA_i) \cdot PR_{ki} \quad (9)$$

$$PR_{ki} = \exp(\sum_m \beta_m \cdot XR_{kim}) / \sum_k \exp(\sum_m \beta_m \cdot XR_{kim}) \quad (10)$$

ここに β_m はパラメータ、 XR_{kim} は用途選択に影響を及ぼす要因で、これには用途別の立地需要の相対的大きさや床需給の不均衡、従前の利用形態等が考えられる。

(4) 建設床面積の推計

以上のように $t \sim t+1$ 期間の市街地の変化が土地面積として求められると、次はこれに用途別の容積率 ρ_{ki} を乗ずることにより建設床面積が計算される。すなわち当該期間に供給される用途別床面積 FA_{ki} は

$$FA_{ki} = \rho_{ki} (NA_{ki} + RA_{ki}) \quad (11)$$

ここで容積率については既成市街地に建設される建物も新市街地に建設される建物も等しい値であると仮定している。容積率は、次に示すような線形回帰式により求められる。

$$\rho_{ki} = \sum_m \gamma_m \cdot XY_{kim} \quad (12)$$

ここに XY_{kim} は i ゾーンにおける k 用途の容積率に影響を与える要因であり、 γ_m はパラメータである。

また $t \sim t+1$ 期間に除却された建物の床面積 CFA_{ki} は、土地利用変更面積 CA_{ki} に従前の容積率 ρ_{0ki}^t を乗ずることにより、

$$CFA_{ki} = \rho_{0ki}^t \cdot CA_{ki} \quad (13)$$

結局 $t+1$ 期の建物ストック H_{ki}^{t+1} は

$$H_{ki}^{t+1} = H_{ki}^t - CFA_{ki} + FA_{ki} \quad (14)$$

のように算定され、次期の計算に関する入力情報となる。

4. モデルのパラメータ推定と現象再現性の検証

(1) 与件事項および使用データ

本研究においてモデル化の対象となる大都市圏の土地利用は、世帯の居住活動、工業の生産活動、商業および業務活動という主たる都市活動の分類に対応して住宅地、工業地、商業業務地およびその他に分けることができるが、この内工業地の変化については、今後大都市圏内の既成市街地における工業活動の新規立地は困難であり、また周辺市街地においても立地規制や工業団地の造成などの政策的な用地供給に依存するところが大いなのでここではこれを直接モデル化せず外生的に与えられるものとする。

モデルの推定は大阪府の69市区町村における1975～80年の間の市街地変化を対象に行う。データは、対象期間に建設された用途別床面積を建築統計年報、各期の用途別土地面積、床面積を大阪市統計表、大阪府統計年鑑により得た。

(2) 新市街地開発モデル

ここでは1975年から1980年の間に増加した市街地面積を従属変数として(4)式のパラメータを推定したが、その結果は表-1に示す通りである。ここで開発可能面積は農地などの閑閑地面積を用いている。他の説明要因として用いた道路面積率、ゾーン内駅数等の交通条件はこれが高いほど、開発された市街地に対する立地需要が多く、従って開発面積を増加させることを示している。

以上の結果は常識に一致するものであり、決定係数の値も実用上満足に行く結果であるといえる。

表-1 新市街地開発モデルの推定結果

説明要因	パラメータ	t 値
開発可能面積	0.53349	7.11
道路面積／市街地面積	0.29983	1.79
ゾーン内駅数	0.59400	2.90
定 数	8.94421	9.61
決 定 係 数	0.647	
相 関 係 数	0.734	

(3) 既成市街地土地利用変更モデル

既成市街地変化モデルは、(7)式により、土地利用変更面積を推計するものであるが、これは1975年の用途別土地面積の内、1980年までの間に土地利用変更のため除却された建物の敷地面積の割合を従属変数としている。土地利用の変更を説明する要因としては、土地利用変更に関する需要の大きさ、土地利用変更の容易さ等が考えられるが、様々な変数の組合せについて推定を試み、最終的に表-2に示すような結果を得た。用いた変数について説明すると、法定容積率と現況容積率の差は、本来高度利用されるべき地区でありながら現在の土地利用がそのようになっていない場合に大きな値となるが、この値が大きい程、既存の土地利用変化を行う必要性が高く、また法的にも土地利用高度化の余地が残されていることを意味しているので、既成市街地変化を促す要因になる。また現況容積率が低い程、道路面積率はこれが高い程建物の更新が容易であることを示している。さらに都心までの距離は種々の土地利用に対するポテンシャルの大きさを示しており、時間の経過にともなってその土地利用が環境に適応しなくなった場合にも、ポテンシャルが大きいほど、土地利用の変更を行って変化に対応する割合

表-2 (1) 既成市街地土地利用変更モデルの推定結果 (住宅)

説明要因	パラメータ	t 値
法定容積率-現況容積率	0.48130	3.07
現 況 容 積 率	-0.65577	3.63
道路面積／市街地面積	5.11671	2.04
都心までの時間距離	-0.03529	9.02
決 定 係 数	0.775	
相 関 係 数	0.777	

いが高くなると考えられる。また土地利用の変更を行う前の容積率や道路面積率は土地利用変更の容易さを示すものと考えられる。住宅、商業共にパラメータの符号は上の考察に整合しており、決定係数の値は、商業に関して低いものの、住宅に関しては満足の行く結果が得られている。

(4) 用途選択モデル

用途選択モデルは、全市街地変化面積の中の用途構成比を推計するものであるが、本研究では、(1)に述べたように工業地の変化があらかじめ与えられているので、住宅と商業の二肢選択となる。ここでは住宅地の選択確率を従属変数としてパラメータを推定することとする。説明変数は1975年当時の住宅地比率、および商業、業務活動の需給不均衡である。これらの意味について説明すると、前者の要因は、変更前に住宅地であった土地は変更後も住宅地として利用される割合が大きいと思われるので用いている。後者の要因は次の式で表わされる

$$SG_i = \sum_n D_{ni} - \sum_n E_{ni} / \kappa_n \quad (15)$$

ここに SG_i : 商業、業務活動の需給不均衡

D_{ni} : 商業業務活動nに対するサービス需要

E_{ni} : 商業業務活動nの従業者数

κ_n : 対象地域全域における E_{ni} / D_{ni} の平均値

式中のサービス需要 D_{ni} は、空間相互作用モデルの考え方により、次のように表わされる

$$D_{ni} = \sum_j L_{nj} \frac{E_i^\alpha \exp(-\lambda t_{ij})}{\sum_k E_k^\alpha \exp(-\lambda t_{kj})} \quad (16)$$

ここに L_{nj} : 商業業務活動nのサービスを受ける活動の立地量

t_{ij} : ゾーンi-j間の時間距離

この指標の意味について考察すると、例えば周辺人口の増加等による当該ゾーンの商業サービスに対す

表-2 (2) 既成市街地土地利用変更モデルの推定結果 (商業)

説明要因	パラメータ	t 値
法定容積率-現況容積率	0.50102	2.77
全用途の現況容積率	-2.02690	3.99
道路面積／市街地面積	5.85151	1.34
決 定 係 数	0.326	
相 関 係 数	0.560	

表-3 用途選択モデルの推定結果

説明要因	パラメータ	t 値
現況住宅地率	1.75976	7.26
商業活動の不均衡*	-0.29827	4.09
決定係数	0.617	
相関係数	0.710	

* (15)式を参照

る需要の増大にも拘らず、既存の商業活動の立地が少ないと、 SG_i の値は大きくなり、その場合は商業立地需要が増大することが予想される。住宅に対しても同様なことが考えられるが、商業業務地は、需要があれば、住宅その他に比べて最も土地の生産性が高いので、最も高い価格で売却することができる。従って、 SG_i の値が大きい場合は、住宅としての需要が高いとしても、デベロッパー等は商業用途の床をより多く供給するものとする。

パラメータ推定結果を示した表-3を見ると、変数の符号は上の考察と整合しており、決定係数、および実績値との相関係数も満足の行くものである。

(5) 容積率推計モデル

当該期間中に建設された建築物の容積率に関する実績データを直接、統計資料より得ることはできないが、この値は二時点の床面積と土地面積、およびその間に建設された床面積を用いて次のように算定される。

$$\rho_{ki} = \frac{H_{ki}^t \cdot FA_{ki}}{LA_{ki}^{t+1} \cdot H_{ki}^t - (H_{ki}^{t+1} - FA_{ki}) LA_{ki}^t} \quad (17)$$

ここに ρ_{ki} ; $t \sim t+1$ 期間に建設された k 用途建物の容積率

FA_{ki} ; $t \sim t+1$ 期間に建設された k 用途建物の床面積

LA_{ki}^t, LA_{ki}^{t+1} ; それぞれ $t, t+1$ 期における k 用途土地面積

H_{ki}^t, H_{ki}^{t+1} ; それぞれ $t, t+1$ 期における k 用途床面積

表-4 (1) 容積率モデルの推定結果 (住宅)

説明要因	パラメータ	t 値
法定容積率	0.32565	16.81
都心までの時間距離	-0.00798	6.42
決定係数	0.893	
相関係数	0.873	

このモデルは(12)式に示したように線形回帰式であるが、説明要因としては、用途地域制によって定められている法定容積率をまず取りあげた。すなわち建築主体は、限られた敷地を有効利用して、できるだけ高い容積率で建築物を建てようとするものとする。しかし建築された床そのものに対する需要がなければ建築主体は損失を被るので、需要の大きさを示す代理指標として都心までの距離を用いることとした。また建設主体は、地価が高いとそれに見合った収益を上げるため、土地を高度利用しようとして容積率を高くするが、都心までの距離はこのような地価の代理指標としての意味も持つ。これら二つの要因を用いて容積率を推計するモデルのパラメータを住宅および商業の二つの用途について推定したところ、表-4に示すような結果を得た。表によるといずれの用途に関しても法定容積率の説明力が高く、都心までの距離に関するパラメータも有意であった。

(6) 市街地変化モデルの現象再現性の検証

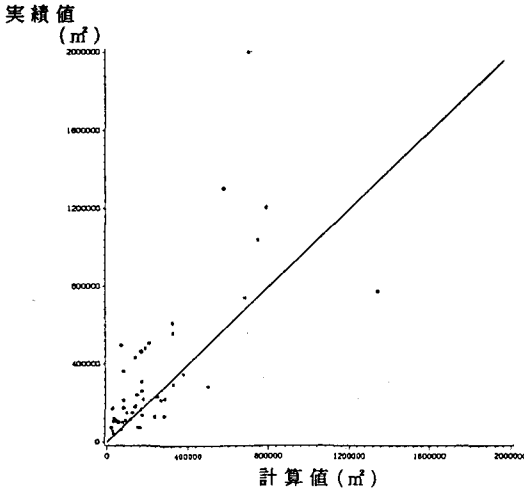
本研究における市街地変化モデルは、図-2に示したように、新市街地開発、既成市街地土地利用変更、用途選択、容積率推計という4つの推定式から構成されているが、これらを連結して計算を行った場合の現象再現性を検証しておく必要がある。図-3には、1975~80年の間に建てられた住宅、商業の用途別床面積を市街地変化モデルにより計算した推計値と、同期間の実績値との散布図を示している。相関係数は、住宅について 0.899、商業について 0.722であった。

5. おわりに

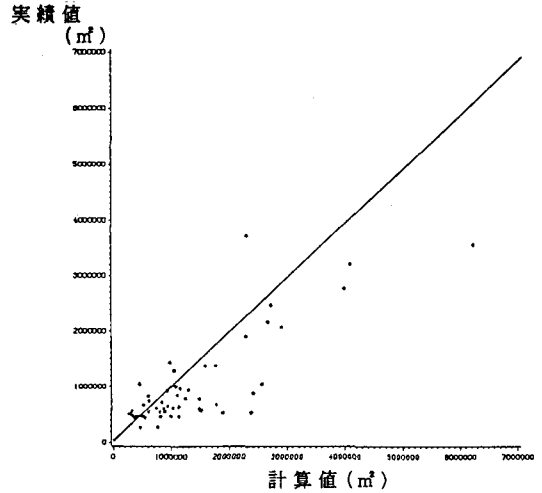
本研究では、主として新市街地の開発と既成市街地の更新という市街地変化のメカニズムに着目して

表-4 (2) 容積率モデルの推定結果 (商業)

説明要因	パラメータ	t 値
法定容積率	0.88523	13.07
都心までの時間距離	-0.02183	6.07
決定係数	0.876	
相関係数	0.759	



(1) 商業用途床面積



(2) 住宅用途床面積

図-3 1975～80年の間に建設された床面積の計算値と実績値

土地や床の供給量を推計する手法を提案し、大阪府を対象とした実証分析を通じてこのモデルの適用性を検証した。ここで開発された市街地変化モデルは、単独で土地利用予測に用いるばかりではなく、より総合的な政策分析を行うため大規模のシミュレーションモデルの一部に組み込み、立地需要を求める活動立地モデルと連結することも可能であると考えられる。その場合は需要と供給の相互依存関係をより明示的にモデルに反映させる必要がある。

今後の検討課題として特に指摘すべきことは、本モデルにおいて用途選択と容積率の決定が何等関連性もなく個別に求められている点であるが、本来これは同時決定されるべきものである。この場合、用途選択は離散選択であるが、容積率は連続量であるという特殊性があり、現在これを考慮した改良モデルに関して検討中である。

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
- 2) 天野光三・戸田常一・阿部宏史：立地主体の競争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年

- 3) 佐佐木綱・朝倉康夫：大都市における立地主体の競争を考慮した土地利用モデル，土木学会論文報告集第 347号，1984年
- 4) 青山吉隆・藤沢一仁・峰和実：都市におけるゾーン別用途別床面積の予測モデル，都市計画 104，1978年
- 5) 深海隆恒：容積率に関する基礎的研究，日本都市計画学会学術講演会論文集 第6号，1971年
- 6) J.F.McDonald: The Intensity of Land Use in Urban Employment Sectors: Chicago 1956-1970, Journal of Urban Economics 18, 1985
- 7) L.S.Bourne: Urban Structure and Land Use Decisions, Annals of the Association of American Geographers Vol.66, No.4, 1976
- 8) J.F.McDonald: Changing Patterns of Land Use in a Decentralizing Metropolis, Papers of Regional Science Association, Vol.54, 1984
- 9) M.G.Wilder: Site and Situation Determinants of Land Use Change: An Empirical Example, Economic Geography, Vol.61, No.4, 1985