

建物タイプを考慮した即地的土地利用モデルの構築*

A Detailed Land-Use Model Dealing with Building Types in a Metropolitan Area

宮本和明**・杉木直***・内田敬****

by Kazuaki MIYAMOTO, Nao SUGIKI and Takashi UCHIDA

1. はじめに

交通施設計画、土地利用規制等の計画分析を支援するための土地利用モデルはこれまでも多く作成されてきた。しかし、これらのモデルは「ゾーン等の大きな集計単位」に人口や従業者等の都市活動量を配分するものである。そのため、(1) 施設整備の環境への影響分析にとっては分析単位が過大で、その本質的な評価が不可能である、(2) 物理的な建物の立地状況に依存する施設整備効果の計測が困難である、(3) 局所的な土地条件や開発余地、制度的な制約が考慮できないために妥当な分析結果を提示できない、等の限界があった。

以上の背景のもと、本研究では総合計画支援において、より現実的な政策評価を行うため、「詳細な土地区画情報に基づいた即地的土地利用モデルの構築」を目的としている。モデルの構築に際し、必要な基礎情報の取得および分析支援のためのツールとしては、地理情報システム(GIS)に着目し、そのデータベースに基づいたモデルの構築を行う。

本モデルは、また、基本式は従来の都市経済学分野における基礎モデルの成果に基づくが、本質的には現状の土地利用状況を再現することを第一義に考える統計モデルとして位置づけられる。本稿においては、モデルの機能と構造を提示し、具体的な定式

化とパラメータ推定の方法について述べている。

2. 即地的土地利用モデルの構築

(1) 基本的な考え方

従来提案されてきた土地利用モデルは、都市の活動量を効用理論や付け値理論などの都市経済理論等に基づく規範に従って配分するものである¹⁾。その分析単位は小さいものでも1km²グリッド程度と現実の土地利用と乖離した大きな集計単位へ配分するものがほとんどであり、建物タイプを考慮したモデルにおいても^{2) 3)}、その中に存在する土地利用規制をはじめとする詳細な土地の条件は考慮されない。このようなモデルでは、我が国のように土地制約の大きな都市においては現実の土地条件との十分な対応がとれず、土地利用モデルと呼ばれながらも、実際には土地から乖離したモデルとなっている。このために、予測においては配分値が現実の土地の物理的および制度的な開発「余地」、あるいは「制約」と必ずしも整合したものとはならず、実際の計画策定業務での利用という重要な目的を妨げる原因の一つとなっていると言える。

そこで本研究では従来のモデルを上位モデルとした上で、上位モデルにより算定された各ゾーンの活動量配分値を、土地制約を考慮した上で街区以下の単位へ建物量として再配分する下位モデルを構築する。

しかし、このような詳細なモデル構築に際しては、データの入手可能性が最大の問題である。この点に従来の土地利用分析モデルが抽象的であり、実用的でなかった大きな原因があるものと思われる。したがって、このような分析に際しては、データ入手をモデルの機能の一部としてとらえる必要がある。本研究では、この機能を詳細な空間データを効率よく記述・分析することが可能であるGISによって行うことで実用的なモデルの実現を図る。本研究のモデ

* キーワーズ：土地利用モデル，GIS

** フェロー，工博，東北大学，教授，東北アジア研究センター・大学院工学研究科土木工学専攻
(〒980-77 仙台市青葉区荒巻字青葉、
TEL022-217-7475, FAX022-217-7477,
E-mail:miyamoto@plan.civil.tohoku.ac.jp)

*** 学生員，修(情報)，東北大学大学院工学研究科土木工学専攻
(TEL022-217-7478, FAX022-217-7477,
E-mail:sugiki@rs.civil.tohoku.ac.jp)

**** 正員，工博，東北大学，助教授，大学院工学研究科土木工学専攻
(TEL022-217-7476, FAX022-217-7477,
E-mail:uchida@plan.civil.tohoku.ac.jp)

ルはこの様にGISの実用モデルへの活用を探ったものでもあるといえる。

(2) モデル構造

本研究で提示する土地利用モデルについて概要を図1に示す。本研究のモデルは、基本的には2段階の配分モデルである。上位モデルは従来型の土地利用モデルであり、人口や従業者といった「活動量」を「ゾーン」に配分する。下位モデルは、上位モデルにより算定された人口や従業者といった「ゾーンへの配分値」を建物量へと変換し、詳細情報により「ゾーン内の土地区画」へ土地制約を考慮した上で「再配分」するものである。

上位モデルにおけるシミュレーションの初期値及び各種ゾーン条件はGISから加工、推定、集計化してゾーン配分モデルに入力される。下位モデルにおける物理的及び制度的な土地制約の考慮もまた、GISの詳細データベースに基づいて行う。

(a) 上位モデル

上位モデルは、従来よりの土地利用モデルを利用し、新規交通プロジェクトの実施による利便性の変化や、土地利用規制の変更によって生じる主体立地量の変化を、都市経済原則に基づき予測分析するものである。従来型の土地利用モデルとしては、効用関数や付け値関数またはそれらの組み合わせによるものなど、様々なものが提唱されている。上位モデルとしては様々なモデルが利用可能であるが、本研究では、ランダム効用理論およびランダム付け値理論を用いた土地利用モデルであるRURBANモデ

ルによる活動量の配分を行う。

(b) 下位モデル

下位モデルでは、立地活動を物理量である建物に変換し、これらの建物の詳細な筆単位での立地を考える。配分においては、土地条件が同一であると見なされる筆 l の集合を土地区画 k_s として取り扱い、GISの詳細データ及び地価を用いて上位モデルによってゾーン S へ配分された立地活動量を、土地区画単位へ再配分する。具体的には、立地転換の際の抵抗として、建物の除却及び建設費用を考慮した付け値分析に基づいて、土地区画単位での各建物の立地比率を表す配分関数を詳細データを用いて作成し、必要に応じて同時確率最大化法を用いることにより、ゾーン内特性とゾーン制約値に基づく最尤分布を求める。下位モデルでの配分は、予測的というよりは、上位モデルでの配分値を前提とした場合、物理的にどのように実際の土地区画に配置され得るのかを見るためのものであり、ゾーンへの活動量配分の妥当性を検討することにより現実の土地条件との対応を取ることを第一義と考えている。

3. 下位モデルの構築

(1) 下位モデルの配分手法

下位モデルは上位モデルによる活動 I のゾーン S に対する配分値 N_{IS} を実際の物理的な土地利用である建物タイプ i に変換し、土地区画 k_s へ再配分するためのものである。建物タイプ i は上位モデルにおける活動主体 I に対して、

表1 活動量の建物タイプへの変換

		建物タイプ i															
		商業施設	近隣商業施設	中心商業施設	業務	住宅	家族世帯	単身世帯	工業	小規模工業	都市型工業	製造業	農業	公共	交通	空地	
		商業施設	近隣商業施設	中心商業施設	業務	住宅	家族世帯	単身世帯	工業	小規模工業	都市型工業	製造業	農業	公共	交通	空地	
I	商業	○	○	○	○												
	近隣商業		○	○	○												
	中心商業			○	○												
	業務				○												
	住宅					○	○	○	○	○	○	○					
	家族世帯						○	○									
	単身世帯							○									
	工業								○	○	○	○					
	小規模工業									○	○	○					
	都市型工業										○	○					
II	製造業												○				
	農業													○			
	公共														○		
	交通															○	
III	空地																○

図1 詳細情報に基づくモデル構造の概要

$$I = \Gamma(i) \quad (1)$$

のようなオペレータで変換されるものである。これらの建物タイプと都市活動量の関係を表1に示す。さらに、式(1)をみたす i の集合 u_I が式(2)のように定義される。

$$u_I = \{i | \Gamma(i) = I\} \quad (2)$$

分析対象となる地域に関しては、上位モデルの分析単位であるゾーン S は土地条件が均一であると見なされるいくつかの土地区画 k_s から構成されるものとする。また個々の土地区画は物理量である建物が立地する筆 l ($l = 1, \dots, L_{k_s}$)の集合であると見なす。

下位モデルにおける配分は、個々の筆での各建物の付け値分析による立地確率に基づいて分析を行う。つまり、筆 l が建物タイプ i に土地を供給するか否かはその建物タイプの付け値地代 b_{il} に依存すると考える。現在の土地利用と異なる建物タイプの付け値に対してはその建物の除却費用と新規の建設費用を考慮する必要があるので、現在立地している建物タイプ i' を考慮した場合の、ある筆 l における建物 i の単位面積当たりの付け値地代は、 l における詳細な土地条件を $\mathbf{X}_l$ 、また建物タイプごとのパラメータを $\mathbf{a}_i$ として、次のように表現される

$$b_{il} = \mathbf{a}_i \mathbf{X}_l V(b_{il}) - (h_i^r V_{il} + h_i^c V(b_{il})) \delta(i, i') \quad (3)$$

$$\mathbf{a}_i = \{\alpha_{im}\} \quad (m = 1, \dots, M)$$

$$\mathbf{X}_l = \{X_{lm}\}^t$$

h_i^r : 現在の建物 i' の単位床当たり除却費用

h_i^c : 新規の建物 i の単位床当たり建設費用

V_{il} : 筆 l における現在の建物 i' の実容積率

$V(b_{il})$: 実容積関数

$$\delta(i, i') = \begin{cases} 1: i \neq i' \\ 0: i = i' \end{cases}$$

この場合の詳細な土地条件 $\mathbf{X}_l$ としては、地価、立地余裕、沿道条件等が考えられる。右辺第2項は現在の土地利用から他の土地利用への転換の抵抗を示すものである。単位床当たりの除却費用、建設費用は外生的に与えられる。また、 $V(b_{il})$ は建物の高度利用の程度を表す立地密度関数であり、立地密度は地価との相関が高いため、それ自体付け値を用いた関数となる。式(3)における i に関して最も高い付け値が地価として顕在化し、立地密度関数は地価の関数として外生的に与えられるので、付け値 b_{il} が内

生的に一義に定められる。式(3)の付け値関数に IIGD を仮定すると、ランダム付け値モデルより、 l において i が最大付け値を付ける確率は、ロジットモデルを用いて

$$p_{il} = \frac{\exp \mu_i b_{il}}{\sum_{j \in u_I} \exp \mu_j b_{jl}} \quad (4)$$

$$s.t. V(b_{il}) \leq V_l^{cap} \quad \forall j \in u_I$$

V_l^{cap} : 筆 l における指定容積率規制

のように求められる。式(4)における制約条件は、立地密度関数における容積率規制でありこの制約を満たさない建物タイプは付け値競争に参加しないことを意味している。区画 k_s における建物タイプ i の立地比率を表す配分関数は、区画内では土地条件が均一であると見なされるので式(4)において l を k_s に置き換えて、

$$p_{ik_s} = \frac{\exp \mu_i b_{ik_s}}{\sum_{j \in u_I} \exp \mu_j b_{jk_s}} \quad (5)$$

$$s.t. V(b_{jk_s}) \leq V_{k_s}^{cap} \quad \forall j \in u_I$$

ここで、区画 k_s における建物タイプ i の立地する筆数を n_{ik_s} とすると、その配分パターン $\{n_{ik_s}\}$ の同時確率は式(5)の配分関数を用いて式(6)のように表される。

$$P = \prod_{k_s} \left(\frac{L_{k_s}!}{\prod_{i \in u_I} n_{ik_s}!} \prod_{i \in u_I} p_{ik_s}^{n_{ik_s}} \right) \quad (6)$$

$$s.t. L_{k_s} = \sum_{i \in u_I} n_{ik_s}$$

L_{k_s} : 区画 k_s 内筆数

式(6)における制約は、区画内の筆数の総量条件である。次に式(6)の同時確率最大化を行う際の制約条件を考えると、配分パターンに関して上位モデルの立地量 N_{IS} に対する総量条件が式(7)で与えられる。

$$N_{IS} = \sum_{k_s} \sum_{i \in u_I} \beta_i V(b_{ik_s}) n_{ik_s} \quad (7)$$

β_i : 活動量変換係数

$V(b_{ik_s})$: 立地密度関数

上位モデルにおいては世帯数、商店数、従業員数と

いったものが活動量として配分されるため、建物へと変換することが必要であり、 β_i はその単位床面積当たりの活動量を表す。立地密度関数は(3)におけるものと同様であり、建物の高度利用の程度を表す。また、各々の区画における配分値の物理的、制度的な制約を式(8)で与える。

$$G_r(n_{ik_s}) \leq C_{k_s r} \quad (r=1, \dots, R) \quad (8)$$

式(7)、式(8)の制約条件の下に、配分関数に対して式(9)の同時確率最大化を行う。

$$P = \prod_{k_s} \left(\frac{L_{k_s}!}{\prod_{i \in U_i} n_{ik_s}!} \prod_{i \in U_i} p_{ik_s}^{n_{ik_s}} \right) \rightarrow \max \quad (9)$$

$$s.t. \quad L_{k_s} = \sum_{i \in U_i} n_{ik_s}$$

$$N_{IS} = \sum_{k_s} \sum_{i \in U_i} \beta_i V(b_{ik_s}) n_{ik_s}$$

$$G_r(n_{ik_s}) \leq C_{k_s r} \quad (r=1, \dots, R)$$

最大化問題(9)より建物タイプ*i*の土地区画*k_s*での立地量*n_{ik_s}*が求められ、これを用いて上位モデル配分の妥当性の検討及びプロジェクトの環境評価が行われる。

(2) パラメータ推定

パラメータ推定は、GISの詳細情報よりサンプルとなる筆をいくつか取り出し、最尤法を用いて行う。このサンプルの大きさを*L_Z*とする。

まず、付け値の初期値*b'_{il_z}*はサンプル筆*L_Z*のGISの詳細情報によって得られる観測地価*LP_{l_z}*によって式(10)に示されるように与えられる。

$$b'_{il_z} = LP_{l_z} \quad (10)$$

サンプル筆*I_A* (*I_Z*=1,...,*L_Z*)に対する付け値関数は式(11)で与えられる。

$$b_{il_z} = \mathbf{a}_i \mathbf{X}_{l_z} V(b'_{il_z}) + \text{Const}(i) \quad (11)$$

式(11)の第2項は、式(3)の第2項における全ての現在の建物タイプに対する平均的な除却及び建設費用を表す調整項である。式(11)における詳細な土地条件はGISデータベースより入手する。配分関数は式(12)で与えられる。

$$p_{il_z} = \frac{\exp \mu_i b_{il_z}}{\sum_j \exp \mu_j b_{jl_z}} \quad (12)$$

式(12)において、*i*とサンプルにおける現実の土地利用*i_R*が一致しているものを考えることにより、式(13)の対数尤度関数が得られる。

$$\ln P = \sum_{l_z} \sum_{i \in U_i} \ln p_{il_z} \delta(i, i_R) \rightarrow \max \quad (13)$$

$$\delta(i, i_R) = \begin{cases} 1: i = i_R \\ 0: i \neq i_R \end{cases}$$

式(11)及び式(12)を代入し、式(13)の尤度関数は最大化され、パラメータ*a_i*、*μ_i*、*Const(i)*が推定される。次に、推定されたパラメータを用いて付け値*b''_{il_z}*が計算される。

$$b''_{il_z} = \mathbf{a}_i \mathbf{X}_{l_z} V(b'_{il_z}) + \text{Const}(i) \quad (14)$$

ここで、式(11)における*b'_{il_z}*と式(14)における*b''_{il_z}*が等しければ、パラメータが決定され、等しくなければ*b'_{il_z}*を*b''_{il_z}*でおきかえて式(11)に戻る。この繰り返し計算は、パラメータが決定されるまで繰り返される。

4. 適用

以上の定式化及びパラメータ推定法に基づき、仙台都市圏を対象としてデータベースの整備を行い、モデルの適用を行う。分析の基礎となるGISデータベースとしては、GISエンジンATOM(朝日航洋)を用いたシステムの構築をWindows 95環境で行っている。

5. まとめ

本稿では、GISの詳細データに基づく詳細な土地条件を考慮した、土地に即した配分を行う2段階土地利用モデルについて、その構造と、下位モデルにおける建物ベースでの配分の定式化及びパラメータ推定方法の提示を行った。実際の適用例に関しては発表時に報告する予定である。

<参考文献>

- 1) M. WEGENER. (1994) Operational Urban Models. Journal of American Planning Association, Vol.60, No.1. Japan Technology Science, Winter.
- 2) A.ANAS. (1978) Dynamics of Urban Residential Growth. J. Urban Econom., 5(1), p66-87.
- 3) ECHENIQUE, M. (1985) The Use of Integrated Land Use and Transport Models, in: M. Florian (ed.), The Practice of Transportation Planning.