【土木計画学研究・講演集 No.12　1989年12月】

ランダム効用および付け値分析に基づく土地利用モデルの札幌都市圏における適用

A Land-Use Model based on Random Utility / Rent-Bidding Analysis
and its Application to the Sapporo Metropolitan Area

宮本和明*
By Kazuaki Miyamoto

The aim of this study is to develop an operational land-use model based on an exact theoretical model in urban economics, to predict future land use by considering small units of land in the evaluation of transport projects. The model proposed in this study employs both model concepts of random utility and random rent-bidding to make the basic theory in the urban economics applicable to quantitatively forecast land use changes in an actual metropolitan area. Consequently, the model is called RURBAN (Random Utility / Rent-Bidding Analysis model). A simulation model based on the RURBAN is built with the Sapporo City as a case study area. Results of the simulation using the model show satisfactory values for the correlation coefficients between observed changes in land use and those estimate by the model.

1. はじめに

本研究の目的は、都市圏における交通施設整備や土地利用規制等の効果影響分析を、小区画単位の土地利用変化予測を介して行うことができる実用的なモデルを構築し、その有効性を実際の都市における適用性を通して検討することである。モデルの適用は、都市圏が比較的独立していることから札幌市を対象地域として行っている。

モデルの構築に際しては、都市経済学における効用最大化および付け値最大化等の基本的な理論モデルとの整合性を重視して行っている。すなわち、本研究は都市経済学における理論モデルの実用モデル化を図るものである。

本研究で提案するモデルは、ランダム効用およびランダム付け値の２つのモデルに基づいて構築されていることから、RURBAN (Random Utility / Rent-Bidding ANalysis model) と呼ぶ。

RURBANは、先に著者が提案したモデル[1)2)]を、考え方をはじめとして大幅に再構築したものである。なお、RURBANの基本的な考え方については既に参考文献3に発表している。

* 正会員　工博　横浜国立大学助教授　工学部建設学科　(〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台156)

2. 基本的な考え方

(1)　土地市場均衡

まず、対象地域である都市圏を、立地条件に大きな差が無いと認められる、1km²程度の小区画（ゾーン）に分割して扱う。これは、個々の区画をゾーンとして統合したとも考えることができる。また、都市的な立地主体をその立地特性に基づいて主体グループとして分類して取り扱う。本モデルにおいては、このように、土地と立地主体は共に集計的に捉えてモデル構築を行っている。

また、①各ゾーンはそれぞれ一人の仮想的な地主に所有されている、②土地需要者と土地供給者は別の主体である、として取り扱う。両者が一致する場合は、帰属地代を暗示的に考慮することにより、この取扱を実際の事象に整合させることができる。

そして、対象地域内の土地市場は、社会経済条件と土地条件とに大きな変化が無い場合においては均衡していると仮定している。本研究における土地市場均衡とは、各主体グループごとの各ゾーンにおける土地需要量が、各ゾーンの各主体グループに対する土地供給量に一致することである。

なお、この需要と供給は、新規のものだけではな

く、既存の立地量をも含めた、いわゆるストック量としてのものである。

（２） ランダム効用に基づく土地需要関数

ここでは住宅立地を中心に述べるが、産業立地においては効用を利潤と読みかえるだけで同様の取扱ができる。

立地主体グループＩのあるゾーンＳにおける効用を、U_{IS}とし、ランダム効用を仮定すると、ＩがＳを選択する確率はロジットモデルから求められる。まず、このことを個々の主体ｉが個々の区画ｓを選択する場合から考え、効用関数U'_{is}を式(1)のように仮定し、その対数をとると対数効用関数U_{is}が式(2)のように導ける。

X'_{isk} ：立地条件（地代を除く）

ｑ：土地占有面積

ｚ：合成財の量

α_{ik}, β_i, γ_i：パラメーター

$$U'_{is} = \prod_k X'^{\alpha_{ik}}_{isk} \cdot q^{\beta_i} \cdot z^{\gamma_i} \quad (1)$$

$$U_{is} = \ln U'_{is} = \sum_k \alpha_{ik} \ln X'_{isk} + \beta_i \ln q + \gamma_i \ln z \quad (2)$$

これに(3)式の所得制約Y_iを考えてその最大化を図り定数項を省略すると、土地条件のほかに地代が重要な変数として含まれる形で、(4)式の間接効用関数が導かれる。

R'_s：地代

Ｐ：合成財の単位価格

$$Y_i = R'_s \cdot q + P \cdot z \quad (3)$$

$$U_{is} = \ln U'_{is} - \text{const.} = \sum_k \alpha_{ik} \ln X'_{isk} - \beta_i \ln R'_s \quad (4)$$

ここで以下のように表示をかえると、

$$X_{isk} = \ln X'_{isk} \quad (5)$$

$$R_s = \ln R'_s \cdot \quad (6)$$

$$\alpha_i = \{\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \cdots, \alpha_{ik}\} \quad (7)$$

$$X_{is} = \{X_{is1}, X_{is2}, \cdots, X_{isk}\}^t \quad (8)$$

間接効用関数U_{is}は式(9)のように表現される。

$$U_{is} = \alpha_i X_{is} - \beta_i R_s \quad (9)$$

同時に占有面積がθ_iをパラメーターとして式(10)のように求められる。

$$q_{is} = \beta_i Y_i / R'_s (\gamma_i + \beta_i) = \theta_i / R'_s = \theta_i \exp(-R_s) \quad (10)$$

ここでランダム項ε_{is}を導入してランダム効用を仮定すると、

$$U^R_{is} = U_{is} + \varepsilon_{is} \quad (11)$$

となる。以上の議論は個々の主体および個々の土地区画に対するものであったが、これをそれぞれ集計し、主体グループＩとゾーンＳとして考えると、ゾーン内の立地可能区画の数L_{IS}と、それら個々の区画のばらつきV_{IS}のそれぞれによるシフトを補正するための項が付加される。すなわち、

$$U^R_{IS} = U_{IS} + (1/\mu) \ln L_{IS} + (1/\mu) \ln V_{IS} + \varepsilon_{IS} \quad (12)$$

ここに、効用関数の説明変数を主体グループとゾーンの特性と置き換えて、

$$U_{IS} = \alpha_I X_{IS} - \beta_I R_S \quad (13)$$

となる。また、主体グループＩがゾーンＳに立地した場合の個々の主体が占有する単位面積がq_{IS}であることから、ゾーンＳ内のＩにとっての利用可能区画数L_{IS}は式(14)のようになる。また、集計化に起因するばらつきを表す項は(15)のように表される[4]。

$$L_{IS} = A_S / q_{IS} \quad (14)$$

$$V_{IS} = [1/(L_{IS} \cdot N_I)] \cdot \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \exp \mu (U_{IS} - U_{IS}) \quad (15)$$

ここで、ε_{IS}にＩＩＧＤを仮定すると、ロジットモデルから、ＩがＳを選択する確率Prob（U｜I in S）は、

$$\text{Prob}(U \mid I \text{ in } S) = \frac{\exp(\mu U_{IS} + \ln L_{IS} + \ln V_{IS})}{\sum_T \exp(\mu U_{IT} + \ln L_{IT} + \ln V_{IT})} \quad (16)$$

となる。この確率とＩの主体数N_Iから立地分布の期待値が式(17)のように求められる。

$$\Phi^u_{IS} = N_I \, \text{Prob}(U \mid I \text{ in } S) \quad (17)$$

この期待値はＩのＳにおける需要関数とみなすことができる。ただし、これは立地競合する他の主体グループを考慮しないものである。実際の立地分析においてはそれを明示的に考慮する必要があり、そのために、以下に述べる付け値分析が必要となる。

（３） ランダム付け値に基づく土地供給関数

ある土地がある地代である用途に使われているということは、その土地の所有者がその地代で、土地をその用途の主体に供給していることに他ならない。これを、ゾーンにおいて考えると、ゾーンの仮想的

な所有者Ｓが主体グループＩに供給する土地の量は、土地に対するその主体Ｉの付け値B_{IS}に依存するとよみかえることができる。ゾーンは十分に広くまた主体グループにも個々の主体が多いことから、Ｓにおいて Ｉ が最大付け値をつける確率はランダム効用を考えたロジットモデルから以下のように与えられる。

まず個々の土地区画ｓにおける個々の立地主体ｉの場合を効用分析と同様に考えると対数地代関数は、

$$B_{is} = \ln (Y_i - P \cdot z) - \ln q \tag{18}$$

これを効用水準U^*_iのもとに最大化することにより対数付け値関数が式(19)の求められる。

$$B_{is} = \{\alpha_i X_{is} - U^*_i\} / \beta_i \tag{19}$$

これにランダム項を仮定し、また、主体と区画をそれぞれ主体グループとゾーンとして集計することによる調整項を加えると式(20)がえられる。、

$$B^R_{IS} = B_{IS} + (1/\omega) \ln N_I + (1/\omega) \ln W_{IS} + \xi_{IS} \tag{20}$$

$$W_{IS} = [1/(N_I \cdot L_{IS})] \cdot \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \exp \omega (B_{is} - B_{IS}) \tag{21}$$

ここで、ξ_{IS}にＩＩＧＤを仮定すると、ランダム付け値モデル[5]から、Ｓにおいて Ｉ が最大付け値をつける確率Prob（B｜S for I）は、

$$\text{Prob}(B \mid S \text{ for } I) = \frac{\exp(\omega B_{IS} + \ln N_I + \ln W_{IS})}{\sum_J \exp(\omega B_{JS} + \ln N_J + \ln W_{JS})} \tag{22}$$

のように求められる。この確率とゾーン内での立地可能区画数L_{IS}から求められる期待値は、ＳのＩに対する土地の区画数表現での供給量と見なすことができる。

$$\Phi^b_{IS} = L_{IS} \,\text{Prob}(B \mid S \text{ for } I) \tag{23}$$

これには他のゾーンの存在についての考慮はなされていない。それぞれの主体グループに関して、立地誘致において競合する他のゾーンの考慮は効用分析においてなされている。

なお、付け値関数自体は効用関数の双対関数として導出されている。そのため、土地条件に関する項は効用関数と共有するが、地代の代わりに効用水準を表す項が含まれる。効用水準と地代は、それぞれ競合相手の存在により決定されるが、それは次の立地均衡条件から求められる。

（４） 均衡条件

この節から、立地主体グループとゾーンを共に小文字の添字で表すこととする。

上記の両関数から与えられる、各ゾーンにおける各主体グループの需要量と供給量が、ゾーンと主体グループの全ての組合せにおいて等しくなるという条件、すなわち式(24)から、各主体グループの効用水準と各ゾーンの代表地代が、それぞれ式(25)(26)のログサム関数として与えられることが導出される。また、両関数値の補正項V_{is}とW_{is}が等しくなければならないという条件も示される。さらに、両関数の分散パラメーターと付け値にかかるパラメーターの間に成立すべき条件式が存在することが式(27)のように示される。

$$\Phi^u_{is} = \Phi^b_{is} \tag{24}$$

$$U^*_i = (1/\mu) \cdot \ln \sum_s \exp(\mu U_{is} + \ln L_{is} + \ln V_{is}) \tag{25}$$

$$B^*_s = (1/\omega) \cdot \ln \sum_i \exp(\omega B_{is} + \ln N_i + \ln W_{is}) \tag{26}$$

$$\mu \beta = \omega \tag{27}$$

（５） RURBANの基本方程式

以上から、RURBANは、以下の基本式から構成される。この場合の未知数はU_{is}、B_{is}、q_{is}、L_{is}、U^*_i、B^*_sであり、その総数は（$4i \cdot s + i + s$）個となる。そして独立な方程式の数は、以下の式群から同数であることが確認される。

$$U_{is} = \alpha_i X_{is} - \beta_i B^*_s \tag{28}$$

$$q_{is} = \theta_i \exp(-B^*_s) \tag{29}$$

$$L_{is} = A_s / q_{is} \tag{30}$$

$$B_{is} = \{\alpha_i X_{is} - U^*_i\} / \beta_i \tag{31}$$

$$U^*_i = (1/\mu) \cdot \ln \sum_s \exp(\mu U_{is} + \ln L_{is} + \ln V_{is}) \tag{32}$$

$$B^*_s = (1/\omega) \cdot \ln \sum_i \exp(\omega B_{is} + \ln N_i + \ln V_{is}) \tag{33}$$

（６） 非都市的土地利用の取扱

都市的土地利用に関しては、効用および付け値の両者を定義し、現実の土地利用形態から計測することが原理的には可能である。しかるに、農業等の非都市的利用は、一般の都市圏での土地利用変化においては、都市的利用に用地を供給する機能しか有し

ない。そのため本研究においては、非都市的土地利用の効用は明示的には考慮しない。しかし、その付け値は用地供給を表現するために非常に重要である。

まず、基準時点における付け値はその時点の非都市的土地利用のシェアを再現するように、ランダム付け値関数をキャリブレーションして求めることができる。そして、この付け値の変化は、実際には、金利変化等に伴う、いわゆるポートホリオ選択や、状況変化に拘らずに農地として利用するキャプティブ選択等により決定される。しかし、本研究の段階においては、予測シミュレーションにおいては先決的にその変化を与えるものとし、その内生化は行っていない。

3．RURBANの特色

付け値関数は、本質的には、効用関数の双対関数にすぎない。そのため、ゾーンにおける立地競合を価格決定機構に取り込まない分析においては通常の効用分析のみで十分である。あるいは、主体グループ内の個々の主体の総数を単なる制約として用いる分析においては、付け値分析だけで事が足りる。しかしそのような取扱においては、制約条件を最終的に満たすように簡単な再配分過程を導入するに過ぎず、市場均衡システムを表現していることにならない。言い替えると、対象地域内の主体の立地需要量と利用可能用地量の両方の制約を同時に満足させるような均衡状態を表現することはできない。

本研究においては、土地市場均衡を、各主体グループの効用水準と各ゾーンの地代を介して求めることにより、各種の主体の混合立地をモデル化しており、わが国の都市圏のような混合した土地利用形態をも表現できるところに特色がある。そのためには、効用と付け値の両方からの均衡を求めている。また、地代の変化に伴う主体の利用面積の変化、すなわち高地価地域における高層利用等をも完全に内生化していることも特色としてあげられる。

4．パラメーターの推定方法

効用および付け値の両関数は、本質的には相互に双対関数であることから、ほとんどの変数とパラメーターを共有する。そのため、パラメーター推定においては両者の整合性を考慮する必要がある。

パラメーターの推定は通常のロジットモデルにおける最尤法によることもできるが、RURBANが集計型のモデルであることから、集計データを用いた重回帰分析により行っている。

また、効用関数と付け値関数の推定はまずそれぞれ別に行い、次いで、それらの結果から一つの調整値を求める手順を取っている。すなわち、それぞれの推定値を、それらの標準誤差の推定値を基に、誤差理論から導かれる重み付き平均を取ることにより、シミュレーション用のパラメーターを求めている。

パラメーター推定に用いた関数は以下の通りである。まず、効用関数のパラメーター推定用としては、主体グループｉの、ゾーンｓとｔにおける立地件数F_{is}とF_{it}の比が需要関数の比に比例することから、

$$(F_{is}/F_{it}) = \Phi^{u}_{is}/\Phi^{u}_{it}$$
$$= \exp\{\mu\alpha_i(X_{is} - X_{it}) - \mu\beta(R_s - R_t) + (\ln L_{is} - \ln L_{it}) + (\ln V_{is} - \ln V_{it})\} \tag{34}$$

となる。この対数を取り、ばらつきに起因する変数を残差項と見なすことにより(35)式が導かれる。

$$\ln(F_{is}/F_{it}) - \ln(A_s/A_t) - (R_s - R_t) = \mu\alpha(X_{is} - X_{it}) - \mu\beta(R_s - R_t) \tag{35}$$

付け値関数に関しても同様に、各ゾーン内の主体グループの立地件数比が供給量に比例することから、

$$F_{is}/F_{js} = \Phi^{b}_{is}/\Phi^{b}_{js} \tag{36}$$

となる。これを書き直し整理すると、ゾーンの代表地価としてｊ用途のものがえられる場合として、次の式が導かれる。

$$R_{js} = [1/(1+\omega)]\ln(F_{is}/F_{js}) + (\alpha_i/\beta_i)X_{is} + \mathrm{CONST}_{i-j} \tag{37}$$

ここに、CONST_{i-j}は、主体間の特性差に起因する定数である。

5．札幌市における適用

（１）　パラメーターの推定結果

札幌市においてRURBANの適用を試みた。説明変数としては、当初は論理的に意味をもつものを多く取り込んだが、符号条件と有為性検定から表１のような結果となった。これらをみると、効用と付け値それぞれの推定結果の間に一応の整合性が見いだされる。また、調整されたパラメーターの有意性も、そ

表1　効用関数および付け値関数の各々のパラメーター推定結果と
それらに基づいて調整された共通パラメーター

	パラメーター（標準誤差）					
	効用関数		付け値関数		調整済み共通	
立地主体グループ						
説明変数	$\mu\alpha$		α/β		$\mu\alpha\ (=\omega\alpha/\beta)$	
住宅						
小学校までの距離（m）	-0.220	(0.0726)	-0.221	(0.0670)	-0.154	(0.0270)
札幌駅までの時間（分）	-0.137	(0.111)	-0.414	(0.0545)	-0.242	(0.0307)
当該ゾーン内商店数	0.243	(0.0302)	0.182	(0.0397)	0.157	(0.0240)
中心商業業務						
最寄り駅までの距離（m）	-0.0370	(0.125)	-0.0228	(0.0234)	-0.0141	(0.0225)
容積率（%）	1.33	(0.142)	0.198	(0.0292)	0.134	(0.0234)
札幌駅までの時間（分）	-0.0686	(0.185)	0.0477	(0.0468)	-0.0298	(0.0226)
近隣商業						
最寄り駅までの距離（m）	-0.117	(0.0288)	-0.0234	(0.0230)	-0.0328	(0.0225)
幹線道路沿道（ダミー）	-0.00482	(0.0946)	0.223	(0.180)	0.0553	(0.0249)
当該ゾーン内世帯数	0.667	(0.0495)	0.122	(0.0193)	0.0929	(0.0227)
札幌駅までの時間（分）	-0.142	(0.0986)	-0.212	(0.0440)	-0.129	(0.0242)
工業						
工業用途指定（ダミー）	-0.122	(0.0853)	-0.253	(0.0874)	-0.145	(0.0286)
高速道路ＩＣまでの時間（分）	-0.0322	(0.0349)	-0.0938	(0.0345)	-0.0504	(0.0226)
効用関数共通変数	$\mu\beta$				$\mu\beta\ (=\omega)$	
地価（円/m^2）	0.604	(0.0371)			0.605	(0.371)
付け値関数共通変数			$1/(1+\omega)$			
立地件数比			0.0735	(0.0183)		
付け値分析における住宅との定数差			$CONST_{i-j}$			
中心商業業務			2.03	(0.245)		
近隣商業			1.48	(0.293)		
工業			0.994	(0.292)		
重相関係数	0.6430		0.8483			

の標準誤差の推定値から、十分と判断される。

（２）　事後テスト結果

表１に示すシミュレーションモデル用に調整されたパラメーターを用いて、昭和56年を基準年とするパイロットモデルを構築し事後テストを行った。なお、推定パラメーターのみから再現できる昭和56年時点での土地利用分布は、当然、観測値とは異なる。この取扱としては、その残差は先に示したV_{is}に起因するものと見なし、初期補正を行うことにより基準年時点の土地利用分布を完全に再現している。

昭和61年を予測目標年とする５年間の土地利用変化シミュレーション計算の結果を、都市的土地利用面積の変化分の計算値と観測値の相関係数で表すと、住宅、商業業務、工業のそれぞれにおいて、0.880、

0.811、0.991という値がえられた。これらが変化分どうしの相関係数であることから、十分な値と考えられる。これらのうち、住宅面積の変化についての結果を図1に示す。

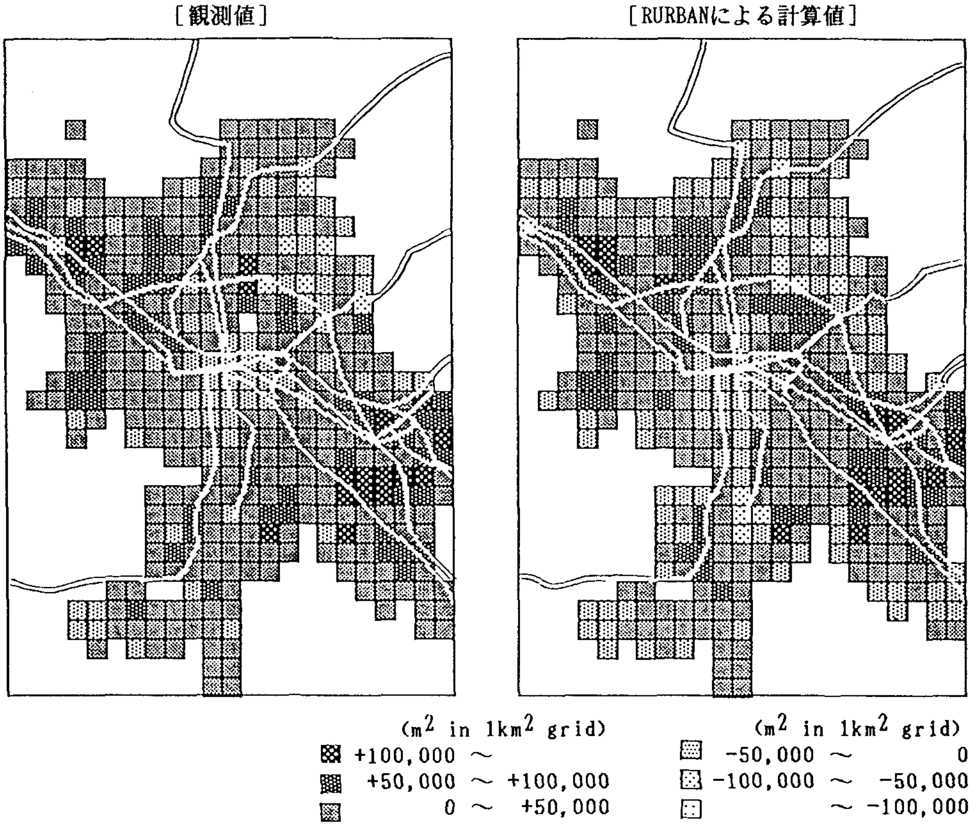

図1　住宅地面積の変化の観測値と計算値の比較（昭和56年～61年）

6．おわりに

本研究は、部分においては改良すべき箇所が存在するが、基本的な考え方においては一応の結論を得たと考えられる。今後、札幌市におけるケーススタディを通して、シミュレーションモデルの操作性能をも含めて、RURBANの改良を行っていく予定である。

なお、本研究に際しては、東京大学大学院（現野村総研）北詰恵一君、同大学院平尾輝明君の協力をえた。また、札幌市関連のデータ作成等に関しては、北海道開発コンサルタントの桑田雄平、横澤健一両氏の協力を頂いている。以上記して謝意を表する次第である。

参考文献

1)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, 1987, Monash University

2)宮本和明：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、土木計画学研究・論文集、No.5 、1987年

3)Miyamoto,K. and Kitazume,K.:A Land-Use Model based on Random Utility/Rent-Bidding Analysis (RURBAN), 5th World Conference on Transport Research, 1989

4)Ben-Akiva, S.R.Lerman: Discrete Choice Analysis, MITpress, 1985.

5)Ellickson, B.: An Alternative Test of the Hedonic Theory of Housing Market, Journal of Urban Economics, No.9, 1981.