

街区空間評価のための建物分布予測モデル*

Building Spatial Distribution Model for Evaluating Urban Space in Blocks*

寺嶋大輔**・富田安夫***

By Daisuke TERASHIMA**・Yasuo TOMITA***

1. はじめに

我が国の都市は、現在の人口停滞期から、まもなく人口減少期を迎えることが予想され、また、環境問題や財源問題の厳しさも増していることから、持続可能な都市づくりが求められている。このような状況下において、都心機能の再生や都心居住の促進が求められている。しかし、現在においても、望ましい市街地や建物景観が実現しているとはいえない我が国の都市において、既存市街地での新たな人口の受け入れは、市街地の一層の混乱をもたらす可能性がある。

望ましい市街地形成や建物景観の創出のためには、都市計画規制や経済的インセンティブなど広範な政策を総合的に活用することが求められている。また、政策の実施にあたっては、地域住民との円滑な合意形成が欠かせない。

本研究は、街区レベルを対象として、都市計画規制や経済的インセンティブ政策などの実施が建物空間分布へ及ぼす影響を予測分析するための建物分布予測モデルを開発することを目的とする。このモデルによって提供される建物空間分布の情報は、建物景観のみならず、街区レベルの採光条件、空気循環などの環境面での評価や、延焼遮断のような防災面での評価などの基礎情報としても活用することが期待できる。また、3次元可視化された建物分布情報は住民との合意形成のためにも極めて有効である。

2. 関連研究

近年 Waddell et al¹⁾や Larson et al²⁾のように、マイクロシミュレーションによって詳細な街区単位で土地利用を予測する研究が行われてきている。これらの研究はモンテカルロ法を用いて立地主体の行動に基づいて

街区単位の立地主体の分布を予測するのに対し、本研究では建物供給者の行動に基づいて、街区内の個々の敷地における建物立地を予測することを目的としている。建物分布の予測に関する研究として Miyamoto et al³⁾、杉木ら⁴⁾は、交通プロジェクトや土地利用規制による環境面の影響を評価するための、街区単位の建物用途および高さを予測できる詳細土地利用モデルを開発している。このモデルは敷地単位のデータを用いているが、予測は街区単位である。兼田⁵⁾はセルラー・オートマトンを用いて敷地単位の建物分布予測システムを開発しているが、このシステムは都市計画教育を目的としており、仮想的な敷地を扱ってはいるものの、現実の敷地単位の分析には必ずしも適さない。

3. 建物分布予測モデル

(1) モデルの考え方と構成

建物分布予測モデルは、2時点間の建物の立地変化を予測することによって、用途別の街区内の総床面積を与件とした将来時点における敷地ごとの建物タイプ（用途および階数）を予測するモデルである。建物タイプは、図-1に示す建物供給者の選択行動によって決定されるものと考えており、その際、建物供給者は将来時点において「期待利潤」の最も大きな建物タイプを選択するものと仮定する。建物タイプ別「期待利潤」とは、建物タイプ別「期待収益」から地価および建設費を差し引いた純収益とする。また、「期待収益」は敷地の土地条件および階数によって決まるものとする。また、地価は「期待収益」から建設費を差し引いた値を付け値とした付け値地代として決まるものと仮定する。モデルは、①建て替え/現状維持サブモデル、②建物タイプサブモデルにより構成し、これをネステッド・ロジットモデルにより定式化する。

以下では、期待利潤を定式化した後に、これを用いて、①建て替え/現状維持サブモデル、②建物タイプサブモデルを定式化する。

*キーワードズ：土地利用、空間整備・設計

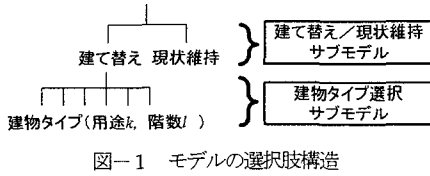
** 学生員 修(工) 神戸大学大学院自然科学研究科

(〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

Phone: 078-881-1212 ex.6360

E-mail: 998d867n@y01.kobe-u.ac.jp)

*** 正会員 工博 神戸大学工学部建設学科助教授



(2) 期待利潤

建物供給者にとっての単位敷地面積当たり期待利潤($\pi_i^{k,l}$)は、期待収益から供給費用(=地価+建築費用)を差し引いたものとして、(1)式のように定義する。図-2は、(1)式における期待利潤、期待収益、供給費用(=地価+建築費用)を建物階数別に模式的に示したものである。(なお、以後「単位敷地面積当たり」は「敷地当たり」、「単位床面積当たり」は「床当たり」と略す。)

$$\pi_i^{k,l} = B_i^{k,l} - (LP_i^k + SC_i^{k,l}) \quad (1)$$

$B_i^{k,l}$: 敷地*i*における用途*k*, 階数*l*の建物の敷地当たり期待収益 (万円/㎡)

LP_i^k : 敷地*i*における用途*k*の地価 (万円/㎡)

$SC_i^{k,l}$: 敷地*i*における用途*k*, 階数*l*の建物の敷地当たり建築費用 (除く土地代) (万円/㎡)

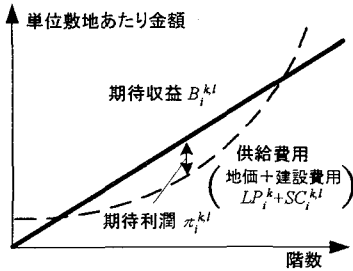


図-2 期待収益、供給費用および期待利潤の関係

以下では、期待利潤の各変数について定式化する。

(a) 期待収益 ($B_i^{k,l}$)

敷地*i*における用途*k*, 階数*l*の建物の敷地当たり期待収益($B_i^{k,l}$)は敷地の土地条件によってヘドニック的に求められるものとし、これを定式化したのが(2)式である。ここでは、敷地当たり期待収益は、床当たり期待収益に、階数を乗じたものとする。また、床当たり期待収益は階数によらず一定であるものと仮定する。

$$B_i^{k,l} = B_i^k \times l = \left(a_0^k + \sum_m a_m^k X_{im} \right) \times l \quad (2)$$

B_i^k : 敷地*i*における用途*k*の床当たり期待収益 (万円/㎡)

X_{im} : 敷地*i*の属性*m*の土地条件

a_m^k : パラメータ

(b) 地価 (LP_i^k)

敷地における地価は用途別に、建物供給者の付け値競争によって与えられるものとする。各用途別の地価は建物の期待収益と建築費用によって、ランダム付け値モデルを用いて(3)式として定式化する。この式は、建物供給者の提示する付け値(=期待収益-建築費用)が、ガンベル分布に従い、その最大値分布の最頻値として地価が決定されることを定式化したものである。

$$LP_i^k = \frac{1}{\omega} \ln \sum_l \exp \left\{ \omega (B_i^{k,l} - SC_i^{k,l}) \right\} \quad (3)$$

$$= \frac{1}{\omega} \ln \sum_l \exp \left\{ \omega \left(a_0^k + \sum_m a_m^k X_{im} \right) \times l - SC_i^{k,l} \right\}$$

$B_i^{k,l}$, $SC_i^{k,l}$: (1)式にて既出, X_{im} : (2)式にて既出

ω , a_m^k : パラメータ

(c) 建築費用 ($SC_i^{k,l}$)

敷地*i*における用途*k*, 階数*l*の建物の敷地当たり建築費用($SC_i^{k,l}$)は(4)式によって与える。ここでは床当たり建築費用に階数と建ぺい率を乗じたものとする。また、床当たり建築費用は、建物階数の線形関数($\beta \cdot l + \gamma$, ここで、 l : 階数, β, γ : パラメータ)によって与える。

$$SC_i^{k,l} = F_k(l) \times l \times \varepsilon_i \quad (4)$$

$F_k(l)$: 床当たり用途別建築費用 (万円/㎡)

l : 階数, ε_i : 敷地*i*における建ぺい率

(3) 建て替え/現状維持サブモデル

建て替え/現状維持サブモデルは、建て替え確率を求めるモデルである。建て替え確率とは予測時点までの間に建て替えが起こる確率であると定義する。建物所有者は現在の建物および各建物タイプに建て替えた場合の期待利潤を所与として、予測時点以降の利潤を最大化するように現在の建物の建て替えを選択するものとする、敷地*i*において現在の建物を予測時点までに建て替える確率はロジットモデルによって次式で表される。

$$P_i = \frac{\exp \left\{ \theta \frac{1}{\lambda} \ln \sum_k \sum_l \exp(\lambda \pi_i^{k,l}) + c \right\}}{\exp(\theta \pi_i^0) + \exp \left\{ \theta \frac{1}{\lambda} \ln \sum_k \sum_l \exp(\lambda \pi_i^{k,l}) + c \right\}} \quad (5)$$

P_i : 敷地*i*における建て替え確率

π_i^0 : 敷地 i において現在の建物を維持した場合の敷地当たり期待利潤 (万円/㎡)

$\pi_i^{k,l}$: 敷地 i における用途 k , 階数 l の建物に建て替えた場合の敷地当たり期待利潤 (万円/㎡)

θ, λ, c : パラメータ

(4) 建物タイプサブモデル

建物タイプサブモデルは、現在の建物を建て替える場合、どの建物タイプに建て替えるかの確率を求めるモデルである。建物タイプ選択確率は、各建物タイプの期待利潤 ($\pi_i^{k,l}$) を説明変数として、ロジットモデルによって定式化すると次式となる。

$$P_i^{k,l} = \frac{\exp(\lambda \pi_i^{k,l})}{\sum_k \sum_l \exp(\lambda \pi_i^{k,l})} \quad (6)$$

$P_i^{k,l}$: 敷地 i での用途 k , 階数 l の建物タイプの選択確率

$\pi_i^{k,l}$: 敷地 i における用途 k , 階数 l の建物の敷地当たり期待利潤 (万円/㎡)

λ : パラメータ

4. 建物分布予測モデルを用いた予測方法

前節のモデルによって与えられる建て替え確率および建物タイプ選択確率を用いて、街区の建物分布を決定する手法を定式化する。出現する建物分布は、その再現確率が最大のものと仮定すると、この問題は、再現確率を表す(7)式を、(8)~(10)式の制約のもとで解く問題として定式化できる。ここで、(8)式は街区における床面積制約を示している。計算に当たっては用途混合を考慮し、各建物タイプ別床面積に対し、街区内の平均的な用途混合比率を乗じることにより各敷地における用途別床面積を算出する。また、(9)式は各敷地において、いずれかひとつの建物タイプのみ出現することを、また、(10)式は都市計画による建物高さの規制を表している。この問題の決定変数は $\delta_i, \delta_i^{k,l}$ である。また、この問題は大規模な 0-1 整数計画問題であり、厳密解法である分枝限定法では多大の計算時間を要するため、本研究では遺伝的アルゴリズム (GA) を用いる。

$$\max \prod_i \left\{ (1 - P_i)^{\delta_i} \cdot \prod_k \prod_l (P_i^{k,l})^{\delta_i^{k,l}} \right\} \quad (7)$$

s.t.

$$\sum_i \left\{ \sum_k (\alpha^{k,k} SA_i^k \delta_i) + \sum_k \sum_l (\alpha^{k,k} SA_i^{k,l} \delta_i^{k,l}) \right\} = \overline{SA}^k \quad (8)$$

$$\delta_i + \sum_k \sum_l \delta_i^{k,l} = 1 \quad \text{ただし } \delta_i, \delta_i^{k,l} = 0 \text{ or } 1 \quad (9)$$

$$l_i^* = \max \{ l : l \leq v_i / \varepsilon_i \} \quad (10)$$

P_i : (5)式にて既出, $P_i^{k,l}$: (6)式にて既出

δ_i : 敷地 i で現在の建物を維持する場合 1, 建て替える場合 0

$\delta_i^{k,l}$: 敷地 i で用途 k , 階数 l の建物への建て替えが実現する場合 1, 実現しない場合 0

$\alpha^{kk'}$: 用途 k の建物内の用途 k' の床面積の比率 (混合比率)

SA_i^k : 敷地 i の現在の建物の用途 k の床面積 (㎡)

$SA_i^{k,l}$: 敷地 i で用途 k , 階数 l に建て替えた場合の建物床面積 (㎡)

$\overline{SA}^k$: 対象地域内の用途 k の総建物床面積需要 (㎡)

l_i^* : 敷地 i の建築規制を考慮した最大階数

v_i : 敷地 i における容積率, ε_i : 敷地 i における建ぺい率

5. パラメータ推定および事後テスト

(1) 対象地域、データおよび用途・階数区分

(a) 対象地域

対象地域は名古屋都心の数街区とした。ただし、地価式の推定にあたっては、この地区のみでは十分なデータを確保できないため、名古屋中区・東区・中村区の公示地価データを用いている。

(b) 使用データ

主なデータソースは名古屋市建物用途現況図(1991, 1996)及び公示地価(1996)である。

(c) 用途・階数区分

用途区分は、商業・業務と住宅の2種類とし、混合用途の場合には、建物用途現況図における主用途を採用した^(註)。階数区分は、12 階までは2 階ごとの6 区分、これに13 階以上を加えた計7 区分とした。

(2) パラメータ推定結果

(a) 期待利潤

期待利潤式 ((1)式) の3つのパラメータ ($F_k(l)$, ω , a_m^k) のうち、最初のパラメータ $F_k(l)$, すなわち床当たり用途別建築費用は、関係者へのヒアリングを参考にして表-1 のように設定した。また、その他のパラメータ (ω , a_m^k) は地価式 ((3)式) と同一である。以下に推定結果を示す。

表-1 床当たり建築費用 ($F_k(l)$) の算定式

用途	用途 k , 階数 l の建物の 床当たり建築費用 $F_k(l)$ (万円/㎡)
住宅	$0.6l + 10$
商業・業務	$0.8l + 10$

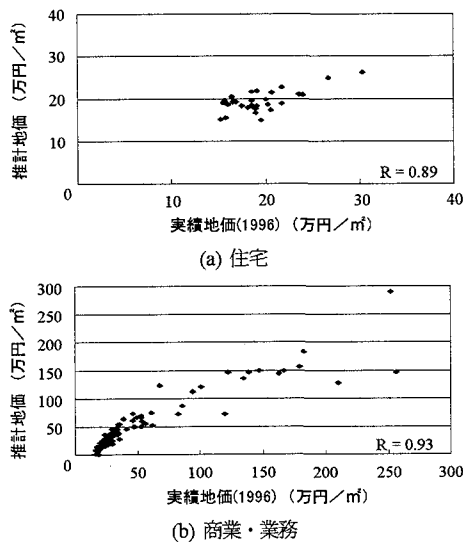
(備考) 関係者のヒアリングを参考に設定

地価式を推定した結果は表－２のとおりである。使用データは公示地価(1996)である。推定結果を見ると、符号条件、 t 値、相関係数とも良好である。例えば、都心からの距離に関する係数は、商業・業務地価の場合、その距離が 1km 増加する毎に、地価が 34,500 円低下することを意味している。

表－２ 地価式のパラメータ推定結果

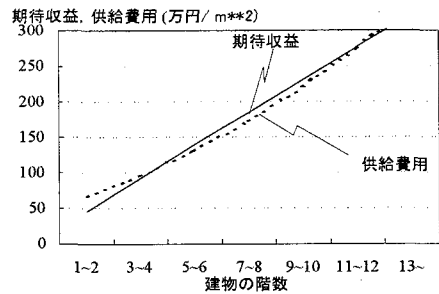
変 数	パラメータ値 (t 値)	
	住宅	商業・業務
都心からの距離 (km) (a_1^{Δ})	-0.318 (-20.3)	-3.45 (-83.9)
容積率 (100%) (a_2^{Δ})	0.355 (4.15)	2.88 (265)
地積 (ha) (a_3^{Δ})	25.2 (24.1)	39.2 (152)
定数項 (a_0^{Δ})	15.4 (74.4)	4.85 (47.8)
分散パラメータ (ω)	0.175 (89.5)	0.067 (737517)
相関係数	0.89	0.93
サンプル数	31	82

地価式の推定結果をもとに、推定地価と実績地価との関係を示したものが図－３であり、良好な結果が得られている。

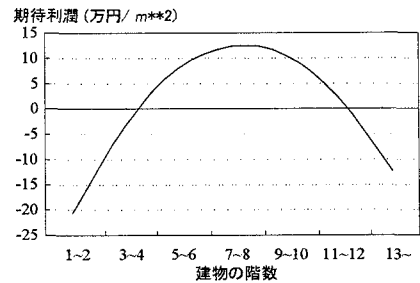


図－３ 地価の推定精度

以上のパラメータを用いると、期待利潤、期待収益、地価、建築費用を計算できる。図－４(a)は、期待収益と、供給費用（＝地価＋建築費用）とを、階数別に図示したものである。この両者の差が期待利潤であり、これを示したものが図－４(b)である。この図は、7～8 階建が最も利潤が高いことを示している。



(a) 期待収益と供給費用

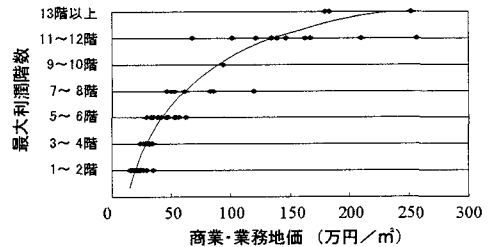


(b) 期待利潤

備考) 敷地面積 250 m^2 、推定地価 64.3 万円/ m^2
都心からの距離 600 m、容積率 600%

図－４ 期待収益、費用、期待利潤（商業・業務）

図－５は、地価式の推定に用いたデータを用い、最も利潤が高くなる階数（最大利潤階数）と地価の関係を示したものである。地価が高くなるにつれて、最大利潤階数も増加していることがわかる。



図－５ 地価と最大利潤階数の関係（商業・業務）

(b) 建て替え／現況維持選択サブモデル

1991 年と 1996 年の建物用途現況図との間で、建物の主用途もしくは階数が異なる敷地において、この 5 年間に建て替えが行われたものと仮定して、建て替え／現況維持サブモデルの推定を行った。

推定結果は表－３に示すとおりである。全体の的中率は 81%であり、また、尤度比も 0.22 と良好である。選択肢別に見てみると、現状維持的中率は 97%と高い反面、建て替え的中率は 41%とやや低い。これは、建て替えに大きな影響を及ぼす築年数のデータが含まれていないことに起因する。

表-3 建て替え/現状維持サブモデルのパラメータ推定結果

変数	パラメータ値 (t 値)
期待利潤 (10,000 円/m ²) (θ)	0.03 (7.56)
建て替え固有ダミー変数	1.92 (8.54)
的中率	81.3%
尤度比	0.22
サンプル数	427

(c) 建物タイプ選択サブモデル

建物タイプ選択サブモデルの推定にあたっては、各敷地に実現している建物タイプが、期待利潤最大化の結果であるものと仮定し、現況の建物分布データを用いて行った。

推定結果は表-4に示すとおりである。期待利潤に関するパラメータの符号は良好である。また、尤度比は0.17でありほぼ良好である。しかし、的中率は29.2%とかなり低い。選択肢が多い場合（ここでは14タイプ）には、的中率自体がモデルの推定精度の指標として必ずしも適切とは言えない点に留意する必要がある。

表-4 建物タイプ選択サブモデルのパラメータ推定結果

変数	パラメータ値 (t 値)
期待利潤 (10,000 円/m ²) (λ)	0.008 (2.03)
1-2 階建て住宅固有ダミー変数	0.823 (3.69)
7-8 階建て商業・業務固有ダミー変数	0.853 (2.42)
的中率	29.2%
尤度比	0.17
サンプル数	113

(3) モデルの事後テスト

前節でのパラメータ推定結果および4.の建物分布予測手法の事後テストを行った。予測にあたっては、1996年時点で、住宅もしくは商業・業務施設が立地する427件のデータを用いて、1991年時点のデータから1996年の建物分布を再現する。

表-5は予測結果的中率を示している。建て替え/現状維持選択的中率は81%であり、パラメータ推定結果とほぼ同様の傾向を示す。一方、建物タイプ選択的中率は21%であり、パラメータ推定結果より低下する。これは建て替え/現状維持選択において的中した敷地のみが対象となることでパラメータ推定時とはデータが異なるためである。

表-5 (a) 建て替え/現状維持選択的中率

推計値 \ 実績値	建て替え	現状維持	合計	的中率
建て替え	38	82	120	32%
現状維持	0	307	307	100%
合計	38	389	427	81%

表-5 (b) 建物タイプ選択的中率 (用途・階数別)

		的中数	実績値	的中率
商業	住宅	0	2	0%
	1-2 階	3	6	50%
	3-4 階	0	1	0%
	5-6 階	0	8	0%
	7-8 階	2	11	18%
	9-10 階	2	7	29%
	11-12 階	0	2	0%
	13 階以上	1	1	100%
合計		8	38	21%

6. おわりに

本研究では、街区レベルを対象として、敷地単位で建物用途および階数を予測することのできる建物分布予測モデルを開発した。このモデルは、各敷地の建物供給者が、期待利潤を最大化する建物タイプ（用途および階数）を選択する行動を、ネスティッド・ロジットモデルにより定式化したものである。また、このモデルを用いた建物分布予測手法として、建物分布の再現確率を最大化する手法を提案した。最後に、名古屋市都心部のデータを用いてモデル推定を行った後に、モデルの予測精度を検証するために事後テストを行った結果、良好な結果が得られた。

本モデルの特徴を整理すると以下のとおりである

- 1) 敷地ベースの予測が可能であることから、街区レベルでの景観評価、採光・大気循環など環境評価、延焼遮断など防災評価など多様な方面への詳細な計画情報の提供が可能である。
- 2) 経済指標としての期待利潤を説明変数に用いているため経済的インセンティブ政策の評価も可能である。
- 3) 本モデルの外生値である街区の総床面積を、従来の土地利用モデルによって与えることによって、従来の土地利用モデルとの統合化が可能である。

最後に、今後の課題としては、モデルの精度の向上を図ると共に、新たなモデルの開発方向として、敷地合併モデルの開発、不確実性やライフサイクルコストを考慮した建物供給者行動のモデル化などが考えられる。

(注) 混合用途に対する考察

本研究では住宅と商業・業務の混合用途については、建物用途現況図における主用途を採用しているが、このことによって予測において問題が生じる可能性がある。まず、商業・業務と住宅の混合用途の形態を考えると、主として①低層の住宅併設商業・業務施設（併用住宅）、②1～2階に商業・業務施設を持った中高層集合住宅（下駄履きマンション）、③中層の商

業・業務施設および高層集合住宅を含んだ複合施設（主に再開発ビル）の3つが挙げられる。これらの施設について主用途を採用することによる問題は、期待収益の誤差および床面積の誤差であると考えられる。

まず、①については、低層建物であるため、用途間における期待収益の誤差や床面積の誤差の影響は小さいものと考えられる。例えば、都心からの距離 500m、敷地面積 100 m²、容積率 600%の敷地における商業と住宅の内訳が等しい2階建ての住商混合用途建物を想定する。この建物の単位敷地あたり期待収益は、38.2（万円/m²）であり、一方全ての床が商業用途であるとした場合の期待収益は、41.6（万円/m²）である。その差は3.4 万円であり、この差は立地に与える影響は少ないと考えられる。

②については、建物の総床面積に占める商業・業務の比率は低いものと考えられるため、主用途で代表させることの期待収益の誤差や床面積の誤差の影響は小さいものと考えられる。例えば、都心からの距離 500m、敷地面積 300 m²、容積率 600%の敷地における8階建てのうち1階部分が商業、2階以上が集合住宅である建物について考えてみる。この建物の単位敷地あたり期待収益は 148.5（万円/m²）、全ての床が住宅用途であるとした場合の期待収益は、145.0 万円である。その差は3.5 万円であり、誤差は少ない。

③については、この種の建物は再開発ビルなどのような大規模敷地における行政等の計画的開発によって立地する建物であるため、本モデルに対しては外生的な要因であると解釈する。

また街区全体に対してはこのような建物は少ないことからパラメータの推定も難しい。

【参考文献】

- 1) Waddell, P. et al: Microsimulation of Urban Development and Location Choices: Design and Implementation of UrbanSim. Preprint of an article that appeared in Networks and Spatial Economics, Vol. 3 No. 1, pages 43-67., 2003
- 2) Larson, K. and Conner, S: MetroScope: Simulating Future Urban Landscapes at the Parcel Level, Twentieth ESRI International User Conference, 2000.
- 3) Miyamoto, K. et al: A Model of Detailed Physical Landuse Patterns for Environmental Considerations, Paper submitted to the 8th World Conference on Transport Research, Antwerp, Belgium, 1988
- 4) 杉木・谷後・内田・宮本：建物と居住世帯のライフステージを考慮した詳細土地利用モデルの構築，土木計画学研究・講演集，No22-2，pp451-454，1999.11
- 5) 兼田：都心計画のための空間利用シミュレーター，シミュレーション&ゲーミング，vol.10 No.1，2000.3
- 6) Lerman, S.R. and Kern, C.R.: Hedonic Theory, bid rents, and willingness to pay: some extensions of Ellickson's results, Journal of Urban Economics, 1983

街区空間評価のための建物分布予測モデル*

寺嶋大輔**，富田安夫***

持続可能な都市づくりの必要性から、都心機能の再生や都心居住の促進が求められている。このような政策の促進によってどのような都市景観や建物空間が実現するかを事前に予測しておくことは重要である。本研究では、敷地別に建物タイプ（用途および階数）を予測する建物分布予測モデルを開発した。このモデルでは、建物供給者は、各敷地における期待利潤を最大化する建物タイプを選択するものと仮定し、これをロジットモデルによって定式化したものである。このモデルの主要変数である期待利潤は、ランダム付け値モデルによって与えられる。また、このモデルを用いた予測方法として、建物立地分布の再現確率の最大化手法を提案した。最後に、名古屋都心地区においてモデルを推定し、事後テスト(1991～1996)を行ったところ良好な結果が得られた。

Building Spatial Distribution Model for Evaluating Urban Space in Blocks*

by Daisuke TERASHIMA**, Yasuo TOMITA***

Urban landscape is largely affected by land-use patterns, the design of individual buildings, and the spatial harmony among these buildings. In this paper, we have developed a building spatial distribution model for visualizing urban space in blocks. In this model, it is assumed that the developers determine rebuilding and a choice of building type (i.e., land-use type and building height) according to the expected profit. Their decision probability is formulated by disaggregate logit model with explanatory variable of the expected benefit. Then the simulation method and its algorithm are developed. Finally, the validity test of the model is implemented in blocks in the city center of Nagoya.