

途上国大都市を対象とした交通計画支援のためのマイクロ土地利用モデル\*  
 Micro-scope land use model for supporting transport planning in developing countries \*

紀伊雅敦\*\*・土井健司\*\*\*  
 By Masanobu KII\*\*, Kenji DOI\*\*\*

1. はじめに

開発途上国における大都市においては、軌道系の交通インフラが未整備な状況で都市の郊外化が著しい速度で進展しており、モータリゼーションと都市の膨張との間に強い相乗作用が見られるのが特徴である。都市の膨張はマクロな視点からは人口増加と所得上昇等の要因によって説明されるが、より即地的には自動車交通への依存を契機とした、集積のメリットを享受しない土地利用パターンの拡大として捉えられる。

著者らは、途上国大都市のうちマニラ首都圏を対象に、中高所得者層の拡大が郊外部でのスプロール市街地の形成を促し、かつスプロールがマストラサービスの成立可能性や自動車依存に影響を及ぼすことを定量的に示した<sup>1)</sup>。さらに、モータリゼーションと都市膨張との相乗作用を説明し、そこから生じる負の社会的影響を評価するための分析システムを提示している<sup>2)</sup>。

本稿は、両者の相乗作用の鍵となるスプロール市街地の形成を説明するための方法論(マイクロ土地利用モデル)とその適用例を示すものである。なお、表-1は、以下に示すマイクロ土地利用モデルの位置づけを示している。

既往研究において、市街地形成を即地的に扱ったものとして、1)経験的な市街化曲線(Built-up Curve)を用いるもの<sup>3)</sup>、2)伝統的な付け値理論を援用したもの<sup>4)</sup>、3)空間的な相互作用に着目し自己組織化現象として捉えたもの<sup>5)</sup>などが見られる。これらのうち、市街地の集塊性やスプロール性を表現しうるものは3)のみであるが、その一方で理論的な意味づけに課題を残している。そこで、本研究では、2)と3)を統合したモデル化手法を考案し、さらに、上位モデルである多市場同時均衡型の立地モデル(表-1参照)との整合化を試みている。

\* キーワード: 土地利用, 市街地整備  
 \*\* 学生員、工修、東京工業大学大学院 博士課程  
 (〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1、  
 TEL 03-5734-2695、FAX 03-3726-2201)  
 \*\*\* 正員、工博、東京工業大学大学院情報環境学専攻

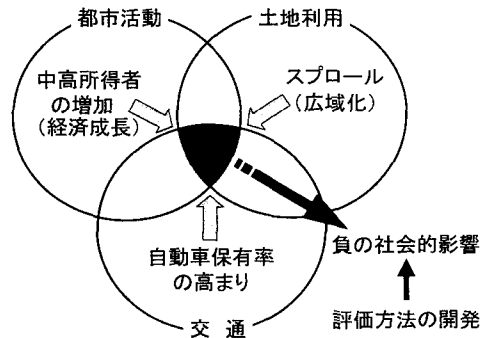


図-1 モータリゼーションと都市膨張との関わり

表-1 空間レベル別の立地、土地利用分析<sup>2)</sup>

空間単位	均衡概念	主体	出力
都市圏	一般均衡	企業	財、労働市場の価格調整 (雇用量,賃金率,価格)
		家計	
		政府	
自治体 (ゾーン)	多市場 同時均衡	企業	財、土地市場の価格調整 労働市場の数量調整 (立地分布,職住 OD,地価)
		家計	
		地主	
地区 (メッシュ)	部分均衡	用途 主体	土地市場での立地競合 (用途配置)

2. マイクロ土地利用モデルの構築

スプロールが進展している市街地は、交通サービスレベルが低く都市活動が希薄な、いわば集積のメリットが作用しない低密土地利用であるといえる。ここでは、スプロールを分析するために、集積のメリットを同種用途間、異種用途間の相互影響として捉え、それに交通基盤の影響を組み込み、土地利用の形成メカニズムを以下のようにモデル化する。

まず、主体  $k \in K$  の、地点  $m \in M$  における立地効用  $V_m^k$  を以下のように定義する。

$$V_m^k = V(q_m^k, r_m^k) \quad (1)$$

ここに、 $q_m^k$  は周辺土地利用に依存した主体  $k$  の立地利便性、 $r_m^k$  は地区  $m$  への立地費用を表す。この  $q_m^k$  を、ここでは以下のように表す。

$$q_m^k = \sum_l v^{l,k} L_{j(m)}^l \quad (2)$$

$L_{j(m)}^l$  は  $m$  の隣接地区における用途  $l$  の集積量、 $v^{l,k}$  は用途  $l$  の用途  $k$  への影響度を表すパラメータである。交通施設の土地利用誘導効果についても交通用地を周辺用途  $l$  の一つと位置づけることにより、 $v^{l,k}$  として表現されている。この影響度  $v^{l,k}$  は、同種用途間の結びつきが強い場合には土地利用は純化されたパターンを示し、異種用途間の結びつきが強ければ、混在したパターンを示すと予想される。

式(1)を  $r_m^k$  について解くことにより主体  $k$  の付け値地代関数が求められる。

$$r_m^k = r(q_m^k, V_m^k) \quad (3)$$

ここでも簡単のため、この地代関数を以下のように特定化しておく。

$$r_m^k = q_m^k - V_m^k \quad (4)$$

ここで、立地均衡条件を全ての地点  $m$  において効用水準が等しい、すなわち  $V_m^k \equiv \bar{V}^k$  とすると、地点  $m$  の立地主体  $C_m$  は次式により求められる。

$$\begin{aligned} C_m &= \arg \max_k (r_m^k, k \in K) \\ &= \arg \max_k (q_m^k - \bar{V}^k, k \in K) \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、主体  $k$  が地点  $d$  に立地するか否かを形式的に以下の関数として表す。

$$\delta_m^k = \delta_m^k(\mathbf{q}, \mathbf{V}) = \begin{cases} 1 & (C_m = k) \\ 0 & (C_m \neq k) \end{cases} \quad (6)$$

ただし、式(5)では全ての主体の付け値地代により地点  $m$  の土地利用が決定されるため、 $\mathbf{q}, \mathbf{V}$  はそれぞれ、全主体の効用成分、効用水準を表す  $K$  次のベクトルである。

ここで、主体ごとの土地消費面積が  $A_k$  として与えられている場合、制約条件として次式が得られる。

$$A_k = a^k \sum_d \delta_d^k(\mathbf{q}, \mathbf{V}) \quad \text{for all } k \quad (7)$$

ただし、 $a^k$  は1主体当たりの土地需要面積である。

これを  $\mathbf{V}$  に関して解くことにより各主体の効用水準は次のように求められる。

$$\bar{\mathbf{V}}^k = \bar{\mathbf{V}}^k(\mathbf{A}, \mathbf{q}) \quad (8)$$

$\mathbf{A}$  は全主体の当該地域における土地消費面積のベクトルである。これにより、各主体の効用水準と土地利用パターンが同時に決定される。このような土地利用の決定条件は集積を考慮したアロンゾ型の立地均衡条件と解釈することができる。

なお、以上に示した同時決定問題を解析的に解くことは困難である。そこで、以下のアルゴリズムにより、式(7)の面積制約を満たす各主体の効用水準と土地利用パターンを求めている。

①  $V^k$  の初期値を定数項としては推定された値とする。ゾーンレベルの活動立地モデルより得られる用途  $k$  の土地需要面積を  $A_k$  とする。

② 式(5)より各地点での用途を求める。それを受けて、式(8)右辺で表される、本モデルから得られる用途  $k$  の総面積が  $A_k^*$  であるとき、

$$\alpha_k = \alpha_k + \delta(A_k - A_k^*) \quad (9)$$

$\delta$ : 調整パラメータ

として  $\alpha_k$  を更新する。

③  $V_k^m = V_k^m + \alpha_k$  として、式(5)及び式(8)右辺より  $A_k$  を再推定する。

④ 全ての  $k$  について

$$|A_k - A_k^*| < \varepsilon \quad (\varepsilon: \text{判定定数}) \quad (10)$$

を満たすならば終了。満たさないならば②へ戻る。

以上の手順により、メッシュレベルでの土地利用と主体別の効用水準が同時に決定されることになる。

### 3. パラメータの推計

ここでは、途上国大都市としてマニラ首都圏(図—2参照)を取り上げ、式(5)を用いて土地利用パターンの分析を行う。ここでは空間単位を  $100 \times 100\text{m}^2$  メッシュと設定した。また、土地利用用途を住宅地、商業・業務地、農地・自然および道路に区分している。メッシュを単位とすることで周辺用途の影響は隣接する8メッシュの用途の影響として表現されるが、道路の影響については、

表-2 モデルパラメータの推定結果

		全 域	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
住宅地	住宅地	0.430	0.946	0.426	0.309	0.385
	商業地	-0.291	-0.184	-0.145	-0.195	-0.153
	農地・緑地	-0.062	-0.273	-0.006	0.015	-0.122
	隣接道路	0.091	-0.188	0.011	0.063	0.252
	周辺道路	0.151	-0.154	0.155	0.144	0.220
商業地	住宅地	-0.038	0.479	-0.001	-0.148	-0.061
	商業地	0.363	0.317	0.460	0.704	0.664
	農地・緑地	-0.225	-0.445	-0.110	-0.110	-0.180
	隣接道路	0.115	-0.023	0.169	0.165	0.288
	周辺道路	0.164	-0.207	0.135	0.150	0.233
相関係数		0.941	0.778	0.827	0.822	0.943
サンプル数		3722	1765	2069	1320	1344

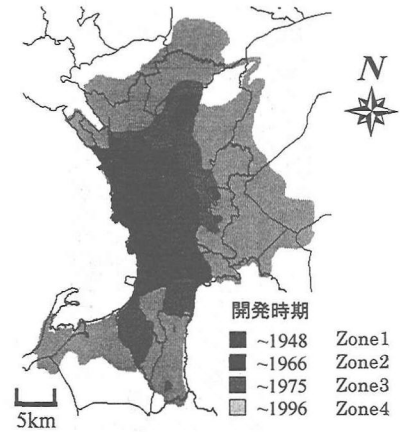


図-2 市街地とその開発時期

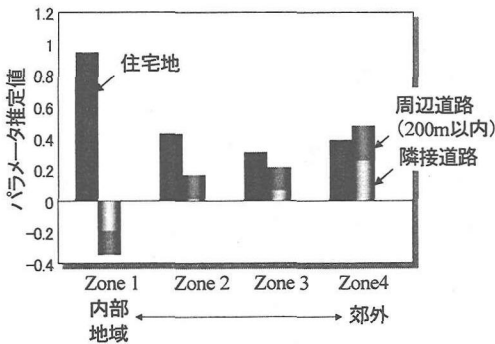


図-3 パラメータ値が示す住宅地の集塊性と道路の誘導効果の地域差

より広域的な観点から、その外周 16 メッシュの影響も考慮している。

なお、式(5)における用途間の影響度を同定するに際し、以下のようなロジットモデルを用いた。

$$P_m^k = \frac{\exp(\sum_l v^{l,k} L'_{l(m)} - \bar{V}^k)}{\sum_{k'} \exp(\sum_l a^{l,k'} L'_{l(m)} - \bar{V}^{k'})} \quad (11)$$

ここに、 $P_m^k$  は地区  $m$  での用途  $k$  の実現確率である。

パラメータ推定に際しては、各メッシュでの卓越用途を外的基準として用い、非集計ロジットを適用した。表-2 は、マニラ首都圏全域と地域別の影響度  $v^{l,k}$  の推定結果を示したものである。なお、主体別の効用水準  $V^k$  は定数項として推定されている。地域については図-2に示す、開発時期により4区分したものをを使用した。

再現性はいずれも、相関係数で約 0.8~0.9 とおおむね妥当であるといえる。

全域での影響度の値を見ると、住宅地、商業・業務地、ともに同種の用途間で正の影響が働き、一定の集塊傾向があることが読み取れる。また、道路の住宅地、商業業務地に対する誘導効果も捉えられている。

一方、影響度をゾーン別に見ると、郊外部ゾーンほど住宅地相互の集塊性は低くなり、商業業務地は、逆に郊外部において集塊傾向が高くなっている。また、両者とも、道路の誘導効果が高まる傾向が読み取れる。市街化時期別の住宅地相互の影響および住宅地に対する幹線道路の影響を図-3に示す。

ここで、集塊性の低下は用途の混在を、また誘導効果の高さは幹線道路沿道でのリボン状開発を示唆しており、郊外部ほど自然発生的な都市開発が行われ、スプロール的な土地利用パターンが形成されていることが読みとれる。

## 5. シミュレーション分析

ここでは、マニラ首都圏の北部郊外であるケソン市において、①既存市街地を含む地区、②市街化がほとんどなされていない地区に、約 7km の幹線道路をそれぞれ新設した場合の土地利用変化を推定する。これらを比較し、道路整備を行う地区の市街化の違いによるスプロールへの影響を捉える。図-3はマニラ首都圏における土地利用現況、現況の幹線道路、および分析対象地域、シミュレーションで設定した道路を示すものである。ここで、設定した道路を



図-3 土地利用現況と幹線道路網

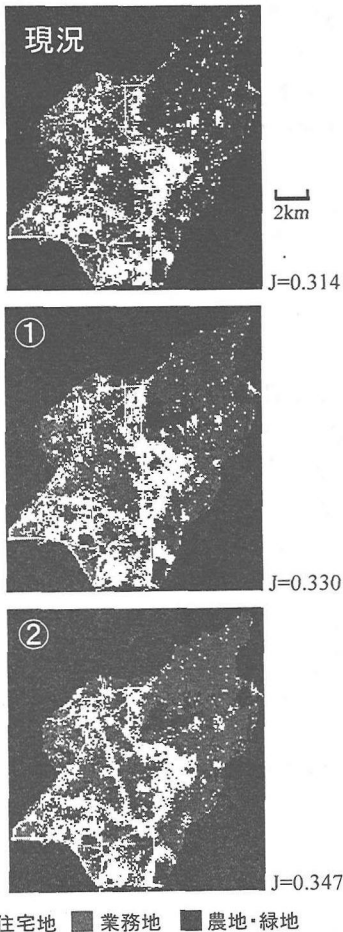


図-4 道路整備による土地利用変化予測

図-3 に白線で示す。なお、影響度パラメータは Zone4 のものを用いている。

2つのケースでの道路整備に伴う土地利用変化を図-4に示す。なお、図右には土地利用の混在度指標であるジョイン値<sup>2)</sup>を併記している。この値が高いほどスプロール度が高いことを意味する。

これよりケース①では、図からは目立った土地利用変化は読みとれないものの、ジョイン値の変化で見ると、ややスプロール度が高まっていることがわかる。一方、ケース②では新設道路沿道において住宅地開発が顕著に進み、ジョイン値についても①の2倍程度の増加が示されている。これらの結果より、道路整備は郊外部におけるスプロールの原因の一つと言えるが、その位置選定によっても、その影響度は大きく異なることが示されている。

## 6. おわりに

本研究で構築したマイクロ土地利用モデルを用いて、市街地形成における同一用途の集塊性と、道路の土地利用誘導効果が定量的に把握された。また、地域別の推定結果より、郊外部ほど住宅や商業地の集塊性が低く、その一方で道路の市街地誘導効果が高いことが示された。これより、本研究で構築したマイクロ土地利用モデルは、飛び地開発や沿道の線状開発に代表されるスプロールのメカニズムを表現しうるものと言えよう

なお、本研究は、日本学術振興会の未来開拓推進事業「フィリピンにおける大都市地域および地方部の整備、開発、保全に関する研究(代表:東京工業大学・大町達夫教授)」の下で実施したものである。

## 参考文献

- 1) 土井健司, 紀伊雅教, フセイン・リダサン: 発展途上国の通勤・通学問題の構造—マニラ首都圏を対象として—, IATSS Review, Vol. 25, No. 3, pp. 205-212, 2000
- 2) 紀伊雅教: 都市成長との依存関係を考慮したモータリゼーションの制御方法に関する研究, 東京工業大学学位請求論文, 2000
- 3) 佐々木恵一, 田村亨, 樹谷有三, 斉藤和夫: ニューラルネットワークを用いた市街化仮定の基礎的分析, 土木計画学研究・講演集 No.18(2), pp.101-104, 1995
- 4) 柿本竜治, 溝上章志: 区画整理事業地区内マイクロ立地モデルの提案, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp.277-284, 1997
- 5) M. Batty, Y. Xie: Possible urban automata, Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 24, pp175-192, 1997