

# 時系列データを用いた交通－土地利用モデルの構築\*

## A transportation-land use model based on time series data\*

和田沙織\*2・北村隆一\*3・菊池輝\*4・東徹\*5・宮島俊一\*6・西井和夫\*7・酒井弘\*8

By Saori WADA\*2・Ryuichi KITAMURA\*3・Akira KIKUCHI\*4・Toru HIGASHI\*5・Shunichi MIYAJIMA\*6

・Kazuo NISHII\*7・Hiromu SAKAI\*8

### 1. 背景と目的

「望ましい都市の形成」は長年の課題であり、そのために、土地利用規制や誘導、再開発事業といった様々な政策が実施されてきた。これらの政策を効果的かつ効率的に実施するには、政策のインパクトを事前に把握することが必要不可欠であることから、交通－土地利用モデルが構築されてきた。

我が国の土地利用モデルは土地市場に焦点を当て、一般均衡理論を用いたものが多く見られる。しかし、土地利用の変化は緩慢でタイム・ラグを含み、また非可逆的な変化である。均衡の概念を用いた場合、時間の概念が欠落し、土地利用変化のタイム・ラグや非可逆性を反映できないのみならず、現況が均衡下にあるという無理な前提でモデルが構築されるといった問題が挙げられている。

一方で、計量経済モデルを用いて、時間軸を考慮した簡便な土地利用モデル<sup>2)</sup>も構築されている。しかし、交通－土地利用の関係を解析するのに十分な空間的精度で時系列データを入手するのが困難であるという問題点を抱えている。

本研究は、時系列データを用い、時間の概念を考慮した交通－土地利用モデルの構築を目的とする。時間軸

に沿っての土地利用や影響要因の変化に着目し、動的なモデルを構築する。データ入手の困難性を鑑み、我が国で10年おきに都市圏で実施されているパーソン・トリップ調査のデータを用いる。そして構築したモデルを用いて、交通施設整備が土地利用に与える効果の把握を試みる。

### 2. 交通－土地利用モデルの構築

本研究で構築する交通－土地利用モデルシステムを構成する土地利用モデルは、ゾーン・ベースの動的モデルである。一方、交通需要はマイクロシミュレーションモデル PCATS<sup>3)</sup>を用いて記述する。PCATS は、個人属性やゾーン属性等を入力とし、個人の1日の活動内容、活動時間などの活動要素と出発時刻や到着時刻、移動手段など移動特性を出力として与える。PCATS を用いることで土地利用、交通ネットワークの変化に伴う人々の交通行動の変化の推定が可能となり、交通行動変化、アクセシビリティ指標の変化やゾーンの属性の変化が土地利用変化を促し、これを受けて交通行動がさらに変化するという相互作用を反映することが可能となる。本研究で時間軸に沿った交通－土地利用の変化がどのように捉えられているかを図-1に示す。土地利用の変化は緩慢であり、タイム・ラグを伴うものと仮定されていることに留意されたい。

\*キーワード：交通－土地利用モデル、整備効果

\*2 学生員 京都大学大学院工学研究科都市社会学専攻

(京都市西京区京都大学桂, TEL 075-383-3242)

\*3 正員 Ph.D. 京都大学大学院工学研究科都市社会学専攻

(京都市西京区京都大学桂, TEL 075-383-3240)

\*4 正員 工博 京都大学大学院工学研究科都市社会学専攻

(京都市西京区京都大学桂, TEL 075-383-3238)

\*5 正員 工修 社団法人 システム科学研究所 調査研究部

(京都市中京区新町通四条上ル小結棚町 428 新町アイエスビル, TEL 075-221-3022, higashi@issr-kyoto.or.jp)

\*6 正員 社団法人 システム科学研究所 調査研究部

(京都市中京区新町通四条上ル小結棚町 428 新町アイエスビル, TEL 075-221-3022)

\*7 正員 工博 流通科学大学情報学部都市情報コース

(神戸市西区学園西町3丁目1番, TEL 078-796-4852)

\*8 正員 株式会社 まち創生研究所

(京都市中京区烏丸通六角下ル七観音町 626 烏丸小泉ビル4階, TEL 075-257-8331)

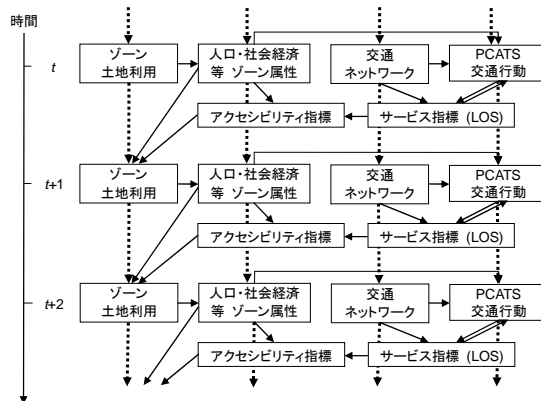


図-1 交通－土地利用モデルの概念図

### (1) パラメータ推計に用いたデータ

本研究では、時間に沿った現象の変化に着目し、動的なモデルを構築する。そのため、時間が重要な要素となり、推計に使用するデータも時間を追ったデータが、交通計画で一般的に用いられるゾーンレベルが必要となる。本研究では、1980年、1990年、2000年に実施された京阪神都市圏パーソン・トリップ調査の結果から旅客交通の観測データを得、これら3時点での土地利用等データを補完し、モデルのパラメータ推定に用いた。単位とするゾーンは、パーソン・トリップ調査の入力ゾーンを用いた。対象地域は、京都府の83ゾーンである。本研究で使用したデータ一覧を表-1に示す。

ここで、地目別土地利用面積とは、住居系、商業系、工業系、その他都市的土地利用、その他の5つのカテゴリーごとの土地利用面積である。その他都市的土地利用とは、造成中地、空地、公園、公共公益施設、河川、海等のことであり、その他とは、山地、農地、道路用地等を指す。

表-1 データ一覧

データ項目	出典	データ年次
地目別土地利用面積	数値地図5000	2001
	細密数値情報	1979, 1991
居住人口	国勢調査	1980, 1990, 2000
従業者数	国勢調査	1980, 1990, 2000
サービス事業所数	事業所・企業統計調査	1978, 1991, 1999
自動車所要時間	京阪神パーソン・トリップ調査	1980, 1990, 2000
公共交通所要時間	京阪神パーソン・トリップ調査	1980, 1990, 2000

これらのデータから説明変数の指標として、居住人口、従業者数、サービス事業所数、アクセシビリティのデータ作成を行った。居住人口、従業者数、サービス事業所数はすべて市区町村単位のデータであるため、ゾーン内の居住人口は住居系面積に、従業者数、サービス事業所数は商業系面積に比例するという仮定をおき、パーソン・トリップ調査の入力ゾーン単位へと分配した。

アクセシビリティは、以下の式を用いて算出した。

$$A_i = \sum_{j=1}^n Y_j / t_{ij}^r$$

ここで

$A_i$ : ゾーン*i*のアクセシビリティ

$Y_j$ : ゾーン*j*の吸引指標

$t_{ij}$ : ゾーン*ij*間の所要時間

(自動車、公共交通について算定)

$n$ : ゾーン数

$r$ : 定数 (=2)

吸引指標については、以下の4つを用い、また、自動車所要時間と公共交通所要時間を用いること

で、計8つのアクセシビリティ指標を作成した。

#### 吸引指標

- ▶ ゾーン総居住人口
- ▶ ゾーン総従業者数
- ▶ ゾーン総工業面積
- ▶ ゾーン発生・集中交通量

#### ゾーン間所要時間

- ▶ 自動車所要時間
- ▶ 公共交通所要時間

### (2) 用途別土地利用間の関係

Lowry型モデル<sup>4)</sup>は、工業を基幹産業と見なしその立地が先決されると考えている。しかし、第3次産業が牽引産業となった現在、この考え方が日本の都市圏における商業立地にそのまま当てはまるとは考えにくい。そこで本研究では、工業は商業に影響を与え、工業と商業が同時に居住地に影響を与えるという連鎖構造と(図-2a)、地価の序列に着目し、商業が工業と住宅立地に影響を及ぼすという構造(図-2b)の双方を検討することとする。

#### 用途別土地利用間の仮説的關係

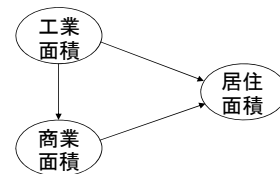


図-2a 工業を基幹産業とするもの

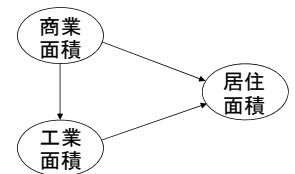


図-2b 地価の序列に基づくもの

### (3) 土地利用モデルの構造

土地利用の指標には大きく、土地利用用途別の土地利用面積などの土地面積を示すものと、居住人口、産業別従業者数などの都市活動レベルを示すものがある。本研究では、土地利用用途別面積の変化を予測し、それに整合する形で総人口、従業者数などの増減分を割り振るというアプローチを採る。

図-1で示したように、土地利用の変化はタイム・ラグを伴うという仮定から、以下の動的モデルを用いる。

$$\ln(Y_{i,t}) = \theta \ln(Y_{i,t-1}) + \beta' X_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}$$

ここで

$Y_{i,t}$ : ゾーン*i*の時点*t*での土地利用面積

$\theta$ : スカラー係数

$\beta'$ : ベクトル係数

$\varepsilon_{i,t}$ : 誤差項

本研究ではパーソン・トリップ調査のデータを使用することから、期間幅を10年と設定する。従って、本

研究の土地利用モデルは、10年間に生じる土地利用変化を集約的に再現予測するものである。上記の動的モデルは、2時点間の用途別土地利用面積の成長率を表すモデルを一般化したもので、時点  $t$  での土地利用面積の対数を従属変数に、時点  $(t-1)$  の土地利用面積の対数と人口やアクセシビリティなどのゾーン属性を説明変数としたモデルである。

用途別土地利用間の相互作用は、同時点で図-2a、図-2b で示す構造を持つと考え、以下の関数系を用いて、工業系 (M)、商業系 (C)、住居系 (R) の3種の土地利用面積を予測する。その他の土地利用面積は、ゾーンの総面積から3種の土地利用面積を差し引くことで算出する。

### 工業主導 (図-2a) の動的土地利用モデル系

$$\begin{cases} \hat{Y}_{i,t+1}^M = \theta^M Y_{it}^M + \beta^M X_{it}^M \\ \hat{Y}_{i,t+1}^C = \lambda^C \hat{Y}_{i,t+1}^M + \theta^C Y_{it}^C + \beta^C X_{it}^C \\ \hat{Y}_{i,t+1}^R = \lambda^R \hat{Y}_{i,t+1}^M + \eta^R \hat{Y}_{i,t+1}^C + \theta^R Y_{it}^R + \beta^R X_{it}^R \end{cases}$$

### 商業主導 (図-2b) の動的土地利用モデル系

$$\begin{cases} \hat{Y}_{i,t+1}^C = \tilde{\theta}^C Y_{it}^C + \tilde{\beta}^C \tilde{X}_{it}^C \\ \hat{Y}_{i,t+1}^M = \tilde{\lambda}^M \hat{Y}_{i,t+1}^C + \tilde{\theta}^M Y_{it}^M + \tilde{\beta}^M \tilde{X}_{it}^M \\ \hat{Y}_{i,t+1}^R = \tilde{\lambda}^R \hat{Y}_{i,t+1}^M + \tilde{\eta}^R \hat{Y}_{i,t+1}^C + \tilde{\theta}^R Y_{it}^R + \tilde{\beta}^R \tilde{X}_{it}^R \end{cases}$$

従属変数の用途別土地利用面積はゾーン間で大きな差があり、すべてのケースについて分散が一定であるという仮定が妥当であるとは言い難い。したがって、本研究では、2段階最小2乗法を用いてパラメータ推定を行った。

## 3. パラメータの推定結果

パラメータ推定結果を以下の表に示す。工業系の土地利用面積モデル (表-2a) について見てみる。工業系の面積は公共交通のアクセスが良く通勤に便利で、他の事業所への自動車アクセスがよいゾーンで面積が増加する傾向があることが示されている。一方従業者への公共交通アクセスの係数は負となっており、他の事業所への公共交通アクセスの高い都市化したゾーンは、工業系土地利用は敬遠される傾向にあることが示唆されている。また、ラグ付き従属変数の係数が1に近いことから、時点  $(t-1)$  の土地利用が強く影響していることがわかる。

次に、表-2b に示す商業系の土地利用モデルでは、人口への公共交通アクセス指標の係数は負となっており、居住地へのアクセスの高いゾーンでは商業系土地利用の増加率は低くなる傾向を示している。これは、居住地へ

のアクセスの高いゾーンでは既に商業開発が行われていることから、さらなる増加は小さい傾向にあることを示していると言える。

表-2a ゾーン別工業系土地利用面積のモデル

説明変数	工業主導		商業主導	
	$\hat{\beta}$	$t$	$\hat{\beta}$	$t$
定数	0.045	0.26	-0.308	-1.30
ラグ付従属変数 ( $\ln Y_{i,t-1}^M$ )	0.958	21.90	0.872	15.58
商業系面積予測値 ( $E(\ln(Y_{it}^C))$ )			0.184	1.96
雇用への公共交通アクセス指標 [ $t-1$ ]	-0.00567	-6.13	-0.00544	-5.87
人口への公共交通アクセス指標 [ $t-1$ ]	0.00231	4.54	0.00221	4.39
雇用への自動車アクセス指標 [ $t-1$ ]	0.000453	2.99	0.000451	2.87
工業への自動車アクセス指標 [ $t-1$ ]	-0.148	-2.24	-0.149	-2.26
工業系土地利用面積割合 [ $t-1$ ]	2.263	2.14	3.219	2.87
事業所密度 [ $t-1$ ]			-0.099	-2.40
Adjusted $R^2$	0.889		0.892	
$F(d.f)$	213.2 (6, 153)		166.0 (8, 151)	
$N$	160		160	

従属変数 =  $\ln$ (時点  $t$  のゾーン  $i$  工業系土地利用面積)

表-2b ゾーン別商業系土地利用面積のモデル

説明変数	工業主導		商業主導	
	$\hat{\beta}$	$t$	$\hat{\beta}$	$t$
定数	0.651	6.50	0.700	7.01
ラグ付従属変数 ( $\ln Y_{i,t-1}^C$ )	0.895	22.45	0.928	23.82
工業系面積予測値 ( $E(\ln(Y_{it}^M))$ )	0.0702	3.77		
工業への自動車アクセス指標 [ $t-1$ ]	-0.0798	-2.82		
人口への公共交通アクセス指標 [ $t-1$ ]	-0.000150	-1.08	-0.000305	-2.19
その他の都市的土地利用面積割合 [ $t-1$ ]	0.758	3.38	0.579	2.52
住居系面積割合 [ $t-1$ ]	-0.709	-2.96	-0.617	-2.48
Adjusted $R^2$	0.861		0.843	
$F(d.f)$	167.3 (6, 155)		222.0 (4, 161)	
$N$	162		166	

従属変数 =  $\ln$ (時点  $t$  のゾーン  $i$  商業系土地利用面積)

表-2c ゾーン別住居系面積のモデル

説明変数	工業主導		商業主導	
	$\hat{\beta}$	$t$	$\hat{\beta}$	$t$
定数	-0.133	-0.68	-0.114	-0.59
ラグ付従属変数 ( $\ln Y_{i,t-1}^R$ )	1.039	30.95	1.038	31.26
商業系面積予測値 ( $E(\ln(Y_{it}^C))$ )	-0.0629	-2.00	-0.0654	-2.02
工業系面積予測値 ( $E(\ln(Y_{it}^M))$ )	0.0231	2.11	0.0209	2.01
雇用への自動車アクセス指標 [ $t-1$ ]	-0.000082	-3.01	-0.000076	-2.75
人口への公共交通アクセス指標 [ $t-1$ ]	-0.000151	-2.35	-0.000159	-2.50
その他の都市的土地利用面積割合 [ $t-1$ ]	0.826	4.08	0.818	4.08
商業系土地利用面積割合 [ $t-1$ ]	1.080	3.41	1.094	3.39
その他土地利用面積割合 [ $t-1$ ]	0.312	2.80	0.311	2.79
Adjusted $R^2$	0.958		0.958	
$F(d.f)$	456.7 (8, 153)		456.4 (8, 153)	
$N$	162		162	

従属変数 =  $\ln$ (時点  $t$  のゾーン  $i$  住居系面積)

住居系の土地利用モデル (表-2c) を見ると、既に都市化したゾーンでの増加率は低く、開発されていないゾーンで増加程度が大きいことがわかる。これは、人口の公共交通アクセス指標、雇用への自動車アクセス指標の係数が共に負であること、また、その他土地利用面積の割合が正の係数であることから示されている。工業系土地利用予測値と商業系土地利用予測値はともに有意な係数を持っており、住居系面積に影響を与えることがわかる。商業系土地利用面積が負に作用しているのは、商業系土地利用面積の増加に伴う地価の上昇が住宅地としてのゾーンの適正を損なうからではないかと考えられる。

すべてのモデルで、調整済み決定係数はほぼ 0.85~

0.9 の範囲にあることから、モデルが高い現況再現能力を有していると考えられる。しかし、商業系土地利用面積モデルと住居系土地利用面積モデルで、アクセシビリティ指標の係数が負である、という点は予測モデルとして問題を孕んでいると考えられる。先ほども述べたように、アクセシビリティ指標が持つ負の係数は、新規土地利用が都市化の程度が相対的に低いゾーンで生じやすいという傾向を示していると解釈できる。しかし、地下鉄や新規道路開通によるアクセシビリティの向上が、商業地や住宅地開発に正の効果をもたらすことも当然考えられる。さらなる検証が必要と考えられる。

工業を基幹産業とみなした工業主導のモデルと地価の序列に基づいた商業主導のモデルを比較すると、大きな差異は認められなかった。

#### 4. ケーススタディ

構築した交通-土地利用モデルを用いて、2010年、2020年の京都府の用途別土地利用面積の予測を行い、2008年～2011年にかけて完成が予定されている京都高速道路、洛南連絡道路、第2京阪道路延伸部、が整備された場合と整備されなかった場合での土地利用の変化を比較検証した。今回は、商業主導モデルによる予測結果について以下に述べる。

分析の手順は、まず、2010年の用途別土地利用面積の予測を行い、次に、整備した場合としなかった場合で自動車所要時間を変化させ、PCATSを用いて人々の生活行動を予測する。PCATSの出力結果からアクセシビリティ指標を算出し、2020年の用途別土地利用面積の予測値を算出する。

2020年の用途別土地利用面積の予測結果について、京都高速道路沿いの4つのゾーンと、その他の地域を比較する。京都高速道路沿いの地域は京都高速道路が整備された場合の方が、総商業系面積、総工業系面積、総住居系面積はすべて増加することがわかる(表-3)。つまり京都高速道路が整備されることにより、都市的な土地利用が進むことが示唆される。その他の地域は、工業系面積は高速道路が整備された場合の方が増加しているが、商業系面積、住居系面積については微少ではあるがともに減少するという結果が得られた。

表-3a 工業系面積の変遷

工業系面積変遷	2000年	2010年	2020年	
			整備あり	整備なし
その他の地域	1	0.876	0.912	0.908
京都高速道路沿い	1	0.819	0.666	0.665

表-3b 商業系面積の変遷

商業系面積変遷	2000年	2010年	2020年	
			整備あり	整備なし
その他の地域	1	1.052	1.216	1.217
京都高速道路沿い	1	0.995	0.992	0.972

表-3c 住居系面積の変遷

住居系面積変遷	2000年	2010年	2020年	
			整備あり	整備なし
その他の地域	1	0.992	1.025	1.037
京都高速道路沿い	1	0.978	0.903	0.896

#### 5. 結論

本研究では、動的な交通-土地利用モデルの構築を行い、京都都市圏での2010年、2020年の地目別土地利用面積の予測を行った。京都高速道路等の高速道路が整備された場合とされなかった場合での2020年の用途別土地利用面積の比較検討を行った結果、高速度路整備により、高速道路沿いでの都市的土地利用面積が増加するという結果が得られた。

しかし、本研究で構築したモデルには以下の課題を有している。まず、対数を用いたモデル構造であることから、現時点で土地利用面積が0である場合、そのゾーンの予測値を算出できないといった問題点がある。今後、面積が0である場合のゾーンの扱いを検討する必要がある。また、誤差項のモデル間の相関の想定や重共線性の検討も課題として挙げられる。加えて、本モデルではアクセシビリティが地価を反映すると考え、地価そのものを考慮していなが、地価を内生化した土地利用モデルの構築を進める必要があると考える。また、土地利用変化の非対称性を明示的に示すモデルが必要と考えられる。

#### 謝辞

本研究は、国土交通省近畿地方整備局京都国道事務所による支援を受けて実施しました。ここに記して、感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 林良嗣, 中村英夫, 富田安夫: 土地利用交通モデルを用いた郊外鉄道新線の効果分析の試み, 土木計画学研究・講演集, No.4, pp.163-170, 1984.
- 2) 枝村俊郎, 川井隆司: 大都市圏の地目別土地利用モデルに関する研究, 日本都市計画学会学術研究論文集, Vol.24, pp.49-54, 1989.
- 3) 藤井聡, 大塚祐一郎, 北村隆一, 門間俊幸: 時間的空間的制約を考慮した生活行動軌跡を再現するための行動シミュレーションの構築, 土木計画学研究・論文集, Vol.14, pp.643-652, 1997.
- 4) 林良嗣, 宮本和明: 既存土地利用モデルの概観, 都市計画, No.104, pp.40-47, 1978.