

# マニラ首都圏における都市化とモータリゼーションの相互作用系の制御に関する分析

土井 健司<sup>1</sup>・紀伊 雅教<sup>2</sup>・金 広文<sup>3</sup>・シーラ ガーブカヤン<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 東京工業大学大学院助教授 情報理工学研究科 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

<sup>2</sup>正会員 博(工) (財)運輸政策機構 運輸政策研究所 研究員 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-18-19)

<sup>3</sup>正会員 博(工) 日本学術振興会研究員 (東京工業大学大学院 情報理工学研究科)

<sup>4</sup>学生会員 工修 東京工業大学大学院 情報理工学研究科博士課程

本研究では、途上国大都市の交通問題の所在を経済成長、都市膨張と自動車依存の相乗作用による負の社会的影響と位置付けし、この制御に関わる政策評価方法の開発を試みている。まず、自動車保有への主要な影響要因が中高所得世帯の郊外立地および土地利用の混在であることを明らかにした上で、所得階層別の居住立地とスプロール市街地の形成メカニズムを捉え、都市化とモータリゼーションの相互作用系をモデル化している。これを東南アジアで最も深刻な交通渋滞を抱えるマニラ首都圏に適用し、プライシング・課税等の経済施策、軌道系交通整備および多極型都市政策等の効果を、自動車保有率、走行量、大気環境負荷の抑制およびこれらを考慮した厚生変化により評価している。

**Key Words:** *suburbanization, motorization, developing countries, land use analysis*

## 1. はじめに

途上国大都市においては、都市交通問題の改善を図る上でモータリゼーションの適切な制御が急がれる。しかし、この制御の意味あいには、すでに自動車保有率が飽和に近い先進国での需要管理とは必ずしも同義ではない。都市化の初期段階あるいは都市化に先駆けて軌道系の交通基盤の整備が進められてきた先進国大都市の状況とは異なり、途上国大都市ではモータリゼーションが都市化を加速し、圧倒的な勢いで都市圏の膨張が進行している点に特徴がある。軌道系などの大量輸送機関の供給が都市化の後追いとなり、その一方で、中高所得層の増加が自動車依存型の郊外居住を促す中で、いかに都市化とモータリゼーションの相乗作用を制御するかが問われる。その際の重要な視点は、図-1に示す都市活動、土地利用、自動車交通間の相互リンケージの把握であろう。

本研究では、人口が1千万人を超えて膨張を続け、かつ人口増加率をはるかに上回る勢いで自動車保有率が増加を見せるフィリピンのマニラ首都圏を対象として、都市化とモータリゼーションの相互作用系を捉えるとともに、都市・交通政策によるその制御の可能性を分

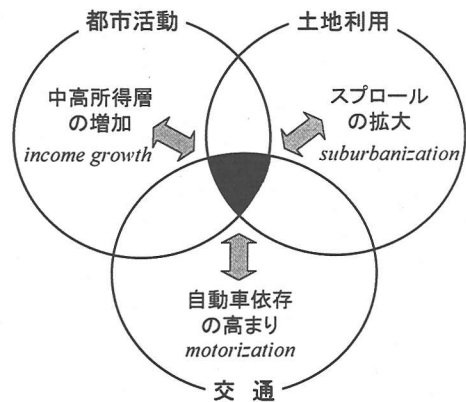


図-1 都市成長とモータリゼーションとの相乗作用

析することを目的としている。具体的には、多様な社会構造や空間構造を有するマニラ首都圏での自動車保有率への影響要因を抽出した上で、1)モータリゼーションの郊外化への寄与、2)郊外化に伴うスプロール市街地の形成等のモデル化を介して、相互作用系の定量的把握を試みる。その上で、自動車交通の抑制に関わる都市・交通政策の効果を、交通負荷の抑制、環境改善便益および厚生変化という尺度により評価し、政策の有効性を論じるものである。



図-2 マニラ首都圏とその後背地域

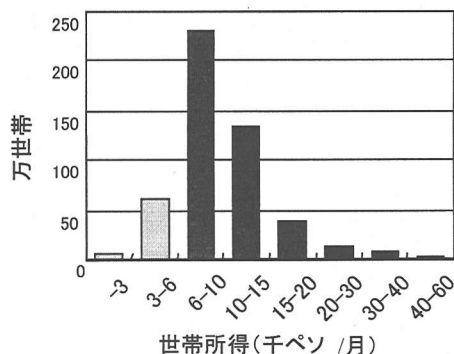


図-3 マニラ首都圏における所得分布

なお、関連した先行研究として、国際比較、都市間比較に基づく都市構造と自動車依存との関係分析が見られる。Kenworthy and Laube<sup>1)</sup>はアジア途上国を含む世界46都市におけるデータをベースに、交通、土地利用、経済要因の関係を分析し、クロスセクションで見た場合、経済的要因よりも土地利用要因が自動車依存と強い関係を持つことを示している。Gakenheimer<sup>2)</sup>は開発途上国におけるモビリティ改善に関する論点の整理を行い、プライシングなどの交通需要管理技術と計画的な都市開発コントロールの必要性を示唆している。林ら<sup>3)-5)</sup>はロンドン、東京、名古屋、バンコクを対象として都市化のサイクルを捉えるとともに、都市圏の広域化とそれに起因したトリップの長距離化および環境負荷の増大をマクロに分析している。また、加藤・林<sup>6)</sup>はわが国の13の主要都市を対象として、交通施設投資、都市成長管理政策のシミュレーションを、1965~95年の間の多時点で行い、公共交通整備と、早期の都市の高密化政策、道路整備が交通負荷・エミッションの削減に効果的であることを示している。これらの研究では、自動車依存の構造を、交通市場の内部要因のみならず、都市の経済活動や土地利用との関係から考察し、土地利用と交通との相互作用を踏まえた総合的管理方策の必要性を指摘している。土井・紀伊ら<sup>7)</sup>は、マニラ首都圏を対象としてモータリゼーションの要因分析を実施し、自動車依存が、高所得世帯の郊外立地と市街地のスプロールの拡大により促進されることを示唆し、スプロール度、マストラ成立可能性、自動車依存度という3つの要素間の因果関係分析を共分散構造モデルにより分析している。

途上国を対象としたものではないが、高見・室町ら<sup>8)</sup>は欧米における土地利用・交通施策に関する議論を整理し、都市のコンパクト化による活動機会の近接性の向上と、公共交通のサービスレベル改善等による自動車からの手段転換が自動車利用を削減に有効であることを示している。また、芦沢<sup>9)</sup>は我が国の全国の

市を対象としたクロスセクション・データに基づき、自動車保有率を社会経済要因および都市構造要因を説明変数として分析し、後者に関わる人口密度、市街地形形状等の影響力が高いことを指摘している。加藤ら<sup>10)</sup>は、我が国の主要7都市における自動車保有率を、経済成長レベルと都市構造要因を用いてモデル化し、都市の低密度な広域化が潜在的な自動車市場規模を拡大することを示している。

また、青島ら<sup>11)</sup>は郊外居住化とモータリゼーションとの関連性を、前橋・高崎のパーソントリップ調査の結果から分析している。

本研究は、途上国大都市におけるモータリゼーションの進展構造を把握する上で、以上のような比較分析や事例分析等にとどまらず、モータリゼーションと都市成長との依存関係を理論的に把握し、システムとして表現することを試みる。

## 2. マニラ首都圏における自動車依存構造の分析

### (1) 自動車保有率の影響要因

既往研究が示すように、所得要因と自動車保有率との間には強い関連性があることが、時系列分析およびクロスセクション分析から指摘されている。図-3はマニラ首都圏における所得分布を示し、また図-4は23の自治体ごとの平均所得と自動車保有率との関係を見たものである。また、世帯を低所得層と中高所得層に分けた上で、保有率と中高所得世帯比率との関係を示したものが図-5である。中高層所得世帯の比率は、いわば中流階層の厚みを表す指標であり、ここでは所得水準が貧困線(poverty line)である6千peso/月以下のものを低所得層、それを超えるものを中高所得層と定義している。貧困線以下に位置する低所得世帯の自動車取得可能性は極めて低いものと考えられる。両図を比較

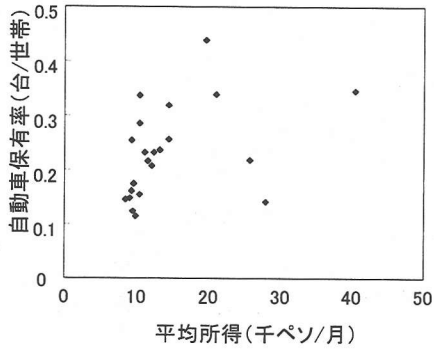


図-4 地域の平均所得と自動車保有率

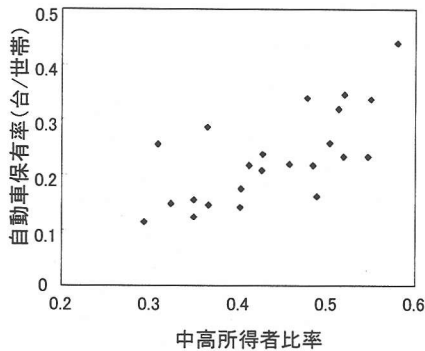


図-5 中高所得者比率と自動車保有率

すると、図-5 においてより強い比例関係が読みとれるが、所得格差が大きいマニラ首都圏においては平均所得よりむしろ中高所得者の比率が自動車取得可能性を反映した指標となっていることがわかる。

自動車保有率に影響を及ぼす都市構造要因として、多くの既往研究では人口密度が用いられており、低密度開発がより高い自動車依存をもたらすことが指摘されている。図-6 はマニラ首都圏における両者の関係を示したものである。この図からも、人口密度の低い地域において自動車保有率が高いとの傾向が読み取れるが、2 万人/km<sup>2</sup> 以下の地域において保有率のばらつきが大きく、密度の違いからは十分に説明されない。

こうした低密度域での市街地特性の相対的な違いを表すために、本研究では、土地利用状況を表す指標としてジョイン値を導入する。ジョイン値は2種の土地利用の混在度を、両者の境界長の和で表現するものであり、本研究ではより具体的に、単位面積内での都市的土地利用と自然的土地利用との境界長の和と定義する<sup>12)</sup>。密度と連担性の観点から市街地形態は表-1 のように分類されるが、自動車依存度の異なるスプロール市街地とコンパクト市街地との差は密度指標のみによっては峻別されない。図-7 よりジョイン値は低密度域

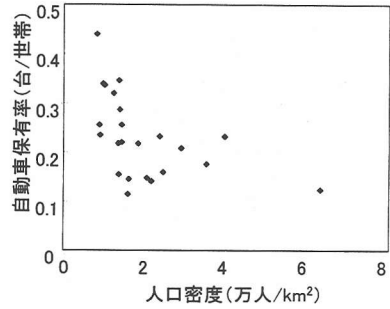


図-6 人口密度と自動車保有率との関係

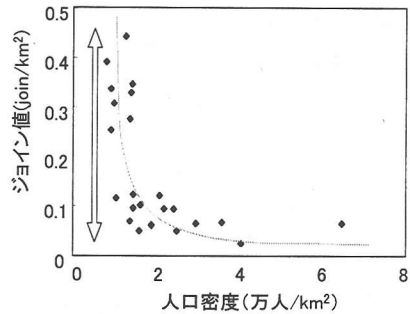


図-7 人口密度とジョイン値との関係

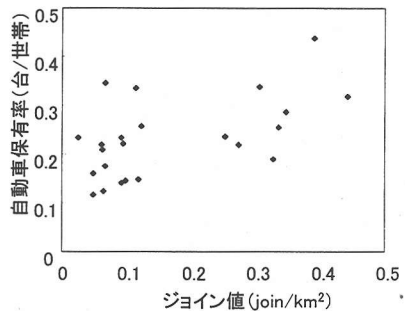


図-8 ジョイン値と自動車保有率との関係

表-1 市街地形態とジョイン値指標の関係

		人口密度	
		低	高
市街地の連担性	低	スプロール市街地	Join 値:大
	高	コンパクト市街地	Join 値:小

での市街地形態の違いを捉え、また図-8 より、自動車保有率との間に比較的高い相関をもつ指標であることが読み取れる。これらのことから、都市的土地利用と自

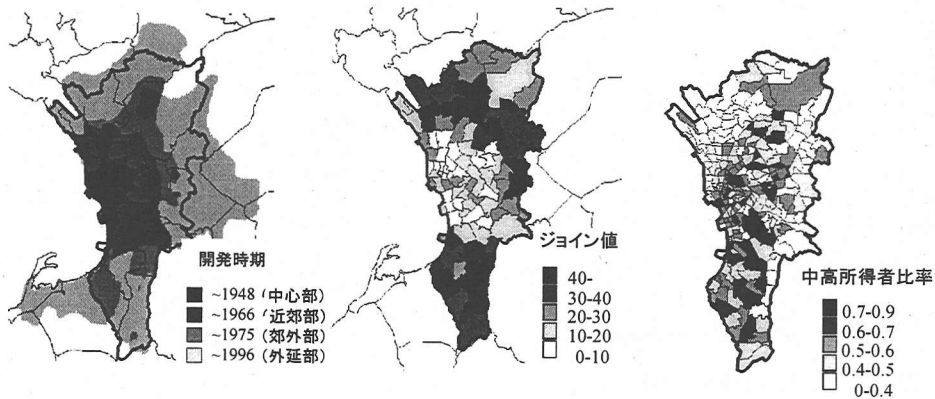


図-9 マニラ首都圏の郊外化<sup>7)</sup>、スプロール化および居住立地

表-2 自動車保有モデルの推定結果

説明変数		Model-1	Model-2	Model-3
中高所得世帯比率		0.720 (4.89)	0.797 (5.64)	0.724 (6.17)
都市構造要因	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	-0.810 (-1.68)		
	エントロピー*		0.304 (1.23)	
	ジョイン値 (join/km <sup>2</sup> )			0.301 (3.46)
幹線道路密度** (km/km <sup>2</sup> )		-0.0414 (-1.31)	-0.0843 (-3.10)	-0.0203 (-0.760)
定数		-0.200 (-0.302)	-0.257 (-1.61)	-0.124 (-2.45)
重相関係数		0.823	0.809	0.878
サンプル数		23		

( ) 内は t 値  
\* エントロピーについては、ジョイン値と同様に土地利用を都市的土地利用  $u$  と自然的土地利用  $n$  の 2 種に区分し、以下のように算定した。

$$Entropy = -\sum_i p_i \ln p_i, \quad i = u, n \quad (1)$$

ここに、 $p_i$  は地域における自然系、都市系おのおの土地利用比率である。

\*\*マニラ首都圏においては、トリップ数単位で全手段の 39% (PCU 単位では 20%) を占める道路系公共交通ゾーンが幹線道路を運行している。表中の幹線道路密度は、自家用車の利便性よりもむしろ道路系公共交通の利便性を表す指標となっている。

自然的土地利用の混在度に基づき算定されるジョイン値指標は、コンパクト市街地とスプロール市街地との違いを表現し、また両者での自動車保有率の違いを表すものと位置付けられよう。

## (2) 都市構造要因を考慮した自動車保有のモデル化

以上の所得、都市構造要因を用い自動車保有率のモデル化を試みる。所得要因としては自動車保有率と

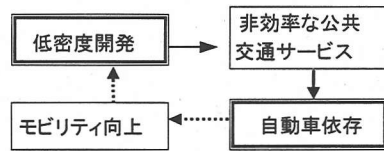


図-10 低密度開発と自動車依存の因果関係

の間に高い相関関係が見られた中高所得世帯比率を用いる。また、都市構造要因については、既往研究に研究において人口密度指標と自動車依存度との間の相関関係が示されており、図-10 に示す因果関係が存在するものと考えられる。本論では密度指標に加え、より局所的な土地利用指標として、スプロールの程度を表すジョイン値、および土地利用の多様性を表すエントロピーについても検討を行う。

表-2 は、自動車保有率の地域格差を重回帰モデルによって表現したものであり、Model-1 から Model-3 は空間構造要因の違いを反映している。いずれのモデルの重相関係数も 0.8 を超えており、現況再現性は良好である。空間構造要因については、ジョイン値のパラメータのみが 1%水準で有意となっており、この要因を用いた Model-3 において最も高い現況再現性が示されている。なお、幹線道路密度については、Model-2 においてのみ十分な有意性が確認されており、Model-3 ではほとんど説明力を持たない。

この Model-3 において保有率に対する都市構造要因の寄与を地域別に見ると、郊外部ではその寄与が大きく、中高所得者比率の寄与分の 5 割から 8 割程度にあたることを確認された。このことから、特に郊外部におけるゾーンレベルでの自動車保有を説明する上で、都市構造要因としては、密度のみならず土地利用の連担性も考慮したジョイン値が有効であるといえる。

### 3. モータリゼーションの郊外化への影響

#### (1) 郊外化の現状

図-9の左図は、マニラ首都圏の市街化状況を示したものであり、1970年代半ば以降、急速に市街地が拡大してきたことが読み取れる。また、中図は前章で示したジョイン値を用いて都市的土地利用と自然的土地利用との混在状況を示したものである。これを見ると、左図の中心部と近郊部にあたる市街地を除き混在度が高く、特に南部の郊外・外延部において著しいスプロールが展開している状況が伺える。

さらに、図-9の右図は、全世帯に占める6千ペソ/月以上の中高所得世帯比率を示したものである。中図との対比により、南部のスプロール市街地には中高所得世帯の立地増加が影響していることが推察される。

#### (2) 所得階層を考慮した居住立地のモデル化

マニラ首都圏の低密度開発と自動車依存の因果関係を考える際、中高所得者比率の高さが自動車保有率の高さに寄与していることが示されたが、スプロール市街地の形成は単に自家用車の取得可能性の高さだけでなく、こうした所得層の居住地選択の結果を反映したものと考えられる。そこで本研究では、図-11に示すように所得層毎の立地選好、自動車保有、そして郊外部での立地優位性との相互関係に注目してモータリゼーションと郊外化のメカニズムを分析していくこととする。

このような階層別の立地行動を扱った既往研究として、例えば肥田野郎<sup>13)</sup>はバンコクを対象として先進国型立地モデルの適用可能性を検討し、所得階層による行動パラメータの違いを考慮している。また、Luk<sup>14)</sup>は住宅市場のモデル化において、所得水準、一世帯当りの人数で世帯を分類し、階層化された世帯の選好の異質性を考慮して立地選択を表現している。ただし、簡単な数値シミュレーションの結果を示すにとどまっている。

本章では、世帯は一定の所得制約および時間制約の下で、住居の広さ、一般財の消費量、非拘束時間から得られる効用を最大化するような居住地選択を行うと考え、これを以下のようにモデル化する。

$$\max U^h(Y_{ji}, G_{ji}, S_{ji}) \quad (2)$$

$$s. t. \omega^h L^h = p Y_{ji}^h + r_i G_{ji}^h + c^h T_{ji}^h \quad (3)$$

$$\Omega = L^h + T_{ji}^h + S_{ji}^h \quad (4)$$

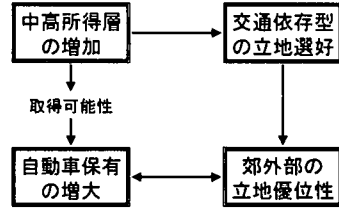


図-11 モータリゼーションと郊外化のメカニズム

where

$$U^h(Y_{ji}, G_{ji}, S_{ji}) = (\beta_y^h)^{\frac{1}{\sigma^h}} (Y_{ji}^h)^{\frac{\sigma^h-1}{\sigma^h}} + (\beta_g^h)^{\frac{1}{\sigma^h}} (G_{ji}^h)^{\frac{\sigma^h-1}{\sigma^h}} + (\beta_s^h)^{\frac{1}{\sigma^h}} (S_{ji}^h)^{\frac{\sigma^h-1}{\sigma^h}} \quad (5)$$

ここで、添字  $j$  は従業地、 $i$  は居住地、 $h$  は所得階層を表し、 $Y_{ji}$  は従業地  $j$ 、居住地  $i$  の世帯の合成財消費量、 $G_{ji}$  は土地消費量、 $S_{ji}$  は非拘束時間を表す。また、 $\omega^h$  は賃金水準、 $p$  は合成財価格、 $r_i$  は地代、 $c^h$  は単位時間当たりの交通費用、 $T_{ji}^h$  は通勤所要時間、 $\Omega$  は利用可能時間、 $L$  は労働時間である。 $\beta_y^h$ 、 $\beta_g^h$ 、 $\beta_s^h$  は分配パラメータ、 $\sigma^h$  は消費財間の代替弾力性である。

このモデルでは Luk<sup>14)</sup>と同様に CES 型の効用関数を仮定しており、所得階層間で行動規範は同一と扱っているが、分配パラメータおよび代替弾力性の相違によって選好の異質性を表現している。

なお、式(2)～式(5)から導出される間接効用関数は以下の通りであり、以下これを居住効用と呼ぶ。

$$V_{ji}^h = \frac{\{\omega^h(\Omega - T_{ji}^h) - c^h T_{ji}^h\}^{\frac{\sigma^h-1}{\sigma^h}}}{\left(\beta_y^h p^{-\sigma^h} + \beta_g^h r_i^{1-\sigma^h} + \beta_s^h \omega^{h(1-\sigma^h)}\right)^{\frac{1}{\sigma^h}}} \quad (6)$$

式(6)における通勤世帯の居住効用のパラメータ推定結果を表-3に示す。この結果より、例えば消費財間の代替弾力性は高所得者層ほど高い傾向が伺える。推定にあたっては、1996年のパートトリップ調査(Metro Manila Urban Transportation Integration Study: MMUTIS)<sup>15)</sup>における通勤ODデータおよび家庭所得調査(Family Income and Expenditure Survey: FIES)<sup>16)</sup>における世帯所得データを用いた。

#### (3) 交通条件の居住立地優位性への影響

式(6)に基づき、交通所要時間の居住効用への影響度は弾力性指標で次式のように表せる。

$$\frac{\partial V_{ji}^h / V_{ji}^h}{\partial T_{ji}^h / T_{ji}^h} = -\frac{\sigma^h - 1}{\sigma^h} \cdot \frac{1}{\frac{\Omega}{T_{ji}^h (1 + c^h / \omega^h)} - 1} \quad (7)$$

表-3 通勤世帯の居住効用パラメータの推定結果

パラメータ	低所得層	中所得層	高所得層
$\sigma^h$	1.09	1.62	1.74
$\beta_y^h$	0.322	0.647	0.532
$\beta_g^h$	0.112	0.156	0.156
$\beta_s^h$	0.566	0.197	0.312
重相関係数	0.918	0.830	0.558
サンプル数	1849		

推定モデル 
$$P_{ji}^h = \exp(V_{ji}^h) / \sum_i \exp(V_{ji}^h)$$

ここに、 $P_{ji}^h$  は従業地を  $j$  にもつ所得階層  $h$  の通勤世帯が居住地として地域  $i$  を選択する確率である。

式(7)の右辺より、交通所要時間が短いほど居住効用が増すことが示されるが、単位時間当りの交通費用  $c^h$  が賃金率  $a^h$  と等しいと仮定すれば、所得階層間での交通所要時間の影響度(弾力性)の違いは、所得階層間での消費財間の代替弾力性のみを反映していることがわかる。また、表-3 における消費財間の代替弾力性  $\sigma^h$  の値を用いれば、高所得者層ほど居住効用における交通所要時間の影響度が大きいことが推察される。これらの結果と図-12 に示す自動車交通によるアクセシビリティの優位性とを対比させれば、図-9(右)に示した中高所得世帯の郊外立地がモータリゼーションに起因したものであることが容易に伺える。

#### 4. 市街地形成の空間モデル

##### (1)市街地形成における集積効果と混在効果の抽出

スプロール化現象は、都市空間の拡大に伴う都市的土地利用と自然的土地利用との混在に起因したものであり、その混在状態が秩序性を欠くとき、同時に都市活動や資源配分の効率性が損なわれる。都市計画に基づく土地利用規制や交通施設等の適切な配置は、都市活動に一定の集積効果を付与し、秩序性や効率性の維持に資すると期待される。しかしながら、多くの途上国大都市においては、こうした仕組みが未整備なままに集積効果の働かないスプロール市街地が拡大するとの状況が見られる。マニラ首都圏の郊外市街地はまさに、その様相を呈している。都市計画的な裏づけのない民間開発地(subdivision development)は、最低限の域内道路網と小規模なパラトランジット・サービスしか備えておらず、結果として自動車交通に依存した非効率な市街地が拡大している。

土地利用の集積的な秩序形成をモデル化したものとして、自己組織化アプローチを用いた White ら<sup>17)</sup>

都心部までの所要時間差  
(自動車-公共交通)

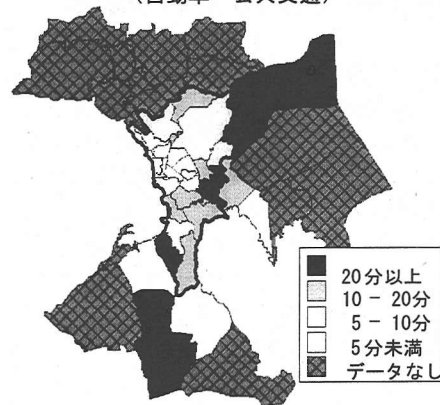


図-12 自動車交通によるアクセシビリティの優位性

の研究がある。そこでは、住宅用途、商業用途、工業用途、及び交通施設等の空間的な相互作用を、セラーオートマタ(CA)モデルにより表現している。また、オハイオ州シンシナティでの適用例に基づき、CAを用いたマイクロ土地利用モデルの計画支援ツールとしての有用性を示している。ただし、分析対象は都市的土地利用のみに限定される。Xie<sup>18)</sup>は都市力学進化モデルに基づいた一般化モデルを構築し、土地利用が構造化される過程や既存の都市活動が新規活動の配置をどのように決定するかを示している。

本研究では、White ら<sup>17)</sup>の手法を、自然的土地利用との混在を含む郊外市街地へと適用し、集積効果に基づく土地利用の秩序形成を以下のように表わす。Whiteによれば、括弧内は主体  $k$  の立地ポテンシャルと定義される。

$$LU_m = \arg \max_k \left( \sum_l u^{l,k} A_{j(m)}^l + U^k \quad k \in K \right) \quad (8)$$

本研究ではこれを、第1項の局地的ポテンシャルと第2項の広域的ポテンシャルの和として表現している。局地的ポテンシャルとは、近隣土地利用との空間的相互作用により説明される項であり、広域的ポテンシャルとは、地域(ゾーン)の立地需要量により説明される項である。ここに、 $LU_m$  は空間  $m$  の土地利用用途であり、第1項は周辺空間  $j(m)$  における各種用途  $l$  の集積量  $A_{j(m)}^l$  と用途間の影響度  $u^{l,k}$  に依存して決定されるというメカニズムを表している。 $u^{l,k}$  は用途  $l$  の用途  $k$  への影響度であり、同種用途間 ( $l=k$ ) の影響度が大き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 ( $l \neq k$ ) の影響度が大きいほど混在したパターンを示すことになる。その意味で、同種用途間の影響度は各用途の集積効果の大きさを表し、異種用途間の影響

表-4 用途間影響度に関する推定結果

		中心部	近郊区	郊外部	外延部
住宅地	住宅地	0.946	0.426	0.309	0.385
	商業地	-0.184	-0.145	-0.195	-0.153
	農地・緑地	-0.273	-0.006	0.015	-0.122
	隣接道路	-0.188	0.011	0.063	0.252
	周辺道路	-0.154	0.155	0.144	0.220
商業地	住宅地	0.479	-0.001	-0.148	-0.061
	商業地	0.317	0.460	0.704	0.664
	農地・緑地	-0.445	-0.110	-0.110	-0.180
	隣接道路	-0.023	0.169	0.165	0.288
	周辺道路	-0.207	0.135	0.150	0.233
相関係数		0.778	0.827	0.822	0.943
サンプル数		1765	2069	1320	1344

度は混在効果の大きさを表わすものである。

マニラ首都圏の郊外化にともなう土地利用の混在化の原因を、用途間の影響度から解釈するために、式(8)の立地ポテンシャルの確率変動を考慮した次式のロジットモデルに基づきパラメータ  $u^{l,k}$  の推定を試みた。ここに、 $P_m^k$  は空間  $m$  に用途  $k$  の土地利用が出現する確率である。

$$P_m^k = \frac{\exp(\sum_l u^{l,k} A_{j(m)}^l + U^k)}{\sum_k \exp(\sum_l u^{l,k} A_{j(m)}^l + U^k)} \quad (9)$$

上式における、マニラ首都圏の土地利用形成における用途間影響度の推定を行った。ここでは、土地利用用途を住宅地、商業・業務地、農地・緑地および道路と区分し、それぞれの総量はゾーンごとに与えられている。また、空間単位は 100mメッシュと設定した。周辺土地利用の影響については、幾つかの距離帯を設定してそれぞれの土地利用の影響を見たが、説明力の高さから隣接する 8 メッシュの用途の影響のみを考慮した。一方、道路の影響については、隣接メッシュのみならず、その外周のメッシュからの影響を考慮した。なお、本論文では  $U^k$  は定数パラメータとして同時推定している。

表-4 は、最尤法による用途間影響度の推定値を首都圏内の地域別に示したものである。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、一定の集積効果が働いていることが読み取れる。しかしながら、住宅地に関しては中心部から郊外部に向けて集積効果が低減するという傾向が読み取れる。商業・業務地については、むしろ郊外部において集積効果が高いとの傾向が見られるが、これは大規模小売店舗の郊外展開等にも起因しているものと考えられる。

図-13 および図-14 は、表-3 から住宅地相互の影響度と道路の住宅地への影響度を取り出して、地域

別の値を比較したものである。これより、先に述べたように郊外部に向けて、住宅地の集積効果が低減する一方で道路の誘導効果が高まるというリボン状開発の傾向が顕著に見られる。

## (2)ミクロ土地利用モデルによる市街地拡大の予測

ここではゾーンの人口をコントロールトータルとしてミクロな土地利用配置の決定をモデル化する。家計、企業、農家という3つの土地利用主体を取り上げ、各主体  $k$  の人口を  $D^k$ 、一人当りの土地需要面積を  $a^k$  とすれば、式(9)は以下の条件を満たすことになる。

$$\sum_{m \in M} a^k \left( \frac{\exp(\sum_l u^{l,k} A_{j(m)}^l + U^k)}{\sum_k \exp(\sum_l u^{l,k} A_{j(m)}^l + U^k)} \right) = D^k \quad (10)$$

ここに、 $M$  は地域のメッシュ集合であり、立地競争の結果、家計、企業、農家のいずれかの主体が各々のメッシュ  $m$  を占有するものとする。メッシュ単位での土地利用モデルは、式(10)を満たす需要ポテンシャル  $U^k$  の決定を下位問題[1]とした2段階のモデルとして次のように与えられる。これはアロンゾ型の空間均衡モデルとしても再解釈される<sup>[1]</sup>

$$LU_m = \arg \max_k \left( \sum_l u^{l,k} A_{j(m)}^l + U^k \mid k \in K \right)$$

$$s.t. \quad \min_{U^k} Z^k = \sum_m a^k \ln \left( \sum_k \exp(\sum_l u^{l,k} A_{j(m)}^l + U^k) \right) - \sum_k D^k U^k \quad (11)$$

図-15 は、1996年の土地利用を現状(左図)と式(11)を用いて推計される将来パターン(右図)を示したものである。将来推計においては、ゾーン単位での1990年から95年の間の人口変化率が1996年以降も維持されると仮定し、2001年での活動別人口  $D^k$  を与えている。また、一人当りの土地需要面積を  $a^k$  は固定している。また、用途間の影響度については、1996年時点での推定値(表-3 参照)を用いている。

## 5. 都市化とモータリゼーションの相互作用系のモデル化と政策分析

### (1)相互作用系のモデル化

本章では、自動車保有率との関連性が高い中高所得者比率とスプロール度およびアクセシビリティを媒介変数として、立地・土地利用現象と交通現象との相互作用系を表現する。



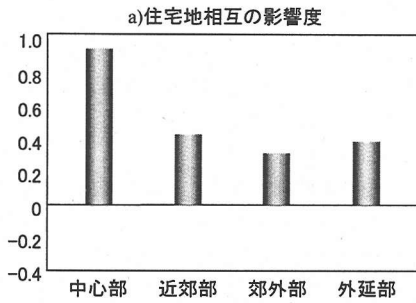


図-13 住宅地の集積効果

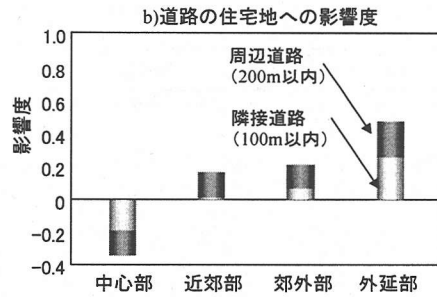


図-14 道路の住宅地誘導効果

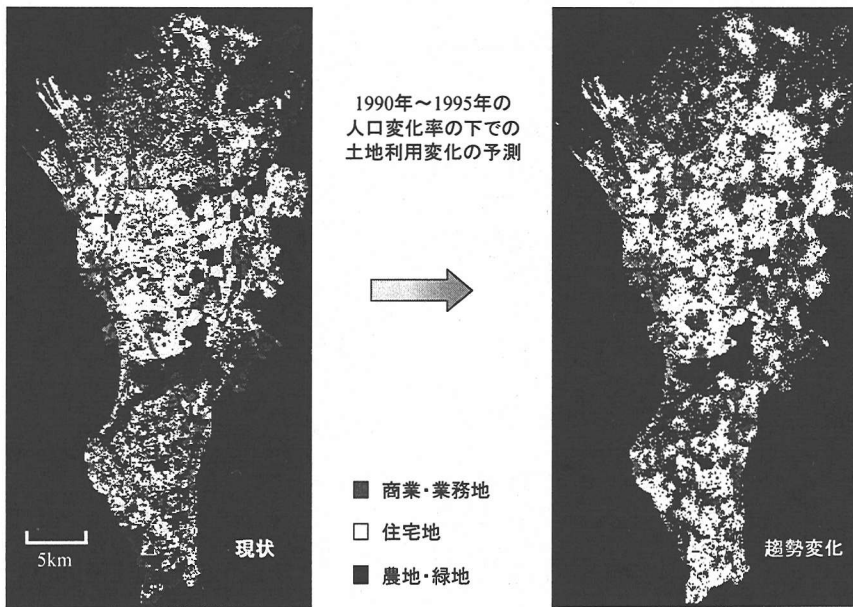


図-15 ミクロ土地利用モデルによる市街地拡大の予測

図-16 はモデル化された相互作用系の枠組みを示したものである。後の政策分析においては、主にアクセシビリティ、所得および地価の変化を介して政策の効果が表現される。

図中の各モジュールの構成は以下の通りである。まず立地現象は、3章で作成した居住立地に企業立地および土地所有者の行動を加え、立地分布および通勤 OD 分布の決定問題としてモデル化している。この際の基本フレームは応用都市経済モデル (CUE Model)<sup>19),20)</sup> に基づいており、これにより価格変化や家計、企業への帰属便益を等価的偏差 (Equivalent Variation: EV) で評価することを可能としている。企業、土地所有者の行動および市場均衡条件は補注[2]に示す通りである。

立地・土地利用モジュールにおいては所得階層別の通勤OD交通量、およびゾーン別主体別の立地分

布および土地需要量が算定される。この土地需要量をコントロールトータルとして、ゾーン内の 100mメッシュ単位での土地利用配置が算定され、加えて都市的土地利用 (住宅・商業業務) と自然的土地利用 (農業・自然) との混在状況がジョイン値指標によって評価され、スプロール度が定量化される。

交通モジュールにおいては、立地・土地利用モジュールから出力される各ゾーンの中高所得者比率とジョイン値から自動車保有率および利用率が求められ、通勤ODの情報と併せて都市圏での自動車走行量および公共交通の走行量が算定される。これらの出力は政策評価モジュールにおいて、大気環境負荷量の算定のための入力とされると共に、立地・土地利用モジュールへとフィードバックされ、モータリゼーションが都市化に及ぼす空間的影響が把握される。この際、3章で示したように、交通所要時間の居住立地への影響度は所



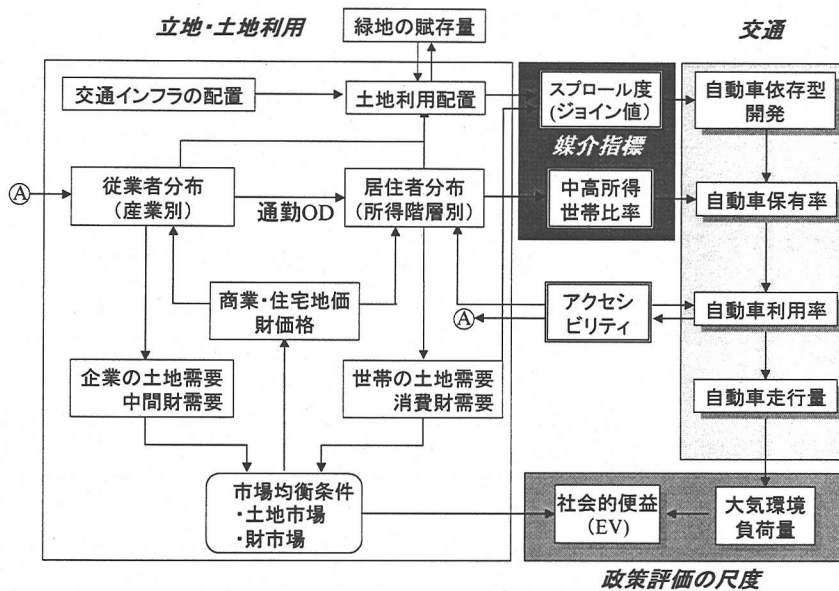


図-16 立地・土地利用と自動車交通との相互作用系のモデル表現

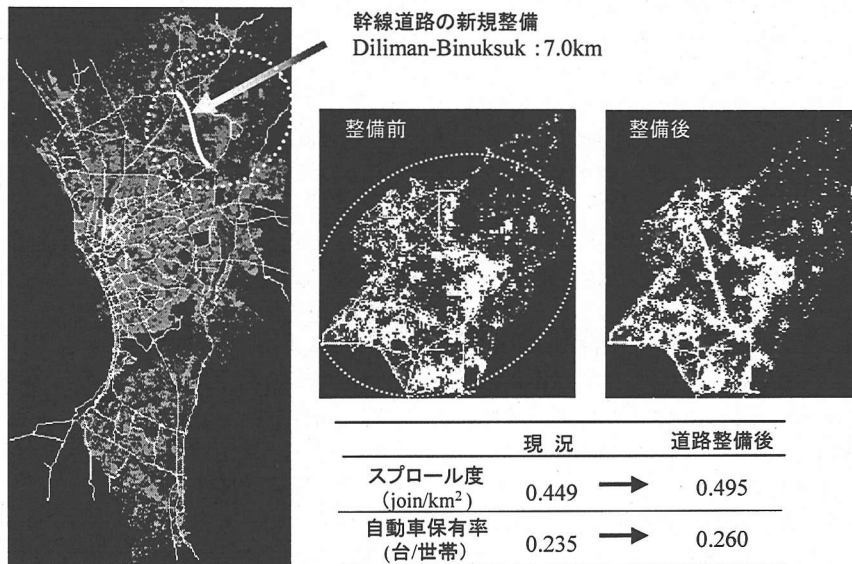


図-17 道路整備に起因した土地利用変化と自動車保有率の変化

得階層毎に異なり、主として中高所得層の立地分布に影響が及ぶ。これに伴い、郊外部の居住立地が増加する場合、集積効果の低いスプロール市街地が形成されることとなる。

### (2)相互作用系における道路整備の影響分析

以上のモデルを用いて、道路整備に起因した土地利用変化および自動車保有率への影響についての試算

例を図-17 に示す。ここでは、ケソン市北部における Diliman～Binuksuk 間の 7km の幹線道路整備を想定し、1)アクセシビリティの改善が立地に及ぼす影響(広域的影響)と 2)道路自体が沿道土地利用に及ぼす影響(局地的影響)とを考慮している。シミュレーションの結果、沿道で帯状の開発が進み、地域のスプロール度は 0.449 から 0.495 (join/km<sup>2</sup>) へと上昇することが示されている。これに伴う自動車保有率の変化は、0.235 から

表-5 都市・交通政策を例にした政策シナリオ

施策		シナリオ設定	シナリオの影響
自動車抑制政策	自動車取得税の増徴	税率を現行の34%から増徴	自動車の利用期間に対応して可処分所得が減少
	自動車保有税の増徴	税額を現行の1000ペソ/年から増徴	
	ガソリン税の増徴	税額を現行の4.8ペソ/lから増徴	自動車の利用費用の増加による交通量の削減
	コードン・プライシング	都心に流入する自動車交通への課金	
軌道系交通(LRT)の整備		環状方向の道路交通コリドーEDSA上にLRTを整備(約30km延長)	交通所要時間の減少
立地政策	業務機能の分散	2つの郊外拠点での大規模企業の比率が都心部と同程度になるよう業務機能に移転	郊外拠点での業務部門の技術進歩による生産、雇用の増加
	都心立地税	都心の立地企業の地代負担を増加	立地費用の増加による企業立地の減少

0.260(台/世帯)への10%程度の増加であり、道路整備がモータリゼーションを加速させるという関係が示されている。

### (3) 都市・交通政策による相互作用系の制御可能性

ここでは、幾つかの都市・交通政策を例として、相互作用系の制御可能性を検討する。対象とする政策は、表-5に示す自動車保有・利用の抑制策、軌道系交通の整備および立地政策である。また、政策の評価尺度として以下の5項目を取り上げる。

- ①自動車保有の抑制
- ②自動車総走行台キロの抑制
- ③渋滞の著しい都心部への流入交通量の抑制
- ④居住・従業立地から見た都市構造のコンパクト性
- ⑤等価的偏差(EV)による社会厚生変化

なお、コードン・プライシングや立地政策の対象地域は、Makati CBDと呼ばれる地域である。CBD面積は首都圏の1%に過ぎないものの、自動車トリップ総数の13%がここを発着地としている。

自動車取得税や保有税の増徴の影響は自動車の利用期間に対応した年間所得( $\omega^h L$ )の減少分として扱い、ガソリン税の増徴やコードン・プライシングは自動車の利用費用と考えて利用者の交通時間費用( $c^h T_{ji}$ )の変化として扱っている。

また、業務機能の分散は郊外拠点での企業の生産技術( $PE_j^k$ )の向上により表現し、また都心立地税の影響は業務地代( $r_j$ )の増加として扱っている。なお、LRTについてはその運賃を既存の公共交通と同等に設定している。

これらの政策の影響は図-16に示した立地・土地利用モジュール及びアクセシビリティに反映され分析されることとなる。

まず、図-18は自動車抑制策のうち、自動車取得税の増徴とコードン・プライシングの効果を示したものである。ここで取得税については現行の税率を基準とした増徴率を横軸にとっている。現状の税率は車両価格比で34%であることから、増徴率200%のケースは車両価格と同額の税負担を意味する。一方、コードン・プライシングは未導入の制度であり、基準となる現状値がないことから、取得税の増徴と負担額が同等になるように横軸を設定している。この場合の車両の想定使用年数は15年である。縦軸の1.0は1996年時点での現況を表す。

自動車取得税の増徴については、保有台数の抑制に効果が見られるが、増徴率200%、すなわち取得時に車両価格に相当する課税を行った場合でも、保有台数の減少は14%程度である。さらに総走行台キロの抑制率は6%に過ぎない。なお、保有台数の減少率と走行台数の減少率を比較した場合、後者が小さい結果となっている。このことは取得税が自動車保有者の実質所得を減少させ、地代負担の低い郊外部への立地を促すことにより、結果として一人当りの自動車走行距離が増加することに起因している。

一方、コードン・プライシングの影響を見ると、課税と異なり局地的な施策であることから、首都圏全域での自動車保有にはほとんど影響しないが、都心部への流入台数に対しては一定の削減効果が試算されている。総走行台キロの抑制については、取得税の増徴と同程度の効果が見られる。なお、コードン・プライシングの影響はそのエリア設定等に依存して変わっていくことが試算されている。

また、保有税やガソリン税については、現行の税額が低いことから、増徴率0~200%の範囲では自動車保有や走行への影響は極めて小さいものであった。

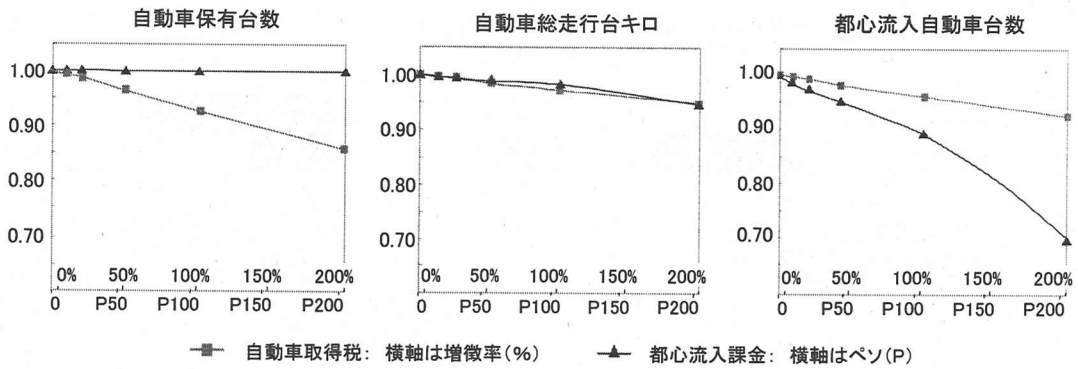


図-18 課税およびプライシング政策の影響

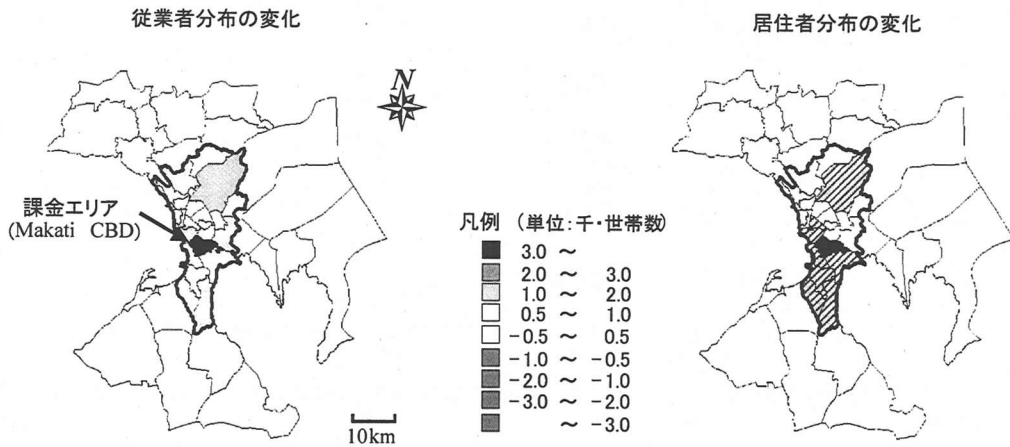


図-19 コードン・プライシングの立地分布への影響

図-19 はコードン・プライシングが立地に及ぼす影響を示したものである。ここでは、都心部への流入に対し1回当たり100ペソ(約300円)を課金した場合の立地変化を示しており、従業者分布については課金エリアでの顕著な減少と、周辺部での増加が読みとれる。一方、居住者分布については、課金エリアでの中高所得世帯数の増加と、その周辺部での減少が予測されている。ただし、式(7)を用いて示したように低所得世帯の立地にはほとんど影響が及ばない。中高所得層の立地に関わる都心方向への回帰と総走行台キロの減少から、課金施策により市街地のコンパクト化と職住近接化が改善されていることが示唆される。

次に自動車抑制策のみならず、軌道系の交通整備、都市政策について、その効果を示したものが図-20である。ここで、都心流入課金についてはMakati CBDへの流入自動車に対し1回当たり100ペソを新たに課徴し、また取得税については現行の税率34%を2倍にするものである。車両の使用年数を15年程度とすれば、都心への

マイカー通勤者の負担は両施策ではほぼ同じである。また、都心立地税については現在の2倍の地代負担に相当する課徴を想定している。LRT整備及び業務機能分散については、表-5に示したシナリオを設定している。これらの施策はその条件設定が異なるため、値そのものを横並びで比較することはできないが、各施策の効果を特徴づけることは可能である。まず、自動車保有の抑制には自動車取得税の大幅な増徴のみが有効であり、郊外への分散型の立地政策は、逆に保有を促す方向に作用することが示されている。一方で、都心立地税や業務機能分散策という立地政策は、流入課金とともに都心への流入交通量の抑制に寄与することが読み取れる。都市圏全域での走行抑制に対しては、流入課金、取得税増徴といった経済的施策は一定の効果をもつものの、立地政策はほとんど寄与していないことが示されている。

ここまでは交通指標により政策の評価例を示したが、次に、各施策により得られる経済便益、及び環境改善

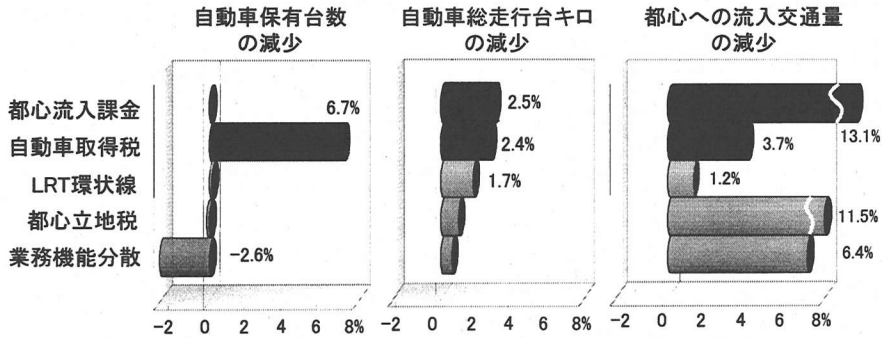


図-20 経済施策，基盤整備策および立地政策の影響

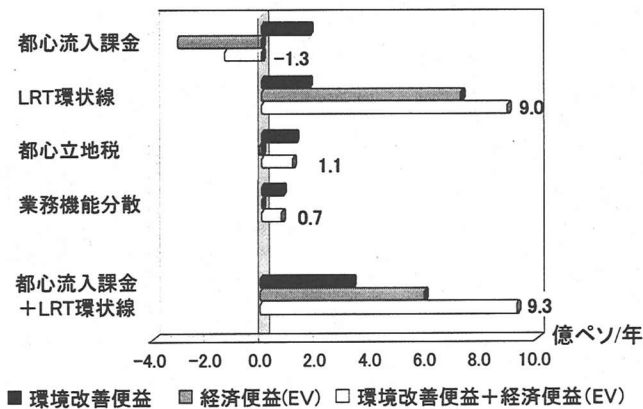


図-21 各施策による経済便益および環境改善便益

便益の推計結果を示したものが図-21である。ここで、NOx, SO<sub>2</sub>, PMなど交通起源の大気環境負荷による社会費用の削減量を環境改善便益として評価している。排出係数については、World BankのVECP<sup>21)</sup>を、また汚染の社会的費用についてはSmall and Kazimi<sup>22)</sup>の原単位を用いている。

まず、2種の立地政策は、若干ながら環境改善便益をもたらすものの、経済的便益については極めて限定的である。一方、流入課金策については、環境改善便益を上回る経済便益の損失が見られる。LRT整備では一定の環境改善便益と経済便益をもたらされる。なお、最下段の「流入課金とLRT整備の混合政策」に着目すると、環境改善便益が大幅に増加し、総便益についてもLRT整備単体のものを上回っている。これにより経済的施策と交通基盤整備との組み合わせによりバランスの良い効果がもたらされる可能性があることが示唆される。

## 6. まとめ

本研究は、途上国大都市における自動車交通への過度の依存がもたらす社会的影響を、中高所得層の郊外立地、市街地のスプロールの拡大、および広域的な大気環境の悪化等との因果関係に着目して定量化したものである。本研究で得られた知見は以下の通りである。

- 1) マニラ首都圏における自動車保有の急増が、マクロ要因として中高所得層の拡大、空間的要因として郊外部の土地利用の混在に起因したものであることを定量的に把握した。
- 2) 所得階層別の居住地選択の分析から、時間、空間に関わる価値意識を抽出し、所得階層間の交通依存度の違いを定量化した。その結果、自動車保有の増加と中高所得階層の交通依存型の立地選好との相乗的な作用により、郊外部の立地優位性が高まる

ことを確認した。

3)スプロール現象の原因として、郊外部での市街地の集積効果の低下、道路沿いのリボン状開発の進行メカニズムを明らかにした。

4)政策の影響分析から、課税やプライシングによる自動車保有の抑制には非常に厳しい措置を要することが確認された。さらに、流入課金等の施策は、それ単独では社会厚生を低下を招く可能性があること、ただし軌道系交通整備との適切な組み合わせにより、改善が図られうることを示した。

5)課税やプライシングは、それ単独では自動車利用者の費用負担増に伴う社会経済的損失を招く可能性がある。この改善のためには、税収や課徴金収入を軌道系交通の整備財源に充当すること等による、公共交通整備とのバランスのよい組み合わせが必要である。

また、本研究で開発したモデルについて、方法論上の成果を以下にまとめる。

1)ミクロ土地利用モデルと応用都市経済モデルの結合により、経済成長や交通改善に伴う将来の市街地拡大を捉える方法を示した。このことは、Transit-oriented Development の検討等において有効な手法と考えられる。

2)さらに、土地利用混在度の現状評価にのみ用いられていたジョイン法を、ミクロ土地利用モデルと自動車保有率モデルとのインターフェースとして導入することで、土地利用-交通モデルのより精緻な枠組みを提供した。

なお、本稿では都市化とモータリゼーションとの相互作用系の制御にかかわる政策評価システムを構築したものの、現状ではその基本性能を確認したに過ぎない。今後、多時点データによるモデルの時間移転性の確認、他の途上国大都市への移転可能性の検討が残されている。また、モデル化の観点からは、異なる空間レベルのモデル群のミクロ行動理論に基づく統合、本稿では捨象された地域固有の価値観や行動規範の考慮等が挙げられる。

謝辞:本研究は、日本学術振興会の未来開拓学術推進事業「アジアの環境保全」における研究プロジェクト「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、平成9年度～)の研究費を利用して実施したものである。また、分析にあたっては国際協力事業団及びフィリピン大学交通研究センターNCTS よりMMUTIS のパーソントリップ調査データや土地利用データを利用させていただいた。貴重な資料を提供いただいた関係各位に謝意を表す。さらに、研究を進め

るにあたって貴重な助言を頂いた東京工業大学 黒川洗教授、屋井鉄雄教授、上田孝行助教授、名古屋大学 林良嗣教授、及び立地モデルの基本設計に関わった元大学院生の山野浩氏にも謝意を表す。

#### 補注

[1] アロンゾ型の空間均衡モデルとの対比でいえば、これはクローズドシティにおいて都市人口規模を所与としたときの、効用水準を求めるプロセスとして見なすことができる。本モデルでは、これを最適化問題として表現している<sup>23)</sup>。

[2] 経済主体の行動のモデル化

(1)企業については以下のような利潤最大化行動を仮定する。

$$\max \left( p^k X_j^k - \sum_h \omega^{kh} L_j^{kh} - r_j G_j^k - c^k T_j^k \right) \quad (12)$$

s.t.

$$X_j^k = PE_j^k \prod_h (L_j^{kh} - T_j^k)^{\alpha(L^{kh})} (G_j^k)^{\alpha(G^k)} \prod_h (T_j^k)^{\alpha(T^k)} \quad (13)$$

ここに、 $j$ :従業ゾーンのラベル、 $k$ :業種のラベル、 $h$ :所得階層のラベル、 $p^k$ :生産財価格、 $X_j^k$ :企業の生産量、 $L_j^{kh}$ :労働投入量、 $\omega^{kh}$ :賃金水準、 $G_j^k$ :土地投入量、 $r_j$ :業務地代、 $T_j^k$ :業務交通投入量、 $c^k$ :単位トリップの費用、 $g^{kh}$ :業種別・所得階層別従業者数、 $PE_j^k$ :技術係数(大規模事業所シェア)、 $\alpha(L^{kh})$ 、 $\alpha(G^k)$ 、 $\alpha(T^k)$ :分配パラメータ

式(12)と(13)を解くと、以下のような各要素需要及び間接利潤関数が得られる。

$$\text{労働} \quad : \quad L_j^{kh} = \frac{\alpha(L^{kh}) p^k X_j^k}{\omega^{kh}} + \frac{\alpha(T^{kh}) p^k X_j^k}{c^k + \omega^{kh}} \quad (14)$$

$$\text{業務地} \quad : \quad G_j^k = \alpha(G^k) p^k X_j^k / r_j \quad (15)$$

$$\text{業務トリップ} \quad : \quad T_{jh}^k = \alpha(T^k) p^k X_j^k / (c^k + \omega^{kh}) \quad (16)$$

間接利潤関数:

$$\Pi_j^k = (1-s^k) \left\{ p^k PE_j^k \cdot \prod_h (\alpha(L^{kh}) / \omega^{kh})^{\alpha(L^{kh})} \right. \\ \left. \times (\alpha(G^k) / r_j)^{\alpha(G^k)} (\alpha(T^{kh}) / \omega^k)^{\alpha(T^{kh})} \right\}^{\frac{1}{1-s^k}} \quad (17)$$

$$\text{where} \quad s^k = \sum_h \alpha(L^{kh}) + \alpha(G^k) + \sum_h \alpha(T^k) \quad (18)$$

企業の立地選択確率 : 
$$P_j^k = \frac{\exp(\theta^k \Pi_j^k)}{\sum_j \exp(\theta^k \Pi_j^k)} \quad (19)$$

所得階層別の従業者数 : 
$$L_j^{kh} = \xi^{kh} \cdot P_j^k \quad (20)$$

(2)不在地主については以下のような利潤最大化行動を仮定する。

$$\max \left( \left\{ r_{Hi} (G_{Hi})^{-\rho} + r_{Ki} (G_{Ki})^{-\rho} + r_{Fi} (G_{Fi})^{-\rho} \right\}^{\frac{1}{\rho}} \right) \quad (21)$$

s. t. 
$$G_{Hi} + G_{Ki} + G_{Fi} = G_i \quad (22)$$

ここに、 $r^H$ : 住宅地代、 $r^K$ : 業務地代、 $r^F$ : 農業地代  
 $G^H$ : 住宅地供給面積、 $G^K$ : 業務地供給面積  
 $G^F$ : 農業地供給面積、 $\rho$ : パラメータ

住宅地供給面積 : 
$$G_i^H = \left\{ (r_{Hi})^{\frac{1}{1+\rho}} / S \right\} G_i \quad (22)$$

業務地供給面積 : 
$$G_i^K = \left\{ (r_{Ki})^{\frac{1}{1+\rho}} / S \right\} G_i \quad (23)$$

農業地供給面積 : 
$$G_i^F = \left\{ (r_{Fi})^{\frac{1}{1+\rho}} / S \right\} G_i \quad (24)$$

where 
$$S = (r_{Hi})^{\frac{1}{1+\rho}} + (r_{Ki})^{\frac{1}{1+\rho}} + (r_{Fi})^{\frac{1}{1+\rho}} \quad (25)$$

### (3)市場均衡条件

合成財市場 : 
$$\sum_i \sum_j L_{ji}^h Y_{ji}^h = \sum_j \sum_k X_j^k \quad (26)$$

住宅土地市場 : 
$$G_i^H = \sum_h \sum_j L_{ji}^h G_{ji}^h \quad (27)$$

業務土地市場 : 
$$G_i^K = \sum_k G_i^k \quad (28)$$

ここで、 $L_{ji}^h$ は従業地 $j$ 及び居住地 $i$ を選択する所得階層 $h$ の世帯数で、間接効用 $V_{ji}^{hk}$ を用いたロジックモデルにより以下のように求められる。

$$L_{ji}^h = \sum_k \left( \frac{\exp(V_{ji}^{hk})}{\sum_k \exp(V_{ji}^{hk})} \right) \cdot L_j^{kh} \quad (29)$$

### 参考文献

1) Kenworthy, J.R. and Laube, F.B.: Patterns of automobile dependence in cities: an international overview of key physical and economic dimensions with some implications for urban policy, *Transportation Research*

part A, Vol.33, pp.691-723, 1999.  
 2) Gakenheimer, R.: Urban mobility in the developing world. *Transportation Research Part A*, Vol.33, pp.671-689, 1999.  
 3) 林良嗣, 富田安夫, 土井健司, スパラット リチカ, 加藤博和: 都市交通によるエネルギー消費およびその環境負荷への影響に関する比較, 土木計画学研究・講演集 No.15, pp.939-944, 1992.  
 4) 林良嗣, 中澤菜穂子, スパラット リチカ: バンコクと東京の比較に基づく都市インフラ整備と環境負荷の分析, 第28回日本都市計画学会学術論文集, pp.427-432, 1993.  
 5) Y. Hayashi, R. Suparat, R. Mackett, K. Doi, Y. Tomita, N. Nakazawa, H. Kato and K. Anurak: Urbanization, Motorization and the Environment Nexus-A International Comparative Study of London, Tokyo, Nagoya and Bangkok-, *Memoirs of School of Engineering*, Nagoya University, Vol.46, No.1, pp.55-97, 1995.  
 6) 加藤博和, 林良嗣, 丸田浩史: モータリゼーション進展過程を考慮した都市旅客交通起源CO<sub>2</sub>の長期的分析手法, 土木計画学研究・講演集, No.22(2), pp.563-566, 1999.  
 7) 土井健司, 紀伊雅敏, フェイン・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.  
 8) 高見淳史, 室町泰徳, 原田昇, 太田勝敏: 自動車利用削減のための土地利用/交通施策に関する議論の整理, 土木計画学研究・講演集, No.20(2), pp.153-156, 1997.  
 9) 芦沢哲蔵: 自動車保有率と都市構造との関係についての研究, 日本都市計画学会学術研究論文集, No.24, pp.259-264, 1989.  
 10) 加藤博和, 林良嗣: 経済成長レベルと都市構造要因を考慮した乗用車保有水準の分析とモデル化, 交通工学, Vol. 32, No.5, pp.41-50, 1997.  
 11) 青島縮次郎, 駱柄璋, 金井昌信, 小野ももこ, 古澤浩司: 地方都市圏における郊外居住化とモータリゼーション進展に関する関連分析, 土木計画学研究・講演集 No.22(2), pp.583-586, 1999.  
 12) 恒川篤史, 李東根, 米林聡, 井手久登: 土地利用混在の定量化手法, 情報環境科学, Vol.20-2, pp.115-120, 1991.  
 13) 肥田野登, 中村英夫, 吉江勝広, サマート・ラチャボンシット, 福田敦: 土地利用交通モデルの開発途上国への適用, 土木計画学研究・講演集, No. 6, pp.141-147, 1984.  
 14) Luk, F.K.: A general equilibrium simulation model of housing markets with indivisibility. *Regional Science and Urban Economics*, Vol.23, pp.153-169, 1993.  
 15) MMUTIS STUDY TEAM: Draft Final Report. *Metro Manila Urban Transportation Integration Study*, 1998.  
 16) National Statistics Office: *Annual Report of Family Income and Expenditure Survey*, 1998.  
 17) White, R., Engelen, G. and Uljee, I.: The use of constrained cellular automata for high-resolution

- modeling of urban land-use dynamics, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol.24, pp.323-343, 1997.
- 18) Xie, Y.: A general model for cellular urban dynamics, *Geographical Analysis*, Vol.28, pp. 350-373, 1996.
- 19) 金広文, 山野浩, 土井健司: ミクロ行動論に基づく都市圏大規模計量モデルの開発とマニラ首都圏への適用, 土木計画学研究・講演集 No.23(2), pp.501-504, 2000.
- 20) 武藤真一, 上田孝行, 高木朗義, 富田貴弘: 応用都市経済モデルによる立地変化を考慮した便益評価に関する研究, 土木計画学研究・論文集 No.17, pp.257-266, 2000.
- 21) Larssen, S., Gram, F., Hagen, L.O., Jansen, H., Olsthoorn, X., Lesaca, R., Anglo, E., Torres, E.B., Subida, R.D. and Francisco, H.A.: Urban air quality management strategy in Asia: Metro Manila Report, *World Bank Technical Paper* No. 380, 1997.
- 22) Small, K.A. and Kazimi, C.: On the costs of air pollution from motor vehicles. *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.29, pp.7-32, 1995.
- 23) 紀伊雅敏, 土井健司: 途上国大都市を対象とした交通計画支援のためのミクロ土地利用モデル, 土木計画学研究・講演集 No.23(2), pp.505-508, 2000.

(2000. 10. 11 受付)

## A MODEL ANALYSIS ON CONTROLLABILITY OF SYNERGETIC SYSTEM BETWEEN SUBURBANIZATION AND MOTORIZATION IN THE METRO MANILA

Kenji DOI, Masanobu KII, Kwangmun KIM and Sheilah A. GAABUCAYAN

In this study, motorization problems in developing metropolises are considered as the negative feedback effect of economic growth, urban expansion, and automobile dependence. The purpose of this study is to capture the relationship of these three factors and to develop the evaluation system of the manageability of motorization. Urban activity location of each income class household, urban sprawl expansion and their influence on automobile dependence are modeled consistently. Based on these models, urban-transportation analysis system representing the interaction of economical behavior, land use and automobile dependence is constructed. This system is adopted to evaluate automobile-related taxation, pricing, provision of LRT and polycentric urban policies for Metro Manila.