アジア途上国大都市における鉄道整備時期を考慮したモータリゼーション進展の将来予測

中村 一樹¹・加藤 博和²・林 良嗣³

¹正会員 名古屋大学大学院環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町C1-2 (651))

E-mail: k.naka@urban.env.nagoya-u.ac.jp

²正会員 名古屋大学大学院環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町C1-2 (651))

E-mail: kato@genv.nagoya-u.ac.jp

³フェロー 名古屋大学大学院環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町C1-2 (651))

E-mail: yhayashi@genv.nagoya-u.ac.jp

モータリゼーションの進展は、恩恵をもたらす一方で、行き過ぎると様々な問題を引き起こす。その進展状況が都市ごとに違う要因の1つとして、鉄道に代表される代替的な交通手段の整備水準の違いが挙げられる。本研究では、アジア途上国大都市における早期鉄道整備によるモータリゼーション進展抑制効果を定量的に把握することを目的とする。まず、鉄道整備時期の違いがモータリゼーション進展に与える影響を明らかにするため、日本の大都市のデータを用いて、都市密度低下と乗用車保有増加の相乗効果についてマクロモデルを構築する。モデルをアジア大都市へ適用し、早期鉄道整備、成熟期鉄道整備、鉄道整備なしの3つのシナリオを設け、2050年までの将来推計を行う。その結果、各都市における早期鉄道整備のモータリゼーション進展抑制効果が示される。

Key Words : *Asia, developing countries, motorization, early railway development*

1. はじめに

自動車に過度に依存した社会は、交通渋滞、交通事故、大気汚染、化石燃料の過度な消費などの問題をはらむ。モータリゼーション進展が著しいアジアの発展途上国大都市では、都市規模が欧米に比べ大きく、これら諸問題が今後重大となることが懸念される。特に、温室効果物質の急増を抑制するためには、モータリゼーションのコントロールが不可欠である。

モータリゼーション進展状況が都市ごとに違う要因の1つとして、鉄道に代表される代替的な交通手段の整備水準の違いが挙げられる。東京や大阪のように、モータリゼーションが進展する前に高水準な鉄道整備が行われた都市では、経済成長が進展した後も、自動車の保有率が低い。このことから、早期鉄道整備がモータリゼーション進展を長期的に抑制する可能性が考えられるが、この仮説は定量的に把握されていない。

都市交通を対象としたモータリゼーション進展度は、都市全体の集計的指標を用いたマクロ分析と、個人行動についての非集計データを用いたミクロ分析により定量的に把握されてきた。マクロ分析では、主に都市間比較

を対象とし、各都市の自動車保有・分担率に影響する要素のクロスセクション分析が行われてきた。特に、モータリゼーションによる都市の人口密度低下とエネルギー消費量増大の関係を世界各都市のデータから示したNewmanとKenworthyの分析は、その代表的な例である¹⁾。マクロ分析は、比較的整備されている集計データを用いて、要素間の相関関係を把握することが可能である。しかし、統計的妥当性に重点を置いたため、因果関係についての理論的根拠に欠け、施策効果モデルとしての感度の妥当性に問題がある。

一方で、ミクロ分析では、交通行動の非集計分析により、個人・世帯属性による自動車保有・利用を含む交通行動の違いが分析されてきた^{2),3)}。これらの分析は、都市の成長期におけるモータリゼーションの進展というより、成熟期におけるモータリゼーションの抑制に注目し、施策効果の正確性を向上させることを目的としている。しかし、このような分析は詳細レベルのデータを必要とするため、必要となるデータが十分に整備されていないアジア途上国では適用が難しい。また、短期的なデータを用いた分析は、経済成長や都市構造変化を経た長期的な将来の行動変化を表現する上で十分とはいえない。

このため、アジア途上国においてモータリゼーションの進展を推計するには、入手可能性が高いデータを初期値とし、一般的なモータリゼーション進展のメカニズムを想定した長期的将来の推計を行うマクロ分析がより望ましい。アジア途上国大都市の長期推計については、梅ら⁴⁾が、日本都市のモータリゼーション期のパネルデータより回帰モデルを構築し、北京、上海、デリーを対象に乗用車起源CO₂排出量の推計を行っている。この分析では、アジア途上国の将来シナリオについて、日本と同様な成長とそれに伴うインフラ整備に対する乗用車保有行動の変化を想定している。しかし、モータリゼーションの不可逆性については考慮されておらず、鉄道整備の時期によるモータリゼーション進展抑制効果は分析されていない。

そこで、本研究では、アジア途上国大都市において、マクロ分析により早期鉄道整備の効果を定量的に把握することを目的とする。まず、日本の都市の経年マクロデータを用い、整備時期を考慮した鉄道整備による都市密度低下と乗用車保有増加の抑制を、モータリゼーション進展抑制効果としてモデル化する。さらに、このモデルをアジア途上国大都市に適用することで、鉄道整備時期がモータリゼーションに与える長期的影響を分析する。

2. 鉄道整備時期の違いがモータリゼーション進展に与える影響についての分析

(1) モータリゼーション進展のプロセス

モータリゼーションは、都市空間構造変化との相乗効果をもって進展してきた。20世紀に入り、アメリカ合衆国を皮切りに先進国で自動車普及が進んだ。自動車保有により、それまで交通利便性の低かった都市郊外の鉄道沿線以外の地区でも、鉄道沿線と同等の利便性が確保できるようになった。その結果、都市広域化の形態は、それまでの高密度な線的拡大から低密度な面的拡大へと移行していった。

自動車は快適性・プライベート性・機動性・全方向性などといった公共交通機関にない魅力を持っており、一方で人口が密集した従来の都心においては自動車利便性が低かったために、郊外部への低密度な面的拡大を促進した。都市域の広域化は都市内交通における移動距離を伸ばし、これに応じて移動速達性の高い自動車がさらに普及した。このように、自動車普及と都市の経済成長・広域化は相乗効果を生み出し、結果として自動車依存型社会が形成される。林・加藤⁵⁾はこの過程をモータリゼーション・アクセラレーションと呼んでいる。

モータリゼーション・アクセラレーションは、都市空間構造、自動車保有とインフラ整備の相互関係により、

図-1 モータリゼーション進展のプロセス

以下のように整理できる（図-1）。

1. 都市空間構造変化：人口増加により都市域は拡大していく。また、自動車保有可能性の増大や鉄道整備の遅れなどの要因により、自動車依存型の低密度な都市空間構造へ変化していく。
2. 自動車保有率上昇：経済成長に伴う購買力上昇によって、自動車を保有する人の割合が増加する。この時、都市空間構造が自動車依存型であると、自動車保有の割合はさらに増加する。
3. 自動車型交通インフラ整備の進行：鉄道整備の遅れにより自動車依存型に陥った都市では、増加する自動車交通を賄うため需要追従的に道路整備が行われる。

経済成長による自動車保有上昇の関係は、統計的に一般的な傾向としてみられ、モータリゼーションの大きな要因として考えられる。また、道路整備が自動車アクセシビリティを向上させることに伴うモータリゼーション促進が、郊外立地需要の増大というスプロールにつながるメカニズムは、都市経済学の分野で確立された理論で説明可能である。さらに、スプロールは郊外における交通需要を増大させることで自動車アクセシビリティをさらに向上させるという、モータリゼーションとの相互作用については、土地利用交通モデル等で実証的な分析がされてきた。しかし、このようなモータリゼーション進展のプロセスが、鉄道整備時期によりどのように影響されるのかという点については、まだ十分に解明されていない。

(2) 鉄道整備によるモータリゼーション抑制のメカニズム

鉄道整備時期の違いがモータリゼーション進展に与える影響は、都市内鉄道整備状況が都市空間構造に与える影響に依存する。都市内鉄道整備水準の高い都市では、

図-2 鉄道整備によるモータリゼーション抑制メカニズム

都市は高密度に保たれることにより、自動車保有が抑制されると考えられる（図-2）。自動車を保有しない鉄道利用者は、自動車保有者に比べ移動可能範囲が狭く、より駅に近接した立地を選好する。鉄道整備水準が高いと、鉄道利用者は増え、駅周辺における土地需要が高くなる。その結果、駅の利便性が高い（ネットワーク性の高い路線に接続している）と、駅の近くには賃料の高い高密度な住宅地が立地し、駅から離れる（駅勢圏外に出る）と賃料が安く低密度な住宅地が立地することになる。単一中心都市を考えたとき、鉄道整備が進んでいると、都心近くの密度がより高くなるが、実際の都市ではネットワーク性の高い鉄道のそれぞれの駅周辺でこのような立地分布になっていると考えられる。

このように、都市内鉄道整備は、駅周辺の地代を上昇させ1人当たりの占有土地面積を低下させることで、高密度化な立地を形成する。都市域拡大は人口増加や所得増加により促進されるものの、鉄道整備が十分になされていることにより、高密度化を促し、都市域面積拡大とそれによる自動車保有増加を抑制することが可能である。

さらに、鉄道整備はその実施時期によりモータリゼーション抑制効果が異なると考えられる。これは、一度開発された土地が未開発地に戻ることは少ないため、モータリゼーションは不可逆的となることによる。このため、より早期に鉄道整備をすることで、都市域の拡大がより抑制され、自動車依存型の都市空間構造の形成を防ぐことがより可能となる。

3. モータリゼーション進展のモデル化

前章でまとめたモータリゼーションのプロセスや抑制メカニズムをモデル化する。ここでは、早期鉄道整備によるモータリゼーション進展抑制効果を表現するため、日本の大都市の経年データを用い、回帰モデルを構築す

図-3 モータリゼーション進展メカニズムのモデル化

表-1 モデルに使用する指標

分類	要素	指標
経済	所得水準	乗用車基準化所得 (平均所得/乗用車最低価格)
インフラ	鉄道整備水準	可住地駅密度 (箇所/km ²)
	道路整備水準	1人あたり舗装道路延長 (m/人)
都市構造	人口集積水準	DID人口密度 (人/km ²)
交通行動	自動車保有水準	乗用車保有率 (台/1000人)

る。日本のモータリゼーション進展期における各都市の交通インフラ整備に対する乗用車保有の推移を参考にし、同様の変化がアジア途上国の成長において発生すると想定することで、まだモータリゼーションが進展していない途上国大都市の長期推計が可能となる。

モデルの全体構成は図-3のようになる。モデルは(1)都市域拡大モデル、(2)都市化度モデル、(3)乗用車保有率モデルから構成される。これは、都市の成長とモータリゼーションの現象を、(1)都心部から郊外部への移転による都市のスプロール、(2)非都市部から都市部への移転による都市化、(3)自動車需要増加によるモータリゼーションの三段階で表現している。モデルのインプットは、人口と所得水準（社会経済）、鉄道と道路の整備水準（交通インフラ）、DID面積の初期値（都市構造）に関する指標で、社会経済と交通インフラの将来変化については、シナリオとして与える。

モデルに使用する指標を表-1に示す。まず、所得水準の指標として1人あたり乗用車基準化所得を用いる。所得の実質値は、名目値を物価水準で基準化したものが主に用いられるが、ここでは乗用車の保有に着目しているため、物価水準に一般的に用いられるGNPデフレータの代わりに乗用車最低価格を利用する。この値は、個人が1年間の所得をすべて乗用車につぎ込んだ場合に購入可能な車の台数に相当する。

都市内鉄道整備水準の指標には、鉄道駅数を可住地面積で除した可住地駅密度を用いる。可住地面積とは総面積から林野面積と主要湖沼面積を引いたものと定義され、農地や道路も含め、居住地に転用可能な既に開発された面積の総計である。また、都市内道路整備水準には、舗装道路延長を人口で除した1人あたり舗装道路延長を用いる。

人口集積水準の指標には、DID (Densely Inhabited Districts：人口集中地区)人口密度を用いる。DIDは居住地や従業地が集積し、都市活動が行われている「都市域」と考えることができる。よって、DID人口密度によって、都市が高密度か低密度かを表現することができる。

乗用車保有水準の指標は、1000人あたりの乗用車保有台数として乗用車保有率を用いる。

これらの指標についてデータを収集し、対象都市(13都市：2005年1月時点での政令指定都市)の1965年から2005年までの5年ごとのデータを用い、モデルのパラメータ推定を行う。

(1) 都市域拡大モデル

都市域拡大は人口増加と所得増加による促進圧力と、鉄道整備による抑制圧力により決まるものとし、式(1)のようにモデル化する。

$$\Delta_{DID} = a \cdot \Delta_{POP} + b \cdot \Delta_i - c \cdot sta + d \quad (1)$$

ここで、 Δ_{DID} ：DID1次半径変化率(DID1次半径 $\pi(DID面積)^{1/2}$)、 Δ_{POP} ：人口変化率、 Δ_i ：乗用車基準化所得変化率、 sta ：可住地駅密度(箇所/km²)、 a, b, c, d ：パラメータ。変化率はいずれも5年あたりのものである。

都市域面積を直接求めるのではなく、DID1次半径変化率を求める形とすることで、都市域拡大の速さを表現している。さらに、変化率が被説明変数となっているため、人口、鉄道整備水準によってDID面積が一意に決まる形ではないモデルとなっており、鉄道整備時期の違いによる影響が表現される。また、道路整備も都市域拡大に影響する要素として考えられるが、1人あたり舗装道路延長と乗用車基準化所得変化率 Δ_i との相関が大きいため、分析には含めなかった。

表-2にパラメータ推定結果を示す。可住地駅密度のパラメータ c の有意性は高いとはいえない。この要因の1つとして、日本のモータリゼーション期における高い人口増加の影響が挙げられる。日本のモータリゼーション初期において、幾つかの都市では年率2.5%以上の高いレベルで人口が増加したため、都市域面積はこれにより大きく拡大した。一方で、対象としているアジア都市では、経済成長とともに高齢化社会へ移行していくことが考えられ、これほど大きな人口増加は想定されていない。このような高い人口増加をした数都市のデータを抜いてパ

表-2 都市域拡大モデルのパラメータ推定結果

パラメータ	a	b	c	d
数値 (t値)	4.63×10^{-1} (7.40)	6.36×10^{-2} (6.92)	2.46×10^{-2} (1.95)	2.07×10^{-1} (2.46)

R²=0.67

表-3 都市化度モデルのパラメータ推定結果

パラメータ	l	m
数値 (t値)	9.96×10^{-1} (11.48)	5.27×10^{-4} (48.09)

R²=0.68

ラメータ推計を行ったところ、可住地駅密度のパラメータは5%有意水準で有意な結果となった。この修正はパラメータを大きく変化させるものではないため、本モデルでは、全ての対象都市のデータにより推計されたパラメータを用いる。

(2) 都市化度モデル

全人口のうち、DIDに居住する人口の割合を都市化度と呼び、式(2)のようにモデル化する。このモデルでは、都市の可住地人口密度により都市化度を説明する。

$$U = \frac{1}{1 + l \cdot \exp(-m \cdot D_{hab})} \quad (2)$$

ここで、 U ：都市化度(DID人口/全人口)、 D_{hab} ：可住地人口密度(人/km²)、 l, m ：パラメータ。

このモデルによって、推計される都市化度と人口よりDID人口を求めることができ、さらに式(1)から求められるDID面積で除してDID人口密度が求められる。表-3にパラメータ推定結果を示す。

(3) 乗用車保有率モデル

乗用車保有率モデルは加藤・林⁹⁾によるモデルを適用する。クロスセクションと時系列の両方を考慮したモデルであり、都市構造変化や経済成長の指標を組み込んでいることから、所得上昇と都市低密化の同時進行が予想される途上国大都市の乗用車保有水準の推計に適するものといえる。モデルは、式(3)の通り定式化される。

$$C = \frac{K}{1 + \alpha \cdot \exp(-\beta \cdot I)} \quad (3)$$

ここで、 C ：乗用車保有率(台/1000人)、 I ：乗用車基準化所得(平均所得/乗用車最低価格)、 α, β ：パラメータ、 K ：潜在的自動車市場規模。

モデルはロジスティック曲線となっており、所得上昇によって乗用車保有率が漸増、急増、漸増と変化する様子を表現できる。所得 $\rightarrow \infty$ とした時 C (乗用車保有率) $\rightarrow K$ となり、上限値 K は所得の制約がなかった場合の乗用車

表4 乗用車保有率モデルのパラメータ推定結果

パラメータ	α	β	γ_1	γ_2	γ_3
数値	1.05×10	7.91×10^{-1}	1.99×10^4	2.99×10^{-1}	4.87×10^{-1}
(t値)	(6.71)	(20.8)		(3.81)	(26.4)

$R^2=0.81$

保有率に相当することから「潜在的自動車市場規模」と呼ぶ。また、分母は所得による制約を表す部分であり「飽和度」と呼ぶ。乗用車保有率の差異を経済成長の差異だけでなく、都市間での差異によっても表現するために、 K を道路整備水準と都市構造を説明変数として、式(4)のように定式化する。

$$K = \gamma_1 \cdot r^{\gamma_2} \cdot D_{DID}^{-\gamma_3} \quad (4)$$

ここで、 r : 1人あたり舗装道路延長(m/人)、 D_{DID} : DID人口密度、 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$: パラメータ。

表4にパラメータ推計結果を示す。

4. モデルのアジア大都市への適用

(1) 対象都市の概要

前章で構築したモータリゼーションの将来推計モデルをアジア大都市へ適用する。アジア都市の乗用車保有行動は文化的・制度的背景から日本とは異なる点があると考えられ、日本のデータで構築したモデルをそのまま適用するのは必ずしも適切とはいえない。特に、アジア途上国では、経済成長の軸として期待される自動車産業の成長を促進するため、自動車保有関連税が低く設定される傾向にある。これに対し、近年では、北京や上海のように、交通渋滞緩和策として、乗用車新規保有においてナンバープレート発行の規制を導入する都市もある。本研究では、このような要因による保有行動の違いは乗用車保有コストに反映されると仮定し、近年のアジア都市の乗用車台数の変化傾向に合うよう乗用車基準化所得の変化を調整したものをインプットとすることで、アジア都市にモデルを適用した。

対象都市として、近年急激な発展を遂げており、かつ人口規模の大きい、中国の北京市と上海市、インドのデリー市、タイのバンコク都を選定した。北京、上海、デリーの人口は1,000万人を大きく超えている。バンコクの2005年の人口は675万人⁷⁾となっているが、住民基本台帳のみの登録制であるため、実際の人口は把握できておらず、実際には未登録の出稼ぎ労働者を含めると約1,000万人とも言われている。

アジア途上国都市の分析においては、DID人口密度指標は存在しないため、市街地面積に対する人口密度を代替指標として用いた。上海、デリーは市街地人口密度が

図4 鉄道整備水準の推移

図5 道路整備水準の推移

図6 乗用車保有水準の推移

20,000人/km²以上であり、高密度な都市が形成されている。これに比べると、北京の市街地人口密度はより低く約13,000人/km²であり、2005年の東京23区のDID人口密度とはほぼ同等である。統計上バンコクも北京と似たような値であるが、実際の人口が1,000万人であるとする、市街地人口密度は約17,000人/km²となる。

鉄道整備水準については、4都市の中でバンコク、デリーが比較的高い（図4）。しかし、モータリゼーション進展初期にあたる1960年における東京23区の可住地駅密度は0.68箇所/km²、名古屋市は0.22箇所/km²であり、日本の都市と比較すると一桁低い水準である。一方で、道路整備水準は、日本の都市と比較可能なレベルである（図5）。上海、バンコクは東京23区よりも低い、北京、デリーは東京23区より高いことが分かる。

図-6は日本を含めたアジア都市の乗用車保有率の推移を比較したものである。上海は、現状では、日本の都市のモータリゼーション進展期と比べ乗用車保有水準は低い。しかし、そのほかの3都市は、日本の都市のモータリゼーション進展期と比べ乗用車保有水準は高く推移している。特に、バンコクはその経済水準の低さに関わらず、乗用車保有率が東京23区の2005年の値より高く、名古屋市の2005年の値に迫る勢いである。

(2) モータリゼーション進展の将来推計

a) シナリオの設定

将来の社会経済シナリオとして、関連研究機関による将来予測を参考に、各都市の人口⁸⁾、⁹⁾と所得¹¹⁾を設定した。

政策シナリオは、鉄道整備と道路整備について以下のように設定した。

1. 早期整備：2030年に2005年の東京23区と駅密度が同水準となるように鉄道を整備する。(整備開始：2010年)
2. 成熟期整備：2050年に2005年の東京23区と同水準となるように鉄道を整備する。(整備開始：2030年)
3. 鉄道整備なし：2010年以降鉄道整備は行わない。

ここで、鉄道整備をする際に、建設する駅の周辺にある程度人口が集積していないと、その路線は採算を確保することはできないため、人口密度から鉄道整備限界量を設定し、鉄道整備量がこれを超えないようにした。

また、鉄道整備水準が低いと、その分自動車利用が増え、そのための道路整備を行わなくてはならない。日本の都市のデータでは、2005年における可住地駅密度と1人あたり舗装道路延長の間には反比例の関係がみられる。そこで、道路整備は、各鉄道シナリオについて、2050年にこの反比例の関係を満たすよう、2005年から線形に増加するように整備していくこととする。

b) 鉄道早期整備によるモータリゼーションの抑制効果

各シナリオについて乗用車保有率の将来推計の結果を示す(図-7、表-5)。北京が最も高く、「鉄道整備なし」のシナリオでは2050年には423台/1000人と、2005年の名古屋の乗用車保有率386台/1000人をも超えると推計される。

しかし、北京における鉄道整備による乗用車保有抑制効果は他都市より低い。他の3都市では、「鉄道整備なし」に対し、「成熟期鉄道整備」では約30%、「早期鉄道整備」では約35%の保有率削減効果がみられる。一方、北京市では、それぞれの削減効果は、約10%、約17%と低い結果となった。これは、北京は現時点ですでに都市の低密度化が進行しており、今後鉄道整備を行うだけでは高密度な都市への転換が見込めないということを示している。その他の3都市を見ると、都市は高密度に保たれ、

図-7 アジア都市の乗用車保有水準の将来推計

表-5 「鉄道なし」シナリオに対する乗用車保有の抑制率(%)

2050年シナリオ	北京	上海	デリー	バンコク
鉄道成熟期整備	-9.5	-28.4	-27.1	-28.9
鉄道早期整備	-17.2	-35.2	-33.6	-36.1

図-8 アジア都市の乗用車起源CO₂排出量の将来推計

これが高い鉄道整備効果につながっている。

加えて、乗用車保有の増加にともなう環境への影響を分析するため、乗用車起源CO₂排出量を以下の簡便な式(5)によって算出する。本来は、鉄道整備は機関分担率やトリップ長の変化を通して乗用車起源CO₂排出量に影響するが、本研究ではこれらを一定と仮定し、乗用車台数のみでCO₂排出量を算出した。ここでは、CO₂排出量の変化率は乗用車保有率の変化率と同じとなるが、その変化量は都市の人口規模で異なる結果となっている。

$$E = e \cdot N \quad (5)$$

ここで、 E ：乗用車起源CO₂排出量[kg-CO₂/年]、 e ：CO₂排出量原単位(2,797kg-CO₂/台・年)、 N ：乗用車台数。

図-8に、2010年の排出量を基準としたときの、各都市の1年あたりの乗用車起源CO₂排出量の将来推計結果を示す。バンコクは他の3都市に比べて乗用車起源CO₂排出量の増加が少ないことが分かる。これは、バンコクの

人口が他の都市と比べ少ないためである。北京は人口規模が大きいため排出量も多くなるが、2030年以降人口増加は頭打ちとなるため、排出量増加は小さくなる。これに対し、上海、デリーでは、今後の大きな人口増加により乗用車起源CO₂排出量の大きな増加が見込まれる。

一方、「早期鉄道整備」は、CO₂排出削減においても最も有効であるといえる。特に、CO₂排出量の大きな増加が見込まれる上海、デリーでは、早期鉄道整備によるCO₂排出削減量が大きい。

5. 結論

本研究では、鉄道を都市発展の早期に整備するほど、モータリゼーション進展が抑制されるという仮説を検討すべく、それを表現するモデルを構築した。そして、アジア途上国の将来において日本の成長期と同様なインフラ整備に対する乗用車保有の変化が発生すると想定し、構築したモデルをアジア大都市に適用して鉄道整備時期の違いに関する長期推計を行った。そのために、日本の都市の経年マクロデータを用いて、鉄道整備による都市域拡大の抑制効果を考慮したモデルを構築した。これに、都市化度と乗用車保有についてのマクロモデルを組み合わせることで、鉄道整備時期の違いがモータリゼーション進展に与える影響の違いが表現可能なモデルを構築した。

アジア大都市にこのモデルを適用し、人口密度、乗用車保有率の長期推計を行った結果、北京では今後鉄道整備を行うだけでは乗用車保有の抑制効果が低く、高密度な都市へ転換することが見込めないことを示した。一方で、他の3都市では、早期鉄道整備の効果は高くなった。特に、今後大きな人口増加が見込まれる上海、デリーでは、他都市と比べ、鉄道整備によるCO₂排出量削減効果がより大きいことが分かった。これらの結果は、モータリゼーションの進行が顕著なアジア都市においても、より早期の対策が重要であることを示しており、低炭素交通システムの実現方策を検討する上で有用である。

今後、アジア大都市において、具体的な鉄道整備施策の方針を決定する際には、より精度の高いモデル構築が求められる。そのための課題としては、都市空間構造の考慮、多様な公共交通手段の考慮、技術革新との組合せ効果が挙げられる。モデル構築において都市全体の平均値指標を用いたため、都市内人口分布の形状の違いによる効果は考慮されていない。鉄道整備と都市構造の集約化といった土地利用施策との統合分析を対象に含め、異なる都市構造パターンの分析を行う必要がある。また、

本研究では代表的な公共交通手段として鉄道のみを取り上げ、それ以外の公共交通手段を考慮していない。アジア大都市では、Bus Rapid Transit (BRT)やパトランジットといった様々な交通モードの導入・活用が期待されており、それらの利便性を考慮して公共交通への利用転換を分析する必要もあろう。さらに、本研究では技術革新を考慮していない。低環境負荷自動車の普及が進行すると、鉄道整備による環境負荷削減効果は相対的に小さくなることも考えられる。これらの課題を克服し、アジアにおける低炭素交通システムの構築に貢献できるよう発展させていくことを考えている。

謝辞：本稿は、環境省・環境研究総合推進費(S-6-5)「アジアにおける低炭素交通システム実現方策に関する研究」の支援により実施された。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Newman, P. and Kenworthy, J.: *Sustainability and Cities*, Island Press, pp.101, 1999.
- 2) 小林迪子, 福田大輔, 兵藤哲郎, 田中倫英: 道路交通センサスを用いた世帯の自動車複数保有及び利用構造の分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.26, No.3, pp.595-602, 2009.
- 3) 藤井聡, 菊池輝, 北村隆一, 山本俊行, 藤井宏明, 阿部昌幸: マイクロシミュレーションアプローチによる TDM・TCM 政策の効果分析ー京都市における交通政策による地球環境問題への対策の検討, 土木計画学研究・講演集, Vol.21, No.2, pp.301-304, 1998.
- 4) 梅達郎, 加藤博和, 林良嗣: アジア大都市におけるモータリゼーション進展過程を考慮した旅客交通部門 CO₂排出量の長期予測, 第 18 回地球環境シンポジウム講演集, pp.67-74, 2010.
- 5) 林良嗣, 加藤博和: 巨大都市の爆発的発展と交通システム整備の不均衡, 岩波講座地球環境学 第 8 巻「地球環境と巨大都市」第 4 章, pp.81-114, 岩波書店, 1998.
- 6) 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.
- 7) National Statistical Office Thailand: Household Socio-Economic Survey, 2007.
- 8) 李嘉岩: 北京市未来人口変動趨勢予測, 北京市人口研究所, 2008.
- 9) 東アジア人口高齢化専門家会議: 各国別人口関連資料, 2009.
- 10) United Nation: World Urbanization Prospect, The 2007 Revision, 2007.
- 11) Goldman Sachs: Dreaming With BRICs: The Path to 2050, Global Economics Paper No:99, 2003.

(2012.2.25 受付)

FORECAST OF MOTORIZATION PROGRESS CONSIDERING RAILWAY IMPROVEMENT TIMING IN ASIAN DEVELOPING MEGA-CITIES

Kazuki NAKAMURA, Hirokazu KATO and Yoshitsugu HAYASHI

Although motorization can contribute to mobility improvement in urban growth, the excessive level of it may cause some problems to the economy and the environment. One of the reasons why the levels of motorization vary by city is a difference in the development levels of public transport infrastructure, particularly urban railway, as an alternative mode to cars. This study is aimed at quantitatively capturing the impact of early-stage railway development on calming motorization growth. First, the impacts of railway and road development on urban density and car ownership are modeled, taking account of development timing, using the panel data of Japan's large cities over their motorization period. Then, the model is applied to mega-cities in Asian developing countries to estimate the long-term impacts of early-stage railway development, late-stage railway development and no railway development. The results showed how effective early-stage railway development is in Asian mega-cities.