

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¹・林 良嗣¹

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

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、都市密度の低下と乗用車保有の増加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年までの将来予測を行う。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、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、主にマクロ分析、ミクロ分析、ネットワーク分析により定量的に把握されてきた。マクロ分析では、対象都市全体やそれを分割した各ゾーンを単位として、分担率や自動車保有率といった集計データが分析されてきた¹⁾。この分析は、既に整備されているデータを用いることができ、時系列変化も考慮可能である。しかし、統計的妥当性に重点を置くため、因果関係についての理論的根拠に

欠け、構築されたモデル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⁾。また、ネットワーク分析では、ネットワーク交通需要予測によって、渋滞を考慮して自動車走行台キロが推計されてきた³⁾。

しかし、これらの分析において必要となるデータはアジア途上国では十分に整備されていないため、モータリゼーションの進展を予測するには、データ入手可能性が高く時系列変化の予測にも適するマクロ分析がより望ましい。アジア途上国大都市の長期予測については、梅ら⁴⁾が、日本都市のマクロ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排出量の予測を行っている。しかし、鉄道整備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、モータリゼーションの将来予測を行う。

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の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・プライバシー性・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。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²⁾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の進展は、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、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拡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、そ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道路整備水準の上昇が求められる。

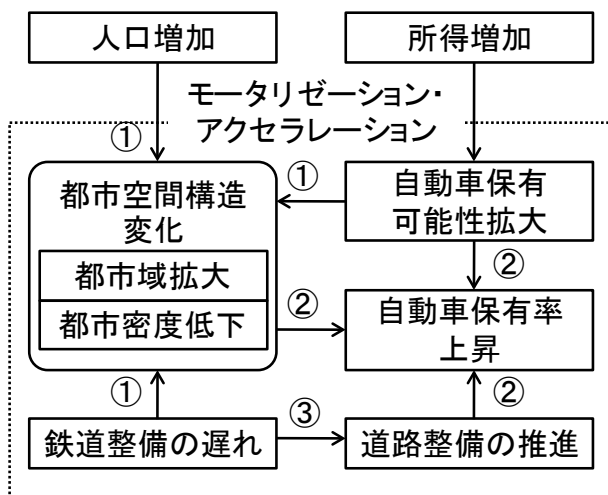


図-1 モータリゼーション進展のプロセス

(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、鉄道整備状況が都市空間構造に与える影響に依存する。鉄道整備水準の高い都市では、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、鉄道整備は、駅周辺の地代を上昇させ 1 人当たりの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が、鉄道整備が十分にこなされていることにより、高密度化を促し、都市域面積拡大を抑制することが可能である。

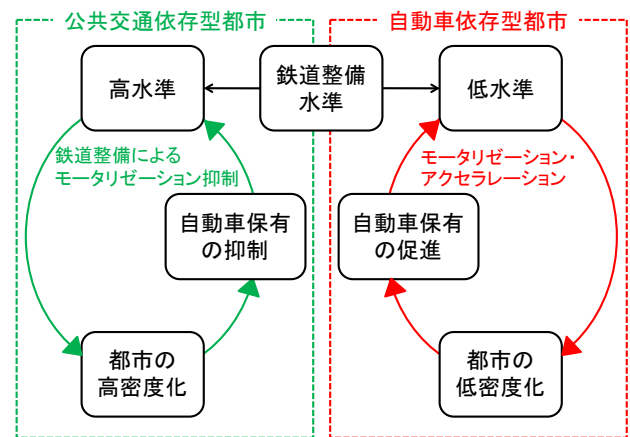


図-2 鉄道整備によるモータリゼーション抑制のメカニズム

4. 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る。日本のモータリゼーション進展期における各都市の推移を用いることで、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将来予測が可能となる。

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。

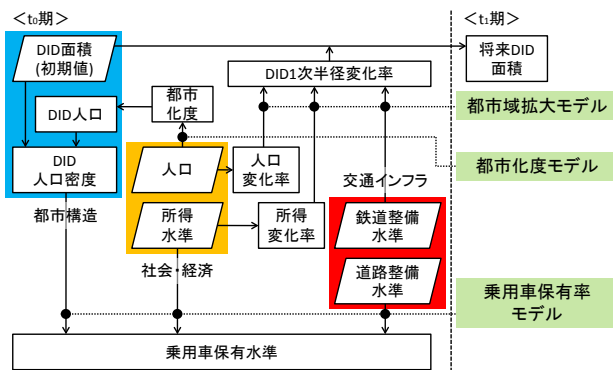


図-3 モータリゼーション進展についてのモデル構成

(1) モデルに用いる指標

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で、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。

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
インフラ	鉄道整備水準	可住地駅密度
	道路整備水準	1人あたり舗装道路延長
都市構造	人口集積水準	DID人口密度
交通行動	自動車保有水準	乗用車保有率

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、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。

(2) 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=(DID面積/ π)^{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。

直接都市域面積を求めるのではなく、DID1次半径変化率を求める形として、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。表-2にパラメータ推定結果を示す。

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

(3) 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。

このモデルにより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。

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	9.96×10^{-1}	5.27×10^{-4}

R²=0.68

(4) 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予測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, K ：パラメータ。

モデルはロジスティック曲線となっており、所得の上昇による乗用車保有率の漸増、急増、漸増といった変化を表現できる。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、分母の所得の制約の部分で「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。

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)

$R^2=0.81$

5. 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予測モデルをアジア大都市へ適用する。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。

上海、デリーは市街地人口密度が 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 都市の中ではバンコク、デリーは鉄道整備水準が比較的高い(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かなり低い水準である。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 区よりも低い水準であるが、北京、デリーは東京 23 区より高い水準にあることが分かる。

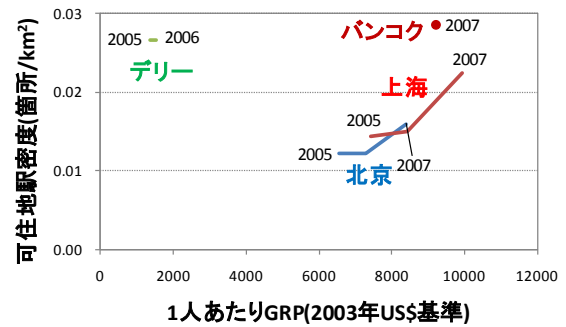


図-4 鉄道整備水準の推移

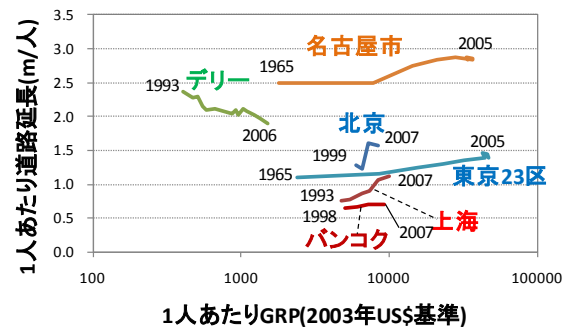


図-5 道路整備水準の推移

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。

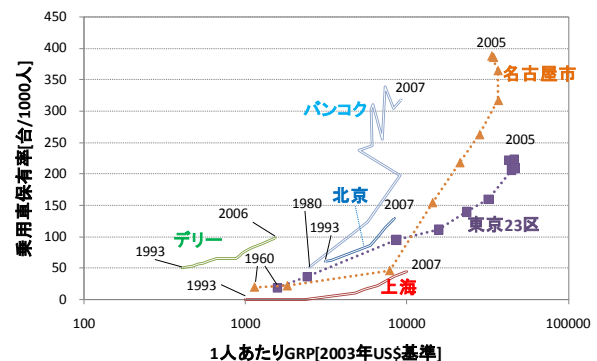


図-6 乗用車保有水準の推移

(2) モータリゼーション進展の将来予測

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⁹⁾¹⁰⁾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予測の結果を示す(図-7)。北京が最も高く、「③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人をも超えると予測される。

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、「③鉄道整備なし」に対し、「②成熟期鉄道整備」では約30%、「①早期鉄道整備」では約35%の保有率の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に転換すること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、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排出量を以下の式(5)によって算出する。

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

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排出量の将来予測結果を示す。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ので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。

本研究で算出したように乗用車起源CO₂排出量が乗用車保有に比例すると仮定すると、鉄道整備により乗用車保有抑制効果と同程度のCO₂排出削減効果が期待される。これより、「①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排出削減量が多いことが分かる。

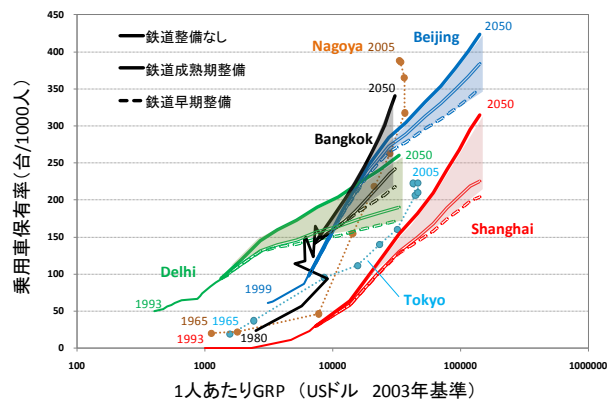


図-7 アジア都市の乗用車保有水準の将来予測

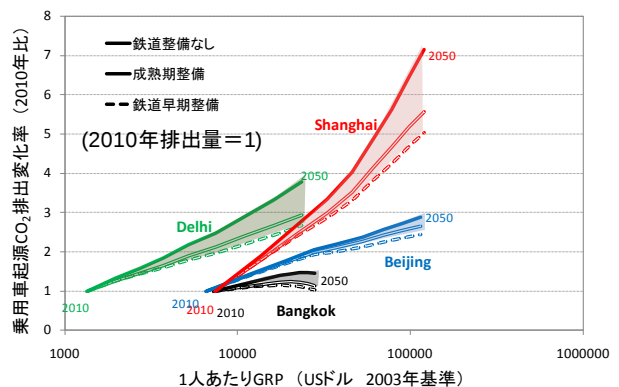


図-8 アジア都市の乗用車起源CO₂排出量の将来予測

6. 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、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予測を行った。まず、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が構築できた。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。

アジア大都市にモデルを適用し、人口密度、乗用車保有率の長期予測を行った結果、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い結果となった。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。そのために残された課題としては、データ収集、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日本の大都市のデータを用いたため、その属性が強く反映されている可能性がある。他都市のデータなど、より広範囲のデータを収集し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。アジア大都市はそれぞれが独自の交通モードを有しており、それらについて考慮する必要もあろう。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ことによって、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と考えられるので、それについて考慮する必要がある。これらの課題を改善し、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。

参考文献

- 1) Newman Peter・Kenworthy Jeffrey：Sustainability and Cities, Island Press, pp.101, 1999
- 2) 小林迪子・福田大輔・兵頭哲郎・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—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：巨大都市の爆発的發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、岩波書店、pp.81-114、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：DreamingWith BRICs: The Path to 2050、Global Economics Paper No.99、2003

Forecast of motorization progress considering railway improvement timing in Asian developing mega-cities

Kazuki NAKAMURA¹, Hirokazu KATO¹ and Yoshitsugu HAYASHI¹

Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University