

アジア途上国都市における土地利用交通施策の 早期実施によるスプロール抑制効果

中村 一樹¹・林 良嗣²・加藤 博和³・ワスタラースク ワシニー⁴

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

³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

⁴非会員 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: vachou@urban.env.nagoya-u.ac.jp

アジア途上国では、経済成長に伴いモータリゼーションと都市域スプロールが急速に進行しており、乗用車依存社会の形成を避けるためにも、低炭素交通システムをより早期に実現することが求められている。しかし、アジア途上国都市では、データ制約や将来の不確実性から、必要な施策の効果を把握することは容易ではない。本研究では、アジア都市における道路と鉄道の整備経路による将来のモータリゼーションの進行と鉄道利用の浸透の違いを日本の経験からシナリオ化し、これによる世帯立地の変化をモデル化することで、土地利用交通施策の早期実施によるスプロール抑制の可能性をバンコクを例に分析する。この結果、鉄道整備・土地利用規制・沿線高密度開発の組み合わせと、それらの実施時期によって、人口密度の分布は大きく変化することが示された。

Key Words : Asian developing cities, urban sprawl, railway development, high-density development, early implementation

1. はじめに

アジア開発途上国においては、今後の経済成長に伴い大きなCO₂排出増加が生じると見込まれ、経済発展を阻害することなく排出増加を抑制する施策をいかに立案し実施するかが重要な課題である。このうち、都市内交通のCO₂排出量は、経済発展に伴うモータリゼーション進展の動向によって大きく左右される。

過度のモータリゼーション進行は、車依存型の社会を形成し、ここから抜け出すのはより困難となる。その要因の1つに、モータリゼーションと相互に促進し合う都市域スプロールが不可逆であることが挙げられる。一度低密度な開発がされると、その土地利用を元に戻すのに多大な時間と費用を要す。スプロールの進行は、モータリゼーションをさらに促進させ、郊外開発を促進する悪循環を引き起こす。しかし、現在アジア途上国都市で実施されている交通施策にはこのような視点はそれほど考慮されておらず、モータリゼーション進展に伴う渋滞

を解消するために道路建設を進めることで、スプロールを促進させ、悪循環に自ら陥っている。これを回避するため、将来のアジア低炭素社会実現に必要な交通システムを早期に提示することが求められる。また、低炭素交通システムはCO₂削減だけで評価されるものではなく、その社会的な受容性、経済的な効果を考慮して評価すべきであるが、交通低炭素化はこのような社会的・経済的効果と矛盾するものではなく、交通渋滞の解消やアクセスの改善といったCo-Benefitも期待できる。

このため、自動車に代わって鉄道などの低環境負荷な交通機関を導入し利用転換を促進する戦略 (SHIFT) が必要となる。21世紀初頭頃から、アジア途上国都市でも都市内移動のための鉄軌道整備が本格的に始まっている。この補完的な施策として、都市域スプロールを直接的に抑制する土地利用施策は、 unnecessary 交通需要発生を抑制する低炭素交通戦略の1つ (AVOID) として挙げられる。特に、経済成長により将来開発需要の大きいアジア途上国では、この戦略によるCO₂削減可能性は高いと考えら

れる¹⁾。

このような気候変動対策としての交通の低炭素化は、交通システム設計においては達成しなくてはならない制約であり、長期的将来の低炭素交通システムの実現のために何をすべきかというバックキャスト的なアプローチが必要となる。バックキャストアプローチとは、望ましい将来像を重視し、その実現のために必要となる手段の内容を明確化することを目的としており、90年代後半から気候変動対策の分析として交通の分野に適用され始めた。これは、従来の交通需要予測で行われてきたような、現在の傾向の延長線上での起こりうる将来を重視した短期予測（フォアキャスト）とはアプローチが大きく異なる。バックキャストを念頭にした分析では、将来像実現のために想定される長期的に大きな変化を伴うシナリオをより規範的に表現することを意図している。しかし、このような分析は長期的な土地利用交通システムの変化そのものをシナリオ化するものが多く、その変化に必要な施策についてはあまり議論されていない²⁾。

CO₂削減目標値達成のために必要となる施策投入量を決めるためには、その長期的CO₂削減効果を推計しなくてはならない。この点で、バックキャストの分析手法については、従来とフォアキャストと同様な構造の都市・交通モデルを用いて、その適用の仕方を変えることで、それぞれの結果を表現することが可能であるとも考えられる。しかし、このモデリングに本質的に求められるのは、従来あるような将来予測の妥当性を追求するための理論・技術面での改善ではない。むしろ、従来のモデルで短期的将来において不変としている仮定を変化させ、行動変化を含めた長期的将来シナリオを表現し、施策実施に伴う将来変化の可能性を示すことがより重要となる。

これらを踏まえ、長期的将来の低炭素交通システムの実現施策を検討する上で、施策効果の妥当性を分析するような将来予測ではなく、将来シナリオを設定した上でシナリオによる効果の幅を大まかに把握することがより重要となる。特に、アジア途上国で交通起源CO₂排出を2050年に現状から半減以下にする場合、先進国と同レベルの車両技術水準になり環境負荷排出原単位が改善（IMPROVE）したとしても、大規模な鉄道整備（SHIFT）やスプロール抑制（AVOID）が必要となるとされている³⁾。よって、アジア途上国の低炭素交通システムの設計では、施策効果の幅を把握することで、必要な施策投入量の目安を決定することが可能となる。

しかし、アジア途上国都市においては、交通計画と土地利用計画の関連主体者が多数存在している一方、その連携は弱く³⁾、このような統合的な土地利用交通施策は十分に行われてきていない。また、これらの都市で、長期的

将来における土地利用交通システムを検討することも容易ではない。これは、データ整備の不足や、将来の変化予測が困難であることに起因する。近年、データ整備が徐々に進められてきているが、実証的な交通モデルや都市モデルを用いた施策分析に適用するには多くの労力が必要である。また、急速な経済成長が見込まれるアジア都市において、現状のデータによる分析のみでは、将来の大きな変化を分析することができない⁴⁾。

これらを踏まえ、既報において、アジア途上国都市の道路と鉄道の整備経路によるモータリゼーションとスプロールの進展の違いを日本の過去の成長期の例を参考に把握し、日本の都市のデータを用いて構築されたモデルをアジア都市に適用することで、鉄道整備によるモータリゼーションの抑制効果を分析してきた⁵⁾⁶⁾。しかし、これらの研究は、総市街地面積といった都市全体レベルで分析されており、立地分布といった都市構造を考慮していない。スプロール抑制施策による効果は、都市構造の変化と大きく影響し合うため、それを含めた分析が重要である。

本研究では、アジア途上国大都市の例としてバンコクに注目し、都市内の世帯立地分布を考慮して、土地利用交通施策の早期実施による世帯立地のスプロール抑制の可能性を分析する。バンコクは、90年代に道路を中心とした都市づくりをしてきたが、その後、新しい都市内鉄道の整備を進め総延長は80kmを超えるまでになった。しかし、乗用車への依存度が依然高い都市である。ここでは、バックキャスト分析そのものは行わないが、その適用を念頭とした長期的将来の施策効果を表現するための分析モデルを適用する。

まず、バンコクにおけるスプロールの現状を利用可能な実データから把握し、現状の傾向が続きモータリゼーションが進行したときの、世帯立地と市街地面積の都市内分布の変化をモデル化する。そして、日本と同様に鉄道整備に伴い鉄道利用が浸透するものと想定して、世帯立地分布の変化を推計する。これより、鉄道整備、土地利用規制、鉄道沿線高密度開発の実施時期による人口密度上昇効果を分析し、抑制されるスプロールの程度を特定する。なお、本研究では、土地利用交通施策による人口密度上昇の可能性を低炭素化を念頭に検討しており、その社会的受容性、経済的効果の評価については研究の対象外とする。

2. アジア途上国の土地利用交通施策の分析

アジア途上国において、環境問題を意識した土地利用交通政策の必要性は、90年代から認識されてきている。バンコクでは、Bangkok Agenda 21⁷⁾という持続可能性を高

める都市開発の理念が1998年に掲げられている。持続可能な交通システムの構築の理念は、アジア途上国でより共有されるようになり、2010年に採択されたアジアにおける交通システムのあり方を示したBangkok Declaration for 2020⁸⁾では、AVOID, SHIFT, IMPROVEによるアプローチが強調されている。ここでは、Transit Oriented Development (TOD) や幹線公共交通整備を促進させるような、統合的な土地利用交通計画の必要性が明記されている。

しかし、統合的な土地利用交通計画の実施は高度な運営能力が要求されるため、先進国でもシンガポールといった限られた事例しかなく、組織的な成熟度の低いアジア途上国都市では、このような理念を実際の計画に反映することはまだ難しい。そもそもBangkok Declarationは環境分野の主体者による取り組みであり、その内容が交通計画や土地利用計画の主体者に浸透している事自体が疑わしい。バンコクの土地利用計画では、経済成長に伴う都市化に対応するため、多極的に都市を拡大することを計画しており、その土地利用政策として、用途別ゾーン (Bangkok Comprehensive Plan) をバンコク都内で設置している。しかし、用途別ゾーンは既存の土地利用を反映するよう設置したものでしかなく、交通インフラ整備との一貫性は十分に検討されていないため、将来の土地利用政策の方向性が欠如しており、想定される急速な都市化に対応できていないという問題点が指摘されている⁹⁾。

将来の土地利用交通政策のあり方を検討するためには、その有効性についての分析が必要となる。先進国都市では、環境負荷排出の低い土地利用交通政策を定量的に検討するため、様々な土地利用交通モデルが適用されてきた¹⁰⁾。土地利用交通モデルは、交通インフラ整備や土地開発の空間分布が、交通行動や立地行動に与える影響を計量経済的な手法を用いてモデル化したものであり、近年はGIS等を用いて多様な現象を例証的にモデル化する地理学モデルと統合して、より詳細スケールなマイクロシミュレーションへと発展している¹¹⁾。欧米都市では、実際の計画策定において土地利用交通モデルを用いた検討が行われることも多く、このようなモデルの分析結果では統合的な土地利用交通政策で40年後にBAU比約30%までCO₂削減を行うことが可能であるとされている¹⁰⁾。しかし、先進国のモデルをそのままアジア都市に適用することは難しい。アジア都市への適用において考慮すべき主な点として、急速な経済成長に伴う行動変化の表現と、厳しいデータ制約下におけるモデルの簡易性が挙げられる。

従来の土地利用交通モデルでは、特定の都市・地域を対象に、5年間隔程度の2時点データを用いて交通行動や立地行動のパラメータ推計を行い、短期の土地利用交通変化をモデル化してきた。ここでは、パラメータ推計や

現況再現性における統計的な有意性を検証することで、モデルの妥当性・有用性を確保することを重視してきた。このようなモデルは、短期の既存計画や個別整備事業の評価を行う上では有効であるが、環境問題で扱われるような長期でより大きな変化を伴う計画を評価することは限界がある。これに対し、統計的妥当性の制約を緩め、複数のルールに基づいて土地利用交通の変化パターンを例証するような都市モデルは、大きな変化を伴う将来シナリオの分析に適用されてきた¹⁰⁾。Cellular Automaton model (CA)では、長期的な都市域の成長について、中心核の発生・拡散、中心核周辺の開発、道路沿線の開発といった現象にルールを適用し、全体の都市域変化に整合するようそのパラメータを調整してモデル化している¹²⁾。このようなルールは、土地利用モデルのマイクロシミュレーションでも適用されてきており^{13), 14)}、アクセシビリティを考慮した非集計的な土地開発や立地選択行動が、詳細な街区グリッドのレベルでモデル化されている。

しかし、このようなマイクロシミュレーションでは、パラメータ推計の労力から、短期データを用いたパラメータ推計が一般的で、その統計的有意性も高くない。そこで、実際計画により適用可能にするために、パラメータ推計の労力を省きシナリオ分析に重点を置くことで、より少ないデータで操作性の高い都市モデルを構築する試みがなされている¹⁵⁾。UPlan¹⁶⁾では、人口分布やインフラ分布データといった一般的に利用可能なインプットデータを用い、各種交通インフラへの近接性等から街区グリッド別の開発魅力度を算出し、新規開発の空間分布を決定している。モデルの拡張も比較的容易であり、パラメータ推計やシナリオ設計のレベルはデータに応じて変化可能であるため、様々な都市問題のシナリオの分析に適用されている。

また、途上国の都市交通モデルの構築では、モデルを単純化していくことが有用であるとされている¹⁷⁾。途上国では、交通モデル構築のためのデータは十分でない場合が多く、先進国データによるパラメータの補完が行われることもあり、土地利用の考慮はまれである。バンコクでも、土地利用交通モデルの構築が行われてきたが¹⁸⁾、信頼性の高いデータは整備されておらず、データ収集を個々の調査に頼っている。McDonaldら¹⁷⁾は、途上国都市の環境負荷削減の分析に適した交通モデル構築のアプローチとして、複数都市の長期的なパネルデータの使用と、マクロレベルの単純指標を用いたモデル構築を挙げている。Schafer & Victor¹⁹⁾は、先進国と途上国の都市を含めた長期パネルデータを用いて、経済成長と機関別交通需要の関係をマクロレベルで分析している。また、都市内交通起源環境負荷排出の構造は、茅恒等式²⁰⁾と同様に、人口、乗用車保有率、乗用車走行キロ/台といった要素に分割され、それぞれが環境負荷に及ぼす影響はアジア都

市でも分析されてきた²¹⁾。さらに、これらを経済レベル、インフラレベル、人口密度といった限られた要素で表現することで、将来の環境負荷排出やインフラ整備による抑制効果もある程度分析することが可能であり、このようなモデルは途上国への適用により適していると考えられる¹⁷⁾。しかし、施策の設計に有用であるためには、必要な詳細レベルでの分析も求められる。特に、人口密度は都市空間構造に大きく依存し、アジア都市における将来の都市空間構造は土地利用施策により大きく変化することが想定されるため、土地利用施策の分析において都市空間構造の考慮は重要である。

これらを踏まえ、本研究では、アジア途上国都市に共通な土地利用交通システムの発展経路の特性に注目し、一般的な発展メカニズムをモデル化することで、土地利用交通施策による影響可能性を示すことを意図している。本モデルの特徴は、アジア都市におけるデータ制約下での長期的行動変化の分析を行うため、将来予測ではなくシナリオ設計に重点を置いている点にあり、以下のよう

- 1) 道路優先整備を行ってきたアジア途上国都市において、日本大都市の成長期でみられた鉄道早期整備を行い、スプロールの進展を抑制させるシナリオを想定し分析を行う。これは単純に日本と同様の土地利用交通システムそのものに変化するということではなく、その変化のプロセスに注目している。道路交通依存傾向にあるアジア都市が、土地利用交通施策の実施時期により、どの程度鉄道利用を中心とするコンパクトな都市に変化できるかが、アジアの特性を反映したシナリオ化の意図である。それぞれのシナリオは、モデル分析における道路・鉄道整備の時系列入力データの違いで表現する。
- 2) 道路整備によるスプロール促進と、鉄道整備によるその抑制という不可逆的な発展経路について、より一般的なメカニズムをモデル化する。この一般化において、モデル化する土地利用交通システムの指標を主要な要素に限定することで、経済成長によるその発展経路を単純に表現し、データ制約のある途上国への適用可能性を高める。アジアの都市成長において、モータリゼーションとスプロールのメカニズムそのものが大きく異なるというわけではない。しかし、アジア途上国では、道路優先整備によりモータリゼーションとスプロールの進展速度が高いため、土地利用交通施策の実施時期が、システムの発展経路に大きく影響すると考えられる。この影響レベルを推計するモデル分析においては、道路と鉄道整備レベルによる立地・交通行動変化レベルのパラメータについて、日本大都市の長期的変化を参考にした値の設定を行う。

- 3) モデルを単純化する中で、アジア途上国の主な特性を考慮した土地利用変化の分析を行う。アジア途上国では所得格差が大きく、それぞれの所得層の交通・立地行動は大きく異なるため、土地利用交通施策が都市空間構造に与える影響は、先進国都市とは異なると考えられる。特に、高所得者層は、車利用によりキャプティブである一方で、郊外だけでなく、都市鉄道駅周辺の新規高級開発地区にも住む傾向がみられる。このような点を踏まえ、従来の道路交通利用を重視する層に対して、新規開発される都市鉄道利用を重視する新たな価値観を持つ中・高所得者層との立地行動の違いを明示的に区別してシナリオ化し、駅周辺に鉄道利用者をより居住させるような施策効果を分析することが必要となる。これをモデル分析するため、道路整備と鉄道整備の経路による長期的将来における都市レベルの市街地面積、乗用車保有率・機関分担率の変化の推定値に対して、地区レベルの鉄道利用者と非利用者の立地をシナリオ別にルール化することで、土地利用交通施策による人口密度分布の変化の可能性を表現する。

一方で、このモデルには限界点もある。アジア途上国におけるデータの制約上、モデルの短期的将来予測についての妥当性の検証は限定的にならざるをえない。しかし、データの欠如はアジア途上国のモデリングにおける本質であり、この妥当性の検証を追求することはモデル構築をより難しくする。また、大きな変化を伴う長期的将来シナリオを分析する上で、短期的予測の妥当性がどの程度適切かという疑問が残る。途上国における交通施策の環境影響評価では、その効果の推計が難しいため、Clean Development Mechanism (CDM) に代表される国際的な気候変動枠組みにおいても交通部門の取り組みは他部門に比べ大きく遅れている。途上国における環境問題への対策は急務であり、土地利用変化も長期的・不可逆的であるため、途上国都市において、将来シナリオに基づいたおおよその土地利用交通施策効果を把握可能なモデルの構築は有用であると考えられる。

3. バンコク都におけるスプロールの傾向

(1) 社会経済の推移

バンコク都における経済発展は急速で、2000年～2009年の間に、都内総生産は約1.4倍、世帯あたり家計支出は約2倍になっている²²⁾。東京では、1965年から2005年までの家計収入の平均上昇率が10年間あたり約1.7倍であり、バンコクの経済成長のペースが続けば同レベルの成長となる。

家計支出の内訳を見ると (図-1) , 2000年～2009年に

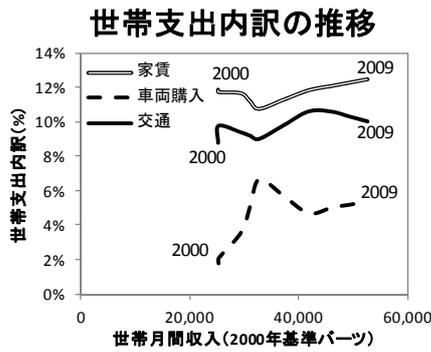


図-1 バンコクにおける世帯収入と支出内訳の推移

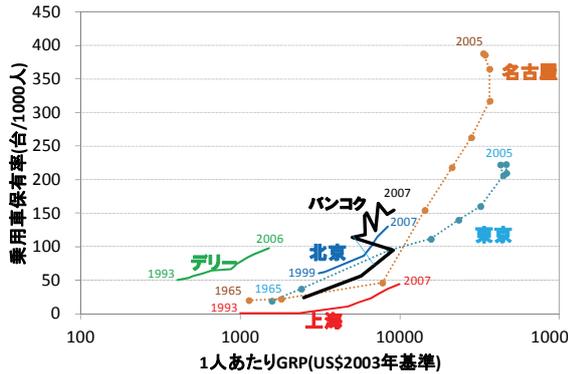


図-2 アジア都市のGRPと乗用車保有の関係

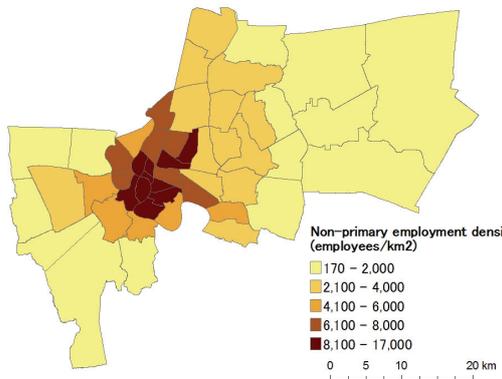


図-3 バンコク都内地区における従業者密度分布

において、家賃と交通費の割合はあまり変化していない。一方で、世帯家計支出における乗用車購入費の割合は上昇傾向にあり、2000年～2009年で1.8%から5.3%へと約3倍になっている。これより、経済成長に伴い、乗用車保有の選好が高まっていることが分かる。

(2) 乗用車保有の推移

経済成長は乗用車保有増加をもたらす。図-2は、アジア各都市でのGRP (Gross Regional Product) と乗用車保有率の関係の推移を示している⁹⁾。バンコクを含め多くのアジア都市では、経済水準に対する乗用車保有率が日本の都市より高くなっている。これより、今後のアジア途

上国における経済成長は、更なる乗用車保有の増加をもたらす、深刻なモータリゼーションを引き起こすことが考えられる。

(3) 土地利用の分布

バンコクの都市構造は一極集中であるといえる。2006年における従業者分布の調査データ²³⁾では、従業者密度(第2次産業と第3産業の従業者数/地区面積)が高いエリアは、ほぼ都心部に集中している(図-3)。この従業者密度が4,000人/km²以上である部分を都心部として区別すると、2002年におけるバンコク都の土地利用分布の調査データでは、市街化面積に対する商業土地利用の割合が、都心部で16%、それ以外で8%である。一方で、住宅地利用の割合は、都心部で45%、それ以外で59%となっている。また、1994年～2002年の市街地の増加率は年間約5%とされている²⁴⁾。

(4) 人口動向と人口分布の推移

バンコク都の人口は増加し続けているが、その増加率は年々減少し、少子高齢化の傾向がみられる²⁵⁾。出生数と死亡数の差と人口の比である自然時増減率は、2002年～2009年で、0.91%から0.77%に減少している。バンコク都の将来人口予測²⁶⁾によると、2025年の人口は2000年に比べ0.7%減少し、この傾向が続くと2050年には22.1%の減少となる。

人口分布の推移に関しては、都心から郊外への人口流出が顕著である。バンコク都の登録人口は、現在700万人程度とされているが、出稼ぎ労働者や学生等の登録されていない浮動人口のデータが含まれていない。このため、社会増減について正確に分析するのは困難であるが、2002年～2009年の人口推移では、都心部では8.6%減少するのに対し、郊外では12.6%上昇している。

4. 現状のスプロール傾向のモデル化

バンコク都とその周辺の5県を含むバンコク首都圏(Bangkok Metropolitan Region)を対象とし、現状のスプロールの傾向が続いた場合の、将来における地区別(バンコク都内50地区と周辺県5つ)の世帯立地選択と宅地拡大をモデル化する。従来は、自動車アクセシビリティの向上と郊外立地の相互作用は、土地利用交通モデル等で分析されてきた。しかし、このようなモデルの構築には多くのデータを必要とし、アジア都市では容易ではない。本研究では、現状再現のモデルを簡便化するため、乗用車保有の増加ともない世帯の郊外立地が増加する土地利用と交通の相互作用を前提とし、住宅地の土地利用変化のみをモデル化する。ここでは、世帯がより大き

な立地面積を有する低密度な地区を選好する程度と、需要の増大による宅地拡大に伴い市街地面積が拡大する程度をパラメータとして用い、各地区の世帯数と世帯あたり立地面積を掛け合わせた住宅地面積の変化を推計する。ここで、本来は世帯立地の主な選好要素として、立地面積と交通アクセスが挙げられるが、本モデルでは現状のスプロール傾向が継続した場合のシナリオを設定する上で、交通アクセスの要素は立地選択に考慮していない。

アジア途上国におけるモータリゼーションに伴うスプロールの特徴は、主に2つ挙げられる。まずは、自動車利用可能性の増大により移動の速達性や利便性が高まることで交通距離に対する抵抗が低くなり、相対的に立地面積が立地選択においてより重視される。また、所得格差の大きい途上国では、駅周辺に高級住宅の開発が進み、主に自動車利用の富裕層が様々な利便性のため駅周辺の立地を求め一方で、それ以外の人々がより地代の安い郊外へと転出する傾向もある。本研究では、交通アクセスや地代は立地面積と一意的な負の関係にあると仮定することでこのメカニズムを単純化し、郊外部における立地需要の上昇を世帯あたり立地面積で表現した。これは、鉄道整備による交通アクセスの向上がスプロールの抑制につながらないことを想定しており、スプロールにおいて最も悲観的なシナリオとなっている。

本モデルは、スプロールの不可逆性を表現することで、土地利用・交通施策の実施時期によるスプロール抑制効果の違いを把握することを意図している。スプロールの不可逆性は、一度開発された市街地は非市街地へは変わらないとして、市街地面積の増加分を推計する。また、転入世帯の立地選択をモデル化することで、人口分布の動的変化を考慮し、施策の実施時期による影響を表す。

将来の経済成長のパターンのシナリオは、日本の1960年から40年間の成長期と同様とし、経済成長により開発投資が増大し、市街地面積の拡大へと繋がると仮定する。一方で、現状のスプロール傾向が続いた場合、立地選行情動は現在と変わらないとする。このモデルは、図-4のようなフローで、5年を1期として各期の推計を行う。モ

デル構築において、土地利用データが存在する2002年を初期年として、次期の2007年の変化に対してパラメータを推計し、現況再現を行う。モデルの妥当性ある程度確保するため、途上国でも利用可能なデータとしてバンコクの地区別人口データを用いて、世帯郊外立地のパラメータ推計を行った。また、長期的将来の変化を表現するため、日本の過去データを参考に、市街地拡大のパラメータ推計を行った。

(1) 転出入人口の推計

$t-1$ 期の各地区 i の人口 $P_{t-1,i}$ から、 t 期の転出入人口 $PO_{t,i}$ と、総転入人口 PIT_t をそれぞれ推計する。世帯の住み替えは一定期間毎に発生すると仮定し、各地区の転出率 $out_{t,i}$ を、将来推計の際に一定値として用いる。本研究では、対象地域の総人口 PT_t の将来変化を設定し、転入人口は、総人口から自然増減率 $nchg_{t,i}$ と転出入人口の影響を差し引いたものとして算出する。この首都圏への総転入人口は、首都圏内の移転人口と圏外からの転入人口を合わせたものであり、本研究ではこの総転入人口に対して立地配分を行う。

$$PO_{t,i} = out_{t,i} \cdot P_{t-1,i} \quad (1)$$

$$PIT_t = PT_t - \left(\sum_k P_{t-1,k} \cdot (1 + nchg_{t,k}) - \sum_k PO_{t,k} \right) \quad (2)$$

各地区の自然増減率の初期値は実データを用い、総転入人口の将来推計においては、人口減少を表すため前章で示した総人口の動向に合わせるようその変化を推計する。各地区の転出率については、実データを用いて算出した。総人口については、登録人口による実データと既存の予測結果²⁹⁾に、浮動人口の仮定値を加算して設定した。ここで、現在のバンコク都の浮動人口が300万人程と言われており、これはタイのバンコク都以外の人口の約5%に相当するため、この割合が将来にわたり一定として人口予測値から将来の浮動人口を仮定した。これにより、式(2)で、総人口 PT_t が各期で設定され、総転入人口 PIT_t が算出される。この結果、バンコク首都圏の人口が、2005年から2050年までで約7%増加すると想定した。

(2) 世帯立地選択モデル

各地区の新規世帯立地数 HI_t を、ロジットモデルにより推計する。まず、総転入人口と平均世帯人数 $avghsize_t$ から総転入世帯数 HIT_t を推計する。そして、世帯あたり立地面積 $L_{t,i}$ (m²) と、各地区の規模変数としての世帯数 H_t により、各地区への世帯立地確率を推計する。ここで、立地面積は立地密度に関連する指標として用い、低密度

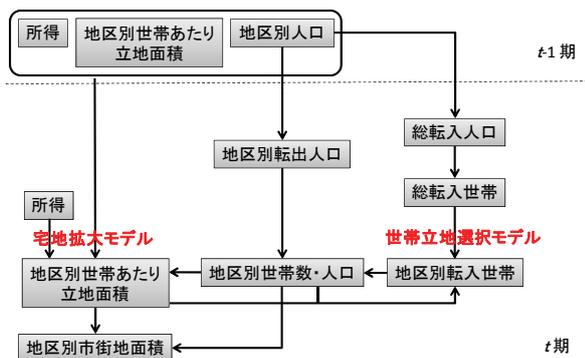


図-4 現状傾向による影響推計モデルの構造

な立地環境では、地代が安く床面積や周辺緑地面積の広さによる魅力が高いことを表現している。一般的な土地利用モデルにおける効用最大化行動においては、土地とその他の財の消費についての代替関係がミクロ経済の理論から想定されており、モータリゼーションにより地代が安く広い郊外の土地へのアクセスが容易になる事で、郊外立地需要増加によるスプロールが表現されてきた。主体の立地選好をより非集計的に扱うマイクロシミュレーションにおいても、立地密度は重要な要素として考慮されている¹⁴⁾。また、日本における立地選好意識の調査においても、アメニティへの選好を表現する要素として、低密度な立地環境への選好は確認されている²⁷⁾。

将来のシミュレーションにおいては、まずは t -1期の立地面積と世帯数を用いて推計を行う。転出入を行わない世帯数は、自然増減率と転出率による人口 $P_{t,i}$ の変化と世帯人数 $hsize_{t,i}$ から推計し、これに転入世帯数を足し合わせ、 t 期における各地区の世帯数を推計する。本研究では、5年という比較的長い期間を1期としているため、その期間内の世帯数や立地面積の変化が立地選択行動に与える影響を考慮する必要がある。そこで、 $t-1$ 期を初期値として推計した t 期の立地面積と世帯数を立地選択モデルにフィードバックし、立地面積と世帯数の推計について1回の繰り返し計算を行った。

$$HIT_t = \frac{PIT_t}{avghsize_t} \quad (3)$$

$$HI_{t,i} = HIT_t \cdot \frac{H_i \cdot \exp(\alpha_1 \cdot L_{t,i} + attr_i)}{\sum_k H_k \cdot \exp(\alpha_1 \cdot L_{t,k} + attr_k)} \quad (4)$$

$$H_{t,i} = \frac{P_{t-1,i} \cdot (1 + nchg_{t,i} - out_{t,i})}{hsize_{t,i}} + HI_{t,i} \quad (5)$$

世帯の立地選択における立地面積の選好についてのパラメータ α_1 は、バンコクの各地区転入人口データを用い、立地分布の推計値による現況再現性が最も高くなるように推計した。その結果、決定係数は0.87という高い再現性で、 α_1 は0.00258と推計された。さらに、世帯の効用は立地面積だけによらないと考えられるため、立地面積による効用推計値と観測分布数による効用との残差分を、地区それぞれに魅力度を表す残差効用 $attr_i$ として加えることで、定数項の調整を行った。この残差効用は、将来推計においては一定値として与える。

(3) 宅地拡大モデル

各地区の世帯あたり立地面積の変化 $\Delta L_{t,i}$ は、地区人口の変化によるものと、所得の変化によるものを足し合わせ算出する。地区人口変化による立地面積の変化は、立

地需要が増えることによる宅地分割等を通じた世帯あたりの立地面積の減少を表したもので、地区人口の変化率 $\Delta P_{t,i}$ と、世帯人数の変化率 $\Delta hsize_{t,i}$ から推計される。所得変化による立地面積の変化は、経済成長による開発投資の増大を表したもので、基準化所得(所得/車両価格)の変化率 ΔI_t から推計する。

$$\Delta L_{t,i} = (0.214 \cdot \Delta P_{t,i}^2 - 0.074 \cdot \Delta P_{t,i}) \cdot \Delta hsize_{t,i} + (0.00405 \cdot \Delta I_t^2 + 0.127 \cdot \Delta I_t) \quad (6)$$

$$s.t. \quad AL_{t-1,i} \geq L_{t,i} \cdot H_{t,i} - L_{t-1,i} \cdot H_{t-1,i}$$

これにより算出される住宅地面積に、商業・業務地等その他土地利用の比率を掛け合わせ、市街地面積を推計する。本研究では、商業・業務地の面積は、住宅地と同様に変化すると仮定し、その比率は各地区で異なるが、将来シミュレーションにおいてその値は一定とした。また、各地区の人口が減少した場合は、スプロールの不可逆性からその住宅地面積は減少せず変化しないよう設定する一方で、各地区の市街地面積の増加は、開発可能面積 $AL_{t,i}$ を超えないように制約を加える。

人口変化や所得変化が立地面積に与える影響についてのパラメータは、日本の1965年から2005年の13大都市のパネルデータを用い推計した。推計では、既往研究で構築された都市レベルのデータによる回帰モデル⁹⁾から、人口変化率と所得変化率の市街地面積1次半徑変化率への影響パラメータを使用した。ここで、人口変化と所得変化それぞれの市街地面積変化への寄与分を足し合わせたものを、式(6)のように世帯立地面積の変化率とした。将来シミュレーションにおける所得上昇については、東京の過去データを参考に、年間2.7%の上昇率を設定した。また、各地区の住宅地面積に対する市街地面積の比率は、2002年のバンコクの土地利用データを用いて算出した。推計された地区別の世帯あたり立地面積と世帯数は世帯立地選択モデルにフィードバックされ、再推計された各地区の人口、世帯数、市街地面積は、次期の推計に用いられる。

(4) 現況再現性

2002年～2007年の変化をモデルにより再現した結果、地区人口の推計値は、高く現況を再現した(図-5)。このモデルを用いた将来推計では、2005年から2050年までの推計を行い、2005年の初期値は2002年からの3年間の変化量をインプットとして推計する。この結果、2010年の地区別人口推計についても、高い現況再現性($R^2=0.95$)を示した。また、2005年から2010年の市街化面積の拡大率の推計値は年間約3%となった。1994年から2002年までのバンコクの市街化面積の拡大率は年間約5%とされて

関の特性の変化とその分担率への影響を考慮するため、日本の都市レベルのパネルデータで構築されたモデルを適用する。この分担率モデルでは、機関別交通費用の算出は行わず、より単純化した各機関の特性指標を用いる。

鉄道分担率を、駅密度(駅数/市街地面積)で推計することで、鉄道整備による分担率上昇を表現する。また、乗用車分担率推計には、モータリゼーションの代表的な指標である乗用車保有率 C_i (台/千人)を使用する。この乗用車保有率は、基準化所得 I_i や一人あたり道路整備量 R_i (m/人)の上昇により上昇し、スプロール抑制により人口密度 D_i が上がることで、抑制されるメカニズムをモデル化し用いる。そして、各交通機関 m の特性 chr_m として、鉄道は駅密度、乗用車は乗用車保有率、2輪車は2輪保有率、徒歩は人口密度を用い、機関分担率 P_m をロジットモデルで推計する。これより、高密度開発による乗用車保有率の抑制は、その分担率を低下させることで、鉄道分担率の上昇へと繋がる。

$$C_i = \frac{\gamma_1 \cdot R_i^{\gamma_2} \cdot D_i^{-\gamma_3}}{1 + \gamma_4 \cdot \exp(-\gamma_5 \cdot I_i)} \quad (7)$$

$$P_m = \frac{1}{1 + \exp(\pi_{m1} \cdot chr_m + \pi_{m2})} \quad (8)$$

$$RHIT_i = H_{i,j} \cdot P_r \quad (9)$$

これらのモデルのパラメータ γ 、 π は、日本のパネルデータから推計されている。これらのパラメータの詳細については、乗用車保有モデルは中村ら⁹⁾の研究で、分担率モデルは梅ら⁵⁾の研究で推計されたものを用いており、それぞれ重回帰分析で決定係数が0.5以上と高い再現性を示している。

乗用車保有モデルの途上国都市への適用においては、乗用車保有税が低い途上国都市では、日本のデータで推定したモデルをアジア都市に適用した場合、過小評価される傾向にある。そこで、乗用車保有コストが日本と異なるとし、基準化所得の初期値を現在の乗用車保有率の観測値に合うよう調整した。

また、分担率モデルの適用においては、鉄道整備が先行した日本では、全般的に鉄道分担率が高い傾向がある。アジア途上国都市では道路整備が優先されてきたので、近年整備が始まった鉄道はその利用がまだ浸透しておらず、いまだ車利用が支配的である現状を示していると考えられる。このため、日本の分担率推計モデルをそのままバンコクに適用し、その推計値を既往研究で用いられている2010年の分担率の観測値²⁹⁾と比較したところ、車利用は過小に、鉄道利用は過大に推計される結果となった。途上国の将来における鉄道利用の浸透の程度は不確

実であるため、現在のアジア都市の分担率データに合わせるように、分担率モデルの初期パラメータを調整する。具体的には、式(8)のパラメータ π_{m2} を、車利用については分担率が高くなるように、鉄道利用については低くなるように変化させた。このようなパラメータ変化の設定は一般的ではないが、本研究では、アジア途上国都市が将来東京のように鉄道利用が普及するというシナリオを意図的に設定し、シナリオによる都市構造への影響の幅を分析する。

そして、現行の鉄道ネットワーク整備計画が完成した時点で、鉄道利用が十分浸透し日本の分担率パラメータの値に移行するとし、その間の整備期間は、整備率に比例して線形的にパラメータが変化するように設定した。

(2) 鉄道重視型の立地選択モデル

鉄道整備は、その沿線地区への鉄道重視型の立地を促進させる。鉄道重視型立地が従来の立地と異なる立地選択をするとして、それぞれの立地分布をモデルで推計する。アジア途上国では、公共交通網が都市全体に整備されていないため、鉄道移動時間が乗用車移動時間に比べ高く、その普及につながっていない。しかし、将来において公共交通網が整備された場合、鉄道による移動時間は現在よりかなり短縮され、自動車と同等に都市内移動利便性の高い機関となっていることが考えられる。また、アジア途上国でも高齢化が進んでおり、将来の高齢化社会のモビリティとして鉄道の役割はより高まることも考えられる。よって、本研究では、このような将来を想定し、従来の郊外立地に対し、鉄道駅周辺への立地需要の増加を鉄道重視型の立地としてシナリオ化する。

鉄道重視型立地のスプロール抑制可能量の程度を示すため、従来の郊外立地に対して極端な立地行動の違いを仮定する。従来立地と異なり、鉄道重視型立地はCBDへの公共交通による移動時間が少ない地区への立地を選好するとする。単純化のため、土地面積の要素は立地選択に考慮されておらず、スプロールに対してより都心部への立地を選好する最も楽観的なシナリオとなっている。CBD(Bang Rak地区)への公共交通移動時間 PT_i (分)は、GISを用いて計測した。この移動時間は、各地区に居住エリアを示すノードを複数設定し、このノード間の幹線公共交通ネットワーク距離と駅~ノード間の道路ネットワーク距離から算出した。これを用いて、各地区に転入する鉄道重視型立地者数 $RHI_{i,j}$ を、式(4)と同様に推計する。

$$RHI_{i,j} = RHIT_i \cdot \frac{SH_i \cdot \exp(-0.00096 \cdot PT_i + attr_i)}{\sum_k SH_k \cdot \exp(-0.00096 \cdot PT_k + attr_k)} \quad (10)$$

鉄道整備により、鉄道重視型立地者が立地可能な駅勢

圏が増える。立地選択における各地区の規模変数としては、総世帯数ではなく、立地選択範囲として駅勢圏の世帯数 SH_i を用いる。しかし、アジア途上国における駅勢圏の規模は、先進国とは大きく異なるものと考えられる。これは、途上国都市における末端交通手段の違いに起因する。先進国において駅勢圏は主に徒歩圏を想定するが、途上国では歩行空間の質が低い都市が多く、その代替手段としてパラトランジットと呼ばれる小型車両（ミニバス・三輪タクシー等）を用いた中・短距離公共交通が発達している。このような末端交通を活用した場合、駅勢圏は徒歩圏を超えて設定することも可能である。このため、本研究では、駅勢圏を各地区の市街地全域とした場合と、鉄道沿線から一定距離とした場合について分析を行う。

公共交通アクセスの選好についてのパラメータは、日本における立地面積と移動時間の選好の程度を重みづけしたQOL指標の既往研究³⁰⁾を参考にし、前章で推計された立地面積のパラメータの相対値として算出した。このパラメータの詳細については、加知ら²⁷⁾の研究で、名古屋のアンケート調査データを用いた非集計ロジット分析で推計されたものを用いており、統計的にも有意な結果となっている。ここで、バンコクと日本の都市における人々の価値観は異なると考えられるが、将来のバンコクの人々の立地面積と移動時間に関する選好は、現在の日本の都市における人々の選好と同様であるという仮定をしている。

(3) 鉄道重視型立地による宅地拡大モデル

各地区の鉄道重視型立地者は基本的に駅勢圏に立地するとし、宅地拡大モデルにより、世帯タイプ別の立地面積と住宅地面積の変化をモデル化する。鉄道整備による駅勢圏への立地増加に加え、土地利用規制や高密度開発を行うことで、住宅地面積の拡大を抑えることができる。土地利用規制は、その規制レベルに応じて、各地区における住宅地面積の拡大を一定割合減少させる。これにより、世帯あたり立地面積を、地区内で一様に減少させることができる。

一方で、高密度開発は、特定の開発エリアにおいて大規模な床供給を行うことで、開発に必要とする立地面積をより小さくすることができる。よって、駅勢圏に高密度開発を実施することで、鉄道重視型立地者あたり立地面積を、高密度化のレベルに応じて減少させることができる。

これらの施策効果のメカニズムを考慮して、住宅地面積の変化を推計する。まず、転入した鉄道重視型立地者とその他の従来の立地者を含め、式(5)のように地区別の全世帯数を推計する。そして、式(6)の宅地拡大モデルに、土地利用規制と高密度開発による世帯あたり立

地面積の減少率を適用し、鉄道重視型立地者の立地面積 $RL_{t,i}$ と従来立地者の立地面積 $ML_{t,i}$ をそれぞれ算出する。高密度開発においては、新規開発における建物高さを上げることで、世帯あたり床面積は変化せず立地面積のみを減少させることを想定する。ここで、世帯密度を2倍にする場合は、立地面積を半分にするとし、この密度の上昇率を外生的に与え立地面積の減少率を決定する。

また、各地区の駅勢圏において、住宅地需要面積が駅勢圏住宅地面積 SAL_i を超えないよう、駅勢圏における鉄道重視型立地の世帯数 $RH_{t,i}$ を調整する。ここで、鉄道重視型立地の需要が駅勢圏を超えた場合は、超えた世帯数は圏外に立地すると仮定し、従来の立地と同様な世帯あたり立地面積を占有するとした。駅勢圏内の自然増減率と転出率は、地区内と圏外と同一とする。

$$SAL_i \geq RH_{t,i} \cdot RL_{t,i} \quad (11)$$

6. 長期的将来における都市構造の変化

構築されたモデルを用いて、土地利用・交通施策によるスプロールの抑制の可能性を分析する。スプロール抑制効果の指標として、都市の人口密度の上昇に注目する。ここで、人口密度の空間分布を考慮するため、各地区別の人口密度を、地区人口で加重平均した値を指標として用いる。これは、周囲に住む平均居住者数に注目した指標であり、居住者が実際に感じる平均人口密度（Perceived Density）を示すもので、都市全体指標を用いた一般的な人口密度よりの確にスプロールを表現することができる³¹⁾。本章では、現状のスプロール傾向が続き土地利用・交通施策による対応がなされないシナリオと、施策を行ったシナリオとを想定し、それぞれのシナリオにおける世帯立地選択の変化について、モデルを用いたシミュレーションを行った。

本研究で分析する土地利用・交通施策として、鉄道整備、土地利用規制と鉄道沿線高密度開発（TOD）を対象とする。施策の実施時期によるスプロール抑制の効果を推計するため、それぞれの施策について2パターンの実施時期を設定し、分析を行う。これらの施策は補完的であり、その組み合わせでより大きな効果を期待できる。このため、鉄道整備、土地利用規制、TODを含めた施策パッケージのシナリオを想定する。

各施策の詳細を表-1に示す。対策なしのシナリオでは、2010年以降公共交通整備も土地利用施策も行わないことを想定する。鉄道整備についてのシナリオは、現在計画されている都市内鉄道整備（総延長509km, 312駅）を想定し、その実施時期に応じて、年間整備率を一定値とし

表-1 土地利用交通施策のシナリオ

実施施策	鉄道整備		土地利用規制		TOD	
	2010年～ 2030年	2010年～ 2050年	2030年～ 2050年	2015年～ 2050年	2030年～ 2050年	2015年～ 2050年
シナリオA	(対策なし)					
シナリオB	○					
シナリオC		○				
シナリオD	○		○			
シナリオE	○			○		
シナリオF	○			○	○	
シナリオG	○			○		○

表-2 2005年から2050年における平均人口密度の変化

	2005年		2050年(シナリオA)		変化率	
	人口(人)	人口密度(人/ha)	人口(人)	人口密度(人/ha)	人口(%)	人口密度(%)
バンコク都心	4,204,178	249	2,032,530	108	-52%	-57%
バンコク都内郊外	5,578,176	110	8,048,978	89	44%	-19%
バンコク都周辺地域	4,126,183	56	5,092,390	43	23%	-24%
計	13,908,538	136	15,173,899	76	9%	-44%

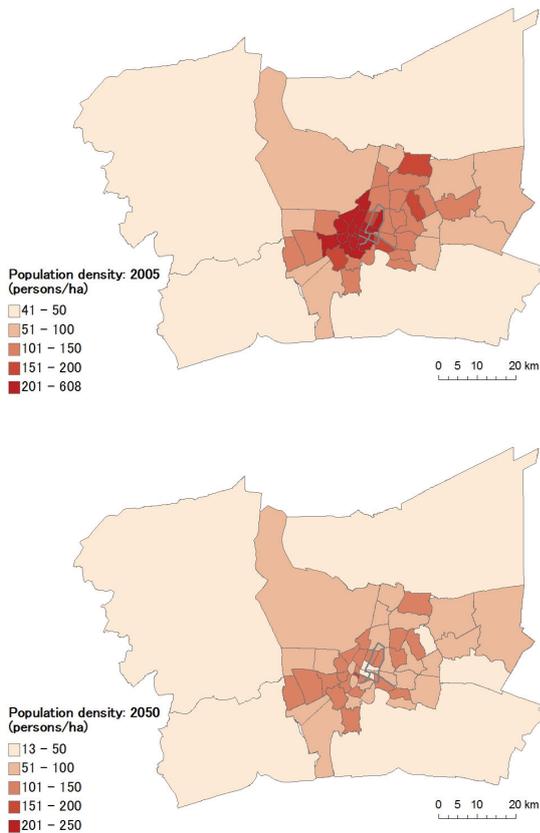


図-8 2005年(上)と2050年の対策なしシナリオ(下)における人口密度分布

て仮定する。土地利用規制についてのシナリオは、都市域拡大の需要に対し50%を規制することを想定する。TODについてのシナリオは、都市鉄道から1km以内の範囲で高度開発を促進し、その地域に立地する世帯の密度を2倍にすることを想定する。

(1) 現状のスプロールによる都市構造の変化

対策なしシナリオとして、現状のスプロール傾向が続いた場合についてシミュレーションを行った結果、2050年における人口密度は76人/haと、2005年に比べ44%減少した(表-2)。その変化の空間分布については、バンコ

ク都心(従業者密度4000人/km²以上)が57%と最も減少が高い。バンコク都内の都心郊外やバンコク都周辺の郊外地域では、人口は増加するものの、都市域の拡大により、人口密度は減少している。この結果、2005年で見られる都心部に集中した人口密度分布が、2050年ではより一様な分布となり、スプロールによる都市構造の変化が示された(図-8)。

(2) 土地利用交通施策による都市構造の変化

土地利用・交通施策による世帯立地選択の変化についてシミュレーションを行い、各施策が平均人口密度に与える影響を推計した。土地開発は不可逆的であり、これらの施策は早期に実施する程、都市域の拡大を抑制し、より高密度な都市を形成することが可能となる。本分析の結果、各施策において、早期実施の効果が図-9のように特定された。早期に全ての施策パッケージを行った場合、対策なしシナリオに比べ、2050年の平均人口密度を約2.5倍にすることが可能であることが示された。これより、CBDと鉄道沿線により高密度な人口分布を形成することが可能となる(図-10)。各施策効果についての結果の詳細を以下に示す。

a) 鉄道整備による都市構造の変化

幹線公共交通としての鉄道整備は、その交通移動時間を短縮することで、CBDと鉄道沿線に近接した地区における鉄道重視型立地を増加させ、都市の低密度化の進行を抑える。これは、乗用車保有率の上昇を抑制し、鉄道重視型立地の総数を増加させ、更なるスプロール抑制へとつながる。ここでは、パラトランジットを用いた末端交通システムを想定し、駅勢圏は地区の市街地全域と設定した。

バンコクの交通計画は、本シナリオ内容の鉄道整備を2030年までに完成させる予定になっている。シミュレーションの結果、この整備は、都心の人口密度を23%上昇させ、他の地域よりもより都心を高密度にする効果が示された(表-3)。

しかし、このような大規模整備が予定通りに進むかは不確実であり、整備が遅れる場合も少なくない。本分析の結果では、鉄道整備の完了時期が2030年から2050年へと遅れることで、2050年における対策なしシナリオに対する人口密度の上昇率は、21.0%から15.0%に低下した。この早期整備効果は都心で最も大きく、その人口密度を7%上昇させる結果となった。

b) 土地利用規制による都市構造の変化

土地利用規制は、各地区への立地世帯数の増加や経済成長による開発投資に伴って拡大する都市域を、直接的に規制することで拡大率を抑制させる。これは、新規開発への許可を厳格化し、都市域拡大を抑制することを想定している。

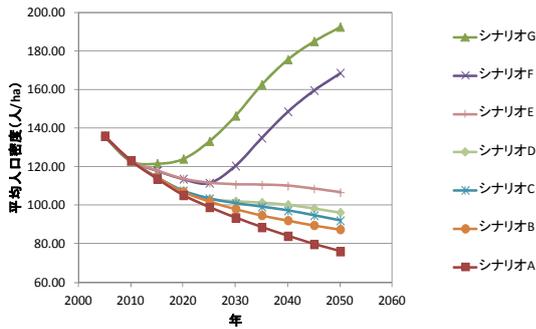


図-9 土地利用交通施策による平均人口密度の変化

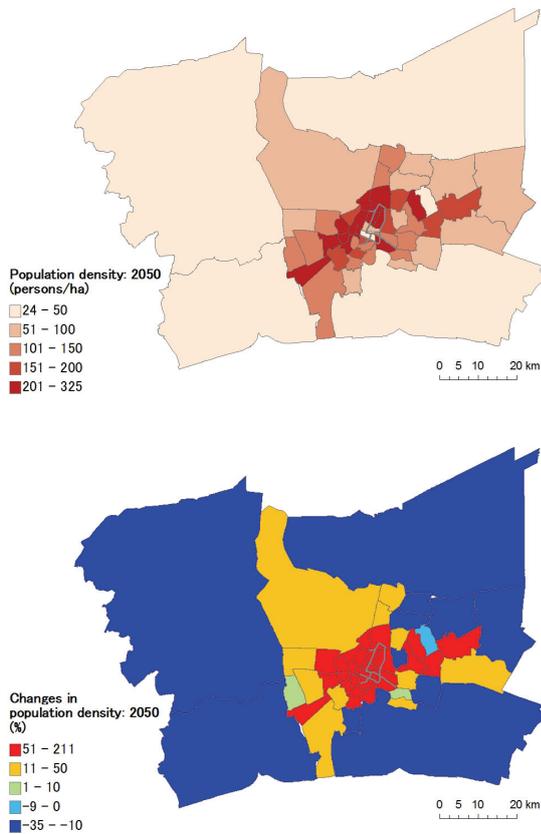


図-10 施策シナリオGによる人口密度分布(上)とその対策なしシナリオAに対する変化率の分布(下)

シミュレーション結果では、鉄道整備と土地利用規制を組み合わせるシナリオ5の場合、人口密度を鉄道整備シナリオ3に対して16%上昇させることが可能であることが示された(表-4)。ここでは、都心より、都心近郊・郊外地域でより高い人口密度の上昇が見られる。これは、開発規制は必ずしも都心の魅力を高めるものではない一方で、新規開発が大規模になる郊外では、規制による都市域の減少量が都心より大きいことに起因すると考えられる。

規制の実施時期の効果については、2015年から規制す

表-3 鉄道整備による平均人口密度(2050年)の変化

	シナリオB(2050年まで)		シナリオC(2030年まで)		変化率	
	人口(人)	人口密度(人/ha)	人口(人)	人口密度(人/ha)	人口(%)	人口密度(%)
バンコク都心	2,287,449	124	2,377,685	132	4%	7%
バンコク都内郊外	8,647,733	99	8,784,455	103	2%	4%
バンコク都周辺地域	4,238,717	44	4,011,759	44	-5%	0%
計	15,173,899	87	15,173,899	92	0%	5%
シナリオAからの変化率						
	人口(%)	人口密度(%)	人口(%)	人口密度(%)		
バンコク都心	13%	15%	17%	23%		
バンコク都内郊外	7%	11%	9%	15%		
バンコク都周辺地域	-17%	3%	-21%	3%		
計	0%	15%	0%	21%		

表-4 土地利用規制による平均人口密度(2050年)の変化

	シナリオD(2030年から)		シナリオE(2015年から)		変化率	
	人口(人)	人口密度(人/ha)	人口(人)	人口密度(人/ha)	人口(%)	人口密度(%)
バンコク都心	2,402,799	134	2,502,509	141	4%	5%
バンコク都内郊外	8,721,845	109	8,721,658	122	0%	12%
バンコク都周辺地域	4,049,255	46	3,949,732	51	-2%	11%
計	15,173,899	96	15,173,899	107	0%	11%
シナリオCからの変化率						
	人口(%)	人口密度(%)	人口(%)	人口密度(%)		
バンコク都心	1%	1%	5%	6%		
バンコク都内郊外	-1%	6%	-1%	19%		
バンコク都周辺地域	1%	3%	-2%	14%		
計	0%	5%	0%	16%		

表-5 TODによる平均人口密度(2050年)の変化

	シナリオF(2030年から)		シナリオG(2015年から)		変化率	
	人口(人)	人口密度(人/ha)	人口(人)	人口密度(人/ha)	人口(%)	人口密度(%)
バンコク都心	3,652,637	286	3,872,101	319	6%	12%
バンコク都内郊外	7,823,690	164	7,681,692	187	-2%	14%
バンコク都周辺地域	3,697,572	62	3,620,106	69	-2%	11%
計	15,173,899	169	15,173,899	192	0%	14%
シナリオEからの変化率						
	人口(%)	人口密度(%)	人口(%)	人口密度(%)		
バンコク都心	46%	103%	55%	127%		
バンコク都内郊外	-10%	34%	-12%	53%		
バンコク都周辺地域	-6%	23%	-8%	37%		
計	0%	58%	0%	81%		

ることで、2030年から規制する場合に比べ、2050年において11%人口密度が高くなる結果となった。しかし、この早期規制による人口密度の上昇は、土地開発の拡大の大きい都心近郊や郊外地域でより高いことから、空間的に一律な規制では、都市の中心性を高めるような都市構造の変化は限られることが示された。

c) TODによる都市構造の変化

TODは、幹線軌道沿線から1kmの範囲を高密度を促進する駅勢圏地区とし、新規立地する鉄道重視型の土地占有面積を減少させることで、都市域拡大の需要を抑制させる。各地区の高密度地区面積は、GISを用いて特定し、その面積は既に市街化しており拡大しないと仮定する。

シミュレーションによって鉄道整備、土地利用規制にTODを組み合わせた施策パッケージを実施した場合(シナリオ7)は、TODを含まない場合(シナリオ5)に比べ人口密度を81%上昇させる結果が得られた(表-5)。これは、平均人口密度を上昇させるために、人口を高密度地区に集中させることは土地利用規制よりも高い効果が見込めることを示している。特に、都心部では127%と、郊外地域に比べかなり高い人口密度の上昇が見られた。このことから、鉄道沿線に人口を誘導するTODではものであり、鉄道整備レベルの高い都心で、よりその効果が高いことが分かった。

この施策による人口密度上昇効果は、TODの実施時期を2030年から2015年に早めることで、14%高めることが可能である。早期整備効果の空間分布は、土地利用規制では郊外の方が高かったが、TODでは都心から郊外まで同レベルである。これより、TODによる早期整備効果は、都心でも期待でき、より中心性の高い都市構造形成につながる事が示された。

7. おわりに

本研究では、アジア途上国都市における将来の経済成長と鉄道利用変化について日本の経験から仮定し、モータリゼーションによる世帯立地のスプロール化をモデル化し、鉄道整備、土地利用規制、TODの実施時期によるスプロール抑制の程度を分析した。この結果、アジア大都市における今後のスプロール抑制の可能性を把握することができた。構築したモデルによるシミュレーションの結果、施策の早期実施はより効果的であり、これらの施策の組み合わせによって、平均人口密度を対策なしの場合に比べ2.5倍程度上げることが可能であることが示された。この効果による都市構造の変化は、施策により異なる。鉄道整備やTODは、都心の人口密度をより上昇させるのに対し、土地利用規制は郊外でより高い効果が見られた。このため、土地利用規制のみの効果は限定的であり、高密度な都市を形成するためには、都心部での開発促進と、郊外部での規制を組み合わせることが不可欠であることが分かった。

本研究の結果は、アジア途上国都市の将来の低炭素交通システムの設計に貢献し得る。都市のコンパクト化によるスプロール抑制は、低炭素交通施策におけるAVOID戦略の主要手段として位置付けられてきた。しかし、この手段の設計については、まだ十分に議論されていない。特に、将来大きな変化が見込まれるアジア途上国では、その設計がより困難となる。本研究では、アジア途上国が日本と同様のモータリゼーションやスプロールが生じるという仮定に基づいたモデルを構築し、土地利用交通施策の効果を特定した。モデルは、入力データを必要最小限にしており、データの不足するアジア都市への適用可能性も高い。これによる結果は、将来のアジアの低炭素システムの設計において、目標とする都市構造を達成するのに必要な施策投入量をだまかに把握する上で有用となる。

一方で、本モデルでは、詳細レベルの都市特性は検討できない。アジア都市は多様であり、価値観や制度は都市により異なる部分があると考えられる。今後は、経済成長や価値観の変化について複数のシナリオを設定し、その長期的効果の分析を通して、アジアにおける低炭素

交通施策の設計を行っていく。

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) 林良嗣, 中村一樹: 低炭素都市のための交通戦略と政策・技術: CUTEマトリクスによる国際比較, 運輸と経済, 71巻3号, pp.4-14, 2011.
- 2) 中村一樹, 林良嗣, 加藤博和, 福田敦, 中村文彦, 花岡伸也: アジア開発途上国都市における低炭素交通システム実現戦略の導出, 土木計画学研究・講演集, Vol.44, 2011.
- 3) Perera, R. and Permana, A. S.: Integrating Land Use, Transport, Energy, and the Environment; the Case of Bandung, Indonesia, In Zusman, E., Srinivasan, A., Dhakal, S. (eds.): *Low Carbon Transport in Asia; Strategies for Optimizing Co-Benefits*, Earthscan, Oxon, 2012.
- 4) Wegener, M.: The Future of Mobility in Cities; Challenges for Urban Modelling, *the Proceedings of the 12th World Conference on Transport Research*, 2010.
- 5) 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.
- 6) 中村一樹, 加藤博和, 林良嗣: 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, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, 2011.
- 7) Regional Resource Centre for Asia and the Pacific: Bangkok State of Environment 2003, Chapter 12 Agenda 21; the Bangkok Agenda, 2003. http://www.rrcap.unep.org/pub/soe/bkk_2004_chpt12.pdf
- 8) UNCRD: Sustainable transport goals for 2010-2020; Bangkok declaration for 2020, 2010. http://www.uncrd.or.jp/env/5th-regional-est-forum/doc/bangkok_declaration.pdf
- 9) Limapornwanitch, K., Teknomo, K., Hokao, K. and Fukuda, A.: Zonal Impact Analysis of Strategic Planning Approach for Land Development Controls; A Case Study of Bangkok, Bangkok, *IATTS Research*, Vol.28, No.2, pp.55-67, 2004.
- 10) Rodier, C.: Review of International Modeling Literature; Transit, Land Use and Auto Pricing Strategies to Reduce Vehicle Miles and Greenhouse Gas Emissions, *Transportation Research Record*, 2132, pp.1-12, 2009.
- 11) Iacono, M., Levinson, D. and El-Geneidy, A.: Models of Transport and Land Use Change; A Guide to the Territory, *Journal of Planning Literature*, Vol.22, No.4, pp.323-340, 2008.
- 12) Clarke, K. C., Hoppen, S. and Gaydos, L.: A Self-modifying Cellular Automaton Model of Historical Urbanization in the San Francisco Bay Area, *Environment and Planning B, Planning and Design*, Vol.24, pp. 247-261, 1997.
- 13) Landis, J. D.: Imagining Land Use Futures; Applying the California Urban Futures Model. *Journal of the American Planning Association*, Vol.61, No.4, pp.438-457, 1995.

- 14) Waddell, P.: UrbanSim; Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning, *Journal of the American Planning Association*, Vol. 68, No. 3, pp.297-314, 2002.
- 15) Travel Forecasting Resource: Sketch Planning Tools, Accessed in 2012, http://www.tfresource.org/Topics/Model_Application/Climate_Change_and_Green_House_Gas/Sketch_Planning_Tools_-_Climate_Change.aspx
- 16) Johnston, R. A., Shabazian, D. R. and Gao, S.: UPlan, A Versatile Urban Growth Model for Transportation Planning, *Transportation Research Record*, 1831, pp.202-209, 2004.
- 17) McDonald, N. C., Porter, C. D. and Gorham, R.: Availability of Travel Forecasting Methods and Data for Air Quality Planning in Developing Countries, *Transportation Research Record*, 1859, pp.110-116, 2003.
- 18) Vichiensan, V., Miyamoto, K. and Rujopakarn, W.: An Empirical Study of Land-Use/ Transport Interaction in Bangkok with Operational Model Application, *Journal of the Eastern Asian Society for Transportation Studies*, Vol.7, pp.1250-1265, 2007.
- 19) Schafer, A. and Victor, D. G.: The Future Mobility of the World Population, *Transportation Research A*, Vol. 34, No. 3, 2000.
- 20) Kaya, Y.: Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios, presented to the *IPCC Energy and Industry subgroup, Responses strategies working group*, Paris, 1990.
- 21) Dhakal, S. and Kaneko, S.: Urban Energy Uses in Asian Mega-Cities; Is Tokyo a Desirable Model?, *The Proceedings of Workshop of IGES/APN Mega-City Project*, 2002.
- 22) National Statistic Office: The Household Socio-Economic Survey, Office of the Prime Minister, Thailand, 2000-2009.
- 23) Office of Transport and Traffic Policy and Planning: Transport Data and Model Center 3, OTP, Thailand, 2006.
- 24) Shlomo, A., Parent, J. and Civco D.: Urban Sprawl Metrics; An Analysis of Global Urban Expansion using GIS, *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2007 Annual Conference*, 2007.
- 25) Strategy and Evaluation Department: Statistical Profile of Bangkok Metropolitan Administration, Bangkok Metropolitan Administration, 2000-2009.
- 26) Office of the National Economic and Social Development Board: Population Projections for Thailand 2000-2030, Office of the Prime Minister, Thailand, 2007.
- 27) 加知範康, 岑貴志, 山本哲平, 加藤博和, 林良嗣: 選好データを用いた生活環境質に対する住民意識の分析; 性別・年齢・居住地の違いに着目して, 土木計画学研究・講演集, Vol.34, 2006.
- 28) Office of Transport and Traffic Policy and Planning: Mass Rapid Transit Master Plan in Bangkok Metropolitan Region: M-Map, OTP, Thailand, 2010.
- 29) Jaensirisak, S.: The Visioning of Bangkok and its Possibility to Reduce CO₂ Emission, presented to the *Workshop on Research on Realization of Measures for Low-Carbon Transport System in Asia*, Nihon University, 2011.
- 30) 戸川卓哉, 鈴木祐大, 西野慧, 加藤博和, 林良嗣, 河村幸宏, 川瀬康博: トリプル・ボトムラインからみた都市域集約策の評価, 第42回土木計画学研究発表会, 2010.
- 31) Eidlin, E.: What Density Doesn't Tell Us About Sprawl, *Access*, No.37, pp.2-9, 2010.

(2012.2.7 受付)

THE IMPACTS OF EARLY IMPLEMENTATION OF LAND-USE TRANSPORT MEASURES ON URBAN SPRAWL IN ASIAN DEVELOPING CITIES

Kazuki NAKAMURA, Yoshitsugu HAYASHI, Hirokazu KATO
and Vasinee WASUNTARASOOK

As economic growth has caused motorization and urban sprawl in Asian developing countries, it has become increasingly important to develop low-carbon transport systems at the early stage of their growth. However, in designing measures to realize such systems, the effects of measures are hardly able to be estimated in cities of Asian developing countries due to their limited data and uncertain futures. This study analyzes the potential impacts of early implementation of land-use transport measures on urban sprawl in a mega-city of Asian developing countries by setting a scenario of future changes in the levels of motorization and railway use based on Japan's experience and modeling the consequent changes in households' location in Bangkok. The results show that spatial distribution of changes in population density is significantly affected by combination patterns among railway development, land-use control and TOD and by their implementation timing.