

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

中村 一樹¹・林 良嗣¹・加藤 博和¹・福田 敦²・中村 文彦³・花岡 伸也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正会員 日本大学理工学部社会交通工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

³正会員 横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

⁴正会員 東京工業大学大学院理工学研究科 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1-14-12)

CO₂排出量の急増が見込まれるアジア開発途上国において、経済成長を損なわずCO₂増加を抑制できる低炭素交通システム実現へのロードマップが求められている。このような新システムには、先端技術や思い切った土地利用・交通施策の積極的な先取りによるリープフロッグ的な変化が必要となる。このため、必要となる戦略を構成する様々な施策の組み合わせとその実施手順を、バックキャスティングにより示すことが重要となる。本研究では、交通起源CO₂排出削減目標を達成するためのアジア低炭素都市における交通システムを、3つの戦略シナリオ（交通需要の抑制、低炭素交通機関の促進、技術進歩）により設計するアプローチを提案する。

Key Words : Asian developing countries, low-carbon transport strategies, backcasting

1. はじめに

今後、世界のCO₂排出量増加の多くはアジア開発途上国において生じ、中でも運輸部門の伸びは他部門に比べ大きいと予想され、その増加を抑制する施策をいかに立案し実施するかは極めて重要な課題である。特に、経済発展に伴うモータリゼーションの進展は、運輸部門のCO₂排出量の基本的な傾向を決める。したがって、経済発展とCO₂増加とをデカップリングする新たな交通体系の提示は、アジア途上国において持続可能な交通を実現するために必要不可欠である。先端技術や思い切った土地利用・交通施策の積極的な先取りにより、リープフロッグ（かえる跳び）的に、新しい低炭素交通システムを導入していかなければならない。

しかし、アジア途上国で現在実施されている交通政策にはこのような視点は十分考慮されていない。ほとんどの地域では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という対症的な施策に終始している。これは長期的には自動車交通の増加を誘発し、一層のCO₂増加をもたらす悪循環を招くことになる。この先進国が経験してきた失敗を、アジア途上国では一層大きなスケールで同じ道をたどりつつある。これはまさに、環境グズネツ曲線を描かせるメカニズムそのも

のであり、現在の低炭素性を維持しながら発展を進めるという「リープフロッグ」とはかけ離れた経路である。その回り道は大きな損失をもたらすため、この失敗の繰り返しを防止するための戦略が必要である。

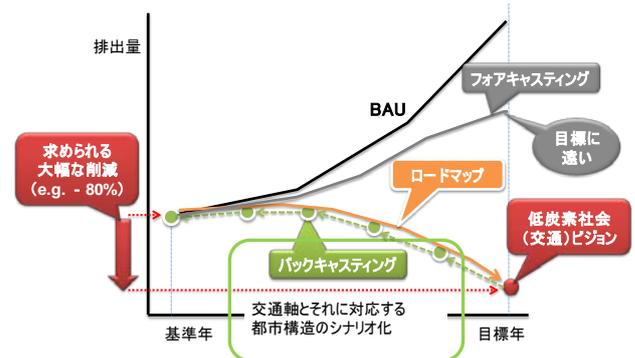


図-1 バックキャスティングの概念

アジア途上国において将来必要とされる低炭素交通システムを設計する際には、その実現のための施策群をバックキャスティングにより求めることが有効である（図-1）。従来の都市地域計画や交通計画では、既存のシステムにおいて、おこりうる施策効果を予測するフォアキャスティングにより分析が行われてきた。一方で、

各国が厳しい中長期CO₂削減目標を設定し、燃料価格等の将来動向がより不確実になってくる中、中長期目標を達成するために必要な施策効果を特定するバックキャストリングによる分析が近年盛んになってきている。

バックキャストリングの分析プロセスは、将来ビジョンの設定と、その実現のための施策パッケージの設計に大きく分けられる¹⁾。ひとくちに低炭素交通といっても、それを実現するための戦略は、それを支える極めて広範な施策（戦術）の組み合わせがあり得る。この戦略・手段は、世界交通学会の交通・環境分科会によるCUTE（Comparative Study on Urban Transport and the Environment）プロジェクトで、CUTEマトリクスとしてまとめられている²⁾。ここで戦略は、 unnecessaryな交通需要を回避する（AVOID）、交通が回避できなければ低炭素交通手段へ転換する（SHIFT）、転換できなければ交通起源環境負荷排出効率を改善する（IMPROVE）、の3ステップに分けてとらえられている。これらの戦略の組み合わせは、アジアの低炭素交通実現においても有効な手段として提案されている³⁾。

本研究では、2050年という長期を考えたアジアにおける低炭素都市実現のための交通システムを、AVOID、SHIFT、IMPROVEの3戦略を用いて設計するためのアプローチを提案することを目的とする。まず低炭素交通のビジョンを設定するため、アジア途上国都市で有効な各戦略の施策をまとめる。そして、低炭素交通システムの構築において必要な施策パッケージをバックキャストリングにより特定する手法をまとめ、経済成長を考慮したマクロな都市モデルを用い実際の都市へ適用する。さらに、異なるスケールにおける多様な施策を検討するため、地域特性を考慮したミクロ分析による都市内交通システムの詳細設計のための分析例を示す。なお、本稿では、都市内交通を中心に述べるが、実際は地域間交通や貨物交通についても考慮が必要である。

2. 低炭素交通システムのビジョンと戦略

将来都市・交通システムのビジョンの理念としては、本来はモビリティ確保や外部費用削減といったいくつかの要素の考慮が必要であるが、本研究では、単純化のため低炭素化のみを考えCO₂削減に注目する。この理念を体現する物理的なビジョンは、AVOID、SHIFT、IMPROVEの3段階の戦略により実現される。これより、この戦略を構成する各施策（戦術）の組み合わせパッケージは、CO₂削減目標と実際との乖離や、経済発展速度、都市空間構造などに応じて決定される（図-2）。

この3戦略を実行するための施策は、技術的、規制的、情報的、経済的手段の4分類で整理される。これらの施策の有効性は、主に都市空間構造や交通インフラ整備水

準によるものであり⁴⁾、アジア途上国都市において適した施策を特定していく必要がある（表-1）。

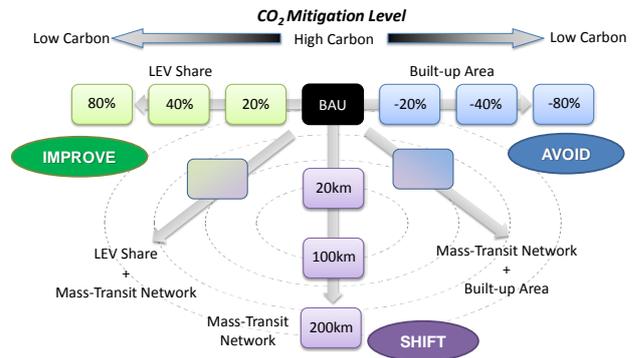


図-2 低炭素交通システムのビジョン設定アプローチ

表-1 アジア途上国都市に適した低炭素都市・交通施策

戦略 手段	AVOID	SHIFT	IMPROVE
技術	公共交通指向型開発 (TOD) ■ 混在型土地利用 物流効率化	BRT・LRT整備 パトランジット活用 新パーソナルモビリティ導入	低排出車普及 スマートグリッド
規制	都市人口管理 ■ コンパクトシティ	■ バス・路面電車優先ルール ■ 非動力交通優先策 ■ 交通規制、駐車規制	■ 排出基準 ■ トップランナー方式 ■ エコドライブ
情報	■ ICT ■ テレワークキング ■ ライフスタイル啓発	■ モビリティ・マネジメント	■ 知識ベース ■ ITS ■ 車両性能のラベリング
経済	■ 燃料税・炭素税 ■ ロードプライシング	■ 燃料税・炭素税 ■ ロードプライシング	■ 燃料税・炭素税 ■ 低排出車減税

(1) AVOID

アジア途上国都市において、モータリゼーションによる都市域スプロールを抑制することで、長期的に低炭素交通システムを実現するために、技術的手段と規制的手段を中心に、成長初期段階に戦略的に幹線鉄道を整備し、その沿線に高密度開発を誘導するのが有効であると考えられる。この代表例として、20世紀初頭から始まった日本の鉄道沿線開発、1970年代のシンガポールの線形的な都市拡大計画、クリチバの幹線公共交通沿線開発が挙げられる。これらの、駅周辺高密度開発と郊外開発規制の組み合わせは、現在は Transit Oriented Development (TOD) として注目されている。

一方、多くのアジア途上国大都市では、無計画な都市域のスプロールが深刻な問題である。バンコクでは、都市域が過去40年間で4倍にも拡大した。これにより、同じ程度の都市域をもつロンドンと比べ、バンコクの乗用車走行キロは約2倍となり、自動車依存都市になっている⁵⁾。

これに対し、中国では政府が土地を所有しているため、開発規制がしやすいと同時に、開発利益が政府に自動的に還元される仕組みとなっており、それを財源として次の

鉄道投資に用いることができる。また、鉄道整備にともない駅周辺の開発もされてきており、TODに通じる開発形態が生じている。このことから、主要都市において急ピッチで進められている地下鉄整備は、無制限のスプロールを抑えるために有効である。一度スプロール的に開発されてしまうと、それを規制するのに多くの時間と費用がかかるため、モータリゼーション早期の対策が重要になる。

(2) SHIFT

アジア途上国都市において、技術的手段である幹線公共交通整備は、急速な経済成長による交通需要の増加に対応するために必要である。多くのアジア途上国において、これまでの道路に偏ったインフラ整備の結果、1990年代初めのバンコク都市圏では、10%以上の就労者の通勤時間が1日8時間を超える大渋滞を引き起こす結果となった。このようなバンコクも、21世紀に入り、スカイトレイン、地下鉄、BRT、そして2010年には国鉄のエアポートリンクが開業し、旧来の国鉄路線を除いた新しい鉄軌道が総延長80kmを超えるまでになった。

中国ではタイをはるかに上回る規模で道路建設が進んでおり、自国の自動車産業を活性化することで経済発展を支えることを重視している。中国の近年の道路整備への投資は、公共交通整備への投資の約4倍である。一方で、道路投資には及ばないが、中国では1990年代から鉄道整備を中心に公共交通整備へも巨額の投資がされてきた。地下鉄整備に北京は年間1兆ドル、上海は年間1.7兆ドルが投資されており、上海の地下鉄ネットワークは万博開幕の2010年には総延長420kmと世界最大規模となり、さらなる拡張が続いている。

しかし、このような大規模インフラ整備は、途上国の開発費用制約の中で常に可能なわけではない。クリチバやボゴタといった南米途上国都市では、低費用で効果的な交通システムとして、Bus Rapid Transit (BRT) を積極的に導入し、車利用からの転換に成功している。BRTは、専用レーンを走行するバスシステムにより、相当の輸送容量を持つにも関わらず、その整備費用は地上鉄道の3分の1から10分の1程度である。BRTは鉄道に近い輸送効率でより安価な都市内交通システムとして注目されてきた。さらに、その端末にフィーダーバス等を導入することで、都市全体にサービスを提供できる階層的な交通システムを形成することが容易である。アジア途上国においても、2004年に開通したジャカルタのBRTが現在では世界有数の大規模ネットワークに成長したように、公共交通整備への意識は高まってきている。

(3) IMPROVE

IMPROVE戦術は、比較的地域性が低く、車両技術等

の技術進歩によるものが大きいと考えられる。排ガス規制はアジア各国でも導入されているが、燃費やCO₂はあまり規制対象にされていない。このため、日本のトップランナープログラムのように、燃費規制を含め、規制基準を最新技術レベルに応じて上げていくことが必要となる。

このような規制的手段は、EVやHVといったLEVの開発を促進させる。日本や韓国に代表されるように、アジアの自動車産業は強く、特に中国の成長が著しい。アジアの自動車燃費は、北米やオーストラリアより高く、LEV開発にも高い潜在能力がある。このような高い車両技術レベルは、近隣アジア諸国の技術利用可能性を高めるとも考えられる。

近年は、経済的手段によるLEVの普及も、規制的手段と組み合わせて行われている。日本のエコカー補助金・減税がHVの大量普及に大きく貢献したのはその代表的な例である。

3. 低炭素交通施策パッケージのバックカスティング

(1) バックカスティングの手法

設定した低炭素交通システムのビジョンを達成するためのロードマップを描く上で、各戦略のCO₂削減効果を把握する必要がある。CO₂排出構造の都市間比較については、Newman-Kenworthy⁶⁾による人口密度とCO₂排出の関係に代表されるように、クロスセクション分析が行われてきた。また、CO₂排出の因果関係を単純化したいいわゆる茅恒等式⁷⁾では、人口、1人あたりGDP、GDPあたりエネルギー消費、排出係数といった要素を用いて、経済成長がCO₂排出に与える影響が分析されてきた。この分析は交通分野にも適用され、交通発生、自動依存度、技術レベルといった要素によりCO₂排出を分析しており、それぞれAVOID、SHIFT、IMPROVEに対応した形になっている。

しかし、これらの研究は、施策によりどのように土地利用・交通を変化させるべきかという動的な対応検討を十分に行っていない。アジア途上国都市では、経済成長により土地利用・交通に大きな変化が生じることが見込まれる。このような変化を考慮するためには、交通発生、自動車依存度、技術レベルについて、それぞれに影響を与える要素にさらに分解し、それらの因果関係を把握する必要がある(図-3)。ある要素の変化は、他の要素の変化を生じさせ、より複雑な関係を通してCO₂排出に影響する。よって、低炭素交通戦略の施策を設計するためには、この動的変化を把握することが必要となる。

このため、従来フォアカスティングに適用されてきた都市モデルを、バックカスティングにおいても活用

することが考えられる。都市モデルを用いることで、低炭素交通戦略の施策が、土地利用・交通とCO₂排出にあたる効果を推計することができる。この推計により、設定した目標を達成するのに必要な施策をバックキャストにより特定することが可能である。また、モデル構築についても、現在のデータを用いたパラメータ推計よりも、将来のシナリオを表現するための仮定がより重要となる。このような、あるべき将来をバックキャストにより示すための都市モデルの適用は、都市モデルの改善点としても指摘されている⁸⁾。

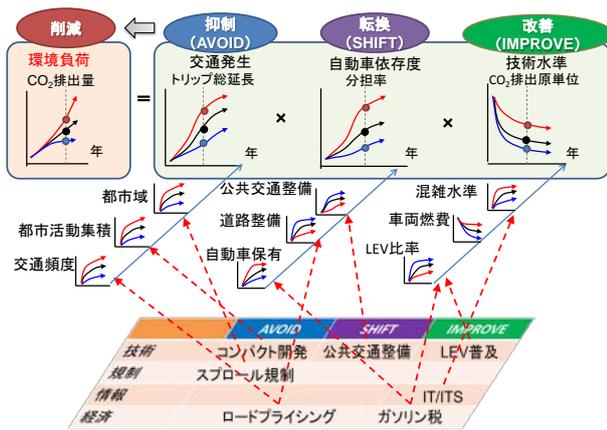


図3 都市内交通におけるCO₂排出と施策による削減の構造

(2) 都市内旅客交通低炭素戦略の効果推計モデル

土地利用・交通の変化について、土地利用・交通モデルに代表されるように、多くの都市モデルが構築されてきた。近年では、これらのモデルを用いて、より単純化したマクロモデルの適用から、より詳細なマイクロシミュレーションの開発まで、多様な取り組みがなされている。アジア途上国の分析において、経年的な経済成長の影響を分析するにはマクロモデルが、地域特性を考慮するならばマイクロシミュレーションがより有効であると考えられる。しかし、アジア途上国では、これらのモデルを構築するためのデータ整備は十分でない。さらに、前節でも述べたように、大きな変化が見込まれるアジア途上国の将来の分析をする上で、現在のデータに頼った分析は意味を持たない。

そこで、先進国のデータを用いてモデルを構築し、将来の変化を表現するアプローチが有用である。アジア途上国のモータリゼーションは、1960年代からの日本のモータリゼーションと同様のプロセスとして把握可能である。また、将来のアジア途上国都市では、東京のように公共交通整備水準が比較的高くなると、それに応じた高い公共交通利用への転換が期待できる。このようなメカニズムを特定するため、経済成長を考慮したマクロ分

析として、単純化した都市モデルを構築した(図-4)。

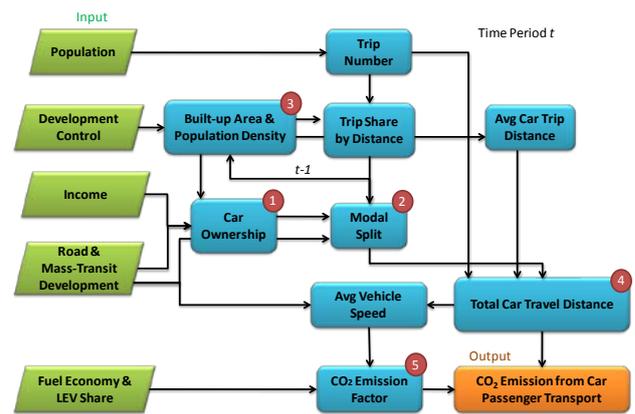


図4 都市内旅客交通低炭素戦略の効果推計モデルフロー

ここでは、経済成長によるモータリゼーションと都市スプロールをモデル化し、技術レベルの進歩シナリオに応じて乗用車のCO₂排出原単位を算定することで、将来CO₂排出量を推計する。低炭素施策の効果推計の対象としては、都市域拡大規制によるAVOID、幹線公共交通整備によるSHIFT、車両技術向上によるIMPROVEを挙げている。また、モデルでは、幹線公共交通として鉄道を取り上げているが、BRTも同様に分析可能である。

まず、経済成長が乗用車保有率を上昇させ(図-4①)、次いで乗用車分担率を上昇させる(図-4②)というモータリゼーションのメカニズムをモデルで表現する。乗用車保有モデル⁹⁾では、乗用車価格で基準化した所得の上昇、1人あたり道路延長の上昇と、スプロールによる人口密度の低下により乗用車保有が促進される構造になっている。機関分担モデル¹⁰⁾では、各機関の普及・整備レベルに応じて分担率を推計しており、乗用車と鉄道の利用は、それぞれ乗用車保有率と市街地あたり駅密度の上昇でより高まるようになっている。

乗用車保有率と機関分担率のモデルは、日本の大都市の1960年からのパネルデータを用いて構築し、アジア途上国都市のデータで調整を行った。これらのモデルでは、都市全体のデータを用いることで、他都市への適用性を容易にしている。日本のモデルをアジア途上国に適用した場合、現在の乗用車保有率や分担率は過小評価される傾向にある。これは、乗用車保有形態や鉄道利用の普及レベルの違いに起因すると考えられる。このため、アジアの現況に整合させるよう、乗用車保有モデルでは乗用車価格を、機関分担モデルではパラメータをそれぞれ調整した。機関分担の将来推計においては、鉄道整備レベルが高くなると日本の分担率のパラメータに近づくように設定した。

続いて、モータリゼーションにより都市がスプロールする一方で、鉄道整備がスプロールを抑制するメカニ

ズムについてのモデルを導入する(図-4③)。ここでは、2種類のモデルを用いている。都市全体データを用いたモデルとしては、日本のパネルデータを用いて、人口や所得の上昇が都市域の成長を促進させるのに対し、駅密度の上昇は都市域の成長を抑制するよう、線形モデルを構築した¹¹⁾。

一方で、都市構造を考慮したモデルとして、都市内の移転世帯立地選択モデルを構築することで、都市域の拡大を表現するモデルを新たにした。このモデルでは、モータリゼーションにともない、世帯あたり立地面積の大きい郊外地区に移転していくのに対し、鉄道ネットワーク整備により鉄道分担率が上昇するにつれて、鉄道駅周辺に居住する鉄道選好世帯が増えるという仮定をおいた。また、各地区の世帯立地需要増大による土地供給量増加をモデル化し、都市域の拡大面積を推計した。ここで、開発規制のレベルは、拡大面積の抑制率で表現される。このモデルは、バンコクのデータを用いて構築し、将来の鉄道選好世帯立地における公共交通アクセスの選好度は、日本の調査結果を参考に設定した。

これらのモデルのアウトプットである乗用車走行キロ(図-4④)に、そのCO₂排出原単位(図-4⑤)を乗じ、乗用車起源CO₂排出量が推計される。ここでは、将来の技術革新による燃費改善やLEV(EV, HV)普及を設定し、乗用車起源CO₂排出原単位を算定した。

(3) 戦略別の施策設定

前節で示したモデルを適用する際、アジア途上国都市に適した施策を設定した。まず、AVOIDとSHIFT施策として、整備時期を考慮した鉄道整備の効果を分析した。一旦、自動車依存社会が形成されると、そこからの脱却は難しいため、都市内旅客交通における早期のモータリゼーションの抑制を目的とした公共交通の整備(SHIFT)や都市域拡大の抑制(AVOID)が重要となる。

そこで、北京、上海、バンコク、デリーを対象に、2010年から鉄道整備が無い場合、2010年から2030年に東京の水準まで整備する場合(早期整備)、2030年から2050年に同水準まで整備する場合(成熟期整備)について、それぞれ乗用車保有率を推計した結果を図-5に示す¹¹⁾。これにより、鉄道の早期整備とそれによる都市域拡大抑制が効果的であることが見てとれる。

一方、AVOIDやSHIFTだけでは限界があり、技術進歩による車両燃費およびエネルギー効率向上といったIMPROVE施策も、CO₂排出量削減において必要である。特に、アジア諸国では二輪車が多いが、その多くは2ストロークで排出率が高いことが問題である。そこで、日本の車両技術改善の将来予測をもとに、燃費効率や動力源構成によるCO₂排出原単位の動向を算出した¹²⁾(図-6)。また、HV・EV等のLEVの普及を、それらの生産

量、販売量、販売価格等から推計し、普及シナリオを設定した¹²⁾(図-7)。日本の車両技術の開発・普及レベルは、アジア途上国より進んでいるが、リープフロッグ的な交通システムを設計する上で、このような先端技術の導入は不可欠である。

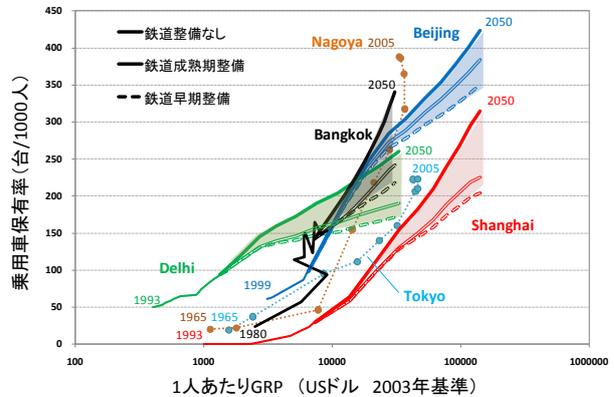


図-5 アジア途上国都市における早期鉄道整備効果

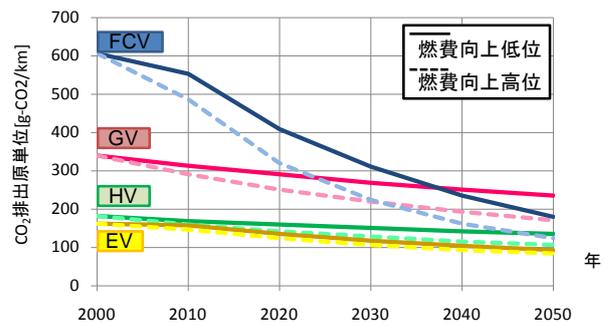


図-6 車種別燃費改善シナリオ

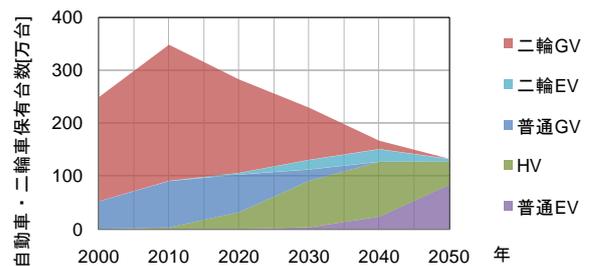


図-7 LEV普及シナリオ(二輪普及はバンコク対象に設定)

(4) CO₂削減目標達成に必要な施策パッケージ特定

都市構造を考慮できる施策効果推計モデルをバンコクに適用し、必要な施策パッケージを特定する。対象地域は、バンコク都と周辺地域を含めたBangkok Metropolitan Region (BMR)とした。タイは高齢化の傾向が見られ、2050年までには人口減少していくという予測がされている。バンコク都の人口は、現在700万人程度とされているが、浮動人口のデータが含まれていない。このため、

タイの人口の約 5%がバンコク都に浮動人口として存在することで、現在のバンコク都の人口を 1000 万人程度とし、2050 年までに約 7%の増加を想定した。鉄道整備はまだ初期段階であり、バンコク都の市街地あたりの駅密度（駅数/km²）は 0.06 と、東京 23 区の 1.26 に比べかなり低い。しかし、道路整備水準については、人口 1 人あたり道路延長（m/人）が、東京の 1.4 に対し、バンコク都で 0.5 となっている。この状況が、高い乗用車保有水準を引き起こしていると考えられる。

バンコクにおいて、Do Nothing Scenario (DN)と各低炭素交通戦略を導入したCO₂ Mitigation Scenarioを比較し（表-2）、それぞれの乗用車起源CO₂排出量を推計した。BMRでは、2005年から2050年までに、DNで乗用車起源CO₂排出量が 185%上昇するという結果になった。各低炭素戦略の施策の詳細と、その効果を以下に示す。

IMPROVE：2020年からリープフロッグ的施策により日本と同レベルの技術がアジア途上国で利用可能になると想定した。具体的には、Tank to Wheel (TtW) 効率の改善、車両軽量化、動力源の転換、そしてLEVの普及を想定した。この結果、これらの施策は、合わせて2050年のDNに対し75%という高いCO₂削減が可能であることが推計された。

SHIFT：鉄道整備を想定し、2010年から2050年まで市街地面積あたり駅密度が比例的に増加していくとする。2050年のバンコクで、2005年の東京のレベルまで整備された場合、現在計画されている駅数の約9倍の整備が必要となる。この整備の2050年のDNに対するCO₂削減効果は、37%と推計された。

AVOID：都市域拡大を抑制するため、2010年から新規市街地に対する開発規制を導入することを想定する。DNでは、2005年から2050年までで、市街地面積が約53%増加すると推計された。もし、開発規制により市街地面積を2010年のレベルに維持した場合、推計された2050年のDNに対するCO₂削減効果は、39%となった。

表-2 将来シナリオの詳細

Do Nothing Scenario (DN)	
2010年以降、技術レベル向上なし	
2010年以降、都市鉄道整なし	
2010年以降、都市スプロールに対し開発規制なし	
CO ₂ Mitigation Scenario	
IMPROVE	TtW 効率, 車両軽量化, LEV 普及, 動力源転換
SHIFT	都市鉄道整備
AVOID	開発規制

これらの施策を組み合わせることで、CO₂排出削減目標を達成するために必要となるCO₂ Mitigation Scenarioの施

策実施量を特定する。本研究では、2050年の乗用車起源CO₂排出量を、2005年比70%削減とすることを目標値として設定する。施策の組み合わせとしては、まずIMPROVEで日本と同レベルへの技術革新を想定し、次にSHIFTとして鉄道整備を東京のレベルまで行い、最後にAVOIDとして開発規制を市街地拡大量がゼロになるまで導入する。

これより、CO₂排出削減目標を達成するために、各戦略に必要とされる貢献レベルが特定された（図-8）。この施策パッケージでは、ベースとしているIMPROVEの削減率が最も高く、2050年でDNに対して75%削減される。しかし、IMPROVEだけでは削減目標は達成されず、SHIFTで2050年のDNに対して9%、AVOIDでさらに5%の削減を積み増すことが必要であることが示された。

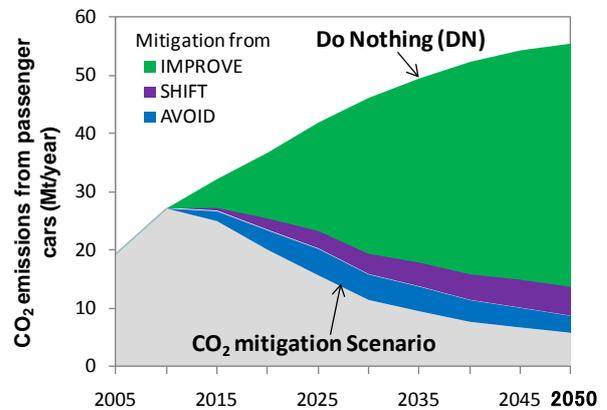


図-8 バンコクにおけるCO₂削減目標達成のための戦略別貢献

表-3 低炭素交通システム構築のための施策パッケージ

CO ₂ Mitigation Scenario 2050年に2005年比70%削減目標達成に必要な施策	
IMPROVE	TtW 効率： 2005年比 284%向上 車両軽量化： 2005年比 24%軽量化 LEV 普及： HV35%, EV65% 動力源転換： 石油・石炭→バイオマス
SHIFT	2050年までに、現行計画の約9倍の駅整備
AVOID	2010年以降、新規開発を2%に規制

以上により、表-3のようにCO₂排出削減目標を達成するための施策パッケージに必要な施策投入量が特定された。この結果、高レベルな技術革新を経てもなお、バンコクの低炭素交通システム構築のためには、現行計画よりかなり大規模な鉄道整備や、非常に厳格な開発規制が必要となることが示された。このような施策パッケージは、現実的には実現が難しいと考えられる。これは、バンコクではモータリゼーションや都市スプロールが既にかなり進展しており、今となつてはその対策が難しいこ

とを意味する。このため、より多くの施策オプションを検討することが求められる。

4. 異なるスケールの分析への展開

前章で示した通り、アジア低炭素交通システムの実現は容易ではなく、様々な視点から施策を検討していく必要がある。このため、本研究では、異なるスケールで分析を行い、それら分析の統合を目指している。

前章の分析では、経済成長がCO₂排出に与える影響に注目したが、地域特性は十分に考慮されていない。アジア途上国都市は多様であり、その地域特性の考慮は低炭素交通システムの設計において重要である。本章では、都市内旅客交通システムの詳細設計について、地域特性を考慮したマイクロ分析の具体例を示す。

(1) 都市構造と交通ネットワークの詳細設計

アジア都市の詳細データを用いたマイクロ分析の例として、ベトナム・ハノイで計画されているBRTの導入において、車利用からBRT利用への転換行動により、自動車交通の増加による渋滞が緩和される過程をマイクロシミュレーションで表現し、そのCO₂削減効果について評価を行った¹³⁾。

アジアのメガシティとしては、前章でとりあげたバンコク首都圏について、郊外に新都心を建設する場合も想定し、人口と産業の立地分布の違いによるCO₂排出の変化を分析している。一方で、バンコクのような大都市より中小都市の方が、これからの成長が大きく、その低炭素化の効果が大きいと考えられる。そこで、アジア地方中核都市であるタイのコンケンで、BRT沿線に公共交通指向型都市開発（TOD）を取り入れた場合の交通起源CO₂排出を、交通需要予測を行い評価した¹⁴⁾（図-9）。

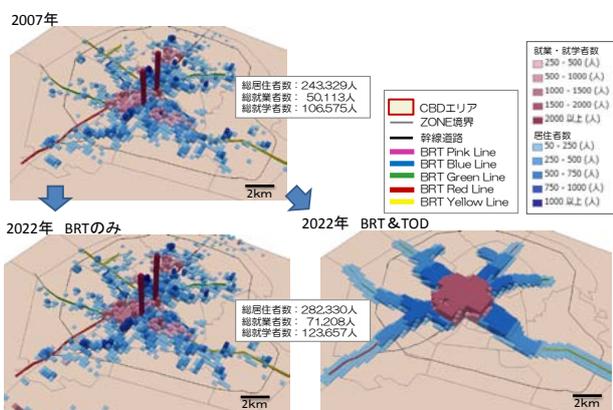


図-9 コンケンにおけるBRTとTODの設計

(2) 都市内旅客交通運営管理策の検討

アジア途上国大都市では、急速な経済発展や人口増加

に応じて、都市・交通システムは大きく変化する必要があるが、現状の行政管理能力でこの変化に対応するには限界がある。このため、世界各都市の事例を分析し、アジア都市において実施可能な都市・交通システム運営管理方法を検討してきた¹⁵⁾。その結果を簡潔にまとめたのが、図-10である。また、アジア都市において適用性が高い交通システムとして、バスとタクシーの間に位置する公共交通機関であるパラトランジットに注目し、これを幹線交通のフィーダーとして活用するような階層的な交通システムのあり方についても分析している。

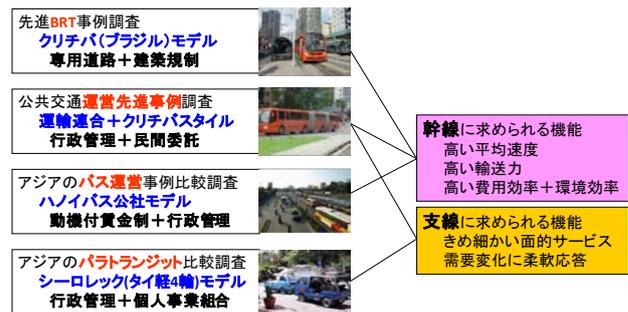


図-10 都市内バス運営システムの類型化

5. 結論

本研究では、アジア低炭素都市における交通システムを設計するためのアプローチを以下のように提案する。

低炭素交通システムのビジョンは、AVOID、SHIFT、IMPROVEの3戦略を用いて設定可能である。これにより、ビジョン実現の手段は、CUTEマトリクスにまとめられている各戦略の施策の組み合わせで設計される。アジア途上国都市に適した施策としては、幹線公共交通の整備（SHIFT）、その沿線の高密度開発（AVOID）、車両技術の改善（IMPROVE）が挙げられる。

低炭素交通システム実現戦略のための施策（戦術）パッケージを特定するため、経済成長を考慮して各戦術の効果を分析する必要がある。この分析において、先進国とアジア途上国のデータを共に用いた都市モデルが有効である。このモデルを用いて、各施策のCO₂削減能力を分析し、削減目標達成に必要な施策パッケージを特定することが可能である。

一方で、アジア途上国都市でCO₂削減目標を達成するのは容易ではなく、異なるスケールにおける様々な施策の検討が必要となる。地域特性を考慮した都市内旅客交通システムの詳細設計を、その具体的な運営管理策を含めて、経済成長を考慮した都市・交通施策パッケージの特定と統合することで、アジア低炭素交通システムをより包括的に設計することが可能である。

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」(代表:林良嗣)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) Banister D. and Hickman R.: Low-Carbon Transport in a Developed Megalopolis: the Case of London, In Rothengatter W., Hayashi Y. and Schade W. (Eds.) *Transport Moving to Climate Intelligence*. Springer, New York, 2011.
- 2) 中村英夫・林良嗣・宮本和明(編著): 都市交通と環境- 課題と政策, 運輸政策機構, 2004.
- 3) Hayashi Y., Mai X., and Kato H.: The Role of Rail Transport for Sustainable Urban Transport, In Rothengatter W., Hayashi Y. and Schade W. (Eds.) *Transport Moving to Climate Intelligence*. Springer, New York, 2011.
- 4) 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.
- 5) ATRANS: An Analysis of Vehicle Kilometers of Travel of Major Cities in Thailand., ATRANS Research Report, 2010 http://www.atransociety.com/2010/research.html#2009_2010
- 6) Newman, P. and Kenworthy J.: Cities and Automobile Dependence: an International Sourcebook, Gower, Aldershot, 1989.
- 7) Kaya, Y.: Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios, Paper presented to the IPCC Energy and Industry subgroup, Responses strategies working group, Paris, 1990.
- 8) Wegener, M.: The Future of Mobility in Cities: Challenges for Urban Modelling, *The Proceedings of the 12th WCTR*, Portugal, 2010.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 山本充洋・加藤博和・伊藤圭: 将来の車両・エネルギー技術進歩が運輸部門CO₂排出量に与える影響の評価, 第 18 回地球環境シンポジウム講演集, pp.75-80, 2010.
- 13) 中村友哉・福田敦・長田哲平・石坂哲宏・端野良彦: 巨視的・微視的統合モデルによる環境・交通施策の導入効果の検証 - ハノイにおけるBRT導入によるCO₂削減可能性を例にして, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, 2011.
- 14) 池下英典・伊藤雄太・福田敦・石坂哲宏・田中絵里子・長田哲平・椎名翠: コンケンにおける BRT 導入を対象とする低炭素社会ビジョンの設定方法に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, 2011.
- 15) HTUN, P.T.T., Nakamura F. and Okamura T.: A Comparative Study on Organization Structure and Management System of Urban Bus Transport System in Metropolitan Cities in Developing Countries, *Journal of International City Planning*, pp.65-74, 2010.

(2011.8.5 受付)

STRATEGIC DESIGN OF LOW-CARBON TRANSPORT SYSTEMS FOR ASIAN DEVELOPING CITIES

Kazuki NAKAMURA, Yoshitsugu HAYASHI, Hirokazu KATO, Atsushi FUKUDA, Fumihiko NAKAMURA and Shinya HANAOKA

As Asian developing countries become more responsible for CO₂ emission from the transport sector according to their rapid economic growth, they are increasingly required to draw roadmaps for realising new low-carbon transport systems to decouple emission growth with economic growth. Such transport systems need to actively introduce advanced technologies and strong intervention of land-use transport planning in a leapfrog manner. Accordingly, it is important to identify a policy package and its implementation process to develop a desirable low-carbon transport system for Asian developing cities with a backcasting approach. This study is aimed at proposing an approach to designing Asian low-carbon transport systems to meet the target of CO₂ mitigation with 3 transport strategies to reduce travel demand (AVOID), to shift travel to lower-carbon modes (SHIFT) and to improve intensity of transport-oriented emission (IMPROVE).