

# ELCELによる東南アジア諸都市におけるBRT導入によるCO<sub>2</sub>排出削減効果の比較分析\*

## Comparative Analysis of Impact BRT introduction on CO<sub>2</sub> Emission Reduction in Southeast Asian Cities using ELCEL\*

福田 敦\*\*・有村幹治\*\*・石坂哲宏\*\*・池下英典\*\*\*

By Atsushi FUKUDA\*\*・Mikiharu ARIMURA\*\*・Tetsuhiro ISHIZAKA\*\*・Hidenori IKESHITA\*\*\*

### 1. はじめに

大都市においては、公共交通機関を積極的に導入し、CO<sub>2</sub>の主要な排出源である自動車の利用を減らすことで、CO<sub>2</sub>排出量を削減できると考えられる一方、アジアの途上国においては、交通特性の異質性やデータ制約といった条件に対応した、交通システムの改変に伴うCO<sub>2</sub>削減量を推計する手法が未開発である。その手法を構築し、交通施策導入の定量的検討を可能にすることが必要である。そのために、公共交通機関導入による需要転換とともに、新たな施設建設や車両製造によるCO<sub>2</sub>増加も考慮に入れる必要がある。

林・加藤<sup>1)</sup>らは、需要転換によるCO<sub>2</sub>排出削減量から、Life Cycle Assessment (以下、LCA)を適用して推計した施設建設や車両製造によって生じるCO<sub>2</sub>排出量を差し引くことにより、包括的なCO<sub>2</sub>排出削減量を推計する拡張ライフサイクル環境負荷 (Extend Life Cycle Environmental Load : 以下、ELCEL)の考え方<sup>1)</sup>を提案している。この考え方に、公共交通機関のサービスレベルによる需要変化の推計を加えたCO<sub>2</sub>排出量推計の枠組検討が必要であると考えられる。

著者らは昨年度、タイ・バンコクで導入が進められているBRT (Bus Rapid Transit)を対象に、上記の枠組を適用し、その課題を検討してきた。しかしながら、冒頭述べたとおり、東南アジアの諸都市では、交通特性の異質性やデータ制約といった都市固有の条件があるので、著者らが提案する枠組の適用可能性を検討する上では、様々な都市で枠組を検討し、課題を明らかにする必要があると考える。

そこで本稿では、タイ・バンコク、ベトナム・ハノイ、フィリピン・マニラにおいて現在導入が計画されている

BRT (Bus Rapid Transit)を導入した場合のCO<sub>2</sub>排出削減効果についてELCELの考え方を適用し、CO<sub>2</sub>排出量を推計、比較することを目的とする。

具体的には、各計画における建設、運行に関するデータに基づいて独自のインベントリーデータを作成し、LCAを実施した。需要の転換によるCO<sub>2</sub>排出量削減に関しては、マクロ交通需要推計を行い求めた。また、BRTの沿線では、ミクロ交通シミュレーションモデルを適用し、交通制御や並行するバス路線に対する対策も含めて評価を行った。

### 2. CO<sub>2</sub>排出量の推計手法の提案

既存のELCELの考え方に加え、アジア特有の問題を考慮したアジアでの公共交通機関導入におけるCO<sub>2</sub>排出量の推計手法について提案する。なお、本研究で提案するCO<sub>2</sub>排出量推計手法のフローを図-1に示す。

#### (1) 車両のCO<sub>2</sub>排出量の推計

車両のインベントリー分析は、バックグラウンドデータを用いて車両の製造、維持管理、廃棄に関わるCO<sub>2</sub>排出量の推計を行う。さらに、車両の運行時のCO<sub>2</sub>排出量は、後述する手法を用いて推計する。この2つの推計されたCO<sub>2</sub>排出量を合算し、車両のCO<sub>2</sub>排出量が得られる。

#### (2) インフラのCO<sub>2</sub>排出量の推計

インフラの詳細な設計等のデータが入手できない計画段階での推計を行うため、概略LCA<sup>2)</sup>を用いて推計を行う。これは主な構成要素ごとに1 km当たりのような単位で予めインベントリー分析を実施し、標準化原単位を構築し、当該要素の必要量を乗ずることでCO<sub>2</sub>排出量を概算する手法である。この手法により、構成要素ごとにインベントリー分析を行った結果を組み合わせることでインフラのCO<sub>2</sub>排出量の推計を行う。

#### (3) 需要予測の実施

アジアの都市特有の土地利用計画や交通運用を考慮した需要予測を行うため、路線計画や沿線の土地利用計

\*キーワード：二酸化炭素、ELCEL、BRT

\*\*正会員、工博、日本大学理工学部社会交通工学科

(千葉県船橋市習志野台7-24-1)

\*\*\*学生員、日本大学大学院理工学研究科社会交通工学専攻

(千葉県船橋市習志野台7-24-1-739D)

TEL047-469-5355、FAX047-469-5355)

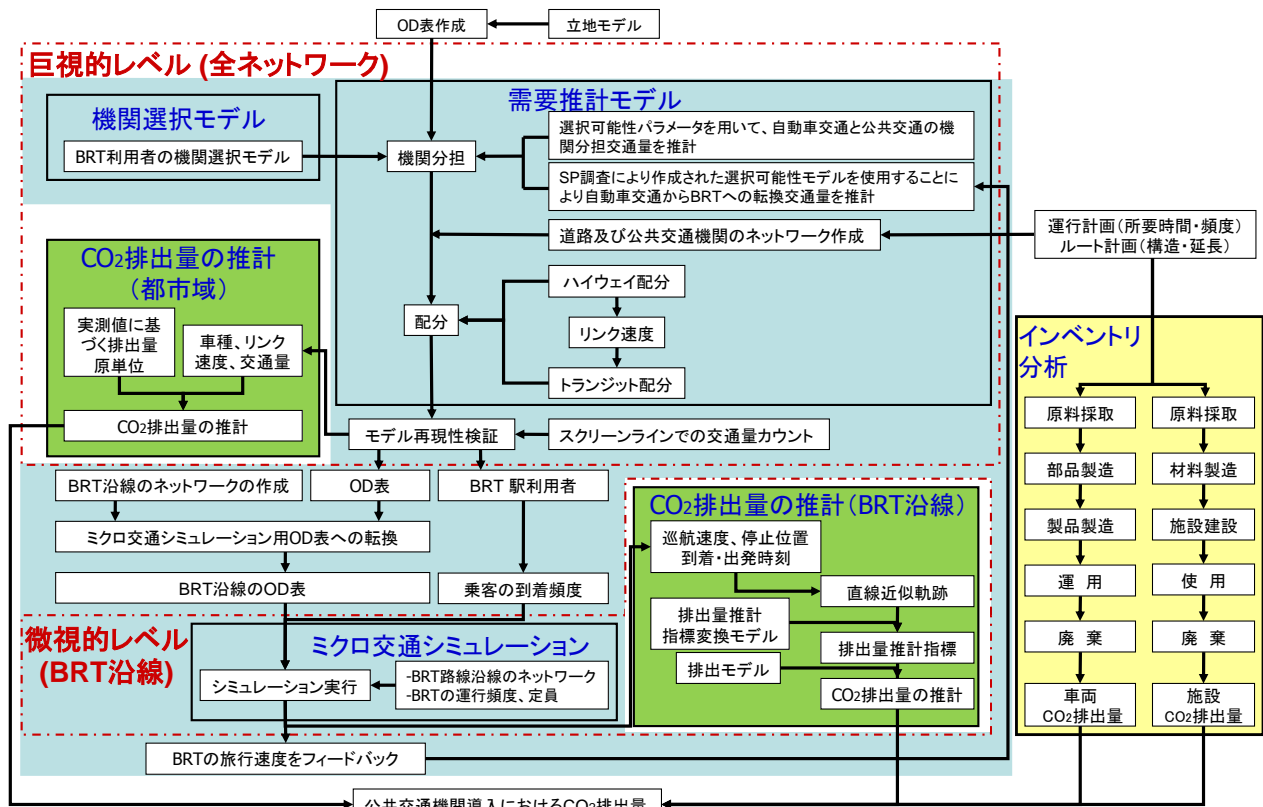


図-1 本研究で提案する CO2 排出量推計手法のフロー図

画など巨視的な視点からの政策と公共交通機関の運行、信号制御など微視的な視点からの政策を同時に考慮して、公共交通機関導入の検討を行う必要がある。

そこで本稿における需要予測は、Thaned<sup>3)</sup>らが提案する巨視的・微視的統合モデルを採用する。このモデルは巨視的モデルから求められる公共交通機関利用者数と自動車交通量を微視的モデルの入力値として適用し、その結果得られる公共交通機関の運行速度を、巨視的モデルにおける公共交通機関のサービス水準を表す入力値として再度フィードバックして、推計を繰り返すことで巨視的モデルと微視的モデルを統合するものである。

なお、本稿では巨視的モデルに公共交通機関の路線を含む都市圏全体の交通ネットワークと土地利用を対象とした、4段階推計法に基づいて需要の推計を行うマイクロシミュレーションを用いる。微視的モデルには公共交通機関の計画路線内を対象とし、路線内での運行や信号制御などの公共交通機関に付随する施策の影響を考慮可能なマイクロ交通シミュレーションを用いる。

実際の適用時は、巨視的モデルにおいて沿道土地利用や端末交通の設定を行い、公共交通機関利用者数と自動車交通量を推計する。その結果を微視的モデルに反映し、公共交通機関に付随する施策を考慮した走行速度等のデータを得る。ここで得られた走行速度等のサービス水準を巨視的モデルにフィードバックすることにより、アジア地域特有の問題を考慮した需要予測が可能となる。

#### (4) 端末交通の取り扱い

公共交通機関の導入により端末交通が変化する点に着目した CO<sub>2</sub> 排出量の推計を行うため、巨視的・微視的統合モデルにおいて、端末交通が変化するようアクセス時間やアクセス費用を設定することにより、端末交通を考慮した需要予測を行う。

#### (5) 走行に伴う CO<sub>2</sub> 排出量の推計

巨視的モデルにおける都市域の自動車交通の CO<sub>2</sub> 排出量推計は、平均速度毎に定められた CO<sub>2</sub> 排出原単位に推計された交通量を乗じることによって算出する。ここで、排出原単位は各国の車種構成、車齢、走行パターンが大きく異なることから、各国で算出された排出原単位を用いる必要がある。一方、公共交通機関の路線周辺の微視的モデル適用範囲内では、マイクロ交通シミュレーションによって得られる自動車交通の挙動から自動車交通の CO<sub>2</sub> 排出量の推計する計算式がもちいる必要があるといえる。算出方法のことなる排出原単位をもちいることで両者の算出結果が異なる可能性が生じるが、著者らは都市圏全域でみると両者の推計方法による排出量は異ならないが、地域ごとやリンクごとに見ると大きく異なることを既に明らかにしている。よって、BRT のような一般車道上を走行し、一般車両を含めた車両の交通状況に大きく与える場合は、微視的モデルの併用が必要であるといえる。

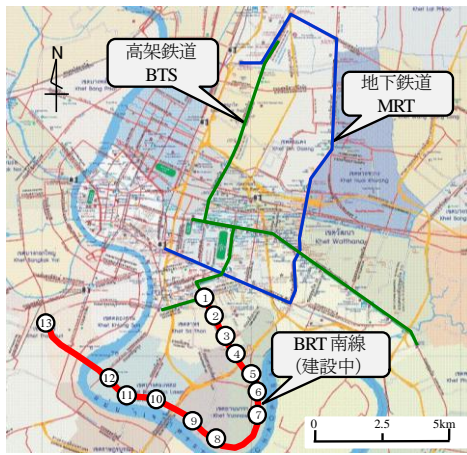


図-2 バンコク BRT ネットワーク

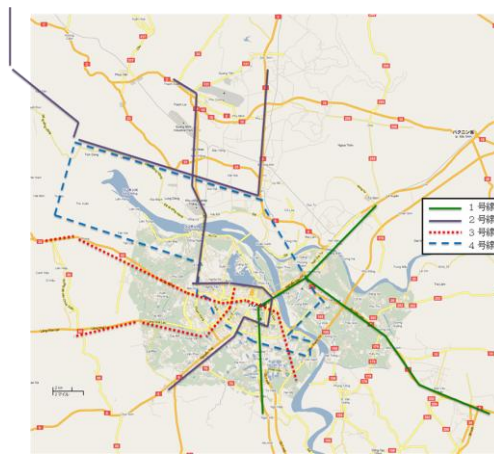


図-3 ハノイ MRT/BRT ネットワーク<sup>9)</sup>

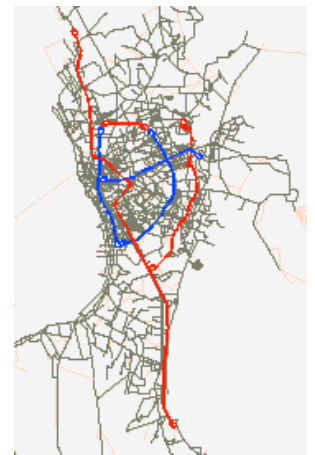


図-4 マニラ MRT/BRT ネットワーク

### 3. BRT 導入計画の概要

#### (1) 各都市の BRT 導入計画

##### a) タイ・バンコク<sup>4)</sup>

バンコクにおける BRT の導入計画は、バンコク首都圏において 5 路線計画されている。本研究では、図-2 に示す通り、BRT 南線を対象として CO<sub>2</sub> 排出量の推計を行うこととする。

BRT 南線の特徴は、BRT の導入に伴いルート上に 4 つの立体交差（オーバークロス）が建設されることがあげられる。これらの建設における CO<sub>2</sub> 排出も考慮する必要があるといえる。また、BRT の運行は既存の一般車線の 1 車線を変更（カラー舗装により区別）することとなっている。

加えて、BRT と並行して走行する既存路線バスが BRT の導入に伴い廃止・削減されることが想定されるが、その規模は現時点では判明していないことから、シナリオを設定し評価することとした。

##### b) ベトナム・ハノイ

ベトナム国ハノイ市総合都市開発計画調査<sup>9)</sup>によると図-3 に示す通り、ハノイ市内で総延長 193km の都市鉄道と BRT から計画されている。都市鉄道か BRT かは需要に応じてどちらかを選択することとしている。2020 年における将来計画では、ハノイのトリップの 20%を分担することを想定している。

本研究では、初期段階では BRT の導入が想定されている 4 号線を対象として試算を行うこととする。また、ルート沿線の開発を合わせて行うことを想定しているので、複数のシナリオを想定し、都市圏全域での排出量削減効果を検証する必要があるといえる。

##### c) フィリピン・マニラ

マニラでは、マニラ首都圏交通総合計画（MMUTIS）で 1996 年に BRT が提案されて以降、幾つかの BRT プロジェクトが提案されている。そのうち環状道路（C-5）に

沿った BRT ルートが最も実現可能性が高いとされている。本研究では、延長 20.59km、18 駅で構成される C-5 の BRT を対象とする。

#### (2) 枠組を検討する上での課題

CO<sub>2</sub> 排出量推計に課題として、a) インベントリ分析、b) 走行時の CO<sub>2</sub> 排出量の推計が挙げられる。

##### a) インベントリ分析<sup>6)</sup>

インベントリ分析を実施する際に必要となる CO<sub>2</sub> 排出量原単位といえるバックグラウンドデータは既に整備が進む日本や欧米諸国と値が異なり、またアジアでは十分に整備されていないため、バックグラウンドデータを構築しなければならない。

タイでは産業連関表より 1kg-CO<sub>2</sub>/10<sup>3</sup> パーツと推計されていることから、表-1 に示す排出原単位を用いて、排出量を推計することとした。また、森泉らの研究<sup>7)</sup>によって、産業連関表から CO<sub>2</sub> 排出原単位が求められているが、冒頭に記したとおり、日本で用いられている値と今回著者らが仮定した値と大きく異なることから、各国においても十分に精査した値を用いる必要があるといえる。

表-1 タイ事情に則して仮定した排出原単位

(電力はkg-CO<sub>2</sub>/KWh、その他はkg-CO<sub>2</sub>/千円)

	AJ-LCAの 原単位	産業連関表より 推計した原単位
電力	0.564	0.557
セメント	77.062	173.251
コンクリート、セメント製品	8.681	0.807
建設用土石製品	8.797	30.246
鉄鋼	22.009	36.549

##### b) 走行時の CO<sub>2</sub> 排出量の推計

平均速度に基づいた排出原単位に関しては、平均速度毎に示された排出原単位として、タイにおいては、(社) 海外運輸協力協会<sup>8)</sup>が現地で調査、推計して得られた排出原単位を用いることとした。また、微視的モデルに用いる加減速等の車両挙動を考慮した精緻な排出原

単位はタイでは推定されていないことから、小根山ら<sup>9)</sup>が推定したモデルを用いることとした。

#### 4. 比較分析の結果と考察

##### (1) タイ・バンコクにおけるCO<sub>2</sub>排出量の推計<sup>10)</sup>

LCAによるCO<sub>2</sub>排出量推計結果のうち、平行バス路線を全て廃止したシナリオの結果を図-5に示す。BRT車両が走行する際に生じるCO<sub>2</sub>排出量が約97%と大部分を占め、次いで立体交差及び施設の建設・維持と施設の建設・維持によるCO<sub>2</sub>排出量が大さいという結果になった。BRTはバスベースであるため、走行起因のCO<sub>2</sub>排出量が多く、他の公共交通機関で実施されたLCA結果と異なることがわかった。

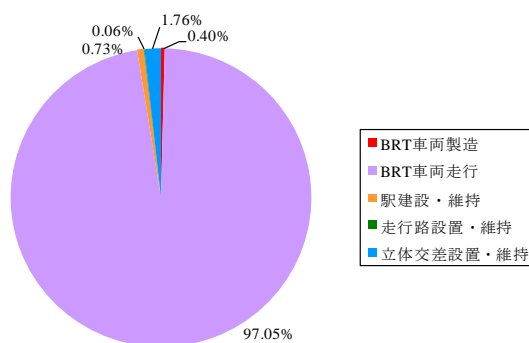


図-5 LCAによるCO<sub>2</sub>排出量推計結果

また、シナリオ別では、CO<sub>2</sub>排出削減量を最も多くするためには、全並行バス路線の廃止が有効であるが、並行バス路線50%削減でもCO<sub>2</sub>排出削減が可能であることがわかった。

##### (2) ハノイ、マニラにおけるCO<sub>2</sub>排出量の推計

###### a) インベントリーデータ

タイのケースにおいても、立体交差の主要材料であるセメントの排出原単位が日本の原単位と比較しても大きく異なることから、ベトナム、フィリピンにおいても産業連関表より推計した原単位を入手する必要があるといえる。

###### b) 推計結果

先述したBRT路線の推計結果を示す予定であったが、現地の排出原単位に関するデータ等の入手が不完全であるため、原稿入稿時には掲載することができなかった。発表時には、推計結果を合わせて示すので、参照されたい。

#### 5. おわりに

アジアにおける新規公共交通機関導入時のCO<sub>2</sub>排出量の推計を行うための課題を踏まえて提案したCO<sub>2</sub>排出量推計手法を東南アジアの3都市に導入が計画されているBRT計画に対して適用した。

これまでデータの収集過程及びタイ・バンコクでの推計で課題として挙げた点を下記に整理する。

- ・施設建設が少ないBRTであっても車両製造や施設建設によるCO<sub>2</sub>排出量が存在し、無視できないこと。
- ・周辺開発の有無や規模、既存路線バスの削減・廃止等のBRT導入計画に付随する計画に大きく削減効果が影響されるので、これらの点を考慮できる本枠組みで評価することが重要である。本稿執筆時では、フィリピン・マニラ及びベトナム・ハノイの推計結果は発表時に示す予定である。

謝辞：本稿は、環境省・地球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。また、タイのデータ収集では、Dr. Sittha Jaensirisak(ウボンラチャタニ大学)、Dr. Varameth Vichiensan(カセサート大学)、Dr. Thaned Satiennam(コンケン大学)、Dr. Wichuda Kowtanapanich(マハサラカン大学)、ハノイのデータ収集では、Dr. KHUAT, Viet Hung(ハノイ交通大学)、Dr. TRUONG, Nguyen Van(ハノイ交通大学)、フィリピンのデータ収集では、Dr. Alexis Fillone(De La Salle University)にご協力頂いている。ここに感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 加藤博和ほか：新規鉄軌道整備によるCO<sub>2</sub>排出量変化のライフ・サイクル評価手法の開発，土木計画学研究・論文集，No.17, pp.471-479, 2000.
- 2) 柴原尚希ほか：LCAに基づく標準化原単位を用いた鉄軌道システムの環境性能評価手法，第31回環境システム研究論文発表会講演集，pp.167-172, 2003.
- 3) T.Satiennam et al. : Strategies enhancing bus rapid transit development in Asian developing cities - a case study on BANGKOK METROPOLITAN ADMINISTRATION project, TRB2007 Annual Meeting, 2007.
- 4) Bangkok Metropolitan Administrative : BRT Planning Project: Phase I. Final report, 2005.
- 5) Japan International Cooperation Agency (JICA) and Hanoi People's Committee: The Comprehensive Urban Development Programme in Hanoi Capital City of the Socialist Republic of Vietnam(HAIDEP), Final Report, 2007
- 6) Chisa Umemiya(editor): Greenhouse Gas Inventory Development in Asia, CGER-Report, National Institute for Environmental Study, 2006
- 7) 森泉由恵、本藤祐樹：タイの産業連関表を用いたCO<sub>2</sub>原単位の推計、日本エネルギー資源学会論文誌，Vol.29, No.4, 2008
- 8) 社団法人海外運輸協力協会：平成15年度地球環境問題解決のためのクリーン開発メカニズム(CDM)推進事業 報告書」，2003
- 9) 小根山裕之ほか：交通流シミュレーションを用いた排出量推計手法に関する考察，土木計画学研究・講演集，No.27, CD-ROM RONBUNNO, 2002.
- 10) 金子翔一、福田敦、石坂哲宏：アジアにおける公共交通機関導入時のCO<sub>2</sub>排出削減効果の検討，土木計画学講演集，2008