

アジアにおける公共交通機関導入時の CO₂ 排出削減効果の検討*

The examination of the CO₂ discharge reduction effect at the time of the public transport introduction in Asia*

金子 翔一**・福田 敦***・石坂 哲宏***

By Shoichi KANEKO**・Atsushi FUKUDA***・Tetsuhiro ISHIZAKA***

1. はじめに

近年、アジアの国々では経済発展や都市化に伴って、急速にモータリゼーションが進展しており、自動車交通から排出される環境負荷、特に CO₂ の抑制、削減が急務となっている。そこで、環境負荷の小さな公共交通機関の整備が急がれているが、これらの整備によって削減できる CO₂ 排出量を推計するための基礎的なデータが整備されておらず、その推計方法も確立していない。

アジア諸国において公共交通機関の整備を検討する場合、その多くが電力供給施設など多くの関連施設を含めて建設することになるため、運行時の輸送量当たりの CO₂ 排出量¹⁾ と同時に、これらのインフラ施設の建設や車両の製造時によって発生する CO₂ 排出量も考慮する必要がある。このような場合に推計を行う方法として、加藤ら²⁾ は、インフラ施設の建設や車両の製造から排出される CO₂ を一般的な LCA (Life Cycle Assessment) を適用し、推計する方法と公共交通機関の運行や自動車交通の走行から排出される CO₂ の推計する方法を組み合わせ推計する ELCEL (拡張ライフサイクル環境負荷) を提案している。

そこで本稿では、ELCEL の考え方を適用し、アジアの多くの都市で導入が検討されている BRT (Bus Rapid Transit) を導入した場合の課題を整理し、CO₂ 排出量推計手法を提示するとともに、BRT 導入による CO₂ 排出削減効果の検討を行うことを目的とする。

2. アジアにおける公共交通機関からの CO₂ 排出量推計の課題

本節では、アジアにおける CO₂ 排出量推計の課題並びに公共交通機関への ELCEL 適用の課題を整理する。

*キーワード：地球環境問題

**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)

***正員、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 7-24-1-739D)
TEL047-469-5355、FAX047-469-5355)

(1) アジアにおける CO₂ 排出量推計の課題

アジアにおける CO₂ 排出量推計に課題として、(a)アジア地域特有の道路交通事情、(b)端末交通の考慮、(c)バックグラウンドデータが挙げられる。

アジアの都市では道路交通事情や交差点の特殊な運用など地域特有の交通問題を抱えており、いままで適用されてきた ELCEL の考え方を取り入れた手法ではこれらの交通問題に対処し、公共交通機関の導入における CO₂ 排出量を推計することが困難である。

また、公共交通機関の導入を行った際の自動車交通からの交通需要の転換だけを考慮するのではなく、幹線道路とスプロール化した都市の未開発地域の間をソイと呼ばれる街路を介して、端末交通として運行されているパラトランジットも考慮する必要がある。これは、公共交通機関の導入により、パラトランジットの運用も変化するものと考えられることから、端末交通も波及効果として含める必要ためである。しかしながら、これまで ELCEL を適用した研究では、インフラや車両に対し一般的な LCA を適用し、波及効果として自動車交通量の変化に伴う CO₂ 排出量の変化のみを対象としているため、アジアでの公共交通機関の導入における CO₂ 排出量を推計には不十分であるといえる。

さらに、インベントリ分析を実施する際に必要となる CO₂ 排出量原単位といえるバックグラウンドデータは日本や欧米諸国と異なり、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。

(2) 公共交通機関への ELCEL 適用の課題

アジアの都市に限らず、ELCEL を公共交通機関へ適用する上で課題となっている3項目について次のように整理することができる。

a) 公共交通機関への適用に関する課題

公共交通機関は、インフラや製品など多数の要素により成り立ち、それぞれの要素で耐用年数が異なるなど、LCA が適用されている工業製品とは特徴が異なっている。このため、車両やインフラの老朽化に伴う更新、技術革新といった時間軸を考慮したライフタイム (評価対象期間) の設定が必要となる。

b) インフラ、車両への適用に関する課題

環境負荷排出量の推計を行うインベントリ分析実施時には、インフラ建設の際の詳細な設計等のデータが必要となる。インフラが一品生産であるという性格上、試作ということがなく、個々のケースでデータを入手し、CO₂ 排出量の推計を行わなければならない。しかし、計画段階ではデータの制約により、多くの仮定を置いて推計することとなり、プロジェクトの熟度によって推計結果に誤差が生まれるという点を考慮しなければならない。

c) 波及効果とその範囲

公共交通機関の導入は、広範囲に波及効果が伝播するため、その波及効果まで含んだ評価範囲を設定することが重要である。しかしながら、評価範囲の設定には標準化された方法がなく、十分考慮して評価範囲の設定を行う必要がある。

また、公共交通機関の導入により人間の行動が変化し、自動車交通から公共交通機関への交通需要の転換が生じるため、CO₂ 排出量の推計結果が需要予測に依存するとされている一方で、ネットワークを用いた需要予測が十分に行われていない。また、公共交通機関導入に付随する交通施策等の実施時における CO₂ 排出量の考慮がされていない。

3. CO₂ 排出量の推計手法の提案

本節では、以上の課題を踏まえ、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 CO₂ 排出量の推計手法について提案する。なお、公共交通機関導入による CO₂ 排出量推計フローを図-1 に示す。

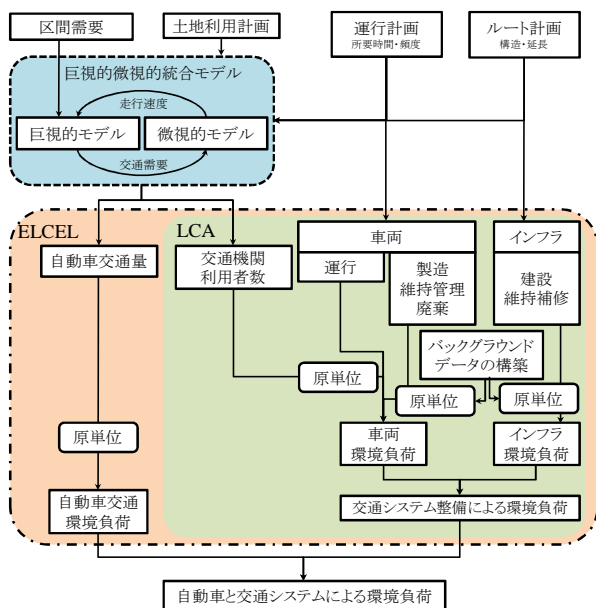


図-1 公共交通機関の導入によるCO₂排出量推計フロー

(1) 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、Thaned³⁾らが提案する巨視的・微視的統合モデルを援用する。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。

(2) 車両のCO₂排出量の推計

車両のインベントリ分析は、バックグラウンドデータを用いて車両の製造、維持管理、廃棄に関わる環境負荷排出量の推計を行う。さらに、車両の運行時の環境負荷排出量は、運行計画に示されている運行頻度や巨視的・微視的統合モデルにより算出された公共交通機関利用者数や平均走行速度と公共交通機関に用いられる車両のCO₂排出係数をもとに推計する。この2つの推計されたCO₂排出量を合算し、車両のCO₂排出量が得られる。

(3) インフラのCO₂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LCA⁴⁾を用いて推計を行う。これは主な構成要素ごとに1km当たりのような単位で予めインベントリ分析を実施し、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環境負荷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分析を行った結果を組み合わせることでインフラのCO₂排出量の推計を行う。

(5) 自動車交通のCO₂排出量の推計

都市域の自動車交通のCO₂排出量推計は巨視的モデルから算出された自動車交通の交通量と実際の車両を用いてCO₂求められた自動車のCO₂排出原単位⁵⁾を用いて式(1)に基づいて推計を行う。また、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、ミ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CO₂排出量の推計する小根山ら⁶⁾が提案するCO₂排出量推計指標変換モデルを用いる。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量} = \text{燃料消費量 [1/台 km]} \times \text{CO}_2 \text{ 排出原単位 [kg/1]} \times \text{走行距離 [km]} \times \text{交通量 [台]} \quad (1)$$

(6) 公共交通機関の導入によるCO₂排出量

車両、インフラ、自動車交通のそれぞれのCO₂排出量推計結果を合算することで、公共交通機関の導入に伴う自動車交通の需要変化に対応したCO₂排出量が推計可能となる。

(7) 末端交通の取り扱い

公共交通機関の導入により末端交通が変化する点に着目したCO₂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、末端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、末端交通を考慮した需要予測を行う。

4. アジアの公共交通機関への適用

(1) 目的及び調査範囲の設定

a) 対象とする路線

本稿では、新規公共交通機関としてBRTが導入され、その路線沿線において公共交通指向型開発(TOD)が実施されることで沿線の土地利用が大きく変わることが予定されているタイ・バンコクを事例として推計を行う。

b) システム境界の設定

公共交通機関はインフラと車両により構成されるシステムあることから、これら全体を対象とする。また、波及効果は利用交通機関の変化、末端交通の変化までを対象とし、公共交通機関の導入に伴い、建設される住居等の各施設についてはCO₂排出量の推計の対象外とする。これは、配置計画等が存在しない施設に対し、仮定条件を設定してCO₂排出量の推計を行うことは、公共交通機関そのものの整備におけるCO₂排出量の推計という目的から逸脱した不確実性が発生するためである。

c) ライフタイム

維持管理の方法によっては半永久的に利用することができるインフラ施設と耐用年数が短い製品との関係を

勘案し、公共交通機関のインフラ施設は60年、バス車両は10年⁷⁾とする。また、各構成要素のライフサイクルは建設・製造、運用・維持管理、廃棄の3段階に大きく分けることができるが、このうち廃棄部分は微少である⁸⁾ため、本稿では推計の対象としないこととする。

5. スターディケースの概要

(1) バンコクのBRT計画の概要

バンコクは、他のアジアの都市同様モータリゼーションの進展により発生した自動車交通の混雑に対応するため、道路ネットワークの建設に力点が置かれた都市交通体系の整備が行われ、軌道系公共交通機関の整備が遅れてきた。また、道路ネットワークの整備にあわせて、無計画に開発が行われたため、都市がスプロール化しており、これらの課題を解決するため、持続可能で環境を配慮した高機能な都市交通体系を構築することが急務となっている。現在、軌道系公共交通機関として高架鉄道BTSと地下鉄道MRTAが整備されているが、利用可能な範囲がバンコク中心部に限られているため、課題の解決には至っていない。

そこで、軌道系公共交通機関に比べ、建設費用が抑えられ、かつ短期間に整備できる利点があるBRTの導入が検討されている。現在、バンコク首都圏局がBTSの駅から郊外部を結ぶ路線としてBRT南線とBRT北線の2路線(図-2、表-1)を計画している。⁹⁾いずれの路線も沿線に未開発地域を有し、その未開発地域においてTODの実施が予定されている。なお、BRT南線は2008年8月に暫定開業し、半年の試行期間の後に、本格開業が予定されている。

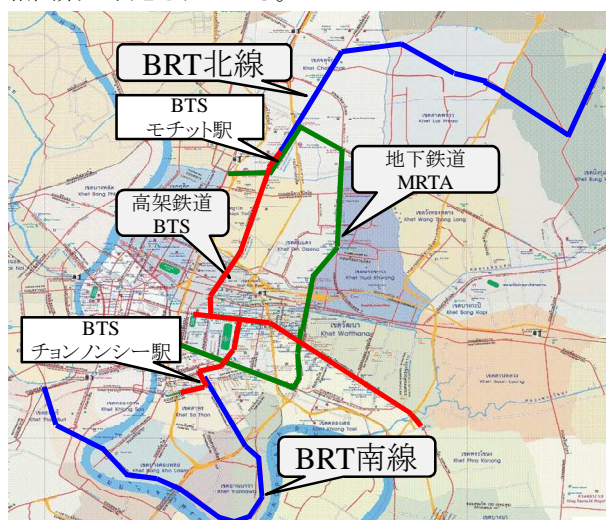


図-2 バンコク BRT ネットワーク

表-1 BRT 路線概要

	路線延長	駅数	ピーク時 運行間隔	オフピーク 運行間隔
BRT北線	15.8 km	17	3分	5~7.5分
BRT南線	19.4 km	20		

(2) 構造種別の分類

BRT 南線は建設が終了しており、詳細な設計等のデータが存在するが、計画段階の BRT 北線と同一指標で評価を行うことが望ましいと考えられるため、本稿では概略 LCI を援用する。概略 LCI を援用するにあたり、BRT 導入時に建設されるインフラを a) 一般道路、b) 高架・橋梁、c) 交差点等、d) 駅部の4分類とする。各路線の構造種別延長を表-2に示す。

a) 一般道路は BRT の特徴ともいえる一般車線と物理的に分離した BRT 専用車線が確保される部分であり、既存の道路上に縁石の設置及び路面標示が施される。b) 高架・橋梁も概ね一般道路部と同様だが、道路構造の違いにより分類を分けている。c) 交差点等は交差点のほか U ターン路を含み、一般車の交通流を害さないよう一般車線と BRT 専用車線との分離がされていない部分である。d) 駅部は BRT 導入時に建設されるインフラのうちもっとも多く資材が投入される構造物である。

表-2 構造種別延長

	一般道路	高架・橋梁	交差点等	駅部
BRT北線	16.47km	0.37km	1.13km	1.44km
BRT南線	7.82km	6.07km	1.03km	0.88km

6. おわりに

本稿を通じ、アジアにおける新規公共交通機関導入時の CO₂ 排出量の推計を行うための課題を整理し、それを踏まえて CO₂ 排出量推計手法を提示した。

なお、本稿提示した手法を用いて、BRT 導入による CO₂ 排出量の推計を行い、波及効果を含めた CO₂ 排出量の推計を行う予定であるが、実際の推計結果並びに CO₂ 排出削減効果については講演時に報告する。

参考文献

- 1) たとえば、交通エコロジー・モビリティ財団：運輸・交通と環境 2007 年版，P13，2007.
- 2) 加藤博和ほか：新規鉄軌道整備による CO₂ 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.
- 3) T.Satiennam et al. : Strategies enhancing bus rapid transit development in asen developing cities – a case study on BANGKOK METROPOLITAN ADMINISTRATION project, TRB2007 Annual Meeting, 2007.
- 4) 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.

- 5) 社団法人海外運輸協力協会ほか：タイ王国円借款の環境改善効果評価のための委託調査報告書，2006.
- 6) 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.
- 7) 長田基広ほか：LCA を適用した中量旅客輸送機関の環境負荷評価，土木計画学研究・論文集，No.23 no.2，pp355-363，2006.
- 8) 稲村肇ほか：高速道路と新幹線のライフサイクル炭素排出量の比較研究，運輸政策研究，No.15，pp.11-21，2002.
- 9) Bangkok Metropolitan Administrative : BRT Planning Project: Phase 1. Final report, 2005.