

ライフサイクル手法を用いたアジア途上国における低炭素旅客輸送機関の地域別選定

○伊藤 圭, 中村 一樹, 加藤 博和, 林 良嗣(名古屋大学)

A Methodology to Choose Low Carbon Passenger Transport for Each Province in Asian Developing Countries

Kei Ito, Kazuki Nakamura, Hirokazu Kato and Yoshitsugu Hayashi, Nagoya University

キーワード： 低炭素旅客交通システム, ライフサイクルアセスメント, アジア途上国

ABSTRACT

This study aims to choose low carbon passenger transport for each province in Asian developing countries. Passenger car, bus rapid transit (BRT), light rail transit (LRT) and heavy rail are treated as intra-regional low carbon transport. As a province case study, Thesaban nakhons area in Thailand is choose. First, the amount of CO₂ emission from each transit throughout lifetime is estimated by life cycle assessment method. The CO₂ emissions by construction of infrastructure, vehicle manufacturing and operation are also estimated as system life cycle CO₂ emission. Besides, the transport density of each mode is estimated from the population density of the province, in order to choose the transit system based on the least CO₂ per passenger-km.

1 はじめに

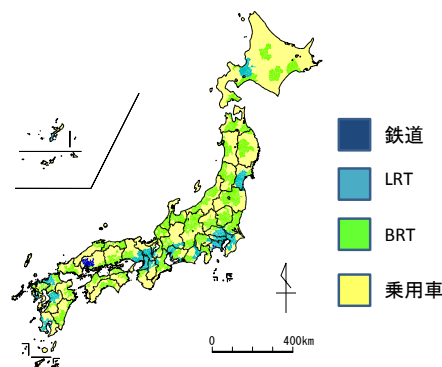
IPCC は長期的な気候の安定化のため, 2050 年までに温室効果物質を現状から半減させることがとされている. 今後, 世界の CO₂ 排出の多くがアジアの開発途上国で生じると見込まれ, それらの国における低炭素化方策を示す必要がある.

アジア途上国においても CO₂ 排出量のうち運輸部門を起源とする排出量は約 2 割を占め, さらに, 旅客交通を起源とする CO₂ 排出量の大部分は乗用車利用からもたらされるため, その低炭素化は重要である. 途上国は経済発展によってモータリゼーションの過程を進みつつあり, 都市部では乗用車増加と渋滞による CO₂ 排出量の急増が懸念される. このことから, アジア途上国の旅客交通起源 CO₂ 排出量を削減させる上で, 都市部における低炭素交通システムの構築が必要である.

アジア途上国都市部において, 低炭素交通システムを設計する場合, 利用者を乗用車より CO₂ 排出の小さい乗合型の輸送機関に誘導し, 乗用車利用を削減させることが有効であると考えられる. しかし, アジア途上国ではいまだ公共交通機関がインフラ量, サービス量ともに十分ではない. また, 都市部では渋滞解消のため道路建設を進めるといった, 対処療法的な施策を取り続けており, これが長期的には乗用車利用を促進すると懸念される. このような点を踏まえて, 中長期的な将来を見越して低炭素旅客交通システムを構築するにあたって, 交通の幹線部分に CO₂ 排出量の小さい輸送機関を整備することは交通システム設計の柱となりえる.

乗合輸送機関は一般に CO₂ 排出が少ないと言われるが, その導入が必ずしも低炭素化につながるとは限らない. 乗合型輸送機関の導入が CO₂ 排出量削減施策として成り立つ理由は, 大量輸送機関は乗用車と異なり利用者の乗り合いが基本であり, それが排出量の人 km あたりに割り振ったとき乗用車より小さくなることを利用しているためである. よって, 一定以上の利用がない場合では有効な施策とならない.

また, 技術革新が進むことは, 運輸部門 CO₂ 排出量を削減すると同時に, 乗合型輸送機関の導入が有する排出量削減効

図 1 日本の地域内旅客交通における CO₂ 最小輸送機関

果が低下することにつながる. 輸送機関の中でも特に排出量が少なくとされる鉄軌道を用いた輸送システムは, 電気モータを動力として用いている. この動力は走行時のエネルギー効率が現状でも 9 割程度であり, 今後の技術革新を頼ったとしても大幅な削減はありえない. 一方, 乗用車は主として化石燃料を用いる熱機関を動力としており, 現状のエネルギー効率は 1 割程度と低い. 乗用車は動力を電気に変更することで, より大幅な排出削減が可能となる.

著者らは先行研究¹⁾において, ライフサイクル手法を用いて日本における低炭素旅客交通機関の地域別導出を行ってきた. その結果, 車両・燃費技術改善や乗合輸送機関の輸送密度の低下により, 2050年においてCO₂最小となる輸送機関が乗用車となる(つまり, 乗合輸送機関の導入によってCO₂が削減されない)地域が多数生じることが把握された. また, 鉄軌道系輸送機関の整備によってCO₂削減を行う場合, 東京・京阪神では100kmを超える路線整備が必要となること, 地方都市でも数十km単位での整備が必要となることが分かった. 日本におけ

るCO₂排出最小輸送機関の選定結果を図1に示す。

日本では今後、人口減少が顕著となることから、乗合輸送機関の利用も減少し、その整備低炭素化効果は低減すると考えられる。一方、都市部での人口増加が本格化するアジア途上国では、有効な低炭素化手法となりえる。本稿では、これまで日本で構築してきた低炭素輸送機関選択手法を用いてアジアにおける低炭素旅客輸送機関の地域別導出を試みる。ここでは、途上国大都市における輸送機関の技術が、将来的には日本で想定されるレベルと同等に向上すると仮定し、分析に組み込む。

2 低炭素旅客交通機関選定手法

2.1 対象とする輸送機関

低炭素交通システムの幹線部を担う交通機関として、電気鉄道（高架）、Light Rail Transit(LRT)、Bus Rapid Transit(BRT)を扱う。また、これらの乗合輸送機関に加えて、乗用車のCO₂排出量を比較する。乗用車については、ガソリン車、ハイブリッド車、電気自動車が存在する状態を考える。上記の乗合型輸送機関は近年、アジア途上国都市部における輸送機関として複数の都市で計画・整備が進められている。

2.2 各輸送機関のCO₂排出量推計

低炭素交通システム構築は長期間を要するとともに、利用も長期に渡ることから、輸送機関導入の評価にあたっては、排出量は長期間に渡って把握されるべきである。特に、乗合輸送機関を新たに整備する場合、インフラ建設や車両製造によるCO₂排出が伴う。これを加味した分析を行うために、ライフサイクルアセスメント(Life Cycle Assessment; LCA)を適用する。具体的には、インフラ建設、車両製造、および供用の各段階からのCO₂排出量の合計値(これをSystem Life Cycle CO₂<SyLC-CO₂>と呼ぶ)を算出する。

2.3 System Life Cycle CO₂ 算出方法

2.3.1 路線建設・維持補修 各段階における資材投入量²⁾に路線延長あたりCO₂排出量原単位³⁾と路線延長を乗じて算出する。

2.3.2 車両製造 資材投入量および組立時エネルギー消費量にCO₂排出量原単位³⁾を乗じる。鉄道車両のうち、電車はステンレス車両の材料構成、および車両製造にかかるエネルギー⁴⁾を用いる。バス車両製造による排出量は、乗用車製造時のCO₂排出量推計値を用いて車両重量に比例するとして算出する。車両更新間隔は、鉄道車両20年、バス車両15年とする。車両廃棄に伴う排出量は無視し、製造段階でのCO₂排出量のみ含める。

路線運行に必要な車両数 n は式(1)で算出することができる。

$$n = \frac{N \times l}{V \times T} \times S \quad (1)$$

ここで、 N : 1日の運行本数、 l : 路線延長、 V : 表定速度、 T : 運行時間、 S : 編成あたり車両数

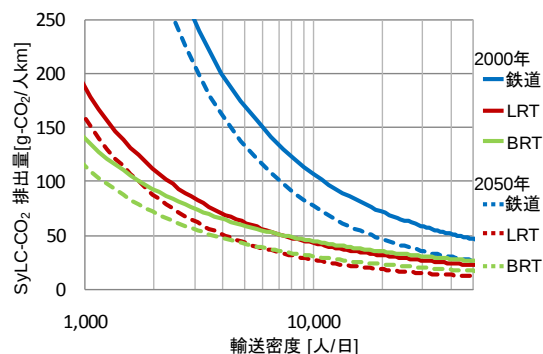


図2 需要に伴う各輸送機関 SyLC-CO₂ の変化

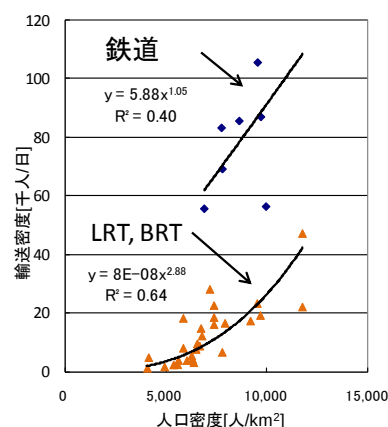


図3 輸送密度と DID 人口密度との関係

2.3.3 走行起源CO₂排出量 各輸送機関の単位走行距離において消費する電力・燃料に、消費量あたりのCO₂排出量原単位⁴⁾を乗じることで算出する。乗合輸送機関の単位走行距離あたり電力・燃料消費量は、事業者へのヒアリングによって得られた値²⁾を用いる。

ガソリン乗用車のCO₂排出量原単位は、松橋ら⁵⁾が算出した1999年の平均値を用いる。ハイブリッド乗用車については、対象とする車種の10・15モード燃費値を推計式⁶⁾によって実燃費に変換する。電気乗用車に関しては、実燃費が入手できなかったため、対象車種について公表されている充電1回あたりの走行距離をその際の電力消費量で除した値に電力消費量あたりのCO₂排出量原単位³⁾を乗じる。

乗合輸送機関の1人kmあたり排出量を算定する際には、その利用者数を把握する必要があるため、本稿ではこれを輸送密度として表現する。先行研究¹⁾では、日本における排出量として、各輸送機関の輸送1人kmあたりSyLC-CO₂と輸送密度の関係を推計している。図2に、2000年と2050年における各輸送機関の輸送密度とSyLC-CO₂の関係を示す。乗合型の輸送機関は輸送密度が増加するにつれて輸送1人kmに割りあてられるCO₂が小さくなるため、輸送1人kmあたりSyLC-CO₂は減少していく。インフラの建設に伴う単位路線延長あたりCO₂排出量はBRTが最も小さいため、輸送密度が小さい場合では乗合輸送機関の中でBRTがSyLC-CO₂最小となる。輸送密度6,000[人/日]付近

表 1 *Thesaban nakhon* の人口・面積・人口密度

Thesaban nakhon	Province	Population [pop]	Area [km ²]	Density [pop/km ²]
Bangkok	Bangkok	5,701,394	1,568	3634
Nonthaburi	Nonthaburi	261,474	38.9	6722
Pakkret	Nonthaburi	178,907	36.0	4964
Hat Yai	Song Khla	158,122	21.0	7530
Nakhon Ratchasima	Nakhon Ratchasima	141,714	37.5	3779
Chaing Mai	Chaing Mai	141,361	40.2	3515
Udon Thani	Udon Thani	137,948	47.7	2892
Surat Thani	Surat Thani	125,730	69.0	1823
Khon Kaen	Khon Kaen	113,754	46.0	2473
Nakhon Si Thammarat	Nakhon Si Thammarat	108,907	22.6	4827
Pattaya	Chonburi	107,944	20.8	5190
Nakhon Sawan	Nakhon Sawan	89,682	27.9	3218
Ubon Ratchathani	Ubon Ratchathani	83,173	29.0	2864
Nakhon Pathom	Nakhon Pathom	81,204	19.9	4091
Rangsit	Pathum Thani	77,969	20.8	3749

でBRTとLRTのSyLC-CO₂が拮抗する。それ以上の輸送密度では、車両走行のCO₂排出量が小さいLRTが、SyLC-CO₂最小の輸送機関となる。

2.4 地域特性を考慮した輸送密度の推計

地域特性として人口密度を用い、それによって乗合輸送機関の輸送密度が決定され则认为。交通の幹線部に相当する区間における輸送機関の分析として、郷ら⁷⁾は、日本の地下鉄・路面電車・AGT・モノレール等の輸送密度、表定速度などの実績値と地域特性との関係を分析している。その結果、輸送密度と地域交通圏の中心都市のDID人口密度との間に比較的強い相関が示されている。鉄道とLRT・BRTでそれぞれに得られる輸送密度とDID人口密度との関係式を図3に示す。本稿ではこれらの関係式を援用し、アジア途上国において地域別にSyLC-CO₂最小輸送機関を選定する。

3 アジア途上国への適用

本稿ではタイを対象に低炭素旅客交通機関の選定を行う。

3.1 タイにおける都市内旅客交通の現状

アジア途上国では、都市部での二輪車利用が多く、またパトランジットと呼ばれる、個別輸送機関が発達している。例えば、タイの首都であるバンコクでは、経済成長に伴い二輪車や乗用車の保有台数が急速に増加し、乗用車保有台数は1980年に約22万台であったのが、2000年には約154万台と7倍に増加した。加えて乗用車走行kmは約2倍となり乗用車依存型都市となっている。しかし、この急速な増加に道路インフラの建設が間に合わず、世界でも有名な大渋滞都市となっている。

住民の移動手段は大きく自家用車、二輪車、バスの3つに分

類される。バスは路線数が多く、バンコク都内を網羅しているが、渋滞の影響を直接受けてしまうという欠点がある。2000年前後に鉄道整備が行われ、1999年にスカイトレイン、2004年に地下鉄、2010年にエアポートリンクが開通した。渋滞の影響を受けず、各線とも複数駅で接続されているため利便性が高い。しかし、総営業キロが短い(2010年末時点で73.3km)ため利用者はあまり多くない。今後の延伸計画実施によって利用客が増加すれば、交通渋滞の緩和が期待される。

3.2 タイの都市データ

分析のため、タイの都市部の人口密度のデータを示す。

タイの都市域を定義する地域単位として、Thesabanが存在する。Thesabanの中でも一定の人口密度以上を有する市街地域として、Thesaban nakhonが存在する。具体的な定義は更新が繰り返されているが、人口が5万人以上であり、かつ人口密度が3000人/km²以上存在する地域が基本となっている。表1にThesaban nakhonと同様の市街地を有するBangkok, Pattayaを加えた地域について、人口、面積、人口密度を人口が上位15位までの地域について示す。タイの首都であるバンコクでは市街地の面積は他地域と比較して格段に広いが、人口密度については突出して高いとは言えない。

このように、Thesaban nakhonは日本のDIDに相当する地域といえる。これまで開発してきた日本のDID人口密度を指標とした乗合輸送機関選定手法を、Thesaban nakhonの人口密度に適用させ、タイにおける地域旅客交通起源CO₂排出量最小輸送機関の選定を行う。輸送機関を選定する地域として、日本を対象とする分析では、通勤・通学者数や距離複数の市町村を交通圏にまとめた上でそれを単位として扱うが、本稿ではデータ制約より、日本の県レベルの行政区分であるChangwat

を対象として選定を行う。

4 CO₂ 最小輸送機関推定結果

図4に2000年におけるタイのSyLC-CO₂最小輸送機関の選定結果を示す。推定の結果、タイの多くの地域でSyLC-CO₂最小輸送機関は乗用車となることが分かった。これは、都市部でのスプロールが進んでおり、すでに乗合輸送機関の輸送密度が十分高まらないことが原因として考えられる。

表2に2000年と2050年におけるSyLC-CO₂最小輸送機関の選定結果をThesaban nakhonの地域数で示す。首都バンコクでは人口規模は大きいものの、人口密度が比較的小さいためBRTがSyLC-CO₂最小輸送機関として選定される。LRT、鉄道などの鉄軌道がCO₂削減施策として有効となる地域は全29か所中4か所にとどまった。16地域ではBRTがSyLC-CO₂最小と選定される。

2050年には、大部分の地域において、SyLC-CO₂最小輸送機関がBRTから乗用車へと変化する。これは、乗用車の技術革新が大幅に進むことを仮定しているためである。結果、BRT、LRT・鉄道などの乗合輸送機関がSyLC-CO₂最小となる地域は9地域まで減少する。

5 結論

本稿では、タイのChangwatを対象に、低炭素交通システムの幹線部を担当する輸送機関の選定を行った。その結果、以下のことが示唆される。

- (1) タイでは、人口が首都バンコクに集中しておりバンコクではBRTが選定された。一方、その他の地域の多くでは、乗合輸送機関導入がCO₂排出量削減につながらないことが分かった。
- (2) 技術革新が日本と同様に進む場合には、現在BRTがCO₂最小輸送機関となる地域の多くについて乗用車が取って代わって最小となることが示された。

本稿では、輸送機関の輸送密度と地域特性の関係を表現する際に日本のDID人口密度を基にしたモデルを援用しているため、日本のたどった傾向が強く反映されている。複数の途上国都市におけるより広範囲のデータを用いた分析が必要である。また同時に、都市構造を輸送機関の輸送量に反映させた分析を行うことが必要である。技術革新の進展に関し日本の向上率を与えているため、アジア途上国都市では車両構成の差異を考慮した技術革新の向上率を設定することが必要である。

6 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) 伊藤圭, 加藤博和, 柴原尚希: 日本における地域内旅客交通CO₂大幅削減のための乗合輸送機関導入必要量の算定, 土木計画学研究・講演集, Vol.42, CD-ROM(6), 2010.11

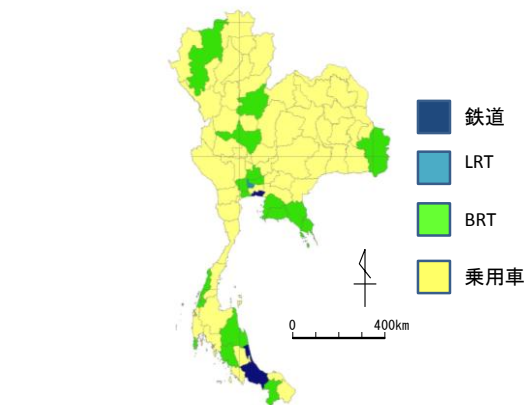


図4 タイにおけるCO₂最小輸送機関(2000年)

表2 SyLC-CO₂最小輸送機関とThesaban nakhon数

SyLC-CO ₂ 最小輸送機関	2000年	2050年
乗用車	9	20
BRT	16	4
LRT	1	2
鉄道	3	3

- 2) 長田基広, 渡辺由紀子, 柴原尚希, 加藤博和: 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, Vol.23, no.2, pp.355-363, 2006.
- 3) 日本建築学会: LCA データベース 1995年産業連関分析データ版, Ver.2.2, 1995.
- 4) 環境省: 地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条(平成18年3月24日一部改正)排出係数一覧表, 2007.
- 5) 松橋啓介, 工藤祐揮, 上岡直見, 森口祐一: 市区町村の運輸部門CO₂排出量の推計手法に関する比較研究, 環境システム研究論文集, Vol.32, pp.235-242, 2004.
- 6) Kudoh, Y., Yagita, H. and Inaba, A.: Analysis of Existing Variation in Fuel Consumption of Hybrid Electric Vehicles, Electric proceedings of International Conference on Ecologic Vehicles & Renewable Energies, Monaco, 2007.
- 7) 郷智哉, 加藤博和, 谷田一: 脱温暖化社会を目指した地域類型別交通施策パッケージ提案手法, 土木計画学研究・講演集, Vol.36, CD-ROM, 2007.

主著者連絡先: 伊藤圭

名古屋大学 環境学研究科都市環境学専攻博士課程後期課程

Email k.ito@urban.env.nagoya-u.ac.jp