

アジア開発途上国における

都市内交通システムのライフサイクルCO₂のマクロ分析Macroscopic Analysis of Life Cycle CO₂ Emissions from Urban Transport Systems in Asian Developing Countries○伊藤圭^{*1)}、加藤博和¹⁾、柴原尚希¹⁾

Kei ITO, Hirokazu KATO and Naoki SHIBAHARA

1) 名古屋大学

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

1. はじめに

アジア開発途上国の様々な都市において、地下鉄・BRT(Bus Rapid Transit)等の都市内交通システムが整備されつつある。それに伴い都市内旅客交通起源CO₂排出量が削減される可能性を有するが、その評価は十分に行われていない。

都市内交通システムの低炭素性を評価する際、電源構成や燃料の組み合わせによって異なる各国のエネルギー効率の違いが結果を左右する。本研究では、アジア開発途上国における都市内交通システムのCO₂排出量をライフサイクルアセスメント(LCA)の枠組みを用いてマクロ的に推計する。各国のエネルギー効率を輸送機関ごとのライフサイクルCO₂推計に反映させる。そして、排出量が最少となる輸送機関を見いだす。

2. 旅客輸送機関のライフサイクルCO₂推計方法

アジア開発途上国都市で整備が進められているBRT、LRT、鉄道を評価対象とする(表1)。輸送需要に応じた排出量を評価するため、「輸送人km(輸送需要)あたりライフサイクルCO₂排出量」を評価指標とする。

車両の運行及びインフラの建設・維持補修、車両製造の各活動におけるCO₂排出量を推計対象とし、それぞれ、車両走行距離、路線長、製造車両数にCO₂排出原単位を乗じて算出する(式(1))。交通システムのライフタイムは60年と設定する。エネルギー効率の地域的な差異、及び将来変化は原単位に反映させる。

$$E = e_o \cdot l + e_s \cdot L + e_v \cdot n \quad (1)$$

E : 輸送機関のライフサイクルCO₂、 e_o : 運行起源CO₂排出原単位、 e_s : 建設・維持補修起源CO₂排出原単位、 e_v : 車両製造起源CO₂排出原単位、 l : 総車両走行距離、 L : 路線長、 n : 製造車両数

2.1 排出原単位の設定

運行時のエネルギー効率はエネルギー生成段階(発電、燃料製造等)とエネルギー使用段階(走行等)に分けることができ、エネルギー生成段階では地域による差異が、エネルギー使用段階では車両性能による差異が生じる。

表1 輸送機関の設定

	BRT ^{※1}	LRT ^{※2}	鉄道 ^{※2}
車両定員[人/車両]	85 ^{※3}	85	130
編成車両数[両/編成]	1	1	可変
エネルギー消費効率	0.65 [l/km]	2.5 [kWh/km]	2.0 [kWh/km]

※1: メルセデスベンツ社製連節バスを基に設定。

※2: 鉄道統計年報を参考に、LRTについては路面電車、鉄道については都市鉄道の値を基に設定。

※3: 道路運送車両の保安基準に基づく該当車両の保安定員数(128名)を、日本工業規格JISE7103による鉄道車両の定員数に変換した値。

表2 各国の電源係数とCO₂排出原単位

国名	電源係数 ¹⁾ [kg-CO ₂ /kWh]	鉄道インフラ起源CO ₂ 排出量[t-CO ₂ /km]
中国	1.03	9.4×10^3
ベトナム	0.436	7.7×10^3
タイ	0.526	8.6×10^3
インドネシア	0.796	8.6×10^3

またライフタイムが長期にわたるため、技術革新によって将来的に値が変化することが考えられる。インフラ建設と車両製造を起源とするCO₂排出量は、材料生産時の排出原単位に地域的差異が存在する。また、建設・製造過程の技術革新が見込めれば、建設時期によっては差異が大きくなる。

本研究では排出原単位に関するこれらの差異のうち、アジア開発途上国各国で特徴が分かれる、電源係数、インフラ建設・車両製造起源排出原単位に関して分析を行う。地域別の原単位設定にはLCAソフトウェアMiLCA¹⁾を使用し、電源係数はMiLCAに搭載されているインベントリデータベースであるIDEAの国別値を用いる。インフラ建設・維持補修、車両製造の各排出原単位は日本における各推計値²⁾をMiLCAによる鉄軌道建設、車両製造の国別CO₂排出量の比によって補正する。表2に電源係数と鉄道インフラ建設・維持補修起源排出原単位について複数の国の値を示す。電源係数は、石炭火力発電の割合が多い中国で高く、水力発電が卓越しているベトナムでは低い値となっている。インフラ建設・維持補修起源排出原単位は、電源係数ほど大きな差異ではないものの、同様の傾向であることが分かる。これは建設・維持補修

段階における電力使用の影響が寄与していると考えられる。

エネルギー効率は、技術革新の影響が反映されやすい運行段階を対象に将来変化を見込む。バス車両については、日本では2020年までに10%程度の燃費向上を見込む報告もある³⁾。本研究では最終的に10%の燃費向上を想定し、10年ごとの車両更新の際に燃費が2%向上すると設定する。エネルギー生成段階のエネルギー効率に関しては、今後大幅な改善が予想される火力発電のみ対象に、20年間で30%の向上を見込む。

2.2 輸送機関の輸送力設定

2.1 節における排出原単位の設定に伴い、運行段階のCO₂排出量の地域差が大きくなると予想され、運行サービス水準についても輸送需要に応じた妥当な値に設定する必要がある。実際の鉄道・バス事業者は、時間的に変化する輸送需要に応じて、輸送力(通過車両数×車両定員)・運行本数の両面からサービス水準を決定していると考えられる。図1に日本の鉄道・バス路線における輸送密度と輸送力の関係を示す⁴⁾。輸送密度の増加に伴い、輸送力の増加は徐々に減速していくことが読み取れる。この要因として、輸送力が過剰になりがちなオフピーク時の輸送効率の改善が考えられる。本研究ではこの輸送密度と輸送力の関係を指数関数で近似し、輸送密度に応じた輸送力を設定する。なお、輸送力を1列車あたり定員数で除すことで運行本数を算出している。

3. 結果と考察

表2で対象とした各国別に都市内交通機関のライフサイクルCO₂排出量を示す(図2)。輸送密度は10,000[人/日]を想定している。運行起源の排出量が占める割合が大きいことが分かる。運行時に電力を消費するLRTと鉄道を比較すると、1便あたりの輸送力が小さく、エネルギー使用効率の悪いLRTの排出量が多い。一方、インフラ関連の排出量は鉄道で大きい値となっている。総排出量では各国とも鉄道よりLRTの方が大きい。

同じ交通機関に着目した場合、インフラ関連の排出量が小さいBRTは国間での差異が小さい。一方、エネルギー効率の地域差によって、ライフサイクルCO₂が最小となる輸送機関が国ごとに異なる。例えば、中国では電力を使用せずインフラ関連の排出量が小さいBRTがライフサイクルCO₂最小の交通機関であるが、ベトナムやタイではBRTが最大である。

図3に、電源係数の差が最も大きい中国とベトナムについて、各輸送機関の輸送密度と1人あたりライフサイクルCO₂との関係を示す。輸送密度が増加するにつれて1人あたりの排出量は小さくなり、排出量最小の輸送機関が交代していくことが分かる。中国では、輸送需要が大きい路線にBRTを導入した場合でも、排出量が最小となりう

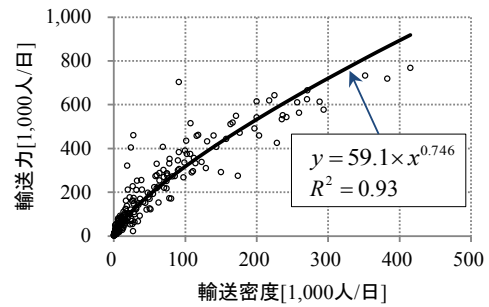


図1 日本における輸送密度と輸送力の関係

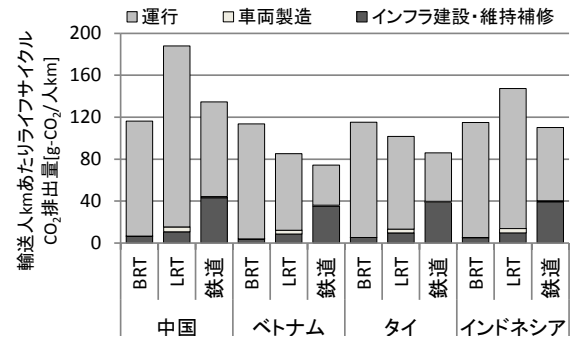


図2 国別輸送機関別人kmあたりライフサイクルCO₂

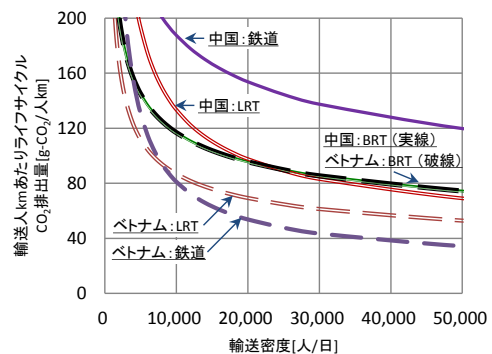


図3 輸送密度と人kmあたりライフサイクルCO₂

る。一方、電源係数が小さいベトナムでは、輸送密度が10,000[人/日]程度を境に、排出量が最小となる交通機関がLRTから鉄道に変わることが分かる。

以上より、低炭素性の観点から都市内交通システムの導入を評価する際には、電源係数等の各国間の差異を考慮することが重要であると言える。

引用文献

- 1) 一般社団法人産業環境管理協会：MiLCA v.1.1, (2012)
- 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, (2006), pp.355-363
- 3) 西岡秀三：脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案手法の確立に関する総合研究プロジェクト, (2008), p.11
- 4) 国土交通省鉄道局：平成17年度鉄道統計年報, (2007)