

アジア途上国大都市におけるパラトランジットを活用した低炭素交通施策の検討*

Analysis of Low-Carbon Transport Policy by Utilizing Paratransit in Mega-Cities of Asian Developing Countries*

矢尾和也**・伊藤圭***・沢山愛***・加藤博和****・林良嗣*****

By Kazuya YAO**・Kei ITO***・Ai SAWAYAMA***・Hirokazu KATO****・Yoshitsugu HAYASHI*****

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル（IPCC¹⁾）は、気候変動が生態系に及ぼす不可逆的な影響を回避するには、気温上昇を 1990 年度比で 2 度以内にとどめる必要があり、そのためには世界全体の温室効果ガス排出量を現状の値から半減する必要があるとしている。これは非常に困難な目標設定であり、革新的な社会構造の変化なしには気候変動による悪影響の回避は困難であることを示唆している。

2030 年には世界の運輸部門 CO₂ 排出量の 31%が、今後経済発展が見込まれるアジア地域から排出されると予測されている²⁾。アジア途上国においては、これまでその都市人口の多さに見合うだけの鉄道等の大量輸送機関が整備されず、経済発展の早い段階でモータリゼーションが進展してきた。その一方で、鉄軌道・バス等の大量輸送では十分にサービスを供給しきれないエリアにおいては、パラトランジットと呼ばれる少量単位の輸送機関が発達してきた。

今後、低炭素な交通システムを途上国で実現していくためには、モータリゼーションを抑制するべく、公共交通機関に加え、既存のパラトランジットのような交通機関を活用していく可能性も検討すべきである。そのため本研究では、アジア途上国大都市におけるパラトランジットに焦点を当て、そのCO₂排出量評価と公共交通機関との連携による低炭素交通施策の検討を行う。

2. パラトランジットの分類と選定

(1) パラトランジットの分類

*キーワード：地球環境問題

**正会員、修（環境）、名古屋大学大学院環境学研究科

（〒名古屋市中種区不老町C1-2（651）

TEL:052-789-2773、E-mail: kyao@urban.env.nagoya-u.ac.jp)

***学生会員、学（工）、名古屋大学大学院環境学研究科

****正会員、博（工）、名古屋大学大学院環境学研究科 准教授

*****フェロー、博（工）、名古屋大学大学院環境学研究科 教授

交通体系におけるパラトランジットの位置づけは、鉄道やバス等の乗合運送と、自動車やバイクによるプライベートな移動の間を埋めるものであると解される。

外尾ら³⁾によれば、パラトランジットはその運行形態と輸送力によって概ね個別型、相乗り型、乗合&ミニバス型の3つに分類される。

個別型は、乗車定員が 1～3 人となる自動二輪型（Motersai, Ojek 等）、自動三輪型（Tuk Tuk, Tricycle, Bajaj 等）が含まれ、個人向けのドアツードアサービスとして機能する。乗用車より小さく小回りが利くため、細街路の移動や渋滞をすり抜ける速達性のある移動手段として利用される。

相乗り型（6～12 人）は、大型の自動三輪（Bemo 等）や軽トラック等小型四輪車（Silor-lek 等）を用いている。ルートは決まっているが乗降フリーで、料金も交渉によって決めるものが多く、一般的な乗合輸送よりも融通が利く場合が多い。これらは、需要が比較的小さいエリアやバスが入れない細街路の移動を分担する。

乗車定員がさらに大きい乗合&ミニバス型（9～30 人）では、ルートや料金が固定されているものがほとんどとなり、一般的な路線バス輸送に近いものになる。ここには、定員30人程度の小型バス（Minibus）も含まれる。これらの供給されるエリアは通常の幹線道路の輸送から、中小規模の道路、郊外への端末交通まで幅広い。

(2) 対象とするパラトランジット

上記の各分類について、対象とするパラトランジットの選定を行った。個別型からは Auto Rickshaw、Tuk Tuk、Motersai を、相乗り型からは Silor-Lek を、乗合&ミニバス型からは Jeepney と Songtaew を選定した。各パラトランジットの概要を表-1に示す。

3. パラトランジットのCO₂排出量推計

(1) 推計方法

CO₂排出量推計フローを図-1に示す。まず車両乗車人数については、Jeepney、Songtaew、Silor-Lekは一定需要量に達するまで運行せず、需要が多い場合には乗せられ

表-1 対象とするパラトランジット

カテゴリ	乗合型 & ミニバス型		相乗り型	個別型		
車両種別	ジープ	ピックアップトラック	軽トラック	自動三輪	自動三輪	自動二輪
外観						
名前	Jeepney	Songtaew	Silor-Lek	Auto Rickshaw	Tuk Tuk	Motersai
国	フィリピン	タイ	タイ	インド	タイ	タイ
乗車定員 [人]	20	12	6	3	3	1
登録台数 [台]	50000 (マニラ、2006年)	1500 (バンコク、1999年)	4500 (バンコク、2008年)	76000 (デリー、2008年)	9000 (バンコク、2008年)	73000 (バンコク、2008年)

Source: http://farm2.static.flickr.com/1048/1230084616_f1bd3e431d.jpg?v=1188032189, <http://www.topnews.in/files/Auto-rickshaw-55.jpg>

るだけ乗せるという特性を組み込むため、日需要500人時の乗車人数を定員の40%、需要が500人増えるごとに0.5%ずつ上昇すると仮定する。一方、Auto Rickshaw、Tuk Tukは乗車人数を2人と仮定し、Motersaiは1人とする。また、パラトランジット以外のモードとの比較のため、バスと乗用車についても推計する。バスは定員75人として長田ら⁴⁾の式(1)をもとに乗車人数を算出し、乗用車は平均乗車人数を1.3人と仮定する。

$$D = kr^a \quad (1)$$

D : 日需要量 [人/日]

r : 定員に対する乗車率 [%]

$a=2.16, k=13.6$

次に日需要量を車両乗車人数で除して日あたりのべ運行台数を求め、さらに運行時間(18時間)で除して時間運行台数とする。時間運行台数から今西ら⁵⁾の簡易なQ-V式(2) ($[X : Y=$ 交通量 (0台/h) : 規制速度 (60km/h)]と、 $[X : Y=$ 混雑時交通量 (750台/h) : 混雑時旅行速度 (10.9km/h)]の2点を通る)に従って平均旅行速度を算出する。

$$v = -0.0645 \times V + 60 \quad (2)$$

v : 旅行速度 (km/h)

V : 時間あたり運行台数 (台/時)

Jeepneyを除くパラトランジットの実燃費データは得られなかったため、ベースとなるピックアップトラック等の車両のカタログ燃費と、速度に依存する燃費式⁶⁾ (3a-d)で導かれるある速度における燃費との比を燃費調整係数として算出し、燃費式にかけ合わせることで台kmあたりCO₂排出量とし、乗車人数で除して人kmあたりCO₂排出量を算出する。燃費式は、Auto Rickshaw、Tuk Tuk、Motersaiと乗用車は(3a)を、Jeepney、Songtaewは

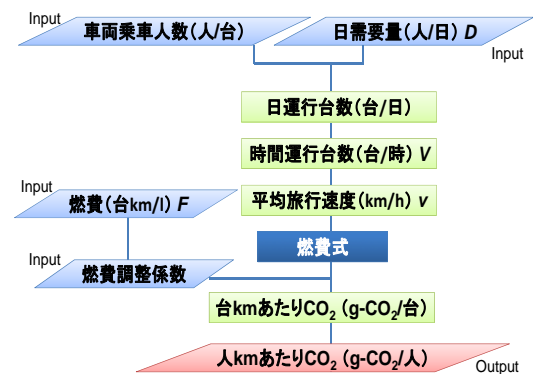


図-1 CO₂排出量推計フロー

(3b)を、Silor-Lekは(3c)をバスは(3d)をそれぞれ用いた。

$$F_{gp} = (829.3/v - 0.9v + 0.0077v^2 + 64.1) \times 1000 \quad (3a)$$

$$F_{df} = (17.9/v - 9.6v + 0.073v^2 + 560.1) \times 1000 \quad (3b)$$

$$F_{sgf} = (167.6/v - 2.2v + 0.017v^2 + 136) \times 1000 \quad (3c)$$

$$F_b = (976.9/v - 4.5v + 0.037v^2 + 299.7) \times 1000 \quad (3d)$$

F_{gp} : ガソリン乗用車燃料消費量 [l/台km]

F_{df} : ディーゼル普通貨物車燃料消費量 [l/台km]

F_{sgf} : ガソリン小型貨物車燃料消費量 [l/台km]

F_b : バス燃料消費量 [l/台km]

(2) 推計結果

需要量に対する人 km あたりの CO₂ 排出量の関係を、機関毎に比較した結果を図-2 に示す。Jeepney、Songtaew、Silor-Lek については、車両乗車人数が徐々に増えると仮定しており、需要量増による速度低下が引き起こす燃料消費量の増加よりも乗車人数の増加による効果が上回っているため、需要量が増加するほど人 km あたり CO₂ 排出量は減少している。バスよりも CO₂ 排出量が少なくなる水準は、Jeepney では日需要量約 13,000 人まで、Songtaew では日需要量約 1,500 人まで、Silor-

Lek では約 2,500 人までとなっている。

Auto Rickshaw、Tuk Tuk、Motorsai は、容量が小さく私人的交通とほとんど変わらないため、CO₂ 排出量は上昇傾向を示し、それぞれ 2,500 人、1,500 人、2,000 人まではバスよりも CO₂ 排出量が少なくなっている。

4. 低炭素交通システム実現に向けたパラトランジット活用施策の検討

(1) 公共交通との組み合わせによるCO₂排出量削減

CO₂ 排出量からみたパラトランジットの妥当な供給範囲は需要量が少ない領域に限られることから、基幹交通のフィーダーとして活用する施策を検討する。まず、「ベースシナリオ」として、15km の道路を想定し、すべての交通が自動車によって分担されているケースを設定する。次に、その 15km のうち 10km にバスを導入し、残りの 5km 区間に Songtaew を導入するという「パッケージ導入シナリオ」を設定する。ある一定の需要量があるときに、その X% がバスを利用し、その全ての乗客が Songtaew に乗り換えると仮定する。日需要量を 15,000 人とし、バスの乗車率は 50%、その乗り換えに用いる Songtaew の数はバス 1 台に対し 6 台、自動車の平均乗車人数は 1.3 人とする。

自動車から公共交通への転換率をそれぞれ 20%、50%、80% と設定したシナリオ毎の日あたり CO₂ 排出量を図-3 に示す。自動車 100% と 80% 転換した場合の値を比較すると、約 4 分の 1 まで CO₂ 排出量を削減できることが分かる。この削減分には、車両あたりの乗車人数が増加するために運行台数自体が減ることに加え、道路の混雑が緩和されて速度が増加する効果も含まれている。80% 転換シナリオでは、自動車からの CO₂ 排出量もベースシナリオに比べて 6 分の 1 程度まで減少することが分かる。

(2) 時間・費用制約を制約としたパラトランジットと公共交通の組み合わせの比較

パラトランジットと公共交通の組み合わせを、CO₂ 排出量、所要時間、運賃の観点から評価し比較を行う。運賃の比較を可能にするため、前章で評価したパラトランジットのうち、タイの機関である Songtaew、Silor-Lek、Tuk Tuk、Motorsai を用いる。

組み合わせに用いる距離は、前節のシナリオと同様公共交通区間 10km、パラトランジット区間 5km とする。各区間及び運賃の設定を表-2 に示す。Wiroj⁷⁾より、1997 年のバンコク中心部及び中心部以外の平均走行速度の値から、時間交通量を設定する。交通量に占めるバス・パラトランジットの混入率は 2% (時間運行本数 15、13 台) とし、バスの混雑率は 5km 区間についてはパラトランジットと同様とし、都心部は 50% とする。自動

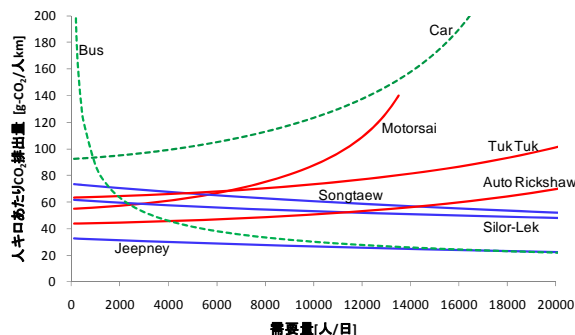


図-2 パラトランジット各機関の需要量に対するCO₂排出量の比較

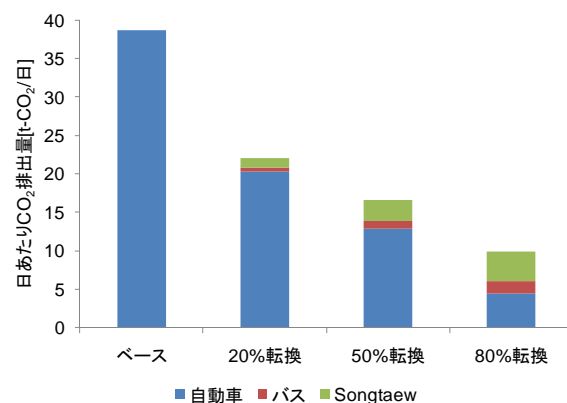


図-3 自動車から公共交通への転換シナリオによるCO₂排出量の比較

表-2 区間・運賃の設定

		都心区間	郊外区間
		10km	5km
時間交通量[台/h]		750	650
速度[km/h]		10.9	17.5
バス・パラトランジット混入率[%]		2	2
運賃 [Baht]	Songtaew	-	9
	Silor-Lek	-	15
	Tuk Tuk	-	60
	Motorsai	-	15
	Bus	7	-
	Rail	32	-
	Taxi	106.5	

車は乗車人数 1.3 人とする。

それぞれパラトランジットの運行の特性を組み込むため、平均速度を各モードの速度として按分する。按分に用いる基準速度は、河上ら⁸⁾による市街地平均走行速度より、自動車と個別型の Tuk Tuk、Motorsai は 18km/h、バスと乗合・相乗り型の Songtaew、Silor-Lek は 12km/h とした。

道路混雑の影響を受けない鉄道については、バンコクの MRT のデータより、平均走行速度 35km/h、走行

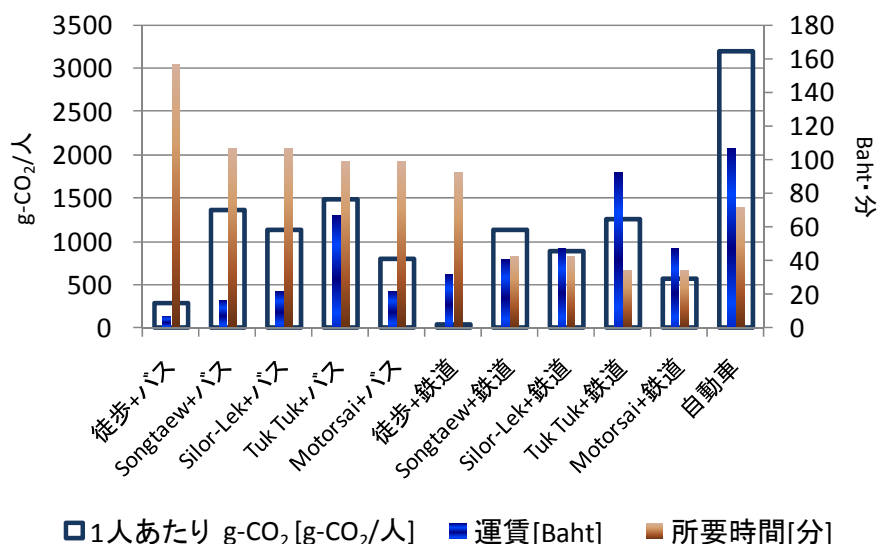


図-4 パラトランジットと公共交通の組み合わせの運賃・所要時間による比較

時 CO₂ 排出量を長田ら⁴⁾より 1387g-CO₂/台 km、乗車率 50%とした。

運賃は、バスについては現在のエアコンなしバスの値、パラトランジットは燃料価格の変化、5km という移動距離を考慮して、APEIS⁹⁾のデータに示されている運賃の最小値の3倍とし、鉄道はMRTの値を用いた。なお、自動車の費用についてはタクシー運賃で代用した。

パラトランジットの乗車率を25%としたときの公共交通との組み合わせのCO₂排出量を、移動時間・運賃と比較した結果を図-4に示す。バス路線の無い5km区間を徒歩で移動しバスに乗り継ぐ場合、全体を自動車で移動した場合に比べて所要時間が2倍以上かかり、現実的な選択肢になり得ないことが分かる。一方、この区間にパラトランジットが存在するケースでは、移動時間を約1時間短縮することが可能となる。

また、CO₂排出量は、自動車で移動する場合の半分以下となっている。費用の点でも、仮にタクシーでその区間を移動した場合に比べて5分の1まで削減することが可能となる。ここで、バスに乗換を行う5km地点まで鉄道が整備されたとすると、CO₂排出量は最大で約6分の1まで削減可能であり、所要時間も約3分の1まで短縮可能である。この場合、鉄道の運賃が高いためバスの場合より費用は高くなるが、それでもなおタクシーを利用する場合の半分程度となる。しかし、乗用車のガソリン代と比較した場合には、費用はタクシーの3分の1程度になるため、鉄道・バス利用による運賃面での優位性は失われる。

5. おわりに

本研究では、アジア途上国における低炭素交通シス

テム実現施策の一環として、パラトランジットに着目しその環境性能と活用可能性の検討を行った。その結果、CO₂排出量からみたパラトランジットの適切な供給範囲は日需要量数千人程度までに限られること、自動車に依存した道路にバスとパラトランジットの組み合わせを導入した場合、速度改善の効果も含めCO₂排出量が4分の1程度まで削減可能であることが分かった。加えて、運賃と所要時間も合わせた上で分析を行った結果、パラトランジットと公共交通の組み合わせは時間短縮や費用削減の観点からも有効であることが分かった。

【謝辞】

本研究は環境省・環境研究総合推進費(S-6-5)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) Inter Governmental Panel on Climate Change : 第4次評価報告書第1作業部会報告書, 2007.
- 2) International Energy Agency : World Energy Outlook, 2008
- 3) 外尾一則・ヨッポントナボリブーン : 開発途上国におけるパラトランジットの特質, 土木計画学研究・講演集 No.16(1), pp917-924, 1993.
- 4) 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影響評価, 土木計画学研究・論文集 No.23 no.2, 2006.
- 5) 今西芳一・石田東生・笈文彦 : 道路整備後の交通量 CO₂ 排出量の短期的変化に関する実証的研究, 交通工学, Vol.43 No.3, pp53-63, 2008.
- 6) 大城温・森下雅行・並河良治・大西博文 : 自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数, 土木技術資料 Vol.43 No.11, pp.50-55, 2001.
- 7) Wiroj, R. : BANGKOK ACCESSIBILITY UNDER THE 8th TRANSPORT AND LAND USE PLAN, Proceedings of the Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Engineering, 2000.
- 8) 河上省吾・松井寛 : 交通工学 第2版, 森北出版, 2005
- 9) Asia-Pacific Environmental Innovation Strategies : Van Transit System in Bangkok Metropolitan Region, Research on Innovative and Strategic Policy Options, Good Practice Inventory, 2004.