

アジア途上国大都市における パトランジットを活用した 低炭素旅客交通システムの検討

名古屋大学大学院環境学研究科	藤田 将人
名古屋大学大学院環境学研究科	中村 一樹
名古屋大学大学院環境学研究科	加藤 博和
名古屋大学大学院環境学研究科	林 良嗣

Effective Feeder Paratransit Systems for Low-Carbon Transport in Mega-Cities in Asian Developing Countries

Masato FUJITA

Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Kazuki NAKAMURA

Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Hirokazu KATO

Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Yoshitsugu HAYASHI

Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Abstract:

In mega-cities in Asian developing countries, it is necessary to shift travel modes to low-carbon one in order to mitigate CO₂ emissions. This study aims to examine the impact on CO₂ emissions from passenger transport of a seamless transportation system that utilizes paratransit modes specific to Asian developing countries as a feeder transit system. The result shows that CO₂ emissions from feeder transit are

著者連絡先 藤田 将人

〒464-0803 愛知県名古屋市千種区不老町 C1-2(651)

名古屋大学大学院 環境学研究科 都市環境学専攻

E-mail: mfujita@urban.env.nagoya-u.ac.jp

marginal, compared to emissions from arterial transits, but it is more important to reduce travel-time in feeder transit for promoting arterial public transit use. Considering the results, the low-carbon feeder paratransit modes, which are classified to a taxi type and a mini-bus type, are selected in each neighborhood area.

Keywords: *Low-carbon transport, Feeder transit system, Paratransit, Asian developing countries*

1. はじめに

IPCC は、2050 年までに温室効果ガスを半減させる長期的な目標を掲げている¹⁾。特に急速な経済成長により CO₂ 排出の大幅な増加が見込まれるアジア途上国において早急に対策を講じる必要がある。運輸部門は、モータリゼーションの進展によって CO₂ 排出量は急増しており、交通起源 CO₂ 排出量削減策の 1 つとして、公共交通システムの整備が挙げられている。実際、アジア途上国大都市では、高速かつ大量輸送可能な幹線公共交通システムの整備が進みつつある。しかし、幹線が整備されたとしても、その末端交通手段の整備が不十分な場合、幹線利用を妨げ、渋滞解消や CO₂ 排出量削減の効果を限定的にしてしまう可能性がある。既に、アジア途上国大都市ではモータリゼーションが進展していることを考えると、幹線の整備とともに末端交通手段も適切に導入する必要があるといえる。

一方、アジア途上国では、パトランジットと呼ばれる、輸送容量の小さな交通手段が地域需要に応じて様々な形をもって発展してきた。パトランジットは過剰な供給による客待ちや路肩への駐車が原因の渋滞、乱雑な運転による事故、車両の整備不足によって安全性や燃費効率が悪いといった特徴を持つ。しかし、需要に応じて柔軟なサービスが可能であり、狭い路地での走行が可能で、混雑した路上では他の大型車より有利に走行可能なので、複雑な細街路や道路渋滞が多いアジア途上国において、有効な交通手段となっている。そのため、低炭素交通システムをアジア途上国大都市において構築するために、幹線部の大量輸送機関を整

備するにおいて、その末端交通として既存のパトランジットを活用し、公共交通利用を促進していくことが必要だと考えられる。

そこで本研究では、タイのバンコク首都圏を対象に、様々な車種・運行形態を有するパトランジットをタクシー型、ミニバス型と分類し、それぞれ末端交通への導入による CO₂ 排出量への影響を推計する。そして、この結果を用いて、都市内の各地区において最も低炭素となるパトランジットを選定する。

2. 本研究の位置づけ

(1) アジア途上国における末端交通の重要性

アジア途上国大都市で公共交通利用が妨げられている原因として、大量輸送機関のネットワークが未だ不十分であり、それに加えてネットワークへのアクセスが困難であることが挙げられる。例えばバンコクでは、乗用車交通量が多く歩道整備も不十分であるので、徒歩や自転車による移動が危険かつ困難である²⁾。また、アジア諸国の熱帯性の気候も、歩行によるアクセスを阻害する要因となっている。

加えて、渡邊ら³⁾はバンコクを含めた都市別の街路構造の比較を行い、ソイと呼ばれる行き止まりの細街路の存在が幹線道路や公共交通へのアクセスを難しくしていることを指摘している。バンコクの街路構造は、幹線道路や街路が密に連結したグリッド型というよりは、幹線道路から独立したソイが枝分かれするツリー型に形成されており、ソイの出口での交通渋滞が発生しやすくなるなど、交通移動の容易性にも負の影響を

及ぼしている。

一方で、このような街路ネットワークの交通手段として、アジア途上国都市ではパラトランジットと呼ばれる小容量の輸送機関が普及している。端末交通としてのパラトランジットの役割は大きく、山崎ら⁴⁾は、バンコクにおけるバイクタクシーの利用者の特性をアンケートによって調査し、自宅から駅までの交通手段として、その移動距離が 1km 前後を境に徒歩に代わる有効な手段となることを示している。また、パラトランジットは低炭素な交通機関となるうるものでもある。矢尾ら⁵⁾は、乗車需要の低い場合では利用者一人当たり CO₂ 排出量はバスよりパラトランジットの方が低くなることを示している。しかし、端末交通へパラトランジットを導入することが、幹線公共交通利用に与える影響は十分に評価されてきていない。

(2) パラトランジットの整理

アジア途上国都市におけるパラトランジットとして、表1にタイの例を示す。パラトランジットには需要に応じて様々な形態が存在する⁶⁾が、その運行形態によってタクシー型とミニバス型の2種類に大きく整理される⁷⁾。

タクシー型とは、個別需要に応じてドアトゥドアのサービスを提供する形態であり、その車両は街路ネットワーク内をより自由に走行する。タクシー型のパラトランジットとしては、より小型な車両が使用される

ことが多く、自動二輪車 (Motersai) や自動三輪車 (Tuk tuk) が例に挙げられる。タクシー型は、歩行距離を短くするという点で利用者に魅力的というだけでなく、サービス供給側から見ても新規参入が比較的容易で、様々な地区でサービスが行われている。

一方、ミニバス型とは、基本的に路線を走行する形態である。これは、タクシー型に比べ移動の柔軟性に劣るが、路線運行している車両の単位当たり輸送量が大きいので効率的な輸送が可能である。また、バスより乗り降りの箇所についての自由度が高いため、バスと競合する形で存在している場合も多い。ミニバス型のパラトランジットは、より中型の車両が用いられ、軽トラックのような小型四輪車 (Silor-lek) やピックアップトラック (Songtaew) が例に挙げられる。

このようなパラトランジットサービスは、既に端末交通としても利用されている。しかし、個々のサービスが需要追隨的に供給されていて、乗用車の代替として幹線交通サービスとして用いられていたり、都心部でタクシー型のパラトランジットを多く供給している状況である。一方で、こうしたパラトランジットのサービスは供給側の地域でのコミュニティで成立しているものも多いため、体系的な端末交通システムへの変化が難しい。また、現在のように幹線公共交通需要が少ない場合はタクシー型の輸送効率で十分成立するが、将来の鉄道ネットワークが整備され、幹線公共交通需要が増加した時に、輸送効率の悪化による待ち時間の

表1 タイにおけるパラトランジット

カテゴリ	ミニバス型		タクシー型	
車両種別	ピックアップトラック	軽トラック	自動三輪	自動二輪
外観				
名前	Songtaew	Silor-lek	Tuk tuk	Motersai
乗車定員 (人)	12	6	3	1
登録台数 (台)	1500	4500	9000	73000

増加や供給台数の増加による交通渋滞によってサービス水準が低下することが考えられる。そこで本研究では、幹線の公共交通整備に加え、その末端交通の整備による幹線公共交通の利用促進の可能性を考慮して、端末パラトランジットの輸送容量と運行形態の違いによる低炭素性を評価する。

3. パラトランジットを活用した末端交通システム導入によるCO₂排出量推計方法

末端交通手段としてのパラトランジット導入によるCO₂排出量推計ツールとして、まず末端交通における所要時間とCO₂排出量を推計する末端交通モデルを構築する。そのモデルで得られた末端交通の所要時間を、都市レベルの幹線交通モデルにインプットすることで末端交通所要時間が幹線交通分担率に与える影響を考慮し、幹線・末端交通を含めた都市内交通起源CO₂排出量を評価する。モデルのフローを図1に、その詳細を以下に示す。

(1) 幹線交通モデル

本研究では、バンコク首都圏を対象とした幹線交通モデルとして、山本ら⁸⁾の都市交通シミュレーションを用いる。ここでは、バンコク首都圏で2050年までに約500kmの鉄道整備計画⁹⁾が実現し、鉄道ネットワークと都市空間構造が変化することを想定している。交通都市域の拡大度合いをコストとその通減係数によって決定することで、長期的な空間立地の変化を考慮した都市空間構造を表現している。その時の交通需要を四段階推定法で配分し、都市内交通起源CO₂排出量を算出している。この幹線交通モデルのアウトプットである3kmメッシュの地区毎の人口密度や鉄道分担率を、末端交通モデルにインプットし分析を行う。2050年における人口分布と鉄道利用トリップ数の分布を図2、3に示す。

(2) 端末内道路ネットワーク

末端交通の道路ネットワークを考慮するため、アジア途上国特有の街路構造を表現した仮想的なネットワークを設定する。本研究では、ツリー型の街路構造を

想定し(図4)、経路選択性が少なく幹線道路周辺での混雑の多いネットワークを表現する。ネットワークはリンクとノードで構成し、50mおきに設置した各ノードに居住者人口を配分する。本研究では、ネットワーク内の人口が、各ノードに同数ずつ存在するものと仮定する。

また、OpenStreetMapのデータを用いて、バンコク都周辺の幹線、非幹線道路の割合を算出することで、幹線道路密度の参考値を与える。

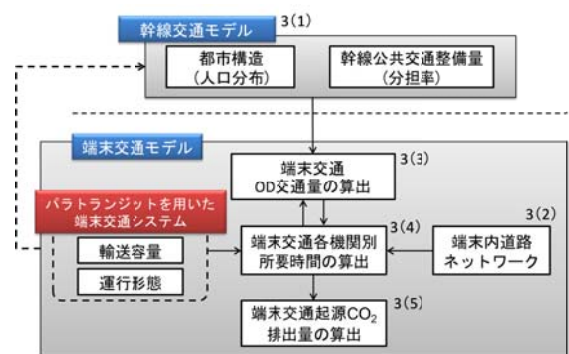


図1 分析モデルのフロー

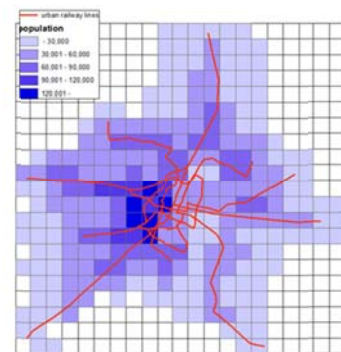


図2 幹線鉄道ネットワークと人口分布(2050年)

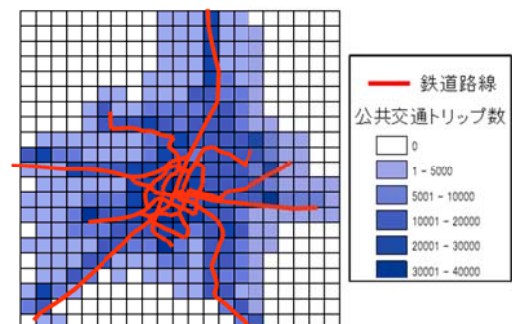


図3 公共交通トリップ数分布(2050年)

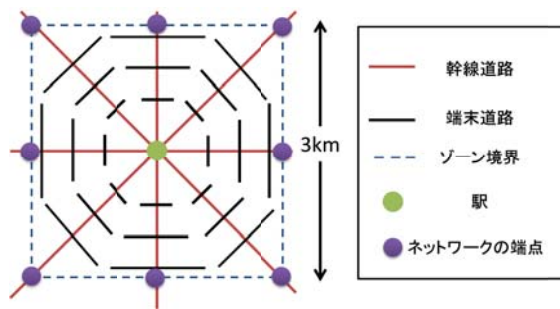


図4 端末交通ネットワーク

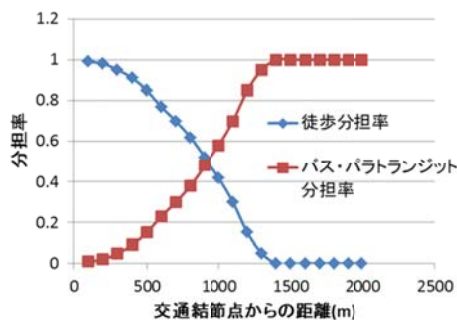


図5 アクセス距離と徒歩分担率(参考値)

(3) 端末交通OD交通量の算出

各ノードの人口にトリップ生成原単位を乗じて各ノードの発生交通量を算出する。幹線交通機関別の発生交通量は、都市レベルの幹線交通モデルで推計された乗用車利用と鉄道利用の分担率を各ノードの人口に一樣に掛け合わせ算出する。公共交通利用の発生交通量は、端末交通ネットワーク内の幹線公共交通ネットワークと端末交通ネットワークを結ぶ交通結節点(駅)を目的地にする。乗用車利用の発生交通量は、端末交通ネットワークの幹線道路の端点(図4)を目的地とする。次に、Chalermpong²⁾らが示した交通結節点までの距離とアクセス交通分担率の関係に基づき、鉄道利用の交通結節点までの需要量を、徒歩によるアクセスと、パトランジットによるアクセスに配分し、パトランジット端末利用のOD交通量を決定する。(図5)

(4) 端末交通各機関別所要時間の算出

端末交通における各道路リンクの所要時間をもとに、OD交通量のネットワーク配分計算を行う。各リンクのQV式は、アジア諸国の道路整備状況による交通量と旅行速度の関係を考慮するため、Anwarら¹⁰⁾がダッカで計測したリンクパフォーマンス関数を用いる。

アジア諸国では、道路の交通容量に対して、路上駐車やタクシーの客引きなどによって交通渋滞が発生しやすくなっていることを表現する。

端末交通の所要時間は、鉄道需要に対してパトランジットの供給量が少ない場合の待ち時間を考慮するため、鉄道需要の発生交通量の輸送を完了させるために必要な時間の平均値とする。本研究では、タクシー型は、少容量の車両で端末道路を含めたドアトゥドアのサービスを需要に応じて行うもの、ミニバス型は、中容量の車両で幹線道路上を繰り返し運行するものと位置づけ分析を行う。パトランジットの導入台数は、表1の登録台数を都市内各地域の人口に応じて配分する。

タクシー型の所要時間は輸送容量と運行形態で決定され、式(1)で算出する。それぞれのパトランジットの供給台数と車両別要領から総輸送容量が算出され、全需要が移動するための往復回数が決定される。最も長い待ち時間の場合はこの全往復回数分の所要時間であるため、これを2で割った値を平均待ち時間とする。

$$t = (2 \cdot \frac{pop}{cap \cdot n} - 1) \cdot \frac{t'}{2} \quad (1)$$

ここで、

t : パトランジット所要時間(分)

pop : パトランジット利用人口(人)

cap : パトランジットの輸送力(人/台)

n : パトランジット導入台数(台)

t' : パトランジットのOD走行時間(分)

ミニバス型パトランジットはタクシー型と運行形態が異なり、幹線道路上の固定ルートを走行するため、式(1)に加えて停留所までの徒歩によるアクセス時間も考慮する。

(5) 端末交通起源CO₂排出量の算出

端末交通ネットワークの各リンク交通量に、リンク延長、および車種ごとのCO₂排出原単位を乗じることで、各リンクにおけるCO₂排出量を式(2)のように算出する。原単位については、パトランジットの実燃費データは入手できなかったため、ベースとなる各車両

種別の実燃費と走行速度に依存する燃費式¹¹⁾を用いて燃料消費量を算出することで、各車種別の燃料消費量とした。求められた燃料消費量に燃料別の排出係数を用いてCO₂排出原単位を算出する。

$$CO_{2j}(i) = \sum_i q_j(i) \cdot l(i) \cdot E_j(i) \quad (2)$$

ここで、

$CO_{2j}(i)$ ：機関jのリンクiからのCO₂排出量(g-CO₂)

$q_j(i)$ ：機関jのリンクiの交通量(台)

$l(i)$ ：リンクiの延長(m)

$E_j(i)$ ：機関jのリンクiにおけるCO₂排出原単位(g-CO₂/台・km)

端末交通所要時間は幹線交通分担率に影響するため、本モデルで推計した端末交通所要時間を幹線交通モデルにインプットし幹線分担率を再推計する。このフィードバックについて繰り返し計算を行い、端末と幹線交通のそれぞれからのCO₂排出量を推計する。

4. バンコク首都圏における低炭素端末パラトランジットの選定

(1) 端末交通システム導入時の所要時間・CO₂排出量推計結果

表1で示したパラトランジットをそれぞれ端末交通に導入した場合の、端末交通における所要時間・CO₂排出量と鉄道需要量の関係を図6, 7に示す。所要時間は、需要の少ない場合はドアトゥドアで運行を行うタクシー型で優位である。需要が大きくなるにつれて、タクシー型では往復回数が増加し待ち時間が増えることから、乗車可能人数の大きいミニバス型での輸送が所要時間において優位となっていく。

トリップ当たりCO₂排出量については、タクシー型では、需要が少ない場合では運行回数も少なく、乗用車と比べて燃費が良いのでCO₂排出量が乗用車より小さくなるが、需要が大きくなり、運行回数の増加や混雑の影響を受けると、CO₂排出量が大きく増加する。しかし、これをミニバス型の排出量と比較すると、全ての需要レベルにおいて、輸送容量の大きいミニバス

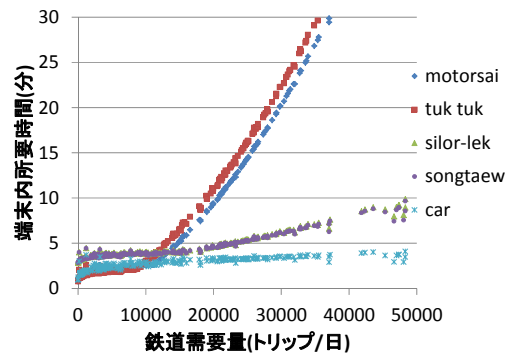


図6 鉄道需要-端末所要時間関係

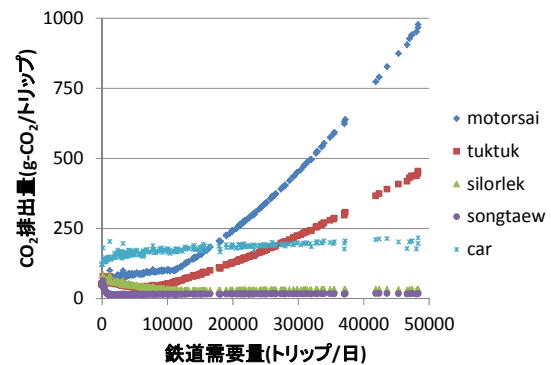


図7 鉄道需要-端末CO₂排出量関係

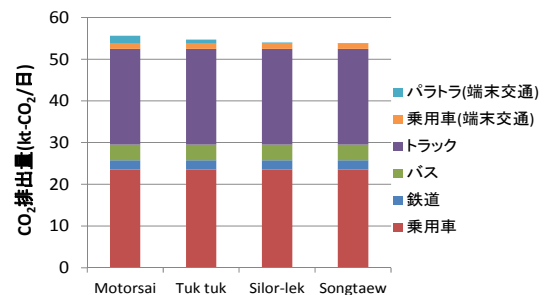


図8 幹線と端末のCO₂排出量比較

型において少ないという結果になった。

(2) 都市内地区別の低炭素端末パラトランジット選定結果

端末パラトランジット別のCO₂排出量について、幹線交通からCO₂排出量と比較したところ(図8), 端末交通において発生するCO₂排出量は幹線交通からの排出量の2~6%に留まる結果となった。このことから、低炭素な端末パラトランジットを選定するためには、

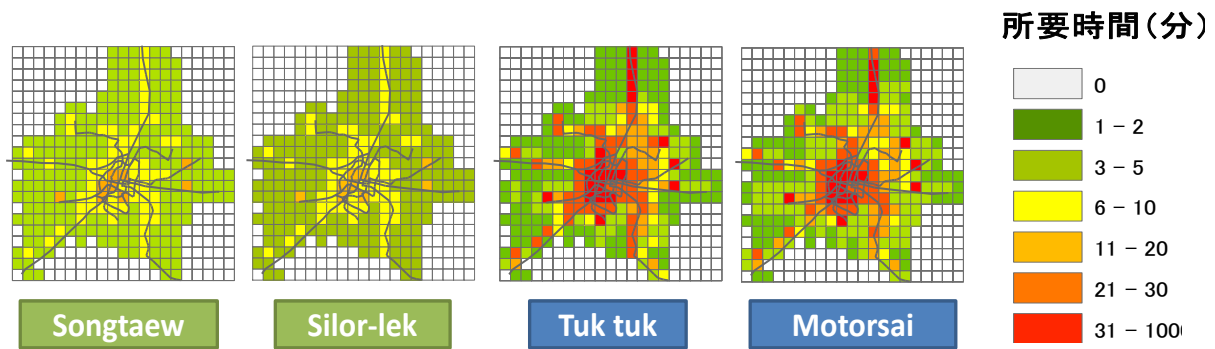


図9 導入パラトランジット別 端末交通所要時間

端末交通起源CO₂排出量を基準にするのではなく、幹線公共交通の分担率を上げるために端末交通所要時間を最も削減する交通機関を基準とする方が有効と考えられる。

このような点を踏まえ、パラトランジットを導入した際の都市内各地区における端末交通所要時間を算出し（図9）、都市内地区別に所要時間を最小化する端末交通の交通機関を選定した（図10）。都心や鉄道沿線部では、人口密度が高く鉄道の分担率が高く、端末パラトランジットの需要が大きくなる。そのため、このような地区では、輸送能力の高いSilor-lekやSongtaewといったミニバス型が、タクシー型のパラトランジットと比較して所要時間が短く利便性が高い。一方で、乗用車利用の多い郊外部では、端末パラトランジットの需要の低いため、ドアトゥドアの移動を可能とするTuk tukやMotorsaiといったタクシー型のパラトランジットの所要時間が短くなることが示された。

また、端末交通の所要時間を最小化する端末交通を導入した場合と、現状の需要追従型の供給のように都心や鉄道沿線にタクシー型、郊外にミニバス型のパラトランジットを導入した場合をBAUシナリオとし、それぞれパラトランジットを導入した場合について、都市内交通起源CO₂排出量を比較した結果を図11に示す。各地区で最も端末交通所要時間を最小化する端末パラトランジットを導入すると、乗用車利用から鉄道利用への転換によって総CO₂排出量は約14%削減される。このため、都市内各地区の端末交通の所要時間削減による幹線公共交通利用促進が、端末交通でのCO₂排出量削減より低炭素性が高いことが示された。

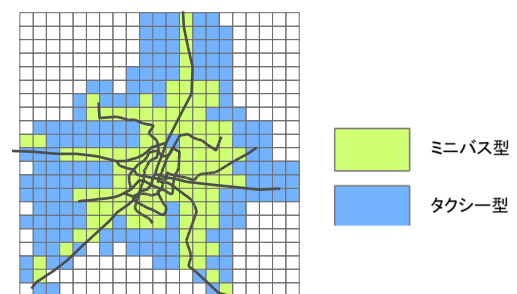
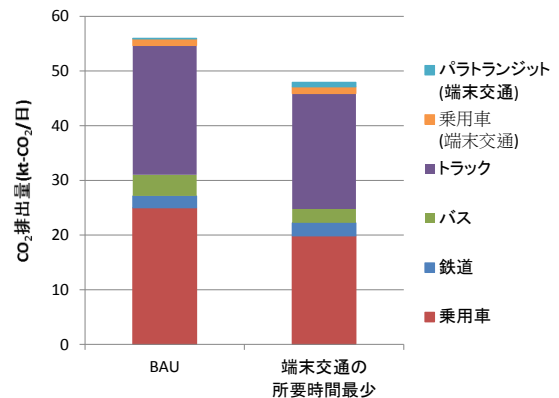


図10 端末交通所要時間最少の端末パラトランジット

図11 端末パラトランジットによるCO₂排出量変化

5. 結論

本研究では、アジア途上国にて低炭素交通システムを構築するために、パラトランジットを幹線公共交通システムの端末交通として位置づけ、有効な端末交通機関を選定した。パラトランジットをタクシー型とミニバス型に分けると、その輸送容量や運行形態の違いによって、端末交通の所要時間、CO₂排出量に与える影響が異なる。トリップ当たりCO₂排出量はミニバス

型がタクシー型より低い一方で、所要時間への効果は需要の大きな地区ではミニバス型が、需要の小さな地区ではタクシー型が大きいということが示された。

しかし、いずれの端末パトランジットについても、端末交通から排出されるCO₂排出量は、幹線交通からの排出量に比べて大きくはない。このため、端末交通のCO₂排出量の最小化は必ずしも低炭素な交通システムにつながらず、幹線公共交通の利用を促進するためにはむしろ所要時間の削減が重要であると考えられる。そこで、端末交通の所要時間を最小化するパトランジット機関を選定した結果、幹線公共交通の利用者の多い都心や鉄道沿線地区ではミニバス型が、幹線公共交通の需要の少ない郊外地区ではタクシー型が効果的となることが分かった。そして、端末交通の所要時間を最小にする端末パトランジットの導入は、現状のような需要追従型の端末パトランジット導入よりも、都市内交通起源CO₂排出を約14%削減可能であることが示された。

以上の結果は、アジア途上国大都市において、端末パトランジットをより体系的に整備することが、低炭素な交通システムを実現する上で有用であることを示している。所要時間最小化の交通システムは、自然発生的な需要追従型のパトランジット普及でも成り立つかもしれない。しかし、アジア途上国都市の現況では、パトランジットは個別に運営されているため、幹線・端末交通の区別が明確でなく様々な交通機関と競合してしまい、必ずしも効率的な端末交通システムが形成されているとはいえない。これより、低炭素な都市交通システムを整備する上で、パトランジット運営をより組織化し、統合的な幹線・端末交通システムを計画することは重要と考えられる。このような点を踏まえ、端末交通システムを含めた階層的な都市交通システムの有用性や運営について、今後より一層の分析が期待される。

引用文献

- 1) IPCC(2007) : 第4次評価報告書第2作業部会報告書
- 2) Saksith CHALERMPONG, Sony S.WIBOWO : TRANSIT STATION ACCESS TRIPS AND FACTORS AFFECTING PROPENSITY TO WALK TO STATION IN BANGKOK, THAILAND , Journal of the Eastern Asia Society for

Transportation Studies, Vol.7, 2007

- 3) 渡邊貞文, 坪井善道, 秋山慎之介, 星原真彦, 渡邊佳英 : バンコクの街路構造の特性に関する研究-スクンビットエリアにおける路地空間を対象として-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.969-974, 2008
- 4) 山崎隆之, 大蔵泉, 中村文彦, 矢部努 : バンコクにおけるバイクタクシーの端末交通手段としての可能性に関する研究, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM), Vol.28, pp.162-166, 2004
- 5) 矢尾和也, 伊藤圭, 沢山愛, 加藤博和, 林良嗣 : アジア途上国大都市におけるパトランジットを活用した低炭素交通施策の検討, 土木計画学研究・講演集, Vol.41, 2010
- 6) 外尾一則, ヨッポン・タナボリブーン : 開発途上国におけるパトランジットの特質, 土木計画学研究・講演集 No.16(1), pp.917-924, 1993
- 7) Xiugang, Li and Luca, Q : Feeder transit service: Choosing between fixed and demand responsive policy, Transportation Research Part C 18, pp.770-780, 2010
- 8) 山本充洋, 中村一樹, 藤田将人, 加藤博和, 林良嗣 : アジア途上国大都市における長期的将来の低炭素都市・交通システム構成要素の検討, 土木計画学研究・講演集, Vol.46, (38), 2012
- 9) Atrians : Integrating Congestion Charging Schemes and Mass Transit Systems in Bangkok, Final Re-port, Research Grant 2009, Part A34, pp.171-205, 2009
- 10) A.H.M. Mehbub ANWAR, Akimasa FUJIWARA, Junyi ZHANG : Newly Developed Link Performance Functions Incorporating the Influence of On-Street Occupancy for Developing Cities: Study on Dhaka City of Bangladesh, Transportation Research Board Annual Meeting 2011 Paper #11-2988, 2011
- 11) 松橋啓介, 工藤祐揮, 森口祐一 : 交通部門における CO₂ 排出量の中長期的な大幅削減に向けた対策, 地球環境, Vol.12, No.2, pp.179-189, 2007

謝辞

本研究は、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旅客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る。