

アジア途上国大都市における 低炭素旅客交通システムの実現に向けた 端末交通システムの将来ビジョンの検討

藤田 将人¹・中村 一樹²・加藤 博和³・林 良嗣⁴

¹学生会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒4640-0803 愛知県名古屋市千種区不老町C1-2(651))

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

²正会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (同上)

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

³正会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (同上)

kato@genv.nagoya-u.ac.jp

⁴フェロー 名古屋大学大学院 環境学研究科 (同上)

yhayashi@genv.nagoya-u.ac.jp

アジア途上国大都市で増加している交通起源CO₂排出量の抑制策の1つとして、アジア途上国特有のパラトランジットと呼ばれる小容量の交通機関を端末交通手段と位置づけ、シームレスな公共交通システムの形成を図ることは有効と考えられる。本研究では、モーダルシフトによる都市内交通におけるCO₂排出量の大幅な削減を可能にする端末交通システムの将来ビジョンを示し、端末交通機関の運行形態や輸送容量を考慮して、パラトランジットの導入が効果的な地域の判定を行った。また、CO₂削減目標における鉄道への転換を実現するために必要な端末交通の導入量を算出した。

Key Words : Low-carbon transport, Feeder transit system, Paratransit, Future vision, Asian developing megacity

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の必要性を掲げている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 排出量が急増しており、その削減策の 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、その端末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端末交通手段についても検討する必要があると言える。

一方、アジア途上国では、パラ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。パラ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、その端末交通として既存のパラ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と考えられる。

以上のように、低炭素な幹線交通機関と端末交通機関のシームレスな整備を行うことで、環境負荷の高い乗用車から公共交通への転換が可能であると考えられる。一方で、先に述べたようにパラトランジットはその運営や供給方法に問題点があるが、CO₂ 排出量の将来の大幅な

削減を実現するためには、現状の交通システムを体質改善して活用していくケースを考慮する必要がある。そのためには先に到達すべき将来ビジョンを定め、到達に必要な施策導入量を逆算するバックキャスティングのアプローチが有効である。

そこで本研究では、CO₂目標削減量を設定し、将来のアジア途上国の都市交通システムの、これを達成するのに必要な端末交通機関の輸送形態とパトランジットの導入量を導出する。ケーススタディとして2050年タイのバンコク首都圏を対象に、幹線鉄道整備が行われた際に、鉄道利用を支える将来の端末交通システムのビジョンについての提案を行う。

2. 本研究の位置づけ

(1) アジア途上国における端末交通の重要性

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、ソイ出口で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。

しかし、端末交通へパ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) パトランジットの端末交通の有効性

アジア途上国都市の端末交通としてのパトランジットの役割は大きい。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を越えると徒歩に代わる主要な手段となることを示している。また、パトランジットは低炭素な交通機関となりうるものでもある。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トランジットの方が低くなることを示している。アジア途上国都市におけるパトランジットとして、表-1にタイの例を示す。パトランジットには輸送容量に応じて様々な形態が存在し⁶⁾、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ツー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(Motorsai)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。また、一般のタクシーでは供給できないような狭い街路のエリアや先に述べたソイの内部などでほかの車両より有利に運行が可能である。

一方、ミニバス型とは、基本的に決まった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多いので効率的な輸送が可能である。また、路線バスよりも乗降箇所の自由度が高いため、路線バスと競合

表1 タイにおけるパトランジット

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	Motorsai
乗車定員(人)	12	6	3	1
登録台数(台)	1500	4500	9000	73000

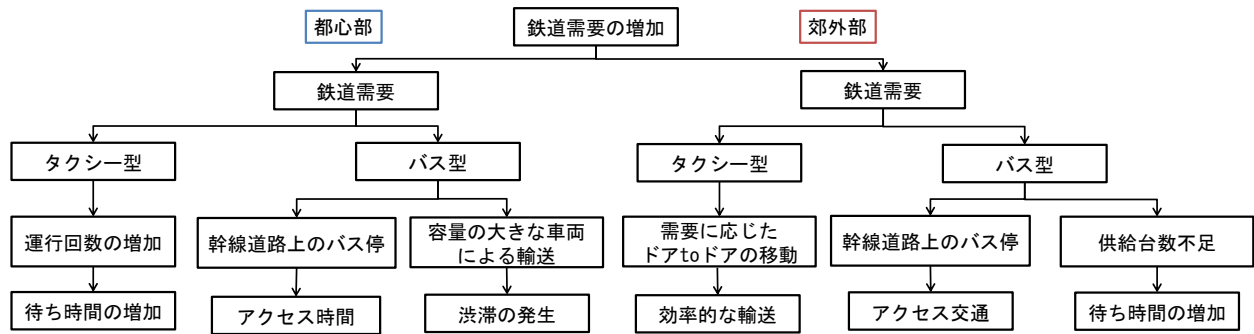


図1 導入する端末交通機関と輸送効率の因果関係

する形で存在している場合も多い。ミニバス型のパトランジットは、より大きな車両が用いられ、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従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トランジットが多く供給されている状況である。一方で、こうしたパトランジットのサービスは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自然発生を期待するのは難しい。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小さな輸送容量で十分成立するが、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、小さな輸送容量による待ち時間の増加や供給台数の増加による交通渋滞によって所要時間が増加することが考えられる。そこで本研究では、端末交通手段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。

以上の整理を踏まえ、本研究では、タイのバンコク首都圏で現行の鉄道整備計画が実現する将来において、CO₂排出量の大幅な削減に向けたモダルシフトを達成するために、各駅勢圏で必要な端末交通のビジョンを示す。この時、徒歩・パトランジット（タクシー型・ミニバス型）・タクシー・路線バスといった、運行形態や輸送力が異なるモード間で比較することで、端末交通としてパトランジットを導入することが効果的な駅勢圏を特定する。

3. 端末交通の将来ビジョンの設定

導入する端末交通機関によって運行形態や輸送効率の違いがあり、それによって都市内各地域で導入すべき機関が変わってくることが想定される。その因果関係のフローを図1に示す。

都心など鉄道需要の大きな地域では、輸送容量の大

きなバス型による効率的な輸送が必要となり、小容量のタクシー型を導入すると全ての需要を輸送するためには待ち時間が非常にかかり、また車両による混雑も発生するようになる。対して郊外など需要の小さな地域では、ドアトゥドアでの輸送が可能なタクシー型の輸送が有利となり、バス型による輸送ではその車両の供給台数が少なくて待ち時間が増加したり、需要に対して供給過多になり乗車率の低下やバスによる混雑を招く可能性がある。そこで都心の鉄道需要の多い地域へミニバス型パトランジットや路線バス、郊外の鉄道需要の少ない地域へタクシー型パトランジットやタクシーを導入するビジョンを検討する。

4. 端末交通システムの分析方法

本研究では、現状からCO₂排出量を半減させるための鉄道需要を支えるために必要な端末交通システムを検討する。ここでは、現在バンコクで計画されている総延長約500kmの鉄道ネットワーク⁹⁾が2030年までの早期段階で整備されるとして、これにより鉄道需要が大きく増加した際に、都市内の各駅勢圏に導入すべき端末交通機関の輸送特性とその導入必要台数を明らかにする。そのために、都市レベルでの幹線交通需要のシナリオにおいてCO₂排出目標とその時の鉄道需要を達成するために必要な端末交通所要時間を算出し、端末交通モデルにインプ

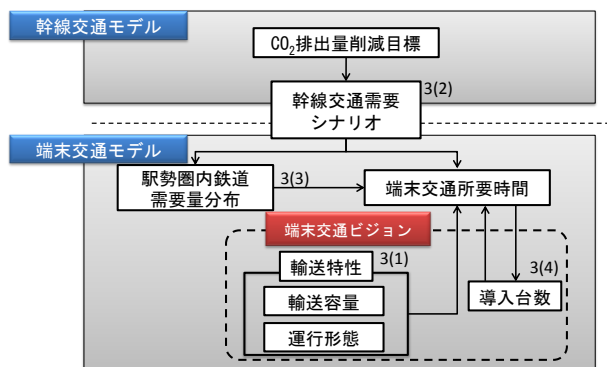


図2 分析モデルのフロー

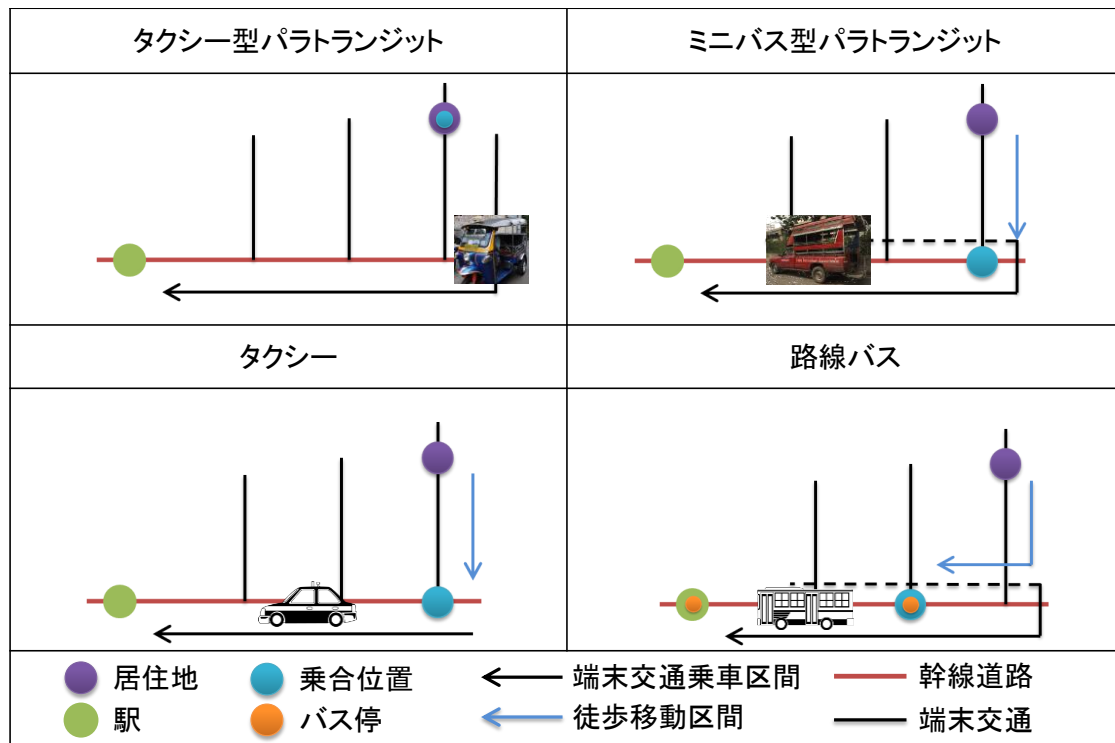


図3 端末交通手段別の運行形態の概念図

ットしその時間を達成するまで端末交通の導入台数を増加させ、必要な端末交通の導入量を逆算する。

以下の分析モデルのフローを図2に、その詳細を以下に示す。

(1) 端末交通機関の輸送特性の設定

本研究では、端末交通機関をタクシー型パラトランジット、ミニバス型パラトランジット、タクシー、路線バスに分類してそれぞれ異なる性質を考慮する。車両特性として待ち時間・アクセス・車両スペースに整理した表を表2に示す。

タクシー型パラトランジットは、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、ミニバス型パラトランジットは、中容量の車両で幹線道路上を繰り返し運行するもの、タクシーは、ドアトゥドアの移動を行うが、需要の多い幹線道路上で運行し、ソイへ侵入しないで運行するもの、路線バスは、容量の大きな車両で幹線道路を繰り返し運行するが、幹線道路上のバス停のみで乗降を行うものと位置づけ分析を行う。こうした運行形態や輸送容量の違いを考慮することで、端末交通システムのビジョンとして示す端末交通機関の適切な導入地域の違いを考慮する。

表2 端末交通手段の車両特性

	タクシー型 パラトランジット	ミニバス型 パラトランジット	タクシー	路線バス
待ち時間	輸送容量が小さいので 需要が多いと待ち時間が増加	路線道を繰り返し運行するので 供給が少ないと待ち時間が増加	輸送容量が小さいので 需要が多いと待ち時間が増加	路線道を繰り返し運行するので 供給が少ないと待ち時間が増加
アクセス	端末道路でも走行可能で ドアtoドアの移動が可能	幹線道路に100mおきにある バス停まで徒歩でアクセス	幹線道路まで徒歩でアクセス	幹線道路に500mおきにある バス停まで徒歩でアクセス
車両の スペース	小さいので混雑の原因には なりづらい	車両が大きく混雑の原因となる	一般の乗用車程度	車両が大きく混雑の原因となる

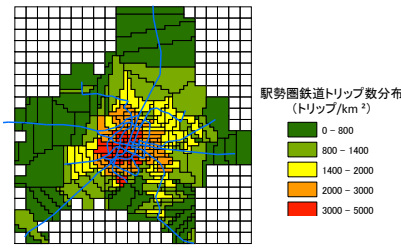


図3 駅勢圏の鉄道需要量

(2) 幹線交通需要シナリオ

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⁹⁾の都市交通シミュレーションを用いる。2050年までの鉄道整備によって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。都市域の拡大度合いを交通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において推計されたCO₂排出削減を60%にするための分担率、都市全体での鉄道分担率4割以上であるための端末交通での所要時間と、その時の3kmメッシュの地区毎の人口密度や鉄道分担率を、端末交通モデルにインプットし分析を行う。

(3) 駅勢圏内へ鉄道需要の配分

幹線交通で求められた鉄道需要を各駅勢圏に配分する。駅勢圏は対象都市を1kmメッシュで分割し、各メッシュの中心点から各鉄道駅までの距離を計算し、その距離が最も短いメッシュの集合とする。各駅勢圏における鉄道需要量を図2に示す。

1kmメッシュでの人口分布は、幹線交通モデルの人口を均等配分する。鉄道需要の端末交通量は、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。以上を考慮することで、駅勢圏の面積や幹線道路のを考慮することが可能になる。

(4) 端末交通機関導入必要台数の算出方法

幹線交通モデルから与えられた、都市全体での鉄道分担率4割を達成するための端末交通での所要時間に必要な端末交通機関とその導入量を算出する。ここでは、導入した端末交通の導入台数によって待ち時間が、車両によって輸送力が、交通渋滞によって走行速度が変わることを評価する。

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

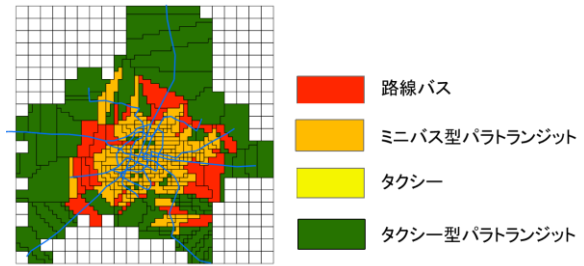


図4 駅勢圏別最適端末交通機関選定結果

測したリンクパフォーマンス関数を用いる。

端末交通の所要時間は、鉄道需要に対して端末交通機関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。

端末交通での所要時間は輸送容量と運行形態で決定され、それぞれ式(1)で算出する。それぞれの供給台数と車両別容量から総輸送容量が算出され、すべての鉄道需要者が駅まで移動するために必要な往復回数決定される。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で割った値を端末交通での平均所要時間とする。

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

ここで、

t : 端末交通平均所要時間(分)

pop : 鉄道利用人口(人)

cap : 端末交通機関の輸送力(人/台)

n : 端末交通機関導入台数(台)

t' : 駅までのOD走行時間(分)

t_w : 端末交通手段の乗車位置までの徒歩所要時間(分)

こうして求めた端末交通における所要時間が、幹線交通モデルで算出された所要時間になるために必要な各端末交通機関別の導入台数を算出する。

5. バンコク首都圏における端末交通システムの導出結果

(1) 都市内各駅勢圏別の最適端末交通機関の選定結果

各駅勢圏で最も効果的な端末交通機関を選定する。その選定方法は、バンコク首都圏における現状の各車両台数を駅勢圏の鉄道利用者人口に応じて台数を配分し、所要時間がもっとも小さくなるものとする。各駅勢圏での結果を図4に示す。

都心部の鉄道需要が特に大きく、鉄道網が発達してい

表3 各端末交通機関必要導入台数と現状登録台数との比

	タクシー型 パラトランジット	タクシー	ミニバス型 パラトランジット	路線バス
必要導入台数 (台)	436,500	0	69,950	56,200
必要導入台数 現状登録台数比	14.31	－	5.18	2.81

るため駅勢圏の小さなエリアではミニバス型パラトランジットを導入することが最も効果的となった。これは、タクシー型の輸送効率では待ち時間が非常に大きくなってしまい、アクセス距離が長い路線バスでは駅勢圏が狭いため徒歩での移動が端末交通の移動の大半を占めてしまうため、輸送効率が高く、かつアクセス距離も比較的短いミニバス型パラトランジットを導入している。

近郊部の鉄道需要が比較的大きく、駅勢圏も広いエリアでは、路線バスが最も効果的となる。これは、駅勢圏が拡大したことで都心部の駅勢圏より移動距離が長くなり、それに伴いアクセスの長さより輸送効率の高い路線バスを導入して待ち時間を減らすことが効果的になったからである。

郊外部の需要量の小さな地域では、ドアトゥドアの輸送が可能であるタクシー型のパラトランジットが選定された。端末交通での輸送量が少ないため路線型の車両は輸送の効率が悪く待ち時間が長くなる。またタクシーと比較しても、端末道路でも走行可能でドアトゥドアの移動が可能のため、タクシー型のパラトランジットが最も効果的な機関である。

(2) 都市内各駅勢圏別の端末交通導入台数の推計

都市全体での鉄道分担率4割を達成するために必要な端末交通へのパラトランジット・タクシー・路線バスの導入量を算出し、前項で選定した最適端末交通機関を各駅勢圏に端末交通を導入した際、都市全体で必要となる各端末交通機関の導入台数を算出した。(表3)

算出された各端末交通機関の必要導入台数は、現状のバンコク首都圏での登録台数と比較して、路線バスやミニバス型パラトランジットで約3~5倍、タクシー型パラトランジットでは約14倍であることが示された。

6. 結論

本研究では、将来の鉄道整備が実現する時に必要となる端末交通システムの将来ビジョンを示すために、端末交通機関による輸送特性を考慮した分析手法を示した。そして、これを用いてバンコク首都圏における各駅勢圏で最も効果的な端末交通機関を特定し、鉄道への転換を

実現するために必要な端末交通の導入量を算出した。その概要を以下に示す。

- A) 各駅勢圏での最も効果的な端末交通手段を特定した結果、鉄道需要の大きな都心ではミニバス型のパラトランジットが、鉄道需要が比較的大きく駅勢圏の広い近郊部では路線バスが、鉄道需要の小さな郊外ではタクシー型のパラトランジットによる輸送が最も効率的だと示した。
- B) 将来の鉄道需要が都市全体の4割程度になるために必要な端末交通機関の導入台数を算出した結果、特定した効率的な輸送機関を用いて、バス型のもので約3~5倍、タクシー型のもので約14倍の導入台数が必要だと示した。

こうした結果が実現可能なものか議論が必要だが、今後整備される幹線鉄道整備を支えるために必要な端末交通システムの方向性について示すことが可能になった。実際の施策導入の検討には、鉄道整備の段階で端末交通機関を適切に導入してだけでなく、徒歩で鉄道駅まで容易にアクセスできるようなTOD型の土地利用の規制・誘導を同時的に進めていくことで鉄道への転換によるさらなるCO₂排出量の大幅削減の余地があると考えられる。

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。

参考文献

- 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), Vol28, 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ラ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, Vol41, 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ラ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) Atrans: Integrating Congestion Charging Schemes and Mass Transit

Systems in Bangkok, Final Re-port, Research Grant 2009, Part A34, pp.171-205, 2009

9) 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, Vol46, (38), 2012

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