

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 低炭素端末旅客交通システム実現可能性の検討

藤田 将人^{1*}・中村 一樹²・伊藤 圭¹・加藤 博和²・林 良嗣³

¹学生会員 名古屋大学大学院環境学研究科（〒464-8603 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（〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町C1-2(651)）

³フェロー 名古屋大学大学院環境学研究科（〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町C1-2(651)）

アジア途上国大都市では、旅客交通CO₂排出量増加を抑制するために、低炭素な公共交通である鉄道などへと転換を図る必要がある。その推進策の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、シームレスな交通システムを実現する可能性を検討する。

公共交通整備が進むタイのバンコクの都心と郊外の駅周辺のエリアでケーススタディを行い、将来必要となる幹線公共交通ネットワークに対して必要となる端末交通として、パラトランジットの導入台数を決定した。その結果、幹線道路に対して端末交通の道路が多く、アクセス距離が長く徒歩での移動が困難な郊外部への導入の効果が高いこと、また現状より多くのパラトランジット車両運行が必要となることが分かった。

Key Words : Transport, Feeder transit system, Paratransit, Asian developing countries

1. はじめに

地球温暖化に伴う環境問題は人々の生活に重大な被害をもたらす可能性がある。これに対しIPCC¹⁾は、2050年までに温室効果ガスを世界で半減する目標を掲げている。こうした目標を実現するためには、経済成長途中であ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。

途上国の中でも、アジア諸国では経済成長が著しく、今後も温室効果ガスの大幅な増加が見込まれる。特に、モータリゼーションの進展に伴い、運輸部門CO₂排出量の大幅な増加が予想されている。運輸部門のうち、旅客交通起源CO₂削減策の1つとして公共交通の整備が挙げられる。アジア途上国大都市でも、幹線となる大量輸送機関の整備が行われてきた。しかし、幹線が整備されたとしても、その端末手段の整備が不十分な場合、幹線の利用を妨げ、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も考えると、幹線の端末手段も適切に導入する必要がある。

一方、アジア途上国では、パラトランジットと呼ばれる、単位当たり輸送量の小さな輸送手段が発達してきた。

パラトランジットは、渋滞が頻発し、細街路が多く存在する途上国大都市においては有効な交通手段である。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は、幹線部の大量輸送機関整備とともに、端末交通として既存のパラトランジットを活用していくことが考えられる。

そこで本研究では、パラトランジットや路線バスを端末交通として、将来の幹線公共交通に対する必要な端末交通の導入台数を決定する。また、その導入が移動費用等に与える影響を推計し、提案する端末交通システムの有効性を検討する。

2. 端末交通システムの位置づけ

(1) アジア途上国における端末交通の重要性

アジア途上国で公共交通利用が妨げられている要因として、公共交通のサービスレベルが未だ不十分であることの他に、そのアクセスが困難であることが挙げられる。Chalempongら²⁾によると、バンコクでは、乗用車交通量に対する過小な道路整備量や、不十分な歩道の整備が原

表-1 対象とするパトランジット

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				
名称	Songtaew	Silor-Lek	Tuk Tuk	Motorsai
乗車定員(人)	12	6	3	1
登録台数(台)	1500	4500	9000	73000

因で、徒歩や自転車による移動が非常に危険であり、かつ困難であるとしている。また、アジア途上国特有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。例えばバンコクでは、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。そのため、アジア途上国で低炭素な交通システムを検討する場合、幹線の公共交通整備に加え、その端末交通の整備による利用促進の可能性を評価する必要がある。

本研究では、鉄道・BRTといった大量輸送が可能な幹線公共交通に対して、その支線をバス、その端末をパトランジットで補完する、階層的な交通システムを提案する。こうした階層的な公共交通システムは、整備費用等の制約のかかる大量輸送機関へのアクセスを補助し、公共交通利用を促進する効果が期待できる。

(2)パトランジットの整理

ケーススタディ地域であるタイのバンコク都では、表-1のようなパトランジットが存在する。

外尾ら³⁾によれば、パトランジットはその運行形態や輸送力によって概ね、個別型、相乗り型、乗合型の3つに分類される。

個別型は、定員が1~3人程度で、その動力を燃料や電気、畜力、電力に頼る、個人向けのドアトゥドアサービスとして機能する。自動二輪車（Motorsai）や自動三輪車（TukTuk）が含まれる。これらは、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のすり抜けが可能といった特徴がある。

個別型より定員が大きい相乗り型は、定員が6~12人程度のもので、軽トラックやバン等の小型四輪車（Silor-lek）が用いられている。相乗り型は、ルートは決まっ

ている場合が多いが、乗り降りが自由で、料金も交渉によって決まる場合が多い。また交渉に応じてルートを変更することもある。これらは需要の少ないエリアや、バス等の大きな車両が入れない複雑な細街路の移動を担う。

さらに定員が大きなピックアップトラック（Songtaew）等を用いた乗合型（10~30人程度）では、ルートや料金が決まっている場合が多く、一般的なバス路線に近いものとなる。供給されるエリアは通常の幹線道路から、主要道路への端末や、郊外へ向かうものなど幅広い。

本研究では、こうした数種類存在するパトランジットを一般的に取り扱うために、車種別の登録台数と乗車可能人数のデータの平均値によってパトランジットの乗車人数を決定した。

3. 端末交通システム導入効果の推計方法

端末交通の導入による、移動時間に与える影響を分析するツールとして、端末交通シミュレーションモデルを構築する。

幹線公共交通の交通結節点となる駅(もしくはバス停)がカバーする必要がある地域を駅のサービス圏と定義し、実際の鉄道整備状況や将来の整備計画を基に、各駅のサービス圏を決定する。サービス圏ごとに人口密度を設定することで、サービス圏の人口を決定し、サービス圏における実際の道路整備状況を基に道路ネットワークを作成する。道路ネットワークの幹線道路部分に路線バスの走行ルートを組み込み、以上により作成したネットワークを用いて交通量配分を行い、駅サービス圏の旅客交通における所要時間を算出する。

端末交通シミュレーションのフローを図-1に示す。

(1)ネットワークデータの構築

提案する端末交通システムは、鉄道・BRT等の幹線公共交通の駅サービス圏内で運行され、交通結節点までの移動に用いられるものとする。駅サービス圏は、対象とする都市を1km×1kmのメッシュで分割し、各メッシュの中心点から幹線公共交通の各駅までの距離を計測した時に、最も短くなるメッシュの集合とする。その概念図を図-2に示す。

また、決定した駅サービス圏内の道路ネットワークは、実際の地図データから作成する。道路の交差する点、またその端点をノードとし、ノード間の道路をリンクとする。

(2)各機関別端末内OD交通量の算出

各ノードにおける発生・集中交通量は、以下のように段階的に求める。まず、駅サービス圏における人口が、圏内の各ノードに同数ずつ存在するものと仮定し、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とする。公共交通利用の発生交通量は全て、そのネットワーク内の交通結節点を目的地にするとして、集中交通量とする。また、乗用車利用の発生交通量は、駅サービス圏内の幹線道路の端点を目的地とし、乗用車利用の集中交通量とする。以上のように設定したOD交通量の各交通機関への需要配分の過程を以下に示す。

まず、乗用車分担率を設定し、発生交通量を乗用車利用と公共交通利用にそれぞれ配分する。次に、Chalempongらが示した、駅までの距離とアクセスモードの関係性を基に、端末交通における徒歩、あるいは公共交通機関(パトランジット)の選択を2項ロジットモデルによって表現する(図-3)。この関係を用いて、交通結節点までの移動を、徒歩によるアクセスと、公共交通によるアクセスに配分する。その上で、公共交通をアクセスに用いるOD交通量について、徒歩をアクセスとする場合との所要時間を比較し、徒歩の所要時間より長くなる場合は徒歩を選択するものとする。各交通機関への交通量の配分方法を図-4に示す。

(3)交通量配分計算

以上の手法で設定・算出したネットワークデータと各交通手段のOD交通量を各リンクに配分する。各リンクの旅行速度を基にDijkstra法を用いて最短経路を決定し、その計算を所要時間が収束するまで行うことで、各リンクの交通量を最適化する。OD間の所要時間は、まず求めた最短経路のリンクにOD交通量をすべて配分し、各リンクにおける交通量から、道路交通の旅行速度を算出する。その値を基にOD交通量を再配分し、所要時間が

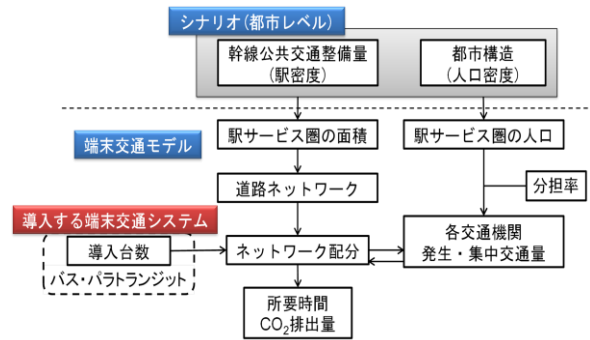


図-1 端末交通シミュレーションフロー

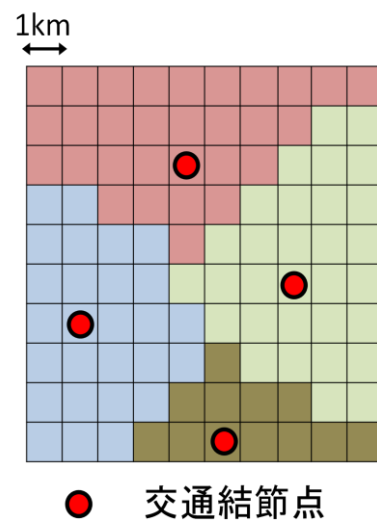


図-2 駅のサービス圏決定方法(概念)

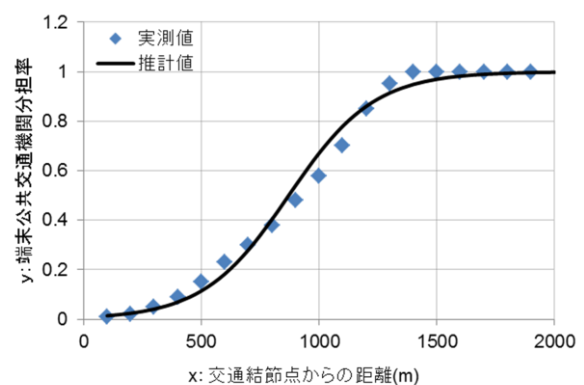


図-3 端末交通における徒歩分担率

収束するまで繰り返し計算する。各リンクの走行速度は、渡辺ら⁴⁾の手法により導出される交通量と平均旅行速度の関係式を代入することで算出される。

(4) 端末交通所要時間の算出

端末交通の所要時間は、ネットワーク上の幹線道路に設定したバスルートの走行時間と、各ノードからバスルート上に設定したバス停までのパトランジットによる走行時間の合計である。パトランジットとバスを利用する際のそれぞれの待ち時間を考慮するため、すべての発生交通量のアクセスを完了させるために必要な時間の平均値を所要時間とする。つまり、各ノードからの端末交通所要時間は、そのノードからの端末交通利用者数を定員乗車のパトランジットと、パトランジットが接続するバスが往復して輸送すると仮定し、輸送が完了するまでの総時間の2分の1となる。

これを定式化し、端末交通の所要時間は、パトランジットについては式(1)、バスについては式(2)で算出する。

$$T_{para} = (2 \cdot \frac{pop_{para}}{cap_{para} \cdot n} - 1) \cdot t \quad (1)$$

ここで、 T_{para} ：パトランジット所要時間(分)、 pop_{para} ：パトランジット利用人口(人)、 cap_{para} ：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 ：運行経路の走行時間(分)

$$T_{bus} = \frac{pop_{bus}}{cap_{bus} \cdot n} \cdot t \quad (2)$$

ここで、 T_{bus} ：バス所要時間(分)、 pop_{bus} ：バス利用人口(人)、 cap_{bus} ：バスの輸送力(人/台)、 n ：バス導入台数(台)、 t ：バスルートの走行時間(分)

(5) CO₂排出量の算出方法

各リンクの交通量にリンク延長、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排出量を算出する(式(3))。原単位については、平均旅行速度が燃料消費量に与える影響を加味するために、松橋ら⁹⁾による速度と燃料消費量の関係式を用いて、燃料消費量を算出する。ただし、松橋らの式は乗用車を対象としたものであるが、パトランジット・バスについても、乗用車と同じ割合で燃料消費量が変化すると仮定する。その燃料消費量に、燃料別の排出係数を用いてCO₂排出原単位を算出する。

$$CO_{2j}(i) = \sum_i q_j(i) \cdot l(i) \cdot E_j(i) \quad (3)$$

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

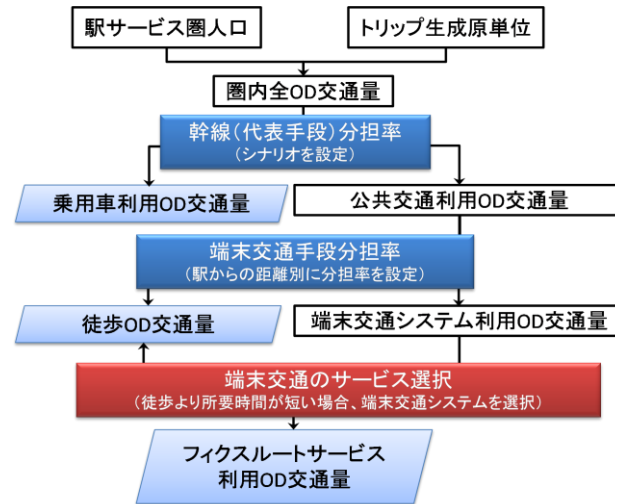


図-4 各機関への交通量配分方法



図-5 ケーススタディのエリア



図-6 ケーススタディエリア詳細

表-2 サービス圏における設定値

	都心	郊外
人口密度 (人/km ²)	19,800	7,400
公共交通 分担率	0.34	0.23
平均速度 (km/h)	13.8	19.6

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)

4. タイ・バンコク都への適用

(1) ケーススタディの概要

バンコク都を対象に、2029年までの鉄道整備計画⁹⁾が実現した場合を想定する。図-5、6のように、都心部と郊外部で1ヶ所ずつサービス圏を選定し、ケーススタディを行う。

バンコク都の人口密度、輸送機関分担率、幹線道路における平均速度の値は2030年ごろの状況を念頭に設定する(表-2)。そのうえで、幹線道路の平均速度が設定値になるように、ネットワーク配分計算で通過交通量を与える。

(2) 端末交通システム導入効果の推計

端末交通システムの導入効果として、パトランジット導入台数と端末交通の所要時間、トリップあたりのCO₂排出量との関係を図-7、8に示す。

所要時間については、パトランジットの台数増加に伴い、駅サービス圏の交通量が増加するため、平均速度が低下し、運行経路の走行時間は増加する傾向にある。一方で、運行頻度が増加するため端末交通の待ち時間が減少し、アクセスの全所要時間も減少する。

郊外では、交通結節点までのアクセス距離が長く、バス・パトランジット交通利用者が多いこと、パトランジット利用区間が長いことから、パトランジット導入による所要時間の減少幅は都心より大きい。

トリップあたりのCO₂排出量については、パトランジットの台数増加に伴い、交通量増加と速度低下が生じ、燃料消費量とともに増加する傾向となる。ただし、駅までのアクセスを乗用車で行った場合と比較すると、乗用車と端末交通システムの輸送力の差によって、端末交通システムを利用した方がCO₂排出量が削減できると言える。

(3) 端末交通システムの実現可能性の検討

都心・郊外の2つのサービス圏のパトランジット台数の合計を、現状のパトランジット登録台数をバンコク都全人口と対象2地域の人口の比によって比例配分すると、780台となる。この台数をさらに各地域へ割り振る際、パトランジットを1台導入した時の所要時間の限界削減効果を算出し、都心と郊外で同量の限界削減効果を発揮するために必要な台数として算出する。それによって、都心と郊外それぞれにおけるパトランジット導入台数の最適な値を検討する。

都心・郊外へのパトランジット導入台数のバランスを検討するため、パトランジット導入台数に対する所要時間の限界削減効果を図-9に、そこから導出したパトランジットの都心、郊外での導入台数による効果を表

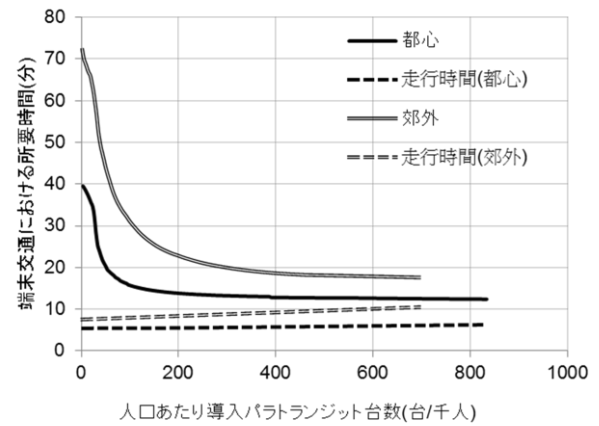


図-7 導入するパトランジット台数-所要時間

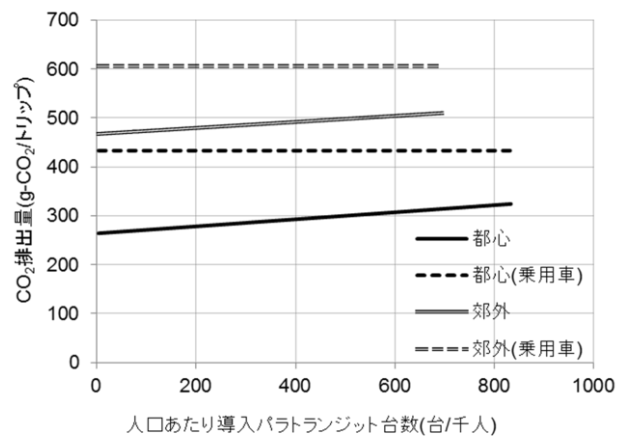


図-8 導入するパトランジット台数-CO₂排出量

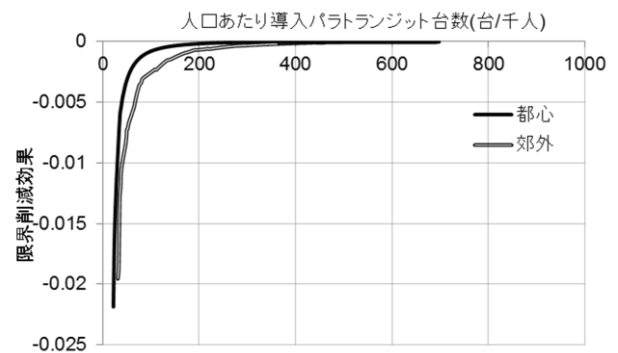


図-9 導入するパトランジット台数
-所要時間限界削減効果

-3に示す。同じ限界削減効果を発揮するためには、郊外の方により多くの台数を導入する必要があることが分かった。

また、パトランジットを導入した際の、端末交通システムと乗用車の一般化費用を比較した。乗用車のコストとして、ガソリン消費量と乗用車の所有コストを加算した。その結果、端末交通システムは乗用車に比べて、パトランジット・バスの運賃を仮に0としても、都心

では23パーツ，郊外では62パーツ多く一般化費用がかかることが分かった．乗用車と同じ一般化費用とするために乗用車の燃料価格を上げるとすると，都心では燃料価格を現状の5.3倍，郊外では15.0倍にする必要がある．また，導入台数を増加させる場合は，都心で3,160台，郊外で2,270台となった．

5. 結論

本研究では，アジア途上国において低炭素旅客交通システムを構築するために，パラトランジットを末端交通として位置づけ，幹線公共交通を補完する階層的なシステムの実現可能性を検討した．その結果，パラトランジット利用が乗用車利用よりもCO₂排出量を小さくすることが示された．また，末端交通の所要時間はパラトランジットの導入台数とともに減少し，公共交通への徒歩アクセスが比較的困難な郊外でその効果が高いことが分かった．

末端交通システムが十分に効果を発揮するためには，削減効果の高い郊外部に重点的に導入することが有効である．現状のパラトランジットの台数を人口の割合に比例配分した台数を，都心と郊外で所要時間削減効果を基に最適配分した場合，それぞれ都心で240台，郊外で540台であった．しかし，末端交通システムが乗用車で駅までアクセスする場合と同程度の一般化費用となるためには，都心部で3160台，郊外部で2270台必要であり，燃料価格や乗用車価格を上げて乗用車の利用を制限することや，末端交通としてパラトランジット導入台数を増やす必要があることが分かった．

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．

表-3 パラトランジットの導入台数とその効果

	都心	郊外
導入台数(台/千人)	36	84
所要時間(分)	18.09	35.68
所要時間削減率(%)	57.4%	50.6%
CO ₂ 排出量(g-CO ₂ /トリップ)	267	472
CO ₂ 排出量削減率(%)	38.4%	22.1%
(全交通が乗用車の場合から)		

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(2007)：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) 外尾一則・ヨッポン，タナポリブーン(1993)：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
- 4) 渡辺由紀子・長田基広・加藤博和(2006)：LRTシステム導入の環境負荷評価：代替輸送手段との比較と環境効率の適用，日本LCA学会，Vol.2, No.3, pp.246-254
- 5) 松橋啓介・工藤祐揮・森口祐一(2007)：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，地球環境シンポジウム，Vol.12, No.2, pp.179-189
- 6) Atrans(2009)：Integrating Congestion Charging Schemes and Mass Transit Systems in Bangkok, Final Report, Research Grant 2009, Part A34, pp.171-205

Feasibility Analysis of Low-Carbon Passenger Transport Systems with Paratransits as Feeder Transit for Mega-Cities in Asian Developing Countries

Masato FUJITA, Kazuki NAKAMURA, Hirikazu KATO, Yoshitugu HAYASHI