

令和元年6月13日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02632

研究課題名(和文) アジア中規模都市におけるパラトランジット～次世代交通の調和型計画・事業の促進策

研究課題名(英文) Study on Locally Adapted, Modified and Advanced Transportation (LAMAT) in Middle-sized Asian Cities

研究代表者

屋井 鉄雄 (YAI, TETSUO)

東京工業大学・環境・社会理工学院・教授

研究者番号：10182289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,670,000円

研究成果の概要(和文)：地域に根差した交通システムであるパラトランジットを新たに、LAMAT(Locally Adapted, Modified and Advanced Transport)という名称で再定義し、ベトナム、フィリピン、カンボジア、インドネシア、タイの研究者とともに、これらにスリランカ等を加えたアジア各国の中規模都市を対象に、利用者、ドライバー、組合、政府等の主体を含む総合的な調査を実施し、LAMATの固有性と一般性を明らかにし、LAMATの計画や事業を分析・評価するための計画検討ツールを開発し、一部成果のモデル地域での実験等を通じて、LAMATと次世代交通との調和型計画事業促進に有用な成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アジア諸国でみられるパラトランジットは、それぞれの地域で固有の移動手段として定着しているが、近年の予約アプリや電気自動車の普及等によってその形態やシステムを急速に変えつつある。本研究では、このようなパラトランジットを、LAMATという名称で肯定的に再定義し、アジア中規模都市を対象に近年の変化を総合的に調査して体系的に示し、同時に観測・データ収集方法、需要分析方法、ドライバーや組合など運営側のモデル化を進めたことから学術的にも意義が高く、また今後のLAMATの都市交通としての持続性を研究成果を総合して考察した点で社会的意義も大きいと考える。

研究成果の概要(英文)：Paratransit, which is a transportation system rooted in the region, has been redefined under the name LAMAT (Locally Adapted, Modified and Advanced Transport). Together with researchers from Vietnam, Philippines, Cambodia, Indonesia, Thailand, and Sri Lanka, we conducted a comprehensive survey of medium-sized cities in Asian countries, including users, drivers, unions, and governments. Then, we clarified the uniqueness and generality of LAMAT, and developed a planning analytical tool to evaluate LAMAT's plans and projects. In addition, by experimenting some results in the model area, we obtained useful results to promote planning and projects in which LAMAT and the next-generation transportation system harmonize.

研究分野：土木工学・土木計画学

キーワード：LAMAT パラトランジット 都市交通計画 開発途上国 ライドシェアリング ライドヘイリングアプリ
EV 次世代交通

1. 研究開始当初の背景

成長著しいアジアは 2050 年に世界人口の半分以上、温室効果ガス排出量の半分以上を占めると言われ、エネルギー需要も全世界の 4 割以上に拡大し、石油から電力への最終エネルギー消費シフトが加速すると予想されている。このような中、都市における交通起源の環境・エネルギー負荷削減に対する技術面からの改善方策として、電気自動車を利用する交通システム導入等が検討されてきた。しかし、既存の交通低炭素化の計画策定とその評価ツールの開発は、各国首都のようなメガシティを対象とするものが大半であり、人口 100 万人前後で、人口累計はメガシティのそれに勝る多数の中規模都市を対象とした事例分析や学術研究は十分ではない。

本研究はこのアジア中規模都市に着目して、次世代型交通を検討するにあたり、それらの都市に根ざした地域交通であるパラトランジット (Paratransit) に着目し研究を進めた。パラトランジットの定義は必ずしも確立していないが、路線や運行ダイヤが固定された公共交通機関と、自家用車のような私的交通機関との中間に位置づけられることが多い。ルート、運行形態、顧客属性、料金、組織運営等においてアジア各都市のパラトランジット交通が、欧米の身障者向けの特殊な交通とは異なり、多様で当該地域の社会・経済構造と不可分のものとなっており、観光資源としての有用性も再評価されつつある。

しかし、こうした地域交通パラトランジットと調和的な次世代交通の導入及びパラトランジットのスマート化を分析・評価するツールや導入スキームは確立していない。長期的にスマートグリッドを基軸とする次世代型の都市交通インフラの社会実装を考えるに当たり、現状のパラトランジットの社会的位置付けや多様な存在形態を解明し、上記の諸点を念頭に置いた施策効果分析・評価ツールの開発と、地域に真に適したパラトランジットの事業展開スキームの提案等を行うことが重要であり社会的にも意義が大きいと考えた。

2. 研究の目的

本研究では、アジア各国の中規模都市を対象に、各地域に根差した地域交通システムとしてのパラトランジットを総合的に調査し、そこで得た情報を用いてパラトランジットシステムの一般性・固有性を解明した上で、次世代交通調和型の計画や事業を分析・評価するための計画検討ツールを新たに開発し、一部成果のモデル地域での実験・試行等を通じて、アジア中規模都市におけるパラトランジットと次世代交通の調和型計画および事業促進のための知見を得ることを目的とした。

本研究では、次世代交通と一体的なパラトランジット交通システム及びスマート化されたパラトランジット自体を LAMAT (Locally Adapted, Modified and Advanced Transport) と称し、その実現のために以下の 5 点の調査・研究開発に取り組むこととした。すなわち、(1) LAMAT に関する都市総合調査の実施と一般性・地域固有性の解明、(2) 将来の LAMAT を含む次世代交通システムのアジア都市への実装のための課題抽出と構造化、(3) LAMAT に対する将来交通需要予測システムの開発、及び共存型交通マネジメント方策検討のためのシミュレーションツールの開発、(4) LAMAT のサービス改善策の検討、(5) LAMAT 共存型計画および事業推進方策の検討に基づく LAMAT の持続可能性の検討の 5 つである。

3. 研究の方法

東京工業大学の交通・都市・社会系の研究者を中心に、ベトナム、フィリピン、カンボジア、インドネシア、タイ、5 か国の大学研究者を協力者とし、全面的に協力を依頼する形とするためアジア交通学会に国際研究グループを設置して研究を遂行した。まず 1-2 年目は主にアジア各国中規模都市におけるパラトランジットに関する総合調査を企画し、同時に各国の計画制度及び事業者組織等のガバナンス構造に関する現地調査を実施し、パラトランジットシステムの一般性と固有性とを調べその解明に努めた。続く 2-3 年目は、プノンペン、マニラ、ジャカルタ、バンコク、キャンディ (スリランカ) 等のモデル都市を選定し、市民の交通行動の調査、パラトランジット行動圏域調査等に基づいて、利用者や LAMAT の詳細な把握方法、交通需要予測モデルの開発等を中心に進めた。また同時にパラトランジットの組合等、運営側の組織形態について各国で調査を実施して取りまとめた。そして 3-4 年目は、LAMAT と幹線系交通システムとが統合された将来のモビリティシステムを構想しつつ、その実現に向けて関わる幾つかの影響要因の分析や、LAMAT の持続的発展性を考慮した共存型計画や事業推進の考え方を考察し取りまとめた。

4. 研究成果

(1) パラトランジット総合調査の実施と問題構造の解明

アジア地域のパラトランジットの全体像を明らかにするため、各国研究協力者の知見も踏まえて各国の中規模都市を選定し、マラン、プノンペン、バンコク等で分担して総合調査を実施した。文献調査等による基本的な定義や役割の把握の後に、パラトランジット車両の技術特性 (エンジン特性や車齢等)、都市環境や他の都市交通へのインパクト、運行・料金体系、交通安全面を含む利用者の意識等を、現地での事業者ヒアリングや街頭インタビュー等によって収集した。なお、本研究ではアジア地域のパラトランジットを LAMAT (Locally Adapted Modified and Advanced Transport) という名称で再定義し直して、地域的に適用され応用され、そして先進的な技術の活用まで様々なレベルの車両・システムが存在することを前提に、それらを 1

つの言葉で表現するために用いたものである。近年はEV化やライドヘイリングアプリの活用等によってLAMATの利用形態も徐々に変化してきている。このような変化は今後一層進むことも予想されるため、LAMATの利活用が進む南アジアのスリランカ主要都市等を新たに対象に加え、各地の事業者や組合へのヒアリングや街頭インタビューを通じて、LAMATのトリップ特性や活動空間範囲の実態を詳細に分析した。

(2) LAMATに関わる都市の計画制度とガバナンス等の調査

パラトランジット総合調査に並行して、アジア各国の都市交通計画制度や公共交通制度の体系について、規制の有無、運賃決定方式、財源等に関する現地行政機関へのヒアリング調査を実施し、特に日本、フィリピン、ベトナム、カンボジア、インドネシア、タイの6か国の情報を論文に取りまとめた^{1), 2)}。また、パラトランジット事業者の組合組織の構造に着目し、事業経営のガバナンスや、雇用機会を提供する社会装置としてのパラトランジット事業の実情について、特にカンボジア、インドネシア、スリランカ等を対象にして事業者へのヒアリング調査、ドライバーへのインタビュー調査を実施し、その社会的構造と意義とを明らかにしている。

スリランカでは、three-wheeler (3W)と呼ばれるパラトランジット産業の実態を把握するため、3W関連のステークホルダーを対象に、コロボ、モラトゥワ、パドゥッカ、キャンディにおいて全19団体に対してインタビュー調査を実施した。ドライバーはSocietyと呼ばれる約15人のグループを形成し、ドライバーからの会費を原資として福祉、事故対応サービスなどをドライバーに提供しており、ドライバー間の協力により3W事業を運営していることが分かった。また、キャンディでは地方政府が3W産業を減少させ、バスサービスを充実させる政策を実施しており、地方政府とSocietyおよびドライバーの関係が悪い地域もある。このように、3Wドライバーの仕事と生活は、地方政府やSocietyなどの団体やドライバー間の関係、つまりソーシャル・キャピタルに影響されているものと考えられる。そこで、ドライバーの生活満足度にソーシャル・キャピタルが与える影響を順序ロジットモデルにより分析した結果、コロボとモラトゥワでは仕事へのやりがいや満足度など業務に関する変数が大きな影響を与え、キャンディでは業務に無関係な友人との関係など一般的なソーシャル・キャピタルがより生活満足度に大きな影響を与えることが分かった。

(3) LAMAT 運行に伴うエネルギー消費モデルの構築

インドネシアの中規模都市マラン市におけるパラトランジット、アンコットを対象に、実走行中の燃料消費量、および走行パターンについて現地観測調査を行い、その結果を基に燃料消費量に影響を与える要因を検討した。重回帰分析を用いて燃料消費量推計モデルを推定し、アンコットの運行における燃料消費量を推計して実測値との比較、および燃料消費量への各要因の寄与割合の推定を行った。また、アンコット効率化施策の1つとして電気自動車を導入した際のエネルギー消費量やこれにかかる費用等を試算し、施策の効果に関する考察を行った。

マラン市には主要道路を走る乗降場所が自由なアンコット路線が22ある。本研究では14台の車両の実走行燃料消費調査と現地観測調査を行い、それらを用いて燃料消費量の推計を試みた結果、アイドリングおよび走行距離が燃料消費量に大きな影響を与えており、加速量はあまり大きな影響を及ぼさないことが分かった。また、アンコット効率化の手段としてEVの購入を検討し、購入費用がガソリン車の1.5から2倍程度を下回れば20年程度の長期運用の場合には費用節約が可能であり、経営面・環境面を考慮すると導入を検討する価値があることが示された。なお、本研究で推定された燃料消費モデルはある程度観測値を再現しているとはいえ、改善の余地が大きく、アンコット効率化の施策にはEVの導入以外にも、バス停の設置なども考えられ、複数の施策を比較検討することも重要な課題の1つであることを確認した。

(4) LAMAT 需要及び運行データの取得方法の検討

固定ルートを持たないLAMATが都市内でどのように分布しているかを把握することは交通計画の基礎データとして重要である。そのような車両分布状況を把握するためには衛星画像データや航空写真データ等が活用可能である。そこで本研究では、R-CNNによる機会学習モデルを開発し、そのモデルによってLAMATの存在箇所を特定し、それを空間的に集計する方法を開発した。具体的にはフィリピンのマニラ都市圏を対象として、衛星画像として解像度が高くないが汎用性のあるグーグルアースを用い、比較的小さなLAMATであるトライシクルを一定の精度で検出することを目標にモデルを開発した。その結果、概ねの空間精度での分布状況であれば、十分に再現可能であることを明らかにできた。この成果より、LAMATの実態を現地調査しなくとも概ね把握することができ、LAMATとLRT等の幹線系交通との結節を考慮した交通計画等を立案する際の基礎データとして活用するための方法論として提案している。

また、パラトランジット乗客の交通行動の実態把握に関して、従来はフィールドインタビューや紙ベースのアンケートに基づく調査が行われていたが、精度や費用の観点から課題が残されていた。特にパラトランジットは、バス停のような指定乗降位置を定めず、経路上の任意の位置で客が乗降できることから、詳細の交通パターンの把握が困難であった。そこで、タイのクラビ市で現地のパラトランジット事業者の協力のもと、小規模のフィールド実験を行い、パラトランジット乗客の搭乗および降車位置の把握へのWi-Fiモニタリング技術の適用性可能性を検討した。各車両にGPSロガーとプローブ要求のスキャン装置であるWi-Fiスキャ

ナーの両方を装備することで、乗客の搭乗および降車位置を半自動的に収集するフレームワークを提案した。フィールドテストの結果より、(1)適切なデータクリーニング手順を使用することでパラトランジットの乗客監視には関係ないと思われるノイズの多いデータの多くをある程度排除できること、(2)移動距離が短すぎる Wi-Fi データを適切に除外することが推計精度向上のために特に重要であること、等が示され、Wi-Fi データを実際の位置情報に適切にマッチングさせる方法の妥当性が確認された。

(5)LAMAT の分析手法論の開発とその精度検証

ホーチミン・シティ、プノンペン等でのアンケート調査データを用いて、LAMAT の需要分析モデル開発を行った。ホーチミン・シティのデータでは、バスや現存しない小型 LAMAT に対する利用意識データをもとにモデル化を進め、その成果を同地での学生参加型のバス利用実験の結果分析にも活用した。LAMAT の多くはフィーダー部を担うことから、通常のアクセス手段選択モデルなどの構築によって簡単な需要分析は可能であるが、将来の自動運転を含むサービスのシームレス化の促進によって、大きな誘発需要をもたらす可能性もある。そのように未だない交通手段に対する需要予測は、従来から必ずしも十分に行えていない課題であるが、従来の LAMAT の延長であれば、既存の交通需要モデルの応用で対応可能と考えられる。

一方、近年急速に広がるマッチングサービスについては、新たな分析のフレームを必要とすることから、途上国で日常的に利用されている短距離の相乗り公共交通システムの特性を理論的に分析するため、相乗り利用者間の選好をマッチング成立モデルの説明変数に加え「相乗り」という行動に固有の特徴を検討した。個人間の選好は相乗り者同士の性別や年齢に加えて、社会的ネットワークの結びつきの強さにも影響されると考えられるため、そのことも反映した相乗り行動の挙動をモデル化した。

また、相乗りに対する個人の選好は日々の交通経験の中で蓄積されると考えられるため、動的挙動のモデル化の際には、一日の中での挙動と日々の動的挙動の両方を考慮する必要がある。相乗りシステムの利便性は混雑状況や料金によっても左右され、システム的设计条件によっては、相乗り交通システムが利用者に受け入れられ、次第に利用者数を増やすこともあれば、逆にシステムが衰退することも考えられる。そこで、相乗りシステムの日々の進化を記述できるモデルを開発し、シミュレーションによりその特性を分析した。これらの結果は伝統的な車両を用いた端末輸送手段としての相乗りシステムの動的な特性の解明に適用可能であると同時に、将来の自動運転車両による相乗りシステムの設計にも応用可能であると考えられる。

(6)共存型計画・事業推進のスキーム提案と社会実装等

本研究では、アジア新興国における LAMAT が一定の需要とニーズに支えられ、市民の生活交通モードとして根付いている反面、性能や運行面において多くの課題があることを明らかにした上で、LAMAT を取り巻く近年の改善動向を詳細に調査し、EV 車両や配車アプリ等の ICT 応用により、課題改善を目指した新しい機能、システム、サービスが開発・導入されていることを確認した。これらを踏まえて、将来、自動運転が普及する時代の LAMAT を構想するため、独自のアンケートによる自動運転モビリティの普及に影響する人々の受容要因の考察、将来の LAMAT を含む地域間モビリティシステムによるエネルギー消費と利用者利便性とのトレードオフ関係のシミュレーション分析などを行い、従来の LAMAT が新モビリティ交通と共に環境面・経営面で共存しうる計画と事業推進のありかた等について考察を深めた。さらに都市交通システムとしての LAMAT が持続発展性を有し、都市の交通システムに今後も組み込まれる可能性があることを強調した。一方、これらの検討・考察を進める上で、将来の本格的な社会実装を想定しつつ、ベトナム・ホーチミン工科大学の協力を得ながら学生の参画による社会実験等を企画・実行し、幾つかのインセンティブ付与による公共交通利用促進の実装実験を行い、その成果を現地と共有したことや、各国での研究セミナーの開催や行政担当者との交流などに努め、LAMAT を用いたライドヘイリングアプリの急速な普及拡大が進むプノンペン等では現地行政当局に今後の LAMAT のありかたや組合組織化の意義などについて助言や提案を行うなどの連携を深める取組みを行った。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 29 件)

1) Achmad WICAKSONO, Iv LIM, Yasunori MUROMACHI, Karl N. VERGEL, Kasem CHOOCHARUKUL, Van Hong TAN, Kiyohisa TERAJ, Daisuke FUKUDA, Tetsuo YAI: Road-based Urban Public Transport and Paratransit in Six Asian Countries: Legal Conditions and Intermodal Issues, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 11, pp. 227-242, 2016. (査読有)

2) Yasunori MUROMACHI, Iv LIM, Achmad WICAKSONO, Karl N. VERGEL, Kasem CHOOCHARUKUL, Van Hong TAN, Kiyohisa TERAJ, Daisuke FUKUDA, Tetsuo YAI: A Comparative Study on Road-based Urban Public Transport Policies in Six Asian Countries from the Viewpoint of Governance, Urban Planning, and Financial Aspects, Journal of the

Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 11, pp. 1433-1450, 2015. (査読有)

3)Veng Kheang PHUN, Tetsuo YAI: State of the art of paratransit literatures in Asian developing countries, Asian Transport Studies, Vol. 5, pp. 57-77, 2016. (査読有)

4)Veng Kheang PHUN, Tetsuo YAI: Intention of paratransit drivers to operate as feeder service of public bus in Phnom Penh, Transport Policy Studies' Review, Vol. 19 (2), pp. 2-14, 2016. (査読有)

5)Satomi AIKO, Phathinan THAITHATKUL, and Yasuo ASAKURA: Incorporating User Preference into Optimal Vehicle Routing Problem of Integrated Sharing Transport System, Asian Transport Studies, Issue 1, pp. 98-116, 2018. (査読有)

6)澤田進太郎, 室町泰徳, インドネシア地方中規模都市におけるアンコットの实走行燃料消費に関する研究, 都市計画論文集, Vol. 52(3), pp. 776-781, 2017. (査読有)

7)Veng Kheang PHUN, Hironori KATO, Tetsuo YAI: Traffic Risk Perception and Behavioral Intentions of Paratransit Users in Phnom Penh, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol.55, pp.175-187, 2018. (査読有)

8)Pathinan THAITHATKUL, Toru SEO, Takahiko KUSAKABE, Yasuo ASAKURA: Evolution of a dynamic ridesharing system based on rational behavior of users, International Journal of Sustainable Transportation, Vol.13, pp. 614-626, 2019. (査読有)

9)金野 貴紘, 荒井 勇輝, 屋井 鉄雄: R-CNNによる途上国を対象とした車両検出方法に関する研究, 土木学会論文集 D3, Vol. 74(3), pp.193-202, 2018. (査読有)

10)増井 玲子, 屋井 鉄雄: アジアの都市交通LAMATの高度化動向と持続発展性に関する考察, 土木学会論文集 D3, Vol.74(5), pp.327-337, 2018. (査読有)

[学会発表](計23件)

1)Phathinan THAITHATKUL, Toru SEO, Takahiko KUSAKABE Yasuo ASAKURA: Field experiment on traveler' s behavior in ridesharing system, The 21st International Conference of Hong Kong Society For Transportation Studies, Hong Kong, 2016.

2)Satomi AIKO, Phathinan THAITHATKUL, Yasuo ASAKURA: Incorporating User Preference into Optimal Vehicle Routing Problem of Integrated Sharing transport System, The 12th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vietnam, 2017.

3)Daisuke FUKUDA, Hana KOBAYASHI, Wataru NAKANISHI, Yoshiki SUGA, Kerkritt SRIROONGVIKRAI, Kasem CHOOCHARUKUL: Estimation of Paratransit Passenger Boarding / Alighting Locations Using Wi -Fi based Monitoring: Results of Field Testing in Krabi City, Thailand, 12th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vietnam, 2017.

4)Shinya Hanaoka: Three-wheelers in Sri Lanka: Management and Driver Satisfaction, 8th International Symposium on Travel Demand Management, Taiwan, 2017.

5)Takashi HIRAIDE, Tomoya KAWASAKI, Shinya HANAOKA: Clarification of Public Transport Usage Conditions in Ahmedabad, India, 24th International Conference on Urban Transport and the Environment, Spain, 2018.

6)Pathinan THAITHATKUL, Toru SEO, Takahiko KUSAKABE, Yasuo ASAKURA: User Equilibrium Model of Ridesharing Transport with High-Occupancy Vehicles Lane, Proceedings of the 14th International Conference on Advanced Systems in Public Transport, Australia, 2018.

7)Daisuke FUKUDA, Natsuho IHOROI, Wataru NAKANISHI, Mikiharu ARIMURA, Takumi ASADA, Ken-etsu UCHIDA, Daisuke KAMIYA, Yoshiki SUGA: Wi -Fi based Continuous Monitoring of Tourist Travel Behavior: Results of Two Large-Scale Field Experiments in Japan, The 15th International Conference on Travel Behavior Research, USA, 2018.

6 . 研究組織

(1)研究分担者

朝倉 康夫 (ASAKURA, Yasuo)
東京工業大学 環境・社会理工学院 教授
研究者番号：80144319

室町 泰徳 (MUROMACHI, Yasunori)
東京工業大学 環境・社会理工学院 准教授
研究者番号：40251350

花岡 伸也 (HANAOKA, Shinnya)
東京工業大学 環境・社会理工学院 教授
研究者番号：90467027

坂野 達郎 (SAKANO, Tataro)
東京工業大学 環境・社会理工学院 教授
研究者番号：40196077

福田 大輔 (FUKUDA, Daisuke)
東京工業大学 環境・社会理工学院 准教授
研究者番号：70334539

中道 久美子 (NAKAMICHI, Kumiko)
東京工業大学 環境・社会理工学院 特定准教授
研究者番号：80599118

寺井 清寿 (TERAJ, Kiyohisa)
東京工業大学 科学技術創成研究院 特任教授
研究者番号：80751247

齋藤 潮 (SAITO, Ushio)
東京工業大学 環境・社会理工学院 教授
研究者番号：30162184

川崎 智也 (KAWASAKI, Tomoya)
東京工業大学 環境・社会理工学院 助教
研究者番号：30705702

中西 航 (NAKANISHI, Wataru)
東京工業大学 環境・社会理工学院 助教
研究者番号：70735456

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。