

# バスと乗合タクシーを組み合わせた 複合的公共交通サービスの効率性分析

藤垣 洋平<sup>1</sup>・中井 諒介<sup>2</sup>・高見 淳史<sup>3</sup>・Giancarlo TRONCOSO PARADY<sup>4</sup>・  
原田 昇<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生会員 東京大学大学院博士課程 工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)  
E-mail: fujigaki@ut.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 国土交通省近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 (〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂142)  
E-mail: nakai-r86qj@mlit.go.jp

<sup>3</sup>正会員 東京大学大学院准教授 工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)  
E-mail: takami@ut.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 東京大学大学院助教 工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)  
E-mail: gtrncoso@ut.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 東京大学大学院教授 工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)  
E-mail: nhara@ut.t.u-tokyo.ac.jp

近年、鉄道・バス・タクシー・カーシェアなどを組み合わせて一体的な料金体系で提供し、自家用車保有の代替となることを目指す Mobility as a Service (MaaS) というサービス概念が提唱され、世界的に注目を集めている。本研究では、MaaS の理念に即したサービスの一形態として、同一地域内に定時定路線バスと乗合タクシーを共存させ、定額制で提供する複合的公共交通サービスを想定し、複数のシナリオでその効率性を評価した。また、都市政策との連携を念頭に、地域の空間構成が効率性に与える影響も評価した。その結果、居住地や目的地がある程度集約されている地域では、乗合タクシー単独よりも路線バスと併用した方が効率的になる場合があり、また目的地が集約されている方が効率が上がることを示唆する結果が得られた。

**Key Words:** MaaS, DRT, shared-ride taxi, taxi, bus, public transportation

## 1. はじめに

本研究では、Mobility as a Service (MaaS) の一形態である Metro-MaaS<sup>1)</sup> の概念に則った複合的公共交通サービスを想定し、定時定路線バスと乗合タクシーを組み合わせた交通サービスの効率性について評価を行う。1章では、まず本研究の背景として、DRT と定時定路線バスの地域公共交通計画におけるこれまでの関係性を整理したうえで、近年注目を集めている MaaS 概念と、都市構造との関係性について概説する。その上で、本研究の目的と構成を述べる。

### (1) DRT と定時定路線バスの関係性

「乗合タクシー」「オンデマンドバス」「デマンド型交通」などと呼ばれる、ドア・トゥー・ドアに近い移動を提供しつつ乗合により運行効率を高める輸送方式(本論文内では、これらを「DRT」と総称する)は、国内外

の様々な地域で取り入れられている。これらの形態は、効率的なルートを算出できる配車システム(例えば順風路のコンビニクル<sup>2)</sup>やNIT 東日本のデマンド交通システム<sup>3)</sup>など)の登場も追い風となり、多くの自治体で導入されている。

これらの DRT は、主に過疎地域を中心とした定時定路線バスが存在しない地域の「交通弱者」対策として活用されてきた。例えば、先述の二種類の配車サービスを紹介するウェブサイト<sup>2)3)</sup>においても、システムで対応できる課題として「バス路線の廃止・縮小などに伴い、地域交通の代替手段の確保をしたい」「高齢者を中心とした日常生活にも不自由する交通困難者への対応が課題となっています」等の記述があり、自家用車を運転できない「交通弱者」を行政が救済するための手法であることが強調されている。そのため、自家用車を運転できる人にも選ばれる高い利便性のサービスとして市場で競争することを志向したものは、著者らの知る限り極めて少

ない状態であった。

「交通弱者」の救済として導入する例が多いため、定時定路線バスと DRT の関係性としても、両者が全く同一の地域に共存することが考えられることは稀であった。導入事例としても、民間事業者の路線バスの廃止代替や、計画時点で路線バスが存在しない公共交通不便地域への対応として、行政がどちらか一方の導入を選ぶ場合が多くみられた。研究面でも、両者のうち一方を導入することを前提として比較をする研究<sup>4)5)</sup>は存在し、実務面でも両者の比較検討において留意すべき点をまとめた導入の手引き<sup>6)</sup>が作成されている。

一方で近年、都市部への導入も想定した利便性の高い DRT サービスのコンセプトや配車技術、実際のサービスが登場している。例えば SAVS<sup>7)</sup>や FMOD<sup>8)</sup>といった配車システムは、過疎地域だけではなく都市部への導入を想定した研究や実証実験が行われており、Uber Pool<sup>9)</sup>や Kyyti<sup>10)</sup>など、既に実際に複数の都市で展開しているサービスも存在する。これらのサービスにおいては、交通弱者の救済だけではなく、自家用車を運転できる人も好んで利用するサービスが目指されている。大都市圏郊外などでこれらのサービスが展開されることで、定時定路線バスは存在するものの利便性が低くないためにやむなく自家用車の運転を続けている人が、自家用車の代替として活用することが期待できる<sup>11)</sup>。また、都市部を対象とするために、定時定路線バスと同一地域内で共存する可能性も十分に考えられる。しかし、その共存が双方の効率性に与える影響についての研究は限られており、共存の在り方も含めて更なる議論が望まれる。

## (2) Mobility as a Service 概念

Mobility as a Service は、公共交通や新しい交通サービスを一体的に提供することを通して、自家用車の保有に勝る利便性を提供することを明確に志向した概念として、Sampo Hietanen によって提唱された<sup>12)</sup>。Hietanen の提案では、鉄道・バス・タクシー・カーシェアといった複数の交通サービスを、定額制を含む一つの月額料金体系で提供し、一つのスマートフォンアプリケーションから検索・予約・支払管理などができる形態が想定されている。既にフィンランドのヘルシンキでは、MaaS Global 社によって MaaS の理念に即した月額制料金体系を含むサービス Whim<sup>13)</sup>が提供されている。また、事業者数が極めて多く調整に労力を要する東京などの大都市圏で MaaS を導入する一つの方法として、藤垣ら<sup>1)</sup>は Metro-MaaS を提案している。

この MaaS の考え方に則り、自家用車の保有に代わる新しい交通サービスの枠組みとして、定額制で定時定路線バスと DRT を乗り放題になるサービスを提供し、適材適所で両

者を使い分けられる状態にすることが、定時定路線バスと DRT の関係性の一つの候補として考えられる。本研究では、同一地域内に定時定路線バスと乗合タクシーを共存させ、定額制で提供するサービスを「複合的公共交通サービス」と称し、その効率性を評価する。

## (3) 都市構造との関係

近年の日本の都市政策では、鉄道やバスなどの幹線公共交通軸と連携して都市機能の集約を実現し、徒歩と公共交通で生活利便施設にアクセスできるといった「コンパクトシティ・プラス・ネットワーク」の都市構造が指向されている。このような都市構造との関係で捉えると、DRT は線状ではなく面状にサービスを提供できるため、面的に公共交通サービス水準を向上させることで、施設や居住の拡散を助長することが懸念される。特に、鉄道や定時定路線バスなどの幹線交通網と DRT などが競合する形で存在し、競争の結果、幹線交通網の利用者数や利便性に影響を与えると、幹線交通網の弱体化と施設の分散が互いに強め合う悪循環に陥ることも懸念される。

一方で、MaaS の理念に則り一体的な月額制パッケージとして提供し、適材適所で使い分けもらえる形態であれば、幹線交通網の維持と DRT の提供を両立しつつ、自家用車の過度な利用を抑えることができるのではないかと期待できる。また、もし居住地や目的地となる施設が集約されているほど、車両の運行が効率化でき、交通サービスの運営コストが下がるのであれば、これらの集約を図ることはやはり有益であると言え、分散居住によって増えるコストを適切に反映させた居住地別の料金体系を取ることにより逆に集約が促される可能性も期待できる。

## (4) 本研究の目的と構成

以上の背景を踏まえ本研究では、定時定路線バスと利便性の高い DRT の共存共栄を目指す形態の案として、MaaS の理念に則り同一地域内に定時定路線バスと乗合タクシーを共存させて定額制で提供する「複合的公共交通サービス」に着目する。本研究の目的は、複合的公共交通サービスを仮想的な大都市郊外部住宅地域に導入した際の効率性について、マルチエージェントシミュレーションを用いてシナリオ評価することである。特に、(1)乗合タクシーに加えて路線バスを併用することによる効果、(2)地域の空間構造の違いによる差異について評価検討を行うことを目的とする。

以降では、2章で対象地域や対象交通サービスの設定、シミュレーションの構成と評価シナリオについて説明し、3章でその評価結果を示す。最後に4章で結論と今後の課題を述べる。

## 2. 設定とシミュレーションの概要

### (1) 対象とする地域と複合的公共交通サービスの設定

本研究では、大都市郊外部の住宅地とその最寄駅を含む仮想的な地域を対象として、一定範囲の路線バスおよび乗合タクシーを月額料金で乗り放題とする複合的公共交通サービス（以下、「本サービス」と称する）が提供される状況を仮定する。駅や住宅団地等の大まかな位置関係と道路ネットワークとしては神奈川県横浜市青葉区内の例（後者は OpenStreetMap<sup>14)</sup>のデータによる）を用いる。ただし、その地域での導入を想定した分析を行うことが目的ではなく、大都市郊外部に一般的にみられる道路ネットワークの下で、人口分布や目的地となる施設の分布が異なる場合を比較することが本研究の目的である。そのため、実際の人口分布や目的地の分布は用いず、後述の通り人口分布や目的地となる施設の分布をシナリオで大まかに仮定した上での比較を行う。具体的な対象地域の特徴を詳細に考慮した分析ではない点には留意されたい。以下、これらの設定について説明する。

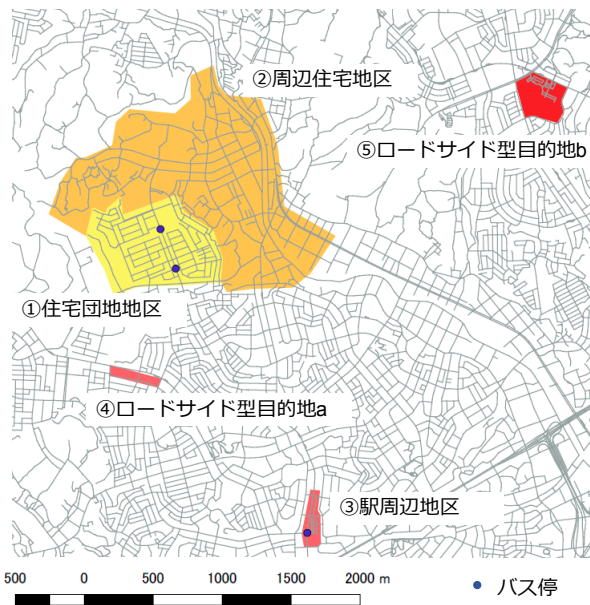


図 1 対象地域の概要

対象地域は東京郊外の一つの典型的な形態を想定し、鉄道駅から約 3km 離れた①住宅団地地区、その周囲にある未区画整理の②周辺住宅地区、③駅周辺地区、広幅員道路沿いの④ロードサイド型目的地 a と⑤同 b を含む、単一駅勢圏内の地域と仮定する（図 1）。地区③は小売などの諸機能が集積し十分な中心性を持っており、後述する評価シナリオによっては地区④⑤も一定のトリップを集めている。この地域において、地区①②の住民の 10%が本サービスに加入し、加入者は地区①～⑤間の移

動を必ず本サービスに含まれる乗合タクシーか路線バスを利用して行うものとした。なお 10%という加入率は、Metro-MaaS に関する東京都市圏居住者を対象にした利用意向調査の結果<sup>1)</sup>を参考に、料金と利便性次第では実現可能性がある水準として設定している。この地域内で、(2)で述べる方式で乗合タクシーと路線バスが運行されるものとしてシミュレーションを実施した。

### (2) シミュレーションの設定と方法

シミュレーターはオープンソースのマルチエージェントシミュレーションプラットフォーム GAMA<sup>15)</sup>を用い、独自に開発した。本サービスの利用者と路線バス、乗合タクシーの車両それぞれがエージェントとなりルールに従って行動をすることでその相互作用を観測することができる。シミュレーション実行中は逐一移動状況が画面に表示され、それぞれの利用者の乗降時刻や乗合タクシーの走行距離等が結果として出力される。

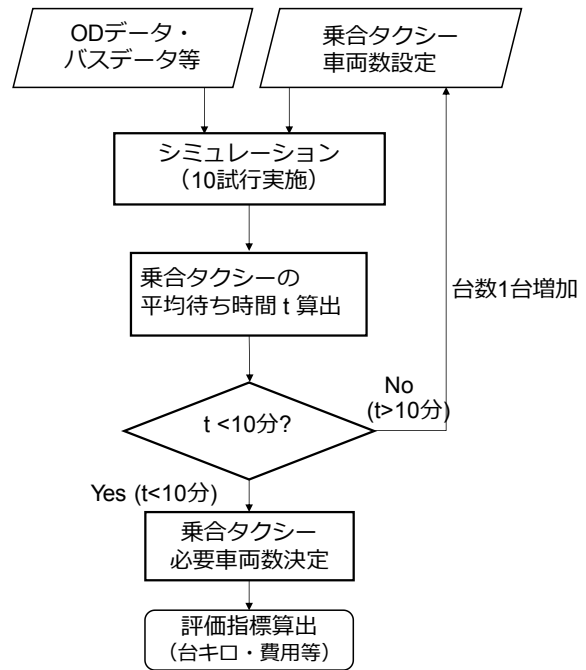


図 2 各シナリオの分析フロー

各シナリオの分析フローを図 2 に示す。1 回のシミュレーションは、後述のシナリオと乗合タクシーの車両数を入力とし、午前 3 時から 25 時間にわたり、10 秒 1 ステップとして実行する（ただし需要が発生するのは 24 時間）。これを 10 回行い、乗合タクシーの平均待ち時間を計測した。この分析では十分な利便性を提供する観点から、呼出からの待ち時間が既存の一般タクシーと大きく乖離しないよう、1 日を通じた平均待ち時間を概ね 10 分以下に抑えることを目安に車両数を設定した。具体的には、平均待ち時間の 10 回の平均値が 10 分を超え



ず、かつその 95%信頼区間の上限値が 10 分を大きく超えない（超過割合最大 10%程度）最少の乗合タクシーの車両数を求め、その車両数の場合の評価指標値を評価に用いることとした。なお、時間帯別にみると朝ラッシュ時では待ち時間が最大 20 分程度と、10 分を大きく超過するトリップもあることに留意する必要がある。

各エージェントに関する設定は次のとおりである。

a) 利用者

あらかじめ図 3 の要領で、地区①②の住民の目的別時間帯別の発生（通勤・通学および私事目的の場合）または集中（帰宅目的の場合）トリップ数の一人当たり原単位を、2008 年の東京都市圏パートントリップ調査データから求めた。次に、後述の通り各シナリオで設定する両地区の人口密度と本サービスへの加入率を 10%と仮定して算出した加入者数に、この原単位を乗じた値を、地区①、②それぞれの目的別時間帯別利用トリップ数とした。シミュレーションに際しては、目的別時間帯別利用トリップ数に応じて、各トリップについての利用者の詳細な自宅位置、目的地側位置（地区③～⑤のいずれか；シナリオで与えられる比率に従う）、詳細な出発時刻（時間帯内では均一）をランダムに割り当てて与えた。

利用者は、乗合タクシーはどのような状況でも利用可能であり、路線バスはバス停から道路距離で 600m の範囲内に出発地と到着地の両方があれば利用可能とした。

両交通手段が利用可能な状況やシナリオにおける手段選択は、次のように移動目的によって異なる扱いとした。すなわち、通勤・通学目的では待ち時間の短い方を必ず選択するものとした。私事目的・帰宅目的では、岐阜県多治見市で著者らが実施した調査（表 1）の結果をもとに推定した交通手段選択モデルを用いた。調査の中では、乗合タクシーが存在した場合の、路線バスと乗合タクシーの手段選択意向を質問しており、その結果を用いて推定した 2 項ロジット型の手段選択モデル（表 2）から求まる選択確率に応じてランダムに選択するものとした。

表 1 複合的公共交通サービス利用意向調査の概要

調査方法	紙面によるアンケート。自治会経由で全戸ポスティング配布、郵送回収。 (2327 世帯に 1 世帯 2 部ずつ配布)
実施期間	2017 年 12 月 23 日～24 日に配布。 2018 年 1 月 8 日を投函締切として回収。
対象者	岐阜県多治見市脇之島町在住の 20 歳以上の方
回答数	627 名 (回収率 13%)
主な質問項目	個人属性、交通に関する満足度、移動実態、 仮想的な交通サービスの利用意向、仮想的な交通サービス存在時の手段選択意向

表 2 手段選択モデル推定結果

	パラメータ	t 値
待ち時間 (分)	-0.116**	-12.65
バス停までの経路距離 (km)	4.44**	4.26
	[路線バス固有]	
定数項	0.180	0.76
	[路線バス固有]	
サンプル数		851
初期対数尤度 (L0)		-589.87
最大対数尤度 (LL)		-447.43
自由度調整済み尤度比 ( $\rho^2$ )		0.236

b) 乗合タクシー

乗合タクシーは原則的に地区⑤→②→①→④→③の順で地区間を移動したのち、地区③→④→①→②→⑤の順で戻るという往復を繰り返す。各車両は、今いる地区内の乗降地点を巡回し終えた段階で、図 4 に示すフロー図に従い、次の地区内で乗降する利用者を検索し、定員（8 名）の範囲内でリクエストを出したタイミングが早い方から順に乗車客を特定したうえで、2-opt 法を用いて走行距離が短くなるよう巡回経路を探索し、その経路で移動・巡回し乗降を行う。次の地区での乗降客が存在しない場合にはその地区をスキップし、さらに次の地区の乗降客を検索する。その地区内での乗降が全て終了したら、同様の方法でまた次の経路の計算を行う。

c) 路線バス

路線バスは、地区①と③の間（それぞれバス停数は 2

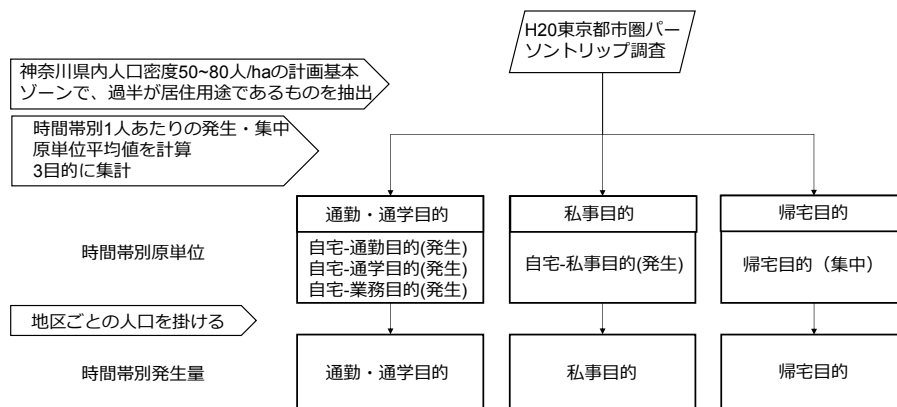


図 3 シミュレーション対象トリップ数の算出方法

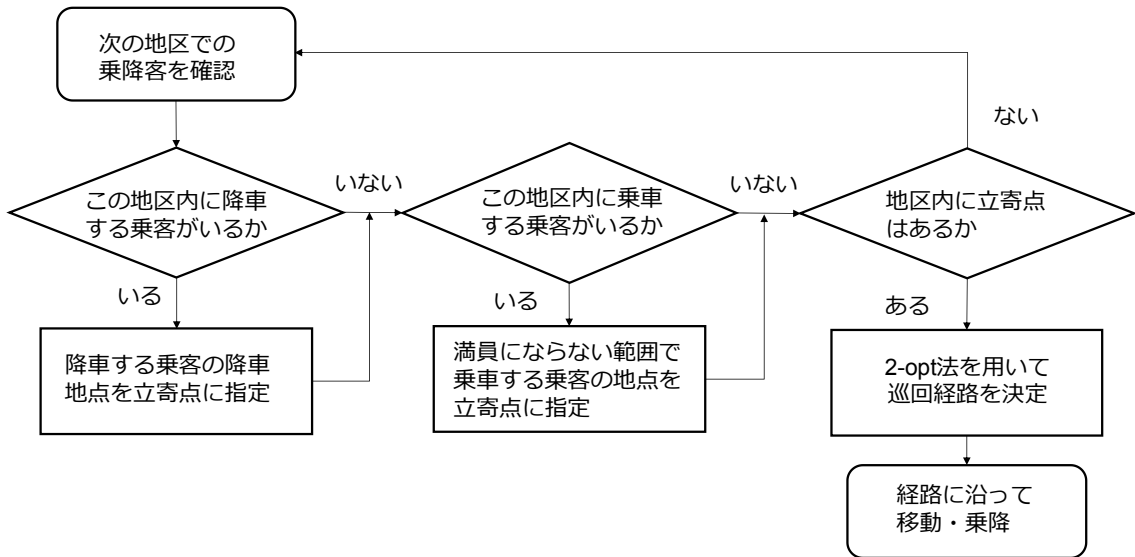


図 4 乗合タクシーの経路決定フロー

ヶ所, 1ヶ所. なお, 途中で地区④を經由しない)で, 朝ラッシュ時 12 分間隔, タラッシュ時 20 分間隔, それ以外の時間帯は 30 分間隔にて運行され, 本サービスに路線バス利用権が含まれているシナリオでは, 本サービス非加入の一般利用客と共用して利用するものと想定した. また, 路線バスは需要に対して十分大きな車両で運行されるため満員になることはなく, 希望する便に必ず乗車できるものとした.

(3) 評価するシナリオの概要

サービスの比較評価の対象にするシナリオは, 次のように 2 群構成とした. まず, 居住分布 (地区①②の人口密度), 移動需要を生じさせる商業施設等の施設立地の分布, および乗合タクシーに加えて路線バスも提供サービスに含むかどうかの 3 点を表 3 のように定め, これらを組み合わせた 8 シナリオ (表 4 のシナリオ 1~8) を第 1 群とした. この施設立地の分布割合に比例して, 地区③~⑤の発着トリップ数 (通勤・通学・私事のトリップの集中, および帰宅トリップの発生数) の割合を設定している. また, 居住分布によらず地区①と地区②の人口の総数は同一になるよう地区①②の人口密度を設定しており, 地区①と地区②を合わせた地域の平均人口密度はいずれのシナリオでも 41.25 人/ha である. なお, 40 人/ha という水準は, 都市計画法施行規則<sup>10)</sup>の中で「既成市街地」を定める際の下限として挙げられている人口密度であり, 市街地と認められるが住宅地として人口密度が高いとは言えない水準である. いずれのシナリオでも地区①はの人口密度はそれより大きく, 地区②は小さくなっている.

加えて第 2 群として, 施設立地が分散立地でサービス内容が乗合タクシーのみのシナリオ (シナリオ 4, 8) について施設ごとにトリップ需要に偏りがあった際 (表

5 のシナリオ 4A~4E, 8A~8E) の比較も行う.

(4) 評価に用いる指標

交通サービスの効率性を評価する指標として, 本研究では「運営コスト」「乗合タクシー総走行距離」「乗合タクシー 2 人以上乗合率」を用いる.

運営コストとしては, 本サービスを 1 ヶ月運営するために必要なコスト  $C$  を乗合タクシーの必要車両数  $N_{st}$  および利用者が路線バスを利用した回数  $n_{bus}$  を用いて次式により試算した.

$$C = N_{st} \times 990,000 + n_{bus} \times 220 \times 22 \times 0.8$$

乗合タクシーの費用単価は, 乗合タクシーに関する先行研究<sup>17)</sup>で示されている, ジャンボタクシーの 1 日当たり貸切料金 (1 台あたり 33,000 円) の 30 日分を用いている. 路線バスについては東急バス横浜地区の均一運賃である 220 円に 1 ヶ月の平日日数 22 日, 通勤定期およびバス特チケットを参考に設定した割引率 20% を掛け合わせたものを利用した. 「乗合タクシー総走行距離」は, 乗合タクシー全車両が走行した距離の合計値であり, 値が小さいほど環境面などで効率が良いと捉えることができる. 「乗合タクシー 2 人以上乗合率」は, 実車距離のうち 2 人以上が乗車した状態で運行された距離の割合であり, 値が大きいほど効率が良いと捉えることができる.

表 3 比較項目とシナリオ内容 (第 1 群) の概要

比較項目	シナリオ内容
居住分布	人口集約型 (地区①105 人/ha, 地区②20 人/ha) 人口分散型 (地区①60 人/ha, 地区②35 人/ha)
施設立地	完全集中立地 (地区③のみに 100%) 分散立地 (地区③に 90%, 地区④⑤に各 5%)
サービス内容	乗合タクシーに路線バスを併用 乗合タクシー単独 (路線バスなし)

表 4 シミュレーション評価結果 (第 1 群)

シナリオ	居住分布	施設立地	サービス内容	乗合タクシー 一選択トリップ数	バス選 択トリップ数	乗合タクシー 一平均待ち 時間 (分)	乗合タクシー 一車両数 (台)	乗合タクシー 一総走行距 離 (km)	乗合タクシー 2人以上乗合率 (%)	一人あたり運 営コスト (円 /月)
1	集約	集中	有	1,108	338	9.60	12	3,799	33.49	15,984
2	集約	集中	無	1,445	-	9.78	15	4,656	34.52	18,000
3	集約	分散	有	1,140	305	9.75	14	4,139	31.06	18,233
4	集約	分散	無	1,445	-	9.88	17	4,924	32.39	20,400
5	分散	集中	有	1,224	221	9.81	16	4,763	26.51	20,237
6	分散	集中	無	1,445	-	9.96	17	5,138	31.01	20,400
7	分散	分散	有	1,248	197	9.64	18	4,965	25.85	22,526
8	分散	分散	無	1,445	-	9.87	19	5,327	29.31	22,800

凡例 【居住分布】集約:人口集約型, 分散:人口分散型 【施設立地】集中:完全集中立地, 分散:分散立地  
【サービス内容】有:路線バス併用, 無:乗合タクシーのみ

表 5 シミュレーション評価結果 (第 2 群)

シナリオ	地区④の 目的地施設の割合 (発着トリップの 割合) (%)	地区⑤の 目的地施設の割合 (発着トリップの 割合) (%)	乗合タクシー 平均待ち時間 (分)	乗合タクシー 車両数 (台)	乗合タクシー 総走行距離 (km)	乗合タクシー 乗合率 (%)	一人当たり 運営コスト (円/月)
4A	0.0	10.0	9.75	18	5,142	29.61	21,600
4B	2.5	7.5	9.66	18	5,122	29.86	21,600
4C	5.0	5.0	9.88	17	4,924	32.39	20,400
4D	7.5	2.5	9.65	17	4,925	31.83	20,400
4E	10.0	0.0	9.47	16	4,717	34.95	19,200
2	-	-	9.78	15	4,656	34.62	18,000
8A	0.0	10.0	9.63	20	5,513	27.26	24,000
8B	2.5	7.5	9.95	19	5,385	29.38	22,800
8C	5.0	5.0	9.87	19	5,327	29.31	22,800
8D	7.5	2.5	9.97	18	5,156	31.74	21,600
8E	10.0	0.0	9.71	18	5,145	32.06	21,600
6	-	-	9.96	17	5,138	31.01	20,400

### 3. 複合的公共交通サービスの効率性評価

#### (1) 第 1 群の比較結果: 運行効率面

第 1 群の評価結果を, 評価指標とその他の参考指標を併せて表 4 に示す。

路線バス併用により乗合タクシーの必要車両数が同条件の非併用シナリオに比べ 1~3 台程度削減できているが, 人口分散型では路線バス非併用の場合との必要車両数の差が人口集約型よりもやや小さくなっている。走行距離の観点からは, 居住分布が集約されている場合には, 路線バス併用の場合に同条件の非併用シナリオと比べ乗合タクシーの総走行距離を 800km 程度削減することができており, 路線バスの 1 日の営業距離が 300km であることを踏まえても十分短くなっている。一方で, 人口分散型の場合の走行距離の短縮は 300~400km 程度であり, 路線バスの営業距離と同程度に止まっている。乗合タクシーの 2 人以上乗合率では, シナリオ 5 と 7 (人口分散, 路線バス併用) で特に低く, 路線バスとの併用により利用客が分散されたことが理由としてあげられる。

#### (2) 第 1 群の比較結果: 運営コスト面

運営コストは, 人口集約型の場合, 路線バス併用のシナリオ (シナリオ 1, 3) の方が, 対応する非併用シナリオ (シナリオ 2, 4) と比較して低くなっている。このことから, ある程度居住地が集約されていれば, 乗合タクシーと路線バスの併用が効率的になる場合があることが示唆される。一方, 人口分散型では, 同様に路線バス併用シナリオの方がコストが低くなっているものの, その差は人口集約型の場合に比べると小さくなっている。また, 人口分散型は, 同条件の人口集約型に比べて運営コストが高くなっている。これはバス停から遠いところに居住する住民が多く, サービス運営のためには一定程度の車両数の乗合タクシーが必要なためと考えられる。

#### (3) 第 2 群の比較結果

第 2 群の評価結果を表 5 に示す。駅周辺地区に近い地区④発着のトリップの割合が多いシナリオ (最も多いのがシナリオ 4E, 8E) は, それらが少ないシナリオ (最も多いのがシナリオ 4A, 8A) と比較して, 乗合タクシ

一の総走行距離が短くなる傾向があり、さらに乗合率も向上して効率性が高くなる傾向が確認できる。また、必要車両数も地区④発着のトリップの割合が多いシナリオほど少なくなり、それに対応して運営コストも低下している。このことから、移動需要を生む施設の立地がコンパクトな圏域にまとまっている方が、運営の効率性の観点で有利であることが示唆される。

#### 4. 結論と今後の課題

本研究では仮想的な大都市郊外部住宅地域を対象に、複合的公共交通サービスの効率性に関する指標をシミュレーションによって算出し、居住分布や施設立地などの異なる複数のシナリオで比較することで、効率性の評価を行った。その結果、本研究で仮定した平均人口密度が 40 人/ha 程度の住宅地の居住者を対象としたサービスで、かつ目的地が集約されている場合には、乗合タクシー単独よりも路線バスと併用した場合の方が費用や走行距離の観点で効率化できる場合があること確認できた。また、居住地が集約されていた方が運営コストが低下する傾向や、需要を生じる施設がコンパクトな圏域にまとまると走行距離などの観点で効率性が上がる傾向が確認できた。

本研究で使用したマルチエージェントシミュレーション手法では、移動実態や道路環境などに関する詳細なデータがあれば、利用者特性や地域特性を詳しく考慮したシミュレーションも可能である。ただし本研究では、仮想の地域を対象に、郊外住宅団地の移動需要と典型的な道路ネットワークを用いたシミュレーションを行うことを目指していたために、詳細な地域特性は考慮できていない。今後、十分なデータを用意し、また需要モデルも対象地域における移動データから構築して分析することで、地域の個別事情を考慮した導入検討にも活用しうると期待できる。

また、MaaS は本研究で取り扱った交通手段以外にも様々な交通サービスを組み合わせることが想定されている。本研究では「乗合タクシーと路線バスの併用」と「乗合タクシー単独」のみの比較であったが、各種交通手段の有無によって多様なシナリオが考えられ、またそれぞれ適切な観点からの比較・評価を行うことが重要である。人々の活動や交通行動のより多様な側面を記述できるモデルを用い、それらの多様な評価を行うことも課題である。

**謝辞：**本研究は JSPS 科研費 16K06531 および 17J05096 の助成を受けて実施したものです。ここに記して御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 藤垣 洋平, 高見 淳史, トロンコソ パラディ ジアンカルロス, 原田 昇: 大都市圏向け統合モビリティサービス Metro-MaaS の提案と需要評価, 都市計画論文集, Vol.52, No.3, pp.833-840, 2017.
- 2) 順風路: オンデマンド交通システム「コンビニクル」のご紹介, <http://www.jpz.co.jp/odb/index.html> (2018年3月27日閲覧)。
- 3) 東日本電信電話株式会社: デマンド交通システム, [https://www.ntt-east.co.jp/business/solution/transport/?link\\_id=tg\\_img01](https://www.ntt-east.co.jp/business/solution/transport/?link_id=tg_img01) (2018年3月27日閲覧)。
- 4) 竹内 龍介, 大蔵 泉, 中村 文彦: 運行特性を踏まえた DRT システムのコスト分析に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol. 20, No. 3, 2003.
- 5) 野田 五十樹, 篠田 孝祐, 太田 正幸, 中島 秀之: シミュレーションによるデマンドバス利便性の評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 1, 2008.
- 6) 国土交通省中部運輸局: デマンド型交通の手引き, 2013.
- 7) 中島秀之, 野田五十樹, 松原仁, 平田圭二, 田柳恵美子, 白石陽, 佐野渉二, 小柴等, 金森亮: バスとタクシーを融合した新しい公共交通サービスの概念とシステムの実装, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 71, No. 5, 2015.
- 8) 池田 拓郎, 藤田 卓志, Moshe E. Ben-Akiva: Flexibility On Demand—複数の交通サービスへの動的な車両割り当てを特徴とするオンデマンド交通システムの設計と評価, 第 49 回土木計画学研究・講演集(CD-ROM), 2014.
- 9) Uber Technologies Inc.: Uber Pool, <https://www.uber.com/ja-JP/ride/uberpool/> (2018年3月27日閲覧)。
- 10) Kyyti Group Ltd., Kyyti <https://www.kyyti.com/english.html> (2018年3月27日閲覧)。
- 11) 藤垣 洋平, 高見 淳史, 大森 宣暁, 原田 昇: 大都市圏郊外の住宅団地を対象とした高利便性の定額制乗合タクシーの成立可能性に関する分析-岐阜県多治見市の住宅団地におけるケーススタディ-, 都市計画論文集, Vol.49, No.3, pp.369-374, 2014.
- 12) Hietanen, S.: 'Mobility as a Service' – the new transport model?, *Eurotransport*, Vol. 12, Issue 2, 2014.
- 13) MaaS Global: Whim – Travel Smarter. Live in Helsinki Region, more areas coming soon, <https://whimapp.com/> (2018年3月27日閲覧)。
- 14) OpenStreetMap Contributors: OpenStreetMap, <https://openstreetmap.jp>, (2018年3月27日閲覧)。
- 15) Patrick, T. Duc-An, V. Amouroux, E. and Drogoul, A.: GAMA: a simulation platform that integrates geographical information data, agent-based modeling and multi-scale control, PRIMA'10 Proceedings of the 13th international conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems, 2010.
- 16) 国土交通省: 都市計画法施行規則, 2017年改正.
- 17) 神力 潔司, 福田 展淳, 王 宇鵬: 少子高齢化が進む北九州市八幡東区における乗り合いタクシーの事業性に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, Vol.78, No.689, pp.1569-1577, 2013.

(2018.4.27 受付)

EVALUATING THE EFFICIENCY OF A BUS/SHARED-TAXI PUBLIC  
TRANSPORTATION SERVICE PACKAGE

Yohei FUJIGAKI, Ryosuke NAKAI, Kiyoshi TAKAMI,  
Giancarlo TRONCOSO PARADY, and Noboru HARATA