

# 大都市郊外部における複合的公共交通サービスの効率性評価に関する研究 —路線バスと乗合タクシーに着目して—

## Efficiency evaluation of public transportation packages in metropolitan suburban areas focusing on bus and shared-taxi

東京大学工学部都市工学科 03-160157 中井 諒介

This thesis proposes a public transportation service package which provides unlimited bus-rides and shared-taxi at a monthly charge for metropolitan suburban residential areas, and evaluates the operational efficiency of the service using multi agent simulation. Sixteen scenarios, which differ by residential distribution, location of destination facilities, and service contents are evaluated and compared. The results show that if residential distribution is concentrated, the efficiency increases and the service cost decreases by combining bus and shared-taxi. On the other hand, for the sprawling scenarios the service package did not have any effect on efficiency. Moreover, it is shown that the service will be more efficient when the facilities are located in a more compact form.

### 1. 研究の背景と目的

日本の地域公共交通では、公共交通空白地域の問題が高齢化に伴い拡大しつつあり、その対策として実施されているコミュニティバスや乗合タクシーについての改善や新たな交通サービスの構築が求められている<sup>1)</sup>。これは、地方都市のみならず人口減少や高齢化が進行しつつある郊外部においても重要な課題である。

ここでは新たな交通サービスとして近年ヨーロッパを中心に広まりつつあるモビリティサービス”Mobility as a Service (MaaS)”に着目する<sup>2)</sup>。複数の交通手段を1つにまとめて提供するサービスで、中でも2016年よりフィンランドで実用化された”Whim”は月額料金体系の下、予約や支払を単一のアプリを通じて利用可能であることが特徴である<sup>3)</sup>。日本国内でもMaaSを対象とした研究が進められており、藤垣ら<sup>4)</sup>は大都市郊外部の地域公共交通に対してMaaSを適用したサービス”Metro-MaaS”を提案している。

そこで本研究は藤垣ら<sup>4)</sup>のMetro-MaaSの考え方を元にした路線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を大都市郊外部住宅団地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評価を行う。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。

### 2. 先行研究の整理と本研究の特徴

これまで、複数の公共交通を組み合わせたサービスについて検討をした森ら<sup>5)</sup>の研究や、大都市郊外部を対象とした住宅団地を対象とした公共交通サービスに関する熊谷ら<sup>6)</sup>や須永ら<sup>7)</sup>の研究、シミュレーションを用いた

公共交通サービスの評価に関する坪内ら<sup>8)</sup>や藤垣ら<sup>9)</sup>の研究などが行われている。しかしながら、複数の公共交通を組み合わせたサービスについてシミュレーション等を用いた運用に関する検討や、居住分布や施設立地の想定シナリオに応じたサービス評価などは十分に行われていないとは言えない。本研究はシミュレーションによりサービス運営の効率性に着目してシナリオの比較評価を行うことに特徴がある。

### 3. サービスとシミュレーションの概要

#### 3-1. 対象地域と複合的公共交通サービスの概要

本研究では大都市郊外部の住宅団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公共交通サービス(以降「本サービス」)を提供するという仮定のもとでシミュレーションを行う。

図1に示すように、対象地域は東京郊外の典型的な戸建て住宅団地で、周囲に区画整理されていない住宅地が

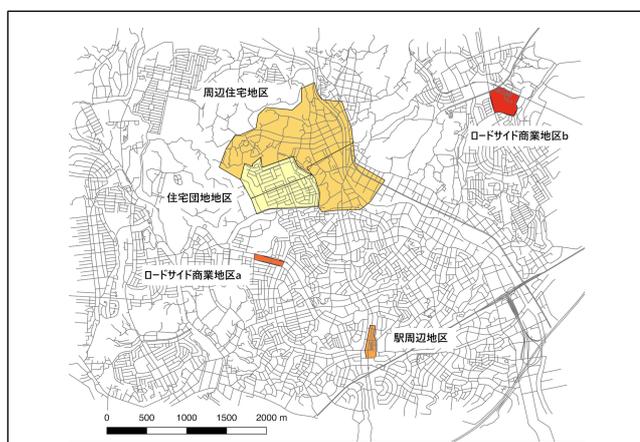


図1 対象地域の概要<sup>\*1)</sup>

広がる地域であるとする。簡単のためこの地域は単一駅勢圏にあるとし、住民が鉄道で都心に向かう際はこの最寄駅を利用するものとする。駅周辺地区には小売などの機能が集積し十分な中心性を持つ。他に、周辺の広幅員道路沿いにはロードサイド型商業地区が点在しており、後述のようにこれらが一定のトリップを集める場合のシナリオも評価する。

この地域において、本サービスの加入者は、出発地・到着地の両方がいずれかの地区内にあれば door-to-door で運行される乗合タクシーを利用できるものとする。車両は乗車予約から平均 10 分で配車される。

加えて、住宅団地地区と駅周辺地区との間には路線バスが往復しており、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できるものとする。朝ラッシュ時は 12 分間隔、タラッシュ時は 20 分間隔、それ以外の時間は 30 分間隔で運行されるダイヤを仮定した。バス停は住宅団地地区に 2 箇所、駅周辺地区に 1 箇所あり、それぞれバス停から 600m の範囲内に出発地・到着地があれば路線バスを利用可能であるとする。

以上の前提の下、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）交通量を図 2 に示すように固定的に与えた。これらが自宅と駅周辺地区もしくはロードサイド型商業地区との間を後述の割合で移動するという仮定のもとシミュレーションに入力した。なお、居住している住民の 10% が本サービスに加入し、加入者は必ず本サービスの乗合タクシーまたは路線バスを利用して移動するものとした。

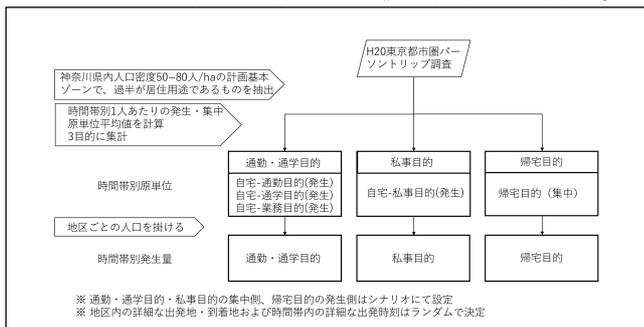


図 2 発生/集中交通量生成フロー

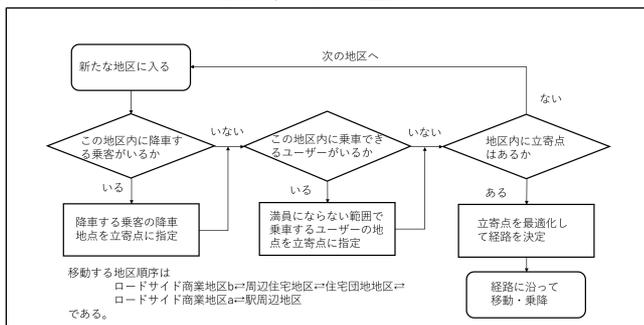


図 3 乗合タクシーの経路決定フロー

### 3-2. シミュレーターの仕様

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 を用い、独自に開発をした。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結果として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出力される。

乗合タクシーは図 3 に示すように、移動して地区に入る際にその地区内で乗降可能な利用者を検索し、定員の範囲内で巡回セールスマン問題 2opt 法により最適化をして最短経路を決定し、その経路で移動・乗降を行う。

路線バスと乗合タクシーが選択可能な状況やシナリオにおける利用者の手段選択モデルは、次のように移動目的によって異なる扱いとした。すなわち出発地・到着地それぞれの付近にバス停があることを前提とした上で、通勤・通学目的では待ち時間の短い方が必ず選択されるものとした。私事目的・帰宅目的では、類似地域である岐阜県多治見市の住宅団地で東京大学都市交通研究室が実施した公共交通サービスの利用意向調査（表 1）から推定した 2 項ロジット型の手段選択モデル（表 2）を用

表 1 利用意向調査概要

調査方法	紙面によるアンケート。町会経由により全戸ポストイング配布、郵送回収。
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	岐阜県多治見市脇の島町在住の 20 歳以上の方（ほぼ全域が戸建て住宅地「ホワイトタウン」にある）
回答総数	617 名（2018 年 1 月 17 日到着まで集計時点）
主な質問項目	個人属性、交通に関する満足度、日常的な移動の実態、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 パラメータ推定結果

	推定値	t 値
待ち時間 (秒)	-0.114**	-12.25
路線バスに関する定数項	-0.685**	-5.65
サンプル数	806	
初期対数尤度 (L0)	-588.7	
最大対数尤度 (LL)	-429.69	
自由度調整済み尤度比 (p <sup>2</sup> )	0.227	

(\*\* : 1%有意) この「待ち時間」は、路線バスの場合は徒歩時間を含まない路線バス出発までの待機時間、乗合タクシーの場合は予約してから出発地に乗合タクシーが到着するまでの待機時間を表す。

表 3 比較項目とシナリオ内容の概要

比較項目	シナリオ内容
居住分布	人口集約型 (住宅団地 105 人/ha、周辺 20 人/ha)
	人口分散型 (住宅団地 60 人/ha、周辺 35 人/ha)
施設立地	駅周辺地区のみ (100%)
	分散立地 (駅周辺に 90%、地区 a,b に 5%ずつ)
サービス内容	乗合タクシーに路線バスを併用
	乗合タクシーのみ (路線バスなし)

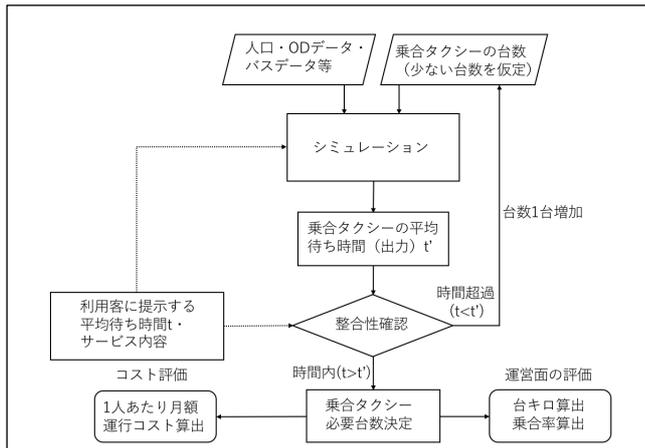


図 4 各シナリオの分析フロー

いて選択確率を与えた。

### 3-3. 比較シナリオ

サービスの比較評価の対象とするシナリオは、次のように2群構成とした。まず、居住分布 (人口密度)、商業施設等の需要を生じる施設立地の分布、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点を組み合わせた8シナリオ (シナリオ1~8) を第1群とした。この施設立地の分布割合が、目的地側の着・発トリップの割合となる。加えて第2群として、施設立地が分散型で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の偏りがあった際の

比較も行う (シナリオ4A~4E、8A~8E)。表3に比較項目とシナリオ内容の概要を示す。

分析に際しては図4に示すように各シナリオにて乗合タクシーの台数を固定してシミュレーションを10回ずつ行い、乗合タクシーの1日を通じての平均待ち時間<sup>2)</sup>の平均値が、利用者に提示している平均待ち時間である10分を超えず、かつ平均待ち時間の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台数を決定し、その時のデータの値を評価に用いている。

## 4. 複合的公共交通サービスの効率性評価

### 4-1. 運営効率面の比較 (第1群)

第1群の評価結果を表4に示す。人口集約型では全体的にバス停に近い場所に居住している住民が多いため、路線バス併用により乗合タクシーの必要台数が削減できているが、人口分散型では併用なしの場合とほぼ同じ台数になっている。乗合タクシーに着目すると、路線バス併用の結果乗合タクシーの総走行距離を1,000km以上削減することができ、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。乗合タクシーの2人以上乗合率では、シナリオ5、7 (人口分散型、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。

### 4-2. コスト面の比較 (第1群)

本サービスを1ヶ月運営するために必要なコストを乗合タクシーの必要台数 $N_{st}$ 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<sup>3)</sup>。

$$(\text{コスト}) = N_{st} \times 990,000 + n_{bus} \times 220 \times 22 \times 0.8$$

その結果、人口集約型・路線バス併用のシナリオ (シナリオ1、3) でコストが他と比較して低くなることがわかった。一方人口分散型の場合は、路線バスと併用して

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-選択トリップ数	バス選択トリップ数	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-2人以上乗合率% (実車距離)	運営コスト (円/月・人)
1	集約	駅のみ	有	993	452	9.51	12	3,685	29.05	16,520
2	集約	駅のみ	無	1,445	-	9.78	15	4,656	34.52	18,000
3	集約	複数	有	1,043	402	9.94	13	3,846	30.30	17,485
4	集約	複数	無	1,445	-	9.88	17	4,924	32.39	20,400
5	分散	駅のみ	有	1,159	286	9.84	16	4,664	24.14	20,541
6	分散	駅のみ	無	1,445	-	9.96	17	5,138	31.01	20,400
7	分散	複数	有	1,182	263	9.72	18	4,836	23.86	22,833
8	分散	複数	無	1,445	-	9.87	19	5,327	29.31	22,800

凡例 集約:人口集約型、分散:人口分散型、駅のみ:駅周辺地区のみ、複数:分散立地、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	乗合タク	乗合タ	乗合タクシー	乗合タクシー	乗合タクシー
ナ	地区 a 発着	シー平均	クシー	乗合タクシ	人以上乗合
リ	トリップの	待ち時間	車両数	一総走行距	率% (実車距
オ	割合 (%)	(分)	(台)	離 (km)	離)
4A	0	9.75	18	5,142	29.61
4B	2.5	9.66	18	5,122	29.86
4C	5	9.88	17	4,924	32.39
4D	7.5	9.65	17	4,925	31.83
4E	10	9.47	16	4,717	34.95
2	-	9.78	15	4,656	34.62
8A	0	9.63	20	5,513	27.26
8B	2.5	9.95	19	5,385	29.38
8C	5	9.87	19	5,327	29.31
8D	7.5	9.97	18	5,156	31.74
8E	10	9.71	18	5,145	32.06
6	-	9.96	17	5,138	31.01

駅周辺地区のみのシナリオ (シナリオ 2、6) も参考として掲載

もコストが減少することはなかった。これはバス停から遠いところに居住している住民が多いため、サービス運営のためには一定程度の乗合タクシーが必要であるからだと考えられる。

#### 4-3. 商業立地に対する需要比較 (第 2 群)

第 2 群の評価結果を表 5 に示す。駅周辺地区に近い地区 (地区 a) 発着のトリップの割合が多いシナリオ (シナリオ 4E、8E) ほど乗合タクシーの総走行距離が短くなり、さらに乗合率も向上して効率性が高くなることが確認された。居住分布が一定のもと乗合タクシーの効率性を高めるためには移動需要を生み出す施設の立地がコンパクトな圏域にまとまっている方が有利と考えられる。

### 5. 結論と今後の課題

本研究では、複合的公共交通サービスを居住分布や施設立地などを変化させた複数のシナリオにて比較をすることで運営の効率性の評価を行った。その結果、路線バス併用のサービスは人口密度の高い状況下に適していると言える一方、人口密度の低い状況下では併用のメリットが現れず、ある程度の人口集約が有利であることが導き出された。また、需要を生じる施設がコンパクトな圏域にまとまると運営効率が上がることを明らかにした。

今後の課題としては、実際の都市を中心としてより具体的なサービスの検討を行うこと、シミュレーションでの各種設定事項や評価指標についての改良、居住分布や施設立地の変化やサービスの導入に伴う需要への影響を

反映したさらなるサービス評価についての検討を行うことが考えられる。

### 謝辞

本研究に際し、データ提供や多くのご助言をいただいた東京大学大学院博士課程 3 年藤垣 洋平様、岐阜県多治見市における利用意向調査にご協力いただいた方々にこの場を借りて深く御礼申し上げます。

### 補注

- \*1 仮想地域という設定でシミュレーションを実施しているが、道路ネットワーク等については、設定地域の一例として神奈川県横浜市青葉区青葉台駅周辺地域のものを利用している。出典：OpenStreetMap (<https://openstreetmap.jp>), ©OpenStreetMap Contributors
- \*2 時間帯別にみると朝ラッシュ時には待ち時間が 10 分を大きく超過する (最大 20 分程度) トリップもあることに留意する必要がある。
- \*3 計算式の根拠を示す。乗合タクシーについては、福岡県北九州市八幡東区で運営されているジャンボタクシーの 1 ヶ月貸切料金である 1 台あたり 99 万円<sup>9)</sup>を用い、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% を掛け合わせている。

### 参考文献

- 1) 平林 由梨恵, 中村 文彦, 田中 伸治, 有吉 亮: 大都市交通空白地区における小型車両高頻度運行実験の評価に関する研究, 土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol.71, No.5, pp.1\_681-1\_687, 2015
- 2) Sampo Hietanen: 'Mobility as a Service' - the new transport model? Eurotransport, Vol.12, No.2, pp.2-4, 2014
- 3) MaaS Global: whim monthly plan, <https://whimapp.com/> (2018/1/7閲覧)
- 4) 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-自動運転車によるオンデマンドバスと既存公共交通の将来的な統合を目指して-, 都市計画論文集, Vol.52, No.3, pp.833-840, 2017
- 5) 森 英高, 西村 洋紀, 谷口 守: 中山間地域における複数モビリティサービス実施時における居住者意向に関する一考察, 土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol.72, No.5, pp.1\_1145-1\_1154, 2016
- 6) 熊谷 直之, 中村 文彦, 田中 伸治, 有吉 亮: 郊外住宅地におけるマルチモーダルシェアリング導入可能性に関する研究, 第52回土木計画学研究発表会・講演集, pp.2041-2044, 2016
- 7) 須永 大介, 青野 貞康, 松本 浩和, 寺村 泰明, 久保田 尚: 大都市圏郊外部における超小型モビリティの活用可能性に関する研究, 土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol.72, No.5, pp.1\_641-1\_651, 2016
- 8) 坪内 孝太, 大和 裕幸, 稗方 和夫: オンデマンドバスの導入設計シミュレータの開発と評価, 人工知能学会論文誌, Vol.25, No.3, pp.400-403, 2010
- 9) 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
- 10) 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