

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06531

研究課題名(和文) 柔軟な公共交通システムと地域空間構造の統合的な評価・計画手法

研究課題名(英文) Evaluation and Planning Method for Integration of Flexible Public Transportation System and Urban Spatial Structure

研究代表者

高見 淳史 (Takami, Kiyoshi)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授

研究者番号：40305420

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、(1)柔軟な公共交通システムを含む各交通サービスを統合的に提供する「統合モビリティサービス」の概念と分析枠組み・Multi-Cycle Modelを提案した。(2)大都市圏郊外部における導入形態・Metro-MaaSを提唱し、その需要特性と影響要因を明らかにした。(3)Metro-MaaS導入にあたっての供給契約方式と漸進的導入策を評価するとともに、Multi-Cycle Modelの適用性を示した。(4)Metro-MaaSと地域空間構造の関係について、地域空間構造がサービスの効率性に与える影響と、サービスの存在が中長期的選好に与える影響の両面から検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題で提案されたMetro-MaaSは、人々の日常の移動目的地の相当程度をカバーしうると同時に、事業者間の調整の労を抑えながら展開しうると点で可能性のある提案と考える。また、実施された基礎的な需要評価も本提案に一定の補強材料を与えている。

Multi-Cycle Modelは利用者と供給者の広範な意思決定とその相互関係を包含するもので、応用性は高いと考えられる。今後統合モビリティサービスの実践展開が進み、より詳細なデータが得られるようになれば、本手法を適用した分析がさらに深められると同時に、それを踏まえたサービス設計や施策検討に寄与すると期待される。

研究成果の概要(英文)：This research project: (1) proposed the concept of "Integrated Mobility Service (IMS)", which supplies different transport services including flexible public transportation in an integrated manner, and "Multi-Cycle Model", the modeling framework for IMS; (2) proposed "Metro-MaaS", a form of IMS suitable for the suburbs of large metropolitan areas, and conducted the basic analysis of the demand; (3) evaluated the supply-side contract scheme and the gradual introduction strategy of Metro-MaaS, and showed the applicability of Multi-Cycle Model; and (4) studied the relationship between Metro-MaaS and the areal spatial structure from the both viewpoints of the effects of different spatial structures on the efficiency of the service and the effects of the service on people's mid- and long-term preferences.

研究分野：都市交通計画，都市・地域計画

キーワード：公共交通システム 統合モビリティサービス 大都市圏郊外部 マルチエージェントシミュレーション
空間構造

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。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

人口減少・超高齢社会を迎えたわが国では、様々な世代の人にとって暮らしやすい環境の実現や財政的に持続可能な都市経営を目指して、「コンパクトシティ・プラス・ネットワーク」の都市構造への再編が指向されている。2014年に創設された立地適正化計画と地域公共交通網形成計画の制度は、この再編の推進を目的としたものである。

このコンパクトシティ・プラス・ネットワークの都市構造においては、定時定路線型の公共交通と需要に応じて時刻や経路を変えながら運行する需要応答型交通〔DRT：Demand-Responsive Transport〕とを空間的・時間的に柔軟に組み合わせた公共交通システムの構築が望まれる。こうした“柔軟な公共交通システム”を構成する要素は、情報通信技術の発展と普及を背景に進化を遂げつつある。具体的には、スマートフォンなどの携帯端末からの配車予約や、予約に基づく時刻や経路の最適化は現実のものとなり、いわゆる Transportation Network Companies によるライドヘイリングサービスや、一般の人が自分の車で移動サービスを提供する自家用車ライドシェアリングも登場してきている。さらに将来には自動運転技術が実用化され活用されることも見込まれる。これらの動向は、自家用車が叶えてくれる door-to-door に匹敵する移動の利便性を、より手軽かつ安価に可能にする技術や環境が実現しつつあることを示唆している。

他方、交通計画と土地利用計画は相互に緊密に連携して立案されるべきことは一般に古くから叫ばれており、“柔軟な公共交通システム”もまた地域の空間構造と整合的に計画・設計されるべきものである。しかし、そうした計画の検討や分析のための道具立てでは十分には整っているとは言いがたい。また、交通システムと社会経済活動システムによってもたらされる地域のアクセシビリティ環境は、中長期的に、住民が自家用車を持つか否かといった移動スタイルの選択や居住継続意向・居住地選好に影響すると考えられるものの、これらに関する学術的・実践的な知見は不十分である。

2. 研究の目的

本研究課題は、“柔軟な公共交通システム”のさらなる開発や普及の可能性を踏まえた上で、公共交通サービスと地域の空間構造の両面を一体的に評価・分析する枠組みを示すとともに、双方の計画の立案に資する手法を構築することを目的とした。より具体的には、マルチエージェントシミュレーションに基づく公共交通サービスの供給側要素と地域の移動需要とを合わせた需給関係の分析からサービスの採算性や効率性を明らかにすること、ならびに“柔軟な公共交通システム”がもたらすモビリティ・アクセシビリティ環境の変化が長期的な移動スタイル選好や居住地選好に及ぼす影響を検討することとして進めた。

なお、本研究課題の開始と相前後して、欧州において Mobility as a Service [MaaS] のコンセプトや実践が登場し、今日まで急速に世界的な注目を集めるに至っている。MaaS は従来個別に提供されてきた多様な交通サービスをパッケージ化して利用者に提供するもので、情報検索・予約・決済を1つのデジタルプラットフォーム上で行える点に特徴がある。MaaS の交通サービスパッケージにはしばしば本研究課題で言う“柔軟な公共交通システム”を含む事例や提案が見られ、したがって本研究課題で想定していた内容と強く関係する。こうした動向を踏まえ、本研究課題では MaaS に相当する「統合モビリティサービス」の概念を定義し、これに軸足を置いた研究を実施することとした。

3. 研究の方法

(1) 統合モビリティサービスの概念と分析枠組みの検討

関連事例および周辺事例の分析を行い、それらと関連づけて、個別の交通サービスを一体的に利用者へ提供する「統合モビリティサービス [IMS：Integrated Mobility Service]」の概念を定義する。また、需要側・供給側の双方を考慮し、かつ短期・中長期を包含する分析枠組みを仮設的に設定する。

(2) 大都市圏郊外部向け統合モビリティサービス・Metro-MaaS の提案と需要評価

本研究課題における主たる分析対象として、大都市圏郊外部に適する IMS の導入形態である「Metro-MaaS」を提案するとともに、Web アンケート形式の加入意向調査に基づいてその需要特性に関する基礎的な分析を行う。

(3) Metro-MaaS 導入方策の評価

事業者にとって利益を確保しうる Metro-MaaS の導入方策のあり方を、(1)の分析枠組みに基づき、マルチエージェントシミュレーションを用いて導き出した供給側のパフォーマンスと需要側モデルとを組み合わせた分析を通じて評価する。

(4) Metro-MaaS と地域空間構造の関係の分析

同じく(1)の分析枠組みに基づいて、Metro-MaaS 導入地域の空間構造（集中／分散）がサービスの効率性に与える影響を、マルチエージェントシミュレーションを用いて評価する。また、Metro-MaaS の存在が居住継続意向や居住地選好に与える影響をインタビュー調査および Web アンケート調査に基づいて分析する。

4. 研究成果

(1) 統合モビリティサービスの概念と分析枠組みの検討

本研究課題の対象とするIMSを、「鉄道、バス、タクシー、DRTやカーシェアリング等の個別に提供されていた交通サービスを、一つのアカウントや窓口で一体的に決済できる料金体系のもとで、単一の時刻・経路検索及び予約手配システムを通して利用者に提供するサービス」と定義した。その上で、既存の交通サービスや近年登場している情報技術を活用した交通システムの事例をIMSの概念と関連付けて整理した。

また、IMSのサービス設計やIMSに対する規制・誘導など公的介入施策の検討にあたって活用しうる分析枠組みとして、利用者側・供給者側双方の短期・中長期の意思決定をカバーし、それら相互の関係を5種類のCycle(循環)で表現した「Multi-Cycle Model」を提案した(図1)。Multi-Cycle Modelは概念的な分析枠組みであって、少数のCycleのみを適用することや、一体のシミュレーションとしての実装、独立したモデルを連結させる形での実装など、多様な方法での使用が可能である。

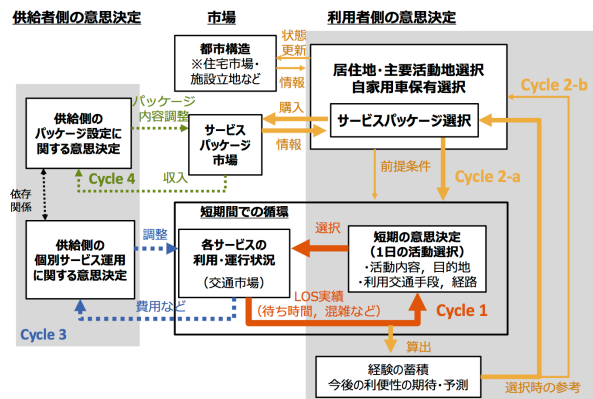


図1 Multi-Cycle Model

(2) 大都市圏郊外部向け統合モビリティサービス・Metro-MaaSの提案と需要評価

東京都市圏のように鉄道を軸とした空間構造を持つ大都市圏におけるIMSの導入形態として「Metro-MaaS」を提案した。その基本形は、

[1] 大都市圏郊外部における自宅周辺の生活圏をカバーできる交通サービスと [2] 自宅最寄駅からの鉄道を含むサービスを、一体的な料金体系の下で、単一の時刻・経路検索および予約手配システムを通して提供するものである(図2)。
 [1]の生活圏は自宅～最寄駅の区域およびその周辺を指し、交通サービスは例えば路線バス、タクシー、乗合タクシーやオンデマンドバスなどのDRT、カーシェアリングなどを含みうる。また、[2]については従来通りの鉄道の定期券を活用して[1]のみを一体的に提供する形態も含める。

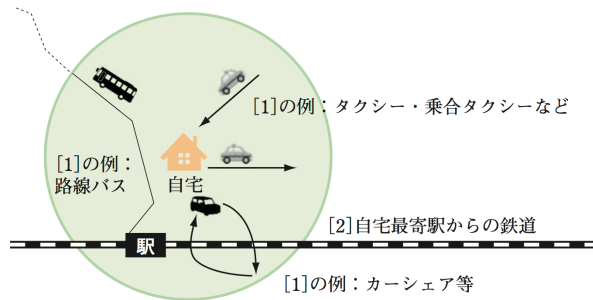


図2 Metro-MaaSの基本形(模式図)

この構成により、大量輸送インフラである鉄道を活用し、都心部の機能集積を支える移動需要に従来通り効率的に対応できると同時に、人の日常的な移動範囲の相当程度をミニマルにカバーしうる。加えて、導入の空間的範囲を絞ることによりパッケージ料金価格を低廉化し、関係する交通事業者の数を(すなわち、収益配分などに関する事業者間調整の労を)減らし、また条件の整った地域から徐々に導入を進められる可能性があることも特徴である。

次に、東京都心から10~50km圏内の居住者を対象に、Metro-MaaSの具体的なサービス内容(2種類)を提示して加入意向を尋ねるWebアンケート調査を実施した。調査データの分析から、月額料金とサービス水準によっては回答者の1~2割程度が加入意向を示し、一定の需要が見込まれることと、主なターゲットとして想定していた運転に不安を感じる人、自宅から駅まで遠い人、世帯自家用車保有台数が2台以上の人といった層や、自宅周辺の移動が多い人などで加入意向が有意に高いこと(表1)が明らかとなった。また、加入意向を示した人に各交通手段の希望利用頻度を尋ねた結果から、サービスの存在により自家用車の運転頻度が低下する傾向を確認した。

表1 Metro-MaaS 加入意向モデル

変数	サービスT		サービスA	
	推定値	t値	推定値	t値
パッケージ料金(千円/月)	-0.15**	-5.77	-0.23**	-12.62
自動運転デマンドバスの平均待ち時間(分)	—	—	-0.07**	-6.07
女性20~39歳	0.70**	3.72	0.37*	2.40
自宅外フルタイム就業者			0.29*	2.05
駅からの徒歩時間20分以上	0.80**	4.75	0.53**	4.00
運転に少し不安を感じる	0.41*	2.49	0.49**	3.84
自家用車保有台数2台以上			0.40*	2.32
自宅から10分未満の徒歩	0.19*	2.31		
移動頻度(日/年) 自転車	0.21*	2.48	0.46**	7.39
移動頻度(日/年) 自家用車	0.39**	4.00	0.31**	3.85
自宅から10~20分の移動頻度(日/年) 徒歩	0.53**	6.07	0.64**	10.35
定数項	-2.10**	-6.43	-1.34**	-5.46
サンプル数	1,800		5,400	
自由度調整済み尤度比	0.55		0.73	

** 1%有意, * 5%有意

(3) Metro-MaaS 導入方策の評価

Metro-MaaSを導入するにあたっての方策に関し、①交通サービスパッケージを利用者に販売する事業者(Mobility Operator [MO]と称する)と個別の交通サービスを供給する事業者(Service

Producer [SP] と称する) の間の供給契約方式, ならびに②導入後の利用状況に応じてサービス (車両数と料金) を調整する漸進的導入策を取り上げて評価した。分析には(1)の Multi-Cycle Model を援用し, その適用性的一端をも示した。

①供給契約方式の評価: 仮想的な地域における Metro-MaaS を仮定し, MO から SP への契約料を SP の提供するサービス (バスと乗合タクシー) の利用者数に応じて支払う方式と, 利用者数によらずサービスに充当される車両数に応じて支払う方式について, 月額料金と MO・SP の利益の関係を分析した。その結果, 前者の方式で MO の利益が最大となる料金は全主体の合計利益が最大となる料金より高く, このときバス SP の利益は負となった。契約単価の設定などにより各主体の利益がバランスよく達成されるスキームの検討が重要と示唆される。後者の方式での MO 利益最大化料金はこれより安価で, 合計利益最大化料金に極めて近く, またこのときの主体も黒字となった。

②漸進的導入策の評価: 岐阜県多治見市の住宅団地で実施した需要調査データから構築した Metro-MaaS 加入選択モデル・交通手段選択モデルと, 同地での供給側運行シミュレーションとを組み合わせ, 多数の車両数・料金水準に対する加入者数と利益を算出し (図3), これに基づいて供給者側のサービス調整戦略を評価した。その結果, 初期の料金設定如何によって採算が取れ加入者が増加する好循環に入るか否かが分かれることと, 平均待ち時間を 20 分以下に保って可能な範囲まで値下げと車両増加を繰り返す「平均待ち時間上限付き値下げ優先探索」行動が安定的かつ加入者数が最大になる点で優れることを明らかにした。

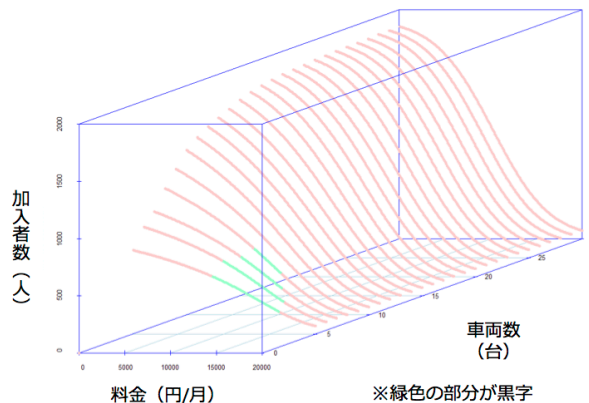


図3 車両数・料金ごとの加入者数

(4) Metro-MaaS と地域空間構造の関係の分析

Metro-MaaS と地域空間構造の関係について, ①地域空間構造がサービスの効率性に与える影響と, ②Metro-MaaS サービスの存在が自家用車保有意向や居住地選好, 居住継続意向といった中長期的選好に与える影響の両面から検討した。

①地域空間構造とサービスの効率性: 都市圏郊外部の住宅地とその最寄駅を含む典型的な市街地において, 一定範囲の路線バスと乗合タクシーを月額料金で乗り放題とする Metro-MaaS が提供される状況を仮定したマルチエージェントシミュレーションを実施した。この際, 移動需要は, [1] 居住分布が住宅団地地区に集約しているケース/その周辺にも分散しているケース, [2] 目的地となる施設の分布が駅周辺に完全に集中しているケース/駅から離れたロードサイドにも一部立地しているケース, [3] Metro-MaaS で乗合タクシーと路線バスが併用されるケース/乗合タクシーが単独で運行されるケースを組み合わせた 8 つのシナリオに基づいて与えた。出力から乗合タクシーの総走行距離と 2 人以上乗合率および全体のサービス運営コストを算出して各シナリオを評価した結果, 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点で効率化できる場合があることが確認できた。また, 居住地が集約されている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ことで走行距離などの観点で効率が高まる傾向が確認できた (表2)。さらに, 地区別の供給費用を算出して鉄道駅やバス停に近い地区・遠い地区に帰着する費用の差異を定量的に示し, 供給費用の違いを反映させた傾斜的料金体系の導入の可能性を議論した。

表2 シナリオの評価結果 (例)

シナリオ			評価指標		
			乗合タクシー		全体
居住分布	施設分布	サービス	総走行距離 (km)	2人以上乗合率 (%)	運営コスト (円/月)
集約	集中	併用	3,769	31.6	16,120
集約	集中	単独	4,656	34.5	18,000
集約	分散	併用	4,110	30.1	18,355
集約	分散	単独	4,924	32.4	20,400
分散	集中	併用	4,725	26.1	20,321
分散	集中	単独	5,138	31.0	20,400
分散	分散	併用	4,781	27.2	21,423
分散	分散	単独	5,327	29.3	22,800

②Metro-MaaS と中長期的選好: 予備的インタビュー調査を踏まえ, 居住地の位置, 住宅費用, Metro-MaaS パッケージ料金の水準を様々に提示して選好を尋ねる Web アンケート調査を, 東京都心から 10~60km 圏内の居住者を対象に実施した。このデータから Metro-MaaS パッケージの存在と人々の中長期的選好の関係について分析を行い, パッケージ料金の水準その他の要因によって自家用車保有意向が低下しうることを示すと同時に, 居住地選好への影響の度合いと要因を検討した。ただし, 仮想的状況下における複雑な調査内容であったこともあり, 調査・分析のさらなる改善と深化が課題である。また, 神奈川県川崎市内で実施されたオンデマンド交通の実証運行に併せて一部参加者に仮想的な MaaS パッケージを提供する実験を行い, 事後インタビュー調査から, 今後高齢化した時の利用意向とともに, オンデマンド交通が存在することが地域への居住継続意向を高めることが確認できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 藤垣洋平, 高見淳史	4. 巻 73(1)
2. 論文標題 大都市圏向け統合モビリティサービス「Metro-MaaS」の提案と可能性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 自動車技術	6. 最初と最後の頁 12-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 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	4. 巻 52(3)
2. 論文標題 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 -	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 都市計画論文集	6. 最初と最後の頁 833-840
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11361/journalcpj.52.833	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 藤垣洋平, Giancarlos TRONCOSO PARADY, 高見淳史, 原田昇	4. 巻 73(5)
2. 論文標題 統合モビリティサービスの概念と体系的分析手法の提案	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 I_735-I_746
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.73.I_735	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Fujigaki, Y., Takami, K., Troncoso Parady, G. and Harata, N.	4. 巻 -
2. 論文標題 The Multi-Cycle Model: A Modeling Framework to Evaluate MaaS Contract Schemes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 97th TRB Annual Meeting 2018	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 藤垣洋平, 中井諒介, 高見淳史, Giancarlo TRONCOSO PARADY, 原田昇
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第57回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高見淳史
2. 発表標題 都市交通計画とMaaS - 期待と展望 -
3. 学会等名 第12回オンデマンド交通カンファレンス（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 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
2. 発表標題 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 -
3. 学会等名 日本都市計画学会 第52回学術研究論文発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fujigaki, Y., Takami, K., Troncoso Parady, G. and Harata, N.
2. 発表標題 The Multi-Cycle Model: A Modeling Framework to Evaluate MaaS Contract Schemes
3. 学会等名 Transportation Research Board 97th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤垣洋平, TRONCOSO PARADY Giancarlos, 高見淳史, 原田昇
2. 発表標題 統合モビリティサービスの概念と体系的分析手法の提案
3. 学会等名 第54回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計5件

1. 著者名 高見淳史, 藤垣洋平, トロンコソ パラディ ジアンカルロス, 原田昇, 羅力農, 上条陽, 吉川仁, 田村祐貴, 大沢昌玄	4. 発行年 2019年
2. 出版社 公益社団法人日本交通政策研究会	5. 総ページ数 75
3. 書名 新しいモビリティサービスと総合的都市交通計画	

1. 著者名 高見淳史, 原田昇, 藤垣洋平, トロンコソ パラディ ジアンカルロス, 有吉亮, 森本瑛士, 谷口守	4. 発行年 2018年
2. 出版社 公益社団法人日本交通政策研究会	5. 総ページ数 81
3. 書名 交通サービスの革新と都市交通計画	

1. 著者名 高見淳史, 藤垣洋平, 今岡和也	4. 発行年 2017年
2. 出版社 公益社団法人日本交通政策研究会	5. 総ページ数 47
3. 書名 まちづくりに貢献する立地適正化計画のあり方	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	藤垣 洋平 (Fujigaki Yohei)		