

都市交通の新技術・新サービスの
空間計画への展開のあり方

都市交通の新技術・新サービスの
空間計画への展開のあり方プロジェクト

2022年7月

公益社団法人日本交通政策研究会

1. “日交研シリーズ”は、公益社団法人 日本交通政策研究会の実施するプロジェクトの研究成果、本研究会の行う講演、座談会の記録、交通問題に関する内外文献の紹介、等々を印刷に付して順次刊行するものである。
2. シリーズはAよりEに至る5つの系列に分かれる。

シリーズAは、本研究会のプロジェクトの成果である書き下ろし論文を収める。

シリーズBは、シリーズAに対比して、より時論的、啓蒙的な視点に立つものであり、折にふれ、重要な問題を積極的にとりあげ、講演、座談会、討論会、その他の方法によってとりまとめたものを収める。

シリーズCは、交通問題に関する内外の資料、文献の翻訳、紹介を内容とする。

シリーズDは、本研究会会員が他の雑誌等に公けにした論文にして、本研究会の研究調査活動との関連において復刻の価値ありと認められるもののリプリントシリーズである。

シリーズEは、本研究会が発表する政策上の諸提言を内容とする。
3. 論文等の内容についての責任はそれぞれの著者に存し、本研究会は責任を負わない。
4. 令和2年度以前のシリーズは印刷及び送料実費をもって希望の向きに頒布するものとする。

公益社団法人日本交通政策研究会

代表理事 山内 弘 隆
同 原 田 昇

令和2年度以前のシリーズの入手をご希望の向きは系列番号
を明記の上、下記へお申し込み下さい。

〒102-0073 東京都千代田区九段北1-12-6

守住ビル 4階

公益社団法人日本交通政策研究会

電話 (03) 3263-1945 (代表)

Fax (03) 3234-4593

E-Mail:office@nikkoken.or.jp

日交研シリーズ A-854

令和 3 年度自主研究プロジェクト

「都市交通の新技術・新サービスの空間計画への展開のあり方」

刊行：2022 年 7 月

都市交通の新技術・新サービスの空間計画への展開のあり方

Extension of New Technologies and Services on Urban Transportation into Spatial Planning

主査：高見 淳史（東京大学准教授）

Takami Kiyoshi

要　　旨

本研究プロジェクトでは、自動運転車（AV）や Mobility as a Service（MaaS）といった交通に関わる新技術・新サービスがもたらす影響の分析を深めるとともに、空間計画としての展開の側面から計画論の検討を行うことを目的として進めた。成果の中から本報告書に収録した内容は以下の通りである。

1 章では、国内外で登場しつつある MaaS パッケージ付き賃貸住宅物件についての SP 調査を実施・分析し、パッケージの内容や価格によって一定の需要が存在することや、自家用車保有を抑制する方向に相当程度の影響を与えることなどを示した。

2 章では、自家用 AV の影響分析へ適用することを意図して、アクティビティベース交通行動モデル、AV と利用者のエージェントベース交通シミュレーション、居住地選択モデルから構成されるモデルシステムを、広範な文献レビューに基づいて提案した。

3 章では、エージェントベースシミュレーションを用いたシェア型 AV サービスの分析において、移動需要のサンプル率の違いが車両運用台数、総走行台キロ、迂回率などの出力指標の精度に与える影響を、多数回のシミュレーションにより明らかにした。

4 章では、COVID-19 対策に伴い加速した活動のオンラインへの移行の実態をアンケート調査から明らかにした。また、その類型化を通じて新モビリティの導入にあたっての示唆を検討し、居住地周辺での活動場所の整備と併せたモビリティ提供の重要性などを示した。

5 章では、AV の普及と自動車交通の円滑性、歩行者流動の快適性の関係に着目し、都市開発の進展と AV／非 AV の駐車方式（路外駐車場への歩道進入、路肩乗降、それらの混在）の差異がもたらす影響を、ミクロ交通流シミュレーションによって評価した。

キーワード：Mobility as a Service、自動運転車、エージェントベースシミュレーション

Keywords : Mobility as a Service, Autonomous Vehicle, Agent-based Simulation

目 次

1 章 MaaS パッケージ付賃貸住宅物件の需要特性に関する基礎的分析 ······	1
1.1 はじめに ······	1
1.2 本研究で想定する MaaS 付賃貸物件の基本概念及び既存事例 ······	2
1.3 ウェブアンケート調査の設計 ······	3
1.4 MaaS 付賃貸物件への選好の概況及び個人属性との関係 ······	5
1.5 MaaS 付賃貸物件が自家用車保有に与える影響 ······	8
1.6 MaaS 付賃貸物件における交通サービスの料金規模感の検討 ······	9
1.7 まとめと今後の課題 ······	10
2 章 An Integrated Residential Location and Travel Model System for Evaluating the Effect of Autonomous Vehicles ······	12
2.1 Introduction ······	12
2.2 Literature Review ······	12
2.3 Proposed Model System ······	18
2.4 Reasonings and Limitations ······	25
3 章 エージェントベースシミュレーションを用いた シェア型自動運転サービスの分析に必要なサンプル率の検討 ······	31
3.1 はじめに ······	31
3.2 研究手法 ······	33
3.3 シミュレーション結果の分析 ······	35
3.4 結論と今後の課題 ······	41
4 章 活動のオンラインシフトと「移動」の関係性 —活動場所変容を踏まえた新モビリティ導入の可能性— ······	43
4.1 背景 ······	43
4.2 研究の位置づけ ······	44
4.3 使用データ ······	45
4.4 WM (ワークプレイスマネジメント) を踏まえた交通計画の方向性 ······	46
4.5 生活全体のオンラインシフト実態に見る移動の変化 ······	51
4.6 おわりに ······	56
5 章 自動運転車の普及が歩行者流動に与える影響 ······	59
5.1 研究の背景と目的 ······	59
5.2 既往研究と本研究の位置づけ ······	59
5.3 分析手法 ······	60
5.4 実験データ ······	61
5.5 シミュレーション結果 ······	63
5.6 結論と今後の課題 ······	67

研究メンバーおよび執筆者 (敬称略・順不同)

主　　査	高見淳史	東京大学大学院工学系研究科 准教授 (1～3 章)
メンバー	有吉亮	横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院 特任准教授
	大沢昌玄	日本大学理理工学部 教授
	太田勝敏	東京大学 名誉教授
	大森宣曉	宇都宮大学地域デザイン科学部 教授
	上条陽	東京大学大学院工学系研究科 博士後期課程 (3 章)
	城所哲夫	東京大学大学院工学系研究科 教授
	須永大介	中央大学理理工学部 助教
	谷口守	筑波大学システム情報系 教授 (4 章)
	中村文彦	東京大学大学院新領域創成科学研究科 特任教授
	原田昇	中央大学理理工学部 教授
	パラディ ジアンカルロス	東京大学大学院工学系研究科 講師 (2・3 章)
	藤垣洋平	東京大学先端科学技術研究センター 特任助教 (1 章)
	室町泰徳	東京工業大学環境・社会理工学院 准教授 (5 章)
	森本章倫	早稲田大学理理工学術院 教授
	羅力晨	東京大学大学院工学系研究科 博士後期課程 (2 章)
執　筆　者	小松崎諒子	筑波大学大学院理工情報生命学術院 修士課程 (4 章)
	持田侑季	東京工業大学環境・社会理工学院 4 年 (5 章)

(所属・職位は 2022 年 3 月現在)

1章 MaaS パッケージ付賃貸住宅物件の 需要特性に関する基礎的分析

1.1 はじめに

1.1.1 研究の背景

近年、Mobility as a Service（略称「MaaS」）に関する様々な取り組みが世界各国で進められている。MaaS の定義には様々なものがあるが¹⁾、様々な交通サービスを一体的な料金体系や検索・予約・決済手段のもとで提供するサービスを指す場合が多くみられる。また、提唱者である Sampo Hietanen 氏は、MaaS は利用者に対して「自家用車を保有せずとも自由に移動できる状態を提供する」という考え方であるとしており²⁾、一体的に交通サービスを提供するだけでなく、交通サービスの一体的なブランディングを通して、自家用車保有からの転換を生じさせることができ、MaaS の目標かつ大規模な効果の源泉と考えることもできる。

一方で、自家用車を保有して習慣的に利用する層を、自家用車保有をやめ交通サービス利用中心の移動スタイルに転換させることは容易ではない。日本国内でも様々な MaaS に関する取り組みが進められており、各地で MaaS の実証実験や本格的なサービス提供が進んでいく³⁾。しかしながら、自家用車保有から交通サービス利用への顕著な転換に繋がる方策は確立しているとは言えない状況である。

そのような中で、MaaS の考え方に基づく一体的な料金体系の交通サービスを、賃貸住宅とあわせて提供する形態が一部で試みられている。転居時は交通行動の習慣が再形成されること、及び月額制料金の MaaS の場合は家賃と一体的に検討しやすいことから、賃貸物件と MaaS パッケージの一括提供という方式が効果を発揮する可能性がある。

MaaS に関する研究としては、定額制料金体系の需要特性の評価を行った研究⁴⁾、定額制料金体系を考慮した交通行動のモデリング手法に関する研究⁵⁾や、実際の実証実験中のデータをもとにした行動変容に関する研究⁶⁾などが実施されているが、住宅との一体的な提供や、転居と合わせたサービス提案に関する研究や実践は極めて限られている。一方で、住宅と MaaS の連携においては、たとえ特定の地域の複数の物件を対象に実証実験が行われたとしても、一定期間内に一定地域で成立する取引数が、交通サービス単体の利用権の取引数（乗車券等の購入数）と比較すると非常に少ないと考えられる。そのため、MaaS と連携した住宅のサービス提供を効率的に進める観点からは、その需要特性について早い段階から網羅的に把握する調査研究を行う必要性が高い。

1.1.2 研究の目的と構成

本研究では、MaaS パッケージ付賃貸住宅物件（以下、MaaS 付賃貸物件）に関する選好調査を通して、その需要の特性や自家用車保有に与える影響に関する基礎的な分析を行う。具体的には、MaaS パッケージ付物件への選好の概況及び個人属性との関係を示すこと、自家用車保有に与えうる影響を確認すること、及び物件入居時の路線バス利用意向などをもとに MaaS パッケージの月額料金の規模感について検討することを目的とする。

本報告の構成は以下の通りである。まず 1.2 節で、本研究で想定する MaaS 付賃貸物件の基本概念及び既存事例を示す。1.3 節では、需要特性等を把握するために実施したウェブアンケート調査について述べ、1.4 節でその結果として得られた選好の概況及び個人属性との関係を示す。その上で、1.5 節で MaaS 付賃貸物件が自家用車保有に与えうる影響を示し、1.6 節で MaaS パッケージの月額料金規模感の検討を行ったうえで、1.7 節で結論と今後の課題を述べる。

1.2 本研究で想定する MaaS 付賃貸物件の基本概念及び既存事例

1.2.1 MaaS付賃貸物件の定義

本研究における MaaS 付賃貸物件とは、「家賃等と一体的に支払う定額料金のみで、複数の交通サービスを一定程度まで利用できる『MaaS パッケージ』を居住者に提供するとともに、自転車シェア・カーシェア等の交通具シェアサービスを敷地内に設置し、自家用車用の駐車場数を削減した形で設計・運用される賃貸住宅」とする。この定義に基づく MaaS 付賃貸物件のサービス設計にあたっては、「家賃等と一体的に支払う定額料金」や「対象とする交通サービスの組み合わせ方」がサービス設計上の変数となり得る。

なお、同様の分譲住宅も対象になりえるが、分譲住宅では居住者ごとに購入金額支払方法（頭金やローン年数等）が異なり、MaaS パッケージと一体的に比較検討する際の前提条件が世帯ごとに多様であり、分析が複雑になる。そのため、本研究では月額料金体系による検討が容易な賃貸住宅を分析対象とする。また、大都市圏都心部でも定義の通りの物件は成立しうるが、主として自家用車保有からの転換促進という観点から、自家用車保有率が相対的に高い郊外部を本研究では対象とする。

1.2.2 MaaS付賃貸物件の既存事例

実際に提供されている MaaS 付賃貸物件の事例として、三井不動産・ShareTomorrow の「&MOVE」⁷⁾と Parkmerced⁸⁾の 2 件が挙げられる。

「&MOVE」のサービスでは、東京・豊洲と東日本橋の賃貸マンション「パークアクシス」の居住者向けに、カーシェア、シェアサイクルを敷地内に配置するとともに、それらとタクシー、シェアード・シャトルが一定限度まで利用できる定額プランを提供している（都度払い利用も可能）。定額プランは、全日・全サービス利用可能なサブスクプランとして、10,000円（11,000円分利用可）と30,000円（33,000円分利用可）のプランがある。各サービスは、MaaS Global 社が開発するアプリ「Whim」を通して手配・決済ができるようになっており、シェアサイクルはドコモ・バイクシェア、カーシェアはカレコ・カーシェアリングクラブ、タクシーは Mobility Technologies、シェアード・シャトルは NearMe とそれぞれ連携することにより提供を行っている。

Parkmerced は、米国において、Car-Free Living Program として、公共交通、Uber、カーシェアの 100 ドル分の利用権を毎月付与する賃貸住宅を展開している。カーシェアは Zipcar、公共交通の乗車カードは Clipper とそれぞれ連携している。

1.3 ウェブアンケート調査の設計

1.3.1 調査の概要

MaaS 付賃貸物件の選好等について把握するため、インターネットアンケート調査を実施した。対象者は南関東一都三県に居住している楽天インサイトのアンケートモニター、実施時期は 2022 年 3 月 18 日～22 日、回収サンプル数は 700 サンプルである。スクリーニング条件および主な設問項目を表 1.1 に示す。

本調査では、実際に賃貸物件を検討する際に MaaS 付賃貸物件が存在した場合の想定を回答者に求めるため、過去 1 年以内に賃貸物件の新規契約を検討した方を対象とするようスクリーニング条件を設定した。また、入居者の人数や年齢構成によって交通サービスの提供に必要な費用や料金が大きく異なりうことから、入居予定時に 18 才以上の構成員が 2 名で、かつ（一般的な路線バスでは小児運賃が 6 歳以上の場合に必要になるという観点から）6 歳以上の子供（6 歳以上 18 歳未満の同居者）がいない世帯を対象とした。

以上の通り、本分析の目的に応じた特殊なスクリーニング条件をかけているため、人口を代表とするサンプリングとはなっておらず、性別年代別構成は図 1.1 の通り 30 代が多く高齢者が少なくなっている。

表 1.1 ウェブアンケート調査のスクリーニング条件および主な設問項目

スクリーニング条件	<ul style="list-style-type: none"> 過去 1 年以内に賃貸住宅物件の新規契約を検討した 南関東一都三県の駅徒歩 10~20 分で、間取りが 1DK/1LDK、2DK/2LDK、または 3DK/3LDK の物件が検討対象に含まれていた 入居予定者は 18 歳以上 2 名、6 歳以上 18 歳未満の同居者なし（料金計算都合）
主な設問項目	交通行動・意識 <ul style="list-style-type: none"> 各交通手段の利用頻度 移動目的ごとの自家用車の必要性
	契約に至った、または最も望ましいと感じた「対象物件」 <ul style="list-style-type: none"> 最寄り駅、徒歩時間 家賃等の金額、敷地内駐車場の利用可能性 居住する場合の自家用車保有意向
	対象物件と MaaS 付賃貸物件の選好評価 <ul style="list-style-type: none"> 対象物件と仮想的な MaaS 付賃貸物件を比較しての選好 MaaS 付賃貸物件に居住する場合の利用希望プラン、自家用車保有意向、路線バス利用意向

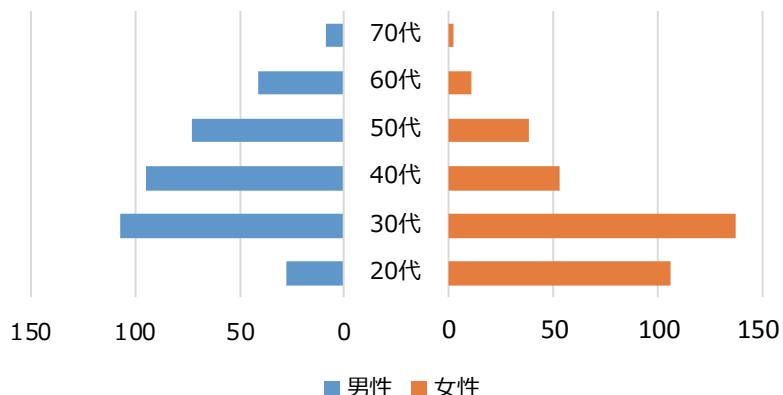


図 1.1 回収サンプルの性別年代別構成

1.3.2 MaaS付賃貸物件の選好調査の設計

MaaS 付賃貸物件の選好調査は、実際に検討していた物件と、その物件と類似した MaaS 付賃貸物件のどちらが好ましいかを問う形式とした。具体的には、検討対象としている（していた）駅徒歩 10~20 分の物件のうち最も望ましいと感じている（感じていた、または実際に居住を決めた）物件を「対象物件」と定義した。そのうえで、周辺環境、間取り、方角、室内設備が対象物件と同じで、敷地内駐車場がなく、家賃・管理費・共益費以外の追加料金なく図 1.2 に示す交通パックプラン A~D のいずれか 1 つが利用可能な物件を「交通パック付き物件」とし、両物件を比較しての選好の回答を求めた。なお、この設問における交通パック付き物件とは 1.2.1 項で定義した「MaaS 付賃貸物件」に該当するが、MaaS という用語を知らない回答者がいることを想定し、調査では「交通パック付き物件」と表記した。

プランの比較表

	路線バス	自転車 シェア	カー シェア
プランA	乗り放題	一人 30分以内無制限	月4時間
プランB	乗り放題	全員 30分以内無制限	—
プランC	乗り放題	—	月6時間
プランD	—	全員 30分以内無制限	月8時間

周辺でご利用可能な交通サービス



路線バス（新路線）

- ・建物から徒歩2分以内にバス停あり
- ・最寄駅まで乗車時間は約5分
- ※運行頻度は5~20分間隔
- ※対象物件周辺の既存路線バスとは別に新路線ができると想定してください



自転車シェアリング

- ・建物から徒歩2分以内に、貸出返却可能な駐輪場（ポート）あり
- ・最寄駅や周辺商業施設にも貸出返却可能ポートあり（片道利用可）



カーシェアリング

- ・建物から徒歩2分以内に貸出返却可能なステーションあり
- ・貸出駐車場と同じ場所に返却する必要あり

図 1.2 調査で示した交通パックのプランとそれに含まれる交通サービスの内容

設問の構成としては、まずは家賃等の条件によっては交通パック付き物件を検討したいと思うか否かを質問し、固定層・選択層の判別を行った。そのうえで、選択層を対象に、交通パック付き物件の月額家賃等（管理費・共益費を含む；対象物件との差額）、駅徒歩時間、バス運行頻度の異なる9つのプロファイル（表1.2）をランダムな順序で提示し、それぞれのプロファイルについて、「交通パック付き物件のほうが好ましい」、「交通パック付き物件のほうがやや好ましい」、「対象物件のほうがやや好ましい」、「対象物件のほうが好ましい」の4段階で選好を尋ねた。

表 1.2 選好調査にて提示したプロファイル

No.	家賃等	駅徒歩時間	バス運行頻度
1	2万円増	10分	5分間隔
2	2万円増	15分	10分間隔
3	2万円増	20分	20分間隔
4	1万円増	10分	10分間隔
5	1万円増	15分	20分間隔
6	1万円増	20分	5分間隔
7	同額	10分	20分間隔
8	同額	15分	10分間隔
9	同額	20分	5分間隔

1.4 MaaS付賃貸物件への選好の概況及び個人属性との関係

1.4.1 分析対象とする転居先地域

本分析では郊外部の自家用車保有代替という観点にも着目しているため、交通サービスが顕著に充実している都心部と、既存の交通サービスが限られる遠郊外は分析対象外とした。具体的には、東京都心の東側と西側で実質的な都心距離との乖離が生じないよう、山手線主要6駅（東京、上野、池袋、新宿、渋谷、品川）からの直線距離のうち最も短いものの距離

が 5～50km の範囲に収まる駅を対象物件の最寄駅として答えたサンプルのみを分析対象とした。最寄駅の回答に不備があったサンプルも除外し、分析対象となったのは 558 サンプルであった。

1.4.2 選好の概況

続いて、選好調査の集計結果を示す。条件によらず交通パック付き物件を検討対象に含めないとした固定層は 30% であった。残りの 70% は条件によっては検討するという選択層であり、9 プロファイルの個別の選好調査に進んでいる。個別の条件を提示した設問においては、図 1.3 に示す通り、3～5 割程度が交通パック付き物件の方が好ましいと回答している。

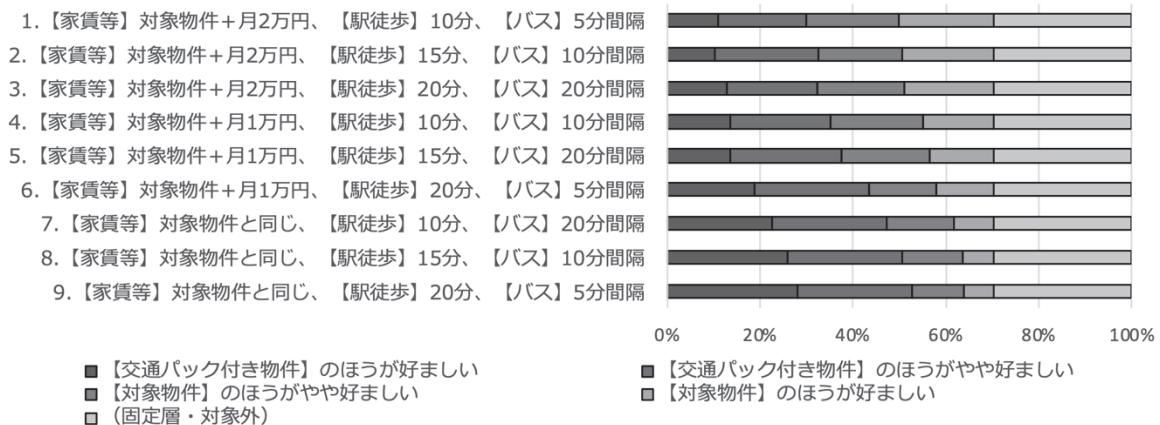


図 1.3 各プロファイルに対する選好の概況

1.4.3 個人属性との関係

各個人の属性や検討状況に関する設問と選好の関係について、基礎集計として、「選択層の割合」、「1 つ以上のプロファイルで交通パック付き物件への選好を示した割合」、「各回答者に 9 つ提示されたプロファイルのうち交通パック付き物件への選好を示した合計数」の観点から確認を行った。その結果、表 1.3 に示す通り、「現在のバス利用頻度」、「対象物件に住む場合の自家用車保有意向」、「戸建住宅を検討対象としたか」の各変数では、全体の割合よりも各割合に対して 1 割以上異なる傾向が確認できた。

この傾向について統計上有意な関係があるかを確認するために、交通パック付き物件と対象物件のどちらに選好を示すかを説明する二項ロジットモデルのパラメータ推定を行った。プロファイル別に設定した「家賃等差額」、「駅徒歩時間」、「バス運行頻度」の 3 変数と、先述の差が見られた各項目に関する変数を用いて推定を行い、5% 有意となった変数のみで再推定した結果を表 1.4 に示す。なお、全変数を MaaS 付賃貸物件の効用関数に含めている。

表 1.3 回答者属性と選好状況に関する基礎集計結果（特徴的な傾向が見られた項目）

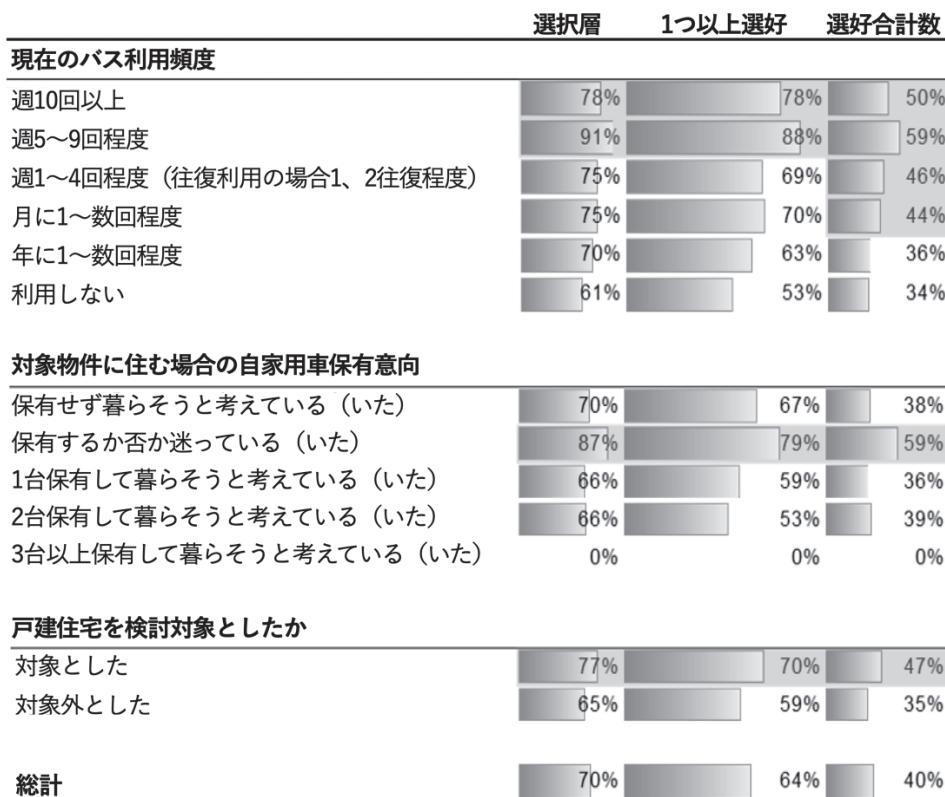


表 1.4 選好モデルのパラメータ推定結果

変数	パラメータ推定値	t 値
定数項	0.57**	8.09
家賃等差額（単位：万円）	-0.56**	-12.63
戸建住宅検討者ダミー	0.30**	4.24
バス高頻度利用者ダミー（週 5 回以上）	0.40**	3.59
自家用車保有を迷っている人ダミー	0.61**	6.41
尤度比	0.41	

**: 1%有意

推定の結果、定数項、「家賃等差額」のほか、「戸建住宅を検討している」、「現在バスを高頻度で利用している」、「自家用車保有を迷っている」の各状態を示すダミー変数が有意となり、それらの層が交通パック付き物件を有意に選好することが確認できた。なお、「バス運行頻度」は有意とならなかったが、これは図 1.2 中に記載の通り、路線バスの駅までの乗車時間を徒歩時間によらず 5 分に統一していたことが影響している可能性が考えられる。

1.5 MaaS 付賃貸物件が自家用車保有に与える影響

続いて、交通パック付き物件に住む場合の自家用車保有意向の集計結果から、MaaS 付賃貸物件が自家用車保有に与える影響について確認する。調査では、交通パックの路線バスの運行間隔が 5 分、10 分、15 分のそれぞれの場合について、交通パック付き物件に住む場合の自家用車保有意向を質問している。各運行頻度の場合の結果を図 1.4 に示す。5 分間隔の場合に約 6 割が、20 分間隔でも約 4 割が「自家用車を保有せず暮らすと思う」と回答するなど、交通パック付き物件の場合に自家用車を保有しない暮らしを希望する回答者が相当数存在することが確認できた。一方で、交通パック付き物件に居住する場合であっても自家用車の保有を希望するケースもあることが確認できた。

また、交通パック付き物件の想定がない現状における転居後の自家用車保有意向と、交通パック付き物件（路線バス 5 分間隔想定）に住んだ場合の保有意向のクロス表を表 1.5 に示す。自家用車保有を「迷っていた」という選択層の約 7 割が交通パック付き物件では自家用車を「保有せず」に、また「1 台保有」の選択層の約 3 割が「保有せず」に、「2 台保有」の選択層の約 7 割が「1 台保有」または「保有せず」に、それぞれ転換しており、顕著に自家用車保有が減る可能性が窺われた。

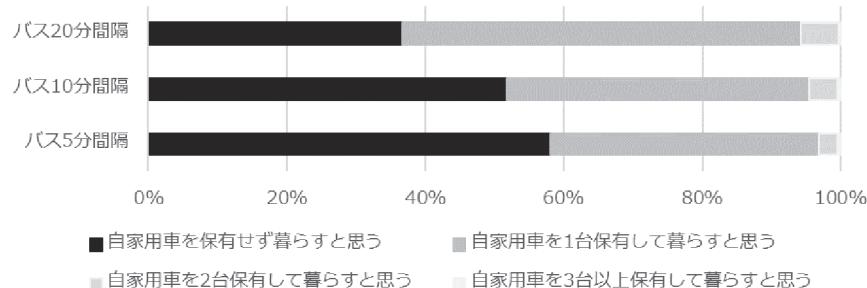


図 1.4 交通パック付き物件居住時の自家用車保有意向

表 1.5 交通パック付き物件居住有無による自家用車保有意向の差異

対象物件居住時	交通パック付き物件居住時(バス5分間隔想定)				
	保有せず	1台保有	2台保有	3台以上	固定層
保有せず暮らそうと考えている(いた)	120	9	1	1	56
保有するか否か迷っている(いた)	51	21	1		11
1台保有して暮らそうと考えている(いた)	48	100	1	1	79
2台保有して暮らそうと考えている(いた)	1	17	7		13
3台以上保有して暮らそうと考えている(いた)					1

注：数値は該当のサンプル数

1.6 MaaS 付賃貸物件における交通サービスの料金規模感の検討

調査においては、交通パック付き物件と対象物件の家賃等との差額として、同額、1万円、2万円の3水準を設定し、またその設定とは独立して交通パックのプランA～Dを設定していた。しかし、その各プランが月1～2万円程度の追加的料金で提供できるかは自明ではない。そこで、各サービスの一般的な提供価格と、交通パック付き物件入居時において想定されるバス利用頻度をもとに、この点に関する検討を行った。

路線バスについては、調査で尋ねた「交通パック付き物件入居時のバス利用頻度の想定」(回答者本人及び同居者の合計)をもとに推計した。調査では想定する頻度(回答された選択肢に対応する月間平均利用回数)に1乗車当たりの料金単価(220円と仮定)を乗じて算出した。その結果、1世帯当たりの月額はバスが5分間隔の場合10,245円、10分間隔の場合9,444円、20分間隔の場合7,326円となった。また、対象物件との差額が大きいほど、またバス運行頻度が高いほど、想定利用頻度は多くなると考えられる。そこで、差額2万円のプランに対して1つでも選好を示した者、かつバスが5分間隔の場合についても同様に確認したところ、月額で1世帯当たり10,324円であった。

自転車シェアについては、ドコモ・バイクシェア⁹⁾の東京エリア月額会員プランを参考に、1人当たり2,200円/月と仮定して推計した。カーシェアについては、タイムズカー¹⁰⁾の料金を参考に15分あたり220円と仮定し、各プランに含まれる利用時間数に対応した金額を用いて推計した。

各プランについて上記を積算した結果を表1.6に示す。どのプランも積算額は月額1万台であり、既存の家賃への上乗せ額2万円程度であれば十分に提供しうる規模感であることが確認できた。

表1.6 各プランに対応する月額料金の積算結果

	路線バス	自転車シェア	カーシェア	合計
プランA	¥10,400	¥2,200	¥3,520	¥16,120
プランB	¥10,400	¥4,400	—	¥14,800
プランC	¥10,400	—	¥5,280	¥15,680
プランD	—	¥4,400	¥7,040	¥11,440

1.7 まとめと今後の課題

本研究では、MaaS 付賃貸物件の基本概念及び既存事例を示したうえで、ウェブアンケート調査をもとにした選好の概況や個人属性との関係、及び自家用車保有に与える影響などを評価した。その結果、条件により 3~5 割程度が MaaS 付賃貸物件を既存の検討対象物件よりも好ましいと考えるなど、一定の需要が存在しうることが確認できた。また、「戸建住宅が検討対象に含まれている層」、「バス高頻度利用者層」、「自家用車保有を迷っている層」が、MaaS 付賃貸物件を特に望ましいと考える傾向があることが確認できた。自家用車保有に与える影響としては、自家用車保有を迷っている層の約 7 割が、MaaS 付賃貸物件に住む場合は自家用車を保有しない意向であるなど、自家用車保有に一定の影響を与えることが示された。また、調査において仮定した、路線バス、カーシェア、自転車シェアを含む交通パックの料金は世帯当たり月額 1 万円台に相当するものと推計でき、今回の調査で需要を確認した水準の 1 つである家賃への上乗せ額 2 万円程度であれば、十分に賄える規模感であることが確認できた。

今後の課題としては、第一に、モデルを改善し需要分析を深化させることがある。これにより、MaaS 付賃貸物件の選好への影響要因の詳細な解明や、ターゲットとなる地域・層の明確化が図られ、そのターゲットに適したパッケージ設計に関する知見を得ることができると考えられる。また、MaaS 付賃貸物件居住時における自家用車保有意向への影響もモデル化し、自家用車保有への感度の高い層を明らかにすることも必要である。

第二に、上述のように自家用車保有に一定の影響を与えることが明らかになったことから、駐車スペースの再配分など設計上の工夫を通じた MaaS 付賃貸物件自体の、そしてひいては住宅地としての魅力向上策を検討することが考えられる。

第三に、今回は対象外とした、小児料金が適用される 6 歳以上の子供含むファミリー層を含む調査・分析、分譲住宅を対象とした調査・分析などが挙げられる。

<参考文献>

- 1) Jitrapirom, P., Caiati, V., Feneri, A. M., Ebrahimigharehbaghi, S., Alonso-González, M. J., & Narayan, J.(2017) “Mobility as a Service : a critical review of definitions, assessments of schemes, and key challenges”, *Urban Planning*, Vol.2, Issue.2, pp.13–25
- 2) TrafficTechnologyToday.com (2021) “Can MAAS Succeed?”, *tti March 2021*, p28–34
- 3) 国土交通省 (2021) 「令和 3 年度 日本版 MaaS 推進・支援事業 12 事業について」、<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001419406.pdf> [最終閲覧 : 2022 年 5 月 21 日]
- 4) 藤垣洋平、高見淳史、トロンコゾ パラディ ジアンカルロス、原田昇 (2017) 「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.53、No.3、pp.833～

- 5) 田淵景子、福田大輔（2020）「再帰ロジット型交通行動モデルを用いたサブスクリプション型 MaaS の評価に関する基礎的研究」、『都市計画論文集』、Vol.55、No.3、pp.666～673
- 6) 宮脇桐子、富岡秀虎、高山宇宙、森本章倫（2020）「スマートフォン位置情報データを用いた MaaS 導入時の交通行動変容に関する研究」、『都市計画論文集』、Vol.55、No.3、pp.637～644
- 7) 三井不動産株式会社、株式会社 ShareTomorrow（2021）「目的地と移動手段をセットで提供する不動産 MaaS の新サービス「&MOVE」を商業施設・ホテル・マンションへ導入～コロナ禍を契機に多様化が進むライフスタイルへ対応～」、<https://www.mitsufudosan.co.jp/corporate/news/2021/1222/download/20211222.pdf> [最終閲覧：2022年5月21日]
- 8) Parkmerced “Our Car-Free Living Program For Residents | Parkmerced”, <https://www.parkmerced.com/carfree-living> [最終閲覧：2022年5月21日]
- 9) 株式会社ドコモ・バイクシェア「ご利用料金・時間 | 東京・新宿区自転車シェアリング（シェアサイクル）」、<https://docomo-cycle.jp/shinjuku/timeandprice/> [最終閲覧：2022年5月21日]
- 10) タイムズモビリティ株式会社「料金 | カーシェアリングのタイムズカー（旧：タイムズカーシェア）」、<https://share.timescar.jp/fare/> [最終閲覧：2022年5月21日]

2 章 An Integrated Residential Location and Travel Model System for Evaluating the Effect of Autonomous Vehicles

2.1 Introduction

As a complex system, urban transport system is made up of various dependent sub-model components. These components are intuitively demand for an integration effort to exploit the real potential of them and yield more reliable travel forecasting results.

Nonetheless, it was not until recent decades that operational integration models emerged. This is of course partly due to the rising need for testing travel policy with increasing complexity, but also due to improvement in computation power and data quality. It is expected that the next-generation travel models with higher forecasting power would be widespread in practice.

Unfortunately, travel forecasting efforts are becoming so sophisticated, if not formidable, that hinders other researchers and practitioners from comprehending the mechanism inside the “black boxes”. Ease of understanding, use and transferability should deserve more attention, which in fact are sometimes considered more important than theoretical soundness and advancements¹⁾.

Against these backgrounds, this article intends to propose an integrated model system considering trade-offs between the theoretical soundness and ease of understanding in the context of Japan. Such a model system is no single modeling approach but a “*suite of related approaches*” including “*improved land use modeling, tour-based models, activity-based models, discrete-choice modeling, traffic micro-simulation, and dynamic traffic assignment*”²⁾.

The remaining article will be organized with firstly a literature review, then a description on the proposed model system, and finally some reasonings as well as limitations.

2.2 Literature Review

2.2.1 Travel Demand and Activity-based Models

Travel demand refers to the needs of travel, it contains information such as origins, destinations, time of day, and travel mode to suggest how trip makers reach places to fulfill specific activities or needs. Travel demand modeling, as its name suggests, is to construct models for estimating this information of travel demand. Due to its role in representing the complexity of human behaviors

especially in the sense of decision making, travel demand modeling has been long researched and lies at one of the cores of transportation planning nowadays.

The well-known Four Step model has been applied widely since its introduction in late 1950s. However, many researchers and practitioners voiced against Four-Step Model. Rasouli and Timmermans³⁾ summarized criticisms to Four-Step Model in four aspects: lack of integrity, lack of dependency, its strong aggregate nature, and lack of behavioral realism. Some subsequent studies attempted to extend the discrete choice model application to other dimensions of travel demand, i.e., not limited in mode choice or other single aspect. This stream of models is called disaggregate travel demand model or Integrated Trip-based Model against the aggregate nature of Four Step Models. For example, Domencich and McFadden⁴⁾ developed a multi-level model to represent optimal choices within a decision hierarchy that is composed of work and residential location choice, vehicle ownership choice, trip or no trip choice, destination choice, time-of-day choice, and mode choice, in that order. Despite these inspirational studies having significant improvements over Four-Step Model, disaggregate travel demand approaches were mostly still applied in a trip-based context, which has been receiving criticisms such as failing in capturing complex individual responses. It is to this end that following development of behaviorally-oriented activity-based approaches are introduced⁵⁾.

The idea of activity-based model stems from a basic characteristic of travel demand: “*the demand of travel is derived, it is not an end in itself*”⁶⁾. It is the need to undertake activities at locations different in space that makes people travel. The activity-based approaches as such laid great emphasis on behavioral realism, that is, the underlying decision-making process for trip-making. Another worth-noted characteristic of the activity-based approaches is that they are able to measure travel in an entire day or even whole week scale so that allows better capturing of the effects across multiple trips⁷⁾.

After all, activity-based travel demand model is considered as the state-of-the-practice travel demand model, where travel behaviors are captured in an advanced way. This argument will be elaborated in the following contents.

Rasouli and Timmermans³⁾ categorized three types of activity-based models: Constraints-based Models, Computational Process Models or sometimes called Rule-based models, and Utility-maximizing Models. A general description is to be given as below. See Pinjari and Bhat⁵⁾ and Rasouli and Timmermans³⁾ for the information and details of all the models concerned.

The constraints-based models can be traced back to the mid-1970s. These pioneering models, however, do not fit well the field of travel demand model or travel forecasting approach as they are designed to check whether a given daily itinerary is feasible or not, rather than to predict individual-

or household-level activity-travel patterns³⁾. Constraints-based models are mostly derived from the framework of space-time prism⁸⁾, which defines feasible activity-travel choice amid geographical and temporal constraints. Two typical examples of models include PESASP model⁹⁾ and CARLA¹⁰⁾.

Rule-based models^{7),3)} refer to those activity-based models using heuristics to mimic the decision-making process. Although these heuristics are usually context dependent and thus have so enormous branches that cannot be practically demonstrated in one single model, the rule-based models can be coarsely viewed as an “exhaustive set of rules in the form of condition-action pairs”⁵⁾. These rules or heuristics sometimes do not pursue an “optimal” but instead “non-inferior” or “sub-optimal” decisions during the process so as to reflect the embedding activity constraints and priorities, which are context dependent as mentioned above. Representative examples of the rule-based models include STARCHILD^{11),12)}, SMASH¹³⁾, AMOS¹⁴⁾, ALBATROSS¹⁵⁾, TASHA¹⁶⁾, and ADAPTS¹⁷⁾.

Utility-maximizing models have been popular since its introduction in mid-90s. This stream of models is based on Discrete Choice Method framework as well as the framework’s major premise of Random Utility Maximization in choosing alternatives, from which the stream takes the name. As introduced, there have been many earlier models that employed discrete choice models, exemplified by Domencich and McFadden⁴⁾. Utility-maximizing models can be regarded as the extension to span the modelling context to at least an entire day by including more dimensions of such as daily activity pattern choice into a nested logit (NL) model and to seek for finer resolution for application. Representative models include the DAS^{18),19)}, CT-RAMP²⁰⁾, CEMDAP²¹⁾.

It seems that Utility-maximizing models, exemplified by DAS models and CT-RAMP models, are gradually taking the majority in practice, but it can be asserted for now that still no one single model has commanded universal appeal²²⁾. Nevertheless, activity-based models are still in the way of advancing to methodology with greater behavioral realism, better policy sensitivity, faster deployment, and easier to be understood.

2.2.2 Integrated Transportation Models

A system is often featured by being composed of multiple various elements that interdependently affect each other. Urban system is undoubtfully an exemplar of the complex interconnected structure, where transportation is no more than one of its components. Integration asks to combine the involved components together into one holistic mechanism. Transport planning is also required to be analyzed as an integral part. In both the academia and industry, connections between transport and land use planning are deemed important as being closer to each other.

At a more basic level, integration of elements within the transport system is also important in the analysis. Integration at this level refer to the integration of travel demand and travel supply. Linkages between the demand and the supply is usually reflected in the traffic assignment procedure that predicts traffic flow conditions under a given pattern of travel demand and other related inputs. Being less frequently mentioned and conducted for this level of integration is the equilibrium between the demand and the supply, which means to iterate the interactions between the two until they converge to a stable state like a market process⁵⁾.

These levels of integrations can be illustrated in one general travel demand-supply and land use causal structure (Figure 2.1), where feedback effects are adequately considered, and accessibility plays an important bridging role. Unfortunately, these wisdoms of integration did not prevail until recent decades as they are hard to operationalize. We consider it an important aspect for a sound travel forecasting effort and finds it necessary to be reviewed. Thus, a brief review will be given in this section, including two parts: integration with land use, and integration of travel demand and supply.

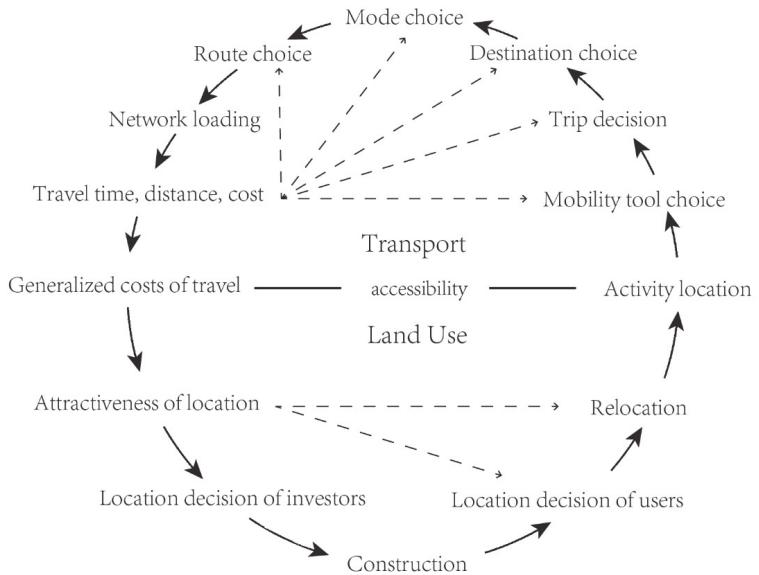


Figure 2.1 Feedback Cycle between Land Use and Transport Systems²³⁾

(1) Integrating Transport and Land Use Models

Land use models forecast primarily “the locations where urban activities occur”²⁴⁾, which decides in other words the spatial patterns of activity locations or facilities in the study region. As land use model determines distribution of locations around the region, it decides the patterns of travel demand by determining the spatial separation pattern among the activity locations. On the other hand, change in costs of travel, in turn, would affect the attractiveness of the location and thus stimulate needs to

modify the land use distribution.

Therefore, the relationship between transportation models and land use models has long been recognized as being reciprocal. This reciprocal relationship is usually called the “Land-use transport feedback cycle”²⁵⁾. The models aiming at capturing this process are called Land Use Transport Interaction (LUTI) Models.

The basic theory of the Transportation-land use feedback cycle is based on economic concepts such as consumer behavior notions²⁶⁾. These models are relatively simple but did establish a fundamental notion that transport accessibility should not be neglected but instead is one of the key elements in land use model. The land use models were usually coupled with a Four-Step model.

Later, some other integration models based on Spatial Interaction formulations such as IRPUD model²⁷⁾ and LILT²⁸⁾ have been proposed and applied. However, few models of this type remain to the present for their poor forecasting performance²⁹⁾. This is probably due to mainly their inadequacy of the underpinning theory and limitation in representing broader economic activities³⁰⁾. These criticisms introduced the next generation of transport-land use integration models, which is based on RUM framework. This includes TRANUS³¹⁾, CATLAS³²⁾, and MUSSA³³⁾. The scopes of choices and details are also expanded throughout this trend. For example, TRANUS incorporates explicitly land development model for developers, and improves travel model by treating traffic flow by different time of day and mode of travel. MUSSA has features such as adopting the form of auction for land market, modeling in higher spatial resolution and more detailed transit network representation.

Since the 1990s, advances in computing power sparked a shift into the current state-of-the-art type of LUTI model: agent-based microsimulation models, which attempted to simulate the behaviors and interactions dynamically over time in individual level, so that the whole urban system and its changes can be represented from the “bottom up”. These models emphasize especially the feature of being disaggregated as well as dynamic. Noticeable models include UrbanSim^{34), 23)} and ILUTE model³⁵⁾.

UrbanSim is the currently most used LUTI model by MPOs in the U.S.³⁰⁾, which makes it one of the most flexible LUTI models to date. UrbanSim pursues parcel-level spatial resolution, which is much finer than other applicable models. The whole framework consists of six sub-models: Real Estate Price model to compute the prices of real estate good; Household Transition & Relocation model to describe the evolution of households by time and whether they are planning to move or not; Household location model to determine the specific location for household moving, Job Transition & Relocation Model to describe the evolution and willing to move for firms, Job Location Model to determine specific location for firm moving, and Real Estate Development model to decide new supply of real estate goods²³⁾. All these sub-models apply multinomial logit (MNL) model except that

the Price model computes the results by a Hedonic Model. One important limitation of UrbanSim is that it does not include transport model component but rather offer an interface to extend it with an exogenous transport model.

ILUTE model stands for one of the most completed microsimulation models in this field. Four contiguous components represent the core of ILUTE: land use, automobile ownership, location choice, and activity-travel patterns. Multiple modeling methods are implemented for these components to cope with different choice contexts, these methods including random utility models, rule-based models, learning models, and state transition models. ILUTE was often coupled with TASHA, one of the activity-based travel demand models, though the travel supply model is not explicitly incorporated.

(2) Integrating Travel Demand and Travel Supply

Travel supply refers to transport services provided by the urban system. Specifically, the services are delivered by the combination of infrastructure, vehicles, and the operators or the management system of the former two⁶⁾. In less broad terms, travel supply refers to the level of the services, or metrics representing the network conditions. The interaction between travel supply and travel demand is illustrated the upper half of Figure 2.1, where the feedback effects are shown in dashed line. Therefore, to seek the travel equilibrium state in the short-term transport-related choices would more sufficiently reflect a consistent travel forecasting and thus improve its reliability. Although this statement seems correct whatever the policies concerned in one forecasting problem, the task of finding the equilibrium is often not an easy one due to the complexities of the relationships above.

In traditional Four-Step Model, the first three steps forecast the changes in travel demand side while the last step forecasts the influence on travel supply side. So, if exercised in a full iterative process, the Four-Step Model should serve the purpose of seeking the equilibrium³⁶⁾. However, the Four-Step Model usually fails to adequately fulfill this task not only because that the basic specification of the Four-Step Model incorporates an iterative process limited to route choice, but more fundamentally also due to its shortcomings from applying trip-based method and static traffic assignment method: e.g., feedback to prior stages of destination, mode, and whether to travel “has often been introduced but not in a consistent and convergent manner”³⁷⁾.

For travel demand side, in replace of the trip-based models, activity-based models are considered more appealing with more behavioral reliability. Many operational activity-based travel demand models have been proposed and applied around the world, see Subsection 2.2.1 for details.

For travel supply side, static assignment method has been implemented as a convention for a long

time. The feature of being “static” in conventional traffic assignment means that neither the OD pairs nor the network conditions are treated time-dependent. As the conventional trip-based travel demand models usually does not identify temporal variations more than peak and off-period period, the static traffic assignment should meet most of the requirements then. Apparently, this is no longer the case currently. For example, policies such as congestion pricing intuitively demands for a better temporal resolution, this is in essence a call for accommodating travel demand dynamics in the supply model. Against this backdrop, dynamic traffic assignment emerged where both demand and network conditions, and travel times are time dependent.

Despite the advancements in both demand and supply models, the research efforts have been achieved independently³⁶⁾ due to their complexities. To take the advantages from the both side and to generally improve travel forecasting power of a model system, it is essential to execute the travel supply-demand equilibrium process with these two advanced approaches. In this sense of integrating activity-based travel demand model and dynamic traffic assignment model, a limited number of applications have been published, some early examples include Lin et al.³⁶⁾.

Subsequent research projects have sought to develop a model platform where the supply-demand equilibrium is more closely integrated inside so that application efficiency would be improved. This is achieved by better software designs and data constructs. This includes SimTRAVEL³⁸⁾, FEATHERS³⁹⁾, and POLARIS⁴⁰⁾.

Finally, the model system of SimMobility⁴¹⁾ represents one of the most sophisticated model systems of this stream. The Singapore-based model integrates long-term land use model, mid-term travel demand model, mid-term dynamic traffic assignment model, and a short-term microscopic traffic simulator for microlevel vehicle control such as lane change behavior in 0.1 second resolution. These models were respectively enhanced and combined into the model system in the Singapore context.

2.3 Proposed Model System

Following the literature reviewed, a multi-hierarchical model system is proposed in a manner of LUTI models (Figure 2.1). This model system mainly consists of three models: an activity-based travel demand model, DAS^{18),19)}; an agent-based dynamic traffic simulation model, MATSim⁴²⁾; and an MNL-based residential location model.

As the Figure 2.2 shows, the DAS models the travel demand and MATSim models the travel supply part. These two models are integrated in a manner that is similar to Lin et al.³⁶⁾ to capture the

short-term travel demand-supply interactions: the outputs from both models, respectively time-specific OD pairs data and network conditions data, are exchanged across the two models. After the two models converge to a demand-supply equilibrium, a concept of activity-based accessibility⁴³⁾ is calculated as a composite change from the transportation system in order to be passed to the long-term residential location choice as one of its inputs. The approach to incorporate the activity-based accessibility used is reference to mostly Ben-Akiva and Bowman⁴⁴⁾.

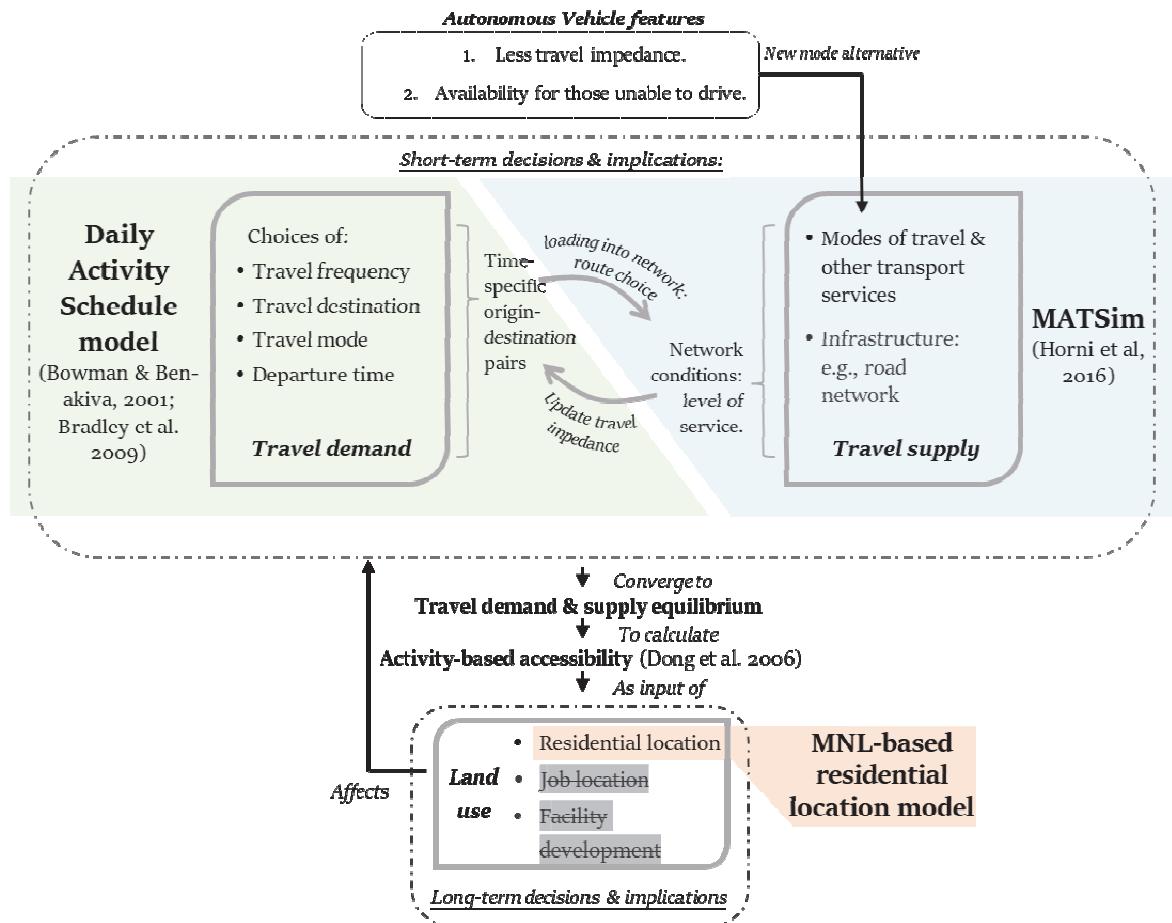


Figure 2.2 Proposed Model System

2.3.1 MATSim as Travel Supply Model

As what have been discussed, MATSim was designed as an integrated simulation toolkit to model travel equilibrium, which requires MATSim to be able to model both transport demand and supply part. To this end, MATSim adopts a co-evolutionary iterative loop to converge to the equilibrium, as shown in Figure 2.3.

The loop starts with an initial travel demand in the form of daily activity and trip chains for every individual. The activity and trip chains are loaded to the road network in the Mobsim phase. After the end of one simulation day, a score is calculated for each agent's activity chains (i.e., plans). In the last step of replanning, every agent possesses a collection of plans generated from their previous plans and must choose one based on their scores to execute in the next iteration.

In the network loading part, a traffic flow model QSim is adopted as the default in MATSim. The QSim applies a computationally efficient queue-based approach. Basically, when vehicles enter a road segment, they follow the behaviors described below: first, go through the link with time of the link length and velocity ratio; second, the vehicle is inserted into the tail of the queue of the road; and finally leaves the road according to flow capacity of the road, where the outflow speed is distinctive to each road and being specified by the capacity attributes.

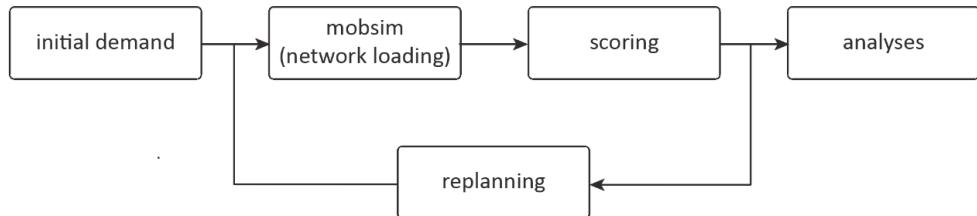


Figure 2.3 MATSim Iterative Loop⁴²⁾

In the scoring and replanning part, a score is formulated in a generalized utility fashion, to offer a criterion for differentiating a “better” and a “worse” plan for each agent. Based on the score, the replanning applies Genetic Algorithm (or called Evolutionary Algorithm) that “breeds” a new plan completely based on previous plans, i.e., plans it has conducted by the specific agent. Two operators, mutation and selection operator are generally used in application. Mutation operator modifies a certain component in previously executed plan and adopted this modified (i.e., mutated) plan for the next iteration.

In its default configurations, three types of mutators that correspond to three components: route choice, departure time choice, and mode choice are applied in MATSim. Reroute Mutator re-computes the fastest path for each trip in the specific agent's plan according to the time-specific link travel times, which is calculated from the simulation of the previous iteration. Time Allocation Mutator randomly draws a value from a uniform distribution, then shifts the activity end time for the first activity and activity duration for the else with this value. Mode Choice Mutator changes travel mode to a random other mode that in the agent's ownership.

There are multiple types of Selectors available in MATSim, depending on the equilibrium state that

a modeler is likely to reach. A Best Reply Selector simply selects the best plan from the last iteration. An MNL Selector applies the plan selection approach in a discrete choice way, which accounts for stochasticity in agents' behavior.

A sequence of the three phases of mobsim, scoring, and replanning form one iteration for the model. One can consider the iteration process as an extension of route assignment loop to generalized “supernetwork”⁵³⁾ in an activity chain context. It means that the model process is designed to involve not only route assignment but also other choice dimensions, such as mode choice and departure time choice, to be jointly equilibrated. If a probabilistic Selector is applied, the stable state at convergence is formalized in an agent-based Stochastic User Equilibrium. For each traveler, a collection of plans is maintained, with which the population evolves simultaneously to converge to the equilibrium.

2.3.2 Daily Activity Schedule Model as Travel Demand Model

As introduced, an activity-based travel demand model on the basis of DAS model¹⁸⁾ is employed as the travel demand model for the whole model system.

DAS model adopts a utility-maximizing discrete-choice protocol to forecast travel itinerary for an individual in a whole-day level. The travel decisions, i.e., demands are “*viewed as a utility maximizing individual's choice of one day activity schedule from a discrete choice set of all possible schedules*”⁴⁶⁾. The definitions of the “schedule” alternative vary among different DAS model specifications, but a main idea is shared by all the specifications that tour decisions are and should be conditioned as well as constrained by the trip-makers' activity pattern decision. These two form the choices of “schedule” together. The utility of the pattern alternative is also dependent of its conditional tours through the expected utilities of the tours. By doing so, sensitivity of pattern choice to the change in tour characteristics is captured.

Specifically, the DAS structure proposed in this article is shown in Figure 2.4. This DAS structure is much closer to what applied in by Bradley et al.¹⁹⁾ and Li²²⁾, both of which are the subsequent DAS versions to the original one¹⁸⁾. Three levels of decisions: pattern-level decisions, tour-level decisions, and trip-level decisions (or stop-level decisions) form the whole structure. Each level has multiple models concerning different facets of one's daily schedule: persons are assumed to draw an overall image of what activities they are going to do that day, then for those activities with higher priority several home-based tours are planned, while those activities with less priority are either performed in another home-based tours or as an intermediate stop or subtour trip based on the location of the primary activity. All the levels are structured within the MNL framework, though the way of defining the alternatives may vary for the two “generation” models for subtours and intermediate trips.

The interrelationship across the decisions and models are indicated by the arrows in Figure 2.4. As the legend suggests, the solid arrows in Figure 2.4 represent that the lower models are conditioned by (i.e., receiving model inputs from) the models pre-defined over them, while dashed arrows represent that pattern-level models are dependent to the expected maximum utility from some certain lower models, whose actual decisions are to be made subsequently.

Daily pattern level decisions include two models: Day Activity Pattern model to predict whether or not to participate in tours and stops (i.e., intermediate trips and subtour trips) for each activity purpose; and Exact Number of Tours model to predict in this day the exact number of tours of certain activity purpose that is predicted true in the previous Day Activity Pattern model. This level offers modeling of substitution effects between extra tours and extra stops.

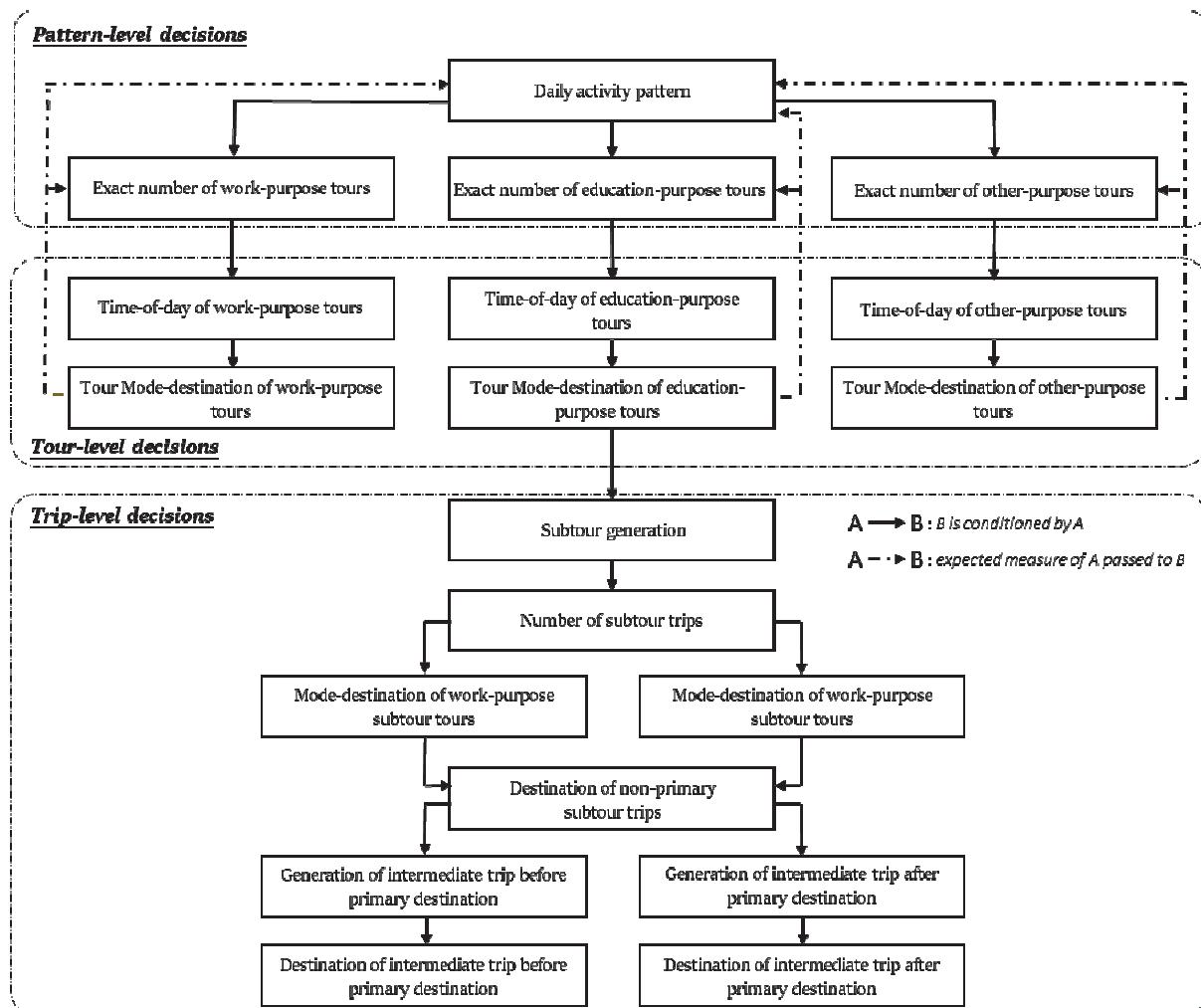


Figure 2.4 Proposed DAS-type Travel Demand Model Structure

The numbers of stops for each tour are not predicted in this level, which is intentionally mentioned in the technical memos of the Sacramento model as a feature differentiated it from previous model designs. Instead, the exact allocation (to tours) and number of stops are handled with the information of tours can be treated as known, which means after the modeling of tour-level decisions. This design could offer better stop-level sensitivities as the changes in tour-level characteristics are reflected.

Tour-level decisions also include two models for predicting time of day and mode-destination of each tour. Tours in this research are defined as a series of trips where the origin of the first trip and the destination of the last trip are both homes. The time of day model predicts jointly departure time of day (in five level of temporal resolution, Early, AM Peak, Midday, PM Peak, and Late) of two phases in each tour: time point of the tour departs from home and leaves for home. For example, AM Peak-PM Peak represents a tour that departs home at AM Peak and leaves for home at PM Peak. The mode-destination model predicts jointly the primary destination mesh of each tour and the mode of travel that leads to it.

Trip-level decisions include multiple models to complement the trip-level information for each tour. Besides the primary activity in one tour, trip-makers are sometimes observed to make extra stops during the tour. These include subtour: any round trips pattern with an anchor not being home, and intermediate trips: any detours in order to perform extra activity on the way to or back from the primary activity destination. Exact number of these two types of stops and mode-destination information of theirs are modeled in the order shown in Figure 2.4.

2.3.3 Accessibility as an Evaluation Measure

The use of accessibility has been widespread in transportation planning, urban planning, and other academic fields for decades, for assessing composite benefits from the transport system. The definition of accessibility varies to its application context, but in its essence refers to “the potential of opportunities for interaction”⁴⁷⁾ at large. Geurs and van Wee⁴⁸⁾ provided a review and classification of the accessibility measures and proposed utility-based measure for analyzing the economic benefits that people can gain from the activities.

The utility-based measure, in specific, the logsum is adopted in this article. This measure offers an interpretation of accessibility as the “expected utility associated with a choice situation”⁴⁹⁾ which is similar to an economic concept of indirect utility. Within the RUM framework, the expected utility refers to systematic component of the maximum utility. In MNL, it equals to the logarithm of the denominator:

$$A_n = \frac{1}{\mu} \ln \left(\sum_{i \in C_n} e^{\mu V_{in}} \right) + C \quad (1)$$

Where A_n denotes the accessibility of individual n , μ the scale parameter, i the alternative in the choice set C_n , V_{in} the systematic component of utility of i for n , and C an unknown constant that represents the absolute value of utility in that MNL specification.

Although the logsum measure suffers from shortcomings such as failing to capture temporal constraints, i.e., the available time of facilities and time budget of individuals, it satisfies most of the theoretical criteria proposed by Geurs and van Wee⁴⁸⁾, including being sensitive to changes in both transport and land use system, taking individual's heterogeneity into account, and being relatively easy to operate and interpret. Of even more significance is that the logsum is, by its foundation, linked to micro-economic theory so that render itself appropriate for economic evaluations. An indicator of social welfare, consumer surplus can be easily transformed from logsum through dividing it by a travel cost coefficient^{48),50)}. As argued and suggested by de Jong et al.⁵⁰⁾, the logsum measure of consumer surplus is more accurate than traditional Rule-of-a-half practice, which is based on assuming incorrect linear demand curves and cannot correspond to the situation where there is a change occurred in the number of alternatives.

The applications of logsum measure in practical appraisals of transport project was limited until 2000⁵⁰⁾, and the applications involved mode-destination choice mainly (e.g., Niemeier⁵¹⁾). As an extension to that, Dong et al.⁴³⁾ formulated a concept called “Activity-based Accessibility” (ABA) that was firstly presented by Ben-Akiva and Bowman⁴⁴⁾. The key difference between the ABA and mode-destination accessibility is that the former is generated from the DAS model, so it examines all trips and activities in the whole-day range instead of a single trip. In specific, ABA still follows the formula of logsum above, where the choice set C_n is a set of activity schedules rather than single trip's mode-destinations on specific trip purpose. This allows ABA to reflect the influence of trip chaining and scheduling.

2.3.4 Residential Location Choice Model

The residential location model specification is based on that proposed by Ben-Akiva and Bowman⁴⁴⁾ as an integrated model connected to an activity-based model system. The residential model is specified as an MNL model in household level, where the observed component of the utility of residential location l for household i is of two parts:

$$V_{il} = \beta X_l + \alpha A_{i|l} \quad (2)$$

Where X_l is the attributes of l , $A_{i|l}$ is ABA value: the expected utility calculated from the Day Activity Schedule level, the top level of DAS model, of household i given residential location l , and α , β are coefficients to be estimated. Specifically, three types of $A_{i|l}$ are included in this model system:

$$A^w_{i|l} = \frac{\sum_{w \in W_i} A_{w|l}}{W_i}, \quad A^s_{i|l} = \frac{\sum_{s \in S_i} A_{s|l}}{S_i}, \quad A^u_{i|l} = \frac{\sum_{u \in U_i} A_{u|l}}{U_i} \quad (3)$$

Where $A^w_{i|l}$, $A^s_{i|l}$, $A^u_{i|l}$ are the average ABA for workers, students, and unemployed people in the household i respectively. These three terms are pre-calculated and estimated as three independent variables with corresponding coefficient α . The average ABA term of each person type would not be included in the utility function if that household has no member with the specific person type.

2.4 Reasonings and Limitations

2.4.1 Reasoning of the Proposed Model System

The model system is proposed with the intention of having sufficient forecasting reliability and sensitivity. As reviewed, the combination of activity-based travel demand model and dynamic traffic assignment model are considered the state-of-the-art paradigm in travel forecasting. Hence, advanced model reliability and sensitivity are expected compared to its traditional counterparts at large. How these advantages can be gained in specific in the DAS and MATSim combination is summarized below.

The major advantage and the reason to be use MATSim in this research is its spatial and temporal resolution which are one of the finest levels currently available in the operational models. This model was built on basis of the knowledge and experience from TRANSIMS project⁵²⁾ whose probably the most significant feature was the unprecedented resolution and scale at the time: second-by-second microsimulation over a 24-hour period within “all-streets” network in the scale of entire cities²⁴⁾. Many features of TRANSIMS have been succeeded by MATSim but also with some advances: for example, MATSim replaced cellular automata model with a queue model for network loading, so that further speed up the assignment process. Concisely, the improved network representations are

considered necessary to match the precision of travel behaviors generated by advanced activity-based demand models.

Despite that MATSim was originally designed as an integrated transport demand and supply model, this model system purposely choose not to enjoy the MATSim's full function. The main reason to that is the travel demand module in MATSim cannot provide sufficient model sensitivity required in examining induced travels in the sense of travel more and travel longer. We expect that the induced travels would influence the congestion effect and accessibility. In this regard, a separate activity-based demand model is adopted to generate daily demand including the “trip generation” and “trip destination” steps.

The reason for why the activity-based travel demand model is chosen over other conventional travel demand models can be summarized simply in that, especially for the DAS type, it allows “*consistent generation of all tours and trips made during a person-day*”⁵³⁾. While compared to the other trip-based and tour-based models, activity-based models provide a new modeling dimension: the daily pattern level, so that it could not only give greater level of output detail but also accommodate the interactions between the tours made during one entire day.

To this end, we choose DAS model, one representative of the utility-maximizing models, among all the activity-based models that have been proposed and applied. The reasons why the rule-based activity-based models were not adopted are that most of the rule-based models focus on activity scheduling and sequencing while considering activity generating to be exogenous⁵⁴⁾. To choose DAS model, among other activity-based models, is at first because of a practical reason that DAS type models are one of the most applied travel demand models in the real world. This is presumably due to its utility-maximizing protocol and hierarchical model structure being easier to be understood and validated, so that they get more chance to be appreciated by the practitioners and policymakers.

The DAS model is also considered to be one of the most maturely developed activity-based model systems nowadays. DAS model was structured on the basis of trip- and tour-based discrete choice models, where interactions among the travel decisions were captured via expected utilities. These model systems have been extensively applied, validated, and extended, suggesting their “ability to perform reasonably well in forecasting”⁴⁶⁾. As an extension, DAS model managed to accommodate trips and tours into one larger level of so-called “day pattern”, so that allow more policy sensitivity to the pattern-level choices. Despite comprehending to this more complex choice hierarchy could introduce difficulty and even new sources of bias in forecasting, it is chosen as a balance between the model sophistication and model sensitivity.

2.4.2 Limitations of the Proposed Model System

In general, a transport forecasting can never be perfect, and it is especially true when it is extended to the land use forecasting. Some of the representative limitations and/or potential for improvement of the proposed model system are discussed below.

First, limitations of the activity-based travel demand model (i.e., DAS model) should be shared. For the proposed model specification, at least two obvious points can be improved in future: one is that the individual specific time budget has not explicitly incorporated; the other is that the logsum variable does not reflect changes from time of day and other trip-based level choices. Especially, if well handled, the time budget constrain should produce more realistic induced travel distance results. An improved version of DAS is expected to solve the limitation, such as in the empirical analysis by Vyas et al.⁵³⁾ where another activity-based travel demand model CT-RAMP was used that is said to be able to do so.

Second, there is potential for significant improvement regarding the land use model part, although it is expected to increase both model complexity and data requirements. Aspects such as job location choice, development choice of housing or other facilities (Figure 2.2) may need to be incorporated to acquire a more realistic forecasting in the long term. A life-cycling model to reflect the demographic changes in the long term is also desirable in acquiring more reliable forecasts. Furthermore, the long-term loop in Figure 2.2 is also advised to be performed.

<Reference>

- 1) Waddell, P. (2011) “Integrated land use and transportation planning and modelling: addressing challenges in research and practice”, *Transport Reviews*, 31(2), pp.209-229.
- 2) National Research Council (US). Committee for Determination of the State of the Practice in Metropolitan Area Travel Forecasting, & Transportation Research Board. (2007) *Metropolitan Travel Forecasting: Current Practice and Future Direction - Special Report 288* (No. 288), Transportation Research Board.
- 3) Rasouli, S., & Timmermans, H. (2014) “Activity-based models of travel demand: promises, progress and prospects”, *International Journal of Urban Sciences*, 18(1), pp.31-60.
- 4) Domencich, T. A., & McFadden, D. (1975) *Urban Travel Demand: A Behavioral Analysis*, North-Holland Publishing, Amsterdam.
- 5) Pinjari, A. R., & Bhat, C. R. (2011) “Activity-based travel demand analysis”, In: A. de Palma, R. Lindsey, E. Quinet and R. Vickerman (eds.), *A Handbook of Transport Economics*, pp.213-248, Edward Elgar Publishing.
- 6) Ortúzar, J. D. D., & Willumsen, L. G. (2011) *Modelling Transport*, John Wiley & Sons.
- 7) Kitamura, R. (1996) “Challenges for Travel Demand Forecasting: Toward the Development of Next-Generation Model Systems”, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, (530), pp.17-30. (In Japanese)
- 8) Hägerstrand, T. (1970) “What about people in Regional Science?”, *Papers of the Regional Science*

Association, 24, pp.6-21.

- 9) Lenntorp, B. (1976) "Paths in space-time environments: A time-geographic study of movement possibilities of individuals", *Lund Studies in Geography*, Series B, Human Geography number 44, The Royal University of Lund, Sweden.
- 10) Jones, P. M., Dix, M. C., Clarke, M. I., & Heggie, I. G. (1983) *Understanding Travel Behaviour*, Gower: Aldershot.
- 11) Recker, W. W., McNally, M. G., & Root, G. S. (1986) "A model of complex travel behavior: Part I—Theoretical development", *Transportation Research Part A: General*, 20(4), pp.307-318.
- 12) Recker, W. W., McNally, M. G., & Root, G. S. (1986) "A model of complex travel behavior: Part II—An operational model", *Transportation Research Part A: General*, 20(4), pp.319-330.
- 13) Ettema, D., Borgers, A., & Timmermans, H. (1993) "Simulation model of activity scheduling behavior", *Transportation Research Record*, 1413 (1), pp.1-11.
- 14) Resource Decision Consultants (1995) *Activity-based Modeling System for Travel Demand Forecasting*, US Department of Transportation, Washington, D.C.,
<https://www.mobilityanalytics.org/uploads/5/0/5/4/5054275/amos.pdf>. [Accessed Nov. 2021]
- 15) Arentze, T. A., & Timmermans, H. J. (2004) "A learning-based transportation oriented simulation system", *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(7), pp.613-633.
- 16) Miller, E. J., & Roorda, M. J. (2003) "Prototype model of household activity-travel scheduling", *Transportation Research Record*, 1831(1), pp.114-121.
- 17) Auld, J., & Mohammadian, A. K. (2012) "Activity planning processes in the Agent-based Dynamic Activity Planning and Travel Scheduling (ADAPTS) model", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(8), pp.1386-1403.
- 18) Bowman, J. L., & Ben-Akiva, M. E. (2001) "Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules", *Transportation Research A: Policy and Practice*, 35, pp.1-28.
- 19) Bradley, M. A., Bowman, J. L., & Griesenbeck, B. (2010) "SACSIM: An applied activity-based model system with fine-level spatial and temporal resolution", *Journal of Choice Modelling*, 3(1), pp.5-31.
- 20) Vovsha, P., Freedman, J., Livshits, V., & Sun, W. (2011) "Design Features of Activity-Based Models in Practice: Coordinated Travel–Regional Activity Modeling Platform", *Transportation Research Record*, 2254(1), pp.19-27.
- 21) Bhat, C. R., Guo, J. Y., Srinivasan, S., & Sivakumar, A. (2004) "Comprehensive econometric microsimulator of daily activity-travel patterns", *Transportation Research Record*, 1894 (1), pp.57-66.
- 22) Li, S. (2015) *Activity-based Travel Demand Model: Application and Innovation*, Ph.D. dissertation at National University of Singapore, Singapore.
- 23) Bierlaire, M., De Palma, A., Hurtubia, R., & Waddell, P. (2015) *Integrated transport and land use modeling for sustainable cities*, EPFL Press.
- 24) Boyce, D. E., & Williams, H. C. (2015) *Forecasting Urban Travel: Past, Present and Future*, Edward Elgar Publishing.
- 25) Wegener, M. (2004) "Overview of land use transport models", In: D. Hensher, K. Button, K. Haynes, and P. Stopher (eds.), *Handbook of Transport Geography and Spatial Systems*, pp.127-146, Emerald Group Publishing Limited.
- 26) Lowry, I. S. (1964) *A model of metropolis*, Rand Corporation, Santa Monica, CA.
- 27) Wegener, M. (1985) "The Dortmund housing market model: a Monte Carlo simulation of a regional housing market", In: K. Stahl (ed.), *Microeconomic Models of Housing Markets*, pp.144-191, Springer, Berlin, Heidelberg.
- 28) Mackett, R. L. (1983) *The Leeds Integrated Land-use Transport Model (LILT)*, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.
- 29) Iacono, M., Levinson, D., & El-Geneidy, A. (2008) "Models of transportation and land use change: A guide

- to the territory”, *Journal of Planning Literature*, 22(4), pp.323-340.
- 30) Kii, M., Nakanishi, H., Nakamura, K., & Doi, K. (2016) “Transportation and spatial development: An overview and a future direction”, *Transport Policy*, 49, pp.148-158.
 - 31) de la Barra, T. (1989) *Integrated Land Use and Transport Modelling: Decision Chains and Hierarchies (Cambridge Urban and Architectural Studies)*, Cambridge University Press, Cambridge.
 - 32) Anas, A. (1982) *Residential Location Markets and Urban Transportation. Economic Theory, Econometrics and Policy Analysis with Discrete Choice Models*, Academic Press, New York.
 - 33) Martinez, F. J. (1996) “MUSSA: land use model for Santiago city”, *Transportation Research Record*, 1552(1), pp.126-134.
 - 34) Waddell, P., Borning, A., Noth, M., Freier, N., Becke, M., & Ulfarsson, G. (2003) “Microsimulation of urban development and location choices: Design and implementation of UrbanSim”, *Networks and Spatial Economics*, 3(1), pp.43-67.
 - 35) Salvini, P., & Miller, E. J. (2005) “ILUTE: An operational prototype of a comprehensive microsimulation model of urban systems”, *Networks and Spatial Economics*, 5(2), pp.217-234.
 - 36) Lin, D. Y., Eluru, N., Waller, S. T., & Bhat, C. R. (2008) “Integration of activity-based modeling and dynamic traffic assignment”, *Transportation Research Record*, 2076(1), pp.52-61.
 - 37) McNally, M. G. (2007) “The Four-Step Model”, In: Hensher, D.A. and Button, K.J. (eds.), *Handbook of Transport Modelling*, pp.33-53, Emerald Group Publishing Limited, Bingley.
 - 38) Pendyala, R. M., Bhat, C. R., Goulias, K. G., Paleti, R., Konduri, K. C., Sidharthan, R., Hu, H., Huang, G., & Christian, K. P. (2012) “Application of Socioeconomic Model System for Activity-Based Modeling: Experience from Southern California”, *Transportation Research Record*, 2303(1), pp.71-80.
 - 39) Bellemans, T., Kochan, B., Janssens, D., Wets, G., Arentze, T., & Timmermans, H. (2010) “Implementation framework and development trajectory of FEATHERS activity-based simulation platform”, *Transportation Research Record*, 2175(1), pp.111-119.
 - 40) Auld, J., Hope, M., Ley, H., Sokolov, V., Xu, B., & Zhang, K. (2016) “POLARIS: Agent-based modeling framework development and implementation for integrated travel demand and network and operations simulations”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 64, pp.101-116.
 - 41) Adnan, M., Pereira, F. C., Azevedo, C. M. L., Basak, K., Lovric, M., Raveau, S., Zhu, Y., Ferreira, J., Zegras, C., & Ben-Akiva, M. (2016) “Simmobility: A multi-scale integrated agent-based simulation platform”, *95th Annual Meeting of the Transportation Research Board*.
 - 42) Horni, A., Nagel, K., & Axhausen, K. W. (2016) *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim*, Ubiquity Press, London.
 - 43) Dong, X., Ben-Akiva, M. E., Bowman, J. L., & Walker, J. L. (2006) “Moving from trip-based to activity-based measures of accessibility”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(2), pp.163-180.
 - 44) Ben-Akiva, M. E., & Bowman, J. L. (1998) “Integration of an activity-based model system and a residential location model”, *Urban Studies*, 35(7), pp.1131-1153.
 - 45) Sheffi, Y. (1985) *Urban Transportation Networks*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
 - 46) Bowman, J. L. (1998) *The Day Activity Schedule Approach to Travel Demand Analysis*, Ph.D. dissertation at Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
 - 47) Hansen, W. G. (1959) “How accessibility shapes land use”, *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), pp.73-76.
 - 48) Geurs, K. T., & Van Wee, B. (2004) “Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions”, *Journal of Transport Geography*, 12(2), pp.127-140.
 - 49) Ben-Akiva, M. E., & Lerman, S. R. (1985) *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, Cambridge.
 - 50) de Jong, G., Daly, A., Pieters, M., & Van der Hoorn, T. (2007) “The logsum as an evaluation measure:

- review of the literature and new results”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(9), pp.874-889.
- 51) Niemeier, D. A. (1997) “Accessibility: an evaluation using consumer welfare”, *Transportation*, 24(4), pp.377-396.
 - 52) Smith, L., Beckman, R., & Baggerly, K. (1995) *TRANSIMS: Transportation analysis and simulation system (No. LA-UR-95-1641)*, Los Alamos National Lab., NM.
 - 53) Vovsha, P., Bradley, M., & Bowman, J. L. (2005) “Activity-based travel forecasting models in the United States: Progress since 1995 and prospects for the future”, In: H. Timmermans (ed.), *Progress in Activity-based Analysis*, pp.389-414, Elsevier, Oxford.
 - 54) Vyas, G., Famili, P., Vovsha, P., Fay, D., Kulshrestha, A., Giaimo, G., & Anderson, R. (2019) “Incorporating features of autonomous vehicles in activity-based travel demand model for Columbus, OH”, *Transportation*, 46(6), pp.2081-2102.

3章 エージェントベースシミュレーションを用いた シェア型自動運転サービスの分析に必要なサンプル率の検討

3.1 はじめに

3.1.1 研究の背景

モビリティのシェアリング、ライドヘイリング、MaaS、自動運転車 (AV: Autonomous Vehicle)などの新しい技術・サービスによって、交通を取り巻く環境は大きく変化することが考えられる。いかなるサービスが登場し、受け入れられ、いかなる影響を与えるのかについて不確実性は大きい。特に、AV 車両群をオンデマンドで運用するシェア型自動運転 (SAV : Shared AV) サービスによる不確実性は大きく、車両と乗客の相互作用を捉えることのできるエージェントベースシミュレーションを用いた研究が盛んに行われている。

既往研究では、環境負荷や乗客の利便性の観点から SAV の普及による影響分析がなされてきた。Fagnant and Kockelman¹⁾は、テキサス州オースティン市を対象地域に SAV1 台が既存の自家用車 10 台分のトリップを分担できることを明らかにした。Hörl et al.²⁾は、スイスのチューリッヒ市を対象地域に自動運転サービスの運賃と乗客の利用意向とサービスの運送効率間の関係性を分析した。Vosooghi et al.³⁾は、フランスのルーアン市都市圏を対象地域に、相乗りの有無や乗車定員の異なる SAV を比較評価し、運送効率と利用頻度の観点から相乗りを伴う乗車定員 4 名のシナリオが優れているとした。

既往研究の多くは、大都市を対象地域としており、エージェントベースシミュレーションで地域の全てのトリップを扱うのは計算負荷が大きい。従って、対象地域における人口の一部のみをサンプリングしてシミュレーションで扱うことが一般的である。以降、本研究におけるサンプル率とは、対象地域の人口に対するシミュレーションで扱ったエージェントの比率を指す。Fagnant and Kockelman¹⁾は、現地の PT 調査に類するものの回答群のサンプル率 1.3% が SAV の潜在的利用者と仮定した。Hörl et al.²⁾は、移動需要を再現したのちの 100%サンプル率を用い、Vosooghi et al.³⁾は、10%のサンプル率でシミュレートした。

著者の知る限りではサンプリングによるシミュレーション結果への影響は十分な検証がなされていない。Bischoff and Maciejewski⁴⁾は、ドイツのベルリン市を対象地域に、相乗りを伴わない SAV について、サンプル率 10% と 100% のケースについて比較評価した。その結果、乗客の待ち時間と乗車率の推移に関して、10% のサンプル率を用いることによる出力の誤差は小さいと示した。しかし、その他の指標の比較評価や相乗りを伴うケースは扱っていない。サンプル率が低いと相乗りを伴う SAV の運用においてはネットワーク効果による出力の

誤差が大きくなることが推測される。以降、本研究において、低サンプル率を用いた際のネットワーク効果による出力の誤差のことを単に出力誤差と呼称する。その出力誤差の特性を明らかにすることはエージェントベースシミュレーションによる研究の妥当性・解釈性の向上に寄与すると考えられる。

3.1.2 研究の目的

以上の背景から、2%から100%までの異なるサンプル率でサンプリングした移動需要を用いてSAVのエージェントベースシミュレーションを実行し、その結果の比較を通じて、サンプル率がシミュレーション結果に与える影響を明らかにすることを目的とする。

分析対象地域は図3.1に示す群馬県沼田市周辺とした。サンプリングの対象となる100%の移動需要データは、上条ら⁵⁾で再現したものを用いた（再現方法については上条ら⁵⁾を参照されたい）。なお、相乗りを伴うSAVと相乗りを伴わないSAVの両者の運用とともにシミュレートした。以降、相乗りを伴うSAVについてSAV with DRS (dynamic ride-sharing)、相乗りを伴わないSAVについてSAV without DRSとも表記する。

なお、本章の内容はKamijo et al.⁶⁾をもとに再構成したものである。

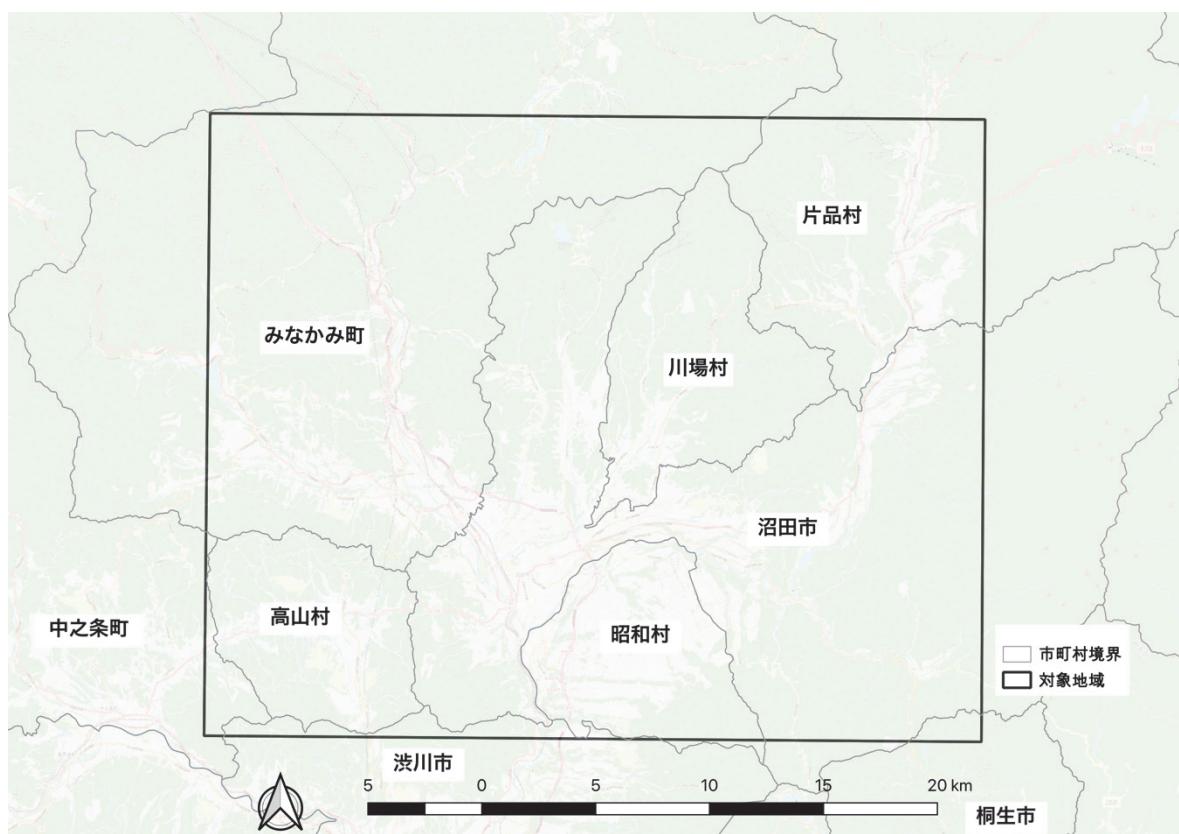


図3.1 対象地域の周辺図

3.2 研究手法

3.2.1 シミュレーションのフレームワーク

本研究におけるシミュレーションのフレームワークを図 3.2 に示す。MATSim (Horni et al.⁷⁾) をシミュレーターとして用いており、主なインプットは、エージェントの移動需要、道路ネットワーク、運用する SAV の車両群となる。なお、本研究ではシミュレーション中の人のことをエージェント、SAV 車両のことは車両と呼称する。交通流シミュレーションにおいて、車道空間では SAV のみが走行するとし、扱った交通手段は SAV、歩行、自転車に限定した。SAV は OpenStreetMap から生成した対象地域の道路ネットワークデータ上で交通流を形成して移動し、その結果として所要時間が決まる。歩行と自転車の所要時間は直線距離の 1.25 倍の距離をそれぞれ 4.5km/h, 10km/h で移動するとした。

交通流シミュレーションにより得た所要時間とコストに基づいて、上条ら⁸⁾によって推定された交通手段選択モデル（表 3.1）のパラメーターの平均値を用いて 1 日分の各エージェントのスケジュールの効用を算出する。次に、算出された効用に基づきスケジュール調整を行う。

交通流シミュレーション、効用測定、スケジュール調整の一連の流れが MATSim のループを形成している。ループを繰り返すことで各交通手段の尤もらしい需要形成を行うことを共進化的アルゴリズムと呼び、MATSim の特徴である。

本研究における共進化的アルゴリズムに関する設定を以下に示す。

- スケジュール調整において、前半ループと後半ループで処理が変わる。前半のイノベーションフェーズではループ毎に 10% のエージェントがツアーユニットで利用交通手段を無作為に変化させる。その他の 90% のエージェントはロジットモデルに従い効用の高いスケジュールを次のループに選択する。
- 後半の収束フェーズでは全てのエージェントがロジットモデルに従い効用の高いスケジュールを次のループに選択する。
- 前半のイノベーションフェーズにて 350 ループを実行し、後半の収束フェーズにおいて 150 ループを実行する。

サンプル率の異なるシミュレーションを実行するにあたって、シミュレーションにて運用する SAV 運用台数をそれぞれ何台に設定すればよいかという問題が生じる。そこで、本研究では、それぞれのサンプル率において、同水準の平均待ち時間となる運用台数を二分探索によって探し、その台数のもとで異なるサンプル率間の比較評価を行うこととした。具体的

には、SAV の平均待ち時間が 3 分から誤差±1%の範囲に収まるまで MATSim シミュレーションを繰り返した。その際、SAV 運用台数が増加すると平均待ち時間が単調減少する傾向を用いて運用台数の二分探索を行なった。

シナリオとしては、対象地域の外出人口 65,102 人分の移動需要からサンプル率 2%、5%、10%、20%、40%、60%、80%、100%でサンプリングしたシミュレーションを実行し、それぞれ SAV with DRS と SAV without DRS についても実行したため、計 16 のシナリオを比較評価した。

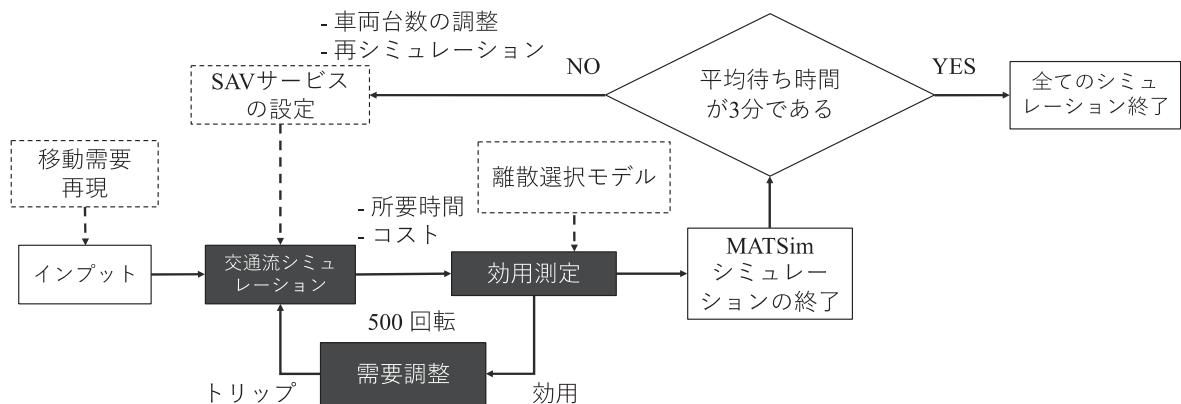


図 3.2 シミュレーションのフレームワーク

表 3.1 SP データから推定された交通手段選択モデル⁸⁾

変数	SAV without DRS		SAV with DRS	
	係数	t 値	係数	t 値
Random Parameter				
乗車時間 [SAV]	-0.14	-2.29	-0.34	-4.36
待ち時間 [SAV]	-0.20	-3.14	-0.22	-2.61
所要時間 [歩行]	-0.24	-6.14	-0.35	-5.35
所要時間 [自転車]	-0.23	-5.74	-0.43	-5.73
コスト [SAV]	-0.55	-2.58	-0.93	-2.44
定数項 [SAV]	-2.58	-3.58	-2.34	-2.48
定数項 [自転車]	-1.49	-2.31	-0.94	-0.97
サンプル数	160		161	
オブザベーション数	640		644	
最終対数尤度	-263.00		-222.26	
自由度調整済み尤度比	0.5650		0.6440	

3.2.2 SAVの設定

本研究のシミュレーションにおける SAV の設定は、上条ら⁸⁾にて実施した SP 調査における SAV の設定に可能な限り一致させた。SAV without DRS の乗車定員は 1 名とし、SAV without

DRS は 4 名とした。運賃については、上条ら⁸⁾が推定した運賃の低コストシナリオである、SAV without DRS は旅行距離 1kmあたり 45 円、SAV with DRS は OD 間を相乗りせずに時間的に最短となる経路で走行した際の推定旅行距離 1kmあたり 29 円とした。運送はどちらも door-to-door で行う。

SAV の Dial-a-Ride 問題（個々の車両がどの乗客群をいかなる順序で運送するのか）については、配車リクエストが来るたびに所要時間を最小化するリクエスト・車両の組み合わせを採用し、それを固定の組み合わせとして以降に再最適化することのない、準最適解を返す配車アルゴリズムを用いて運用を行った。リクエストの採用にあたっては、リクエストを採用することによって生じる全乗客の所要時間増加分と車両の所要時間増加分の和が最小である組み合わせを採用した。

SAV 運用車両の初期配置については、4 次メッシュ単位でメッシュの外出人口に基づきメッシュの中心のリンクに配置した。具体的には、以下の式(1)にてメッシュ m の i 台目の車両の優先度 V_{im} を定義し、二分探索に従って定められた運用台数分、 V_{im} が上位の車両を配置した。

$$V_{im} = P_m / 2i^2 \quad (1)$$

ここに、 P_m はメッシュ m の外出人口を指す。

また、自動運転技術により交通流がよりスムーズに形成されるとして SAV の乗用車換算係数を 0.8 台と仮定し、SAV の乗降時間は 30 秒とした。

3.3 シミュレーション結果の分析

本研究では 100%サンプル率を用いた際のシミュレーション結果を真値として、その値からの誤差を主に分析した。分析にあたって SAV 運用台数と総走行台キロ（VKT : vehicle kilometers travelled）の指標は、それぞれ SAV1 台あたりの外出人口、外出人口 1 人あたりの VKT と比率にした指標の比較評価も行った。また、以降の図中の Simulated population ratio はサンプル率を指す。

3.3.1 乗客視点の指標

図 3.3 に各シナリオにおける SAV 平均待ち時間、図 3.4 に交通手段分担率を示す。平均待ち時間は、3 分 ± 1% に収まるまで運用台数を探索したためその範囲に収まる値になった。また、このことに起因して、交通手段分担率についても各サンプル率間の差異は小さかった。

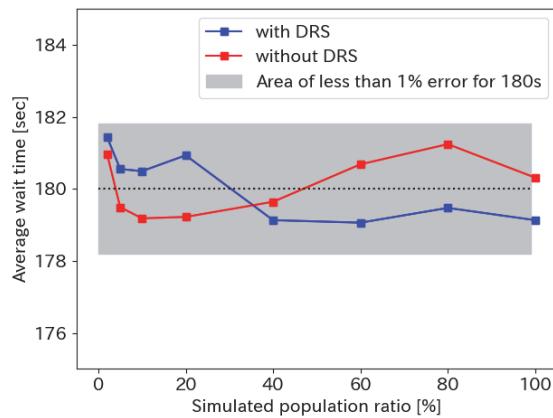


図 3.3 各シナリオの平均待ち時間

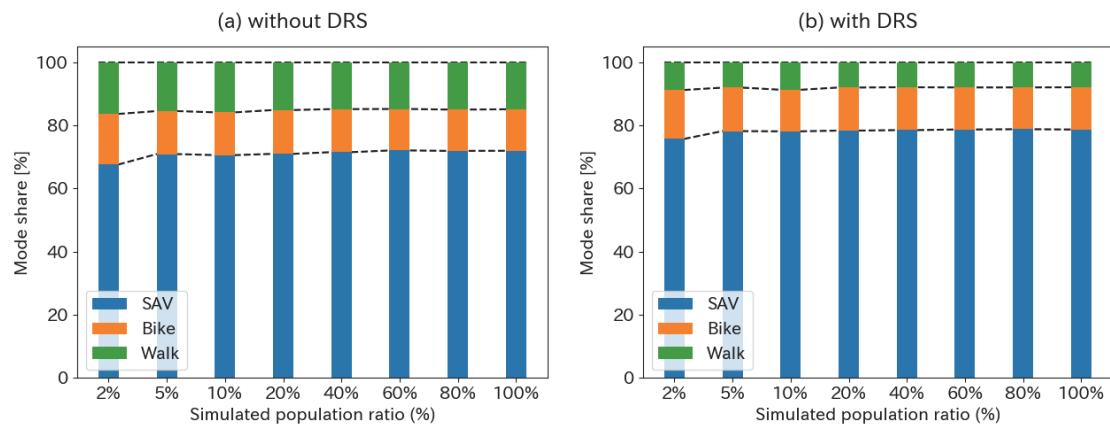


図 3.4 各シナリオの交通手段分担率

3.3.2 事業者視点の指標

図 3.5 に運用台数に関わる指標を示した。図 3.5 (c)の SAV 1 台あたりの外出人口の推移を見ると、SAV without DRS では 10% のサンプル率であっても 100% サンプル率からの誤差 10% 以内に収まっているのに対して、SAV with DRS は 40% のサンプル率が必要となった。低サンプル率のシミュレーションにおいてネットワーク上の SAV 運用台数の密度が低くなり、配車に好都合な車両が存在する可能性が下がったことによって、低サンプル率では人口に対してより多くの運用台数が平均待ち時間の維持に必要であるといえる。また、SAV with DRS では低サンプル率になると、相乗りによる少ない運用台数でも待ち時間を抑えられるというネットワーク効果に関連するメリットが顕著に低減することがわかる。

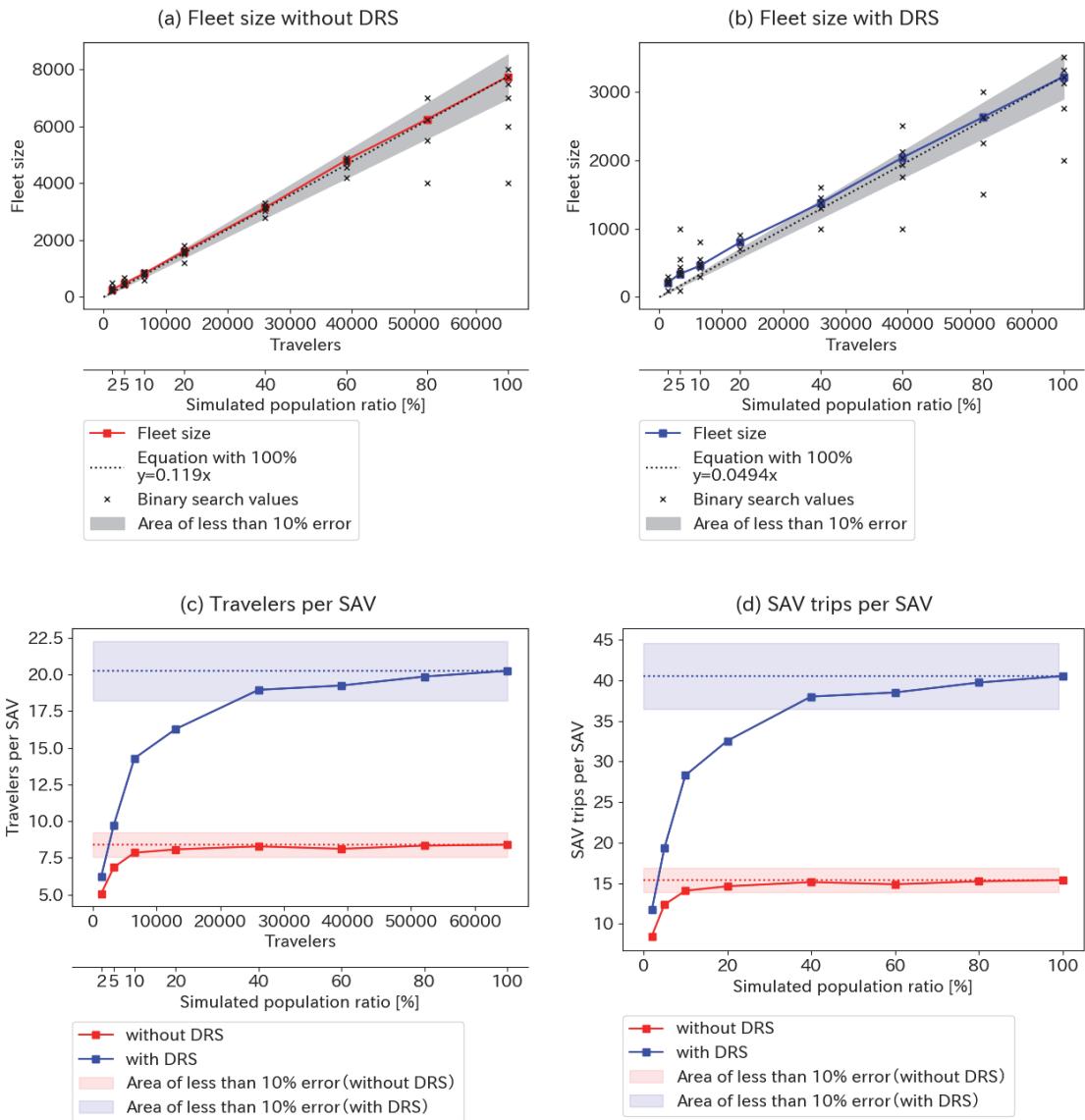


図 3.5 SAV 運用台数に関する指標

(a) SAV without DRS の運用台数、(b) SAV with DRS の運用台数、
(c) SAV1 台あたり外出人口、(d) SAV1 台あたり分担トリップ数

図 3.6 に VKT に関する指標を示した。図 3.6 (d)の空走 VKT の比率とは総 VKT のうち乗客の乗っていない時の VKT の比率を示す。図 3.6 (c)の SAV without DRS に注目すると、サンプル率による外出人口 1 人あたりの VKT の変動がほぼないことがわかる。一方で、図 3.6 (d)の SAV without DRS では、サンプル率が低いと空走 VKT の比率が大きくなかった。サンプル率が低くなると実車中に対して迎車中の時間が多くなり非効率な運送となることによると考えられる。

続いて、SAV with DRS に注目すると、図 3.6 (c)の外出人口 1 人あたりの VKT においても、誤差 10%以内に抑えるのに 60%のサンプル率が必要となり、図 3.6 (d)の空走 VKT の比率に

関しては 80% のサンプル率が必要となった。相乗りを伴う運送ではサンプル率が低いと需要密度が低くなり、相乗りの発生頻度と効率性に大きな出力誤差が生じることによると考えられ、低サンプル率のシミュレーションでは相乗りのネットワーク効果を適切に表現できていないことがわかる。

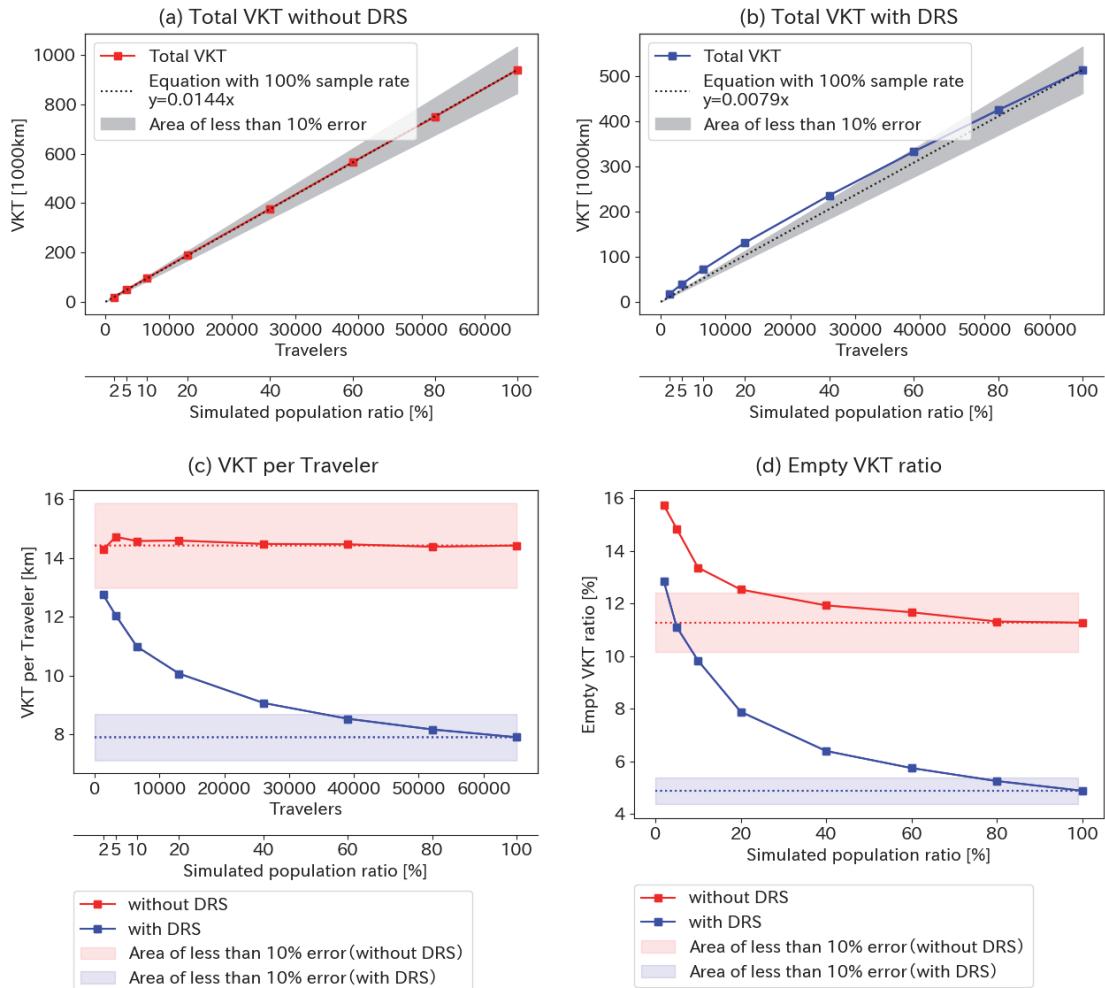


図 3.6 VKT に関する指標

- (a) SAV without DRS の VKT、(b) SAV with DRS の VKT、
- (c) 外出人口 1 人あたりの VKT、(d) 空走 VKT の比率

図 3.7 に各シナリオの営業利益率を示した。営業利益率は上条ら⁸⁾のコスト推定に基づき、シミュレーションにおける運用台数、総 VKT、SAV トリップ数、総運賃から算出した。SAV without DRS のシナリオでは 10% のサンプル率があれば誤差 10% 以内に収まったが、SAV with DRS では 80% のサンプル率が必要となった。SAV with DRS のサンプル率による変動は、サンプル率 2% になると負の値を取るなど大きいといえる。事業者の利益は相乗りの効率性、運用台数の抑制、総 VKT の抑制、それぞれの影響を受けるために複合的に出力誤差が働い

ていることが考えられる。

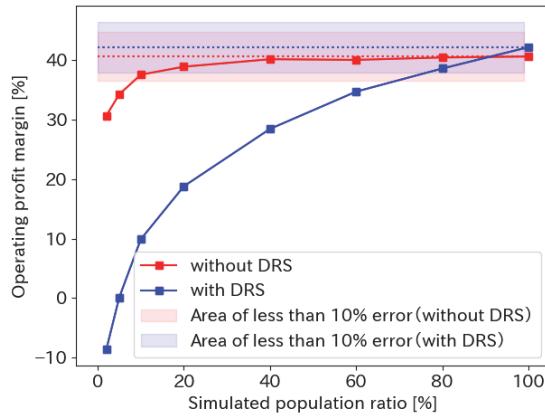


図 3.7 各シナリオの営業利益率

3.3.3 相乗りを伴うSAVに特有の指標

図 3.8 に SAV with DRS の乗車人数に関する指標を示した。両方の図ともに乗客が 1 名以上乗車している実車時間中の集計結果である。図 3.8 (a)から平均乗車人数について誤差 10%以内に抑えるには 60%のサンプル率が必要となった。また、図 3.8 (b)から各乗車定員の比率を見ると、低サンプル率では相乗りの発生状況を適切に再現できないことがわかる。

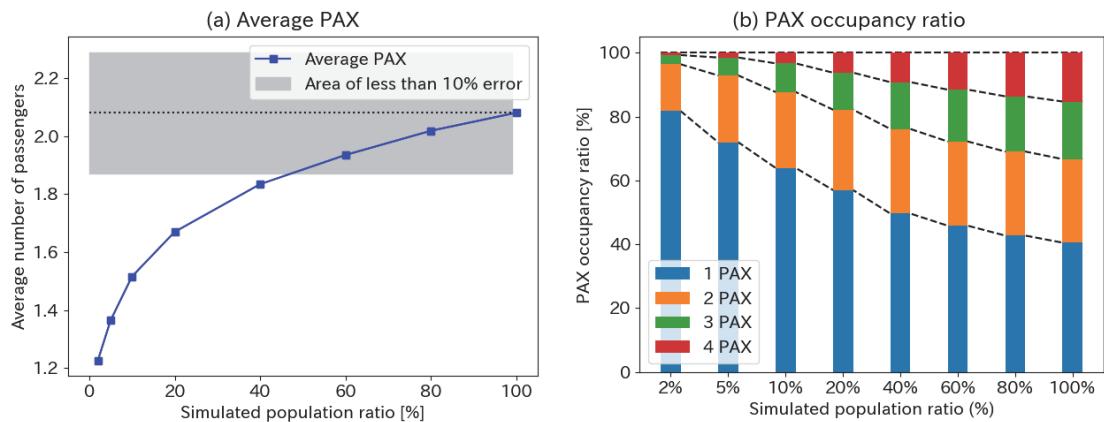


図 3.8 SAV with DRS の乗車人数に関する指標

(a) 平均乗車人数、(b) 実車時間に占める各乗車人数の状態の比率

図 3.9 に各シナリオの迂回率を示した。迂回率とは、SAV with DRS の分担したトリップについて、OD 間を相乗りせずに時間的に最短となる経路を移動する場合の平均乗車距離に対する、実際のシミュレーション上で運送した平均乗車距離の増加率である。

低サンプル率になると相乗りの発生頻度が低くなるために迂回率は低下し、誤差 10%に抑

えるには 20% のサンプル率が必要となった。高サンプル率になると相乗りが増え迂回率は増す方向に働くが、需要密度が増すことから相乗りの条件による効率性が向上することが、迂回率が頭打ちになった原因であると推測される。

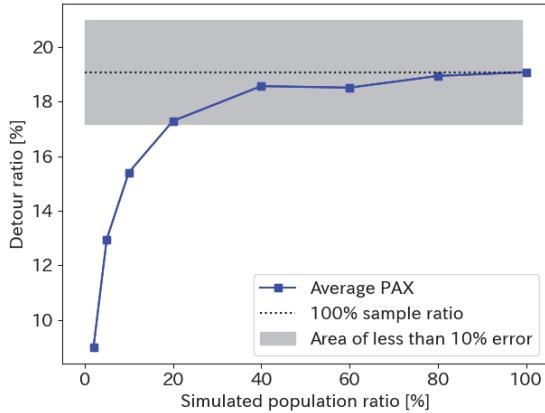


図 3.9 各シナリオの迂回率

3.3.4 各指標における必要サンプル率の集計

これまで 100% のサンプル率によるシミュレーション結果からの誤差が 10% 以内に収まるサンプル率に注目して議論を進めたが、10% 以内に加えて 5% 以内、20% 以内に収まる各指標におけるサンプル率についても表 3.2 に示した。なお、表の必要サンプル率は、各サンプル率によるシミュレーション結果の折れ線と許容する誤差範囲の交点から求めた。

SAV without DRS については、空走 VKT 比率を除く指標に関して、誤差 5% 以内に抑えるにはおよそ 20% の、誤差 10% 以内に抑えるにはおよそ 10% のサンプル率がそれぞれ必要である。SAV with DRS は、空走 VKT 比率と営業利益率を除く指標に関して、誤差範囲 5%、10%、20% 以内に抑えるのにそれぞれ 80%、60%、40% のサンプル率が必要である。

以上のように、サンプル率による出力誤差の大きさは相乗りの有無で大きく異なることがわかる。シミュレーションにおいて相乗りを扱う際には特に適切な移動需要の規模を扱うことが重要であるといえる。また、指標によっても傾向が異なることがわかる。特に空走 VKT 比率と営業利益率における出力誤差は大きく、分析対象とする指標に応じてサンプル率の影響に気を配る必要がある。

表 3.2 必要サンプル率のまとめ

許容する誤差範囲	Without DRS			With DRS		
	5%	10%	20%	5%	10%	20%
運用台数 (1台あたり外出人口)	16.6%	9.0%	5.8%	61.2%	36.4%	24.9%
1台あたり分担トリップ数	19.8%	9.3%	5.0%	60.0%	34.4%	19.7%
1人あたりVKT		全サンプル率で条件を満たす		72.9%	54.1%	31.8%
空走VKT比率	47.2%	24.4%	9.5%	86.8%	75.1%	56.5%
営業利益率	17.6%	8.5%	3.5%	88.2%	76.7%	56.9%
平均乗車人数	-	-	-	70.0%	47.6%	19.6%
迂回率	-	-	-	33.1%	19.4%	9.7%

3.4 結論と今後の課題

本研究では、異なるサンプル率による移動需要データを用いたSAVのエージェントベースシミュレーションを行い、出力を比較することで、サンプル率が各指標に及ぼす出力誤差を明らかにした。結果としては、相乗りを伴うオンデマンド交通を扱う際には、より現実に近い量の移動需要を用いることが必要であり、およそ60%のサンプル率があれば多くの指標において誤差10%以内に抑えることができる事が明らかになった。一方で、相乗りを伴わないシナリオでは、出力誤差は比較的小さく、およそ10%のサンプル率があれば多くの指標で誤差10%以内に収まった。

誤差範囲5%、10%、20%以内に抑えるのに最低限必要なサンプル率について、各指標についてまとめたことは本研究の大きな成果である。今後の研究において、求められる分析精度と分析指標に応じて適切なサンプル率を選択する際のガイドラインになることを期待する。

また、本研究の限界としては、結果の一般化の可能性が挙げられる。対象地域とした沼田市周辺は中山間地域を含む人口減少の進む地方中小都市であり、人口密度の低い地域である。人口密度の低い地域であるほどよりサンプル率による出力誤差が大きいと推測され、異なる対象地域や交通環境下における分析が求められる。また、SAVの配車アルゴリズムや本研究では取り入れなかった空車車両の回送アルゴリズムによる影響も考えられ、さまざまな観点からの感度分析が求められる。

<謝辞>

本研究は文部科学省の東京大学ソーシャルICT グローバル・クリエイティブリーダー育成プログラム（GCL）の支援を受けました。また、使用した OpenStreetMap の地図データは OpenStreetMap への協力者の著作物であり、<https://www.openstreetmap.org> から入手したもので

<参考文献>

- 1) Fagnant, D.J. and Kockelman, K.M. (2018) "Dynamic ride-sharing and fleet sizing for a system of shared autonomous vehicles in Austin, Texas", *Transportation*, Vol.45, No.1, pp.143-158
- 2) Hörl, S., Becker, F. and Axhausen, K.W. (2021) "Simulation of price, customer behaviour and system impact for a cost-covering automated taxi system in Zurich", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol.123, p.102974
- 3) Vosooghi, R., Puchinger, J., Jankovic, M. and Vouillon, A. (2019) "Shared autonomous vehicle simulation and service design", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol.107, pp.15-33
- 4) Bischoff, J. and Maciejewski, M. (2016) "Autonomous taxicabs in Berlin—a spatiotemporal analysis of service performance", *Transportation Research Procedia*, Vol.19, pp.176-186
- 5) 上条陽、パラディ ジアンカルロス、高見淳史、原田昇 (2020) 「トリップチェーンを考慮した移動需要複製とサンプル率がシミュレーション結果に与える影響の分析」、『新しいモビリティサービスの評価と都市交通計画（日交研シリーズA-784）』、pp.1～22
- 6) Kamijo, Y., Parady, G. and Takami, K. (2022) "Required Simulated Population Ratios for Valid Assessment of Shared Autonomous Vehicles' Impact Using Agent-Based Models", Available at SSRN: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4053514>
- 7) Horni, A., Nagel, K. and Axhausen, K.W. eds. (2016) *The multi-agent transport simulation MATSim*, Ubiquity Press
- 8) 上条陽、パラディ ジアンカルロス、高見淳史 (2021) 「自動運転車の購入と自動運転サービスの利用に関する SP 調査と意向分析」、『交通工学論文集』、第 7 卷第 2 号（特集号 A）、pp. A_326～A_335

4章 活動のオンラインシフトと「移動」の関係性 —活動場所変容を踏まえた新モビリティ導入の可能性—

4.1 背景

近年、自動運転の実用化・市場化を目指し、実証実験が進んでいる。境町の自動運転バスからトヨタウーブンシティのような都市規模の実証実験まで社会実装の試みは多岐にわたり、また MaaS といったモビリティ提供システムの革新も行われている。このような新モビリティの導入にあたっては、現在の移動、ひいては活動場所の実態を捉えたうえで、外出促進や移動利便性の向上に資する形での導入検討をすることが必要であるといえる。

なお、情報技術の発達により外出せずとも様々な活動をオンラインで行うことが可能になり、COVID-19 感染拡大でこの傾向は顕著になっている。仕事や買い物においてもオンライン活動が盛んになったり、人との交流や趣味活動においてもオンラインで行われることが一般化したりなど、その変化は多岐に渡っている。COVID-19 をきっかけとし、活動の場はますます実空間からオンラインへと移行しているといえよう。今後はこの COVID-19 による大規模な活動のオンラインシフトを踏まえたうえで、新モビリティの導入意向や外出促進の可能性を検討することが不可欠であると考えられる。

また、COVID-19 による活動場所の変化として仕事への影響は特に著しい。2020 年にはリモートワークの実施率は 19.7% と前年から倍増した¹⁾が、このようなオフィスと自宅を組み合わせるハイブリットワークが今後も定着していくと予測されている²⁾。またサテライトオフィスやコワーキングスペースといった場所も注目され、固定の場所以外で働くノマドワーク³⁾、旅先に滞在して働くワーケーション⁴⁾をはじめとして流動的で多様な働き方がさまざまに生まれてきている。この変化は仕事の生産性や満足度にも変化をもたらし、またこのような個人の行動変容の先にあるのは在宅勤務増加による移動需要の変化⁵⁾といった都市や交通への無視できない影響である。リモートワークが困難な現場や出先を含めた全体像としての仕事場所を把握するためには組み合わせ全体を捉えて仕事場所のマネジメントの在り方を検討する枠組みが不可欠であると考えられ、これを本研究において「WM(ワークプレイス・マネジメント)」と定義した。なお、仕事の満足度といった個人の効用、生産性向上やイノベーション創出といった組織としての効用のほか、仕事以外の時間への影響や同居家族等への影響、また都市への影響に例示される社会的な効用が WM の重要な論点として考えられる。以上のような複数の論点が重要となることを見据えたうえで、まず個人の満足度の観点から WM の在り方を考え、これを踏まえた交通計画が重要となると考えられる。

4.2 研究の位置づけ

4.2.1 既存研究のレビュー

新モビリティの成立可能性を検討した研究としては、個人属性と意向の関係性を都市ごとに比較した香月ら⁶⁾、超小型モビリティの実証実験による意向調査を行った須永ら⁷⁾、自動運転サービスの利用意向について SP 調査を行った上条ら⁸⁾などが挙げられる。これらを念頭に、COVID-19 による活動場所の変化を踏まえてモビリティ導入検討をする研究が必要である。

また COVID-19 による活動場所の変化については、国土交通省⁹⁾、パーソル総研¹⁰⁾等が、COVID-19 流行前後のリモートワーク実施率の動向を継続的に調査している。また国土交通省¹¹⁾が一日の活動全体について活動場所を聴取する調査を行っており、これを用いて各時点における活動の行為者割合を算出した研究¹²⁾も行われている。リモートワークに着目した研究としては、リモートワークと生産性との関係を示した小林ら¹³⁾、制度を踏まえて集計を行った千野¹⁴⁾などがあげられる。また、西堀ら¹⁵⁾によって COVID-19 による中心市街地への人出の変化が継続的に分析されている。一方、COVID-19 によるオンラインシフト実態について私事を含めた分析を行った研究は少ない。例えば、キャッシュレスデータを用いて消費行動を類型化した調査¹⁶⁾や外出時間とネット利用の関係性を調査した研究¹⁷⁾は存在するが、仕事や買い物、趣味といった活動のオンラインシフト実態を網羅的に調査した研究の蓄積は少ない。

以上より、オンラインシフト実態の把握や全年代における類型化を行った研究は見られるものの、詳細な私事活動内容を分化してそのオンラインシフトのパターンを類型化した研究、若年層に着目してその多様化の実態を追った研究、活動場所のパターンと価値観や居住環境評価の両者を踏まえて考察を行った研究は見られない。

4.2.2 目的と方法

以上より、本研究では COVID-19 による活動のオンラインシフトの実態を明らかにし、この変化が移動の形や新モビリティ導入にもたらす影響を考察することで、活動場所の変化を踏まえた今後の交通計画の参考情報とする目的とする。そのために本研究では、COVID-19 による活動場所・時間の変化を聴取したアンケートを行い、仕事場所と満足度の関係性から WM の方向性の検討を行った。さらに仕事私事の両者を含めたオンラインシフトのパターンを類型化し、各クラスターの移動の実態を比較することで、新モビリティ導入の可能性を検討する。

なお本稿は、小松崎ら^{18), 19)}の既存研究の発表結果をもとに構成している。

4.3 使用データ

本研究で用いるのは、表 4.1 に概要を示す独自のアンケート調査である。調査時期は 2021 年 2 月であり、対象地域においては茨城県を除く都県で 1 月に発令された緊急事態宣言が継続していた時期である²⁰⁾。調査内容として、各活動における実空間・オンラインでの活動頻度、時間、また仕事や私事についての価値観を問う設問を含んでいる。なお満足度は、勤務先における仕事の満足度を 10 と提示し、それと比較した各場所における仕事の満足度を 0~20 の 21 段階で聴取した相対的満足度であり、以下ではこれを「満足度」と表記する。

なお、本調査では仕事のオンラインシフトを行ったサンプルを一定数確保するため、既存研究²¹⁾を参考にして「リモート実施傾向群」を作成し、これを全体の半数以上確保する層化抽出法を用いている。また、大東建託賃貸未来研究所「住みこち調査」²²⁾回答者から優先的に回答を回収することで、居住環境についての設問を利用可能にしている。

表 4.1 使用アンケートの概要

活動のオンラインシフトについての調査		住みこち調査
調査主体	独自調査	大東建託株式会社 賃貸未来研究所
調査対象	住みこち調査 回答者 かつ 調査対象市区町村の居住者	調査パネル登録者
対象地域	つくばエクスプレス沿線市区町村 茨城県：つくば市・つくばみらい市・守谷市 ・土浦市・龍ヶ崎市・取手市 千葉県：柏市・松戸市・流山市 埼玉県：三郷市・八潮市 東京都：足立区・台東区・荒川区	全国 ※調査対象市区町村のサンプル数は9,983
調査期間	2021/02/25-28	2019/03/26 – 04/08 , 2020/03/17 – 04/03
サンプル数	2,064 (層化抽出法を使用)	187,823 (市区町村人口比割付)
調査方法	Web調査 (マクロミル委託)	Web調査 (マクロミル委託)
設問項目	・ COVID-19前後 (2019.12→2021.02) の 場所ごとの活動頻度・時間 ・ 活動や移動に関する価値観 ・ 新モビリティの利用意向	・ 居住地域の地域属性、満足度 (60項目) ・ 住まいの形態・満足度 (30項目) ・ 自己認知/価値観/性格因子/街への印象

4.4 WM(ワークプレイスマネジメント)を踏まえた交通計画の方向性

本節では、まずアンケート結果より、仕事場所の変化および仕事場所による仕事満足度の差異について全体像を俯瞰する。その上で、仕事場所の組み合わせによって個人を類型化し、各仕事場所での仕事の満足度を比較する。さらには、要因分析によって仕事場所の組みあわせが満足度にもたらす影響を明らかにする。

4.4.1 COVID-19前後の仕事場所の変化

まず、各仕事場所における週当たり仕事時間について、COVID-19 以前と調査時点で比較した。図 4.1 がその結果を示している。全体として、「勤務先」での仕事が減少、「自宅」での仕事が大幅に増加というシフトが見られる。一方で、「共用の仕事場」「喫茶店など」といったまちなかでの仕事については、大きな仕事時間の変化はみられていないという現状が明らかになった。

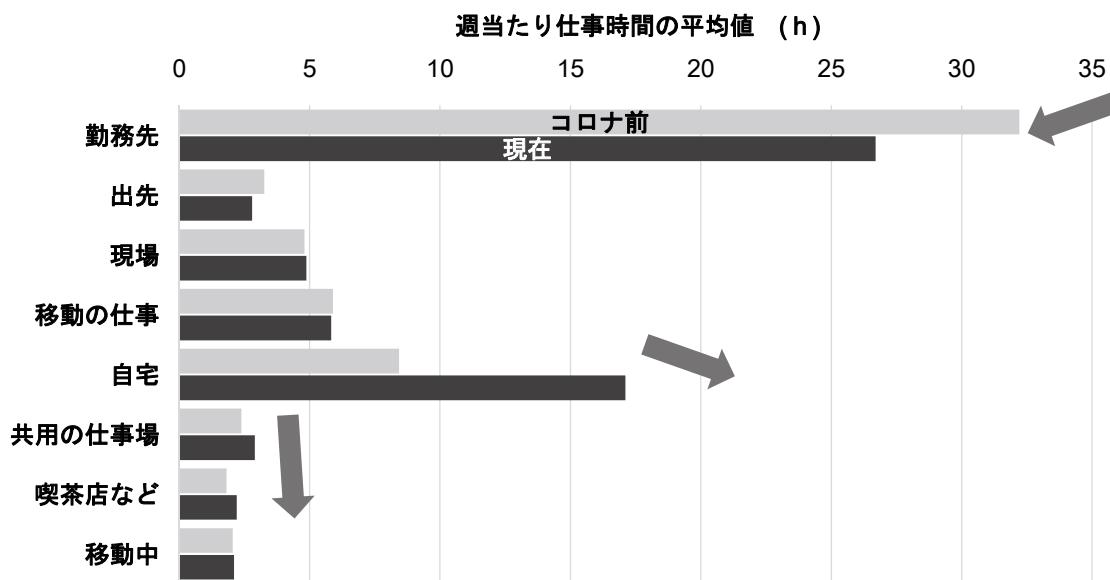


図 4.1 仕事場所別の週当たり仕事時間の平均値の変化

4.4.2 場所による相対仕事満足度の差異

本項では、仕事及び私事活動について、勤務先または実空間という基準と比較した場合の、各場所における活動の相対的な満足度を把握する。仕事においては、「固定的な勤務先」を基準とし、この場所における仕事の満足度を 10 とした場合の各場所の満足度を聴取した。幅は 0~20 までの 21 段階である。満足度を 3 刻みで統合し、内訳を示したのが図 4.2 である。

俯瞰すると、全ての場所において、満足度が低い回答者が高い回答者よりも多いことが見

てとれ、全体として勤務先と比較すると仕事環境として質が低い可能性が高いことが明らかとなつた。その中で比較的満足している人が多いのは「自宅」であり、約4分の1の回答者が勤務先より満足度が高いと考えていることが分かる。一方で、約半数が勤務先より不満であると捉えており、1~3と回答し評価が非常に低い回答者も一定数いる。「共用の仕事場」「喫茶店など」といったまちなかの仕事場については、「自宅」と比較し満足度が低い。仕事場所としての評価は、現状では自宅に及ばないという実態が見てとれる。

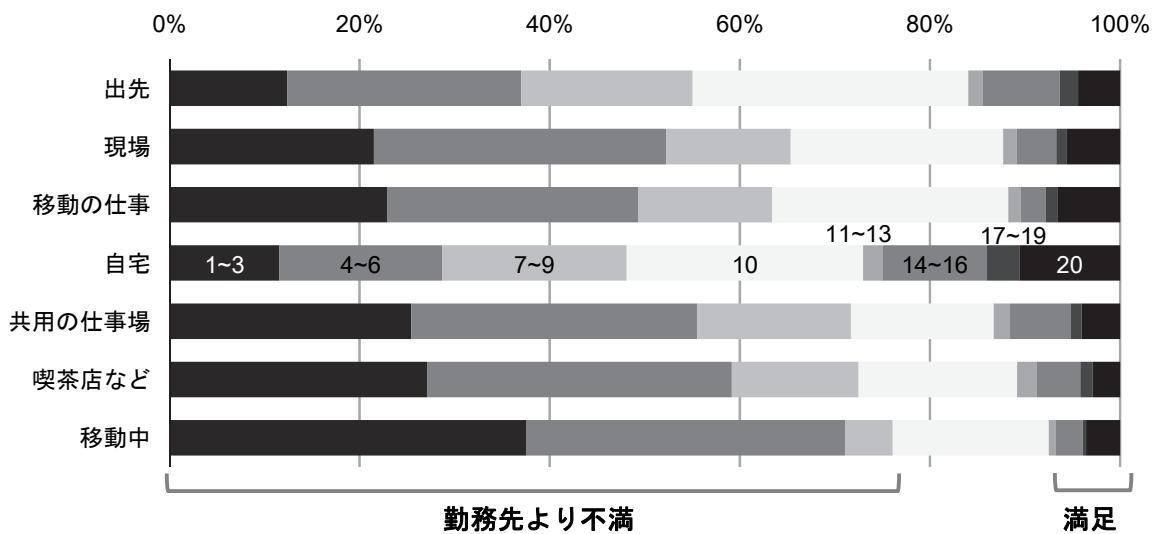


図4.2 仕事場所別の仕事の相対的活動満足度 (勤務先を10とし、0~20で回答)

4.4.3 仕事満足度の組み合わせと相対的仕事満足度

前項では仕事場所別の仕事満足度について俯瞰したが、背景で記したように複数の仕事場所を組み合わせて働く働き方も浸透してきており、その組み合わせによって各場所での仕事満足度も異なると思われる。よって本項では、仕事場所の組み合わせによる仕事満足度の差異を把握することとする。

本項ではまず、仕事場所の組み合わせのパターンを把握するため、表4.2に示した8種類の場所におけるそれぞれの仕事頻度が「この場所で全く仕事を行っていない」と回答された場合を「仕事なし」、それ以外を「仕事あり」とし、その組み合わせ256通りごとのサンプル数を確認した。その上で、20サンプル以上の組み合わせを抽出し、表4.2に示している。なお、回答の信頼性を担保するため8種類の仕事場所全てに「仕事あり」とした回答は除いた。

また、同じ仕事場所の組み合わせであっても、その中のどの場所において主に仕事をしているのかという頻度の比重によって働き方は大きく異なり、各場所における満足度にも影響すると考えられる。そこで、サンプル数が50を超える組みあわせについては各場所での仕事

頻度による細分化を行った。勤務先と自宅を含む類型については、リモートワークにより勤務先と自宅に代替関係がみられると考えたため、勤務先と自宅での仕事の頻度を比較し、勤務先>自宅の場合(勤務先優位)、勤務先≤自宅の場合(自宅優位)に区分した。なお「勤務先・自宅」についてはサンプル数を勘案しより詳細な区分となっている。出先を含む場合は、出先での仕事頻度の全体の分布を確認した上で、2週間に1回を閾値として区分した。

また、背景で述べたように近年注目されている共用の仕事場についても、働き方と満足度を比較する必要がある。共用の仕事場を含む特定の組み合わせは20サンプルに満たないため、「共用の仕事場での仕事あり」として統合して抽出した。また、共用の仕事場はリモートワークの選択肢と考えられている実態に基づき、自宅での仕事の有無、勤務先と自宅での仕事頻度の大小関係によって細分化を行った。

表4.3は以上に基づいて仕事場所の組み合わせを類型化し、各類型における仕事場所ごとの満足度を示した表である。これを踏まえて、以下に考察を記載する。

表より、例えば類型9~13に見られるように、基本的にその場所での仕事頻度が高いほど、仕事満足度は高くなる傾向にある。しかしそれ以外にも、横軸である場所別の満足度においては、おなじ仕事場所組み合わせの回答者でも、出先や現場より自宅の仕事満足度が比較的高い傾向にあることが見て取れる。行われる業務や仕事環境により、出先や現場での仕事に対して低い満足度を持っている人が多いことが明らかになった。また、類型14~16に着目すると、共用の仕事場で仕事をしている人は、共用の仕事場の満足度が低いだけでなく、自宅での満足度も低い傾向にあることも集計から分かった。

表4.2 20サンプル以上の仕事場所の組み合わせ

仕事場所						組み合わせ名	N
勤務先	出先	現場	移動の仕事	自宅	共用の仕事場		
					喫茶店など	移動中	
○	○	○	○			勤務先・出先・現場・自宅	28
○	○	○				勤務先・出先・現場	29
○	○		○			勤務先・出先・自宅	100
○	○					勤務先・出先	61
○			○			勤務先・自宅	142
○						勤務先のみ	274
			○			自宅のみ	56

○：その場所で仕事あり

表 4.3 仕事場所の組み合わせと相対的仕事満足度

類型	仕事場所組み合わせ	N	出先	現場	自宅	共用の 仕事場
1	勤務先・出先・現場・自宅	28	8.1	6.6	9.2	
2	勤務先・出先・現場	29	8.6	8.6		
3		出先2週間に1回未満	28	7.9	6.7	
4	勤務先優位	出先2週間に1回以上	22	8.2	9.6	
5		出先2週間に1回未満	34	8.4	10.5	
6	自宅優位	出先2週間に1回以上	16	9.1	10.3	
7	勤務先・出先	出先2週間に1回未満	40	8.9		
8		出先2週間に1回以上	21	9.7		
9		勤務先自宅週3以上	22		8.5	
10		勤務週3以上自宅週1以下	27		9.1	
11	勤務先・自宅	勤務先週3.5自宅週1.5	27		9.2	
12		勤務先週1.5自宅週3.5	29		12.2	
13		勤務週1以下自宅週3以上	35		12.4	
14	共用の仕事場での 仕事あり	勤務先優位	13		6.7	6.9
15		自宅優位	19		7.3	7.3
16		自宅なし	11		4.5	4.6

以上では仕事場所の組み合わせを類型化し、各類型の仕事満足度の特徴を把握することができた。しかし各類型に含まれる個人には偏りがあると考えられるため、それを踏まえて仕事場所の組み合わせが満足度に与える影響を明らかにする必要がある。よって次に、満足度を目的変数とした数量化 I 類分析を行うことで、満足度の決定要因を総合的に把握したうえで組み合わせが与える影響を分析する。説明変数として本アンケート調査で聴取している個人属性、仕事への価値観、住みこち調査の項目に含まれる居住地域の特徴についての項目に加え、仕事場所組み合わせの類型をダミー変数として導入した。対象とするサンプルは、各場所及び勤務先において調査時点で仕事を行っているサンプルである。

結果の抜粋を図 4.3 に示し、仕事場所の組み合わせについての考察を以下に記載する。

- 1) 仕事場所の組み合わせはすべての場所において有意に寄与している。特に自宅においては、説明変数の中で最も偏相関係数が大きい。どのような個人属性か、どのような価値観を持つかよりも、仕事場所の組み合わせが満足度に影響していることが分かる。
- 2) 勤務先・出先・自宅が含まれる類型 3~6 の場合、満足度が負に寄与している類型は、出先や自宅の比重が少なく主に勤務先で仕事をしている類型 3、自宅が主な仕事でありながら定期的に出先での仕事を行っている類型 6 である。類型 3 は勤務先での仕事割合が非常に高いことから、相対的に他の仕事場所での満足度が低くなっていると考えられる。類型 6 は、考察 2)と同様に、出先と自宅の両者の頻度が高いことにより業務内容にばらつきが大きく、それにより満足度が低くなっている可能性が考えられる。
- 3) 勤務先・自宅のみの類型 9~13 においては、最も正に寄与しているのは類型 12 であり、それよりもさらに自宅の比重が大きい働き方をしている類型 13 はむしろ満足度が低くなるという結果である。「自宅のみ」で仕事をしている類型 17 も正に寄与しているが、

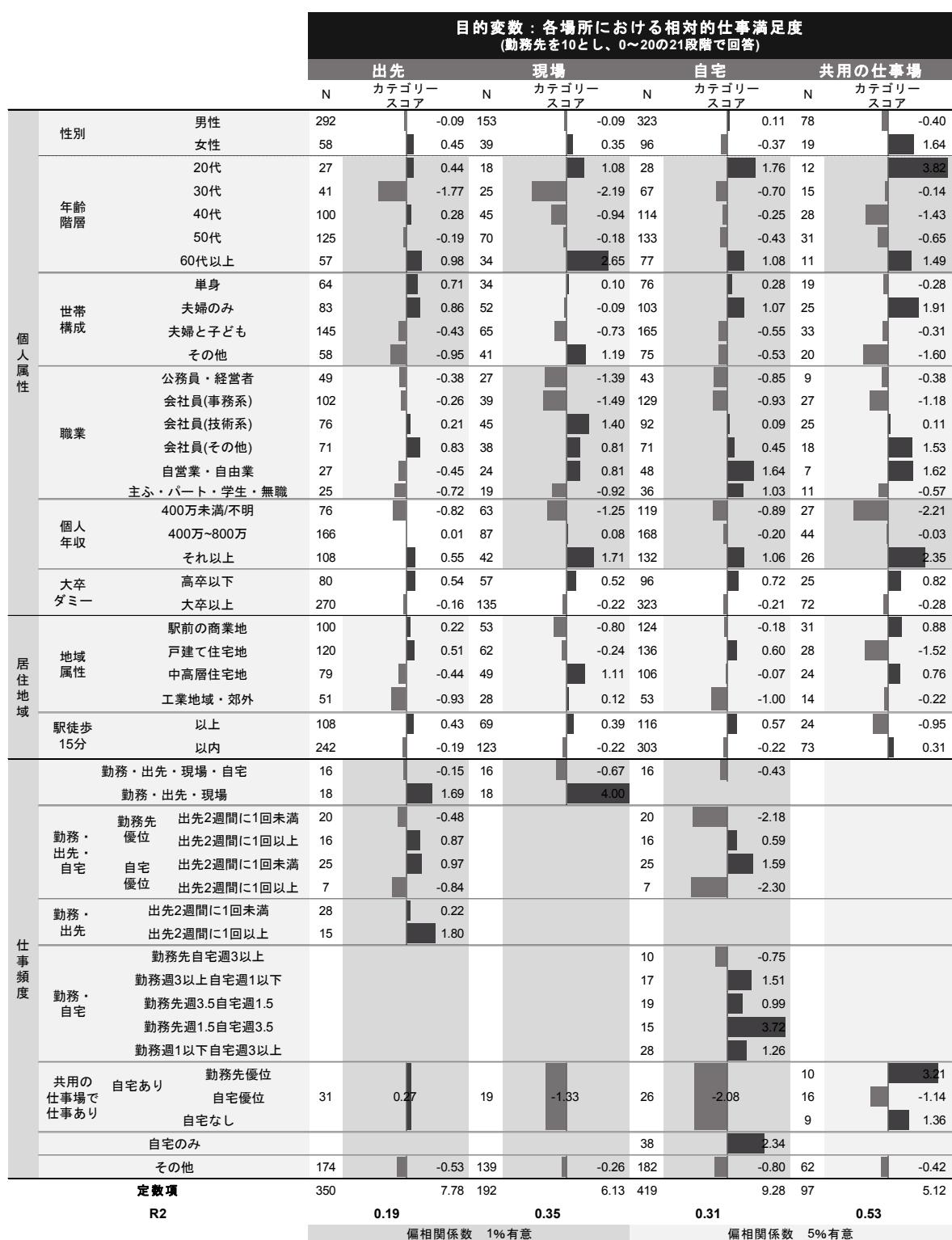


図 4.3 各場所における相対的仕事満足度を目的変数とした数量化 I 類分析結果

そのカテゴリースコアは類型 12 より低い。毎日自宅で仕事をしている人よりも、週の 3 ~4 日自宅で仕事をしている人の方が自宅での仕事の自由度や快適性などを認知し、満足度が高まっているという可能性がある。

- 4) 共用の仕事場を利用している類型 14~16 は自宅の満足度に対し大きく負に寄与している。よって、自宅に満足していないことから共用の仕事場を利用しているという構造である可能性が考えられる。また類型 14、16 が正となっていることから、自宅の代替としてではなく勤務先や出先といった外出先での仕事の代替として利用している場合においてより満足度が高いことが伺える。

4.4.4 仕事満足度から考えるWMにおける移動の位置づけ

出先や現場を含む人については、複数の仕事場所での仕事が満足度に負に影響している可能性があると考えられる。よって、移動の質の向上により、複数の場所で仕事をするときの満足度を改善することができる可能性がある。

勤務先と自宅で働く人に対しては、フルリモートではなくオフィスと在宅を組み合わせることで仕事満足度が高くなる可能性が示された。このような週に数回通勤するというライフスタイルに適応したモビリティを提示することが、交通計画において重要だと考えられる。

共用の仕事場は施設立地を踏まえた整備により、周辺環境を含めた目的エリアとしての魅力を向上していくという方向性が考えられる。施策としては、共用の仕事場の立地やアクセシビリティ改善による利用促進が挙げられる。

なお、いずれの施策についても現時点では仕事満足度の目側面からのみの検討であることに留意が必要である。仕事場所の変化による都市や交通への影響など、WM における複数の論点を踏まえた検討が今後の課題として考えられる。

4.5 生活全体のオンラインシフト実態に見る移動の変化

4.5.1 仕事・私事のオンラインシフトのパターン分析

本項では、個人によって異なる仕事と私事のオンラインシフトのパターンを捉え、外出行動や移動との関係性を把握するため、クラスター分析を用いた類型化を行う。なお、政策の実践に直接的に貢献しうる分類を作成することが求められており、そのためには単に統計学的に適切に分類されるだけでなく、政策上意義のある外部観察可能あるいは簡便な調査で把握可能な変数で類型化する必要がある。以上を踏まえ、本分析では職業、年齢といった個人属性の変数を用いた詳細なセグメントを作成し、それを類型化することで、外部観察可能な

属性と、活動パターンを紐づけて考察することを可能としている。

分析方法としては、年齢階層、性別、職業分類、世帯構成の4変数によってセグメントを作成しサンプル数を考慮し統合を行い、その結果62個の個人属性群を作成した。そして、その個人属性群ごとに「仕事(勤務先)」「仕事(自宅など)」「私事活動(実空間)」「私事活動(オンライン)」の4種の活動について、コロナ前と現在の2時点の週当たり活動時間の平均値を算出し、この8変数によってクラスター分析を行う。なお、「仕事(勤務先)」は「固定的な勤務先」及び「営業・会議・打ち合わせ先」における仕事、「仕事(自宅など)」は「自宅」「共用の仕事場」「喫茶店など」「移動中」における仕事を合算したものである。これらの変数を基に、複数の方法でクラスター分析をした上でデンドログラムにて鎖効果の有無などを確認し、Ward法・ユークリッド平方距離による類型化に決定した。分析の結果得られたデンドログラムから個人属性群を11のクラスターに分類し、含まれる個人属性群および活動場所の特徴より命名を行った。

図4.4は現在のオンライン活動時間に着目した散布図であり、各クラスターの特徴を示している。なお、各バブルの面積は、対象市区町村に拡大した場合の人口のボリュームに比例している。図4.5は、コロナ前と現在における、仕事と私事のオンライン活動時間の変動を図化したものである。この2図を踏まえ、以下に考察を述べる。

- 1) 縦軸のオンライン仕事時間に着目すると、クラスター4・10・11の無職者・非雇用者を中心としたクラスターは平均週2時間以下となっているほか、有識者を中心とした群の中ではクラスター8・9が際立って短いことが見て取れる。これらの群は現業職や高齢者の有職者であり、このように仕事のオンラインシフトがほとんど進んでいない有職者も一定数存在することが確認できる。
- 2) コロナ前からの変化に着目すると、全体像としては大半のクラスターが右上及び上に遷移している。つまり、仕事場所のオンラインシフトは各群において比較的大幅に進展しているが、私事活動についてはコロナ前のオンライン活動時間からの変動は小さいということである。よって、コロナ前からクラスターによる私事活動のオンラインシフトの実態には差異が存在し、現在でも基本的にその従前の傾向が引き継がれている形であるということが分かる。

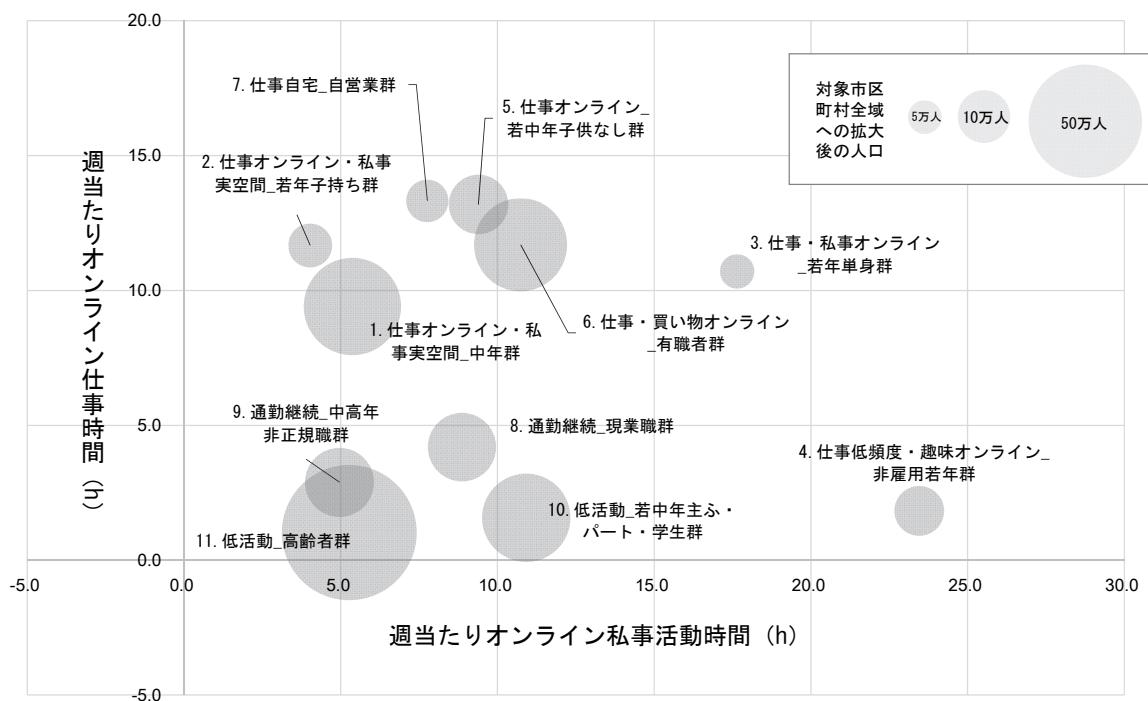


図 4.4 各クラスターのオンライン活動時間の分布

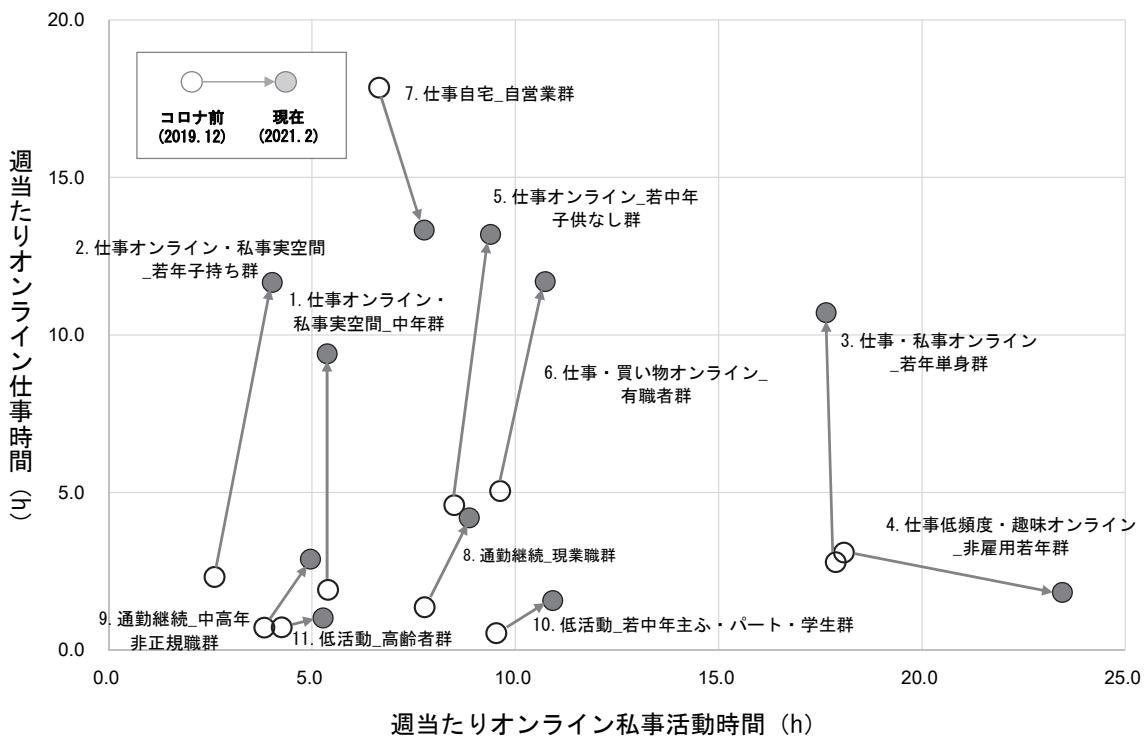


図 4.5 各クラスターのオンライン活動時間の変化

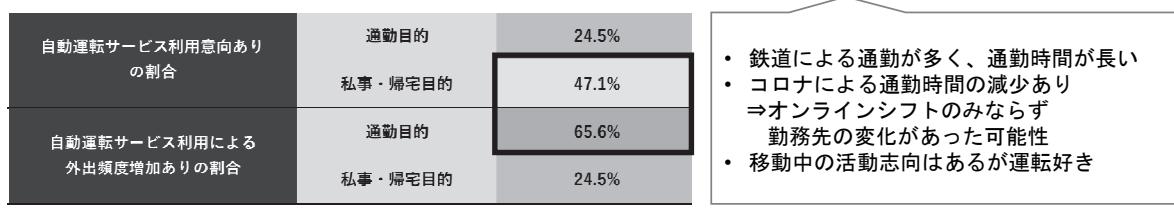
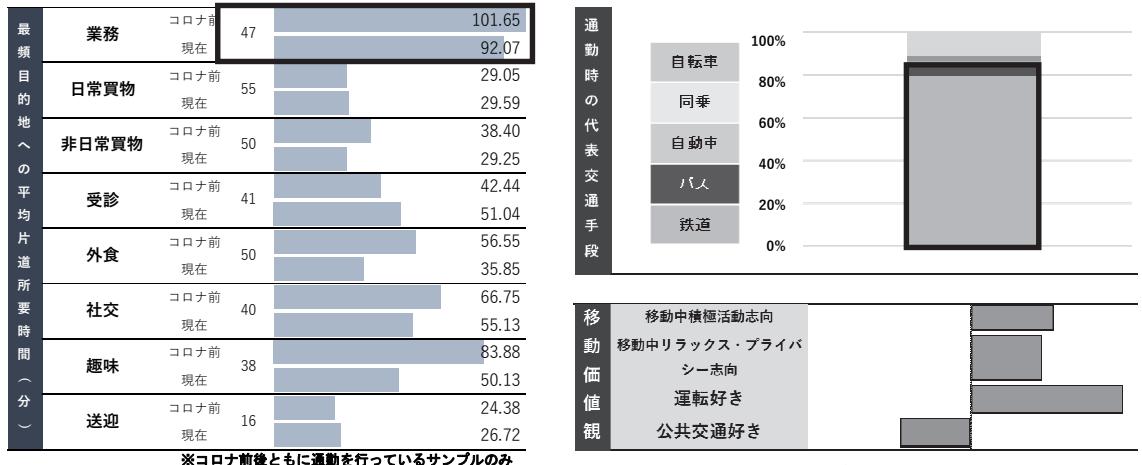
4.5.2 各クラスターの移動の実態

本項では、前項にて作成した 11 クラスターのうち、特徴的な 3 クラスターに着目して各クラスターの詳細な移動時間や移動手段、価値観や自動運転サービスの利用意向を比較した。対象としたクラスターは、仕事私事共にオンラインシフトしていることが特徴的なクラスター3(仕事・私事オンライン_若年単身群)、最もオンライン仕事時間が長いクラスター5(仕事オンライン_若中年子供なし群)、そしてオンライン活動時間が短い有職者群であるクラスター8(通勤継続_現業職群)である。図 4.6、4.7 はこの 3 クラスターにおける移動時間、移動手段、移動に関する価値観、新モビリティの利用意向をまとめ、その傾向を比較したものである。なお、新モビリティの利用意向については、「コロナ収束後の近い将来、自動運転レベル 5 の車両を居住地から半径 5km まで利用可能、24 時間呼び出し可能で 10 分以内で到着、相乗りや利用後の返還の必要はなし」という条件で利用意向および外出頻度の変化を聴取した。

まずクラスター3 から考察を行う。最頻目的地への平均片道所要時間については通勤時間が長く、COVID-19 によって通勤時間の減少が見られることが特徴的である。よって、仕事のオンラインシフトが行われただけでなく、勤務先の変化があった可能性が考えられるクラスターである。また通勤時の代表交通手段は、鉄道が 8 割以上を占めている。移動価値観については、移動中の活動志向は高いが公共交通よりも運転を好む傾向もある。また、自動運転サービス利用意向は私事目的において高いが、外出頻度増加の可能性は通勤のほうが高いという結果となっている。電車通勤とは代替しがたいが、自動車等の転換であれば居住地付近での仕事につながる可能性が考えられる。よって、仕事場所などの居住地付近の目的地となりうる場所の整備と併せてモビリティを提供していくことが重要になると考えられる。

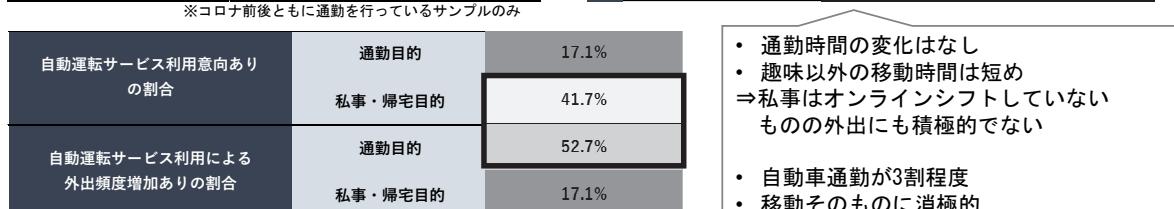
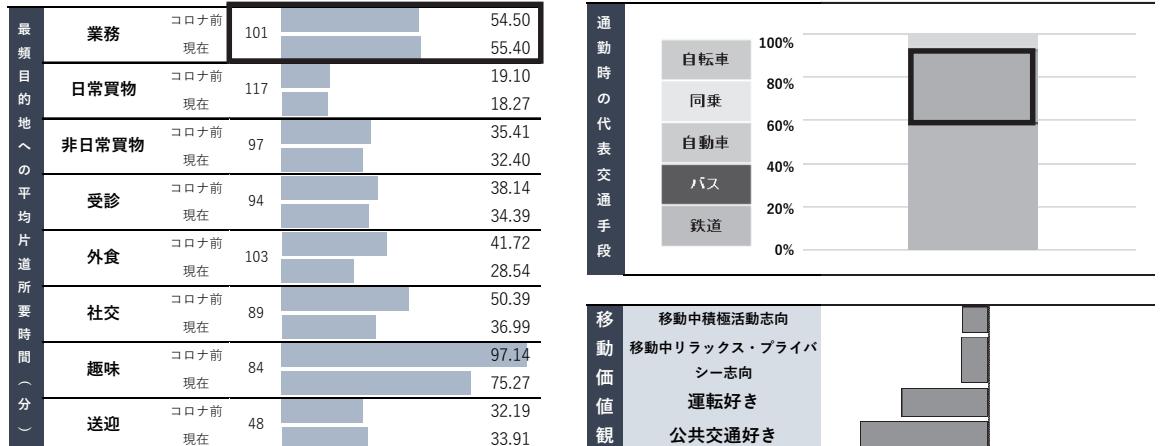
クラスター5 は最頻目的地への平均片道所要時間において通勤時間の変化は見られなかつた。通勤時の代表交通手段は自動車が 3 割程度と比較的大きな比重を占めている。また、移動価値観は移動中の活動志向が低く、また片道所要時間も趣味以外においては比較的短いことから、移動や外出に消極的な群であると考えられる。自動運転サービス利用意向、外出頻度増加可能性についてはクラスター3 と同じ傾向がみられるが、全体的に意向が低めである。移動機会が少なく、移動そのものに積極的でない群はモビリティ導入による外出促進は難しい可能性が考えられる。よって、現在の私事活動の外出行動の満足度を把握し、移動ニーズを探ることがまず重要な課題であると考えられる。

最後にクラスター8 は、最頻目的地への平均片道所要時間から、仕事のオンラインシフトのみならず通勤時間の変化も起きていないことが見て取れる。また通勤時の代表交通手段は自動車が 3 割程度と高い比重だが、移動価値観は公共交通や移動中の活動への志向が高いという傾向がみられる。自動運転サービス利用意向、外出頻度増加の可能性については上記 2 つのクラスターと同じ傾向が見られる。このクラスターはオンラインシフトが比較的進展し



・私事目的の新モビリティの意向が高いが、外出頻度が増加するのは通勤

電車通勤とは代替しがたいが、自動車等からの転換なら居住地付近での仕事のインセンティブになるのでは



・私事目的の新モビリティの意向が高いが、外出頻度が増加するのは通勤(クラスター3と同じ) だがやや低め

移動機会や移動そのものに積極的でない層に対しては、モビリティ導入による外出促進は難しい

図 4.6 各クラスターの移動の実態(クラスター3・5)

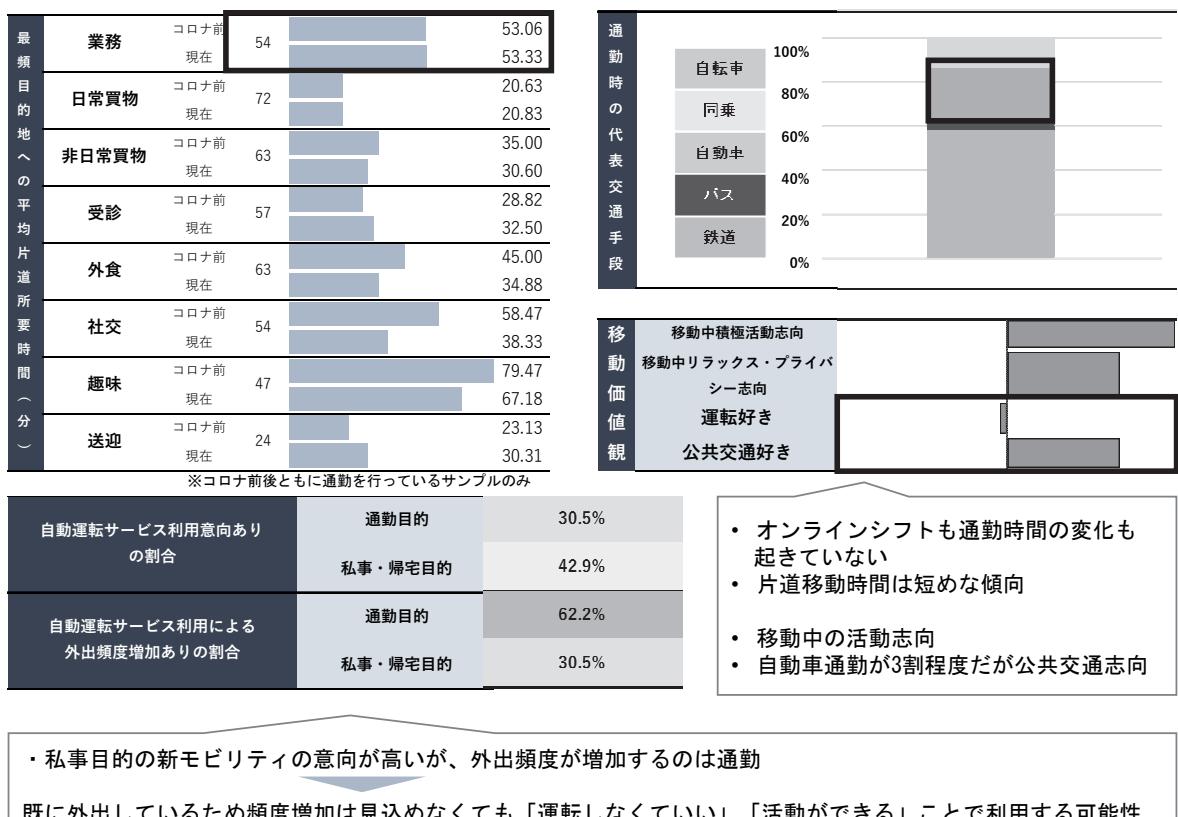


図 4.7 各クラスターの移動の実態(クラスター8)

ていないことから既に外出頻度が高く、また自動車の利用率も高い。よって新モビリティへの転換にあたっては、「運転しなくていい」「車内活動ができる」と言ったように、車内の快適性や活動可能性に魅力を感じることがインセンティブになると考えられる。

4.6 おわりに

本研究の成果として、まず全体像としては勤務先から自宅への仕事場所の移行以外の変化は見られないが、人によっては私事活動のオンラインシフトやまちなかへの仕事場所の変化も起きていることが示された。加えて、仕事場所の組み合わせの多様化を踏まえた満足度の把握により、仕事の満足度向上や外出促進に資するモビリティ計画の必要性が示唆された。また、新モビリティの導入にあたっては、地域のオンラインシフトの状況やニーズを踏まえ、まちなかの仕事場所の整備や快適な移動手段の提供といった複数のメニューを検討することが必要であることを提示した。

本研究の発展可能性としては、まずWMについては、組織や社会の効用などより多様な論

点で WM を論じ、交通計画の在り方を考察する研究が必要であるといえよう。またオンラインシフトのパターンのクラスター分析については、具体的な地域におけるクラスターの分布を把握することが、実際のモビリティ導入検討を行うことにつながると考えられよう。さらには、移動中が新たな活動場所になることに着目し、移動の価値の変容を捉えることも重要な観点である。例えば実空間、オンライン空間に加えた第 3 の空間として移動空間を捉え、移動中の活動の意向を踏まえて新モビリティ転換意向を探る研究が今後の展望として考えられる。

<参考文献>

- 1) 国土交通省 (2021) 「『テレワーク』実施者の割合が昨年度から倍増！～令和 2 年度のテレワーク人口実態調査結果を公表します～」、
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001391075.pdf> [最終閲覧：2022 年 5 月]
- 2) MiTERAS by PERSOL 「アフターコロナの働き方 | ハイブリッドワークの影響と有効な人事施策とは？」、<https://www.persol-pt.co.jp/miteras/column/aftercorona/> [最終閲覧：2022 年 5 月]
- 3) 日本経営協会 (2014) 「ノマドワーカーの働き方実態調査報告書」、
http://www.noma.or.jp/report_home/nomad/tabid/256/Default.aspx [最終閲覧：2022 年 5 月]
- 4) 株式会社矢野経済研究所 (2021) 「ワーケーション市場に関する調査を実施（2020 年）」、
https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/2677 [最終閲覧：2022 年 5 月]
- 5) WIRED (2021) 「大都市に戻ってきた『ラッシュアワー』に、生活スタイルの変化の兆しが見えてきた」、<https://wired.jp/2021/06/21/pandemic-end-rush-hour-what-happens-now/> [最終閲覧：2022 年 5 月]
- 6) 香月秀仁、川本雅之、栗野盛光、谷口守 (2017) 「自動運転車(ADV)利用がもたらす外出行動への影響 一目的に応じた頻度・目的地の変化に着目してー」、『交通工学論文集』、Vol.3、No.2、pp.A_1 ~A_10
- 7) 須永大介、青野貞康、松本浩和、山崎静一郎、久保田尚 (2017) 「大都市圏郊外部における超小型モビリティを用いた居住地カーシェアリングの導入可能性に関する研究」、『土木学会論文集 D3 (土木計画学)』、Vol.73、No.5、pp.857~868、2017.
- 8) 上条陽、パラディ ジアンカルロス、高見淳史 (2021) 「自動運転車の購入と自動運転サービスの利用に関する SP 調査と意向分析」、『交通工学論文集(特集号)』、Vol.7、No.2、 pp.A_326~A_335
- 9) 国土交通省 (2020) 「『テレワーク』実施者の割合が昨年度から倍増！～令和 2 年度のテレワーク人口実態調査結果を公表します～」、
https://www.mlit.go.jp/report/press/tosh03_hh_000072.html [最終閲覧：2022 年 5 月]
- 10) パーソル総合研究所 (2020) 「テレワーク実施率について、4 回目となる 2 万人規模の調査結果を発表 新型コロナ第 3 波におけるテレワーク実施率は全国平均で 24.7% 5 月下旬の緊急事態宣言解除直後は 25.7% で 1 ポイント減少」、
<https://rc.persol-group.co.jp/news/202012160001.html> [最終閲覧：2022 年 5 月]
- 11) 国土交通省 (2020) 「新型コロナによる生活や意識への影響とその変化—新型コロナ生活行動調査集計結果(速報版)よりー」、<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001366703.pdf> [最終閲覧：2022 年 5 月]
- 12) 武田陸、小松崎諒子、谷口守 (2021) 「COVID-19 流行がもたらした有職者の生活時間変革」、『都市計画論文集』、Vol.56、No.3、pp.834~841
- 13) 小林慶一郎、森川正之 (2020) 『コロナ危機の経済学 提言と分析』、日経 BP

- 14) 千野翔平 (2021) 「テレワーク制度の適用有無がテレワーカーにどのような影響を及ぼしているのか」、『イノベーション・マネジメント』、Vol.18、pp.265～279
- 15) 西堀泰英、嚴先鏞、佐々木邦明、加藤秀樹 (2021) 「交通ビッグデータを用いた地方都市中心市街地の人出等に対する COVID-19 感染拡大防止対策の影響分析—複数の緊急事態宣言による影響の違いに着目して—」、『都市計画論文集』、Vol.56、No.3、pp.1191～1198
- 16) Impress (2020) 「コロナ禍で EC・通販の利用が全年代で増加。業種別・年代別伸び率調査」、<https://netshop.impress.co.jp/node/7800> [最終閲覧：2022年5月]
- 17) 矢部直人、埴淵知哉、永田彰平、中谷友樹 (2020) 「緊急事態宣言前後の外出行動とインターネット利用の関係」、『日本地理学会発表要旨集』、2020a巻306号
- 18) 小松崎諒子、武田陸、宗健、谷口守 (2022) 「COVID-19 によるオンラインシフトのパターン分析—個人の類型化を通じて—」、『土木学会論文集D3 特別企画(土木計画学:政策と実践)』(印刷中)
- 19) 小松崎諒子、小林泰輝、宗健、谷口守 (2022) 「満足度から考える WM(ワークプレイス・マネジメント)—仕事場所の組み合わせに配慮して—」、第65回土木計画学研究発表会
- 20) NHK「特設サイト 新型コロナウイルス」、<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/data-all/> [最終閲覧：2022年5月]
- 21) 宗健 (2020) 「テレワークに関する実証分析—どのような属性のひとがテレワークをしているのか—」、http://www.j-mac.or.jp/oral/fdwn.php?os_id=232 [最終閲覧：2022年5月]
- 22) いい部屋ネット「街の住みこちランキング調査概要」、<https://www.eheya.net/sumicoco/outline/index.html> [最終閲覧：2022年5月]

5章 自動運転車の普及が歩行者流動に与える影響

5.1 研究の背景と目的

自動運転をはじめとする高度な交通技術の発達や人口動態等の変化に伴い、交通分野の課題に変化が生じている。近年では、人間中心の道路に注目が集まっている。国土交通省の道路ビジョン¹⁾によると、従来、交通分野で課題とされていた渋滞・安全・環境の課題は改善に向かっており、より根源的な人が滞在・交流しやすい空間としての道路が目指されている。しかし、自動車と歩行者の交錯部分では、歩行者が不安や危険を感じる状況が存在する。一方、技術面では自動運転の技術が進んでおり、特に現況の歩道進入による路外駐車場利用には大きな変化が予想される。自動運転車の普及に伴い、自動運転車の路肩乗降利用やシェア型自動運転車において空車を駐車させず低速で運転させ続けるクルージングが進展する可能性がある。

以上の背景を踏まえ、本研究では自動運転車の普及が歩行者流動の快適性に与える影響を検討する。

本節に続き、5.2節では既往研究のレビューと本研究の目的を述べる。5.3節では分析手法を、5.4節では分析データの概要を説明する。これらをもとに、5.5節ではシミュレーションによる分析結果を示し、5.6節で本研究の結論と今後の課題を整理する。

5.2 既往研究と本研究の位置づけ

既往研究を、自動運転車の特に駐車に関するものと、歩行者の快適性に関するものに分けて述べる。

5.2.1 自動運転時代の駐車システムに関する研究

まず、自動運転車の特に駐車に関する既往研究について、古森ら²⁾は、自動運転普及社会における乗降空間とその周辺環境要因が周囲の車両へ与える影響を、自動車交通流シミュレーションを用いて分析している。Millard-Ball³⁾は、自動運転車が駐車せず都市内をクルージングするケースを分析している。Konstanze ら⁴⁾は、シェア型自動運転車が普及した際の最適駐車場数について分析している。これらの研究ではいずれも自動車交通流を対象としており、歩行者流動に対する影響の分析は限定的である。

5.2.2 歩行者の快適性に関する研究

次に、歩行者の快適性に関して、田部井ら⁵⁾は、大規模小売店舗周辺の路外駐車場出入口の構造に着目し、自動車交通流の分析を行っている。池谷ら⁶⁾は、銀座駅周辺において歩行者への影響を考慮した路上駐車許容空間を提案した。Gore ら⁷⁾は、インドのグジャラート州において路上駐車が歩行者流动に与える影響を分析している。しかし、自動運転車が歩行者流动の快適性に与える影響に関する研究は数が少ない。

5.2.3 本研究の位置づけ

以上から、自動運転車の普及に基づく駐車の変化による自動車交通流の変化は活発に議論されているが、歩行者流动への影響についての研究は少ない。そこで、本研究では歩道進入から路肩利用への駐車方式の変化が歩行者流动に与える影響を分析する。具体的には、図 5.1 のように三つの駐車方式を比較検討する。



図 5.1 検討する駐車方式

5.3 分析手法

具体的には、研究対象地域において自動車交通流と歩行者流动のシミュレーションを行うこととした。

5.3.1 対象地域の概要

以下の条件、

- 1) 歩行者交通量・自動車交通量がともに多い
- 2) 駐車車両が歩道に進入し歩行者流动と交錯している
- 3) 観測調査が可能である

を満たす地域として、東京都渋谷区の一街区を研究対象とした。

5.3.2 比較するシナリオの詳細

次に、検討する駐車方式を説明する。図 5.1 の A に対応するシナリオ A は、既存の駐車方式である。路外駐車場を附置している建物前には誘導員がおり、駐車希望車両の待ち行列が生じると歩行者を赤信号状態とし停止させ、車両を歩道に進入させ路外駐車場に入庫させる。同時に、路外駐車場からの出庫車両も誘導する。路外駐車場を附置していない建物では指定のパーキングメーターにおいて路上駐車を行う。図 5.1 の B に対応するシナリオ B は、自動運転普及下での路肩乗降利用の場合である⁸⁾。いずれの沿道建物前でも路肩乗降が採用され、パーキングメーターを利用した路上駐車は存在しない。また、乗降が済んだ車両は速やかに路肩から離れて走行する。シナリオ C は、A、B の両方が混在するシナリオである。自動運転への移行期に想定されるシナリオであり、自動運転車と非自動運転車が 1:1 で存在し、自動運転車は路肩乗降を、非自動運転車は歩道進入して路外駐車場を利用する。各シナリオに対する駐車方式の詳細を表 5.1 に示す。

表 5.1 駐車方式の詳細

シナリオ	自動運転	路外駐車場・路肩利用関連				交通流関係	
		駐車方式	容量	平均利用時間	路上駐車	車線数	車種
A	非自動運転	歩道進入・パーキングメーター・路肩乗降	路外駐車場：182台 パーキングメーター：39台	1時間以上	あり	片側3車線	乗用車・貨物車
B	自動運転	路肩乗降	路肩乗降：37台	乗用車：60秒 貨物車：230秒	なし	片側3車線	乗用車・貨物車
C	非自動運転 自動運転	歩道進入・パーキングメーター・路肩乗降	路外駐車場：91台 パーキングメーター：12台 路肩乗降：18台	非自動運転はAの通り 自動運転はBの通り	非自動運転はAの通り 自動運転はBの通り	片側3車線	乗用車・貨物車

5.4 実験データ

シミュレーションに用いたデータの取得方法と、シミュレーションの概要について述べる。

5.4.1 道路等条件

道路構造などは Google Earth などからの測定により求めた。信号現示などは現地調査から設定した。

5.4.2 将来交通量条件

現況、および都市開発の進展した後の将来交通量は、商業床面積の増加に応じて増える発

生・集中交通量と、道路交通センサスに基づく現状実測値による交通量の合計から与え（表5.2）、現地調査により確認した。

表 5.2 シナリオ別交通量

	自動車qauto (台/h)	二輪車qbicy (台/h)	歩行者qped (人/h)	合計qsum (人/h)
現状実測値	925.0	169.8	2509.2	4066.5
現状予測値	1000.9	156.3	2310.1	3967.8
シナリオ1	1035.3	175.1	3170.9	4886.5
シナリオ2	1069.7	193.8	4031.6	5805.1
シナリオ3	1104.1	212.6	4892.4	6723.8

渋谷区都市計画マスタープランと現況を比較すると、用途はほとんど一致しているため、都市開発の進展による床面積の増分を、容積率が500%となる範囲内で4通り設定した。シナリオ0は現況、シナリオ1は容積率が現況の105%、シナリオ2は110%、シナリオ3は115%とした。

現況の交通量と床面積の増加に応じて増える発生・集中交通量の推定には、以下の式(1)を用いた。

$$Q_{sum,i} = Q_{sum,0} + T \times \frac{1}{P} \times \Delta A \quad (1)$$

ここで、 $Q_{sum,i}$ (人/12h)はシナリオ*i*における12時間の合計交通量であり、 ΔA (ha)は対象地域内延床面積の増分の合計、 T (人/ha・日)は大規模開発地区関連交通計画マニュアル⁹⁾による原単位、 P は昼夜率、24時間交通量の12時間交通量に対する比率である。また、24時間交通量に対するピーク時1時間交通量の比率C、2方向交通量に対する交通量が多い方の片道交通量の比率Dにより、式(2)を用いてピーク時片道交通量 $q_{sum,i}$ を求めた。

$$q_{sum,i} = Q_{sum,i} \times C \times D \quad (2)$$

交通手段分担は、現況の交通量に関しては、道路交通センサスの実測値をそれぞれ与えた。都市開発の進展による新たな発生・集中交通量は、平成30年のパーソントリップ調査による分担率 r_n を用いて、式(3)を用いてシナリオ*i*、交通手段*n*のピーク時片道交通量を求めた。

$$q_{n,i} = q_{n,0} + (q_{sum,i} - q_{sum,0}) \times r_n \quad (3)$$

シナリオB、Cにおける対象地域内の施設*a*に附置された路外駐車場入出庫台数 p_i は式(4)により与えた。

$$p_i = T \times \frac{1}{P} \times A_a \times \frac{A_{sum,i}}{A_{sum,0}} \times r_{車} \times C \times \frac{1}{d} \quad (4)$$

p_i はシナリオ*i*のピーク1時間路外駐車場出入庫台数である。 A_a は施設*a*の延床面積、 $A_{sum,0}$ は対象地域全体の現状の延床面積、 $A_{sum,i}$ はシナリオ*i*の延床面積、 d は平均乗車人員である。貨物車台数は現地調査による乗用車との比率から補足した。なお、駐車場所の選択は吉田ら¹⁰⁾の研究を参考にし、主要な選択要因である歩行距離に基づいて最も目的地に近い駐車場所を選択するものとした。

既存研究を参考に、シナリオB、Cにおける貨物車と乗用車の路肩利用時間を設定した。アトランタにおいて自動運転車普及時の駐車場容量の増減を調査したZhangら⁸⁾の研究とシアトルにおいてライドソーシングの政策的側面の検討を行ったRanjbariら¹¹⁾の研究から、乗用車の平均路肩利用時間はZhangらが用いた90秒とし、ばらつきはRanjbariらの研究に従つた。貨物車は平成18年の道路交通法の改正施行前後で路上駐車実態を調査した長谷川ら¹²⁾の研究を参考に、道路交通法改正後の貨物車駐車時間の中央値であった230秒を路肩利用時間の平均とし、ばらつきはRanjbariらの研究に従うこととした。

5.4.3 シミュレーションの概要

シミュレーションはPTV社の自動車交通流シミュレータVISSIMとその歩行者流動アドオンViswalkを用いた。シミュレーション期間はピーク1時間とした。まず、自動車交通流と歩行者流動の結果の定量的な比較を行い、その後、シミュレーションから3D動画を出力して定性的な比較を行った。シナリオB、Cにおける自動運転車の設定はWiedemann 74交通流モデルのデフォルト値を使用した。

5.5 シミュレーション結果

シミュレーションの結果を図5.2～5.4に示す。シナリオ3では容積率が500%に達しているため非常に交通量が多いが、路肩利用や歩道進入がボトルネックとなることはなかった。

5.5.1 歩行者流動に関する結果

歩行者流動に関する快適性を評価するためサービスレベル(LOS)を検討した。歩行者密度とサービスレベルとの対応は広く用いられているHighway Capacity Manualの閾値(表5.3)を使用した。なお、サービスレベルはAが最も快適性が高くFが最も快適性が低い。歩行者

エリア内を 2.5m ごとの小エリアに分け、車道エリアの自動車交通流上流から下流に向けて 102 から 135 の番号をつけた上でサービスレベルの算定を行った。

結果を表 5.4 に示す。シナリオ A ではサービスレベル B、C 程度でやや快適性が低いが、シナリオ B ではサービスレベル A、B であり快適性が非常に向上している。一方、シナリオ C では、サービスレベル B、C、D となり最も快適性が低い結果となった。なお、いずれのシナリオでもサービスレベル E、F は生じなかった。

表 5.3 LOS 対応表

LOS	歩行者密度 (人/m ²)
A	~0.179
B	0.179~0.270
C	0.270~0.455
D	0.455~0.714
E	0.714~1.333
F	1.333~

表 5.4 歩行者 LOS

歩行者密度 (人/m ²)	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
0A	0.25	0.26	0.35	0.27	0.25	0.28	0.25	0.29	0.28	0.26	0.26	0.27	0.28	0.28	0.27	0.28	0.28
1A	0.26	0.26	0.24	0.29	0.29	0.3	0.31	0.31	0.28	0.29	0.28	0.26	0.27	0.26	0.28	0.25	0.29
2A	0.29	0.26	0.3	0.27	0.27	0.26	0.26	0.24	0.25	0.26	0.26	0.26	0.28	0.27	0.28	0.28	0.27
3A	0.27	0.26	0.26	0.3	0.27	0.26	0.25	0.25	0.26	0.24	0.24	0.28	0.26	0.29	0.24	0.29	0.26
0B	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1B	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
2B	0.21	0.21	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
3B	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
0C	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
1C	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
2C	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.22	0.21	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
3C	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.27

歩行者密度 (人/m ²)	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135
0A	0.35	0.29	0.33	0.33	0.31	0.29	0.29	0.29	0.27	0.27	0.28	0.29	0.3	0.29	0.3	0.3	0.22
1A	0.29	0.29	0.29	0.31	0.3	0.28	0.28	0.27	0.27	0.25	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.28	0.22
2A	0.29	0.26	0.29	0.29	0.3	0.26	0.27	0.26	0.26	0.26	0.29	0.25	0.26	0.29	0.27	0.3	0.26
3A	0.28	0.27	0.28	0.28	0.29	0.24	0.27	0.26	0.23	0.27	0.25	0.26	0.24	0.27	0.26	0.27	0.28
0B	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.1
1B	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.14
2B	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.18
3B	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.27	0.26	0.26	0.26	0.25	0.21
0C	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.23	0.21	0.13	0.12	0.12	0.13	0.26	0.16	0.12	0.12	0.12
1C	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.32	0.29	0.19	0.17	0.18	0.18	0.37	0.24	0.18	0.17	0.17
2C	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.25	0.42	0.38	0.26	0.23	0.23	0.24	0.49	0.33	0.23	0.22	0.22
3C	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.30	0.50	0.46	0.32	0.28	0.28	0.30	0.60	0.40	0.28	0.26	0.26

続いて、歩行者平均旅行時間は全ての開発シナリオにおいて、シナリオBの方がシナリオAに比べ8秒ほど短くなった（図5.2）。これは、歩道進入車両に歩行者流動が妨げられなくなるためである。シナリオCではシナリオAとほぼ同様の結果となった。これは歩道進入車両がある程度存在する限り歩行者流動は妨げられるためと考えられる。

次に、歩行者平均停止回数について検討した。ここでは歩行者速度が0.2(m/s)以下になった場合を停止と定義している。結果はいずれの開発シナリオでも、シナリオBの方が停止回数が大幅に少なくなった（図5.3）。これは、歩行者平均旅行時間と同様、シナリオAでは主に歩道進入車両が存在したが、シナリオBでは存在しないためである。さらに、シナリオAでは一人当たり平均で8~9回停止しており、歩道進入車両による停止以外にも、赤信号の際に、一度停止し、歩行者同士の間隔が詰められ、数歩進み、もう一度停止する、という挙動の影響がみられた。シナリオCでは、シナリオBに近い歩行者平均停止回数であった。歩行者平均停止時間も、平均停止回数と同様に、シナリオBで大幅に小さかった。

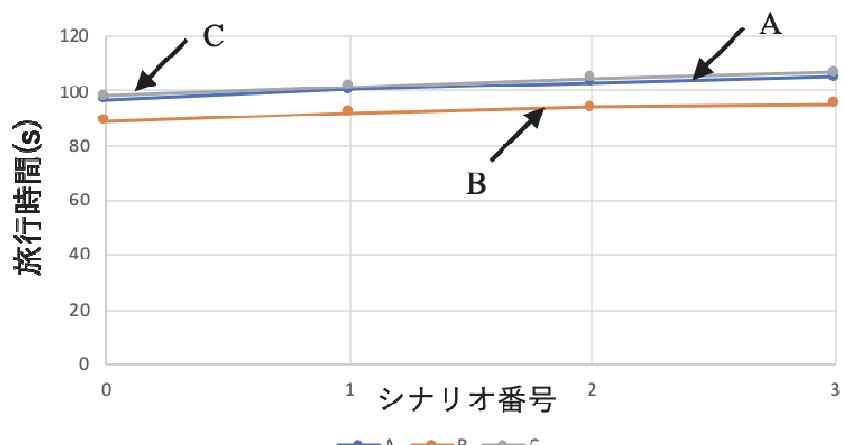


図5.2 歩行者平均旅行時間結果

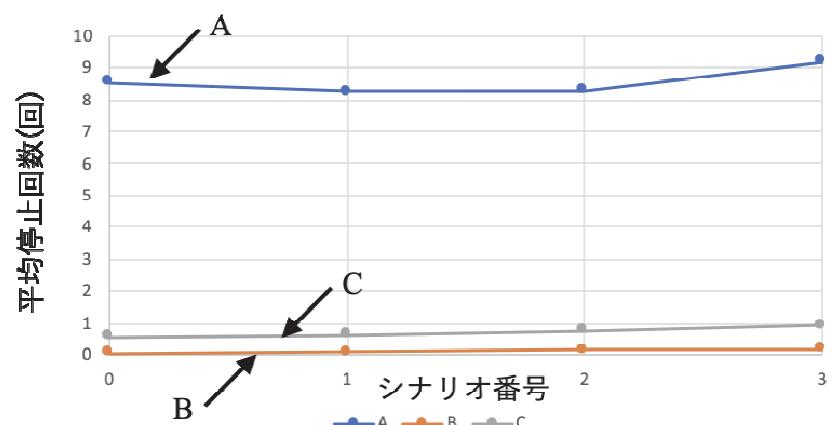


図5.3 歩行者平均停止回数結果

5.5.2 自動車交通に関する結果

自動車平均旅行時間は、シナリオ A に対し、シナリオ B は 125% 前後であり、シナリオ C は 110% 前後であった（図 5.4）。全体的にシナリオ C ではシナリオ A と B の中間的な旅行時間であった。また、シナリオ B よりシナリオ A の方が平均旅行速度が高くなかった。その主な原因是、シナリオ B では路肩乗降車両が左側車線を占有しているためと考えられる。

都市開発の進展に伴う将来シナリオによる違いについては、シナリオ A では開発が進むシナリオになるにつれ旅行時間が長くなった。一方、シナリオ B では開発シナリオによる平均旅行時間の差はほぼない。つまり、本研究における将来シナリオにおいては、交通量増加による本線車両への影響という点では、歩道進入より路肩乗降の方が小さくなかった。

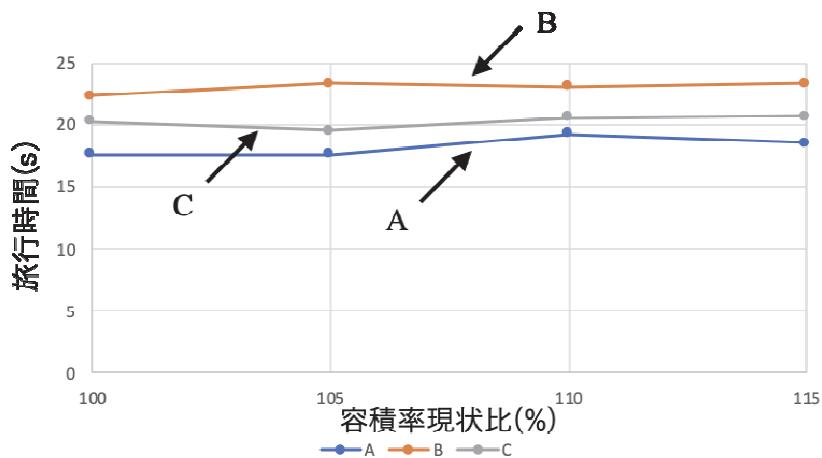


図 5.4 自動車平均旅行時間結果

5.5.3 考察

以上より、歩行者流動のサービスレベル・旅行速度・停止回数・停止時間の全てにおいて、路肩乗降の方が快適性は高かった。一方、自動車交通流に関しては、自動運転車による路肩乗降により平均旅行時間は長くなかった。さらに、自動運転車と非自動運転車の混在であるシナリオ C では、自動車交通流に関してはシナリオ A とシナリオ B の中間的な結果となつたが、歩行者流動に関してはシナリオ A に近い結果となり快適性が低かった。歩道進入のある駐車方式の存在が歩行者流動の快適性に少なからず影響を与えると考えられる。

この結果を視覚的に確認するために国土交通省が進める 3D 都市モデル PLATEAU を用いて、図 5.5 のような 3D 動画を出力した。対象地域の 3D 建物データを skp 形式に変換し、VISSIM に読み込んで利用した。本動画からも、シナリオ B が最も歩行者流動に関して快適な環境となることが確認できた。



図 5.5 3D 動画の出力イメージ

5.6 結論と今後の課題

本研究の主な結論と今後の課題について述べる。

5.6.1 本研究の主な結論

本研究では自動運転車の普及が歩行者流動の快適性に与える影響を検討した。その結果、本研究における都市開発の進展に関するシナリオにおいては、路外駐車場に歩道進入して入庫する駐車方式よりも路肩乗降の方が歩行者快適性は高いことが示された。一方、自動車交通流については、路肩乗降の方が平均旅行速度は低くなかった。移行期に予想される自動運転と非自動運転の混在については、歩道進入による駐車方式が残るため歩行者快適性への貢献は限定的となる可能性も示された。したがって、自動運転車が普及する時代においては、自動車交通流に配慮しつつ、歩行者流動の快適性に貢献するような駐車方式の設計を推進する必要があると考えられる。

5.6.2 今後の課題

本研究における主な今後の課題としては、以下が挙げられる。

- 1) 限られた研究対象地域におけるシミュレーション結果であり、今後ケースを増やす必要がある。
- 2) 対象とした幹線道路は片側 3 車線あり、他の道路構造を持つ道路における路肩乗降を検討する必要がある。

<参考文献>

- 1) 国土交通省（2020）「2040 年、道路の未来が変わる」、
<https://www.mlit.go.jp/road/vision/pdf/01.pdf> [最終閲覧：2022 年 1 月 23 日]
- 2) 古森開、郭佳瑞、高山宇宙、北野尚宏、森本章倫（2020）「自動運転車の路上での乗降に着目したカーブサイドのあり方に関する研究」、『土木計画学研究・講演集』、No.62
- 3) Adam Millard-Ball (2019) “The autonomous vehicle parking problem”, *Transport Policy*, Vol.75, pp.99–108
- 4) Konstanze Winter, Oded Cats, Karel Martens, Bart van Arem (2021) ‘Parking space for shared automated vehicles: How less can be more’, *Transportation Research Part A*, Vol.143, pp.61–77
- 5) 田部井優也、長田哲平、大森宣暁（2020）「大規模小売店舗の駐車場出入口の構造が交通事故や交通流に与える影響に関する分析」、『交通工学論文集』、第 6 卷、第 2 号(特集号 A)、pp.A_260～A_269
- 6) 池谷風馬、田中伸治、中村文彦、有吉亮、三浦詩乃（2019）「中心業務地区における交通流と歩行者への影響を考慮した路上駐車管理方策に関する研究」、『交通工学論文集』、第 5 卷、第 2 号(特集号 A)、pp.A_118～A_124
- 7) Ninad Gore, Sanjay Dave, Jiten Shah, Shriniwas Arkatkar, Srinivas Pulugurth (2021) “Effect of On-Street parking on pedestrian flow characteristics and level of service - an Indian viewpoint”, *Case Studies on Transport Policy*, Vol.9, pp.1386–1398
- 8) Wenwen Zhang, Kaidi Wang : Parking futures (2020) “Shared automated vehicles and parking demand reduction trajectories in Atlanta”, *Land Use Policy*, Vol.91, 103963
- 9) 矢島隆他（2014）『大規模都市開発に伴う交通対策のたて方』、計量計画研究所
- 10) 吉田樹、竹内伝史、秋山哲男（2003）「街路環境の影響を考慮した市街地における駐車場選択モデルの構築」、『土木計画学研究・論文集』、Vol.20(3)、pp.581～588
- 11) Andisheh Ranjbari, Jose Luis Machado-Leon, Giacomo Dalla Chiara, Don MacKenzie, Anne Goodchild (2021) “Testing Curbside Management Strategies to Mitigate the Impacts of Ridesourcing Services on Traffic”, *Transportation Research Record*, Vol.2675(2), pp.219–232
- 12) 長谷川大悟、宇多俊雄、小早川悟、高田邦道（2007）「道路交通法の改正施行に伴う路上駐車実態の変化について—特に、貨物車に注目して—」、『土木計画学研究・講演集』、No.36

日交研シリーズ目録は、日交研ホームページ
http://www.nikkoken.or.jp/publication_A.html を参照してください

A-854 「都市交通の新技術・新サービスの
空間計画への展開のあり方」

都市交通の新技術・新サービスの
空間計画への展開のあり方プロジェクト

2022年7月 発行

公益社団法人日本交通政策研究会