

東京大学大学院新領域創成科学研究科
社会文化環境学専攻

2021 年度
修 士 論 文

都市構造による次世代モビリティサービス導入効果の比較
A Comparation Between Different City Structures
On the Effect of Next-Gen Mobility Service Implementation
Based on Simulation

2021 年 1 月 17 日提出
指導教員 瀬崎 薫 教授

小池 優太郎
Koike, Yutaro

目次

第一章 序論	5
1.1 研究背景	5
1.2 本論文の目的	7
1.3 本論文の構成	8
第二章 次世代モビリティサービス	9
2.1 統合型モビリティサービスの概要	10
2.2 MaaS の利用料金制度	12
2.3 海外における統合型モビリティサービス	13
2.4 統合型モビリティサービスの影響	14
2.5 統合型モビリティサービスの実現に向けて	16
2.6 日本における統合型モビリティサービスの実証実験	17
第三章 次世代モビリティサービスのシミュレーション	22
3.1 導入する次世代モビリティサービスの概要	22
3.2 シミュレーションの概要	23
3.3 交通需要の生成方法	24
3.3.1 交通発生量	24
3.3.2 目的地の選択方法	26
3.5 ライドシェアシミュレーションプログラムのアルゴリズム	31
第四章 宇都宮市を例とした仮想人口分布シナリオの作成	32
4.1 宇都宮市の概要	32
4.2 宇都宮市の人口と世帯数	33
4.3 宇都宮市の都市構造	34
4.4 宇都宮市の交通整備状況	35
4.5 宇都宮市の都市計画「ネットワーク型コンパクトシティ」	36
4.6 宇都宮市の拠点形成計画	37
4.7 シミュレーションにおける宇都宮市の仮想都市構造シナリオ	39

<u>第五章</u>	<u>宇都宮市を例としたライドシェアサービスのシミュレーション結果</u>	48
5.1	自動車利用率と自動車総走行距離.....	48
5.2	ライドシェアサービスの導入による自動車走行距離の減少	51
5.3	シェア率.....	52
5.4	考察.....	53
<u>第六章</u>	<u>終わりに</u>	55
6.1	まとめ.....	55
6.2	今後の展望	56
<u>第七章</u>	<u>謝辞</u>	57

第一章 序論

1.1 研究背景

近年、海外の一部地区では ICT を利用し、スマートフォンアプリなどのインターフェースを通じて一般乗用車、タクシー、乗合バスをはじめ、自転車、電動バイク、電動スクーターなどマイクロモビリティも含むシェア型モビリティサービスが本格運用されはじめている¹。情報技術の革新により、近い将来に自動運転を応用した交通手段が現実となり、今後、さらなる新しいモビリティサービスが続々登場すると予想されている²。これを受け、都市にある自家用車以外の全ての交通手段を統合させ、一つの移動のサービスとして捉える統合型モビリティサービス“Mobility as a Service”、通称 MaaS（マース）という概念が登場し、フィンランド・ヘルシンキの「Whim」³など、海外一部地区ではすでに本格運用されている。

一方、日本は現在、少子高齢化社会に突入し、人口が減少傾向にある。地方都市では大都市圏の人口流出が続いており、公共交通手段の少ない地域ではラストマイル⁴や交通弱者⁵が問題となり、対策を必要とされている。しかしながら、近年、“働き方改革”と情報技術の進展によるリモートワークの実用化と、“住環境の質への追求”といった“住”と“職”に対する意識変化を受け、大都会ではなく地方都市への移住希望者⁶が増える中、地方都市の人口を現状維持することも可能と見込まれている。こうした状況の中、地方都市には市民の移動需要を柔軟に対応できる新たな移動サービスが必要であり、MaaS はその対策の一つとして注目を集めている。

¹ Li, Y. and Voegelé, T. (2017) Mobility as a Service (MaaS): Challenges of Implementation and Policy Required. *Journal of Transportation Technologies*, 7, 95-106..

² Hensher, David. (2017). Future bus transport contracts under a mobility as a service (MaaS) regime in the digital age: Are they likely to change?. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 98. 86-96.

³ 「Whim」: <https://whimapp.com/>

⁴ ラストワンマイルとは | 物流におけるラストワンマイルの必要性と課題
<https://www.kantsu.com/>

⁵ 諸外国における公共交通政策について
<https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/227738.pdf>

⁶ 憧れの田舎暮らしはこんなに魅力的！人気の地方移住先ランキング
<https://www.glocaltimes.jp/5356>

都市の中にある自動車と公共交通機関の利用は、都市構造に相関すると研究によって表明されている⁷。これから登場する新たなモビリティサービスに対し、都市計画ではどう対応していくか、都市構造に関する研究も新しい“移動の形”想定するが必要である。

⁷ 陳 鶴, 有賀 敏典, 松橋 啓介, メッシュ周辺人口集積度に基づいた乗用車 CO2 排出量の推計, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 2018, 74 巻, 5 号, p. I_101-I_107

1.2 本論文の目的

1.1 節では、日本都市における交通需要と今後登場を見込まれている新たなモビリティサービスについて簡潔に述べた。このことを受け、日本の都市計画と交通計画はこれからの新たなモビリティサービスにどう対応していくか、研究によるエビデンスが必要である。

つきまして、本研究は都市構造と次世代モビリティサービスを関係性について、まずはライドシェアサービスの導入を仮定し、異なる人口分布シナリオにおいてシミュレーションを行った。

ファーストステップとして、ライドシェアサービスの導入効果が都市構造による相違を検証し、ゆくゆくは多視点からの詳細な人口分布予測と、多様な交通手段を考慮したシミュレーションを行い、最終的には今後の都市計画と交通計画の政策決定にエビデンスを提供することを目的としている。

1.3 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。

第二章では統合型モビリティを紹介し、海外の事例と日本にある実証実験を述べつつ、実現に向けて自分なりの見解も述べる。

第三章では、本研究が行うシミュレーションが想定しているライドシェアサービス、シミュレーションのアルゴリズムなどについて述べる。

第四章では、ケーススタディとして、宇都宮市の都市計画を紹介した後、シミュレーションに使用した宇都宮市の仮想都市構造シナリオを述べる。その後にシミュレーション結果をまとめる。

第五章では、本論文全体をまとめつつ、今後の展望について述べる。

第二章 次世代モビリティサービス

1970年代から自家用車が爆発的に増加した結果、都市部では交通が混雑になり、エネルギー利用や大気汚染が社会問題となった。日本の地方都市では人口が郊外へと分散し、都市のスプロールが問題となった。21世紀になってからの日本は、超高齢化時代の到来により高齢者運転事故の多発や交通弱者の増加が問題となっている。

いかに公共交通機関をより多くの市民に利用しやすい形で提供し、安全・快適・便利な都市生活を支えるかは都市計画・交通計画の長年の課題である。さらに、近年では環境問題・SDGsへの対応が求められている。

固定時刻・固定路線のような従来の公共交通機関は、そのサービスエリアにある市民が恩恵を受けやすい一方、サービスエリアに含まれない市民にとっては利用しにくく、都市全体の交通手段として効率がよいとは言い難い。

一方、近年、海外の一部地区ではICTを利用し、スマートフォンアプリなどのインターフェースを通じて一般乗用車、タクシー、乗合バスをはじめ、自転車、電動バイク、電動スクーターなどマイクロモビリティも含むシェア型モビリティサービスが本格運用されはじめている²。

また、情報技術の革新により、近い将来に自動運転を応用した交通手段が現実となり、今後新たなモビリティサービスが続々登場すると予想されている。

これらのモビリティサービスは、ICTを積極的に利用し、スマートフォンなど移動通信端末を通じて利用者の位置・行き先やその周辺の乗り物の利用状況から利用者のニーズに合わせた移動サービスを提供するところは、従来の固定時刻・固定路線の公共交通機関とは大きく異なり、次世代モビリティサービスと呼ばれている。

これを背景に、都市にある自家用車以外の全ての交通手段を統合させ、一つの移動のサービスとして捉える統合型モビリティサービス“Mobility as a Service”、通称MaaS（マース）という概念が登場し、フィンランドのヘルシンキなど、海外一部地区ではすでに本格運用されている。日本ではまだ実証実験の段階であるが、近いうちに運用開始を見込まれている。

2.1 統合型モビリティサービスの概要

“Mobility as a Service”（以下 MaaS）は ICT を活用し、公共交通か否か、またその運営主体に関わらず、自家用車以外の全ての交通手段による移動を一つのサービスとして捉え、シームレスにつなぐ新たな「移動」の概念である⁸。

ヨーロッパの研究者は統合の度合いにより、図 2.1 に示すようにレベル分けをしている⁹。“

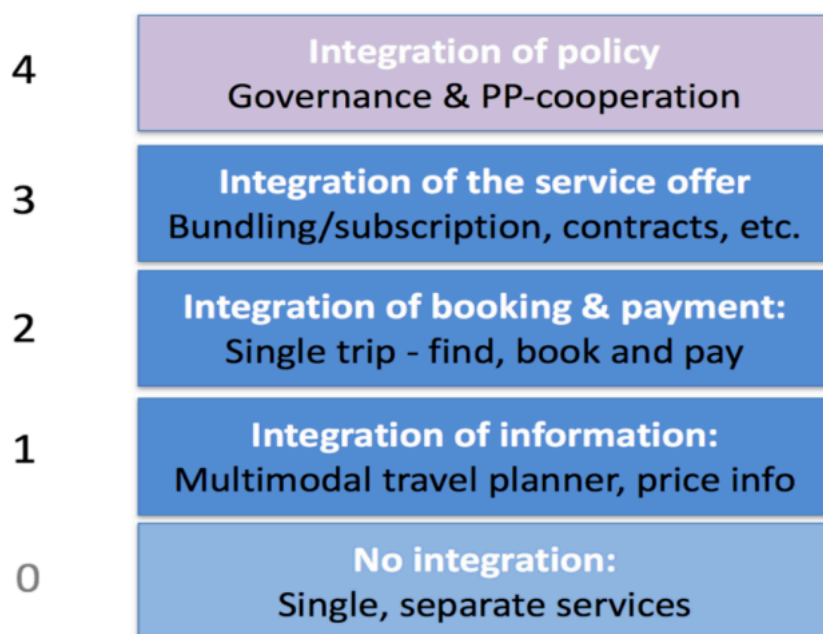


図 2.1 MaaS のレベル分け（出典：露木 伸宏, MaaS について）

⁸ 露木 伸宏, MaaS（モビリティ・アズ・ア・サービス）について,
国土交通政策研究所： https://www.mlit.go.jp/pri/kikanshi/pdf/2018/69_1.pdf

⁹ Jana Sochor, Hans Arby, I.C. MariAnne Karlsson, Steven Sarasini, A topological approach to Mobility as a Service: A proposed tool for understanding requirements and effects, and for aiding the integration of societal goals, Research in Transportation Business & Management, Volume 27, 2018, Pages 3-14, ISSN 2210-5395

“シームレスな移動”¹⁰を提供することはレベル3に相当し、MaaSを都市計画に取り込んでプランニングすることはレベル4に相当する。

“シームレスな移動”を達成するためには、利用者の移動需要に応じて一つのインターフェースでその利用する全ての交通手段においてルートプランニング、予約、支払を完了することが求められる。これにより、利用者は交通手段別に経路検索と予約、決済をする煩雑がなくなり、「別々の」交通サービスではなく「一つの」交通サービスを利用している感覚が与えられる。

¹⁰ “シームレスな移動”：ここでは交通手段を変えるときに、手段別に経路検索・予約・決済することなく利用できることを指す

2.2 MaaS の利用料金制度

MaaS の利用料金制度は、月間・年間定期のような期間が選べるサブスクリプションタイプのほかに、都度払いや 1 日乗車券のような短期間定額乗車券などがある¹¹。また、料金によって利用できる交通手段や乗車距離が異なるような多様なサービスパッケージが用意されていることも特徴的である。決済には、現金、クレジットカード、電子決済などがある。

どの方式でサービスを提供するかは、対象利用者や地域の実情によって検討する必要があり、これにより運営側のビジネスモデルも異なる¹²。サブスクリプションモデルは、日常的に公共交通を利用するニーズが高いユーザーが多い地域により適している一方、観光地など利用者が一時的に特定の地域を訪れ、短期間で集中した移動ニーズが多い地域では、ONE-DAY PASS のような短期間定額乗車券が適しているとされている。後者には地元の宿泊業者・観光事業等のサービスと結びつけることで、経済的な相乗効果も期待されている。

¹¹ Daniela Arias-Molinares, Juan C. García-Palomares, The Ws of MaaS: Understanding mobility as a service from literature review, IATSS Research, Volume 44, Issue 3, 2020, Pages 253-263, ISSN 0386-1112

¹² Kamargianni, Maria & Matyas, Melinda. (2017). The Business Ecosystem of Mobility-as-a-Service.

2.3 海外における統合型モビリティサービス

フィンランドのヘルシンキでは、2016年にベンチャー企業「MaaS Global」がいち早く世界初の MaaS サービス「Whim」をはじめた。「Whim」はバスと電車のほかに、タクシーや自転車シェアリングを統合し、スマホアプリを利用し、サービスを提供している。利用者は毎月何十～何百ユーロまで多様な料金プランから自身の需要にあったサービスパッケージを選ぶことができる。

ヘルシンキの Whim ユーザーの交通利用状況は、Whim サービス開始前では公共交通が 48%、自家用車が 40%、自転車が 9%であったが、2016年のサービス開始後は公共交通が 74%と大きく伸びたほか、それまであまりなかったタクシーの利用が 5%に増加した一方で、自家用車は 20%に減少した¹³。

¹³ 楠田 悦子, 日経電子版「MaaSに必要なエコシステムとは? 先進フィンランドの教え」: <https://xtrend.nikkei.com/atcl/contents/feature/00041/00002/>

2.4 統合型モビリティサービスの影響

MaaS の実現によって社会と個人への影響は図 2.2 に示すように①都市・地域の持続可能性の向上、②交通機関の効率化、③個人の利便性向上と予想される¹⁴。

MaaS によって、個人にとっては多様な交通手段が用意され、移動がさらに自由になる。また、自家用車の維持費の負担がなくなり^{14,15}、その他の支出に当てる余裕が出る。

社会にとって、自家用車の利用から公共交通利用への転換が促され、都市部では交通渋滞が減少し、また、自動車による排気ガスの減少により、大気汚染、温室効果ガスの排出も抑えられると予想される。さらに、交通手段の少ない地方都市では、交通弱者やラストマイル問題の対策として期待される。

また、自動車の減少により駐車場に必要な面積が減り、緑地などに転用することも考えられる¹⁴。MaaS の利用に伴って蓄積される交通データは、公共交通の効率化や立地適正化に用いることも可能である。

一方、MaaS を導入したことにより自動車交通量が増加し、環境に負の効果をもたらす見解もあるが、現時点ではそれらの見解をサポートするエビデンスが存在しない¹⁶。

14 総務省 情報通信白書メールマガジン「M-ICT ナウ」次世代の交通 MaaS

https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/02tsushin02_04000045.html

15 2017 年の家計調査（統計局）によると、二人以上世帯・単身世帯における「自動車等関係費（全国平均）」は年間で 201,222 円

16 Smith, Göran. (2020). Making Mobility-as-a-Service: Towards Governance Principles and Pathways.

都市・地域の持続可能性の向上	(1)都市部での渋滞の解消	公共交通機関やコンパクト・、モビリティ等の新しいクルマ等による効率的な移動が可能になることで、自家用車による移動が減少し都市の交通渋滞が減少する。
	(2)環境への影響	自動車による排気ガスの減少により、都市の大気汚染、温室効果ガス排出が抑制される。また自家用車保有台数が減少することで駐車場面積を減らすことができ、緑地等への転用が可能になる。
	(3)地方での交通手段の維持	サービスカーとしての自動運転車が導入されたり、データの活用によって最適なバス等の運用が実現すれば、交通手段が少ない地域に住む人々による駅や停留所と目的地の間のラストワンマイルの移動が可能になる。
交通機関の効率化	(4)公共交通機関の収入増加	ヘルシンキの実証実験 ³ 段階で見られたように公共交通機関の利用が増加すれば、運賃収入が増加し、税金による公的資金の投入が低く抑えられる可能性がある。
	(5)公共交通機関の運営効率の向上	鉄道を維持することが難しい地域で路線を廃止し、その分の運用・維持資金をオンデマンドバスや自動運転車に投資することで、より効率的な運営が可能になる。
個人の利便性向上	(6)検索、予約、乗車、決済のワンストップ化	複数の交通機関を乗り継いだ移動において、移動経路の検索、予約、乗車、決済までが1つのサービスで完結する。
	(7)家計への影響	高額な自家用車の維持費 ⁴ の負担がなくなることで、その他の支出に充当する余裕が生まれる。
	(8)交通費精算の簡易化	企業が従業員に支払う通勤手当の一律支給が可能になり、また既定の通勤経路以外の交通経路の把握等も容易になるため、企業・従業員双方にとって経費清算手続きが簡略化される。

図 2.2 MaaS の実現による影響（出典：総務省 情報通信白書メールマガジン¹⁴）

2.5 統合型モビリティサービスの実現に向けて

MaaS 事業をいかに運営するか、そのビジネスモデルの知見はまだ浅い¹⁶。MaaS は新興な情報技術とモビリティテクノロジーを多く取り入れていて、実現のためには官民双方から多くの事業者による連携が必要であるが、今まで連携したことのない事業者主体が多くいることも、ビジネスモデルを検討する上で難しさを増している。日本ではまだ実証実験の段階だが、フィンランドやドイツでの MaaS の取り組みをまとめ、事業者の役割分担やビジネスモデルを分析している報告が多国の政府機関で見られ、関連研究も続々発表されている^{16,17}。

MaaS の利用を促すには、利用料金よりもサービスパッケージの内容が利用者意向に影響を及ぼす点に注意すべきである¹⁷。つまり、単に公共交通機関の支払いを統合させるだけでは現存の IC カードやスマートフォンを通じた電子決済との差別化がつかず、それよりも多様な交通手段と付加するサービスを対象地域の実態に合わせて組み合わせる方が利用意向を向上させられる。

¹⁷ Anna-Maria Feneri, Soora Rasouli & Harry J.P. Timmermans (2020) Modeling the effect of Mobility-as-a-Service on mode choice decisions, *Transportation Letters*

2.6 日本における統合型モビリティサービスの実証実験

小田急グループによる実証実験^{18,19}

小田急電鉄はその中期経営計画において、「次世代モビリティを活用したネットワークの構築」を掲げ、自動運転バスの実用化に向けた取り組みのほか、複数のモビリティや目的地での活動を検索から予約・決済まで、一つのサービスのようにシームレスに提供する MaaS の実現に向けた取り組みを推進している。

小田急電鉄の MaaS 戦略は二つの軸を設けており、一つは上述したレベル 3 に相当する“シームレスな移動”を提供 MaaS サービスで、「EMot」というアプリを開発し、図 2.1 に示すように、実証実験を 2020 年からはじめた。

また、図 2.2、図 2.3 に示したように、「郊外型 MaaS」と「観光型 MaaS」の実証実験をしている。



図 2.1 小田急が展開している MaaS 実証実験（出典：小田急の MaaS 取組み）

¹⁸ 小田急電鉄と JR 東日本、東京都が公募した「MaaS の社会実装モデル構築に向けた実証実験」に選定、～町田市山崎団地周辺エリアにおける MaaS の実証実験を予定～：

<https://www.odakyu.jp/news/o5oaa1000001tpag-att/o5oaa1000001tpan.pdf>

¹⁹ 小田急の MaaS 取組み：

https://www.boj.or.jp/finsys/c_aft/data/aft210405a3.pdf


MaaSプロジェクト事例：郊外型MaaS【実施中：～2021年3月】



オンデマンド交通 E-バスの運行

施策 01 第二期：2021年1月18日～3月12日

- 全26か所の仮想バス停を設け、1乗車100円の有償にて運行中
- 介護施設とも連携



商業施設 × 公共交通

施策 02 小田急百貨店町田店・ルミネ町田いずれかで一定金額以上お買い上げいただくと、「E-バス」と路線バスの往復無料チケットを提供

JR東日本とのMaaS基盤連携

施策 03 小田急・JR東日本それぞれの公式アプリで提供するリアルタイム運行情報を相互に共有し、それらを考慮したリアルタイム経路検索結果を提供

Copyright 2021 Odakyu Electric Railway Co.,Ltd. All Rights Reserved.

図 2.2 小田急が展開している郊外型 MaaS 実証実験（出典：小田急の MaaS 取組み）

MaaSプロジェクト事例：観光型MaaS【2021年より本サービスへ移行】



施策 01

複数の交通サービスを統合したお得な電子チケットの提供

- 「デジタル箱根フリーパス」の発売
- 駅や旅行代理店を通さず、スマホのみでチケットの購入から旅の周遊が可能



施策 02

人気観光スポットのお得な電子チケットの提供

- 温浴施設「箱根湯寮」のお得なチケットを発売 ※通常の入浴料金と同額でレンタルタオルセットが無料
- スマホのみで「デジタル箱根フリーパス」と合わせて、便利でお得な「移動+消費+体験」が可能

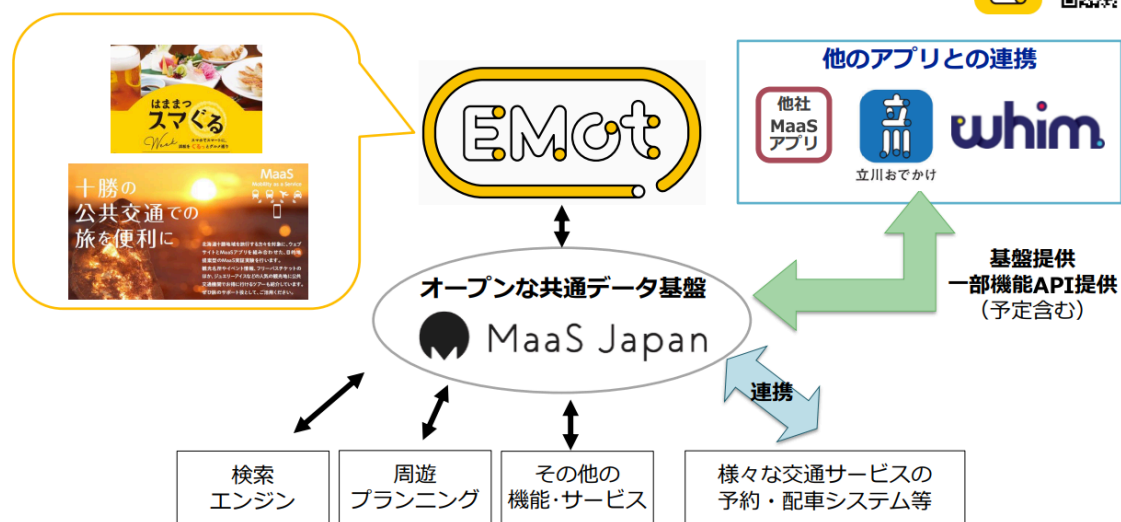


Copyright 2021 Odakyu Electric Railway Co.,Ltd. All Rights Reserved.

図 2.3 小田急が展開している観光型 MaaS 実証実験（出典：小田急の MaaS 取組み）

そのデータ基盤として、ヴァル研究所の支援のもと「MaaS Japan」を開発している。「MaaS Japan」は図 2.4 のように、鉄道やバス、タクシーなどの交通データや各種フリーパス・商業施設での割引優待券をはじめとした電気チケットの検索・予約・決済などの機能の提供に用いられる。また、「MaaS Japan」は小田急電鉄が開発した MaaS アプリ「EMot」だけではなく、他の交通事業者や自治体が開発する MaaS アプリにも活用されることが可能である。

■ MaaSアプリ「EMot」と、オープンな共通データ基盤「MaaS Japan」



Copyright 2021 Odakyu Electric Railway Co.,Ltd. All Rights Reserved.

図 2.4 小田急が開発した「MaaS Japan」データ基盤（出典：小田急の MaaS 取組み）

JR による実証実験²⁰

JR 東日本（東日本旅客鉄道株式会社）と JR 西日本（西日本旅客鉄道株式会社）は 2020 年 9 月に相互に連携しながら MaaS の取り組みを進めていくことを発表した²¹。

図 2.5 に示すように、JR 東日本は 2018 年に発表した「変革 2027」において、検索・手配・決済の三つの機能を一つのインターフェースで提供する「モビリティ・リンケージ・プラットフォーム（MLP）」の構築を掲げ、実証実験に取り込んでいる。2019 年から伊豆エリア、新潟エリア、2020 年から仙台エリア、群馬エリアで機能の充実を図りながら観光型 MaaS の実証実験を断続的に展開している。2021 年から、東北 6 県（青森・弘前エリア、秋田・男鹿エリア、角館エリア、一関・平泉エリア、仙台・宮城エリア、庄内エリア、置賜エリア、会津エリア）で「TOHOKU MaaS」を実施してきた。また、2021 年に自治体や交通事業者に向けて新たに MaaS プラットフォーム「Tabi-CONNECT」を稼働させた。

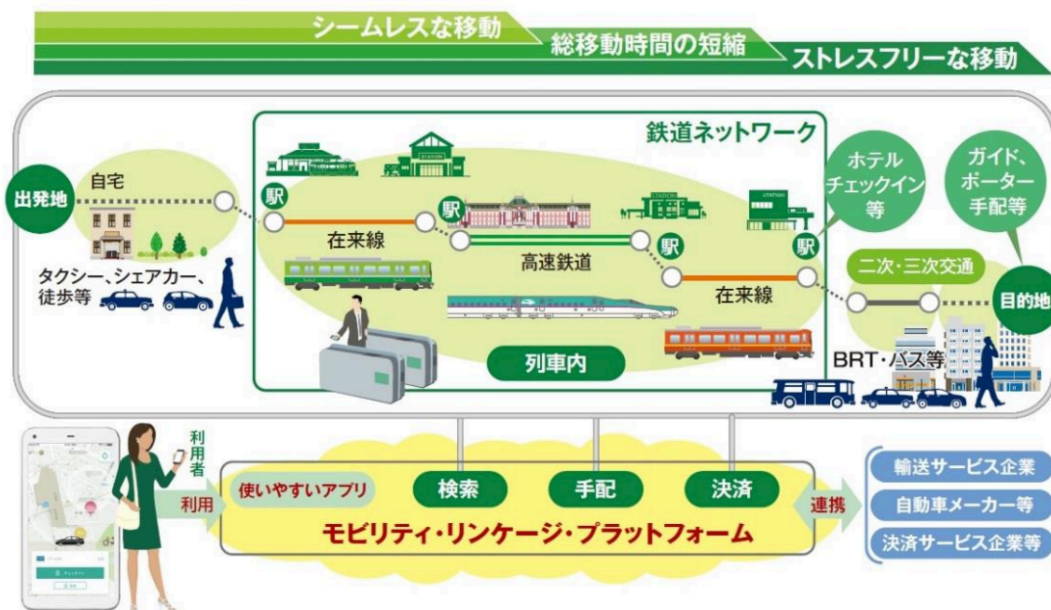


図 2.5 JR 東日本が開発した「モビリティ・リンケージ・プラットフォーム（MLP）」
（出典：JR 東日本「変革 2027」）

²⁰ JR 東日本ニュース：MaaS の取り組みにおける連携について
https://www.jreast.co.jp/press/2020/20200924_ho01.pdf

JR西日本は2019年から瀬戸内エリアにおいて観光型 MaaS「setowa」の実証実験をはじめ、関西の7つの鉄道事業者により組織された「関西 MaaS 検討会」に属し、2025年に開催される大阪・関西万博に向けて「関西地域における MaaS のあるべき将来像」「関西鉄道事業者間の連携を前提とした MaaS システムの構築」などについて共同で検討している²⁰。

第三章 次世帯モビリティサービスのシミュレーション

3.1 導入する次世代モビリティサービスの概要

第二章で述べたように、海外の多くの地域にはすでにシェア型サービスが開始されており、それを公共交通機関に統合させる動きがある。これを踏まえ、本研究はまずライドシェアサービスの導入を想定した。導入するライドシェアサービスは市内全域に対して、利用者がスマートフォンアプリを使用して運転者、または乗客として登録し、一般乗用車をシェアするような使い方を想定しており、商用車やタクシーのシェアは想定していない。

3.2 シミュレーションの概要

都市の中における自動車トリップ（自家用車）のうち、シェアが可能なトリップを抽出するライドシェアのシミュレーションプログラムを ArcGIS PRO Network Analysis の Python ライブラリーを利用して作成した。

シミュレーションは、仮想な人口分布それぞれに、トリップの到着地が①身近な都市施設と②中心市街地の都市施設の 2 パターンの OD データセットでシミュレーションを行った。

導入効果を評価するため、導入前後の自動車トリップ数、自動車走行距離を算出し、それぞれについてライドシェアサービスの導入による増減分と、自動車トリップの内シェア可能な割合を算出した。

また、ライドシェア導入によるアクセシビリティを評価するため、それぞれの OD ペアについて公共交通機関を利用した時の所要時間を算出した。公共交通利用による所要時間が 30 分以上の OD について、自家用車利用による経路時間とライドシェア利用による所用時間を算出し、比較した。

本シミュレーションでは、自動車による経路検索、経路の距離と所要時間の算出に ArcGIS Geo Suite 道路網 都府県版（栃木県）²²を使用した。公共交通機関の利用による経路検索、経路の距離と所要時間の算出は CSIS が Joras より提供している拡張版全国デジタル道路地図データベース（2021 年版）²³とバス、鉄道、LRT の GTFS データを用いて宇都宮市の公共交通ネットワークを作成した。

²² ArcGIS Geo Suite 道路網 都府県版（栃木県）

<https://www.esri.com/products/data-content-geosuite-douromo/>

²³ 住友電工製品 拡張版全国デジタル道路地図データベース

https://biz.kkc.co.jp/data/geo/sumi_adf/

3.3 交通需要の生成方法

3.3.1 交通発生量

仮想した人口分布の 100m メッシュ人口データ²⁴に基づき、各人口分布に 1 万の交通需要を発生させた。出発点は 100m メッシュの中心点とした。シミュレーションに使用する交通発生“Origin”は ArcGIS の Point Feature として、表 3.1 の属性を持つ：

表 3.1 交通発生 Point Feature “Origin”の属性

属性	説明
Origin_ID	ユニーク ID
Destination_Code	目的施設のユニークコード
Destination_Category	目的施設の種類
Departure_Time	出発時刻
Order_Time	注文時刻； 出発時刻より 60 分前から出発時刻までランダムで生成
Pick_Up_Window_Start	ピックアップウィンドウの開始時刻； {Departure_Time}の 5 分前
Pick_Up_Window_End	ピックアップウィンドウの終了時刻； {Departure_Time}の 10 分後
Driving_Time	目的地まで自家用車利用による所用時間
Distance	目的地まで自家用車利用による経路距離
Public_Transit_Time	目的地まで公共交通利用による所用時間
Origin_Point_X	出発地の X 座標
Origin_Point_Y	出発地の Y 座標
Destination_Point_X	目的地の X 座標
Destination_Point_Y	目的地の Y 座標

²⁴ 西沢明、平成 27 年簡易 100m メッシュ人口データ：
<https://home.csis.u-tokyo.ac.jp/~nishizawa/teikyo/index.html>

{Departure_Time}はサービス利用可能時間帯において重み付きランダムで選択した。重みは全国都市交通特性調査を参考にし、時間帯分布が表 3.2 になるように設定した：

表 3.2 交通発生 Point Feature “Origin”の時間帯分布

時間帯	割合
7:00~9:00	3
6:00~23:00	6
20:00~23:00	1

3.3.2 目的地の選択方法

身近な都市施設を利用する場合と、中心市街地の都市施設を利用する場合をシミュレーションするため、宇都宮市内の都市施設データ²⁵を使用し、以下二つの目的地選択方法を設定した：

- i. 身近な施設を利用する場合の目的地選択：
施設の種類をランダムで選択し、同種の施設のうち、出発地に近いものを目的地と設定する
- ii. 中心市街地にある施設を利用する場合の目的地選択：
都市拠点にある施設のうち、ランダムで目的地を設定する

²⁵ 国土数値情報：医療、福祉、公共施設、文化施設、集客施設、都市公園（街区&近隣を除く）https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/jpgis_datalist.html

3.4 ArcGIS Pro で公共交通ネットワークデータセットの 制作方法

ArcGIS Pro では、GTFS データを読み込み、ArcGIS Pro で取り扱う Point Feature と Table に転換し、転換されたデータと道路ネットワークデータに基づいて公共交通ネットワークデータセットを作成するツールが用意されている。

図 3.1 今回作成した宇都宮市の公共交通ネットワークデータセットを示す。

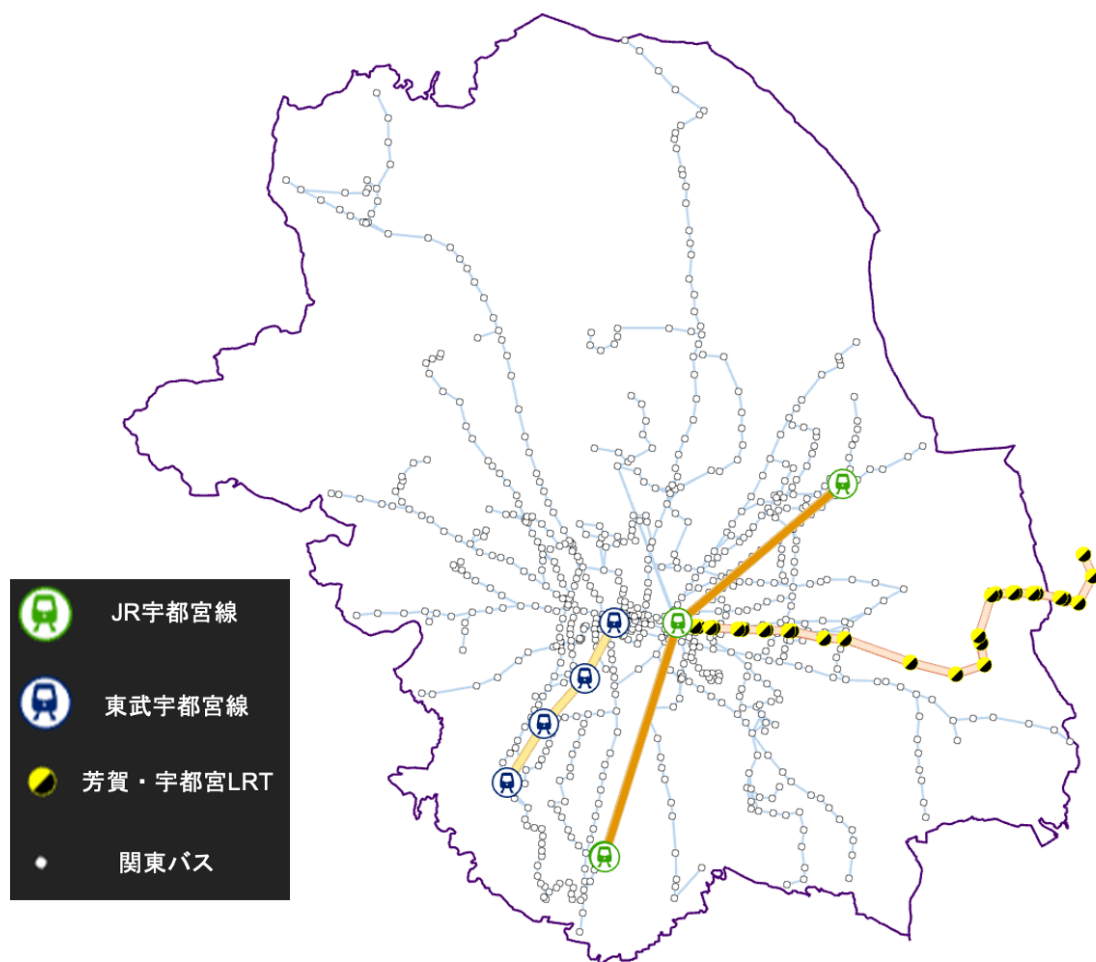


図 3.1 シミュレーションで利用した宇都宮市の公共交通ネットワーク

これを行うためには、図 3.2 に示した通り、以下のステップがある²⁶：

- 1) 公共交通ネットワークデータセットが出力される Geodatabase を作成し、さらにその中に Feature Dataset を作成する
- 2) 作成した Feature Dataset に道路ネットワークデータを入れる
- 3) ツールボックスで「GTFS To Public Transit Data Model」を開き、用意した GTFS データが入っているフォルダーを選択する。

複数の公共交通機関による公共交通ネットワークデータセットを作成する場合は、公共交通機関それぞれの GTFS データが入っているフォルダーを一つ一つ選択する。

このステップでは、入力した GTFS データに基づき作成された GTFS Tables、Feature Class “Stops”、 Feature Class “LineVariantElements”が出力される。

- 4) ツールボックスで「Connect Public Transit Data To Streets」を開き、道路ネットワークが入っている Feature Dataset（最初に作成した Feature Dataset）を選択する。

このステップでは「GTFS To Public Transit Data Model」で作成された Feature Class “Stops”と道路ネットワークをつなげるための Feature Class “StopsOnStreets”、 Feature Class “StopConnectors”が出力される。

- 5) 最初に作成した Geodatabase にステップ 2 で生成され GTFS Tables があり、作成した Feature Dataset に道路ネットワークと Feature Class : “Stops”、“LineVariantElements”、“StopsOnStreets”、“StopConnectors”が入っていることを確認し、ツールボックスで「Create Network Dataset」を開く。

「Create Network Dataset」の出力フィーチャデータセットに最初に作成した Feature Dataset を選択し、ツールを実行すれば、公共交通ネットワークデータセットが作成される。

²⁶ ArcGIS PRO 公共交通機関データを使用したネットワーク データセットの作成と使用
<https://pro.arcgis.com/ja/pro-app/latest/help/analysis/networks/create-and-use-a-network-dataset-with-public-transit-data.htm>

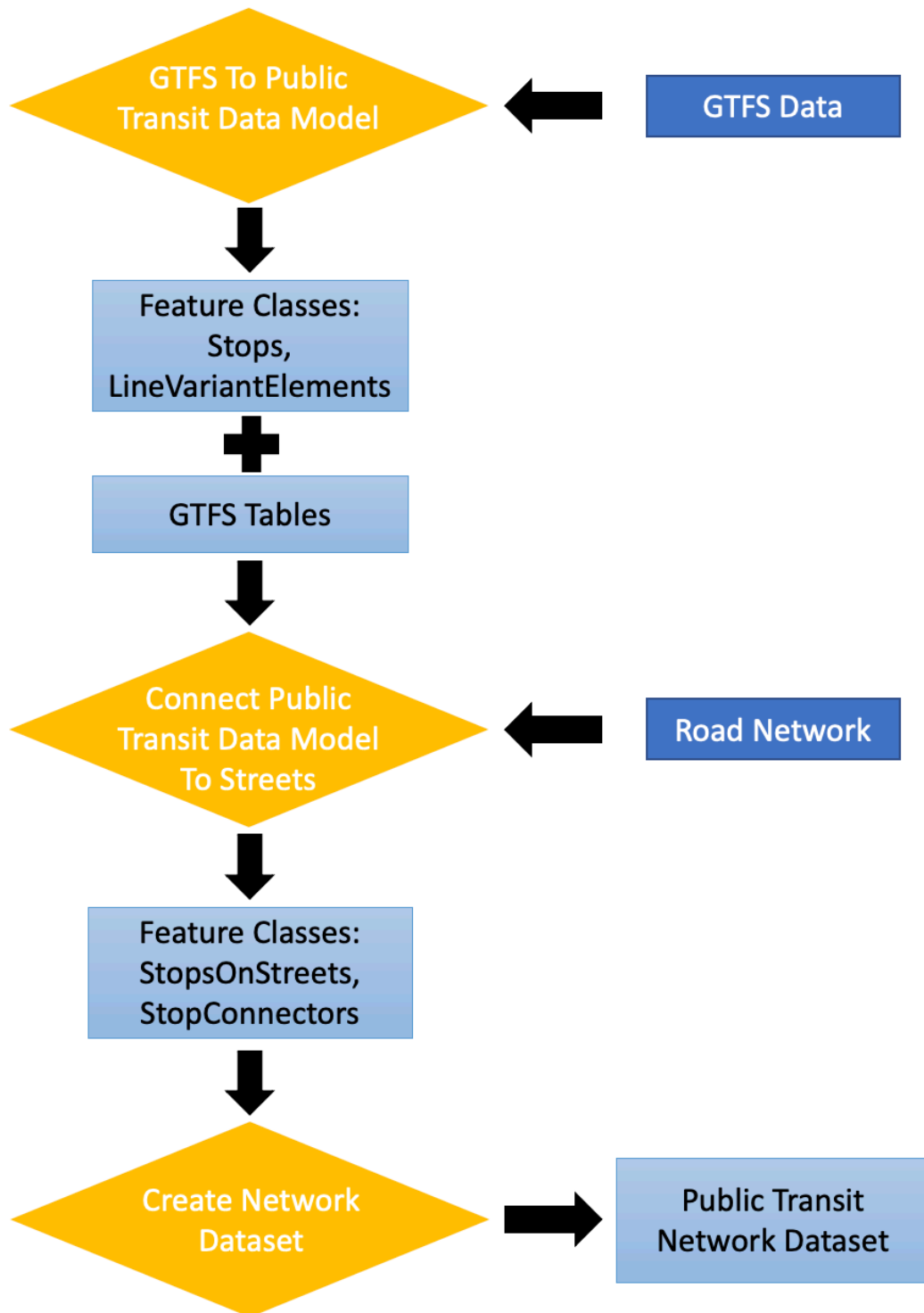


図 3.2 ArcGIS Pro で公共交通ネットワークデータセットの作成方法

生成された公共交通ネットワークデータセットは、入力した GTFS データの中身によるが運行ダイヤル、平日・土日・休日など運休日情報を考慮した分析ができる。例えば、ルート解析時に出発時刻を設定すれば、GTFS データを参照しその時刻の運行情報によって所用時間が計算される。到達圏解析や OD-Cost Matrix 解析なども同様である。

また、生成した公共交通ネットワークデータセットの設定がやや煩雑であるが、Esri には用意された“Public Transit Network Dataset Template”があり、ホームページからダウンロードできる。この場合、ステップ v で「Create Network Dataset」ではなく「Create Network Dataset From Template」を選択し、ダウンロードした“Public Transit Network Dataset Template”を入力すれば、生成された公共交通ネットワークデータセットの設定がやりやすくなる。ただし、テンプレートの利用は GTFS データと道路ネットワークデータの形式に留意しなければならない。

3.5 ライドシェアシミュレーションプログラムの

アルゴリズム

ライドシェアのシミュレーションプログラムは ArcGIS PRO Network Analysis の Python ライブラリーを利用して作成した。図にアルゴリズムを示す：

- 1) 入力する交通発生 Point Feature を出発時刻の早い順に並び替える
- 2) それぞれの交通発生に対し、出発時刻の早い順に OD ペアを作成する
- 3) 経路距離が 1km 以上の OD ペアを抽出する
- 4) 一つ目の OD ペアを運転 OD と見做し、その経路を作成する
- 5) 作成した運転 OD 経路の周辺 1km 以内にある Origin と Destination を抽出する
- 6) 割り出した Origin と Destination のうち、以下のものだけを抽出：
 - i. OD ペア双方が含まれる
 - ii. 運転 OD の出発時刻が Pick-Up Window End より早い
- 7) 残った OD ペアを乗客候補 OD と見做す
- 8) 運転 OD ペアの出発地から、乗客候補 OD ペアそれぞれの出発地に対して、自動車による到着時刻を算出し、Pick_Up_Time とする
- 9) 乗客候補 OD ペアの内、以下のものを残す：
 $\{\text{Pick_Up_Window_Start}\} < \{\text{Pick_Up_Time}\} < \{\text{Pick_Up_Window_End}\}$
を満足する乗客候補 OD ペア
- 10) 残された乗客候補 OD ペアの内、注文時刻が一番早いものをこの運転 OD の乗客とする
- 11) 4) ~10) を繰り返す

第四章 宇都宮市を例とした仮想人口分布シナリオの作成

4.1 宇都宮市の概要²⁷

宇都宮市は栃木県の中部に位置する中核市で、県庁所在地として県内の政治経済の中心となっている。面積が416.85km²、総人口が約52万人で北関東最大の都市である。

宇都宮市は昭和20年の空襲では市街地の大半を焼失したが、戦後いち早く戦災復興土地地区画整理を進め、宇都宮市域の拡大を伴い住民人口が激増し、全国でもまれにみる復興をとげた。昭和29年から30年にかけて、隣接1町10か村を合併編入し、都市基盤の整備を進め、近代的な商業都市としての基礎を整えた。昭和35年以降は、宇都宮工業団地や内陸では最大規模の清原工業団地等の造成をはじめ、積極的に工業振興策を推進し、また昭和59年には、「宇都宮テクノポリス」の地域指定を受け、生産基地から頭脳基地への脱皮、産・学・住が有機的に結ばれたまちづくりを進めてきた。

²⁷ 宇都宮市の歩み

<https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/shisei/gaiyo/aramashi/1007463.html>

4.2 宇都宮市の人口と世帯数²⁸

宇都宮市の人口は 1970 年の約 32 万から 2015 年に約 52 万人に増加しており、2005 年から 2015 年の間、栃木県の人口が減少傾向にあるが宇都宮市の人口は依然増加傾向を続けている。また、1990 年から 2015 年の間に、昼間人口と常住人口の双方が増え続けているが、昼間人口比率が 1995 年から減少している。

世帯数は人口増加や核家族化の進行などにより、1970 年の約 8 万 6 千世帯から 2015 年に約 21 万 7 千世帯に増加している。一世帯当たりの人員は 1970 年の 3.76 人/世帯から、2015 年の 2.39 人/世帯に減少している。

総人口は 2018 年の約 52 万人をピークに減少に転じ、将来人口は 2050 年に約 45 万人に減少すると見込まれている。世帯数は 2035 年の約 23 万世帯をピークに 2050 年では約 21.5 世帯と 2015 年と同じ水準になると見込まれている。しかしながら、今後特殊出生率が 2.07 まで上昇し、東京圏に対する転出超過が解消されれば、総人口を 50 万人前後に維持することも可能と見込まれている。

²⁸ 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 章は宇都宮市第三次都市計画を参照し作成した

4.3 宇都宮市の都市構造

宇都宮市は関東平野の北端に位置し、栃木県のほぼ中央に位置する。北西には日光連山があり、市の北部には丘陵地帯が連なる。北部から東部にかけて鬼怒川が貫流し、中央には田川が流れている。

宇都宮市の都市構造は、高度な都市機能が集積した中心部を囲み、中心部から放射状に伸びた道路や市内を巡る環状の道路網などで結ばれた古くから発展してきた地域から成り立っている。

人口集中地区（DID）は1970年には駅を中心にコンパクトにまとまっていたが、その後、人口集中地区の面積増え続け、2005年から2015年の10年間で約8%拡大していた。一方、DID人口密度は減少傾向にあり、市街地が薄まりつつ、拡大傾向にある。

人口密度は1970年には市の中心部にあるJR宇都宮駅や東武宇都宮駅周辺や市の南西部に人口が集中していたが、現在ではDID全域に人口が広まっている。

土地利用について、人口増加やモータリゼーションに伴い、市街地は1976年から2014年の約40年間で4500haから11500haへと約2.5倍に拡大し、都市機能が郊外へ分散して立地する一方、農地や緑地、森林は約6000ha減少している。

小売業の売場面積は、駅周辺や市街地の商業集積地においては、市全体に占める割合が1997年から低下している。一方、郊外の幹線道路沿いには大規模な小売店の出店が進んでおり、中には10000m²を超える大規模な小売店も見られる。

4.4 宇都宮市の交通整備状況

宇都宮市の幹線道路の整備率は、2015年時点で、市全域に対して68.2%、DIDに対し60.1%である。一方、2015年における全目的の自動車分担率は約70%であり、自動車利用の割合は増加傾向にある。

市内の鉄道はJR宇都宮線・日光線、東武鉄道宇都宮線が運行しており、宇都宮駅には東北新幹線が通っている。バス路線網は市の中心部から市内各地に放射状に広がり、主に関東自動車が運営している。

また、2023年には芳賀・宇都宮LRTの開通を予定しており、宇都宮ライトレール株式会社により運営される予定である。LRTの路線は現在、市中心部から東方面に伸び、市外にある芳賀郡芳賀町の芳賀・高根沢工業団地までを優先整備区間として予定しており、開通後、さらに市の西側に路線を整備する予定となっている。

バスと鉄道の利用者は1995年から2010年にかけて減少していたが、近年は増加傾向にある。しかし、公共交通空白地域や不便地域が存在し、約28%の市民が居住している。また、60人/ha以上の人口密度が高い地域においても、公共交通機関が利用しにくい地域が存在する。

4.5 宇都宮市の都市計画

「ネットワーク型コンパクトシティ」

宇都宮市はその第三次都市計画マスタープランにおいて、広域的役割等を踏まえ、人口減少や少子・超高齢化社会に対応した都市の姿として、「ネットワーク型コンパクトシティの実現」を都市づくりの理念としている。

宇都宮市の都市構造は、高度な都市機能が集積した中心部と、それを囲み中心部から放射状に伸びた道路や市内を巡る環状の道路網などで結ばれた古くから発展してきた地域から成り立っている。このことを踏まえ、中心部への一極集中ではなく、中心市街地を核としながら、各地域の特性を踏まえた各種拠点を形成するとともに、階層性を持った交通ネットワークによって拠点間の連携・補完を図り、各拠点が役割を補完し合う多極型「ネットワーク型コンパクトシティ」を目指している。

計画としては、市内の各地域に身近な拠点を定め、拠点に都市の生活を支える機能を誘導・充実するとともに、都市構造の骨格として拠点間の機能連携・補完や他県域との広域的連携を図る交通ネットワークを形成・強化する。居住を拠点や公共交通沿線などに誘導・集約することなどにより、郊外に広がる自然環境との調和を図りながら、市民生活に必要な機能の充足と、都市としての価値・活力を高められる持続可能な「ネットワーク型コンパクトシティ」を実現しようとしている。

目標として 1) 便利で暮らしやすく快適に住み続けられる都市、2) 都市や地域飲み力・活力を創造し続けられる都市、3) 地域経済の好循環を創出する産業の発展を支える都市、4) 公共安全などにより安全・快適で自由に移動できる都市、5) 農林や森林などの緑豊かな自然と市街地が調和した都市、6) 環境にやさしく災害に強い持続可能で効率的な都市が挙げられている。

4.6 宇都宮市の拠点形成計画

宇都宮市は地域特性に応じて以下の拠点形成を計画している：

① 都市拠点：

商業・業務機能や行政機能、交流機能をはじめとした多様な機能が集積するなど、広域都市圏の中核として都市の活力や競争力を牽引し、中枢性や広域性を備えた中心市街地とその周辺を「都市拠点」として位置づける。

都市拠点では、日常生活圏域を超えた広範な地域を対象と専門的な医療・福祉機能や、全市的・広域的な交流や賑わいを創出する商業・業務、教育・文化機能、身近な生活サービス機能等の誘導・集積など、複合的で高度な土地利用を促進し、歴史・文化を踏まえた風格と魅力ある都市空間の形成や、多様なニーズに応じた生活環境の形成、人と環境にやさしい交通環境の整備などにより、広域的に人、モノ、情報が集積・交流する都市の顔となるまちづくりを行う。

② 地域拠点：

地域の成り立ちや歴史的なつながり・一体性などを踏まえ、公共交通の結節点である鉄道駅や主要な幹線道路等の結節点、地域におけるコミュニティ施設等を各拠点の中心の目安として、市内 14 箇所を「地域拠点」として位置付けます。

地域拠点では、日常生活に密着した商業機能、金融機能、医療機能等都市機能の誘導・集積とともに、基幹公共交通や幹線バス路線との交通結節機能の維持・強化等により、交通の利便性を高めるなど、自立性の高い地域の「顔」となる拠点を形成する。

③ 産業拠点：

ものづくり産業等の集積を促進する、清原工業団地、宇都宮工業団地、瑞穂野工業団地や、河内工業団地、河内中小工場団地及びそれらの周辺の産業集積地、テクノポリス計画の一環として整備されたテクノポリスセンター地区、インターパーク地区において、地域特性や周辺環境と調和した「産業拠点」の形成を図る。

④ 観光拠点：

宇都宮市大谷周辺地域を「観光拠点」に位置付ける。観光拠点では、大谷地域の資源を活かし、観光業、大谷石産業、農業等の活性化と地域振興を図り、大谷周辺地域が一体となった回遊性の向上による周遊の促進など、魅力と特色ある観光拠点の創出を目指す。

また、公共交通の利便性を確保するとともに、インターチェンジによる自動車でのアクセス性に優れた拠点の形成を図る。

⑤ 交通結節点周辺：

鉄道やLRTのトランジットセンターなどの交通結節点である、鶴田駅、南宇都宮駅やLRTの（仮称）ベルモール前停留場及び（仮称）平出町停留場の各周辺は、立地状況や地域特性を活かした交流促進や地域活性化等につながるよう、「交通結節点周辺」に位置付け、地域拠点等の考え方に準じて拠点化を促進する。

4.7 シミュレーションにおける宇都宮市の

仮想都市構造シナリオ

宇都宮市内において、人口が他地域に移住するするシナリオをいくつか仮定し、100m メッシュ将来人口推計データ²⁴を用いて仮想人口分布を ArcGIS Pro を利用し作成した。

人口が増減する区域は、宇都宮市の都市マスタープラン及び立地適正計画を参照し、市街化区域にある都市拠点、居住誘導区域と居住誘導区域にある地域拠点、市街化調整区域と市街化調整区域にある地域拠点と仮定した。

仮想人口移動シナリオと人口が増減する区域は表 4.1 に示した。「Scenario 2040」は宇都宮市の 2040 年の推計人口分布で、これを基に Scenario 2~7、計 6 つの仮想人口移動シナリオを作成した。

また、途中経過をシミュレーションするため、移住する人口数は、シナリオによって人口が増加又は減少する区域の変化前の人口数の 1 割～5 割と設定した。移動する人口の内訳は表 4.2 に示した。図 4.1 はそれらの人口分布を 1km メッシュに示した図である。

表 4.1 シミュレーションに使用した宇都宮市の仮想都市構造

	説明	人口が増加する区域	人口が減少する区域
Scenario 2040	2040 年の 推計人口分布		
Scenario 2	居住誘導区域に人口が移 住（市街地集約型）	居住誘導区域	居住誘導区域以外の 市街化区域、 市街化調整区域
Scenario 3	居住誘導区域の地域拠点 に人口が集中 （市街地多拠点集約型）	都市拠点、 居住誘導区域と居住 誘導区域にある地域 拠点	居住誘導区域以外の 市街化区域、 市街化調整区域
Scenario 4	全市の地域拠点の人口が 増加 （多拠点集約型）	都市拠点、 全市の地域拠点	都市拠点と地域拠点 以外の市街化区域と 市街化調整区域
Scenario 5	全市の地域拠点に人口が 集中 （多拠点集約型）	都市拠点、 全市の地域拠点	都市拠点と地域拠点 以外の市街化区域と 市街化調整区域
Scenario 6	居住誘導区域の人口が減 少し、それ以外の区域に 流出、都市スプロール （全市分散型）	居住誘導区域以外の 市街化区域、 市街化調整区域	居住誘導区域
Scenario 7	市街化調整区域の地域拠 点に人口が集約 （多拠点集約型）	市街化調整区域にあ る地域拠点	市街化区域、 地域拠点以外の市街 化調整区域

表 4.2 各人口分布の詳細な地域人口の統計

シナリオ	コード	総人口数 (2040年 推計)	居住誘導区域		市街化調整区域の 地域拠点
			全体	都市拠点 & 地域拠点	
Scenario 2040	2040	430460	225667	86513	8089
Scenario 2	S2P1		248234	95071	7851
	S2P2		270801	103714	6879
	S2P3		293367	112357	5907
	S2P4		315934	121000	4934
	S2P5		338501	129642	3962
Scenario 3	S3P1		281171	114085	6432
	S3P2		291542	124457	5985
	S3P3		301914	134828	5538
	S3P4		312285	145199	5092
	S3P5		322657	155571	4645
Scenario 4	S4P1		230722	95168	9800
	S4P2		234961	103815	10691
	S4P3		239653	112466	11582
	S4P4		244343	121118	12473
	S4P5		249054	129789	13364
Scenario 5	S5P1		243435	104280	10739
	S5P2		261202	122047	12569
	S5P3		278970	139815	14399
	S5P4		296738	157583	16229
	S5P5		314505	175350	18058
Scenario 6	S6P1		203101	77861	9796
	S6P2		180534	69210	10768
	S6P3		157967	60559	11741
	S6P4		135400	51908	12713
	S6P5		112834	43256	13685

Scenario 7	S7P1	430460	203101	77861	31478
	S7P2		180534	69210	54045
	S7P3		157967	60559	76613
	S7P4		135400	51908	99181
	S7P5		112834	43256	121749

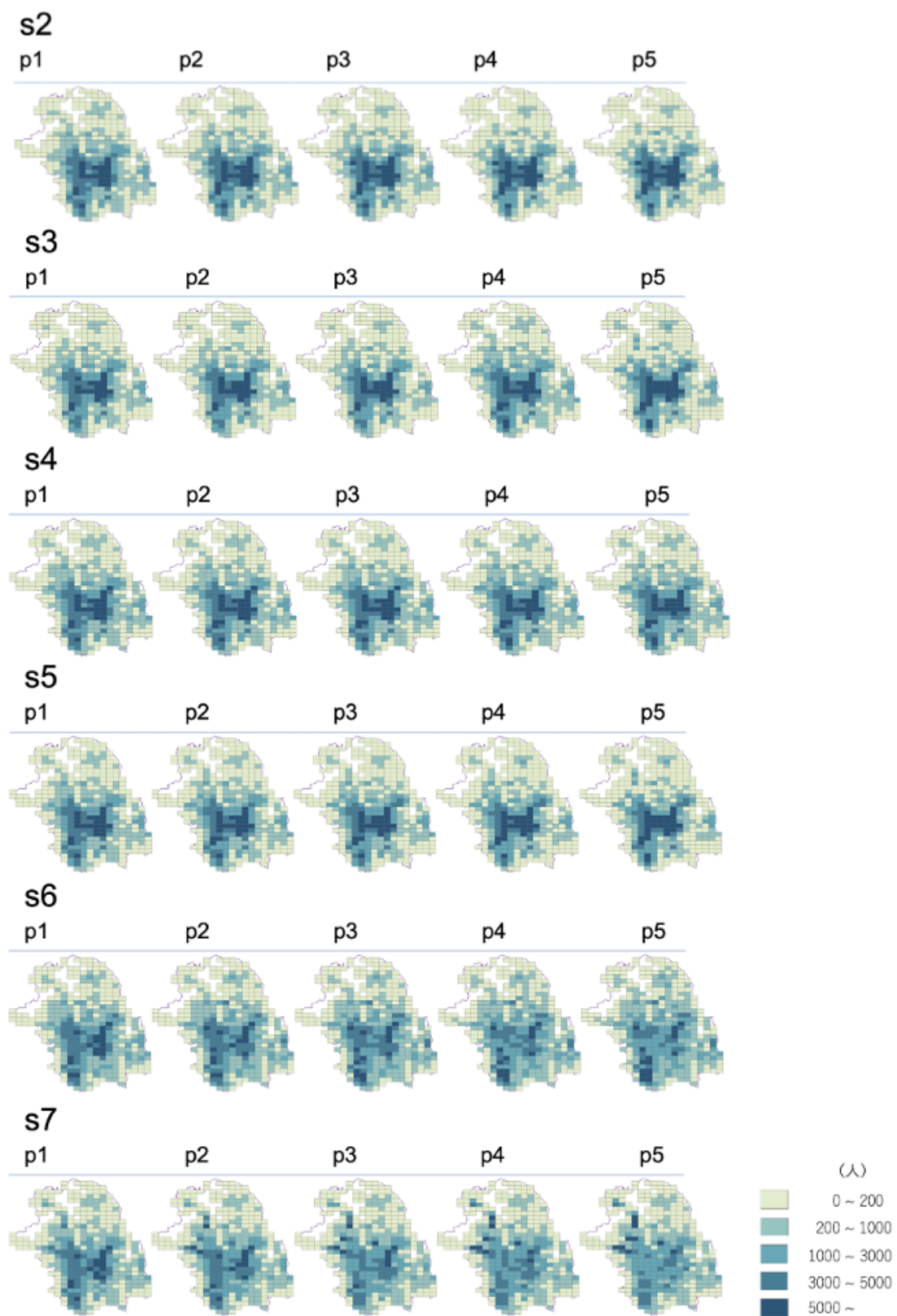


図 4.1 各シナリオの 1km メッシュ人口分布

表 4.3 に各シナリオの居住誘導区域の人口の割合と総人口に対する拠点の人口の割合を示した。以下“総人口に対する居住誘導区域の人口の割合”を“居住誘導区域人口集中率”、“総人口に対する拠点の人口の割合”を“拠点人口集中率”とする。

図 4.2 のグラフは表 4.3 に基づいて作成した。これは“居住誘導区域人口集中率”を横軸に、“拠点人口集中率”を縦軸にし、各仮想シナリオの人口がどれくらい居住誘導区域と拠点に集約しているのかを表したグラフである。このグラフでは右に行くほど人口が居住誘導区域に集約し、また、上に行くほど人口が拠点に集約する。

Scenario 2040 を始点とすると、Scenario 2~7 の 6 つの仮想シナ Scenario 2~7 リオが放射状に広がる。これは、6 つの仮想シナリオが 2040 年の推計人口分布から、人口が居住誘導区域又は拠点に集約するとそれらの区域から分散することを表している。

始点の Scenario 2040 の居住誘導区域人口集中率は 52.42%、拠点人口集中率は 22.17%であり、グラフの真ん中辺りに位置する。Scenario 2~5 は人口が居住誘導区域又は拠点に集約するシナリオで、Scenario 6~7 は人口が居住誘導区域から分散するシナリオである。

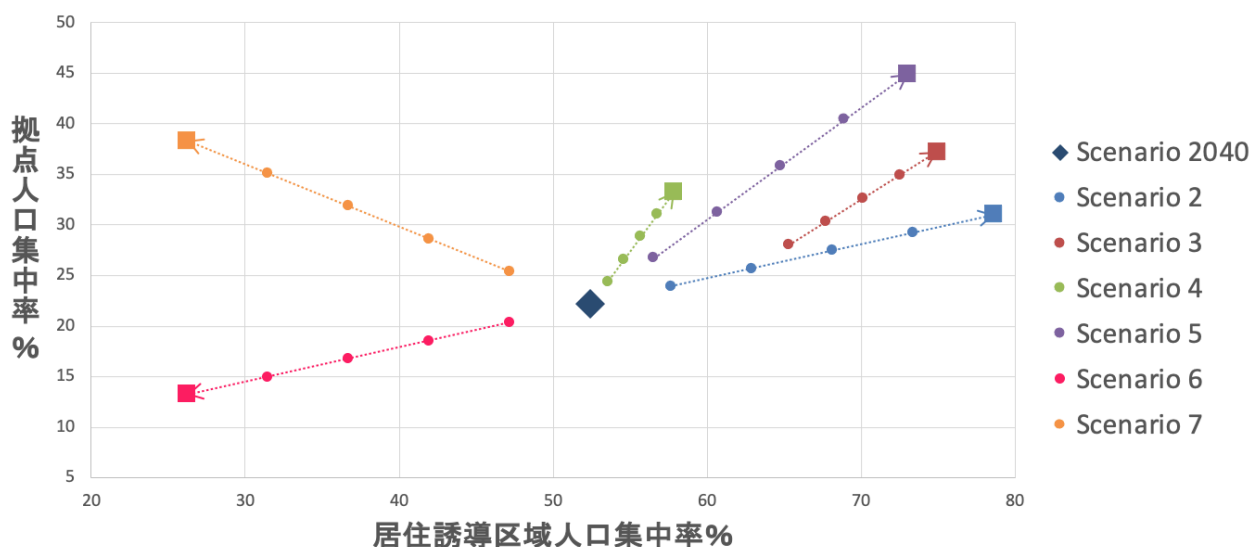


図 4.2 シナリオごと人口集約度のグラフ

集約シナリオ

Scenario 2 は人口が居住誘導区域全体に集約するシナリオで、居住誘導区域人口集中度は全シナリオの中で一番高いが、拠点人口集中度は集約シナリオ中一番低いものである。

Scenario 3 は人口が居住誘導区域の拠点に集約するシナリオで、居住誘導区域人口集中度は全仮想シナリオの中で、Scenario 2 に続いて 2 番となっているが、拠点人口集中度は Scenario 2 より高い。

Scenario 4 は全市の拠点の人口をその元人口の 1~5 割増加させたもので、変化した人口数が拠点人口集中度中最も少ない。このことから、居住誘導区域人口集中度も拠点人口集中度も Scenario 2040 より高くなっているものの、それほど変化が大きくない。

Scenario 5 は Scenario 4 と同じく全市の拠点の人口を増加させたものだが、Scenario 5 は拠点以外の区域の人口を 1~5 割減らし、その分を拠点に分配したシナリオである。このことから、Scenario 5 は Scenario 4 よりも変化が大きく、全仮想シナリオの中で拠点人口集中度が一番高いものである。

分散シナリオ

Scenario 6 は居住誘導区域の人口を減らし、その減少した人口をそれ以外の区域に分配したもので、都市スプロールを表したシナリオである。居住誘導区域人口集中度と拠点人口集中度はともに Scenario 2040 より低下し、図 4.2 のグラフで見ると始点からだんだん左下に進んでいることがわかる。

Scenario 7 も居住誘導区域の人口を減らしているが、Scenario 6 と違い、その減少分を市街化調整区域の拠点に分配している。図 4.2 のグラフを見ると、居住誘導区域人口集中度は始点より低くなるが、拠点人口集中度は始点より高くなり、だんだん左上に進んでいることがわかる。Scenario 6 が都市スプロールを表しているなら、Scenario 7 は人口が中心市街地から流出し、郊外の拠点に集約しているシナリオである。

表 4.3 各シナリオの総人口に対する拠点の人口の割合と居住誘導区域の人口の割合

シナリオ	コード	総人口に対し 居住誘導区域の人口の割合	総人口に対し 拠点の人口の割合
Scenario 2040	2040	52.42	22.17
Scenario 2	S2P1	57.67	23.91
	S2P2	62.91	25.69
	S2P3	68.15	27.47
	S2P4	73.39	29.26
	S2P5	78.64	31.04
Scenario 3	S3P1	65.32	28.00
	S3P2	67.73	30.30
	S3P3	70.14	32.61
	S3P4	72.55	34.91
	S3P5	74.96	37.22
Scenario 4	S4P1	53.60	24.38
	S4P2	54.58	26.60
	S4P3	55.67	28.82
	S4P4	56.76	31.03
	S4P5	57.85	33.25
Scenario 5	S5P1	56.54	26.71
	S5P2	60.67	31.27
	S5P3	64.79	35.82
	S5P4	68.92	40.37
	S5P5	73.05	44.92
Scenario 6	S6P1	47.18	20.36
	S6P2	41.94	18.58
	S6P3	36.70	16.80
	S6P4	31.45	15.01
	S6P5	26.21	13.23

Scenario 7	S7P1	47.17	25.40
	S7P2	41.93	28.63
	S7P3	36.69	31.86
	S7P4	31.45	35.09
	S7P5	26.21	38.32

第五章 宇都宮市を例としたライドシェアサービスのシミュレーション結果

5.1 自動車利用率と自動車総走行距離

図 5.1～5.4 に示す通り、居住誘導区域人口集中度を横軸にすると、ライドシェアサービスの導入前後において、自動車利用率と自動車総走行距離は両方とも居住誘導区域人口集中度が高くなるほど低減する。身近な施設を目的地とするパターンと中心市街地の施設を目的地とするパターンの両方とも同じ傾向である。

居住誘導区域人口集中度が Scenario 2040 より低い Scenario 6 と Scenario 7 の人口分散シナリオは、図 5.1～5.4 のグラフにおいて Scenario 2040 の左側に位置し、Scenario 2～5 の人口集約シナリオは Scenario 2040 の右側に位置する。

これらのグラフを見ると、ライドシェアサービスの導入前後において自動車利用率と自動車総走行距離は、将来推計人口分布の Scenario 2040 よりも人口が居住誘導区域に集約すると減少し、居住誘導区域から分散すると増加する。

これは、人口が集約すればするほど自動車利用率が低減し、自動車総走行距離が低減するという既存研究の結論と合致しており、ライドシェアサービス導入後も同じ傾向であることを示している。

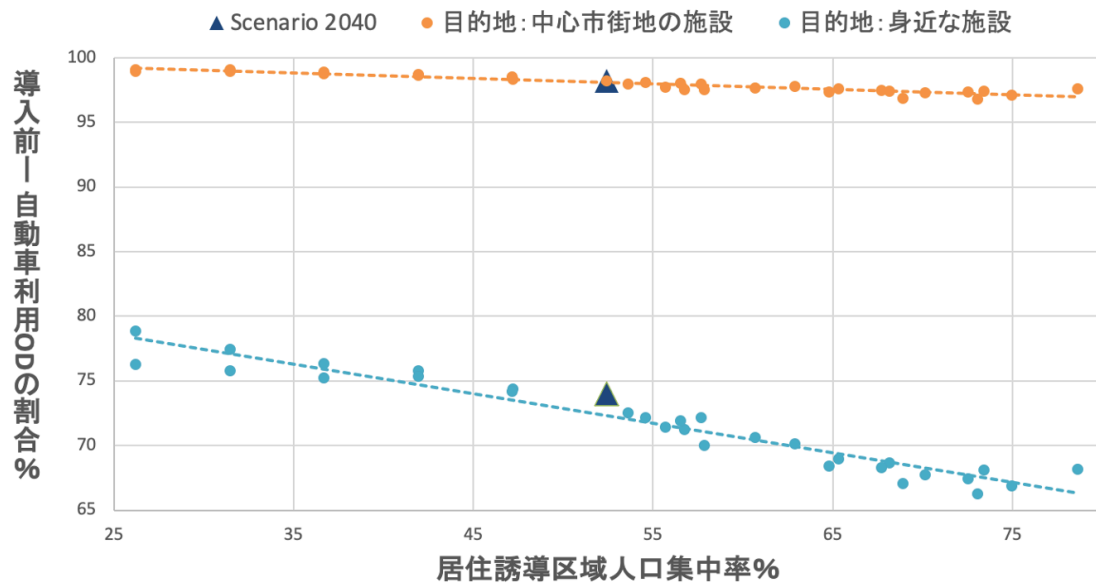


図 5.1 ライドシェアサービス導入前の自動車利用率

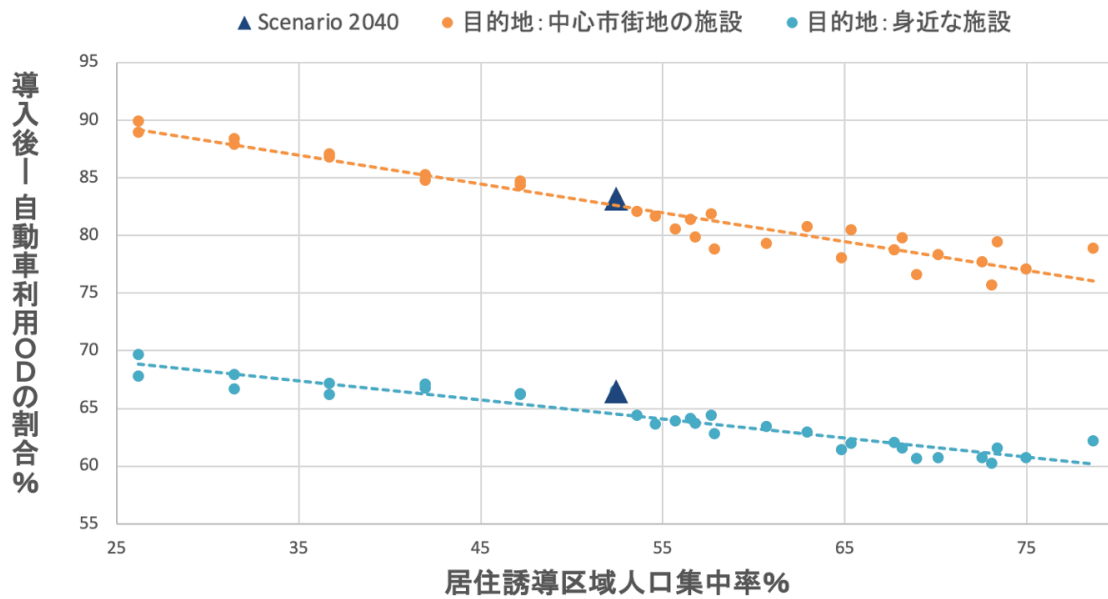


図 5.2 ライドシェアサービス導入後の自動車利用率

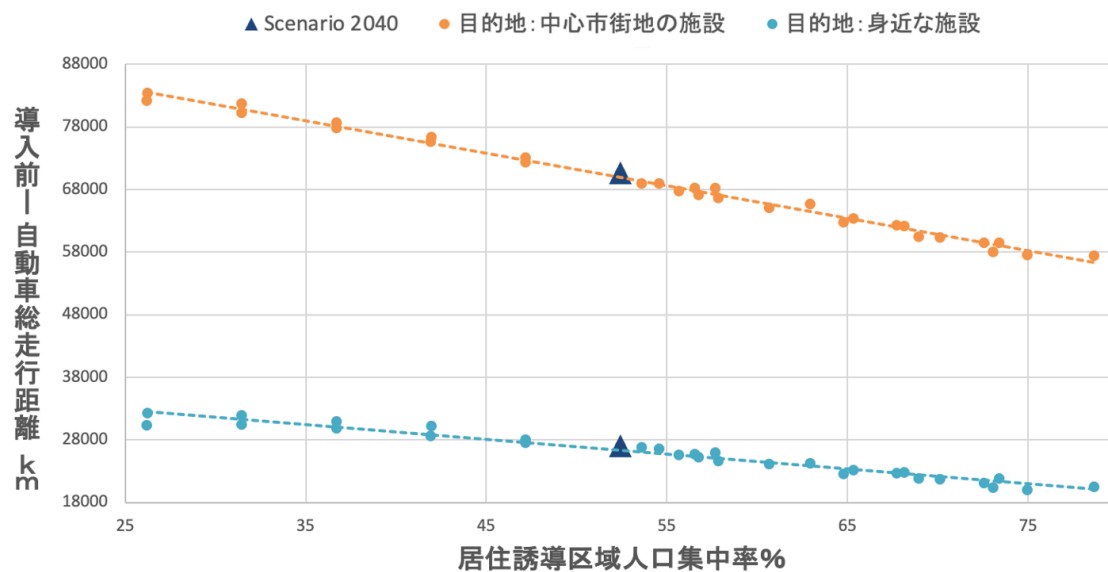


図 5.3 ライドシェアサービス導入前の自動車総走行距離 (km)

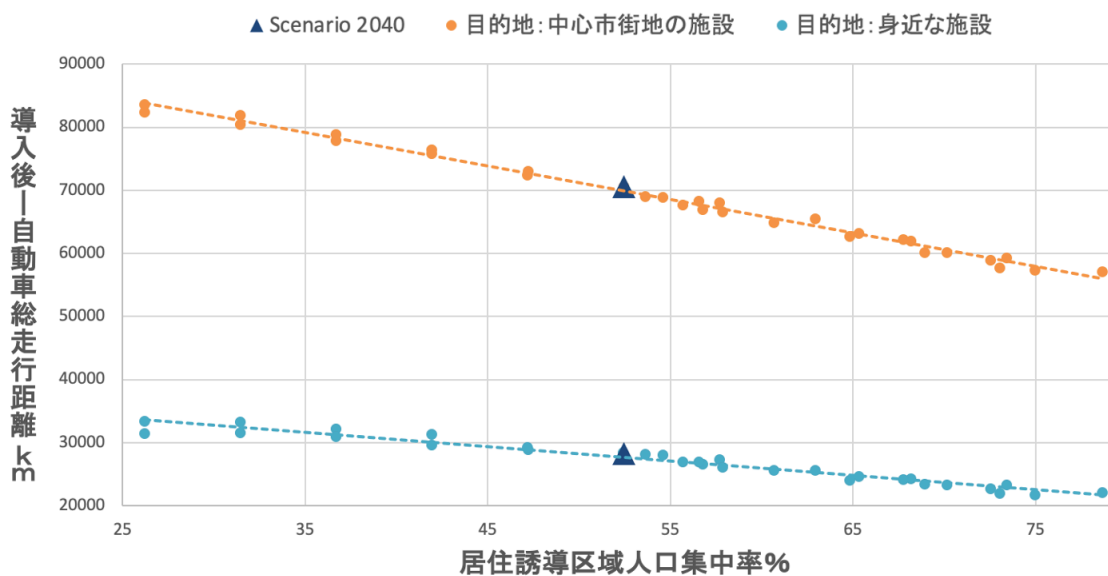


図 5.4 ライドシェアサービス導入後の自動車総走行距離 (km)

5.2 ライドシェアサービスの導入による自動車走行距離の削減

図 5.5 に示した通り、ライドシェアサービスの導入による自動車走行距離の削減は居住誘導区域人口集中率が高いほど大きい傾向となっていて、人口が居住誘導区域に集約した方が導入効果が大きいことを示唆している。

これも身近な施設を目的地とするパターンと中心市街地の施設を目的地とするパターンの両方とも同じ傾向であるが、注意しなければならないのが、身近な施設を目的地とするパターンのシミュレーションにおいて、居住誘導区域人口集中率が Scenario 2040 よりも低い時、導入による自動車走行距離の減少分は負となり、導入することで自動車走行距離が増えることを意味している。

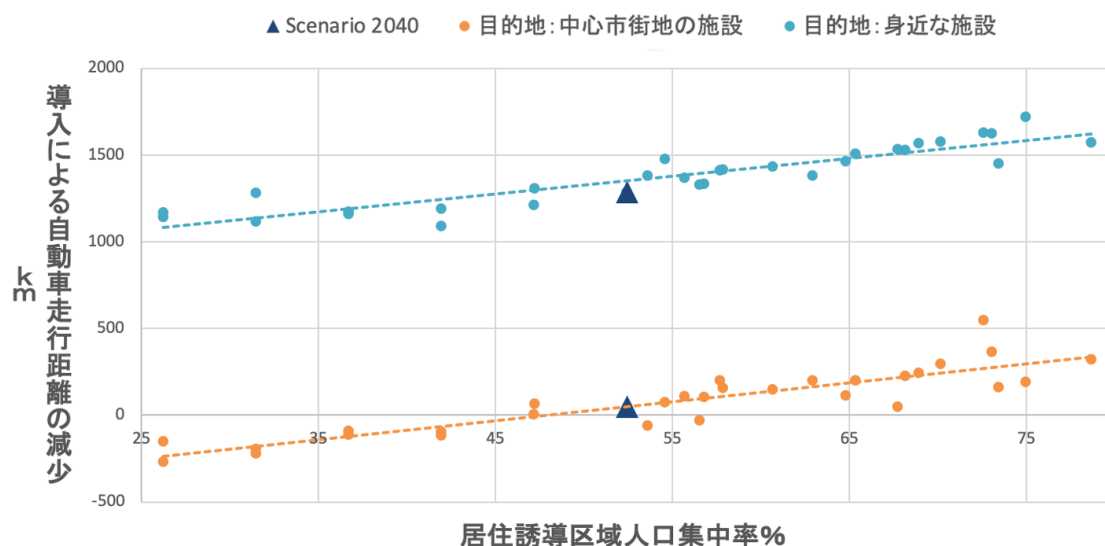


図 5.5 ライドシェアサービス導入による自動車走行距離の減少 (km)

5.3 シェア率

図 5.6 にシェア率と居住誘導区域人口集中率の相関を示した。グラフが示す通り、シェア率と居住誘導区域人口集中率の相関は身近な施設を目的地とするパターンと中心市街地を目的地とするパターンで傾向が真逆となる。

中心市街地を目的地とするパターンでは、居住誘導区域人口集中率が高くなるにつれてシェア率も上昇する。これに対し、身近な施設を目的地とするパターンでは居住誘導区域人口集中率が高くなるにつれシェア率が低下する。これは、二つの目的地選択パターンでは、自動車利用 OD の経路の重なりが異なることが原因と考えられる。

身近な施設を目的地とするパターンでは、中心市街地を目的地とするパターンに比べ、自動車利用 OD の経路が短く、分散しているため、重なりが少ない。一方、身近な施設を目的地とするパターンに比べ、中心市街地を目的地とするパターンでは自動車利用 OD の経路が長く、目的地も中心市街地に集中しているため自動車利用 OD の経路がより重なると考えられる。自動車利用 OD の経路が長いと、幹線道路を利用する割合が上昇する傾向があり、これも経路の重なり度合いを増長していると考えられる。人口が居住誘導区域に集中することは、すなわち、出発地が集約することなので、居住誘導区域人口集中率が高くなるにつれ、さらに自動車利用 OD の経路が重なるようになり、利用率が上昇すると考えられる。

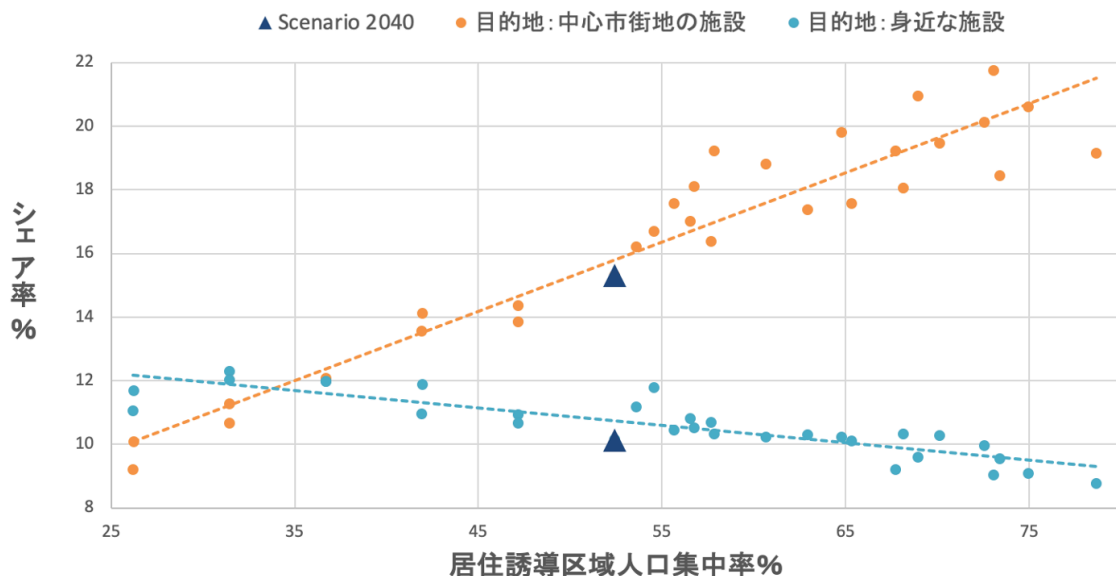


図 5.6 シェア率と居住誘導区域人口集中率の相関

5.4 考察

今回のシミュレーションではライドシェアサービスの導入前後において、居住誘導区域人口集約率が高いほど自動車利用率と自動車総走行距離が低減し、また導入による自動車走行距離の削減が大きいことがわかった。

これらの傾向は図 5.1～5.4 からわかるように概ね線形で、全シナリオにおいて同様であり、総じて居住誘導区域に人口を集約した方が望ましいと言えよう。

しかし、図 5.7、図 5.8 に示したように、拠点人口集約率を横軸にした場合、シナリオごとでは概ね拠点人口集中度が高いほど導入効果が良いように見えるが、バラツキが大きく、全体的に見た時一概にその結論と言えない。また、市街化調整区域の拠点に人口が集中する Scenario 7 については他のシナリオと逆の傾向を示している。

これは、今回の仮想人口分布が単純に一極集中か郊外分散かではなく、全市にある複数の拠点に集約するか又はその他の区域に分散するかというやや複雑な人口分布であることから、例えば、某時間帯において自動車経路の重なり度合いのような、さらなる空間的・時間的分析が必要と思われる。

● 2040推計 ● Scenario 2 ● Scenario 4 ● Scenario 6 ● Scenario 3 ● Scenario 5 ● Scenario 7

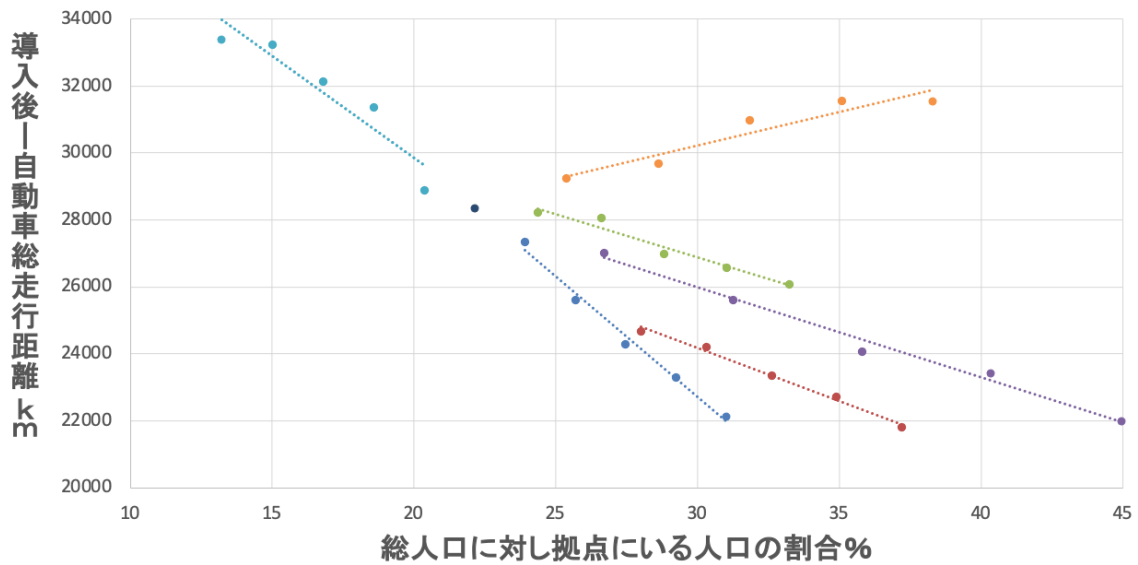


図 5.7 ライドシェアサービス導入後の自動車総走行距離
(身近な施設を目的地とする場合)

● 2040推計 ● Scenario 2 ● Scenario 4 ● Scenario 6 ● Scenario 3 ● Scenario 5 ● Scenario 7

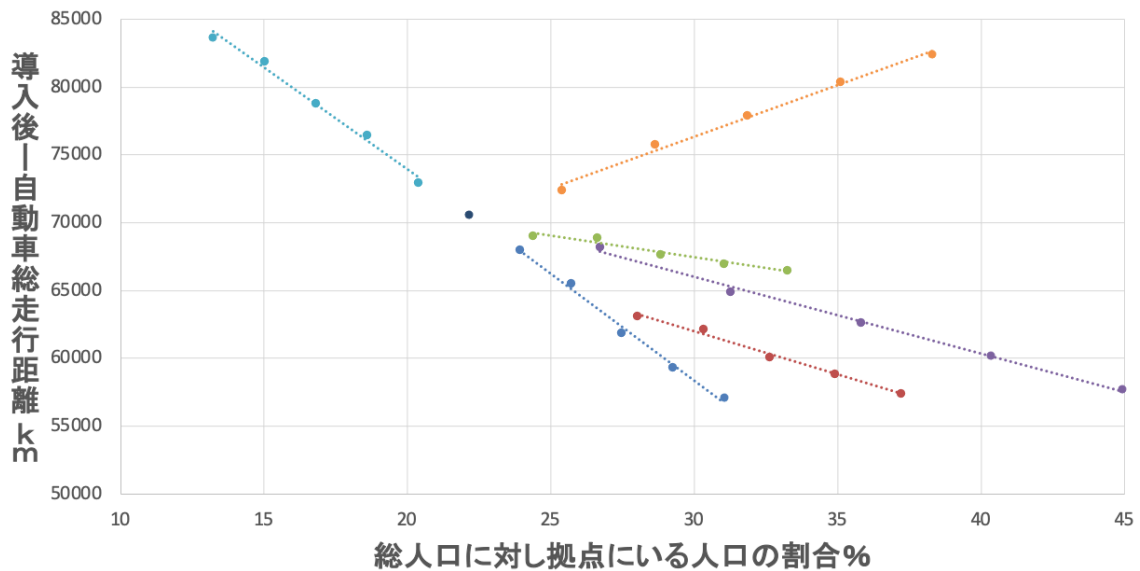


図 5.8 ライドシェアサービス導入後の自動車総走行距離
(中心市街地の施設を目的地とする場合)

第六章 終わりに

6.1 まとめ

本研究は次世代モビリティサービスの運用開始を見込み、その導入効果と都市構造の関係性についてシミュレーションによる考察を行った。

ケーススタディとして、宇都宮市の都市構造を参考し、仮想な人口分布を作成した。シミュレーションは ArcGIS Pro の Python ライブラリーを利用し作成した。

結果として、まず自動車利用率と自動車総走行距離は人口が居住誘導区域に集約すればするほど低減するという既存研究と同じ結果を得られた。これらについては、ライドシェアサービス導入後でも同じ傾向を示している。

次に、ライドシェアサービスの導入効果は都市構造による違いがあることが確認された。全体的に導入による自動車走行距離の削減分は居住誘導区域人口集約率が高いほど大きくなり、総じて、居住誘導区域に人口を集約させた方が導入効果が大きいことを示唆している。

シェア率と居住誘導区域人口集中率の相関は、身近な施設を目的地とするパターンと中心市街地を目的地とするパターンでは傾向が真逆となり、これは導入効果と拠点人口集約率の相関と合わせ、更なる空間的・時間的分析が必要と思われる。

6.2 今後の展望

今回、人口が中心市街地、拠点、または郊外に移住する状況を想定し、仮想的な人口分布を作成したが、中には現実的に起こりにくいシナリオもあると思われる。今後はまず、人口分布の予測を多様な角度から行い、より現実的に起きる可能性が高いシナリオを絞り、詳細に分析を重ねることが必要と思われる。

シミュレーションについて、今回のアルゴリズムでは乗客がいる場合、運転ODは最初の出発点から乗客の居場所に向かうため、結果としてシェア後の自動車総走行距離が実際の状況より高くなっていると思われる。また、シミュレーションに利用したダミーデータはとてもシンプルであり、現実的な状況を十分反映しているとは到底言えない。次は、アルゴリズムの改善と同時に、より詳細な交通データを利用し、利用者の交通行動モデリングを行い、多様な交通手段を考慮した、より現実的な状況を反映できるエージェントベースのシミュレーションを行いたい。

今回はケーススタディの対象とした宇都宮市は「多拠点ネットワーク型コンパクトシティ」を計画しており、国土交通省が推奨している日本の地方都市の将来像を最も反映したものとは言え、他都市の一般的なコンパクトシティ計画よりはやや複雑である。シミュレーションの結果として、総じて居住誘導区域に人口を集約させた方が望ましいという結論は他都市へ当てはまる部分があると思われるものの、シミュレーション結果の一般性を調べるためにも、さらに他都市を対象としたシミュレーションを行いたい。

第七章 謝辞

本論文は東京大学大学院 新領域創成科学研究科 社会文化環境学 修士課程 在学中に取り込んだ研究内容をまとめたものです。

海外から帰国し、日本語もよく間違える自分に、瀬崎薫 教授、西山勇毅 助教、伊藤昌毅 准教授をはじめ、多くの先生と学生たちはとても親切に接してくださいました。

特に伊藤先生には、一年に渡り毎週のようにミーティングしてください、本研究に関するアドバイスだけではなく、「研究」そのものに対する心構えや心得を多く教わった。瀬崎先生と西山先生には研究室の生活、研究設備などでもいつもお世話になり、助けていただきました。西山先生のおかげで、コロナ禍においても支障なく研究を進めることができました。瀬崎先生には、研究がうまく行かないときにいつも鋭い意見をいただき、後押しされてきました。この三人の先生がいないことには、本研究を進めることが困難でした。本当に、感謝極まりないです。

副指導教員を務めていただいた新領域創成科学研究科長 出口敦 教授には、社会文化環境学に入学した当初から講義等で教わりました。都市計画に関する見解はとても面白く、いつも楽しく受講させていただいています。大変お忙しいにもかかわらず、夜の遅い時間まで指導していただき、ありがとうございます。

社会文化環境学専攻の講義で清家剛 教授には幅広い知識を教わり、佐藤淳准教授には建築構造スタジオと一緒に構築物を作る経験ができ、とても楽しかったです。

また、研究室の松本秘書、内藤秘書にはたくさんお世話になりました。ここで感謝の意を表したいです。研究室の先輩、同期、後輩にはコロナ禍により一緒に過ごす時間が少なかったが、オンラインによるコミュニケーションでプライベート、研究とも助言をいただきましたことがあり、また機会があれば、人生のどこかでお会いできればと思います。

以上、ありがとうございました。

付録

身近な都市施設を目的地とした場合のシミュレーション結果 — その1

身近な都市施設を目的地とする場合 シナリオコード OD総数	ライドシェア導入前		ライドシェア導入後		合計総距離(km)	シエアした運転OD数		ライドシェア導入後 シエアしない運転OD数		シエアを利用した乗客数
	自動車利用総走行距離(km)	自動車利用OD数	自動車利用総走行距離(km)	自動車利用OD数		シエアした運転OD数	シエアしない運転OD数	シエアした乗客数	シエアしない乗客数	
S2040	2040	9962	27033	7375	2587	1449	748	5879	748	748
S2P1		9967	25929	7191	2776	1528	769	5653	769	769
S2P2		9972	24231	6995	2977	1615	720	5555	720	720
S2P3		9967	22760	6843	3124	1702	707	5429	707	707
S2P4		9962	21837	6782	3180	1737	647	5488	647	647
S2P5		9980	20541	6801	3179	1702	597	5607	597	597
S2P1		9966	23167	6873	3093	1675	694	5485	694	694
S3P2		9963	22673	6806	3157	1722	626	5554	626	626
S3P3		9971	21772	6751	3220	1753	694	5363	694	694
S3P4		9961	21079	6718	3243	1734	670	5378	670	670
S3P5		9978	20069	6670	3308	1775	606	5458	606	606
S4P1		9966	26834	7227	2739	1482	808	5611	808	808
S4P2		9979	26569	7202	2777	1529	848	5506	848	848
S4P3		9974	25603	7121	2853	1560	744	5633	744	744
S4P4		9971	25244	7103	2868	1558	747	5609	747	747
S4P5		9967	24665	6979	2988	1595	721	5537	721	721
S5P1		9968	25687	7167	2801	1545	775	5617	775	775
S5P2		9971	24162	7044	2927	1571	721	5602	721	721
S5P3		9971	22610	6821	3150	1703	698	5425	698	698
S5P4		9968	21864	6687	3281	1749	641	5405	641	641
S5P5		9962	20367	6598	3364	1802	596	5406	596	596
S6P1		9975	27570	7419	2556	1410	811	5797	811	811
S6P2		9974	30176	7556	2418	1340	897	5762	897	897
S6P3		9980	30963	7618	2362	1334	913	5792	913	913
S6P4		9975	31957	7724	2251	1266	949	5826	949	949
S6P5		9973	32230	7887	2106	1219	919	6029	919	919
S7P1		9971	28020	7395	2576	1400	788	5619	788	788
S7P2		9980	28578	7520	2460	1357	824	5872	824	824
S7P3		9981	29808	7510	2471	1367	900	5710	900	900
S7P4		9978	30428	7561	2417	1336	909	5743	909	909
S7P5		9970	30370	7604	2366	1338	840	5924	840	840

身近な都市施設を目的地とした場合のシミュレーション結果 — その2

身近な都市施設を目的地とする場合 シナリオコード OD総数	自動車利用ODのうちシェアした割合	導入後の総自動車利用距離(km)	導入により減少した自動車走行距離(km)	自動車走行距離の増減割合	
2040	9962	10,142,37288	28319	1286	4,757,14867
S2P1	9967	10,693,92296	27341	1411	5,441,783331
S2P2	9972	10,293,06648	25616	1384	5,711,691635
S2P3	9967	10,331,72585	24289	1529	6,717,926186
S2P4	9962	9,539,958714	23290	1452	6,649,265009
S2P5	9980	8,778,120865	22113	1572	7,652,98671
S2P1	9966	10,097,4829	24674	1506	6,500,62589
S3P2	9963	9,197,766676	24206	1533	6,761,346094
S3P3	9971	10,279,95852	23350	1578	7,247,841264
S3P4	9961	9,973,206311	22709	1630	7,732,81465
S3P5	9978	9,085,457271	21791	1722	8,580,397628
S4P1	9966	11,180,29611	28214	1380	5,142,729373
S4P2	9979	11,774,50708	28045	1476	5,555,346456
S4P3	9974	10,447,97079	26972	1369	5,347,029645
S4P4	9971	10,516,68309	26578	1333	5,280,462684
S4P5	9967	10,330,99298	26083	1417	5,744,982769
S5P1	9968	10,813,45054	27019	1331	5,181,609374
S5P2	9971	10,235,66156	25594	1432	5,926,66617
S5P3	9971	10,233,10365	24074	1463	6,470,588235
S5P4	9968	9,585,763422	23433	1568	7,171,606293
S5P5	9962	9,033,040315	21995	1627	7,988,412628
S6P1	9975	10,931,39237	28880	1309	4,747,9144
S6P2	9974	11,871,36051	31365	1189	3,940,217391
S6P3	9980	11,984,77291	32138	1174	3,791,622259
S6P4	9975	12,286,38011	33240	1282	4,011,640642
S6P5	9973	11,681,7084	33399	1168	3,623,952839
S7P1	9971	10,655,84855	29232	1212	4,325,481799
S7P2	9980	10,957,44681	29672	1093	3,824,620337
S7P3	9981	11,984,0213	30967	1159	3,888,217928
S7P4	9978	12,022,21928	31547	1119	3,677,53385
S7P5	9970	11,046,81746	31516	1145	3,770,167929

中心市街地の都市施設を目的地とした場合のシミュレーション結果 — その1

中心市街地の都市施設を目的地とした場合 シナリオコード	ライドシェア導入前		ライドシェア導入後		合計経路距離(km)	ライドシェア導入後	
	自動車利用総走行距離	自動車利用OD数	自動車を利用しないOD(1km以下) 合計経路距離(km)	シェアしたOD数		シェアしない運転OD数	シェアを利用した乗客数
2040	70616	9669	176	1479	126	6711	1479
S2P1	68205	9675	183	1585	125	6505	1585
S2P2	65715	9616	203	1671	145	6274	1671
S2P3	62142	9622	196	1738	134	6146	1738
S2P4	59498	9598	219	1769	153	6060	1769
S2P5	57369	9581	257	1834	178	5913	1834
S2P1	63331	9580	234	1683	156	6214	1683
S3P2	62247	9554	248	1837	163	5880	1837
S3P3	60382	9562	268	1861	184	5840	1861
S3P4	59431	9578	262	1928	180	5722	1928
S3P5	57591	9527	283	1963	193	5601	1963
S4P1	68996	9631	203	1562	132	6507	1562
S4P2	68987	9659	191	1613	127	6433	1613
S4P3	67793	9600	223	1686	147	6228	1686
S4P4	67098	9585	242	1735	171	6115	1735
S4P5	66687	9587	240	1842	173	5903	1842
S5P1	68216	9625	192	1638	137	6349	1638
S5P2	65080	9607	232	1806	165	5995	1806
S5P3	62751	9563	261	1893	176	5777	1893
S5P4	60448	9504	307	1991	207	5522	1991
S5P5	58051	9490	317	2063	216	5364	2063
S6P1	73049	9678	165	1341	112	6996	1341
S6P2	76347	9724	128	1373	88	6978	1373
S6P3	78723	9749	107	1169	70	7411	1169
S6P4	81717	9748	93	1100	61	7548	1100
S6P5	83388	9760	104	984	71	7792	984
S7P1	72407	9676	146	1389	96	6898	1389
S7P2	75688	9727	132	1319	89	7089	1319
S7P3	77824	9725	123	1175	84	7375	1175
S7P4	80209	9742	106	1039	71	7664	1039
S7P5	82252	9745	91	898	62	7949	898

中心市街地の都市施設を目的地とした場合のシミュレーション結果 — その2

中心市街地の都市施設を目的地とした場合 シナリオコード OD総数	自動車利用ODのうちシェアした割合	導入後の総自動車走行距離(km)	導入により減少した自動車走行距離(km)	自動車走行距離の増減割合
2040	15.29630779	70565	51	0.072221593
S2P1	16.38242894	68003	202	0.29616597
S2P2	17.37728785	65513	201	0.305866241
S2P3	18.06277281	61913	229	0.36851083
S2P4	18.43092311	59334	164	0.275639517
S2P5	19.14205198	57045	323	0.563021841
S2P1	17.56784969	63130	200	0.315801108
S3P2	19.22754867	62198	48	0.07711215
S3P3	19.46245555	60083	299	0.495180683
S3P4	20.12946335	58883	547	0.92039508
S3P5	20.60459746	57399	191	0.331649042
S4P1	16.21846122	69053	-57	-0.082613485
S4P2	16.69945129	68912	75	0.108716135
S4P3	17.5625	67682	110	0.16225864
S4P4	18.10119979	66989	108	0.160958598
S4P5	19.21351831	66527	159	0.23842728
S5P1	17.01818182	68245	-28	-0.041046089
S5P2	18.79879255	64931	149	0.228948986
S5P3	19.7950434	62635	116	0.184857612
S5P4	20.94907407	60204	243	0.401998412
S5P5	21.73867229	57683	367	0.632202718
S6P1	13.85616863	72982	66	0.090350313
S6P2	14.11970383	76463	-115	-0.150628053
S6P3	11.99097343	78832	-109	-0.13846017
S6P4	11.28436602	81912	-195	-0.238628437
S6P5	10.08196721	83654	-265	-0.317791529
S7P1	14.35510542	72402	5	0.00690541
S7P2	13.56019328	75782	-94	-0.12419406
S7P3	12.08226221	77913	-88	-0.113075658
S7P4	10.66516116	80428	-218	-0.271789949
S7P5	9.214982042	82401	-148	-0.179934834