自動運転ライドシェアの普及に伴う交通への影響に関する研究

冨岡　秀虎[1]・森本　章倫[2]

[1]学生会員 早稲田大学大学院 創造理工学研究科建設工学専攻（〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1）
E-mail:mannyan@asagi.waseda.jp

[2]正会員　早稲田大学　理工学術院（〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1）
E-mail:akinori@waseda.jp

近年技術が進歩している自動運転は，ライドシェアやライドヘイリングなどシェアリングサービスの普及を伴うとされている．シェアリングサービスが適切に普及すれば，自動車所有の費用削減などの便益がある一方で，無秩序な導入は自動車分担率の向上や渋滞の悪化を引き起こす可能性がある．

そこで本研究では，自動車分担率の高い栃木県宇都宮市の対象に，シェアリングサービスの導入シナリオ別の道路交通への影響を交通ミクロシミュレーションを用いて分析する．具体的には①任意のＯＤでライドヘイリングを利用できる総ライドヘイリングシナリオ，②同方向のＯＤは相乗りを許容する総ライドシェアシナリオ，③ＬＲＴ沿線を発着地とする場合はライドヘイリングからＬＲＴへ乗り換えさせる階層化シナリオ，の３シナリオを設定し，交通量や所要時間などを算出することで，自動運転普及下における公共交通の役割を検討する．

Key Words: *Ride share, Autonomous vehicle, Micro simulation*

1. はじめに

ICT 技術の進展により，自動車の自動運転の実用化が進んでいる．2021 年 3 月には福井県永平寺町で日本初の無人自動運転移動サービスが導入されるなど[注 1)]，我が国においても多くの都市で実用化が模索されている．

自動運転のメリットの一つは公共交通の人件費低下である．車両あたりの運行単価の低下により，これまでの鉄道や路線バスなどの大量輸送手段（以降，マストラとする）だけでなく，ライドシェアやライドヘイリング（以降，これらの総称として「シェアリングサービス」とする）などの個別輸送手段によるドアトゥドアサービスも，多くの市民が利用できるようになることが期待される．

一方で，自動運転車の普及はこれまでの自家用車と同様に多くの都市問題を深刻化させる可能性がある．特に，交通渋滞への影響は深刻である．例えばシェアリングサービスの普及が進んでいるアメリカでは，マストラからの転換が起きた結果，交通渋滞が悪化している[注 2)]．この影響を抑えつつ，マストラ空白地のモビリティを確保するためには，マストラを代表交通，シェアリングサービスを端末交通とした交通手段の階層化が必要になると考えられる．

そこで本研究では，シェアリングサービスが無制限に導入され，自家用車利用者だけでなく公共交通利用者からも転移していく「総ライドヘイリングシナリオ」「総ライドシェアシナリオ」と，それらが端末交通としての利用に制限される「階層化シナリオ」を設定し，それらの普及率に伴う道路交通への影響をシミュレーションする．これらの結果から，自動運転社会におけるマストラの道路交通改善効果を検討することを本研究の目的とする．

2. 既存研究の整理と本研究の位置づけ

(1) 既存研究の整理

a) シェアリングサービスの運行シミュレーションに関する研究

東ら[1)]は，国内外の複数の都市を対象に，自動運転ライドシェアの導入による自動車走行距離の変化を，自家用車，公共交通双方からの転換を考慮して比較した．そ

の結果，人口の多い主要都市では相乗りによる効率化よりも公共交通からの転換の影響が大きく，自動車走行距離が大きく上昇することが明らかになった．Overtoom ら[2]は，ハーグ市を対象に，自動運転ライドヘイリングの導入による道路交通への影響をミクロシミュレーションを利用して予測した．その結果，自動運転ライドシェアの普及率が向上すると渋滞は悪化し，特に路上での乗降を許容するケースにおいて深刻化することが明らかになった．Lau[3]らはクアラルンプールを対象に定路線タイプの自動運転ライドシェア導入を仮定し，アンケート調査から求めた手段選択モデルと交通ミクロシミュレーションから得られた所要時間の相互作用を分析した．その結果，ベースシナリオでは端末手段としての自動運転ライドシェアによりマストラの利用が促進されるが，自動運転ライドシェアの待ち時間が減少するとそれだけを利用した移動が増加しマストラ利用者が減少することが明らかになった．

b)　シェアリングサービスの受容性に関する研究

藤垣ら[4]は，東京都市圏を対象に，路線バス，自動運転デマンドバスの乗り放題サービス「Mertro-MaaS」の利用意向をアンケート調査した．その結果，運転に少し不安がある人などが利用意向を示し，自家用車の利用が減少する可能性があることが明らかになった．安部ら[5]も同様に東京都市圏を対象としたアンケートで自動運転ライドシェアの端末交通としての利用意向を調査しており，通勤目的での利用意向が低いことや，乗車時間より待ち時間の影響が大きいことなどが明らかになった．

(2)　本研究の位置づけ

既存研究では自動運転シェアリングサービス導入による公共交通からの転移や，回送の増加による渋滞悪化についての研究は多くみられるが，端末交通としての利用と代表交通としての利用を比較した研究は少ない．

よって本研究は，道路交通への影響が最も大きいとみられる総ライドヘイリングシナリオをベースに，相乗りと階層化それぞれの渋滞改善効果を算出することに新規性がある．

3.　シェアリングサービスシミュレーション設定

(1)　シナリオ別利用可能手段の仮定

本研究では先行研究[6]のシナリオを参考に**図-1**のようにシェアリングサービスを設定する．なお，シェアリングサービスを利用する OD は，対象地の OD のうち，自転車・徒歩を除くすべての交通手段の市内発着の OD である．シナリオごとに市内一律の転換率を外生的に設定する．

a)　総ライドヘイリングシナリオ

全てのトリップにおいてライドヘイリングが利用可能であり，利用者は目的地まで自動運転車で直行できる．

b)　総ライドシェアシナリオ

全てのトリップにおいてライドシェアが利用可能であり，利用者は目的地まで自動運転車で直行できるが，相乗りが発生するため最大 1.5 倍の迂回，最大 15 分の出発時間調整が必要になる．また，乗降は路外で行うため．途中で乗降が発生する場合は 1 地点につき 1 分所要時間が延びると設定する．

c)　階層化シナリオ

出発地・到着地それぞれがマストラの停留所・電停から 250m 以内の場合ライドヘイリングは利用できず，徒歩で最寄り停留所まで向かう，それ以上の距離の場合は，原則として乗継拠点までライドヘイリングを利用し，そこでマストラに乗り換える．マストラが 2 倍以上遠回りとなるルートでのみライドヘイリングで目的地に直行できる．

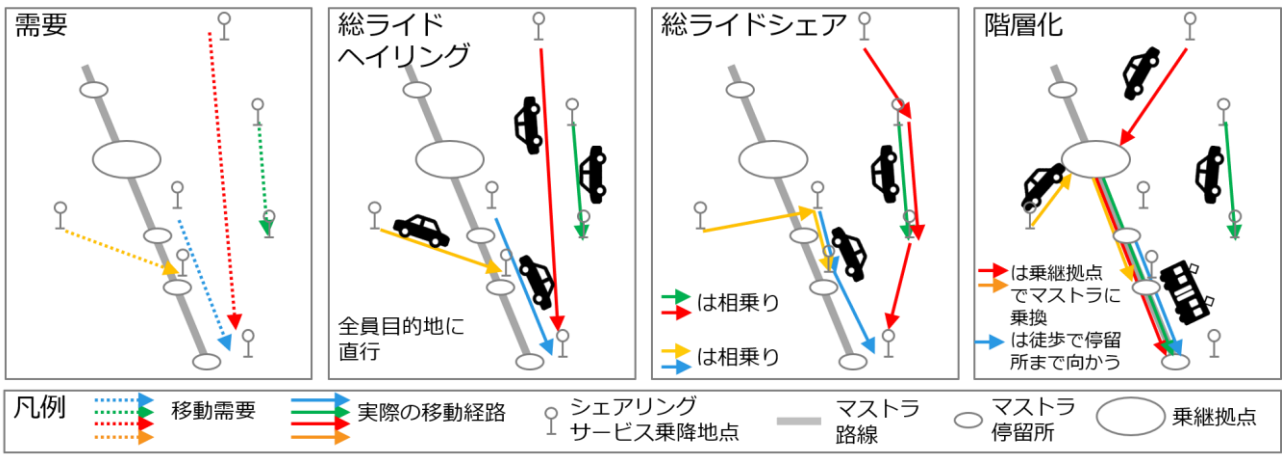


図-1　各シナリオのシェアリングサービス運行形態

(2) 交通需要発生

先行研究[6]ではパーソントリップ調査から OD を拡大した際の同一 OD のマッチングを避けるために転換率を約 5%と仮定していたが，本研究ではより大規模な転移が起きた際の影響を把握するために，次の手順でパーソントリップ調査の OD を拡大する．また，元となるトリップが同一個人である場合はマッチングしないと仮定した．

I. パーソントリップ調査の計画基本ゾーン単位のトリップを，拡大係数で重みづけした上でランダムに 1 件抽出する．（トリップ A）
II. 計画基本ゾーン内にある 500m メッシュを抽出し，発着地が自宅の場合は平成 27 年国勢調査の居住人口，それ以外の場合は平成 26 年経済センサスの従業人口で重みづけしたうえでランダムに発着地のそれぞれ1つのメッシュを抽出し，それをトリップ A の発着メッシュとする．
III. 抽出した OD と同一目的のすべてのトリップから，拡大係数で重みづけした上でランダムに1件トリップを抽出し（トリップ B），その到着時間をトリップ A の到着時間とする．
IV. 上記の手順を転換率に応じて必要なトリップ数に達するまで繰り返す．

(3) シェアリングサービスの運行アルゴリズム

シェアリングサービスの相乗りマッチングと配車については先行研究[9]と同様**図-2**，**図-3** で示すフローチャートで設定する．

(4) ソフトウェアにおけるシェアリングサービス設定

本研究では交通ミクロシミュレーションソフトウェア「TransModeler」を使用して交通量や旅行時間を再現した．このソフトウェアはシェアリングサービスの運行を前提としたものではないため，以下の条件で疑似的に再現する．

I. ライドシェア車両は1つの回送，実走のたびに発生，消失する．
II. ライドシェア車両の回送の際は，乗降場所に到着してからの待機は考慮しない．路外駐車場や近隣の道路などで適切に待機していると仮定する．
III. ライドシェアの OD 量は 1 時間単位で設定され，ランダムな時間に出発する．そのため，ある車両の実走トリップが到着する前に次の回送トリップが出発している可能性がある．

なお，シミュレーションの試行回数は 50 回と設定した．概ね誤差が 2%程度まで収束している．

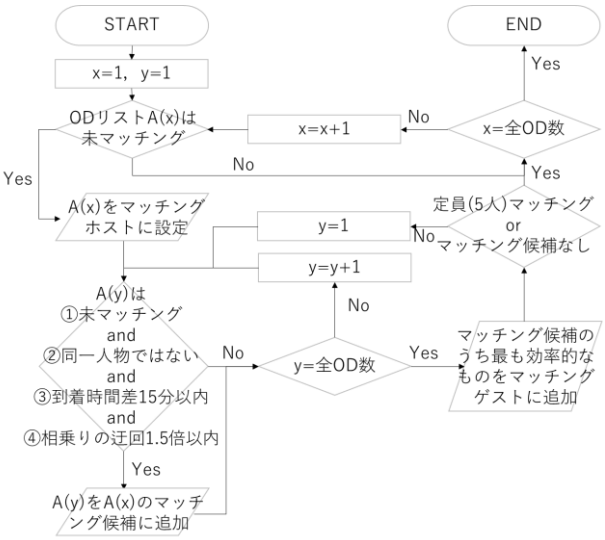


図-2 相乗りのマッチングアルゴリズム

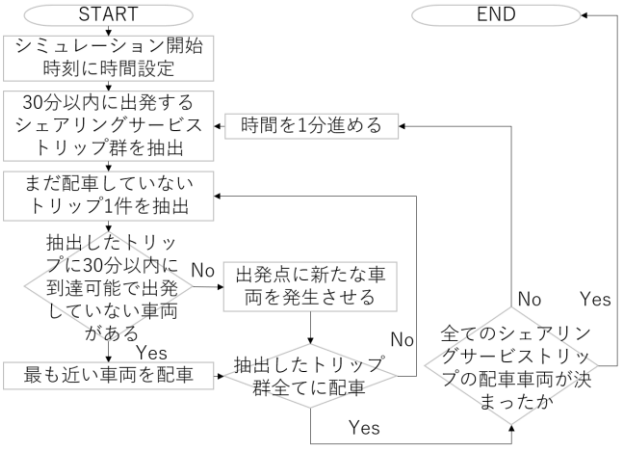


図-3 ライドシェア車両の配車アルゴリズム

4. 対象地の概要と現況再現

(1) 対象地の選定

本研究では栃木県宇都宮市の LRT（ライトライン）の宇都宮駅東口から平石中央小学校までの沿線を対象地とする．その理由は中核市ながら自動車分担率が高い点，その是正のために LRT を軸としたネットワーク型コンパクトシティを目指している点の 2 点である．

(2) 対象地の現況

対象地で平成 26 年に行われた県央広域都市圏生活行動実態調査の交通分担率を**図-4** に示す．なお，この調査は LRT 開業前であることに留意する必要がある．自動車の分担率が高く，その他も徒歩・二輪の割合が卓越しておりマストラはほとんど利用されていない．

一方で，**図-5** に示す通りライトライン沿線の面積当たりトリップ数は多く，サービス水準の高いマストラの

導入により自動車からマストラへの転換が起きる可能性がある．

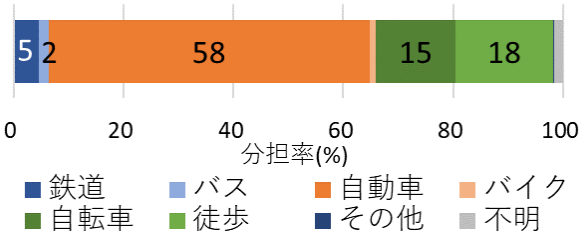


図-4　対象地居住者の交通分担率

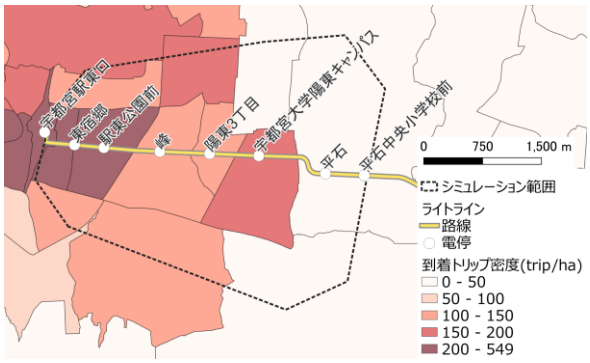


図-5　シミュレーション範囲の到着トリップ密度

(3)　シミュレーションの現況再現

シミュレーションにおいて再現した街路網を図-6 に示す．幅員や車線は航空写真を参考にし，信号現示は宇都宮市からデータの提供を受けた．自動車が発生・消失するセントロイドは主要道路やそれで囲まれた街区を中心に 33 か所設定した．そして，交差点交通量データから現況の OD を再現し，現況再現を行った．結果を図-7 に示す．決定係数は 0.90 となっており，一定の再現性が確認された．

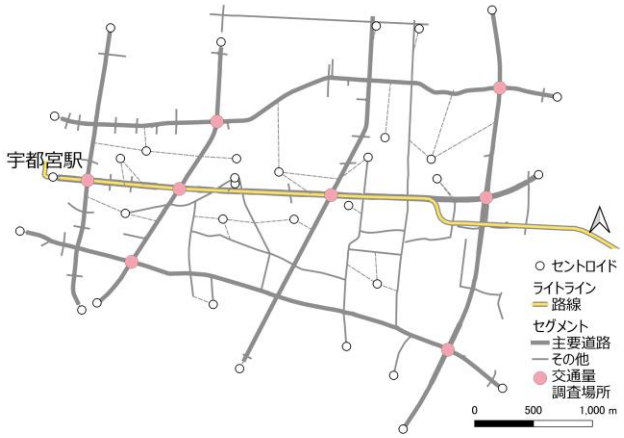


図-6　再現した街路網

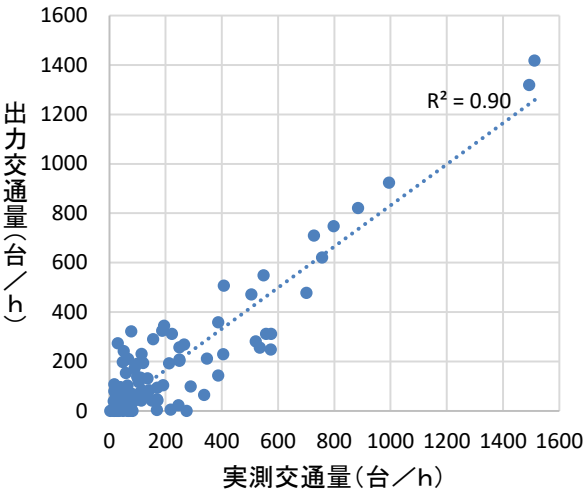


図-7　交差点交通量の現況再現

5.　対象地におけるシナリオ設定

(1)　マストラネットワークの作成

階層化シナリオで設定したマストラのネットワークを図-8 に示す．先行研究[6]を参考に，交通シミュレーションの対象地である東方面のバス路線を LRT に置き換えた．また，ライドヘイリングとの乗換地点はトランジットセンターである宇都宮大学陽東キャンパス電停，平石電停，清原地区市民センター前電停に設定した．

(2)　ライドシェア乗降場所の設定

設定したライドシェア乗降場所を図-9 に示す．ライドシェア乗降地点は．500m メッシュに 1 つを基本とし，乗降における停車が頻繁に起こることを考慮して，①公共施設の大規模駐車場，②路線バスのバス停，③スーパーなどの駐車場，の優先順位で設定した．

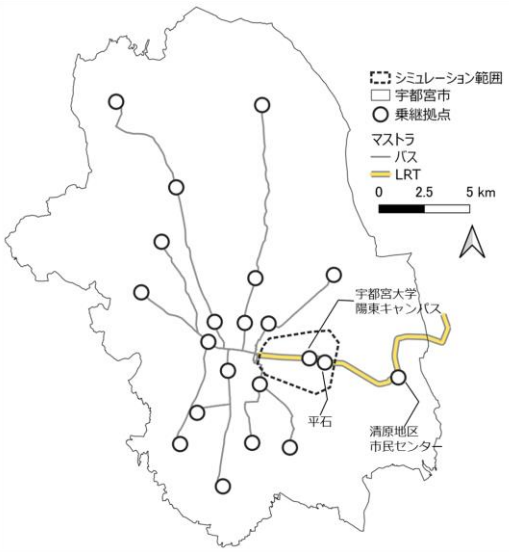


図-8　設定したマストラネットワーク

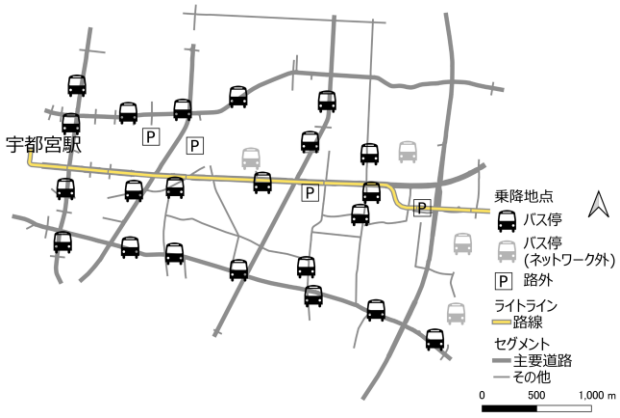


図-9　乗降地点

(3)　シェアリングサービスの転換率設定

想定するシェアリングサービス転換率を**表-1** に示す．値は既存研究や各種調査をもとに設定した．

表-1　設定するライドシェア・階層化の転換率

転換率	備考
8%	対象地における対象トリップのうちマストラの分担率
24%	古澤ら [7] のアンケートによる自動運転カーシェア利用意向調査と同様全トリップの15%が転換
50%	

6.　シミュレーション結果

(1)　階層化による手段転換

転換率 50%の階層化シナリオにおけるシミュレーション範囲内の交通手段を**図-10** に示す．通過，内外トリップでは多くが LRT とライドヘイリングを乗り継いでいるが，内々トリップではライドヘイリングのみの OD が多い．本研究では乗継拠点を東部のみ設定したため，短距離トリップでライドヘイリング需要を減らすためには乗継拠点の適正配置が必要と考えられる．

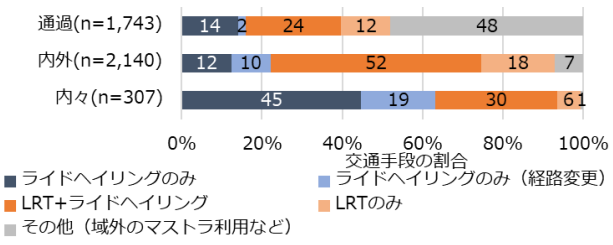


図-10　階層化による手段転換

(2)　各シナリオ別平均自動車トリップ時間

各シナリオの社会的時間短縮便益の評価として，サービス非利用者の平均トリップ時間を集計した．結果を**図-11** に示す．総ライドヘイリングシナリオでは転換率の向上に伴いトリップ時間が増加していく．総ライドシェアシナリオでは転換率の向上に伴い平均トリップ時間が減少している．階層化シナリオはその中間で，転換率の向上に伴う平均トリップ時間の減少はわずかである．

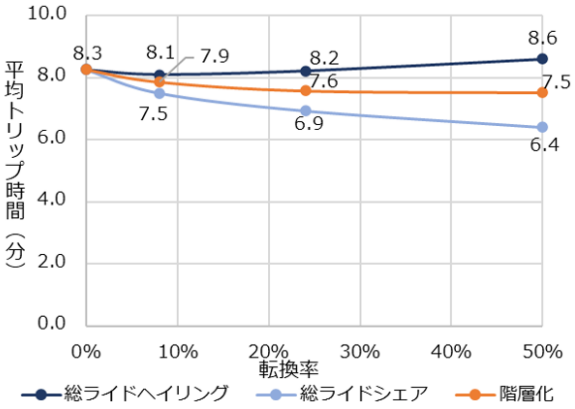


図-11　各シナリオ別サービス非利用者の平均トリップ時間

(3)　各シナリオ別リンク別所要時間変化

各シナリオの転換率 50%におけるリンク別の旅行速度の変化を**図-12**，**図-13**，**図-14** に示す．総ライドヘイリングシナリオでは新 4 号をはじめ多くの区間で旅行速度が低下している一方，総ライドシェアシナリオでは旅行速度が向上する区間が多くみられる．

階層化シナリオでは国道 123 号などで旅行速度が向上している一方，新 4 号の乗継拠点周囲で旅行速度が低下している．乗継拠点は現在生活道路からのアクセスのみとなっており，宇都宮大学陽東キャンパス電停で 1277 トリップ，平石電停で 389 トリップ（いずれも普及率 50%の場合）となる大量の乗継需要を考慮していない．これらを受け入れるためには，信号タイミングや右左折レーンなどの調整が必要になると考えられる．

(4)　階層化シナリオにおける交通手段別の各シナリオ別トリップ所要時間

個人的時間短縮便益の評価のために，普及率 50%の階層化シナリオにおいて分析対象地内の交通手段別にトリップを抽出し，それぞれの OD と同じトリップを各シナリオから抽出した．なお，本研究では LRT とライドヘイリングの乗継時間を 3 分と設定している．それらの平均トリップ時間を**図-15** に示す．総ライドシェアシナリオでは交通渋滞の緩和により旅行速度は向上するが，相乗りによる迂回や乗降地点での停車により，トータルでのトリップ時間は同等となっている．階層化シナリオでは LRT のみを利用する場合やライドヘイリングのみを利用する場合はトリップ時間が短いが，LRT とライドヘ

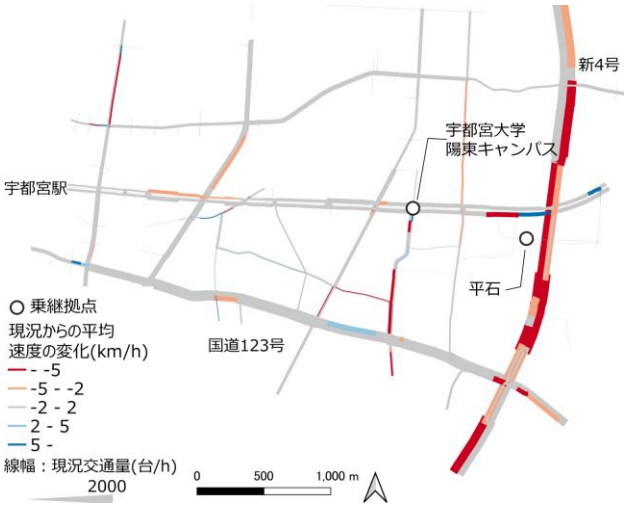


図-12　転換率 50%の場合の現況からの旅行速度の変化
（総ライドヘイリングシナリオ）

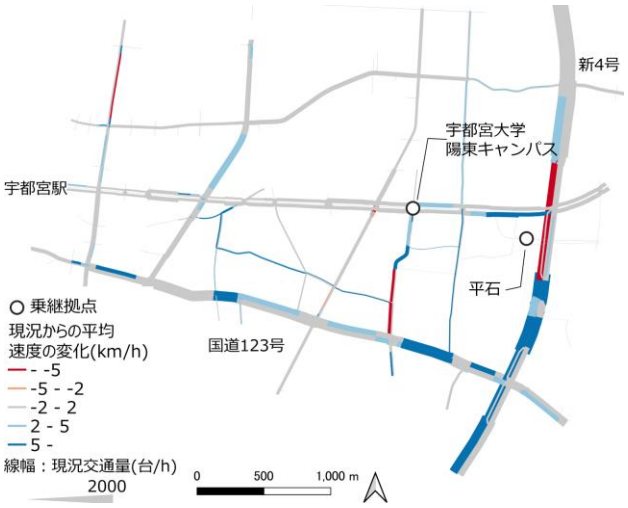


図-13　転換率 50%の場合の現況からの旅行速度の変化
（総ライドシェアシナリオ）

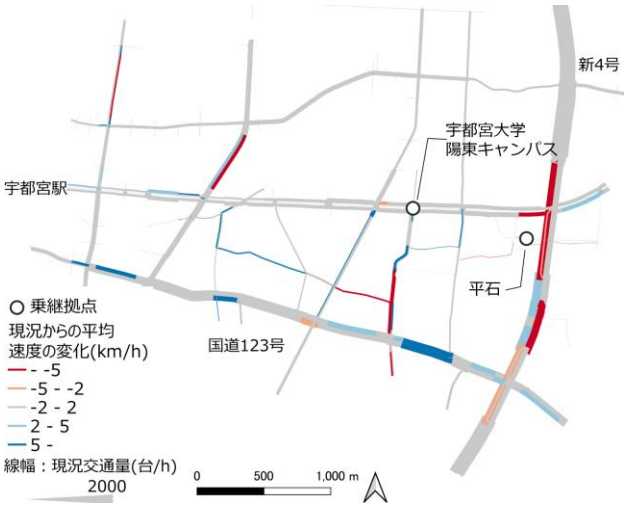


図-14　転換率 50%の場合の現況からの旅行速度の変化
（階層化シナリオ）

イリングを乗り継いでいる場合は総ライドヘイリングシナリオの約 2 倍の所要時間がかかっている．図-10 の通り階層化シナリオのライドヘイリング需要の減少は乗継トリップに支えられている部分が大きいため，料金施策などで所要時間の不利を補う必要があると考えられる．

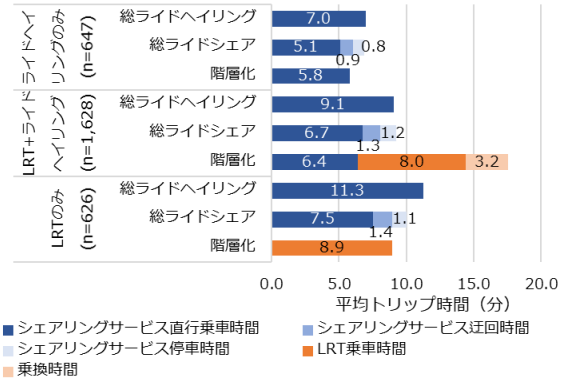


図-15　転換率 50%の場合の階層化シナリオの交通手段別シナリオ別平均トリップ時間

7.　おわりに

(1)　本研究で得られた知見

本研究では自動運転シェアリングサービスの導入に伴う道路交通への影響を，3 つのシナリオを設定して分析した．その結果の概要を表-2 に示す．

シェアリングサービス非利用者のトリップ時間という観点では，総ライドシェアシナリオ，階層化シナリオ，総ライドヘイリングシナリオの順で短いことが明らかになった．シナリオ階層化シナリオでは局所的に渋滞が発生しているため，そこの改善によっては社会的時間短縮便益が大きく向上する可能性があることも示唆された．

シェアリングサービス利用者のトリップ時間という観点では，特に階層化シナリオにおいて OD によって所要時間が大きく異なることが明らかになった．特にライドヘイリングと LRT を乗り継いだトリップで所要時間が長く，所要時間だけで比較すると乗換利用が促進されない可能性があることもわかった．

表-2　シナリオ別の所要時間の増減

シナリオ	シェアリングサービス非利用者	シェアリングサービス利用者
総ライドヘイリング	増加	微増
総ライドシェア	減少	微増
階層化	全体：微減 乗継拠点周囲：増加	乗継利用者：増加 その他：減少

以上のことから，階層化シナリオの効果を最大化するためには，端末交通としてのライドヘイリングを適切に処理する都市構造や，乗継利用を促進する料金施策が必要なことが明らかになった.

(2) 今後の課題

本研究では，シェアリングサービス車両は路外で乗降すると設定したが，タクシーのような利用形態を想定すると，路上乗降が大きな割合を占めることが想定される．路上乗降率によっては，相乗りによる車両数削減効果以上に影響を及ぼす可能性があるため，階層化の効果がより発現する可能性がある．

また，本研究では信号タイミングが変化しないと仮定したが，階層化による乗継に最適化された信号タイミングの調整も検討する余地がある．

今後これらの課題に対応することで，これまでイメージが難しかった自動運転車普及下での交通状況を予測することができ，将来の交通手段選択意向の把握や，公共交通の長期的な計画設定が容易になることが期待される．

謝辞：信号現示，交差点交通量データを宇都宮市から提供いただいた．ここに記し感謝を表する．

NOTES

注1) 国土交通省：自動運転の実現に向けた取り組みについて，https://www.mlit.go.jp/koku/content/001609155.pdf，2023

注2) Schaller Consulting: The New Automobility: Lyft, Uber and the Future of American Cities, 2018.

REFERENCES

1) 東 達志, 清水 宏樹, 高原 勇, 谷口 守：都市特性からみるシェア型自動運転車の影響比較−国内外都市の車両走行距離の変化に着目して−，都市計画報告集，Vol.18，No. 2，pp.106-111，2019．[Azuma.T, Shimizu,H, Takahara,I, Taniguchi,M: comparison the effects of shared autonomous vehicle from city characteristics -focus on changes in vehicle travel distance in japanese and overseas cities-.]

2) Overtoom, I., Correia, G., Huang, Y. and Verbraeck, A. :Assessing the impacts of shared autonomous vehicles on congestion and curb use: A traffic simulation study in The Hague, Netherlands, International Journal of Transportation Science and Technology, Volume 9, Issue 3, pp.195-206, 2020.

3) Lau,T. and Susilawati, S: Shared autonomous vehicles implementation for the first and last-mile services, Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, Vol.11, 100440, 2021.

4) 藤垣 洋平, 高見 淳史, トロンコソ パラディ ジアンカルロス, 原田 昇：大都市圏向け統合モビリティサービス Metro-MaaS の提案と需要評価−自動運転車によるオンデマンドバスと既存公共交通の将来的な統合を目指して−，都市計画論文集，Vol.52，No.3，pp. 833-840，2017．[Fujigaki, Y., Takami, K., Giancarlos, T., P. and Harata, N.: "Metro-MaaS", an Integrated Mobility Service Concept for Megacities.]

5) Abe, R: Preferences of urban rail users for first- and last-mile autonomous vehicles: Price and service elasticities of demand in a multimodal environment, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 126, 103105, 2021.

6) 冨岡 秀虎, 村上 僚祐, 高山 宇宙, 森本 章倫：MaaS の普及を想定した公共交通と人口分布に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.38，p. I_793-I_801，2021．[Tomioka, H., Murakami, R., Takayama, K. and Morimoto, A.: A study on transportation network and population distribution in consideration of MaaS.]

7) 古澤 悠吾, 溝上 章志, 森 俊勝, 八戸 龍馬：完全自動運転カーシェアサービスの導入可能性に関するシミュレーション分析，Vol.76 ， No.2, pp. 168-179, 2020. [Furusawa, Y., Mizokami, S. and Yae, R., A Simulation analysis on introducibility of autonomous vehicle car-sharing service.]

(Received August 30, 2023)

STUDY ON THE TRAFFIC IMPACT OF THE SPREAD OF AUTOMATED RIDESHARING

Hidetora TOMIOKA and Akinori MORIMOTO

It is assumed that automated driving, a technology that has been advancing in recent years, will be accompanied by the spread of sharing, such as ride-sharing and ride-hailing. If sharing is properly promoted, there will be benefits such as a reduction in the cost of car ownership, however, unregulated introduction of sharing may lead to an increase in the car sharing ratio and worsen traffic congestion. In this study, we use traffic micro-simulation to analyze the impact of different sharing scenarios on road traffic in Utsunomiya City, Tochigi Prefecture, which has a high car sharing ratio. Specifically, three scenarios were set up: (1) a total ride-hailing scenario in which ride-hailing can be used at any OD, (2) a total ride-sharing scenario in which carpooling is allowed at ODs in the same direction, and (3) a hierarchical scenario in which riders are forced to switch from ride-hailing to LRT if they depart from or arrive at a point along an LRT line. From the results, the role of public transportation under the spread of automated driving will be considered.