

都市部における自動運転ライドシェアのシミュレーション分析

山本 真之¹・梶 大介²・松舘 渉³・金森 亮⁴・落合 純一⁵・三嶋 拓⁶

¹正会員 株式会社デンソー AI 研究部 (〒108-0075 東京都港区港南一丁目 8 番 15 号)
E-mail:masayuki_z_yamamoto@denso.co.jp

²非会員 株式会社デンソー AI 研究部 (〒108-0075 東京都港区港南一丁目 8 番 15 号)
E-mail:daisuke_kaji@denso.co.jp

³非会員 株式会社未来シェア 代表取締役 (〒041-0806 北海道函館市美原 2-7-21)
E-mail:wmatsu@atware.co.jp

⁴正会員 名古屋大学 未来社会創造機構 特任准教授 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)
E-mail:kanamori.ryo@nagoya-u.jp

⁵正会員 株式会社未来シェア 技術研究員 (〒041-0806 北海道函館市美原 2-7-21)
E-mail:ochiai@mirishare.co.jp

⁶非会員 株式会社アットウェア (〒220-0012 横浜市西区みなとみらい 3-6-1)
E-mail:mishima@atware.co.jp

近年、自動運転車を用いたライドシェアという新しい交通サービスが提案され、注目を集めている。将来自動運転車を用いたライドシェアが普及すれば、都市空間における移動の利便性を高めるなど社会に与える影響は大きいと考えられる。本研究では、都市部であるサンフランシスコを対象に自動運転車を利用したライドシェアのサービス特性を予測する。分析は、ライドシェアサービスにおいて最適な配車計画を計算する配車システムとマルチエージェントシミュレーターを連携させたシステムによるシミュレーションの実施である。これらよりライドシェアは、移動需要の発生パターンにより自動運転車の車両台数、乗客の待ち時間、最大同時乗車人数が変化することを確認した。

Key Words: ride-sharing, autonomous vehicle, multi-agent simulation,

1. はじめに

近年、アメリカやヨーロッパ、中国を中心に一般ドライバーの自家用車を利用した相乗り型の旅客運送サービスであるライドシェアが普及し始めている。これらは TNC (Transportation network company) と呼ばれる事業者が提供するサービスで、一般ドライバーと乗客を仲介し、一般ドライバーが有償の交通サービスを提供するものである。乗客はスマートフォンのアプリケーションで予約、支払を行う。日本においては自家用車を用いるライドシェアリングは乗客の安全確保等の観点から認められていない。ただし、交通空白地域における高齢者の乗客を対象とした会員制相乗りタクシーサービスや、タクシー事業活性化を目的とした相乗りタクシーの実証実験が平成 30 年度に名古屋市において実施される¹⁾など、日本国内においてもライドシェアという交通サービスの知名度が

上がりつつある。

一方、自動車産業においては自動運転車の開発が国内外で活発化している。アメリカでは公道において無人での自動運転の走行実験が行われるなど数年前と比較して格段に開発が進んでいる。日本においても政府が 2020 年までに、米国 NHTSA が定義する自動運転レベルである SAE レベル 4 の無人自動運転移動サービスの実現を目指すというロードマップを策定²⁾するなど、多方面に影響を与えている。

これらの流れとも連動し、自動運転車を用いたライドシェアの交通サービスの開発が行われている。Uber はカーネギーメロン大学と共同開発を進め、トヨタ自動車は 2020 年の東京オリンピック・パラリンピックのモビリティとして e-Palette Concept というサービスを導入すると 2018 年の CES で発表³⁾するなど今後数年以内にサービス提供が実現されようとしている。

今後、自動運転車を用いたライドシェアが普及すれば、ドライバーなしで乗客の送迎が可能になり、通勤時間帯や年末年始などの急な移動需要の高まりや、ドライバーの増員が難しい深夜の時間帯における移動にも容易に対応可能となり、ドライバーの負担を増やすことなく乗客の利便性が高まると考えられている。そのため自動運転車を用いたライドシェアの導入に先駆けたサービス特性の分析は急務である。

先行研究として自動運転車によるライドシェアに関していくつか検討⁴⁾⁵⁾がなされているものの、シミュレーションベースでの検討が多く、実際の配車システムと連携させた分析はあまり検討されていない。

本研究では、交通社会をより正確に予測するためサービス導入時のシステム構成を想定し、自動運転車への配車計画を計算する実際の配車システムと連携しながらシミュレーションが実施可能な環境を構築した。これらを用いて乗客の待ち時間を考慮した上で必要となる自動運転車の車両台数や、移動需要の発生パターンに応じたサービス特性を分析する。

2. シミュレーション分析

(1) 分析対象エリアと利用データ

自動運転車を用いたライドシェアサービスが導入された場合の交通社会を予測するため、シミュレーションの対象地域は世界の中で最もライドシェアの利用が盛んな都市のひとつであるサンフランシスコとした。シミュレーションエリアは、サンフランシスコ内でも特に移動需要が多いユニオンスクエアを中心とした 1km 四方の市街地エリアとした。道路ネットワークデータは OpenStreetMap のデータを基に Node 数 278, Link 数 636 のデータを作成した (図 1)。

シミュレーションにおいて発生させる移動需要は、2017年に San Francisco County Transportation Authority によ



図-1 サンフランシスコ市街地の道路ネットワークデータ

て分析⁷⁾されたサンフランシスコにおける Uber と Lyft の利用実績数を本研究における自動運転車のライドシェアの移動需要と仮定して、その同等数を移動需要として発生させた。

(2) シミュレーションの設定

自動運転車は 12 人乗りの車両とし、走行速度は 20[km/h]の一定速、車両動作は簡略化のため追従・衝突は考慮しない設定とした。シミュレーション期間は現実社会における 1 時間分とし、その際に発生させる移動需要はサンフランシスコにおける Uber と Lyft の利用実績数がピークとなる夕方 18 時台のデータを参考に 1000 件の移動需要を発生させた。

シミュレーションは二つのケースを対象に行った。一つ目のケースは、ライドシェアと一人乗りのサービスの違いの比較である。ライドシェアサービスの効果を検証するためライドシェアを許さず一人で自動運転車両を占有して移動する場合と、ライドシェアを認めてライドシェアが成立する場合には複数人で自動運転車両を利用し移動する場合とを比較する。このとき、移動需要はシミュレーションエリア内の Node からランダム (空間的) に発生させ、その発生タイミングもランダム (時間的) に発生させる。二つ目のケースは、移動需要の発生パターンの違いによる比較である。ライドシェアサービスの配車の特徴を検証するため、ライドシェアを認めた状況で移動需要の発生パターンを変化させる。移動需要の発生パターンは、①空間的にも時間的にもランダムに発生させた場合と、②観光地や駅がある地域を想定し空間的にも時間的にも偏りを持たせて移動需要を発生させたパターンである。

(3) システム構成

配車システムは、株式会社未来シェアに協力を得て相乗りタクシー向け配車システムである SAVS クラウドをベースに自動運転車での利用を想定して自動運転車の走行経路を出力する、U ターンや急な経路変更は禁止するなどの改良を行った配車システムを利用した。シミュレータはマルチエージェントシミュレータである Artisoc を利用し、新規移動需要の発生に合わせ SAVS クラウドの API と連携しながら自動運転車によるライドシェアサービスをシミュレートするシステムを構築し、分析を実施した。

(4) 配車最適化アルゴリズム

配車アルゴリズムは、SAVS クラウドで採用されている準最適解を求める逐次最適挿入法⁸⁾を利用した。これは新たに移動需要が発生した場合、運行中の自動運転車が持っている配車計画に対して、相乗りも含めて配車可

能なすべての組み合わせの総遅延時間を計算し、総遅延時間が最小となるように配車するという手法である。ただし、組み合わせを検討する際に、目的地点は出発地点より後ろに挿入されること、運行中の配車計画の車両変更は行われないこと、運行中の配車計画の訪問順は保たれること、を制約条件とした。

3. 分析結果

(1) ライドシェアと一人乗りのサービスの比較

一人乗りに限定した場合とライドシェアのサービスを対象に、1000件の移動需要数は固定しつつ、車両台数をパラメータとして、シミュレーションを実施した。一人乗りに限定した場合のシミュレーション画面（図2）に比べ、ライドシェアを認めた場合（図3）では、相乗り成立により複数人で乗車していること示す赤色の車両



図-2 一人乗りに限定した場合のシミュレーション画面



図-3 ライドシェアを認めた場合のシミュレーション画面

が多数存在していることを確認できる。これらのシミュレーションにおける車両台数の変化に対する全乗客の平均待ち時間を計測し、一人乗りの場合とライドシェアを認めた場合で比較した（図4）。車両台数が80台以上の場合、移動需要に対して自動運転車両が十分に存在するため、一人乗り・ライドシェアで待ち時間にほとんど差がない。一方、車両台数を減らした場合、ライドシェアを認めたサービスの方が乗客の待ち時間が短く、車両台数を減らせば減らすほど平均待ち時間の差が広がるという特性を確認することができた。交通サービスとして平均待ち時間5分で送迎するというサービスレベルを仮定した場合、平均待ち時間を満たすために必要な車両台数は一人乗りに限定した場合75台、ライドシェアの場合52台であり、ライドシェアを導入することにより30.7%の車両台数を削減する効果があることがわかった。またこの条件におけるシミュレーション期間の全自動運転車両の総走行距離を比較すると、一人乗りに限定した場合で1202[km]、ライドシェアを認めた場合で893[km]となり、26[%]削減されることも確認できた。これらの結果はライドシェアを対象として利用される自動運転車が電気自動車である場合、走行距離に応じたバッテリー容量などの設計にも利用可能と考える。

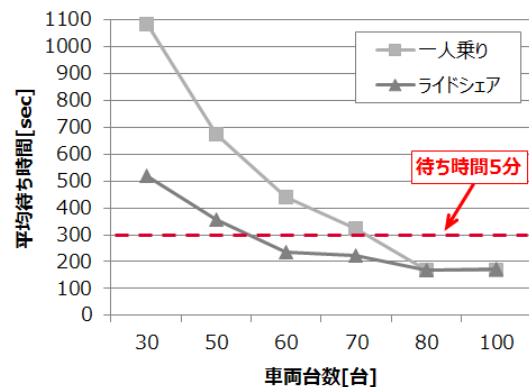


図-4 異なるサービスに対する台数と待ち時間の関係

(2) 移動需要の発生パターンの違いによる比較

都市部における人々の移動は、空間的には観光地や商業地への移動が多く、時間的には電車やバスの発着タイミングで移動量が高まるなどの特徴がある。これらの特徴がライドシェア運用時の車両台数や、待ち時間へ影響を与えると考え、その影響度を検証する。これらを検証するため二つのパターンの移動需要を発生させ、比較した。一方の移動需要はシミュレーション期間内に時間的にも空間的にもランダムに発生させ、もう一方は空間的にも時間的にも偏った移動需要を発生させた。空間的な偏りは、シミュレーションエリア中央の一つの Node を

観光地と仮定し、ランダムな出発地から目的地を観光地に固定した移動と、出発地を観光地に固定しランダムな目的地に移動する二種類のみとした。また時間的な偏りは、サンフランシスコ市内にある駅の時刻表に合わせ 12 分に一度電車が到着することを想定し、全体で 1000 件の移動需要をシミュレーション期間である 1 時間のうちの 0 分、12 分、24 分、36 分、48 分のタイミングで等分割し 200 件ずつ発生させてシミュレーションを実施した (図 5)。その結果、移動需要に偏りを持たせた場合、全体傾向として待ち時間は短くなり、車両台数も減少することが確認できた (図 6)。これは移動需要の偏りによりライドシェアが多く成立したことが原因であるとシミュレーション時の同時最大乗車人数のデータからも確認できた。待ち時間 5 分を満了す車両台数は、ランダムな移動需要の場合 52 台で、偏りを持たせた移動需要の場合 23 台であったが、これらの台数でシミュレーションした場合の車両 1 台におけるライドシェア成立時の同時最大乗車人数を比較した (図 7)。その結果、ランダムな移動需要の場合 4 人であったのに対して偏りを持た

せた移動需要の場合 10 人まで上昇していた。偏りのある移動需要はライドシェアを成立しやすくし、それにより車両台数が 56[%]減少したと考えられる。

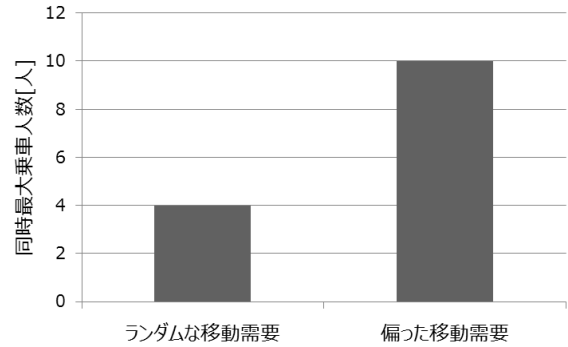


図-7 同時最大乗車人数の比較

5. 考察

自動運転によるライドシェアを対象とし配車システムと連携したシミュレーションを実施することによってライドシェア交通サービスを導入しようとする事業者や自治体が、サービス導入前にサービス対象エリアにおける特定の時間帯や時期に応じた移動需要に対して必要となる車両台数や、その条件におけるサービスレベル、導入のためのコストを見積もることが可能となる。これによりサービスの導入側はコストを抑え、利用者側は低コストで快適なサービスを受けることが可能となる。また、自動運転車を製造する事業者にとっては、サービスが導入される地域における利用のされ方を想定し、必要となる車両サイズや乗車定員を事前に把握可能となり、自動運転車の設計開発に重要な情報になると考える。また鉄道やバスなど複数交通機関を連携したサービス (Mobility as a Service) のシミュレーション評価によるサービス設計の参考データともなる可能性を確認できた。



図-5 偏った移動需要でのシミュレーション画面

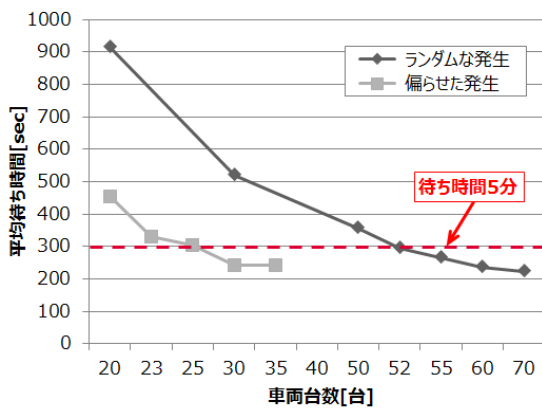


図-6 異なる移動需要に対する台数と待ち時間の関係

6. 終わりに

本研究では、ライドシェアサービス導入による交通社会への影響について分析した。シミュレーションを用いて都市部を対象に想定される移動需要量に対してその発生パターンを変化させることで必要となる台数、乗客の待ち時間、同時最大乗車人数が変化することを示した。しかし、ライドシェアサービスは都市部に限らず導入が検討されている。都市部とは異なる移動需要が少ないエリアで導入する場合、ライドシェアの成立が難しくなる

と予想されている。今後は、特定のエリアや特定の移動需要、時間帯や天候による変動をパラメータとしたシミュレーション分析の実施により、ライドシェアが有効となるエリアの条件を把握することが重要になると考える。

参考文献

- 1) 国土交通省 中部運輸局：「相乗りタクシー」の実証実験に向けた申請を許可 ～相乗りで割安に、タクシー利用の新しい形を提案～，
<http://www.tb.mlit.go.jp/chubu/press/pdf/jikou20180202.pdf>, 2018.
- 2) 内閣官房 IT 総合戦略室：官民 ITS 構想・ロードマップ 2017 ～多様な高度自動運転システムの社会実装に向けて～，
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20170530/roadmap.pdf>, 2017.
- 3) トヨタ自動車：モビリティサービス専用 EV “e-Palette Concept” を CES で発表，
<https://newsroom.toyota.co.jp/jp/corporate/20508200.html>, 2018.
- 4) 香月 秀仁, 東 達志, 高原 勇, 谷口 守：自動運転車によるシェア型交通導入の影響分析：第 56 回土木計画学研究発表会・講演集, P39, pp.1-6, 2017.
- 5) 藤垣洋平, 高見淳史, Giancarlo Troncoso Parady, 原田昇：完全自動運転小型バスと路線バスの組合せの効率性に関するシミュレーション分析, Research Abstracts on Spatial Information Science CSIS DAYS 2017, pp.20, 2017.
- 6) 山本真之, 梶大介, 服部佑哉, 山本俊行, 玉田正樹, 藤垣洋平：自動運転車によるカーシェアの普及に関する研究, 第 53 回土木計画学研究発表会・講演集, pp.1324-1327, 2016.
- 7) The San Francisco County Transportation Authority: TNCs Today: A Profile of San Francisco Transportation Network Company Activity, <http://www.sfcta.org/tncstoday>, 2017.
- 8) 野田 五十樹, 太田正幸, 篠田孝祐, 熊田陽一郎, 中島秀之：デマンドバスはペイするか?, 情報処理学会論文誌, Vol 49, No. 1, pp.31-36, 2003.

(2018.4. ? 受付)

SIMULATION ANALYSIS OF AUTONOMOUS RIDE-SHARING SERVICE IN CITY AREA

Masayuki YAMAMOTO, Daisuke KAJI, Wataru MATSUTATE, Ryo KANAMORI,
Junichi OCHIAI and Hiraku MISHIMA

In recent years, a new transportation service called autonomous ride-sharing service has been proposed. This service is that a real-time ride-sharing using autonomous vehicles, and the impacts will become bigger because a convenience of our mobility in city is improved. In this study, we developed the simulation system which combined a real-time optimal dispatching system and a multi-agent simulator. Using this simulation system, we evaluate the impacts of the service in downtown area in San Francisco. The simulation results show that the number of autonomous vehicles, the waiting time of passengers are changed with demand patterns and the vehicle's capacity.