

自動運転シェアカーに関する 将来需要予測とシミュレーション分析*

Demand Forecast and Simulation Analysis of Autonomous Vehicle Sharing System

山本 真之
Masayuki YAMAMOTO

梶 大介
Daisuke KAJI

服部 佑哉
Yuya HATTORI

山本 俊行
Toshiyuki YAMAMOTO

玉田 正樹
Masaki TAMADA

藤垣 洋平
Yohei FUJIGAKI

In recent years, car sharing services have started operating all over the world. And a new transportation mode called Shared Autonomous Vehicles (SAV) has been proposed. The purpose of this study is to investigate potential demand for SAV, the number of vehicles required for SAV service, and the level to which the people of Meito Ward in Nagoya have accepted SAV. We did our modeling with a multinomial logit model of travel mode choice behavior. We inferred the potential travel demand for SAV from the modeling results. We also used multi-agent simulation to predict the number of vehicles needed to satisfy the demand of the SAV users. Furthermore, we used a questionnaire to survey how well SAV was accepted. Our results show that SAV has business potential. If SAV can satisfy the conditions for becoming widespread, it will change how society uses automobiles.

Key words :

shared autonomous vehicle, discrete choice model, multi-agent simulation,

まえがき

近年自動車を複数人で共同利用するカーシェアサービスが、環境問題緩和や自動車保有コスト低下の効果が見込める交通サービスとして期待を寄せられている。このサービスは国内外で展開され、国内の会員数は2015年時点で68万人存在し¹⁾、2020年には200万人に達するとの予測もある²⁾。

また、自動運転技術とシェアカーを組合せた自動運転シェアカーという新しい交通サービスが提案され、2020年東京オリンピックでの公道走行を目標に研究開発が進められるなど注目を集めている。将来自動運転シェアカーという新しい交通サービスが普及すれば、過疎地域

での移動困難者の救済のみならず、通勤や旅行など生活そのものを大きく変える可能性があり、社会に与える影響は大きいと考えられる。

しかし、先行研究では現在のカーシェアサービスの効率化や満足度向上に着目した研究が大部分を占め³⁾⁴⁾、自動運転シェアカーに関する研究は少ない。

本研究の目的は、将来の自動運転シェアカーの普及可能性、普及した場合における交通社会の在り方、人々の自動運転シェアカーの受け入れ方・利用の在り方を予測することである。

* (社) 土木学会の了解を得て、「第53回土木計画学研究発表会・講演集」03-02より一部加筆して転載

1. 分析対象地域およびデータ

自動運転シェアカーの普及可能性を予測するにあたり我々は、以下の3点について調査を行った。

- ・コスト／待ち時間と利用率の関係
- ・採算性、事業性
- ・自動運転シェアカーの利用形態

分析に利用するデータは、第5回中京都市圏PT調査の名古屋市名東区における平日の調査結果とし、分析は自動運転シェアカーの近距離での普及可能性を把握するため移動の出発地と到着地が共に名東区内である移動データ4488件を対象とした。

2. モデル設定と分析

本研究では、自動運転シェアカーの普及予測に、交通手段選択モデルの一つである多項ロジットモデルを用いる。交通手段の選択肢は、自家用車／鉄道／バス／タクシー／自転車／徒歩の6つとし、交通手段選択を決める説明変数は所要時間／費用／待ち時間／性別／年齢／職業を用いる。パラメータはPT調査の実績データと交通手段毎に設定したLOS (level of service) データに対して最尤推定法を用いて推定した (Table 1)。パラメータ推定値は、符号条件を満たし、かつ尤度比は0.397と比較的良好な結果を得ており、名東区における交通手段選択の状況を十分に説明できたと考える。

Table 1 Modeling result

Variable	Parameter	T-statistic
Subway	0.466	2.50
Bus	-0.258	-1.01
Taxi	0.170	0.45
Private car	0.533	5.93
Bicycle	-0.255	-2.95
Traveling time	-0.064	-16.85
Cost	-0.003	-4.86
Waiting time	-0.236	-11.56
Female dummy (Bicycle)	-0.089	-1.05
Age<20 dummy (Walk)	-1.086	-12.88
Age>60 dummy (Bus)	-0.472	-1.85
Homemaker /Unemployed dummy (Walk)	0.331	3.99
Sample size	4488	
Likelihood ratio	0.397	

次に、推定した名東区の交通手段選択モデルを用いて、自動運転シェアカーの利用者数を予測する。交通手段選

択モデルに自動運転シェアカーを選択肢として追加するため、自動運転シェアカーのパラメータ属性値を設定する必要がある。所要時間および使い勝手に関しては依頼すれば迎えに来ることから自家用車と同様と考え、自家用車と同一の定数項と所要時間を固定のパラメータとし、待ち時間／費用を政策変数として感度分析を行う。

また、本論文では自動運転シェアカーが広く普及した状態を「自家用車の利用者数<自動運転車シェアカーの利用者数」と定義する。この定義を満たす自家用車と自動運転シェアカーの利用者数を把握するため、費用／待ち時間に対する感度分析を行った。感度分析の結果、自動運転シェアカーが普及するための条件を満たすのは、自動運転シェアカーが55円/kmの費用、待ち時間1分の時であり、「自家用車の利用者数(38141人)<自動運転シェアカーの利用者数(38857人)」となり上記の条件を満たす (Fig. 1)。この時、自動運転シェアカーの利用者数は、名東区内全体の27.2%であった。自家用車は待ち時間を0分・費用を64円/kmと設定しており、今回の分析結果から名東区民は費用が自家用車よりも安ければ、1分程待ったとしても自動運転シェアカーが広く普及した状態が実現される。

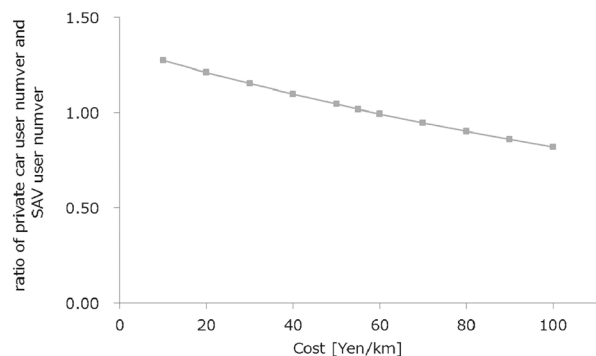


Fig. 1 Relationship of users and cost

3. シミュレーションによる検証

自動運転シェアカーが普及した場合における交通社会の在り方を予測するため、シミュレーションモデルを用いて交通手段選択モデルから得た自動運転シェアカー利用者38857人を平均待ち時間1分に収めるのに必要な自動運転シェアカーの台数を検証した。シミュレーション内では、幹線道路と生活道路を設定し幹線道路が優先

的に経路として選択される。自動運転シェアカーは、地図上にランダムに配置し、OD (Origin destination) 表に基づく交通需要が発生した際に直線距離で最も近い車両を割当てて目的地へ送迎後に元の待機地点へ戻る設定とした。利用客には、自動運転シェアカー乗車時に車両認証の手続き、降車時に支払い手続きが必要と仮定とした。シミュレーション内でこれらの仮定を反映するため、乗降時それぞれ1分の計2分を車両が移動せずに手続きを行うための待機時間として設定した (Fig. 2)。

また、自家用車・タクシー・自動運転シェアカーを乗用車と仮定し、名東区内で発生する乗用車の時間帯別トリップ数を自動運転シェアカーの普及前後で比較した。その結果、普及前のトリップ数に対して自動運転シェアカーの普及後はピーク時では2倍のトリップ数であることがわかった (Fig. 3)。この原因は、自家用車・タクシーからも自動運転シェアカーで交通手段を変更した人数よりも、電車や徒歩・自転車から自動運転シェアカーへ交通手段を変更した人数が多く存在したためである。我々は、交通量予測の観点から判断し、乗用車トリップ数の増加によって混雑発生・旅行時間増大が見込まれると予測する。このことから本シミュレーションでは、自動運転シェアカーの普及による混雑度の影響を予測するため、移動速度を Table 2 に示す3つの速度設定で感度分析する。Case1 は理想的な走行環境として 30[km/h] 一定速度とした。Case2 は、現在の名東区の移動速度を再現するため、道路交通センサス⁵⁾より名古屋市内の混雑時と非混雑時の移動速度とした。Case3 は、名東区内を移動する乗用車トリップ数の増加に伴い、現在よりも遅い移動速度を仮定し、Case2 の 1/2 の移動速度とした。

Table 2 Speed setting

	Peak hour(7-9am,5-7pm)	Off-peak hour
Case 1	30[km/h] const.	30[km/h] const.
Case 2	18.9[km/h]	24.0[km/h]
Case 3	9.5[km/h]	12.0[km/h]

シミュレーションの結果得た速度設定別の車両台数と平均待ち時間の関係を Fig. 4 に示す。平均待ち時間は、全ての速度設定において自動運転シェアカーの車両台数がある一定数以下にした場合、急激に増大することがわかった。この原因は、利用客の移動需要の高まりにより自動運転シェアカーの台数が不足した際に、利用客の待

ち行列を処理しきれない状態が発生するためと考えられる。自動運転シェアカーの運営では、車両台数と待ち時間の関係を把握し、利用客の利便性を著しく低下をさせない車両台数を用意する必要がある。

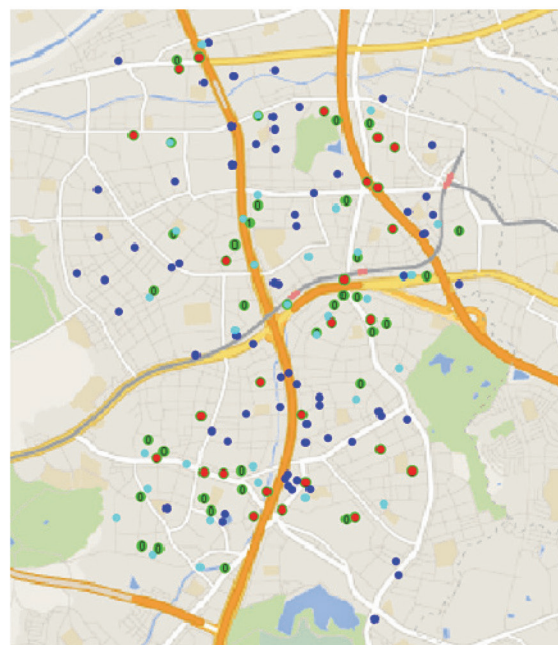


Fig. 2 Simulation analysis in Meito Ward

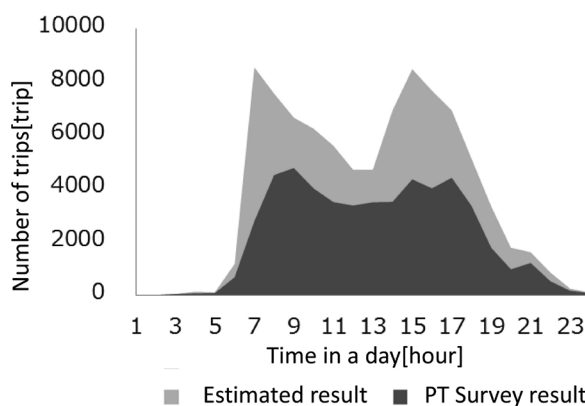


Fig. 3 Estimated number of trips in a day

次に採算性について分析する。利用客の利便性確保を考慮すれば、速度設定毎の妥当な平均待ち時間と台数の関係は、Case1 では470台で1分、Case2 では600台で2分、Case3 では1000台で3分と考え、これらの値を用いて採算性を評価する。Case1 での自動運転シェアカーの一日における一台あたりの平均売上は、キロあたりの費用と自動運転シェアカーの総移動距離から算出し、8200円であった。愛知県内で営業するタクシーの日車営収は3万円程度⁶⁾であり、これと比較すると自動運転シェアカーの売上は非常に少ない。ただし、自動運転シェアカーは

ドライバー不要で人件費が掛からない。タクシーの原価構成は7割程度が人件費であり⁷⁾、人件費が必要ない自動運転シェアカーを470台で実現できれば事業可能性があると考える。一方、混雑度を考慮した速度設定では車両台数が増加した事により一台の売り上げが、Case2では6300円、Case3では3800円と低下した。そのため、人件費のみでの採算性の確保は難しい。加えて、混雑度が高まるほど待ち時間が増加するため、朝夕の通勤時間帯においてサービスレベルが低下する可能性も高い。自動運転シェアカーの運営では、混雑度緩和と採算性確保が必要である。

今後自動運転車がマイカーとして広く住民に普及が進んだ場合、自動運転マイカー所有者が自動運転マイカーを使用しない時間帯にシェアカーとして貸し出す新しい車の使われ方が始まる可能性がある。このような使われ方は、運営主体の車両購入費を抑えられ、また自動運転マイカーの所有者は自動車によって収入が得られることから、自動運転シェアカーの普及が進む要因になり得ると考えられる。

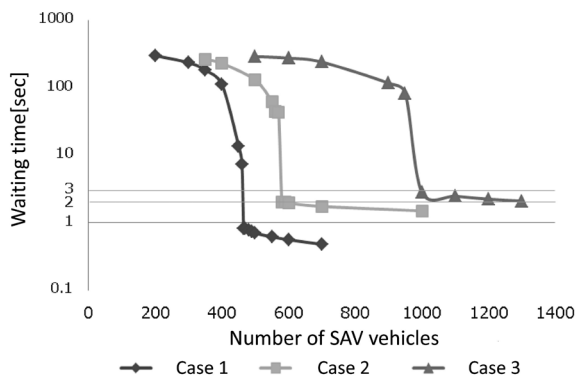


Fig. 4 Relationship between waiting time and number of SAV vehicles

4. Web アンケート調査

上述したように自動運転車によるシェアカーはこれまでのシェアカービジネスとは異なる利用形態を生む可能性がある。そこでアンケート調査により自動運転シェアカーの利用形態を予測するため、借りる立場/貸す立場それぞれの意識調査を行った。回答者は、名東区を代表とする交通環境に近い他3区の住民（サンプル数803）である。

「自動運転シェアカーが普及した世の中においてどのように車を利用するか」と質問した結果、約半数は自動運転車であっても自家用車と同様に自分専用車両として使いたいと回答した（Fig. 5）。しかし、自動運転車を貸し出したい人・借りたい人が合わせて全体の半数弱であることから、自動車が所有するモノから共有するモノへ変化する人々も存在する可能性を確認した。

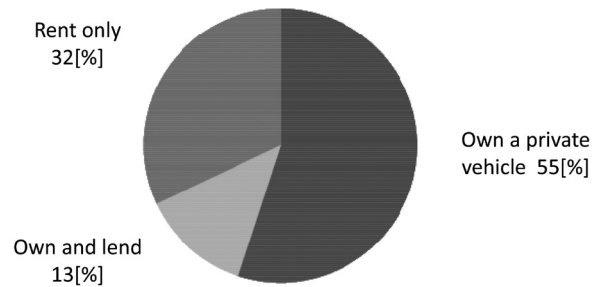


Fig. 5 Survey results of the desire for autonomous vehicle ownership

むすび

本研究では、自動運転シェアカーの普及可能性について分析した。混雑のない状況では新しい交通サービスとして潜在的な実現可能性があり、交通社会に変化が訪れる可能性を示した。しかし、実際の運用においては本研究の結果が示すように、混雑による待ち時間増大など、サービス低下への対応が必要である。これらについては相乗りや超小型車両でのサービス実施、また時間差利用を促すようなインセンティブの導入など空間・時間双方に対する最適化が必要と考える。

また、本研究では混雑度の影響の基本的特性をシミュレーションにおける速度設定のパラメータ変更を用いた感度分析から調査した。しかしながら、詳細な混雑度の影響分析には交通量配分交通容量を考慮したシミュレーションが必要である。より精度の高い分析の実施が、自動運転シェアカーの普及による将来の交通社会の予測や課題把握を可能にすると考え、今後の取り組むべき課題である。

謝辞：中京都市圏 PT 調査データは国土交通省から提供を受けた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団：『わが国のカーシェアリング車両台数と会員数の推移』。
http://www.ecomo.or.jp/environment/carshare/carshare_graph2015.3.html
- 2) 日経ビジネス / 日経 Automotive/ 日経エレクトロニクス 共同編集：『日経 BP 次世代自動車 2015』, 日経 BP 社, 2015 年.
- 3) 中村謙太, 溝上章志, 橋本淳也：ワンウェイ型シェアリングシステムの最適デポ配置とフリーフロート型システムの有効性, 第 52 回土木計画学研究発表会・講演集, No. 269, 2015.
- 4) Atasoy, B., Ikeda, T., Song, X. and Ben-Akiva, M.E.: The Concept and impact analysis of a flexible mobility on demand system, Transportation Research Part C, Vol. 56, pp. 373-392, 2015.
- 5) 平成 22 年度 全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）旅行速度整理表（都道府県別道路種別別）
<http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/data/pdf/syuuukei05.pdf>
- 6) 山崎治, 「タクシー事業」『調査資料 2008-6 経済分野における規制改革の影響と対策』, 国立国会図書館調査及び立法考査局, 2009 年.
- 7) 一般社団法人全国ハイヤー・タクシー連合会, 『タクシー事業の現状 原稿構成』,
<http://www.taxi-japan.or.jp/content/?p=article&c=115&a=9>

著者



山本 真之

やまもと まさゆき

DP-Mobility IoT 推進室
数理モデリング及び社会シミュレーション
の研究に従事



梶 大介

かじ だいすけ

DP-Mobility IoT 推進室
数理モデリング及び社会シミュレーション
の研究に従事



服部 佑哉

はっとり ゆうや

先端研究部
数理モデリング及び社会シミュレーション
の研究に従事



山本 俊行

やまもと としゆき

名古屋大学未来材料・システム研究所
システム創成部門
教授 博士(工学)
交通計画, 交通行動分析, 交通安全に
関する研究に従事



玉田 正樹

たまだ まさき

株式会社構造計画研究所 社会デザイン・
マーケティング部
複雑系コンサルティング, マルチエージェント
シミュレータの開発に従事



藤垣 洋平

ふじがき ようへい

東京大学大学院工学系研究科
都市工学専攻 博士課程
都市交通計画, 交通シミュレーション,
交通システム分析に関する研究に従事