

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

¹古澤悠吾, ²溝上章志, ³森 俊勝

¹正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町3丁目22番地)
E-mail: yuugo.furusawa@tk.pacific.co.jp

²正会員 熊本大学大学院 先端科学研究部 (〒860-0862 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39-1)
E-mail: smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp

³学生会員 熊本大学大学院 先端科学教育部 (〒860-0862 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39-1)
E-mail: 168d8829@st.kumamoto-u.ac.jp

Key Words: *Autonomous-Vehicle Car-Sharing, New Mobility Service, Simulation Analysis, Acceptability*

1. はじめに

海外では新たなモビリティサービスとしてワンウェイ型カーシェアリング (以後, CSと記す) が広く普及しているが, 我が国では自動車の保管場所の確保等に関する厳格な規制のため, 導入は容易ではない. 例えばAnycaのような専用の駐車ステーションを必要としない個人間CSサービスは, 車両の提供者も利用者も徐々に増加している. これは従来のCSと異なり, 運営企業が車両を保持する必要がなく, 自動車業界以外のIT事業を手掛ける企業の参入も比較的容易であるためである. 今後, このようなサービス形態は増加することが予想される.

一方で, 自動運転技術の開発速度は著しく, そう遠くない将来自動運転車両 (以後, AV: Autonomous Vehicle と記す) も普及するであろう. AVは交通事故の減少や移動の効率化などに貢献すると同時に, CS用の車両となった場合には, 様々なCSサービスが展開されると予想されることから, 既存の交通サービスにも大きな影響を与えるであろう. 通信関連分野の調査団体であるABIリサーチは, CSと自動運転技術を組み合わせた新たなシェアリングサービスが実現すると, 2030年までに4億人が利用すると見込んでいる.

本研究では, 国内でも普及可能性の高い個人間CSとAVを組み合わせた自動運転シェアリング (以後, AVS: Autonomous-Vehicles Sharingと記す) サービスに対する需要予測モデルの開発と運用シミュレーション分析用シミュ

レータの開発を行い, これらを用いて, 熊本都市圏におけるAVSサービスの需要分析, 予約受付トリップ数に対する車両価格や貸出価格の影響分析などを行うことを目的とする.

本論文は6章から構成されている. まず第2章でCSと自動運転技術の現況と研究課題について述べる. 第3章ではAVSサービスへの置き換えモデルについて説明する. 第4章ではAVSシステム運用シミュレータについて説明を行う. 第5章でAVSシステム運用シミュレーションの分析を行う. 第6章で本研究の結論と問題点について述べる.

2. 新たなCSサービスの現況と研究課題

(1) CSサービスの現況

CSを利用する為には, サービスへの入会手続きを行った後は, スマートフォン予約アプリによって利用したい時に予約するだけで簡単に利用することができる. 数時間前から利用直前まで予約が可能であり, 車両を利用した時間分だけ料金を払えば良いので, タクシーやレンタカーほど費用もかからない. 国内のCSの会員数は2009年には約6,000人, 車両台数は約500台であったものが, 2017年には会員数は110万人, 車両数は約2万5千台となった. 特に, 2010年以降の会員数・車両数の増加が著しい.

CSサービスは, 車両を返却するステーションと借りたそれとが同一であるラウンドトリップ (RT) 型と, 返却

表-1 国内の個人間CS サービス

名称	Anycya	シェアのり	カフオレ	Getaround	SnappCar
国名	日本	日本	日本	アメリカ	オランダ(他4か国)
都市名	全国	全国	全国	全国	6都市
開始年	2015年	2015年	2009年	2009年	2011年
登録台数	約3500台	約150台	約350台	数千台	約3万台
会員数	約9万人	600人	-	約20万人	約25万人
予約方法	PC, スマホ	PC, スマホ	PC	PC, スマホ	PC, スマホ
対応言語	日本語	日本語	日本語	英語	英語, 蘭語
初期登録料	無料	無料	無料	10\$(オーナー)	無料
支払方法	クレジットカード	クレジットカード	クレジットカード	クレジットカード	クレジットカード
手数料(企業側)	10%	15%	8%	40%	10%

ステーションが借りたステーションと異なってもよいワンウェイ (OW) 型の 2 種類に分類できる。また、OW 型は専用の返却ステーションが存在するステーションベース (SB) 型と路上や公共の駐車場に返却することが出来るフリーフロート (FF) 型に分類されている。導入地域や対象需要の視点から分類すると、都心部や市街地での日中の生活や業務での利用を対象としたシティーカー型、郊外住宅地などで主に買い物での利用を対象としたセカンドカー型、郊外での通勤や業務を対象としたステーション型に分類することができる。

国内における CS 事業は、1999 年に東京・大阪・神奈川の 3 府県で社会実験が実施されたのが最初である。その後、2005 年 2 月にはオリックスカーシェアが国内初の CS を事業として開始した。これに続いてモビシステムやタイムズカープラスなどの事業が開始され、2017 年 3 月時点で 31 の事業が展開されている。タイムズ 24 が展開する国内事業最大のタイムズカープラスは 2017 年 3 月時点では 47 都道府県全てで展開されている。しかし、これらはいずれも RT 型のサービスである。

一方、OW 型の CS サービスはトヨタ自動車 Ha:mo RIDE サービスをトヨタ自動車の本社がある豊田市で半ば実験的に展開している。また、トヨタ自動車は東京湾岸の 8 区で、駐車場サービス大手の Times と協同で Times Car PLUS×Ha:mo 事業を行っている。国内における OW 型 CS サービスは現在のところこの 2 事業だけである。

ドイツにおいては 2017 年 1 月時点で大小合わせて 150 の事業者が存在する。CS サービスへの登録者数は OW 型全体で約 126 万人であり、うち SB 型は約 45 万人、FF 型は約 81 万人、車両数は SB 型で約 9,400 台、FF 型では約 7,800 台となっている。SB 型と FF 型のサービスが個別、又は同時に提供されている都市もある。FF 型は人口規模の大きい都市で運用されているが、SB 型は人口規模の小さな都市でも導入されている。利用時間単位は SB 型で 1 時間単位、FF 型では 1 分単位となっている。

北米でも多くの都市で CS サービスが導入されているが、ここでは最も成功していると言われているカナダの

バンクーバーの状況について説明する。主要事業者は後述する car2go をはじめ、バンクーバー中心の modo、ブリティッシュコロンビア州全体の evo、欧州中心の Zipcar の 4 事業者がサービスを提供している。1997 年に北米や英語圏で初めて導入された modo は唯一 RT 型の CS サービスであり、他の 3 事業者は OW 型 CS サービスである。Zipcar については CS サービスの中では珍しく、平日と週末の利用する曜日によって料金が異なるなど、それぞれ固有の特徴を持って共存をしている。

car2go は最大手の CS 事業であり、OW 型の中でも FF 型を世界中で展開している。car2go の母体はドイツの自動車メーカーの Daimler AG であり、2008 年 10 月にドイツのウルムで CS サービスを開始し、その後、欧州や北米の都市を中心に事業を展開している。しかし、2016 年から 2017 年にかけて 4 都市で事業から撤退した。事業数は減少したが、2017 年 11 月末時点で 8 カ国、25 都市で事業を展開しており、会員数、車両数共に増加している都市も存在している。

(2) 新たな CS サービス

前述した B2P (Business to Peer) サービスである CS サービスだけでなく、近年、様々な形態のシェアリングサービスが始まっている。例えば、米国発祥の Getaround では、所有している車両を登録した貸し手側 (以後、サービス提供者と記す) はレンタル価格を定めて自分の車両を貸すことができる。借り手側 (以後、サービス利用者として記す) から借用申請が来た時にはサービス利用者の情報を見て、貸し出すか否かを決めることができるなど、自由度の高いサービスになっている。Getaround は保険会社がパートナーになっているため、貸し借りをする全ての車両に保険を付けることが可能となったのが特徴である。

同様のサービスが国内でも複数実施されている。表-1 に P2P (Peer to Peer) サービスである個人間 CS 事業を示す。国内で最も利用者数の多い Anycya は約 600 種類以上の車種が登録されている。都道府県別登録台数は、東京都、神奈川県、大阪府の順に多く、大都市圏での利用が多い。従来の CS 事業では、運営会社は専用の車両と駐車スパー

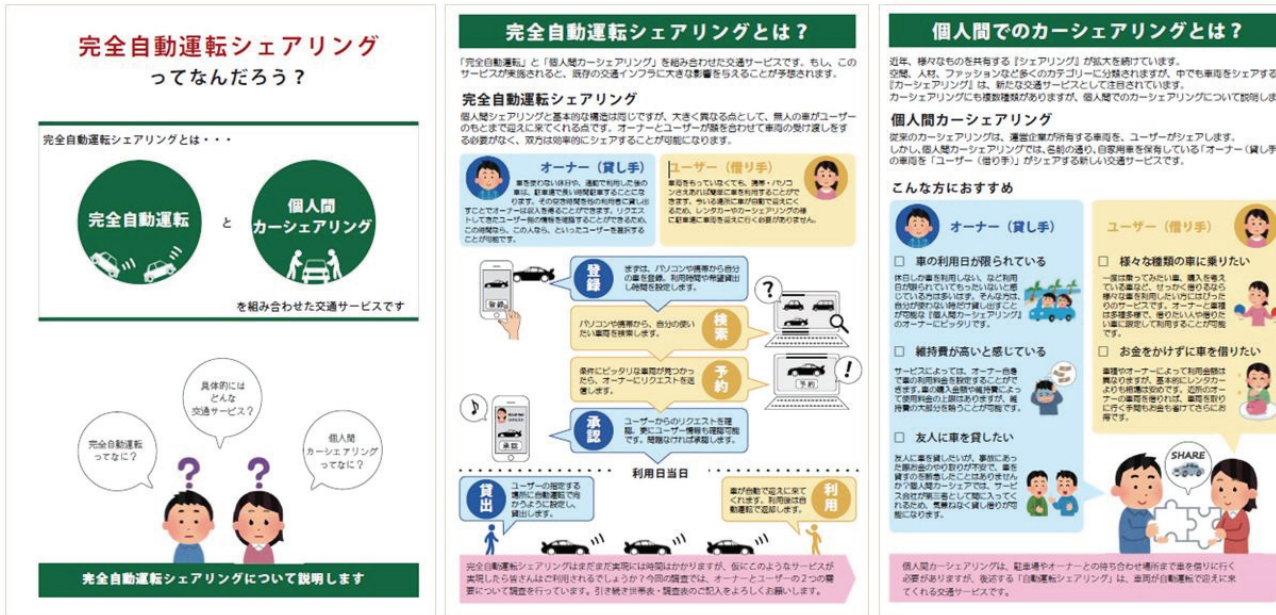


図-1 アンケート調査時に用いたパンフレット

スを確保・管理する必要があるが、個人間CSではサービス提供者の車両を利用する為、車両への投資は必要ない。したがって自動車メーカー以外のIT事業を手掛ける企業の参入も容易であり、ビジネスチャンスは大きい。

(3)自動運転技術に対する取り組み

国土交通省は自動運転に関して、交通事故の削減、地域公共交通の活性化、渋滞の緩和、国際競争力の強化等の自動車及び道路を巡る諸課題の解決のため「国土交通省自動運転戦略本部」を設置した。また、2017年に自動運転システムのレベル分けを米国のそれに合わせて5レベルに再分類した。現在はレベル2の技術が部分的に実現しており、レベル3は2020年を目途に、レベル4は2025年以降を目途に市場化されるとしているが、完全自動運転であるレベル5の普及に関する予測は未だ立っていない。国土交通省自動運転戦略本部は、2023年までに高速道路で本線への進入の速度やタイミングを自動で調整し、安全に合流が行えるような自動運転技術を確認するという政府目標を立てている。一般道では、専用軌道区間を走行するガイドウェイバスでの実証実験が計画されている。

(4)既往研究のレビュー

AVの普及やそのインパクトに関する既往研究は、自動運転システムについて将来展望と影響分析に大別できる。前者については、Todd Litman¹⁾が自動運転車に必要なコストの算出や自動運転車が公共交通に与える影響分析などを行っている。そこでは、2040年代または2050年代には自動運転車が低所得者でも購入可能な価格で提供されること、自動運転技術により交通量が3~9%増加すると予測している。後者については、は自動運転車の導入によ

って、従来の活動目的に変化を及ぼすと予測し、意識調査を行った香月ら²⁾の研究がある。その中では、通院や食料品等買い物といった日常生活圏での活動に比べ、長距離移動を伴観光等の活動において変化が生じやすいことが示されている。

AVを用いたCSサービスに関する研究については、シミュレーションによる需要予測を行っているものが多い。山本ら³⁾は名古屋市の名東区内での発着トリップに対して自動運転シェアカーのシミュレーションを行った結果、シェアリングに置き換える171万トリップを5万台のAVで担うことが可能であるとしている。Daniel J.Fagnantら⁴⁾はオースティン地区内でのトリップに対して、相乗りを考慮した自動運転シェアカーのシミュレーション分析を行った。相乗りによってトリップ数のピーク時に待機時間を大幅に削減出来ることや、車両価格を70,000ドルとすると車両価格等の事前投資の約19%を賄うことが可能となるという結果を得ている。しかし、既存研究にはサービス利用者だけでなく、サービス提供者のAVSサービスに対する購入と提供行動モデル、つまり需要側と供給側の構造をシステムの運用シミュレーションに組み込んでいる研究は見当たらない。

本研究の特徴は以下の通りである。

- 1)AVSサービスの利用意向に関するSP調査を行い、需要側であるサービス利用者のAVSサービスへの転換モデル、車両の供給側であるサービス提供者のAVSサービス車両の貸出モデルを推定する。
- 2)モデルを組み込んだ日々の運用シミュレーションモデルを構築する。
- 3)熊本都市圏パーソントリップ調査から得られる現在のトリップに対して運用シミュレーションを実行する。

表-2 アンケート調査概要

要因	高水準	低水準
時間料金 (円/10分)	250 (300)	500 (600)
車両到着までの待ち時間(分)	1	5
事前予約時間	10 分前 (30 分前)	1 時間前 (2 時間前)
サービスを利用できない確率	1/10 (1/5)	1/2

注) トリップによっては () 内の値を用いる。

4)均衡利用需要を予測すると同時に、平均駐車時間や総トリップ時間の変化などの種々のインパクトを評価することによって、AVSサービスの導入に必要な要件を詳細に検討する。

3. AVSサービスへの転換，車両貸出モデル

(1)AVSサービスに対する利用意向調査

a)調査概要

従来のCSサービスでは、事業者が提供したCSサービスに対してトリップを行う人がサービスを利用するか否かといった、需要側だけの選考意識を把握すれば良かった。しかし、AVSサービスでは、AV保有者が車両を提供することになるため、自動運転車間の購入意向や貸出意向を把握する必要がある。本研究では、同一被験者にAVSサービスの利用意向と伴にAVの購入と、貸出意向に関するSP調査を行った。熊本市中心部から半径5km圏内にある小学校校区からランダムに13校区を選択し、各校区から任意に抽出した約30世帯に対して訪問留置方式で調査を実施した。

調査では、次のような手順で質問を行なっている。

- 1) 通常の都市圏パーソントリップ調査と同様に、平日の1日の全トリップについて回答してもらう。
- 2) 図-1に示す独自に作成したパンフレットを用いてAVSサービスがどのようなサービスであるのかについて十分に説明する。
- 3) 1) で回答した1日のトリップそれぞれに対し、AVSサービスに置き換えて良いトリップを尋ねる。
- 4) 置き換えて良いトリップに対して、表-2に示す4要因2水準の2⁴の組み合わせプロファイルから後述する方法でランダムに抜き出したプロファイルを持つAVSサービスの利用意向を尋ねる。
- 5) AVの購入意向，購入するための車両価格の最低額を尋ねる。
- 6) 購入しても良いと回答した場合はAVSサービスに購入したAVを貸し出すか否か、貸し出すとした時の最低貸出価格を尋ねた。

b)プロファイルの作成と提示

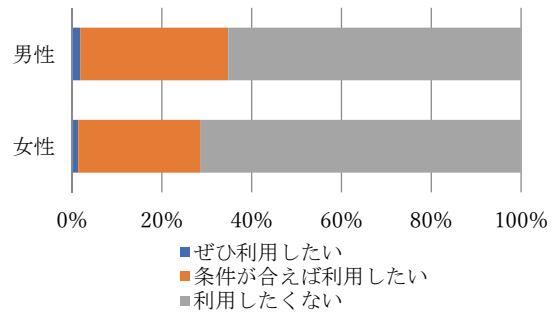


図-2 男女別 AVS 利用意向

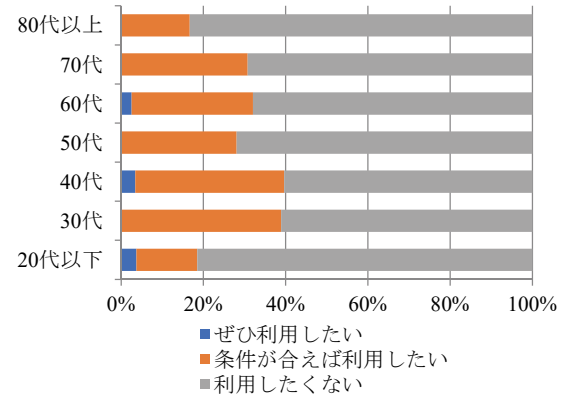


図-3 年齢別 AVS 置き換え意向

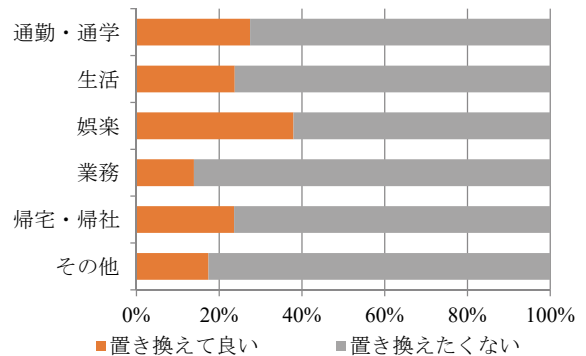


図-4 目的別 AVS 置き換え意向

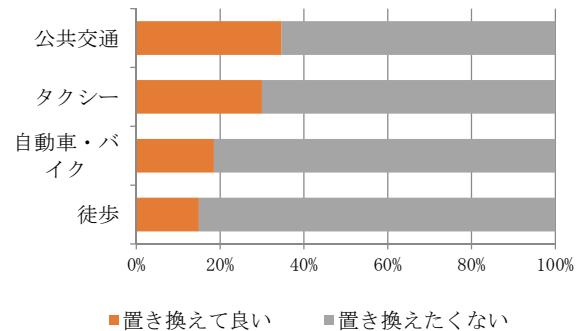


図-5 交通手段別 AVS 置き換え意向

SP調査では属性の水準の組み合わせを変化させて提示していく。最も基本的な計画法として、属性水準の全ての組合せ、つまり全ての可能な組み合わせを回答者に提示する完全要因配置計画がある。この方法は、各属性の主効果だけでなく、2つ以上の属性の交互作用の有無を

検証することが可能である。しかし、提示する属性やその設定した水準の数が増加するにつれて組み合わせの数が増大していくので、回答者の疲労などの影響によって回答値の信頼性が低下する。そこで、列が互いに線形独立となるように構成された $L_8(2^7)$ 直交表を用いて8つのプロファイルを作成し、その中からランダムに4つを抽出して提示した。

(2)集計分析

a)サービス利用に関する集計分析

調査には 184 世帯 302 人が回答した。その約 30%が AVS サービスを「ぜひ利用したい」(2%)、「条件が合えば利用してみたい」(30%)と回答した。図-2 に男女別利用意向、図-3 に年齢別利用意向、図-4 に目的別利用意向、図-5 に現利用交通手段別利用意向を示す。女性に比べ男性の方が、20 代以下の若年層と 80 歳以上の高齢者よりも 30 代から 40 代の中年層の方が、目的では「娯楽」が、「タクシー」と「自転車」を利用しているトリップで利用意向が高い。

b)車両貸出に関する集計分析

AVの購入に関しては全体の約45%が「ぜひ購入したい」(4%)、「条件が合えば購入したい」(41%)と回答した。図-6に希望車両購入価格についての回答割合を示す。被験者の約45%が「100万～200万」,「201万円～300万円」が約30%と回答しており、被験者の多くが現在の車両相場価格に近い価格帯を選択している。その車両の貸出意向に関しては全体の約15%が「ぜひ貸し出した」(2%)、「条件が合えば貸し出してもよい」(14%)と回答した。図-7に希望車両貸出価格を示す。被験者の約35%が「200円(10分間)」と回答しており、約30%が「300円(10分間)」と回答しており、希望車両購入価格に比べ回答にばらつきが見られた。図-8に男女別の購入意向と貸出意向を示す。購入意向は男女間に大きな差はないが、貸出意向は男性の方が高くなっている。図-9、図-10に年齢別の購入意向と貸出意向を示す。購入意向、貸出意向共に中年層に比べて若年層と高齢層で高い。

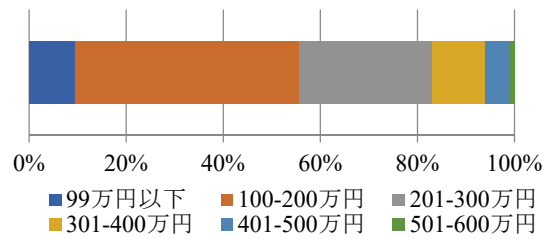


図-6 希望車両購入価格

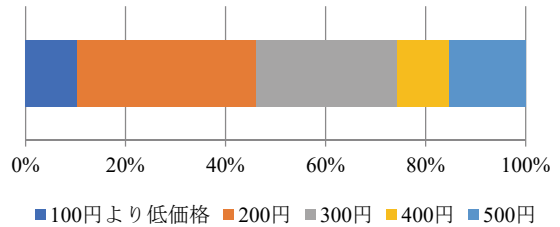


図-7 希望車両貸出価格

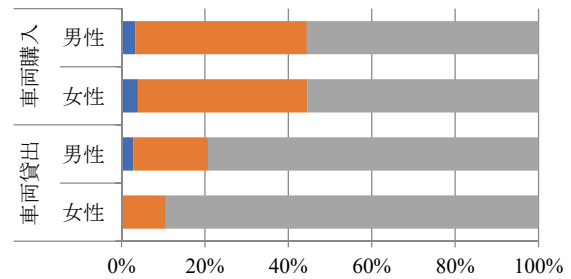


図-8 男女別車両購入・貸出意向

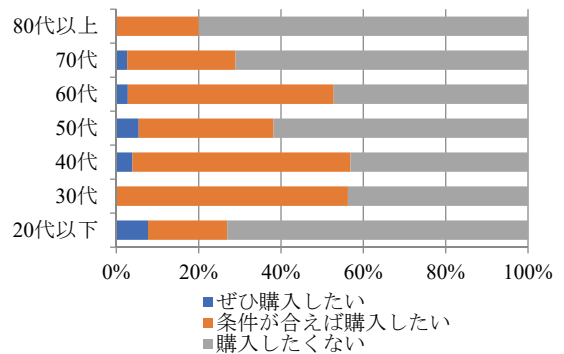


図-9 年齢別車両購入意向

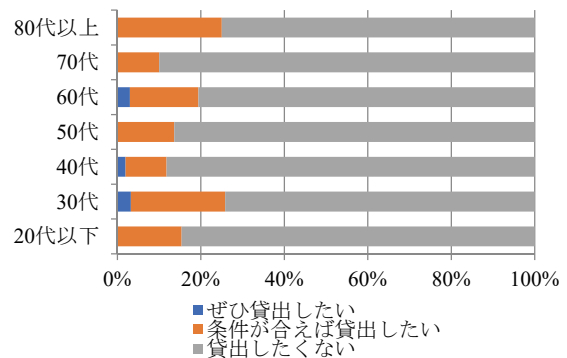


図-10 年齢別車両貸出意向

(3) AVSサービスへの転換モデルと車両貸出モデル

a) AVSサービスへの転換モデルの推定

AVSサービスへの転換モデルは、現在の交通モードからAVSサービスに置き換えるか否かを選択する2項ロジットモデルである。モデルの概念や形式は文献⁵⁾のものと同様であり、ここでは詳細な説明は省略する。モデルの推定結果を表-3に示す。各パラメータの符号条件も論理的であり、 t 値も高く、統計的に有意である。また、尤度比、的中率ともに大きく、モデルの適合度は高い。

b)車両貸出モデルの推定

AVS貸出モデルは、図-11に示すような上位が車両を購

表-3 AVS 転換モデル

	説明変数	推定値	t 値
置き換える	時間料金(円/分)	-0.058	-9.29
	予約リードタイム	-0.006	-3.09
	サービスを利用できない確率の逆数	0.063	2.25
置き換えない	トリップ所要時間	-0.016	-3.88
	私用・業務ダミー	-0.79	-4.35
	年齢	-0.016	-3.51
サンプル数		696	
尤度比		0.202	
的中率		0.73	

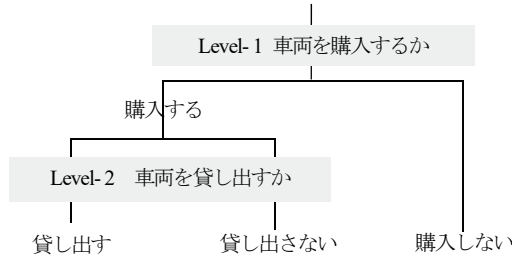


図-11 車輛貸し出しモデルの構造

表-4 AVS 貸出モデル

説明変数	貸出す	貸出さない	購入しない
車両価格 (百万円)	-2.68 (3.44)	-2.68 (3.44)	
貸出料金 (円/分)	0.10 (4.38)		
トリップ数	0.22 (1.24)		
一日のトリップ時間 (分)		0.01 (2.12)	
性別 (男性=1)			-1.69 (1.86)
世帯人数 (人)			-0.45 (1.31)
定数項		2.77 (3.46)	
λ		0.89 (2.98)	
サンプル数	170		
尤度比	0.49		
的中率	0.72		

入るか否かを、下位が車両を購入するという条件のもとで車両を貸出すか否かを選択肢とする構造のネストロジットモデルを仮定した。

サービス提供者としての質問時には、AVを購入とした場合の最大車両価格 c_{min} と、AVを貸し出すとした時の最低貸出価格 r_{min} しか聞いていない。そのため、代替選択肢側の車両価格と貸出価格の値が存在しない。そこで個人 n 毎に車両価格 C と貸出価格 R を任意のレベルを設定する。このとき、サービス提供者が回答した車両価格の最少額 c_{min} と貸出料金の最低貸出価格 r_{min} と任意のレベルとの大小関係によって以下のように判別した。

- 1) $c_{min} \geq C$ かつ $r_{min} \leq R$ の場合は車両購入下で車両を貸出す。
- 2) $c_{min} \geq C$ かつ $r_{min} > R$ の場合は車両購入下で車両を貸出さない。
- 3) $c_{min} < C$ の場合は車両を購入しない。

これを個人 n 毎に複数回行うことでモデル構築のため

の全データセットとした。モデル推定結果を表-4に示す。尤度比 $\rho^2 = 0.49$ 、的中率も72%とともに高く、モデルの適合性は高い。各パラメータの符号条件も論理的であり、t値も高く統計的に有意である。また、ログサム変数 λ は0.89となり、統計的に $0 \leq \lambda \leq 1$ の条件を満たすことから、モデルの階層構造の仮定も妥当である。

4. AVS 運用シミュレータの構築

(1) AVS運用シミュレータ

すでに事業化されているAnycaのような個人間CSサービスでは、貸し出された車両はサービス利用者が利用した後は車両提供者のもとに返却される。その後も車両利用者がいれば、再び車両は貸し出される。ここでは個人間CSサービスの車両がAVになったCSサービスをAVSサービス1とする。つまり、サービス利用者に予約されたAVは搬送サービスを提供し、その後は自動でサービス提供者のもとに帰還する。その後も、帰還したAVが次のサービス利用者の予約に割り当てられた場合は、再び貸し出され、搬送サービスを提供する。AVはこのサービスを提供可能な時刻まで繰り返す。潜在サービス需要者のトリップ発生時刻が早い順にAVS転換モデルを適用してAVSサービス1の利用者となったトリップから順にこの手続きを繰り返す。このAVSサービス1に対する運用シミュレーションのフローを図-12に示す。なお、本シミュレーションではAVの貸出や返却、予約の発生やその可否判定といったイベントは1分ごとに更新される。

a) サービス利用者のフロー

Step-1 (利用意向判断) : トリップ毎にAVS転換モデルを用いて算出したAVSサービスへの置き換え確率が発生させた一様乱数よりも大きい時、AVSシステムの利用意向があると判定する。

Step-2 (車両探索) : 利用意向のあるトリップに対して、トリップ開始時刻から終了時刻まで利用可能な車両を探索する。

Step-3 (車両到着) : 貸出条件を満たしたAVの中で最も早く到達可能なAVが、サービス提供者のもとからサービス利用者の発ノードに到着する。

Step-4 (目的地へ移動) : AVがサービス利用者に着ノードまで搬送する。

Step-5 (出力) : サービス利用者は予約が受け付けられたか否かの経験を蓄積する。

これらの作業を全てのAVSサービスの潜在需要に対して実行し、すべての潜在需要の発生が終了するまで繰り返す。最終的には、総利用回数や予約受付確率、車両の稼働時間等のパフォーマンス指標を計算して出力する。

b) サービス提供者のフロー

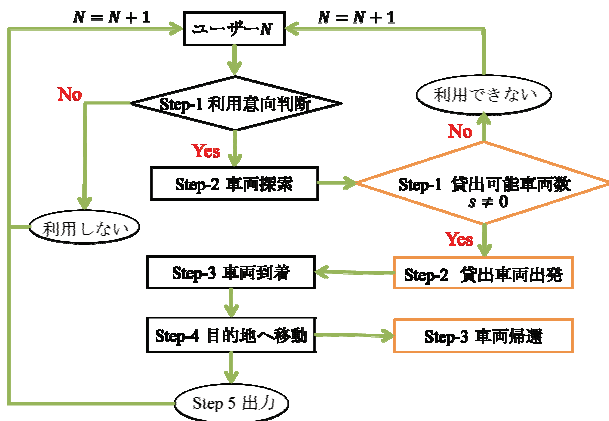


図-12 AVS サービス1のシミュレーションフロー

対象地域内に居住する人（タイプ1）、または対象地域外に居住し、保有のAVで対象地域内の着地までトリップを行う人（タイプ2）を潜在サービス提供者とする。彼らに対してAVS貸出モデルを適用することで彼らがAVを貸し出すか否かを判別する。このプロセスはシミュレーションの初日のみ実行する。

Step-1（貸出可能車両数計測）：タイプ1とタイプ2について貸出可能AVの数を計数する。このときタイプ1にも一日のうち一度もトリップを行わない人と、一日のうち一度はトリップを行い、その着地点にAVを駐車している人がいる。

今回のシミュレーションでは、後者の場合は他社のAVを利用するのではなく、自身が保有するAVを利用するものとした。

これらすべてのサービス提供者自身がAVによるトリップを開始する1分前までに貸し出したAVがサービス提供者のもとに帰還でき、サービス利用者のもとまで3分以内に到着が可能なAVが貸出可能とし、それらの数を計数する。

Step-2（貸出車両出発）：貸出条件を満たす車両が複数存在する場合は、その中で最も早くサービス利用者のもとに到着可能な車両を出発させる。この時、タイプ1の1日のうち一度もトリップを行わない人のAVの場合はサービス提供者宅から、その他の場合はその駐車している地点からAVはAVSサービスサービス利用者のもとへ移動を開始する。

Step-3（車両帰還）：P2P-CSと同様に、貸出後は必ずサービス提供者のもとまで車両は帰還する。

本シミュレータでは、サービス利用者のトリップ特性を考慮するだけでなく、サービス提供者のAVの位置を考慮して貸出処理を行っているため、各AVの貸出可能時間はサービス提供者のトリップに影響を受ける。

(2) AVSサービス2

従来のP2P-CSと同様のAVSサービス1は、貸出したAV

はサービス利用者を目的地まで搬送後はサービス提供者のもとに戻り、再びAVを貸し出すというスキームであった。しかし、サービス提供者が自らのAVを用いてトリップを開始するまでに時間的猶予がある場合、その間サービス提供者のもとに帰還せず、継続的にAVを貸出すことにより、より効率的なAVSサービスを提供できる。このサービスをAVSサービス2とする。この場合のフローは図-12のサービス提供者のStep-3を自らのAVを用いたトリップを開始する時刻まで連続して貸出が可能か否かの判定する操作に置き換える。

(3) 導入地域と対象データ

AVSシステム運用シミュレーションの実行地域は、「熊本市における完全自動運転シェアリングサービスに対する利用意向調査」と同様、熊本市中心部から半径5km圏内の第4回熊本都市圏PT調査の29のCゾーンから構成されるエリアである。サービス利用者の潜在需要である対象地域内での内々トリップは第4回熊本都市圏PT調査のマスターデータから抽出した149,896トリップである。トリップの出発時刻にばらつきを与えるため、トリップを拡大する際にトリップ発生時刻に $N(0,5)$ のばらつきを与えた。各トリップの発着場所に、ゾーン内で空間的なばらつきを与えるため、トリップ毎の発着地を発着ゾーン内にある全てのノードにランダムで割り付けた。

サービス提供者はタイプ1とタイプ2のいずれかを満たす必要がある。PT調査のマスターデータからこの条件を満たす潜在サービス提供者196,322人が抽出された。シミュレーション時にはサービス提供者宅と各トリップの発着地点を設定する必要がある。ここでは、全てのトリップの発着地のジオコーディングデータを利用する。ただし、これらは緯度経度データではあるものの、プライバシー保護のために、4次メッシュ（500m×500m）に集計されている。そこでシミュレーションを行う際には、サービス提供者を4次メッシュ内にランダムに配置する。

5. AVSサービス運用シミュレーション分析

既存研究を参考に、貸出料金、車両価格、予約リードタイムを30円/分、700万円、30分前と設定し、潜在的AVSサービス提供者全員にAVS貸出モデルを適用した結果、タイプ1とタイプ2のサービス提供者数はそれぞれ419人、301人、合計720人、総AV貸出可能時間は531,069時間となった。シミュレーションを開始する午前3時の貸出可能なAVの空間分布を図-13に示す。貸出可能AVは都市中心部ではなく周辺部に分布していることが分かる。

AVSサービス1、AVSサービス2とも、同じ貸出可能AV数でシミュレーションを行った。図-14に日常のトリップ

数別, 図-15に貸出可能時間別のサービス提供者数の分布を示す。サービス提供者の多くは1日に2トリップを行っており, 車両貸出可能時間も8時間~10時間と20時間以上

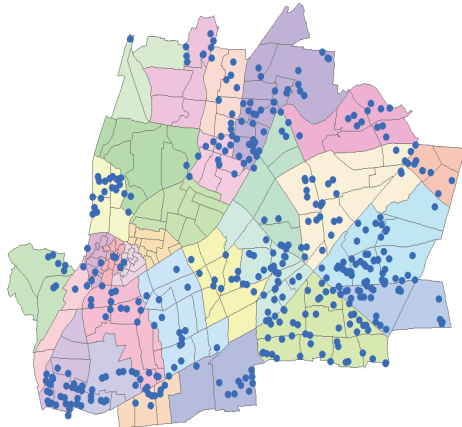


図-13 シミュレーション開始時の車両配置

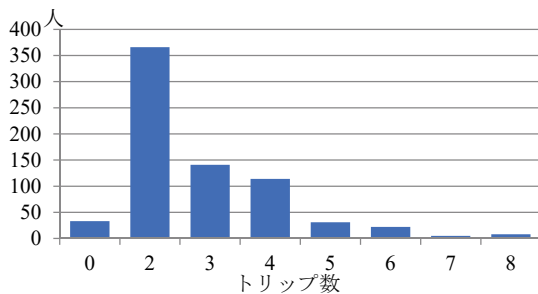


図-14 トリップ数別サービス提供者数

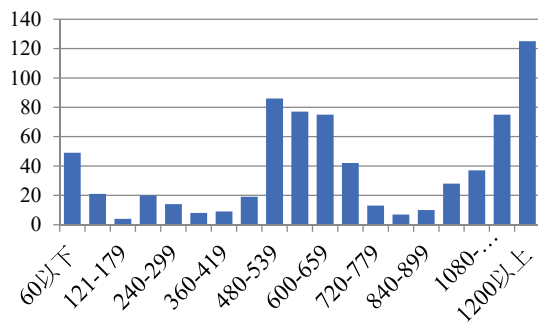


図-15 貸出可能時間別サービス提供者数

の割合が高いことから, サービス提供者は自ら通勤・帰宅といったピストン型で, 目的地で自身の自動車を駐車させているような人であると考えられる。

基本設定値を適用して30回のシミュレーションを実行したときの予約受付トリップや車両移動時間などのパフォーマンス指標を表-10に示す。予約受付トリップ数とはAVSサービスの利用意向のある潜在需要トリップ数の中で実際にAVSサービスを利用できたトリップ数であり, 予約不可トリップ数は予約時に利用可能な車両が1台もなく, AVSサービスが利用できなかったトリップ数である。利用車両台数は総車両数720台の内うち, 1日に1回でも使用された車両数である。稼働率は総貸出可能時間のうち駐車時間を除いたAVの移動時間の比率, 実車率は利用者の実搬送時間の比率を表す。

AVSサービス1では潜在AVSサービス需要約15万トリップのうち約2万トリップ(約13.7%)が転換を行い, AVSサービス2ではAVSサービス1よりも6千トリップ多い2.6万トリップ(約17.5%)が転換を行った。予約受付率を比較するとAVSサービス2の方がAVSサービス1に比べ約10%高い。また, AVSサービス1は車両移動時間のうちの27%はサービス利用者を乗せずに無人で移動しているが, AVSサービス2では13.6%であった。さらに「サービス提供者までの移動時間」は17%から0.6%に減少し, 「実稼働時間」は73%から86.4%まで増加している。これらによってAVSサービス1では実車率が51.3%であるが, AVSサービス2では66.9%まで増加している。以上よりAVSサービス2は効率的なサービスを提供できる。図-16, 図-17に転換したトリップの男女別, 年齢別のAVSサービスへの転換割合を示す。これらの要因の構成比にAVSサービスによる違いは見られない。AVSサービスへの転換トリップのうちの男女の転換割合はほぼ等しく, 30代から60代にかけての年代がそれぞれ2割ずつある。図-18にAVSサービスへの転換トリップの転換前の交通手段別構成, 図-19に目的別構成を示す。交通手段では徒歩(33%)と自動車・バ

表-10 基本設定下でのシミュレーション結果

	AVS サービス 1			AVS サービス 2		
	平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数
予約受付トリップ数	20,392	23.3	0.001	26,284	33.3	0.001
予約受付率	29.8%	0.003	0.003	38.6%	0.005	0.01
予約不可トリップ数	47,980	851.4	0.01	41,734	848.5	0.02
車からの転換トリップ数	7,362	11.9	0.001	9,342	15.0	0.001
徒歩からの転換トリップ数	6,569	14.0	0.002	8,748	17.5	0.002
バスからの転換トリップ数	1,157	2.84	0.002	1,472	3.1	0.002
利用車両率	99.8	0.06	0.001	99.8	0.1	0.001
サービス利用者へ	40,784 (10%)	46.3	0.001	52,570 (13%)	66.6	0.001
車両移動時間(分) 実搬送時間	272,816 (73%)	96.8	0.001	354,271 (86.4%)	171.1	0.001
サービス提供者へ	98,622 (17%)	95.2	0.001	2,776 (0.6%)	13.9	0.004
稼働率	77.6%	0.01	0.001	77.5%	0.03	0.001
実車率	51.3%	0.03	0.001	66.9%	0.03	0.001

イク (37%) からの、目的では私用目的 (45%) と帰宅目的 (30%) での利用が多い。

AVSサービス提供者にはサービス利用者の利用時間に応じて収益が発生する。この収益は目的地までの実搬送時間×貸出料金で求めることができる。図-20に収益額別のサービス提供者数を示す。AVSサービス1では1日に2万円以上の収益があるサービス提供者が70人程出てくる反面、収益が1日に2.5千円以下となるサービス提供者も70人程いる。一方、AVSサービス2では2万円以上の収益を得るサービス提供者が220人にもものぼる。AVSサービス提供者の総収益額はAVSサービス1で約820万円、AVSサービス2で約1,000万円となる。

収益額を貸出可能時間別に見ると、AVSサービス1では貸出可能時間が8時間以下のサービス提供者は1日の収益が1万円以下となる。また、1日のうち貸出可能時間が12時間以上のサービス提供者のほぼ全員が1万円以上の収益を得る。AVSサービス2では貸出時間が6～8時間から収益が1万円を超えるサービス提供者が出現し、貸出可能時間が12時間を超えると収益は1.5万円を超える。これらより、AVSサービス2ではAVSサービス1でも収益が多いサービス提供者ほど収益は増加するため、収益に格差が広がる。

AVSサービス2ではサービス提供後、最寄りで連続的なAVSサービスを提供できるため効率的である反面、利用者がいない場合は待機地で長時間の駐車が必要となる場合もある。図-27にCゾーン別の総駐車時間を、図-28にAV1台当たりの駐車時間を示す。中心部ゾーンの総駐車時間は約4,500分と長い。1台当たりの駐車時間の平均値は8分と短い。逆に、上熊本地域や大江地域では総駐車時間は500分と短い。1台当たりの平均駐車時間は20分となる。このように、都心部はサービス利用者の搬送先となっているAVが多く、総駐車時間は長くなるものの、1台当たりの駐車時間は短く、回転率は極めて高い。今後、都心にある駐車スペースの必要性ではかなり低下することを示している。

6. おわりに

本研究では個人間CSとAVを組み合わせたAVSシステムについて、熊本市におけるAVSサービスに対する利用意向調査やAVSシステム運用シミュレータを構築することで、AVSサービスのシミュレーション分析を行った。本研究で得られた成果と課題は以下に箇条書きで示す。

1) 国内外で実施されている様々な種類のCS事業について会員数、車両台数等の一覧を作成

した。これにより国内ではRT型CSに比べOW型CSの普及が進んでいないことや、IT事業を手掛ける企業による個

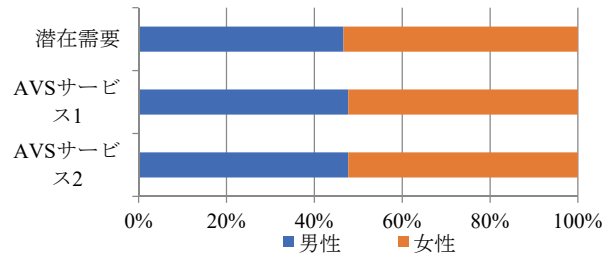


図-16 AVS サービスへの転換者の男女比

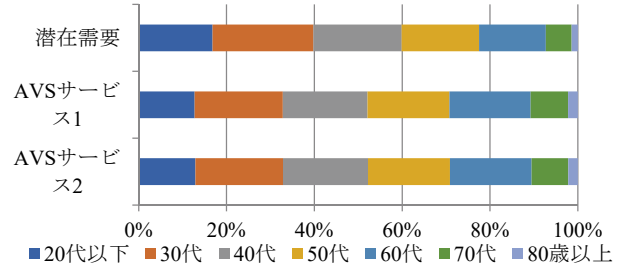


図-17 AVS サービスへの転換者の年齢別構成

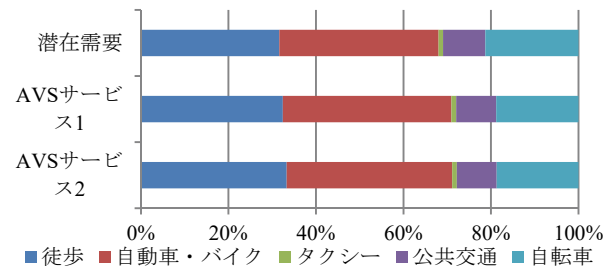


図-18 AVS サービスへの転換者の交通手段別構成

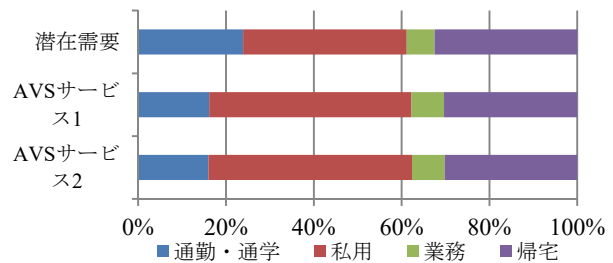


図-19 AVS サービスへの転換者のトリップ目的

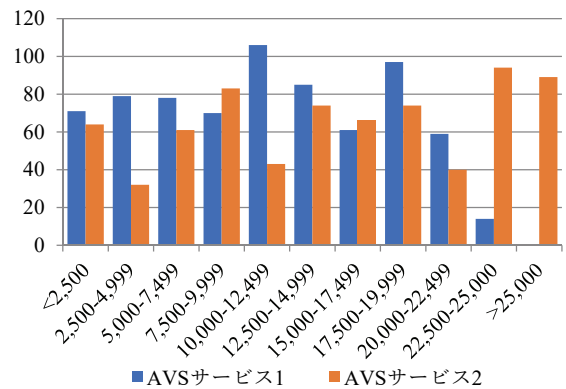


図-20 収益額別サービス提供者数

人間CSサービスの普及が進んでいることが明らかになった。

- 2) 完全自動運転シェアリングサービスに対する利用意向調査のデータよりAVSサービスの需要を求めた。さらに、サービス利用者のAVS転換モデル、サービス提供者のAVS貸出モデルを推定した。
- 3) 開発済みのカーシェアリング運用シミュレータをベースに、2つのモデルを組み込んだAVSシステム運用シミュレータを新たに構築した。また、第4回熊本都市圏PT調査の29のCゾーンにおけるAVSサービスの需要分析を行った。
- 4) シミュレーション分析の結果、AVSサービス1に比べAVSサービス2の方がより効率的なサービスを提供できることが分かった。また、AVSサービス2における搬送先での駐車時間が中心部と郊外部で大きく異なることが明らかになった。
- 5) AVの車両価格を変化させることで、サービス利用者側はAV車両価格が安価になるとAVSサービスを利用できる可能性が高くなるが、サービス提供者側は車両価格がある程度高額である場合が効率よく車両を貸出すことが可能になることが明らかになった。
- 6) AVSサービスの運用シミュレーションシステムは他都市にも適用が可能であり、他都市でもAVSサービスの需要とサービス提供、および各種パフォーマンス指標を算出できる。
- 7) AVSサービスの実現には10年後から20年後かかるであろうと考えられる。今後AVの車両価格や、安全性等が明らかになることでAVSサービスの利用意向は大きな影響を受けると予測される。
- 8) 近年ライドシェアサービスがタクシーやCSサービスで実現している。AVSサービスにライドシェアを組み込んだサービスのシミュレーション分析も必要である。

謝辞：本研究は国土交通省道路局新道路技術開発からの助成を受けて進めている研究の一部であることを記す。

参考論文

- 1) Todd Litman : Autonomous Vehicle Implementation Predictions, Victoria, Transport Policy Institute, 2018.
- 2) 香月秀仁, 川本雅之, 高原勇, 谷口守 : 自動運転 (ADV) 導入が個人の活動目的地の変化に及ぼす影響, 第54回土木計画学研究発表会・講演集, 2016.
- 3) 山本真之, 梶大介, 服部祐哉, 山本俊之, 玉田正樹, 藤垣洋平 : 広域ODデータによる自動運転シェアカーシミュレーション — 一名東区発着トリップに対する検証 —, 第54回土木計画学研究発表会・講演集, 2016.
- 4) Daniel J. fagnant, Kara M. Kockelman : Dynamic ride-sharing and fleet sizing for a system of shared autonomous vehicles in Austin, Texas, Transportation, 2016.
- 5) 溝上章志, 中村謙太, 橋本淳也 : ワンウェイ型カーシェアリングシステムの導入可能性に関するシミュレーション分析, 土木学会論文集D3, Vol.71, No.5, pp.805-816, 2015.
- 6) 公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団HP, 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_top.html
- 7) 国土交通省・自動運転戦略本部 : 「自動運転の実現に向けた今後の国土交通省の取り組み」, 2017.
- 8) 落合純一, 金森亮, 松島祐康, 野田五十樹, 中島秀之 : タクシー配車データを用いたリアルタイムデマンド交通システムの実用性評価, 第53回土木計画学研究発表会・講演集, 2016.
- 9) 紀伊雅敦, 横田彩加, 高震宇, 中村一樹 : 共有型完全自動運転車両の普及に関する基礎分析, 第54回土木計画学研究発表会・講演集, 2016.
- 10) 河上省吾, 広島康裕, 溝上章志 : 意識データに基づく非集計交通手段転換モデルの構築の試み, 土木計画学研究・講演集, 1巻, pp.11-18, 1984.
- 11) Organization for Economic Co-operation and Development: Urban Mobility System Upgrade, International Transport Forum, 2015.
- 12) Bundesverband CarSharing: Data Sheet CarSharing in Germany, 2016.
- 13) 市丸新平 : 内外のカーシェアリング、ライドシェアの動向

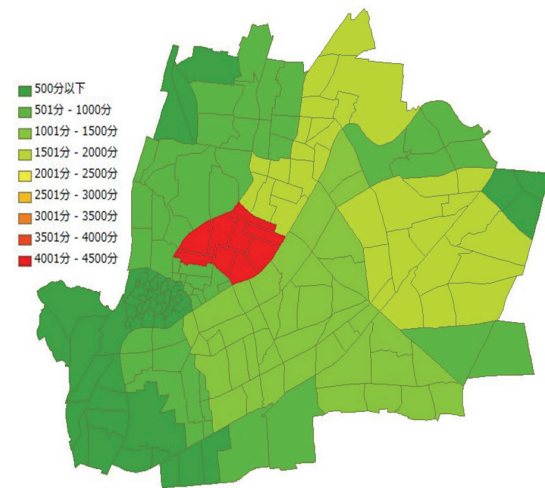


図-28 ゾーン別の総駐車時間

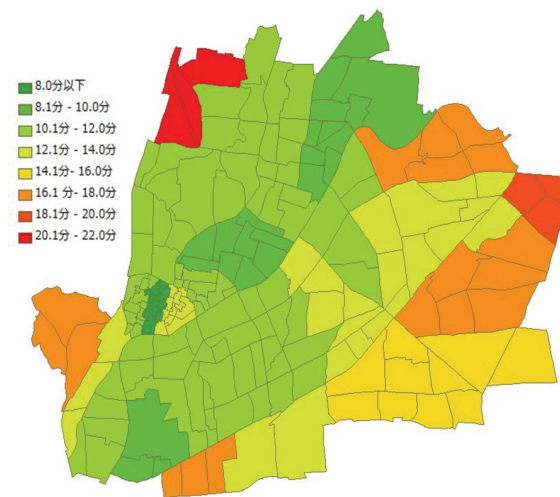


図-29 ゾーン別のAV1台当たりの駐車時間

- と自治体連携、普及効果, 交通サービス動向セミナー, 2017.
- 14) Scott Le Vine, John Polak : Introduction to special issue : new directions in shared-mobility research, *Transportation*, Vol.42, pp.407-411, 2015.
- 15) Matthew Clark, Kate Gifford, Jillian Anable , Scott Le Vine : Business-to-business carsharing: evidence from Britain of factors associated with employer-based carsharing membership and its impacts, *Transportation* , Vol42, pp.471-495, 2015.
- 16) Car2Go HP : <https://www.car2go.com/US/en/>
- 17) Mehdi Nourinejad, Matthew J. Roorda: Carsharing operations policies: a comparison between one-way and two-way systems, *Transportation*, Vol.42, pp.497-518, 2015.
- 18) Francesco Ciari, Milos Balac, Michael Balmer: Modelling the effect of different pricing schemes on free floating carsharing travel demand: a test case for Zurich, Switzerland, *Transportation*, Vol.42, pp.413-433, 2015.

A SIMULATION ANALYSIS ON INTRODUCIBILITY OF AUTONOMOUS VEHICLE CAR-SHARING SERVICE

Yugo FURUSAWA, Shoshi MIZOKAMI and Toshikatu MORI

Recently, various car sharing and ride sharing services are progressing in the world. Especially, the number of users of peer to peer car sharing services that dedicated parking lot and vehicle are unnecessary is increasing. Moreover, a new transportation mode combining this service with an autonomous driving vehicle has attracted attention. This research investigates the possibility of services combined peer to peer car sharing and autonomous driving vehicle by simulation analysis.