

完全自動運転シェアカーサービスが車両の移動 と駐車時間に与える影響分析

八戸 龍馬¹・溝上 章志²・古賀 逸人³

¹学生会員 熊本大学院自然科学教育部 (〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1)
E-mail: 194d8361@st.kumamoto-u.ac.jp

²正会員 熊本大学教授 大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1)
E-mail: smizo@gpo.kumamotou.ac.jp

³学生会員 熊本大学工学部社会環境工学科 (〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1)
E-mail: 163t4749@st.kumamoto-u.ac.jp

国内でも普及可能性の高い個人間CSと自動運転車両を組み合わせた自動運転シェアリング (AVS : Autonomous-Vehicle Sharing) サービスに対する転換モデル, および車両提供モデルを組み込んだ AVS サービス運用シミュレータを用いて, 熊本都市圏における AVS サービスが都市構造やモビリティ, 特に都心部の駐車時間の分布等に与える影響の分析を行った. その結果, 都市圏全域での平均駐車時間は 15 分程度になる. 特に, 都心部では AVS サービスによるトリップが増加して総駐車時間は長くなるものの, 1 台当たりの駐車時間は 8 分程度と極めて短くなり, 駐車スペースが削減可能となる. このように AVS サービスは車両の移動と駐車時間に大きな影響を与えることが明らかになった.

Key Words : *Atonomous-Vehicle Sharing, Autonomous-Vehicles, Travel Time, Parking Time*

1. はじめに

近年, 都市における新たな交通手段としてカーシェアリング (以後, CSと記す) が注目され, サービスの多様化も進んでいる. その中でも専用の駐車ステーションを必要としない個人間CS事業, 例えばAnycaの様なサービスは徐々に利用者が増加している. これは従来のCSと異なり, 運営企業が車両を保持し, 貸し出す必要もないため, 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だからである.

一方で, 自動運転技術の進歩は著しく, 自動運転車両の実証実験も進んでいる. 国土交通省は自動運転に関して, 自動運転車両の導入は交通量を大幅に改善し, 交通事故の削減, 付加価値と雇用を創出するとしている. この完全自動運転車がCSサービス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, 既存のモビリティや社会全体に大きな影響を与えると考えられている. それと同時に, 近年の自動車利用のニーズの変化や人口の減少等により, 自動車の保有台数の伸びが鈍化する中, 大都市や地方都市における駐車場施策も転換期を迎えている. 自動運転技術が普及した際には, 駐車場にも大きな影響を与えるであろう.

本研究では, 国内でも普及可能性の高い個人間CSと自動運転車両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を組み込んだ運用シミュレータを用いて, 熊本都市圏におけるAVSサービスの普及が都市構造やモビリティ, 特に都心部の駐車時間の分布等に与える影響の分析を行う.

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, 駐車場施策の現況と研究課題について述べる. 第3章ではAVSサービスへの転換モデルと運用シミュレータの概要について述べる. 第4章ではインパクトの評価方法. 第5章ではAVSサービス導入前後の都心部の走行や駐車特性値の変化について述べる. 最後に, 第6章で本研究の結論と問題点について述べる.

2. AVSサービスとCSサービス, 駐車場政策の現況と研究課題

(1) AVSサービスとは

第1章で述べたように, AVSサービスは専用の駐車場を必要としない個人間CSと自動運転を組み合わせたシ

エアリングサービスである。このサービスでは、利用したいときに予約するだけで出発地に車両が配車され、目的地に送迎した後、予約した次のユーザーの元へ移動を始める。通勤などの日常的な移動だけでなく、急な移動の際にも簡単に利用できる。料金は車両を利用した時間分だけ支払えば良いので、タクシーやレンタカーほど費用もかからず、目的地での駐車場の確保も必要なくなる。一方、自動運転車両を貸し出す人は、今まで使用せず車庫または駐車場に停めていた車両を有料で貸し出すことができるため、自らが車を利用しない間、需要があれば利益を上げることができ、このようなサービスが導入された場合、モビリティ水準や中心部での駐車場の利用のされ方などに大きな影響があると予想される。都心部での附置義務駐車場の利用の低下など、今後の駐車政策の転換が求められる中、AVSサービス導入後のAVS車両を含めた自動車の走行や駐車時間などの特性の変化を事前に把握しておく必要がある。

(2)CSサービスの現況

a) 国内のCS事業者の展開状況

CSは、購入費や維持費は必要なく、24時間いつでも使いたいときに利用できる。希望する者は、サービスへの入会手続きを行い、スマートフォン予約アプリによって簡単に予約できる。こういった金銭的な安さと便利性から、2012年以降会員数、車両数ともに図-1に示すように急激に増加している。2018年には会員数は130万人を超え、車両数は約2万9千台となった。今後もCSの会員数・車両数は増加していくと予想される。

b) 個人間CSサービス

新たなCSサービスとして個人間CSサービスがある。従来のCS事業では、運営会社が車両や駐車スペースを確保する必要があった。個人間CS事業では、オーナーは車両を登録し、ユーザーは専用アプリを通して、車種、場所、日時を検索し、予約のリクエストをオーナーに送

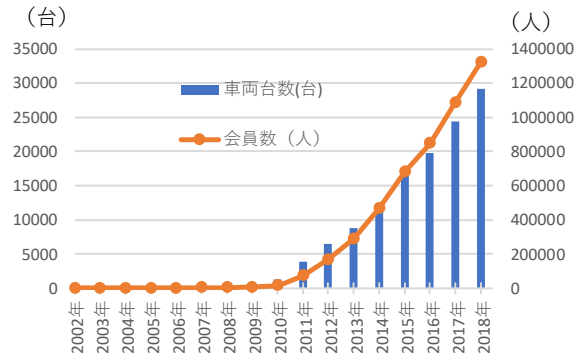


図-1 国内のカーシェアリングの会員数と車両台数の推移

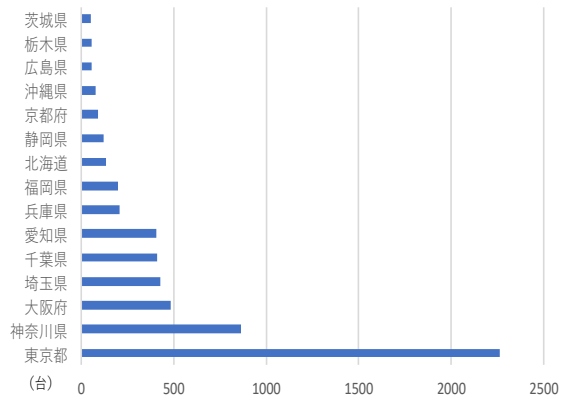


図-2 Anycaの都道府県別登録数

る。オーナーが了承すると予約が確定し、1日の自動車保険も加入される。表-1に主な個人間CS事業を示す。国内で最も利用者数の多いAnycaは、2015年9月のサービスリリースから、会員登録数は17万人以上に、車の登録数は6,000台以上、700車種以上となっている。都道府県別の車の登録数は図-2のようになっており、東京都、神奈川、大阪府といった大都市が中心になっているが、沖縄や静岡県といった地方都市や観光地にも広がっている。NTTドコモは2017年11月から「dカーシェア」というCSサービスの提供を開始し、カーシェア、マイカーシェア、

表-1 主要な個人間CSサービス

事業者名	Anyca	シェアのり	カフオレ	dカーシェア	Gataround	SnappCar
国名	日本	日本	日本	日本	アメリカ	オランダ(他4カ国)
都市名	全国	全国	全国	19都府県	全国	6都市
開始年	2015年	2015年	2009年	2017年	2009年	2011年
登録台数	約6000台	約150台	約1500台	約2700台	数千台	約3万台
会員数	約17万人	600人		非公開	約20万人	約25万人
予約方法	PC, スマホ	PC, スマホ	PC	スマホ	PC, スマホ	PC, スマホ
対応言語	日本語	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	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・ドコモ払い	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%	10%	40%	10%

表-2 自動運転技術レベル分け

レベル	概要		監視, 対応主体
1	自動運転化なし	運転支援運転者が全ての運転操作を実施	運転者
2	部分運転自動化	システムが前後・左右の両方の車両制御に係る運転操作の一部を実施	運転者
3	条件付運転自動化	限定条件下ではシステムが全ての運転タスクを実施。システムからの要請等に対する応答が必要	システム
4	高度運転自動化	限定条件下ではシステムが全ての運転タスクを実施。システムからの要請等に対する応答も不要	システム
5	完全運転自動化	システムが全ての運転タスクを実施	システム

レンタカーが選べる3つのカースタイルを提案し、利用者にとって自由度の高いサービスを提供して注目を集めている。

(2)自動運転技術に対する取り組み

国土交通省は、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、自動運転技術開発の推進と実用化を目指した「国土交通省自動運転戦略本部」を設置した。2017年に自動運転技術のレベル分けを米国に合わせて、表-2に示す5つのレベルに再分割した。2018年6月に発表された「官民 ITS 構想・ロードマップ 2018」では、2020年までにレベル2、2020年を目途に高度自動運転システム（レベル3）に係る走行環境の整備を図り、2025年目途に高速道路での完全自動運転システム（レベル4）の市場化を見込んでいる。

(3)駐車場施策の現況

駐車場施策においては、1957年に駐車場法が制定され、駐車場整備計画に基づき都市計画駐車場の整備、附置義務駐車場の確保が進められ、駐車場は確実に整備されてきた。しかし、近年は自動車保有台数の伸びの鈍化や中心市街地の土地や床の有効利活用が求められるなど、駐車場施策も転換期を迎えている。例えば、公共交通機関のアクセスに優れている大都市の中心部では、駐車需要が比較的低くなり、附置義務駐車場の稼働率の低下が発生している。地方都市においては、駐車場への土地利用転換が進んだ結果、駐車場の過剰な供給が続いている箇所もみられる。過剰な駐車場は、稼働率の低下や街の魅力の低下などを招くことから、駐車供給量の適正化が求められている。自動運転車両によるCSサービスが普及した際には需要にあった駐車スペースの供給と質的なコントロールが必要である。

(4)既往研究レビュー

現状の自動車保有とその利用、および自動運転車の導入による駐車時間などの変化に関する既往研究には次のようなものがある。毛利ら¹⁾は、プローブデータを用いて、保有している自動車がどのように稼働し、走行・駐車しているか分析を行った。その結果、1日のうち走行せずに駐車している時間は約95%であると示し、これら

の車をシェアリングや自動運転によって活用することにより、住宅地や商業地の駐車スペースが必要なくなり、新たな歩行者を中心とする空間が創出できるとしている。香月ら²⁾は自動運転車両導入後は人口密度が比較的高い地域において、現状と比較して駐車時空間が削減できるとしている。

また、自動運転車両を用いたCSに関する既往研究について、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ている。その結果、シェアリングに置き換える171万トリップを5万台の自動運転車両で担うことが可能であると算出している。古澤ら⁴⁾は、意識調査をベースとして車両の借り手側（サービス利用者）だけでなく、貸し手側（サービス提供者）の行動をモデル化してシステムの運用シミュレーションに組み込み、各種のインパクト分析を行っている。しかし、大きな影響を受けるであろう都心部の駐車時間の分布等、およびゾーンにおける流入・流出の時間的変動については十分な検討はなされておらず、本研究ではそこに焦点を当てる。

本研究の特徴は以下の通りである。

- 1)熊本都市圏パーソントリップ調査から、自家用車の現在の走行・駐車特性を分析する。
- 2)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AVSサービスの運用シミュレーションを実行し、AVSサービス導入前後の走行・駐車特性の変化をゾーン別に分析する。
- 3)熊本都市圏におけるAVSサービスの導入が都市構造やモビリティ、特に都心部の駐車時間の分布等に与える影響の分析を行う。

3. AVS転換, AV貸出モデルとAVS運用シミュレータ

本研究で利用する既存研究⁴⁾AVS運用シミュレータの概要とパーソントリップ調査からの走行や駐車特性などを分析方法について述べる。

(1)AVSサービスに対する利用意向調査

(a)調査概要

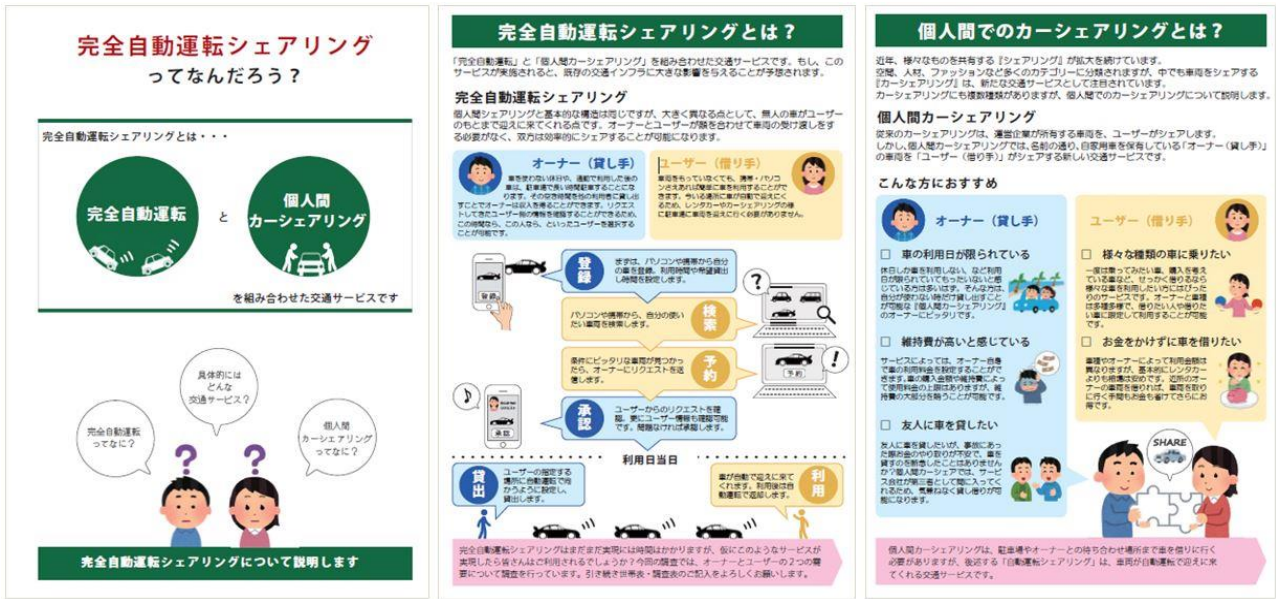


図-4 アンケート調査時に用いたパンフレット

表-3 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 (15)	1/2

注) トリップによっては () 内の値を用いる。

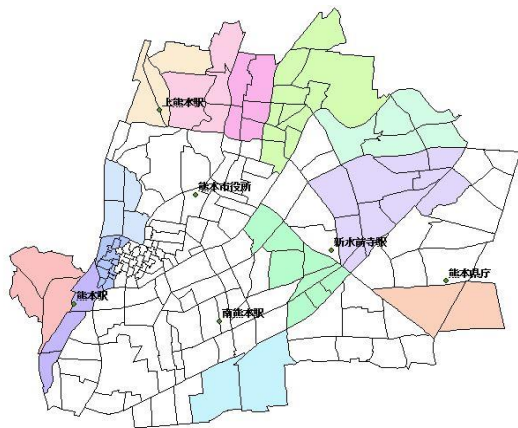


図-3 アンケート調査実施地域

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、一般の人が完全自動運転を提供することになる。従ってAVSサービスに対する利用意向だけでなく、自動運転車の購入意向や貸出意向を把握する必要がある。そこで本シミュレータでは、同一被験者に完全自動運転車両の購入、貸出意向とAVSサービスの利用意向に関するSP調査を行っている。調査

は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抽出した13校区を選択し、各校区から任意に抽出した約30世帯への訪問留置によって実施した。調査の概要を表-3、調査対象地域を図-3に示す。調査では、次のような質問のフローをとっている。

- 1) 通常の都市圏パーソナル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) AVSサービスがどのようなサービスであるのか独自に作成した図-4パンフレットを用いて十分に説明する。
- 3) 先に回答した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-3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実験計画法によりL8(27)の直行表を作成し、その中からランダムに抜き出した4つのプロファイルに対して、被験者にAVSサービスの利用意向を回答してもらう。
- 5) さらに自動運転車両の購入するための、車両価格の最少額について質問を行う。
- 6) 購入しても良いと回答した場合はAVSサービスに自動運転車を貸し出すか否か、貸し出すとした時の最低貸出価格を尋ねた。これによりサービス利用者としてのAVSサービスに対するサービス利用者としての選考意識だけでなく、車両サービス提供者としてのAVSサービス貸出選考意識も把握することが可能となっている。

(2) AVS転換モデルと貸出モデル

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。モデル推定結果を表-4に示す。各パラ

表-4 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	

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)AVS貸出モデルの推定

AVS貸出モデルは，図-5に示すような上位が車両を購入するか否かを，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段階的な選択構造を仮定し，次式のネスティッドロジットモデルとする。

$$P(a) = P(s) \cdot P(a|s) \tag{1}$$

ここで $P(a)$ は個人 n が車両を貸出す確率， $P(s)$ は車両を購入する確率， $P(a|s)$ は車両を購入したという条件下で車両を貸し出す条件付き確率であり，それぞれ以下のようになる。

$$P(s) = \frac{\exp\{\lambda(V_s)\}}{\exp\{\lambda(V_s+I_s)\} + \exp\{\lambda(V_r)\}} \tag{2}$$

$$P(a|s) = \frac{\exp\{V(a|s)\}}{\exp\{V(a|s)\} + \exp\{V(b|s)\}} \tag{3}$$

ここで I_s は以下で定義される合成変数である。

$$I_s = \frac{1}{\lambda} \ln\{\exp(\lambda V_{(a|s)}) + \exp(\lambda V_{(b|s)})\} \tag{4}$$

$V(a|s)$ は車両を購入するという条件のもとで車両を貸出す場合の効用， V_r は車両を購入しない場合の固有の効用， $V(b|s)$ は車両購入下で車両を貸出さない場合の固有の効用である。

サービス提供者としてのAVSサービス利用意向は，自動運転車両を購入するための車両価格の最小額と，自動運転車両を貸し出すとした時の最低貸出価格しか質問していない。そのため，選択肢毎の車両価格を貸出価格の値が存在せず，式(2)と(3)の V_s や V_r の中でこれらの値が設定できない。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

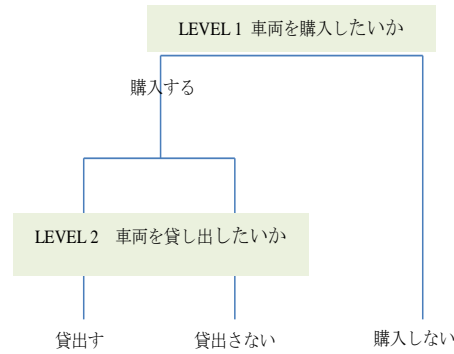


図-5 ネスティッドモデルの選択ツリー

格 R_{min} と任意のレベルとの大小関係によって車両を購入するか否か，車両を貸出すか否かを以下のように設定した。

- 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) $C_{min} < C$ かつ $R_{min} > R$ の場合は車両購入下で車両を貸出さない。
- 3) $C_{min} < C$ 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。

モデルの推定結果を表-5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妥当であり，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。

(3) 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

表-5 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)		
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		

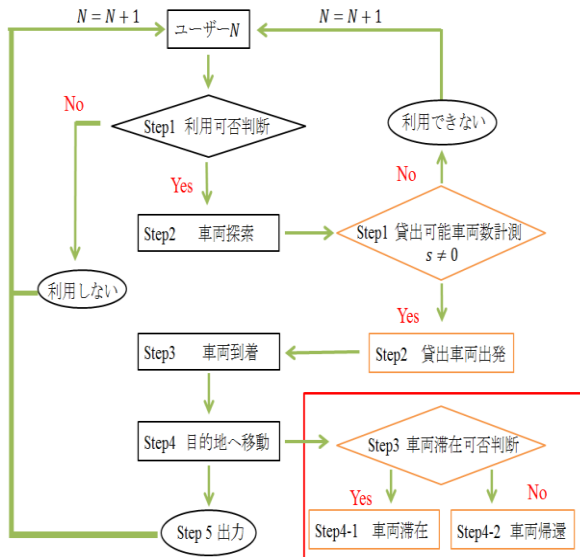


図-6 AVS サービスのシミュレーションフロー

用者がいれば、車両は車両提供者の元から再び貸し出される。これに対して AVS サービスでは、車両提供者が自らの AV を用いてトリップを開始するまでの間は継続的に AVS サービスを提供することができる。このような AVS サービスの運用を表現するシミュレーションモデルのフローを図-6 に示す。詳細な説明は文献 4) にゆずる。

4. インパクトの評価方法

(1) 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によりAVSサービス導入による各種インパクトを分析する対象地域は、「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」の対象地域と同様に、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。トリップの発時刻にばらつきを与えるため、拡大率によって生成される個々のトリップに $N(0, 5.0)$ に従うばらつきを与えた。また、発着地について、ゾーン内での空間的なばらつきを与えるため、トリップ毎に発・着Cゾーン内にある全てのノードにランダムで割り付けた。

AVS サービスを提供する可能性がある者は1)対象地域内に居住しているか、2)1日のトリップチェーンの中で少なくとも一度は AVS サービス地域内へのトリップがあるかのいずれかである。PT 調査のマスターデータからこの条件を満たす潜在的サービス提供者 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ため、全てのトリップの発着地をジオコーディングしたデータを利用する。元々のジオコーディングデータは緯度経度の情報を持つが、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、潜在的サービス提供者を4次メッシュ内にランダムに配置した。

(2) 車両の移動と停止

AVS サービスが普及すると、今まで1日中利用されず自宅の車庫に保管（以後、この時間を車庫保管時間と記す）されたり、職場近くの駐車場に駐車（以後、この時間を駐車場駐車時間と記す）したり、1日に1回は使用するが大半の時間を自宅に駐車（以後、この時間を自宅駐車時間と記す）していた車両が、AVS 車両としてサービスを提供すると、現在よりも車庫保管時間や駐車場駐車時間、自宅駐車時間（以後、これらを合わせて停止時間と記す）は減少し、それによってかなりの駐車場が不要になると予想される。AVS サービスの導入前後の個々の車両の走行と停止している時間を集計することで、AVS サービスの導入が停止時間に与える影響を明らかにする。以後、「自宅駐車時間」と「駐車場駐車時間」の合計値を「総駐車時間」、走行している総時間を「総移動時間」とする。ここで、自動車によるトリップの出発時刻と到着時刻までの時間を移動時間とし、到着後から次の自動車によるトリップの出発時刻までの時間を停止時間とする。駐車場駐車時間はトリップを行った際の目的地での停止時間であり、自宅駐車時間は1日に1度は利用された車両の自宅での停止時間である。車庫保管時間は1日に1度も利用されなかった車両の車庫での停止時間である。

(3) 熊本都市圏の走行・駐車特性分析

熊本市において自家用車が1日の内どのように利用されているか把握するために、第4回熊本都市圏PT調査のマスターデータから自家用車の全トリップを抽出し、それらの総移動時間と総停止時間を算出した。図-7に1日の移動・駐車場駐車・自宅駐車・車庫保管各々の総時間の構成を示す。1日のうち、車両の移動時間はわずか3.1%であり、1日を通して車両は大半の時間は停止している。停止時間を細かく見ると、自宅駐車時間が44.4%、車庫保管時間が26.7%と自宅での停止している時間が大半を占めている。また、目的地で駐車している駐車場駐車時間も25.7%もある。駐車場駐車時間の目的別構成を図-8に示す。出勤目的の駐車場駐車時間が全体の68.9%を占めている。また、図-9に示すように、自動車でトリップを行う人のうちの35.0%がピストン型であり、出勤

表-6 基本設定

	AVS サービス
車両価格	700 万円
貸出料金	30 円/分
予約リードタイム	30 分前

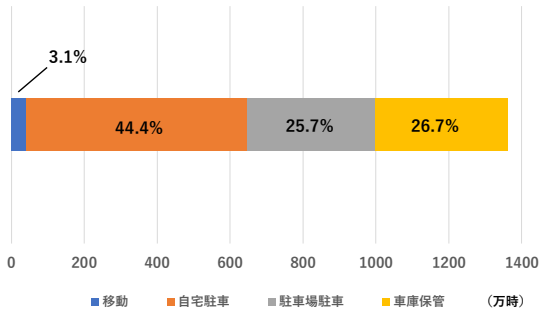


図-7 移動, 駐車場駐車, 自宅駐車, 車庫保管時間の構成

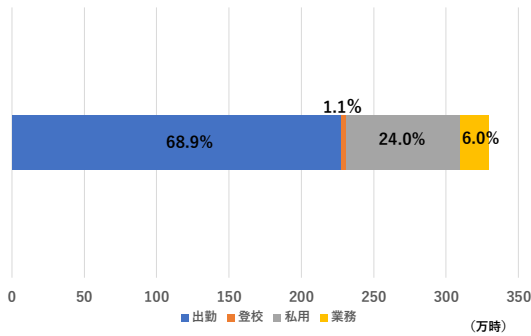


図-8 目的別駐車場駐車時間の構成

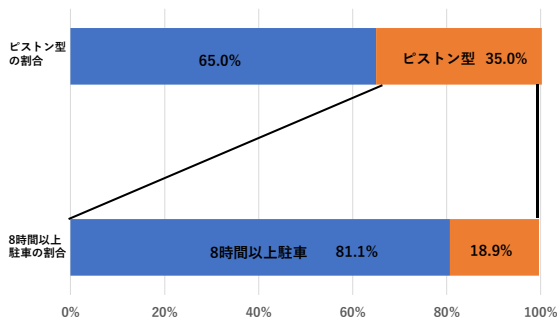


図-9 ピストン型の構成

と帰宅時のみ車両を利用する。そのうち、勤務先で8.0時間以上駐車する割合は、81.1%もある。勤務先で長時間駐車したままになっている車両が多いことがわかる。

5. AVSサービス導入によるインパクト評価分析

(1) AVS運用シミュレーションの基本設定

運用シミュレーションを行う際の車両価格と貸出料金、予約リードタイム等の基本設定値を表-6に示す。基本設定値をモデルに設定したAVS貸出モデルを潜在的AVSサービス提供者全員に適用した結果、AVを貸出すサービス提供者数は720人となった。そのうち対象地域内に居住しているサービス提供者は419人、対象地域外に居住し、AVにより対象地域内を目的地としたトリップを行うサービス提供者は301人である。シミュレー

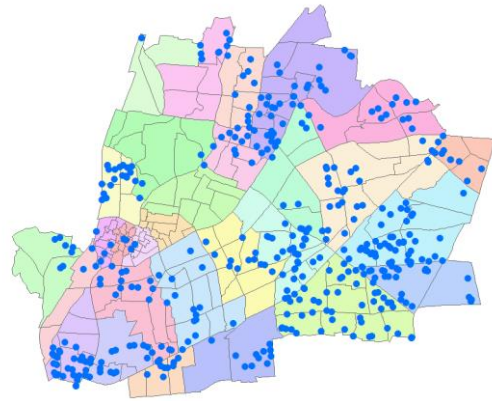


図-10 シミュレーション開始時の車両配置

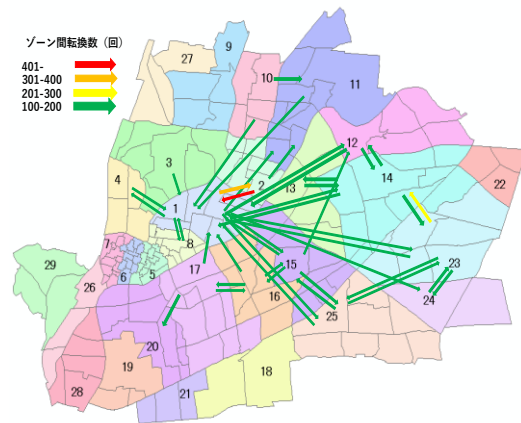


図-11 AVSへの転換が多いOD

ションを開始する午前3時の貸出車両の空間分布を図-10に示す。シナリオ分析の結果については参考文献⁹⁾を参照されたい。

(2) AVSサービスの利用需要の分布

AVSサービス導入後のCゾーン間のAVSへ転換したCゾーン間ODトリップを表-7に示す。図-11には転換の多いゾーンペアを矢印で示した。図には100トリップ以上の転換があったゾーンペアだけを表示している。ゾーン内内トリップ、および中心部を発着地とするトリップ、特に隣接するゾーン間での転換が多いことがわかる。このように距離の短いトリップにおいてAVSサービスが利用される。一方で、23や24、11など周辺部から中心部に向けてのODでもAVSへの転換が見られる。

今まで徒歩や自転車で移動していたトリップをAVSに転換すると、移動時間が短縮する。AVSサービス導入前

表-7 AVS に転換した OD トリップ数

OD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	12	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	27	26	29	28	計	
1	1,425	335	61	132	36	39	31	113	96	94	105	52	132	115	139	78	82	61	42	74	27	42	173	101	111	19	36	21	31	3,803	
2	450	480	22	27	5	17	2	35	47	90	106	23	92	73	60	56	19	24	16	18	5	9	82	35	23	3	29	8	11	1,867	
3	135	38	68	44	7	8	8	9	30	8	32	5	16	15	4	8	13	4		11	5	6	12	4	7	2	14	3	7	523	
4	143	27	58	288	3	25	16	37	23	21	26		17	28	12	14	11	11	6	8	16	2	17	18	9	13	31	7	33	920	
5	78	14	6	14	29	16	3	26	3		4			2	9	5	9	4	8	1	1		7						3	242	
6	73	7	2	26	16	43	16	10			10	3		13	3	7		14	3	2	10		10	2	7	8		2	15	302	
7	44	22	11	18		18	18	1	1				4	3	4	2	9	4		1	6	8	6	5	7		7		8	207	
8	168	44	18	27	12	11	4	91	7			23	9	14	10	28	25	22	8	2	22	4	24	17	29	18	4	4	1	3	649
9	64	57	39	19				1	4	194	66	29	3	17	10	15	11	4	14	3	5		21	10	10	3	34	4	9	646	
10	126	87	34	21	3			9	84	265	103	9	16	8	6	2	20	3	5		3	3	6	3	8	3	21	4	7	859	
11	141	93	27	24	1	9		16	31	82	556	65	88	52	45	42	18	6	10	26	4	6	28	8	30	1	9		8	1,426	
13	53	15	10	7		5		10	7	11	77	142	37	113	9	3	10	6	4	5	1	30	27	20	6		1		1	610	
12	151	98	14	16	1	3	2	15	20	20	88	38	387	128	86	52	13	23	20	25	9	5	66	27	40	4	4	5	7	1,367	
14	138	41	16	13		11	3	9	23	12	84	110	135	387	52	69	27	15	8	26	3	39	187	44	50	30	13	1	8	1,554	
15	194	36	11	6	8	6	11	27	12	18	37	30	133	65	292	136	48	42	10	22	21	8	50	25	113	8	8	6	8	1,391	
16	117	35	15	40	9	9	2	13	20	4	56	14	86	61	175	328	140	88	14	49	18	11	66	31	49	15	3	12	5	1,485	
17	126	28	19	9	7	8		35	8	14	42	6	12	37	38	170	326	95	44	101	34	5	25	12	24	8	5	22	12	1,272	
18	55	17	6	6		13		6	15	5	5	6	16	13	35	58	83	283	24	19	59	7	9	7	50	5	1			803	
19	40	17	4	7	4	2	2	4	4	3	5		15	8	11	4	46	15	107	72	47	2	12	7	12	9		19	5	483	
20	60	17	10	16	2	3	5	18	14	1	25	14	7	15	18	40	72	45	63	166	71	2	11	11	19	29	1	30	15	800	
21	16	4	8	6		14	4	2	2	3	7	3		13	10	10	31	53	25	48	44		4	8		1	6	1	323		
22	21	1	2					14		2	3	11	3	45	3	4	1		3			102	80	7	1				1	303	
23	136	54	24	17	1	10	2	10	25	3	36	20	58	211	86	50	14	19	6	16	7	67	670	108	154	11	15	5	2	1,837	
24	95	41	3	11		4	4	20	10	12	14	20	26	60	20	36	18	15	13	5		19	142	188	81	8	1	2	21	889	
25	104	46	3	6		8	8	9	7	2	20	4	28	44	117	51	37	67	3	9	6	10	100	74	380	5	4	3	3	1,158	
27	47	2	3	5		2	2	1	4	3		5	7	28	13	6	14	1	6	21	1	9	9		1	25	1	9	20	245	
26	20	11	4	10		5	2	1	49	12	6	6	6	3	3	7	5	4	2	1			8		9		63		1	238	
29	20	7	2	10	2		2		1	2	1	1		3	1	12	7	4	4	26	14	6	5		8	6	5	101	13	259	
28	37	5	3	8	3	5	4	6	5	5	3		13	10	5	1	4	4	8	11	1		2	5	3	13	4	39	207		
計	4,277	1,679	503	833	149	294	152	551	742	758	1,503	603	1,364	1,574	1,297	1,294	1,098	928	482	783	411	408	1,852	781	1,238	232	311	275	296	26,668	

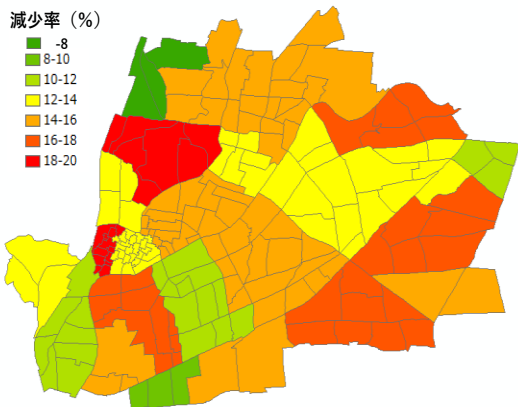


図-12 徒歩移動時間変化率

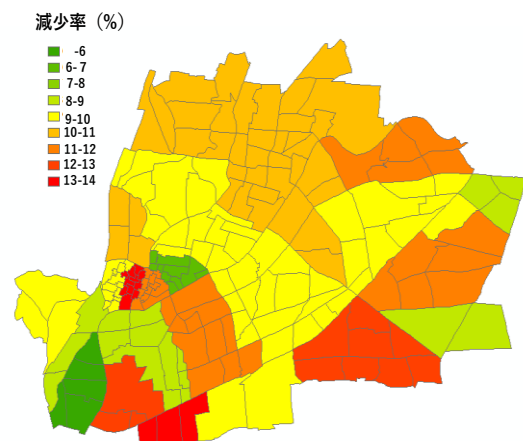


図-13 自転車移動時間変化率

の移動時間と導入後を比較し、変化率を求めた。図-12が徒歩からAVSに転換したトリップの移動時間の変化率、図-13が自転車からAVSに転換したトリップの移動時間の変化率である。徒歩と自転車からの移動時間は全体的に10%程度減少し、目的地に向けての移動時間が現状よ

りも短くなる。

(3) AVSサービス導入後の走行・駐車特性分析

(a)移動時間と駐車時間

自動車は1日の大半の時間が、車庫保管時間と駐車場駐車時間となっていた。これまで自家用車を利用していたトリップがAVSサービスを利用すれば、移動時間に変化はなくても、目的地での駐車場駐車時間は大幅に減少するであろう。一方で、徒歩や自転車などからAVSサービスに転換した場合、自動車としての移動時間も駐車場駐車時間も増加する。このようにAVSサービスの導入は、AVを含む自動車（以後、両者を合わせたものを自動車類と記す）の移動時間と駐車時間に大きな影響を与えることになる。そこでAVSサービスの導入前後の対象地域全体のAVを含めた全自動車の「総移動時間」と「総駐車時間」を算出して両者を比較する。その結果を図-14に示す。まず図-14から移動と駐車との和が30.15万時間から25.79万時間に減少する。しかし、移動時間の比率は3.9%から5.0%に増加する。

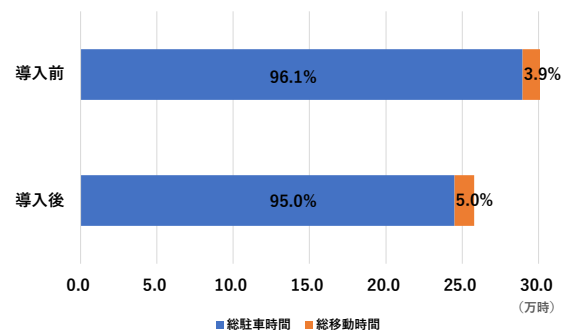


図-14 導入前後の1日の総移動・駐車時間の割合

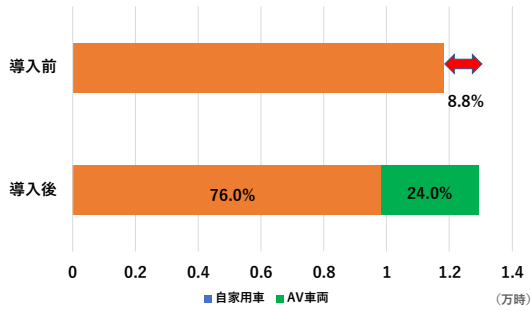


図-15 導入前後の総移動時間

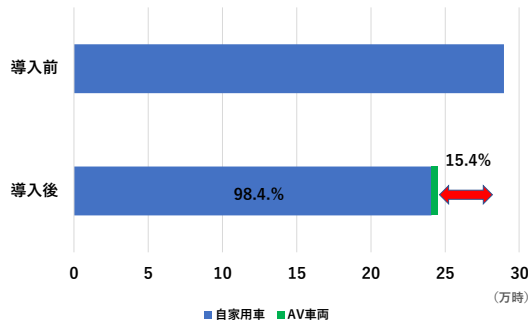


図-16 導入前後の総駐車時間

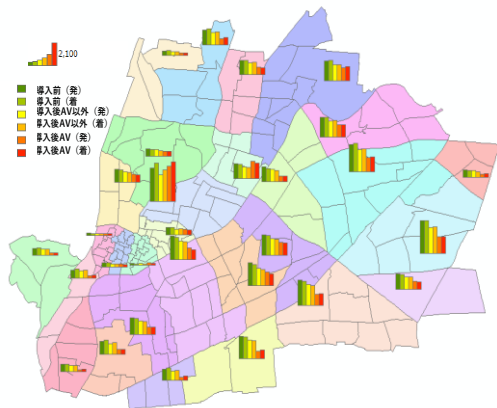


図-17 導入前後の発着回数

その移動時間は図-15に示すように、実は1.181万時間から1.292万時間に8.8%増加してしまい、総移動時間の24.0%はAV車両によるものである。駐車時間については図-16に示すように、28.97万時間から24.50万時間に15.4%減少する。AV車両による総駐車時間は0.4149万時間とわずか1.6%ほどである。

(b)ゾーン別発着回数と駐車台数

図-17にAVSサービス導入前後の自動車類の総発着回数を示す。AVSサービス導入前は、中心部や水前寺等のゾーンで発着回数が多い。自家用車とAV車両の合計である自動車類発着回数は、全ゾーンで増加している。特に、中心部ではAVSサービス導入前の約2倍にまで発着回数が増加する。

発着する車両の時間的推移を見るために、トリップの出発時刻をゾーンからの流出時刻、到着時刻を着ゾ

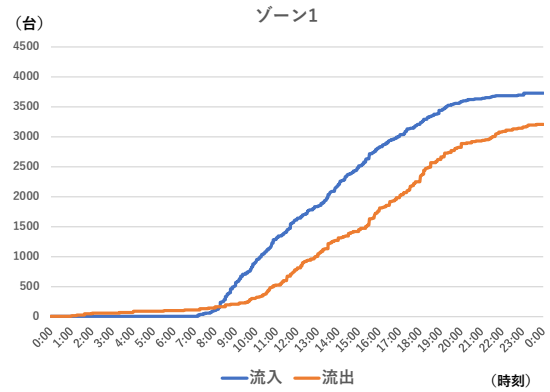


図-18 導入前の車両の流入・流出数の累積曲線

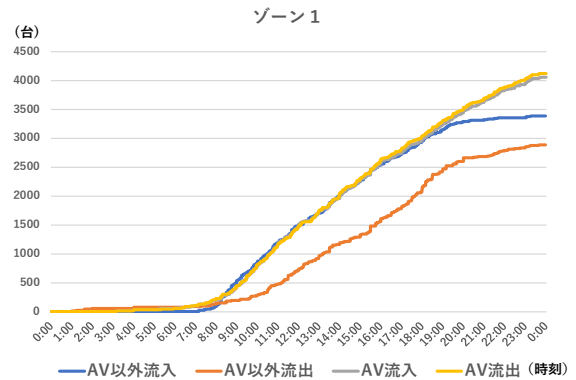


図-19 導入後の車両の流入・流出数の累積曲線

ンへの流入時刻としゾーン毎に流入・流出台数の累積曲線を描いた。発着回数とAVSへの転換数の大きかった中心部(ゾーン1)のAVSサービス導入前後流入・流出台数の累積曲線を図-18と図-19に示す。導入後は自家用車とAV車両を区別している。縦軸は、ある時点における累積流入量と累積流出量の差が大きいほど、ゾーン内に駐車している台数が多いことを示す。横軸の累積流出量と累積流入量の差が、平均駐車時間を示す。午前7時~8時にかけて車両の流入が流出よりも大きくなっており、昼間はゾーン内に駐車している車両が多いことを示している。24時時点においても累積流入が累積流出よりも大きいのは、車を中心部において帰るなどの理由でゾーン内に車両が存在しているためであり、中心部特有の現象と言って良いであろう。

AVSサービス導入後は、自家用車からAVSサービスに転換したトリップの分、自家用車の累積流入・流出数は減少している。これに対して、AVサービス車両は、通勤時の午前8時から急激に流入が増加し、その後、午前0時まで1日中、流入を出している。しかし、流入・流出曲線にほとんど差がない。これは都心部への流入は多いものの、利用者を送迎した後、ほとんど駐車をせずに、次の利用者の元に向かっていることを示している。

(c)駐車時間

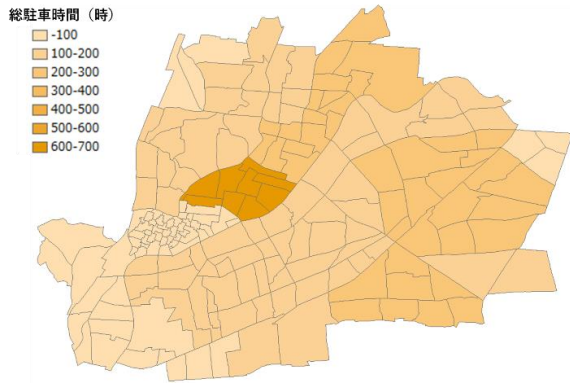


図-20 AV 総駐車時間

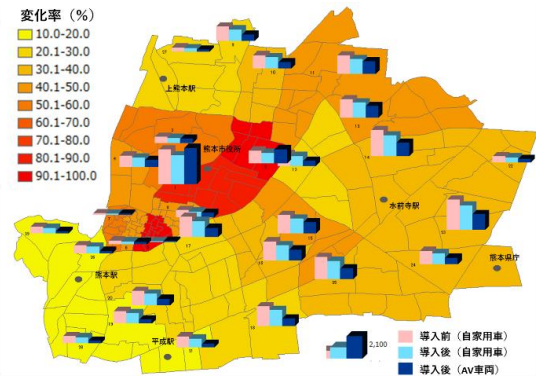


図-22 総駐車回数の変化率

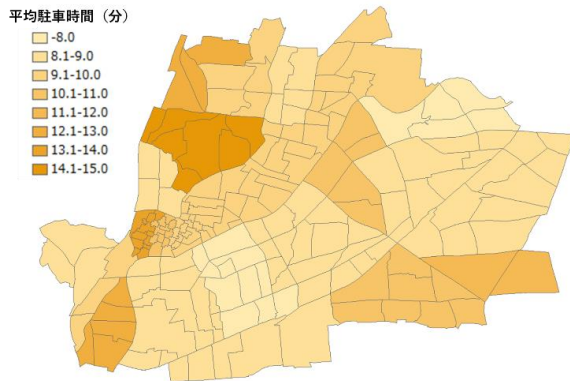


図-21 AV1 台当たりの平均駐車時間

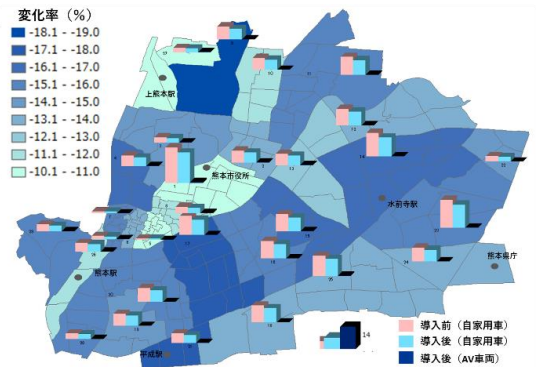


図-23 総駐車時間の変化率

AVSサービスは需要があれば連続的にサービスを提供できるため長時間の駐車を必要としなくなる。AVの動きを把握することによって、都市とモビリティに与える影響を把握できる。AVSサービスが導入された後のゾーン別のAVS車両の総駐車時間を図-20に、AV1台当たりの平均駐車時間を図-21に示す。中心部では総駐車時間は600時間と最も長いですが、AV1台当たりの駐車時間の平均値が9.0分と短い。逆に、上熊本地域や二の丸地域では総駐車時間は約100時間と短いですが、車両1台当たりの平均駐車時間はわずか14分となる。このように、都心部ではそこが目的地となっているAVのトリップが多いものの、1台当たりの駐車時間は短く、回転率が大きい。また、最も駐車時間が長いゾーンにおいても平均値は14~15分であり、対象地域全体の平均駐車時間は8~15分になるなど、AVの1回当たりの駐車は極めて短くなる。

次に、AVSサービスの導入が駐車特性に与える影響の分析結果について述べる。AV車両を含む自動車類のゾーン別の駐車車両数とそれらの駐車時間を算出し、導入前後の駐車特性の変化を求めた。図-22にゾーン別の総駐車回数の変化率を示す。総駐車回数は、徒歩などがAVに転換するため、全ゾーンにおいて増加する。特に中心部で増加率が高く、駐車回数は約2倍に増加する。一方、ゾーン別の総駐車時間の変化率を図-23に示す。AVの流入数が増加する中心部でも、総駐車時間は約12%ほど減少する。しかし、その他のゾーンでは約15%

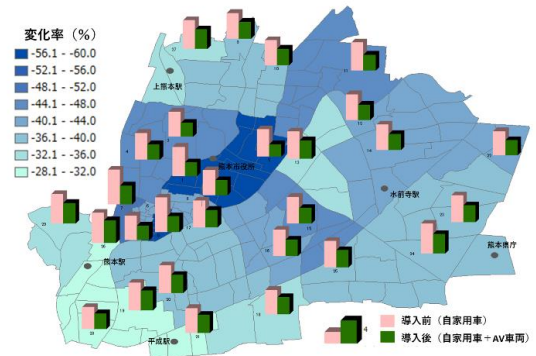


図-24 平均駐車時間の変化率

以上減少するゾーンが多い中、中心部では変化率は低い。

図-24にゾーン別の1台当たりの平均駐車時間の変化率を示す。AVSサービスへの転換が多い、ゾーン1とゾーン2で変化率は大きく、約50%も減少している。総駐車回数の増加率の低いゾーンにおいても、約30%ほど減少している。AVSサービスの導入後では、駐車特性に大きな変化をもたらし、現状よりも駐車スペースが不要になると考えられる。

6. おわりに

本研究では熊本都市圏におけるAVSサービスの導入が、

都市構造やモビリティ、特に都心部の駐車時間の分布等に与える影響を、導入前と導入後を比較することで分析を行った。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) 第4回熊本都市圏PT調査のマスターデータより、現在の熊本都市圏の走行・駐車特性の分析を行った。
- 2) 熊本都市圏において1日のうち、車両の移動はわずか3.1%であり、1日を通して車両は大半の時間を停止していることが明らかになった。
- 3) ゾーン別にAVSサービス導入前後の発着回数、および転換の多いゾーン間を明らかにし、比較的距離の短いトリップにおいてAVSサービスが利用されやすいことが明らかになった。
- 4) AVSサービスの導入による熊本都市圏に与える影響分析を行い、導入前後の総移動時間と総駐車時間の変化が明らかになった。
- 5) AVSサービス導入前後の駐車回数、駐車時間、平均駐車時間を求め、熊本都市圏の駐車特性に与える影響を分析し、現在よりも駐車スペースが不要になることが明らかになった。
- 6) AVSサービスへの転換により、移動時間が短縮することが明らかになった。
一方で、今後取り組むべき課題には以下がある。
- 1) PT調査からの走行・駐車特性においては、PT調査には施設の種類や目的といった多くの属性値があり、より詳細な車両の1日の利用のされ方を分析することができるため、より綿密な車両の動きを分析する必要がある。
- 2) 本研究ではゾーン別に発着地を区別したが、AVサービス車両がどの経路をたどり運行したのかが把握できれば、AVSサービス導入による、各リンクにおける車両の交通量を把握できる。
- 3) AVSサービス導入により、対象地域の駐車時間が減少することは明らかになったが、都市における駐車スペースがどの程度必要なくなるのか示す必要がある。
- 4) 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。今後自動運転車両の車両価格や、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。
- 5) 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。

- 6) シミュレータの基本設定を変更した場合の、走行・駐車特性分析を行う必要がある。

参考論文

- 1) 毛利雄一, 若井亮太, 橋本雅道: OD及びプローブデータを用いた自動車の走行及び駐車特性に関する分析, 第55回土木計画学研究発表会・講演集, Vol.55, CD-No.46-11, 2017.
- 2) 香月秀仁, 東達志, 高原勇, 谷口守: シェア型自動運転交通“Shared-adus”導入による駐車時空間削減効果, 都市計画論文集 Vol.53, CD-No.3, 2018.
- 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, Vol.54, CD-No.298, 2016.
- 4) 古澤悠吾, 溝上章志, 森俊勝: 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, 第57回土木計画学研究発表会・講演集, Vol.57, CD-No.14-04, 2018.
- 5) 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, 2018年1月10日引用
- 6) 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」, 2018.
- 7) 国土交通省・都市局, まちづくり推進課, 都市計画課, 街路交通施設課: 「まちづくりと連携した駐車場施策ガイドライン (基本編) 」, 2018年.
- 8) Anyca HP, データで見る個人間カーシェアサービス「Anyca(エニカ)」の今, https://anyca.net/campaign/infographic_201810, 2018年1月10日引用
- 9) 森田琢雅, 溝上章志, 中村嘉明: ICカードデータによる熊本市電利用者の行動特性分析とダイヤ編成への活用 (Analysis of tram users' behavior and evaluation of operation by using smart card data), 土木学会論文集D3, Vol.73, No.5, pp.1-993-1-1001, 2017.12.
(2019.???.?? 受付)

IMPACT ANALYSIS OF AUTONOMOUS DRIVING CAR-SHARING SERVICE ON VEHICLE MOVING AND PARKING TIME

Ryoma YAE and Shoshi MIZOKAMI and Hayato KOGA

This research investigates the impact of popularization of services combined peer-to-peer car sharing and autonomous driving vehicle on mobility and parking demand by simulation analysis. As a feature,

based on the awareness survey, not only the borrower side of the vehicle but also the usage intention of the lender side are modeled and incorporated into the operation simulation of the system. As a result, the average parking time in the entire urban area is about 15 minutes. In particular, the number of trips increases and the total parking time increases in the center city by AVSs, but the parking time per vehicle is extremely short, about 8 minutes. Parking space can be reduced. Thus, it became clear that the AVS service has a significant effect on vehicle movement and parking time.