

# 都市内交通シミュレーションを用いた 共有型完全自動運転車両の普及による 社会的便益に関する研究

松中 亮治<sup>1</sup>・大庭 哲治<sup>2</sup>・住川 俊多<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 京都大学大学院工学研究科 (〒615-8530 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail : matsu@urban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 京都大学大学院工学研究科 (〒615-8530 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail : tetsu@urban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

<sup>3</sup>学生会員 京都大学大学院工学研究科 (〒615-8530 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail : shunta.s@urban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

本研究では、共有型完全自動運転車両 (SAV) の普及を想定した都市内交通シミュレーションモデルを用いて、仮想都市を対象に、その普及に伴う社会的便益と、駐車場立地の変化による社会的便益への影響を分析した。

その結果、都市内の自家用車トリップがすべてSAVに転換するなどの仮定の下ではあるが、1日あたり約3,700万円の社会的便益が生じ、運転の必要がないことによる時間価値の減少を想定した場合には、さらに約1,500万円の便益が生じること、必要な車両数は現状の自家用車台数の約0.12倍、総駐車場面積は現状の0.23倍になり、キロメートルあたり運用コストは約45円/kmと安価で、サービス普及の可能性が十分にあること、駐車場の立地の違いはSAV導入時の社会的便益に明確な影響を及ぼさないことを明らかにした。

**Key Words** : *autonomous driving, Shared Autonomous Vehicle, urban traffic simulation, social benefit*

## 1. はじめに

### (1) 背景と目的

近年、自動運転技術の開発競争に並行して、この技術を用いた新たなサービスやビジネスモデルの開発が盛んにおこなわれている。その一つに共有型完全自動運転車両 (SAV) を用いた交通サービスが挙げられる。これは無人で自走する自動運転車両をスマートフォンアプリなどで呼び出し、目的地まで移動できる交通サービスであり、運転の負担なく Door to Door で移動可能なオンデマンドの新しい交通手段である。本研究ではこのサービスに用いられる車両を SAV (Shared Autonomous Vehicle) と呼称する。SAV サービスは米国ライドシェア大手の Uber Technologies が 2016 年より実証実験を行う等、世界各地で実用化に向けた動きが進んでおり、日本でも国土交通省が 2020 年までに地域を限定した無人運転移動サービスを実用化することを目標に掲げ、民間と連携した技術開発や、道路法整備を進めている<sup>1)</sup>などの動向が見られ、SAV が一般的に利用可能になる将来は近いと考えられる。

SAV の普及は、既存の交通体系を大きく変化させる可能性を持つだけでなく、インフラ設備に対しても影響を及ぼすことが考えられる。たとえば、自家用車から SAV への転換が進むと、移動目的地に駐車をする必要がなくなるため、駐車場需要の減少が見込まれる。新しいテクノロジーに対応した、効率的な都市計画を行っていくためにはこのような影響をシミュレーション研究などによって予測することが必要不可欠である。

そこで本研究では、仮想都市を設定し SAV の普及に伴う社会的便益を都市内交通シミュレーションによって明らかにする。また、駐車場立地を変化させたシナリオ分析を行い、社会的便益を比較する。これらにより SAV の普及の可能性を予測すること、また、SAV 普及時の駐車場の需要と有利な駐車場立地についての示唆を得ることを目的とする。

### (2) 既往研究のレビューと本研究の特徴

自動運転車を想定した都市内交通シミュレーションを用いた研究は国内外に複数見られる。

Fagnant *et al.*<sup>2)</sup>は、仮想都市を対象として、トリップの都市中心への集中度、総トリップ数、移動速度を変更した複数のシナリオについてシミュレーションを行い、SAVの走行効率を比較している。また、Fagnant *et al.*はこのシミュレーションの対象都市をテキサス州オースティンとした研究<sup>3,4)</sup>を行い、SAV導入による環境負荷の算出や、ライドシェアの導入による運行効率の変化、SAV運営事業の採算性を明らかにしている。国内の研究としては、都市機能が集約した場合、拡散した場合、現状から変化しない場合の3つのシナリオについて自動運転車両の運行効率を比較した東ら<sup>5)</sup>の研究や、多項ロジックモデルより求めたSAVの普及する運賃と平均待ち時間を制約条件としてシミュレーションを行い、必要車両台数や自動運転シェアカー運用の事業採算性を明らかにした山本ら<sup>6)</sup>の研究、トリップ主体の個人属性とトリップ目的、地域属性を考慮したシミュレーションによりSAVの導入可能性を分析した香月ら<sup>7)</sup>の研究などがあげられる。しかし、これらは駐車場の立地のような都市機能の変容については着目していない。

自動運転車両を想定した都市内交通シミュレーションを用いた研究で、かつ駐車場に着目した研究には香月ら<sup>8)</sup>の駐車時間削減効果についてのシミュレーション研究があげられる。ここで、駐車時間とはSAVが送迎を終えた時間から次の配車までを駐車時間とし、その合計を算出したものである。しかし、時々刻々の車両の位置の変化を考慮していないため、車両の空走時間を計算できないことや、厳密な駐車時間の計算ができないことが指摘される。また、駐車場の位置や駐車場面積の変化による影響は明らかになっていない。

以上より本研究の特徴としては、自動運転車両を想定し、時々刻々の車両の移動や駐車と道路状況の変化を表現するシミュレーションモデルを構築している点、駐車場面積や立地を細かく設定したシナリオ分析を行いSAVの普及に伴う社会的便益を算出する点があげられる。

## 2. 本研究で設定する仮想都市と都市内交通シミュレーションモデルの構築

### (1) 都市モデルの概要

#### a) 仮想都市の設定

本研究では、単一中心の仮想都市を対象に、シミュレーションを行う。都市には図-1の通り、幹線道路を持ち、それ以外にも都市全域には細街路が緻密に存在する。中心には円形のCBD (=Central Business District, 中心業務地区)が、また、環状道路沿いには複数の大型商業施設が存在する。

都市全域を 400m メッシュに分け、そのセントロイド

をメッシュノードとする。幹線道路には 250m 毎にノードを設定する。道路ネットワークは各ノードを交差点として、2つのノード間を双方向に結ぶ2本のリンクで表現する。

#### b) トリップデータの作成

1日の総トリップ数、トリップ目的、出発時間をそれぞれ人口 30万人規模の地方都市のトリップデータ<sup>9,10)</sup>より決定する。ここでは簡単のため、以下の仮定を置く。

- ・ 仮想都市内の住民のトリップは通勤・通学目的のトリップ、または、その他の目的のトリップ (以下、自由トリップ) のいずれかであるとし、業務目的のトリップは考慮しない
- ・ トリップ目的地は通勤・通学トリップの場合はCBDまたは市街地内の任意の地点、自由トリップの場合はCBDまたは大型商業施設のいずれかとする
- ・ 目的地に滞在後は別の場所へは移動せずに帰宅するただし、市街地とはメッシュ人口が 5人/ha以上でCBDに属さないメッシュとする。トリップの出発地と目的地は、牧野<sup>11)</sup>のシミュレーション結果を用いる。詳細は付録に記載する。

### (2) 都市内交通シミュレーションモデルの構築

都市内交通シミュレーションでは午前3時を開始時間とし、翌午前3時(27時)までの24時間の交通の様子を再現する。

#### a) 本研究で想定する SAV

SAVは完全自動運転(SAEレベル5)であり、個人では保有せず都市全体で共有するものとする。利用者は出発予定時間の10分前に予約を行い、SAVの到着を待ち、目的地へ向かう。また、本研究においては同一車両に異なる移動目的の乗客が乗り合わせるライドシェアは考慮しない。

#### b) 自動車交通の表現

道路ネットワーク内の車両の移動は、車両の位置情報を更新することで表現する。位置情報を更新するスキニングインターバル  $\Delta t$  は3秒に設定する。

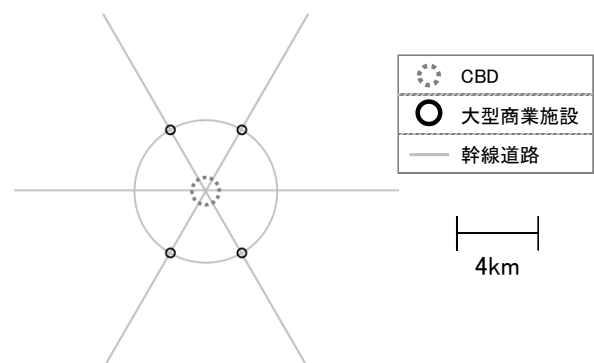


図-1 都市モデルの概形

車両がリンクを走行する際の走行速度は、J・Drake によって提唱されている(1)の K-V 式<sup>12)</sup>で算出する。

$$v_i(t) = v_f \cdot e^{-1/2(\frac{k}{k_0})^2} \quad (1)$$

ただし、

- $v_i(t)$  : 時刻  $t$  での車両  $i$  の速度
- $v_f$  : リンクの自由走行速度
- $k$  : リンクの交通密度
- $k_0$  : リンクの臨界密度

リンクの自由走行速度は、一般道路では 40km/h、幹線道路では 60km/h と設定し、最低走行速度を一般道路では 5km/h、幹線道路では 10km/h とする。リンク上での他の車両との車間距離は考慮せず、走行位置はリンク長、走行速度、走行時間のみで決定する。また、交通密度の上限値は設定しない。

**c) 車両の移動経路探索**

道路ネットワーク上を走行する車両は 10 分ごとに更新される最短所要時間経路情報に従って経路を選択する。この最短所要時間経路情報は、リンクごとの走行所要時間を利用して、ダイクストラ法に基づいて算出したものである。また、本モデルでは、移動経路探索時に、交差点通過ごとに直進時は 18 秒、左折時は 36 秒、右折時は 54 秒を交差点通過所要時間として加算することにより交差点の所要時間を表現する。

**d) 配車行程**

利用者から予約が入ると、配車が可能な車両のうち、最短で到着できる車両が割り当てられ予約者の元へ向かう(迎車走行)。この時、道路混雑状況の変化によって迎車の到着が予約者の出発時間よりも遅くなり、出発予定時刻と実際の出発時刻にずれが生じることがある。これを待ち時間と定義する。推奨最大待ち時間を 10 分と設定し、これを超えてしまう場合にはもう一度車両の探索を行い、予約者のもとへより早く到着することが可能な車両を新たに配車する。予約者の元へ到着後、出発予定時間まで待機した後に、予約者を乗せて移動目的地に向かう(営業走行)。予約者の目的地に到着後は最寄りの駐車場へ向かい(回送)、次に配車されるまで待機する(駐車)。配車割り当て対象となる車両は回送、駐車状態の車両とし、営業走行中の車両は対象外とする。

**e) 割り込み配車と迎車の到着時間確認**

自動運転車がインターネットと接続し、他の車両状況や道路状況の情報に基づいて挙動を決定することが可能である点を考慮し、以下の行程を行う。

・割り込み配車

新たな予約者 (A とする) が現れたとき、迎車状態の車両については、以下の割り込み条件を満たす場合のみ予約者 A に割り当てを変更し、その車両が元々向かって

いた予約者 (B とする) には別の車両が割り当てられる(割り込み配車)。割り込み条件は以下の通りである。

- ・ 予約者 A の元に 10 分後の出発予定時刻までに到達できる回送状態または駐車状態の車両が存在しない、かつ、出発予定時刻までに到達可能な迎車状態の車両が存在すること。
- ・ 予約者 B の出発予定時刻の 10 分後(推奨最大待ち時間を超えない時刻)までに予約者 B の元に到着可能な回送状態または駐車状態の車両が存在すること。

**f) シミュレーションモデルにおける計算過程**

以上の特徴を踏まえたシミュレーションモデルにおける計算フローを図-2 に示す。

**(3) 社会的便益の算出**

SAV 導入時の社会的便益は現状との社会的費用の差として算出する。ここで、添え字の  $pc$  は自家用車を、SAV は SAV を表す。

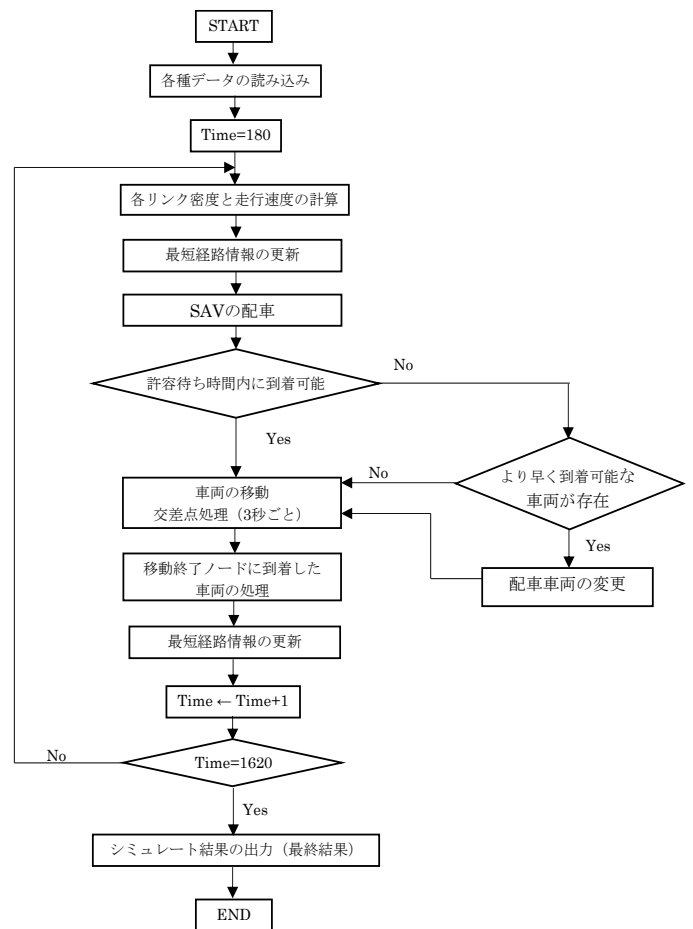


図-2 シミュレーションのフロー

$$Benefit = Cost_{bf} - Cost_{af} \quad (2)$$

$$Cost_{bf} = \sum_{N_{pc}} \left( \int Dis_{pc,i,v} \cdot FC_v \cdot P_{gasoline} \cdot dv + \omega_{pc} \cdot Time_{pc,i,trip} + Cost_{keep,pc} \right) + Cost_{park,pc} \quad (3)$$

$$Cost_{af} = \sum_{N_{SAV}} \left( \int Dis_{SAV,i,v} \cdot FC_v \cdot P_{gasoline} \cdot dv + \omega_{SAV} \cdot (Time_{SAV,i,trip} + Time_{SAV,i,wait}) + Cost_{keep,SAV} \right) + Cost_{park,SAV} \quad (4)$$

ただし、

$Benefit$  : 社会的便益

$Cost_{bf}$  : SAV 導入前の社会的費用

$Cost_{af}$  : SAV 導入後の社会的費用

$Dis_{pc,i,v}$ ,  $Dis_{SAV,i,v}$  : 車両  $i$  の速度  $v$  での走行距離

$\omega_{pc}$ ,  $\omega_{SAV}$  : 時間価値

$Time_{pc,i,trip}$ ,  $Time_{SAV,i,trip}$  : 車両  $i$  の営業走行時間

$Time_{SAV,i,wait}$  :  $i$  番目の SAV 利用者の総待ち時間

$N_{pc}$ ,  $N_{SAV}$  : 車両必要台数

$Cost_{keep,pc}$ ,  $Cost_{keep,SAV}$  : 車両 1 台あたり維持費用

$Cost_{park,pc}$ ,  $Cost_{park,SAV}$  : 総駐車場維持費

$FC_v$  : 燃料消費率原単位

$P_{gasoline}$  : 燃料費

また、駐車場維持費は以下の通りに計算する。

$$Cost_{park} = \sum_i Area_i \cdot LP_i \quad (5)$$

$$Area_i = N_{max,i} \cdot S_{pc} \quad \text{または} \quad Area_i = N_{max,i} \cdot S_{SAV} \quad (6)$$

ただし、

$Area_i$  : 駐車場  $i$  の面積

$LP_i$  : 駐車場  $i$  の地点の地代

$N_{max,i}$  : 駐車場  $i$  の必要駐車場容量

$S_{pc}$ ,  $S_{SAV}$  : 一般駐車場, SAV 専用駐車場における 1 台あたり必要駐車場面積

ここで、駐車場はすべて平面駐車場であるとする。また、駐車台数はノードごとにカウントし、必要駐車場容量とは同時に駐車していた最大の車両数とする。燃料消費率原単位  $FC_v$  は土肥ら<sup>13)</sup>の式を用いて算出する。

上記の式を用いて社会的便益を計算するにあたり、使用する外生変数の値を表-1に示す。

ここで、乗客の移動の時間価値は国土交通省資料<sup>14)</sup>より算出し、自家用車時間価値と、SAV 利用時には運転の必要がないため移動に伴う時間価値が減少することを

表-1 外生変数一覧

変数名		単位	設定値
自家用車時間価値	$\omega_{pc}$	円/分	37.10
SAV時間価値	$\omega_{sav}$	円/分	33.17
自家用車維持費	$Cost_{keep,pc}$	円/台・日	714
SAV車両維持費	$Cost_{keep,sav}$	円/台・日	3,756
1台あたり駐車場面積 (一般駐車場)	$S_{pc}$	m <sup>2</sup> /台	22.75
1台あたり駐車場面積 (SAV専用)	$S_{sav}$	m <sup>2</sup> /台	8.65
燃料費	$P_{gasoline}$	円/L	133.4

想定した SAV 時間価値の 2 つを用いる。値はそれぞれ、37.10(円/分)、33.17(円/分)である。

SAV 専用駐車場の 1 台あたり必要駐車場面積は、Mehdi *et al.*<sup>15)</sup>の研究より、自動運転車導入時の平均駐車場削減率が 62% であるという結果を用いる。また、駐車場  $i$  の地点の地代  $LP_i$  については牧野<sup>16)</sup>のシミュレーションの結果より得られる都市内の各地点の地代を用いる。

### 3. SAV基本条件における社会的便益の算出

#### (1) 諸仮定

SAV 普及に伴う社会的便益を求めめるにあたって、本章ではまず、自動運転技術の導入されていない状況を想定したシミュレーション（以下、現状再現シミュレーション）を行う。ここでは、以下を仮定する。

- ・住民のトリップは全て自家用車で行われる
- ・都市内にはトリップチェーンの数だけ自家用車が存在する
- ・全てのメッシュノードに駐車可能であり、駐車場容量の制限は無い
- ・車両は 1 日の初めには自宅に駐車してあり、目的地に到着後はその場で駐車する

SAV 普及時を想定したシミュレーションでは以下を仮定する。この仮定条件を SAV 基本条件と呼ぶ。

- ・都市内のすべての車トリップが SAV 利用に置き換わり、都市内を走行する車両は SAV のみである
- ・SAV の普及に伴う交通分担率の変化は考慮しない
- ・全てのメッシュノードに駐車可能であり、駐車場容量の制限は無い
- ・目的地に到着後はその場で駐車する
- ・推奨待ち時間は 10 分に設定し、予約者の待ち時間がこれを超えることはない

実際に SAV が普及した場合には、その利便性に応じて他の公共交通との分担率が変化し、また、都市内には SAV のほかにも自家用の自動運転車が存在することが予想されるが、分担率の変化と都市内の自家用自動運転車の台数を再現するには、これらの点に着目したシミュ

レーション等での予測が必要である。本研究においては、SAV の普及に伴う社会的便益と、駐車場立地についての示唆を得ることが目的であるため、上記の点については考慮しない。

また、予約者の待ち時間が推奨待ち時間の 10 分を超える見込みの場合は予約者のもとへ新たに車両を発生させる。つまり、車両の台数は必要に応じて増加する。なお、ここで発生させた車両は 1 日のはじめから発生時までその場所で待機していたと考え、駐車台数に加算する。

発生する車両数はシミュレーション開始時の車両配置によって異なるため、以下の通り、繰り返しシミュレーションを行い必要車両台数を決定する。まず、初回に行うシミュレーションでは、都市内に全く車両が存在しない状況を初期の状態とし、必要台数を算出する。2 回目以降のシミュレーションでは一回前の結果から、営業走行回数が n 回以下であった車両を削除し、車両の初期配置を設定し直す。n を変更しながらこれを繰り返し、シミュレーション終了時の車両台数が最も少ないものを SAV 基本条件における必要車両台数とする。

実際に繰り返しシミュレーションを行った結果、n を 30 に設定したシミュレーションにおいて最も車両台数が少なくなり、この結果より SAV 基本条件における必要車両台数は 13,384 台である。

(2) SAV 基本条件における社会的便益の算出

シミュレーションの結果を表-2、図-3 に示す。また、必要駐車場容量分布を図-4 に示す。現状再現シミュレーションの結果より、1 日にかかる社会的費用は約 2.51 億円であり、内訳は走行費用（燃料費）が約 1,300 万円、時間費用が約 1.4 億円、車両維持費が約 7,600 万円、駐車場維持費が約 2,400 万円と、時間費用が社会的費用全体の半分以上を占めていることがわかる。SAV 基本条件においては、自家用車時間価値を用いる場合、社会的費用は約 2.13 億円となり、1 日あたりで約 3,700 万円の社会的便益が生じる。SAV 時間価値を適用した場合は、社会的費用はおおよそ 1.98 億円に減少し、1 日あたりでおおよそ 5,200 万円の社会的便益が生じる。

総車両台数は現状再現シミュレーションの 0.12 倍ほどにまで減少しているため、車両維持費が大きく減少することと、総駐車場面積は 77 万㎡と現状再現時の総駐車場面積 332 万㎡のおよそ 0.23 倍に縮小され、駐車場維持費用が大幅に減少することが便益発生に大きく寄与していることが分かる。SAV 専用駐車場を導入した場合、必要駐車場面積はさらに、約 47 万㎡縮小し、駐車場維持費は約 330 万円削減される。必要駐車場分布をより、必要駐車場面積が減少するのは主に市街地内であることがわかる。また、営業走行以外の回送・迎車走行によって総走行距離が増加する影響で走行費用が増加している。

社会的費用のうち、SAV サービス運用時に管理者側の負担となる走行費用、車両維持費、駐車場維持費の総和を総営業走行距離で割った値を、km あたり SAV 運用コストとすると、SAV 基本条件においては約 45 円/km となる。これは管理者に不利益のでない運賃の最低設定額であると考えられ、非常に安価な値段でサービスの提供が可能であることが示唆される。

表-2 現状再現とSAV基本条件におけるシミュレーション結果

項目	単位	現状再現	SAV基本条件
社会的便益	自家用車時間価値適用時 (百万円)	-	37.26
	SAV時間価値適用時 (百万円)	-	52.31
社会的費用	自家用車時間価値適用時 (百万円)	250.70	213.44
	SAV時間価値適用時 (百万円)	-	198.38
	走行費用 (百万円)	12.74	15.68
	時間費用(自家用車時間価値) (百万円)	138.29	142.13
	時間費用(SAV時間価値) (百万円)	-	127.07
	車両維持費 (百万円)	75.72	50.27
	駐車場維持費 (百万円)	23.95	5.36
車両台数	(台)	106,021	13,384
平均トリップ時間	営業走行 (分/トリップ)	17.58	17.49
	営業走行(待ち時間を含む) (分/トリップ)	17.58	18.07
総待ち時間	(分)	-	122,517
	第一トリップ (分)	-	98,968
	第二トリップ (分)	-	23,549
延べ渋滞時間	一般道 混雑 (分)	1,870	1,850
	一般道 渋滞 (分)	1,490	1,830
	幹線道 渋滞 (分)	190	120
kmあたり運用コスト	(円/km)	71.3	45.2
総駐車場面積	(万㎡)	332.9	76.5

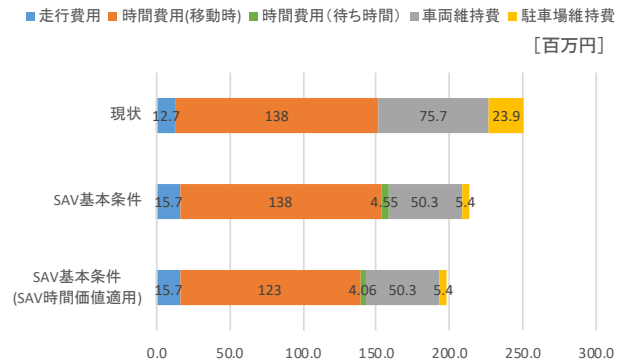


図-3 現状再現と SAV 基本条件における社会的費用

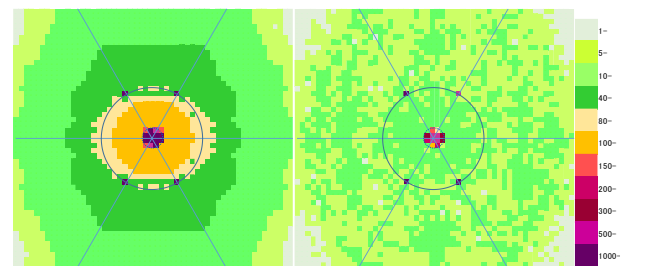


図-4 現状再現(左)とSAV基本条件におけるシミュレーション(右)の必要駐車場容量分布

SAV 基本条件においては、一般道では現状再現時の約 1.2 倍の渋滞が発生した一方、幹線道路の渋滞は減少する結果となっている。この理由としては、迎車の到着が遅れることによって乗客の出発予定時間と実際の出発時間にずれが生じるため、現状再現に比べて渋滞が分散していることが考えられる。ただし、実際には駐車場の位置は限られているため、回送走行が生じ渋滞は増加することが予想される。

#### 4. 駐車場立地に関するシナリオ分析

##### (1) シナリオ分析における仮定

シナリオ分析における仮定は以下の通りである。

- ・ 駐車は駐車場に設定されたメッシュノードでのみ可能である
- ・ 設定された駐車場容量を超えての駐車は行われない
- ・ 1 日の初めに SAV は都市内のいずれかの駐車場に駐車している
- ・ 目的地に到着後は最寄りの駐車場へ向かい（回送）配車車両に割り当てられるまで駐車する
- ・ SAV 台数は SAV 基本条件と同じ 13,384 台である
- ・ 推奨最大待ち時間 10 分を超えて待ち時間が生じる場合においても新しい車両は発生しない

ただし、乗客の待ち時間が 10 分を超える見込みの場合はより早く乗客のもとへ到着可能な車両を毎分探索し、該当する車両が見つかった場合は配車の割り当てを変更、見つからない場合は引き続き同じ車両が迎車に向かうとする。

以上の点の他は、SAV 基本条件と同じ仮定を用いる。

##### (2) 本研究で考慮する駐車場立地シナリオ

駐車場は配置ゾーンを CBD 内、市街地内（CBD を除く）、環状道路沿い、郊外（市街地外）に分けて考える。SAV 基本条件での必要駐車場分布をもとに、それぞれのゾーンに割り当てる駐車場ノード数と総駐車可能台数を変更し、市街地内集中型、市街地外集中型、集約型、超集約型の 4 つのシナリオを設定する。以下では、SAV 基本条件におけるシミュレーションをシナリオ 1 とし、

上記の 4 つのシナリオをシナリオ 2, 3, 4, 5 と呼ぶ。各シナリオにおける駐車場配置と初期車両配置を表-3 および図-6 に示す。

シナリオ 2 とシナリオ 3 においては、おおよそ全てのメッシュノードに駐車場が存在するため、シナリオ 1 と比較して総駐車場ノード数に大きな変化はなく、駐車場の市街地集中状態、環状道路周辺と郊外集中状態は駐車可能台数を増減させることで表現する。

シナリオ 4 では、都市全体の駐車場ノード数がシナリオ 1 の 2,700 ノードの半分程度の 1,383 ノード、シナリオ 5 ではさらに減少し、シナリオ 1 の 1/6 程度の 465 ノードとし、駐車場の集約状態、超集約状態を表現する。ただし、各ゾーンの総駐車可能台数はシナリオ 1 とおおよそ同じになるように設定する。

##### (3) 各シナリオにおける社会的便益の算出

各シナリオにおけるシミュレーション結果を表 4 および図-7 に示す。本節で用いる、必要駐車場容量とは、各駐車場における最大同時駐車台数の総和であり、シナリオ設定時の最大駐車可能台数とは異なる。

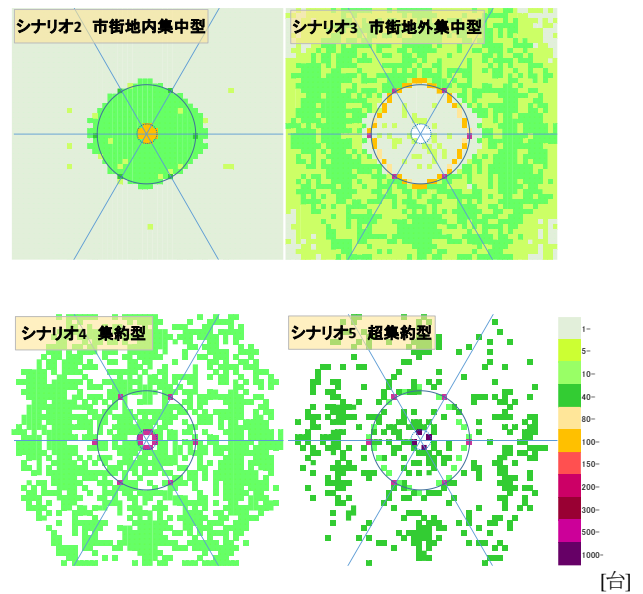


図-6 各シナリオの設定駐車場分布

表-3 各シナリオの駐車場設定

シナリオ	説明	駐車場ノード数					駐車可能台数割合				
		CBD	市街地	環状道路	郊外	計	CBD	市街地	環状道路	郊外	計
1	全ノードに 駐車可能	12	286	54	2,348	2,700	0.15	0.10	0.15	0.60	1.00
2	市街地内集中型	12	286	54	2,348	2,700	0.15	0.60	0.09	0.16	1.00
3	市街地外集中型	0	286	54	2,348	2,688	0.00	0.03	0.28	0.69	1.00
4	集約型	8	160	42	1,173	1,383	0.15	0.10	0.15	0.60	1.00
5	超集約型	4	63	30	368	465	0.15	0.10	0.15	0.60	1.00

表-4 各シナリオのシミュレーション結果

項目	単位	現状再現	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3	シナリオ4	シナリオ5
社会的便益	自家用車時間価値適用時 (百万円)	-	37.26	36.81	37.82	36.99	36.78
	SAV時間価値適用時 (百万円)	-	52.31	51.93	52.89	52.13	51.93
社会的費用	自家用車時間価値適用時 (百万円)	250.70	213.44	213.88	212.87	213.71	213.92
	SAV時間価値適用時 (百万円)	-	198.38	198.76	197.81	198.56	198.76
	走行費用 (百万円)	12.74	15.68	16.85	16.43	16.05	16.41
	時間費用(自家用車時間価値) (百万円)	138.29	142.13	142.73	139.20	138.27	143.08
	時間費用(SAV時間価値) (百万円)	-	127.07	127.61	127.17	127.81	127.93
	車両維持費 (百万円)	75.72	50.27	50.27	50.27	50.27	50.27
	駐車場維持費 (百万円)	23.95	5.36	4.03	3.94	4.44	4.16
走行回数	営業走行 (トリップ)	212,042	212,042	212,042	212,042	212,042	212,042
	回走・迎車走行 (トリップ)	-	158,487	220,791	252,498	219,185	240,529
	回送 (トリップ)	-	1,085	92,975	90,453	120,143	174,236
	迎車 (トリップ)	-	157,402	127,816	162,045	99,042	66,293
平均トリップ時間	営業走行 (分/トリップ)	17.58	17.49	17.55	17.69	17.58	17.58
	営業走行(待ち時間を含む) (分/トリップ)	17.58	18.07	18.14	18.08	18.17	18.19
総待ち時間	(分)	-	122,517	124,851	81,806	126,123	129,885
	第一トリップ (分)	-	98,968	120,484	58,635	102,683	107,514
	第二トリップ (分)	-	23,549	4,367	23,171	23,440	22,371
延べ渋滞時間	一般道 混雑 (分)	1,870	1,850	2,180	3,700	2,200	2,330
	一般道 渋滞 (分)	1,490	1,830	2,060	2,460	2,180	2,650
	幹線道 渋滞 (分)	190	120	280	190	270	300
総駐車場容量	(台)	146,338	33,634	23,086	28,232	28,021	26,139

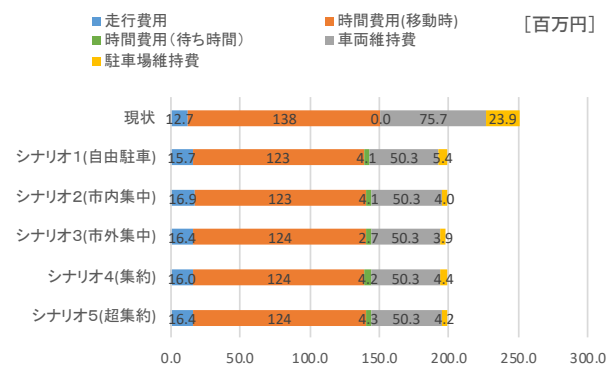


図-7 各シナリオの社会的費用

a) 各シナリオにおける社会的便益の算出と分析

シミュレーションの結果、全てのシナリオにおいて自家用車時間価値適用時の社会的費用は2.12億円から2.14億円、SAV時間価値適用時の社会的費用は1.97億円から1.99億円の範囲となり、その内訳構成にも大きな差は見られないことがわかる。社会的便益を考えると、自家用車時間価値の適用時は3,700万円から3,800万円、SAV時間価値適用時は5,100万円から5,300万円の社会的便益が発生し、明確な優劣は見られない。したがって、社会的便益の観点からは、SAV普及時において駐車場は、市域内に集中して設置していても、市域外に集中して設置していても、特定のエリアに集中させずに設置していても明確な影響はないこと、また、駐車場は広く分散して存在していても、少ない駐車場数に集約されて存在していても、明確な影響は見られないことが示唆される。

b) 現象面に着目したシミュレーション結果の分析

シナリオ2から5のすべてにおいて延べ渋滞時間が現

状再現時よりも大きくなることから、SAVの導入時には、都市内に自由に駐車できる場合を除いて渋滞が増加することが示唆される。シナリオ1, 2, 3を比べると、シナリオ3, 2, 1の順で渋滞時間が多く、シナリオ1, 4, 5を比べると、シナリオ5, 4, 1の順になっている。このことから、特定のゾーンに駐車場を集中させること、また、駐車場を集約することは渋滞を増加させることが分かる。しかし、1営業トリップあたりの走行時間の現状再現時との差は全シナリオにおいて1分以内に留まっている。この理由は、渋滞が増加していても、渋滞リンク数の全リンク数に対して占める割合が小さいため、トリップ所要時間の増加への影響が小さくなっていることが考えられる。実際、最も述べ渋滞時間の長いシナリオ3において、同時刻に渋滞しているリンク数は最大23リンクであるが、都市内の総リンク数は14,176リンクであり、これは全リンクのうちの1%に満たない。

総必要駐車場容量はシナリオ2が最小の23,086台であり、他のシナリオよりも3,000台以上少ない駐車場容量で需要を賄えることが分かる。この理由としては、市街地内でのトリップの到着と出発が多いため、SAVが頻繁に駐車場に出入りし、同時に同じ駐車場に駐車する台数が少なくなることが考えられる。しかし、中心地では地代が比較的高いため、駐車場の維持費を比較すると郊外に多く駐車場を設定したシナリオ3の方がシナリオ2よりも費用は少なくなっている。

住民の総待ち時間はシナリオ3で81,806分と他のシナリオよりも40,000分以上小さくなっている。行きトリップの総待ち時間の減少が大部分を占めており、市街地外から市街地内に向かう行きのトリップ需要に対し効率よくSAVが配車されたことが分かる。ただし、本研究においては業務トリップや自宅以外の目的地間のトリップ

のような主に市街地内での移動となるトリップを考慮しない仮定を置いているため、総トリップ数に対しての郊外・市街地間のトリップ数が実際の都市よりも多く設定されており、シナリオ3の待ち時間の減少や渋滞増加は、この影響により幾分か過大になっていることが考えられる。

## 5. まとめ

### (1) 本研究の結論

本研究では人口30万人規模の都市を想定した仮想都市を対象とし、SAV交通を想定した都市内交通シミュレーションモデルを作成した。また、現状再現シミュレーション、SAV基本条件におけるシミュレーション、駐車場立地条件の違うシミュレーションを複数行い、社会的便益を算出し、それぞれの結果を比較した。

その結果、現状の車交通がすべてSAVに置き換わる場合、乗客の移動中の時間価値を自家用車利用と同じ値と仮定するならば一日あたりおよそ3,700万円の社会的便益が生じ、SAV時間価値を用いるならば、一日あたりおよそ5,200万円の社会的便益が発生することを明らかにした。また、必要な車両数が現状の自家用車台数のおよそ0.12倍になること、総駐車场面積が現状の0.23倍になること、SAV 1台のkmあたり運用コストは約45円/kmと安価であり、サービス普及の可能性が十分にあることを明らかにした。

シナリオ分析の結果より、あくまで本研究で想定するトリップパターンにおいてではあるが、駐車場の立地が変わっても社会的便益には明確な影響は見られないことが明らかになった。また、SAV導入時には渋滞が増加すること、市街地内に駐車場を多く配置すると必要な駐車容量は少なくなるものの、市街地内では比較的地代が高いため駐車場の維持費は他のシナリオと同程度であることが明らかにされた。郊外に多く駐車場を配置する場合には、乗客の待ち時間が減少し、渋滞は増加するが、これは用いたトリップパターンの性質上、幾分か過大であると考えられる。

これらのことから、SAVの普及に伴う交通分担率の変化を考慮せず、都市内の現在の自動車トリップがすべてSAVに置き換わると仮定し、また、通勤・通学または自由目的の行きと帰りのみのトリップチェーンを想定する場合においてではあるが、社会的便益の観点からはSAVの普及に先立って特別な駐車場の配置を計画する必要性は低く、それぞれの都市のまちづくりの観点から駐車場計画を立てていくことが望ましいことが示された。ただし、現象面を考慮するならば、本研究で用いたトリップ設定においては、短い待ち時間で利用者の利便性を高め、

市街地の土地をより有効に活用することができる郊外集中型の駐車場配置が有利であると考えられる。しかしながら、郊外に駐車場を集中させることは渋滞の増加を招くため、その影響を考慮しながら計画を立てる必要があることが示唆された。

### (2) 今後の課題

本研究においては、多くの仮定を設定しシミュレーションを行っている。今後、より普遍的な知見を得るためには、以下の点が課題として挙げられる。

- SAVの導入による利用交通手段の分担率が変化を予測したシミュレーションモデルを構築すること
- 複数の目的地を持つトリップや業務トリップを考慮すること

また、研究のさらなる発展という観点からは以下の点が挙げられる。

- SAVの普及に伴う居住地の変化の傾向を予測すること
- システムの最適化をベースに配車を行うシステムを構築すること

### 付録

- i) 牧野<sup>14)</sup>は本研究と同様の仮想都市において、自動車、鉄道、徒歩の交通手段を想定し、移動の一般化費用をベースとして住居・商業立地を決定するシミュレーションモデルを構築している。このモデルより得られる、各地点からのトリップの発分布、目的地を本研究ではインプットデータとして用いる。ただし、使用するデータは自動車トリップデータのみである。

### 参考文献

- 1) 首相官邸：官民ITS構想・ロードマップ2018, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20180615/siryu9.pdf>, 最終閲覧2019.01.
- 2) Daniel J. Fagnant, Kara M. Kockelman : The Travel and Environmental Implications of Shared Autonomous Vehicles, Using Agent-Based Model Scenarios, *Transportation Research Part C*, Vol 40, pp.1-13, 2014.
- 3) Daniel J. Fagnant, Kara M. Kockelman, Prateek Bansal : Operations of Shared Autonomous Vehicle Fleet for Austin, Texas, Market, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2536, pp.98-106, 2015.
- 4) Fagnant, D. J. and Kockelman, K. : Dynamic ride-sharing and fleet sizing for a system of shared autonomous vehicles in Austin, Texas, *Transportation*, Vol 45, Issue 1, pp.143-158, 2018.
- 5) 東達志, 香月秀仁, 谷口守 : 都市構造の違いがシェ



- ア型自動運転車の運行効率に及ぼす影響，公益社団法人日本都市計画学会 都市計画論文集，Vol.53，No.3，pp.551-557，2018.
- 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，*Denso technical review* 21，pp.37-41，2016.
  - 7) 香月秀仁，東達志，谷口守：郊外間交通へのシェア型自動運転車の導入可能性，公益社団法人日本都市計画学会 都市計画論文集，Vol.52，No.3，pp.769-775，2017.
  - 8) 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，公益社団法人日本都市計画学会 都市計画論文集，Vol.53，No.3，pp.544-550，2018.
  - 9) 国土交通省：平成 27 年度全国都市交通特性調査，2017.
  - 10) 国土交通省：都市における人の動き（平成 22 年全国都市交通特性調査集計結果から），<http://www.mlit.go.jp/common/001032142.xlsx>，最終閲覧 2019.01.
  - 11) 牧野夏樹：中心市街地の空間配分を考慮した公共交通の利便性が都市構造に及ぼす影響に関する研究，京都大学大学院工学研究科修士論文，2011.
  - 12) 佐佐木綱，飯田恭敬：交通工学，p.126，オーム社，1992.
  - 13) 土肥学，曾根真理，瀧本真理：自動車走行時の CO2 排出係数及び燃料消費率の更新，一般財団法人 土木研究センター 土木技術資料，pp.54-4，2012.
  - 14) 国土交通省：時間価値原単位および走行経費原単位（平成 20 年価格）の算出方法，<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hyouka-syuhou/4pdf/s1.pdf>，最終閲覧 2019.01.
  - 15) Mehdi Nourinejad, Sina Bahrami, Matthew J. Roorda : Designing parking facilities for autonomous vehicles, *Transportation Research PartB*, Vol 109, pp.110-127, 2018.
- (?????.?? 受付)

## ANALYSING SOCIAL BENEFITS OBTAINED FROM THE SPREAD OF SHARED AUTONOMOUS VEHICLE USING URBAN TRAFFIC SIMULATION

Ryoji MATSUNAKA, Tetsuharu OBA and Shunta SUMIKAWA

Autonomous driving technology enables a new mode of transportation called Shared Autonomous Vehicles (SAV), which is a combination of short term on-demand rentals and autonomous driving. Using urban traffic simulation, this report analyses social benefits obtained from the shift from private cars to SAVs. The resultant effects of parking area location on social benefits is also analysed using scenario analysis.

Although several assumptions are made, such as the complete market penetration of SAVs, the results show that the benefits amount to 3,700 yen for each day, increasing to 1,500 yen when considering the decrease of time value, which occurs due to the space saving nature of SAVs. The number of fleets required to meet trip demand is decreased to 12 and necessary parking requirements decrease to 23 percent of that of conventional cars. Additionally, the minimum fees for SAV services is calculated at 45 yen per kilometer suggesting sufficient competitiveness. Finally, the effects of parking area location is revealed to have no obvious effect on social benefits.