

# シェア型自動運転車による自動車利用変化 —空走時間発生による環境負荷への影響—

香月 秀仁<sup>1</sup>・東 達志<sup>2</sup>・高原 勇<sup>3</sup>・谷口 守<sup>4</sup>

<sup>1</sup>非会員 独立行政法人都市再生機構 東日本都市再生本部  
(〒163-1313 東京都新宿区西新宿6-5-1 新宿アイランドタワー13F)  
E-mail: h-katsuki@ur-net.go.jp

<sup>2</sup>非会員 筑波大学 理工学群社会工学類 (〒305-0005 茨城県つくば市天王台1-1-1 3F棟1135)  
E-mail: s1411226@sk.tsukuba.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 筑波大学特命教授 未来社会工学開発研究センター センター長  
(〒305-0005 茨城県つくば市天王台1-1-1 3F棟1207)  
E-mail: takahara@sk.tsukuba.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 筑波大学教授 システム情報系 (〒305-0005 茨城県つくば市天王台1-1-1 3F棟1135)  
E-mail: mamoru@sk.tsukuba.ac.jp

本研究では自動車の自動運転(adus), およびシェア交通という2つの要素に着目し, それらの要素が融合した新交通サービス: Shared-adusの運行を想定する. この交通サービスでは車両が乗客を乗せずに走行する「空走時間」が発生し, 環境負荷を増大させる可能性がある. そこで, 空走時間を含めた車両の走行時間について, 運行方式およびサービスレベルの設定による走行時間の変動を推計するとともに, 都市構造と環境負荷の関係について検証を行った. 主な結果は以下の通りである. 1) Shared-adusの運行によって車両によるCO<sub>2</sub>排出量は現状の1.6~1.7倍程度に増加し, 2) その内の約1/4は空走によって発生する. 3) サービスレベルを高めるほど, 車両によるCO<sub>2</sub>排出量は増加する. 4) 人口密度が比較的低い地域において空走によるCO<sub>2</sub>排出量の割合が高くなる傾向が見られる.

**Key Words :** automated-driving, shared mobility, vacant trip time, environmental footprint

## 1. はじめに

近年, 人々の移動を取り巻く状況が交通サービス関連の技術発達と共に大幅に変化しつつある. 特に変化が大きな自動車交通に着目すると, ドライバーと乗客をマッチングさせるUber<sup>1)</sup>を筆頭とした配車サービスはタクシーよりも高い利便性と安価な利用料金によって利用者数を拡大しつつある<sup>2)</sup>. 他方, 2020年代の実用化に向けて自動車・IT関連企業が人間の運転を不要とする自動運転(automated driving for universal service, 以下「adus」<sup>3)</sup>)の技術開発を進めている. このような流れの中で, 自動運転車を自己保有するのではなく, 移動したいときだけ使うという, 現行のカーシェアリングに近い利用方法<sup>4)</sup>も想定されうる. 運転手無しで個別移動が可能になるという無人運転タクシーのような交通サービスの登場も期待される. 本研究ではこの新たな交通手段をShared-adus<sup>5)</sup>と呼称する. 自動運転を活かした無人回送で車両を効率的に

運行させるこのサービスの実現に向け, 自動車メーカーがIT企業やシェア交通事業者との提携を図る動きも活発化している. 学術研究のフィールドにおいては, 自動運転車が都市部と比較すると郊外部で受け入れられやすく<sup>6)</sup>, 自家用車よりも少ない車両数で既存の自動車トリップをカバーできること<sup>7)</sup>が明らかとなっており, 車両数が節約される結果として駐車スペースの節約が期待出来る<sup>7)</sup>といった正の影響が指摘されている.

一方で, Shared-adusでは, 自動運転の特性を生かして車両の稼働率を高めるために, 車両が乗客を乗せずに無人走行する「空走時間」が発生<sup>8)</sup>することが想定される. 将来的にShared-adusのようなサービスが実用化された場合, 輸送部門におけるエネルギー消費量を増大させる可能性がある. 特に, 交通需要が広く分散した郊外都市においては, このような空走時間が増大する懸念がある. この空走時間の発生程度は, Shared-adusの運行方式や運行地域の都市構造によって異なることが想定されるが,

このような視点に立った検証は見られない。Shared-adusの導入に際しては、正の影響のみならず、本研究で対象とする空走時間の発生および環境負荷への影響という負の影響の双方を考慮することが求められると考える。

これらの背景から、本研究では将来の自動運転交通時代における主要交通手段となりうるShared-adus導入に関する政策的判断の参考情報を提示する。特に、自動運転特有の空走時間の発生程度および環境負荷への影響と運行地域の都市構造との関係を明らかにすることを目的とする。この目的を達成するため、自動車依存度の高い郊外地域である茨城県南地域を対象として、複数の運行方式やサービスレベルの設定における空走時間の発生と、それに伴う環境負荷への影響を定量的に示す。

## 2. 研究の位置づけ

### (1) Shared-adusの経緯と現状

Shared-adus は自動運転技術をシェア交通に適用することで、各個人が個別に行っている自動車トリップを集約し、自動運転で利用者の間を無人回送することで、効率的に利用者を輸送する新たな交通手段である。

近年はIT技術の発展やスマートフォンの普及と共に、アプリケーションを介したライドシェアの利用が増加している<sup>7)</sup>。中でも米国のUberが提供するライドシェアサービスは、タクシーよりも早く安いサービス提供を強みに利用者を拡大させている。我が国では、無資格者による旅客輸送は「白タク」行為として禁止されてきたが、近年では規制緩和の一環としてその容認に向けた議論が行われ始めている<sup>9)</sup>。

また、米国のUberおよびGoogle系のWaymo<sup>10)</sup>、日本では国土交通省<sup>11)</sup>による自動運転車両を用いたシェア交通サービスの実証実験が開始される等、保有を前提としないadus車両の利用方法が検討されている。

### (2) Shared-adusに関連する既存研究

Shared-adusに関連する既存研究として、その構成要素であるシェア交通についてはカーシェア<sup>例えば12)</sup>、ライドシェア<sup>例えば13)</sup>のそれぞれで多くの研究蓄積が見られる。一方、自動運転車両によるシェア交通の導入は近年に入って盛んに検討が進められ、効率的運行のための最適経路選択<sup>14)</sup>や普及可能性<sup>15)</sup>に着目した研究、Shared-adusと鉄道等の基幹公共交通を組み合わせ効率的な車両運行を試みた研究<sup>7)</sup>、導入に伴う環境負荷の変動に着目した研究<sup>8)16)</sup>、個人保有の場合と比較した車両数の削減効果に着目した研究<sup>17)</sup>等が見られる。これらの既存研究では、仮想空間もしくは理想的な都市構造を前提とした検討がなされている。一方で、公共交通が成立しづらい郊外部

においては、実際の都市構造およびトリップパターンを踏まえた検討<sup>5)</sup>が求められるが、その蓄積は十分とは言えない。

加えて、Shared-adusのような交通サービスは、将来の規範的な交通サービスとなりうるMaaSの一部となる可能性が高く<sup>18)</sup>、今後到来するMaaS時代を見据えた交通計画において、Shared-adus導入による影響を検証することは喫緊の課題と考える。

### (3) 本研究の内容

本研究では、今後の実用化が想定されるShared-adusの運行に際して、空走時間の発生程度および環境負荷への影響について検証を行う。なお、本研究では実在のトリップパターンを基に、特定の交通モード利用者全員をShared-adusに転換させた場合の結果を示し、各利用者が実際に利用するか否かについては言及しない。ただし、間接的に利用意向を考慮するために、運行のサービスレベルを変動させた場合の結果についても併せて提示することとする。加えて、Shared-adusの運行による環境負荷への影響を地域単位で検証し、都市構造との関係性を明らかにする。なお、本研究においては環境負荷の評価指標として、2018年現在の代表的な環境負荷指標の1つであるCO<sub>2</sub>排出量(以下、「自動車CO<sub>2</sub>排出量」)を用い、都市構造の評価指標として地域毎の人口密度を用いる。

なお、adus車両が普及する時代にはガソリン車よりもEV車両が主流となる可能性も考えられ、燃料消費の原単位を変更することでEV車両を想定した消費エネルギーの算出も可能である。

### (4) 本研究の特長

本研究の特長を以下に示す。

- 1) 将来の自動車交通の基準車両となりうる自動運転車の導入に伴う環境負荷の発生という新たな課題に切り込んだ高い新規性・有用性を有する研究である。
- 2) 運行方式やサービスレベルの設定毎に生じる影響の差を示し、導入の判断材料となる有用性を有する。
- 3) Shared-adus導入で発生する環境負荷と都市構造との関係を提示することで、導入に際して事前対策を施すにあたって有益な情報を提供している。

## 3. 分析概要

### (1) 本研究で想定するShared-adus

本研究で想定するShared-adusは地域単位でadus車両を共同利用する交通システムであり、誰もがShared-adusを利用できる状態を想定する。このため、運転免許非保有者でも利用可能な自動走行レベルの設定が必要である。

表-1 本研究における使用データ一覧

	データ概要	データ出典	備考
交通行動	自動車・バス・タクシー 利用トリップデータ	東京都市圏 パーソントリップ 調査データ (平成20年調査)	[個人・世帯属性] 年齢・性別/自動車保有状況 [トリップ属性] ある平日1日における発生トリップの 発着地・発着時刻/移動手段/移動目的
	自動車旅行 速度データ	GIS道路 ネットワークデータ	各小ゾーンを通過する一般道路に おける自動車平均旅行速度を 道路距離に応じて按分
	人口	国勢調査データ (平成22年調査)	町丁目ごとに集計された人口を 小ゾーン単位で再集計した人口を使用
地域特性	土地利用 細分メッシュデータ	国土数値情報 タウンロードサービス	可住地面積・農用地面積・林地面積 の算出に使用

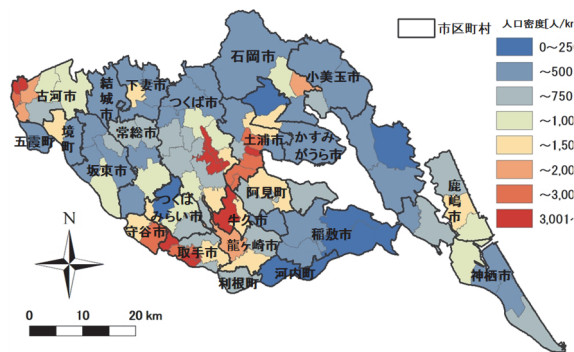


図-1 対象地域の各小ゾーンの人口密度(可住地面積比)

なお、本研究における Shared-ados は、従来自家用車が担っていた郊外地域間の移動を代替する交通サービスとして適していると考えられる。このため、自動車・バス・タクシーを利用するトリップを対象とする。加えて、個人保有の車両でないため、利用者の希望する到着時間に対する遅れの発生も考慮することが望ましいと考える。

これらを踏まえ、本研究において想定する Shared-adus は次の 5 項目の特徴を有する.

- 1) adus の自動走行性能は Lev.5 (SAE レベル) とする。
- 2) 利用者は代表交通手段として乗用車・バス・タクシーで移動しているトリップとする。
- 3) 乗車可能人員は 2 人まで乗車可能なものとする。
- 4) 到着保障時間(後述)を最長 15 分<sup>20)</sup>とする。
- 5) 車両は個人所有ではなく対象地域全体で共有する。

ここで「到着保障時間」とは、Shared-adus 利用前後で生じる「到着時間の遅れ」の最長時間のことであり、Share-adus のサービスレベルを定める指標となる。

なお、Shared-adusは利用者のいる場所（発地）から目的地までDoor to Doorで移動が可能という点で、現行の乗合タクシーサービスと通ずる部分がある。一方で、当然ではあるが現行のタクシーサービスとShared-adusでは、車両1台に対して1人以上の運転手が必要か否かという点が大きな相違点となる。本研究では後述するように茨城県南地域全域における自動車トリップがShared-adusに転換することを想定するもので、この広域地域におけるトリップ需要をカバーするための大量のタクシー運転手を確保することは極めて現実的でない。ゆえに、本研究で想定する交通サービス体系および分析の枠組みはadus車

両の導入を想定することで初めて成立するものである。

## (2) 使用データの概要

本研究で使用するデータを表-1に示す。本研究では広域地域における実在のトリップパターンを把握するため、東京都市圏パーソントリップ調査データ(以下、「PTデータ」)を使用する。この中で自動車依存度の高い郊外間交通を対象とするため、茨城県南地域を発着地とするトリップを対象とする。対象地域の概要を図-1に示す。なお、郊外間交通においては道路混雑度が都心部と比較して深刻でないことから、道路混雑状況を明確に考慮することはない。ただし、PTデータの移動時間は実際の交通状況が反映されており、本研究で示す分析結果には実際の道路混雑度が間接的に反映されていると考えられる。

### (3) 位置情報の考慮

PT データにおいて把握可能な位置情報の最小単位は小ゾーンであり、より詳細な人および車両の位置情報は把握できない。また、図-1 から分かる通り、各ゾーンの面積が均一でないため、例えば「同一のゾーンに2者が存在する」という状況において2者間の距離がゾーン面積によって大きく異なる可能性が考えられる。そこで、分析に際してはゾーン面積によるバイアスの発生を防ぐため、ゾーン面積に応じて補正をかける必要がある。これらを踏まえ、分析に際しては車両がゾーン内の移動に要する基準時間として「到達可能時間」を設定する。算出式を(1)、(2)に示す。これはゾーンの可住地面積(ゾーンの全体面積から「森林」「水域」を除いた面積)と同面積の円の半径を道路距離に換算したものを各ゾーンにおける基準移動距離とし、それを各ゾーンにおける自動車平均旅行速度で除した値である。つまりゾーンの可住地面積が小さいほど、またゾーンにおける自動車平均旅行速度が速いほど値が小さくなる指標である。この指標を基に、後述する「人-人」のマッチング(ライドシェア)、および「トリップ-車両」のマッチングを行う。

$$RT_i = \beta \times d_i/v_i \quad \text{c.f. } \beta = 1.4 \quad (1)$$

$$d_i = \sqrt{dz_i / 3.14} \quad (2)$$

 $RT_i$ : ゾーン  $i$  における到達可能時間

$\beta$  : 直線距離から道路距離への補正係数

 $dz_i$  : ゾーン  $i$  の可住面積 $d_i : dz_i$  と同面積の円の半径 $v_i$  : ゾーン  $i$  における自動車平均旅行速度

#### (4) ライドシェア成立条件

ライドシェアの成立には、同時間帯において同一方向に複数のトリップが生じているという、トリップの時空

間一致が大前提となる。ただし、トリップの時空間が完全に一致しているか否かは、小ゾーン単位の位置情報のみのデータでは困難であるため、トリップの時間帯にバッファを設けることで対応する。具体的には、出発時間差が15分以内(公共交通の運行において確保すべき運行間隔<sup>19)</sup>)のトリップ同士は時間帯が一致しているとみなす。これらを踏まえ、ライドシェアの成立対象となるのは、トリップの発着地(OD)がPTデータ上でもっとも詳細な小ゾーン単位で一致しており、かつ出発時間差が15分以内のトリップとする。以上の仮定をふまえライドシェア成立の基本条件を式(3)~(5)に示す。加えて、ライドシェアの成立可否は、乗り合う2者の出発時間差以内に両者の出発地点間を移動できる確率に依存すると考える。そこで、本研究ではゾーン面積が小さいほど、また2者の出発時間差が大きいほど、確実にライドシェアが成立するようなパラメーター値「ライドシェア成立確率」を設定する。算出式を(6)に示す。これは、2者の出発時間差を、到達可能時間で除した値であり、出発時間差が到達可能時間以上となる場合は1とする。この値を(3)~(5)のライドシェア条件を満たす2者の拡大係数に乘じ、ライドシェア成立組数を算出する。なお、2者間の出発時間差を基にライドシェアの成立数を算出するため、最短路出発時間差WLを0分より大きい値として設定している。なお、発着地が同一の内々トリップおよび経路途中におけるライドシェアは非成立とする。なお、このライドシェアの成立条件は人間の運転を前提とする乗合タクシーの場合にも応用が可能である。

$$TOD_a = TOD_b \quad (3)$$

$$0 < WL \leq G \leq WH \leq 15 \quad (4)$$

$$G = TS_b - TS_a \quad \text{cf. } TS_a < TS_b \quad (5)$$

$$RRS = \begin{cases} G / RT_i & (G \leq RT_i) \\ 1 & (G > RT_i) \end{cases} \quad (6)$$

$TOD_n$  : トリップ  $n$  の出発地-到着地[OD]

$WL, WH$  : トリップの出発時間差の最短, 最長時間(分)

$G$  : 2者間の出発時間差(分)

$TS_n$  : トリップ  $n$  の出発時間(分)

$RRS$  : ライドシェア成立確率

$RT_i$  : ゾーン  $i$  における到達可能時間

## (5) 配車条件

先述の条件を基にライドシェアの成立有無を確認した後、各トリップに配車を行う。この際、トリップの出発時点に、その発地に車両が存在する場合は既存の車両、該当する車両が存在しない場合は新規車両を配車する。この仮定で配車を行った場合の必要車両数を算出する。

## (6) 総走行時間の算出

本研究ではShared-adusの導入に伴う環境負荷への影響について、車両の総移動時間の変動に着眼する。車両の総移動時間については「移動時間」「空走時間」で構成される。各要素の定義は以下の通りであり、イメージ図を図-2に示す。

「移動時間」

乗客を乗せて目的地に移動する時間。ライドシェアが成立した際には、車両に先に乗者する利用者と後から乗者する利用者の間を移動する時間を含む。なお、現実の世界ではShared-adus利用前後において、自家用車もしくはバス・タクシーからの交通手段転換によって利用者のトリップ時間が変動する可能性が考えられるが、本研究では利用前後で利用者個人の移動時間は同一と仮定する。

「空走時間」:

前の利用者の降車後、車両が次の利用者の元へ無人で空送する時間。本研究ではゾーンを発地とするトリップが発生する度に、そのトリップ主体(Shared-adus利用者)のもとに移動するため、(3)で設定した到達可能時間: $RT_i$ の空走時間が生じると仮定する。

## (7) 自動車CO<sub>2</sub>排出量の推計

自動車CO<sub>2</sub>排出量算出にあたっては既存研究で提示されているCO<sub>2</sub>排出量原単位の算出式<sup>20)</sup>およびパラメーター値(2015年のもの)<sup>21)</sup>を用いる。算出式を(7), (8)に示す。この原単位を各トリップの移動距離に乘じて自動車CO<sub>2</sub>排出量を算出する。ただし、本研究で使用するPTデータではトリップ毎の移動距離が明示されておらず、茨城県南地域内の一般道路における自動車の平均旅行速度32.4km/h<sup>22)</sup>を全トリップで一律に適用し、各トリップの総走行時間に乘じてトリップ毎の移動距離を算出する。なお、adus車は人間の運転と比較すると無駄な加減速が抑制されることで環境負荷の低減が期待されている<sup>3)</sup>。ただし、その効果が検証されていないことや、環境負荷の発生程度と都市構造の関係を明らかにするという論文の主旨に照らし合わせ、人間の運転を前提とした上記の算出方法および原単位を適用することが最適と判断した。

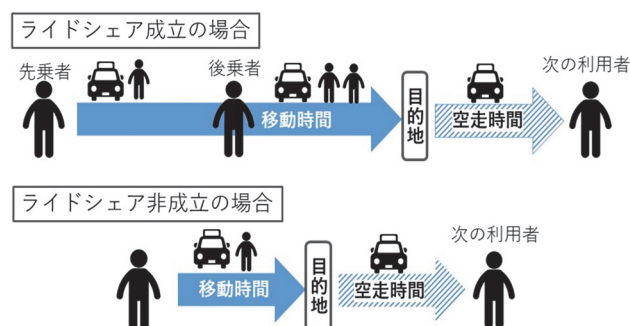


図-2 車両の移動時間に関する用語のイメージ図



$$FC = a_1/v_c + a_2v_c + a_3v_c^2 + a_0 \quad (7)$$

$$EF = EF_0 \times HV \times FC \quad (8)$$

$FC$ : 単位当たり自動車燃料消費量(L/km)

$v_c$ : 自動車旅行速度(km/h)

$a_0, a_1, a_2, a_3$ : パラメータ<sup>21)</sup>

$EF$ : 単位距離当たり自動車CO<sub>2</sub>排出量(g-CO<sub>2</sub>/km)

$EF_0$ : 発熱量あたりCO<sub>2</sub>排出量(g-CO<sub>2</sub>/J)<sup>22)</sup>

$HV$ : 平均発熱量(J/L)<sup>23)</sup>

#### (8) 想定するShared-adusの運行方式

本研究ではShared-adusの導入について、複数の導入シナリオについて現状(BAU)との比較を通してその効果を明らかにする。Shared-adusはライドシェアの成立を前提とする交通サービスであるが、ライドシェアによるトリップ集約が環境負荷(総走行時間)等に及ぼす影響を計測するため、ライドシェアが成立しないShared-adusの運行方式についても検討を行う。

また、Shared-adusの運営主体にとってはライドシェアを多く成立させることで輸送効率を高められるため、ライドシェアが成立するように運行スケジュールを組むという運行方針<sup>24)</sup>も想定される。

これを踏まえ、本研究では利用者の発時間を一定時間(15分および30分)以内に早めた場合に基本条件を満たす場合にライドシェアが成立する「発時間変動条件」を設定する。この発時間変動条件を含めて、Shared-adus導入に伴うライドシェア成立割合や必要車両数の変動等に着目する。以降、シナリオ中ではShared-adusは「SA」、ライドシェアは「RS」、発時間変動条件を「発変」と表記し、現状([0]BAU)を基準とした場合の「[1]SA\_非RS(ライドシェアが一切成立しないシナリオ)」「[2]SA\_基本条件」「[3]SA\_発変\_15分」「[4]SA\_発変\_30分」の4つの運行方式による比較分析を行う。

#### 4. 運行方式毎の環境負荷

3.で述べた分析方法に基づき、運行方式毎の環境負荷への影響を検証する。運行方式毎の自動車トリップ数を図-3、自動車CO<sub>2</sub>排出量を図-4、車両あたりの総走行時間を図-5に示す。ここから以下の点を読み取れる。

- 1) 図-3の[2]と[3][4]の比較より、発時間変動条件ではライドシェア成立によって集約されるトリップが倍増する。利用者が15分程度の出発時間の変動を許容することで、[2]の場合よりも10万トリップ以上の集約が可能となる。
- 2) 図-4の[0]と[1]の比較より、Shared-adusの導入で自動車CO<sub>2</sub>排出量が約1.6～1.7倍に増大する。[1]では空走時間

の発生に加え、[0]におけるバス・タクシー利用トリップの交通手段転換による総移動時間の増加により、結果として環境負荷の増大に繋がっている。なお、[1]では空走による自動車CO<sub>2</sub>排出量が約3割を占める。

- 3) 図-4の[1]と[2]の比較より、ライドシェア成立に伴う移動時間の短縮でCO<sub>2</sub>排出量が削減されている。
- 4) 一方で[2]と[3][4]を比較すると、自動車CO<sub>2</sub>排出量はShared-adus利用トリップ数が少ない[3][4]の方がわずかに多い。この原因として、トリップ集約に伴う移動時間の削減分と、ライドシェア成立に伴う2者間の移動時間の発生分が相殺され、結果的に移動時間の微増に繋がったことが考えられる。
- 5) 車両あたりの総走行時間(図-5)を見ると、図-5の[0]と[1]の比較より、Shared-adusの導入によって車両あたりの総走行時間は4～5倍程度に増大する。
- 6) 同図より、[2]～[4]ではライドシェアの成立数が多いほど車両あたりの総走行時間が増加する傾向が見られる。利用トリップ数が少なくなるほど必要車両数が節約でき、1台あたりが担うトリップ数が増加したことが原因と考えられる。つまり、ライドシェア成立によって車両の稼働状況が活発化したと捉えることができる。

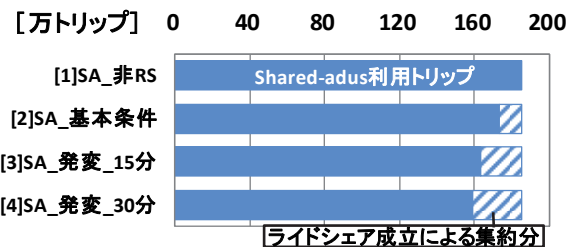


図-3 運行方式毎のShared-adus 利用トリップ数

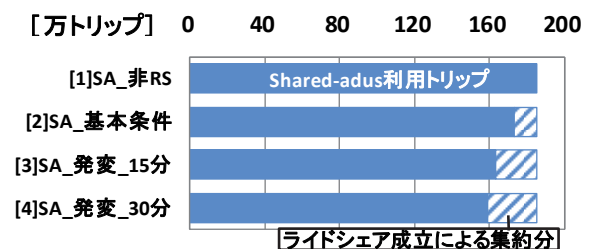


図-4 運行方式毎の自動車 CO<sub>2</sub> 排出量

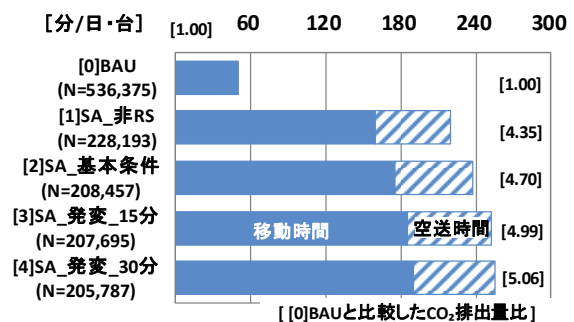


図-5 運行方式毎の車両当たり総走行時間

## 5. サービスレベルに関する感度分析

Shared-adusのサービスレベル指標の一つである到着保障時間について、3.において設定している15分から0分まで変動させた場合の各種の運行効率指標がどの程度変動するのか感度分析を実施する。なお、到着保障時間は0分に近づくほどにサービスレベルが高くなる。

運行方式については「[2]SA\_基本条件」を採用し、到着保障時間のみを変動させる。到着保障時間毎のトリップ数を図-6、自動車CO<sub>2</sub>排出量を図-7、車両当たりの総走行時間を図-8に示す。これらより、以下の点が読み取れる。

- 1) 図-6より、到着保障時間が短いほどライドシェア成立数が小さくなり、0分の場合には成立数が0となる。ライドシェアを行う際には、2者の出発時間差がそのまま到着時間の遅れとなり、到着保障時間の短縮によって、出発時間の差が大きい2者によるライドシェアが不成立となったことが原因と考えられる。
- 2) 図-7より、サービスレベルが高まるほどに自動車CO<sub>2</sub>排出量が増大する傾向が示された。これは1)で述べたライドシェア成立数が関係しており、ライドシェアによって集約されるトリップが最も多い15分の場合には、最も自動車CO<sub>2</sub>排出量が少なくなっている。
- 3) 図-8より、到着保障時間を短くするほどに車両あたりの走行時間は短くなり、0分の場合と15分の場合で40分程度の差が生じることが読み取れる。つまり、利用者がある程度の「到着時間の遅れ」を許容すれば車両の稼働効率が高まるという傾向が得られたと考える。

## 6. 環境負荷増大の地域間比較

[2]SA\_基本条件における運行を行った場合に、各小ゾーンを発地とするトリップによる自動車CO<sub>2</sub>排出量を図-9、空走による自動車CO<sub>2</sub>排出量の割合を図-10に示す。ここから以下の点を読み取れる。

- 1) 図-9より、人口密度が比較的高いつくば市中心部、牛久市西部、守谷市東部、および臨海工業地域が位置する神栖市北部において自動車CO<sub>2</sub>が多く発生している。これらの地域では発生トリップ数の多さが総走行時間を増大させていることが考えられる。
- 2) 図-10より、自動車CO<sub>2</sub>排出量に占める空走によって発生した割合は、比較的人口密度の低い地域において大きくなる傾向が見られる。低密地域においては利用者間の距離が相対的に長くなる傾向が想定され、結果的に空走時間の増大に繋がることが考えられる。

以上より、Shared-adusの広域的運行に際して、空走時間を削減するという観点から自動車CO<sub>2</sub>排出量を抑制す

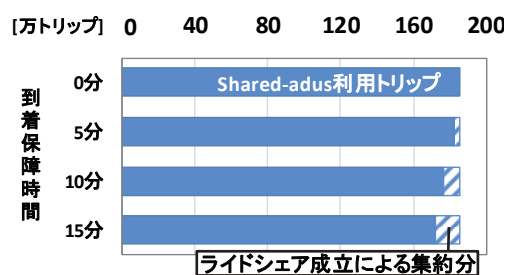


図-6 到着保障時間別の Shared-adus 利用トリップ数

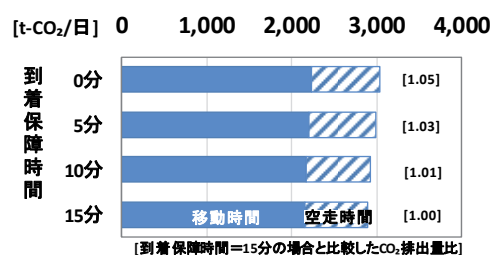


図-7 到着保障時間別の自動車 CO<sub>2</sub> 排出量

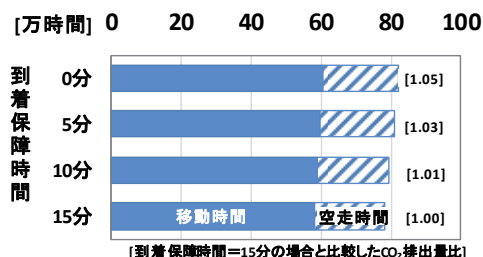


図-8 到着保障時間毎の車両あたり総走行時間

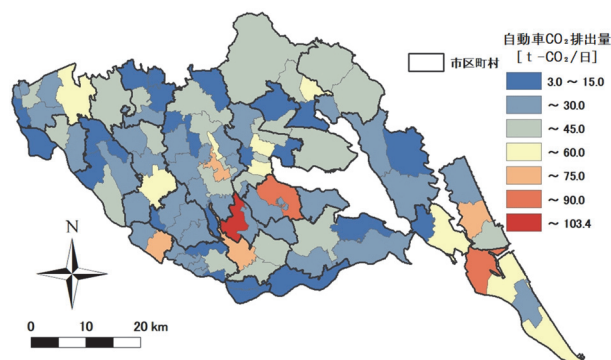


図-9 各ゾーン別を発地とするトリップの自動車 CO<sub>2</sub> 排出量

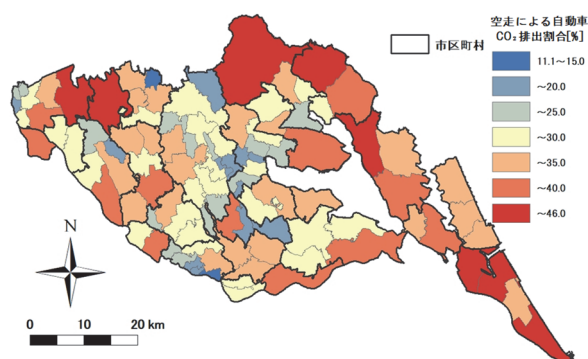


図-10 小ゾーン別の空走車両による自動車CO<sub>2</sub>排出割合

るためには、運行範囲内の地域毎に適した対応を取ることが求められると考える。例えば、人口密度が比較的小さな中山間地域等においては、道の駅等の地域内拠点を優先乗降箇所として設定し、当該拠点からの乗車における料金を割引くというものである。ただしこの方策はShared-adusの特長の1つであるDoor to Doorでの利用可能性とトレードオフ関係を生じさせる。

## 7. おわりに

本研究では将来的な実用化が期待されるShared-adusの導入によって生じる空走時間の発生程度を環境負荷の観点から検証し、さらにその環境負荷と都市構造との関係を明らかにした。主な結果は以下の通りである。

- 1) Shared-adusの導入によって導入前(現状)の約1.6~1.7倍の自動車CO<sub>2</sub>排出量が発生する。このうちの約1/4は車両の空走によって発生する自動車CO<sub>2</sub>が占める。
- 2) ライドシェア成立数が多い程、運行に必要な車両数が減少することで車両あたりの走行時間が増大する。
- 3) 利用者が15~30分程度の出発時間変動を許容すると、基本条件の場合と比較してライドシェア成立数が倍増し、結果として[2]で述べたように車両の稼働状況が活発化する傾向が見られる。
- 4) 到着保障時間を短くするほど、つまりサービスレベルを高くするほどCO<sub>2</sub>排出量が増大する。
- 5) 人口密度が比較的低く、一定のトリップ数が生じている地域において自動車CO<sub>2</sub>排出量が増大しやすい。

これらの結果より、自動車CO<sub>2</sub>排出量の抑制という観点では、地域の人口密度等に応じて運行方式を適合することでより効率的な運行が可能になると考える。例えば、鉄道駅や道の駅等の交通拠点到Shared-adus専用の乗降場所を設置する等、利用者間および利用者-車両間の距離の短縮により抑制することが可能と考えられる。一方で、この施策はDoor to Doorで移動可能という自動運転車特有の利便性を損なうトレードオフ構造が生じる。

なお、本検討の中では空走時間を「非効率な要素」として捉えているが、短距離移動を行いたい利用者のラストワンマイル交通を補填する「リソース」としての活用も想定される。本研究では顕在化している交通需要をベースとした検討を行っているが、実際には潜在化していた交通需要の顕在化も想定されることから、空走時間の有効活用という視点も重要になると考えられる。

また、本研究で算出した自動車CO<sub>2</sub>排出量は2015年時点における車両性能を基に試算を行ったものであり、将来的には技術発展による車両の燃費向上や、車両のEV化、再生可能エネルギーの活用等で抑制される可能性が高い。

また、Shared-adus導入による影響は環境負荷への影響

のみならず、土地利用・都市構造の変化<sup>4)</sup>と多岐に及ぶ可能性があり、多面的な影響の考慮が求められる。

なお、本研究では現実成立しうる内内トリップおよび経路途中でのライドシェアを考慮しておらず、ライドシェア成立数に関しては過少推計気味の結果となっている。一方で、自動運転車の利用による誘発交通の発生可能性も考えられ、今後はShared-adusの導入による発生交通量の増加も懸念され、これらの要素を総合的に考慮することで、より精度の高い検証が可能となると考える。

**謝辞：**本研究は(株)トヨタ自動車との共同研究「これからの社会システムとモビリティのありかた研究」の一環として実施した。加えて、東京都市圏パーソントリップ調査データを使用する機会を得た。また、JSPS科学研究費(17H03319)の助成を得た。加えて、第56回土木計画学研究発表会においては横浜国立大学中村文彦教授、大阪大学猪井博登助教授をはじめとして、多くの方々から有益な助言をいただいた。この場を借りてお礼申し上げる。

## 参考文献

- 1) Uber HP: Self-Driving Ubers, <https://www.uber.com/cities/pittsburgh/self-driving-ubers/>, 最終閲覧 2018.06.
- 2) 市丸新平：シェアリング時代の自動車交通ビジネス—次世代カーシェアからTNCまで—, デザインエッグ, 2014.
- 3) 内閣府：戦略的イノベーション創造プログラム自動走行システム研究開発計画, [http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6\\_jidousoukou.pdf](http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf), 最終閲覧 2018.06.
- 4) Cervero, R.: Mobility Niches: Jitneys to Robo-Taxis, *Journal of the American Planning Association*, Vol. 83, No. 4, pp. 404-412, 2017.
- 5) 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—トリップの時空間・個人属性の観点から—, 都市計画論文集, Vol. 52, No. 3, pp. 769-775, 2017.
- 6) 香月秀仁, 川本雅之, 谷口守：自動運転車の利用意向と都市属性との関係分析—個人の意識, 交通行動に着目して—, 都市計画論文集, Vol. 51, No. 3, pp. 728-734, 2016.
- 7) OECD: Urban Mobility System Upgrade - How shared self-driving cars could change city traffic, International Transport Forum, 2016.
- 8) 谷本圭志, 川村周平：無人運転技術を用いた車両共有システムの導入に伴う環境影響に関する分析, 社会技術研究論文集, Vol. 6, pp. 68-76, 2010.
- 9) 日本経済新聞 2017 年 2 月 5 日朝刊 1 ページ：ライドシェア解禁検討, 規制改革会議, タクシー業界の反発必至.
- 10) Waymo HP, <https://waymo.com/>, 最終閲覧 2018.06.
- 11) 国土交通省：中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス—平成 29 年度「公募型」実証実験の地域選定について—, [http://www.qsr.mlit.go.jp/site\\_files/file/n-kisyahappyou/h29/1707310100.pdf](http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/n-kisyahappyou/h29/1707310100.pdf), 2017.

- 07.31, 最終閲覧 2018.06.
- 12) 古澤悠吾, 溝上章志, 中村謙太: 普及過程を考慮したカーシェアリングシステムの運用シミュレーション分析, 土木計画学研究論文集 D3 (土木計画学), Vol. 73, No. 5, pp. I\_1003-I\_1012, 2017.
  - 13) Thaithatkul, P., Seo, T., Kusakabe, T. and Asakura, Y.: A passengers matching problem in ridesharing system by considering user preference, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 11, 2015.
  - 14) 愛甲聡美, Phathinan Thaithatkul, 瀬尾亨, 朝倉康夫: アクティビティパターンを与件としたシェアリング車両の最適割り当て問題, 土木計画学研究論文集 D3 (土木計画学), Vol. 73, No. 5, pp. I\_1233-I\_1242, 2017.
  - 15) 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, 土木計画学研究論文集 D3 (土木計画学), Vol. 73, No. 5, pp. I\_507-I\_515, 2017.
  - 16) Wadud, Z., MacKenzie, D. and Leiby, P.: Help or hindrance? The travel, energy and carbon Impacts of highly automated vehicles, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 86, pp. 1-18, 2016.
  - 17) Pavone, M.: Autonomous mobility-on-demand systems for future urban mobility, In: Maurer, M., Gerdes, J. C., Lenz, B., Winner, H. (Eds.), *Autonomes Fahren*, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2015.
  - 18) 藤垣洋平, 高見淳史, Giancarlo Troncoso Parady, 原田昇: 大都市圏向け統合モビリティサービス Metro-MaaS の提案と需要評価—自動運転車によるオンデマンドバスと既存公共交通の将来的な統合を目指して—, 都市計画論文集, Vol. 52, No. 3, pp. 833-840, 2017.
  - 19) 社会資本整備審議会都市計画・歴史的風土分科会・都市計画部会都市交通・市街地整備小委員会: 集約型都市構造を支える公共交通の実現に向けて, 2006.
  - 20) 土肥学, 曾根真理, 瀧本真理, 小川智弘, 並河良治: 道路環境影響評価等に用いる自動車排出係数の算定根拠 (平成 22 年度版), 国土技術政策総合研究所資料, 第 671 号, 2012.
  - 21) 越川知紘, 谷口守: 都市別自動車 CO<sub>2</sub> 排出量の長期的動向の精査—全国都市交通特性調査の 28 年に及ぶ追跡から—, 土木学会論文集 G (環境), Vol. 75, No. 6, pp. II\_169-II\_178, 2017.
  - 22) 平成 22 年度道路交通センサス, <http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/index.html>, 最終閲覧 2018.06.
  - 23) 環境省地球環境局: 温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン, 2015, [https://www.env.go.jp/policy/local\\_keikaku/jimu/data/santeiguideline.pdf](https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/jimu/data/santeiguideline.pdf), 最終閲覧 2018.06.
  - 24) 東京大学オンデマンド交通プロジェクト 乗り合い型交通システム コンビニクル, <http://www.nakl.t.u-tokyo.ac.jp/odt/index.html>, 最終閲覧 2018.06.

(2018. 2. 23 受付)

## CHANGE OF VEHICLE UTILIZATION BY SHARED MOBILITY WITH AUTOMATED DRIVING —ENVIRONMENTAL FOOTPRINT EFFECTS OF VACANT TRIP TIME—

Hideto KATSUKI, Katsushi AZUMA, Isamu TAKAHARA and Mamoru TANIGUCHI

This study specifically examines the operation of “Shared-adus”, shared mobility with automated driving vehicles. Shared-adus vehicles use vacant trips to go to passengers, which might increase their environmental footprint. We analyze lengths of vacant trip time using a variety of operations and service levels. Additionally, we ascertain the relationship between the environmental footprint and area characteristics. Main results are presented below. 1) The total emission of CO<sub>2</sub> by Shared-adus increases 1.8 times as long as business as usual. 2) CO<sub>2</sub> emission occurred by vacant travel accounts for about 25% of the total of CO<sub>2</sub> emission. 3) A higher level of service of Shared-adus operation increases the total of CO<sub>2</sub> emission. 4) The environmental footprint of Shared-adus tends to increase in low-density areas.