

自動運転車によるシェア型交通導入の影響分析 —MaaS時代を見据えた一考察—

香月 秀仁¹・東 達志²・高原 勇³・谷口 守⁴

¹非会員 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 (〒305-0005 茨城県つくば市天王台1-1-1 3F棟1135)
E-mail:s1620462@sk.tsukuba.ac.jp

²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:ss1411226@sk.tsukuba.ac.jp

³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

⁴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

通信技術の発展に伴い、交通分野では複数の交通手段をパッケージ化して提供するMaaS(Mobility as a Service)という概念が注目を集めている。このMaaSにおいて中長距離の輸送を担う自動車は、技術発達と共にその利用方法の変革の波が迫っている。本研究においては人間による運転が不要となる自動運転(adus)、スマートフォンの普及と共に利用者が増加しているシェア交通という2つの要素に着目し、それらの要素が融合した新交通手段：Shraed-adus(SA)の導入に伴う環境負荷への影響を検証した。主な結果は以下の通りである。1) SAは現在の約4割の車両数で運行可能であり、2) SAの導入によって現在の総走行時間の約4割相当の回送時間が生じる。3) 人口密度が比較的高いゾーンでライドシェアが成立しやすく、4) 総走行時間に対する回送時間の割合は人口密度が疎な地域において高い傾向が見られる。

Key Words : *automated-driving, share mobility, mobility as a service, environmental footprint*

1. はじめに

近年、新たな自動車技術交通サービスの概念としてMaaS (Mobility as a Service)¹⁾が注目を集めている。これは出発地から目的地までの移動手段をパッケージ化して提供するサービスである。背景には、通信技術の発達やシェア交通の台頭といった交通手段の多様化が挙げられる。これらの多様な交通手段を組み合わせ、自家用車に頼らずアクセス可能な圏域を拡大することは導入意図の一つである。そのため、都市圏内のトランスポーテーションギャップ²⁾の発生を防ぐという観点が求められると考える。中でも、中長距離帯の移動手段として重要である自動車には、その利用方法を含めて変革の波が迫っている。

その最たるトピックは、人間の運転を不要とする自動運転(Automated Driving for Universal Service, 以下「adus」)の実用化である。2020年以降に特定条件下(高速道路等)における完全自動運転が可能なレベル4の実用化³⁾に向け、技術開発や法制度の整備が進められている。

adusの実用化と共に、MaaSの一要素であるライドシェ

ア(以下、「RS」)等の自動車のシェア利用と融合した新交通手段への発展が期待される⁴⁾。本研究ではこの新たな交通手段を「Shared-adus」と呼称する。1日の95%の時間が駐車状態の車両を効率的に稼働させるこのシステムの実現に向け、自動車メーカーがシェア交通事業者と提携を図る動きも活発化している⁵⁾。一方で、Shared-adusでは車両の稼働率を高めるために「回送時間」⁶⁾の発生が指摘されている。Shared-adus導入に伴うこれらの影響を推計することで、導入時における検討材料を提供できると考える。これらの背景から、本研究では将来的にMaaSの一翼を担うことが期待されるShared-adusの導入に際し、環境負荷の側面からその影響を明らかにし、この新交通形態の導入の判断材料の一つとすることを目的とする。

2. 研究の位置づけ

2.1 Shared-adusの経緯と現状

Shared-adus は都道府県等の地域単位で保有する adus

車両で、従来の自動車トリップ需要に対応する交通サービスである。さらに、後述する条件を満たす利用者同士では、同一車両に乗り合って移動する RS が成立すると想定する。

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 RS の利用が増加している⁷⁾。中でも米国の Uber Technologies(以下、「Uber」)が提供する RS 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⁸⁾。

また、米国では Uber による自動運転車両を含む RS 交通サービスの実証実験が開始される⁹⁾等、保有を前提としない adus 車両の利用方法がその実用化前から検討されている。

2.2 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、Shared-adus の普及可能性に着目した研究¹⁰⁾¹¹⁾、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¹²⁾がある。これらの既存研究においては、仮想の交通量想定によるシミュレーション分析や、パーソントリップ調査データを使用した各個人の現況の交通量をベースとしたシミュレーションがメインとなっている。さらに、本研究の着眼点である環境負荷の変動に着目した研究⁶⁾¹³⁾等が見られるが、本研究で想定する RS の成立は考慮していない。

また、adus実用化前からRS交通の成立可能性に関して多くの研究¹⁴⁾が行われてきたが、人間の運転を必要とせず運行が可能であるShared-adusは従来の交通形態と異なるシステムとして位置づけるべきと考える。

2.3 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の導入に伴う都市環境への影響について、車両数や車両の総走行時間の変動といった観点から推計を行う。なお、多様な導入形態が想定されるSAの導入効果の分析においては、複数の導入シナリオを想定することが望ましいと考える。そのため、複数の成立条件の設定を通して比較する。さらに、地域単位で考察を加えることで、導入による影響の生じやすい地域の特徴を洗い出す。

2.4 本研究の特長

本研究の特長を以下に示す。

- 1) 将来の交通サービスのトレンドになりうるMaaSの一翼を担うShared-adusの導入に伴う、ポジティブ・ネガティブ両面の影響を計測した高い新規性・有用性を有

する研究である。

- 2) Shared-adusの導入形態毎に生じる影響の差を示し、目的に合わせた導入の判断材料となる有用性を有する。
- 3) 地域特性ごとにShared-adus導入時の環境負荷の程度を可視化することで、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

3.1 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。

なお、本研究における Shared-adus は鉄道利用者(たとえば茨城県南地域⇄東京都都区部)の交通手段転換を促すものでなく、従来は自動車で行っていた郊外地域間の移動を代替する交通サービスである。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。

これらを踏まえ、本研究において想定する Shared-adus は次の 4 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) 車両は個人所有ではなく対象地域全体で共有する。

なお、本研究はバス利用者の一部を Shared-adus 利用者として結果的に取り込んでいるが、公共交通を撤廃すべきという意図を有するものではない。

表1 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
地域特性 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
土地利用 細分メッシュデータ	国土数値情報 ダ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

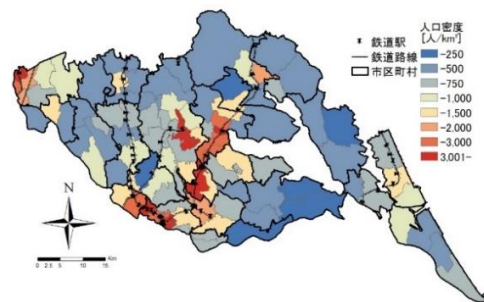


図1 対象地域の各小ゾーンの人口密度(可住地面積比)

3.2 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。本研究では一定規模以上の地域内における各個人の行動スケジュールを把握するため、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、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。

3.3 RS 成立条件

2 者の RS 成立には、両トリップの時空間一致が大前提である。加えて、一定の利便性確保のため、RS を行う 2 者の出発時間の差を最長 15 分¹⁵⁾とする。RS 成立の基本条件を式(1)~(3)に示す。また、郊外間という一定距離以上の移動における利用を想定するため、発着地が同一の内々トリップは RS 成立の対象外とする。

$$TOD_a = TOD_b \quad (1)$$

$$WL \leq TS_b - TS_a \leq WH \quad cf \quad TS_a < TS_b \quad (2)$$

$$0 < WL < WH \leq 15 \quad (3)$$

TOD_n : トリップ n の出発地-到着地

TS_n : トリップ n の出発時間(分)

WL, WH : トリップの出発時間差の最短, 最長時間(分)

なお、PT データの位置情報の最小単位が小ゾーンであるため、RS の成立可否は 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 RS が成立するような「RS 成立確率」を設定する。算出式を(4)、(5)に示す。これは 2 者の出発時間差を、小ゾーン面積および自動車平均旅行速度より算出した「ゾーン内到達可能時間」で除した値である。この値を(1)~(3)の RS 成立条件を満たす 2 者の拡大係数に乘じ、RS 成立組数を算出する。

$$RT_i = \beta \cdot d_i / v_i \quad cf \quad \beta = 1.4 \quad (4)$$

$$d_i = \sqrt{d_{zi} / 3.14} \quad (5)$$

RT_i : ゾーン i における到達可能時間

B : 直線距離から道路距離への補正係数

d_{zi} : ゾーン i の可住面積

d_i : d_{zi} 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

3.4 必要車両数の算出

先述の条件を基に、Shared-adus の運行に必要な車両数を算出する。初めに、トリップ毎に RS の成立有無を確認し、RS が成立したトリップは 1 つの自動車トリップと

みなす。自動車トリップ数が確定した後、全トリップの輸送に必要な車両数を算出する。この際、Shared-adus の導入を想定しない場合は、自動車運転手の数を集計する。Shared-adus の導入を想定する場合は、トリップの出発時点で、その発地に車両が存在する場合は既存の車両を配車する。該当する車両が存在しない場合は新規車両を配車すると仮定する。この仮定で配車を行った場合の必要車両数を算出する。

3.5 総走行時間の算出

本研究では SA の導入に伴う環境負荷の指標として総走行時間を用いる。この指標は温室効果ガス排出量等の指標と比較すると、年々向上する車両の燃費といった要因によって結果が左右されない指標と考える。

車両の総移動時間について、「移動時間」「送迎時間」「回送時間」で構成されると仮定する。各要素の定義は以下の通りである(図2)。

「移動時間」: 乗客を乗せて目的地に移動する時間。

「送迎時間」: RS が成立する場合、先乗者が乗車してから後乗者を乗せるまでの時間。

「回送時間」: 次の利用者の元へ無人で移動する時間。

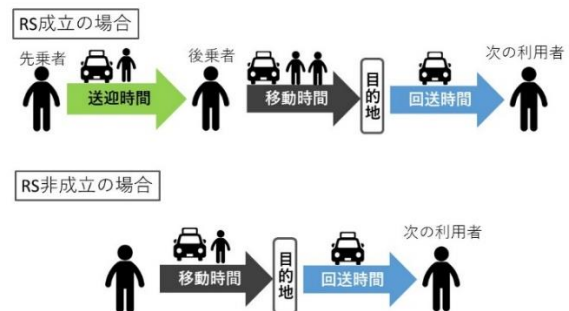


図2 車両の移動時間に関する用語のイメージ図

3.6 想定する Shared-adus の導入シナリオ

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 RS の成立を前提とする交通サービスであるが、RS 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、RS が成立しない Shared-adus の導入シナリオについても検討を行う。

また、RS の成立は 2 者のトリップの時空間一致が前提で、利用者は同じ距離を RS によって低コストで移動可能である。Shared-adus の運営主体にとっても輸送効率を高められるため、RS 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¹⁶⁾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)以内で早めた場合に基本条件を満たす場合に RS 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 RS 成

立割合や必要車両数の変動等に注目する。以降、シナリオ中ではShared-adusは「SA」、発時間変動条件を「発変」と表記し、現状(①BAU)を基準とした場合の「①RS」「②SA_非RS(RSが一切成立しないシナリオ)」「③SA_基本条件」「④SA_発変_15分」「⑤SA_発変_30分」の5つの導入シナリオによる比較分析を行う。なお、④、⑤のシナリオでは、利用者の発時間がそれぞれ15分以内、30分以内で早めに変動する可能性がある。

4. 導入シナリオ毎の影響比較

4.1 シナリオ毎のトリップ集約効果

3.で述べた分析方法に基づき、Shared-adusの導入に伴う自動車トリップの集約効果について検証を行う。導入シナリオ毎の自動車トリップ数を図3、必要車両数を図4に示す。ここから以下の点を読み取れる。

- 1) 図3の①と③の比較より、Shared-adusの導入によって集約される(RSが成立する)トリップが倍増することが伺える。①では自動車非保有者は自動車保有者とはマッチング出来ない制約がShared-adusの導入によって解消されることが大きな要因と考える。
- 2) 図3の③と④⑤の比較より、発時間変動条件では集約されるトリップがさらに倍増する。同じ距離を低コストで移動したい利用者が多い場合、15分程度の出発時間の変動を許容することで、基本条件よりも10万トリップ以上の集約が可能となる。
- 3) 図4の①と②の比較より、Shared-adusの導入によって従前の4割程度の車両数で運行が可能となることが明らかとなった。同数の自動車トリップを②では半数以下の車両で輸送していることから、車両の稼働率が向上していることが示唆される。
- 4) 図4の②～④より、Shared-adusを導入したシナリオ毎の必要車両数はRSの成立数が多いほど少なくなる。ただし、①と②のような大きな差は見られなかった。

4.2 シナリオ毎の総走行時間

前節においてShared-adusの導入によって車両の運行効率が大幅に増加する可能性を示唆した。ただし、1.で述べたように、Shared-adusは利用者間の回送時間を発生させることから、総走行時間の増加が懸念される。導入シナリオ毎の総走行時間を図4、車両あたりの総走行時間を図5に示す。ここから以下のことが読み取れる。

- 1) 図4の①と②の比較より、SAの導入で20万時間の回送時間が生じていることが読み取れる。これはBAUの総走行時間の約4割に相当する。
- 2) 図4の②と③の比較より、RSによって移動時間が短縮されることで総走行時間は短くなっている。

- 3) 一方で③と④⑤を比較すると、総走行時間は④⑤の方が長い。これは、③よりも少ない車両数で輸送するために回送時間が増加したことが原因と考えられる。
- 4) 車両あたりの総走行時間(図5)を見ると、②～④ではRSの成立数が多いほど車両あたり総走行時間が長くなる傾向が読み取れる。3)で述べた回送時間や、RSが成立する際の送迎時間の増加が原因となっている。
- 5) 図5の①と②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倍以上となっている。

[万トリップ] 0 30 60 90 120 150

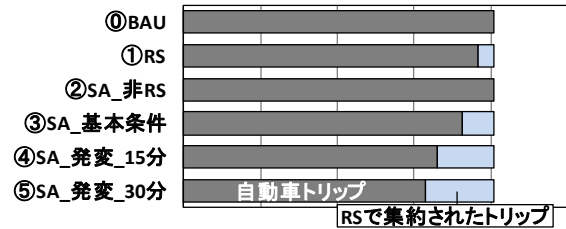
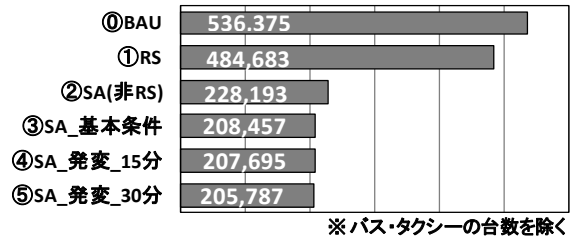


図3 シナリオ毎の自動車トリップ数

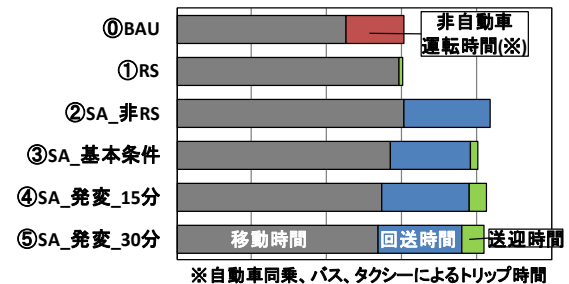
[万台] 0 10 20 30 40 50 60



※バス・タクシーの台数を除く

図4 シナリオ毎の必要車両数

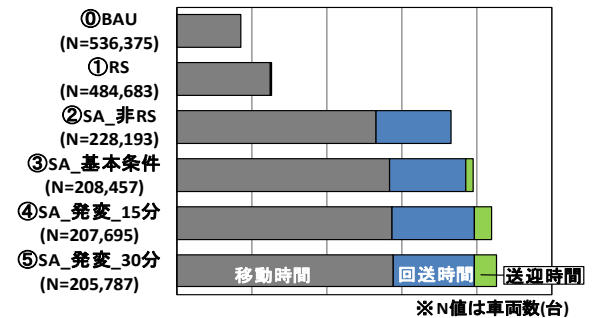
[万時間/日] 0 20 40 60 80 100



※自動車同乗、バス、タクシーによるトリップ時間

図5 シナリオ毎の総走行時間

[分/日・台] 0 60 120 180 240 300



※N値は車両数(台)

図6 シナリオ毎の車両当たり総走行時間

5.Shared-adus導入による影響の地域間比較

5.1 シナリオ毎のRSトリップ割合の変動

Shared-adus導入に際して成立するRSの数は、成立する地域によって差が生じることが考えられる。各小ゾーンを発地とする自動車トリップの内、RSトリップの割合を図7に示す。ここから以下のことが読み取れる。

1) 鹿嶋臨海工業地域が立地する鹿嶋市、神栖市におけるRSトリップ割合が比較的高い。これらの地域は海に隣接しているために交通の方向が限定的であることや、工業地域という特性上、通勤や帰宅目的のトリップが朝夕のピーク時間帯において同一方向に発生しやすいことが要因と考える。

2) 常磐線沿線やつくばエクスプレス沿線地域においてRSトリップ割合が高い地域が見られる。利用者密度が高いほどRSが成立しやすく、鉄道駅を有する地域はその条件を比較的満たしていることが示唆される。

また、④発時間変動条件_15分以内におけるRSトリップ割合を図8に示している。4.1より、茨城県南地域全体では③と比較して④のシナリオでより多くのRSが成立することが分かっている。小ゾーン単位で詳しく見ると以下のことが分かる。

1) 鉄道沿線等のRSが成立しやすいと考えられるゾーンにおいてRSトリップ割合の増加傾向が見られる。これらのゾーンは利用者密度が比較的高いと考えるため、発時間を変動させることで③基本条件を満たすトリップが多いことが示唆される。

2) 面積が比較的大きな小ゾーンにおいて、③と比較して④のRSトリップ割合が低くなっているゾーンが存在する。各小ゾーンは人口1.5万人を目安に設定されており、面積の大きなゾーンほど人口密度が小さい傾向がある。先述の人口密度の大きな地域と比較すると、出発時間の変動で新たに相手が見つかりづらいことが原因と考えられる。

5.2 回送時間の地域的特徴

各小ゾーンを発地としたトリップの総移動時間に占める回送時間の割合について、③基本条件の結果を図9に、④発時間変動条件_15分以内の結果を図10に示す。ここから以下の点が読み取れる。

1) 面積の大きなゾーンで回送時間割合が高い傾向が読み取れる。人口密度が比較的低いこれらの地域では、高密な地域よりも利用者間の回送に必要な時間が比較的多くなるためと考えられる。

2) 図9、図10を比較すると、回送時間割合が茨城県南地域全体で満遍なく高まっており、4.2で示した車両数の減少による回送時間の増加が運行地域全域に影響を及ぼしていることが示された。

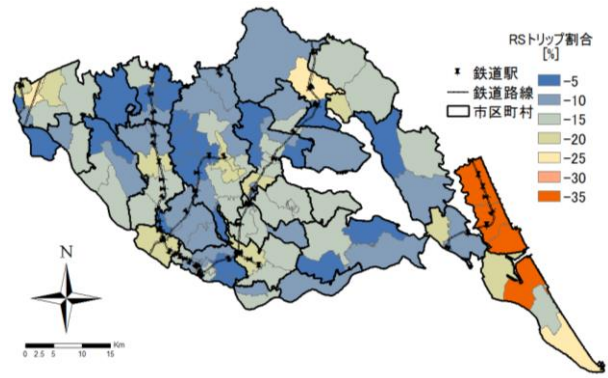


図7 ③基本条件のRSトリップ割合

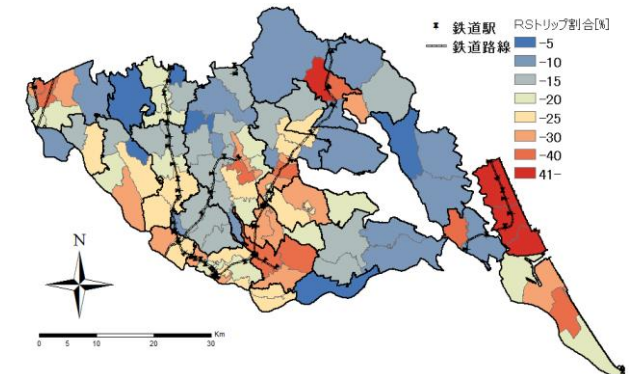


図8 ④発時間変動条件_15分以内のRSトリップ割合

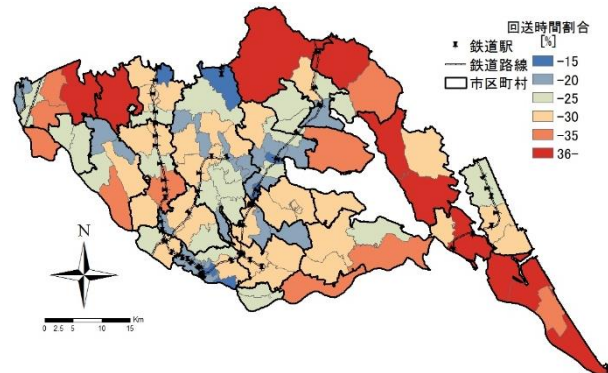


図9 ③基本条件の回送時間割合(総走行時間比)

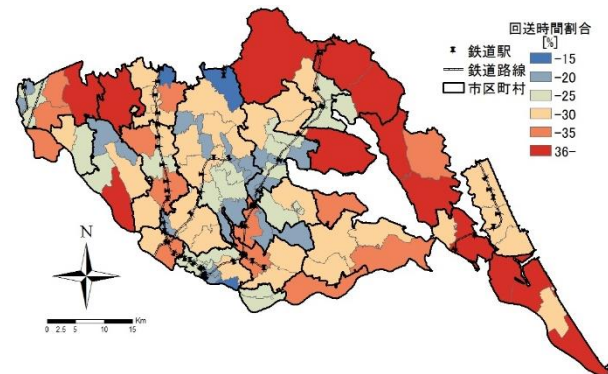


図10 ④発時間変動条件_15分以内の回送時間割合(総走行時間比)

6. おわりに

本研究では将来的な実用化が期待される Shared-ados の導入における環境負荷について、複数の導入シナリオによる影響を推計した。主な結果は以下の通りである。

- 1) 単純な RS の場合と比較して、Shared-ados によって成立する RS トリップは倍増する。
- 2) Shared-ados は従前の約 4 割程度の車両数で運行可能であるが、導入によって従前の総走行時間の約 4 割に相当する回送時間が発生する。
- 3) 地域別に見ると人口密度が比較的高い都市や、海岸線に接している小ゾーンにおいて RS が成立しやすい。
- 4) 総走行時間に対する回送時間の割合は人口密度が疎な地域において高くなる傾向が見られる。

これらの結果より、回送時間の観点では地域の人口密度等に応じて RS 成立の条件を変動させることでより効率的な運行が可能になると考える。また、回送時間や送迎時間は、Shared-ados 専用の乗降場所を設置する等、利用者間・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、この施策は利用者の利便性を損なう可能性もあり、特定の乗降口から乗車する場合に利用料金を割引する等、利用者側にインセンティブを与えるといった運営方法も検討すべきと考える。

なお、Shared-ados 導入による影響は本研究で対象とした環境面のみならず、駐車スペースの集約といった土地利用・都市構造の変化をもたらす可能性⁹⁾をも秘めており、導入の際には多面的な影響の考慮が求められる。

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、国土交通省関東地方整備局実施の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。この場を借りてお礼申し上げる。

参考文献

- 1) MaaS Global HP, <http://maas.global/>, 最終閲覧 2017.05
- 2) 谷口守・石田東生・黒川洗: トランスポーター・ギャップの存在領域に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集, No.18, pp.217-220, 1995.
- 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, 最終閲覧 2017.01.

- 4) Peter Glus, Eric Rothman, Joe Lacobucci :Driverless Future A Policy Roadmap For City Leaders-, https://drive.google.com/file/d/0B6YBhO59Nnj_ejJMU3N1OEpHUKU/view-, 2017, 最終閲覧 2017.05.
- 5) 日本経済新聞 2016 年 5 月 25 日夕刊 1 ページ: 「トヨタ、米ウーバーに出資、VW はイスラエル社、車大手、配車アプリに急接近、新事業創出へ布石。」
- 6) 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.
- 7) 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—, デザインエッグ株式会社, 2014.
- 8) 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。」
- 9) 日本経済新聞 2016 年 12 月 15 日朝刊 7 ページ「ウーバー、自動運転『相乗り』実験拡大、サンフランシスコで、交通量多く『難易度高い』。」
- 10) 山本真之・梶大介・服部佑哉・山本俊行・玉田正樹・藤垣洋平: 自動運転車によるカーシェアの普及に関する研究, 第 53 回土木計画学研究発表会・講演会 CD-ROM, pp.1324-1327, 2016.
- 11) 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・講演集, Vol.52, pp.168-174, 2016.
- 12) OECD: Urban Mobility System Upgrade -How shared self-driving cars could change city traffic, International Transport Forum, 2016.
- 13) Zia Wadud・Don MacKenzie・Paul Leiby: Help or hindrance? The travel, energy and carbon Impacts of highly automated vehicles, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol.86, April 2016, pp 1-18, 2016.
- 14) たとえば、藤垣洋平・高見淳史・大森宜暁・原田昇: 家用車運転代替としての自由度の高い月額制乗合タクシー提供費用に関する研究, 土木計画学論文・講演集, Vol.47, 2013.
- 15) 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.
- 16) 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.tu-tokyo.ac.jp/odt/index.html>, 最終閲覧 2017.05.

(2017. ?? 受付)

Influence of Introducing Shared Automated Driving for Universal Service
- Looking ahead to the future “Mobility as a Service”-

Hideto KATSUKI, Katsushi AZUMA, Isamu TAKAHARA and Mamoru TANIGUCHI