

シェア型自動運転車の都市構造別運行効率

東 達志¹・香月 秀仁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:s1820436@s.tsukuba.ac.jp

²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

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1134)
E-mail: mamoru@sk.tsukuba.ac.jp

近年、シェア交通サービスや自動運転技術等、IoTを活用した新しい交通サービスが次々と登場しており、人々の交通行動や都市活動が大きく変化しつつある。その変化に伴い、都市構造や土地利用も変化することが考えられるが、現状の都市計画や都市構造が新しい交通サービスの運行効率の面で適格的かどうかは未だ不透明である。本研究では、自動運転車によるシェア交通“Shared-adus”の郊外地域への広域的導入を想定し、異なる都市構造でのShared-adusの運行効率を比較した。その結果、1) 都市機能を現状より集約させることでライドシェア成立割合は増加するが、必要車両台数や車両走行時間は増大する傾向が見られた。また、2) 都市構造の変化がShared-adusの運行効率に与える影響の大きさやその傾向は、鉄道沿線地域や工業地域等のように、地域によって異なることが示された。

Key Words : *automated-driving, share mobility, mobility as a service, urban structure, land use*

1. はじめに

近年のIoT化や技術革新に伴い、新たな交通サービスが次々と登場している。なかでも、将来的に実現が期待される交通サービスとして、自動運転技術とライドシェア、カーシェアサービスを組み合わせた自動運転車によるシェア交通サービスが挙げられる。

自動運転車は、自家用車利用時の運転ミスによる事故の減少や、公共交通の少ない地域における移動手段として注目されており、特に人間による運転が不要となる自動運転レベル(SAE レベル4~5)が実現すれば、利用者は目的地へ運転の負担を負うことなく移動することができる。我が国の内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)では、自動運転車を adus(automated driving for universal service)と呼称している¹⁾ことから、本研究ではこの自動運転車によるシェア交通サービスを“Shared-adus”と呼称する²⁾。なお、このサービスは多くの場合、“Shared autonomous taxis”とも呼称されている³⁾

Shared-adus が普及すれば、人々の都市活動だけでなく、都市構造も大きく変化させる可能性がある。例えば、自

動車の登場は、遠距離の目的地へ door-to-door の移動を可能にしたため、鉄道等の公共交通拠点から離れた地域で施設が立地する「都市の郊外化」を引き起こした。そのため、我が国では「国土のグランドデザイン 2050」⁴⁾や「立地適正化計画」⁵⁾等の政策により、公共交通を中心としたネットワークの整備や、公共交通拠点への都市機能の集約によって持続性向上が図られている。

また、Shared-adusが普及した場合も例外ではないと考えられ、免許保有の有無に関わらず「だれでも」「いつでも」「どこでも」自由に移動できる社会になれば、その便利さ故に居住地の郊外への拡散が解消しない恐れがあるとともに、公共交通拠点への都市機能の集約は必ずしも目指すべき唯一の都市構造でなくなる可能性がある。現在「国土のグランドデザイン2050」や「立地適正化計画」等で提案されている都市構造の考え方がShared-adusの運行効率の点で問題がないのか、適格的なのかを確認することが重要だと考えられる。そのためには、Shared-adusの普及を想定し、トリップ需要を満たすために必要な車両走行時間や必要車両台数を可能な限り減少させる、効率的な運行を実現できる都市構造を考える必要がある。

2. 研究の位置づけ

2.1 自動運転車に応じた都市計画側の動向

多くの民間企業及び政府がShared-adusの実用化に向けた取り組みを行っているが、その受け皿となる都市側からの対応は追いついていないのが現状である。例えば、アメリカの68都市を対象とした調査では、自動運転車交通計画に組み込んでいる都市は6%に留まっており⁶⁾、また我が国においても、自動運転車を交通計画に組み込むための具体的な取り組みを行っている都市はほとんどないと指摘されている⁷⁾。現在、我が国では人口減少や少子高齢化等の社会的背景を前提に、公共交通拠点への都市機能集約が目指されているが、将来Shared-adusが普及し、より自由に移動することができれば、居住地の郊外への拡散が解消しない恐れがあるとともに、都市機能の集約が目指すべき唯一の都市構造でなくなる可能性がある。これらの点を把握するためには、都市機能を公共交通拠点に集約した都市構造と、その対照となる都市機能が各地に分散した都市構造を想定し、都市構造の違いがShared-adusの車両走行時間や必要車両台数といった運行効率にどれだけ影響を与えるか分析する必要がある。

2.2 既存研究レビュー

都市構造とシェア交通サービスの関係性を検討した研究がいくつか見られ、例えば、カーシェアの普及過程を複数の都市構造で比較した研究⁸⁾や、複数の居住地・都市機能の配置シナリオでバスとカーシェアを組み合わせた交通サービスの導入可能性を検討した研究⁹⁾が見られる。また、自動運転車と都市に関しては、シェア型自動運転車の運行効率と都市半径の関係性¹⁰⁾や複数の都市規模で運行効率を検討した研究¹¹⁾、さらに、自動運転車にの普及を想定したミクロな空間計画を検討した研究等¹²⁾が見られる。

上記の研究では、トリップ密度の高い大都市都心部を対象にした研究や、理想的な都市構造を想定して分析した研究が多い。しかし、Shared-adusは公共交通の少ない大都市郊外部をはじめとした地域で普及する可能性があるため、大都市郊外部での導入を想定する必要がある。

また、都市構造の違いがシェア交通サービスの運行効率に与える影響を検討した研究については、都市規模等の大まかな都市構造を対象に、仮想都市を用いた研究やトリップ需要を仮想的に発生させている研究が多い。しかし、実際のトリップは通勤・通学時間帯および帰宅時間帯にピークが存在するように、一定時間内に特定方向へ集中すると考えられ、Shared-adusの運行効率に大きな影響を与えると考えられる。そのため、実際のトリップ需要、特に現在自動車利用の多い大都市郊外部のトリップ需要をもとに検討することが重要である。

2.3 本研究の内容

2.1及び2.2より、現在提案されている都市構造の考え方がShared-adusの運行効率の点から見た場合の問題点や適合性についての知見を得ることを目的とする。上記の目的を達成するために、本研究では、Shared-adusの郊外地域への広域的導入を想定し、都市構造の違いがShared-adusの運行効率に与える影響を分析する。また、その影響は地域によって異なると考えられるため、その影響を地域間で比較する。運行効率に関しては、既存研究²⁾を参考にライドシェア(以下、RS)成立割合やShared-adusの必要車両台数、及び車両走行時間(移動時間+回送時間)を想定する。また、都市構造に関しては、「現状」の都市構造と現在取り組まれている公共交通拠点への「機能集約」、及びその対照的な施設配置である「機能分散」を想定し、その詳細は3.4で述べる。

2.4 本研究の特長

本研究は以下の3点の特長を有する。

- 1) 将来的に都市交通を支えると考えられる Shared-adus の運行効率を都市構造の差異の観点から分析した新規性・有用性の高い研究である。
- 2) 実際の地域及びトリップ需要に基づいて分析を行っている独自性・信頼性の高い研究である。
- 3) Shared-adusの導入により、交通手段や都市構造が抜本的に変化する可能性を有しており、極めて発展可能性が高い研究である。

3. 分析概要

3.1 本研究で想定するShared-adus

本研究では、Shared-adus が普及した社会を想定するため、年齢や免許保有の有無等に関わらず、誰もがShared-adus を利用できる環境を想定する。また、Shared-adus は、自家用車に代わる地域全体でシェアされる交通サービスとしての役割が期待される。以上の点を踏まえ、本研究で想定する Shared-adus は既存研究²⁾を参考に以下の3点の特徴を有する。

- 1) 自動運転(SAE)レベル5とする。これは全区間自動運転により移動し、また免許保有の有無に関わらず利用可能な、SAE レベルの中で最高のレベルである。
- 2) 車両の保有形態として、個人では車両を保有せず、地域全体で共有すると仮定する。
- 3) RS は最大2組まで可能とする。

3.2 使用データの概要

本研究では、Shared-adus の運行効率を都市構造の差異によって比較するため、各個人の「発着地」や「発着時刻」だけでなく、その個人が「どのような施設」を発着

しているかを把握する必要がある。そこで、本研究では「発着地」や「発着時刻」に加え、「発着施設の種類」がセットに把握できる第 5 回東京都市圏パーソントリップ調査データ¹³⁾(H20 年度調査, 以下 PT データ)を使用する。また, Shared-adus は障がい者や高齢者を含めたすべての人が既存の公共交通がなくとも目的地まで移動できる交通サービスとして期待される。そこで本研究では, 東京都市圏の郊外部に位置する茨城県南地域を対象に, 同地域内を発着とするトリップ(2,643,151s : 拡大後)が全て Shared-adus に転換した際の運行効率と都市構造の関係性を把握する。また, 自動車やバスから Shared-adus に転換する場合は, 移動時間は大きく変化しないと考えられるが, 徒歩や自転車から Shared-adus に転換する場合は, 移動時間が削減され発着時間が大きく変化する可能性がある。しかし, 本研究では実在のトリップ需要を基準とした際の Shared-adus の運行を想定するため, 交通機関の転換による乗車時間の変化はないと仮定する。

なお, Shared-adus はライドシェアをしつつ door to door で目的地まで移動する点では, 相乗りタクシーと通ずる部分がある。しかし, Shared-adus は車両 1 台に 1 人の運転手が必要となる点で相乗りタクシーとは大きく異なり, 茨城県南地域を移動するトリップに対して運転手を確保することは極めて現実的ではない。そのため, 本研究で想定するサービスは adus で初めて成立するものである。

3.3 分析対象地域の概要

先述した通り, 本研究では茨城県南地域を対象に分析を進める。茨城県南地域は人口約164万人, 面積は約2,578 km²で26の市町村からなる。東京都市圏の郊外部に位置しており, 都市地域や工業地域, 農村地域等多様な特性を持つ地域が含まれる。図-1に茨城県南地域の交通機関分

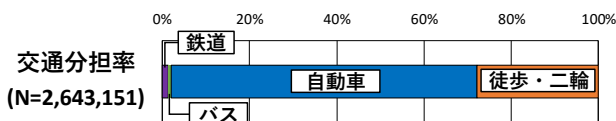


図-1 茨城県南地域における交通分担率 (N 値は拡大後の総トリップ数/日)

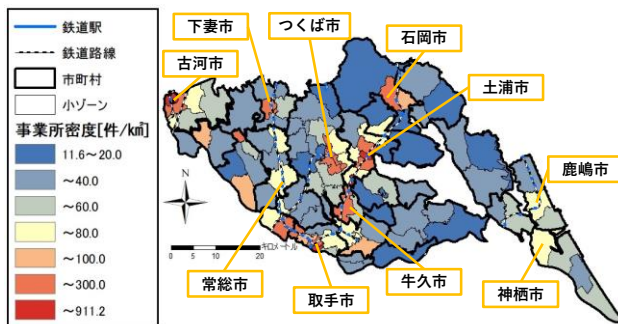


図-2 茨城県南地域の小ゾーン別事業所密度[件/km²]¹⁴⁾

担率, 図-2に茨城県南地域の小ゾーン別の事業所密度[件/km²]を示す。図-1より, 地域内の移動は自動車が約70%, 鉄道・バスは合わせて約2%であり, 自動車に依存した地域であるといえる。また, 図-2より, 鉄道沿線地域や鹿嶋臨海工業地域の中心部において事業所密度が高く, 鉄道から離れた市町村の辺縁部では事業所密度が低い。

3.4 機能集約及び機能分散の概要

本研究では, 異なる都市構造で Shared-adus の運行効率を比較するが, その際, 現状の都市構造や, 多くの自治体が目指している都市機能集約の妥当性を把握する必要がある。そのため, 比較する都市構造として, 現状から変化しない「現状」, 及び公共交通拠点に都市機能が集約した「機能集約」とその対照的な都市構造である「機能分散」の3つのシナリオにおいて, Shared-adus の運行効率を算出し比較する。都市構造が変化することは, 施設配置が変わるとともに, その施設を訪れる人々の発着地が変動することを意味する。その際, PT データではトリップの「発着施設の種類」を把握することができるが, 発着地は小ゾーン単位(一つ以上の町丁目の集合体)までしか詳細に把握することができない。そのため, 本研究では PT データにおけるトリップの発着地を小ゾーン単位で変化させることで, 都市構造の変動を表現する。図-3及び以下に本研究における都市構造の詳細を述べる。

- 1) 「機能集約」は, ①A 地域に立地する分類 P の施設を訪れるトリップの着地をすべてゾーン X に変更し, ② A 地域に立地する分類 P の施設を出発地とするトリップの発地をすべてゾーン X に変更する。また, 上記のゾーン X を「集約先ゾーン」と呼称する。
- 2) 「機能分散」は, ①A 地域内を発地とし, 分類 P の施設を訪れるトリップの着地をすべて発地ゾーンと同

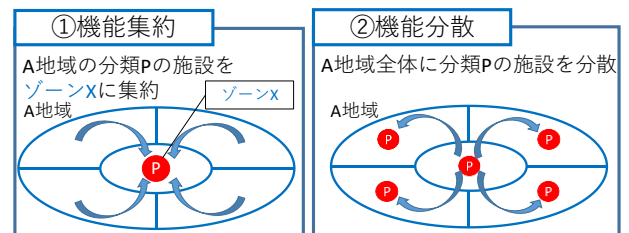


図-3 機能集約及び機能分散の概要

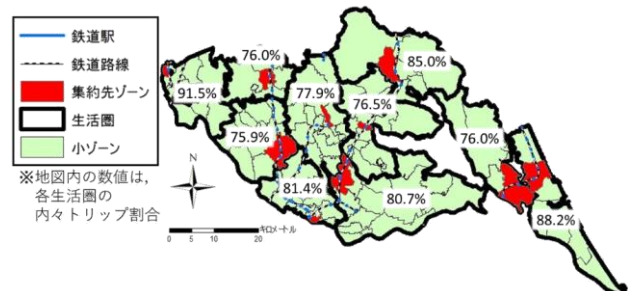


図-4 茨城県南地域における集約先ゾーン

一に変更する。また、トリップチェーンを考慮するため、発着地が変動した個人が、変動したトリップの後に別のトリップを発生させている場合、②その後のトリップの発地ゾーンを前のトリップの着地ゾーンと同一ゾーンに変更する。

また本研究では、図4のように茨城県南地域を「生活圏」と呼ばれる、各生活圏内の内々トリップ割合が75%以上になるように分割している。75%とは、茨城県南地域内を移動するトリップのうち「通勤・通学」「買い物」「通院」及びその「帰宅」が占める割合(約70%)を超えるように、主な日常生活が営める範囲として設定している。また集約先ゾーンは各生活圏のうち、鉄道駅が立地するゾーンの中で、現状で最も集中トリップが大きいゾーンを選定している。

なお、実際の施設には総合病院と診療所、大型スーパーと個人商店というように、施設の階層性があると考えられるが、本研究で想定する都市構造では施設の階層性はなく、前期の1)2)に基づいた移動を行うと仮定する。

また、トリップの発着地の変動に伴う移動時間の変動については、ゾーンaからゾーンbに移動する自動車トリップがPTデータに存在すれば、以下の算出式(1)に基づいて割り当てる。また、ゾーンaからゾーンbに移動する自動車トリップがPTデータに存在しない場合は、ゾーンaとゾーンbの重心間の道路距離を茨城県の昼間12時間自動車平均旅行速度(40.1km/h)¹⁵⁾で除した値を割り当てる。

$$T_{ab} = \sum_{i=1}^{n_{ab}} C_{abi} / \sum_{i=1}^{n_{ab}} f_{abi} \quad (1)$$

T_{ab} : ゾーンaからbへの移動時間

C_{abi} : ゾーンaからbへ移動する自動車トリップの移動時間

f_{abi} : ゾーンaからbへ移動する自動車トリップの拡大係数

n_{ab} : ゾーンaからbへ移動する自動車トリップ数

3.5 RS 成立条件及び配車条件

本研究では、最大2組のRS成立を考える。その条件として、2者の発着地の小ゾーンが一致し、かつ出発時間近いトリップのRSが成立すると仮定し、また Shared-adusの一定の利便性を確保するため、乗り合う2者の最大出発時間差を、社会資本整備審議会の資料¹⁶⁾を参考に15分としている。なお、内々トリップについては、既存のPTデータではトリップの移動方向が特定できないため、本研究では内々トリップでのRSは非成立としている。

また、配車条件については、トリップの出発時間に、その発地ゾーンに稼働可能な車両が存在する場合は既存

の車両を配車し、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。RS成立及び配車条件の詳細については既存研究²⁾の3.で詳述されているため本研究では割愛する。

3.7 本研究で想定するシナリオ

本研究では、日常生活に欠かすことのできない施設の都市構造を把握するため、「通勤・通学施設」及び国土のグランドデザイン2050において、欠かすことのできないサービス施設とされている「買い物施設」「医療・福祉施設」を機能集約及び機能分散する。なお、住宅の立地は個人の意思に大きく委ねられることから、本研究では既存のPTデータから変化しないとす。上記を踏まえ、各シナリオの表記を「①現状」「②機能集約」「③機能分散」とし、3つのシナリオを想定して比較分析を行う。なお、導入車両は全シナリオにおいてShared-adusとする。

4. 都市構造別にみるShared-adusの運行効率

図-5にShared-adus運行によるRS成立割合、図-6に必要な車両台数、図-7にShared-adusの車両走行時間をそれぞれ示す。これらより以下の点が読み取れる。

- 1) 図-5より、①現状の都市構造では約8%のRS成立割合なのに対し、②機能集約することで現状の約3倍まで増加する結果となった。都市機能を特定ゾーンに集約させることで、トリップの発着地が特定地域に集中し、発着地が同一化するトリップが増加したためと考えられる。
- 2) 図-6より、必要車両台数は、RSが最も多く成立する①機能集約時において最も増加する結果となった。これは機能集約することで車両が特定のゾーンに集中(車両偏在)し、各ゾーンから発生するトリップ需要に既存のShared-adus車両で対応できなくなったためと考えられる。
- 3) 一方、2)と同図より、②機能分散時には必要車両台数は削減されることがわかる。車両が各ゾーンに分散されるため、新たなトリップ需要に既存の車両で対応できるためだと考えられる。
- 4) 図-7より、移動時間は①機能集約時において最も増加し、合計車両走行時間も①機能集約時に最も増加する結果となった。都市機能を集約先ゾーンに集約することで、集約先ゾーンから遠いゾーンより集約先ゾーンに訪れるトリップが増加したためだと考えられる。
- 5) 4)と同図より、回送時間は①機能集約時に最も減少する傾向が見られた。トリップ需要が特定地域に集中することで、車両が前の乗客を降ろした後に次の乗客のもとに移動する距離が近くなったためと考えられる。

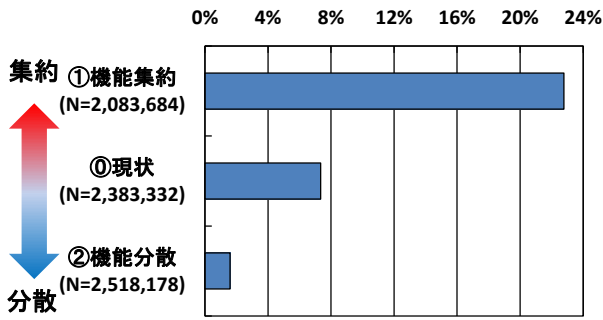


図-5 都市構造別の Shared-adus 運行による RS 成立割合(N 値は拡大後の総トリップ数)

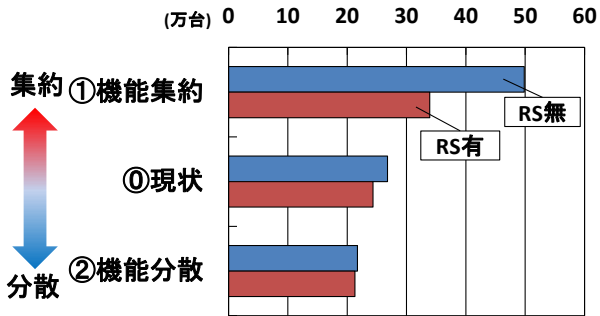


図-6 都市構造別の Shared-adus 必要車両台数

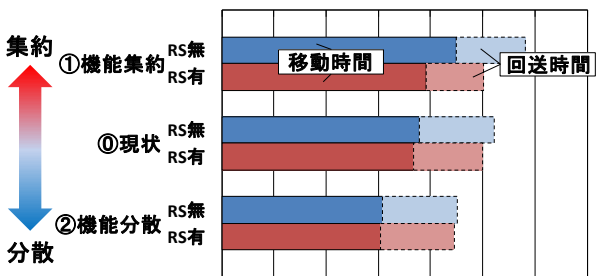


図-7 都市構造別の Shared-adus 車両走行時間

5. 地域別にみる都市構造変化が Shared-adus の運行効率に与える影響

5.1 RS 成立割合の地域間比較

図-8に①機能集約によるRS成立割合への影響、図-9に②機能分散によるRS成立割合への影響を示す。これらから以下の点が読み取れる。

- 図-8より、①機能集約することで多くの地域でRS成立割合が増加しており、なかでもトリップ密度が大きい生活圏の中心部やその付近での増加率が大きい。一方、トリップ密度が低い生活圏の辺縁部では、都市機能が集約されてもRS成立割合は比較的变化しないことがわかる。
- 図-9より、②機能分散することでほとんどすべての地域でRS成立割合が減少している。なかでも既存研究2)で①現状におけるRS成立割合が高いと指摘されている鉄道沿線地域や、移動方向が限定された臨海部の鹿

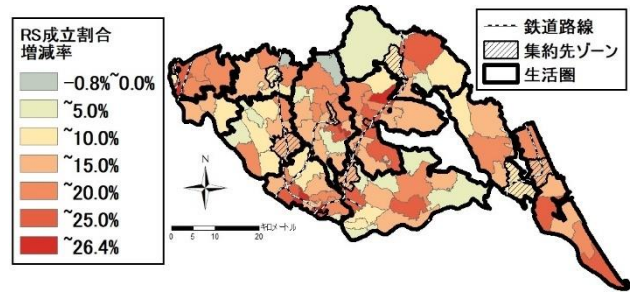


図-8 ①機能集約による RS 成立割合増減率 (発地ベース)

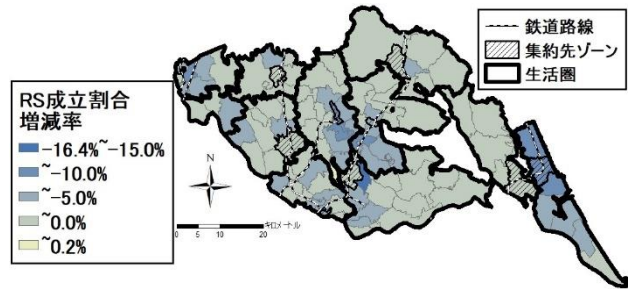


図-9 ②機能分散による RS 成立割合増減率 (発地ベース)

嶋・神栖市での減少率が大きい。

5.2 合計車両走行時間の地域間比較

図-10に①機能集約による合計車両走行時間の増減率、図-11に②機能分散による合計車両走行時間の増減率を示す。これらから以下の点が読み取れる。

- 図-10より、①機能集約することで、合計車両走行時間は集約先ゾーンにおいて最大3倍以上増加していることがわかる。都市機能を特定の地域に集約することで、Shared-adusの車両もその地域に集中し、結果的に渋滞等の課題を引き起こす可能性がある。一方、その他のゾーンでは、集約先ゾーンに比較的近い地域をはじめ、合計車両走行時間が大幅に減少している。
- 図-11より、②機能分散することで、生活圏の辺縁部を除き、車両走行時間が削減されていることがわかる。なかでも集約先ゾーンに近い地域でその減少率が高い。都市機能が各地に分散することで、各地においてゾーン内で生活が完結できるようになり、本来トリップが集中していた地域でのトリップが減少したためと考えられる。

6. 結論

本研究の主な結果を以下に示す。

- 公共交通拠点に都市機能を集約することで、RS成立割合は増加するが、必要車両台数及び車両走行時間は増加する傾向が示された。また、都市機能を分散した

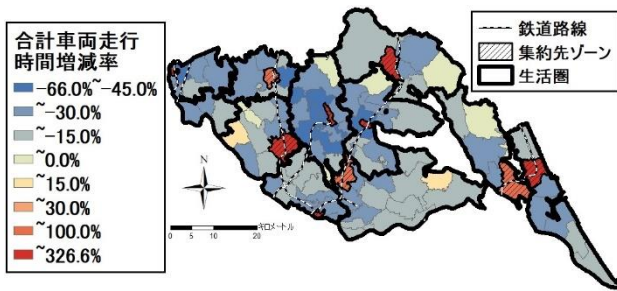


図-10 ①機能集約による合計車両走行時間増減率
(発地ベース)

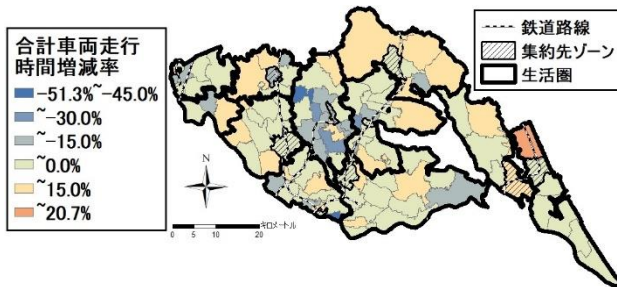


図-11 ②機能分散による合計車両走行時間増減率
(発地ベース)

場合、その逆の傾向が見られた。

- RS 成立割合を地域間で比較した場合、機能集約や機能分散により生活圏の中心部とその付近で増減率が大きくなる事が示された。
- 合計車両走行時間を地域間で比較した場合、都市機能を集約することで、集約させた地域で大幅に増加する可能性が示された。

上記の結果より、将来 Shared-adus が普及した社会において単純に都市機能を集約するだけでは、車両偏在による必要車両台数や車両走行時間の増加等の課題が発生する可能性がある。集約した地域では RS 導入の効果が高いため、自動運転バスのような大容量の交通機関を導入する等、交通面からの政策も同時に検討することが必要である。また、公共交通の導入が難しい郊外地域では、都市機能が分散した都市構造を想定して導入を検討する必要性もあり、その場合、例えば居住者の利便性を落とさない範囲でトリップ需要を集約することで、Shared-adus の効率的運行を実現していく必要がある。

謝辞：本研究は、トヨタ自動車(株)との共同研究「これからの社会システムとモビリティの在り方研究」の一環として実施した。また、国土交通省関東地方整備局が実施した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。加えて、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

- 内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) HP, <http://www.sip-adus.go.jp/>, 2018/06/22.
- 香月秀仁・東達志・高原勇・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・トリップの時空間特性・個人属性の観点から-, 都市計画論文集, Vol.52-3, pp.769-775, 2017.
- Wilco Burghout・Pierre-Jean Joseph Rigole・Ingmar Andréasson, Impacts of shared autonomous taxis in a metropolitan area, Proc. of the 94th TRB Annual Meeting, 2015
- 国土交通省：みんなで進める、コンパクトなまちづくり, <http://www.mlit.go.jp/common/001171816.pdf>, 2018/6/26.
- 国土交通省：国土のグランドデザイン 2050, <http://www.mlit.go.jp/common/001047113.pdf>, 2018/6/26.
- City of the Future: Technology & Mobility, National League of Cities, <http://nlc.org/sites/default/files/2016-12/City%20of%20the%20Future%20FINAL%20WEB.pdf>, 2018/6/24.
- 自動運転の現状と展望, 新都市, Vol71-10, 2017.
- 山本真生・溝上章志・古澤悠吾, 都市構造や交通特性の違いによるカーシェアリングシステムの普及に関する都市間比較分析, 第 56 回土木学会研究発表会・講演集, CD-ROM, 2017.
- 藤垣洋平・中井諒介・高見淳史・Giancarlo TRONCOSO PARADY, 原田昇, バスと乗合タクシーを組み合わせた複合的公共交通サービスの効率性分析, 第 57 回土木計画学研究発表会・講演集, 27-03, 2018.
- 紀伊雅敏・横田沙加・高震宇・中村一樹, 共有型完全自動運転車の普及に関する基礎分析, 土木学会論文集 D3, Vol.73, No5, p.1_507-1_515, 2017.
- OECD : Transition to Shared Mobility How large cities can deliver inclusive transport services, International Transport Forum, 2017.
- NACTO , Blue print for autonomous urbanism, Designing city edition, Module1, fall 2017.
- 東京都市圏交通計画協議会：第 5 回東京都市圏パーソントリップ調査, <https://tokyo-pt.jp/data/>, 2018/6/26.
- 総務省統計局：H18 年度事業所統計調査, <http://www.stat.go.jp/data/jigyoku/2006/index.htm>, 2018/6/26.
- 国土交通省, “平成 22 年度道路交通センサス”, <https://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/index.html>, 2018.4/4.
- 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.
- 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>, 2018/6/26

(2018. 7. 31 受付)