

シェア型自動運転車の運行効率の都市構造依存性

—都市形態及び都市機能集約度の観点から—

近年の技術革新に伴い、自動運転車によるシェア交通サービス（以下、Shared-adus）の実現が目指されており、誰でも利用できる利便性の高い交通サービスとして期待されている。Shared-adusの普及を見据え、効率的な運行方式や、現在都市機能集約が目指されている都市計画側からの新たな対応が求められるが、都市構造がShared-adusの運行効率に与える影響は不明である。本研究では、都市機能が特定地域にどれだけ集約しているかを示す「都市機能集約度」がShared-adusの運行効率に与える影響を分析した。その結果、1) 都市機能を集約するほどライドシェアは成立しやすくなるが、2) 必要車両台数や車両走行時間は増加することが示された。また、3) その影響は都市形態間で差異があることも明らかになった。

キーワード | シェア交通, 自動運転, 都市機能集約, 都市形態, 都市構造

東 達志

AZUMA, Katsushi

筑波大学大学院システム情報工学研究科修士課程

香月秀仁

KATSUKI, Hideto

修士(社会学) 独立行政法人都市再生機構東日本都市再生本部基盤整備計画部基盤統括課

谷口 守

TANIGUCHI, Mamoru

工学博士 筑波大学システム情報系社会学域教授

1——はじめに

人々に移動手段を提供する交通サービスは時代とともに進化し、人々の暮らしや都市活動を大きく変化させてきた。近年、スマートフォンの普及をはじめとしたIoT化や技術革新に伴い、アプリケーション（以下、アプリ）を活用したデマンド型交通やライドシェア、カーシェアリング等、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。

自動運転車は人間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、またラストワンマイルを補完するサービス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、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⁾。

しかし、Shared-adusの運行の課題として、乗客を乗せないまま移動する回送時間の発生やそれに伴う環境負荷増大、及び需要が一定時間内に集中することによる渋滞や

車両偏在等が指摘されている⁴⁾。今後Shared-adusの導入を図る際には、必要車両台数の削減や車両走行時間の短縮等、いかに効率的な運行によって上記の課題に対応できるかが重要である。

一方で、新しい交通手段の登場は都市構造にも大きな影響を与えてきた。例えば、自動車の登場により、遠距離の目的地へdoor-to-doorの移動が可能になったため、鉄道駅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、中心市街地の衰退等を招いた。そのため、我が国では「国土のグランドデザイン2050⁵⁾」や「立地適正化計画⁶⁾」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都市の持続性向上が図られている。

しかし、Shared-adusが普及し、免許保有の有無にかかわらず「だれでも」「いつでも」「どこでも」移動できる社会になれば、その利便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。しかし、Shared-adusに関する研究は、その需要予測や運行方式の検討等に重きが置かれているのが現状である。Shared-adusが普及した社会を見据え、都市構造の違いがShared-adusの車両台数や車両走行時間等に与える影響を明らかにすることは、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、適合的なのかを確認するうえで重要だと考えられる。なかでも、公共交通を前提に推進されている都市機能集約の妥当性を考慮した分析が必要と考えられ、都市機能の集約度の差異がShared-adusの運行効率に与える影響を明らかにする必要がある。

また、Shared-adusは将来的に都市活動の一部として利用される交通手段として期待されるため、導入された都市や地域での行動、及び都市の形態がどうなっているかで大きな影響を受けると考えられる。そのため、都市機能集約の議論だけでなく、導入した都市の形態の差異がShared-adusの運行効率に与える影響を分析する必要がある。

2——研究の位置づけ

2.1 Shared-adusの実用化をめぐる動向

自動運転技術は、人の運転による事故防止や運転できない交通弱者を救済する新技術として期待されている。現在は、SAEレベル3の自動運転車が市販化されている⁷⁾が、将来的にはSAEレベル4以上の完全自動運転車の実用化も目指されている。例えば、Waymoは2017年11月に完全自動運転車による走行実験を開始し、2018年度中にジャガー・ランドローバーと共同して製造した自動運転車「I-PACE」による配車サービスの開始を発表している⁸⁾。また、Uberは2021年までに、日産・ルノーはDeNAと共同して2022年までに、それぞれ完全自動運転車による配車サービスの実用化を目指している⁹⁾。上記の事例は、自動車会社だけでなくIT企業も加わって実用化を目指す例が多く、多くの民間企業が自動運転車によるサービスへの参入を図っている。

一方、民間企業以外でも、わが国では国土交通省が、2017年度より中山間地域の道の駅を拠点とした実証実験や、ニュータウンでの多様な自動運転サービスの検討等を行っており、2020年に限定地域での無人運転配送サービスの実現を図っている¹⁰⁾。

上記のように、Shared-adusの普及に向けた動きが活発にみられるが、Shared-adusに関する実証実験は、一部の地域での運行を想定したものに限られており、広域的な導入については未だ十分に検討されていない。

2.2 自動運転車の普及に伴う都市計画側の動向

前節より、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、ニューヨークをはじめとしたアメリカの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¹¹⁾、また我が国においても、20年後の都市の在り方を示した都市計画マスタープランをはじめ、自動運転車を交通計画に組み込むための具体的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¹²⁾。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、公共交通拠点付近への都市機能集約が目指されており、公共交通と徒歩のみで生活できる環境の整備が図られている。

また、カーシェアシステム等の新しい交通システムはトリップ密度が大きくなるコンパクトな都市において、効率的な運行が実現できるとも指摘されている¹³⁾。しかし、将来的にShared-adusが普及し、免許の有無にかかわらず希望の目的地にdoor to doorで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、都市機能の集約はむしろShared-adusの回送時間の増大や特定地域への車両偏在を引き起こす可能性がある。実際に、現在Uberによるライドシェアを取り入れた配車サービスが導入されているが、誘発交通の増加による渋滞の悪化が指摘されている¹⁴⁾。そして、将来的に自動運転車の導入によりサービスレベルが向上し、さらに利用者が増加すれば、都市機能集約は車両偏在等の課題を更に深刻化する恐れがある。

2.3 既存研究レビュー

Shared-adusは自動運転車とシェア交通を組み合わせた交通サービスであり、その両者に関する既存研究は多くみられる。例えば、シェア型自動運転車の導入による環境負荷への影響をシミュレーションにより検討した研究¹⁵⁾、¹⁶⁾や、利用意向を調査した研究¹⁷⁾、及び大容量の交通機関と組み合わせた場合の運行効率を検討した研究¹⁸⁾がみられる。また、実在する都市のネットワークを用いてライドシェア成立のフレームワークを構築し、シェア型自動運転車の車両走行時間や必要車両台数への影響¹⁹⁾、²⁰⁾や事業収益性²¹⁾等を明らかにした研究等がみられる。

また、都市構造の違いがシェア交通サービスに与える影響を検討した研究もみられ、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¹³⁾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²²⁾がみられる。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²³⁾や複数の都市規模で運行効率を検討した研究²⁴⁾、さらに、自動運転車の普及を想定したミクロな空間計画を検討した研究等²⁵⁾がみられる。

上記の研究より、シェア型自動運転車に関する研究は、需要予測や運行効率への影響、及び都市規模や都市半径

等との関係性を検討した研究等がみられる。そのうち、需要予測や運行効率等を算出した研究は、トリップ密度の高い大都市都心部を対象にした研究や、仮想的な都市構造を用いて分析した研究が多い。しかし、Shared-adusは公共交通が少なく、自動車分担率が高い大都市郊外部をはじめとした地域で広域的に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と考えられる。

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、都市構造やトリップ需要を仮想的に設定した研究が多い。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。その中でもシェア型自動運転車のライドシェアや車両走行時間等を検討するにあたっては、トリップ需要のうち「いつ」「どのような施設間を」「どれだけ」移動しているかが重要であり、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。

上記より、都市機能の集約度や都市形態の違いがShared-adusの運行効率に与える影響を、実際のトリップ需要を踏まえて明らかにした研究はみられない。

2.4 本研究の目的と内容

本研究ではShared-adusが普及した社会を見据え、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、特定地域への都市機能の集約度及び都市形態の観点から得ることを目的とする。

上記の目的を達成するために、本研究では複数の都市形態を持つ仮想都市を設定し、都市機能が特定地域にどれだけ集約しているか、その集約度を考慮したShared-adusの運行効率に関する感度分析を行う。なお本研究では、その集約度を「都市機能集約度」と呼称する。また、運行効率に関しては、ライドシェア成立割合や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。そして、異なる都市形態を持つ仮想都市を設定し、都市機能集約度とShared-adus運行効率の差異を都市形態間でも比較する。

また、本研究では実際のトリップ需要のうち、トリップの出発時刻と発着施設の種類の着目し、そのトリップ需要として、自動車分担率が高い大都市郊外部のトリップ需要を抽出して分析を進める。一方、都心-郊外間交通や大都市都心部内、及び中山間地域など、他の地域でShared-adusの導入を想定する場合は、それら地域のトリップ需要を用

いることで同様の分析を行うことが可能である。そのため、本研究で提案する分析手法や結果の傾向は、大都市都心部や中山間地域など、他の地域でのShared-adus導入に対しても参考情報となり得る。しかし、他の地域のトリップ需要を本分析に適用することで、運行効率に与える影響の大きさが変化する可能性があることに留意する必要がある。

2.5 本研究の特長

本研究は以下の3点の特長を有する。

- 1) 将来的に都市交通基盤を支えると考えられるShared-adusの運行効率を都市機能の集約度及び都市形態の観点から初めて把握し、現在提案されているいくつかの都市構造の考え方が、Shared-adusの運行効率の観点からみた場合の問題点について言及した新規性・有用性の高い研究である。
- 2) 実際のトリップの出発時間や発着施設の種類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——使用データ及び分析概要

3.1 本研究で使用する言葉の定義

- ライドシェア : 複数のトリップが同一車両に乗車して移動すること。図中ではRSと表記。
- 中心地ゾーン : 仮想都市の中心となるゾーン。各仮想都市に1つ設定している。
- 都市機能 : 住宅以外の都市施設の総称。
- 都市機能集約度 : 都市機能が中心地ゾーンにどれだけ集約しているかを示す変数(3.5で詳述)
- 都市形態 : 仮想都市の形。ライン型、ラダー型、クリスタル型を想定(3.4で詳述)。

3.2 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かかわらず、誰もがShared-adusを利用できる環境を想定する。また、Shared-adusは、利用者が自ら乗車予約するデマンド型交通として、自家用車に代わる地域全体でシェアされるサービスとして期待される。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かかわらず利用可能な、SAEレベルの中で最高のレベルである。
- 2) 車両は個人では保有せず、地域全体で共有すると仮定

する。

3) ライドシェアは最大2組まで可能とする。

なお、本研究では、誰もが利用できるShared-adusが普及した社会を想定し、現在目指されている都市機能集約の適用性を検討することが主眼であるため、利用料金については考慮しないものとする。また、Shared-adusは、郊外間を移動する自動車やタクシー・バスを代替するサービスとして期待され、かつその利便性の高さから徒歩や自転車からも多くのトリップがShared-adusに転換する可能性がある。さらに、本研究では都市構造の違いが運行効率に与える影響を把握することが目的であるため、その影響の傾向と大きさを把握することが重要である。そのため、本研究ではShared-adusの利用料金や需要の違いを踏まえて分析するよりも、都市機能集約度と都市形態の違いが運行効率に与え得る影響の傾向と大きさをまず把握することに主眼を置く。以上の理由から、本研究では抽出したすべてのトリップがShared-adusに転換した場合の影響を分析する。

3.3 使用データ概要

本研究では、仮想都市を設定し、都市機能集約度の違いがShared-adusの運行効率に与える影響を分析する。なお、仮想都市を設定した場合、トリップ需要（発着時刻、発着施設の種類、トリップ発生密度）を設定する必要があるが、本研究では「発着地」や「発着時刻」に加え、「発着施設の種類」が同時に把握できる第5回東京都市圏パーソントリップ調査データ²⁶⁾（H20年度調査、以下PTデータ）を使用する。

なお、PTデータでは発着施設の種類を13分類まで把握することができるが、本研究では発着施設を「住宅・寮」と「住宅以外の12施設」の2種類に分割し、それぞれ「住宅」と「都市機能」と呼称する。

3.4 仮想都市の概要

Shared-adusの運行効率は、トリップ需要だけでなく導入された都市がどのような形態を持つかで大きく左右されることが考えられる。例えば、Shared-adusの必要車両台数や車両走行時間はトリップ数の影響を大きく受けるため、ライドシェアが多く成立する方がトリップ数は多く削減され、比較的効率良くShared-adusを運行できる可能性がある。経路途中のライドシェア成立を加味している本研究では、同じゾーン数であっても異なる経路（リンク）数を持つ都市形態を想定することで、都市形態間で運行効率が異なってくると考えられる。

加えて、ゾーン数は一定でもゾーンの配置方法により、都市の中心となるゾーン（中心地ゾーン）から各ゾーンへの距

離が変化し、Shared-adusの運行効率に影響を与えると考える。そのため、中心地ゾーンから各ゾーンへの距離が異なる都市を想定する必要もあると考えられる。

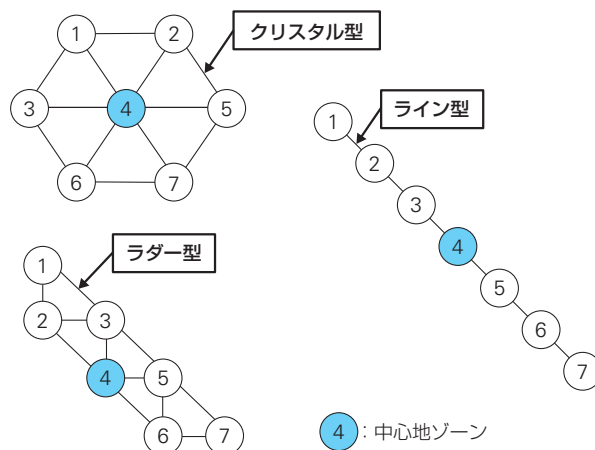
上記2点より、本研究では図—1のような3つの仮想都市を想定する。具体的には、中心となるゾーンから他のゾーンへの移動距離がすべて等しくなるクリスタル型、ゾーンが一直線に配置されたライン型及びゾーンが2列に並んだラダー型の都市を想定し、都市機能集約度の違いがShared-adusの運行効率に与える影響を分析する。

3.5 都市機能集約度

本研究では、都市機能集約度を「中心地ゾーンにどれだけの施設が集約しているかを示す変数」としている。集約度が変わ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。そのため、都市機能集約度を p ($0 \leq p \leq 1$) という変数で表現し、仮想都市の各ゾーンに集中するトリップ数を定量的に表現している。その式を以下の式 (1) (2) に示す。式 (1) (2) における p の値を変動させることで、中心地ゾーンに移動するトリップ数をコントロールする。 p の値は0から1の値を取り、 $p=1$ の時は都市機能がすべて中心地ゾーンに集約している都市、 $p=0$ の時は都市機能が各ゾーンに均等に分散された都市となる。

なお、中心地ゾーン以外の都市機能に該当する施設を訪れるトリップの発着地は、すべて発地の近くの目的地に移動するという観点から内々トリップとしている。

また、住宅に関しても、都市機能と同様に少子高齢化の進行に伴い集約が進むことが期待されている。しかし、立地適正化計画では都市機能誘導区域と居住誘導区域は異なる区域として指定されており、また都市機能誘導区域への機能誘導のインセンティブが複数準備されているのに対し、居住誘導区域へはそのような準備が無い。そのため、都市構造の差異が運行効率に与える影響を把握するにあたっては、まず都市機能の集約に着目して分析するこ



■図—1 仮想都市の構造

とが研究の手順として妥当であるといえる。そのため本研究では、住宅に対する扱いは簡便化し、 p の値にかかわらず中心地ゾーンを含めたすべてのゾーンに均等に立地するものとする。

加えて、住宅から住宅を移動するトリップは、全トリップ数に占める割合が非常に小さく（後述する対象地域の例では約1.6%）、結果に与える影響は極めて小さい。また、図—1で示した仮想都市のゾーン数は限られているため、住宅間を移動するODトリップは、わざわざ複雑なモデル等を用いて推計するのではなく、各ODにおいて同数発生するものとした（3.6の5）、6）で詳述）。

また、都市機能集約度は施設の集約度と同時に各ゾーンの規模や集客力も表現していると考えることができる。実際の都市には同じ種類の施設が立地していても、例えば町医者と総合病院のように、その規模や集客力には差異がある。そのため、本研究の都市機能集約度のように集中トリップ数を定量的に表現することで、ゾーンの集客力の差異も間接的に考慮している。

なお、先述した通り、都市機能集約度は0から1の間であればすべての値を取ることができ、値が大きくなるほど都市機能が中心地ゾーンに集約されていると解釈できるが、本研究では代表的な値として $p=0$, $p=0.25$, $p=0.5$, $p=0.75$, $p=1$ の5通りの場合の運行効率を分析する。

$$TO = tp + (1-p) * t/n \quad (1)$$

$$TD = (1-p) * t/n \quad (2)$$

c.f. $0 \leq p \leq 1$

TO: 中心地ゾーンでの都市機能を着地とする集中トリップ数

TD: 中心地ゾーン以外の各ゾーンでの都市機能を着地とする集中トリップ数

n : 仮想都市のゾーン数 ($n \geq 2$)

t : 都市全体の都市機能を発地とするトリップ数

p : 都市機能集約度

3.6 仮想都市におけるトリップ需要の設定方法

3.5で述べた都市機能集約度をもとに仮想都市のトリップ需要を設定する。本研究では、異なる都市機能集約度及び都市形態で運行効率を比較するため、トリップの発着地ゾーンや移動時間は実際のトリップ需要から変化すると考える。そのため、本研究では実際のトリップ需要のうちトリップの「出発時刻」、「発着施設の種類（住宅or都市機能）」に着目した分析を行う。なお、発着地となるゾーンの変化によりトリップ長が変化し、発着時間及びライドシェア成立に影響を与える可能性がある。ただし、本研究では実

際のトリップ発生時刻に主眼を置いて分析を進めるため、通勤トリップのような到着時間を重視するトリップをはじめ、到着時間の固定に伴う出発時間の変化は考慮できていないことに留意する必要がある。以上の点を踏まえ、トリップ需要の設定手順を以下の1)～8)に示す。

- 1) PTデータより対象地域を選定し、その地域内を発着とするトリップの「発生時刻」、「発着施設」、「拡大係数」を抽出する。
- 2) 住宅を発地とするトリップを抽出し、抽出したトリップの拡大係数を式 (3) に基づいて調整する。
- 3) 都市機能から住宅に移動するトリップを抽出し、抽出したトリップの拡大係数を式 (4) に基づいて調整する。
- 4) 都市機能から都市機能に移動するトリップを抽出し、抽出したトリップの拡大係数を式 (5) に基づいて調整する。なお、ここで都市機能間を移動するトリップの拡大係数のみを抽出したのは、都市の人口を h に固定するためである。
- 5) 各ゾーンの人口を統一するために、住宅を発地とするトリップを仮想都市のゾーン数である n 個に分割し、各トリップに発地として $1 \sim n$ をそれぞれ割り当てる。その際、分割された各トリップの拡大係数は分割前のトリップの拡大係数を n で割った値を割り当てる。つまり、OD情報のうち、出発時刻及び着地となる施設は分割前のトリップデータと同一となる。
- 6) 住宅を着地とするトリップを n 個に分割し、各トリップに着地として $1 \sim n$ をそれぞれ割り当てる。その際、5) と同様に分割された各トリップの拡大係数は分割前のトリップの拡大係数を n で割った値を割り当てる。なお、このトリップが帰宅トリップにあたる。
- 7) 都市機能を着地とするトリップを仮想都市のゾーン数である n 個に分割し、分割した各トリップに着地として $1 \sim n$ をそれぞれ割り当てる。その際、分割されたトリップの拡大係数は、着地ゾーンに4（中心地ゾーン）が割り当てられたトリップは式 (6)、その他が割り当てられたトリップは式 (7) に基づいてそれぞれ割り当てる。つまり、OD情報のうち、出発時刻及び発地となる施設は分割前のトリップデータと同一となる。
- 8) 都市機能を発地とするトリップを n 個に分割し、分割した各トリップに発地として $1 \sim n$ をそれぞれ割り当てる。その際、分割されたトリップの拡大係数は、発地ゾーンに4（中心地ゾーン）が割り当てられたトリップは式 (6)、その他が割り当てられたトリップは式 (7) に基づいてそれぞれ割り当てる。

$$O_{h,i} = f_i * h / F_h \quad (3)$$

$$D_{ch,i} = f_i * h / F_{ch} \quad (4)$$

$$D_{cci}=f_i(t-F_{ch})/F_{cc} \quad (5)$$

$O_{h,i}$:住宅を発地とするトリップ i の拡大係数(調整後)

D_{chi} :都市機能から住宅に移動するトリップ i の拡大係数(調整後)

D_{cci} :都市機能から都市機能に移動するトリップ i の拡大係数(調整後)

h :都市全体の住宅を発地とするトリップ数(調整後)

f_i :トリップ i の拡大係数

F_h :抽出したトリップのうち、住宅を発地とするトリップの拡大係数の合計値

F_{ch} :抽出したトリップのうち、都市機能から住宅に移動するトリップの拡大係数の合計値

F_{cc} :抽出したトリップのうち、都市機能から都市機能に移動するトリップの拡大係数の合計値

$$TC_i=e_i p+(1-p)*e_i/n \quad (6)$$

$$TS_i=e_i*(1-p)/(n-1) \quad (7)$$

TC_i :トリップ i を分割した際、着地ゾーンとして4(中心地ゾーン)が割り当てられたトリップの拡大係数

TS_i :トリップ i を分割した際、着地ゾーンとして4以外が割り当てられたトリップの拡大係数

e_i :トリップ i の調整後の拡大係数

3.7 仮想都市でのトリップ需要

3.6のトリップ需要設定方法をもとに、PTデータからトリップの「出発時刻」「発着施設の種類」「拡大係数」を抽出し、仮想都市におけるトリップ需要として適用する。その概要を表—1に示す。

Shared-adusは主に鉄道が担っている都心-郊外間交通を代替するサービスではなく、主に自動車が発着している郊外間交通を代替するサービスとして期待されることから、本研究では①大都市郊外部に位置し自動車保有台数が多い、②通勤・通学地として多くの人が発着し、③多世代の方が居住するため昼間時間帯においても買い物や通院等を目的としたトリップが多く発生している茨城県土浦市をモデルケースとして取り上げ、土浦市内を移動する内々トリップ(2,008サンプル、拡大前)を抽出する。土浦市は自動車保有台数が多い大都市郊外部の中でもトリップの目的が幅広く、かつ中規模都市のなかでも市内を移動する内々トリップの割合が高い(約66%²⁶⁾)都市のため、土浦市の内々トリップをモデルケースとして取り上げることで、都市構造がShared-adusの運行効率に与える影響を、実態に合った多様なトリップパターンを考慮して把握できる。

また、仮想都市のゾーン数は図—1より7ゾーンとし、住宅

■表—1 仮想都市のトリップ需要の概要

項目		設定値
対象トリップ(抽出したトリップ)		PTデータにおける土浦市を発着とするトリップ(2,008s)
n :ゾーン数		7
h :都市全体の住宅を発地とするトリップ数		140,000
t :都市全体の都市機能を発地とするトリップ数		180,000
移動時間	ゾーン内(分)	5
	隣接するゾーン間(分)	10
回送時間(分)		5

を発地とするトリップは140,000(各ゾーン20,000トリップ)とする。なお、参考として、トリップ需要のモデルケースとして取り上げている土浦市のH22年時点の人口は140,502人のため、仮想都市であっても現実都市に即した分析になるように工夫している。

一方、都市機能を発地とするトリップ数はトリップの生成原単位を考慮するため、140,000トリップより多い180,000トリップとしている。この値はPTデータにおける東京都市圏全体の一人当たりの生成原単位の平均である2.45(トリップ/人)を参考に、一人当たり平均1.23カ所の都市機能に訪れていると仮定し、住宅を発地とする140,000トリップより一定の比率だけ多い値である。

また、各ゾーン内の移動時間は5分とし、隣り合うゾーン間の移動時間は10分としている。ただし、例えばライン型の都市でゾーン1からゾーン2を通過しゾーン3へ移動するように、ゾーンを超えて移動する場合は、途中通過するゾーンの通過時間は考慮しないものとする。つまり、上記の例の移動時間は10+10=20分となる。なお、ライドシェアが成立した場合の移動時間の変化については3.8にて詳述する。

なお、本研究では移動方向が比較的拡散した大都市郊外部のトリップ需要を参考にしているため、渋滞は発生しないという仮定を置いている。しかし、 $p=1$ の時をはじめ、都市機能が特定地域に集約したシナリオでは渋滞が発生する可能性が考えられ、その点を考慮できていないことは本研究の課題として留意する必要がある。

3.8 ライドシェア成立条件

2.3でも述べたように、本研究では2つのライドシェア成立過程を考慮した分析を行う。1つ目は「発着地ゾーンが同一」の者同士のライドシェア、2つ目は先に車両に乗車した者(以下、先乗者)が目的地に移動する経路途中で後に乗車する者(以下、後乗者)を拾う場合や、経路途中で利用者の一人を降ろす場合で成立する「経路途中」でのライドシェアである。そのため、本研究では発着地が同一の者同士でのライドシェアと、経路途中でライドシェアに対してそれぞれライドシェア成立条件を設定する。発着地が同一のライドシェア成立条件は既存研究²⁾を参考に設定し、

経路途中のライドシェア成立条件は、都市形態別に独自に設定した。以上の点を踏まえ、本研究におけるライドシェア成立条件を図一2（その1にクリスタル型及びラダー型、その2にライン型）に示す。

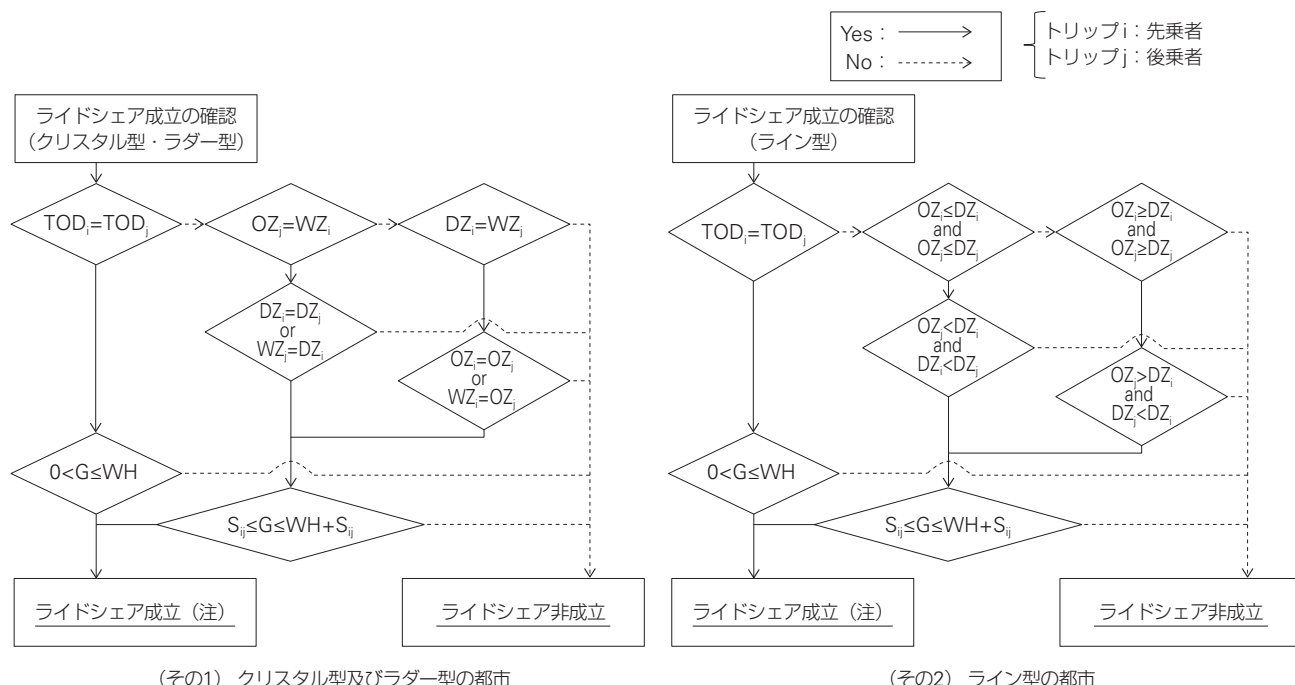
なお、デマンド型交通であるShared-adusの一定の利便性を確保するため、発着地ゾーンが同一の者同士のライドシェアでは、乗り合う者の最大出発時間差を5分とし、経路途中でのライドシェアでは、先乗者を乗せた車両が後乗者の出発ゾーンに到着してから5分以内に出発するトリップが存在すれば、そのトリップとライドシェア可能としている。

また、実際のライドシェアの際には、他の同乗者の発着地へ移動する必要があるため、ライドシェア非成立時と比較して長い移動時間を要する。そのため本研究では、ライドシェアを成立させる場合は、ライドシェア非成立時の移動時間に加えて、先乗者の移動時間が増加すると仮定する。その際、先乗者のトリップが通過予定だったゾーン列は変化せず、単純に先乗者の到着時間が乗り合う者の出発時間差に応じて遅れるものとする。例えば、発着地が同一で出発時間差が5分差のトリップが乗り合う場合、先乗者の到着時間がそのまま5分遅延する。

また、経路途中でのライドシェア成立を考慮する際には、2者の移動経路が重なることが必要条件となるが、そ

の際、クリスタル型やラダー型の都市では同じ発着地ゾーンでも途中に通過するゾーンの選択肢は複数存在する。そのため本研究では、先乗者が目的地に移動するため通過するゾーン数が最小になるような経路を移動するものとする。なお、途中で通過するゾーン数が最小となる経路が複数存在する場合には、中心部の混雑を避けるという観点から中心地ゾーンであるゾーン4は通らない経路を選択するものとする。また、移動時間について、ライドシェアが成立しない場合は3.7と同様にゾーンの通過時間を考慮しないが、経路途中のゾーンで後乗者を拾う場合は、先乗者が後乗者の発地ゾーンに到着した時間と後乗者の出発時間の差だけ先乗者の移動時間が増加する（到着時間が遅れる）ものとする。

なお、本研究ではライドシェアの最大成立組数は2組としているが、その最大成立組数を増加させることで、Shared-adusの運行効率に与える影響が変化するという問題点がある。特に都市機能集約度が大きくなるほど、3組以上のトリップが同一車両に乗車する状況が多数発生し、運行効率が大きく変化する可能性がある。しかし、本研究で想定するShared-adusは、乗客のトリップ需要に基づいて経路を決定するデマンド型交通のため、乗車人数が増加する毎に移動時間が増加し、Shared-adusのサービスレベルが低下すると考えられる。そのため、本研究では2組を



■図一2 ライドシェア成立条件

超える最大乗車人数の増加は考慮しない。

また、本研究ではPTデータを用いており、各トリップに付随している拡大係数を用いた分析を行っている。その際、乗り合う2者の拡大係数が異なる場合、マッチングできなかった拡大係数分は新たなサンプルとみなして分析している。この際、元のサンプルと新たなサンプルが乗り合う「同一個人同士」や、「ライドシェア既成立組」によるライドシェアが発生し、ライドシェア成立数が過大になる可能性がある。そのため、本研究では「同一個人同士」および「ライドシェア既成立組」によるライドシェアは不成立となるように、新たなサンプルの扱いを工夫している。

また、本研究では①大都市郊外部で発生するトリップの移動方向は比較的分散していること、また②単一ゾーン内という小さな範囲では、ライドシェアで後乗者を拾うために、元々の移動時間を超える追加の移動時間が発生する（たとえば、ライドシェア非成立時には3分の移動時間で済むトリップが、ライドシェアを成立させるために移動時間を5分増加させる）可能性があるという2点の理由から、単一ゾーン内にODが存在する内々トリップについてはライドシェア非成立としている。しかし、単一ゾーン内の施設配置パターンによっては、単一ゾーン内でもライドシェアが可能となり、ライドシェア成立割合に影響を与える可能性がある。ただし、本研究では単一ゾーン内の施設配置までは考慮できていないこと、またそれに伴うライドシェア成立割合への影響までが考慮できていないため、その点は留意する必要がある。

上記の条件をもとに、内々トリップを含めた全トリップに対するライドシェアトリップ数の割合を算出する。

3.9 配車条件

先述したライドシェア成立条件をもとにShared-adusの必要車両台数を既存研究²⁾を参考に算出する。初めに、トリップ毎にライドシェアの成立有無を確認し、ライドシェアが成立したトリップは1つのトリップとみなす。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。その際、トリップの出発時点に、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、該当する車両が発地ゾーンに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が、ここで「稼働可能な車両」とは、前の利用者を目的地に運んだ後、その乗客が降車したゾーンにおいて、次の利用者のもとに移動するまでに十分な時間が経過している車両のことである。本研究ではこの時間について、各ゾーンのゾーン内の移動時間である5分を採用し、次の利用者までの回送時間を考慮している。

なお、Shared-adusは同一のゾーンに限定しない車両の

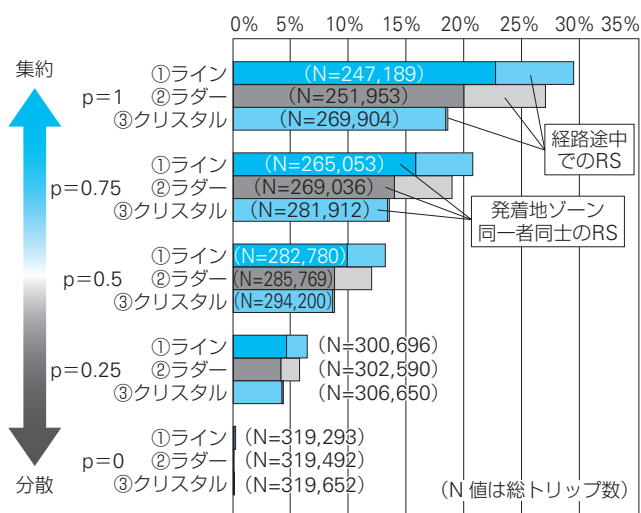
再配分を行うことで必要車両台数を削減させることは可能であり、結果に影響を与える可能性がある。しかし、ゾーンを超えた車両の再配分は、車両の空走時間の増大やゾーン間を移動する車両台数の増加、また利用者の待ち時間増大によるサービス水準の低下を招く恐れがある。そのため、本研究ではゾーンを超えた車両の再配分は行わないと仮定する。

4——分析結果

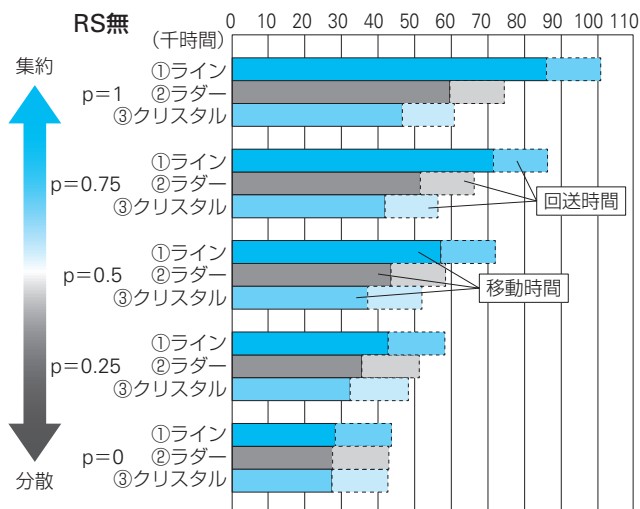
4.1 Shared-adusの運行によるライドシェア成立割合

前章までの条件をもとに、都市形態や都市機能集約度の違いがShared-adusの運行効率に与える影響を把握する。本節ではShared-adus運行によるライドシェア成立割合を把握する。図—3にShared-adusの運行によるライドシェア成立割合を示す。この図から以下の点が分かる。

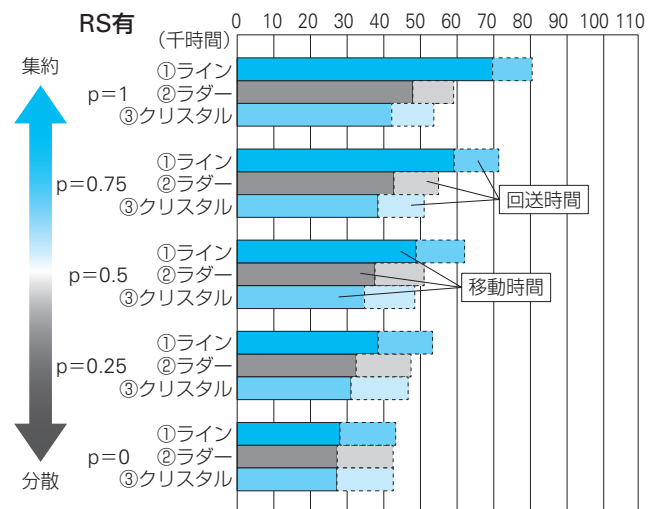
- 1) 都市機能集約度が大きいほどライドシェア成立割合が高くなることがわかる。集約度が大きくなることでトリップの発着地が中心地ゾーンに集中し、時空間が同一となるトリップが増加するためだと考えられる。
- 2) 都市形態間でライドシェア成立割合を比較した場合、ライン型の都市で最も高くなることがわかる。同じトリップ需要であっても、ライン型の都市では全てのゾーンが一直線の道路で結ばれており、トリップの経路が重なりやすくなるためと考えられる。
- 3) 一方、クリスタル型の都市ではライドシェア成立割合が比較的低くなることがわかる。クリスタル型の都市では、中心地ゾーンから他のゾーンへ放射状に道路が敷かれており、トリップの経路が比較的重なりにくいと考えられる。
- 4) ラダー型の都市において、ライドシェア成立割合はライン型の都市よりも低くなるが、クリスタル型よりも高くなる



■図—3 Shared-adusの運行によるRS成立割合



■図—4 RS未導入時のShared-adus車両走行時間



■図—5 RS導入時のShared-adus車両走行時間

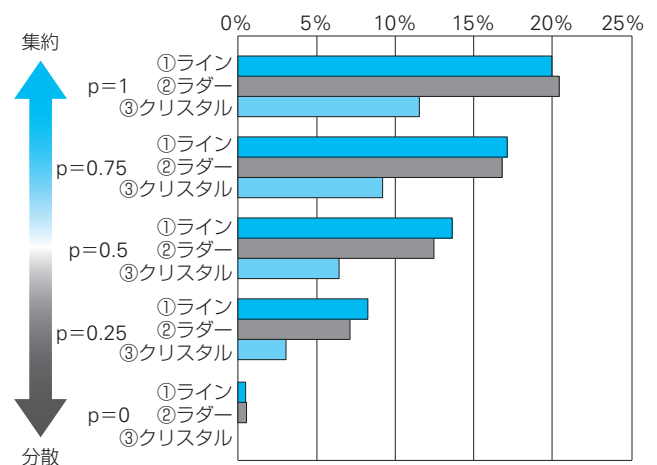
ことが分かる。2) 及び3) より、経路の選択肢がトリップの経路の重なりやすさ、つまりライドシェア成立割合に寄与していると考えられるため、この結果は妥当であるといえる。

- 5) $p=0$ のときもライドシェアがわずかに成立している。これは住宅から住宅を移動する内外トリップ同士で成立したライドシェアである。
- 6) 3.8でも述べた通り、本研究では内々トリップのライドシェアは未成立としているため、図—3の結果は過少推計となっている可能性があることに留意する必要がある。

4.2 Shared-adusの車両走行時間

本節では、Shared-adusの車両走行時間を明らかにする。車両走行時間は利用者が乗車している移動時間と利用者が乗車していない回送時間で構成されている。また、ライドシェアの導入が車両走行時間に与える影響も分析するため、ライドシェア未導入の場合と導入した場合双方の車両走行時間を併せて算出する。図—4にライドシェア未導入時の車両走行時間、図—5にライドシェア導入時の車両走行時間、図—6にライドシェア導入による車両走行時間の削減割合をそれぞれ示す。これらから以下の点がわかる。

- 1) 図—4及び図—5より、Shared-adusの車両走行時間はライドシェアの導入の有無にかかわらず、集約度を大きくするほど増大していることがわかる。トリップの発着地が中心地ゾーンに集中することで、各ゾーンから長い移動時間をかけて中心地ゾーンに訪れるトリップが増加するため、移動時間が増加したと考えられる。一方、回送時間は集約度にかかわらず大きな変化はみられなかった。
- 2) 同図より、都市形態間で車両走行時間を比較した場合、ライン型の都市で長く、クリスタル型の都市で短くなる傾向がみられた。ライン型の都市では辺縁部のゾーン



■図—6 RS導入によるShared-adus車両走行時間削減率

で中心地ゾーンからの距離が遠くなるため移動時間が増加する。一方、クリスタル型の都市では、中心地ゾーンからその他の各ゾーンへ放射状に道路が伸びているため、辺縁部のゾーンであっても中心地ゾーンへの移動時間が比較的短くなる。

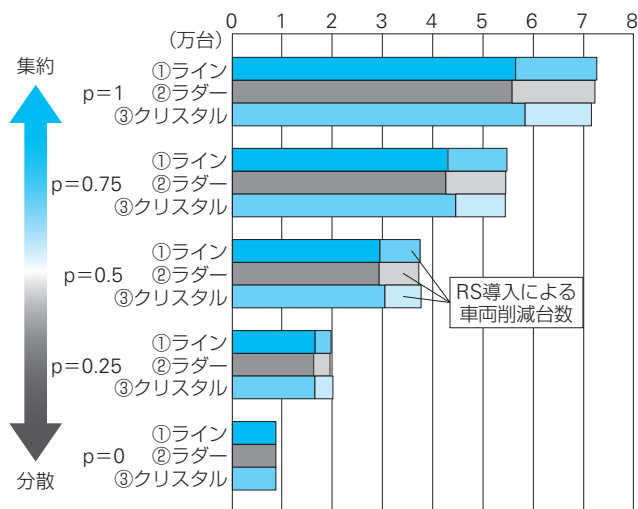
- 3) 同図より、 $p=0$ の場合でも都市形態間で車両走行時間は同一とはならない。これは住宅から住宅を移動する内外トリップが存在するためであり、わずかにライン型の都市での車両走行時間が長くなっている。
- 4) 図—6より、ライドシェアの導入による車両走行時間の削減率は、集約度が大きくなるほど高くなることがわかる。前節より、都市機能を集約するほどライドシェア成立割合が高く、複数のトリップを1台の車両で賄うことができるためと考えられる。
- 5) 同図より、車両走行時間の削減率を都市形態間で比較した場合、ライドシェアが比較的成立しやすいライン型やラダー型の都市で高くなることがわかる。一方、クリスタル型の都市ではライドシェア成立割合が比較的低くなるため、削減率が低い。
- 6) 3) 及び4) より、ライドシェア導入による車両走行時間の

削減率は、集約度が大きく、かつライドシェアが成立しやすいライン型・ラダー型・クリスタル型の順で高くなる傾向がみられる。

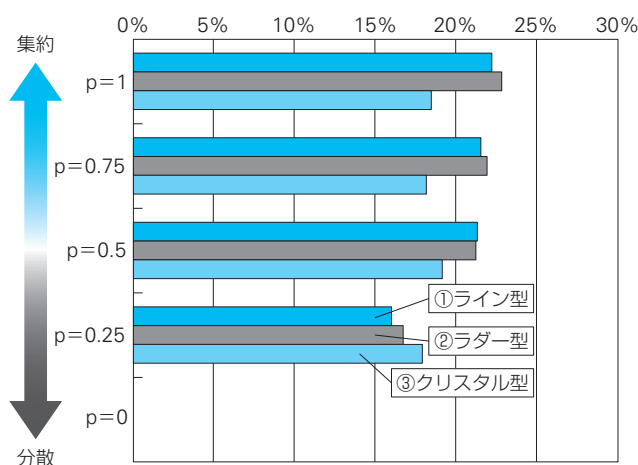
4.3 Shared-adusの必要車両台数

本節では、仮想都市で発生したトリップ需要を賄うために必要なShared-adusの必要車両台数を把握する。なお、前節と同様にライドシェアの導入による影響も分析するため、ライドシェア未導入の場合と導入した場合双方の必要車両台数を併せて算出する。図一7にShared-adusの必要車両台数、図一8にライドシェア導入による必要車両台数の削減率をそれぞれ示す。これらの図から以下の点がわかる。

- 1) 図一7より、ライドシェア導入の有無にかかわらず、必要車両台数は集約度が大きくなるほど増加する傾向が示された。トリップの発着地が中心地ゾーンに集中することで、車両が中心地ゾーンに集中（車両偏在）し、他のゾーンにおいて新たなトリップ需要に既存の車両で対応できなくなったためと考えられる。
- 2) 同図より、ライドシェア未導入時での必要車両台数は、都市形態間で大きな差はみられなかった。ただし、トリップの移動時間の長さが都市形態間で異なるため、同じ出発時刻でも到着時間は異なる。そのため、次のトリップに対応できる車両が存在するかどうか都市形態によってわずかに異なるため、必要車両台数は都市形態間で同一とはならない。
- 3) 同図より、ライドシェア導入時での必要車両台数は、クリスタル型の都市でわずかに多くなる傾向が示された。クリスタル型の都市ではライドシェア成立割合が最も低く、トリップ数が都市形態間で最も多くなるため、必要車両台数が他の都市形態と比べて多くなったと考えられる。
- 4) 図一8より、ライドシェア導入により、 $p=0$ の時を除いて必要車両台数は約20%削減されることがわかり、その削減率は集約度を大きくするほど高くなる傾向がみられた。また、都市形態間で比較した場合、ライドシェア成立割合の高いライン型やラダー型の都市において、その削減割合は高くなることわかる。なお、 $p=0$ の時はライドシェアがほとんど成立しないため、必要車両台数はほとんど削減されない。
- 5) 3.9でも述べた通り、本研究ではShared-adus車両の再配車は行わないと仮定しているため、必要車両台数は図一7より削減できる可能性がある。しかし、その場合は車両走行時間（回送時間）の増加等の課題を招く可能性が考えられる。



■図一7 Shared-adusの必要車両台数



■図一8 RS導入によるShared-adusの必要車両台数削減率

5 おわりに

本研究では、今後普及が想定されるShared-adusに関して、都市機能集約度を考慮したShared-adusの運行効率に関する感度分析を行った。以下に本研究で得られた主な成果を示す。

- 1) Shared-adusの運行によるライドシェア成立割合は、都市機能集約度を大きくするほど、つまり都市機能を特定地域に集約するほど高くなること示された。また、ライドシェア成立割合を都市形態間で比較した場合、トリップの経路が重なりやすいライン型の都市で高くなる傾向がみられた。
- 2) Shared-adusの車両走行時間は、都市機能集約度を大きくするほど、つまり都市機能を特定地域に集約するほど増加する傾向がみられた。また、都市形態間で比較した場合、ライン型の都市で比較的長く、クリスタル型の都市で短くなる傾向が示された。
- 3) Shared-adusの必要車両台数は、2)と同様に都市機能集約度が大きくなるほど増加する傾向がみられた。

4) ライドシェアの導入による車両走行時間や必要車両台数の削減効果は、都市機能集約度が大きく、かつライン型の都市で大きくなる傾向が示された。

上記の結果より、現在提案されている都市機能集約を将来のShared-adusが普及した社会に適用した場合、単に都市機能を特定地域に集約するだけでは、車両走行時間の増大や必要車両台数の増加等の課題が生じる可能性がある。車両走行時間の増加は、環境負荷や利便性の悪化につながり、必要車両台数の増加は導入する事業者の負担増加を招く可能性がある。このようなトリップが特定地域に集中する地域ではライドシェアの導入効果が高いため、自動運転バスのような乗員容量の大きい交通機関を導入する等して、上記の課題を解決する必要があると考えられる。

また、自動車社会が発達した大都市郊外部をはじめとした地域では、住宅や都市機能の集約は比較的難しいと考えられる。特定地域に都市機能を単に集約するのではなく、居住地等の立地に合わせて各地に生活利便施設を配置することで、Shared-adusの効率的な運行を実現できる可能性がある。

加えて、都市形態もShared-adusの運行効率やライドシェアの導入効果に影響を与えるため、導入する地域の都市形態を把握する必要がある。例えば、ライン型の都市に近い地域で導入する場合は、ライドシェアの導入効果が高いため、車両の容量を大きくすることで、より効率的な運行が実現できる可能性がある。

なお、都市機能を集約することで発着地のゾーンが一致し、Shared-adusのライドシェア成立割合が増加する点や、それに伴う必要車両台数の削減等は、導入地域にかかわらず同じ傾向を示すと考えられる。しかし、2.4でも述べた通り、大都市都心部や中山間地域など、他地域のトリップ需要を適用することで、Shared-adusの運行効率に与える影響の大きさが変化する可能性がある。

さらに、Shared-adusを大都市都心部へ導入する場合は、既存公共交通が発達しているため、Shared-adusだけでなく既存交通手段と組み合わせた分析が必要となる。一方、中山間地域へ導入する場合は、トリップ密度が低いため、ある程度運行路線を想定した分析が必要になると考えられる。そのため、大都市都心部や中山間地域など、他の地域へのShared-adus導入を想定する場合は、その地域のトリップ需要を適用するだけでなく、上記のような導入形態を考慮することが今後の課題と考えられる。

謝辞: 本研究論文を執筆するにあたり、三名の匿名査読者に原稿を注意深くお読み頂き、適切で貴重な助言を数多く頂いた。また、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ものである。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

- 1) 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) HP, 内閣府, <http://www.sip-adus.go.jp/>, 2018/06/22.
- 2) 香月秀仁・東達志・谷口守 [2017], “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.
- 3) たとえば, Zhang, W., Guhathakurta, S., Fang, J., and Zhang, G. [2015], “The Performance and Benefits of a Shared Autonomous Vehicles Based Dynamic Ridesharing System: An Agent-Based Simulation Approach”, *Proceedings of the 94th TRB Annual Meeting*.
- 4) 香月秀仁・東達志・高原勇・谷口守 [2017], “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—”, 『第56回土木学会研究発表会・講演集』, CD-ROM.
- 5) 国土交通省[2018], “国土のグランドデザイン2050～対流促進型国土の形成～”, http://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudoseisaku_tk3_000043.html, 2018/4/4.
- 6) 国土交通省 [2018], “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>, 2018/4/4.
- 7) “自動運転の段階—「条件付き」実用化進む”, 『日本経済新聞』, 2018/3/31.
- 8) “ジャガー・ランドローバー, ウェイモとの長期的パートナーシップを締結し自動運転機能搭載ジャガー「I-PACE」を開発”, 『日本経済新聞』, 2018/3/29.
- 9) “グーグル系が公道実験 自動運転×ライドシェア クルマ産業の常識破壊”, 『日本経済新聞』, 2017/11/9.
- 10) 国土交通省 [2017], “都市交通における自動運転技術の活用方策に関する検討会について”, <http://www.mlit.go.jp/common/001217867.pdf>, 2018/3/21.
- 11) National League of Cities [2015], “City of the Future: Technology & Mobility”, <https://www.nlc.org/resource/city-of-the-future-technology-mobility>, 2018/4/4.
- 12) 日本総研 [2017], “自動運転の現状と展望”, 『新都市』, Vol.71, No.10.
- 13) 山本真生・溝上章志・古澤悠吾 [2017], “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.
- 14) “渋滞減へ信号点減調整”, 『日本経済新聞』, 2018/2/6.
- 15) 谷本圭志・川村周平 [2009], “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”, 『社会技術研究論集』, Vol.6, pp. 68-76.
- 16) Fagnant, D.J. and Kockelman, K.M. [2014], “The Travel and Environmental Implications of Shared Autonomous Vehicles, Using Agent-Based Model Scenarios”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol.40, pp.1-13.
- 17) 香月秀仁・川本雅之・谷口守 [2016], “自動運転車の利用意向と都市構造の関連分析—個人の意識・交通行動に着目して—”, 『都市計画論文集』, Vol.51-3, pp.728-734.
- 18) OECD [2015], “Urban Mobility System Upgrade: How shared self-driving cars could change city traffic”, International Transport Forum, 2015/4.
- 19) Burghout, W., Rigole, P.J., and Andréasson, I. [2015], “Impacts of Shared Autonomous Taxis in a Metropolitan Area”, *Proceedings of the 94th TRB Annual Meeting*.
- 20) Levin, M.W., Kockelman, K.M., Boyles, S.D., and Li, T. [2017], “A General Framework for Modeling Shared Autonomous Vehicles with Dynamic Network-Loading and Dynamic Ride-Sharing Application”, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol.64, pp.373-383.
- 21) Fagnant, D.J. and Kockelman, K.M. [2018], “Dynamic Ride-Sharing and Fleet Sizing for a System of Shared Autonomous Vehicles in Austin, Texas”, *Transportation*, Vol.45, pp.143-158.
- 22) 藤垣洋平・中井諒介・高見淳史・Giancarlo TRONCOSO PARADY・原田昇

- [2018], “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.
- 23) 紀伊雅敏・横田沙加・高震宇・中村一樹 [2017], “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.
- 24) OECD [2017], “Transition to Shared Mobility: How large cities can deliver inclusive transport services”, International Transport Forum, 2017/3.
- 25) NACTO [2017], “Blue Print for Autonomous Urbanism”, Designing City Edition, Module1, Fall 2017.
- 26) 東京都市圏交通計画協議会 [2008], “第5回東京都市圏パーソントリップ調査”, CD-ROM.
- (原稿受付2018年5月1日, 受理2018年8月30日)

Urban Structure Influences on Efficiency of Shared Mobility with Automated Driving

By Katsushi AZUMA, Hideto KATSUKI and Mamoru TANIGUCHI

In recent years, ride sharing and car sharing service using “Shared-adus” automated driving vehicles are becoming widespread. Efficient travel systems and new measures must be considered from an urban planning perspective. For this study, assuming wide introduction of Shared-adus, we compared Shared-adus efficiency at the aggregation level of the city function and in urban form. Results demonstrate that 1) aggregating urban functions raises ride-sharing rates, but the number of necessary vehicles and vehicle traveling time seem to increase. Moreover, travel efficiency differs depending on the urban form.

Key Words : ***shared mobility, automated driving, city compactification, urban form, urban structure***
