

名古屋市における Smart Access Vehicle Service の利便性に関するシミュレーション評価

落合 純一¹・金森 亮²・野田 五十樹³・平田 圭二⁴

¹ 非会員 株式会社未来シェア (〒041-0806 北海道函館市美原 2-7-21 万勝ビル 1F)

E-mail: ochiai@miraishare.co.jp

² 正会員 名古屋大学 未来社会創造機構 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

E-mail: kanamori.ryo@nagoya-u.jp

³ 非会員 産業技術総合研究所 人工知能研究センター (〒305-8560 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第 1)

E-mail: i.noda@aist.go.jp

⁴ 非会員 公立ほこだて未来大学 複雑系知能学科 (〒041-8655 北海道函館市亀田中野町 116-2)

E-mail: hirata@fun.ac.jp

本稿では、デマンド応答型交通 (DRT) の一つである Smart Access Vehicle Service (SAVS) の利便性に関して、名古屋市のタクシー配車データを用いて乗合状況や削減可能車両数などをシミュレーション評価する。地方部だけでなく都市部でも効率的な DRT が注目されているが、数時間前までの予約が必要など、従来型の DRT は利便性が高いサービスとはいえない。一方、SAVS は、リアルタイムでも提供可能なドア・ツー・ドアの交通サービスを提供できることから、タクシーのような独占の利用を乗合利用に変更可能となる。シミュレーションは、OD パターンが異なる複数時間帯 (終電後の 0:00-2:00, 出勤時の 8:00-10:00, 昼間の 14:00-16:00, ピーク時の 19:00-21:00) を対象に行った。従来型サービスと同程度の待ち時間を条件とした場合、SAVS の乗合利用によって 50-75% の車両数で同程度の利便性を保持できることを確認した。

Key Words: demand responsive transport, shared taxi, simulation

1. はじめに

本研究では、ICT (情報通信技術) の発展で利用者の利便性が向上する Door to Door のデマンド応答型交通サービスと、利用者の価値観の多様化を背景として普及しつつあるカーシェアリング (車両の共同利用) が組み合わせられた新たな交通サービスとして、異なる出発地-到着地間での相乗りを認めたリアルタイム予約受付・配車システムで実現される Smart Access Vehicle Service (SAVS) の導入効果をシミュレーション評価する。

クラウド型交通サービスである SAVS は、都市・地域内で物理的に交通サービスを提供するバスやタクシー、シェアリングカー等の車両の管理・運用と提供可能なサービスとを分離し、一元化された配車システム (プラットフォーム) を通じて、複数の交通需要に対して最適な交通サービスを生み出すことである¹⁾。つまり、バスやタクシーといった車両の運行形態は固定されず、交通需要に応じて逐次変化する。例えば、朝には住宅街から鉄

道駅までを往復するコミュニティバス、昼は市街地で乗合いタクシー、夜は荷客混載したタクシーなど、1 台の車両が様々なサービスを担い、有効活用される。このような交通サービスが普及すると、自動車を保有する経済的合理性も低下し、個人保有から共有化がさらに促進され、車両数自体の減少、交通渋滞の削減、環境負荷軽減が期待される。また自動運転技術の実用化との相性も良い。さらに自動車保有を前提としない社会の実現に向けて、高齢者など移動制約者の移動権の保障、歩行者や自転車への道路空間開放など、現状の交通問題・課題に対する新たな公共交通サービス連携の要としても期待される。

新たな交通サービスの取組みは運転手の高齢化が進んでいるタクシー業界で活発であり、2018 年 1 月より東京都内で、同年 2 月より名古屋市内で相乗りタクシーの実証実験が実施された^{2) 3)}。本研究では、名古屋市内の相乗りタクシー実証実験で実際に採用された配車システムを用いて、実証実験では把握できない名古屋市全域での

相乗りタクシー (SAVS) の導入効果を検証する。現状の交通需要として実際のタクシー配車データを用い、従来の 1 人独占型, SAVS の共有型サービスとして定員 3 名と 8 名 (MicroTransit を想定) を導入した際の待ち時間, 迂回時間や乗合い回数などをシミュレーション評価する。

2. Smart Access Vehicle Service (SAVS)

(1) 概要

著者らの研究グループは、持続可能な公共交通システムを構築するために SAVS を提案した⁴⁾。SAVS の主な特長として、リアルタイムに提供可能な Door to Door のデマンド応答型交通サービスがある。従来のデマンド応答型交通サービスは、数時間前までの予約が必要なことや、乗降位置が固定されていることなど、利便性が高いサービスとはいえない。そこで、いつでも、どこでも、利用可能なデマンド応答型交通サービスを SAVS の基幹技術として導入している。この技術に関してはシステム実装も行っており、北海道函館市、東京都お台場エリア、長野県諏訪市、鳥取県境港市、愛知県名古屋市中で実証実験を行い、その有用性を確認してきた。

(2) 配車計算

SAVS で処理されるデマンドは、独占型の交通サービスであるタクシーと同様のデマンド状態遷移を持つ (図 1)。停留所などの目印がない Door to Door の交通サービスでは、車両が乗車位置に到着後、利用者と車両が互いに探し合うことを考慮する必要がある。これを“ランデブー時間”と定義する。

SAVS は、時々刻々と発生するデマンドに対して、リアルタイムにデマンドごとに配車計算し⁵⁾、その結果を利用者に通知する。実サービスを考えると、新たに発生したデマンドの配車計算によって、既存の車両に割り当てられているデマンドに何かしらの変更が生じた場合、利用者に通知する必要がある。過剰な通知は利用者にとって好ましくないため、SAVS の配車計算では下記の制約を導入している。

- ・ 既存デマンドの車両の変更を行わない (利用者乗車後には車両変更 (違う車両への移動) はない)
- ・ 車両のルート of 順序関係を保持する

これにより、既存デマンドには大きな変更は生じず、新規デマンドに対しては全探索が可能となっている。

しかし、SAVS は乗り合いを許容する交通サービスであるため、新規デマンドの割り込みにより、既存デマンドの乗車・降車に遅延が生じる。SAVS では、許容遅延時間の最大値を制約として考慮している。SAVS のパラメータを表 1 に示す。

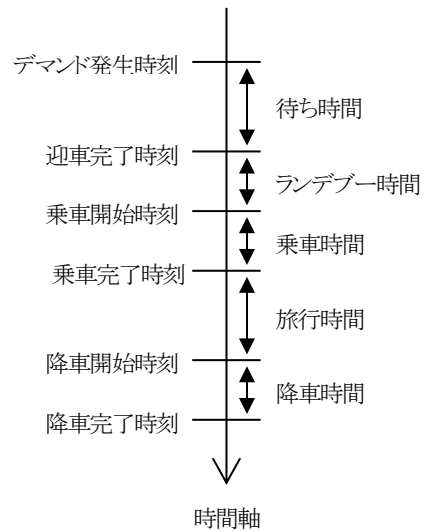


図 1 SAVS のデマンドの状態遷移

表 1 SAVS の配車計算のパラメータ

パラメータ	意味
車両速度	平均速度 (km/h)
ランデブー時間	利用者と車両が探し合う時間
乗車時間	1 人あたりの乗車に要する時間
降車時間	1 人あたりの降車に要する時間
許容遅延時間	既存デマンドに対する遅延の最大値

3. シミュレーション方法

(1) 道路網データ

道路網データは、フリーの地理情報データである Open Street Map (OSM) を利用した。対象エリアは、名古屋市中心街を含む 22km 四方 (緯度 35.04~35.24, 経度 136.79~137.03) とした。道路種別は、有料道路と狭い道路を除き, trunk, primary, secondary, tertiary, unclassified, residential の 6 種を用いた。これらの道路種別による対象エリアの道路網データは、ノード数が 115,024, リンク数が 310,914 であった (図 2 参照)。

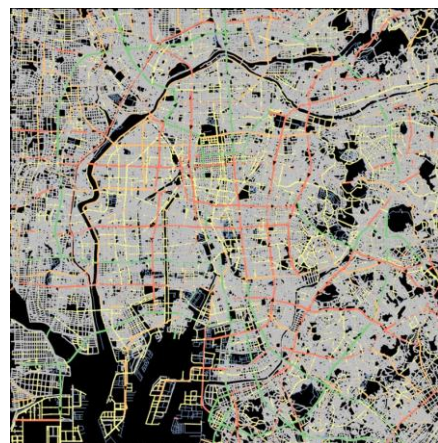


図 2 シミュレーション対象地域

(2) タクシー配車データ

本研究では、終電後の 0:00-2:00、出勤時の 8:00-10:00、昼間の 14:00-16:00、需要ピーク時の 19:00-21:00 の 4 つの時間帯を対象とし、2016 年 10 月 26 日（水曜日）の実際のタクシー配車データを利用した。図 3 に時間帯ごとの乗降位置（100m メッシュ単位）を、表 2 に時間帯ごとの OD 間最短経路長を示す。図 3 をみると、終電後の乗車位置は主に集中しているが、終電後の降車位置は疎らであることがわかる。出勤時は、乗車位置よりも降車位置の方が中心部に集中している。昼間と需要ピーク時は、乗車位置と降車位置に目立った違いは見られないが、昼間よりも需要ピーク時の方が赤い面積が広がっている。終電後は中心部から郊外へ、出勤時は郊外から中心部へ、昼間と需要ピーク時は中心部内の移動が考えられる。そのため、表 2 の通り、終電後と出勤時は、昼間と需要ピーク時よりも移動距離が長い。

タクシー配車データには、利用者の乗降位置、利用者の乗降時刻が含まれているが、人数は含まれていなかった。よって、すべてのデマンドは 1 人と仮定した。また、

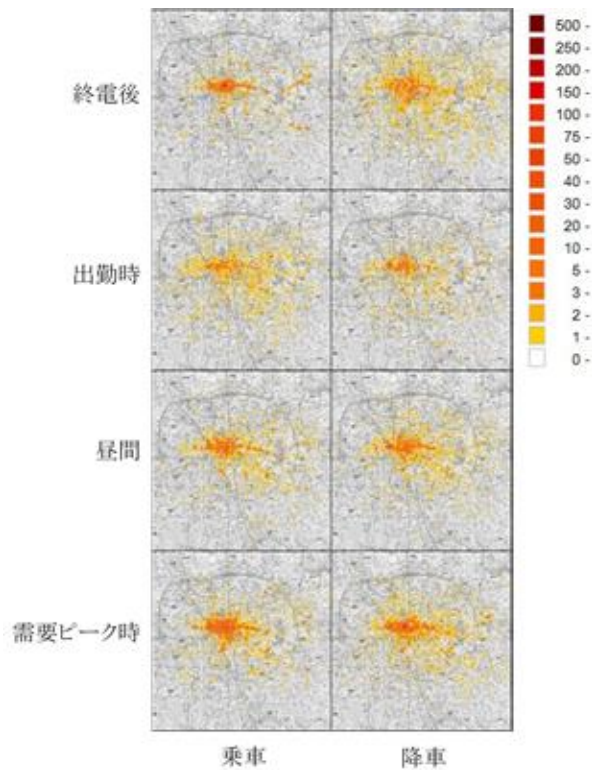


図 3 SAVS のデマンドの状態遷移

表 2 時間帯ごとの OD 間最短経路長(m)

時間帯	最小値	最大値	平均値
終電後	134	17,526	3,723
出勤時	165	19,886	3,112
昼間	118	16,191	2,569
需要ピーク時	118	16,070	2,601

タクシー利用者が移動を思い立った時刻は不明であるため、乗車時刻をデマンド発生時刻と仮定した。

図 2 において、乗車完了時刻と降車完了時刻はタクシー配車データに含まれているため、利用者ごとの旅行時間と降車時間の和はデータとして存在する。OSM データにより OD 間最短経路長は求まるため、車両速度（表 1）を与えることで旅行時間は求まる。よって、車両速度と降車時間を変数とすることで、タクシー配車データとの誤差が求まる。車両速度と降車時間に対して旅行時間と降車時間の和を計算した結果とタクシー配車データとの誤差を図 4 に示す。図 4 は、青に近いほど計算結果とタクシー配車データの誤差が小さく、赤に近いほど誤差が大きいことを意味している。各時間帯で誤差が最も小さくなる車両速度と降車時間を表 3 に示す。図 4 と表 3 より、終電後の車両速度は他の時間帯より速い傾向があり、出勤時の降車時間は他の時間帯より短い傾向があることがわかる

(3) 配車計算の目的関数とパラメータ

本研究では、式(1)を配車計算の目的関数とした。

$$\min \sum_{i=1}^n (w_i + d_i) \tag{1}$$

$$d_i = t_i - s_i \tag{2}$$

ここで、n は未降車のデマンド数、w_i はデマンド i の待

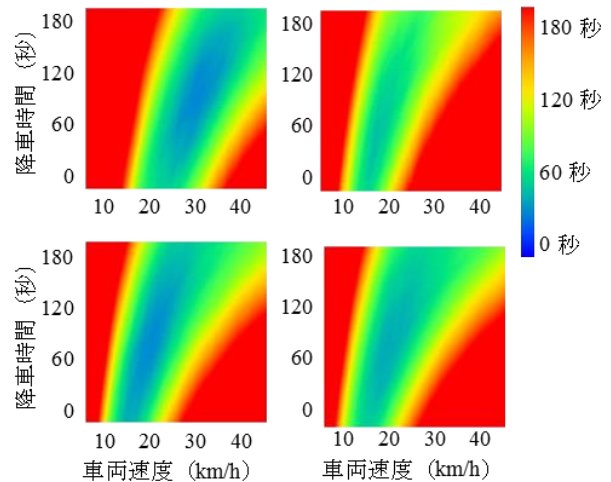


図 4 タクシー配車データに基づく車両速度と降車時間の誤差 (左上:終電後, 右上:出勤時, 左下:昼間, 右下:需要ピーク時)

表 3 各時間帯の車両速度と降車時間

時間帯	車両速度 (km/h)	降車時間 (秒)
終電後	27.8	92
出勤時	19.1	62
昼間	21.2	86
需要ピーク時	20.0	81

ち時間, t_i はデマンド i の旅行時間, s_i はデマンド i の最短経路での旅行時間である. よって, 式(2)で計算される d_i は, デマンド i の乗り合いによる迂回時間を意味している. これにより, なるべく利用者が待たずに車両に乗れ, なるべく効率的に乗り合いして利用者を運ぶことを可能にしている.

表 1 で述べたパラメータに関して, 車両速度と降車時間は表 3 の値を用いた. ランデブー時間と乗車時間はタクシー配車データから推定できないため, シミュレーションでは 0 秒とした. 許容遅延時間を 0 秒とすると, 新規デマンドは既存デマンドの後ろにのみ割り当てられる. シミュレーションでタクシーと SAVS を平等に比較するため, 許容遅延時間を 0 秒としてシミュレーションした結果をタクシーの結果と仮定した. 許容遅延時間が 0 秒のとき, 式(1)の d_i は 0 となるため, タクシーとしての配車計算は待ち時間を最小化することになる. 一方, SAVS の許容遅延時間は 24 時間としてシミュレーションした.

4. シミュレーション結果

シミュレーションは, SAVS 車両の定員を 3 人と 8 名とし, 配車可能車両数を 100 台から 600 台まで 100 台毎増加させ, 待ち時間, 乗り合いによる迂回時間, 乗合回

数を比較した. 図 5 に結果を整理した. なお, 各時間帯の前 1 時間の実際のタクシー配車データを用いてシミュレーションし, 初期車両配置場所を算出している.

(1) 平均待ち時間と平均迂回時間

平均待ち時間 (分) に関して, タクシーと SAVS を比較する. 現状, タクシーのサービス水準として待ち時間は 10 分以内が妥当であり, 利用者利便性の観点から平均待ち時間 10 分以内をサービス提供できる配車可能車両数とする. この条件でみると, 従来のタクシー利用から相乗りサービス提供を行うことで, 終電後は 600 台⇒200~300 台と削減可能, 出勤時は 300 台⇒200 台と削減可能, 昼間は 300 台⇒300 台と同程度, ピーク時は 400 台⇒300 台に削減可能となり, 車両利用の効率性が向上することが確認できる. さらに相乗りで生じる迂回時間を含めた旅行時間で比較しても同様の結果となり, 特に終電後の様な需要 OD パターンでは車両削減効果が高くなっている.

一方, SAVS の定員 3 名と 8 名では 200 台以上を配車可能とした場合に旅行時間の差は大きくはなく, 相乗りサービス自体を導入する効果が大きいといえる. ただし, 今回は一組 1 人と仮定しているが, 実際は複数人による利用もあるため, 乗車定員など車両サイズに関する詳細な検討は別途行う必要がある.

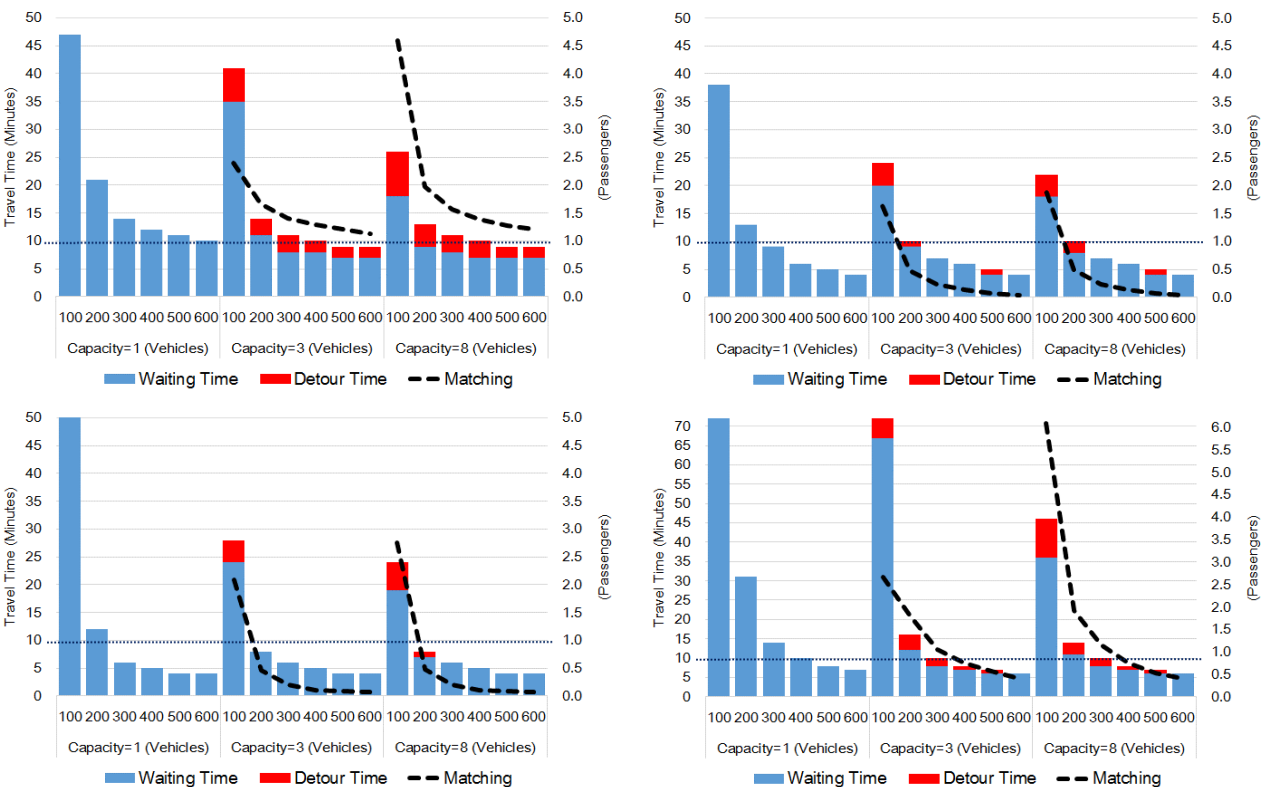


図 5 SAVS の評価 (平均待ち時間・平均迂回時間・平均同乗者数)
(左上:終電後, 右上:出勤時, 左下:昼間, 右下:需要ピーク時)

(2) 平均同乗者数

図 5 の右軸は平均同乗者数を示しており、車両台数別の傾向を黒点線で示している。

配車可能車両数が少なくなると、当然ながら平均同乗者数は多くなる傾向にある。また、SAVS の定員 3 名と 8 名の差は 200 台以上では大きくはないことも確認できる。時間帯別にみると、終電後は平均同乗者数が他の時間帯と比較して多くなり、平均待ち時間 10 分程度の 300 台程度でも 1.5 人回となり、常に誰かと乗り合う状況にある。同様にピーク時も 300 台程度で 1.0 人回以上となり、乗合い頻度は高いことが分かる。一方、出勤時と昼間は 200 台程度で 0.5 人回と少なくなり、需要量と OD パターンによって車両の利用状況は異なり、サービス提供を行う配車対象車両数を調整することで、より効率的な車両活用ができる可能性が高い。

一方、実サービスにおいては同乗者の条件はより厳しくなるため（同性が良い、自宅が離れている人が良い、など）、利用者の利用意向と支払い意思額に応じた選択肢を事前に提示できるような配車システムの改良も有用と考えている。このようなサービス改善は実証実験等を繰り返して利用者の意見を適切に反映させ、地域の利用実態・意向に合わせていく共創が重要である。

5. おわりに

本稿では、実際の名古屋市内のタクシー配車データを用いて、SAVS の乗り合いの効果についてシミュレーション評価した。OD パターンとデマンド数が異なる終電後、出勤時、昼間、需要ピーク時の 4 つの時間帯を対象に、定員 3 名と 8 名の車両を 100~600 台で変化させてシミュレーションを行い、平均待ち時間や平均迂回時間、平均同乗者数を考察した。シミュレーション結果より、乗車位置が集中していることと、デマンド発生頻度が高いことが乗り合いを効率的に行う上で重要なことがわかった。

今後の課題として、需要予測を考慮した配車や同乗希

望を考慮した配車など、継続的な実証実験を通じた利用者要望に対応したシミュレーション評価が必要である。また、交通量に応じて変化する所要時間の考慮、つまり交通流シミュレーションの組み込みも必要である。さらに、鉄道や路線バスのような定時定路線の既存公共交通サービスとの連携などの実証実験を通じ、自動車保有意向と適切な料金体系の議論を行い、それぞれの都市・地域特性に即した柔軟な公共交通サービス連携のシミュレーション評価も今後の課題である。

謝辞: 本研究に取り組むにあたり、つばめ自動車株式会社からタクシー配車データをご提供頂き、タクシー業務について貴重なご助言を頂いた。本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 地域 ICT 振興型研究開発 162301003 の助成によって行われた。

参考文献

- 1) 中島秀之, 野田五十樹, 松原仁, 平田圭二, 田柳恵美子, 白石陽, 佐野渉二, 小柴等, 金森 亮: バスとタクシーを融合した新しい公共交通サービスの概念とシステムの実装, 土木学会論文集 D3, Vol.71 No.5, pp. I_875-I_888, 2015 年.
- 2) 国土交通省自動車局旅客課: 記者発表資料 (2017 年 12 月 19 日)
<http://www.mlit.go.jp/common/001214670.pdf>
- 3) 中部運輸局自動車交通部: 記者発表資料 (2018 年 2 月 2 日)
<http://www.tb.mlit.go.jp/chubu/press/pdf/jikou20180202.pdf>
- 4) 中島秀之, 小柴等, 佐野渉二, 落合純一, 白石陽, 平田圭二, 野田五十樹, 松原仁: Smart Access Vehicle System: フルデマンド型公共交通配車システムの実装と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.4, pp.1290-1302, 2016 年.
- 5) 野田五十樹, 篠田孝祐, 太田正幸, 中島秀之: シミュレーションによるデマンドバス利便性の評価, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.1, pp.242-252, 2008 年.

(2018.4.27 受付)

Simulation Evaluation of Usability of Smart Access Vehicle Service in Nagoya City

Junichi OCHIAI, Ryo KANAMORI, Itsuki NODA and Keiji HIRATA