

名古屋市のタクシー配車データを用いた Smart Access Vehicle Service の効率性評価

Usability Evaluation of Smart Access Vehicle Service Using Dispatched Taxi Data in Nagoya City

落合純一^{*1}
Junichi Ochiai

金森亮^{*2}
Ryo Kanamori

平田圭二^{*3}
Keiji Hirata

野田五十樹^{*4}
Itsuki Noda

^{*1} 株式会社未来シェア
Mirai Share Co., Ltd.

^{*2} 名古屋大学
Nagoya University

^{*3} 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

^{*4} 産業技術総合研究所
AIST

This paper presents a simulation evaluation of Smart Access Vehicle Service (SAVS) using dispatched taxi data in Nagoya city. Recently, demand responsive transports (DRTs) are getting a lot of attention not only in rural areas, but also in urban areas. Because reservations are necessary at least several hours before to use DRTs, most of the DRTs are low convenience. On the other hand, SAVS is a DRT, which can be provided in real time. Therefore, SAVS can convert exclusive taxi services to shared taxi services. The simulation results for multiple time zones with different OD patterns and demand numbers indicate that SAVS can dispatch more efficiently than the taxi service.

1. はじめに

従来、採算が取れない地方公共交通の再構築の手段としてデマンド応答型交通(DRT)は注目されていた[国交省 13][国交省 14]。公共交通が十分に発達していない地方都市では、自家用車が移動手段として必須となっている。自家用車が普及するほど公共交通の利用者は減るため、採算が取れない公共交通のサービスの質は低下し、さらに公共交通の利用者は減るという悪循環となってしまう。その結果、電車や路線バスを容易に利用できない公共交通の空白地域や、ほぼ乗客がいない路線バスが運行する状況が発生してしまう。この状況を打開するため、DRTが運用されてきた。

近年、都市部でもDRTが注目されてきている。タクシー事業者からなる全国ハイヤー・タクシー連合会¹によると、平成27年のタクシー運転手の平均年齢は59.0歳であり、タクシー運転手の高齢化と今後のタクシー運転手の減少が懸念されている。また、イベントや天候による需要の不安定さにより、タクシー待ちの長蛇の列が発生する場合がある。このような問題点を解決するため、タクシーの新しいサービスとして、2018年1月より東京都で、同年2月より愛知県で乗合タクシーの実証実験が始まった。

本稿では、愛知県名古屋市を対象に、独占型サービスのタクシーを共有型サービスの乗合タクシーに置き換えた場合の効果をシミュレーションで評価する。シミュレーションは、2016年10月26日水曜日のタクシー配車データを利用し、ODパターンとデマンド数が異なる4つの時間帯(終電後の0:00-2:00、出勤時の8:00-10:00、昼間の14:00-16:00、需要ピーク時の19:00-21:00)を対象とする。車両数を100-600台の間で変化させ、待ち時間、乗り合いによる迂回時間、乗合回数を比較することで、乗り合いの効率性を評価する。

2. Smart Access Vehicle Service (SAVS)

2.1 概要

筆者らは、持続可能な公共交通を構築するためにSAVSを提案した[中島 16]。SAVSの主な特徴の一つに、リアルタイムに提供可能なドア・ツー・ドアのDRTがある。従来のDRT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DRTをSAVSの基幹技術として導入した。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、鳥取県境港市などで実証実験を行い、その有用性を示してきた。

2.2 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ドア・ツー・ドア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。本稿では、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[野田 08]、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ものであるため、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
- ・ 車両のルートの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ことから、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ことがある。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。

連絡先: 落合純一, 株式会社未来シェア, 北海道函館市美原
2-7-21 万勝ビル 1F, 0138-85-8991,
ochiai@miraishare.co.jp

¹ <http://www.taxi-japan.or.jp/>

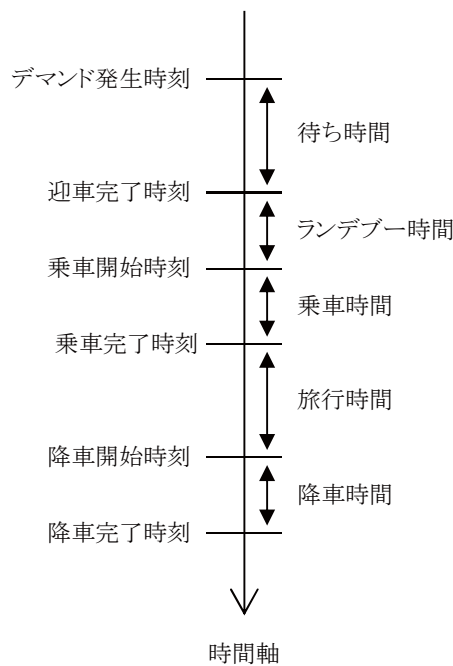


図 1 SAVS のデマンドの状態遷移

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

3.1 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オープンストリートマップ (OSM)² 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 115024, リンク数が 310914 であった。

3.2 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 日水曜日のタクシー配車データを利用した。図 2 に時間帯ごとの乗降位置を、表 2 に時間帯ごとの OD の最短経路長を示す。図 2 を見ると、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

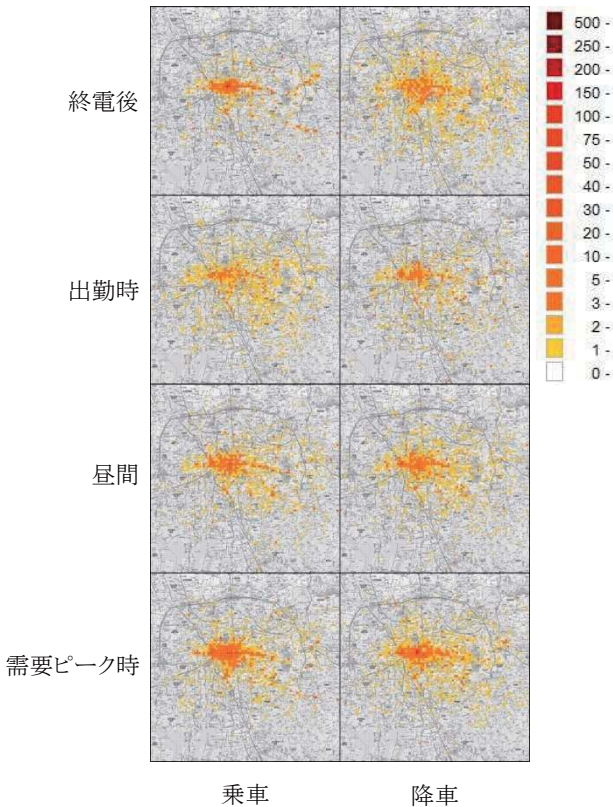


図 2 時間帯ごとの OD パターンとデマンド数

表 2 時間帯ごとの OD の最短経路長

時間帯	最小値	最大値	平均値
終電後	134	17526	3723
出勤時	165	19886	3112
昼間	118	16191	2569
需要ピーク時	118	16070	2601

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。よって表 2 より、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、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 1 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 間の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 3 に示す。図 3 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

² <http://www.openstreetmap.org>

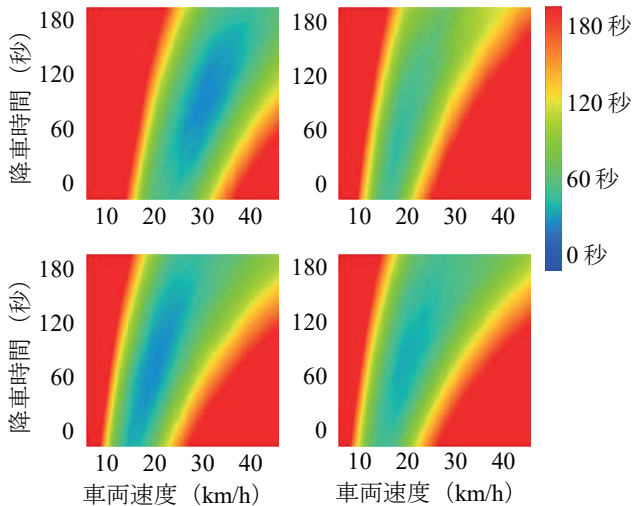


図3 タクシー配車データに基づく車両速度と降車時間(左上: 終電後, 右上: 出勤時, 左下: 昼間, 右下: 需要ピーク時)

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

速度と降車時間を表2に示す。図3と表2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。

3.3 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。

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

$$d_i = t_i - s_i. \quad (2)$$

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2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ことになる。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、車両の定員を3人とし、車両数を100台から600台まで変化させ、待ち時間、乗り合いによる迂回時間、乗合回数を比較した。

4.1 待ち時間による比較

平均待ち時間(分)に関して、タクシーとSAVSを比較した結果を表3に示す。リアルタイムに提供する交通サービスの利便性として、待ち時間10分をしきい値として仮定し、待ち時間10分以下となる箇所に下線を記した。

表3より、すべての時間帯で、タクシーより少ない車両数でSAVSは車両待ち時間10分を満たしていることがわかる。同様に、同じ車両数であれば、SAVSはタクシー以下の待ち時間が得られている。タクシーの場合、新規デマンドは車両のルートの後ろに追加されるだけであるが、SAVSは状況に応じて割り込みが発生する。これにより、タクシーよりも早く車両に乗ることが可能となっている。一般的に、利用者にとってのDRTのメリットとして、乗り合いによる割引運賃がある。それに加え、需要に対して車両数が足りない状況ほど、SAVSを運用することで、利用者は早く乗車できることも大きなメリットであると言える。

4.2 乗り合いを考慮した比較

表3より、SAVSはタクシーよりも待ち時間が小さいことが言えたが、乗り合いの不便さを考慮しなければタクシーとの平等な比較とは言えない。乗り合いによる平均迂回時間(分)と平均乗合回数を表4に示す。ここで、迂回時間は式(2)で計算されるものであり、乗合回数は乗ってから降りるまでに何組の他人と顔を合わせたかを表すものである。例えば、ある車両がAの乗車、Bの乗車、Bの降車、Cの乗車、Cの降車、Aの降車のルートで移動した場合、AはBとCと顔を合わせているため、Aの乗合回数は2である。一方、BとCはそれぞれAのみと顔を合わせているため、BとCの乗合回数は1である。

表4より、ほとんどの状況で、SAVSの待ち時間削減の効果の方が、乗り合いによる迂回時間の影響より大きいことがわかる。しかし、需要ピーク時の車両600台の結果のように、需要に対して十分な車両数を稼働できるとき、乗り合いの迂回時間の影響で、タクシーよりSAVSの方が非効率になってしまっている。車両数が足りている状況では、タクシーでもSAVSでも空席の車両がすぐ迎えに行くことができる。しかし、時々刻々と発生するデマンドごとに配車計算するため、その後に発生するデマンドを正確に予測できないかぎり、結果的に非効率な乗り合いになってしまう可能性がある。

タクシーとSAVSを比較して、最も乗り合いの効果が高いのは終電後である。終電後は乗車位置が中心部に集まっており、中心部から郊外への移動距離も長いので、効率的な乗り合いが発生しやすいと考えられる。さらに、需要に対して車両数が足りていると考えられる600台の結果においても、平均して1回以上は乗り合いが発生しており、他の時間帯と異なる傾向が得られた。一方、出勤時の乗り合いの効果は低かった。出勤時のODパターンは終電後と逆で、降車位置が中心部に集中しており、終電後と同様に移動距離は長い。乗車位置が疎な場合、時々刻々と発生するデマンドごとに配車する結果、車両も常に動き回るため、似ているODのデマンドが少し異なる時刻で発生してしまうと、異なる車両に割り当てられてしまう。よって、降車位置が集中しているよりも、乗車位置が集中していることの方がSAVSにとって重要である。

中心部内の移動である昼間と需要ピーク時に関しては、昼間よりも需要ピーク時の方が乗り合いの効果が大きい。この2つの時

表 4 タクシーと SAVS の平均待ち時間(分)の比較

車両数	終電後		出勤時		昼間		需要ピーク時	
	タクシー	SAVS	タクシー	SAVS	タクシー	SAVS	タクシー	SAVS
100	161	55	87	32	125	41	259	118
150	69	18	33	12	43	11	133	39
200	31	12	16	<u>9</u>	12	<u>7</u>	69	16
250	19	<u>10</u>	<u>10</u>	7	<u>6</u>	6	36	<u>10</u>
300	15	9	9	7	5	6	22	8
400	12	8	6	5	4	4	<u>10</u>	6
500	11	7	5	4	4	4	7	6
600	<u>10</u>	7	4	4	4	4	5	5

表 5 平均迂回時間(分)と平均乗合回数

車両数	終電後		出勤時		昼間		需要ピーク時	
	迂回時間	乗合回数	迂回時間	乗合回数	迂回時間	乗合回数	迂回時間	乗合回数
100	5	1.90	3	1.37	4	1.68	5	2.02
150	3	1.71	2	0.80	2	1.00	4	2.03
200	3	1.50	1	0.49	1	0.50	3	1.74
250	2	1.37	1	0.28	0	0.29	2	1.34
300	3	1.37	0	0.22	0	0.26	2	1.12
400	2	1.24	0	0.13	0	0.13	1	0.81
500	2	1.15	0	0.07	0	0.11	1	0.64
600	2	1.11	0	0.04	0	0.10	1	0.52

間帯は乗車位置も降車位置も規則性はないため、デマンド発生頻度が低いと似た OD のデマンドが発生せず、乗り合いが効率的に行われないことが考えられる。よって、規則性がないドア・ツー・ドアの運用では、デマンド発生頻度を事前調査することが重要となる。

5. おわりに

本稿では、現実の名古屋市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述べた。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人の車両を100-600台で変化させてシミュレーションを行った。シミュレーション上でSAVSとタクシーを平等に比較するため、新規デマンドのルートの割り込みが発生しない設定でシミュレーションした結果をタクシーの結果として用いた。シミュレーション結果により、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、需要予測を考慮してシミュレーションを行うことがあげられる。需要予測を考慮していない本研究では、時々刻々と発生するデマンドのODパターンによっては、タクシーよりもSAVSの方が非効率になってしまうケースがあった。これは、需要予測を考慮することで解決できると考えられる。また、出勤時のように乗車位置が疎らで降車位置が集中している場合、需要予測を考慮することで、終電後と同様の効率が得られると考えられる。

謝辞

本研究に取り組むにあたり、つばめ自動車株式会社の天野清美様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。また、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

- [国交省 13] 国土交通省: デマンド型交通の手引き, 入手先 http://www.tb.mlit.go.jp/hokushin/hrt54/com_policy/pdf/5-1demand.pdf, 2013.
- [国交省 14] 国土交通省: 続・デマンド型交通の手引き, 入手先 http://www.tb.mlit.go.jp/hokkaido/bunyabetsu/tiikikoukyoukoutsuu/31manyuaru/10zokudemandotebiki_tyuubu.pdf, 2014.
- [中島 16] 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.
- [野田 08] 野田五十樹, 篠田孝裕, 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.