

複数タイプの車輛が混在するデマンド型交通サービスの利便性評価

Evaluation of usability of demand responsive transportation with multi-type vehicles

落合 純一^{*1*2}
Junichi Ochiai

宮地 将大^{*3}
Masahiro Miyachi

野田 五十樹^{*1*2*3}
Itsuki Noda

^{*1} 産業技術総合研究所サービス工学研究センター
Center for Service Research, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

^{*2} 科学技術振興機構
Japan Science and Technology Agency

^{*3} 東京工業大学大学院総合理工学研究科
Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

This paper presents evaluation of usability of demand responsive transportation (DRT) with multi-type vehicles. Most of works on DRT used models consist of single type of vehicles which have 4–12 seats. Moreover, some route buses are unprofitable because of few passengers. We previously proposed a DRT model and evaluated the usability compared to walking and route buses. In the current work, we included three types of vehicles, taxi (3 seats), jumbo taxi (8 seats) and bus (50 seats), to the model. We evaluated usability of DRT based on the number of each type of vehicles.

1. はじめに

近年、地方都市では採算が取れない公共交通が問題視されている[国土交通省 2012]。地方都市は大都市と比べて公共交通網が発達しておらず、移動の手段として自家用車が必要となっている。その結果、公共交通利用者が減少し、採算が取れない公共交通はサービスの質が低下してしまい、より利用されにくくなる悪循環となっている。

筆者らは持続可能な公共交通システムとして Smart Access Vehicle System (SAVS) を提案し、北海道函館市で実証実験を行ってきている[中島 2014]。SAVS は、既存の公共交通機関(タクシーやバスなど)に代わって、市民・旅行者により柔軟かつ便利な交通手段(Smart Access Vehicle, SAV)を提供する試みである。SAVS の特徴の一つに、デマンドバスや乗合タクシーと呼ばれるデマンド応答型交通システム(DRT)がある。SAVS の利用者は、乗りたいと思った時に乗車場所と降車場所をスマートフォンアプリで指定する。その後、システムが条件に合う SAV を計算して求める。ここで、SAVS がタクシー配車システムと異なる点は、他の利用客との乗り合いを前提としている点である。よって利用者は、タクシーよりも安い運賃で、タクシーのようにドア・ツー・ドアで移動することができる。

SAVS は既存の公共交通の車輛を利用するため、複数の車輛タイプを同時に運行しなければならない。しかし、DRT の従来研究の多くは一つのタイプの車輛で評価を行っており、車輛タイプの組み合わせに関しては議論されていない。これに対し、本研究では、タクシー・ジャンボタクシー・バスの 3 つのタイプを織り交ぜて運用する場合の、運用方法に対する利便性の変化を分析することを試みる。

2. 研究分野の概要

2.1 デマンド応答型交通システム

利用者の需要に応じて運行計画が変化する交通システムをデマンド応答型交通システム(DRT)という。タクシーと異なる点として、他の利用客との乗り合いが発生することを前提としており、このことからデマンドバスや乗合タクシーとも呼ばれている。特定の設備や運行計画が必要ない DRT は、電車やバスのような定時運行交通システムと比べて柔軟性が高く、公共交通の採算が悪い地域や、人口が少ない地域から注目されている[田柳 2013]。

2.2 DRT の評価に関する従来研究

運行計画がない DRT は実用前の評価が難しく、マルチエージェントシミュレーションを用いた評価が行われている。筆者らは、格子状の仮想道路網を作成し、遺伝的アルゴリズムを用いて路線バスのルートを求め、路線バスと DRT の利便性評価を行った[野田 2008]。その結果、利用客が多い地域ほど、DRT は路線バスより利便性が高くなることを示した。また、DRT のマルチエージェントシミュレーションを行うためのフレームワーク SAVSQUID を開発した[小柴 2014]。これにより、[野田 2008]と同様の傾向を現実の道路網でも確認し、渋滞や交差点の影響について検討した。坪内らは、自治体が DRT の導入を検討するためのシミュレータの開発を行った[坪内 2010]。そこでは、滋賀県守山市において実証実験を行い、自治体の担当者がトリップパターンやエリアの定義を行い、シミュレータの評価を行った。上原らは、通勤時間帯の沖縄県那覇市を対象に、都市間をバスでつなぎ、都市内は DRT でカバーする交通システムを提案した[上原 2015]。また、シミュレーションによる評価により、利用者が現状の路線バス利用者よりも多い場合、運行効率が良いことを示した。

連絡先: 落合純一, 産業技術総合研究所サービス工学研究センター, 〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第 2, j.ochiai@aist.go.jp

3. 実験環境

3.1 DRT モデル

DRT モデルとして, [野田 2008]を用いた. ここでは, デマンドを車輛に割り当てるアルゴリズムとして, 逐次最適挿入法(図 1)を用いている. 図 1 において, O_n は n 番目の利用客の乗車場所, D_n は n 番目の利用客の降車場所である. 逐次最適挿入法では, 過去の割り当て済みのデマンドは再計算せず, 新しいデマンドの O と D の挿入位置を全通り確認し, コストが最小となる位置に新しいデマンドは割り当てられる. よって, 逐次最適挿入法で求められる解は近似解である. DRT のデマンド処理は Dial-a-Ride 問題と呼ばれており, NP 困難であることが証明されているため, 最適解を求めることは困難である[de Paeppe 2004]. 一方, 逐次最適挿入法は単純な手法ではあるが, 過去の実証実験から, 実用上問題ない結果が得られている[中島 2014].

3.2 交通系物理シミュレータ

本研究では, ドイツ航空宇宙センターが開発しているオープンソースのシミュレータである Simulation of Urban Mobility (SUMO) [Behrisch 2011]を用いた. SUMO は, 自由に利用可能な道路網データである Open Street Map¹を読み込むことができるため, 容易に現実の道路網での交通シミュレーションが可能である. また, 個々の車輛の挙動を制御するための API も用意されていることから, 本研究のシミュレータとして採用した.

3.3 実験条件

今後の SAVS の実証実験との比較を考慮し, 図 2 で示す範囲で実験を行った. 図 2 は Open Street Map のスクリーンショットであり, サイズは横 12km, 縦 7km となっている. この範囲を SUMO に入力したときのノード数は 3675, リンク数は 10967 である. シミュレーションのパラメータを表 1 に示す. デマンドは乗車位置, 降車位置ともにランダムに作成した. デマンドの発生時間に関しては, 表 1 のデマンド数に従うようにランダムに作成した.

3.4 評価指標

本研究では, 自家用車でデマンドを処理した場合の旅行時間を最短旅行時間と仮定し, その旅行時間からの遅延率を評価指標として用いた. よって, 遅延率 R_{delay} は式 (1) で表される.

$$R_{\text{delay}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{t_i^{\text{wait}} + t_i^{\text{sav}} - t_i^{\text{car}}}{t_i^{\text{car}}} \quad (1)$$

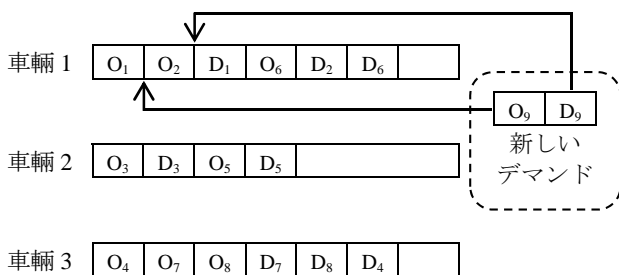


図 1 逐次最適挿入法概念図



図 2 実験範囲(北海道函館市)

表 1 実験条件

パラメータ	値
シミュレーション時間	30 時間
デマンド数	600, 900, 1800, 3600
1 デマンドあたりの乗客数	1 人
タクシーの定員	3 人
ジャンボタクシーの定員	8 人
バスの定員	50 人

ここで, n はデマンド数, t^{car} は自家用車によるデマンドの旅行時間, t^{wait} は SAV が乗車位置に到着するまでの待ち時間, t^{sav} は SAV によるデマンドの旅行時間である. ただし, SAV は乗客の乗り合いが発生するため, 基本的に $t^{\text{car}} < t^{\text{sav}}$ となる.

4. 実験結果

4.1 タクシーのみを運用した結果

図 3 に SAV としてタクシーのみを用いた実験結果を示す. 函館市の主なタクシー業者として函館タクシー株式会社があり, 函館タクシーが所持している小型車は 80 台であることから, SAV を 10-80 台として実験を行った. 図 3 より, SAV を 80 台用いることで, 3600 デマンド(30 秒に 1 デマンドの頻度)でも遅延率は収束することがわかる. また, 自家用車に対して約 0.3 の遅延率が限界であることも見て取れる.

4.2 2つの車輛タイプを運用した結果

ここでは, 2 つのタイプの車輛を運用した場合の実験結果について述べる. 図 3 より, タクシー80 台で遅延率が収束していることから, SAVS 全体の車輛の容量を 239-241 人とし, その制

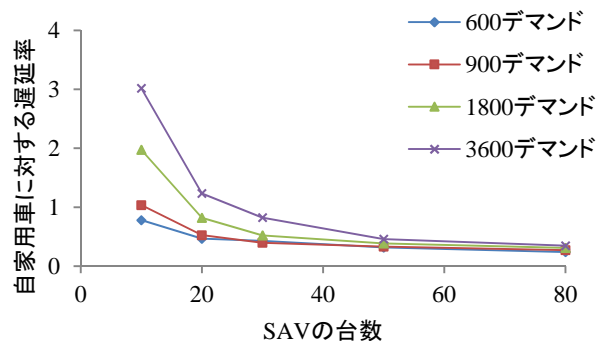


図 3 タクシーのみを運用した場合の実験結果

¹ <http://www.openstreetmap.org/>

約の下で車輛台数を変化させた。

図 4 にタクシーとジャンボタクシーを用いた実験結果を、図 5 にタクシーとバスを用いた実験結果を示す。図 4, 5 より、車輛の総台数が多いほど、自家用車に対する遅延率が下がる傾向が見られる。SAVS では、近似的にデマンドを車輛に割り当てており、そのときの目的関数はデマンドごとの $t^{wait} + t^{sav}$ の平均値である[野田 2008]。しかし、遅延率は乗り合いが発生するほど高い値になってしまう傾向がある。よって遅延率を下げるためには、車輛台数を増やし、乗り合いの発生確率を下げるか、効率の良い乗り合いの状況を作ることが重要であると考えられる。図 6 に車輛台数ごとの遅延率を示す。図 6 より、車輛タイプによらず、車輛台数が増えるほど遅延率が減少する傾向が見てとれる。

5. おわりに

本研究では、複数のタイプの車輛を運用するデマンド型交通シ

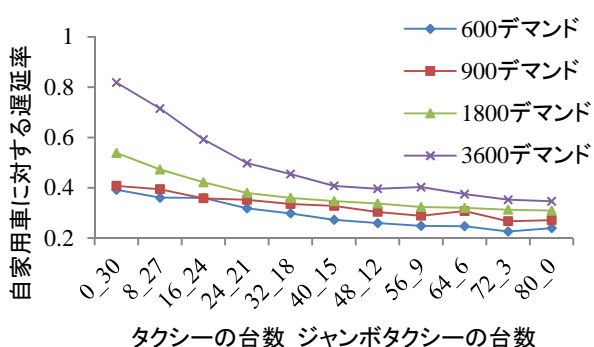


図 4 タクシーとジャンボタクシーを運用した場合の実験結果

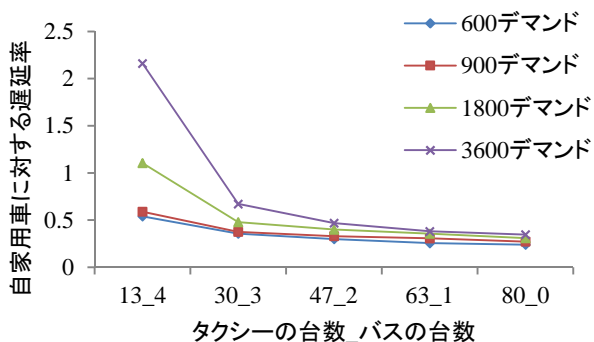


図 5 タクシーとバスを運用した場合の実験結果

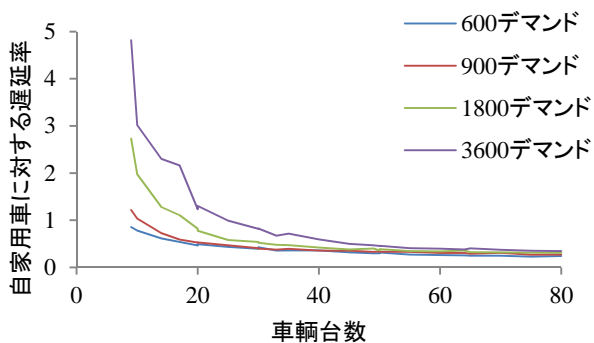


図 6 車輛台数ごとの遅延率

ステムの利便性を評価した。利便性として、自家用車での旅行時間に対する遅延率を定義し、各タイプの車輛台数を変化させて実験した。本研究で用いたデマンド処理は遅延率を最小化するが、乗り合いが発生すると遅延率が増加する傾向にある。よって、遅延率を下げるに関しては、複数の車輛タイプの運用よりも、車輛台数を増やすことが重要であることを示した。

今後の課題として、まずデマンド発生方法の検討があげられる。本研究ではデマンドをランダムに発生させたが、現実のデマンドには偏りがある。また、デマンドの偏りにより、より効率的に乗り合いを行える可能性がある。次に、乗車時刻や降車時刻の時間枠制約、乗り合い相手の人数や性別の制約など、現実のサービスを目指したモデルの改良と、それに適した指標による評価が重要であると考えられる。

謝辞

本研究の一部は、独立行政法人科学技術振興機構社会技術研究開発センター(JST RISTEX)の問題解決型サービス科学研究開発プログラム“IT が可能にする新しい社会サービスのデザイン”の研究助成によって行われている。ここに記して感謝する。

参考文献

- [Behrisch 2011] Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J. and Krajzewicz, D.: SUMO – Simulation of Urban Mobility: An Overview, In Proc. of the Third International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL 2011), pp. 63–68, 2011.
- [de Paepe 2004] de Paepe, W.E., Lenstra, J.K., Sgall, J., Sitters, R.A. and Stougie, L.: Computer-aided Complexity Classification of Dial-a-Ride Problems, INFORMS Journal on Computing, vol. 16, no. 2, pp. 120–132, 2004.
- [上原 2015] 上原和樹, 赤嶺有平, 當間愛晃, 根路銘もえ子, 遠藤聡志: デマンドバスと大型車両による協調型交通システムの提案, 情報処理学会論文誌, vol. 56, no. 1, pp. 46–56, 2015.
- [国土交通省 2012] 国土交通省: 地域公共交通の確保・維持・改善に向けた取組マニュアル, 2012.
- [小柴 2014] 小柴等, 野田五十樹, 山下倫央, 中島秀之: 実環境を考慮したバスシミュレータ SAVSQUID による実運用に向けたデマンドバスの評価, コンピュータソフトウェア, vol. 31, no. 3, pp. 141–155, 2014.
- [田柳 2013] 田柳恵美子, 中島秀之, 松原仁: デマンド応答型公共交通サービスの現状と展望, 人工知能学会第 27 回全国大会, 2J4-OS-13a-1, 2013.
- [坪内 2010] 坪内孝太, 大和祐幸, 穂方和夫: オンデマンドバスの導入設計シミュレータの開発と評価, 人工知能学会論文誌, vol. 25, no. 3, pp. 400–403, 2010.
- [中島 2014] 中島秀之, 小柴等, 佐野渉二, 白石陽: Smart Access Vehicle システムの実装, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO)シンポジウム論文集, pp. 1760–1766, 2014.
- [野田 2008] 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.