

地域交通の未来像としてのスマートアクセスビークルサービス

Smart Access Vehicle Service for Future Regional Mobility

中島秀之 ^{*1} Hideyuki Nakashima	松原仁 ^{*2} Hitoshi Matsubara	平田圭二 ^{*2} Keiji Hirata	鈴木恵二 ^{*2} Keiji Suzuki	田柳恵美子 ^{*2} Emiko Tayanagi	金森亮 ^{*3} Ryo Kanamori
	野田五十樹 ^{*4} Itsuki Noda	佐野渉二 ^{*5} Shoji Sano	落合純一 ^{*6} Junichi Ochiai	松舘渉 ^{*7} Wataru Matsudate	
^{*1} 東京大学 The University of Tokyo	^{*2} 公立はこだて未来大学 Future University Hakodate	^{*3} 名古屋大学 Nagoya University	^{*4} 産業技術総合研究所 AIST		
^{*5} 金沢工業大学 Kanazawa Institute of Technology	^{*6} (株) 未来シェア Mirai Share Co.	^{*7} (株) アットウェア Atware Co.			

Improvement of public transportation services are becoming hot issues all over the world. We compare the worldwide movements with those in Japan. We then describe our idea of a new public transportation service, Smart Access Vehicle Service, which provides Mobility as a Service.

1. Mobility as a Service

近年の少子高齢化、大都市集中という社会問題は、日本各地の地域交通にも深刻な影響を及ぼしている。ICT を利用した地域活性化策や都市計画からの提案が官民挙げて提案されているものの [総務省]、有効な打開策とはならぬまま、ほとんどの地域交通はさらに疲弊しているのが現状である。21 世紀に入ると先進国を中心に高齢化と過疎化による交通弱者の問題が深刻化し、いわゆるデマンドバス、コミュニティバスの導入が盛んになる [田柳 13]。そして 2010 年代以降、GPS と携帯端末を用いたライドシェアサービスが台頭し、Uber のようにグローバル展開するベンチャーが急成長している。現在は、以下の 3 つの課題：(1) クルマ依存社会による交通渋滞や駐車場不足、環境・エネルギー問題という 20 世紀から持ち越された課題、(2) 人口減・高齢化・低成長を克服する未来社会のモビリティの再構築、(3) AI やビッグデータを背景としたビジネス資源としてのモビリティの開発、が渾然一体となって、いわゆるスマートモビリティを追求する取組が、世界の先進都市で様々に試行されている。注目される動きはモントリオール、ポートランド、ヘルシンキ、シンガポールをはじめ、インド、ブラジル、中国などに見ることができる。

こうした中、ユーザに移動というサービスを提供する Mobility as a Service (MaaS) と呼ばれる概念に注目が集まっている [Heikkila 14, Sochor 17]。従来はサービスを受ける際、そのサービスと物理的存在としてのハードウェアが分かちがたく結びついていた。XaaS とはそのサービスとハードウェアを独立にする仕組みのことである。XaaS の進展により、例えば、需要の多寡に応じた動的かつ効率的なリソースの調達や組合せが可能となる。つまり MaaS とは、提供される移動サービスとそれを提供するハードウェアを独立にする仕組みのことと理解すれば良い。

MaaS 導入の先進事例として有名なヘルシンキ市では、タクシー、バス、鉄道、飛行機などの輸送機関が互いに協力、情報交換するための情報システムと仕組み作りを行っている。さらに、2014 年に産官学コミュニティ European MaaS

連絡先: 中島秀之、札幌市立大学、札幌市南区芸術の森 1 丁目、011-592-5420 (2018 年 4 月以降)

表 1: MaaS 達成度の 5 レベル分類

レベル	機能	効果や特長
4	ポリシーの統合	社会スケールの管理、公と個人の協調
3	サービスの統合	サービス連携、定額料金
2	予約・決裁の統合	ワンストップで発券・予約・支払
1	情報の統合	マルチモーダル旅行プランナ、料金情報提供
0	統合なし	独立したバラバラのサービス

Alliance [Alliance] が結成され、40 以上の自治体、ベンダ、サービス事業者が参加している。代表的な企業には、MaaS プラットフォームの SIEMENS、ライドシェアサービスの Uber、交通シミュレータの PTV がある。2017 年 9 月に白書を発行し、公共サービスと経済に関するオープンかつ包括的なエコシステムを交通を中心として展開することを目指している。

[Sochor 17] は MaaS をその達成度によって 5 レベルに分類している (表 1)。レベル 0 では、地図や経路探索といった各移動サービスは統合されておらず、利用者が自分で判断し (多くの場合は異なるアプリによって) そのサービスを利用する。レベル 1 ではそれらのサービスが統合され、利用者には移動に関する様々な情報 (料金、時間、距離、道順、快適さ等) が提供される。レベル 2 で、ようやく単一アプリで実際に情報を比較しチケットを事前に購入することが可能となり、ここまで到達して自家用車減の効果が現われる。レベル 3 で、利用者と事業者の契約が進み、事業者間で提携が行われサービス内容のさらなる高度化、需給の最適化が実現される。ここで事業者の車輛数減や固定費減の効果が現われる。レベル 4 では、都市計画・交通政策におけるポリシーを統合することで、人流や物流、防災、エネルギーマネジメント等の最適制御を実現する。

レベル 2 の例として、ベンチャー企業 MaaS Global 社^{*1} が 2016 年より Whim と呼ばれるスマートフォン向けアプリ提供

^{*1} <https://maas.global/>

を開始している [Goodall 17]. Whim を用いてメンバ登録しておく、利用者はタクシー、レンタカー、公共交通、シェア自転車などに自由にアクセスできるようになる。すると Whim は、利用者の利用傾向を学習し、予定表と連動してその日の目的地への最も効率的な移動法を提案してくる。このように、Whim は、多様な移動サービスを単一のインタフェースで効率よくタイムリーに利用可能とする。

このように、MaaS とは、交通を中心に据えて都市を再構築し、従来の仕組みでは実現し得なかったような高度な都市機能を実現させようという考え方である。従来の公共交通は、土木・道路交通行政というきわめてハード的な政策の枠組みで捉えられてきたが、世界の潮流は、情報流通サービスとしてモビリティを捉え直す方向に向かっている。

2. 日本における地域交通

日本では、相対的に人口過密で都市化が遍く進展したという背景もあり、クルマ依存や交通弱者の問題は欧米に比べれば深刻化のスピードは遅かったといえるが、その分経済成長の鈍化と公共交通の疲弊が緩慢に進行し、21 世紀に入って高齢者という交通弱者の増加とともに、地域交通の衰退問題が急速に表面化している。しかし（富山市を例外として）中心市街地の公共交通改革に着手している都市はきわめて少なく、都市周辺の過疎地域を中心とするコミュニティ交通の再構築に腐心しているのが現状で、その中にいくつかの先進例が見られる程度である。

現在いくつかの自治体で「フルデマンドバス」*2 という、固定路線や固定ダイヤを全く持たない公共の地域交通が実施されているが、人手による配車計画が中心で、コンピュータによる効率的な集中制御はあまり広まっていない [田柳 13]。東大 [大和 08, 坪内 09] と NTT 東日本 [NTT 東] がそれぞれコンピュータシステムによる運行管理者の補助システムを構築している。またこれらのシステムは事前（発車前）予約を基本としている。つまり、複数デマンドの組合せやルートをあらかじめ決めた上で運行が開始される。ルートは自由でも、1 時間ごとの発車というように発車時刻を固定されているものが多い。この他に、AV プランニング [AV] が、いくつかの地域で運行ルートを自動決定する配車システムを提供しているが、基本的に乗降は最寄りの停留所、事前予約での運用である。

その一方で、大都市圏においても国交省が乗合タクシーの本格的な規制緩和をにらんで、2017 年末頃から実証実験を順次認可している。背景には、Uber がロンドンやパリをはじめ各国都市に進出して、伝統的なタクシービジネスに損害をもたらしていると言われていることがある。日本のタクシー業界ではここ数年来、AI/IoT による武装で外敵に対抗すると同時に、この機に乗じた技術開発競争と業界再編の機運が水面下に見え隠れする。東京では 2018 年 1 月より日本交通、大和自動車による相乗りタクシー実証実験が開始されたが、あくまで事前予約方式で、予約後に同じ方向へ向かう乗客が現れるのを待ち、現れた時点でお互いの許諾を得て相乗りが成立する。乗車前に相乗りを確定させてから配車するため、相乗り相手が現れるまで 30 分以上待った後に不成立となるケースも多くなる。

また 2018 年 2 月より名古屋市東部地区にて、つばめタクシーグループによる相乗りタクシー実証実験が開始された。ここでは、事前予約なしで 1 組の乗車要求に対して即時配車し、相乗りの成立は動的に決まるという東京での実証実験より高い

利便性が実現された。これは配車システムに我々の SAVS（3. 節）を採用したためである。どちらの方式も相乗りの場合は通常料金より最大 4 割程度安くなる計算だが、タクシー車輛の相乗りにはどちらの方式が利用者のニーズに合うのか、もしくは他の方式が望ましいのかという課題にはまだ結論が出ていない。またいずれの実証実験の規模もまだ十分なものとは言えず、実運用に向けては地域の運営協議会や民間業者の本気度が問われるところである。地方都市では、先述したデマンドバスや深夜の乗合タクシーなどで、すでにタクシー相乗りに抵抗のない土壌は一定出来つつあるようにも思われる。大都市でのシェアリングエコノミーのタクシー業界への浸透がどのように進むのか注目される。また地方においても、タクシー会社を超えたサービスや、タクシー会社とバス会社の協働などのオープンプラットフォームへの参画にはまだ抵抗があるだろう。

3. Smart Access Vehicle Service

我々は未来型の都市交通サービスとして、スマートアクセスビークルサービス (SAVS) を提案している。SAVS は予約なしで、乗りたい時に呼び出せば直ちに（都市の条件などによるが、おおそタクシーを電話で呼び出す程度の待ち時間と考えている）乗合の車輛（現在の区分で言えばタクシーやバス）を割り当てるサービスである。しかもこのサービスは過疎地の小規模運行サービスに限らず、スケールフリーで大規模に実現することができる。SAVS の思想では、移動は目的ではなく手段として捉え、他の飲食店、医療、観光、物流等のサービスとの連携が前提となっている。これまで、SAVS を提供するシステム [中島 15] を設計し、リアルタイム乗合公共交通システムのプラットフォームとして実現している [平田 17]。サービス連携を実現するための API を提供・公開しており、MaaS レベル 3 のサービス連携プラットフォームとなることを目指している (図 1)*3。

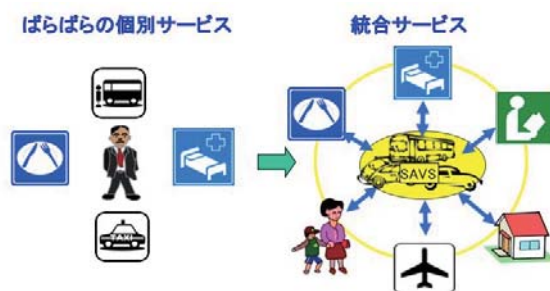


図 1: SAVS を核としたサービス連携

SAVS は以下の特徴を持つ：

- 少数台を限られた地域や目的で運行するのではなく、都市全体の公共交通を集中制御する。現在運行されているバスやタクシーの車輛をそのまま使うことができ*4、既存の運行方式と、SAVS によるオープンプラットフォーム型の運行方式とをスイッチ 1 つで切り替えられる、新

*3 2016 年に当該サービスを提供するためのベンチャー企業（株）未来シェアを立ち上げた (<http://www.miraishare.co.jp/company/>)。現在、JTB と連携して豪華客船の寄港地での運行実験や、つばめタクシーと連携して名古屋市街での運行実験などを展開中である。

*4 現行車輛を使うことにより移行が容易であるが、将来的には乗り合いを意識してデザインした専用車輛や一目でそれと分かる共通のアイコンの掲示が望ましい。

*2 多くの場合、道路運送法第 4 条の特例に基づき、自治体からタクシー業者への委託などによる乗合タクシー方式で運用されている。

しい公共交通システムの提案である。ここに Uber のような自家用車のライドシェアサービスを市民個人が登録することも原理的には可能である。

- コンピュータ制御による、デマンド応答型完全自動運行である。事前予約を前提とせず、乗りたいときに呼出することができる。システムは地域内の全ての車輛の現在位置とその先のルート进行管理しており、デマンドに応じて最適な車輛を選定する。
- 実時間で車輛のルートを設定・管理する。このため乗客が乗車中にルートが変わることがあるが、約束した到着時間は守られる。^{*5}

SAVS はコンピュータによる集中制御方式を採る。台数や利用客数が増えルート計算が複雑になっても、最適解を導き出せるアルゴリズムを開発している。このため柔軟な運行管理が可能であり、従来型の路線バスやタクシーの運行方式を完全に包含している。つまり、タクシーあるいはハイヤーのようにユーザが独占する形態から、バスのように路線と停留所を固定して使うこともできる。たとえば前者は観光、後者は通勤・通学に適していると考えられる。

フルデマンドバスは運行規模が小さい場合にはドアツードア方式や直前呼び出しなど、限りなくタクシーに近い運用が可能だが、台数や利用客数が増えてくるにつれて乗り物の都合に客が合わせる運用となり、従って一定以上の乗客数がある場合は定期路線バスの方が利便性が高いというのが、従来のデマンドバスに対する定説であった。しかしながら、ある程度以上の台数が確保されれば問題ないということがマルチエージェントシミュレーションで示されている[野田 08]。社会常識が逆になっているのは大規模デマンドを効率的に処理するシステムがこれまでなかったことと、少数台でしか実証実験されてこなかったことによる結果である。

我々のシミュレーションによると SAVS の効率性は図 2 のようなカーブになる。上の破線が現行のタクシー、下の破線が現行のバスであり、その間で V 字のようなカーブを描いているのが SAVS である。過疎地ではタクシーと同様の効率を持つが、価格もタクシー並になるであろう。都市部ではおそらくバスに近い価格でタクシーに近い利便性が出せる。^{*6}

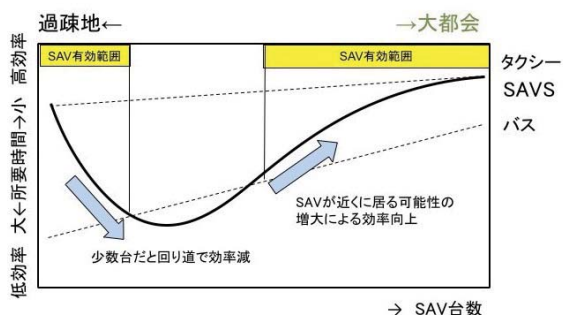


図 2: SAVS の効率

^{*5} 到着予想時刻はあらかじめ若干のマージンを持たせて設定する。また、飛行機や長距離列車への乗り継ぎがある場合はそれを厳守する。これらの到着時刻を超えるようなデマンドは別の SAV 車輛に割り当てる。

^{*6} 現状の地域公共交通において、路線バスはほとんどの場合、ドル箱路線以外は赤字であり、公共の補助金なしには経営困難であることを考えれば、バス料金も実質的にはタクシー並みかそれ以上に高いのである。

SAVS は以下の手順で呼出される：

1. ユーザが現在位置と目的地を指定して配車をリクエスト
2. サーバが最適車輛を選択 [小柴 14]
3. 車輛に新ルートを指示
4. ユーザにピックアップ予定時刻と目的地到着予定時刻を伝達
5. ユーザ端末は割り当てられた SAV の現在位置、車載端末はユーザの現在位置を地図上に表示

システムの動作は完全自動でオペレータは介在しない。ドライバーは車載端末の指示で運行する。

SAVS は、(1) ユーザが端末（スマートフォンを想定している）上でデマンドを入力するためのアプリケーション（ユーザ App）、(2) SAV ドライバが車載端末上でデマンドを確認するためのアプリケーション（車載 App）、(3) デマンドに応じて最適な車輛と訪問順序を計画する配車システム、の 3 つより構成される。また、これらのサブシステムはデータベースを介したデータのやりとりによって連携を実現する（図 3）。

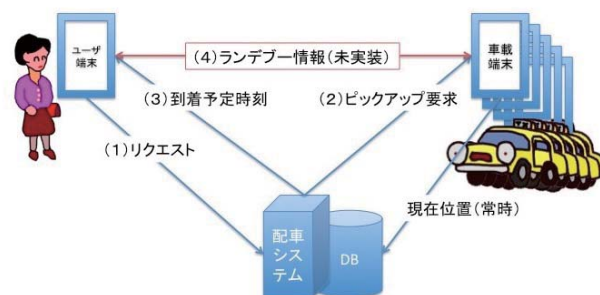


図 3: SAVS の全体構成

これにより、SAVS は人間のオペレータを介することなく、自動でデマンドの受付から車輛割り当てまでを行うことができる。全自動での対応は、SAVS の提供上重要であるのみならず、サービスを社会実装する際に有用な特徴である。つまり、全自動化を行うことで、普段は一般のタクシー配車システムとして使いながら、アルゴリズムを切り替えて特定の日や時間帯だけタクシーを SAV として運行するという、シームレスかつ適応的な車輛運用が可能となり、事業者らが実態を見ながら徐々に SAVS を導入することが可能になる。

ユーザ App は、ユーザが乗降場所の指定などを入力し、SAV システムからの通知を表示するためのアプリケーションである（図 4）。このユーザ App 画面を見ただけでは、Uber などのタクシー配車（呼び出し）システムとの差異が分かりにくいかもしれない。SAVS の優位点は、デマンドを受け付けた時点での全車輛の場所を把握し、割り当てられた SAV 車輛が乗客を迎えに行き目的地に到着するまでの全ルート进行管理している点である。SAVS はデマンドを受け付けると、即座に目的地までの所要時間を計算できる。一方、Uber を含む一般のタクシー配車（呼び出し）システムでは、運転手に呼び出し情報が伝えられるだけであり、どの乗客を乗せるかの選択権は運転手にある。このため、配車が決定するまでの時間を保証できず、また、最適経路を計算しないので目的地までの所要時間も不明である^{*7}

^{*7} Google Map、駅すばあと、NAVITIME などの時刻表検索システムと連携するには、統計による推定値を使わざるを得ないだろう。



図 4: ユーザ App:乗車地点指定→降車地点指定→配車完了

4. SAVS as a MaaS

欧米での地域交通（第2.）において、現在は主として MaaS レベル 2 あるいはレベル 3 を目指す技術開発が精力的に進められている。地域交通では多数の独立した細粒度の移動デマンドが発生するが、それらデマンド全体の要求を様々なポリシー（最大幸福、最小不幸など）に従って満足させる必要がある。個々の移動デマンドに対するサービス満足度と地域全体での最適化を両立させることで、結果的に、MaaS レベル 3（サービス統合/連携）さらにはレベル 4（ポリシー統合）が実現される。言わずもがなであるが、こうした社会実装の過程において、地域がみずからの公共交通の現状を改革したいのであれば、未来のモビリティへのビジョン構築と、その自由な発想を妨げない法規制が必要不可欠である。MaaS はそのビジョンを実現するインセンティブを搭載するシステムとして設計されることになる。例えば欧州の MaaS では、パーク＆ライド、自転車持ち込み、レンタカー、レンタサイクル、乗合タクシーなど、脱自動車社会へのインセンティブを持ったモビリティサービスが、これら細粒度の移動デマンドに対応するかたちでフルに搭載されている。地域社会は、あるべき都市交通・地域交通の姿、あるべき人間のモビリティを思い描く力が求められている。

我々は、SAVS 方式が、個々のデマンドに対するサービス満足度と地域全体での最適化を両立させる最も有望な方式と考えている。個々のデマンドに対するサービス満足度を上げるためには、SAVS のような細粒度のデマンドに車輛単位で応答するプラットフォーム上に、サービス提供するシステムを構築するのが現実的である。そして、サービス満足度と最適化を両立させることは、不完全情報の世界におけるマルチエージェントの協調最適化問題を解くことに相当する。この意味において、SAVS の社会実装は人工知能研究の知見を大いに必要とするだろう。

参考文献

- [Alliance] MaaS Alliance: White Paper, Guidelines & Recommendations to create the foundations for a thriving MaaS Ecosystem, https://maas-alliance.eu/wp-content/uploads/sites/7/2017/09/MaaS-WhitePaper_final_040917-2.pdf (2017), Accessed on March 4, 2018
- [AV] AV プランニング: デマンドバスシステム, <http://www.netlaputa.ne.jp/~avplan/product.html>, Accessed on March 4, 2018
- [Goodall 17] Goodall, W., Fishman, T. D., Bornstein, J., and Bonthron, B.: The rise of mobility as a service –

Reshaping how urbanites get around, Deloitte Review, Issue 20, pp. 111–129 (2017)

- [Heikkila 14] Heikkila, S.: *Mobility as a Service – A Proposal for Action for the Public Administration: Case Helsinki*, Civil and Environmental Engineering (2014), Master's Thesis of Aalto University
- [NTT 東] NTT 東日本: デマンド交通システム, <http://www.ntt-east.co.jp/business/solution/transport/index.html>, Accessed on March 9, 2018
- [Sochor 17] Sochor, J., Arby, H., Karlsson, M., and Sarasini, S.: A topological approach to Mobility as a Service: A proposed tool for understanding requirements and effects, and for aiding the integration of societal goals, in *Proceedings of ICoMaaS2017*, pp. 187–201 (2017)
- [小柴 14] 小柴 等, 野田 五十樹, 平田 圭二, 佐野 渉二, 中島 秀之: Smart Access Vehicles の社会実装 – シミュレーションを通じた分析と実証 –, 情報処理学会 研究報告 知能システム (ICS), Vol. 2014-ICS-174, No. 1, pp. 1–8 (2014)
- [総務省] 総務省: ICT 街づくり推進会議, http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ict_machidukuri/, Accessed on March 4, 2018
- [大和 08] 大和 裕幸, 稗方 和夫, 坪内 孝太: オンデマンドバスのためのリアルタイムスケジューリングアルゴリズムとシミュレーションによるその評価, 運輸政策研究, Vol. 10, No. 4, pp. 2–10 (2008)
- [中島 15] 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 (土木計画学), Vol. 71, No. 5, pp. L875–L888 (2015)
- [坪内 09] 坪内 孝太, 大和 裕幸, 稗方 和夫: 過疎地における時間指定のできるオンデマンドバスシステムの効果, 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No. 1, pp. 115–121 (2009)
- [田柳 13] 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, 人工知能学会全国大会 2J4-OS-13a-1, pp. 1–4 (2013)
- [平田 17] 平田 圭二, 鈴木 恵二, 野田 五十樹, 落合 純一, 金森 亮, 松舘 渉, 中島 秀之, 佐野 渉二, 白石 陽, 松原 仁: 完全自動リアルタイムフルデマンド交通システム SAV 向けプラットフォームの設計と実装, 情報処理学会研究報告, Vol. 2017-ITS-68, No. 1, pp. 1–6 (2017)
- [野田 08] 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)