

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

中島 秀之¹・野田 五十樹²・松原 仁³・平田 圭二³・
田柳 恵美子³・白石 陽⁴・佐野 渉二⁵・小柴 等⁶・金森 亮⁷

¹非会員 公立はこだて未来大学学長 (〒041-8655 函館市亀田中野町116-2)
E-mail: h.nakashima@fun.ac.jp

²非会員 産業技術総合研究所 サービス工学研究センター (〒305-0821 茨城県つくば市梅園1-1-1)
E-mail: i.noda@aist.go.jp

³非会員 公立はこだて未来大学教授 システム情報科学部 (〒041-8655 函館市亀田中野町116-2)
E-mail: {matsubar | hirata | tayanagi}@fun.ac.jp

⁴非会員 公立はこだて未来大学准教授 システム情報科学部 (〒041-8655 函館市亀田中野町116-2)
E-mail: siraisi@fun.ac.jp

⁵非会員 公立はこだて未来大学特別研究員 (〒041-8655 函館市亀田中野町116-2)
E-mail: sano@fun.ac.jp

⁶文部科学省 科学技術・学術政策研究所 (〒100-0013 東京都千代田区霞が関3-2-2)

⁷正会員 名古屋大学特任准教授 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

バスとタクシーの区別を無くした新しい公共交通システム(Smart Access Vehicle System)の概念を示す。これは、コンピューターにより全ての車輛の位置と経路を管理し、固定路線やダイヤを持たず、乗合いで、デマンドに即時対応するシステムである。これを交通サービスのクラウド化と呼ぶ。タクシーの利便性とバスの経済性を併せ持つことが可能である上に、渋滞、事故、天候変化、災害などに柔軟に対応できる。我々は函館において小規模な実験を行い、数日間の完全自動配車に成功している。

Key Words: Smart Access Vehicle System, demand responsive transportation, public transportation

1. 背景

日本は世界で最初に超高齢社会に突入し、現在もその先頭を走っている。今後先進国のみならず、いずれは途上国も迎える高齢社会の問題解決モデル先進国として、日本の取り組み動向は世界中から注目されている。少子化、超高齢化、それに伴う急速な人口減少、そして伝統的な地域コミュニティの衰退が、否応なく地方都市の人々を過疎化と孤立化の危機へと向かわせている。

高度成長期以降の都市化——クルマ中心社会の到来、中心市街地の空洞化と郊外の大型ロードサイド店への商圏の移行などを背景に、電車・バス等の公共交通は利用者が急減してきたが、近年は公共財源の緊縮化も相まって、大幅な路線減・便数減も回避できない状況にある。ここに来て過疎とも言えないような市街地においても移

動難民、買い物難民が急増しており、新たな公共交通システム——特定地域運行型 (STS : Special Transport System) / デマンド運行型 (DRT: Demand Responsive Transport) ——の導入が活発化している。地方の中小都市では、定時運行路線バスの全面廃止を断行し、一般ユーザの利便性を切り捨てて高齢者向け等の特定ユーザのみを対象とするデマンド交通への切り換えを図る例も登場するなど、ユニバーサルサービスとしての一般公共交通の行方が危ぶまれている。

一方で情報通信技術の急速な普及と発展により、社会インフラや都市サービスの領域において、これまで考えられなかったようなスマートな(賢い)問題解決が実現可能になっている。いわゆるスマートシティとかビッグデータとか言われる潮流である。高度な情報インフラは、

いまや都市機能の状況や人間の諸活動を非常にきめ細かいメッシュと複雑多岐にわたるレイヤーで、かつリアルタイムで把握し制御することが可能になっている。超高齢社会における社会インフラ、都市サービスについては従来、効率化か利便性かのゼロサムが問題視されてきたが、今後は情報のスマートな活用により、効率化と利便性の高度な両立が実現可能になる。

こうした情報通信技術の発展を背景に、公共交通に対する考え方も変革が必要になっている。従来のデマンド型の公共交通は、中小規模エリアで、かつ過疎地域の高齢者など特定地域の特定ユーザを対象としなければ成立しないと考えられてきた。多くのデマンド公共交通は、オペレータによる人的配車計画に依存しているため、一定の量を超えた乗客への対応や、配車途上でのリアルタイム対応などに制約があったからである。しかし乗客からの予約受付と運行計画が、すべて高い信頼度でのコンピュータ自動制御で可能になれば、特定多数・不特定多数の乗客を対象に、複数の交通手段（バス、タクシー、さらには自家用車なども含めて）の横断的な乗り合いサービスの提供も不可能ではない。従来の公共交通への固定観念を捨てて、まったく新しい概念のフルデマンド交通のアイデアを導入すべき時期が来ている。

そのような問題意識のもとで、筆者らは 2011 年度より新しいデマンド型交通システム「SAVS (Smart Access Vehicle System)」の開発と実証実験に取り組んでいる。2013 年秋から北海道函館市においてフルデマンド型の乗り合い交通実証実験に着手し、世界で初めて複数台リアルタイム完全自動配車実験に成功した。運行ルートや乗降場所をまったく限定せず、運行中の予約もリアルタイムで受け付けながらルート変更を柔軟に行う乗合い交通で、乗客がスマートフォン等でデマンドを出してからほぼ 5 分待ちでの配車を実現した。

本論文では、第一にデマンド型公共交通の現状と課題を整理し、第二に情報の先端的研究の立場から交通移動サービスのクラウド化/仮想化という新しい概念を提起したうえで、第 3 に筆者らが推進している SAVS の概要と実証実験の成果について詳述し、最後に今後の展開、特に公共交通単独のサービスに留まらない多様なサービス連携についての展望を述べる。これまでのサービス供給側と享受側の情報の流れをダイナミックに統合する技術の導入により、超高齢社会にふさわしい“スマートな”社会インフラ、都市サービスを再構築していくことが、本研究の究極的な目標である。

2. デマンド応答型交通システム

地域（コミュニティ）への土着性が強い高齢者¹⁾の増加により、公共交通に求められる役割も変化してきてい

る。つまり、通勤・通学の移動効率性向上を目指す定時定路線での大量集約輸送サービス提供から、交通弱者への対応などの福祉的視点のサービス導入が求められている。この対応として、主に公共交通空白地域を持つ自治体ではデマンド型交通システムが導入されている。

いくつかの自治体でフルデマンドバスという、固定路線や固定ダイヤを全く持たない公共交通方式が実施されているが、これらは過疎地など移動困難者を抱える特定地域に限ったものである²⁾。また、これらは人手による配車計画が中心で、コンピュータによる集中制御はほとんど普及していない。東大が柏でコンピュータシステムによる運行管理者の補助を行っている³⁾のがほぼ唯一の例外である。またこれらのデマンドバスシステムは（東大のコンビニクルを含め）事前（発車前）予約を基本としている。つまり、デマンドバスのルートをあらかじめ決められた上で運行が開始される。発車時刻まで固定されているものも多い。

(1) 分類と現状

デマンド型交通システムは「あらかじめ利用者側の要求を受け、それに応じて運行する乗合の交通機関」と一般的に定義⁴⁾され、また事業形態は「乗合タクシー」であり、「一般タクシー」ではなく、事前申請の地域以外でサービス提供を行うことも制度上できない。

鈴木⁴⁾によると、デマンド型交通システムは以下の 4 通りに分類される。

- 迂回ルート型
固定ルートには定時運行し、あらかじめ設定された迂回ルートにデマンドがあったときのみ迂回運行する
- 一部区間デマンド型
一定の地点まで定時定路線運行し、その先の需要が拡散する地域はデマンドがある地区のみ延長運行する
- 設定ダイヤデマンド型
路線とダイヤは予め設定され、デマンドがあったダイヤのみ運行する
- 区域型（フルデマンド型）
一定のエリアの中でデマンドに応じてフレキシブルに任意の停留所間を運航する。一部の停留所を固定する場合、およそのダイヤ（時間帯）を設定する場合がある。

最近では停留所を設定せずに任意で予約を受ける区域型（フルデマンド型）の導入が増えており、予約・配車システムも電話予約+手作業による経路選定+無線指示のアナログ方式の他、ICT を活用した NIT 方式や東大方式（コンビニクル³⁾）の導入事例がある⁴⁾。

現在のデマンド交通システムの導入目的に目を向けると、特定地域運行型（STS: Special Transport Services）と言われる、高齢者や障害者等の特定ユーザ向け（あるいは特定ユーザが多い特定地域向け）の運行に限定されているのが実態である。例えばスウェーデンでは早くから国の施策により、全土にわたって高齢者・障害者等向けの乗り合いタクシーを小規模エリアごとに運行してきているが、近年はストックホルムやヨーテボリ等の大都市でこれを中規模エリアのデマンドバス運行へ発展させると同時に、運行エリアを増やしてサービス規模を大幅に拡大している。しかし利用客の多い都市中心部では、従来の定時運行路線バスや路面電車が中心となり、周辺地域からのデマンド交通の利用者が都市中心部へ出る、あるいは都市中心部で移動するには、中心部との隣接拠点から定時運行路線バスや電車に乗り継ぐ必要がある。他国・他地域においてもおおむね状況は同様である²⁵⁾。

日本国内では高齢化・過疎化が進む中小規模の地方都市において、定時路線運行バスの全面廃止とデマンド交通への全面移行の事例も出てきている。例えば、岡山県総社市では周辺地域から市街中心地まで乗り入れられるフルデマンド型交通が導入されたものの、この場合も高齢者の用途目的に焦点を当てたデマンド交通に特化し、その他のユーザのニーズは切り捨てられているのが実態である。いずれの都市においても、特定地域運行型を主軸として多様なサービスが発展してきているものの、それらは独立・分散して運行されており、横断的に繋いでいくサービスの開発は遅れているといえる。

一方で地域公共交通としての一般タクシーの活用も注目されつつあり⁶⁾、市民、来訪者など利用者の多様な移動ニーズに対して、地域特性に応じた交通システムのサービス提供が益々求められている。

(2) 移動サービスのクラウド化

本研究の目的のひとつは、移動サービスのクラウド化である。一般にクラウド化というと、データをサーバ上に保存し、そのデータや計算パワーを必要に応じていつでもどこからでも利用可能とすることを意味する。各自が自分専用のマシンやデータストレージを持つのではなく、ネットワーク上の複数のハードウェア資源を単一の論理資源に見せかけて使う技術がこれである。

ここで言う、移動サービスのクラウド化とは、バス、タクシーといった現実の移動手段の差異を吸収して本質的な移動だけを提供する論理的なサービスを意味する。移動サービスとそれを担うハードウェアである車輛との対応を仮想化することによって、ある移動の需要に対して複数の車輛から単一の論理的な移動サービスを生成したり、単一の車輛から複数の論理的な移動サービスを生成したり、また、様々な種類の車輛をその需要に適応さ

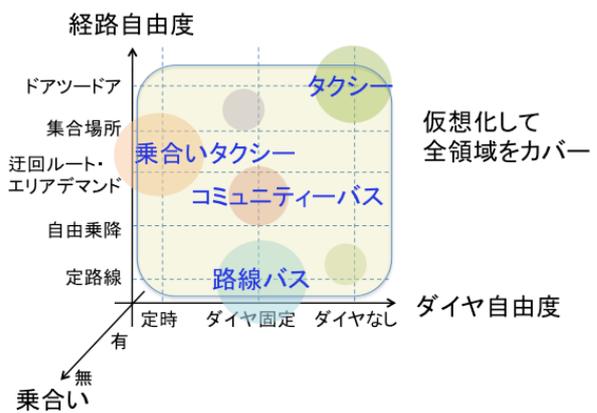


図-1 移動サービスのクラウド化

せる。

これより、移動サービスをクラウド化すると、物理的に移動サービスを提供するタクシー、バス、さらに自家用車等の車輛の管理・運用と、需要に応じて提供される仮想化された移動サービスを分離し、複数の乗客の需要に対して、必要な時に必要なだけの移動サービスを生み出すことである（図-1）。つまり、従来の公共交通ではタクシーやバスが事業者ごと管理・運用していたが、全車輛の管理・運用を共通のインフラとして実現するのである。全車輛の管理・運用を共通インフラとすることで、車輛や運行管理システムの運用や維持をより効率化できる。複数事業者の需要の増減を全体として吸収できるので設備費も効率化される。

システム全体から見ると、どの車輛がどんなサービスのために機能しているかは、システムの部分によってまた時間によって変化する。例えば、ある瞬間、何台かの車輛はタクシーとして別の何台かはバスとして、さらに別の何台かは乗合いタクシーとして機能する。1台の車輛から見ると、どの事業者のサービスを実現しているかが時々刻々と変わる。例えば、ある車輛は、事業者Aのバスとして機能した後、事業者Bの乗合いタクシーとして機能するかも知れない。さらに、異なる事業者の異なるサービスを受けている乗客や荷物が1台の車輛に乗り合わせる場合もあろう。

移動サービスのクラウド化は運送・輸送事業者のビジネスモデルを変えるだろう。運送・輸送事業者は、その時々で必要な量の移動サービスをクラウド化した移動サービスから購入し、付加価値を付けて顧客（乗客）に提供ようになる。つまり、運送・輸送事業者はサービス業化し、その役割はそのインフラ上に高度なサービスを付加することに移る。事業者は事業者ごとに異なるプライシングを行いサービスの創案を競ったり、サービスの連携や共創を試みたりすることが期待される。

移動サービスのクラウド化を実現するための技術的課題は、事業者がサービスを設計・提供する際のプライシ

ングに十分な情報と制御を提供することである。具体的には、ある状況で移動サービスの需要が生じた時、その需要の実現に関する主要パラメータとして必要な燃料量、移動時間、移動距離が挙げられるので、ある需要が発生した時にこの3点を予測する技術、いずれかのパラメータを最適化する技術、妥当な選択肢を生成する技術の開発が必要となる。配車アルゴリズム開発に関しては、最小不幸や最大幸福など配車ポリシーの実現と切替え等の技術課題が挙げられる。さらに社会実装のためには、多様なユーザ層が使用できる快適なユーザインタフェース、誤操作や例外事象に対する頑健な動作、適応制御の実現も重要である。

3. スマートアクセスビークルシステム (SAVS)

2013年10月にフルデマンド型公共交通として(筆者らの知る限り)世界初の複数台リアルタイム完全自動配車実験に成功した⁷⁾。

本研究が提案する Smart Access Vehicle System (以下 SAVS. 個々の車輛を指す場合は SAV. SAV の運行を意味する場合は SAV サービスと呼ぶ)は以下の特徴を持つ:

1. バスと同じ乗り合い方式であるが、タクシーと同様に路線の規定をしない。(原理的にはドアからドアへのサービスが可能であるが、効率の上からは乗降場所をある程度限定した方が良い。)
2. 事前予約を前提とせず、乗りたいときに SAV を呼び出すことができる。
3. 実時間で車両のルートを設定・管理する。
4. 小数を限られた地域で運行するのではなく、都市全体の公共交通機関(バスとタクシー)を集中制御する。即ち新しい公共交通機関の提案である。
5. 過疎地域ではなく比較的人口の多い都市を対象とする。
6. 料金体系に関してはまだ詳細を詰めていないが、タクシーよりは安く、バスよりは高い値段設定になると考えている。

SAVS サービスはユーザが乗りたいと思ったときに呼び出す方式を採用するが、タクシーと違い、乗車地点と降車地点の両方を告げるにより、配車システムが最適の車輛を選び出すようになっている。SAVS は固定経路を持たず、呼び出しに応じて乗合いをしながら乗客を目的地まで届ける。つまり、従来のタクシーとバスを統合したようなシステムになっている。

現在フルデマンド型の公共交通サービスは世界中で始まっているが、SAVS 以外はすべて特定地域を対象としたものとなっている⁸⁾。これは実証実験等の結果から都市部ではフルデマンド方式は効率が悪いとの結果を得て

いるためであると推測される。2000年4~6月に高知県で行われた実証実験では、大人口の高知市では失敗し、小人口の中村市で成功の後「中村まちバス」として実用化されている。しかしながら筆者らはシミュレーションにおいて、これとは異なる結論を得た。すなわち、都市部においては少数台の投入では(実証実験の結果通り)効率が下がるが、ある程度以上の大量投入を行えば現状より効率が改善される⁹⁾¹⁰⁾ということが分かった。実証実験では少数台の投入しか行われなかったため、効率の悪い部分が出たと考えている。そのことを実証すべく、また函館の公共交通問題を解決すべく、我々は函館全域での SAV サービスの実現を目指している。函館市内のすべてのバスとタクシーを統合して運用するため、従来型のバスやタクシーは残らないという前提でデザインしている。ただし、SAVS は従来型の運行を包含しているため、必要とあればいつでもタクシー型やバス型の運行が可能であり、運行業者にとっては**リスクフリーで導入可能**である。

デマンドバスを導入している自治体ではタクシーとの競合が問題になっており、タクシー会社からのクレームが出ている例もあると聞く。総社市ではデマンドバス(一律300円)利用者に対して50円のタクシー補助券を出して別途タクシーの利用を推奨するなどの工夫をしている。これらに対し SAV はバスとタクシーの両方を巻き込んだシステムであり、両運行業者にとっての乗客増加を見込んでいる。公共交通が便利になることにより自家用車の必然性が減るとの期待である。タクシー業者のすべてが SAV サービスに参加することを期待しており、タクシーと競合するシステムではないことを強調しておきたい。

SAVS はコンピュータによる集中制御方式を採用。このため2(2)節で述べたような柔軟な運行が可能であり、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。

SAVS に乗りたいユーザ(乗客)は以下の手順で呼び出すことになる:

1. 現在位置と目的地を指定して配車をリクエスト(目的地を指定するところがタクシーの配車システムとの違いである)。
2. サーバが最適車輛を選択してユーザに通知。この際にピックアップ予定時刻と目的地到着予定時刻を提示する。(複数のオプションを提示することも可能であるから、早い高額サービスと、遅い低額サービスからユーザに選択させることもできる)
3. ユーザが受け入れた時点でデマンドが成立する。

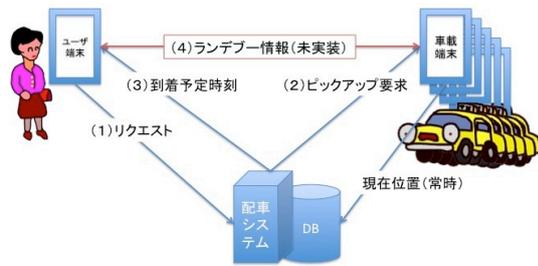


図-2 SAV配車システム



図-3 乗客Appの画面遷移

4. 乗り合い方式であるため、乗車後に別のデマンドが発生する場合があります。そのような場合でもあらかじめ示した到達予定時刻を超えるデマンドは受け付けません。

現在、タクシーの呼び出しアプリはいくつか提供されているが、これは単に空車を呼び出すだけであるからシステム的には単純なものである。SAVSは乗り合いを前提としているので、現在乗客を乗せて運行中の車両のルートを変更することを含むため、システムとしては複雑になる。一方で、空車のみでの配車よりは稼働効率が高いため、車両の時間あたりの乗車人数は増加する。

バス等の大型車両を含めた運行を想定しているが、現在走行している公共交通車両は5人乗り以下の乗用車型タクシー、10人乗り程度のミニバン型タクシー、中型バス、大型バスの4種類程度しかない。特に10～30人乗り程度の車両のバラエティの増加が望まれる。特に10人乗り程度の車両は乗車口が1つしかないうえに車内通路の無いので乗り合いには適さない。複数ドア（各座席列に1ドアが望ましい）の中型車両の開発が待たれる。

4. SAVSの実装

ユーザのリクエストに応じて最適なSAVが呼び出されるまでの手順は以下の通りである：

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. サーバが逐次最適挿入法¹²⁾を用いて最適車両を選択
3. 選択された車両に新ルートを示す
4. 乗客に出向かえ時刻と目的地到着時刻を伝達
5. 乗客端末はSAVの現在位置、車載端末は乗客の現在位置を地図上に表示

(1) 全体構成

SAVSは大まかには以下より構成される：

1. ユーザ¹⁾がデマンドを入力するためのアプリケーション（乗客App），
2. SAVドライバーが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。
4. 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-2）。

これらのシステムにより、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アサインまでを行うことができる。全自動での対応は、SAVサービス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。

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だけタクシーをSAVとして運行する、というような使用方法が可能となり、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。

(2) ユーザ端末と乗客App

SAVSでは、ユーザが配車リクエストを行うユーザ端末の一つとしてスマートフォンを想定し、後述する実証実験では、スマートフォン上に乗客Appをインストールして配車リクエストを行っている。

乗客App（図-3）は、ユーザが自身のデマンドを入力・通知・確認するためのアプリケーションである。ユーザは、SAVを利用したいときに乗客App上でデマンドを入力して、配車リクエストを行う。デマンドとしては、乗車位置と降車位置（目的地）だけで可能であるが、オプションとして、乗車位置の目印や降車希望時刻を入力することで、それぞれドライバーとの待ち合わせを容易にしたり、鉄道や航空機などの接続やユーザの予定に合

¹⁾ ここではSAVサービスの利用者を「ユーザ」、SAVに、乗車中のユーザを「乗客」としている。

合わせた配車リクエストを行える。デマンドを通知後、配車システム (3(3)節) により SAV がアサインされると、いつでも乗車・降車 (目的地到着) できそうかという、見込み時刻が表示される。ただし、配車システムにより降車位置に降車希望時刻で到着できる SAV をアサインできないと判断された時には、配車リクエストは拒否される。なお、これらのサービスを提供するために、乗客 App 起動中は適時ユーザの位置情報をサーバに送信している。

以下に、乗客 App の機能を記す。

1. SAV の配車リクエスト

乗車位置と降車位置を指定して、配車リクエストを行う。

1.1. 乗車位置の指定

地図を操作して乗車位置を指定する。位置の指定には、ランドマーク名からも行えるようにした。ランドマークはアプリ起動時にサーバからダウンロードされる。後述する実証実験では、函館市の主な交通ターミナル、観光名所、レストランなどを用意した。また、乗車位置指定の際には、ドライバに通知する乗車位置の目印を文字で入力できる。

1.2. 降車位置の指定

乗車位置と同様に、地図を操作して降車位置を指定する。ランドマークからも指定可能である。また、ユーザが予定に合わせた配車リクエストを行えるように降車希望時刻の指定も行える。

2. SAV の状況確認

乗客が SAV の状況やデマンドを確認する。配車リクエスト前は、SAV の現在位置を地図上で表示され、配車リクエスト後は、乗車位置、降車位置や到着予想時刻を表示される。

3. アンケートの回答

実証実験時に乗客から SAV サービスに関するアンケートを行えるようにした。後述する実証実験では、利用した SAV サービスについて「今回のサービスにいくらくらい払いますか」という質問で価格感を知ることを目的とした。

(2) 車載端末と車載App

ドライバに乗客の乗車位置・降車位置などを通知するために、各 SAV には車載 App がインストールされたタブレット端末を設置して使用する。

車載 App (図-4) は、ドライバに乗客の乗車位置・降車位置とその訪問順序、それらの更新を随時通知するためのアプリケーションである。配車システム (3(3)節) でユーザのデマンドが処理された結果、デマンドが SAV にアサインされると、その SAV に対応する車載 App に

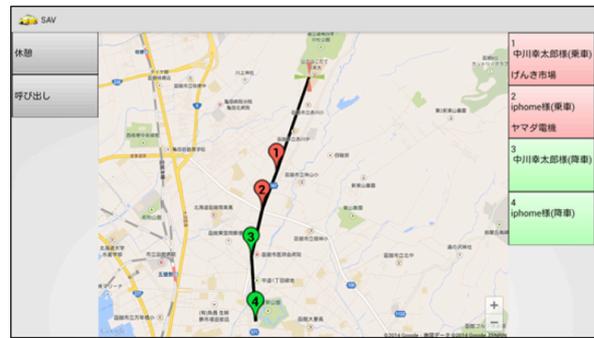


図-4 車載Appの画面

音で通知すると共に、車載 App 画面上の乗客リストと地図上の訪問順序を更新する。乗客リストには、乗せ間違い防止のために乗客名、ユーザが乗客 App で入力した乗車地点の目印情報が表示される。また、ドライバが乗客の乗降をシステムに通知するためのボタン²を有する。なお、配車システムがそれぞれの SAV の位置を把握するために、車載 App は車輛の位置情報を定期的にサーバに送信している。

以下に、車載 App の機能を記す。

- 乗客の乗車位置・降車位置とその訪問順序の表示
配車システムでアサインされた乗客の乗車位置・降車位置とその訪問順序を表示する。また、乗客リストとして乗客名、乗客が入力した乗車地点の目印を表示する。新たなデマンドが SAV にアサインされるごとに、ドライバに知らせるために音で通知するとともに、これらの情報を更新する。
- 乗客の乗車・降車の通知
乗客の乗車・降車についてサーバに通知をする。乗客リストはボタンで作成しており、乗客が乗車、降車する際に該当する乗客リスト中のボタンを押して、サーバに通知する。乗客リストは訪問順に表示するため、多くの場合は乗客リスト中の先頭に表示されているボタンに対して操作を行うが、同じ場所で複数人が乗車・降車する場合を考慮して、すべてのボタンに対して操作できるようにしている。
- 他の機能

SAV の運行、休止についての通知を行う。配車システムでは、運行中の SAV にだけ新たなデマンドをアサインするようになっており、休止中の SAV に対しては新たな乗客をアサインしない。また、運行中にオペレータへの問い合わせるた

² 将来的には IC カード等を使って乗降確認も自動化する予定である。



図-5 SAVSQUIDの構成

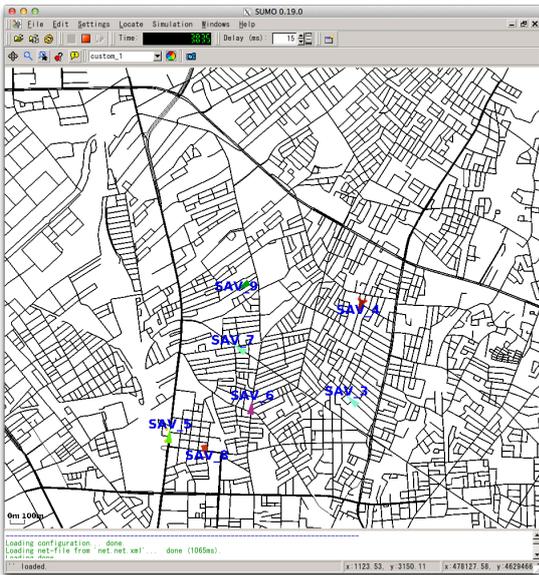


図-6 SAVSQUIDを用いたSUMOでの出力例

めに、呼び出し用のボタンを用意した。

(3) 配車システム

配車システムはデマンドに対して適当な車輌(SAV)を割り当てるシステムである。これが SAVS の要であり、効率の良い乗合を実現する配車を実時間で行えなければシステムとして成立しない。少数台の実証実験では車輌選択の余地があまり無いが、我々は 1000 台あるいはそれ以上の規模の車輌数を想定している為、それらの中から最良の（あるいはそれに準じた）一台を選ぶことが重要課題である。なお、以下に述べる現状のシステムはその意味ではまだ最適とは言えないがほぼ満足できるものである。

現状の配車システムは SAVS のためのシミュレーション基盤 SAVSQUID (SAVs Simulator for Qualitative Utility Investigation and Design)¹³⁾ (図-5) の機能限定版で、各車輌の乗客数上限を盛り込んでいること以外に大きな差は

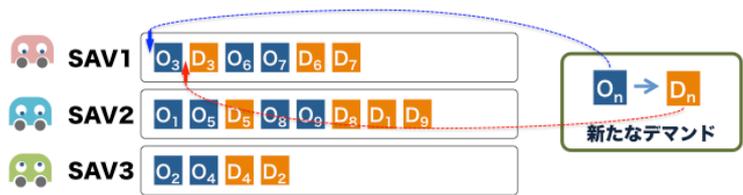


図-7 逐次最適挿入法

ない。

移動所用時間の計算などのベースとしては交通シミュレータ SUMO¹⁴⁾ 上に取り込んだ函館の道路地図 (株式会社ゼンリンの汎用デジタル道路地図データに基づく。許諾番号: Z13LC 第 097 号, Copyright. 2013 ZENRIN CO., LTD.) を用いた (図-6)。

まず、対象エリア内における 2 地点間の最適経路と移動時間を、他の車輌などが存在しない理想状態下で SUMO の提供する貪欲法ベースの経路探索ツールを用いて事前に算出し、結果を DB に記録しておく。その上で、逐次最適挿入法⁹⁾ (図-7) により適切な SAV の探索を行う。逐次最適挿入法は基本的に各車輌間での単純オークションで準最適解を求めるもので、車輌間での乗客の交換は行わず、いったん車輌にアサインされたオーダーの前後関係は常に保持される。また、乗客の指定した締め切り時間をオーバーしたり、徒歩で移動した方が早くなると判断される場合には SAV へのデマンドのアサインを行わない。具体的な手順は以下である：

1. 新たにデマンドを配車システムが受けたときには、そのデマンドを各車輌に提示する。
2. 各車輌はデマンドの出発（乗車）地点および目的（降車）地点を各々、現在の経由地点リストの任意の箇所に挿入し、挿入により生じる遅延を求める。これを元に新しいデマンドの達成予定時間を求め、この達成予定時間と遅延の総和を挿入後のコストとする。
3. 各車輌は 2 のコストの最小値をもって入札する。ただし新しい挿入により、既存あるいは新しいデマンドの締め切り時間を過ぎてしまう場合は入札を行わない。
4. サーバはすべての入札のうちコスト最小のものを選択し、その車輌にデマンドを配分する。

配車の計算はデマンドの発生に応じて都度行うことを想定しており、現状ではデマンド情報が記録される DB を 15sec ごとにチェックすることで行う。DB 上に新たなデマンドが検出されると、配車システムはその都度計算を実行し、結果を DB に記録する。これにより乗客 App には乗降予定時刻／拒否を、選択された車輌の車載



図-8 第1回実証実験エリア

Appにはデマンドを通知する。

5. 実証実験

実証実験は2014年7月までに2回実施した。実験の目標は主に以下のシステムを用いて実際にSAVの運行（予約受付、配車計画、通信、実走）ができることの確認である：

1. SAVユーザのための配車依頼システム（乗客App）,
2. ユーザからのデマンドに応じて適切な車両と訪問順序を選定する配車システム,
3. SAVのドライバのための配車指示システム（車載App）.

なお現状ではSAV運行の効率性（乗客を如何に目的地に早く運べるか等）自体は実験の対象としていない。

(1) 第1回実験

期間：2013年10月24日（木）～30日（水）7日間

場所：北海道函館市中心部の限定エリア（図-8）

車両台数：5台（普通タクシー3台、9人乗りジャンボタクシー2台）

ユーザ：事前募集の実験協力者40名程度

第1回の実験エリアは函館市街地である五稜郭からみて北西に位置する約5km四方のエリアで、主要道路（基本的にエリアの枠線内側に接する道路）沿いに病院や複数のショッピングモール、大規模電器店が点在し、住宅街なども含んでいる。一方で路線バスの乗り入れはほとんど無いため自家用車利用が中心の地域である。

タブレット端末などの操作に慣れたドライバはほとんどいなかった。誰でも操作できるよう、ユーザインターフェース(UI)の改善が必要である。

乗客候補となる実験協力者を募集した結果、38名の



図-9 オペレーション支援システムの画面

実験協力者を確保できた。今回の実験では、自宅や職場からの利用も想定されていた。それらが乗降位置として指定された場合に備え、プライバシー・個人情報保護の観点から、未来大の学生も含め、基本的に実験協力者の募集と管理はNPO法人に一任しており、個人情報は実験者には開示されていない。

(2) オペレーション支援システム

実験モニタリングと故障時のマニュアル介入の為に、各車の位置や、デマンドのアサイン状態を可視化（図-9）するオペレータ向けのツールも用意した。後述のように、このシステムは実験前半で故障診断マニュアル介入などに活躍したが、自動運転が可能となった後半では単なるモニターとして使われた。

(3) 第2回実験

期間：2014年4月27日（日）

場所：北海道函館市中心部全域（図-10）

車両台数：16台（普通タクシー12台、ジャンボタクシー3台、小型バス1台）（図-11）

ユーザ：サービス学会参加者のうち実験に協力してくれた人（50名程度）

第2回実験では外部委託によって、第1回実験でAndroidのみであった端末をiPhoneにまで広げるとともに乗客用、車載用それぞれのユーザインターフェースの改善とデバッグを行った。



図-10 第2回実証実験エリア

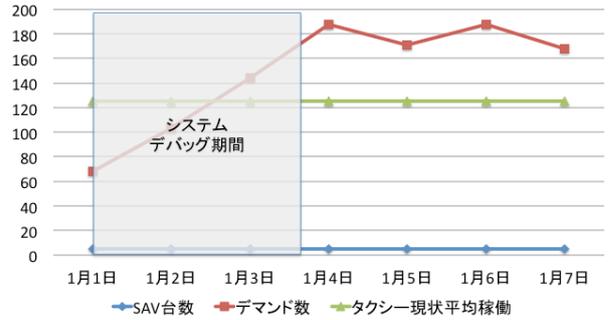


図-12 第1回実験の運行状況



図-11 実証実験に用いた車輛（手前が普通タクシーで、後部ドアに実験中のステッカーが見える。奥がジャンボタクシー）

ユーザとしては地域の実験協力者ではなく、函館で開催されたサービス学会全国大会に全国から訪れた参加者に利用を呼びかけ、乗客 App をダウンロードして使ってもらった方式を採用した。なお iPhone アプリ配布の制限や、道路交通法の問題を避けるため実験協力者にはあらかじめ NPO スマートシティはこだでの賛助会員登録をしてもらうこととした。今回の実験では旅行中のユーザが主で職場や自宅が含まれないため、個人情報秘匿の配慮は行わなかった。

SAV 運行エリアとしては、学会参加者に函館観光を楽しんでもらうべく第 1 回より大幅に広げ、空港から JR 函館駅前、函館山や五稜郭公園など主要観光施設を含んだものとした（図-11）。この広域エリアでほぼ同時に 100 人規模のデマンドが発生した場合に SAV16 台という車両台数が適切であったかについては定かではなく、車両数が少なかった可能性を想定している。そこで今後 SAVSQUID 上のシミュレーションで車両台数やデマンド発生率を変化させた分析により検証を行う予定で

ある。

車載 App のユーザインターフェース(UI)も改善した（図4はこの改善版の UI）。乗車（赤）と降車（緑）を色分けし、地図上の地点表示との対応付けが容易になるようにした。また左端に「休憩」「呼び出し」のボタンを配置した。ドライバからの「休憩」リクエストが入ると配車システムはその SAV に新たなデマンドを割り付けない。乗車中の乗客がすべて降車した時点でドライバは休憩に入れる。休憩モードに入るとこのボタンは次の「運行開始」連絡ボタンに変わる。「呼び出し」は乗客が見つからないなどのトラブルのときに配車センターに連絡するためのボタンである。

(4) 運行結果

第 2 回実験の結果は集計中のため、ここでは第 1 回の結果のみを示す（図-12）。

実験初期には様々なシステムトラブルが発生し、その都度デバッグなどを行ったため運行データとしては意味がないが、徐々に運行回数が増えていることは分かる。最後の 4 日間がトラブルなく運行できた期間となる。この期間は通常の処理についてはオペレータを介さずに自動的に行うことができた。

一般タクシーの函館での稼働レベルが 1 日あたり 25 件程度のデマンド処理であるため 5 台で 125 件というのが基準となる。今回の実験では 1 日約 170 件以上のデマンドを受け付けたことから、一般タクシー以上の数のデマンドが発生し、それらをほぼ自動的に処理することができたといえる。

なお一般タクシーのデマンド処理数 25 件は 12 時間以上の稼働で達成されているため、SAV が 11 時間の運行時間であったことを考慮すると、170 件のデマンドは十分な量といえる。ただし、SAVS が函館市街地において効率良くさばける 1 台当たりの最大デマンド数がどの程度になるかについては今後の検証を待たねばならない。

以上により、

1. ユーザの要望（デマンド）に応じて、

2. 実時間内に適切・妥当な車輛と訪問順序を決定し、
3. SAV に通達し、
4. SAV が実際にユーザのデマンドを満たす、という一連の動作を実現する SAVS が実際に構築・運用できること、特に 2, 3 の部分について人手を介さずに（自動的に）達成できることが検証できた（これは第 2 回についても同様である）。
7. ルート検索アプリなどとの連携（当該アプリからの予約など）。
8. 学習機能. あらかじめ予測されるデマンドに備えて空き車輛の配置を行う。
9. 実稼働に向けた料金体系等のデザイン、法的問題の確認。

複数のフルデマンド型乗合い車輛のリアルタイム自動配車は筆者らの知る限り世界初であり、1 日あたり 11 時間の稼働を 4 日にわたり維持できたことは、SAV サービスの社会実装を行う上で有用な成果となった。

(5) 今後の課題

現状ではシステムが動作するということの確認に留まっている。社会実装に向けた今後の課題としては以下が残っている。

1. 乗客 App のユーザインタフェースの改善. 乗客に様々な情報を提供するとともにリクエスト後のキャンセル、変更、操作や通信のエラーへの対応を可能にする必要がある。また、乗車位置、降車位置を地図上で示す場合に全体が丁度入りきる縮尺への自動ズーム機能が望まれる。
2. 車載 App カーナビとの連携. 現在、車載端末では乗客が指示した乗車、降車ポイント間を直線ではないルートが表示されている。実際の走行経路はドライバにまかされているのだが、ドライバからはカーナビとの連携を望む声が多い。また、乗客 App 同様に、乗車位置、降車位置を地図上で示す場合に全体が丁度入りきる縮尺への自動ズーム機能（あるいはそのような表示モードに移るボタン）の追加が望まれる。
3. 車載 App の操作性の向上. 押し間違いの取り消し等が必要。走行時の情報提示に音声を用いることが望まれる。また、現在の静電式タブレットでは手袋装着時に操作できないため、圧力式のタッチパネルの使用が望まれる。
4. 通信方式. 現在は携帯電話網による通信を行っている。設備導入コストは安いが運用コストが高額になる。タクシー用デジタル無線などの利用が望まれる。
5. ユーザと SAV ドライバが相互に相手の位置を確認する方法. 現在、SAV の位置は乗客 App で確認できるが、ドライバが乗客位置を確認する方法が無い。地図上で相手の位置を表示するなどの方法が必要。また互いの位置以上のランデブー情報の提示の可能性も探る必要がある。
6. 空港等で多くの乗客が見込まれる場合の配車や待ち合わせ方式の洗練が必要。

6. サービス連携

SAVS の運用形態は様々な可能性を持っている。渋滞、天候の変化や災害などに対して強いことの他に、コンピュータによる制御の自由度を活かして、他の様々なサービスとの連携が考えられる。移動という目的と、それは直接に関係しない別の目的を有機的に組み合わせるを実現するのである。

(1) 病院との連携

病院の予約だけでその往復の足を確保することができる。特に帰りは診療の進み具合を見て自動的に配車リクエストがなされる。

もう一步進んで SAV で移動中に診察とか調薬とかができるかもしれない。現在病院で 2 週間以上の薬を処方することは禁じられているので、患者は少なくとも 2 週間に一度の通院を強いられている。これを病院ではなく患者が別の目的で SAV 乗車中に行うことも考えられる。つまり、医者が同乗し、診察が必要な患者を重点的に拾う SAV を定期的に運行するのである。患者はこの運行に合わせて乗車するのではなく、通常のショッピングやレストランへの移動時にシステムが自動的にこのサービスに割り振るのである。

(2) レストラン等との連携

レストランの予約と連動した配車、そして会計時に自動呼び出しというような連携が可能である。マーケットへの買い物なども類似の連携が出来るが、マーケットの場合はもう一步進んで、インターネットで購買して SAV で受け取るということも可能であろう。

将来的には SAV が移動レストラン機能を持つということも考えられる。

(3) 観光との連携

観光客はバス路線に疎いことが多いので、SAV が便利であろう。お金があればタクシーでまわるということも可能ではあるが、SAV を使えばタクシーに近いサービスが安価に受けられると考える。京都のように、見所が街中に散在している観光地では特に便利に違いない。ちなみに SAV は運行形態の自由度が高いので、一日貸し切りにして使うことも可能である。この場合はハイヤ

一同様の値段設定となる。

(4) 図書館との連携

SAV を使って図書館に行くことも可能であるが、移動図書館のようなことも可能であろう。あるいは借り出しを予約した本や、インターネットで購入予約した本が SAV に積まれていて、別件での移動の途中に受け取るようにすることも考えられる。

(5) 他の交通機関との連携

駅や空港に向う乗客が搭乗予定の列車や航空機の情報（オプション）を入力した場合にはそれらとの接続を保証するようにする。また、列車や航空機に対して乗客の到着予定を知らせる。万一渋滞等で遅延が生じた場合に列車や航空機が乗客待ちをすることも可能である。

列車や飛行機を予約した段階で、自動的に SAV の配車を決める手もある。

また列車や航空機からの接続として、到着時に駅や空港に出迎えることが可能である。到着の遅延等を含め、事前に情報がわかるのでシステムとしても配車が容易になる。

7. 結論と将来展望

これまでにフルデマンド型公共交通サービス SAVS の運行実験を 2 回行い、世界初の複数台リアルタイム完全自動配車実験に成功した。函館において、全くルートを限定しない乗合い交通で、予約無しに、呼び出してからほぼ 5 分での配車を実現することができた。

技術的には（ユーザインタフェースなどの細かい部分を除いて）ほぼ完成したと考えている。一方でこれを実際に導入するにはタクシーとバスを分離している法律をはじめとして 5(5) 節で指摘したような様々な問題がある他に、経営者やユーザのマインドが変わって行く必要がある。実験と広報を繰り返しながら徐々に理解を得て行くつもりである。

謝辞：本研究の大部分は RISTEX 「問題解決型サービス科学研究開発プロジェクト」に採択された課題「IT が可能にする新しい社会サービスのデザイン」として実施されている。

参考文献

- 1) 広井良典：コミュニティを問いなおす，ちくま新書，2009.
- 2) 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, 2013.
- 3) 大和裕幸, 稗方和夫, 坪内孝太：オンデマンドバス：公共サービスに於けるイノベーション，オペレーションズ・リサーチ：経営の科学, No.51(9), pp.579-586, 2006.
- 4) 鈴木文彦：デマンド交通とタクシー活用，地域科学研究会，2013.
- 5) Westerland, Y. and O.C. Cazemier: The use of taxis for special and the integrated public transport in Sweden and the Netherlands, Presentation at the International Taxi Colloquium Lisbon, 21 September 2007. (<http://www.ville-en-mouvement.com/taxi/telecharges/Westerlundpwp.pdf>)
- 6) 加藤博和：公共交通として位置づけられたタクシーが果たすべき社会的役割，土木計画学研究・講演集，Vol.49, 2014.
- 7) 中島 秀之, 小柴 等, 佐野 涉二, 白石 陽：Smart Access Vehicle システムの実装, DICOMO 2014, 2014.
- 8) Ambrosino, J. and Nelson, M.R. (Eds.), Demand Responsive Transport Services: Towards the Flexible Mobility Agency, Italian National Agency for New Technologies, Energy and the Environment, 2003.
- 9) 太田 正幸, 篠田 孝祐, 野田 五十樹, 車谷 浩一, 中島 秀之，都市型フルデマンドバスの実用性，情報処理学会高度交通システム研究会研究報告 2002-ITS-11-33, pp. 239-245, 情報処理学会, 2002.
- 10) Noda, I, Ohta, M., Shinoda, K., Kumada, Y. and Nakashima, H. Evaluation of usability of dial-a-ride systems by social simulation, In *Multi-Agent-Based Simulation III. 4th International Workshop*, MABS 2003 (LNAI-2927), pp. 167-81, 2003.
- 11) 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.
- 12) 野田五十樹, 太田正幸, 篠田孝祐, 熊田陽一郎, 中島秀之: デマンドバスはペイするか?, 情報処理学会研究報告 2003-ICS-131, pp. 31-36, 2003.
- 13) 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，合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2013 (JAWS-2013) , 2013.
- 14) Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J. and Krajzewicz, D.: SUMO - Simulation of Urban MObility: An Overview, SIMUL 2011, *The Third International Conference on Advances in System Simulation*, pp.63-68, 2011.

(2014.?.?受付)

CONCEPT AND IMPLEMENTATION OF A NEW TRANSPORTATION SYSTEM THAT UNIFIES THE BUS AND TAXI SERVICES

Hideyuki NAKASHIMA, Itsuki NODA, Hitoshi MATSUBARA, Keiji HIRATA, Emiko TAYANAGI, Yoh SHIRAISHI, Shoji SANO, Hitoshi KOSHIBA and Ryo KANAMORI

This paper presents the concept of a new transportation system, Smart Access Vehicle System. In the system, the locations and routes of all vehicles are controlled by a computer, and no fixed routes or timetables are necessary. We call it “transportation cloud”. The system responds to new demands in real time and provides utility of taxis with cost efficiency of buses. Furthermore, it can flexibly readjust to traffic congestion, accidents, malicious weather and disasters.

We conducted operation tests and succeeded in running the system automatically for several days.