

Smart Access Vehicle サービス実践への取り組み ～ サービス共創最適化のためのフレームワーク

○平田圭二* 佐野渉二* 小柴等†* 野田五十樹‡ 金森亮§ 中島秀之*

* 公立はこだて未来大学 † 科学技術・学術政策研究所

‡ 産業技術総合研究所 § 名古屋工業大学

1. はじめに

本論文は、2014 年度サービス学会第 2 回国内大会¹におけるサービス実践の 1 つとして、大会の参加者に提供されるデマンド交通サービスについて述べる。現在我々は、JST/RISTEX の研究プロジェクト「IT が可能にする新しい社会サービスのデザイン:交通網を中心とした都市のサービス統合を目指すサービス工学実践のシナリオ」(研究代表者:中島秀之, 2012.10 より 2015.9 まで)を推進している。このプロジェクトの目標は、函館市内の自家用車, バス, タクシーをデマンド交通化することである [4, 7, 3]。

これまで、当該研究プロジェクトでは、人流調査、その調査結果に基づく人流モデルと交通モデルの構築、モデル上で設計されたサービスを社会実装するための Smart Access Vehicle (SAV) 運行予備実験を行ってきた。人流調査では、函館市在住の市民 20 名に対して、2012 年度から長期のパーソントリップ調査を継続している。この調査の目的は、ある個人の移動手段選択が、移動目的や季節的な状況変化等によってどのように変化するかを見ることである。次に、人流調査の結果をもとにして、個人の移動手段選択を組みこんだ統計的マルチエージェント人流モデルを構築している。人流モデルによって移動のデマンド発生がシミュレーションできるので、これをもとに、タクシー、路線バスに関する交通モデルを構築することができる。これまで、函館駅前の一区画に対する交通シミュレーションが完了している。現在、函館市全域に拡大したシミュレーションを準備中である。一方、我々の SAV システムは広域に多数の車両を投入することを想定しているので、乗客からのデマンド受付、相乗りを含む配車、車両への指示など一連の操作をすべて自動化することが求められる。そのため、自動配車システムのプロトタイプングを行い、実 SAV 車両 5 台を使った予備実験を行い、フィジビリティを確認した。

サービス共創を起こすには、分析・創記・生成から成るデザインサービ斯拉ープをサービス提供側とサービス受容側で何度か回す必要がある [5]。ここで、先人流調査が分析に、人流モデルと交通モデルに基づくサービス設計が創記に、実 SAV 車両を使った実験が生成に対応する。2014 年秋の小規模 SAV 運行実験によって本研究プロジェクトのデザインサービ斯拉ープの 1 周めが完了する。本大会参加者への SAV サービス実践は、その 2014 年秋の小規模 SAV 運行実験に向けての

マイルストーンである。

2. Smart Access Vehicle システム

我々が開発中のデマンド交通システムは、固定路線、固定ダイヤ無しのフルデマンド交通 (Demand-Responsive Transportation, DRT) である。乗客は手元の情報端末にてアプリを起動し、その時点で移動したい目的地を申告する (デマンドの発生)。乗客はいつでもどこでもデマンドを上げることができる。次に、乗客を運ぶ最適な車輛 (Smart Access Vehicle, SAV) が選ばれ、その SAV に積まれた情報端末には、乗客を拾って目的地に運ぶための配車情報が送信される。SAV の運転手は、その配車情報に従って乗客を拾いに行き、目的地まで送り届ける。乗客が使う手元の端末には GPS 機能を持つスマートフォンを想定し、SAV に積まれた情報端末には GPS 機能を持つタブレット端末を想定している。本研究プロジェクトで構築中の SAV システムでは、1 台のサーバが乗客から送信される全デマンドを受け付け、そのサーバが全配車指令を生成し該当する SAV に送信する。時間優先、距離優先など様々な配車のポリシーが考えられる。

本 SAV システムの特徴は、相乗りを許す配車指令を車輛運行中に実時間で全自動生成する点である。相乗りとは、行き先が同一のデマンドどうしや部分経路が重複しているデマンドどうしを、動的かつ部分的に集約して乗客を運ぶことである。つまり、通常のタクシーと路線バスの中間のような輸送方式であり、すでに乗客が乗って目的地に向かっている SAV が、途中で別の (あるいは同じ) 目的地に向かう乗客を乗せ、適当な順番で乗客を目的地で降ろしていくような配車が生じる。シミュレーションによって、車輛台数が十分な状況では、相乗りによって回り道をするケースが生じてても、フルデマンド方式の方が路線バスより効率が良くなるということが分かっている [6]。我々は配車のポリシーを局地的かつ動的に変更することで、利便性、効率、コストのトレードオフに対応する。例えば、通学・通勤など、大量の移動が予想できる場合は、その時間帯にそのエリアだけ路線バスに準じた運行をすれば良い。定時に生じるデマンドに動的に対応するには学習機能を導入することも考えられる。

本 SAV システムはユーザ、運行事業者、行政といったステークホルダ全てに利点をもたらす。まずユーザにとっては、バスに近い値段でタクシーに近い利便性が得られる。つまり、バス停まで移動する必要がなく、予約不要で必要になった時点で呼び出せる、目的地ま

¹<http://ja.serviceology.org/events/domestic.html/>

での時間が事前にある程度予測できる，路線図を知らなくても利用できる，停留所名ではなく目的地名で呼び出せる等である．したがって市民だけでなく旅行者でも容易に利用可能である．次に運行事業者にとっては，自家用車から SAV に乗り換えることで乗客数が増加する，運転手や車両を効率的に運用できる，空バスや流しタクシーが減る，観光地や飲食店が SAV を付加サービスとして利用する機会が増える等である．そして行政にとっては，住民へのサービスが向上する，初期の設備投資は必要だが効率が良いので税金を継続投入する必要がない，公害の削減・低酸素消費社会への一手段となる，SAV の利用を観光客呼び込みのアピールに使う等である．

3. デザインサービ斯拉ープによる研究開発

サービス共創のモデルは，サービス提供者と受容者の密なインタラクションを要求する．したがって，ウォータフォール的な研究開発や従来の CRM でサービス共創を生じさせるのは困難だろう．我々は，サービス共創を自然に導く手法はデザインサービ斯拉ープを何度も回すこと以外にはないと考えている．本章では，サービス共創のモデルを紹介し，我々が行ってきたデザインサービ斯拉ープの各ステージについて述べる．

3.1 サービス共創のモデル

上田の分類に従うと Class 3 の時にサービス共創が生じる (図 1) [8]．Class 3 では，サービス受容者 R にも提供者 P と同様の能力が要求される．この時，P から見た R との関係は以下のようなものである：

- P は，提供したサービスが環境（文脈）の影響を受け，事前に予想できない価値を R に与えるかも知れないと考える，
- P は，R が自分の目的を最大化するために自分でサービスの受容方法を工夫したり調節したりすると考える．
- P は，そのような R の振る舞いを見て自分の目的を最大化するためにサービスの提供方法を工夫したり調節したりする．

逆に R から見た P との関係は以下のようなものである：

- R は，P が事前に予想できない環境（文脈）の影響を受けたサービスを受容していることを知っている．
- R は，R の目的を最大化するために，サービスの受容方法を工夫したり調節できることを知っている．
- R は，そのような自分の振る舞いを見た P が，P の目的を最大化するためにサービスの提供方法を工夫したり調節すると考える．

つまり，P も R も環境の影響を受けたサービスが事前に予想できない価値を相手に与え，P も R もサービスの提供方法や受容方法を自分にとって最適になるように工夫・調節することがあり，相手の振る舞いを見てさらに自分のサービス提供方法や受容方法を変更する．このような P と R のインタラクションを通してサービス共創が生じる．

SAV システムを社会実装する我々の研究プロジェクトは，上田のサービス創出モデルに従えば Class 3（共

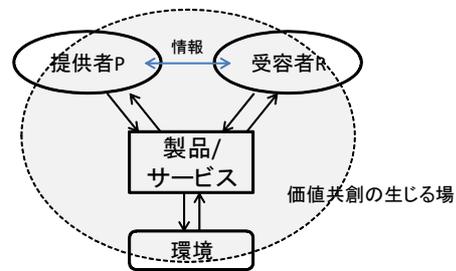


図 1 上田のサービス共創モデル (Class 3)

創) に相当する (図 1)．第一義的に SAV システムが乗客（ユーザ）に提供する移動のサービスを陽サービスと呼ぶ．陽サービスによって作り出される潜在的機能の一部をユーザが取捨選択してピックアップし，その結果生じるサービスを陰サービスと呼ぶ．陰サービスが試行錯誤の中で繰り返し生じることでサービス共創が成立する．

サービス共創の好例として，インターネットが普及する前の計算機科学の分野での Emacs や Unix などのツールやシステムが挙げられる．例えば，Emacs 画面の上のどの位置にも自由に文字を表示できる機能をピックアップすることでライフゲームのような 2D ゲームが実現できる．提供者はその 2D ゲームを見てさらにシステム効率を上げ，他の受容者は新しい pretty printer や浄書ツール等を開発していく．この陰サービスの連鎖はサービス共創である．これはまさしく，提供者と受容者が同レベルの能力や知識を持ち，提供者がある時は受容者となり，受容者がある時は提供者となるような状況であったためである．

3.2 デザインサービ斯拉ープの展開

本研究プロジェクトでのデザインサービ斯拉ープの展開を図 2 に示す．中央の赤い箱が本大会での SAV サービス実践の試みを表している．SAV 運行デザインの結果とフィージビリティ実験の成功を受けて，2014 年秋の小規模 SAV 運行の実証実験へ向けてのマイルストーンに位置付けられる．現在，完了した人流調査の結果

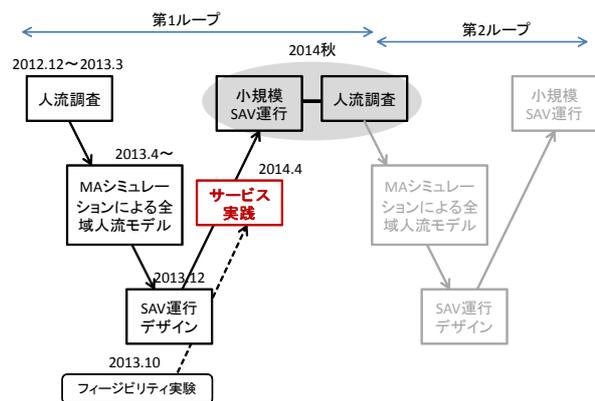


図 2 サービスラープを構成する各ステージとスケジュール

に基づいて全域人流モデル構築を進めている．SAV 運行デザインにおいて配車ポリシーを決め，配車アルゴリズムのプロトタイピングを行っている．一方フィージビリティ実験の成功により，相乗りを含む完全自動配

車が現実的に可能であることが実証済みである。2014年秋に予定されている小規模 SAV 運行と同時実施する人流調査とによって第1回めのループが完結し、また第2回めのループが始まる。

以下、各ステージについて説明を加える。

人流調査

実験協力者として函館市在住の20~70歳代の男女20名を集め、2012年12月下旬~2013年4月下旬の4ヶ月間実施した[1]。実験協力者の性別、運転免許の有無、運転頻度などを事前調査しておいた。実験協力者は毎日の移動予定、移動手段、移動目的、目的地をその日の出発前に全て入力し、専用開発したGPSロガーを携帯して外出してもらった。GPSロガーは30秒毎にGPSデータを記録する(図3)。



図3 GPSロガーによって取得された実験協力者の全移動情報

全域人流モデル構築

地域別、曜日・時間帯別の他、天候別など、様々な状況下でのSAVの利用需要を予測し配車計画を立てることは、利用者に無駄な待ち時間の減少を、提供者に配車効率の向上をもたらす。一般的な交通需要予測モデルは、人流調査の実行動データから代表的個人の時間と費用のトレード・オフの関係にある時間価値を推定することである。交通需要予測モデルとして、交通手段選択モデルを以下の4ステップで構築した。

ステップ1: 交通手段選択モデルとして離散選択モデルとして有名なロジットモデルを適用 交通手段の選択枝集合は自動車、公共交通(鉄道、市電、バス)、徒歩・自転車を設定

ステップ2: 各選択枝の地域間移動時のサービスレベル(所要時間と費用、距離)を設定 人流調査の実行動データに即した地域間移動時のサービスレベルを外生的に設定する。ロジットモデルを適用するため、実際に利用された交通手段だけでなく、利用されていない手段に対してもサービスレベルを設定することが必要となる。サービスレベルの参照データはGoogle Map, Yahoo 路線検索の結果データである。

ステップ3: 最尤推定法にてロジットモデルのパラメータ β を推定 パラメータ推定したところ、費用に関するパラメータが統計的有意ではないが、符号条件は満たしている。今回の人流調査の対象者の交通手段選択時の時間価値は42.9円/分となり、概ね妥当な値が得られている。

ステップ4: 地域間公共交通利用者数の予測 今回の人流調査データは20名の長期データであるが、より一般的な地域間移動量データとして、(株)ゼンリンデータコムが提供する時間帯別ゾーン間移動データ(1時間帯別、250mメッシュ間)を用いる。この地域間移動量と先に構築した交通手段選択モデルを用いることで、地域間の公共交通利用者を予測することができる。公共交通利用者の予測結果の一部として、曜日別の利用者数(図4)、時間帯別利用者数(図5)を示す。今

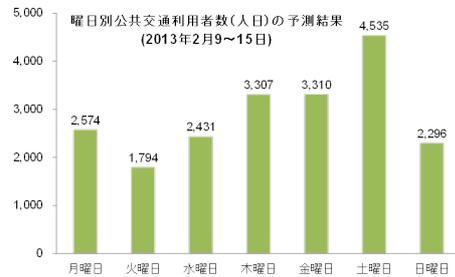


図4 曜日別公共交通利用者数の予測結果

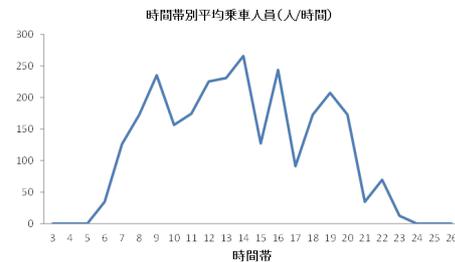


図5 時間帯別公共交通利用者数の予測結果

回の予測結果から、函館市内の公共交通利用者は土曜日が4,500人/日程度で最大となり、昼間時間帯は200人/時程度の需要が平均的にあることがわかる。これらの予測結果を参考に、SAVの効率的な配車計画の検討、更にはサービス改善時の需要変化(例えば、均一運賃から距離制運賃への変更時の利用者数)を感度分析的に把握することができる。

SAV 運行デザイン

先行研究[6]の知見に従い、初期の配車アルゴリズムとして、準最適解を求める逐次最適挿入法を採用した。各SAVはODリスト(各乗客を乗せる場所(O)と降ろす場所(D))を持っており、新しいデマンド(新しいOとD)を既ODリストの適切な場所に挿入する。その際、既ODリストの前後関係と締切時刻は保持したまま、挿入パターンを全探索し挿入コスト最小となる場所を解とする。この手法は、MAの単純オークションによる準最適計画と原理的には同じである。

逐次最適挿入法を函館駅前の一区画の巡回バス路線に適用し、その有効性をシミュレーションにより確認した。その結果、単位時間あたりのデマンド数がある一定範囲内であるならSAVの方が路線バスよりデマンド達成時間に関しておよそ50%の効率化が図れることが分かった[2]。

フィージビリティ実験

2013年10月に技術的な実現可能性を検討するためフィージビリティ実験を実施した（SAV 5台，エリア約5Km四方，乗客38名，期間7日間）．図6は各SAV車輛の状態モニタ画面である．各SAV車輛（赤，青，オレンジで区別）の現在位置と与えられている指示（今からどの順番でどこで乗客を乗車させ降車させるか）が表示されている．函館地域のタクシーは，1日



図6 フィージビリティ実験中のSAV状態モニタ画面

の乗車数が約25件/台であるが，本実験ではその約1.5倍の乗車数を計算機による完全自動配車で達成できた（図7）[3]．

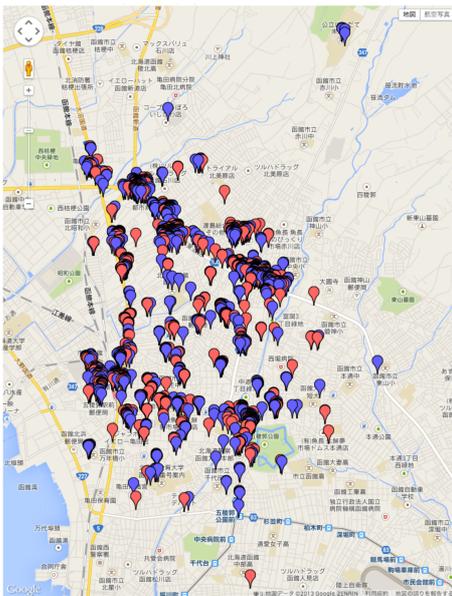


図7 フィージビリティ実験でのデマンドの発生位置（乗車地点：赤，降車地点：青）

4. 本大会におけるサービス実践の試み

サービス学会第2回国内大会（2014）におけるSAVサービス実践は，第1回めの小規模SAV運行実験に向けての予備実験の位置付けであり，その概要は次の通りである：

- 目的：乗客どうし及び乗客とサービス提供者の間でサービス共創を促進するような技術的要件を洗い出し検討すること

- 日時：4月27日（日）12:00～18:00（サービス学会国内大会の開催前日）
- エリア：函館市内の主要施設（JR函館駅，JR五稜郭駅，函館空港，五稜郭など）を含むおよそ8Km四方（図8）
- 使用車輛：20台程度のSAV（タクシーとバス）
- 料金：無料
- 対象者：本大会参加者全員（200名程度）



図8 本サービス実践でのサービス提供エリア

提供するシステムに関して，乗客はスマートフォン（Android端末あるいはiPhone）を通じて配車依頼を行う．SAV運転手はタブレット端末（Android）に表示された順に移動し乗客の乗降を行う．指示の中には，相乗りの指示が含まれる場合もある．エリアが限定されているのは以下の理由による．配車アルゴリズムは，相乗りするか否かを決定する際，移動コスト（距離と時間）の情報を必要とする．現在の実装では，エリア内のあらゆる地点からあらゆる地点への移動コストを予め算出しテーブルとして保持している．そのため，エリア外のデマンドに対しては移動コストが分からず配車アルゴリズムが正しく動作しないからである．

先行するフィージビリティ実験の時に判明したシステムの改良点は，乗客の持つスマートフォンとSAV運転手が操作するタブレット端末のユーザインタフェース，及び例外処理やエラー処理に大別された．本SAVサービス実践のために，2013年12月から2014年4月にかけて，インタフェースの操作性向上と視認性向上のための改良を行った．また，例外処理やエラー処理についても，デバッグだけでなく，ロジックの見直しにより頑健性向上のための改良も施した．

5. おわりに

SAVサービス実践は，サービス学会第2回国内大会が開催される前日に，そして日曜の午後に実施される．今回のSAV運行エリアには多くの有名観光地が含まれている．参加者の皆様には少し早く函館にお越しいただき，SAVを上手に利用して函館観光を楽しんで頂くことを期待している．

v 今後の研究課題を以下に述べる．SAVシステムを導入すると乗客の交通行動が変わるので，乗客の行動変化を予測し，それでもSAVシステムの効率は落ちな

いことをシミュレーションで確認しておく必要があると考える。そこで、構築中の全域人流モデルをより精緻化し、2014年秋実施予定の小規模 SAV 運行実験による行動変化の観測（人流調査）とを組み合わせ、函館市全域へ SAV システムを導入した後の乗客の交通行動を MA シミュレーションにより予測する。この予測の精度を上げることは、構成的方法論の観点からも興味深い研究課題である。

さらに、今後デザインサービスループを回す中でサービス共創を促進する最適な条件や環境を探る。サービス共創を促進するには、乗客側と開発・運用側のインタラクションおよび乗客どうしのインタラクションを起こしやすくすること、その種となる機能を提供することが肝要である。本質的にサービス共創を促進する機能、柔軟に機能を組み合わせられる環境と新しく共創されたサービスを他の乗客と共有する機能等について検討を進める。

謝辞

本研究は、JST/RISTEX 問題解決型サービス科学研究開発プログラムの助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Hirata, K., Sano, S., Shiraishi, Y., Matsubara, H., and Nakashima, H., Serviceological View of the Development of a Person Trip Survey Application, *Proceedings of ICServ 2013*, pp. 23-26 (2013).
- [2] 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).
- [3] 小柴等, 野田五十樹, 平田圭二, 佐野渉二, 中島秀之, Smart Access Vehicle の社会実装, 社会システムと情報技術研究ウィーク in ニセコ (WSSIT14) (2014).
- [4] Nakashima, H., Matsubara, H., Hirata, K., Shiraishi, Y., Sano, S., Kanamori, R., Noda, I., Yamashita, T., and Koshihara, H., Design of the Smart Access Vehicle System with Large Scale MA Simulation, Keynote Talk in MASS2013 (The 1st International Workshop on Multiagent-based Societal Systems).
- [5] Nakashima, H., Fujii, H., and Suwa, M., Designing Methodology for Innovative Service Systems, *Proceedings of ICServ2013*, pp.187-192 (2013).
- [6] 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).
- [7] 佐野渉二, 金森亮, 平田圭二, 中島秀之, スマートシティはこだてプロジェクト: 人流シミュレータ構築に向けた交通行動調査結果の速報, 社会システムと情報技術研究ウィーク in ルスツリゾート (2013).
- [8] K. Ueda, T. Takenaka, J. Váncza, and L. Monostori, Value creation and decision-making in sustainable society, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58(2), pp.681-700 (2009)