

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

Smart City Hakodate Project: Traffic Behavior Reports for a Traffic Flow Simulator

佐野 渉二^{1*} 金森 亮² 平田 圭二¹ 中島 秀之¹
Shoji Sano¹ Ryo Kanamori² Keiji Hirata¹ Hideyuki Nakashima¹

¹ 公立はこだて未来大学
¹ Future University Hakodate
² 名古屋工業大学
² Nagoya Institute of Technology

Abstract: We have a project for the Smart City Hakodate. The goal is to realize the public transportation called the Smart Access Vehicle System, which provides traffic vehicles on demand from users. In this paper, we focus on the reports recording individual traffic behaviors for a traffic flow simulator in Hakodate.

1 はじめに

スマートシティはこだてプロジェクトでは、はこだて圏を対象として、街の様々な活動やサービスを有機的に統合することで、全体として住みやすい便利な街を目指す。街の生活者や観光客に対して、外食、医療、観光等を連携させた様々なサービスを創出することで、より活性化された街を実現できると考えている。一方で、このような街を実現するためには、広範囲に分布しているそれぞれの施設やスポットを利用者にストレスを感じさせることなく、短時間、高効率で結ぶ交通システムを整備する必要がある。このため、我々は、都市内のすべてのバスやタクシー等の公共交通機関の運行を集中管理する高効率の交通システムである Smart Access Vehicle System (SAVS) (図 1) を実現することを目指している。

SAVS を実現するための中心となる考え方は、固定路線、固定ダイヤを全く持たずに、利用者の需要（デマンド）に応じてバスの路線、運行ダイヤを決める運行方式であるフルデマンドバスシステム [1] である。我々は、SAVS において、このフルデマンドバス方式をすべての公共交通機関に適用することを考えている。SAVS では、利用者は現在位置、目的地、時間を運行主体に連絡して、移動をリクエストすることで、すべての車両の現在位置と運行予定ルート把握している運行主

体は、それらの中から利用者の呼び出しに最適の 1 台をリアルタイムに選択して、そのルートを調整し、利用者に乗車予定時刻と、目的地への到着予想時刻を告げる。ここで、車両が発車後にも他の利用者のデマンドが発生することを考慮し、目的地への到着予想時刻には、時間の幅を設ける必要がある。この乗車予定時刻と、目的地への到着予想時刻を利用者が受け入れれば契約が成立し、その車両の運行ルートを変更する。

フルデマンドバスシステムに対して、単純なモデルで行われたシミュレーション結果によると、図 2 のように、少数台の車両で運用する場合には利用者のデマンドに応じて寄り道する確率が高くなるため、固定路線の場合に比べ非効率であるが、車両台数を増やすに従って効率が良くなり、ある程度以上の車両台数になると路線バスより所要時間が短くなることが示されている [2]。しかし、図 2 において交差するポイントの具体的な数値は分かっていない。

そこで、はこだて圏におけると生活者、観光客や道路網に対して、SAVS が有効であるかを検証するため、また、SAVS の効率や乗車料金、運用コストを考慮しながら車両台数を決定するために交通需要予測に Nested Logit モデル [4] を用いた人流シミュレータを構築する予定である。このシミュレータに用いるデータとして、2012 年 12 月から GPS を内蔵したスマートフォンを用いた交通行動調査 [5] を行っている。この調査は、2013 年 4 月までの 4ヶ月間に渡り行うことを予定しているが、本稿では、速報としてこの交通行動調査の結果について述べる。

*連絡先：公立はこだて未来大学
〒 041-8655 北海道函館市亀田中野町 116 番地 2
E-mail: sano@fun.ac.jp

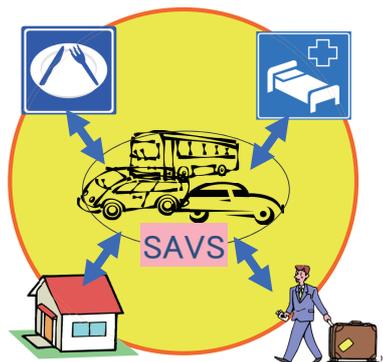


図 1: SAVS

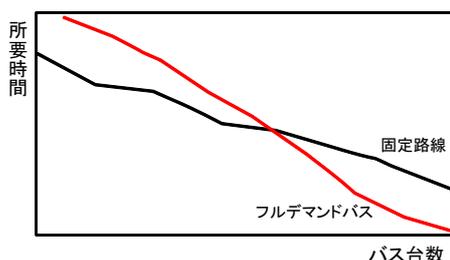


図 2: フルデマンドバスと路線バス

2 Smart Access Vehicle System (SAVS)

我々の目指す SAVS[3] は、都市内全域に対して数百台から数千台規模のバスやタクシーなどの公共交通機関をコンピュータネットワークを通じて集中管理し、リアルタイムで生じる利用者のデマンドに応じて公共交通機関を最適配置するシステムである。コンピュータ上で最適計算をし、大小さまざまな車両を適切に配車することで、現状のバスとタクシーなどの区別がなくなるため、本稿では、SAVS における車両を Smart Access Vehicle (SAV) と呼ぶ。SAVS では、SAV の現在位置と運行予定ルートを実時把握し、その中から利用者のデマンドに対し最適な 1 台を選んで、運行ルートを調整する。利用者は、現在位置と目的地を伝えることで、SAV の乗車時刻と乗車位置、目的地への到着予想時刻を告げられ、これを受け入れた時点で契約が成立する。運行中に他の利用者から新たなデマンドが発生する可能性があるため、到着予想時刻はあくまで期待値であるが、サービス全体の信頼性を高めるために、この遅延は可能な限り抑える必要がある。

3 はこだて圏における人流シミュレーション

はこだて圏における SAVS 実現に向け、SAVS の有効性の検証、および SAVS の効率や乗車料金、運用コストを考慮した SAV の台数の決定や最適な配車を行うためには、利用者の行動、道路交通状況を把握し、交通需要を予測する必要がある。そこで、我々は、運行する曜日、時間帯、天候、周辺でのイベントの有無などのさまざまな道路交通状況に対して、SAV の台数と人の移動についてシミュレーションを行うために、はこだて圏を対象とした人流シミュレータを構築する予定である。この人流シミュレータにおいて、交通需要を算出するために、行動内容、行動場所、交通手段、経路の 4 つの選択ツリー構造からなる Nested Logit モデルで記述し、時間の変化に合わせて逐次的にこのモデルを形成することで、各時間ごとの人々の移動を算出する交通需要予測モデル [4] を適用する。公共交通のサービスレベルと交通需要変化は相互依存関係にあるが、この交通需要予測モデルでは、この両者を総合的に扱い、誘発交通も考慮できることに加え、少数のデータから、大規模な交通行動情報を算出できる。この交通需要予測モデルを適用するためには、実際の人々の交通行動データを必要とすることから、現在、交通行動調査を行っている。

4 交通行動調査

はこだて圏では、夏には多数の観光客が訪れたり、冬には雪が降ったりし、バスやタクシーの道路交通状況は季節により大きく異なるため、冬（2012 年 12 月から 2013 年 4 月）と夏（2013 年 6 月から 2013 年 10 月）の 4ヶ月ずつ計 8ヶ月に渡る交通行動調査を行う。長期間に渡る調査において、被験者の負担を減らすために、GPS が内蔵されたスマートフォンを用いて交通行動調査を行うことを考え、この交通調査で使用するスマートフォンアプリ（アンドロイド版）を作成した。

4.1 交通行動調査のためのスマートフォンアプリ

GPS 機能を搭載しているスマートフォンを携帯、操作することで、交通行動の目的、目的地、利用する公共交通機関、移動経路などを取得するスマートフォンアプリを作成した (図 3)。

- 予定の入力

図 3(A) の予定ボタンを押した後、予定として、目的 (B)、目的地 (C)、その目的地に行くまでに



図 3: 作成したスマートフォンアプリ画面

利用順番にすべての交通手段 (D) の 3 組を入力する。目的、目的地、交通手段としては以下の項目を用いた。

- 目的
帰宅、通勤・通学、飲食、買い物、遊び、通院、ドライブ、その他
- 目的地
家、会社、学校、飲食店、スーパー、娯楽施設、その他のお店、商店街、公園、病院、その他
- 交通手段
徒歩、自転車、自動車、タクシー、バス、電車、路面電車、飛行機、船

目的、目的地、交通手段の入力を行う際、平日は会社に通勤して帰宅する、週末はデパートで買い物をするなど普段の行動パターンはある程度決まっていることが多いと考え、図 3 以外の画面上で目的、目的地、交通手段の組を登録できるようにしている。

- 位置情報の計測
図 3(A) の開始ボタンを押すことで、30 秒に 1 度の周期で GPS による位置情報の計測を開始する。利用者のプライバシーを考慮し、終了ボタンを押すことで、位置情報の計測を止められるようにした。
- 録音
図 3(A) の録音ボタンを押すことで、利用者の声を録音できる。

このアプリを用いて、実行された交通行動を取得するだけでなく、あらかじめ予定を入力し、その予定が変更時に予定の修正や理由を入力することで、人々はどのような理由で予定を変更するかを調査することも

目的としている。すなわち、家から出発前には、その一日の予定として、行動目的、目的地、交通手段を決定している範囲で入力し、移動中に予定に変更があるときは、それ以降の予定をすべて入力することで予定の修正を行った上で、その理由を録音することで交通機関の選択理由を取得できるようにした。

4.2 交通行動調査の実施

現在、4.1 節で述べた交通行動調査アプリを使用し、交通行動調査を行っている。位置情報を計測するために被験者の行動がわかるために、プライバシー保護の観点から被験者の匿名性を高めるために、特定非営利活動法人スマートシティはこだてにアプリをインストールしたスマートフォン 20 台を預け、被験者として 20 代から 70 代までの男女計 20 名の選出と交通行動調査の運用を委託した。冬の調査として、2012 年 12 月下旬から調査を行っており、2013 年 4 月下旬までの 4 ヶ月間行う予定である。調査開始時には、性別、年齢、運転免許の有無や運転頻度などのアンケートも依頼した。

4.3 交通行動調査結果の速報

現在までに、2012 年 12 月下旬から 2013 年 2 月下旬までの約 2 ヶ月分のデータを暫定的に入手できたため、その結果について報告する。本調査のように、同一人物の長期間に渡る調査を行うものは見られないので、本調査においてどの程度のデータが取得できているかについて述べる。比較対象としては、1999 年に函館圏（函館市・上磯町・大野町・七飯町）で行われた都市交通特性調査（パーソントリップ調査：PT 調査）[6] を用いる。PT 調査 [7] では、出発地点から目的地まで「だれが」「いつ」「なぜ」「どこへ」「何を使って」移動するかについて調査することを目的とし、アンケート形式で全国規模で行われており、その結果は都市交通計

表 1: 調査内容

	本交通行動調査	都市交通特性調査 (PT 調査)
調査年月	2012 年 12 月～2013 年 2 月	1999 年
調査人数 [人]	20	14400(総人口 36 万, 抽出率 4%)
自動車保有率 [台/100 人]	85.0	56.8

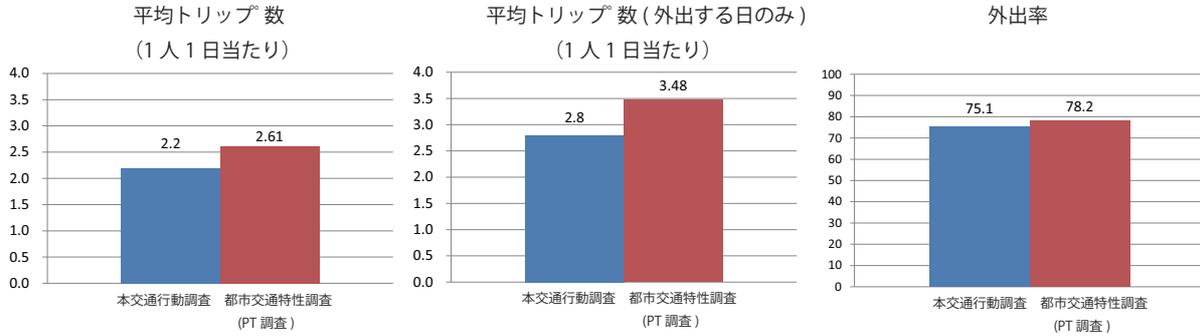


図 4: 平均トリップ数

画や防災、福祉などさまざまな分野で活用されている。我々が行う交通行動調査では、アンケート形式で行われている従来の PT 調査で収集されているものよりも詳細なデータ、すなわち、位置情報計測による移動軌跡や予定変更時の理由なども収集して人々の行動の特性をより詳しく把握することを目的としている。また、データを収集する年月も違うため、必ずしも同じようなデータを収集しようとするわけではないが、1つの指標として、函館圏で行われた PT 調査の結果を用いる。本稿では、函館圏における PT 調査と比較を行うために、ある目的による出発地から目的地までの移動を1トリップとしたトリップ数と交通手段の割合の結果について述べる。

4.3.1 平均トリップ数の結果

1人1日あたりの平均トリップ数について、すべての日と外出する日のみに分けた結果を図4に示す。外出率は、期間内すべての日に対して外出された日の割合を表す。本調査では、外出時には予定の入力を依頼しているため、予定の入力があつた日を外出した日と判断する。つまり、外出していても入力漏れがある場合は、外出していないものとする。また、連続して同様の予定が入力されている場合は予定の修正を行ったものと判断し、前に入力されてあつたものはトリップ数にカウントしない。

本調査と函館圏における PT 調査では、外出率はほぼ同じであり、外出する日のみの平均トリップ数のすべての日に対する増加率も、本調査では 1.27 倍、PT

調査では 1.33 倍と同程度であつたが、平均トリップ数は、本調査の方が少なかった。

本調査において、平均トリップ数が少なくなった原因としては、まず、被験者の構成が実際の人口分布、属性分布とは異なることが考えられる。つまり、本調査では、世代別や職業別、家族形態別などさまざまな方の行動特性を詳しく把握する目的から、被験者として 20 代から 70 代までの男女が均等になり、さまざまな職業や家族形態の方が選ばれるように依頼したため、実際の人口分布、属性分布とは異なることによる影響が出ていることが考えられる。

2つ目の理由としては、データの入力漏れや現在のアプリにおける目的、目的地の項目の不備があると考えられる。データ漏れについては、スマートフォンの携帯やスマートフォンの入力を忘れたこと以外にも、「帰宅」の入力をされていない場合がよく見られた。具体的には、会社勤めの方の勤務日については「通勤」と「帰宅」の両方が入力されていたが、休日に家から本屋に行き、帰宅する場合などで、「帰宅」の入力がされていないことがあつた。また、家から本屋とアパレルショップに行き、帰宅する場合、実際は3トリップであるが、作成したアプリで入力される項目としては、本屋へ行くのもアパレルショップへ行くのも、「買い物」、「その他のお店」の組み合わせであるため、家から本屋とアパレルショップに行くことがまとめられ、2トリップの入力しかなくあつたと考えられる。本稿では、被験者によるスマートフォンの入力がどの程度行われたかを述べるために、明らかに「帰宅」の入力がない場合でも「帰宅」の項目を加えるようなデータ補完はし

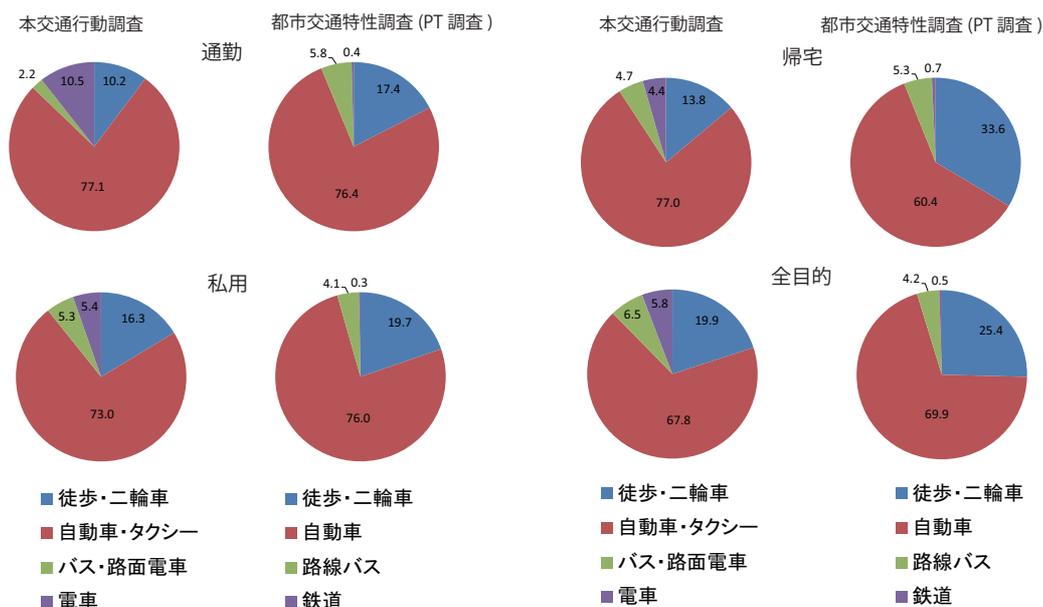


図 5: 目的別代表交通手段

ていない。また、GPSによる位置計測から移動の軌跡を取得しているため、そのデータとマッチングをとることで、ある程度の補完を行えると考えている。

この2点を考慮してデータを取り扱うことで、本調査においても、従来のパーソントリップ調査に近いトリップ数のデータが得られると考えられる。今回の調査では、長期間行うこと、スマートフォンの操作に不慣れな人もいることを考慮し、できるだけ操作を簡単にしたアプリを作成したため、朝に入力した予定を夜に確認することや、予定の変更をする際に変更分だけを入力することはできない。2013年6月から開始予定の交通行動調査までに、今回の調査結果から被験者にどれくらいのことまでを長期間に渡り行えるかを考慮した上で、アプリの改良を行う予定である。

4.3.2 目的別の交通手段の割合

目的として、通勤、帰宅、私用、全目的に分けた代表交通手段の割合を示したものを図5に示す。代表交通手段とは、1つのトリップの中で複数の交通手段を用いる場合、そのトリップの中で利用した主な交通手段のことであり、従来のPT調査と同様に、鉄道、バス（路面電車を含む）、自動車（タクシーを含む）、二輪（自転車、原付・自動二輪車）、徒歩の順で、重み付けをしている。例えば、家から会社に行くのに、自動車ですべて行って電車に乗り、その後歩く場合、代表交通手段は鉄道（電車）となる。また、本調査における目的としては、「通勤」「帰宅」以外の目的を私用として扱った。さらに、被験者によりトリップ数が異なるために、すべての被験者のデータの重みが一樣になる

ように、それぞれの被験者のデータに対して、すべての交通手段の和が1となるように、それぞれの交通手段の利用数において全交通手段の利用数で割った数値を用いて、割合を求めた。

図5より、すべての目的において、本調査では、自動車が多く、徒歩・二輪車が少なくなった。これは、表1より、本調査の被験者の自動車保有率が高いことから妥当な結果と言える。本調査においては、公共交通手段を一定数はあることより、SAVS実現のための人流シミュレータを行うデータとしては、適当であるといえる。

5 おわりに

はこだて圏におけるSAVS実現のためには、最適な配車を行うために、はこだて圏における人流シミュレーションを行う必要がある。本稿では、人流シミュレーションを行うために必要なデータとして、20名にスマートフォンを用いた交通行動調査について述べた。従来のアンケート形式で大規模に行われたPT調査と比べ、程度の差はあるものの同様の傾向のあるデータを取得できたことで、今後、人流シミュレータを構築する際に有用なデータとなると考えられる。

今後は、本稿で述べなかった、被験者の移動軌跡や録音された音源を調べることで、より詳細なデータ解析を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、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” の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。また、本研究におけるパーソントリップ調査を運用していただいている特定非営利活動法人スマートシティはこだての関係者の皆様、およびパーソントリップ調査に協力していただいている方々に感謝致します。

参考文献

- [1] 中島 秀之, 車谷 浩一, 伊藤 日出男: ユビキタス情報処理による社会支援, 情報処理学会誌, Vol. 45, No. 9, pp. 907-911 (2004)
- [2] 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)
- [3] 中島 秀之, 白石 陽, 松原仁: 「スマートシティはこだて」の中核としてのスマートアクセスビークルシステムのデザインと実装, 観光情報学会誌, Vol. 7, No. 1, pp. 1-9 (2011)
- [4] 金森 亮, 森川 高行, 山本 俊行, 三輪 富生: 総合交通戦略の策定に向けた統合型交通需要予測モデルの開発, 土木学会論文集 D, Vol. 65, No. 4, pp. 503-518 (2009)
- [5] 佐野 渉二, 中島 秀之, 白石 陽, 松原 仁: スマートシティはこだてプロジェクト: 函館の個人移動記録を GPS で取得する調査の計画人工知能学会社会における AI 研究会第 15 回研究会, pp. 1-4 (2012)
- [6] 国土交通省: 第 2 回函館圏都市交通調査・都市計画調査
<http://www.mlit.go.jp/crd/tosiko/pt/city/hakodate/02.html>(2013.3.1)
- [7] 国土交通省: PT 調査とは?,
<http://www.mlit.go.jp/crd/tosiko/pt.html>
(2013.3.1)