

バス停アクセス距離と人口分布を 考慮したバス停単位需要推計手法の提案

田中 寛朗¹・遠藤 玲²・秋山 祐樹³

¹正会員 株式会社エイト日本技術開発 (〒164-8601 東京都中野区本町5-33-11)

E-mail:tanaka-hiro@ej-hds.co.jp

²フェロー会員 芝浦工業大学 工学部土木工学科 (〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5)

E-mail:a-endo@shibaura-it.ac.jp

³正会員 東京大学 空間情報科学研究センター (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

E-mail:aki@iis.u-tokyo.ac.jp

現在の路線バスの需要予測手法には、交通調査を実施してモデルを推定し他の交通手段と一体的に予測する手法があるが、バス路線やバス停の間隔と比べて手法の空間的解像度が低いことなどにより、精度の高い需要予測は困難である。そこで本研究では、配布対象の住宅からバス停までの距離がわかるよう工夫を施した調査票を使用して交通実態調査を実施することで、バス停アクセス距離を変数に組み込んだ鉄道駅までの端末交通手段選択モデルの推定精度向上を図った。そして、その推定結果を用いて、バス停周辺の人口分布を考慮したGISベースのバス停単位路線バス需要推計を行った。その結果、目的地となる鉄道駅が明確に定まっておらず、かつ競合路線の少ない路線のバス停では、概ね真値に近い推計結果を得ることができた。

Key Words : modal choice model, distance to bus stops, micro population data, bus-stop-based bus demand estimation, person trip survey

1. 背景・目的

我が国では、市街地の郊外拡散や公共交通の衰退などの地域・社会問題に対応するため、集約型都市構造の実現が求められている。これは、公共交通機関沿いに都市をコンパクトに集約することで、過度に自動車に依存せず生活が可能な都市構造のことである。この都市構造を実現する上で、公共交通サービスの充実を図ることは非常に重要である。特に、地方都市ではバスが主要な公共交通機関となっているケースが多く、バスサービスの維持と活性化が求められる。

バスサービスの維持、活性化を効果的に行うには、交通施策の実施による需要変化の予測が必要である。しかし現在、バス需要の正確な予測はあまりなされていない。

従来の路線バスの需要予測手法としては、ゾーンをベースとし交通手段選択を考慮して予測する手法や、バス停圏域内の人口から予測する手法などがあるが、どの手法も正確な需要予測をする上で問題が存在する。前者は、ゾーンの空間的スケールが大き過ぎることでゾーン内にバス停から近い地域と遠い地域が混在しバスのLOSをゾ

ーン単位で扱うことが困難な場合があることや、推定結果をゾーンごとに集計した際に誤差が発生すること、また、交通実態調査等を行う際に、非バス利用者のバス停までのアクセス距離がわからないといった問題がある。後者には、他の交通手段との手段選択のメカニズムがわからないという問題がある。バスサービスの充実を実現するには、これらの問題を解消し、バスサービスの維持と活性化にあたって明確な根拠となるような精度の高い需要予測の実現が求められる。

一方、パーソントリップ調査（以下PT調査）は、今まで都市交通計画を行う上で様々な役割を果たしてきたが、同時にその課題が従来から指摘されている。PT調査を実施した自治体に対してアンケートを行い、PT調査の問題点や改善策を調査した既往研究によると、その空間的スケールの大きさを問題視している自治体や、通常の調査に加えて独自に付帯調査を実施し、不十分な部分を補っている自治体が存在することが確認されている。また、精度の高いLOSが作成出来ない、回答時に数値がきりの良い値に丸められてしまい精度が低下する場合がある、といった問題も挙げられており、調査方法の見直

しが求められている。

そこで本研究では、PT調査で使用される調査票を元に独自の調査票を作成し、配布対象の住宅からバス停までの距離が正確にわかるよう工夫した上で交通実態調査を実施することで、バス停アクセス距離を変数に組み入れた交通手段選択モデルの精度向上を図る。推定されたモデルをバス停周辺距離帯の人口分布と組み合わせることで、バス停単位の路線バス需要を推計する。この推計値を別途バスICカードデータから集計した実績値と比較し、手法の妥当性の検討を行う。このことにより、他の交通手段との手段選択を考慮した空間的解像度の高いバス需要予測手法の提案を行うことが本研究の目的である。

2. 既往研究のレビューと研究の位置付け

(1) バスの需要予測に関して

今までに行われてきた代表的なバスの需要予測手法には、バス停圏域内人口から予測する手法、交通実態調査結果やSP調査結果からモデルを推定し他の交通手段と一体的に予測する手法、計画対象地域で実施した個別利用意向調査を合算して予測する手法、行動意図法 (BI法) などがある。

まず、バス停圏域人口から予測する手法について、山田ら¹⁾は、バス停勢力圏内の人口にバス利用交通の総回数を乗じ、それを系統ごと、路線ごとにまとめることで、路線の最大需要量を求める「路線ポテンシャル」という概念を提唱している。課題として、岐阜市のような比較的狭い都心への一点集中型の都市構造の中規模都市では概ね妥当であるが、名古屋市のような大都市においては、業務交通に見合った別のポテンシャルの計測が必要であるなどいくつかの改良を施さねばならないことが挙げられている。また、このバス停圏域を求める手法として、渡辺²⁾は、距離や所要時間に加えて、バスの運行頻度を用いて求める手法を提案している。あるバス停AとBについて、到達時間が等しくなるように分割した境界を「時間境界」と定義し、それにバスの運行頻度を拡大量として導入することで、時間境界をずらして「頻度境界」を求めている。時間境界は各バス停から駅までの到達時間を実状に合わせて設定すれば、実用算定式でかなり正確に求められることが確認され、頻度境界についても、実態分布をかなり正確に捉えているようだまとめられていた。また、分析結果より、バス乗客は待ち時間を短縮するために徒歩距離を伸ばす (バス頻度と徒歩距離との間に一種のトレードオフ関係が成立している) こと、バス頻度もも到達時間の中に入れて扱いうる可能性があることを示唆している。

次に、モデルを用いて他の交通手段と一体的に予測す

る手法について、岩本ら³⁾は、鉄道駅へのアクセス交通の実態を、モデルを用いたアプローチで探ることを目的に、手段の組み合わせごとに二項選択モデルの構築を行っている。結果、駅勢圏方式よりも細かな要因について把握することができたとまとめられている。内山ら⁴⁾は、実際の鉄道利用者の行動をモデルで再現し、GISをベースに構築した首都圏鉄道計画支援システムに適用することで、アクセス施設交通を考慮に入れた需要分析を行っている。この研究では、GISを援用することによって100mメッシュ単位の通勤・通学ODを作成、これを発生量として、非集計の代表交通手段選択モデルと鉄道駅選択モデルに通して、従来よりもマイクロに駅別利用人員と端末交通手段別利用人員を予測している。例として、東葉高速鉄道の開通前後の駅別鉄道利用人員、および端末交通手段別利用人員の推計を行っており、予測の結果、分析対象エリアの中心近くに位置する駅は概ねセンサス値と一致しており、再現性の高いモデルが構築できたと述べている。関連して、大塚ら⁵⁾は、足立区において、鉄道駅の端末交通手段として利用されているバスの選択行動についてモデルを構築している。結果から、バスの選択行動にはバスの乗車時間よりもバス停までのアクセス時間がより大きな影響を与えていることがわかり、バス停位置やバス路線の経路の小さな変化によって需要が変動すると述べている。GISを用いてマイクロに需要予測を行った他の例としては、船戸ら⁶⁾が高齢化する集合住宅地域においてイーグルバスの需要予測を行ったものがある。この研究では、100m四方の改良型マイクロメッシュを用いることにより、路線単位ではなくバス停単位の乗車人員予測を行っており、バス停圏域内の人口と回帰分析から得たモデルからバス停乗車人員を求めている。課題として、バス停勢力圏を道のりの考慮をせずに円領域として定めたことが挙げられており、道路に沿って勢力圏を定めた分析の必要性が述べられている。

個別の利用意向調査を集計して需要予測を行った例として、松阪市の例⁷⁾がある。松阪市では「バス路線の新設やサービス向上がなされた場合に利用するか?」といった設問の意向調査を行い、その結果から市民一人あたりの年間利用回数を求め、需要を予測している。このような手法は非常にシンプルで便利だが、バス停毎や路線毎の需要の把握は難しいため、バス路線網の発達していない地方部や中山間地域で適用するのが一般的である。

行動意図法は、藤井⁸⁾が提唱している新たな需要予測手法である。従来の(1)交通需要と交通環境との関係性を定義した上で、(2)交通政策を行った場合の新しい交通環境を定量データで示し、(3)(1)で同定した交通需要と交通環境の関係式に(2)で求めた施策後の交通環境データを導入して施策導入後の交通需要を予測する、という過程ではなく、行動意図データから直接的にその個人

の将来行動を予測し、それを拡大することで需要を予測している。なお、この論文で求められた需要は、「バスサービスが最も便利になったとき」に生じる最大限の需要量である。この方法において重要な行動-意図一致性については、妥当性を持つことが確認されているが、需要予測結果はまだ正確とは言えない水準にあり、今後さらなる精緻化が求められる。

(2) PT調査と地方都市の交通に関して

PT調査は、ゾーンが大きく抽出率も低いことから、バスの需要予測には対応出来ないという意見が一般的である。国土交通省都市・地域整備局の報告書¹³⁾によると、バス事業者の路線計画において、PT調査結果を用いた需要予測はほとんど行われておらず、ヒアリング調査によるとゾーンが粗いと指摘があると報告されている。また、PT調査実施都市圏の行政担当者に対してアンケート調査を実施し、PT調査に関する問題点や改善策を把握することを目的とした座間ら¹⁴⁾や市井ら¹⁵⁾の研究によると、PT調査のゾーンの粗さや、そもそもゾーン・システムに基づいているということに問題意識を持っている自治体は多く、バスや路面電車のトリップに対応するために、独自にゾーンサイズを小さく改良した自治体もあったとまとめられている。

しかし、地方都市圏のPT調査結果に示される交通実態を勘案すると、PT調査がバスや路面電車といった公共交通にうまく対応できていないという現状はいささか問題であると考えられる。熊本都市圏の第4回PT調査結果¹⁶⁾や西遠都市圏の第4回PT調査結果¹⁷⁾を見ると、このような地方都市では公共交通の中でバスが主要な地位にあり、また抽出率も9%を超えていることから、PT調査をうまく改良することで、調査結果をバス路線計画にも用いることができれば、PT調査の実施意義が増すと考えられる。

また、アクセス時間や距離に関しては、座間ら¹⁴⁾の調査結果によると、推定精度向上に繋がりPT調査の利用用途が広がる、すでに回答欄を作成済みであるといった肯定的な回答が多かったが、一方で、記入してもらった値の信頼性が低い、調査負担が増えるといった否定的な回答も存在した。

(3) 本研究の位置付け

既往研究・文献のレビューより、アクセス距離が交通手段選択、特にバスの需要に及ぼす影響は大きく、それを分析に取り入れることは非常に重要だと考えられる。

しかし一方で、このアクセス距離を分析に取り入れる際、通常は調査の設問に対する回答値をそのまま用いるため、非バス利用者の回答からはバス停アクセス距離の値そのものを得ることが出来ず、またバス利用者の回答

についても、値の精度に問題があると懸念されている。

そこで本研究では、調査票配布対象の住宅とバス停との距離をGISを用いて求めることで、その懸念を払拭する手法を提案する。これにより、アクセス距離が交通手段選択へ与える影響をより正確に把握することができる。GISを用いて空間的にミクロにモデル推定やバスの需要予測を行っている研究はいくつか見受けられるが、実距離を把握する本研究のような手法は他に例がない。

一方、アクセス距離を取り入れた説明力の高いモデル推定ができたとしても、ゾーンに基づく従来の需要推計手法ではこれまでに指摘されている問題の解決にはならない。本研究は、バス停周辺の人口分布と組み合わせることにより、説明変数であるアクセス距離が有効に機能する、空間的解像度の高いバス停単位の需要予測を可能とするものである。

3. 研究概要

(1) 本研究の流れ

本研究は、大きく分けて「交通実態調査の結果をもとにしたモデル推定」、「バスICカードデータを用いたバス停間OD表の作成」、「GISベースの需要予測と精度検証」の3つで構成される。

「交通実態調査結果をもとにしたモデル推定」では、PT調査で使われる調査票を参考に独自の調査票を作成し、調査対象の住宅から最寄りバス停までの物理的な距離を把握できるように工夫して交通実態調査を実施、得られた調査の結果から、バス停からの距離圏を考慮した交通手段選択の非集計モデルを推定する。

「GISベースの需要予測」では、住居毎に世帯数や年齢別人口を確率的に推定したデータを用いて、各バス停圏域内に居住する年齢別の人口を集計し、通勤目的の発生量を推定、それにモデルから得られた交通手段選択確率を乗じることで、路線バスの需要を予測する。

「バスICカードデータを用いたバス停間OD表の作成」では、バスICカードデータを集計・加工することで、通勤目的のバス停間OD表を作成し、需要予測の精度比較に用いる。

(2) 研究の対象

本研究の対象地域は、埼玉県さいたま市大宮区と見沼区の一部にあたる、大宮駅東口を発着するバス路線の沿線地域とした。当該地域は、付近に並行する鉄道が存在せず、大宮駅までのアクセス交通手段として路線バスや自転車が多く利用されており、本研究に適した地域だと考えられる。

また、本研究では通勤移動を対象として分析を行った。通勤移動は、路線バスの運賃収入の中で大きな割合を占めており、安定的な収入を見込める移動だと考えられる。

4. 交通実態調査

(1) 調査の方法

交通実態調査の対象地域は、対象バス路線の南部地域とした。調査実施に先立ち、調査票配布対象の住宅からバス停までの距離を事前に把握するため、図-1のように、GISを用いてバス停からの距離に応じたバス停圏域を設定した。解析には、ArcGIS ArcMap10を用いた。圏域はバス停毎に分けて設定し、圏域の広がりには徒歩1分で移動可能と考えられる80mを1単位として、最大徒歩15分となる1200mまで設定した。

調査に用いる調査票は、PT調査で使われる調査票を元にして独自に作成した。設問項目は、世帯・個人の属性と各個人のある1日の交通実態を把握出来るよう設定した。その際、需要推計時に必要となる世帯・個人の属性情報を考慮し、国勢調査やPT調査から得られるデータとの整合性を検討しながら設問を設定した。また、回収率を高くするため、設問内容や回答事項をなるべくわかりやすく表記するよう努めた。さらに、さいたま市から芝浦工業大学との連携事業との位置づけをいただき配布対象地域自治会連合会への説明にご協力いただくことで、回収率の向上を図った。

調査は2015年11月4日(水)～6日(金)の3日間で実施した。調査票の配布はポスティング形式で行い、述べ3737部を配布した。回収は同封した返信用封筒を用いて郵送にて行い、配布から回収までは概ね2週間程度の期間を設けた。返信用封筒には、あらかじめバス停と圏域を識別するための番号を付与しておき、得られた回答がどのバス停圏域からのものなのかをこちらで把握出来るようにした。

(2) 回収と基礎分析結果

回収の結果、198通の返送があり、回収率は約53%となった。その後、無効票を取り除くクリーニング作業を経て、通勤目的の有効トリップ数は134トリップ得ることができた。

その後、得られたトリップについて基礎分析を行った。まず、全てのトリップについて、過度に偏った抽出がなされていないかを確認するため、年齢分布についてPT調査の結果と比較した。結果は図-2に示す。

その結果、実施した交通実態調査の結果は30歳代までの比較的若い層の割合が低く、50歳以上の中高齢層の割合が高いことがわかった。しかし、極端に偏った抽出は

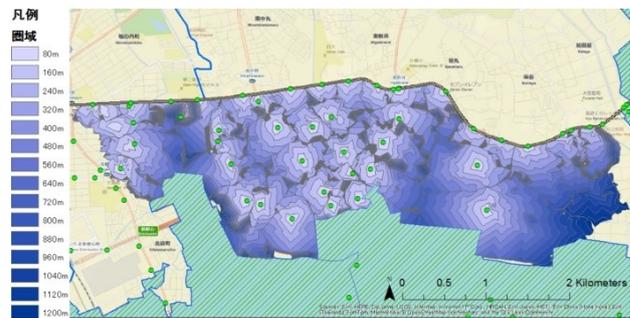


図-1 設定したバス停圏域

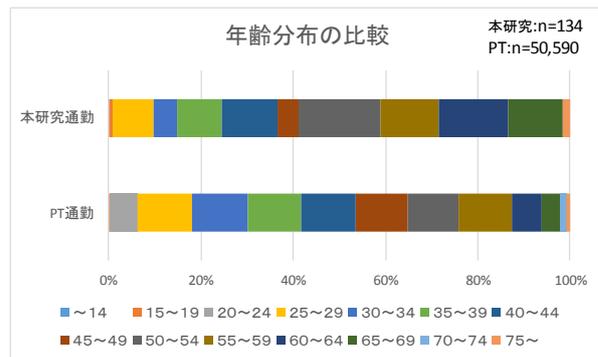


図-2 年齢分布の比較

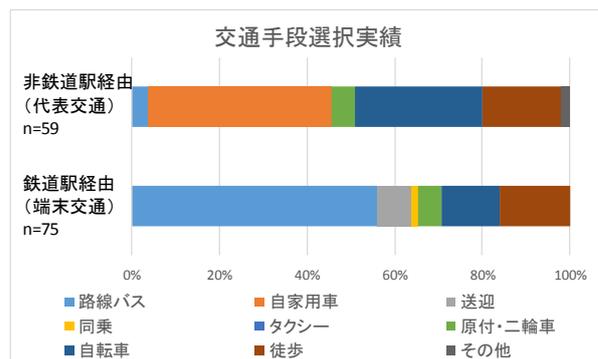


図-3 交通手段選択実績の割合

なされていないと考え、分析を継続することとした。

続いて、得られたトリップを鉄道駅を経由して通勤をしているか否かで2種に分け、それぞれ交通手段の選択実績を集計した。結果は図-3に示す。

その結果、鉄道駅を経由していないトリップでは路線バスの選択実績がほとんどなく、対象地域において路線バスの利用は鉄道駅までの端末交通としての利用にほぼ限られているということがわかった。また、鉄道駅を経由するトリップでは、自家用車とタクシーの選択実績がなく、送迎と同乗については選択可能なサンプルならばほぼ選択の余地なく利用されているということがわかった。以上の結果から、モデルは鉄道駅までの端末交通手段選択を対象に推定することとし、手段選択肢は自家用車、タクシー、送迎、同乗を除いた路線バス、自転車、徒歩、原付・二輪車の4種とした。

5. モデル推定

(1) モデルの概要

交通実態調査の結果をもとに、交通手段選択に関する多項選択モデルの推定を行った。対象は、基礎分析の結果より、鉄道駅を経由しているトリップのうち送迎と同乗を除いた 68 トリップとし、手段選択肢は路線バス、自転車、徒歩、原付・二輪車の 4 種とした。バス停アクセス距離をバスの効用関数中に組み込むことで、それが交通手段選択に及ぼす影響を考察した。パラメータの推定には、最尤法を用いて、モデルの推定には統計解析ソフト R (アール) を用いた。モデル式と効用関数は以下に示す。

【モデル式】

$$P_n(i) = \frac{\delta_{ni} \exp(\mu V_{ni})}{\sum_{j=1}^4 \delta_{nj} \exp(\mu V_{nj})}$$

$i \in j = \{1,2,3,4\}$
 $\delta =$ 手段選択可能性(1,0)

【効用関数】

$$V_{bus} = d(\text{所要時間}_{bus}) + f(\text{費用}_{bus}) + g(\text{バス停アクセス時間}_{bus})$$

$$V_{bike} = d(\text{所要時間}_{bike}) + f(\text{費用}_{bike}) + \varepsilon_{bike}$$

$$V_{mcycle} = d(\text{所要時間}_{mcycle}) + f(\text{費用}_{mcycle})$$

$$V_{walk} = d(\text{所要時間}_{walk})$$

なお、モデルの推定に際し、対象の68トリップについて鉄道駅までのLOSの構築を行った。LOSの構築には、株式会社ナビタイムジャパンが提供する経路案内・乗換案内サービスや、国際興業株式会社と東武バス株式会社が提供する乗換案内・時刻表検索サービスを利用した。

(2) 推定結果

バス停アクセス時間を組み込んだモデルと組み込まないモデルの推定結果を表-1に示す。バス停アクセス時間を組み込んだモデルの各パラメータに着目すると、定数項(自転車)、乗車時間・所要時間、そしてバス停アクセス時間が有意水準1%で有意となった。バス停アクセス時間は有意に負に働いており、バス停まで近ければ近いほどバスを選択する確率が上昇することがわかった。続いて、両方の結果の決定係数に着目すると、バス停アクセス時間を組み込んだ結果の方が組み込んでいない結果と比べて決定係数の上昇が確認できた。

また、得られたモデルからバス停アクセス時間について感度分析を行った。分析は、バス停アクセス時間以外のLOSを固定し、バス停アクセス時間を1~30分に変動させて実施した。分析に用いたサンプルは、鉄道駅から4km程度離れた地点に居住し4種全ての手段を利用可能なサンプルとした。結果を図-4に示す。

グラフから、バス停アクセス時間が1分のときに30%程度であった路線バスの選択確率が、アクセス時間が増大

表-1 モデル推定結果

| | アクセス時間なし | | アクセス時間あり | |
|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| | パラメータ | t値 | パラメータ | t値 |
| 定数項(自転車) | -1.025 | -2.639 * | -1.749 | -3.691 ** |
| 乗車時間・所要時間 | -0.133 | -2.876 ** | -0.189 | -3.177 ** |
| 費用 | -0.346 | -0.861 | -0.308 | -0.719 |
| バス停アクセス時間 | - | - | -0.199 | -2.837 ** |
| サンプル数 | 68 | | 68 | |
| 初期尤度 | -71.972 | | -71.972 | |
| 最終尤度 | -48.534 | | -43.549 | |
| 決定係数 | 0.326 | | 0.395 | |
| 修正済み決定係数 | 0.284 | | 0.339 | |

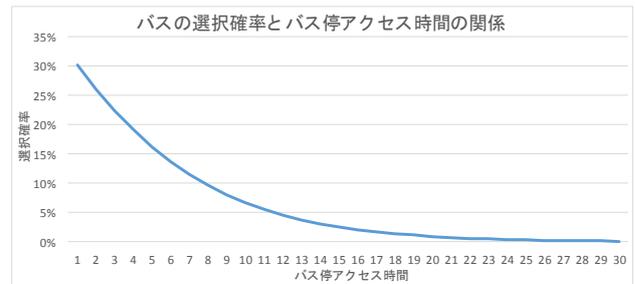


図4 バス停アクセス時間に関する感度分析の結果

するに従って減少していく様子が見て取れる。アクセス時間が8分を超えると確率は10%以下にまで減少し、20分を超えるとほぼ0%となっている。グラフの傾きから、概ね5分~10分程がバスを使うか否かの境となると考えられる。

6. バスICカードデータに基づく通勤目的バス停間OD表の作成

(1) バス停間OD表の作成方法

本研究では、国際興業株式会社よりバスICカードデータを提供頂いた。提供された情報は、各利用者毎の乗車した系統名、系統番号、利用年月日、乗降バス停名、乗降時分(秒単位)、利用人数、そしてバスの運行全体に関して一般利用におけるICカード利用率、バス運行情報である。データが収集された期間は、平成26年6月14日(土)~6月27日(金)である。なお、当該期間において雨天日が存在したが、日別乗降客数と降水量や日照時間、気温などの気象データの相関を確認したところ、相関係数はいずれも0.3未満であり、気象と乗降客数との関係性はないものとして分析した。

バスICカードデータからバス停間ODデータを作成するにあたって、まずデータを上下別、平日土曜休日別の6パターンに分類した。その後、6パターンそれぞれについて時間帯毎のOD表を作成した。そして、平日10日分、土曜2日分、休日2日分からそれぞれ平均値と標準偏差の算出を行い、6パターンのOD表を作成した。

このOD表は全目的のOD表であることから、通勤目的

の交通手段選択モデル推計値と照らし合わせるため、通勤目的のOD表を作成した。ゾーン毎に時間帯別の通勤目的の割合は、交通手段やバス停によらず一定であるという仮定の下、作成したOD表から、時間帯毎の通勤割合より通勤移動のOD表を作成した。通勤割合は、平成20年度PT調査の計画基本ゾーンの値を用いた。

上り線は、乗車バス停毎の時間帯別平均乗車人数に時間帯別自宅発通勤割合(①)を乗算し、時間帯別の自宅発通勤乗車人数をバス停毎に算出した。

【上り線通勤乗車人数の求め方】

(時間帯別自宅発通勤割合)

$$= (\text{時間帯別自宅発通勤発生量}) / (\text{時間帯別総発生量}) \dots \textcircled{1}$$

(バス停毎時間帯別自宅発通勤乗車人数)

$$= \textcircled{1} \times (\text{バス停毎時間帯別乗車人数})$$

下り線は、PT調査において帰宅トリップは発着地に関わらず全て帰宅とまとめられているため、勤務地発帰宅集中量は、上り線の自宅発の全時間帯総トリップ量における通勤業務トリップの割合を算出し、それを下り線に乗算して求めた。そのため、下り線に乗算した上り線通勤トリップの割合は、下り線の全時間帯において、計画基本ゾーン毎に同じ値を使っている。

【下り線勤務業務地発帰宅降車人数の求め方】

(時間帯別勤務地発帰宅集中量)

$$= (\text{全時間帯自宅発通勤割合}) \times (\text{時間帯別全帰宅集中量}) \dots \textcircled{2}$$

(時間帯別勤務地発帰宅割合)

$$= \textcircled{2} / (\text{時間帯別総集中量}) \dots \textcircled{3}$$

(バス停毎時間帯別勤務地発帰宅降車人数)

$$= \textcircled{3} \times (\text{バス停毎時間帯別降車人数})$$

最後に、この通勤人数はICカード利用者のみの人数の

ため、ICカード利用率で通勤業務トリップ人数を割り、現金払いを含む通勤目的の乗車客数の総数を算出した。

(2) 結果

バスICカードデータに基づき通勤目的のバス停毎の乗降客数を得ることができた。結果は図-5に示す。

通勤目的乗車人数の変動係数は、乗車3人未満のバス停を除き、最大で上り23.17%、下り33.0%、平均3.55%程度という値になり、日変動はそれほど大きくなく、平均値の信頼性が高いことがわかった。

7. 需要推計と精度検証

(1) 需要推計の方法

モデル推定結果から得られた路線バスの選択確率と、バス停周辺の人口分布を組み合わせることで、GISをベースとした需要予測を行った。需要予測の対象は、大宮駅東口を発着する国際興業バスの路線とした。

まず、交通実態調査の際と同様に対象バス停について圏域を設定し、それぞれの圏域内に居住する人口を求めた。人口データには、秋山ら²⁹⁾が作成した「マイクロ人口統計データ」を使用した。このデータは、住宅地図と国勢調査を組み合わせ、建物毎に世帯数と性別・年齢別居住者数を確率的に求めたデータとなっている。本研究では、バス停圏域のポリゴンデータとマイクロ人口統計データを重ね合わせ、圏域内の年齢別(5歳階級)人口を求めた。

次に、得られた圏域内人口から通勤移動の発生量を求めた。通勤移動の発生原単位は、平成20年パーソントリップ調査計画基本ゾーンデータから年齢(5歳階級)毎にグロス原単位を得た。それを先ほど求めた圏域内人口に乗じることで、圏域毎の年齢(5歳階級)別通勤移動発生量を求めた。



図-5 バスICカードデータに基づく通勤目的の乗降客数

続いて、モデルの推定結果に合わせるため、得られた通勤移動発生量から鉄道駅経由通勤移動発生量を求めた。それには、交通実態調査の結果から鉄道駅を経由して通勤を行う割合を求め、それを通勤移動発生量に乗じることで算出した。また、モデルでは「送迎」と「同乗」を選択肢から除いたため、同様に交通実態調査の結果から選択割合を求め、その分を鉄道駅経由通勤移動発生量から除くことで、モデルに合った発生量を求めた。

その後、各バス停から大宮駅東口までのLOSを構築した。手段選択肢はモデル推定に合わせて「路線バス」「自転車」「徒歩」「原付・二輪車」の4通りとし、モデル推定と同様の方法でLOSを構築した。なお、移動の発地はバス停とした。

バス停毎のLOSを構築できたら、モデルの推定結果と合わせてバス停毎圏域毎に路線バスの選択確率を算出した。その際、「原付・二輪車」については世帯毎に保有数に偏りがあるため、交通実態調査の結果から「原付・二輪車」の保有率を求め、それを効用計算時に乗じることで選択確率の調整を行った。

最後に、バス停毎圏域毎に求めた鉄道駅経由通勤目的の発生量と路線バス選択確率をかけ合わせることで、バス停毎の需要を推計した。

(2) 需要推計と精度検証結果

バス停毎に双方の乗客数を示した地図を図-6に、グラフを図-7に示す。なお、グラフの縦軸はバスICカードか

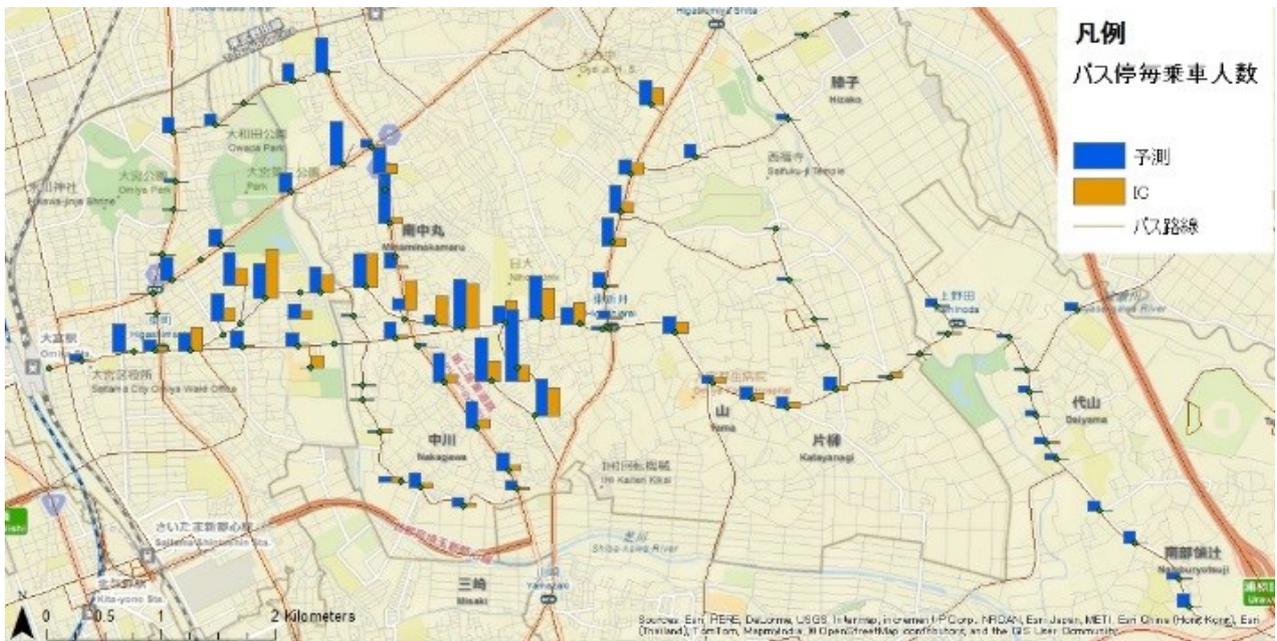


図-6 需要推計値と IC カードから得た乗客数の比較

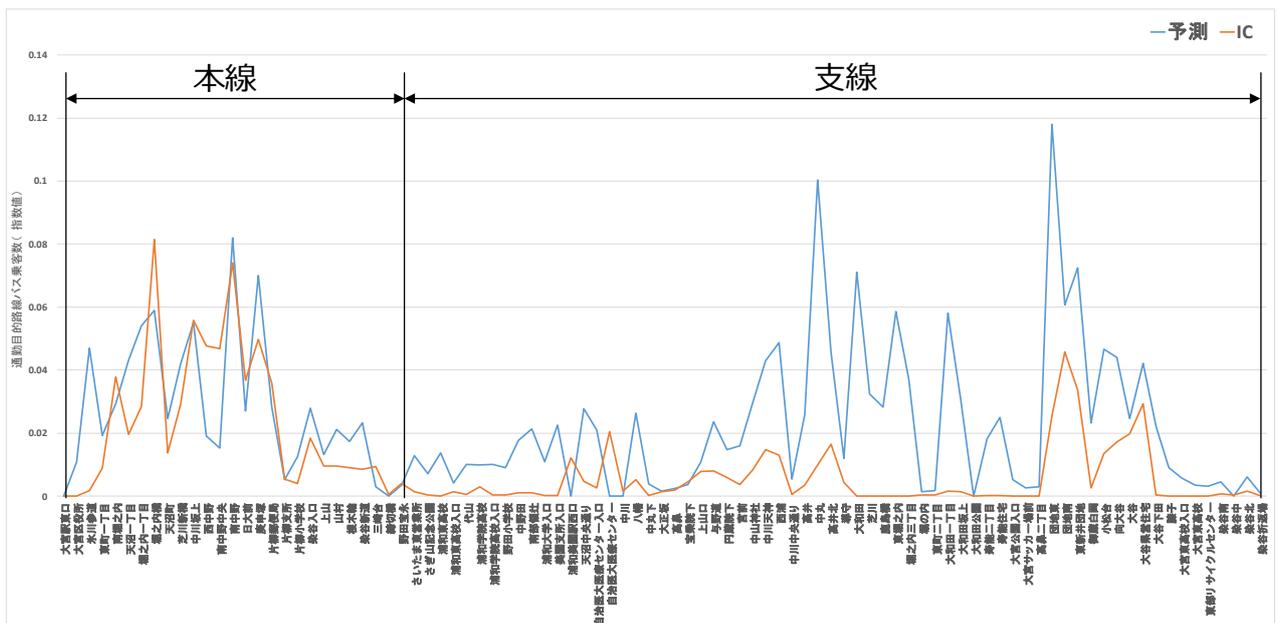


図-7 需要推計値と IC カードから得た乗客数の比較

ら求めた乗客数の総数を100としたときの、各バス停の乗客数の指数を表す。

地図とグラフから、県道214号線にある本線バス停では、概ねグラフの形状が似通っていることが確認出来る。しかし一方で、大宮駅付近のバス停、県道214号線から伸びる支線バス停では需要が過大に推計されていることがわかる。大宮駅付近のバス停の推計結果については、モデル推定で費用が有意にならなかったことで、費用の低い徒歩や自転車の選択確率が低くなったことが主な原因であると考えられる。支線バス停については、費用が有意にならなかったこと他、運行本数などのバスの利便性がモデルに含まれていないこと、そして他社が運行する大宮駅以外を終着とするバス路線との競合が、過大推計に繋がったと考えられる。また、過小推計になったバス停には、西中野～南中野中央バス停や堀の内橋バス停、自治医大医療センターバス停がある。これらのバス停はいずれも本線上のバス停である。最寄り支線のバス停だが、実際は離れた本線バス停からバスに乗り込んでいるケースが存在し、それが過小推計に繋がったと考えられる。

これらを解決するには、バスの利便性をモデルに組み込むことはもちろん、鉄道駅選択行動とバス停選択行動に遡って検討を行い、バス停圏域の設定を適切に行う必要があると考える。

8. まとめと今後の課題

本研究では、「交通実態調査の結果をもとにしたモデル推定」、「GISベースの需要予測」を行い、「バスICカードデータを用いたバス停間OD表の作成」で得られた結果と比較することで、需要予測の精度を検証した。

交通実態調査の結果をもとにしたモデル推定では、配布対象の住宅から最寄りバス停までのバス停アクセス距離を把握できるよう工夫を施した調査票を用いて交通実態調査を実施し、得られた結果から鉄道駅までの端末交通手段選択モデルを複数推定した。その結果、バス停アクセス時間を組み込んだモデルは組み込まないモデルよりも決定係数が上昇し、バス停アクセス時間は有意に負に働くという結果を得られた。このことより、バス停アクセス距離を把握できるように工夫した調査票の有効性が確認できた。

GISベースの需要予測では、GISを用いてバス停距離圏毎の年齢別通勤目的発生量を求め、それにモデルから得られた手段選択確率を乗じることで、バス停毎の通勤目的の乗客数を予測した。そして、得られた予測結果とバスICカードデータにもとづく通勤目的バス停別乗客数を比較することで、需要予測の精度検証を行った。その

結果、対象地域内の本線バス停では概ね乗客数のグラフに近い形を示したが、支線バス停では過大推計となった。

課題として、まず、交通手段選択モデルでバスの運行頻度など他の変数を扱う必要があることが挙げられる。手段選択の要因を詳細に分析し、その要因をモデルに組み込むことで、再現性の高いモデルを推計することが、需要予測の精度向上には不可欠である。

そして、手段選択行動以外に、バス停の選択行動や鉄道駅の選択行動についても十分な検討が必要であると考ええる。本研究では、バス停圏域を最寄りのバス停について設定したが、交通実態調査の結果から、バスの運行頻度の低い最寄りバス停を避けて、運行頻度の高い離れたバス停を利用しているケースが複数見受けられた。また、鉄道駅の選択についても、利用する鉄道駅が変われば利用するバス路線も変わるため、バス停選択に影響を及ぼすと考えられる。これらは需要推計時に大きな影響を及ぼすため、精度の高い需要予測を行うためには詳細に検討する必要があると考える。このような検討を進めることで、本研究で提案する手法をバス需要予測精度向上に寄与する手法として確立することが期待できる。

今後の展望としては、他目的のバス需要と合算することでバス需要全体を精度よく推計できる手法への拡張、他路線での適用可能性の検討が考えられる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、国際興業株式会社様には、バス IC カードデータを提供していただき、深く感謝申し上げます。さいたま市様と大宮区・見沼区自治会の方々には、交通実態調査にあたりご協力をいただき、深く感謝申し上げます。なお、本研究は東京大学空間情報科学研究センターとの共同研究として実施致しました。

参考文献

- 1) 山田寿史, 竹内伝史, 鈴木武: バス路線の経営分析と潜在集客能力, 土木計画学研究・講演集, No.8, 1986年
- 2) 渡辺千賀恵: バス運行頻度の影響を考慮したバス停勢力圏の簡便区画法, 土木計画学研究・論文集, No.2, 1985年
- 3) 岩本千樹, 太田勝敏: 非集計モデルによる鉄道駅へのアクセス交通手段の分析, 土木学会年次学術講演会講演概要集巻 36, 04号, pp407-408, 1981年
- 4) 内山久雄, 日比野直彦: アクセス交通を考慮した首都圏鉄道計画への GIS の適用, 運輸政策研究 vol.2, No.4, 2000年
- 5) 大塚康仁, 内山久雄, 日比野直彦: バス路線編成を考慮した鉄道駅端末交通行動に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集第 4 部, 巻 56, pp168-169, 2001年

- 6) 船戸諒子, 坂本邦宏, 谷島賢, 山岸純一, 久保田尚: GIS を用いたバス乗車人員予測モデルに関する研究～高齢化する集合住宅地域の事例分析～, 土木計画学研究・講演集, 巻 40, p150, 2009 年
- 7) 松阪市: 松阪市のバス交通の需要予測, 松阪市バス等交通システム調査研究業務報告書, 2004 年
- 8) 藤井聡: 行動意図法 (BI 法) による交通需要予測 新規バス路線の“潜在需要”の予測事例, 土木計画学研究論文集 20 (3), pp563-570, 2003 年
- 9) 土木学会: バスサービスハンドブック, 2006 年
- 10) 原田昇: 非集計行動モデルによる多次元選択行動の分析, 土木計画学研究論文集, No4, 1986 年 招待論文
- 11) 吉田朗, 原田昇: 鉄道の路線・駅・結節交通手段の選択を含む総合的な交通手段選択モデルの研究, 土木学会論文集 No542/IV-32, 19-31, 1996 年
- 12) 原田昇, 太田勝敏, 新谷洋二: 非集計行動モデルによる新駅利用量の予測方法とその評価, 土木学会論文集第 347 号/IV-1, 1984 年
- 13) 国土交通省 都市・地域整備局 都市計画課 都市交通調査室: バス事業者による PT データ活用事例 (事例 4~7), 都市交通調査事例集
- 14) 遠藤玲, 座間貴之: PT 調査と需要予測手法の方向性に関する基礎的考察—行政実務者アンケートから見えるもの—, 土木計画学研究講演集 vol.49, 2014 年
- 15) 市井健吾, 遠藤玲: PT 調査における調査・分析上の工夫実態, 土木学会関東支部技術発表会講演概要集, Vol.42, IV-67, 2015 年 3 月
- 16) 熊本都市圏第 4 回 PT 調査結果
- 17) 西遠都市圏 (静岡) 第 4 回 PT 調査結果
- 18) 国土交通省 都市局 都市計画課 都市計画調査室: 都市における人の動き—平成 22 年全国都市交通特性調査集計結果から—, 平成 24 年
- 19) 北村隆一: 交通需要予測の課題 次世代手法の構築に向けて, 土木学会論文集 No530/IV-30, 17-30, 1996 年
- 20) 北詰恵一: 地方都市におけるバス需要予測の枠組み, 山崎一眞教授退職記念論文集 (第 381 号), 2009 年 11 月
- 21) 岡本和樹, 庄野隼, 田中寛朗, 遠藤玲: 精度の高いバス停アクセス距離データを用いた交通手段選択モデルの推定, 土木学会関東支部技術発表会講演概要集, Vol.42, IV-68, 2015 年 3 月
- 22) 庄野隼, 遠藤玲, 田中寛朗: バス IC カードデータに基づく通勤目的 OD 表の作成, 土木学会関東支部技術発表会講演概要集, Vol.42, IV-32, 2015 年 3 月
- 23) 田中寛朗, 遠藤玲: 正確なバス停アクセス距離データを用いたバス需要推定手法の提案, 土木計画学研究講演集 vol.51, No.14, 2015 年 6 月
- 24) 田中寛朗, 遠藤玲, 岡本和樹, 庄野隼: 正確なバス停アクセス距離データを用いたバス需要推定手法の提案, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.70, IV-085, p169-170, 2015 年 9 月
- 25) Akiyama, Y., Takada, T. and Shibasaki, R., 2013, "Development of Micropopulation Census through Disaggregation of National Population Census", CUPUM2013 conference papers, 110.
- 26) 交通工学研究会 (編): やさしい非集計分析, 交通工学研究会, 1993 年
- 27) 土木学会土木計画学研究委員会 (編): 非集計行動モデルの理論と実際, 土木学会, 1995 年

(2016. . 受付)

PROPOSAL OF BUS-STOP-BASED DEMAND ESTIMATION METHOD CONSIDERING THE BUS STOP ACCESS DISTANCE AND POPULATION DISTRIBUTION AROUND BUS STOPS

Hiroaki TANAKA, Akira ENDO and Yuki AKIYAMA

Current practice of bus demand prediction has been plagued with low accuracy problems. For example, the commonly used 4-step estimation method has its weakness in low spatial resolution compared with the distances between bus lines and bus stops.

This study firstly aims at improving statistical accuracy in estimating modal choice models by incorporation of the bus stop access distance variable, which is enabled in turn by utilizing a well-devised questionnaire for a travel behavior survey so that the distance from the residence of a sample household to the nearest bus stop can be measured accurately.

Secondly, bus demand is estimated for each bus stop by multiplying modal share of bus in each distance zone from the bus stop, which is derived from the estimated modal choice model, with the population distributed in that zone, and summing them up.

Finally, the bus demand for each bus stop is compared with the actual figure obtained from bus IC card data. This comparison has shown good fittings at bus stops along the main bus route where main destination is the train station at the end of the bus route and there are few competitive parallel train or bus lines.

In conclusion, the method proposed in this study is proved to have high prospects for improving accuracy of bus demand prediction.