

# 利用圏域の見直しによる バス停単位需要推計手法の精度向上

渡邊 敬士<sup>1</sup>, 遠藤 玲<sup>2</sup>, 渡会 雄也<sup>3</sup>, 鷲津 宏明<sup>4</sup>, 田中 寛朗<sup>5</sup>, 秋山 祐樹<sup>6</sup>

<sup>1</sup>学生非会員 芝浦工業大学 工学部土木工学科 (〒135-0046 東京都江東区豊洲 3-7-5)

Email:ah14090@shibaura-it.ac.jp

<sup>2</sup>フェロー会員 芝浦工業大学教授 工学部土木工学科 (〒135-0046 東京都江東区豊洲 3-7-5)

Email:a-endo@sic.shibaura-it.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 柏市役所 (〒277-0005 千葉県柏市 5-10-1)

<sup>4</sup>学生会員 芝浦工業大学大学院 理工学研究科 建設工学専攻

<sup>5</sup>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 5-33-1)

<sup>6</sup>正会員 東京大学助教 空間情報科学研究センター (〒227-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5)

従来のバス需要推計手法では、交通調査にとって正確な LOS を得ることが困難であることや、バス停の間隔に対してゾーン間隔が大きすぎることが正確な需要推計の妨げになっていた。田中ら<sup>1)</sup>の研究ではこれらの問題に対し、研究対象地域に住宅からバス停までの距離を正確に把握する工夫をした上で独自の交通調査を行い、GIS 上でバス停毎にアクセス時間の圏域を設定して需要推計を行うことで精度の向上に取り組んだ。さらに渡会ら<sup>5)</sup>の研究では田中らの研究をベースに新たに時間圏域という概念を導入することで圏域の設定を見直した。

本研究は田中、渡会らの継続研究であり、モデルを見直した。そして、通勤目的では「費用」が有意に働かないという仮説を立て、効用関数から「費用」を除いたモデルを推定し、実際に需要推計を行って精度を検証した。

**Key Words:** bus demand estimation, commuting, GIS, time of accessing to bus stop

## 1. 背景・目的

近年、国内の都市において、中心市街地の空洞化や市街地の郊外化が問題となっており、対策として集約型都市構造の実現が求められている。この都市構造を実現するためには、公共交通サービスの改善が必須である。特にこの問題が顕著である地方都市では、地域住民の主要な交通手段として、路線バスが使用されている場合が多い。しかし、公共交通サービスの改善を行う上で根拠となる現在の需要予測手法は、交通調査の空間的解像度が低く、路線バスの実態に見合っていないといった課題があり、精度が不十分である。

先行研究である田中ら<sup>1)</sup>の研究では、従来の需要予測手法の前述した課題に対し、客観的にアクセス距離を把握できるようにした調査票の配布、アクセス距離を変数として組み込んだモデルの推定、GIS を用いた空間人口分布を考慮したバス停圏域の作成といった手法をとることで、バス需要予測手法の精

度向上を図った。また、この際に作成したバス停圏域は各バス停から 80m 毎に、1200m まで圏域を作成したものであった。だが、田中ら<sup>1)</sup>の圏域設定では、バスの進行方向にあるバス停や、運行頻度の多いバス停の利用圏域が広がることが考慮されていないため、正確な需要予測は行えていない。

昨年度、渡会ら<sup>5)</sup>の研究ではバス乗車時間とバス停アクセス時間の合計値を算出し、更にバスの運行頻度をバス停での待ち時間として考慮することで、圏域の作成を行った。さらに、路線バスの需要予測の高精度化を図る事を目的として、徒歩と自転車の効用関数に「鉄道駅までの距離」を組み込んだモデルを用いて実際に需要予測を行った。しかし、「乗車時間・所要時間」と「費用」との間に高い相関が確認され、モデルの信頼性に不安が残った。そこで本研究ではモデルの説明変数を見直して推定を行い、昨年度の需要予測結果との比較を行った。

## 2. 研究概要

### (1) 研究対象地域

本研究の対象地域は、さいたま市大宮区と見沼区の一部における、大宮駅東口を発着場所とするバス路線沿線地域とする。選定理由として、対象地域では東西方向の鉄道が未発達であり、鉄道利用時の大宮駅までの端末交通手段として路線バスや自転車が多く利用されているため、路線バスを含む交通手段選択モデルの作成に適していると考えられるためである。

### (2) 対象とする移動

対象とする移動は自宅を発地とする通勤目的の移動とする。

### (3) 対象とするバス停

対象とするバス停は、平日通勤時間帯である午前 7~9 時台において利用できるバス停のうち、十分な運行本数のある東町一丁目~野田宝永間の本線区間(①)にあるバス停とする。また、本線の圏域を抑えるため、東新井団地~大宮駅東口間(②)、導守~大宮駅東口間(③)、大谷県営住宅~大宮駅東口間(④)、中川循環(⑤)、大宮駅近くの循環路線(⑥)を加えた計 6 線を検討対象とする。



図-1 対象とするバス停

## 3. 研究手順

田中ら<sup>1)</sup>の研究で需要予測に使用した圏域設定は、バス利用者の徒歩速度を毎分 80m と仮定し、各バス停から 80m 毎に、1200m まで圏域を作成したものであった。だが、この圏域設定では進行方向にあるバス停の圏域が広がる現象を考慮できず、バス停単位での正確な予測には不十分である。

そこで、渡会ら<sup>5)</sup>の研究では国際興業株式会社様より提供して頂いた、バス IC カード利用者の実績データを用いることで、大宮駅から各バス停間の乗車時間を算出し、バス乗車時間とバス停アクセス時間の合計が等しくなる位置で圏域の境界を作成することで、バス停圏域設定の改善を行った。具体的には、まず前述の IC 実績データより大宮駅東口を着地とする 7~9 時台の乗車データを抽出し、エクセルを用

いて、各バス停毎に大宮駅東口までの乗車時間の平均を算出する。次に、国際興業バスのホームページ上の時刻表より、7 時台の 1 時間当たりの運行本数を調べ、式 1 によって各バス停でのバス待ち時間を求めた。

$$L = \frac{60}{2N} \dots (式 1)$$

L : 待ち時間(秒)

N : 7 時台 1 時間当たりの運行本数(本)

しかし、実際には運行本数が極端に少ないバス停において、何十分もバスを待つといった事は想定しがたいため、バス停での待ち時間を最大 3 分と仮定した。

ここで、先ほど求めた各バス停毎の大宮駅東口までのバス乗車時間と待ち時間を足し合わせることで、運行頻度を考慮したバス乗車時間を算出することができる。更に、このデータを GIS 上のバス停の座標データと結合することで、バスの運行頻度を考慮した、バス停までの到達圏解析が可能となる。実際に GIS 上で表示されるバス停圏域を以下に示す。図-2 が田中ら<sup>1)</sup>のもの、図-3 が渡会ら<sup>5)</sup>の研究で作成された圏域である。

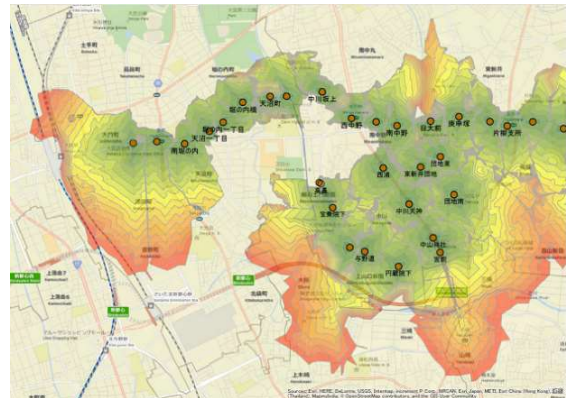


図-2 田中ら<sup>1)</sup>の圏域設定

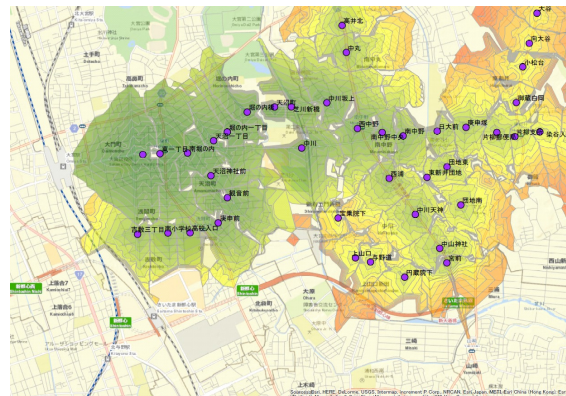


図-3 渡会ら<sup>5)</sup>の研究の圏域設定

また、渡会ら<sup>5)</sup>の研究での最大圏域は、昨年度のアンケート結果を用いたバス停アクセス時間とバス選択確率の感度分析よりバス停から 720m としている。

### 4. 新たなモデルの推定と需要予測結果

昨年度、渡会<sup>5)</sup>が行った需要予測では田中<sup>1)</sup>が推定したバス停アクセス時間と鉄道駅までの距離を変数に組み込んだ端末交通手段選択 MNL モデルを使用した。用いたモデルや効用関数は以下のとおりである。

表-1 使用モデル

パラメータ	t値	判定
乗車時間・所要時間	-0.124	-2.120 *
費用	-1.091	-2.135 *
バス停アクセス時間	-0.232	-2.915 **
鉄道駅までの距離	-1.169	-4.117 **
サンプル数		68
初期尤度		-71.972
最終尤度		-38.162
決定係数		0.470
修正済み決定係数		0.414

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

$$V_{bike} = d(\text{所要時間}_{bike}) + f(\text{費用}_{bike}) + h(\text{鉄道駅までの距離}_{bike})$$

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

$$V_{walk} = d(\text{所要時間}_{walk}) + h(\text{鉄道駅までの距離}_{walk})$$

需要予測には秋山<sup>3)</sup>が作成したマイクロ人口統計データを用いてバス停毎・圏域毎で人口を算出し、集計・加工することで需要予測値を求めた。また、需要予測結果の精度確認には、バス IC データを加工し、実績値とすることで、予測結果との比較を行った。その結果を図-4 に示す。

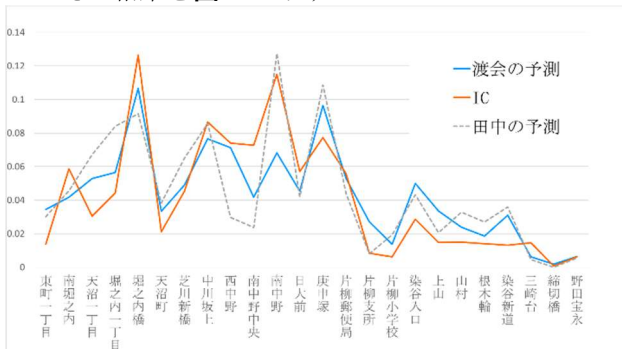


図-4 本線区間の需要予測結果

本線区間全体では実績値の 1.04 倍の過大推計となり、田中<sup>1)</sup>の 1.07 倍よりわずかに改善された。

さらに、本線区間においてバス停毎の乗車人数の平均二乗誤差(RMSE)を算出したところ、田中<sup>1)</sup>の手法では 27.5(人)であったのに対し、昨年度の手法では 21.67(人)と 5.83(人)の改善が見られた。

しかし、このモデルでは「乗車時間・所要時間」と「費用」との間に相関係数 0.7 以上の高い相関が確認された。

ここで、通勤目的の移動では、ほとんどの利用者が定期券利用である為、「費用」が有意に働かないという仮説を立てた。

そこで本研究では、「費用」を除いた端末交通手段選択 MNL モデルを新たに推定し、再度需要予測値を算出することにした。新たなモデルの効用関数は以下のとおりである。

表-2 新たなモデル

パラメータ	t値	判定
乗車時間・所要時間	-0.035	-0.917
バス停アクセス時間	-0.171	-1.764 *
鉄道駅までの距離	-1.851	-3.745 **
定数項(バス)	-2.719	-2.355 **
定数項(原付・二輪車)	-3.417	-2.445 **
サンプル数		68
初期尤度		-71.972
最終尤度		-36.763
決定係数		0.489
修正済み決定係数		0.420

$$V_{bus} = d(\text{所要時間}_{bus}) + g(\text{物理アクセス時間}_{bus}) + b_{bus}$$

$$V_{bike} = d(\text{所要時間}_{bike}) + h(\text{鉄道駅までの距離}_{bike})$$

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

$$V_{walk} = d(\text{所要時間}_{walk}) + h(\text{鉄道駅までの距離}_{walk})$$

各パラメータの t 値は「乗車時間・所要時間」以外は負に有意となった。また、「費用」を除いたことによる影響を考慮する為に、バスおよび原付・二輪車の効用関数に定数項を追加した。

この新たなモデルを用いて昨年度と同様に需要予測を行った。その結果を図-5 に示す。

本線区間全体では実績値の 1.03 倍の過大推計となったが、昨年度の需要予測結果よりわずかに改善された。一方、バス停毎の乗車人数の平均二乗誤差(RMSE)を算出したところ、24.4(人)となり、昨年度の 21.67(人)より精度が低下した。しかしながら、田中<sup>1)</sup>の需要予測結果と比較すると本線区間全体での需要予測結果およびバス停毎の乗車人数の平均二乗誤差(RMSE)はともに改善された。

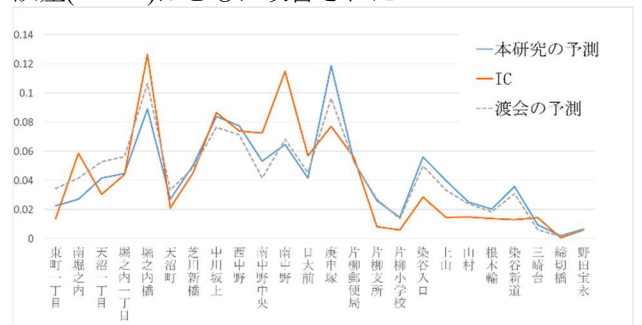


図-5 新たなモデルの本線区間の需要予測結果

### 5. 考察

本研究では各効用関数から「費用」を除いた新たな端末交通手段選択 MNL モデルを推定し、昨年度作成した時間圏域を用いてバス停毎に需要予測を行った。その結果、昨年度の需要予測結果と比較して、バス停毎の乗車人数の平均二乗誤差(RMSE)は大きくなったが、本線区間全体の需要予測値では、ほぼ同じ精度が認められた。

これにより、通勤目的の移動では「費用」を除いてもある程度の精度が確保されたモデルを推定できることがわかった。

本研究手法に残された課題として、対象バス停が折り返し地点である場合や、バス路線自体が湾曲し

ている場合、端点であるバス停の圏域の広がりを抑制できないといった問題が挙げられる。また、バスの運行頻度といった利便性や遅延などの信頼性が考慮されていないことも課題として挙げられる。

今後はこうした課題を解決する為に、本研究手法の特徴である圏域設定に、勾配や歩道の有無等の要因を組み込むこと、圏域の広がりを抑制するためにバス停からの物理アクセス時間を一次ではなく高次の関数としたモデルの推定が考えられる。さらに、本研究で新たに推定したモデルをベースに、バスの利便性や信頼性に関する説明変数を加えたモデルを検討していきたい。

## 謝辞

本研究は芝浦工業大学と国際興業株式会社との産学連携研究及び、一部の著者らと東京大学 CSIS との共同研究(No.661)として実施した成果です。国際興業株式会社様にはバス IC データを提供していただき深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 田中寛朗・遠藤玲・秋山祐樹: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, 土木計画学研究講演集, vol.53, 2016年
- 2) 腰塚武志:時間圏域の面積について, 日本 OR 学会 秋季アブストラクト集, pp.176-177, 1985年
- 3) Akiyama, Y., Takada, T., and Shibasaki, R.: Development of Micropopulation Census through Disaggregation of National Population Census, CUPUM2013 conference papers, 110.
- 4) 鷺津宏明・遠藤玲・田中寛朗・秋山祐樹:空間人口分布を考慮した私事目的バス停単位需要推計手法の提案, 第 36 回 交通工学研究発表会論文集, No.84, pp.543-550, 2016年
- 5) 渡会雄也・遠藤玲・鷺津宏明・田中寛朗・秋山祐樹:利用圏域の見直しによるバス停単位需要推計手法の精度向上, 公益社団法人土木学会関東支部, 第 44 回関東支部技術研究発表会, 2017年