

バス需要予測精度向上のための バス停単位推計手法の開発

鷲津 宏明¹・田中 寛朗²・遠藤 玲³・秋山 祐樹⁴

¹学生会員 芝浦工業大学大学院 建設工学専攻 (〒135-8458東京都江東区豊洲3-7-5)
E-mail:mel16116@shibaura-it.ac.jp

²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

³フェロー会員 芝浦工業大学 (〒135-8458東京都江東区豊洲3-7-5)
E-mail:a-endo@shibaura-it.ac.jp

⁴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

パーソントリップ調査 (PT調査) などの交通調査においては、空間的解像度が低いなど、多くの課題があるため、バス需要の正確な予測を行うことが困難である。そこで、本研究では従来のPT調査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わかるように工夫した上で、交通実態調査を実施する。その結果を用いることで、目的地までの代表交通手段選択モデルを推定した。その結果、バス停アクセス時間を変数に組み込んだ有意なモデルを推定できた。その後、PT調査データや、国勢調査と住宅地図から作成されたマイクロ人口統計データを用いてバス停単位の自宅-私事目的需要予測を行った。需要予測では競合路線の少ない地域では概ね真値に近い値を得られた。このように、住宅からバス停までの距離が正確に把握できるように調査方法を工夫することで、バス需要予測の精度向上が実現でき、PT調査の更なる活用が期待される結果が得られた。

Key Words : *Bus demand estimation, Distance to bus stop, Micropopulation census, Modal choice model, Private trip*

1. 背景・目的

現在の路線バス需要予測手法では、パーソントリップ調査 (以下、PT調査) などの交通実態調査データに基づき、モデルを推定し他の交通手段と一体的に予測する手法や、バス停圏域人口から予測する手法がとられているが、前者では空間的解像度が低く代替手段のLOSを調査できない、後者では交通手段選択などの複雑な事象に対応できないという問題があり、どちらも予測精度が低く有効に活用されていない。そのため、バスサービスの改善を求める市民・行政側に対し、経営リスクを心配するバス事業者間での合意形成が進まず、バスサービスの改善が進まないといった問題が起きている。このような問題を回避するためには、バス路線の新設・再編に当たって明確な根拠となる需要予測の実現が求められる。

また、都市交通計画を行う上で重要な役割を果たしてきたPT調査においては、調査手法はほぼ確立されたが、未だ多くの課題が指摘されている。こうした問題に対し

現在の各都市では調査票の改良などが見られるが、調査項目の増加や、それに伴う調査対象者への負担、調査費用の増加が懸念されている。¹⁾

行政に対してアンケートを実施し、PT調査の問題点や改善策、それらへの認識を調査した遠藤・座間らの研究²⁾では、既存のゾーン単位の集計による空間的解像度の低さや、公共交通機関までのアクセス距離の不正確さに対する問題への認識が高く、これらを解決することができれば、予測精度が向上すると期待されている。

また、交通需要予測の課題と次世代手法の構築についてまとめた北村の論文³⁾では、交通需要予測がゾーン・システムに基づいていることへの批判については、当時の技術的条件では土地利用や、ネットワークの情報をゾーン単位で扱うことが避けられないとされ、地理情報システムの発展への期待が述べられている。

そこで、本研究では、従来のパーソントリップ調査を参考に独自で作成した交通実態調査を最寄りのバス停及び、そこまでの実距離がわかるように工夫をした上で配

布を行い、バス停までの実距離を変数に組み込んだモデルを推定する。その後、人口空間分布データ（マイクロ人口統計データ）を用いた、バス停単位での需要予測を行うことで、需要予測の精度向上を目指す。需要予測精度の向上が確認されたならば、本手法を用いることで、回答者の負担を増加させることなくPT調査の有用性の向上を図ることが可能となると言える。

2. 研究対象概要

(1) 研究対象地域

対象地域は、さいたま市大宮区と見沼区の一部に当たる、大宮駅東口を発着するバス路線沿線地域を対象とする。選定理由としては、東西方向の鉄道網が未発達なさいたま市では、駅までのアクセス交通手段としてバスや自転車が多く利用されており、バスを含んだ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

本研究では、買い物や通院などを含む私事移動のうち、平日の自宅を出発地とする移動について分析を行う。平日の移動に着目する理由は、休日では特別な移動が発生しやすく、こうした移動は予測が複雑になりやすく推計が困難であること、またバス移動のサンプルが集まりにくいと考えたためである。

また、昨年度の研究結果より、私事目的のバス利用者の多くは自宅発の移動にバスを用いる傾向が特に強かったことから、自宅発の移動に着目することで、十分に推計可能であると考えた。

3. 研究手法

(1) 交通実態調査の実施

調査票は、世帯票と通勤通学目的・私事目的の個人票をそれぞれ用意した。世帯票には各世帯人数、年齢、職業、普段利用可能な交通手段などの個人属性の他に、最寄りのバス停、よく利用するバス停、バス停までの所要時間の間を設けた。

私事目的について調査する個人票は両面一枚となっており、表面では平日の一日に行った全ての移動について、裏面ではバスが利用可能な目的地までの平日の日常的な移動について、移動目的地・利用交通手段・経路等を調査した。

配布時には対象地域にて事前にGISを用いて、図1のように最寄りのバス停、最寄りバス停までのアクセス距離80m圏域毎に色分けを行った。その後、事前に調査した

最寄りバス停、バス停までの距離圏別に交通実態調査をポスティングにて行った。

回収は概ね2週間程度の期限を設け、配布時に同封した返信用封筒を用いて郵送にて行った。また、このとき返信用封筒にも、最寄りのバス停と距離圏が判別可能な記号をつけておくことで、回収した際に最寄りバス停とバス停からの距離圏を正確に把握出来る様にした。

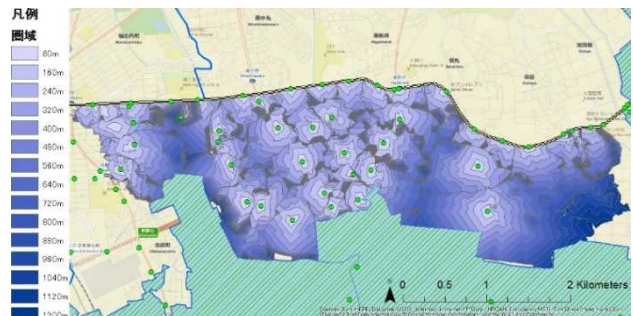


図-1 配布対象地域と距離圏別の配布場所

(2) モデル推定

交通実態調査から得られた回答の集計、分析を行う。パラメータの推定には最尤法を用い、解析には統計解析ソフトR（アール）を使用してMNLモデルを推定する。

従来の手法では、PT調査からバス利用者のアクセス時間を算出していたが、こうした手法では、バス非利用者のアクセス時間のLOSが構築できない。そのため本研究では、作成した世帯票に最寄りバス停と、利用するバス停までの所要時間それぞれを問う設問を追加することで、従来手法において、バス利用者だけでなく、バス非利用者においてもこれの回答値を用いることで、バス停アクセス時間をモデルに組み込めるように工夫している。

モデル推定には回答者にバス停までの所要時間を問い、その回答値を変数として用いた結果と、GISを用いて事前に測定したバス停までの実距離をそれぞれ変数に組み込んだモデルを推定しそれらと比較することで、本手法の有用性を検討する。

(3) 需要推計

事前にGISを用いて測定した実距離を変数に組み込んだモデルを利用して、目的地を大宮駅および大宮駅周辺とする移動について需要推計を行う。需要推計には、秋山祐樹らが開発したマイクロ人口統計データ⁴⁾を用いてバス停、バス停圏域別に人口を算出し、これにPT調査から求めた年齢階層別・私事目的発生量と、交通実態調査から得た、バスが利用可能な割合、目的地までバスが利用可能な割合を掛けることで、移動の発生量を算出した。続いて、得られた発生量に移動の頻度の確率と、モデル式から求めた、バス停・バス停までの距離圏別のバス選択確率を掛けることで、平日5日間でのバス需要推計を行う。

(4) 精度検証

先に求めた需要推計値の精度検証には国際興業株式会社のバスICカードデータを用いる。バスICカードデータをもとに大宮駅東口停留所を着地とするOD表を作成し、これにPT調査から求めた発着時間帯別私事目的発生割合と、バスICカードの非利用割合を掛け合わせることで、私事目的の乗車客数を算出した。これと先の需要推定値を比較することで本手法の精度検証を行う。

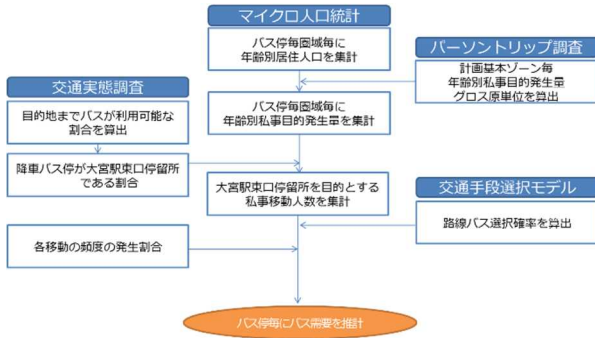


図-2 バス停別バス需要推計フローチャート図

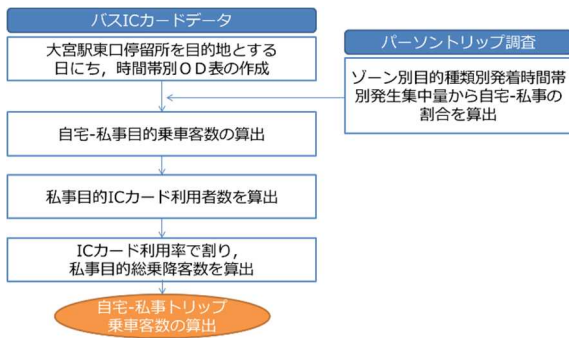


図-3 バスICカードデータを用いた乗車客数の算出方法フローチャート図

(2) 基礎分析結果

バス利用者の利用傾向とバス停アクセス距離がバス選択に与える影響について分析を行った結果、バス利用者の利用傾向としては主に高齢者の方が、バス利用率は高い傾向にある。また、過去2年間分の結果からバス利用者は自宅を出発地点としているケースが約9割を占めており、目的地が複数であるときも同様の傾向が得られた。

図4に示すバス停アクセス距離と交通手段選択の関係からは、320mまではバス利用者は増加傾向にあるが、それ以降は利用割合が減少するという傾向が見られた。しかし、480m以降の圏域ではサンプル数が少なく特異な例である可能性も存在する。

一方で、図5に示すバス停距離と目的地までの所要時間の関係の図では、バス停アクセス距離に近い80m、160mの圏域では目的地までの距離に近い割合が高くなっている。そのため、図4のグラフのように80m・160mの圏域のバス利用者が320m圏域に比べ少なくなっていると考えられる。

これらの結果からバス停アクセス距離は目的地までの距離に次いで影響が強そうであることが確認できた。

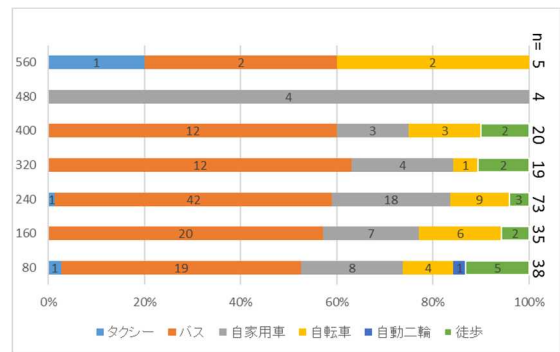


図-4 バス停距離と代表交通手段

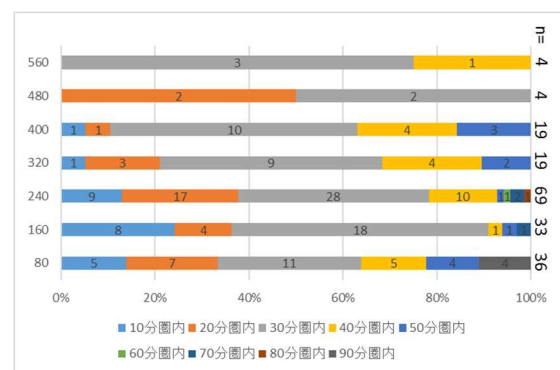


図-5 バス停距離と目的地までの所要時間

4. 回収結果と基礎分析

(1) 回収結果

回収の結果、配布部数3737部に対し198部の返送があった。回収率は約5.3%、私事移動の有効回答トリップ数は194トリップとなった。

また、東京都市圏PT調査における同ゾーンでの私事目的年齢割合と実施した交通実態調査の結果を比較すると、回答者属性ではPT調査・私事移動での発生量と比べ、若年層の回答が少なく、高齢者の回答割合が高くなっているが、データに過度な偏りは見られなかった。

表-1 圏域別 配布部数

80m	160m	240m	320m	400m	480m	560m	640m	
525	892	977	665	289	250	90	16	
720m	800m	880m	960m	1040m	1120m	1200m	合計	
6	2	6	7	5	4	3	3737	

(3) 実距離と認識時間の分析結果

GISを用いて測定したバス停までの実距離を時間に換算した値と回答者が世帯票に記入した認識時間についてバス利用者而非利用者のそれぞれで分析を行った。以下の図6, 7にそれぞれ結果を示す。

この結果、バス利用者、非利用者ともに2分圏域までは正確に認識をしている回答が多いが、3分以上の圏域になるとどちらも認識が大きくずれることが確認できた。バス非利用者はこれまで指摘されてきたように、きりの良い値である5分圏域に集中している。バス利用者でも同様の現象は確認されたが、その影響はバス非利用者ほど顕著ではないが、実際の距離と比べ7分以上と大きくずれた認識をしている回答割合が増加している。

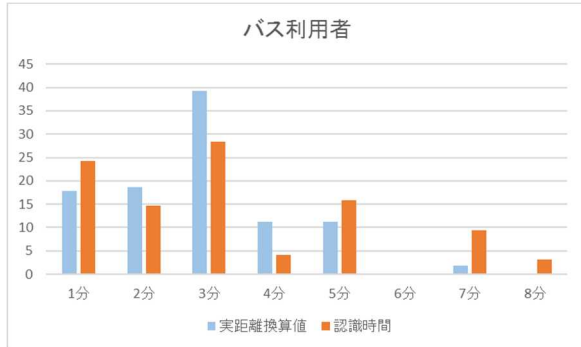


図-6 バス利用者の認識所要時間と実距離換算値

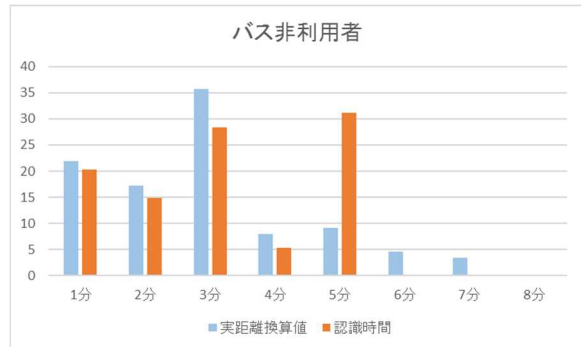


図-7 バス非利用者の認識所要時間と実距離換算値

5. モデル推定結果

(1) 効用関数

MNLモデル推定には式(1)を用いて推定を行った。用いた効用関数は式(2)に示す。十分な回答サンプルが集まらなかった自動二輪・タクシーを除いた自家用車・バス・自転車・徒歩の4種類を対象とし、バスにのみバス停アクセス時間を変数として追加している。なお、バスの所要時間は全体の所要時間からアクセス時間を除いた乗車時間とイグレス時間の合計で計算している。

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

$i \in j = \{1, 2, 3, 4\}$ δ_j : 利用可能性 (1, 0)

- 自家用車 $V_1 = d_1(\text{所要時間}_{car}) + f_1(\text{費用}_{car}) + b_1$
 - バス $V_2 = d_1(\text{所要時間}_{bus}) + f_1(\text{費用}_{bus}) + g_1(\text{バス停アクセス時間})$
 - 自転車 $V_3 = d_1(\text{所要時間}_{bike}) + f_1(\text{費用}_{bike}) + b_3$
 - 徒歩 $V_4 = d_1(\text{所要時間}_{walk})$
- (2)

(2) モデル推定

表2は本手法独自の、事前にGISを用いて測定した実距離を時間に換算してアクセス時間を求めた結果、表3は従来手法と同様に交通実態調査の回答値から求めた認識時間をバス停アクセス時間として用いた結果である。これら2つのモデル推定結果を比較すると、実距離から換算してバス停アクセス時間を求めた表2のモデルでは、バス停アクセス時間のt値は有意となり、モデル全体の決定係数はわずかに増加した。

これは先のアクセス距離と認識距離の分析結果からもわかるように、従来手法同様にアクセス時間に回答値をそのまま用いた場合、バス非利用者の場合は、値が丸められてしまい正確な値を得ることができていないことや、バス利用者であっても、実測値とは異なる回答を記入されるため、バス停アクセス時間に差が生じずらく、結果として有意にならなかったと考えられる。

表-2 モデル推定結果 (実距離換算値)

パラメータ	t値	判定
定数項(自家用車)	-1.0893398	-2.964489 **
定数項(自転車)	-1.7266546	-6.046852 **
バス停アクセス時間	-0.1007369	-2.026101 *
所要時間	-0.1676069	-7.456017 **
費用	-0.3589846	-4.493259 **
サンプル数		190
初期尤度		-234.691
最終尤度		-157.877
決定係数		0.327299
修正済決定係数		0.305995

表-3 モデル推定結果 (認識時間)

パラメータ	t値	判定
定数項(自家用車)	-0.4793384	-1.5434392 *
定数項(自転車)	-1.4062062	-5.2037963 **
認識時間	0.01967713	0.3008014
所要時間	-0.14297644	-7.4669852 **
費用	-0.38118568	-4.7868263 **
サンプル数		190
初期尤度		-234.691
最終尤度		-160.086
決定係数		0.317886
修正済決定係数		0.296582

(3) 感度分析結果

表2の結果を用いて、バス停アクセス時間による影響の分析を行った。図8は、対象地域のおよそ中間地点であり、特に回答割合の多い地域である東新井団地バス停でのバス選択確率とバス停アクセス時間の感度分析結果を示した結果である。この結果からもバス停アクセス時間がバス選択確率に影響を及ぼしており、特に0分から8分間が最も大きくバス選択確率へ影響を及ぼしていることがわかる。

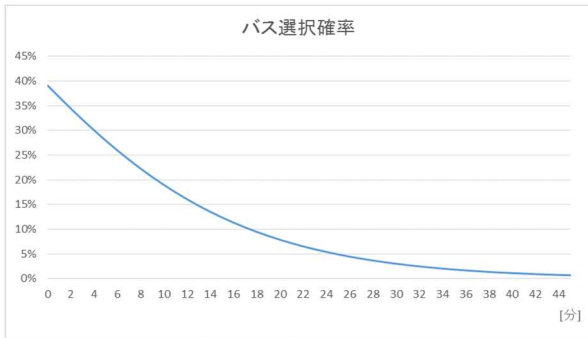


図-8 バス選択確率とバス停アクセス時間の関係

6. 需要推定値と精度検証結果

本研究では、平日の自宅を出発地とする大宮駅東口停留所を降車バス停とする移動についての需要推定と精度検証を行った。これは、私事移動の移動においては、大宮駅、および大宮駅周辺を目的としているケースが多かったためである。

発生量には国政調査と住宅地図から作成された、マイクロ人口統計データを、実績値にはバスICカードデータをそれぞれ独立に加工することで、需要推定と精度検証を行った。下図9に需要推定値と精度検証結果を示す。

精度検証の結果、目的地まで競合バス路線のない地域においては真値に近い値を得ることができた。しかし、本線と支線が混在する地域においては、本線では過小推計に、支線では過大推計となった。これは、支線沿線の住民が運行頻度の少ない支線ではなく、本線のバス路線を利用しているためと考えられる。

また、自治医大医療センターなどの大規模施設から発生するトリップが本手法では推計できず、予測精度を大きく落とす結果となったが、このような地域を除いた合計値では実績値を1とした時、推計値は1.02となり、わずか2%の誤差となった。

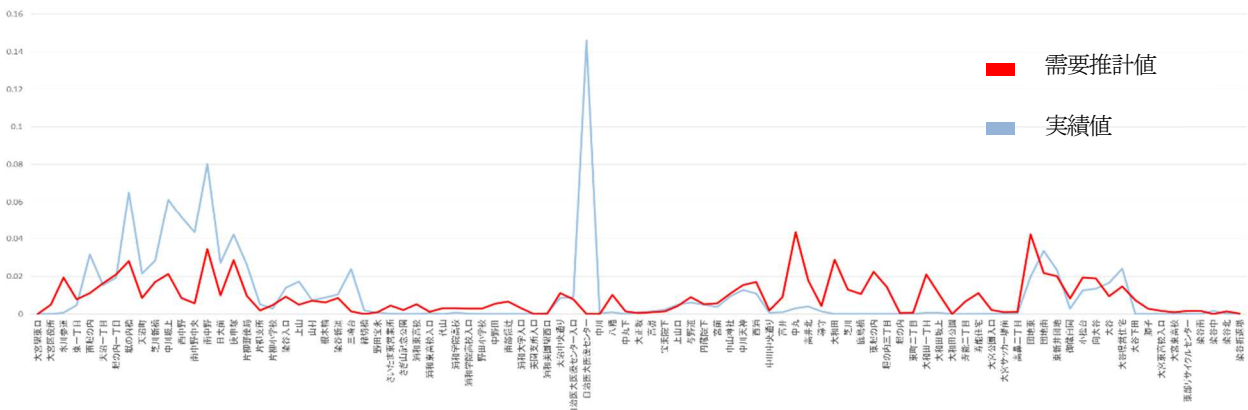


図-9 需要推定値と実績値

7. まとめと今後の課題

本研究では、事前にGISを用いて正確なバス停アクセス距離を把握し、これを時間に換算することでアクセス時間を算出した。その後、これを変数に組み込んだ交通手段選択モデルを推定し、人口空間分布を考慮したバス停単位での需要推計手法の検討を行った。その結果、競合路線がない地域においては十分な精度を得ることができ、モデルの変数に実際に測定した値を用いることで、予測精度は大きく上昇することが期待できる結果となった。しかし、複数の路線が存在する地域では未だ多くの課題がある。

今後は、モデルにバスの利便性やバス停選択などを組み込むことで、さらなる精度の向上に努めたい。また、今後は本研究の対象地域以外の地域で実施することで、本手法の有用性を検証していきたい。

謝辞：本研究は国際興業株式会社との産学連携研究及び、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。CSISの秋山祐樹様にはマイクロ人口統計データなどの提供をしていただき、本当にありがとうございました。さいたま市、及び大宮区・見沼区自治会連合会の皆さまには交通実態調査の配布にご協力を頂き、ありがとうございました。

参考文献

- 1) 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研究発表会講演概要集、vol42, IV-67, 2014年
- 2) 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 vol49, 2014年
- 3) 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 No.530/IV-30, pp17-30, 1996.1

- 4) Akiyama ,Y. , Takada ,T. , and Shibasaki ,R. : Development of Micropopulation Census through Disaggregation of National Population Census, CUPUM2013 conference papers, 110.
- 5) 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, vol70, IV-085, p169-170, 2015年9月
- 6) 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, 土木計画学研究講演集, vol.51, No.14, 2015年6月
- 7) 鷺津宏明, 田中寛朗, 遠藤玲: バス停アクセス距離を用いた私事目的交通手段選択モデルの推定, 土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, vol43, IV-12, 2016年
- 8) 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研究発表会講演概要集, vol42, IV-68, 2015年
- 9) 庄野隼人, 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研究発表会講演概要集, vol42, IV-68, 2015年
- 10) 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
- 11) 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
- 12) 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年?)

DEVELOPMENT OF A METHOD TO ESTIMATE AN BUS DEMAND BY BUS STOP
TO IMPROVE OF THE PRECISION OF BUS DEMAND PREDICTION

Hiroaki WASHIZU, Hiroaki TANAKA, Akira ENDO and Yuki AKIYAMA