

PT調査の空間解像度向上による 路面公共交通需要推計精度向上の提案

遠藤 玲¹・田中 寛朗²・鷺津 宏明³・秋山 祐樹⁴

¹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

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学生会員 芝浦工業大学大学院 建設工学専攻 (〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5)

E-mail:me16116@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

従来のPT調査では、バス・路面電車などの路面公共交通停留所からの距離は、路面公共交通利用者についてのみアクセス時間として得られる。このため、停留所までのアクセス時間が有意となる交通手段選択モデルの推定が難しい。また、ゾーンの大きさの問題などもあり地方都市において主要な公共交通機関である路面公共交通の需要予測にPT調査があまり使われないという課題がある。

これに対し、GISの発展と普及により、一方ではPT調査実査において居住地からバス停までの距離を計測できる可能性が現実のものとなっているとともに、住宅単位で人口属性を推計したデータが存在しそれを活用することで停留所距離圏ゾーン単位での非集計モデルの適用が可能である。また、バス停間OD表もICカードデータを集計することにより得ることができ、推計精度の検証も可能となっている。本報告では、PT調査の課題と対応策に関する地方公共団体に対するアンケート結果も参照しながら、このような可能性の実現性を検討した研究成果を報告し、PT調査の方向性について議論する際の選択肢を提供する。

Key Words : *person trip survey, surface public transport, distance from residence to bus stops, micro population census data, public transport IC card data*

1. 背景・目的

パーソントリップ調査(以下PT調査と略す)は都市圏の複雑で多様な交通実態の把握・予測に不可欠であり、総合都市交通計画の策定や施策の立案に大きな役割を果たしてきた。PT調査は1967年に広島都市圏で実施されて以来、半世紀近く継続的に実施されてきているが、その骨格は、幹線道路ネットワーク計画策定が政策課題であった調査創始当時のものとそれほど変わっていない。

これまでのPT調査の位置づけは長期的な都市構造との関わりで交通計画を行うための広域的な交通実態を把握するものとされており、通常10年程度の間隔で実施されていることから、個別具体的な課題への対応は別途調査で行うことが基本である。

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に集約型都市構造の実現が求められている今日、公共交通サービスの維持・充実を図ること

は非常に重要であり、その需要の正確な予測が求められる。

これまで、鉄軌道系の公共交通機関の需要予測は道路交通への負荷を予測するためある程度の精度で行われてきたが、バスや路面電車などの路面公共交通機関の需要予測はPT調査のゾーンの大きさとバス停や電停の誘致圏の大きさとの不整合により、あまり精度の高い予測が行われていたとは言えない。しかしながら、公共交通サービスの維持・充実のためには運行の採算性の議論を避けて通ることはできず、その議論に耐えうる精度の需要予測が必要である。特に、地方都市では路面公共交通機関が主要な公共交通機関となっているケースが多く、その必要性は非常に高いと言える。

これまで実務で採用されてきた四段階推計法におけるゾーン単位での集計により生じる問題については、古くは北村¹⁾が他の四段階推計法の課題とともに論じており、当時の地理情報システム(GIS)の普及状況や技術水

準を前提として将来的な課題として整理している。その後、ゾーンの細分化を試みた内山ら²⁾の研究が行われる一方、PT調査の実務においても町丁目程度までゾーンを細分化してデータを整備することが行われている⁷⁾。

しかしながら、町丁目単位でもその中心点とバス停や電停との距離がゾーンの平均的距離とかけはなれた需要予測にふさわしいものでない可能性が高いこと、また、統計解析により交通手段選択モデルの説明変数としてバス停や電停までの距離や所要時間が有意となる結果が得られにくいことが路面公共交通需要予測の課題として残されている。後者の原因としては交通実態調査では公共交通非利用者については公共交通施設までのアクセス時間が得られないこと、世帯表に設問を設けても公共交通非利用世帯からは値が丸められて回答され正確な回答が得られにくいことが挙げられる。

近年、GIS技術の普及やビッグデータの利用可能性の向上により、このような状況に変化がもたらされる可能性が生じてきている。

まず、住居からバス停や電停までの客観的距離の把握であるが、GISのアドレスマッチングとネットワーク解析により、個別の住居から最寄りのバス停や電停を探して道路に沿った距離を計測することが容易にできるようになっている。郵送方式のPT調査では、回答者の回答意欲をそがないように丁寧に説明することを前提に、GISで探索した最寄りのバス停や電停の名称とそこまでの平均的所要時間をあらかじめ調査票に記入して送付することが可能である。こうすることによって、公共交通非利用者の代替交通手段（公共交通）のLOSの変数としてバス停や電停までの所要時間の精度向上が期待できる。

また、バス停や電停までの所要時間が有意となった交通手段選択モデルにより需要推計をする場合に、町丁目やメッシュではなく、バス停や電停からの所要時間により区分したゾーンに基づき推計することが考えられ、このような圏域設定もGISを使うことによって容易に行うことができる。

その場合、そのような任意に設定されたゾーンにおける人口及び属性のデータをどのように入手するかという課題があるが、その答えとして、秋山ら³⁾が推計したマイクロ人口統計というデータがある。これはある意味では空間的ビッグデータとも呼びうるものであり、デジタル住宅地図の各建物に国勢調査の世帯と性別年齢階級別人口を割り振って推計したデータである。各建物ごとのデータの真値との適合度は低い、ゾーンで集計した場合はある程度の精度が保たれるものである。

最後に、このようにして推計したバス停や電停単位の需要を真値と比較検証する方法であるが、比較対象のデータとして、ビッグデータである公共交通ICカードデ

ータを活用することができれば検証が可能となる。

本稿では、上記の新たな可能性が実現可能かを探るために実施した研究について報告し、今後のPT調査の方向性について議論する際の選択肢を提供する。

2. 行政実務担当者のPT調査に関する認識

(1) 路面公共交通需要予測とゾーンの大きさ

本研究の関連研究である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筆者ら⁹⁾や市井ら⁷⁾の研究によると、PT調査データの空間的スケールの大きさを問題視している自治体が多数を占め、バスや路面電車のトリップに対応するために、独自にゾーンを細分化したり、バス停間OD表をバス会社の協力を得て入手し活用している自治体も存在している。一方で、ゾーンを単に細分化することはサンプル数の増大などによりコスト増につながるという指摘も見られた。

(2) 停留所までのアクセス距離の正確な把握

筆者ら⁹⁾の調査結果によると、調査票配布時に何らかの方法でアクセス時間や距離を正確に把握することができれば交通手段選択の推計精度向上に寄与するかという問いに対しては、8割が肯定的回答をしている。一方で、調査票で問を設け記入してもらった場合、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) 本研究への示唆

行政担当者の回答からは、単にゾーンを細分化するのではない手法で、PT調査のゾーンが大きすぎることへの対策をすること、また、停留所までのアクセス距離については、回答者に負担にならず、回答者の回答精度に影響を受けない客観的な方法が示唆される。

3. 研究概要

(1) 手法の概要

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。

(2) 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、建物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・私事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、通勤目的と私事移動目的それぞれのバス停間OD表を作成し、需要予測の精度比較に用いる。

(3) 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、本研究では通勤と私事移動を対象として分析を行った。

4. モデル推定

(1) モデルの概要

通勤については大宮駅までのアクセス交通手段選択に関する多項選択モデルの推定を、私事移動については大

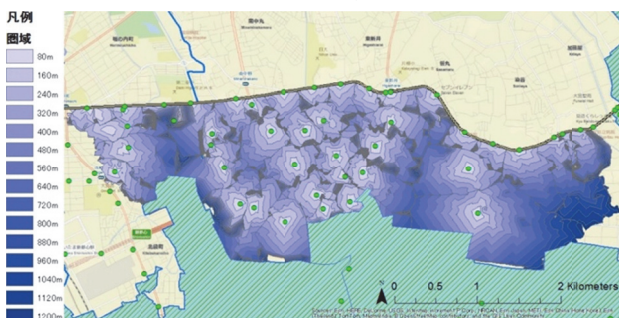


図-1 対象地域と設定したバス停圏域

宮駅及び周辺を目的地とする移動の交通手段選択に関する多項選択モデルの推定を行った。手段選択肢は通勤については路線バス、自転車、徒歩、原付・二輪車の4種、私事移動については自家用車、路線バス、自転車、徒歩とした。バス停アクセス時間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。

(2) 推定結果

通勤については、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。

私事移動については、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モデルを推定した結果(表-2)と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モデルを推定した結果(表-3)を比較した。実距離から換算してバス停アクセス時間を求めたモデルでは、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。

表-1 モデル推定結果(通勤)

	アクセス時間なし			アクセス時間あり		
	パラメータ	t値	判定	パラメータ	t値	判定
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

表-2 モデル推定結果(私事移動: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
修正済み決定係数			0.305995

表-3 モデル推定結果（私事移動：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

以上より、事前にGISを用いて測定した実距離から換算したアクセス時間を使用することで、アクセス時間が有意に働くモデル推定結果が得られることが確認できた。

5. 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。

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、通勤目的及び私事移動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、通勤目的及び私事移動目的のOD表を作成した。ゾーン毎に時間帯別の通勤目的及び私事移動目的の割合は、交通手段やバス停によらず一定であるという仮定の下、各OD表を作成した。目的別割合は、平成20年度PT調査の計画基本ゾーンの値を用いた。

最後に、この目的別人数はICカード利用者のみ的人数のため、ICカード利用率で割り、現金払いを含む乗車客数を算出した。

6. 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³⁾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及び私事移動の発生量を求めた。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）別目的別発生量を求めた。

続いて、手段選択モデルが対象とする移動に概念を合わせるため調整を行った。

通勤については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。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。

私事移動については、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をかけることで、手段選択前の平日5日間の移動人数を算出した。

これらに対してバス停からの距離圏別に手段選択確率をかけ合計することでバス停単位の需要推計を行った。

(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グラフを図-2、図-3に示す。なお、グラフの縦軸はバスICカードか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。

（通勤移動）

グラフから、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、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、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換えて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。

(私事移動)

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大宮駅に向かう帰りの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。

7. 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。

その結果、実距離を時間に換算したバス停アクセス時間を組み込んだモデルはバス停アクセス時間が有意に働くという結果が得られた。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

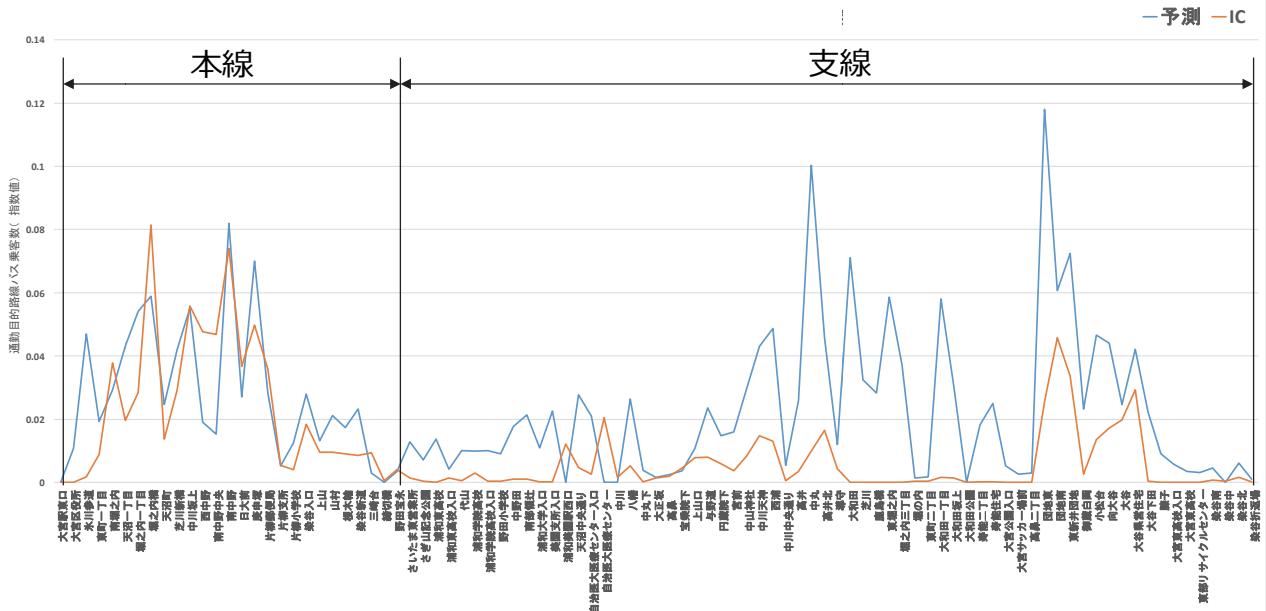


図-2 需要推計値と IC カードから得た乗客数の比較 (通勤移動)

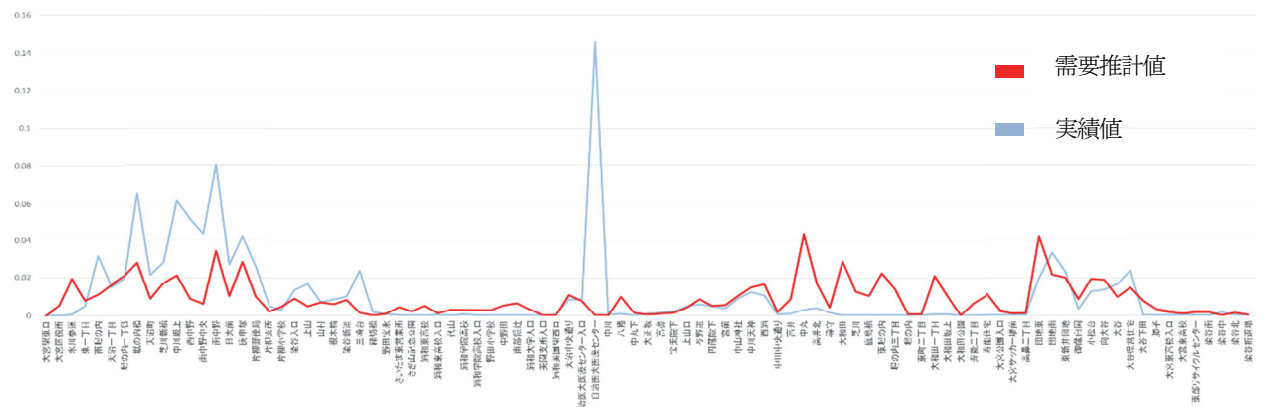


図-3 需要推計値と IC カードから得た乗客数の比較 (私事移動)

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自宅発年齢別目的別発生量を求め、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、バス停毎の目的別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目的別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が近い形を示したが、支線バス停では過大推計となった。

路線全体としては、通勤については主として他の駅に向かう他社路線との競合が考慮できていないため過大推計となった。私事移動については、自宅発の需要については概ね実態に近い推計値が得られた。ただし、バスICカードデータの乗車客数に時間帯別目的別発生割合をかけて計算した通勤と私事移動の大宮方面の乗車客数合計はその他の目的を含めた総乗車客数の半分程度であり、バス会社にとって重要な総乗車客数を精度よく求めるにはその他目的の乗車客数を推計する方法を検討する必要がある。

本研究で需要推計する際には、バスICカードのデータをコントロールトータルとして使うことなく全く別のデータから推計して検証しており、その結果、更に手法に改善を加えることによって実用化が期待できる程度の精度が得られたと評価できる。

当面の課題としては、バスの運行頻度などの利便性を変数として取り込むことやバス停の選択を扱うことが挙げられる。また、個人属性の影響を更に分析する必要がある。

今後の展開としては、他社路線のデータとの整合性検討、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、他地域での適用可能性の検証が考えられる。

本手法により、居住地側の空間的条件を詳細化して需要予測精度の向上を図る可能性が見えてきたと言えるが、本手法を本来の適用対象である地方都市における需要予測に適用するには、今回は交通実態調査の結果から求めた「目的地まで公共交通機関が利用可能であるトリップの比率」など目的地側の条件をいかに正確に把握できるかが問われてくる。PT調査の結果を従来のようなOD表としてまとめるだけではなく、目的地と手段選択の同時決定性を考慮した調査体系の構築が求められてくるのではないかと考えられる。この点は大きな課題である。

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) 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
- 2) 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, No4, 2000 年
- 3) Akiyama, Y., Takada, T. and Shibasaki, R., 2013, "Development of Micropopulation Census through Disaggregation of National Population Census", CUPUM2013 conference papers, 110.
- 4) 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
- 5) 遠藤玲, 高山純一：地方中核都市圏における公共交通利用促進のための都市交通調査・計画体系に関する一考察, 土木計画学研究講演集 vol.32, 2005 年 12 月
- 6) 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
- 7) 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, Vol.42, IV-67, 2015 年 3 月
- 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, Vol.42, IV-68, 2015 年 3 月
- 9) 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研究発表会講演概要集, Vol.42, IV-32, 2015 年 3 月
- 10) 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
- 11) 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
- 12) 土木学会：バスサービスハンドブック, 2006 年
- 13) 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
- 14) 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 ACCURACY IMPROVEMENT ON SURFACE PUBLIC
TRANSPORT DEMAND ESTIMATION BY ENHANCING SPATIAL
RESOLUTION OF PERSON TRIP SURVEY

Akira ENDO, Hiroaki TANAKA, Hiroaki WASHIZU and Yuki AKIYAMA