

# 交通系ICカードデータを用いた 路線バス需要予測

角野 惇<sup>1</sup>・猪井 博登<sup>2</sup>・土井 健司<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 大阪大学大学院 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: kadono.atsushi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 大阪大学大学院助教 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: inoi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 大阪大学大学院教授 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: doi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

本研究では、交通系ICカードのデータを用い、路線バスの需要予測を行った。ICカードのデータとして、登録者データ(住所)と履歴データを用いた。まず、ICカード登録者を「バス利用可能性が高い層」と捉え、バス停周辺に居住するICカード登録者数を予測した。次に、ICカード履歴データの件数からICカード生成原単位を算出し、ICカード登録者数と乗ずることで、バス停毎のICカード総利用回数を算出した。最後に、ICカード以外の利用を含めた全体の利用者数を予測し、実測値との比較を行った。この需要予測は登録者の居住地を基にした予測であるため、出発地側のバス停において比較的当てはまりの良い予測を行うことができた。

**Key Words :** bus demand forecasting, e-ticket data, public transportation, GIS

## 1. 序論

### (1) 本研究の背景

近年の日本の路線バス事業は厳しい状況にある。輸送人員については1970年度に約100億人を数えたが、その後はモータリゼーションの進展等の影響により減少が続き、2008年度には約43億人となった(約57%減少)<sup>1)</sup>。さらに、2010年度の路線バス事業(保有車両30両以上)の経常収支率は93.4%であり、70%以上の事業者が赤字経営となっている<sup>2)</sup>。しかし、乗車人員が減少している現在でも、路線バスは公共輸送サービスの一種として重要であり、事業を継続してゆく必要がある。よって、近年の路線バス事業では、輸送人員を向上させ、経営状況を改善することが求められている。輸送人員を向上させるための方法の一つとして、潜在需要を把握し、その需要に沿った路線経路やバス停位置、運行頻度を設定することが挙げられる。そこで、路線バスの潜在需要を把握する手法として、山田・竹内ら<sup>3)</sup>が提唱したポテンシャル理論を用いるものがある。ポテンシャル理論では、人口などの沿線条件から路線バスの潜在集客能力を計測する。本研究では、路線バスの需要予測の手法としてポテンシャル理論に着目する。

ポテンシャル理論に限らず、路線バスの需要予測を行う際には乗降者数等のデータが必要となる。このようなデータは、調査員がバスに乗車して記録を行うOD調査によって取得することが多い。しかし、OD調査は多くの人手や費用を必要とする大規模な調査のため、頻繁に行うことができない。

一方、近年各地の路線バス事業者において交通系ICカード(以降、ICカード)の普及が進んでいる。ICカードの導入により、乗降履歴などが蓄積されるため、OD調査を行うことなくデータを得ることができる。また、OD調査に限られた日に行われるのに対し、ICカードデータは日々蓄積されるため、ICカードデータを用いることでOD調査では把握できない細かな条件(天候など)を考慮した需要予測を行うことができると考えられる。さらに、利用者はICカード購入の際、紛失時の再発行などの便益を得るために、住所や年齢などの情報を登録することも多い。このような登録者の属性データ(以下、登録者データ)も路線バス需要予測に活用可能と考えられる。

また、1995年の阪神・淡路大震災以降、政府がGIS(地理情報システム)の導入を本格的に始め、総務省統計局や国土交通省国土政策局等がGISデータの整備を進めている。例えば、路線バスに関するデータとして、全国の

バス停位置や路線バスルート<sup>1)</sup>のGISデータが公開されている。これらのGISデータと前述のICカードデータを組み合わせて行う需要予測は、本研究で扱う地域以外にも応用できる可能性があると考えられる。

## (2) 本研究の目的

前述の通り、路線バスの潜在需要を把握するためにポテンシャル理論が用いられている。ポテンシャル理論は古くから用いられてきた手法であるが、そこにICカードデータという新たなデータを用いることによって、より当てはまりの良い予測を行うことができる可能性がある。具体的には、ICカード登録者をバス利用可能性が高い層(以下、バス利用可能層)と捉え、ポテンシャル理論においてバス停周辺の人口を計測した代わりに、バス停周辺のICカード登録者数を予測することで、バス利用可能層を把握できると考えられる。そこで本研究は、ポテンシャル理論の考え方を基に、ICカードデータを用いた路線バスの需要予測を行い、その結果について検証を行うことを目的とする。

## 2. 交通系ICカードデータを用いた路線バス需要予測の手法

本研究では、以下に示す(1)~(3)の流れで需要予測を行った(図-1)。

### (1) ICカード登録者数予測

まず、人口やバス停までの距離などの条件から「町丁目別ICカード登録者数」を予測する。次に、ポテンシャル理論と同様のバス停勢力圏(バス停周辺半径500mを基本とする)を設定し、「バス停別ICカード登録者数」を算出する。

本研究の予測では、町丁目別ICカード登録者数を目的変数として重回帰分析を行い、モデルを作成した。その後、GISソフト(QGIS)を用いてバス停勢力圏を設定し、バス停別ICカード登録者数を算出した。

### (2) ICカード総利用回数予測

この予測では、(1)において求めたバス停別ICカード登録者数に「登録者一人一日当たりのICカード利用回数(グロス生成原単位)」を乗じ、一日当たりの「バス停別ICカード総利用回数」を算出する。グロス生成原単位はICカード履歴データの件数(トリップ数)を登録者数で除することで求まる。

ここで、ポテンシャル理論の「バス停ポテンシャル」はバス停勢力圏人口に公共交通分担率と生成原単位を乗じたものであり、バス停別のバス総利用回数を表してい

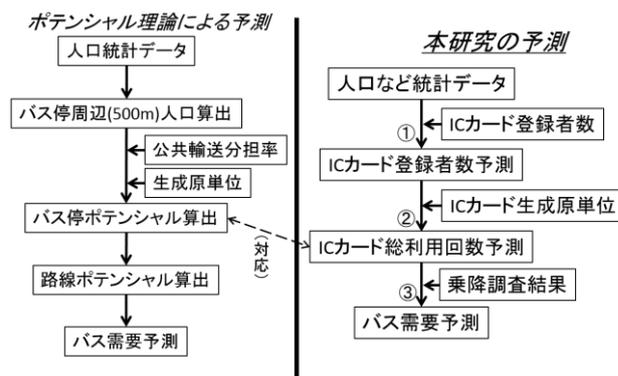


図-1 需要予測の流れ

ると言える。よって、「バス停別ICカード総利用回数」はポテンシャル理論における「バス停ポテンシャル」に相当するものであると考えることができる。

### (3) バス需要予測

この予測では、(2)において求めたバス停別ICカード総利用回数をICカード以外も含めた全利用者数に変換する。この予測を行うには、全利用者のうちICカード利用者が占める割合を把握する必要がある。例えば、全利用者数とICカード利用者数を計測する乗降調査が過去に行われていれば、その結果を用いることができる。そこで、本研究の予測では、ICカード利用者数(ICカード総利用回数)から全利用者数を予測する単回帰式を求め、バス停別ICカード総利用回数を代入することで、全利用者数を算出した。

## 3. ケーススタディの概要

本研究では、ケーススタディ地域として姫路市を設定した。本章では、その姫路市および姫路市内の路線バスについて概要を述べる。

### (1) 姫路市の概要

姫路市は兵庫県の南西部に位置する中核市である。人口は約53万人、面積は約530平方キロメートルであり、神戸市に次いで兵庫県下2番目の人口を抱える市である。姫路市は2006年に家島町、夢前町、香寺町、安富町の4町を編入し、現在の姫路市となった。主に姫路駅を中心とする合併前の旧姫路市エリアに市街地が広がっており、人口の約9割が集中している。

市内の公共交通の利用者数は年々減少している。2005年の公共交通利用者数は1990年に比べ約17%減少しており、バスに限れば約25%減少している<sup>4)</sup>。一方で、自家

用車保有台数は急激に増加しており、市街地を中心に各所で交通渋滞が発生している<sup>4)</sup>。

## (2) 姫路市内の路線バスとICカード「NicoPa」の概要

### a) 姫路市内の路線バス

姫路市内の路線バスについては、ほとんどの路線が姫路駅を起点としており、放射状の路線網が形成されている。多くの路線は姫路市内完結であるが、隣接する宍粟市、加西市方面へ向かう20km超の長距離路線も存在する。以前、市内の路線バスは公営の姫路市企業局交通事業部(姫路市営バス)と民間の神姫バスの2事業者が運行していた。当時、姫路市営バスは主に姫路駅以南のエリアを、神姫バスは主に姫路駅以北のエリアを担当していた。しかし、姫路市営バスについては2009年3月と2010年3月の2度に分けて神姫バスへ路線移譲を行い、バス事業から撤退した。よって、現在は一部のコミュニティバスを除き、全ての路線を神姫バスが運行している。

### b) ICカード「NicoPa」

神姫バスはプリペイド式ICカード「NicoPa(ニコパ)」を発行している。NicoPaは従来の紙式回数券・定期券の代替として、2006年1月に神姫バスの一部のエリア(三田市等)で先行導入された。その後、2006年10月には神姫バスの概ね全路線で利用可能となった。現在、姫路市内においては全ての神姫バス路線でNicoPaが利用可能である。しかし、NicoPaは原則として他交通機関では利用することができず、神姫バス専用のカードとなっている。

a)で述べたとおり、神姫バスは2010年度までに姫路市営バスの全路線を承継した。しかし、姫路市営バスではNicoPaを含め一切のICカードが導入されていなかったため、神姫バスへの路線移譲と同時にNicoPaが導入された



図-2 神姫バスエリア(北部)と旧姫路市営バスエリア(南部)

ことになる。つまり、旧姫路市営バスエリアはNicoPaの導入時期が神姫バスエリアに比べて3年前後遅れており、普及状況に差が出ると考えられる。そのため、需要予測の際には適宜神姫バスエリアと旧姫路市営バスエリアに分けて予測を行うこととする。なお本研究では以降、前者を「北部」、後者を「南部」と表記する。ただし、南西部の網干駅付近は旧来から神姫バスの路線が多いため、北部に含めた。

NicoPaは紙式回数券の代替であるため、割引制度が存在する。通常は、入金(チャージ)額の10%が特典(プレミア)として付与され、約9.1%の割引となる。さらに、平日昼間や土日祝に限って利用できる「徳用」と呼ばれる割引率の高い入金枠が別途用意されている。「徳用」は入金額の30%が特典として付与され、約23%の割引となる。これらの割引制度は回数券の割引率を継承しており、回数券は既に発売を終了している。その他、窓口で事前に購入することで、定期券としても使用することができる。以上のことから、NicoPaを購入し、利用する層の多くは紙式回数券・定期券を以前利用していた層であり、すなわちそれはバス利用可能層であると考えられる。

## (3) まとめ

姫路市は兵庫県下二番目の人口を抱える市であるが、市街地だけでなく、臨海部や人口の少ない山間部まで広がっている。よって、姫路市内での予測を行うことで市街地や山間部など様々な地域での予測を一度に行うことができる。また、市内を走る路線バスは一つの事業者に統一され、全ての地域で同じICカードが導入されている。よって、姫路市ではICカードを用いた需要予測を市内全域で比較的容易に行えると考えられる。さらに、NicoPaにサービス(割引制度等)が類似したICカードが各地で導入されていることから、他地域への適用も可能であると考えられる。以上のことから、本研究において姫路市とICカード「NicoPa」をケーススタディとすることは適切であると言える。

## 4. 交通系ICカードデータを用いた路線バス需要予測の結果と考察

本章では、2.で提案した路線バス需要予測を姫路市内において行った結果を示す。なお、本章以降ではICカード「NicoPa」を単に「ICカード」と表記する。

### (1) ICカード登録者数予測

まず、町丁目別のICカード登録者数を予測するために重回帰分析を行い、予測式を作成した。目的変数は「町丁目別ICカード登録者数」、説明変数は「人口」、

「駅までの距離」，「高頻度バス停までの距離」，「中頻度または高頻度バス停までの距離」，「バス停までの距離(頻度条件なし)」とした。重回帰分析はステップワイズ法によって行い，有意な説明変数を選択した。ただし，バス停までの距離についての変数は二つ以上入らないように調整した。

なお，平日一日当たりの運行頻度によってバス停を分類しており，100回以上のバス停を「高頻度バス停」，10回以上100回未満のバス停を「中頻度バス停」，10回未満のバス停を「低頻度バス停」とした。本研究で使用するICカード登録者データは郵便番号区別(例：「〒670-xxxx 姫路市A町」)であるが，町丁目別人口は基本的に郵便番号区より区域が細かくなっている(例：「姫路市A町X丁目」)。そのため，郵便番号区と町丁目が一致しない場合は人口比によってICカード登録者数を町丁目別に割り振ることとした。人口データは総務省統計局ホームページ<sup>9)</sup>にて公開されているGIS用データを用いた。バス停・駅のデータは国土交通省国土政策局国土情報課のGISホームページ<sup>10)</sup>にて公開されているデータを用いた。また，駅やバス停までの距離は，町丁目の重心位置からの最短直線距離をQGISにて算出した。さらに，離島の家島地区と人口が0人の町丁目を分析対象から外した上で，各町丁目を「北部」と「南部」に分類し，それぞれにおいて予測を行った。

表-1 町丁目別ICカード登録者数を目的変数とする重回帰分析(北部)

説明変数	係数	t値	有意確率
(定数)	12.153	3.035	0.003
人口	0.124	33.653	0.000
高頻度バス停までの距離	-0.017	-14.841	0.000
駅までの距離	0.015	10.380	0.000
決定係数	0.696		
自由度調整済決定係数	0.694		

表-2 町丁目別ICカード登録者数を目的変数とする重回帰分析(南部)

説明変数	係数	t値	有意確率
(定数)	0.831	0.249	0.804
人口	0.052	42.521	0.000
高頻度バス停までの距離	-0.004	-6.206	0.000
駅までの距離	0.017	6.177	0.000
決定係数	0.868		
自由度調整済決定係数	0.867		

次に，重回帰分析によって作成された予測式を用いて，町丁目別のICカード登録者数予測値を求めた。さらに，バス停周辺半径500mのバス停勢力圏を設定し，バス停別のICカード登録者数予測値を求めた。ただし，バス停勢力圏が周辺バス停の勢力圏と重複するのを避けるためにボロノイ分割を行い，各バス停の最近隣領域と半径500mの円の共通部分をそのバス停のバス停勢力圏とした。また，町丁目別ICカード登録者は各町丁目内に均等に居住していると仮定し，面積按分によって各バス停勢力圏内の居住人数を算出した。

重回帰分析の結果は表-1および表-2のようになった。また，町丁目別ICカード登録者数を求める式は以下の式(1)，(2)ようになった。

[北部]

$$y = 12.153 + 0.124X_1 - 0.017X_2 + 0.015X_3 \quad (1)$$

[南部]

$$y = 0.831 + 0.052X_1 - 0.004X_2 + 0.017X_3 \quad (2)$$

$y$ ：町丁目別ICカード登録者数(人)

$X_1$ ：人口(人)

$X_2$ ：高頻度バス停までの距離(m)

$X_3$ ：駅までの距離(m)

## (2) ICカード総利用回数予測

まず，2013年10月8日～31日のICカード履歴データを集計し，登録者一人一日当たりのICカード利用回数(グロス生成原単位)を求めた。なお，本研究は姫路市内の利用のみを対象としているため，乗車・降車共に姫路市外となる利用はあらかじめ除いた。また，「登録者の所在地(南部または北部)」，「曜日(平日または土日祝)」，「降雨の有無」といった条件別に集計した(8通り)。降雨の有無については，気象庁気象統計情報<sup>7)</sup>の日ごとの降雨データを使用した。

グロス生成原単位の算出結果は表-3のようになった。次に，このグロス生成原単位と(1)において求めたバ

表-3 ICカード履歴データの集計結果とグロス生成原単位

登録者所在地	曜日	降雨※	履歴件数	該当日数	件数/日	登録者数	グロス生成原単位
北部	平日	なし	78207	8	9775.9	38765	0.252
北部	平日	あり	92960	9	10328.9	38765	0.266
北部	土日祝	なし	17035	4	4258.8	38765	0.110
北部	土日祝	あり	15407	3	5135.7	38765	0.132
南部	平日	なし	22070	8	2758.8	12201	0.226
南部	平日	あり	25417	9	2824.1	12201	0.231
南部	土日祝	なし	3440	4	860.0	12201	0.070
南部	土日祝	あり	3350	3	1116.7	12201	0.092

※ なし：降水が全く観測されなかった日

あり：降水が観測された日

ス停別のICカード登録者数予測値を乗じ、バス停別ICカード総利用回数を求めた。

### (3) バス需要予測

この予測では、神姫バスが過去に行った乗降調査の結果を用いた。乗降調査結果には、「(現金等を含めた)全利用者数」、「ICカード利用者数」の実測値がバス停別に記録されている。この乗降調査結果により、ICカード利用者数から全利用者数を予測する単回帰式を作成した(式(3))。

$$y = 4.05 + 2.26x \quad (3)$$

$y$  : 全利用者数

$x$  : ICカード利用者数

そして、式(3)の $x$ に(2)で求めたバス停別ICカード総利用回数を代入し、バス停別利用者数を求めた。なお、総利用回数は平日・降雨なしの値を使用した。

### (4) 考察

ICカード登録者数予測における重回帰分析の結果は、北部が自由度調整済決定係数0.694、南部が0.867となり、比較的高い値となった。説明変数については南部、北部共に「人口」、「高頻度バス停までの距離」、「駅までの距離」が有意確率1%で有意となった。この結果より、駅から遠くバス停に近い町丁目ほど登録者数が多くなると言えるが、低頻度バス停は登録者数にほとんど影響を及ぼさないということになる。

バス需要予測の結果より、姫路市内全バス停の利用者数を合計すると予測値(26,658人)は実測値(39,556人)を大きく下回った。本予測では姫路市内居住者の姫路市内の利用のみを対象としたため、このような大きな差が現れたと考えられる。

次に、バス停毎の利用者数について、実測値と予測値の間の相関係数を算出した。ここで、本研究の予測はICカード登録者の居住地を基にした、出発地側の予測であるため、駅や病院、学校、役所などの最寄りバス停(以下、目的地になり得るバス停)では目的地側の利用者数(他地域から訪れる利用者数)が反映されないために実測値と予測値が大きく離れている。そこで、目的地になり得るバス停として「姫路駅北口・南口」、「日赤病院前」、「県立大工学部」などを除いた上で相関係数を算出したところ、その値は0.539となり、比較的高い相関が見られた。したがって、本研究の予測によって出発地側の需要を把握することができたと言える。

## 5. 結論

本研究では、ICカードの登録者数を予測することで、バスの需要を把握しようと試みた。具体的には、バス停周辺に居住するICカード登録者数をバス利用可能層と捉え、出発地側の予測を行った。結果として、鉄道駅や病院の最寄りバス停などの「目的地になり得るバス停」を除き、バス停別利用者数の予測値と実測値の間に比較的高い相関が見られ、比較的当てはまりの良い予測を行うことができたと言える。

今後の課題として最も大きなものは、目的地側の予測である。目的地側の予測については、ICカード履歴データの乗車・降車バス停を利用することでできる可能性がある。また、本研究の需要予測では、姫路市内のICカード登録者データを用いたため、姫路市外の居住者の利用は考慮されていない。姫路市内、市外間の利用者の流れを把握する必要がある。

**謝辞**：本研究を行うにあたり、ICカードデータをご提供いただきました大畑憲幸様、竹内宏様、佐藤匡様をはじめとした神姫バス株式会社、需要予測方法の構築に助言、ご支援をいただきました国土交通省神戸運輸監理部の金澤重之様、山本吉英様をはじめとした姫路市都市局には、大変お世話になりました。この場を借りて御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：バスの車両数、輸送人員及び走行キロ、<http://www.mlit.go.jp/common/000117169.pdf>
- 2) 国土交通省：平成 23 年度乗合バス事業の収支状況について、<http://www.mlit.go.jp/common/000167380.pdf>
- 3) 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, pp.169~175, 1986.
- 4) 姫路市：公共交通を中心とした姫路市総合交通計画基本計画編(改訂版)、<http://www.city.himeji.lg.jp/var/rev0/0046/5233/1.pdf>
- 5) 総務省統計局：地図で見る統計(統計 GIS)、<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/toukeiChiri.do?method=init>
- 6) 国土交通省国土政策局：国土数値情報 ダウンロードサービス、<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>
- 7) 気象庁：気象統計情報、<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>

(?)

Atsushi KADONO, Hiroto INOI and Kenji DOI