

ICカードデータを用いた 公共交通利用者の行動変動分析

北脇 徹¹・嶋本 寛²・宇野 伸宏³・中村 俊之⁴

¹正会員 滋賀県庁 (〒520-8577 滋賀県大津市京町四丁目1番1号)

Email: kitawaki-toru@pref.shiga.lg.jp

²正会員 京都大学大学院 (〒615-8530 京都府京都市西京区京都大学桂Cクラスター)

E-mail: shimamoto@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学経営管理大学院 (〒615-8530 京都府京都市西京区京都大学桂Cクラスター)

E-mail: uno@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁴正会員 京都大学大学院 (〒615-8530 京都府京都市西京区京都大学桂Cクラスター)

E-mail: nakamura@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

近年、公共交通利用者減少による問題が深刻化しているが、この問題を解決するには公共交通事業者が乗客需要の変動を把握し、効率的な交通サービス設計を行うことが不可欠である。

一方、近年の交通系ICカードの発行枚数の増加により、ICカードの利用履歴データが公共交通の分析手段として注目を集めている。本稿では、英国・ロンドンで導入されているOyster Cardの4週間分の利用履歴データを用いてロンドン市内の公共交通の変動を把握した。料金支払い形態に応じて利用者を属性分類し変動を把握することで、料金支払い形態ごとに利用者の変動を把握する有効性を示した。加えて、学生の秋休み期間のデータを用いて分析を行い、秋休み期間中には直接関連する学生のみならず学生以外の利用者の公共交通の利用が減少することを明らかにした。

Key Words : IC card data, Fluctuation of passengers' behavior, Fare system, School holiday

1. はじめに

我が国では昭和40年代よりモータリゼーションが進展しており、年々自動車分担率が向上している。その影響により、特に地方を中心に公共交通の利用者が減少しており赤字事業や退出する事業の増加等の問題が深刻化している。このような状況を改善し公共交通の利用者を増加させるために、公共交通事業者は乗客需要の変動を把握し、それに応じた適切なサービス設計を行うことが求められている。

一方、従来の調査員によるカウント調査等の公共交通の調査では、公共交通利用者の日々の需要の変動を把握することは難しかったが、近年の交通系ICカードの発行枚数の増加により従来入手困難であった多種多様な交通データの入手が可能になっており、交通行動を分析する手段として注目を集めている。

ICカードによる既存研究の分析では、第一に乗客行動の把握が挙げられる。岡村ら¹⁾(2012)は東京都市圏のバス事業者のICカード利用履歴データを用いた分析を行い、利用頻度別に属性分類を行った利用者の交通行動を把握

した。日下部ら²⁾(2009)は鉄道利用者の利用周期に着目し、生存時間モデルを用いて利用者の交通行動の予測を行った。

また、ICカードデータは公共交通のサービスレベル評価の分析にも利用されている。高木ら³⁾(2007)は、ダイヤ改定前後での利用者の動きを可視化することにより、利用回数及び個人の利用回数の変動を分析し、ダイヤ改定の評価を行った。

このように公共交通の分析手段としてICカードへの期待が高まっているが、牧村ら⁴⁾(2010)はICカードの可能性に言及するとともに、ICカードデータの課題についても言及した。ICカードデータには、全利用者の交通行動の把握をすることはできない等の限界が存在することを明らかにした。

本研究では、事業者の適切なサービス設計を可能にするためICカード利用履歴データを用いて乗客の交通行動の変動を把握することを目的とする。具体的には、英国・ロンドン市内の公共交通機関で利用されているOyster Cardの利用履歴データを用いて料金支払い形態ごとに利用者を属性分類し、属性による利用回数の変動を

把握する。加えて、特定の利用者属性に直接的な影響が及ぶと考えられるイベントが、他の利用者属性に波及的に及ぼす影響を分析するため、学生の秋休み期間中のデータを利用し、学生やその他の利用者の利用回数の変動を把握する。ロンドンの公共交通はOyster Cardを用いた多様な運賃割引制度があり、後述するようにそれに対応する多様なカード種別が存在するため、カード種別により利用者属性を分類して分析を行うことが可能である。

2. 分析データ概要

本研究では、2011年10月16日(日)から11月12日(土)までの4週間28日間の約750万サンプルのOyster Card利用履歴データを用いて分析する。なお、分析対象期間2週目の10月23日から30日は英国の学生の秋休み期間である。また、Oyster Cardはロンドン域内の全交通機関および英国のナショナルレールで利用可能であるが、本研究では分析対象区間をロンドン全域とするため、対象交通機関をバスと地下鉄に絞る。

Oyster Cardで入手できるデータ項目は、カードID、利用時間、利用交通機関、料金支払い形態、乗車バス路線等であるが、この中の料金支払い形態の項目を用いて利用者を以下の表1の5つの利用属性に分類する。

表1 利用者の属性分類

利用時払いカード	料金をその都度支払う。
定期用カード	全交通機関で利用可能な定期券
BusTram定期用カード	バスとトラムで利用可能な定期券
無料乗車券	障害者と65歳以上対象、全交通機関が無料で利用可能
子ども用カード	16歳以下対象、バスとトラムが無料で利用可能

この5つの属性による利用回数、利用者数における構成比を図1に、分析対象期間(28日間)における個人の利用回数に対する累積利用者割合を図2に示す。図1より、利用者数に着目すれば利用時払いカードが占める割合が高いが、利用回数に着目すれば定期用・BusTram定期用カードが占める割合が高いことがわかる。また、図2より、1日平均1回以内(28日間で28回)の利用者が利用時払いカードでは80%程度を占めるが、定期用・BusTram定期用カードではそれぞれ30%・20%程度を占めるにとどまっている。これらより、利用属性によって1人当たりの利用回数に差があるといえる。

図3には各利用属性における日別の総利用回数を示す。秋休み期間である分析対象期間2週目の平日において、子ども用カードで大きな利用回数の減少が見られるが、他の利用属性でも統計的に有意な減少が見られる(表2)。これにより秋休みによる利用回数の減少は、学生以外の

利用者にも影響が及ぶことが窺える。

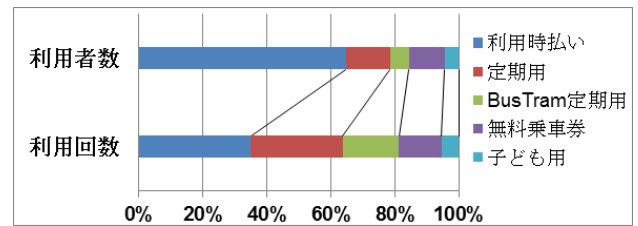


図1 利用者数、利用回数における利用属性の構成比

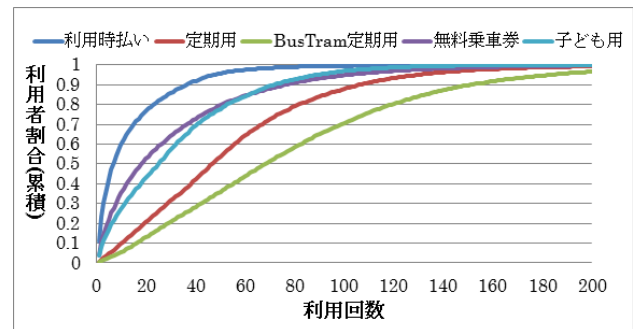


図2 個人の利用回数に対する利用者割合(累積)

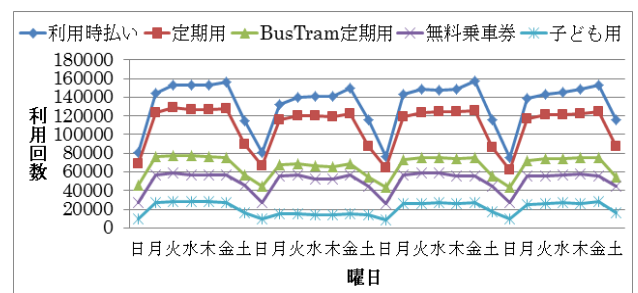


図3 日別利用回数 *2週目が秋休み期間

表2 2週目(秋休み期間)とそれ以外の期間の平均利用回数の差の検定結果(平日)

	t値	1日当たり利用回数(2週目)	1日当たり利用回数(2週目以外)
利用時払い	-2.8693**	140,851	149,038
定期用	-2.6108**	119,596	123,748
BusTram定期用	-10.5394**	67,332	75,093
無料乗車券	-2.7156**	54,650	56,702
子ども用	-25.7507**	14,516	26,840

** : 5%有意

3. 利用属性による個人の利用回数の変動

前章での分析により、カード種別で分類した利用者属性によって1人当たりの利用回数に差が見られることが示唆されたが、本章ではマルチレベルモデル⁹⁾を用いて、

利用属性による個人の利用回数の変動の違いについて分析する。

従来公共交通を分析する際に行われてきた分析はOLS(最小二乗法)回帰分析等、標本間の独立を前提にしたものが一般的であるが、これらの分析ではデータがグループごとにまとまりを見せる場合はこの前提が成り立たない。一方、マルチレベルモデルは、以下に示すように線形回帰モデルにおいて個人、利用属性のレベルに階層化したものであるため、グループごとのまとまりを分析することができる。

式(1c)に示す級内相関によりグループ内の類似性を分析することができ、級内相関が高いほど個人の利用回数のばらつきのうち利用属性のばらつきの占める割合が高く、同一利用属性内の個人の利用回数が類似していることを意味している。

[レベル1：個人による変動]

$$y_{ic} = \alpha_c + \beta_c x_{ic} + \varepsilon_{ic}, \varepsilon_{ic} \sim N(0, \sigma^2) \quad (1a)$$

[レベル2：利用属性による変動]

$$\alpha_c = \bar{\alpha} + \delta_c, \delta_c \sim N(0, \rho^2) \quad (1b)$$

[級内相関： ω]

$$\omega = \frac{\tilde{\rho}^2}{\tilde{\rho}^2 + \tilde{\sigma}^2} \quad (1c)$$

[記号表記]

- i : 個人
- c : 利用属性
- y_{ic} : 利用属性 c , 個人 i の利用回数
- $\bar{\alpha}, \beta_c$: 推定パラメータ
- x_{ic} : 説明変数の値
- $\varepsilon_{ic}, \delta_c$: 誤差項 ($\varepsilon_{ic} \sim N(0, \sigma^2), \delta_c \sim N(0, \rho^2)$)

被説明変数を2週目を除く3週間の個人の利用回数として、説明変数がないヌルモデルと、各利用者の土日利用割合、ピーク時(地下鉄にピーク料金が必要な時間帯。平日の6:30~9:30, 16:00~19:00)利用割合を説明変数としたモデルの推定結果を表3に示す。級内相関はヌルモデルで0.439であるが、説明変数を加えても大きく変化していないことがわかる。したがって、個人の利用回数の変動のうち4割以上が料金支払い形態により分類された利用者属性により説明できるが、土日利用割合等の情報により利用回数の変動をさらに詳細に捉えることは難しいといえる。また、表4に被説明変数を2週目(秋休み期間)1週間の個人の利用回数としたモデルの推定結果を示す。表3と表4の級内相関を比較すると、両者とも4割以上の値になっているが、表4の方が全体的に小さな値になっていることがわかる。これより、秋休み期間に

おける利用回数の減少が1人当たりの利用回数の多い利用属性を中心に生じているため、利用属性間の差が小さくなったと考えられる。

表3 2週目(秋休み期間)を除く期間の利用回数を被説明変数

	としたモデルの推定結果		
	なし (ヌルモデル)	土日利用 割合	ピーク時 利用割合
$\bar{\alpha}$	36.826 ^{**}	38.042 ^{**}	34.631 ^{**}
β_c	-	-5.689 ^{**}	7.322 ^{**}
ω	0.439	0.439	0.433
$LL(\beta)$	-893946.4	-545543.9	-545407

** : 5%有意

表4 2週目(秋休み期間)の利用回数を被説明変数とした

	モデルの推定結果		
	なし (ヌルモデル)	土日利用 割合	ピーク時 利用割合
$\bar{\alpha}$	13.542 ^{**}	13.635 ^{**}	13.364 ^{**}
β_c	-	-0.912 ^{**}	0.595 ^{**}
ω	0.423	0.422	0.421
$LL(\beta)$	-1544732		

** : 5%有意

4. 時間帯による利用回数の変動

4.1. 時間帯ごとの利用回数

第2章では図3より土日の利用回数が平日に対し減少することが示された。加えて、秋休み期間において子ども用カード以外の属性においても利用回数の減少が確認された。平日と休日では利用時間帯の特性に関しても違いがあることが考えられるため、本章では平日・土曜日・日曜日・秋休み期間(平日)の利用回数の時間帯による変動を分析する。図4には時間帯毎の1日あたりの利用回数を示す。これより、ロンドンにおける公共交通機関では平日の7時~8時と16時~19時に朝夕のピークとなることがわかる。さらに、秋休み期間(2週目)における利用回数の減少は朝ピークの時間帯に最も顕著であり、それ

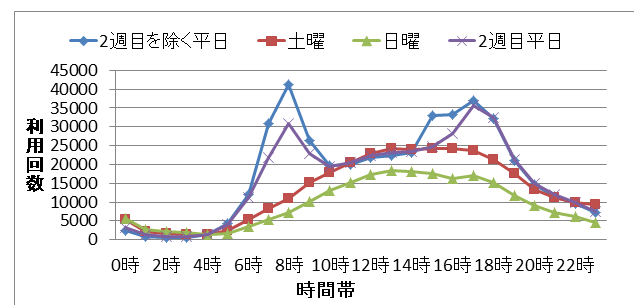


図4 各時間帯における1日当たりの利用回数

に次いで夕方（15～16時）にも利用回数の減少があることが読み取れる。

4.2. 秋休み期間による利用回数の変動

前節で、秋休み期間では朝ピークの時間帯を中心に利用回数が減少することが確認できた。本節では秋休み期間における利用属性ごとの利用回数の変動を分析する。そこで各時間帯において秋休み期間の平日の利用回数に対する、秋休み以外の平日の利用回数の比率 $N_t^{c,u} / N_t^{c,h}$ ($N_t^{c,h}$, $N_t^{c,u}$ はそれぞれ秋休み, 秋休み以外における属性 c , 時間帯 t の平均利用回数) を算出した。この結果を図5, 6に示す。

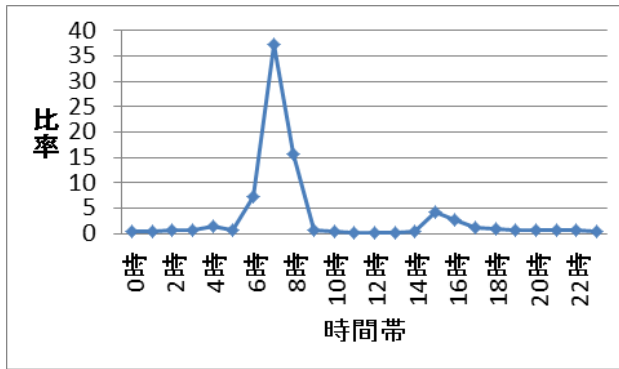


図5 子ども用カードにおける利用回数の比率 $N_t^{c,u} / N_t^{c,h}$

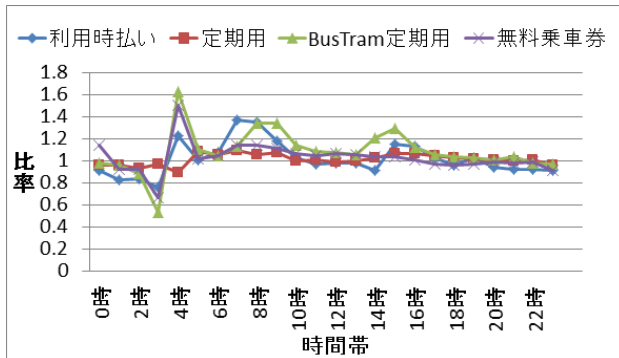


図6 子ども用カード以外の利用属性における利用回数の比率 ($N_t^{c,u} / N_t^{c,h}$)

図において、比率が1を超えるほど秋休み期間に利用回数が減少していることを示している。子ども用カードにおいては、秋休み期間では通学時間帯に相当する7時～8時と15時～16時の間に利用回数が大きく減少していることが読み取れる。さらに、利用時払い、BusTram定期用カード利用者においても通勤時間に相当する7時～9時の間の利用者が減少しており、秋休み期間において通勤客も減少する可能性があることを示唆しているとい

える。

さらに、秋休み期間における利用回数の時間と利用属性に起因する変動をより詳細に分析するため分散分析⁶⁾を行う。従属変数は各時間帯における比率 $N_t^{c,u} / N_t^{c,h}$

とする。なお、時間帯を4つに区分けし、それぞれ20時～5時を夜・早朝、6時～9時を朝ピーク、10時～14時を日中、15時～19時を夕ピークとする。

表5にすべての利用属性における分析の被験者間効果の検定結果を、図7に時間帯と利用回数比率の関係を示す。表5より利用属性、時間帯、利用属性と時間帯の交互作用のすべての項目で有意差があることがわかる。

表5 被験者間効果の検定

	平均平方	F値	有意確率
切片	238.831	3282.237	.000
利用属性	23.686	325.519	.000
時間帯	27.632	379.743	.000
利用属性* 時間帯	23.836	327.578	.000

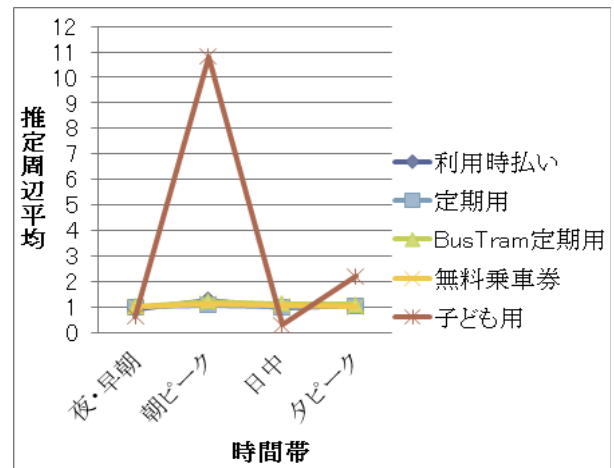


図7 時間帯と利用回数比率の関係

さらに図7より、子ども用カード利用者において特に朝夕ピーク時に秋休み期間に利用回数が大きく減少していることがわかる。一方、利用属性は利用回数比率の変動に対して有意であるが、子ども用カードによる影響が大きく、その他の利用属性では比率の変動に対して有意差がないということが考えられる。そこで、子ども用カード以外の利用属性でも秋休みにもなって利用回数が増減するかを確認するため、子ども用カードを除く利用属性で分析を行う。表6, 図8に分析結果を示す。

表6から子ども用カードを除いた場合においても、利用属性、時間帯、利用属性と時間帯の交互作用のすべての項目で有意差があることが確認された。また図8から、特に朝ピークの時間帯において利用時払いカードとBusTram定期用カードの利用回数比率が大きくなってい

表6 子ども用カードを除く利用属性における被験者間効果の検定

	平均平方	F値	有意確率
切片	89.708	114345.227	.000
利用属性	.027	34.542	.000
時間帯	.125	159.772	.000
利用属性* 時間帯	.019	23.865	.000

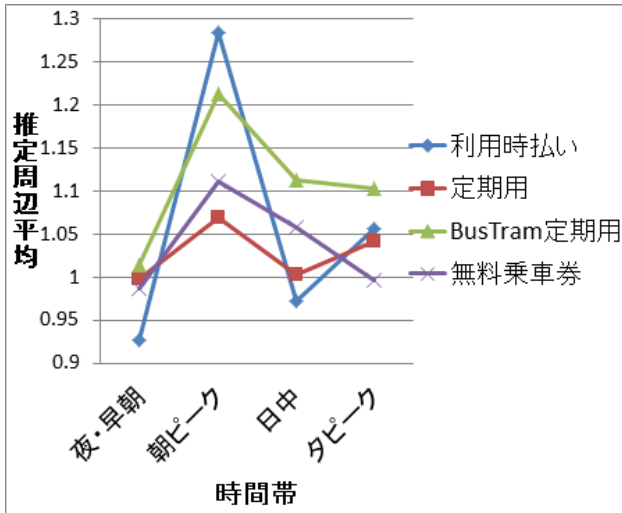


図8 子ども用カード以外の利用属性における時間帯と利用回数比率の関係

る。したがって秋休みという子ども用カードの利用者へのみに直接関係するイベントにおいても、その他の利用時払いカードやBusTram定期用カードの利用者の利用回数にも変化が生じる可能性が示された。

5. おわりに

本研究では、英国・ロンドンの公共交通ICカードデータを用いて、公共交通利用者を料金支払い形態により5つの属性に分類し、地下鉄、バスの利用回数の変動を分析した。その結果、個人の利用回数の変動の4割以上をOyster Cardの料金支払い形態で分類した利用属性により説明できる一方、個人属性としての土日利用割合等の要因を考慮したとしても、利用回数の変動をさらに詳細に捉えるのが難しいことがわかった。これより、事業者にとって、利用回数の点で変動が大きい利用属性の動向を把握することで、公共交通の利用者全体の変動も把握できることや、料金支払い形態ごとに利用者の交通行動を

把握する有効性が示された。さらに、特定の利用者に直接的な影響が及ぶと考えられるイベントが、他の利用者属性に及ぼす影響分析の例として、学生の秋休み期間に着目した分析を行った。その結果、秋休み期間では、直接影響を受けると考えられる子ども用カード利用者の朝夕ピークの時間帯に利用回数が大きく減少し、同時にその他の利用属性も朝ピーク時を中心に利用回数が減少することが確認された。これより、イベントに直接関係する利用属性のみならず、それ以外に利用回数に変化する利用属性の利用動向にも着目する必要があることが示された。

なお本研究では、空間的な情報を考慮した分析を行わなかったが、住宅街や観光地等利用場所によって公共交通の利用に差があると考えられる。このような空間的な要因を踏まえた交通行動の変動を把握すること等が今後の課題として挙げられる。

謝辞：本研究は科学研究費補助金 23656312（萌芽研究，研究代表者・倉内文孝）の援助により行われているものである。ここに記し、感謝の意を示します。

参考文献

- 岡村俊之，中村文彦，小幡慎二，王鋭：ICカード記録に基づく都市内路線バスの利用特性分析，土木学会関西支部年次学術講演会・講演概要集，2012
- 日下部貴彦，朝倉康夫：生存時間モデルによる交通系ICカードデータの分析，交通工学研究・論文集vol.29，2009
- 高木勇弥，日下部貴彦，井料隆雅，中島良樹，朝倉康夫：ICカード乗車システムから得られる改札通過記録データを用いた鉄道旅客流動の分析，土木計画学研究・講演集vol.36，2007
- 牧村和彦，中村俊之，千葉尚，森尾淳，布施孝志：バスICカードを用いた人の動き～交通計画への活用に向けた可能性と限界～，土木計画学研究・講演集vol.41，2010
- Ira Krefit et al.：基礎から学ぶマルチレベルモデル-入り組んだ文脈から新たな理論を創出するための統計手法，ナカニシヤ出版（小野寺孝義ら翻訳）
- SPSSによる分散分析と多重比較の手順，東京図書，石村貞夫

BEHAVIOR FLUCTUATION ANALYSIS OF PUBLIC TRANSPORTATION
USING IC CARD DATA

Toru KITAWAKI, Hiroshi SHIMAMOTO, Nobuhiro UNO and Toshiyuki
NAKAMURA