

事前購入型チケットの特性及び経路選択行動を考慮した 都市鉄道の運賃支払方法選択に関する基礎的分析*

Payment Mode Choice Model including Route Choice in Urban Railway Service*

加藤浩徳**・中島義全***・今井 誠****

By Hironori KATO**, Yoshimasa NAKAJIMA*** and Makoto IMAI****

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

近年、都市鉄道サービスの運賃支払においては、プリペイドカードや各種回数券などの多様な方法が提供されている。特に最近では、大都市圏の大手私鉄を中心に共通乗車カードが導入され、さらに IC カード乗車券活用の検討の動きが話題になっている。こうしたカードシステム等の導入は、駅での切符購入の時間や手間の軽減等、利用者の利便性改善に相当貢献していると考えられる。その結果、例えば、東京都市圏の営団地下鉄では、1996 年の SF カード導入以降、プリペイドカード利用の旅客数シェアは、1997 年度 4.7%、1998 年度 5.3%、1999 年度 6.0%と着実に増加する傾向にある。特に定期券外の利用者に限ってみれば、2000 年前期にはプリペイドカード利用旅客のシェアが 16.0%(1997 年度では、12.0%)に至っている。今後もプリペイドカードの利用者は増加することが予想される。

しかし、プリペイドカード利用は、購入時点で、ある程度多額の金額を前もって支払わねばならず、また再度現金に換金することができないという自由度の低さも弱点として抱えている。したがって、利用者がカードを利用するか否かは、これらの要因を考慮して決定されていると思われる。

一方で、鉄道事業者の視点から見たとき、カードシステムの導入のためには、自動的に改札可能なゲート等の機材(自動改札機等)の投資が不可欠であり、またメンテナンス費用等も必要となることから、かなりの費用が発生することも事実である。したがって、投資費用に見合うだけの効果があるかどうかを検討するためには、鉄道利用者がどういうメカニズムに基づいて、どの程度カードを利用するかを把握する必要がある。

一般的に、財・サービス購入時の支払方法を検討した研究としては、クーポン券の利用動向を分析したもの¹⁾やクレジットカード利用の購買行動を分析したもの^{2a)}等がある。ま

た、特に都市内交通に限定し、カード導入による効果をマクロに分析したものとして Gilbert and Hossein⁴⁾がある。だが、いずれも支払方法の決定を個人の選択問題と捉えていない。また、支払方法の決定は支払対象の財・サービスの消費行動(交通の場合でいえば、交通手段あるいは交通経路等の選択等)とセットとして取り扱われるべきだと考えられるが、そのような視点から分析がなされたものは、ほとんどない。

そこで本研究では、東京圏の都市鉄道サービスを対象として、日常的な交通行動を考慮した中長期的な運賃支払方法選択行動モデルを構築する。最後に、モデルを用いて、支払環境が変化したときの感度分析を行う。

(2) 研究の対象

本研究では、東京圏の都市鉄道ネットワークを対象とし、私事目的での鉄道利用の運賃支払方法選択行動に着目する。私事目的に対象を限定するのは、通勤・通学目的ではほとんどの利用者が定期券を利用することが期待されるため、支払方法に選択の余地が少ないこと、業務目的では、トリップ長が短いため、経路の選択肢がほとんどないと考えられるためである。ただし、近年、通勤・通学目的であっても定期券を使わず、回数券やプリペイドカードを利用する人が増加しており、これらの人の行動を検討する必要性が高まりつつあると考えられるが、今後の課題としたい。

また、本研究で取り扱う支払方法はプリペイドカード(以下、カードと呼ぶ)、回数券、普通券、ならびに定期券である。ここで、プリペイドカードとは改札を直接通過することの可能な磁気カード(2000 年末時点の東京圏におけるパスネット、イオカード)を指し、これには定期券ならび普通券購入のためのプリペイドカード(JR のオレジンカード等)は含まない。

2. 分析の基本的考え方

(1) モデルの基本フレームについて

支払方法選択行動の分析に先だて、まず、対象としている各支払方法の特性について整理しておく。

プリペイドカードと回数券は、複数回の利用に先立って事前にまとめて料金を支払う形式のチケットである。このタイプのチケットの購入は、交通サービスを消費する権利を事前

*Key Words: 交通行動分析, 経路選択

** 正員 博(工) 東京大学大学院工学系研究科(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, kato@trip.t.u-tokyo.ac.jp)

*** 正員 修(工) 国土交通省北海道開発局

**** 学員 東京大学大学院工学系研究科修士課程

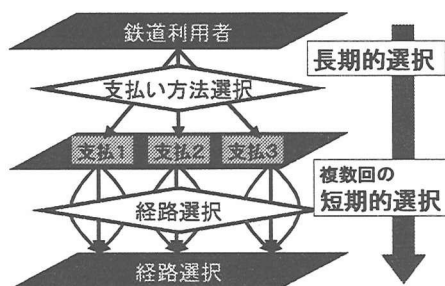


図-1 選択構造の基本的フレーム

に購入していると思ふことができる。したがって、こうした事前購入型チケットを保有する場合、その権利を複数回にわたり交通サービスを消費することで行使する。その一方で、普通券を利用する場合は、乗車の度に、その権利を購入しサービスを消費するものと考えられる。

事前購入型のチケットは、①一度購入すると払い戻しができないため利用者の経路選択行動の問題をある程度不可逆的に変化させる、②購入するか否かが、将来利用することが期待される複数回の経路選択行動を勘案しながら決定される、という特徴を持っている。

そこで、本研究においては、鉄道利用者が支払方法選択の際に、1)事前購入型チケットの購入という長期的選択行動と、2)毎回の経路選択という短期的選択行動、という二段階の意思決定問題に直面していると考えられる。(図-1)

各利用者は日々繰り返されてゆく経路選択行動を考慮しながら、事前購入型のチケットを保有するか否かを決定する。支払方法選択は、経路選択行動がなされる以前の時点に行われるために、個人は経路選択行動に対し期待効用を形成し、それを考慮した上で効用が最大となる支払方法を選択するものと考えられる。

(2) 支払方法選択の定式化

本研究では、上記の二段階選択行動を多項 NL モデルとして定式化する。ここでは、利用者が特定期間中に支払い方法 k を選択する期待効用を次式のように設定する。

$$EU_k = w_k + \sum_{ij} \frac{N_{ij}}{\lambda} \ln \sum_{r_{ij|k}} \exp(\lambda \cdot v_{r_{ij|k}}) + \varepsilon_k \quad (1)$$

ただし、 EU_k : 支払方法 k を選択する場合の特定期間中に得られる期待効用； w_k : 経路選択以外の支払方法 k のみに起因する部分(確定)効用； $v_{r_{ij|k}}$: 支払方法 k の保有を前提としたときに駅 $i \rightarrow$ 駅 j の経路 r に対して発生する条件付き確定効用； N_{ij} : 旅行者の駅 $i \rightarrow$ 駅 j の特定期間中の旅行回数； λ : 分散パラメータ； ε_k : 支払方法 k の確率項である。ここでは、各旅行者の N_{ij} が所与即ち確定的であり、旅行回

数に関する限界効用が一定で、かつ毎回の旅行における各経路の LOS が一定との仮定を置くことにより、OD ペア別に求められる経路に関する最大効用の期待値(ログサム変数)とその OD 間の旅行回数の積が、当該 OD ペアの特定期間の期待効用と見なせるものと解釈している。

3. 鉄道利用者の支払方法選択に関する調査

(1) アンケート調査の概要

東京圏の都市鉄道利用者が、運賃支払方法選択に際してどのような点を重視するのかを把握することを目的として、アンケート調査を実施した。本研究では Web 上ならびに郵送配布郵送回収の両方の方法によってアンケート調査を行い、データを収集した。アンケート調査では、個人属性(年齢、性別、最寄り駅)、各種チケットの保有状況(定期券:有無とその区間、カード:有無と種類、回数券:有無とその区間)、利用実績(乗車駅、降車駅、利用頻度)、クレジットカードの保有状況、日常の保有金額について質問を行った。調査を実施した時期は、2000 年 11~12 月である。

調査は、同一のアンケート票について、Web を通じたものと、郵送配布・郵送回収との組み合わせによって行った。これは、当初 Web 上のみで調査を行ったところ、若年層のデータに偏ったため、より幅広い年齢層のデータを入手しようとしたためである。その結果、468 サンプル(Web:270、郵送:198)を回収できた。その年齢構成と性別構成を示したものが図-2 および図-3 である。

(2) 調査結果の概要

まず、アンケート回答者の各種チケットの保有状況を示したものが、図-4 である。これより、アンケート調査回答者のカード保有率は 51%とかなり高いことがわかる。この値は、営団地下鉄等におけるプリペイドカード利用旅客割合と比較して

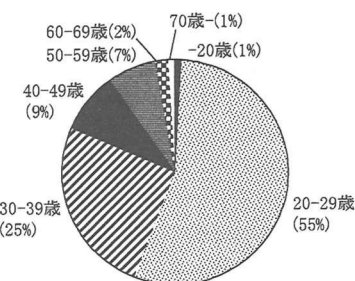


図-2 回答者の年齢構成分布(468 サンプル)

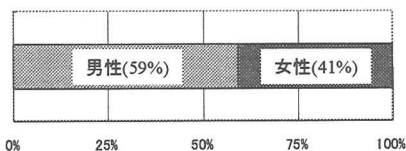


図-3 回答者の性別構成(468 サンプル)

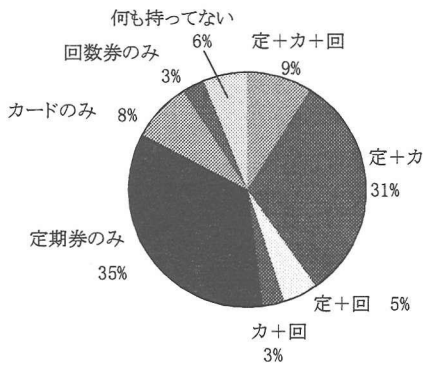


図-4 回答者の保有チケット分布 (468 サンプル)
注: カはプリペイドカード, 定は定期券, 回は回数券を表す

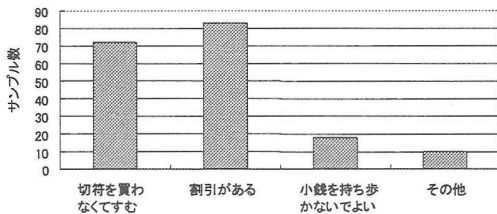


図-5 回数券保有者の回数券保有理由

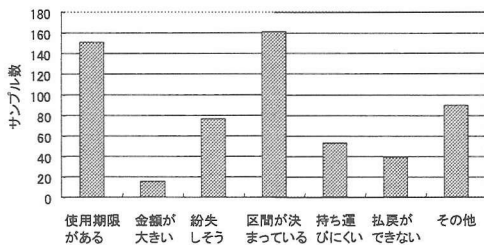


図-6 回数券非保有者の回数券非保有の理由

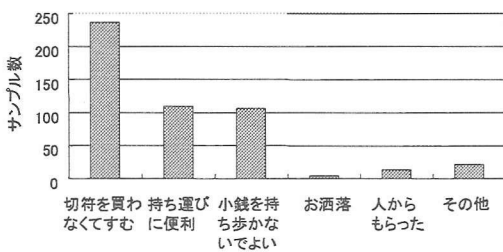


図-7 プリペイドカード保有者のカード保有理由

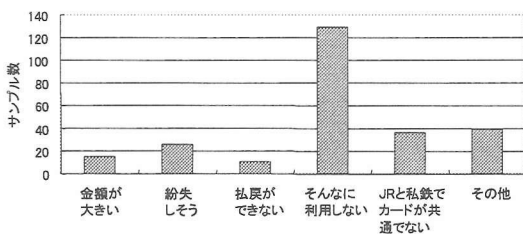


図-8 プリペイドカード非保有者のカード非保有の理由

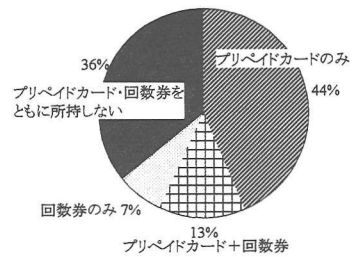


図-9 クレジットカード保有者の各種チケット保有状況

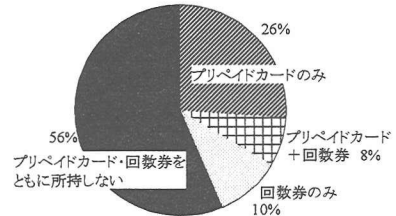


図-10 クレジットカード非保有者の各種チケット保有状況

かなり高いが、その理由としては、カード保有はするが利用する機会は少ないこと、「プリペイドカード利用に関する調査」というタイトルでアンケート票を配布したため、プリペイドカード保有者が特に調査に協力したこと、等が考えられる。

次に、回数券について、保有者の保有する理由、非保有者の保有しない理由をそれぞれ示したものが図-5と図-6である。いずれも複数回答可の回答結果である。これより、回数券保有の理由は、普通券購入の時間や手間の軽減と、プレミアの存在であることがわかる。一方で、保有しない理由としては、区間が限定されていること、使用期限があること、紛失する可能性、払い戻し不可能なこと等が挙げられる。

同様に、プリペイドカードについて、保有者の保有する理由、非保有者の保有しない理由をそれぞれ示したものが図-7と図-8である。いずれも複数回答可の回答結果である。これより、カード保有の理由は、「切符を買わなくてすむ」が最も多く、次いで「持ち運びに便利」「小銭を持ち歩かなくてすむ」となっており、キャッシュレスカードの利便性を取り上げている項目が多いことがわかる。一方で、非保有の理由としては、利用回数が少ないが最も多く、ある程度利用回数がないと利用するインセンティブがわからないことが明らかとなった。

次に、クレジットカードの保有と鉄道チケット保有状況との関係を示したものが、図-9と図-10である。保有者と非保有者とを比較すると、明らかにクレジットカード保有者は、鉄道サービスにおいてもプリペイドカードを選好する傾向にあることがわかる。

4. モデルの概要

(1) 鉄道経路選択モデルの概要

本研究では、鉄道経路選択行動を、MNL モデルとして定

式化する。本研究で用いる経路選択モデルの効用関数は、以下の通りである。

$$v_{r,ij|k} = \theta_T T_{r,ij} + \theta_N N_{r,ij} + \sum_{m \in M_{r,ij|k}} \theta_m F_{r,ij}^m + \theta_B B_{r,ij|k} \quad (2)$$

ここで、 $T_{r,ij}$ ：駅*i*→駅*j*の経路*r*の鉄道乗車時間、 $N_{r,ij}$ ：駅*i*→駅*j*の経路*r*の乗換回数、 $F_{r,ij}^m$ ：駅*i*→駅*j*の経路*r*の支払方法*m*を用いる区間の運賃、 $B_{r,ij|k}$ ：利用可能な支払方法*k*を前提としたときの駅*i*→駅*j*の経路*r*の切符購入回数、 $M_{r,ij|k}$ ：利用可能な支払方法*k*を前提としたときの駅*i*→駅*j*の経路*r*における支払方法の集合である。ここでは、乗車時間と乗換回数は利用する支払方法に依存しないという仮定をおいている。実際には、カード等利用によって乗換の時間や回数が増えることはあり得るが、これらについてはデータの整備が困難であることから、今回は、代理変数として切符購入回数による説明を試みる。ここで、データ作成に当たっては、実績経路については、実際に使用された支払方法と整合するように、また、代替経路については、利用可能な支払方法の中から適切な支払方法が選択されると仮定し、選択される支払方法と整合するように、それぞれ運賃や切符購入回数を設定するものとする。その他、具体的なデータ作成方法等については、筆者らの行った既存研究⁹⁾をベースとする。

(2) 支払方法選択モデルの概要

(a) 支払方法に固有の変数の検討

アンケート調査結果からも明らかな通り、事前購入型チケットのメリットとして、1)切符購入の手間を省くことができること(カード、回数券)、2)プレミアムがつくこと(回数券)が挙げられる。まず1)については、鉄道経路選択モデルの中で切符購入の手間を考慮した説明変数(具体的には、切符購入回数)を導入する。また、2)については、鉄道経路選択モデルの中で、一回あたりの運賃として回数券の割引を考慮する。そこで、これらは支払方法選択に固有の変数としては取り扱わない。

一方、事前購入型チケットのデメリットとしては、1)使用中止あるいは紛失の際に払い戻しが無い、2)金額が大きくなるので支払いに抵抗がある、3)金利負担が考えられる。まず1)については、回数券は使用期限を有するため期限内に使用できない可能性があるため、使用期限制約を考慮する必要がある。一方、紛失に関しては、その危険は無視できるほど小さいと見なし、取り扱わないものとする。2)については、カードや回数券は、一括前払いであるために支払抵抗があると考えられるので、支払抵抗に関する説明変数を設定する。3)については、金利負担の金額が小さいと思われるので本研究では考慮しないこととする。

そのほか、支払方法の選択には、クレジットカードのような非現金型の支払方法に慣れている利用者ほどカードを選択する可能性があること、ならびに定期券の保有によっても影響を受ける可能性があると思われる。そこで、これらも変数として考慮する。

(b) 説明変数 x_k の設定

以上の基本的な考え方に基づいて、次に示す説明変数を設定した。

① 回数券を期限内に償却できないリスク

回数券に使用期限が限定されていることに対して、以下のように期待未使用残額という変数を設定する。

$$R_{coupon} = Z^{coupon} - \sum_{ij} N_{ij} \sum_r F_{r,ij}^{coupon} \cdot \frac{\exp(v_{r,ij|k})}{\sum_{r'} \exp(v_{r',ij|k})} \quad (3)$$

ただし、 R_{coupon} ：償却期限がきた時の回数券の未使用期待

残額(円)。負になる場合は0とする； Z^{coupon} ：回数券の購

入価格(円)； $F_{r,ij}^{coupon}$ ：駅*i*→駅*j*の経路*r*を利用したとき

に回数券で支払う運賃(円)である。

② 一括前払いによる支払抵抗

事前購入型チケットの場合には一括前払いによる支払抵抗が発生すると考えられるが、日常的な所持金が多い人ほど支払抵抗が減少すると仮定し、次式を説明変数とした。

$$PR_n = \frac{Z_n^k}{Y_n} \quad (4)$$

ただし、 PR_n ：個人*n*の支払抵抗、 Z_n^k ：支払方法*k*の購入

額(円)、 Y_n ：日常的所持金額(円)である。

③ クレジットカード・定期券の保有

クレジットカードおよび定期券を保有しているとき1、保有していないとき0となるダミー変数である。

$$credit_n = 1 \text{ or } 0, \quad pass_n = 1 \text{ or } 0 \quad (5)$$

(3) 選択肢集合の設定

支払方法選択の際の選択肢集合としては、各支払方法の組み合わせである表-1の8肢から構成されるものとする。

表-1 支払方法の選択肢集合

① なにも所有しない	⑤ 回数券のみ所有
② イオカードのみ所有	⑥ 回数券+イオカード
③ バスネットのみ所有	⑦ 回数券+バスネット
④ イオカード+バスネット	⑧ 回数券イオカード+バスネット

5. モデルパラメータの推定ならびに感度分析

(1)パラメータ推定

アンケート調査で得られたデータの中から、欠損等のない205 サンプルを用いて、モデルパラメータの推定を行った。まず経路選択モデルの推定結果は、表-2 の通りである。また、支払方法選択モデルの推定結果が、表-3 である。ここでは、3ヶ月間での期待効用を考慮したパラメータ推定を行っている。ここで、3ヶ月間としたのは、現在の回数券の有効期限が一般に3ヶ月であるためである。モデル全体としてはある程度の有意な結果が得られた。各変数については、例えば、ログサム変数にかかるパラメータ値は0と1の間となっており本研究で考慮した二段階選択問題の構造に問題がないことなどが確認できる。また、事前購入の支払抵抗値のパラメータ値が負であることは購入する金額が日常的に持ち歩く金額に占める割合が高くなるほど購入しなくなることを説明している。クレジットカードダミーが負であることは、保有者では普通券以外の多様な支払方法に対して抵抗をあまり感じず、非保有者にとっては普通券以外を忌避する傾向があることを示唆していると解釈できる。回数券ダミーにおける負の値は回数券が「持ち運びにくい」「かさばる」といった定性的なデメリットを有していることを説明している。なお、経路選択モデルの普通券購入回数のt値が低いが、符号条件が整合的であり、カード等の利便性を表現する重要な変数であることから、モデル変数に残すこととした。

表-2 鉄道経路選択モデルの推定結果

変数名	単位	パラメータ値(t値)
乗車時間	分	-0.147 (-5.63**)
乗換回数	回	-1.873 (-7.87**)
カード運賃	円	-0.0096 (-5.57**)
回数券運賃	円	-0.0058 (-1.79*)
普通券運賃	円	-0.0104 (-5.80**)
普通券購入回数	回	-0.182 (-0.677)
サンプル数		205
初期対数尤度		-331.4
最大対数尤度		-193.4
尤度比		0.416

表-3 支払方法選択モデルの推定結果

変数名	パラメータ値(t値)
事前購入支払抵抗	-0.292 (-1.28*)
使用期限リスク(回数券)	-0.0028 (-2.74**)
定期券保有(普通券)	1.924 (5.92**)
CC保有(普通券)	-0.494 (-1.48*)
回数券ダミー(回数券)	-0.824 (-2.61**)
経路選択logsum変数	0.0294 (2.74**)
サンプル数	205
初期尤度	-436.7
最終尤度	-335.2
尤度比	0.229

注1)カッコ内は、t値を示す。

2) *は5%危険度、**は1%危険度で有意であることを示す。

表-4 サンプル鉄道利用履歴

利用 OD ペア	利用頻度	利用可能路線
本厚木 八王子	週に1回	小田急、JR線
本厚木 横浜	月に2回	小田急、相鉄
本郷三丁目 新宿	週に1回	丸の内線、大江戸線、JR線

注1: 定期券を所持

注2: 私事目的での鉄道利用回数は33回/3ヶ月

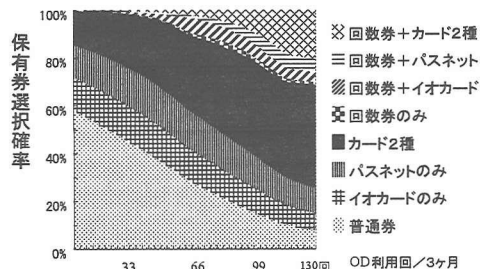


図-11 利用頻度に関する支払方法選択の感度分析

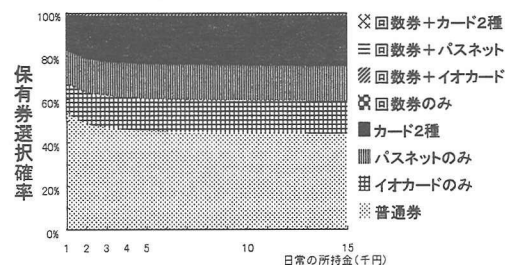


図-12 所持金による支払方法選択の感度分析

(2)感度分析・シナリオ分析

本節では前節で得られた支払方法選択モデルの感度分析・シナリオ分析を行う。あるサンプルを取り上げ、説明変数を変化させた場合の選択確率の推移を示すこととする。

調査で得られたサンプルのうち、ある旅行者の鉄道利用履歴が表-4 のようであった。

(a)利用頻度の変化による感度分析

上記旅行者についてODペア間での旅行回数の比率を保ちつつ、全体の鉄道利用頻度を変化させた場合の選択確率の推移を示したものが図-11 である。支払方法の選択確率をみると、利用頻度が上がるほど普通券選択の確率は減少していくことがわかる。また、回数券購入確率は事前購入により発生する期待未使用残額が少なくなるところから急激に上昇をはじめめるためにグラフは折れ曲がった形となる。カードの所有状況を見るとどちらのカードも頻度の上昇と共に所有する確率が上がっていく様子を読み取ることができる。

(b)日常の所持金による感度分析

支払抵抗値は日常に所持している金額の逆数であるが、この所持金を変化させた場合の選択確率の推移を図-12 に示す。所持金が少ない部分では若干の影響が見られ、少ないほど事前購入チケットの購入確率が下がる傾向が現れている。相対的にその場合では、普通券利用の選択確率が上昇している。4,000 円程度以上を所持するようになるとほとんど影響を与えなくなることがわかる。

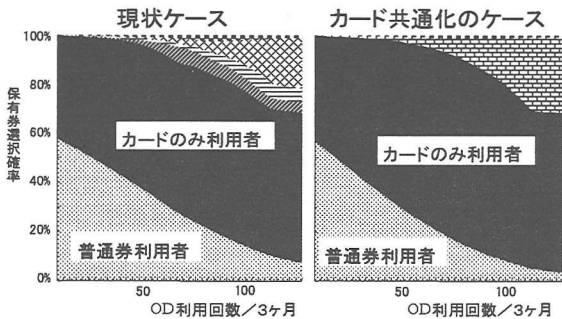


図-13 カード共通化のシナリオ分析

(c)カード共通化によるシナリオ分析

JRが発行するイオカード、私鉄を中心とするパスネットの共通化のシナリオ分析を行った。前項と同一サンプルの選択確率の推移を図-13に示す。共通化によりカード利用の魅力が増大するため、相対的に普通券選択選択の確率は3ヶ月での鉄道利用頻度が50回利用時には、35%であったものが27%へと減少する。また、回数券と併用するという確率は50回利用時近辺において減少傾向を示している。また、利用頻度が低いケースでは、共通化による選択確率への影響はほとんどないことがわかる。

6. まとめ

本研究では、都市鉄道利用者の支払方法選択問題を短期的な経路選択問題を考慮した二段階選択問題として定式化し、アンケート調査データに基づいて実証的に分析を行った。その結果、選択要因を明示的に示すことのできる合理的なモデルを得ることができた。このモデルは、利用頻度や日常の所持金額を変化させた場合においても、各券種における選択確率の推移の様子を合理的に理解できるものとなっている。さらに、このモデルを用いて、カードシステム統一化のシナリオ分析を行った。その結果、カード利便性向上により、鉄道利用の頻度が高いほどカード利用の可能性が高

まることが明らかとなった。

本研究の課題は次の通りである。第1に、今回は支払方法選択行動にMNLモデルを適用しているが、これでは選択確率比が一定に保たれる等の現実にそぐわない仮定が置かれている可能性がある。選択肢間の類似性を検討した上で、NLモデル等の適用についても検討する必要がある。第2に、今回は異なる調査方法で得たデータを単純に結合して用いているが、調査方法によるデータ特性の違いが懸念される。データソース間での比較やバイアスの存在を考慮した推定方法等を検討する必要がある。第3に、今回のパラメータ推定では、「切符を買わないで済む」ことを切符購入回数のみで説明しようとし、カード等利用による時間短縮が明示的に取り扱われていない。切符購入時の券売機での待ち時間や駅構内流動における時間損失は券種選択に明らかに影響を及ぼすことから、これらを把握することも必要である。以上については、今後の課題としたい。

謝辞:本研究は、財団法人東日本鉄道文化財団平成13年度調査・研究助成(助成番号01-1-2-1)による助成を受けたものである。ここに感謝の意を示したい。

参考文献

- 1) Bawa, K. and Shoemaker, R. W.: The Coupon-prone Consumer: Some Findings Based on Purchase Behavior Across Product Classes, *Journal of Marketing*, Vol.51, pp.99-110, 1987.
- 2) Hirschman, E. C.: Difference in Consumer Purchase Behavior by Credit Card Payment System, *Journal of Consumer Research*, Vol.6, pp.58-66, 1979.
- 3) Hirschman, E. C.: Consumer Payment Systems: The Relationship of Attribute Structure to Preference and Usage, *Journal of Business*, Vol.55, No.4, pp.531-545, 1982.
- 4) Gilbert, C. L. and Jalilian, H.: The Demand for Travel and for Travelcards on London Regional Transport, *Journal of Transport Economics and Policy*, pp.3-29, 1991.
- 5) 加藤浩徳・家田 仁・中嶋義全:料金支払方法間の価格感度の差異に関する実証的分析—都市鉄道経路選択行動を対象に、土木学会論文集 No.695/IV-54, pp.149-158, 2002

事前購入型チケットの特性及び経路選択行動を考慮した都市鉄道の運賃支払方法選択に関する基礎的分析*

加藤浩徳**・中嶋義全**・今井 誠***

本論文は、都市鉄道に着目し、利用者の支払方法選択を、経路選択行動を考慮した二段階選択問題として定式化し、実証的に分析するものである。定式化にあたっては、鉄道経路の選択状況に加え、回数券の期待残金、クレジットカードの所有状況、事前購入に対する支払抵抗等を考慮し、効用最大化行動を仮定した。アンケートデータをもとに、パラメータ推定した結果、有意な結果が得られた。このモデルを用い、利用頻度と日常所持金が増加したときの感度分析、ならびにカードが一元化されたときのシナリオ分析を実施した。その結果、カードの利便性向上は、特に利用頻度の高い時に大きく支払方法選択に影響を及ぼすことが明らかとなった。

Payment Mode Choice Model including Route Choice in Urban Railway Service*

By Hironori KATO**, Yoshimasa NAKAJIMA*** and Makoto IMAI****

This paper aims to propose a payment mode choice model of urban railway users. This model covers a travelcard, a coupon ticket and an ordinary ticket. We assume that the travelers consider the attribute of payment modes, such as the valid time of coupon ticket, and the expected route choice when they travel as well. Therefore, the model has the two-step structure: payment mode choice and route choice, which is formulated as the nested logit model. We estimate the parameters and conducted the sensitivity analysis.