

S6-4. 都市鉄道の経路選択行動の時系列変化に関する基礎分析

[土] ○加藤 浩徳 (東京大学大学院)

[土] 柴崎 陽平 (東京大学大学院)

[土] 須澤 浩之 (鉄道建設・運輸施設整備支援機構)

Dynamic Change of Traveler's Route Choice in Urban Railway

Hironori KATO, Member (University of Tokyo)

Yohei SHIBASAKI (University of Tokyo)

Hiroyuki SUZAWA (Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency)

To understand the dynamic change of travel behavior when transport service changes is very important. The inertia of traveler's past experience, including learning and habit, is so critical that many travelers tend to unchange their travel choice even if the level of transportation service is improved. This paper intends to analyze the change of behavior before and after the start of new railway service by using the panel data of traveler's route choice from home to workplace. The analyses are conducted from three viewpoints: first is the dynamic change of variables in utility function; second is the dynamic change of coefficients in utility function; and third is the correlation of error factors in utility function between different panel waves. The discrete choice models are estimated based on the revealed preference data collecting from users of the Saitama Railway.

キーワード：都市鉄道，パネル調査，学習／習慣特性

Keywords: Urban Railway, Panel Survey, Learning/Habit

1. はじめに

都市鉄道に限らず全ての交通サービスにおいて、新規にサービスが導入されることによる交通需要へのインパクトを的確に把握・予測することは、交通プロジェクトを実施する上で重要な点の1つである。

従来、ほとんどの交通需要分析においては、ある一時点の利用動向データ（例えば、鉄道利用経路の選択結果）をもとに交通需要モデルを構築し、そのモデルの説明変数を変化させることによって、サービス変化によるインパクトを分析していた。しかし、交通サービスの変化は本質的に動的な変化であるため、交通需要の変化も本来動的に分析されるべきものである。特に、鉄道路線の新規開業のように、利用者にとって新たな選択可能性が与えられるような、大きな交通サービス変化を伴う交通プロジェクトについては、静的な状態における行動とは異なる行動変容を行う可能性が高いことから、動的な変化の観点から需要動向を分析する必要性が高いと考えられる。

そこで、本研究では、近年開業した埼玉高速鉄道を対象とし、開業前後の同一利用者の行動パネルデータを用いて、開業がどのように利用者の行動に影響を及ぼしているのかを分析することを目的とする。分析に当たっては、利用者行動の学習・習慣特性や誤差要因の時系列相関を考慮した鉄道経路選択モデルを構築することとする。

2. 分析の基本的な考え方

交通行動における動的な変化を分析する上では、人間の学習、成長、習慣等の要素を考慮することが重要である。ここで本研究では、特に人間の学習・習慣に着目することとする。交通行動における学習・習慣の影響については、多くの研究者によって既に指摘されている。例えば、特定の行動を繰り返す間に習慣を形成して学習を停止すると、代替的なサービスの水準を実際的水準以上に低いものと認知し、また、たとえ交通サービスが変化しても行動を変化させない傾向にあることが報告されている。

そこで、本研究は、新サービス開始前の利用実績が、開始後の利用実績にどのような影響を及ぼすのかについて実証的に分析する。学習・習慣特性を検討するためには、いくつかの分析アプローチが考えられるが、本研究では、人々の意思決定構造（あるいは効用関数）が、交通サービス変化前後でどの程度変化するかという点に焦点を絞ることとする。

本研究では、人々の鉄道経路選択行動を離散選択モデルにより分析する。このとき、行動の学習・習慣特性は、条件付き間接効用関数が、開業前後でどの程度変化するかによって検討可能となる。ここで、ランダム効用理論のもとでは、効用関数は、特性変数、未知パラメータ、誤差項の3つから構成されている。そこで、これら3つの構成要因の変化に関する検討をそれぞれ行うこととする。

まず、第一に、特性変数を変化させるケースについては、

開業後の意思決定において、開業前がどのような選択実績であったかを1つの意思決定要因として取り扱うケースを検討する。具体的には、開業前に選択された選択肢にのみ1でそれ以外は0となる慣性項ダミーを設定し、開業後の意思決定における慣性項の寄与度を統計的に推定する。

第二に、パラメータを変化させるケースについては、少なくとも次の3パターンを考慮する必要がある。まず、全ての特性変数のパラメータが異時点間で異なると考えるパターンである。このパターンでは、2時点でそれぞれ異なるモデルを推定すればよい。両モデルのパラメータが有意に異なる場合には、人間には習慣特性は全くなく、事業によって人々の選好は根本的に変化する、という可能性が得られる。次に、逆の極端なパターンとして全てのパラメータが異時点間で同一と考えるものが挙げられる。これは2時点で特性変数パラメータが同一値という制約を設ければよい。この場合には、開業前後で人々の行動特性は全く変わらず、首尾一貫していることを意味する。最後に、一部の特性変数については異時点間でパラメータは同一で、一部のみが異時点間で変化するというパターンが考えられる。以上のように、パラメータの共通性を変化させたときに、どの程度推定結果が異なるかを比較することで、開業前後における人々の行動の一貫性を調べることが可能である。

第三に、誤差項の相関による影響を考慮するケースについては、誤差要因の一部が、開業前後で変化する可能性を取り扱う。具体的には、誤差要因を構造化し、異時点間の誤差要因の相関性を検討することとなる。

以上の3つのケースの分析を通じて、鉄道路線開業前後の人々の動的な行動特性を分析することとする。

### 3. 分析の対象と方法

#### (1)分析の対象

本研究の分析対象は、2001年3月に開業した埼玉高速鉄道(赤羽岩淵-浦和美園, 延長14.6km, 所要時間19分)沿

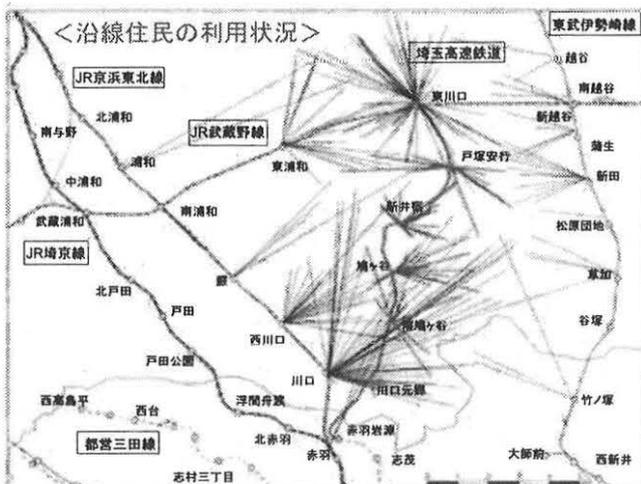


図-1 サンプル利用者の居住地と利用駅

表-1 埼玉高速鉄道利用実態調査の概略

調査年月	2000年11月(開業前), 2001年11月(開業後)
調査実施者	鉄道建設・運輸施設整備支援機構(当時は日本鉄道建設公団)
調査方法	訪問対面インタビュー方式(一部留置訪問回収)
対象者選定方法	地図と地区別人口統計を用いた無作為抽出
調査項目	・個人属性(年齢, 性別, 職業, 居住年数, アクセス可能手段) ・通勤経路(乗車駅, 降車駅, アクセス手段, 鉄道路線, 乗換駅) ・通勤時間, 通勤費用 ・埼玉高速鉄道を利用し始めた時期 ・埼玉高速鉄道に対する要望
回答者数	321(開業前後でともに回答した人の人数)

線に居住する人々の鉄道経路選択行動である。当該路線は、東武伊勢崎線、JR京浜東北線、武蔵野線に囲まれたエリアに位置する一方で、営団南北線と赤羽岩淵駅で相互直通運転を行っていることから、当該路線沿線に居住する都心への通勤利用者は、これらの路線間で選択を行う状況にある。

(図-1 参照) 本研究では、鉄道建設・運輸施設整備支援機構(当時は日本鉄道建設公団)が、開業4ヶ月前の2000年11月および開業8ヶ月後の2001年11月に実施したアンケート調査のデータを使用することとする。この調査では、2時点で同一の人物を追跡調査しており、開業前後の行動の変化を把握することが可能である。調査データの概略は、表-1の通りである。ただし、未知パラメータ推定の作業では、開業前後でともに完全回答をしている156サンプルのデータを用いることとする。

#### (2)分析の方法

##### (a)基本ケース

本研究では、利用者の鉄道経路選択行動を、離散選択モデルによって定式化し、利用実績データから未知パラメータの推定を行う。モデルとしては、非集計ロジットモデル(Multinomial logit model: MNL)をベースとする。つまり、開業前における個人*n*の特定経路*r*の(条件付間接)効用関数 $U_{n,j,r}^0$ は、確定項 $V_{n,j,r}^0$ と、独立かつ均一のガンベル分布(i.i.d.ガンベル)に従う確率項 $\varepsilon_{n,j,r}^0$ とに分離可能であると仮定され、以下のように表される。

$$\begin{aligned}
 U_{n,j,r}^0 &= V_{n,j,r}^0 + \varepsilon_{n,j,r}^0 \\
 &= \beta^0 x_{n,j,r}^0 + \varepsilon_{n,j,r}^0
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

なお、 $\beta^0$ は未知パラメータベクトル、 $x_{n,j,r}^0$ は個人*n*の*i*→*j*の特定経路*r*の確定効用の説明変数ベクトルである。また、変数の右肩の数字は、開業前のとき0、開業後のとき1を意味する。開業後についても同様に分析可能である。

(b)慣性項を導入するケース

開業後の効用関数に対して、単純に以下のような慣性項を導入する。

$$U_{n,ij,r}^1 = V_{n,ij,r}^1 + \varepsilon_{n,ij,r}^1$$

$$= \beta^1 x_{n,ij,r}^1 + \beta_\delta \delta_{n,ij,r} + \varepsilon_{n,ij,r}^1 \quad (2)$$

ここで、 $\delta_{n,ij,r}$  : 個人  $n$  が  $i \rightarrow j$  の特定経路  $r$  を開業前に選択しているとき 1, そうでないとき 0 となる変数である。また、開業前後で誤差項は独立であることを仮定する。慣性項の未知パラメータの推定値から、学習・習慣の程度を分析することができる。

(c)未知パラメータの共通性を変化させるケース

未知パラメータの共通性のバリエーションとして、次の 2 種類のパターンを想定し、分析を行うこととする。

1)開業前後で未知パラメータが同一のパターン

$\beta^0 = \beta^1$  であるという制約を課した上で、未知パラメータを推定する。この場合、異時点間で誤差項の分散が異なることを考慮する必要が生じる。そこで、以下の式で表されるような選択肢や個人に依存しない 1 つのスケールパラメータを導入することとする。この推定値が 1 よりも大きい場合には、開業後の方が開業前よりも誤差項の分散が小さくなることを意味する。

$$\text{Var}(\varepsilon_{n,ij,r}^0) = \mu^2 \text{Var}(\varepsilon_{n,ij,r}^1) \quad (3)$$

スケールパラメータを含めたすべての未知パラメータは最尤推定法によって推定される。なお、本来ならば、2 時点のデータを用いて、同時推定によってパラメータを求め

るべきだが、本研究では、開業前データのパラメータ推定結果を、開業後データに入力するという、段階推定法を用いることとする。これにより、このパターンでは、結局 2 段階目で推定するのは、スケールパラメータのみとなる。

2)一部の未知パラメータは異時点間で不変だが、一部のみが変化するパターン

以下のような効用関数を設定し、先のパターンと同様に、2 時点のデータを用いて段階推定を行う。

$$U_{n,ij,r}^0 = \beta x_{n,ij,r}^0 + \alpha w_{n,ij,r}^0 + \varepsilon_{n,ij,r}^0 \quad (4a)$$

$$U_{n,ij,r}^1 = \beta x_{n,ij,r}^1 + \gamma z_{n,ij,r}^1 + \varepsilon_{n,ij,r}^1 \quad (4b)$$

ここで、 $\beta$  として何を選択するかについては、開業後の SR ダミー (埼玉高速鉄道のとき 1, そうでないとき 0) に係るパラメータ以外の全パラメータを開業前後で共通とするパターンと、交通時間と交通費用に係るパラメータのみ開業前後で共通とするパターンの 2 パターンを想定する。

(d)誤差項の相関による影響を考慮するケース

森川・山田<sup>2)</sup>に倣い、誤差項  $\varepsilon_{n,ij,r}$  をシステムティックな部分  $\lambda_{n,ij,r}$  とホワイトノイズの部分  $v_{n,ij,r}$  に分解し、その上でシステムティックな誤差の効用に与える影響が、異時点間で異なることを仮定する。具体的には以下のような誤差構造を仮定する。

$$\varepsilon_{n,ij,r}^0 = \lambda_{n,ij,r} + v_{n,ij,r}^0 \quad (5a)$$

$$\varepsilon_{n,ij,r}^1 = \theta \lambda_{n,ij,r} + v_{n,ij,r}^1 \quad (5b)$$

表-2 未知パラメータの推定結果1

変数名	単位	基本ケース		I. 慣性項の導入 開業後(慣性項あり)	II. パラメータの変化による影響		
		開業前	開業後		全変数が共通 開業後	SRダミー以外共通 開業後	Rt・Rcのみ共通 開業後
アクセス時間 (Akt)	分	-0.2559	-0.2992	-0.4483	[-0.2559]	[-0.2559]	-0.2609
乗車時間 (Rt)	分	-6.575	-8.172	-3.768	[-0.1777]	[-0.1777]	-8.171
乗車費用 (Rc)	円	-4.108	-5.138	-3.39	[-0.0068]	[-0.0068]	[-0.0068]
乗換回数	回	-2.507	-2.654	-1.554	[-0.4574]	[-0.4574]	-0.2560
SRダミー		-0.4574	-0.2925	0.1904			-0.968
車ダミー		-1.245	-0.953	0.307			-0.3080
バスダミー			-0.5435	14.4205			-0.645
慣性項			-0.704	0.264			7.4991
スケールパラ ( $\mu$ )		8.8444	9.5611	9.4847	[8.8444]	[8.8444]	0.341
サンプル数		0.347	0.231	0.051			-0.0411
初期対数尤度		0.2588	-0.0446	-2.2630	[0.2588]	[0.2588]	-0.201
最大対数尤度		1.153	-0.191	-2.070			1.1428
尤度比				17.3428			6.201
DF調整尤度比				0.318			1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880
							8.865
							6.201
							1.0643
							8.865
							6.201
							1.1428
							6.201
							1.0616
							8.880

表-3 未知パラメータの推定結果2

変数名	単位	Ⅲ. 誤差項の相関による影響		Ⅳ. 組み合わせ	
		開業前	開業後	SRダミー以外共通 開業後	Rt・Rcが共通 開業後
アクセス時間 (Akt)	分	-0.3022 -7.065	-0.3105 -5.222	[-0.2559]	-3.078 -5.493
乗車時間 (Rt)	分	-0.2131 -4.319	-0.2221 -3.733	[-0.1777]	[-0.2131]
乗車費用 (Rc)	円	-0.0078 -2.046	-0.0071 -2.57	[-0.0068]	[-0.0078]
乗換回数	回	-0.5226 -1.236	-0.2913 -0.924	[-0.4574]	-0.2950 -0.940
SRダミー			-0.5464 -0.690	-0.1003 -0.323	-0.3862 -0.680
車ダミー		9.5058 0.332	9.8069 0.219	[8.8444]	8.7942 0.327
バスダミー		0.3299 1.296	-0.0297 -0.119	[0.2588]	-0.0356 -0.145
スケールパラ ( $\mu$ )				1.1193 5.353	0.9969 4.535
誤差項標準偏差 ( $\theta$ )		[1.0000]	0.5263 0.482	0.6000 0.639	0.4560 0.395
サンプル数		156	156	156	156
初期対数尤度		-226.34	-260.18	-260.18	-260.18
最大対数尤度		-152.62	-163.44	-164.88	-163.49
尤度比			0.372	0.366	0.372
DF調整尤度比		0.308	0.363	0.362	0.363

ここで、システムティックな誤差  $\lambda_{n,ij}$  は、個人間ならびに選択肢間で共通の平均 0、分散 1 の標準正規分布に従うものと仮定する一方で、ホワイトノイズについては、独立かつ均一のガンベル分布 (i. i. d. ガンベル) に従うものと仮定する。  $\theta$  が 1 より小さい場合には、システムティックな誤差の分散が、開業後の方が開業前より小さくなることを意味する。

(e) 組み合わせケース

当然ながら、以上の 3 つの組み合わせを同時に考慮することが可能である。そこで、これらの同時考慮についても検討する。同時に考慮する場合であっても、パラメータの推定方法は、基本的には変わらない。

4. パラメータの推定結果

以上の考え方に基づいて、未知パラメータの推定を行った。その結果を示したものが、表-2,3 である。なお、表中の[]内の数値は、2 時点間(開業前と開業後)で共通のパラメータあるいは所与の一定値であることを意味する。

推定結果より、以下のような点を指摘できる。

- ・基本ケースの結果より、そもそも開業前と開業後でそれほど大きくパラメータ値は変化していないことがわかる。ただし、開業前後で、乗車時の時間価値は、26.1 円/分から 30.2 円/分へとやや増加している。
- ・慣性項を導入することによって、最終対数尤度が著しく小さくなることがわかる。これは、ほとんどのサンプル利用者について、開業後の選択経路が開業後の選択経路と一致していることによるものと考えられる。また、慣性項の

導入によりパラメータの推定結果が不安定になることがわかった。そこで、これ以外の分析では、慣性項を含めないものとした。パラメータの変化による影響については、3 つのパターン間で、共通変数の設定によって微妙に異なるパラメータ推定結果が得られた。ただし、大きく変化しているのは  $t$  値の低い SR ダミーやバスダミーであり、 $t$  値の高いアクセス時間のパラメータ値は安定している傾向にある。また、共通変数の数を増やしても最終尤度には余り影響を及ぼさないことから、2 時点間で未知パラメータはほぼ一致している可能性が高いと考えられる。また、スケールパラメータはいずれもやや 1 より大きいという結果が得られた。これより開業後の方が誤差の分散が小さくなる傾向にあることがわかる。

・誤差項の相関を考慮したケースの結果から、システムティックな誤差の分散パラメータは、開業後の方が開業前より小さくなる

ことがわかる。開業前における利用経験によって、人々の開業後の意思決定における不確定要素が減少したと解釈できる可能性がある。

・さらに、パラメータの共通化と誤差項の相関を同時に考慮したケースの結果を見ても、個別のケースとほぼ同様の傾向が見られることがわかる。

5. おわりに

本研究では、都市鉄道の経路選択行動を対象として、時系列での行動変化を、離散選択モデルを用いて分析し、利用者の学習・習慣特性の有無に関する検討を行った。本研究には、パラメータ推定で段階推定法を用いている等の分析技法上の課題がある。また、さらに他時点のパネルデータを用いて、本研究の結果を再確認する必要がある。これらについては今後の課題としたい。

【参考文献】

- 1) 藤井聡, 中山晶一郎, 北村隆一: 習慣解凍と交通政策: 道路交通シミュレーションによる考察, 土木学会論文集, No. 667/IV-50, pp. 85-101, 2001.
- 2) 森川高行, 山田菊子: 系列相関を持つ RP データと SP データを同時に用いた離散型選択モデルの推定方法, 土木学会論文集, No. 476/IV-21, pp. 11-18, 1993.
- 3) 小須田啓吾, 浅見均, 須澤浩之, 加藤浩徳: 経路選択行動における選択肢集合設定の影響: 都市鉄道を対象とした実証分析, 土木学会第 57 回年次学術講演会概要集第 4 部(CD-ROM), 2004.