

時間帯別料金割引施策実施時における
経験情報の有無を考慮した出発時刻選択行動分析*
An Analysis of Departure Time Choice under Time-of-Day Toll Discount Schemes
Focusing on the Difference between Before and After Experiencing the Discount*

古川 兼嗣**・吉井 稔雄***・北村 隆一****

By Kenji FURUKAWA**, Toshio YOSHII*** and Ryuichi KITAMURA****

1. はじめに

近年、有料道路の通行料金をコントロールし、直接的に利用者の経路変更や利用時刻変更を促すことで渋滞緩和や環境改善効果を図るという試みが始められている。このような料金施策を適切に実施していくためには、施策に対する利用者個人の交通選択行動を的確に予測することが必要とされ、これまではSP調査に基づいた分析がなされている。また、通勤トリップなど習慣化された交通行動の変更を促す場合には、行動変化の前後における情報量の違いに着目する必要がある。すなわち、旅行時間の情報に代表される変更後の選択肢に関する情報を持ちあわせていないことから、最初の行動変更には試行的意味合いが含まれることになる。対して、経験を得た上での2回目以降の変更に関しては、それまでに経験した情報に基づいて変更前の選択肢と変更後の選択肢の効用を比較した上で意志決定することになり、旅行時間短縮など変更行動を起こす以前には予想されなかった効果（二次的利得¹⁾）がもたらされた場合に変更後の行動が習慣化する確率が高くなるものとされている。

そこで本研究では、通勤トリップを対象として時間帯別料金に反応する出発時刻変更挙動に着目し、初回の変更行動の前後、言い換えれば情報獲得の前後を明確に区別した行動選択モデルを提案する。経験前後で異なるモデルを採用することで二次的利得を明示的に考慮する。さらに、このようなデータをSP調査で獲得することが非常に困難であることが

ら、SP調査ではなく実際の行動データに基づいて、出発時刻選択行動を説明する要因について考察を加える。

2. 2段階行動選択モデル

前章に記した理由から、料金割引施策などの刺激によって促される行動変化を、最初の変更時まで（第1フェーズ）とそれ以降（第2フェーズ）の2つのフェーズに分けて異なる行動選択モデルを構築し、その選択行動を説明する。なお、以下では、習慣化された変更前の行動を採ることを「選択肢0」、行動変更することを「選択肢1」とする。

(1) 第1フェーズ（変更経験前の選択モデル）

最初に選択肢1を選択するまでの選択モデルとして以下の幾何回帰モデルを採用する。

個人 i が選択肢1を選択する確率を p_i とし、 i による選択が各回独立になされるものとして、 n 回目の試行で初めて選択肢1が選択される確率を

$$P_i(n) = p_i(1 - p_i)^{n-1} \quad (1)$$

とする。この場合、 m 回の試行で選択肢1が一度も選択されない確率は

$$\tilde{P}_i(m) = (1 - p_i)^m \quad (2)$$

となる。

一方、個人 i が選択肢 j を選択した際に得る効用 U_{ij} を、

$$U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon, \quad j = 0, 1 \quad (3)$$

とし、

*キーワード：料金割引実験，出発時刻選択，幾何回帰モデル，バイナリーロジットモデル

**学生員，京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
E-mail kfurukawa@term.kuciv.kyoto-u.ac.jp

***正員，工博，京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
E-mail yoshii@termws.kuciv.kyoto-u.ac.jp

****正員，Ph.D，京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
E-mail rkitamura@term.kuciv.kyoto-u.ac.jp

$$V_{i0} = 0 \quad (4)$$

$$V_{i1} = \beta X_{i1} = \beta_0 + \beta_1 X_{i1}^1 + \beta_2 X_{i1}^2 + \dots \quad (5)$$

V_{ij} : i が選択肢 j を選択した際の効用の確定項

X_{ij} : 説明変数ベクトル

β : パラメータベクトル

ε_{ij} : 誤差項

とする。誤差項にガンベル分布を仮定して、選択肢 1 が選ばれる確率を

$$P_i = \frac{1}{1 + \exp\{-(V_{i1} - V_{i0})\}} \quad (6)$$

とし、以下の尤度関数を最大化することによりパラメータベクトル β を推定する。

$$\begin{aligned} \min L^*(\beta) &= \prod_{i \in A} P_i(n_i) \prod_{i \in B} \tilde{P}_i(m_i) \\ &= \prod_{i \in A} \frac{\exp[-\beta X_{i1}(n_i - 1)]}{\{1 + \exp(-\beta X_{i1})\}^{n_i}} \prod_{i \in B} \left\{ \frac{\exp(-\beta X_{i1})}{1 + \exp(-\beta X_{i1})} \right\}^{m_i} \quad (7) \end{aligned}$$

A : 一度でも選択肢 1 を選択した利用者の集合

B : 一度も選択肢 1 を選択しなかった利用者の集合

n_i : i がはじめて選択肢 1 を選択するまでに要した試行回数

m_i : i が選択肢 1 を選択しなかった試行回数

(2) 第 2 フェーズ (変更経験後の選択モデル)

一旦選択肢 1 を選択した後の選択モデルにはロジットモデルを採用する。なお、選択に際して、第 1 回目の変更経験により獲得された選択肢 1 に関する情報が利用されると考え、モデルの説明変数に選択肢 1 に関する経験情報を含める。

3. 調査概要

前章に構築した 2 段階行動選択モデルの妥当性の検証を行うことを目的に、実際の行動データを用いた解析を行った。本章ではデータ獲得のための調査の概略を示す²⁾。

(1) 調査対象

調査は図-1に示す阪神高速 13 号東大阪線を利用して都心部に向かう通勤交通を対象として行った。具体的には、「普通車で阪神高速を日常的に通勤に利用している」と回答した利用者を本調査の被験者とし、「交通ダイアリー調査票」への回答を依頼した。

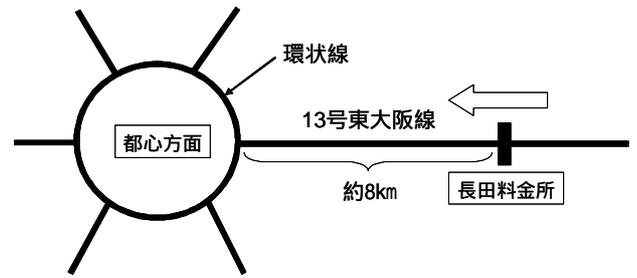


図-1 阪神高速 13 号東大阪線路線図

(2) 時間帯別料金の設定

調査は、平成 16 年 1 月 26 日 (月) から 3 月 5 日 (金) (6 週間) の平日とし、表-1 に示す内容で、長田料金所の通過時間帯に応じた割引料金を設定した。ただし、正確には割引料金を適用したのではなく、一旦料金所で正規の料金 (700 円) を支払った直後、ブース出口部で係員が現金を払い戻すという方式を採用した。

表-1 調査期間と料金設定

割引期間	実施期間	長田料金所通過時間帯	料金
第 1 期	1 週間 (5 日)	-	通常料金
第 2 期	2 週間 (9 日)	AM5:00 ~ 6:00	600 円割引
		AM6:00 ~ 7:00	300 円割引
		AM7:00 ~ 9:00	通常料金
第 3 期	2 週間 (10 日)	AM9:00 ~ 10:00	300 円割引
		AM5:00 ~ 6:00	300 円割引
		AM6:00 ~ 7:00	100 円割引
第 4 期	1 週間 (5 日)	AM7:00 ~ 9:00	通常料金
		AM9:00 ~ 10:00	100 円割引
第 4 期	1 週間 (5 日)	-	通常料金

(3) 交通ダイアリー調査

平日 6 週間にわたる調査期間中、被験者には「交通ダイアリー調査票」への回答を要請した。質問項目は、通勤トリップの有無、起点・終点とそれぞれの時刻、オンランプ・オフランプ名とそれらの通過時刻ならびに予定到着時刻と実際の到着時刻などである。なお被験者には調査票回答前に、年齢、性別、勤務開始時刻などについて回答を求めている。

4. 出発時刻変更行動に関する集計結果

割引期間別の長田料金所通過時間帯分布を図-2 に示す。図より、割引期間である第 2・3 期で、6 時台と 9 時台の利用率が通常料金期と比べて増加し、逆にピーク時 (7 時台、8 時台) の利用率は減少しており、割引額の大きい第 2 期においてその傾向が顕著であることが確認できる。なお、長田料金所通過時刻により利用者を 7 時以前、7-9 時、9 時以降の 3 つのクラスに分類し、第 1 期と第 2 期、第 1 期と第 3 期における各クラス選択利用者割合の変化の有無について、2×3 分割表を用いた独立性の検定を行った (表-2)。

その結果、第2期は通常期間である第1期と比べて各時間帯の利用割合に有意な差があることを確認した。

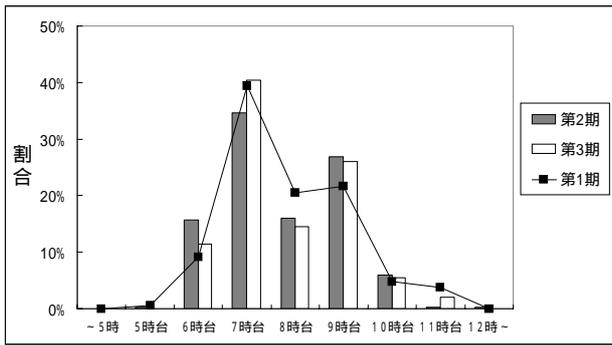


図-2 期間別の長田料金所通過時間帯分布

表-2 長田料金所利用時間帯の利用者の割合と各期間の独立性の検定結果

	第2期	第3期	
第1期	8.166 (0.017)	1.856 (0.395)	カイ2乗値(f=2) (有意確率)

**は1%水準で有意、*は5%水準で有意であることを示す。

5. 2段階行動選択モデルの適用

第1期において長田料金所を7時～9時に通過する被験者(29名)を対象にして、第2期における自宅から勤務地への通勤トリップを対象に、2段階行動選択モデルのパラメータ推定を行う。なお、割引を享受出来る時間帯が7時以前または9時以降であるのに対して、9時以降に長田料金所を通過するように行動を変化させた利用者がわずかであったことから、7時以前への変更のみ着目する。また、出発時刻を7時以前に変更している場合でも、普段よりも早い出勤の要があったなど、割引が無くても出発時刻を変更する可能性が考えられる。そこで、これを除外するために、長田料金所を7時以前に通過することで割引を受け、かつダイアリーの「もし割引がなかったとしたら、出発時刻を変更したと思いますか?」という質問に対して「割引券が無くても、同じ時刻に出発して、阪神高速13号東大阪線を利用していたと思う」と回答した場合には「変更」とは見なさず、データから削除した上で分析を行う。

(1) 第1フェーズ(最初に割引を経験するまで)

本節では、第2期において上記の被験者が割引施策実施後において長田料金所通過時刻を7時以前に変更するか否かの選択を考える。説明変数には「シフト時間[分]」「50歳以上ダミー(1:50歳以上,0:50歳未満)」を用いて、最初に通過時刻を変更する確率なら

びに一度も変更しない確率を式(1)(2)で与える幾何回帰モデルを推定する。なお、シフト時間とは、割引を受けるために最小限必要となる普段の平均的な出発時刻からの出発時刻変更量のことである。上記の有効サンプルのうち1度でも7時以前にシフトしたグループAに属する被験者は8名、1度も変更しないグループBの被験者は21名であった。グループAについて、第2期において何日目に初めて7時以前にシフトしたかを表したのが、表-3である。1日目に変更した被験者が多いが、2日目以降に始めて変更を選択する利用者も存在していることが確認出来る。

モデルの推定結果を表-4に示す。シフト時間が短い利用者、すなわち普段7時近くに長田料金所を通過する利用者ほど割引を受けるために利用時刻を変更しやすいという状況を反映して、シフト時間のパラメータ推定値が負値を示している。また十分に有意ではないが、50歳以上ダミーのパラメータ値が正値を示していることが50歳以上の利用者(サンプル=9名)が出発時刻変更行動を起こしやすい可能性を示唆している。

表-3 n日目に初めて変更した利用者数

n	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	計
人数	6	1	1	0	0	0	0	0	0	8

表-4 第1フェーズモデル推定結果(幾何回帰モデル)

説明変数	Coef.	t値
定数項	0.858	0.83
シフト時間	-0.155	-3.26 **
50歳以上ダミー	1.439	1.54
サンプル数	29	L(0) -99.81
σ^2 値	163.62	L(c) -30.90
σ_c^2 値	25.78	L() -18.00
σ^2	0.82	

**は1%水準で有意、*は5%水準で有意であることを示す。

(2) 第2フェーズ(割引経験後)

割引を受けるために普段の出発時刻よりも早い出発時刻のトリップを経験した利用者は、出発時刻を変更した場合のトリップの効用を知ることができる。そこで、出発時刻を早めることで7時以前に長田料金所を通過するトリップを経験した後の段階(第2フェーズ)においては、その経験情報も加味して、「1回目の経験での予定到着時刻と実際の到着時刻との差[分]」「50歳以上ダミー」を説明変数とするロジットモデルを適用する。分析には、1度でも出発時刻を変更した8名の利用者の変更後の日々の通勤行動を示す33サンプルを用いた。うち、50歳以上は4

名，16サンプルであった。

パラメータの推定結果を表-5に示す。「1回目の経験での予定到着時刻と実際の到着時刻との差」のパラメータ値が正値を示している。すなわち，初回の変更経験時に，予想していたよりも短い旅行時間で目的地に到着できた利用者がその後も継続して変更後の行動を選択しやすいという二次的利得による効果があることが確認された。さらに，「50歳以上ダミー」のパラメータ値が負値を示しており，前節で得られた知見と合わせると，50歳以上の利用者は一度は出発時刻変更を行いやすいものの，一旦変更を経験した後は通常的时间帯に戻りやすいという性向があることがわかった。

表-5 第2フェーズモデル推定結果（ロジットモデル）

説明変数	Coef.	t値
定数項	7.292	3.00 **
1回目の経験での予定と実際の到着時刻の差	0.432	2.63 **
50歳以上ダミー	-5.358	-2.64 **
サンプル数	33	L(0) -22.87
σ^2 値	32.51	L(c) -18.28
σ_c^2 値	23.31	L() -6.62
σ^2	0.71	

**は1%水準で有意，*は5%水準で有意であることを示す。

6. 2段階行動選択モデルの説明力

本章では，2段階行動選択モデルの妥当性を評価するために，従来の1段階モデルとその説明力を比較する。比較対象とする従来のモデルは，2段階に区別することなく全ての期間にわたりロジットモデルを用いて行動選択を説明するものである。なお，説明力を比較する指標には対数尤度を用いる。

1段階のモデル推定の結果を表-6に示す。サンプル数177は前章で説明した29名の総通勤トリップ数を示す。2段階行動選択モデルのうち第1段階のモデルは始めて変更した日を説明するモデルであるため，サンプル数29が総被験者数に相当し，変更を行った8名の始めて変更するまでの日数と変更を実施しなかった21名が行った全トリップの合計144トリップに該当する。また，これに変更を実施した8名による変更後のトリップ回数33を加えて合計すると177トリップとなり，両者共に同じトリップ回数における出発時刻変更の選択状況を説明していることになる。なお，2段階モデルの方が説明変数の数が多くなるため，1段階モデルではt値は低くても

なるべく多くの説明変数を取り込んだモデルの推定結果を示している。

同じ土俵で正確に比較することは叶わないが，本稿で提案した2段階行動選択モデルの対数尤度が-24.6(-18.0-6.6)であるのに対して，経験前後を区別しない1段階モデルの対数尤度が-34.3となり，パラメータ数の差(6に対して5)を考慮しても十分にその説明力に差があることを確認した。この結果は，初回の出発時刻変更行動の前後で選択行動に違いがあるということを示している。

表-6 1段階モデル推定結果

説明変数	Coef.	t値
定数項	1.565	1.18
シフト時間	-0.202	-5.41 **
出発時刻の標準偏差	0.097	2.23 *
旅行時間	0.015	0.62
50歳以上ダミー	0.462	0.70
サンプル数	177	L(0) -122.69
σ^2 値	176.85	L(c) -85.14
σ_c^2 値	101.75	L() -34.26
σ^2	0.72	

**は1%水準で有意，*は5%水準で有意であることを示す。

7. おわりに

本稿では，時間帯別料金の設定など，交通行動の変更を促す何らかの交通施策を実施した場合の交通行動変化について，変更後のトリップに関する情報の有無を理由に変更実施の前後で選択行動に差が生じると考え，変更前後を区別した2段階の行動選択モデルを構築した。さらに阪神高速13号東大阪線で料金割引実験を実施し，そこから獲得されたデータを用いて，2段階行動選択モデルが従来のモデルと比較して高い説明力を備える可能性があることを示した。ただし，今回は調査の限界から十分なサンプル数を獲得することが叶わなかったため，結果の信頼性は必ずしも十分ではないことを付記しておく。

最後に，本調査の実施・データ集計に際して，阪神高速道路公団，(株)交通システム研究所の諸氏，京都大学牛若健吾氏(現大阪府)，酒井正格氏に多大なる協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Aronson, E. : The social animal, 6th ed., W.H. Freeman & Company, San Francisco, 1992 (岡隆, 亀田達也(訳): ザ・ソーシャル・アニマル: 人間行動の社会心理学的研究, サイエンス社, 1994.)
- 2) 土居聡, 吉田聡, 吉井稔雄, 大藤武彦: 阪神高速13号東大阪線における料金割引実証調査 - 通勤トリップの経路変更・利用時刻変更行動の分析 -, 第25回交通工学研究発表会論文報告集, 投稿中