

Duration modelによるパーク・アンド・ライド社会実験への参加行動の分析*

Analysis of Attending Behavior to Park and Ride Social Experiment Using Duration Models*

重松史生**・藤原章正***・杉恵頼寧****・張 峻屹*****

By Fumio SHIGEMATSU **, Akimasa FUJIWARA ***, Yoriyasu SUGIE ****, and Junyi ZHANG*****

1. はじめに

近年になって、交通行動分析にも時間的な要素を取り入れたダイナミック分析の有効性が実証されてきた。ところが、多時点にわたって離散的に収集されたデータを用いたダイナミック分析では、交通行動の時間的な変化を十分に説明することができないという問題がある。すなわち、従来の分析手法では、時点間の情報が不足するため、時点間の交通行動の変化の過程や変化のタイミング、さらにこれらの変化に影響を及ぼす要因とその程度などについて十分に説明できない。以上のような理由で、交通行動分析においても時間の連続量を取り扱った分析手法を確立する必要性が高まってきている。このような背景を踏まえて本研究では、ある現象の時間的な変化の過程を連続的に説明することができるモデルで、主に経済学や生物学、医学の分野で解析に用いられてきたduration modelを用いて、離散選択モデルでは十分に捉えることのできない、連続量を取り扱ったモデルの推定を試みる。

duration modelは、観測時点からある事象（イベントと呼ぶ）が発生するまでの時間（生存時間と呼ぶ）を分析する際に用いられ、経済学では失業期間、医学では人間の寿命などの分析に頻繁に適用されている。このモデルが交通研究分野で本格的に適用されるようになったのは1980年代後半のことである。その適用事例としては、自動車の保有期間について分析した例や¹⁾、トリップ活動間における自宅滞在時間についての分析事例²⁾がある。さらに、出発時刻

の遅延時間³⁾やドライバーの経路変更を促すまでに要する時間⁴⁾、その他に渋滞時間について分析した例⁵⁾が見られる。これらの研究のほとんどが、イベントが1回しか発生しないとする非再発的な事象を取り扱っており、duration modelの1つであるsingle-spell duration modelが解析に適用されている。

本研究では、昨年秋に広島市で実施されたパーク・アンド・ライド（Park and Ride：以下P&R）社会実験で得られたモニターの実験への参加行動から、自動車から軌道系公共交通機関への転換を行う人の需要の時間的な変化をduration modelを用いて説明することを目的とし、この解析にsingle-spell duration modelを拡張したモデルで再発事象を取り扱うことができるmultiple-spell duration modelを適用する。

2. 広島市におけるP&R社会実験の概要

広島市では、通勤時の交通渋滞緩和を目的に、自動車から公共交通機関への転換を促すためにP&Rシステムの導入が検討されており、その一貫として社会実験を実施した。社会実験のモニターは、広島市西部近郊から広島市中心部へ自動車通勤している人で公募した結果、56名の人が集まった。

表-1 P&R社会実験の実施日程

項目	日程
モニター募集	H.6.5.20～7.15
通勤経路に関する事前調査	H.6.7.15～7.25
P&R意識調査（実施前）	H.6.8.8～8.20
定期券の郵送	H.6.8.26
P&R社会実験の実施	H.6.9.1～9.30（1ヶ月間）
P&R意識調査（実施後）	H.6.10.1～10.10

モニターの個人属性の割合は、年代では30代、40代の人が多く、男性が約8割を占めている。実験期間中、各モニターには鉄道の定期券が配布された。また、P&Rの駐車場は無料であった。モニター全員に

* キーワード：交通行動分析、駐車

** 正会員，学術修士，九州旅客鉄道株式会社
(福岡市博多区博多駅中央街1-1, TEL & FAX :092-47-2501)

*** 正会員，工博，広島大学大学院国際協力研究科
(東広島市鏡山1-4-1, TEL & FAX: 0824-24-7825)

**** 正会員，工博，広島大学大学院国際協力研究科
(東広島市鏡山1-4-1, TEL & FAX: 0824-24-7826)

***** 正会員，工博，広島大学工学部第四類建設系
(東広島市鏡山1-4-1, TEL & FAX: 0824-24-7849)

ついて実験開始前後に計2回のアンケート調査を実施し、実施後の調査ではP&Rを利用した日を記録してもらった。また、図-1に示すように、約6割のモニターがほぼ毎日実験に参加しており、P&Rシステムが導入された場合の転換意向については、「利用する」と「多分利用する」と答えた人が全体の約半数を占めた。また、P&Rを利用しなかった理由として、会社や家庭の都合などサービス変数の改善によって解決できない理由が約6割挙げられた(表-2)。なお、調査の詳細については参考文献 6) に詳しく記述されている。

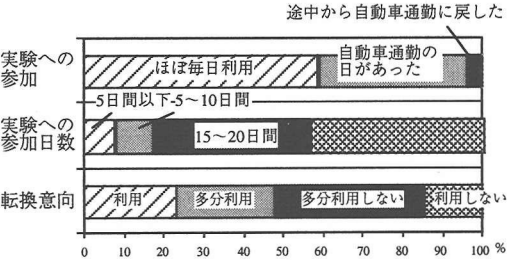


図-1 社会実験への参加状況とP&Rへの転換意向

表-2 P&R社会実験へ参加しなかった理由

サービスレベルの改善によって解決できる理由		サービスレベルの改善によって解決できない理由	
帰宅時が不便	7 (人)	飲酒等のため	15 (人)
車内混雑がひどい	2	雨天であったため	6
所要時間が長い	4	仕事の都合	22
帰宅が遅い	13	家庭の都合	16
待ち時間が長い	3		
乗り換えが不便	5		
計	36.6%		63.4%

3. Duration modelの概説

(1) 生存関数とハザード関数
生存時間の分布を記述する数学的道具である生存関数とハザード関数について整理する。
生存関数S(t) (survival distribution function)は、確率変数 T が一定時点 t を越える確率を意味する (T は生存時間を表す非負の確率変数)。したがって、生存関数は0から1の間の値をとる t の単調減少関数であり、t=0のとき1、t→∞につれて0に漸近する。ここで、T≤tとなる確率を示す分布関数をF(t)、確率密度関数をf(t)とすると生存関数は式 (1) のように表さ

れる。

$$S(t) = \text{Prob}(T \geq t) = 1 - \text{Prob}(T \leq t) = 1 - F(t) \tag{1}$$

一方、ハザード関数 h(t) (hazard function)を用いて生存時間分布を表現することもできる。ハザード関数は、t≤Tとなる条件の下で、次の瞬間にイベントが発生する確率を意味する。つまり、時刻 t まで生存し続けたものが、時刻 t+Δt までにイベントが発生するという条件付き確率である。数式を式 (2) に示す。

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\text{Prob}(t \leq T \leq t + \Delta t \mid T \geq t)}{\Delta t} = - \frac{d(\ln S(t))}{dt} = \frac{f(t)}{S(t)} \tag{2}$$

式 (2) に示すように、生存関数S(t)、ハザード関数 h(t)を用いて生存時間分布の確率密度関数を記述することができる。これらの関数はどれか1つの関数が定まれば、残りの関数も自動的に決まるという意味で数学的には等価のものである。

(2) 比例ハザードモデルの構造⁷⁾

本研究では、生存時間解析に頻繁に用いられるモデルである比例ハザードモデルを推定する。その際、生存時間分布にある特定の分布を仮定するパラメトリックな推定を行う。生存時間分布としては、指数分布、ワイブル分布、対数ロジスティック分布などの極値分布を仮定して推定が行われる場合が多い。これらの分布のハザード関数、生存関数を表3に示す。ここでγ、αは分布の尺度パラメータ、形状パラメータと呼ばれ分布の形を決定する上で非常に重要なパラメータである。

表-3 各分布の生存関数とハザード関数

分布	生存関数S(t)	ハザード関数h(t)
指数	exp (-γ t)	γ
ワイブル	exp (-γ t ^α)	γ α t ^{α-1}
対数ロジスティック	1 / (1 + γ t ^α)	γ α t ^{α-1} / (1 + γ t ^α)

比例ハザードモデルは、ハザードをモデル化する。そこでハザード関数は式 (3) に示すように定義される。要因の効果は基準ハザード関数にexp(Bx)という

比例定数を掛けることによって明示的に扱うことができる。

$$h[t, x, \beta, h_0(\gamma, \alpha, t)] = h_0(\gamma, \alpha, t) \exp(\beta x) \tag{3}$$

ここで、 $h_0(\gamma, \alpha, t)$ は基準ハザード関数と呼ばれるもので、ここに表1に示した各分布のハザード関数を代入する。 β は未知パラメータである。なお、パラメータの推定には最尤推定法を用いる。

4. P&R社会実験への参加行動の分析

(1) multiple-spell duration modelの定式化

モニターは実験期間中何らかの理由で、自動車通勤へ戻り（イベント）、そして再び復帰してP&R通勤に戻るといった行動を繰り返す。したがって、もともと非再発的な事象、つまりイベントが1回しか観測されない現象を対象とした従来の解析手法（これは、single-spell duration modelと呼ばれている）を拡張したmultiple-spell duration modelを推定する⁸⁾ (図-2)。

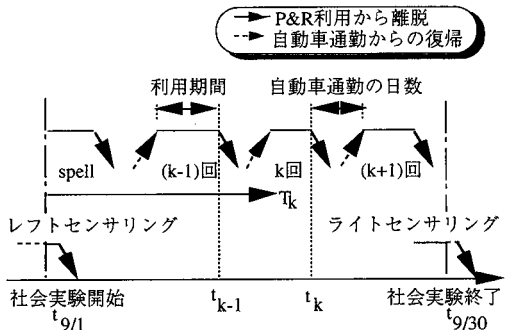


図-2 イベントの繰り返し関係

k 回目のイベントが継続中であるモニターのハザード関数を式 (4) のように定義する。

$$h_k(t) = h_{0,k}(t) \exp(\beta x + \kappa x_{k-1}) \tag{4}$$

ここで、 $h_{0,k}(t)$ は k 回目のイベントに対する基準ハザード関数である。 κx_{k-1} は状態依存を考慮するために用いる変数である。つまり、k 回目の行動は(k-1)回目の行動の影響を受けるとみなす。具体的には前回の行動に関する情報として、前イベントの継続期間と前イベント発生時からP&R通勤に復帰するまでの2つを考慮する。そこで、モニターが時刻 T_k に k 回目

のイベントを終了する確率は、式 (5) に示すように1回目から k 回目までイベントが終了する同時確率とみなされる。また、取り扱うデータには正確なイベントの発生日が観測できないセンサリングデータ（レフトセンサリングとライトセンサリング）が存在するため、尤度関数は式 (6) を用いて推定した。

$$\begin{aligned} \text{Prob}(T_k=t_k) &= \text{Prob}(T_k=t_k|t_{k-1}, t_{k-2}, t_{k-3}, \dots, t_2, t_1) \\ &= \text{Prob}(T_1=t_1) \times \text{Prob}(T_2=t_2|t_1) \times \text{Prob}(T_3=t_3|t_2) \\ &\quad \times \text{Prob}(T_4=t_4|t_3) \times \dots \times \text{Prob}(T_{k-1}=t_{k-1}|t_{k-2}) \\ &\quad \times \text{Prob}(T_k=t_k|t_{k-1}) \end{aligned} \tag{5}$$

$$L(\theta) = \prod_{i \in \text{NC}} f(t_i, \theta) \prod_{i \in \text{LC}} F(t_i, \theta) \prod_{i \in \text{RC}} S(t_i, \theta) \tag{6}$$

ここで、NCはセンサリングでないデータの集合、LCはレフトセンサリングデータの集合、RCはライトセンサリングデータの集合を指す。 θ は推定する未知パラメータである。

表3に示した各分布を仮定して推定を行ったが、対数ロジスティック分布のあてはまりがよいことが確認された。表4に推定結果を示す。

表-4 multiple-spell duration modelの推定結果		
項 目	対数ロジスティック分布	
性別 (男性→1, 女性→0)	0.100	
年齢	0.018**	
出発時刻ダミー (6:00~8:00→1, 8:00~→0)	0.002	
前イベントの参加期間	-0.289**	
イベント間の日数	-0.107**	
理由ダミー (LOS要因以外の理由→1, その他0)	-0.118	
アクセス時間 (分) (自宅→駅)	0.035**	
乗車時間 (分)	0.018**	
エグレス時間 (分)	0.014*	
形状パラメータ α	1.611**	
尺度パラメータ γ	0.031**	
初期尤度	-1442.000	
最終尤度	-1016.890	
尤度比	0.295	
AIC	2055.780	
サンプル数	53	

(*:5%有意, **:1%有意)

尤度比は高い値を示しており、モデルの適合度はよい。ここで、分布のパラメータは推定値に固定し、それ以外のパラメータについては全てゼロに固定して計算した尤度を初期尤度とした。状態依存を示す

説明変数の符号は負を示したことから、前時点のP&R通勤の継続日数が長ければ長いほど現時点における継続日数が長くなる傾向が読み取れる。また、いったん自動車通勤に戻ってから再びP&R通勤に戻るまでの期間が長い人ほど戻ってからのP&R通勤の継続日数が長い傾向がある。理由ダミーについては、やむを得ない理由（LOS要因以外の理由）で自動車通勤した日を除いてはP&R通勤を積極的に利用する傾向にあることが窺われる。

(2) 交通サービス変数の感度分析

P&R通勤に引き止めておくために、交通管理者としてはP&R通勤における交通サービスを改善することが必要になる。そこで、これらの交通サービス変数が改善された場合の生存確率の変化について感度分析を行った。

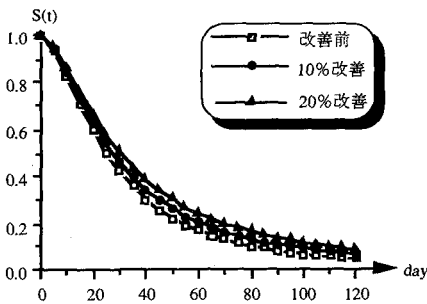


図-3 サービス変数の改善による生存確率の分布

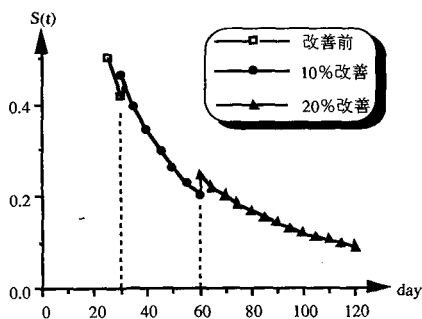


図-4 交通需要の管理の考え方

図-3は、P&R通勤の生存確率の分布を描いたものである。図からアクセス、乗車、エグレスの各時間が現況値よりそれぞれ同時に10%、20%改善された場合、生存確率が上昇していることがわかる。さら

に、図-3を用いて適正な交通需要の管理を行うことができる（図-4）。時間の経過とともにP&R通勤の需要が減少する。そこで、例えば30日経過した時点で交通サービス変数を改善前から10%改善すると、生存確率が最大4.3%（30日経過した時点）上昇した。さらに60日経過した時点でもう10%（改善前から20%）改善された場合は、4.0%生存者が増える。

このように、duration modelを用いることによって適正な交通需要の管理を行うためのサービス変数を事前に評価することが可能となる。

5. おわりに

以上の分析結果より、duration modelを用いて社会実験への参加行動からP&R通勤の需要予測の時間的な変化の過程を追跡した。本研究では、モニターが母集団を代表していると仮定している点、P&R利用者の全員に対して同一のハザード関数を仮定している点などの問題があり今後の検討課題である。

参考文献

- 1) Gerard D., Kitamura R. & Klooster J. (1994) : A disaggregate model of vehicle holding duration, type choice and use, Paper presented at the 7th International Conference on Travel Behaviour, Valle Nevado, Chile.
- 2) Hamed M.M. & Mannering F.L. (1993): Modelling traveler's postwork activity involvement: toward a new methodology, Transportation Science, Vol.27, No.4, pp. 381-400.
- 3) Mannering F.L., Kim S.G., Barfield W. & Linda N. (1994) : Statistical analysis of commuters route, mode and departure time flexibility, Transportation Research Board, 73rd Annual Meeting, Washington D.C.
- 4) Hensher D.A. & Raimond T. (1992) : The timing of change: discrete and continuous time panels in transportation, Paper presented for The First US Conference on Panels for Transportation Planning, Lake Arrowhead, California.
- 5) Paelk T.A. & Mannering F.L. (1994) : Use of duration models for predicting vehicular delay at a US/Canadian border crossing, Transportation, Vol.21, pp.249-270.
- 6) 加藤文教・藤原章正・杉恵頼率 (1995) : 広島市におけるパーク・アンド・ライドの社会実験, 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第4部, pp.172-173.
- 7) Hensher D.A. & Mannering F.L. (1994): Hazard-based duration models and their application to transportation analysis, Transport Reviews, Vol.14, No.1, pp.63-82.
- 8) Heckman & Singer (1985) : Longitudinal Analysis of Labor Market Data, pp.39-101, Cambridge University Press.