

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 Behaviour to Park-and-Ride Experimental Scheme Using Duration Model*

藤原章正[†]・杉恵頼寧[†]・張 峻屹^{††}・重松史生^{†††}

By Akimasa FUJIWARA[†], Yoriyasu SUGIE[†], Junyi ZHANG^{††} and Fumio SHIGEMATSU^{†††}

1. はじめに

消費者行動の研究分野では、イノベーション採用の意思決定は時間経過に沿ったプロセスとして扱われる¹⁾。交通行動分析においても、例えば交通需要マネジメント (TDM) 施策に対する住民の合意プロセスなどは時間軸上の動学的事象として取り扱うべきであろう。すなわちある TDM 施策が導入されると、個人はその外的刺激に対して即時に反応することは稀で、ある期間内で交通・活動パターンを調整すると考えることが自然であろう。また交通需要管理者の立場からみると、刺激に対する反応の最終結果だけではなく、その過程を連続的な時間軸の中で予測することが求められるし、加えてマーケティング戦略すなわち TDM 施策の改善や追加のタイミングの判断も要請されるであろう。

このような要請に対して duration model の適用が考えられる。duration model 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ある。

本研究では、1994 年秋に広島市で実施されたパーク・アンド・ライド (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データをベースとし、P&R による通勤交通需要の時間的な変化を duration model を用いて分析することを目的とする。通勤行動は 1 週間単位の再発事象であることから、ここでは非再発的な事象を取り扱う single-spell duration model を拡張した multiple-spell duration model を適用する。

2. 既往の研究

(1) 生存時間解析

Duration model は、観測を始めてからある事象が発生するまでの時間 (survival time: 以下、生存時間と呼ぶ) を分析する生存時間解析に用いられる。経済学では失業期間、生態医学では患者の疾病再発や死亡の時期、信頼性工学では工業製品の寿命の分析などに頻繁に適用されている。この生存時間解析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^{2), 3), 4)}、トリップ間における自宅滞在時間についての事例⁵⁾、出発時刻の遅延時間⁶⁾やドライバーが新規経路へ変更するまでに要する時間の分析⁷⁾、その他に渋滞時間について分析した例⁸⁾等が見られる。ただし、これらの研究の多くは非再発事象を前提にした single-spell duration model を使った分析である。

(2) 交通政策評価のための社会実験⁹⁾

ここでいう社会実験とは住民参加型社会実験をさす。社会実験の目的は、交通政策を本格的に実施する前に短期的、小規模な試行機会を提供することによって、実社会での効果の検証、住民の合意形成の促進、住民からの意見収集にある。社会実験は本格実施の内容と一致した条件で仮体験を行うものであるため、住民アンケート調査等に比べて収集データの信憑性が高い。英国では Experimental Scheme と呼ばれ交通静穏化のための施策を一定期間試行して事前評価することが通常の計画プロセスとなっている。我が国の事例も多く参考文献 9) にまとめられている。

社会実験では通常、実験前後の行動変化について観測・分析される。しかし非常に短い期間で実施される社会実験の結果を実際のより長期的な交通行動へ関連づけるためには、実験中に観測された行動規範が実

* TDM, 交通行動分析

[†] 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, 広島大学工学部
(東広島市鏡山 1-4-1, TEL&FAX: 0824-24-7849)

^{†††} 正会員, 学術修, 九州旅客鉄道株式会社
(北九州市門司区清滝 2-3-29, TEL: 092-474-2501)

験後どのように変化してゆくのか予測する必要がある。この点に関しては十分な研究がなされていない。

3. Duration Model の概要

(1) 生存関数とハザード関数

生存時間解析の目的変量は、ある事象が時間 t で生起するまで個人がある状態に留まっていた時間の長さ(期間)である。この期間を生存時間、状態が始まってから事象が発生して終わるまでの一連の過程を spell と呼ぶ^{10), 11)}。非負の確率変量である生存時間 T が確率分布 $f(t)$ を持つとすると (t は T の実現値)、累積分布関数 $F(t)$ は

$$F(t) = \Pr(T < t) \quad (1)$$

である。通常は、生存時間 T が一定時点 t を越える確率に関心があるので、式(1)を次の生存関数 $S(t)$ (survival function)の式形に変換することが多い。

$$S(t) = \Pr(T \geq t) = 1 - \Pr(T < t) = 1 - F(t) \quad (2)$$

式(2)より、生存関数は有限区間 $[0, 1]$ の単調減少関数であり、 $t=0$ のとき $S(t)=1$ 、 $t \rightarrow \infty$ につれて $S(t)=0$ に漸近することがわかる。したがって duration model は生存確率が単調減少する単方向の現象にのみ適用可能である。

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。

$$\begin{aligned} h(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr(t \leq T \leq t + \Delta t | T > t)}{\Delta t} \\ &= -\frac{d[\log S(t)]}{dt} = \frac{f(t)}{S(t)} \end{aligned} \quad (3)$$

ハザード関数は、 $t \leq T$ となる条件の下で次の瞬間に事象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 $t + \Delta t$ に死滅する(事象が発生する)という条件付き確率である。

式(3)より明らかに、生存時間分布の確率密度関数 $f(t)$ 、ハザード関数 $h(t)$ 、生存関数 $S(t)$ 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。この意味で上記3式は数学的には等価なものである。

(2) 打ち切りデータ

パネル調査のような縦断的交通調査によって収集される交通行動の期間データは、生存時間分布の情報としては不都合な点がある。“打ち切りデータ(censoring data)”の問題である¹²⁾。

具体的にパネルデータには、図1に示すような3つのタイプの打ち切りデータが存在する。左側打ち切り(left-censoring)データ、区間打ち切り(interval-censoring)データ、右側打ち切り(right-censoring)データである。調査の開始時点 t_A で既に spell が始まっている場合に左側打ち切りが生じる。この場合、事象発生までの正確な時間とその影響要因を直接観測することができない。spell が調査時点 t_B および t_C で発生する場合には区間打ち切り問題が生じる。この場合生存時間は測定不能でありミッシングデータとなる。またパネル調査の最終時点 t_D でまだ事象が発生していない場合に spell は右側打ち切りになる。このような打ち切りデータが含まれると誤った分析結果をもたらすため、次節で示すようなモデル推定方法が必要となる。

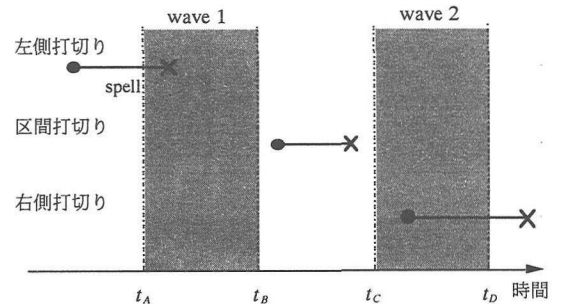


図1 パネルデータに含まれる打ち切りデータ

(3) 比例ハザードモデル

生存時間解析では比例ハザードモデル(proportional hazard-based duration model)が頻繁に用いられる。本研究でもこのモデルを用いる。パラメトリック比例ハザードモデルはハザードに特定の分布を仮定して推定する[†]。生存時間の分布関数として様々な分布(指数、ワイブル、対数ロジスティック、対数正規、ガンマ分布など)が適用可能である¹³⁾。表1に一般によく用いられる分布のハザード関数および生存関数を示した。ここで α と γ は各々形状パラメータと尺度パラメータ

[†] これに対してノンパラメトリック比例ハザードモデルはコックス回帰として知られている¹⁴⁾。分布の仮定は必要としない。

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1のハザード関数は各々異なった挙動を示す。指数分布のハザード関数は時間を通して一定である。これは事象の瞬間発生確率は観測がいつ行われても変動しないことを意味する。ワイブル分布のハザード関数はパラメータ α が1より大きい(小さい)とき単調増加(減少)する。 $\alpha=1$ のときワイブル分布のハザード関数は指数分布に帰着する。

最後の対数ロジスティック分布の場合は、 $\alpha>1$ のとき $t \in [0, (\alpha-1)^{1/\alpha}/\gamma]$ の区間で増加し、逆に $t \in [(\alpha-1)^{1/\alpha}/\gamma, \infty]$ の区間で減少する。一方、 $\alpha \leq 1$ のときは単調減少となる。多様な分布の中でどの分布を採用するのが最適であるかについて、今のところ確かな見解はない¹⁰⁾。

表1 各分布に対するハザード関数と生存関数		
分布	ハザード関数 $h(t)$	生存関数 $S(t)$
指数	γ	$\exp(-\gamma t)$
ワイブル	$\gamma \alpha (t)^{\alpha-1}$	$\exp[-(t)^\alpha]$
対数ロジスティック	$[\gamma \alpha (t)^{\alpha-1}] / [1 + (t)^\alpha]$	$1 / [1 + (t)^\alpha]$

比例ハザードモデルは式(4)で与えられる。生存関数ではなくハザード関数をモデル化する。

$$h[t, x, \beta, h_0(\gamma, \alpha, t)] = h_0(\gamma, \alpha, t) \exp(\beta'x) \tag{4}$$

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、表1にあげたハザード関数が用いられる。 β は未知パラメータベクトル、 x は生存時間に影響を及ぼす要因(交通サービス特性や個人属性など)である。この効果は基準ハザード関数に $\exp(\beta'x)$ 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。

モデルの未知パラメータ $\theta (= \gamma, \alpha, \beta)$ は最尤推定法により推定される。打ち切りデータが存在する場合、観測された生存時間データ $t_1, t_2, \dots, t_N$ に対して尤度関数は式(5)で表される。

$$L(\theta) = \prod_{i \in UC} f(t_i, \theta) \times \prod_{i \in LC} F(t_i, \theta) \times \prod_{i \in RC} [F(t_i, \theta) - F(t_i, \theta)] \times \prod_{i \in RC} S(t_i, \theta) \tag{5}$$

ここで UC は打ち切りのない観測データ組、 LC, IC, RC は各々左側打ち切り、区間打ち切り、右側打ち切りのデータ

組である。

4. P&R 社会実験への参加行動の生存時間解析

(1) 広島市における P&R 社会実験

広島都市圏では、自動車通勤者に対して軌道系交通機関、ピーク前後の通勤時間帯、代替経路への転換を誘導するために、2つのTDM施策の実施が計画された。P&Rシステムの整備と時差出勤制度の導入である。

P&Rシステムの本格的導入に先駆けて効果を事前に評価するため、広島市は1994年9月に1ヶ月間社会実験を実施した¹⁵⁾。広島市西部近郊住宅地から広島市中心部への自動車通勤者を社会実験モニターとして採用し、実験期間中のP&Rシステムの利用実態、社会実験前後における通勤行動、意識の変化等について調査した。モニターはマスコミを通じて公募した結果56名の人が集まった。社会実験の日程は表2に示すとおりであった。なお社会実験対象地域から都心部へスムーズな交通流を確保するのに、現在の自動車総トリップ数の約15%削減が目標とされている。

モニターの属性の特徴としては、年齢では30~40代の人が多く、男性が約8割を占めた。モニター全員に対して実験前後に計2回のアンケート調査を実施し、またモニターには実験期間中P&Rを利用したかどうかを毎日を記録してもらった。各モニターには実験期間の1ヶ月間鉄道の定期券が配布され、P&Rのための駐車場は無料であった。

表2 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)
P&R意識調査(実施後)	H.6.10.1~10.10

アンケート調査結果の1つとして、表3に実験前後の通勤所要時間の変化の様子を示す。P&R通勤の総所要時間は平均で62.4分(鉄道63.8分、路面電車62.0分)であり、実験前の自動車通勤の総所要時間の11%短縮になった。

図2に示すように、約6割のモニターが1ヶ月間ほ

ほぼ毎日 P&R 通勤に参加しており、逆に都合で数日自動車を使ったモニターは 37.5%であった。実験途中で P&R 通勤を止めた人はわずか 3.6%であった。P&R を利用しなかった主な理由として会社や家庭の都合、帰宅時の交通の不便さがあげられており(表 4),半数以上(63%)を P&R のサービス改善によって解決できない理由が占めた。この結果は、将来十分便利な P&R システムが整備されたとしても、全員が必ずしも P&R 通勤を継続する訳ではないことを意味している。このことは社会実験後に P&R 通勤へ転換意向をもつモニターの割合が 48%という結果からも考えられる。したがって、時間経過とともに P&R 通勤から利用者が離れてゆく過程を予測する必要があると言える。

本論文の残りでは、まず比例ハザードモデルを推定し、P&R 社会実験中に観測されたモニターの P&R 通勤行動の日々の変動を再現する。そしてこの P&R システムが TDM 政策として同地域で引き続き本格的に実施された場合、P&R 通勤を継続する人の将来需要の変化について検討するためシミュレーションを行う。

(2) Multiple-spell Duration Model の推定

P&R 通勤者数は時間経過と共に減少する傾向が観測された。また約 4 割のモニターが実験期間中何らかの理由で P&R 通勤を中断し、再び復帰して P&R 通勤に戻るといった行動を繰り返した。さらにこのような参加行動は一週間を単位に繰り返される傾向が強かった。また社会実験が実施された月(1994/09/05～94/09/30)には祝日があったため、P&R 参加者数が極端に少ない平日が記録された(図 3)。そこで図 4 に示すような再発期間を扱うことのできる multiple-spell 比例ハザードモデル¹⁶⁾を構築する。

時間	P&R		自動車
	鉄道	路面電車	
総所要時間	63.8 分	62.0 分	69.9 分
アクセス時間	7.7	11.0	-----
待ち時間	4.9	1.9	-----
徒歩時間	6.4	3.0	-----
乗車時間	27.2	36.1	69.9
エグレス時間	17.6	10.0	-----

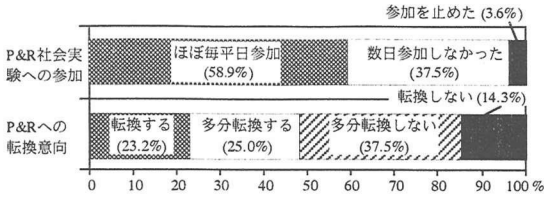


図 2 社会実験への参加行動と P&R 通勤への転換意向

表 4 平日に P&R 通勤を行わなかった理由	
交通サービス改善によって回避できる	回答者数(%)
帰宅時が不便	20 (22)
乗り換えが不便	5 (5)
所要時間が長い	4 (4)
待ち時間が長い	3 (3)
車内混雑が激しい	2 (2)
計	34 (37)
交通サービス改善によって回避できない	回答者数(%)
仕事で自動車を使う	22 (24)
家族のために自動車を使う	16 (17)
飲酒等の予定がある	15 (16)
雨天であったため	6 (6)
計	59 (63)

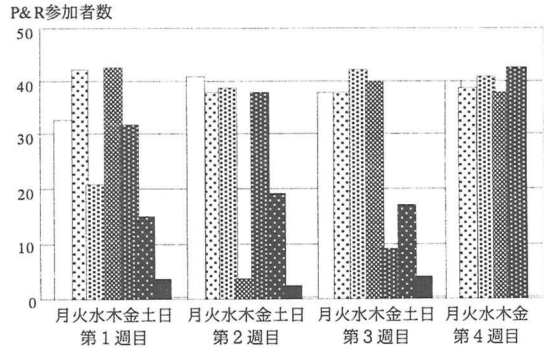


図 3 社会実験への参加人数の変化

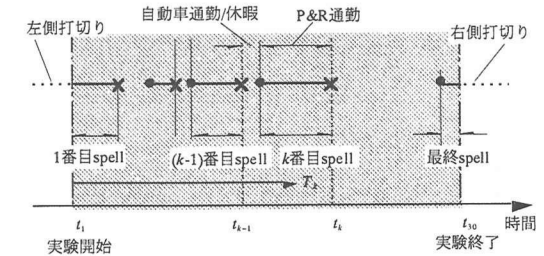


図 4 Multiple-spell duration model で扱う再発事象

k 番目の spell のハザード関数を次式で表す。

$$h_k(t) = h_0(t) \exp(\beta' x_k + \kappa' z_{k-1}) \tag{6}$$

ここで z_{k-1} は状態依存効果を考慮するために用いる変数¹⁷⁾、 κ はそのパラメータベクトルである。つまり k 回目の spell の生存時間は $k-1$ 回目の生存時間に影響を受けるとみなす。具体的には前回の P&R 通勤継続期間と前回 P&R 通勤を止めてから P&R 通勤に復帰するまでの期間の 2 つの変数を考える。

モニターが時刻 T_k に k 回目の spell を終了する確率は、式 (7) に示すように 1 回目から k 回目までの事象が終了する同時確率とみなされる。

$$\begin{aligned} \Pr(T_k = t_k) &= \Pr(T_k = t_k | t_{k-1}, t_{k-2}, \dots, t_2, t_1) \\ &= \Pr(T_1 = t_1) \times \Pr(T_2 = t_2 | t_1) \times \Pr(T_3 = t_3 | t_2) \\ &\quad \times \dots \times \Pr(T_k = t_k | t_{k-1}) \end{aligned} \tag{7}$$

分析データの中で社会実験を行った月(1994 年 9 月)の第 1 週と最終週には左打ち切り及び右打ち切り問題が存在するため、式 (5) に示した尤度関数を用いて最尤推定を行った。基準ハザード関数として表 1 に示した 3 つの分布(指数, ワイブル, 対数ロジスティック)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 5 にその推定結果を示す。

モデルの説明変数は、個人属性、P&R 通勤の交通特性及び状態依存効果で構成されている。これらの変数のパラメータが正であれば時点 t のハザードを高め、負であればハザードを抑えるように作用する。表 5 のサンプル数は事象発生数であり、各モニターが経験した事象の数 (P&R 通勤を止めた回数) の総和に一致する。初期対数尤度は基準ハザード関数の尺度及び形状パラメータの推定値を使い、その他のパラメータ値を 0 として算定する。

表 5 の結果より、尤度比は高い値を示しておりモデルの適合度はよい。個人属性の中では年齢のみ統計的に有意な説明力を持っている。符号が正であることから高齢層の方が若齢層に比べて P&R 通勤を早く止める傾向が強いことがわかる。P&R の交通特性の推定パラメータはすべて有意な正値を示している。これは P&R のサービス水準の改善がハザードの減少に有効に作用することを意味する。

状態依存効果のパラメータも有意であり、負の符号を示している。前回 spell(例えば先週)での P&R 通勤への参加期間が長ければ長いほど、現在 spell(今週)での P&R 通勤の継続日数が長い。またいったん P&R を止めてから再び 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。前者の結果は主に通勤者の勤務体制の違いが現れているものと考えられる。例えば、完全週休 2 日の人の方が休日が 1 日の人よりも P&R 通勤の継続日数は長くなる。一方、後者は飲酒や天候などの理由や祝日のため、週半ばに 1 日だけ P&R を止めた場合の行動を表していることが考えられる。週の途中で事象が発生した場合、次の週末までの生存時間は平常より短くなる。

表 5 対数ロジスティック分布を仮定した
Multiple-spell duration model の推定結果

説明変数	パラメータ	(t 値)
<個人属性>		
性別 (男性→1, 女性→0)	0.100	(0.599)
年齢	0.018	(3.208)
理由 (LOS [†] →1, その他→0)	-0.118	(0.790)
出発時刻 (6:00~8:00→1, 8:00~→0)	0.002	(0.012)
<P&R 通勤の交通特性>(分)		
アクセス時間 (自宅→駅)	0.035	(4.474)
乗車時間	0.018	(3.895)
エグレス時間 (降車駅→目的地)	0.014	(2.397)
<状態依存>		
前回 spell の生存時間 (日)	-0.289	(5.623)
前回と現在 spell の間隔 (日)	-0.107	(2.561)
<基準ハザード>		
尺度パラメータ γ	0.031	(23.78)
形状パラメータ α	1.611	(10.09)
初期対数尤度 ^{††}	-1442.00	
最大対数尤度	-1016.89	
AIC	2055.78	
事象発生数	366	

・: 95%有意, ・・: 99%有意, †: P&R のサービス水準の改善により回避できる理由, ††: 基準ハザード関数の尺度・形状パラメータ以外をすべて 0 にした場合の対数尤度

基準ハザード関数の $\alpha > 1.0$, $(\alpha - 1)^{1/\alpha} / \gamma = 6.69$ であることから、ここで推定した duration モデルのハザード関数は $t = 6.69$ まで上昇し、 $t = 6.69$ を超えると下

降することがわかる。すなわち、個人が第 t 日まで P&R 通勤を続け次の日に止める確率は、各 spell 内で初めの 6 日まで増加しその後減少する。この結果は大半のモニターが週末には通勤を行わず、週単位で spell が現れるという実現象に矛盾しない。

以上より、対数ロジスティック分布を仮定した multiple-spell duration model は連続する期間 spell の中で行われた P&R 社会実験への参加行動を、ある程度正確に再現することができると結論付けられる。

(3) P&R システムの需要のシミュレーション

時間経過と共に減少してゆく P&R 通勤者をできるだけ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適正なタイミングで適正な量だけ改善することが必要になる。そこで前節で推定した duration model のこのような交通管理計画への適用可能性を明らかにするために、P&R システムが同地域で継続して実施された後の生存確率と、いくつかのサービス改善がなされた場合の生存確率の変化についてシミュレーションを行う。

社会実験の被験者の反応が TDM 政策のターゲットとなる通勤者母集団の反応を完全に反映していると仮定する。母集団の各変数の平均値 $\bar{x}$ はサンプル平均値 $\bar{x}$ に一致するとする。また前節の結果から各 spell の長さは 7 日で一定とする。第 k 回目の spell (第 k 週目) の第 t 日の P&R 通勤の生存確率 $S_k(t)$ は以下の手順で求められる：

1. 第 1 週目のハザード関数を式(9)により算出する

$$h_1(t) = h_0(t) \exp(\hat{\beta}' \tilde{x}_1 + \hat{\kappa}' \tilde{z}_0) \quad (8)$$

ここで状態依存変数 $\tilde{z}_0 = 0$

2. 式(3)より $S_1(t)$ を求める

$$S_1(t) = \exp \left[- \int_0^t h_1(u) du \right] \quad (9)$$

3. 生存期間 D_1 の期待値を計算する

$$D_1 = \int_0^\infty t S_1(t) dt / \int_0^\infty S_1(t) dt \quad (10)$$

以上で初期条件が決まる。次に

4. 次式により第 k 週第 t 日目の生存確率 $S_k(t)$ を求める

$$S_k(t) = \exp \left[- \int_0^t h_k(u) du \right] = \exp \left[- \int_0^t h_0(u) \exp(\hat{\beta}' \tilde{x}_k + \hat{\kappa}' \tilde{z}_{k-1}) du \right] \quad (11)$$

ここで前回 spell と今回 spell の期間は $7 - D_1$ であ

る。

5. D_1 と同様に第 k 週の生存期間 D_k を求める
6. 予測を行う最終週に到達するまで、4. と 5. を繰り返す。

表 6 想定した P&R のサービス水準の改善策

シナリオ 1：社会実験と同水準		
ACT：12.6 分	IVT：28.8 分	EGT：15.2 分
シナリオ 2：アクセス時間を 50%短縮		
ACT：6.3 分	IVT：28.8 分	EGT：15.2 分
シナリオ 3：乗車時間を 20%、エグレス時間を 30%短縮		
ACT：6.3 分	IVT：23.1 分	EGT：10.7 分

ACT：アクセス時間，IVT：乗車時間，EGT：エグレス時間

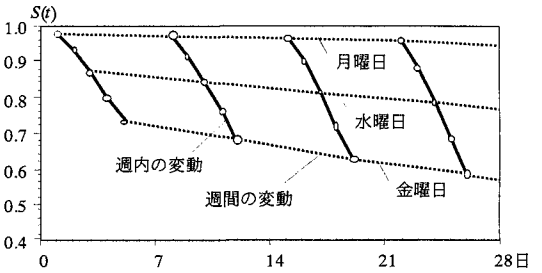


図 5 P&R 通勤需要の週内及び週間変動(シナリオ 1)

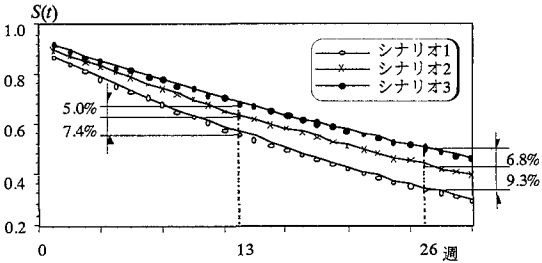


図 6 P&R 通勤需要の変動のシナリオ間比較

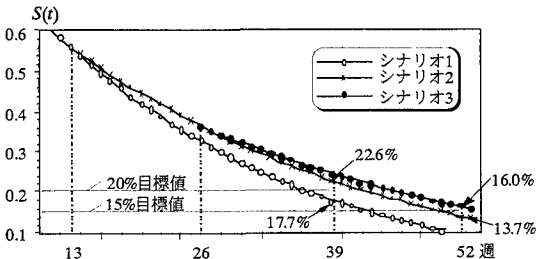


図 7 交通管理のタイミングの影響

表 6 に示すような 3 つの P&R サービス水準の改善策をケースとしてシミュレーションを行う。P&R 実験と

同じ条件を想定したシナリオ1の場合のシミュレーション結果を図5に示す。実線は任意の週の平日のP&R通勤の生存確率 $S_k(t)$ の変化を表している。月曜日では0.9を超えていた生存確率が週末に近づくにつれて急速に減少してゆく様子がわかる。

一方、波線はある平日(図中では月、水、金曜日)の週間の確率の変化を示している。週間の変化は週内の変化に比較して小さい。また図に示した28日の範囲で、月曜日の生存確率の週間変化が約2%減少であるのに対して、週末の金曜日では約15%と大きくなる。

図6はサービス水準改善策が導入された後28週間、水曜日に個人が継続してP&Rを利用する確率の変化を3種類のシナリオ間で比較したものである。シナリオ2では当該地域内のP&R駐車場の設置数を2倍に増加させることにより、シナリオ1からアクセス時間を50%短縮する。この場合P&Rの需要は13週目でシナリオ1に比べて7.4%だけ減少が抑えられ、1年後(26週目)では9.3%だけ減少が抑制される効果がある。

さらに乗車時間を20%、エグレス時間を30%改善するシナリオ3においては、13週及び26週経過した時点でシナリオ2よりも各々5.0%、6.8%の抑制効果がある。P&R通勤の交通サービス水準の改善は需要の時間変化に大きな影響を及ぼすことを示している。

このような改善策の実施のタイミングにも関心がある。需要管理のタイミングの影響は図7のように予測される。仮にP&R通勤の利用率の目標値が39週目で20%、52週目で15%であるとする。図7からわかるように13週目でまずシナリオ2の政策を実施し、さらに26週目でシナリオ3の政策を実行することによって目標値を達成することができる。

以上より、本研究で構築したmultiple-spell duration modelはP&R政策に対する住民合意の変化を予測することができるものと考えられる。また社会実験データがもう少し蓄積されたならば、本モデルは本格的なP&Rシステムが整備された後の交通市場の実際の需要を管理するための有用な分析ツールになるものと考えられる。

5. おわりに

本研究では再発事象の生存時間を説明するmultiple-spell 比例ハザード duration モデルを構築し、このモデルは1ヶ月間のP&R社会実験への個人の参

加行動の変化を時間軸上で再現することができることを確認した。交通行動分析で扱う多くの現象は、医学分野の寿命分析のような非再発事象ではなく、1日や1週間あるいはライフサイクル等を周期とした再発事象である。したがって multiple-spell duration model は交通需要分析分野における生存時間解析の適用可能性を高めるのに寄与するものと考えられる。

比例ハザードモデルのもう1つの魅力は、断続的に実施されるパネル調査から収集される打ち切り問題を含むデータを扱うことができる点にある。この特徴によりパネル調査データの適用範囲が広がるものと考えられる。

需要のシミュレーション結果より、duration model は社会実験後も引き続き同様のTDM政策が実施された場合、住民合意の減衰傾向やサービス改善による需要の変化を、1年程度の短期間の範囲であれば予測可能であることが確認された。本研究のシミュレーション結果は、必ずしも対象母集団を反映したものではないが、今後TDM政策の事前評価を目的として社会実験の実施が増えてくるとしたら、このモデルは交通需要管理者がどのような政策を、どのようなタイミングで、どの程度優先的に実施すべきであるかを決定するのに役立つものと期待される。

参考文献

- 1) 大澤豊他：マーケティングと消費者行動、有斐閣、1992.
- 2) Gilbert C. : A duration model of automobile ownership, *Transportation Research*, Vol.26B, No. 2, pp.97-114, 1992.
- 3) Hensher D. : The timing of change for automobile transactions: a competing risk multi-spell specification, *Paper presented at the 7th International Conference on Travel Behaviour*, Valle Nevado, Chile, 1994.
- 4) Gerard D., Kitamura R. and Klooster J. : A disaggregate model of vehicle holding duration, type choice and use, *Paper presented at the 7th International Conference on Travel Behaviour*, Valle Nevado, Chile, 1994.
- 5) Hamed M. and Mannering F. : Modeling travelers' postwork activity involvement: Toward a new methodology, *Transportation Science*, Vol.27, No.4, pp.381-400, 1993.
- 6) Mannering F., Kim S., Barfield W. and Linda N. :

- Statistical analysis of commuters route, mode and departure time flexibility, *Transportation Research Board 73rd Annual Meeting*, Washington D.C., 1994.
- 7) Hensher D. and Raimond T. : The timing of change: discrete and continuous time panels in transportation, *Paper presented for The First US Conference on Panels for Transpiration Planning*, Lake Arrowhead, California, 1992
 - 8) Paselk T. and Mannering F. : Use of duration models for predicting vehicular delay at a US/Canadian border crossing, *Transportation*, No.21, pp.249-270, 1994.
 - 9) 豊田都市研究所 : 交通計画における社会実験, 都市交通レポート, 1994.
 - 10) Greene W. : *Econometric Analysis*, Prentice-Hall International, Inc., USA, 1993.
 - 11) Hensher D. and Mannering F. : Hazard-based duration models and their application to transportation analysis, *Transport Reviews*, Vol.14, No.1, pp.63-82, 1994.
 - 12) Keifer N. : Economic duration data and hazard functions, *Journal of Economic Literature*, No.26, pp.646-679, 1989.
 - 13) Cox D. and Oakes D. : *Analysis of Survival Data*, Chapman and Hall, UK, 1984.
 - 14) Cox D. : Regression models and life tables. *Journal of the Royal Statistical Society*, No.34, pp.187-220, 1972.
 - 15) 加藤文教・藤原章正・杉恵頼寧 : 広島市におけるパーク・アンド・ライドの社会実験, 第50回年次学術講演会講演概要集第4部, pp.172-173, 土木学会編, 1995.
 - 16) Heckman, J. and Singer, B. : *Longitudinal Analysis of Labor Market Data*, pp.39-101, Cambridge University Press, 1985.
 - 17) Heckman, J. and Borjas, G. : Does unemployment cause future unemployment? Definitions, questions and answers from a continuous time of heterogeneity and state dependence., *Longitudinal Analysis of Labor Market Data*, Cambridge University Press, UK, 1985.

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

藤原章正・杉恵頼寧・張 峻屹・重松史生

TDM 政策の効果を事前に評価するためには、政策に反応して個人が行う意思決定の最終結果だけではなく、その過程を時間軸上で予測することが重要である。本研究は P&R 政策を本格的に導入した後の自動車通勤者の交通行動の変化を分析するために比例ハザード duration model を構築する。再発事象を取り扱うことができる multiple-spell duration model を推定し、広島市で 1 ヶ月間行われた P&R 社会実験への自動車通勤者の参加行動を分析する。また P&R システムのサービス水準の改善に伴う将来需要の変化についてシミュレーションを行う。

Analysis of Attending Behaviour to Park-and-Ride Experimental Scheme Using Duration Model

Akimasa FUJIWARA, Yoriyasu SUGIE, Junyi ZHANG and Fumio SHIGEMATSU

In order to evaluate travel demand management measures prior to their implementation, it will be required to predict individual decision making in a continuous time process in response to TDM measures rather than evaluate only the final result of the process. This study aims at applying hazard-based duration models in order to understand the variations in individual travel behaviour over time after the introduction of a P&R policy. Multiple-spell proportional hazard models which deal with the recurring duration spells are developed to examine car commuters' behaviour attending to a one-month trial of Park-and-Ride system in Hiroshima. The models also simulate the changes in the future travel demand owing to the implementation in levels of services for the P&R system.
