

# 高速道路の所要時間データに基づくSA/PAへの立ち寄り率および立ち寄り時間のモデル分析\*

## A model analysis of duration time of highway considering Stopping off at SA/PA \*

土屋香織\*\*・佐々木邦明\*\*\*

By Kaori TSUCHIYA\*\*\*, Kuniaki SASAKI\*\*\*

### 1. はじめに

現在、高速道路のSA/PA等では、従来の給油、休憩等のサービスだけでなく、様々なサービスが展開されている。とくに高速道路の利用者の顧客満足度を高めるという趣旨からは、速達性や定時性といった通行に関連する交通のサービスだけでなく、休憩などを含めた道路利用としての満足度を高める必要がある。そのためには、様々な顧客の利用データの分析が必要になってくる。特にどのODの車両がどのSA等に立ち寄り、どの程度の長さの滞在を行っているのかについて把握することは、SA/PAの顧客層とその目的を示すこととなり、SA/PAの経営のための重要なデータである。しかし、SA/PAはすべての利用者が必ず立ち寄るわけではなく、その立ち寄り率や満足度等については、大がかりな調査装置の導入や、サンプリング調査などに頼らざるをえない。その一方、高速道路はそのほとんどが距離別の有料であるが故に、ICの通過時刻が利用開始および利用終了時刻において必ずコントロールポイントとしての料金所を通過することになり、その時刻が記録されることで、ICのOD間の所要時間の取得は容易である。一般にこのIC間の所要時間は純粋な走行時間ではなく、SA/PAでの滞在時間も含まれている。ここからSA/PAへの滞在時間を分離計測できればサンプリング調査等を行わずにSA/PAへの滞在率等を求めることができる。本研究の目的は、高速道路の走行時間を用いて、SAやPAへの立ち寄り率と滞在時間について分析を行うことが目的である。

### 2. データの概要と所要時間の基本特性

#### (1) 使用したデータ

分析に用いたデータは平成17年4月～平成18年3月に中央道富士吉田線及び東富士五湖道路を対象に取得され

た IC 間の所要時間の車両別データと同区間・同期間における渋滞の発生状況の集計データである。

#### (2) 高速道路の所要時間

所要時間は IC ペアの利用開始時刻と利用終了時刻の差によって計算されているが、対象区間の間には SA/PA が存在しているため、SA/PA に立ち寄った車両の所要時間は、IC ペア間の走行時間と SA/PA への滞在時間の合計になっている。

本研究では、データ中における IC 間 OD が大きく、SA/PA への立ち寄りがある程度見込まれる長さである富士吉田線の八王子 BA/IC—河口湖 IC 間を利用した普通車のみを対象とした。データは連休などを含み渋滞などもある平成17年5月および11月のデータを用いた。八王子—河口湖間は延長68 kmであり、全線で80 km/h 制限となっており、標準所要時間は約51分となる。このためいくらかの車両はSA/PAに立ち寄ることが期待される。この区間には、谷村PA、談合坂SA、藤野PAの3か所のSA/PAが存在している。

5月休日の上り線のデータ数は25,334台であり、所要時間の特性として平均値66分、最頻値37分、最小値24分、最大値706分となっている。

#### (3) 所要時間分布の比較

表1は所要時間の特性値を5月と11月で比較したものである。この区間の休日は観光目的がほとんどであると考えられ、春の観光シーズンと秋の紅葉シーズンである5月と11月を比較した。各所要時間の特性値は最頻値、最小値、最大値に大きな違いはみられないが、平均値では平日よりも休日が大きくなっている。これは休日の方がSA/PAへ立ち寄る車が多い、もしくは渋滞に巻き込まれていることが考えられる。

ここでの季節による変動や上下線での変動ははっきりとみられないが、変動係数を用いて比較をすると、5月は<平日>上り線49.9%、下り線52.1%、<休日>上り線67.8%、下り線63.7%となり、平日の下り線と休日の上り線が若干高くなっている。同様に11月は<平日>上り線54.7%、下り線46.5%、<休日>上り線58.5%、下り線58.5%となった。11月は平休日ともに上り線の比

\*キーワード：道路計画，交通流

\*\*学生員，山梨大学大学院医学工学総合教育部自然機能開発専攻（山梨県甲府市武田4-3-11，TEL055-220-8671）

\*\*\*正員，博士（工学），山梨大学大学院医学工学総合教育部（山梨県甲府市武田4-3-11，TEL055-220-8671）

率が高い結果が得られた。平日の上り線以外は5月の方が変動の比率が高くなっているが、これは5月にゴールデンウィークがあり、その期間の交通量が急激に増加し、上りは小仏トンネル付近、下りは元八王子バス停付近などの渋滞多発区間が影響しているのではないかと考えられる。そのことから、その月の特徴や観光シーズンが所要時間分布に関係していると推定できる。

表-1 所要時間の比較

		平均値	最頻値	最小値	最大値	
5月	平日	上	50	38	25	633
		下	50	39	24	976
	休日	上	66	37	24	706
		下	58	39	26	971
11月	平日	上	50	37	27	1083
		下	50	40	27	653
	休日	上	69	38	27	659
		下	56	40	26	1440

(分)

### 3. 所要時間の特性分析

#### (1) 所要時間分布

高速道路の所要時間の分布は最小値と最大値の差が大きいため、範囲は非常に広く、グラフは右に長くなっているのが特徴である。通常 60 分程度で行ける距離であるにも関わらず、最大値については 1440 分という超長時間までであるが、これらについては通常の利用とは明らかに異なると判断できる。本研究では SA/PA での滞在を通常の利用と考え、混雑等を考慮して、走行時間の最大値を時速 50km 弱での走行である 90 分、SA 利用を最大 60 分と想定し、150 分を基準として、それ以上を異常値として分析対象から外すこととした。5 月休日の上り線の外れ値は、760 台で全体の 3% である。図-3 は時間帯ごとで相対頻度を求め、横軸に所要時間、縦軸に相対頻度を表した図である。赤い線は所要時間 51 分（平均 80 km/h）の位置であるが、渋滞がない場合にはそれより右側の利用車は SA/PA に立ち寄っているかボトルネックの影響を受けていると考えられる。

所要時間の特徴から、一般に速度分布は正規分布を仮定することが多いが、この図からはそのような形状を取っていないため、より適切な確率分布を用いた分析や分布の形に依存しない手法を適用することが望ましい。今回は非負条件を満たし継続時間の分析に用いられることの多い生存時間モデルを用いることとする。

#### (2) 生存時間モデル<sup>1)</sup>

生存時間モデル (hazard-based duration model) とは、ある基準の時刻から、ある事象が生起、あるいは終了す

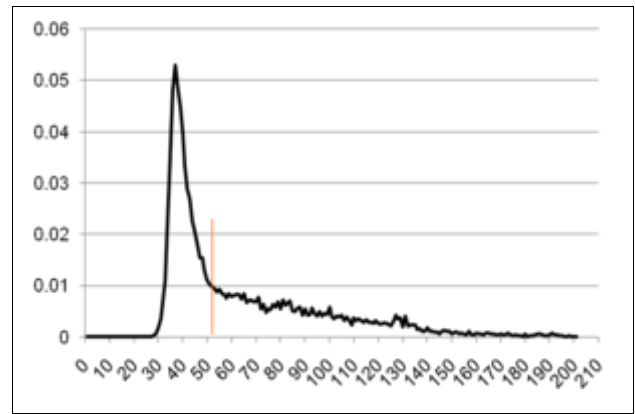


図-3 5月休日（上り）の所要時間分布

るまでの時間を解析の対象とするモデルである。

生存時間モデルは、対象とする事象が生起するまでの時間  $T$  の分布を生存関数 (survival function)  $S(t)$ 、およびハザード関数 (hazard function)  $h(t)$  で表すことが多い。生存関数は対象とする事象がある時点  $t$  においてまだ生起していない確率を示す関数であり、ハザード関数は対象とする事象がある時点  $t$  までに生起していないという条件の下で、次の瞬間に事象が生起するという条件付き確率密度関数である。

本研究では、生存時間分布に特定の分布を仮定する Parametric model を採用し、説明変数の導入方法として、ハザードが時間によって加速していく加速ハザードモデル (ワイブル分布) を用いた。その理由として、高速道路の所要時間の特性を考慮し、ある瞬間の終了時間確率は時間の経過に従って、次の瞬間に終了する確率が增大すると仮定するのが望ましいとしたからである。

#### (3) 生存時間モデルによる推定

本研究では、利用開始時を基準として、利用を終了するまでの時間を対象とし、説明変数の挿入をしており、所要時間は必ず正の値になっている。よって基本モデルとして (1) のようなハザードに所要時間  $t$  の増加関数を用いる。ただし、 $p > 1$ 、 $\theta > 0$ 、 $t > 0$  である。このときの確率密度関数は (2) となる。

$$h(t) = \frac{p}{\theta} \left( \frac{t}{\theta} \right)^{p-1} \quad (1)$$

$$f(t) = \frac{p}{\theta} \left( \frac{t}{\theta} \right)^{p-1} \exp \left[ - \left( \frac{t}{\theta} \right)^p \right] \quad (2)$$

この所要時間  $t$  における確率密度関数を尤度として所要時間を再現するために、最尤度推定法で生存時間モデルの未知パラメータ  $p$  と  $\theta$  を推定した。そのパラメータを (2) 代入して求めた確率密度を図-4 に示す。この図は最短所要時間以下の確率を 0 となるように補正して推定を行ない、所要時間の分布を比率と合わせて示

した。その結果、二つの分布を比較すると分布の形状が再現できていない。これは単一のハザード関数を適用した問題、加速型ハザード関数の適用による問題、渋滞等の走行特性の問題等、いくつかの原因があげられるが、本研究では単一性を緩和し、SA/PA への滞在を考慮した複合分布を考えることにした。

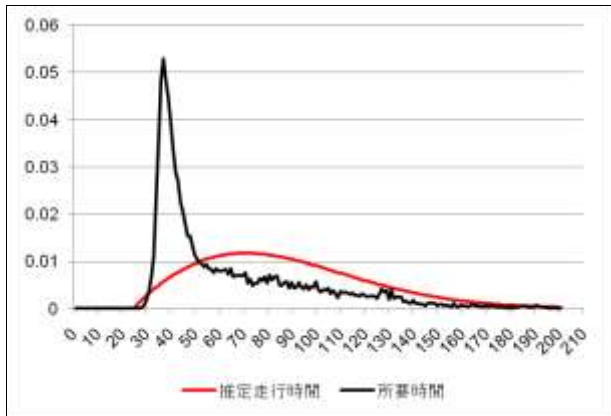


図-4 5月休日（上り）の推定結果1

そこで、ある車両の所要時間を以下のように仮定することにした。SA/PAへ立ち寄った場合には、所要時間にはSA/PAの滞在時間が加算されているが、立ち寄っていない場合は純粋に走行時間のみである。走行時間を $t_r$ 、SA/PAでの滞在時間を $t_s$ とし以下の場合を考える。

I) SA/PA への立ち寄り有:  $t = t_r + t_s$

II) SA/PA への立ち寄り無:  $t = t_r$

$t_s$ の分布については、走行時間と同様に、時間が経てばSA/PAから退出する確率は高まるという考えに基づいて、走行時間と同じ加速ハザードモデルに基づく生存時間モデルを適用した。このとき、立ち寄り有の所要時間はこれら(3)、(4)の分布の同時確率密度になり(5)のように表される。

$$f(t_r) = \frac{p_1}{\theta_1} \left( \frac{t_r}{\theta_1} \right)^{p_1-1} \exp \left[ - \left( \frac{t_r}{\theta_1} \right)^{p_1} \right] \quad (3)$$

$$f(t_s) = \frac{p_2}{\theta_2} \left( \frac{t_s}{\theta_2} \right)^{p_2-1} \exp \left[ - \left( \frac{t_s}{\theta_2} \right)^{p_2} \right] \quad (4)$$

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \frac{p_1}{\theta_1} \left( \frac{t-x}{\theta_1} \right)^{p_1-1} \exp \left[ - \left( \frac{t-x}{\theta_1} \right)^{p_1} \right] \right] \left[ \frac{p_2}{\theta_2} \left( \frac{x}{\theta_2} \right)^{p_2-1} \exp \left[ - \left( \frac{x}{\theta_2} \right)^{p_2} \right] \right] dx \quad (5)$$

SA/PA への立ち寄り率についてはデータからは判定できないため、立ち寄り率自体を未知パラメータとして求めることとする。つまり、個々の利用車はある確率 $\alpha$ で(3)を所要時間の分布として走行し、 $1-\alpha$ の確率で所要時間は(4)の走行時間の分布になる。これは、2つの異なる分布をする所要時間の複合としてICペア間の所要時間が得られているという仮定である。

立ち寄り率を全員共通の未知パラメータとして推定した結果が図-5である。この図で、ピークが鋭く立ち上がっている方が走行時間分布である。ここでの走行時間分布は、所要時間の最小値を最低の数値として、それ以上の分布となるように補正して推定を行い、所要時間分布の比率と合わせて示している。2つの分布の和として推定したことにより、ピーク形状の再現がうまくいくようになった。しかし、ピーク時の立ち上がりが実際の所要時間分布と比較して高くなった。また、この二つの分布は同時分布であるため、単純にこの二つの確率密度を足し合わせたものが同時密度になるわけではないことに注意が必要である。

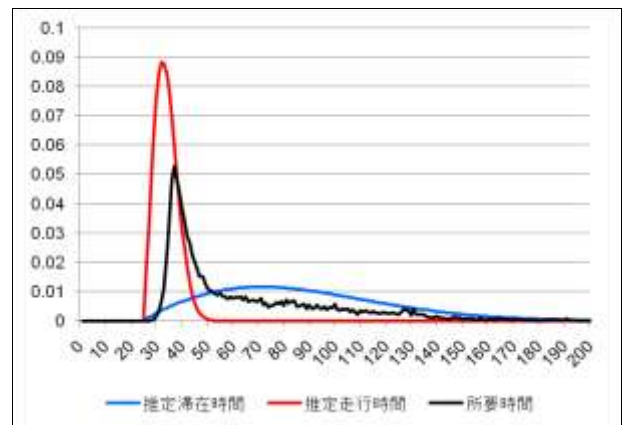


図-5 5月休日（上り）の推定結果2

しかし今回の結果では、所要時間分布の形状の再現はできつつあるが、推定されたSA/PAへの立ち寄り率が95%を超えており、ほぼ全車両がSA/PAに立ち寄りという、現実的には考えづらい推定結果となった。

#### 4. 所要時間分布と渋滞データ

渋滞の発生時刻と発生箇所の集計的なデータを用いて、渋滞が発生している日の所要時間データを抽出し、利用終了時刻をベースに所要時間の推移を表したものが図-6である。

赤い線は10分ごとの平均値を示している。各時間帯において、所要時間が突出している車両がみられるが、これがSA/PAに立ち寄った車両であると考えられる。また、16時辺りから所要時間が大きくなり、ここからが渋滞の影響を受けた車両と判断できる。これは現実の渋滞データとも一致する。ここから、各10分間の平均所要時間をとり、それが増加に転じた状況を渋滞による影響を受けていると考え、その影響を受けている車両と受けていない利用車とに分けた所要時間分布が図-7である。図-7では、渋滞と判定された車両でも50分(平均時速80km)程度で走行している車両がある。これは渋滞と比渋滞を分離した時間帯に走行していた車両である。

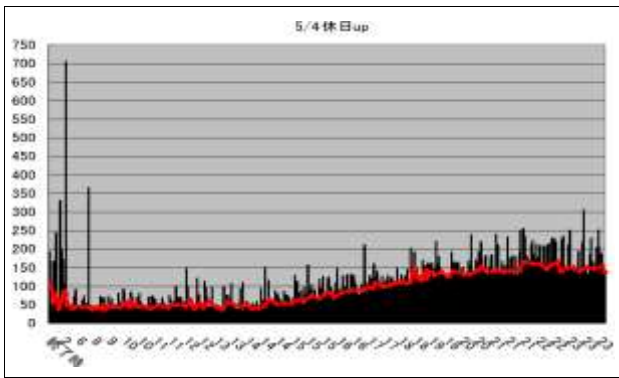


図-6 5/4 (休日) 上り線

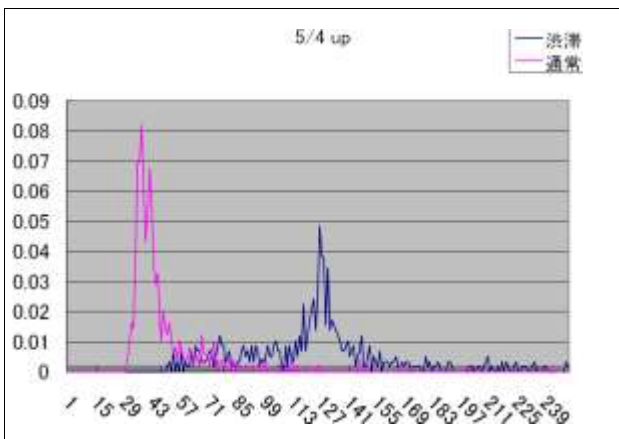


図-7 5/4 (休日) 上り線所要時間分布

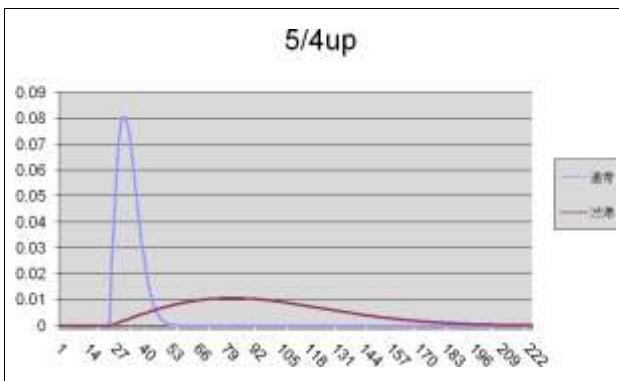


図-8 5/4 (休日) 推定結果

図-7の所要時間の分布を再現するために、これまでの推定方法と同様に、SA/PAへの立ち寄りを考慮しない生存時間モデルを用いてパラメータ推定を行った。その結果を図に再現したのが図-8である。図-8ではそれぞれの分布形状の特徴は再現できていが、渋滞の影響を受けた利用車の最頻値が実データに基づいた図-7では125分なのに対し、図-8では80分となっており、およそ40分の誤差がある。これは渋滞時には追い越しなどの影響がほとんどなくなり、ほぼすべての車両が同一の走行時間になってくると考えられるため、その分布形状

が正規分布に近づくためと考えられ、正規分布を仮定したモデルとの比較が必要であると考えられる。

また、図-6で示した所要時間の状況から、移動平均的な観点から見た所要時間の変動は渋滞によるものと考えられ、それ以外の車両独自に大きな変動を持っているものがSA/PAに立ち寄ったと判断できる。この情報を用いることで、本研究では単純にパラメトリックモデルを適用したが、SA/PAへの立ち寄りや渋滞の区別が、ここから可能であると考えられる。

## 6. まとめ

本研究では所要時間分布の特性から、加速ハザードのワイブル分布を適用した生存時間モデルを用いて、走行時間とSA/PA滞在時間の推定を行なった。2種類の時間が確率的に複合すると仮定をしたモデル化を行い、そのパラメータを推定した結果、実際の分布の形状と比較的似た形状が表現できた。しかし、SA/PAへの立ち寄り率が90%を超える推定結果となり、立ち寄り率の推定に関して課題が残された。そこで、渋滞発生データを用いて実際の時間帯別の所要時間から渋滞と判定した時間帯を分離して、それぞれにモデル推定を行った。その結果、渋滞時では生存時間分布の推定精度が低くなった。また、所要時間の時系列的な状況から、SA/APへの立ち寄りを判定できる可能性が示された。

今後の課題として、更に精度の高い所要時間分布のモデル化を行なうにあたり、より良いモデルの構造の検討や立ち寄り率のより高い推定結果を得られるように工夫をしていかなければならない。とくに、時系列的な所要時間のデータから、所要時間と比較して有意に長い所要時間を持っている車両を判定するアルゴリズムの開発により、より高い精度でSA/PAへの立ち寄りを判定できると考えられる。また、走行時間、SA/PAへの立ち寄り、渋滞の識別それぞれを識別して推定できるモデルを構築し、比較的取得が容易な所要時間を用いたSA/PAへの立ち寄りおよび立ち寄り時間の推定をICペアごとに推定することが今後の課題である。

## 謝辞

本研究は、NEXCO 3社から高速道路の利用特性分析の検討依頼を受け実施したものである。NEXCO及び高速道路技術センターには、所要時間に関する貴重なデータ提供と共に有意義なコメントを頂き、感謝しております。この場を借りてお礼の言葉を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 北村隆一, 森川高行編著: 交通行動の分析とモデリング, 技報堂出版, pp.190-203, 2000.