

認知所要時間の形成プロセスに関する実証的研究*

An empirical study of the formation of anticipated travel times*

藤井 聡**, 中野雅也***, 北村隆一****, 杉山守久*****
Satoshi Fujii**, Masaya Nakano***, Ryuichi Kitamura**** and Morihisa Sugiyama*****

1. 研究目的

個人の交通行動はその個人が予想する旅行時間(以下、本稿では認知所要時間と呼称する)に基づいている。この認識から、従来においても、認知所要時間を所与とした交通行動モデルが開発されてきた^{1) 2)}。一方で、認知所要時間そのものに関しても、室内実験によっていくつかの知見が重ねられてきている^{3) 4)}が、実際の交通環境での認知所要時間に関しては、いくつかの例外を除いて^{5) 6)}、実証的な知見が積み重ねられているとは言い難い。本研究は、認知所要時間についての実証的な知見が交通計画上大きな意味を持つ可能性があるとの認識のもと、実際の運転者の認知所要時間に関してのデータを分析する。特に、交通政策的に評価するためには環境変化に対する運転者の適応プロセスの分析が不可欠であることから、環境の変化に伴って生じる新しい交通状況への認知所要時間の適応プロセスに焦点をあてる。

2. 認知所要時間形成プロセスモデル

動的な意思決定に着目した実証的な分析から、過去の状態が未来の状態に影響を及ぼすこと、すなわち状態依存効果が存在することが繰り返し示されてきている^{7) 8)}。したがって、ある日の認知所要時間も、前日の認知所要時間に影響を受けていることが推測される。

一方、認知所要時間を形成する際、運転者は実旅行時間にできるだけ近いものを予想しようという意志を持つことは間違いない。ただし、意思決定者に利用可能な情報もその情報に基づいた判断能力も限られたものであるため、的確な予測は当然ながら保証されない。しかし、予測の意志を持つ以上は、実旅行時間が一定程度変化すればそれに伴って、認知所要時間も変化することが予想される。すなわち、運転者は少なくとも実旅行時間の変化を認知する能力を持っており、そのため、認知所要時間は実旅行時

間に影響を受けると考えられる。そのような影響が存在しない場合は、当然予測精度は悪く、影響が存在する場合にはよりの確な予測が可能であろう。本研究では、予測精度に対応する、実旅行時間から認知所要時間への影響を観測効果と呼称する。

本研究では、以上の推察に基づく状態依存効果と観測効果の存在を仮定した、新しい交通環境下での認知所要時間の形成プロセスモデルを提案する(図1参照)。このモデルでは、交通環境が変化しても状態依存効果が存在することを仮定するとともに、状態依存効果、観測効果、ならびに認知所要時間の大きさそのものに影響を及ぼす条件が存在することを仮定している。本研究では、次章で述べるデータをこの理論モデルに適合させ、その妥当性を統計的に検定するとともに、認知所要時間の形成プロセスに影響を及ぼす要因を探る。

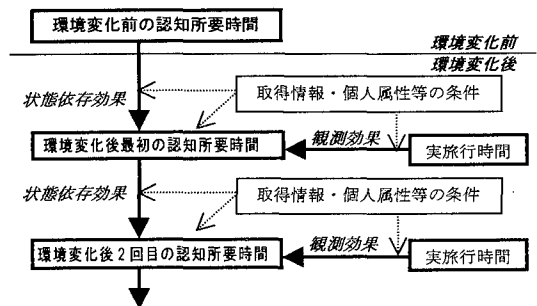


図1 認知所要時間の形成プロセスモデル

3. データ

認知所要時間の適応プロセスを観察するには、ある程度以上の道路交通環境の変化に直面した複数の運転者の認知所要時間データを、数日間に渡って観測することが必要である。この条件を満たすデータを採取するために、阪神高速道路15号堺線(以下、堺線)全面通行止め期間中(1998年11月1日～8日)の通勤行動調査を行った。調査対象は、普段堺線を週に一回以上通勤で利用している運転者とした。これらの運転者は、通行止めによって新しく現れた交通状況に直面し、通勤トリップの認知所要時間を、その新しい交通状況に適応させていくことが予想される。

* キーワード: 交通行動分析, 経路選択, 認知所要時間
** 正会員, 博士(工学), 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻(京都市左京区吉田本町, Tel:075-753-5136, Fax:075-753-5916)
*** 正会員, 修士(工学), パシフィックコンサルタンツ株式会社大阪本社(大阪市淀川区西中島4-3-24, Tel:06-6886-8433, Fax:06-6302-8480)
**** 正会員, Ph.D, 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻(京都市左京区吉田本町, Tel:075-753-5134, Fax:075-753-5916)
***** 正会員, 工学修士, 阪神高速道路公団計画部(大阪市中央区久太郎町4-1-3, Tel:06-6252-8121, Fax:06-6252-7414)

この調査では、被験者募集のために、通行止めの約2週間前の10月15日の通勤時間帯(午前6:00~8:30)に、堺線の料金所(堺本線料金所、住之江入口、玉出入口)にて、被験者募集ハガキを5000枚配布した。ハガキには、対象者が週一回以上堺線で通勤を行う運転者であること、ならびに、調査の趣旨と段取りを明記した。その結果、704名(14.1%)の応募があり、原則として応募者全員に調査票を郵送配布した。

調査票の内容は、平常時の交通行動および通行止め期間中の日々の交通行動についてである。なお、表1に調査項目を示す。

表1 通行止め時の交通行動調査 調査項目[†]

- | |
|--------------------------------|
| 1. 個人属性 |
| 2. 平常時の通勤行動(通行止め期間の直前日に回答を要請) |
| ①通勤全般(通勤先、勤務先でのフレックス制導入の有無等) |
| ②交通機関別の通勤行動(鉄道、高速道路、一般道路) |
| 利用頻度、利用経路、出発時刻、到着制約時刻、認知所要時間 |
| 3. 通行止め期間中の日々の交通行動(9日間毎日記入を要請) |
| ①当日の実際の行動 |
| ・出勤の有無 |
| ・利用交通機関とその経路 |
| ・(利用交通機関の)出発時刻、到着制約時刻 |
| ②出発時における交通状態の認知状況 |
| ・利用交通機関の出発時における目的地までの認知所要時間 |
| ・非利用交通機関の出発時における目的地までの認知所要時間 |
| ③当日接触した通行止め工事に関する情報の接触媒体 |

†:ここでの交通機関とは、公共交通機関、高速道路を利用する自動車、高速道路を利用しない自動車の3つを意味する

調査期間中には、回収率の向上を目指して、各被験者に調査回答を電話で改めて依頼した。郵送回収票は499部(回収率70.9%)であり、有効票は回収票から数日分のデータが欠損となっている等の理由で無効であった調査票を除いた370部(回収票に対して74.1%)であった。

認知所要時間に関しては、従来の研究と同様に^{2),9)}、最小何分から最大何分か、という区間を尋ねた。このような表現を用いたのは、曖昧な定量的事象は区間を用いて表現されることが一般的であるためである⁹⁾。こうして観測した2つの時間の中央値(以下、 m 値と呼称)を、認知所要時間の観測指標と見なすこととした。認知所要時間はあくまでも潜在的、心理的なものであり、それを直接的に観測することはできないが、こうして算定される m 値を潜在的な認知所要時間の大きさ(or長さ)に関する観測指標と見なすことができる¹⁰⁾。

4. 回帰分析による各効果の統計的検定

図1に示したプロセスモデルから誘導される以下の式に基づいた回帰分析を行い、各効果の存在の統計的検定を行う。

$$\ln(m_i) = m_{i-1}(A X_i) + T_i(B_i X_i) + C X_i + \varepsilon$$

ここに、 i は通行止め期間中での何回目の自動車通勤を示す。 X_i 、 m_i 、 T_i はそれぞれ自動車通勤 i での観測可能な条件を表す説明変数ベクトル、 m 値、実旅行時間を示し、 ε は誤差項を意味する。条件 X_i としては、個人属性や通勤回数等に加えて、前回の通勤以降に接触した道路交通や通行止めの情報の接触状況等を用いた。詳細は、推定結果を示した表2,3を参照されたい。ここで、左辺で対数を用いているのは、 m 値が非負の実数だからであり、誤差項 ε としていかなる値が生じて、 m 値が負とはならないようにするためである。

A は状態依存効果、 B は観測効果をそれぞれ意味するパラメータベクトルである。その解釈の方法は、例えば A の要素が全て有意で無ければ、 m_{i-1} が m_i に影響を及ぼさない、すなわち、状態依存効果が棄却されたことになる。 A の特定の要素が正で有意となれば、その条件が成立した場合に状態依存効果が存在することが示される。一方、 B が全て有意で無ければ T_i が m_i に影響を及ぼさない、すなわち、観測効果が棄却されたことになる。 B の特定の要素が正で有意となれば、その条件が成立する場合に観測効果が存在することが示される。また、 C は条件 X_i の m 値に対する直接的な影響を意味するパラメータベクトルである。

また、モデル推定は、通行止め期間中の最初の自動車通勤における認知所要時間と、それ以降の自動車通勤での認知所要時間とを別々に行った。これは、初期値が異なる、すなわち、状態依存効果を及ぼす要因が、通行止め期間中の走行経験と平常時の走行経験とでは、本質的に異なると考えたためである。また調査では、高速道路を利用する経路と高速道路を利用しない経路のそれぞれの認知所要時間が、各通勤日について観測されているが、本研究では、一個人から得られる複数のケースをプーリングして回帰分析を行った。本分析では、地域属性やネットワーク属性等の情報を用いていないため、それらの分析結果への影響を極力抑えることを目的として、通勤ODが大阪市を含む大阪市周辺地域に含まれる188名のデータのみを用いた。また、通行止め期間中には4日の平日があり、平日通勤回数の分布は、1日が4名、2日が6名、3日が29名、4日が149名であった。

以上の前提のもとで行った最初の通勤、ならびに、2回目以降での回帰分析結果を、表2,3にそれぞれ示す。

5. 結果の解釈と議論

ここでは、回帰分析で示されている結果のうち、観測効果、状態依存効果に関係する知見について述べる。その他の

表2 通行止め期間中最初の自動車通勤時の m 値の回帰分析結果

変数名 ¹⁾	パラメータベクトル A (状態依存効果)		パラメータベクトル B (観測効果)		パラメータベクトル C (m 値への直接的効果)	
	パラメータ	t 値	パラメータ	t 値	パラメータ	t 値
定数項	1.21	4.15**	0.28	0.88	-28.50	-1.30
(経路に高速道路が含まれている)ダミー	-0.56	-3.97**	0.095	0.84	24.60	2.96**
(休日出勤を行った ¹²⁾ ダミー	-0.29	-1.84	0.21	1.35	-1.15	-0.12
(出勤以外で外出を行った ¹²⁾ ダミー	-0.022	-0.16	-0.03	-0.25	6.64	0.78
(テレビ・新聞で情報取得した ¹²⁾ ダミー	0.029	0.22	-0.067	-0.52	-0.60	-0.07
(ラジオで情報取得した ¹²⁾ ダミー	-0.22	-1.50	-0.040	-0.29	18.40	1.82
(路側掲示板で取得情報した ¹²⁾ ダミー	0.10	0.86	-0.062	-0.50	-2.61	-0.31
(電話で情報取得した ¹²⁾ ダミー	-0.061	-0.37	0.17	1.17	-7.53	-0.66
(知人から情報取得した ¹²⁾ ダミー	-0.12	-0.95	-0.031	-0.27	12.60	1.56
(テレビ・新聞で事前情報入手 ¹³⁾ ダミー	0.047	0.33	-0.027	-0.19	-0.97	-0.11
(ラジオで事前情報入手 ¹³⁾ ダミー	-0.08	-0.63	0.026	0.22	4.55	0.57
(立て看板・横断幕で事前情報入手 ¹³⁾ ダミー	0.18	1.36	-0.073	-0.57	-3.75	-0.43
(料金所のチラシで事前情報入手 ¹³⁾ ダミー	0.12	0.83	-0.032	-0.22	-2.64	-0.27
(知人から事前情報入手 ¹³⁾ ダミー	0.27	1.47	-0.24	-1.28	1.38	0.12
(フレックスが職場に導入されている)ダミー	0.060	0.44	-0.095	-0.74	6.18	0.66
(女性である)ダミー	-0.070	-0.33	-0.32	-1.38	31.00	1.67
年齢	-0.009	-1.86	0.005	1.01	0.28	0.73

*: p<0.05, **: p<0.01 (有意となった係数, t 値を太字で表記)

¹⁾: (XX) ダミーとは, () 内の条件 XX が満たされれば 1, そうでない場合は 0 のダミー変数を意味する。

¹²⁾: 通行止めが始まってから最初の自動車通勤の前日までの行動に関する条件 (注: したがって, 路側情報板情報も今回のトリップに対応するものではない)。ここでの「情報取得」とは通行止めや交通状況に関する情報の取得を意味する。

¹³⁾: 事前情報とは, 通行止め以前に入手した通行止めに関する情報を意味する。

表3 通行止め期間中の 2 回目以降の自動車通勤時の m 値の回帰分析結果

変数名 ¹⁾	パラメータベクトル A (状態依存効果)		パラメータベクトル B (観測効果)		パラメータベクトル C (m 値への直接的効果)	
	パラメータ	t 値	パラメータ	t 値	パラメータ	t 値
定数項	0.0095	2.99*	0.0096	3.91**	2.99	18.43**
(3 回目の自動車通勤)ダミー	0.0012	0.96	-0.0014	-1.10	0.04	0.39
(4 回目の自動車通勤)ダミー	-0.0017	-1.35	0.00063	0.48	0.10	1.04
(経路に高速道路が含まれている)ダミー	-0.0014	-1.60	-0.00034	-0.38	0.045	0.70
(休日出勤を行った ¹²⁾ ダミー	-0.0027	-1.78	0.0010	0.56	0.12	0.95
(出勤以外で外出を行った ¹²⁾ ダミー	-0.0017	-1.09	0.0021	1.17	0.028	0.22
(テレビ・新聞で情報取得した ¹²⁾ ダミー	0.0020	2.17*	-0.0010	-0.90	-0.078	-1.08
(ラジオで情報取得した ¹²⁾ ダミー	0.0013	1.36	-0.0019	-1.76	0.022	0.34
(路側掲示板で取得情報した ¹²⁾ ダミー	-0.0001	-0.12	0.00051	0.49	-0.022	-0.35
(電話で情報取得した ¹²⁾ ダミー	-0.0029	-2.23*	0.0026	1.86	0.0077	0.07
(知人から情報取得した ¹²⁾ ダミー	-0.00089	-1.02	0.00058	0.55	0.051	0.74
前回の実所要時間-前々回の実所要時間	0.000006	0.43	-0.000015	-0.36	0.0057	2.71*
前回の m 値-前々回の m 値	-0.000006	-0.43	0.000039	1.22	-0.0046	-2.12*
認知所要時間の区間幅 ¹³⁾	-0.000026	-0.85	-0.00012	-2.94**	0.013	4.83**
前回の予測誤差 (過大予測の場合) ¹⁴⁾	0.000080	3.34**	-0.000068	-1.99*	-	-
前回の予測誤差 (過小予測の場合) ¹⁵⁾	0.000077	2.03*	-0.000093	-3.29**	-	-
前回の実所要時間	-	-	-	-	-0.0023	-0.99
(フレックスが職場に導入されている)ダミー	0.0020	2.04*	-0.00066	-0.63	-0.12	-1.72
(女性である)ダミー	0.0010	0.65	-0.0011	-0.53	-0.0024	-0.02
年齢	0.0000084	0.22	-0.000029	-0.73	0.0014	0.51

*: p<0.05, **: p<0.01 (有意となった係数, t 値を太字で表記)

¹⁾: (XX) ダミーとは, () 内の条件 XX が満たされれば 1, そうでない場合は 0 のダミー変数を意味する。

¹²⁾: 前回の自動車通勤日から, 今回の自動車通勤の前日までの行動に関する条件 (注: したがって, 路側情報板情報も今回のトリップに対応するものではない)。ここでの「情報取得」とは通行止めや交通状況に関する情報の取得を意味する。

¹³⁾: 到着時刻の予想値として回答された区間の幅 (分)

¹⁴⁾: 前回の m 値 > 前回の実所要時間の場合, 前回の m 値-前回の実所要時間; そうでない場合は 0。

¹⁵⁾: 前回の m 値 < 前回の実所要時間の場合, 前回の実所要時間-前回の m 値; そうでない場合は 0。

依存効果の存在が統計的に示された。ところが, 最初の通勤の分析結果では, A の定数項は有意であったが, B の定数項は有意とはならなかった。それに加えて, B の要素の全てが有意とはならなかった。すなわち, 最初の通勤に関しては, 状態依存効果の存在は認められたものの, いかなる条件であっても観測効果の存在は統計的には認められなかった。

この結果から, 本研究で提案した認知所要時間の形成プロセスモデルは, 運転者が新しい交通環境に直面した後に少なくとも一度は実際の走行を行った場合には妥当なものであるという結論を導くことができる。しかし, それ以上に重要な知見は, 実際の走行経験が認知所要時間の形成にとって大きな意味を持つ, ということである。ここで, B の要素のうち, 情報取得に関係するパラメータの全てが, 最初の通勤においても 2 回目以降の通勤においても, 有意でなかったこと, すなわち, 情報取得が予測精度に関与しないという結果を考え合わせると, 走行経験の重要性がさらに浮き彫りとなる。走行経験が全くなければ, ラジオやテレビや新聞, あるいは, ロコミや電話等でいろいろと情報を集めても, 的確に所要時間を予想することは出来ない (すなわち, 観測効果が存在しない) 一方で, 一回の実経験さえあれば, 全く情報媒体に接触していなくてもある程度の精度で予想をすることができる (すなわち, 観測効果が存在する) ものと考えられる。ここでの分析では, リアルタイムの所要時間情報の入手の有無を考慮していないため, その効果の程は不明であるが, 少なくともここで考慮したいいくつかの情報媒体

結果の解釈については, [2]を参照されたい。

2 回目以降の通勤における m 値の分析結果では, A, B での定数項が共に有意であったことから, 観測効果, 状態

は認知所要時間の予測精度には貢献しないようである。

さらに, 2 回目以降の通勤での分析結果では, 3 回目の通勤, 4 回目の通勤を意味するダミー変数が認知所要時間

に及ぼす影響が全て棄却されたことから、走行経験の中でも最初のものだけが認知所要時間の変遷プロセスに大きな影響を及ぼすことが分かる。

以上の結果は、「百聞は一見にしかず」という常識に合致する、極めて当然の結果であると言える。ただし、この結果から、完全情報が成立するためには、運転者は道路網の全てのリンクを、最低一度は走行しなければならない、という推論を導くことができる。さらに、道路網が定常でなければならないという条件も必要なことを考え合わせると、完全情報仮説は非常に成立しにくい仮説である、という推察をさらに導くこともできる。

また、最初の通勤においてAの定数項が有意であること、すなわち、状態依存効果が消滅していないことが表2より示されている。この結果は、前項で述べた様に、経験を伴わない予想はいかなる条件の下でも困難であることを考え合わせると、交通環境が大きく変化する場合には、過去の予想値に頼る以外には良い手掛かりがない、ということを示しているものと推察される。

6. おわりに

本稿で採用した検定手法そのものは極めて単純な回帰分析であり、今後は、繰り返し観測値に伴う誤差項のバイアスの問題を考慮した検定、複数存在する内生変数同士の構造的関係を考慮した検定などが必要である。それとともに、より広範なデータによる分析や、認知所要時間の曖昧さの形成プロセス、観測効果の背後にあるより微視的短期的視点での予測プロセス等、検討すべき研究課題は多く残されている。今後はそれら課題に対処する実証的、理論的研究を重ね、そこで得られる知見に基づいた土木計画上の政策的示唆に関する議論を繰り返すことが必要であろう。

謝辞：本研究での調査の遂行、ならびに、資料収集については、阪神高速道路公団大阪管理部に全面的なご協力を頂いた。ここに記して深謝の意を表します。

[1] 確率理論⁹⁾やファジー理論¹⁰⁾を適用することで認知所要時間をより綿密に数理表現することも可能だが、認知所要時間に関する実証的知見の抽出を目指す本研究では、 m 値にて表現される認知所要時間の変遷プロセスを、理論的に提案するプロセスモデルに基づいて分析するものである。したがって、例えば分散や歪度、尖度、あるいは確率密度関数やメンバーシップ関数の形等、定量的な需要予測ツールの開発を目指す場合に必要とされる諸概念は、本研究の対象とはしない。

[2] まず、前回の通勤における m 値と実所要時間との差が大きいほど、すなわち、前回の予測誤差が大きいほど、状態依存効果が強く、観測効果が弱い、という傾向が統計的に示されている。この結果は、予測精度そのものの状態依存性の存在を示唆しているものと考えられる。それと同時に、状態依存効果と

観測効果に負の相関が存在する可能性も考えられる。

認知所要時間の予想区間が広いほど、すなわち、認知所要時間が曖昧なものであるほど、観測効果も低いものとなることも示されている。それと同時に、到着時刻の予想区間が広いほど認知所要時間が大きいという傾向も示されているが、これは、従来の実証研究⁹⁾でも指摘されている、認知所要時間の水準と曖昧さの正の相関を意味するものである。

「前回の実所要時間-前々回の実所要時間」が m 値に対して正の影響を与えること、すなわち、徐々に大きくなる実所要時間を経験した場合は長い所要時間を予想し、徐々に小さくなる実所要時間を経験した場合は短い所要時間を予想する、という傾向が統計的に示されている。この結果は、運転者が認知所要時間の形成する際、実所要時間の傾向変動(トレンド)を考慮する、という性質を意味するものであるかも知れない。

最後に、「前回の m 値-前々回の m 値」が m 値に対して負の影響を与えること、すなわち、徐々に大きくなるような認知を形成してきた経緯を持つ場合は小さめの予想を、逆に、徐々に小さくなるような認知を形成してきた経緯を持つ場合は大きめの予想をたてることが示されている。この結果は、運転者が極端に大きい(あるいは小さい)認知を形成してしまうことを回避するために、自らの認知の変化を抑制する形で認知を形成する、という心理的傾向を意味しているのかもしれない。

以上以外にも、予測対象の経路に高速道路が含まれるか否かが有意な変数となっているが、これは、高速道路を利用した場合の予想旅行時間は、平常時では堺線の利用した場合のものである一方で、通行止め中では堺線以外の高速道路を利用した場合のものであるために生じる、自明の関係を意味しているに過ぎない。それ以外にもいくつかの傾向が示されているが、紙面の都合上、それらの解釈は割愛する。

参考文献

- 1) 山下智志, 黒田勝彦: 交通機関の定時性と遅刻回避型効用関数, 土木学会論文集, No. 536 /IV-31, pp. 59-68, 1996.
- 2) 藤井 聡, 守田武史, 北村隆一, 杉山守久: 不確実性に対する態度の差異を考慮した交通需要予測のための経路選択モデル, 土木計画学研究・論文集, 投稿中, 1999.
- 3) Iida, Y., Akiyama, T. and Uchida, T.: Experimental analysis of dynamic route choice behavior, *Transportation Research B*, 26(1), pp. 17-32, 1992.
- 4) 小林潔司, 安野貴人: 室内実験によるドライバーの合理的期待に関する仮説検定, 土木計画学研究・論文集, No. 12, pp. 493-500, 1995.
- 5) 林成卓, 藤井 聡, 北村隆一, 大窪鋼文: ドライバーの認知所要時間の確率構造に関する実証的研究, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集第4部, pp. 652-653, 1998.
- 6) 藤井 聡, 中野雅也, 北村隆一, 杉山守久: 自動車通勤ドライバーの公共交通機関の思いこみ認知とその改善についての実証研究, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集第4部, 印刷中, 1999.
- 7) Heckman, J.J.: Heterogeneity and state dependence. In *Studies in Labor Markets*. Rosen, S., (ed.), University of Chicago Press, Chicago, IL, pp. 91-139, 1981.
- 8) Kitamura, R. and D.S. Bunch: Heterogeneity and State Dependence in Household Car Ownership: A Panel Analysis Using Ordered-Response Probit Models with Error Components. In M. Koshi (ed.), *Transportation and Traffic Theory*, Elsevier, pp. 477-496, 1990.
- 9) Beyth-Marom, R. (1982) How probable is probable?: Numerical translation of verbal probability expressions. *Journal of Forecasting*, 1, pp. 267-269.
- 10) Akiyama, T. and Tsuboi, H.: Description of Route Choice Behaviour by Multi-Stage Fuzzy Reasoning, *Proceedings of the Highway into the Next Century*, Hong Kong, pp. 739-746.