

# 旅行時間信頼性情報による 高速道路利用者の行動変化の分析

日下部 貴彦<sup>1</sup>・辻本 洋平<sup>2</sup>・朝倉 康夫<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 東京工業大学助教 大学院理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1-M1-20)

E-mail:t.kusakabe@plan.cv.titech.co.jp

<sup>2</sup>非会員 神戸大学 大学院工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

<sup>3</sup>正会員 東京工業大学教授 大学院理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1-M1-20)

E-mail:asakura@plan.cv.titech.co.jp

旅行時間の情報提供は、運転者が出発時刻や経路を決定する上で重要な情報となる。とりわけ、時々刻々の交通状態に依存して変動する旅行時間に関しては、信頼性に関する情報を運転者に提供することにより、運転者がより旅行時間の不確実性に対応した行動が可能となるため、その有用性が期待されている。本研究では、都市高速道路利用者に対して、旅行時間信頼性情報に関するSP(Stated Preference)調査を実施し、旅行時間信頼性の情報が旅行者の出発時刻選択へ与える影響を分析した。分析により、旅行時間情報及び旅行時間信頼性の情報が運転者の認知旅行時間に影響し、出発時刻の選択に影響することが示された。

**Key Words :** *Travel Time Reliability, Cognitive Travel Time Distribution, Travel Time Information, Departure Time Choice*

## 1. はじめに

旅行時間の信頼性は、道路利用者が出発時刻を選択するうえで重要な要素のひとつとなる。道路利用者は、旅行時間のばらつきを考慮した上で、出発時刻を選択し、目的地での活動がはじまる時刻、つまり到着時刻の制約に遅れないように行動することが多くあると考えられるためである。旅行時間の信頼性が向上すると、旅行時間のばらつきが小さくなると、実際の出発時刻遅らせることができ、目的地に到着しなければならない時刻と出発時刻の差である実行旅行時間を小さくすることができる。実行旅行時間の短縮分の時間を有効に使えば、社会的な損失も軽減されることから、旅行時間の信頼性の向上は、重要である。

近年、ETC(Electric Toll Collection System)や車両検知器のデータから得られる実際の旅行時間観測分布を活用し、Buffer Timeなどの信頼性指標を用いて道路ネットワークの時間信頼性を評価しようという取り組みがみられる<sup>1)</sup>。例えば、北澤ら<sup>2)</sup>は、阪神高速道路の検知器データからタイムスライス法によって旅行時間を算出し、Buffer Time や Buffer Time Indexなどの信頼性評価指標を用いて分析を行っている。山崎ら<sup>3)</sup>は、ETCのゲート通

過時刻によって高速道路の区間の旅行時間を算出し、信頼性評価指標を用いて都市間高速道路のサービスレベルを分析している。丸山ら<sup>4)</sup>は、道路管理者の視点から旅行時間信頼性指標をさまざまな施策を統一的に評価可能な指標として位置づけ、首都高速で行われた具体的な施策の評価に用いている。

道路利用者が旅行時間のばらつきを考慮して出発時刻を選択するときには、旅行時間の確率的な分布に基づいて、自身の不効用を最小とするような、出発時刻を選択していると考えられる。この時には、道路利用者は、旅行時間のばらつきによって目的地到着の制約時刻に遅れないように余裕をもって出発時刻を選択していると考えられる。Hall<sup>5)</sup>は、この余裕時間をセーフティーマージンとして定義し、旅行時間の不確実性を考慮したアクセシビリティの研究を行なっている。Noland and Small<sup>6)</sup>は、旅行時間の不確実性に関して確率分布を仮定した出発時刻選択に関するモデリングを行い、朝の通勤時に旅行時間の不確実性が与える不効用について分析を行なっている。このように既存の研究では、旅行時間の分布に基づき出発時刻の選択に関するメカニズムを分析している。また、牛若ら<sup>7)</sup>は、ダイアリーアンケートから得られる通勤時の平均所要時間とその分散と、

SP(Stated-Preference)アンケートによる認知所要時間の平均とばらつき、セーフティマージンとの関係などに関する基礎的な分析を行なっている。

道路利用者の認知している旅行時間の分布は、利用者のそれまでの体験に基づいて生成されるだけでなく、旅行時間情報が与えられたときには、その情報の影響を受けると考えられる。仮に、旅行時間の情報が真に正確であり、道路利用者が実際に体験する旅行時間を表すことができれば、道路利用者は旅行時間のばらつきを考慮して出発時刻を選択する必要はない。しかし、実際には、情報として提供されている旅行時間は、道路利用者が出発時刻を選択する際に参考となる情報ではあるが、道路利用者が実際に体験する旅行時間ではない。情報が提供された際には、道路利用者は、旅行時間の情報と旅行時間のばらつきの双方を考慮した出発時刻の選択を行っていると考えられる。すなわち、道路利用者は、旅行時間情報の影響を受けた認知旅行時間分布に基づいて出発時刻を選択していると考えられることができる。

旅行時間の情報だけでなく、そのときの旅行時間の信頼性に関わる情報を提供することで、旅行時間情報を提供した際の道路利用者が認知する旅行時間の分布と実際の旅行時間の分布の差異を小さくすることができると期待できる。もし、実際の旅行時間と認知旅行時間の差異を小さくすることができれば、道路利用者は自身の不効用を最小化できる出発時刻をより正確に決定することができる。したがって、旅行時間のばらつきによる不効用を小さくするためには、旅行時間の信頼性そのものの向上はもちろん重要であるが、道路利用者が旅行時間の信頼性について正確に把握することも重要であるといえる。しかし、これまでの既存研究では、旅行時間情報や旅行時間信頼性情報が道路利用者の認知分布にどのような影響を与え、道路利用者の行動がどのように変化するかについては、十分に検討されていない。

そこで、本研究は、旅行時間情報や旅行時間信頼性情報が提供された際の、道路利用者の認知分布と出発時刻選択行動への影響を明らかにすることを目的とする。本研究では、旅行時間情報及び旅行時間信頼性情報が与えられたときの出発時刻選択に関するSP(Stated-Preference)調査を実施する。調査結果をもとに、道路利用者の出発時刻選択行動への影響を分析するとともに、出発時刻選択モデルを利用して道路利用者の認知旅行時間分布を推定することにより、それらの情報の認知旅行時間分布への影響を分析する。

本研究の構成は、第2章で、実施した調査の概要について述べる。第3章では、調査の結果についての出発時刻の選択行動に関する基礎分析を行う。第4章では、認知旅行時間分布を推定を行い、情報が認知旅行時間分布

に与える影響について分析する。第5章では、本研究の結論を述べる。

## 2. 調査の概要

### (1) 実施概要

本研究の調査では、阪神高速道路の利用者を対象として、Web上でのアンケート調査を実施した。調査対象者は、阪神高速道路の調査用メーリングリスト登録者1998名である。メーリングリスト登録者に対して、平成22年11月25日から12月10日の期間にWeb上での回答を依頼した。

### (2) 設問の設計

Web上でのアンケートは、アンケート回答者自身についての質問である「個人属性及び阪神高速の利用機会に関する設問」と、旅行時間及び出発時刻選択行動を把握するための「出発時刻選択に関するSP調査」から構成される。なお、「個人属性及び阪神高速の利用機会に関する設問」で行う「もっともよく利用する阪神高速道路のオン・オフランプ名」と、「阪神高速道路の利用目的」「阪神高速利用時間帯」に関する質問は、SP調査で回答者により現実味を持った状態での回答を促すために、SP調査での設問に反映される仕組みとなっている。

#### a) 個人属性及び阪神高速の利用機会に関する設問

個人属性に関する設問は、性別・年齢・職業・職種・自動車の運転頻度に関する設問から構成されている。なお、回答は、選択形式とし、選択肢の構成は以下とした。

- 性別 {男性, 女性}
- 年齢 {20歳未満, 20-29歳, 30-39歳, 40-49歳, 50-59歳, 60-64歳, 65歳以上}
- 職業 {会社員, 公務員, 団体職員, 自営業, 学生, 主婦, パート・フリーター, 無職, その他}
- 職種 {管理, 事務, 営業, 研究・技術, 販売・接客, 生産労働, 運輸・通信, 保安, 農林漁業, その他}
- 自動車運転頻度 {ほぼ毎日, 週に数回程度, 週に1回程度, 月に数回程度, 月に1回程度}

阪神高速の利用機会に関する設問は、「もっともよく利用する阪神高速道路のオン・オフランプ名」, 「阪神高速道路の利用目的」, 「阪神高速利用時間帯」, 「阪神高速利用頻度」, 「利用車種」から構成される。これらの設問についても、回答は、選択形式とし、選択肢の構成は以下とした。

- もっともよく利用する阪神高速道路のオン・オフ

ランプ名：[路線名・ランプ名のリストから選択]

- 阪神高速道路の利用目的：{出勤，業務，平日の私用，休日の私用，その他}
- 阪神高速利用時間帯 {0~6時台，7~9時台，10~12時台，13~16時台，17~19時台，20~22時台，23~24時台}
- 阪神高速利用頻度 {ほぼ毎日，週に2~3回程度，週に1回程度，月に2~3回程度，月に1回程度，年に数回程度}
- 利用車種 {軽自動車，普通車，中型車，大型車，特大車}

図-1は、「個人属性及び阪神高速の利用機会に関する設問」に関するWeb調査の画面であり，以上で説明した設問から構成されている。



図-1 「個人属性及び阪神高速の利用機会に関する設問」に関するWeb調査の画面

SP調査の流れは，まず，回答者が行うトリップの目的及び到着時刻制約を提示し，過去5日又は20日間の旅行時間( $T_p^5$ 又は $T_p^{20}$ )を提示する。回答者は，提示された旅行時間を見た上で到着希望時刻と出発時刻の選択を行う。この際の回答は，旅行時間情報が提供されていない状況に相当する。次に，旅行時間情報( $T_e$ )を提示し，

回答者は旅行時間情報を見た上で再度，出発時刻を選択する。さらに，旅行時間情報に加えて旅行時間信頼性情報である80パーセントイル旅行時間( $T_{80}$ )又は95パーセントイル旅行時間( $T_{95}$ )を提示し，回答者は旅行時間信頼性情報を見た上で再度出発時刻を選択するという流れになっている。このような一連の流れを1セットし，提示する過去の旅行時間( $T_p^5$ 又は $T_p^{20}$ )や旅行時間情報( $T_e$ )及び旅行時間信頼性情報( $T_{80}$ 又は $T_{95}$ )の内容を変更して，回答者には8セットの回答を求める。

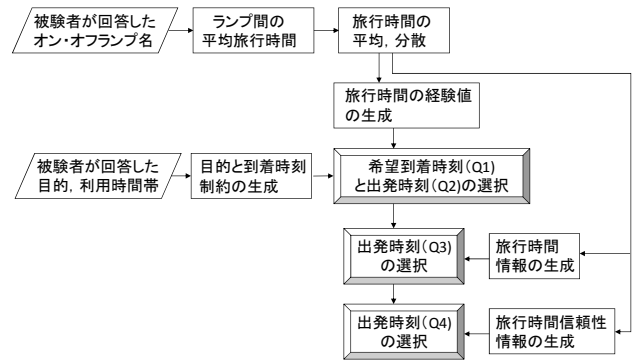


図-2 SP調査の構成

### b) 出発時刻選択に関するSP調査

本研究で対象とする選択行動は，旅行時間にばらつきがある状況での出発時刻に関する選択である。

図-2は，SP調査の構成を示したものである。SP調査で質問を行う出発時刻の選択は，「旅行時間情報が提供されず過去の旅行時間のみが提示された時の出発時刻選択」，「過去の旅行時間が提示され，旅行時間情報が提供されたときの出発時刻選択」，「過去の旅行時間が提示され，かつ旅行時間情報と旅行時間信頼性情報の双方が提供されたときの出発時刻選択」の3パターンの構成となっている。

1セット分の設問の生成のためには，あらかじめ，下記の項目を設定する必要がある。

- トリップ目的
- 到着時刻制約
- 過去5日又は20日間の旅行時間( $T_p^5$ 又は $T_p^{20}$ )
- 旅行時間情報( $T_e$ )
- 旅行時間信頼性情報( $T_{80}$ 又は $T_{95}$ )

設問のはじめに提示するトリップの目的及び，到着時刻の制約は，a項での設問である，阪神高速利用目的・

時間帯に関する設問への回答結果を反映させて構成する。具体的には、利用目的について、「出勤」と回答した場合には「8:30までに必ず会社に着かなければなりません」とし、「業務」と回答した場合には「14:00までに必ず取引先に着かなければなりません」とする。また、「私用」及び「その他」と回答した場合は「11:00までに目的地に着かなければなりません」とする。

次に提示する過去5日又は20日間の旅行時間は、対数正規分布による乱数によって生成する（ただし1%タイル値未満もしくは99%タイル値を上回る値は除外）。対数正規分布の分布形は、平均値 $\mu$ と標準偏差 $\sigma$ で指定

する。 $\mu$ は、a項での設問である、「もっともよく利用する阪神高速道路のオン・オフランプ名」への回答結果を反映させて構成する。回答したランプ間の実際の平均旅行時間が30分未満のとき $\mu = 20$ 、30分以上50分未満

のとき $\mu = 40$ 、50分以上のとき、 $\mu = 60$ とした。

$\sigma$ は、分布の変動係数 $CV = \mu/\sigma$ が{0.15, 0.3}のいずれかの状態になるように設定する。これは、一般に旅行距離が長くなるほど、旅行時間の分散が大きくなる傾向があることから、変動係数を一定とし、提示する旅行時間が長くなるにつれて、過去の旅行時間のばらつきが大きくなるような性質をもたし、できるだけ不自然ではない過去の旅行時間を生成するためである。これらの設定で、平均値 $\mu$ と標準偏差 $\sigma$ が取り得る組み合わせ

は、 $(\mu, \sigma) = (20, 3), (20, 6), (40, 6), (40, 12), (60, 9), (60, 18)$ の6とおりである。このような対数正規分布によって乱数で生成した過去の旅行時間を棒グラフによって提示する。

旅行時間情報( $T_e$ )や旅行時間信頼性情報( $T_{80}$ 又は $T_{95}$ )に関しても、過去の旅行時間を生成した平均値 $\mu$ と標準偏差 $\sigma$ と同じ $\mu$ と $\sigma$ をパラメータとする対数正規分布による乱数から生成する。

各回答者は、8セットの設問に回答するが、提示する各セットの構成は、表-1である。各セット間では、過去の旅行時間と旅行時間信頼性情報に関する項目が異なる。

表-1 各設問のセットの構成

セット	過去の旅行時間		旅行時間信頼性情報 ( $T_{80}$ 又は $T_{95}$ )
	変動係数 $CV$	( $T_p^5$ 又は $T_p^{20}$ )	
1	0.15	$T_p^5$	$T_{80}$
2	0.3	$T_p^5$	$T_{80}$
3	0.15	$T_p^5$	$T_{95}$
4	0.3	$T_p^5$	$T_{95}$
5	0.15	$T_p^{20}$	$T_{80}$
6	0.3	$T_p^{20}$	$T_{80}$
7	0.15	$T_p^{20}$	$T_{95}$
8	0.3	$T_p^{20}$	$T_{95}$

1セットに含まれる設問は、「到着希望時刻」と、先に述べた「旅行時間情報が提供されない時の出発時刻選択」、「旅行時間情報が提供された時の出発時刻選択」、「旅行時間情報と旅行時間信頼性情報の双方が提供された時の出発時刻選択」に関する4問から成る。トリップの目的及び、到着時刻の制約及び、過去の旅行時間( $T_p^5$ 又は $T_p^{20}$ )を提示した後、設問を行う。

「到着希望時刻」の具体的な設問は、「余裕を見て何時に会社に着いておきたいと考えますか?」とする。回答は選択形式とし、到着時刻制約の30分前~5分前までの5分間隔の6個の選択肢から選択する形式である。例えば、通勤目的（到着時刻制約は8:30）の場合の選択肢は、{8:00, 8:05, 8:10, 8:15, 8:20, 8:25}となる。

「旅行時間情報が提供されない時の出発時刻選択」の設問は「過去5日分の所要時間の経験を考慮すると、何時に自宅（会社）を出発しますか?」とする。回答は選択形式で、選択肢は5分間隔で、到着時刻制約の120分前~20分前までの21個とする。例えば、私用目的（到着時刻制約は11:00）の場合の選択肢は、{9:00, 9:05, ..., 10:35, 10:40}となる。

「旅行時間情報が提供された時の出発時刻選択」の設問は、「過去5日分の経験に加えて、『現時点の所要時間は $T_e$ 分』という情報を得たら、何時に自宅(会社)を出発しますか?」とする。回答は選択形式とし、選択肢は前設問と同様とする。

「旅行時間情報と旅行時間信頼性情報の双方が提供された時の出発時刻選択」の設問は、「さらにこの情報に加えて、『 $\Delta\Delta$ 回に1回は $\square\square$ 分かかる可能性がある』という統計情報が提供されたら、何時に自宅(会社)

を出発しますか?」とする。設問中の「△△回に1回」には、□□に80%マイル旅行時間 $T_{80}$ を用いる場合、「5回に1回」が入り、□□に95%マイル旅行時間 $T_{95}$ を用いる場合、「20回に1回」が入る。回答は選択形式とし、選択肢は前設問と同様とする。



図-3 SP調査のWeb上での画面

図-3は、回答者に提示するSP調査の調査画面である。この画面は1セット分の回答画面を示している。被験者にわかりやすくするため、 $T_p^5$  又は  $T_p^{20}$  について数値だけでなく棒グラフで旅行時間を、図中上部のように図示する。また、図中中央の②の設問部分に、回答者が選択した出発時刻に応じた位置に  $T_p^5$  又は  $T_p^{20}$  を棒グラフで表示する。

### 3. 調査結果の基礎分析

第2章で示したアンケート調査を実施した結果、調査用メーリングリスト登録者1998の内、345名からの有効な回答があった。

#### (1) 回答者の属性

回答者の性別は、327名が男性、18名が女性であった。回答者の年齢構成は、図-4のようになっている。また、回答者の職業は、図-5のようになっており、高速道路利用者を対象としていることから、実際の人口構成とくらべて、偏ったサンプルとなっていることが推察できることに留意が必要である。図-6は、回答者の自動車の運転頻度、図-7は阪神高速の利用頻度を示している。ほぼ毎日、自動車を利用する回答者が68%を占めており、週に一度以上阪神高速を利用する回答者も65%を占めている。このことは、阪神高速道路の調査用メーリングリスト登録者が要因と考えられ、比較的高頻度の道路利用者を対象とした調査となっていることが特徴となっている。

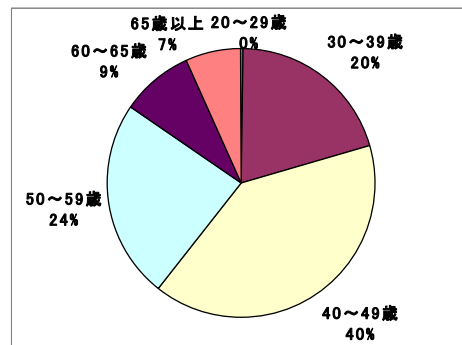


図-4 年齢構成

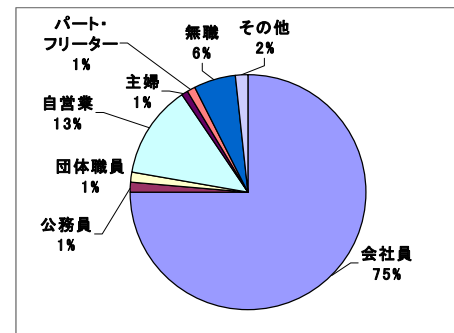


図-5 職業

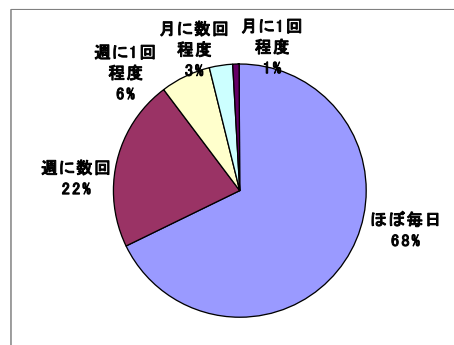


図-6 自動車の運転頻度

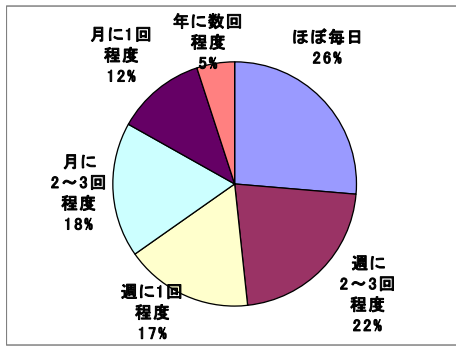


図-7 阪神高速の利用頻度

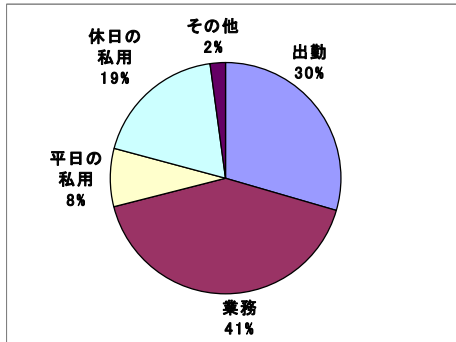


図-8 阪神高速利用のトリップ目的

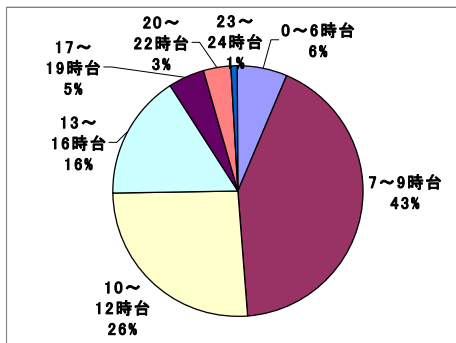


図-9 阪神高速利用の時間帯

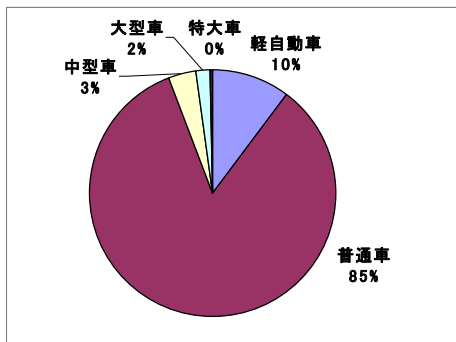


図-10 阪神高速利用時の車種

図-8は、阪神高速利用時のトリップ目的、図-9は、利用時間帯、図-10は利用車種を示している。これらの図からも、アンケート回答者の多くは、出勤及び業務で昼間帯に日常的に高速道路を利用していることがわかる。業務や出勤など、日常の高速道路利用で到着時刻に制約があると考えられる回答者が多く、また、朝及び、昼間帯の利用者が多いことから、日常的に渋滞などの影響をう

けている回答者が多いと推察される。このことから、本研究の回答者は、比較的、旅行時間信頼性へのニーズが高い道路利用者であると考えられる。

## (2) 出発時刻の選択の基礎分析

本節では、旅行時間情報及び旅行時間信頼性情報提供時の回答者の出発時刻の選択に関する特性を把握することを目的として、SP調査結果に関する集計的な分析を行う。対象とする回答は、過去20日の旅行時間を提示したセット5~8の回答である。これらの回答を分析する理由は、回答者が、より過去の旅行時間について、生成に用いた分布に近い形で認知していると考えられるためである。分析では、到着希望時刻と出発時刻の差を実行旅行時間と定義し、実行旅行時間と旅行時間情報及び旅行時間信頼性情報の関係を把握する事に主眼をおく。

図-11は、到着時刻制約と回答者が選択した到着希望時刻との差についてのヒストグラムを示したものである。図は提示した過去の旅行時間を生成するのに用いた分布毎に示している。過去の旅行時間の分布の平均値  $\mu$  に関わらず、多くの回答者の到着希望時刻は、到着時刻制約の10分~20分前であることが分かる。また、いずれの分布でも30分前にもピークが現れているが原因は不明である。過去の旅行時間の分布の平均値  $\mu$  が同じ場合、

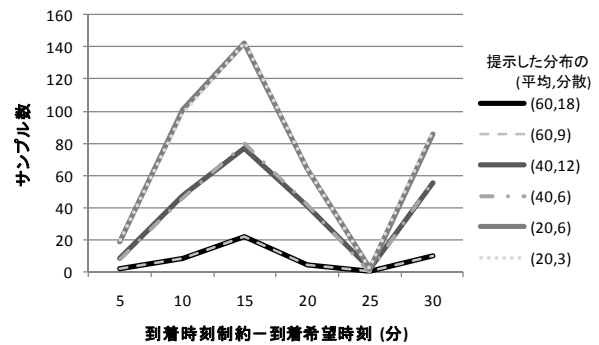


図-11 到着時刻制約と到着希望時刻の差

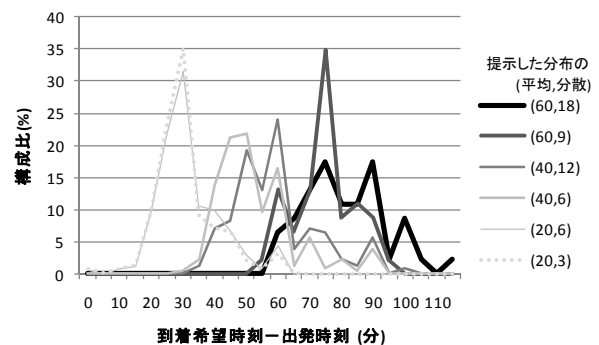


図-12 到着希望時刻と出発時刻の差 (実行旅行時間)  
(旅行時間情報なし)



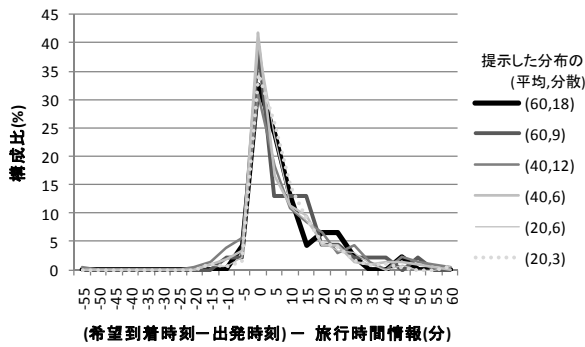


図-13 旅行時間情報と実行旅行時間の差（旅行時間情報のみ提供）

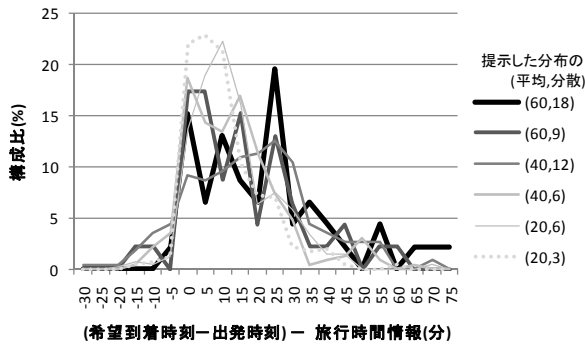


図-14 旅行時間情報と実行旅行時間（旅行時間情報と旅行時間信頼性情報提供）

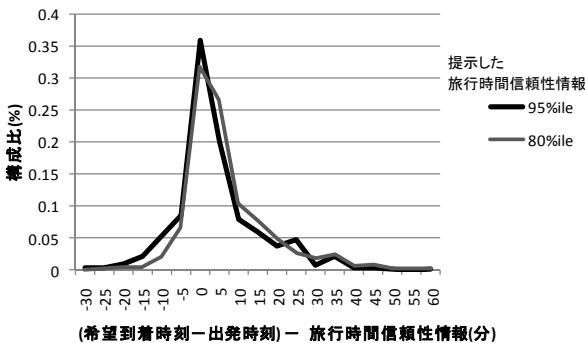


図-15 旅行時間信頼性情報と実行旅行時間（旅行時間情報と旅行時間信頼性情報提供）

提示した過去の旅行時間の標準偏差 $\sigma$ に関わらず、到着希望時刻を選択していることがよみとれる。本調査では、各回答者は、1種類の $\mu$ と2種類の $\sigma$ から生成された過去の旅行時間を参照して回答しているが、 $\sigma$ は、到着希望時刻の選択には、ほとんど影響していないと考えられる。セット5~8の4回の回答で到着希望時刻を変更した回答者は345名中10人であった。到着時刻制約と到着希望時刻の差は、到着時刻制約に遅れるリスクを小さくするために、期待旅行時間より大きな旅行時間を見積もって行動しているために生じるセーフティマージン

の役割をしていると考えられるが、 $\sigma$ の変化によって、到着時刻制約に遅れるリスクが変化しているにもかかわらず、到着希望時刻の選択は変化していない。このことから、到着希望時刻は、回答者が、例えば、出勤前に準備をするなどの、固有の事情をより反映したものとなっていると考えられる。

図-12は、回答者が選択した到着希望時刻と出発時刻の差である実行旅行時間についてヒストグラムに示したものである。図-11で示した希望到着時刻は、分布の $\sigma$ の影響は見られなかった一方で、実行旅行時間には、 $\sigma$ の影響がみられることが読み取れる。過去の旅行時間の分布の平均値 $\mu$ が20分の時には、提示した2種類 $\sigma$ によってヒストグラムは大きく変化していないと読み取れる。これは、 $\mu$ が20分の時には、提示した $\sigma$ の値が小さく2種類の分布でのばらつきの差が比較的小さかったためだと推察される。一方で、 $\mu$ が、40分及び60分の時には、

$\sigma$ が大きくなると、実行旅行時間が大きく成る傾向が読み取れる。このことから、回答者は、到着時刻制約又は、到着希望時刻に遅れるリスクを小さくするために、期待旅行時間より大きな実行旅行時間を見積もって出発時刻を選択していることが推察できる。したがって、セーフティマージンは、到着希望時刻にはあまり反映されていなかったが、出発時刻の選択には反映されていると考えられる。

図-13は、旅行時間情報のみを提示した際に、提示した旅行時間情報と回答者が選択した実行旅行時間の差についてのヒストグラムを示したものである。旅行時間情報と実行旅行時間の差が0の時に最頻値があるとともに、過去の旅行時間の分布に関わらず、ヒストグラムの形状が非常に似ていることが読み取れる。このことは、旅行時間情報のみを提示した際には、回答者は、過去の旅行時間の分布に関わらず、認知旅行時間のばらつきを認識していることを示していると考えられる。このことから、回答者は、旅行時間情報が提供された場合には、過去の旅行時間の分布にかかわらず、一定程度、信頼して出発時刻を選択していると推察できる。

図-14は、旅行時間情報と旅行時間信頼性情報の双方を提示した際に、提示した旅行時間情報と回答者が選択した実行旅行時間の差についてのヒストグラムを示したものである。図-13と比較してみると、ヒストグラムの横軸方向の広がり大きく成っており、回答者は、旅行時間情報だけでなく、旅行時間信頼性情報の影響を受けて出発時刻を選択を行っていることが読みとれる。

図-15は、提示した旅行時間信頼性情報と回答者が選択した実行旅行時間の差についてのヒストグラムを示し

たものである。旅行時間信頼性情報と実行旅行時間の差が0の時に最頻値があることから、回答者は、旅行時間信頼性情報を重視して出発時刻を選択を行っていると考えられる。また、わずかながら、80%タイル値を旅行時間信頼性情報として提供した場合のヒストグラムは、95%タイル値を旅行時間信頼性情報として提供した場合と比較して、わずかながら、右側に図示されていることが読み取れる。このことは、到着時刻制約に遅れない確率を提示した信頼性の確率より小さくするために調節を行って、出発時刻の選択を行っている回答者がいることを示していると考えられる。このことは、設問で示した、『△△回に1回は□□分かかる可能性がある』という信頼性情報の表現が、一定程度、回答者に理解された上で、出発時刻の選択を行っていることを示している。

本章での基礎分析では、実行旅行時間と旅行時間情報及び旅行時間信頼性情報の関係を把握する事に主眼をおいた分析を行った。分析の結果、

- 到着希望時刻の選択は提示した過去の旅行時間分布に関わらず選択されること。
- 実行旅行時間の選択には、過去の旅行時間分布の  $\mu$  と  $\sigma$  双方が影響すること
- 旅行時間情報を提供した場合、回答者は、一定程度、旅行時間情報を信頼し、過去の旅行時間の分布に関わらず、認知旅行時間のばらつきを認識している可能性があること
- 旅行時間信頼性情報を提供した場合、回答者は、旅行時間情報より、旅行時間信頼性情報を重視する傾向があること
- 旅行時間信頼性情報について旅行時間の80%タイル値を提供した場合と、95%タイル値場合では、回答者の実行旅行時間の選択が異なることが示された。

#### 4. 認知旅行時間の分析

本章では、第1節で、道路利用者の出発時刻選択行動のモデルを定式化する。第2節では、定式化したモデルを用いてSP調査の回答結果から、旅行時間情報提供時と旅行時間信頼性情報提供時に、各回答者が認知している旅行時間分布を推定する方法を示す。第3節では、推定結果を示し、旅行時間情報提供時と旅行時間信頼性情報の、回答者が認知している旅行時間分布への影響について分析を行う。

##### (1) 出発時刻選択モデル

本研究では、出発時刻選択行動の定式化に際して道路利

用者の行動に対して、以下の3つの仮定を行う。

##### 出発時刻選択行動の仮定

- ① 利用者はある時間帯に観測される旅行時間について一定の確率分布として認知している。
- ② 道路利用者は、出発時刻を選択する際に、オフピークなど、道路を利用する時間帯を大きく変更することはない。
- ③ 道路利用者は、到着時刻に制約をもっており、旅行時間と遅刻や早着に伴う不効用の和を最小化する行動をとる。

本章では、上記の仮定のもと道路利用者の出発時刻選択行動を、Noland and Small<sup>®</sup>モデル化に倣ってモデル化し、利用者の認知している確率分布について分析する。ある時間帯  $t$  の道路利用者が認知している旅行時間の分布は、 $T_f < T \leq \infty$  で定義される確率密度関数  $f_i(T)$  に従うとする。ただし、 $T_f$  はフリーフロー時の旅行時間とする。また、 $f_i(T)$  の分布関数を  $F_i(T)$  とする。この分布に  $T$  が従う時の平均値を  $\mu_T$ 、標準偏差を  $\sigma_T$  とする。

目的地到着時刻に制約のある道路利用者の不効用は、

$$C(T) = \alpha T + \beta \cdot SDE + \gamma \cdot SDL \quad \dots \text{式1}$$

$SDE$  : 到着希望時刻に対しての早着時間

$SDL$  : 到着希望時刻に対しての遅刻時間

$\alpha$  : 一分あたりの旅行費用 ( $\alpha > 0$ )

$\beta, \gamma$  : 早着・遅刻ともなう一分あたりの費用 ( $\gamma \geq \beta > 0$ )

で示す。 $\alpha, \beta, \gamma$  は、道路利用者の旅行時間と遅刻や早着に対する選好によって決まるパラメータである。ここで、 $SDE$  及び  $SDL$  を到着希望時刻を基準とした早着・遅刻時間とした理由は、前章の分析で、到着希望時刻は、旅行時間の信頼性によらず道路利用者の固有の事情をより反映したものとなっていると推察され、到着希望時刻を過ぎて到着すれば、道路利用者の不効用が増加すると考えられるためである。

到着希望時刻を  $t_a$ 、選択した出発時刻を  $t_d$  とし、表記を簡単にするために  $T_c = t_a - t_d$  とする。 $SDE, SDL$  は、



$$SDE = \begin{cases} T_e - T & T_e \geq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots\text{式 2(a)}$$

$$SDL = \begin{cases} T - T_e & T_e < T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots\text{式 2(b)}$$

で示すことができる。

式 1 の一項目は旅行時間に対する不効用を示しており、二項目と三項目は、到着時刻制約によって生じる不効用を示している。  $T - T_e \leq 0$  のとき、道路利用者は早着し

たことを示す。早着した場合、到着時刻から到着希望時刻の間の時間分、出発時刻を遅らせることもできたと考えられることから早く到着するにしたがって、不効用が増えることになる。例えば、通勤の場合を考えれば、早着した道路利用者は到着時刻から到着希望時刻までの間は、時間を潰す必要があり、その分の時間を家でと過ごしていたほうが効用が高いと考えられる。  $T - T_e > 0$  のときは、遅刻を示している。遅刻した道路利用者は、遅刻した時間につれて増加する不効用が生じる。

式 1 の不効用関数を用いて、初めに示した仮定①②③を満たす出発時刻を求める。仮定①より時間帯  $t$  の旅行時間は確率分布で示され、仮定②より道路利用者は  $t$  以外の時間帯に出発することはない。すなわち  $t_d \in t$  である。

旅行時間は  $f_i(T)$  を確率密度関数として変動する。した

がって、  $t_d$  に出発した道路利用者の不効用の期待値は、

$$\begin{aligned} EC &= \int_{T_f}^{\infty} \alpha t f(t) dt + \int_{T_f}^{\infty} \beta (T_e - t) f(t) dt \\ &+ \int_{T_f}^{\infty} \gamma (t - T_e) f(t) dt \quad \dots\text{式 3} \\ &= \alpha \mu_T + \beta \cdot E(SDE) + \gamma \cdot E(SDL) \end{aligned}$$

ただし、

$E(SDE)$ :  $SDE$  の期待値

$E(SDL)$ :  $SDL$  の期待値

と示すことができる。仮定③より道路利用者は不効用の期待値を最小化しようとすることから、

$$EC^* = \min_{T_e} EC \quad \dots\text{式 4}$$

になるような  $T_e$  を選択する。このときの  $T_e$  を  $T_e^*$  とする。

$EC$  は、  $T$  が  $T_f < T \leq \infty$  で連続で下に凸な関数である場合には、

$$\frac{dEC}{dT_e} = -\gamma + (\beta + \gamma) \cdot F_i(T_e^*) = 0 \quad \dots\text{式 5}$$

の解となる。このとき道路利用者は、出発時刻として

$t_d^* = t_a - T_e^*$  を選択する。

このモデルでは、旅行時間情報や旅行時間信頼性情報が与えられたときの出発時刻の選択の変化は、実際の道路利用者の旅行時間と遅刻や早着に対する選好が変化するわけではなく、認知している旅行時間の分布が情報によって変化する事によって、出発時刻の選択に変化が生じると考えることができる。

## (2) 認知旅行時間の推定方法

本節では、SP 調査の回答結果から、旅行時間情報提供時と旅行時間信頼性情報提供時に、各回答者が認知している旅行時間分布を推定する方法について述べる。

本研究の方法では、回答者が認知している旅行時間分布

$F_i(T)$  は、最頻値  $m_c$ 、標準偏差  $\sigma_c$  をもち、  $T$  につい

て 0 以上の定義域(すなわち  $T_f = 0$ )をもつ切断正規分布に従うと仮定する。なお、確率分布関数

$F_{ic}(T, m_c, \sigma_c)$  を確率密度関数を  $f_{ic}(T, m_c, \sigma_c)$  とする。

また、  $\sigma_c$  は、切断後の正規分布の標準偏差であり、切

断前の正規分布の標準偏差ではないことに留意が必要である。認知旅行時間分布に、SP 調査での過去の旅行時間の生成時に用いた対数正規分布を用いない理由は、SP 調査時に旅行時間情報及び旅行時間信頼性情報を乱数で発生しているため、対数正規分布では表現が難しい分布系を回答結果に多く含んでいるためである。

認知分布の推定の手順を示す。まず、旅行時間情報の提供がない場合の到着希望時刻と出発時刻の差を有効旅行時間  $T_e^*$  と定義したうえで、  $m_c$  と  $\sigma_c$  を過去の旅行時間

を生成した時に用いた  $\mu$ 、  $\sigma$  を用いて

$(m_c, \sigma_c) = (\mu, \sigma)$  とし、式5を用いて、

$$\frac{\gamma}{\beta + \gamma} = F_{tc}(T_e^*, \mu, \sigma) \quad \dots \text{式6}$$

となるように各回答者の  $\frac{\gamma}{\beta + \gamma}$  を求める。

旅行時間情報提供時の認知旅行時間分布の標準偏差  $\sigma_{ci}$  を各回答者について求める。旅行時間情報を  $m_i$  とし、 $m_c = m_i$  と仮定する。また、このときの選択した実行旅行時間を  $T_{ei}^*$  とする。式5の関係を利用して、

$$g(\sigma_{ci}) = \frac{-\gamma}{(\beta + \gamma)} + F_{tc}(T_{ei}^*, m_i, \sigma_{ci}) \quad \dots \text{式7}$$

の根を二分法によって数値的に求めることで、 $\sigma_{ci}$  を求める。旅行時間情報と旅行時間信頼性情報の双方の提供時の各回答者の認知旅行時間分布の標準偏差  $\sigma_{cr}$  を求める際も、同様にする。この際、 $m_c = m_i$  とし、このときの選択した実行旅行時間を  $T_{er}^*$  として  $\sigma_{cr}$  を求める。

### (3) 分析結果と考察

図-16は、各回答者の  $\frac{\gamma}{\beta + \gamma}$  を式6で求め、累積分布の

ヒストグラムを用いて図示したものである。 $\frac{\gamma}{\beta + \gamma}$  は、道路利用者が選択する実行旅行時間の認知旅行時間に対するパーセンタイル値と一致するものであるが、平均値  $\mu$  が大きく、標準偏差  $\sigma_{cr}$  の値が大きいほど、旅行時間の信頼性を要求していないと読み取れる。これは、トリップの目的の違いによる影響や、認知旅行時間分布に切断正規分布を仮定したことも影響していると考えられるため、今後精査したい。

図-17 は、旅行時間情報提供時の認知旅行時間分布の標準偏差  $\sigma_{ci}$  の推定値についてヒストグラムを累積分布で示したものである。SP 調査時与えた、過去の旅行時間

の平均値  $\mu$  が大きいほど  $\sigma_{ci}$  が大きくなり、また、 $\mu$  が同じであるときには、過去の旅行時間の標準偏差  $\sigma$  が大きいほど  $\sigma_{ci}$  が大きいことがわかる。

図-18 は、旅行時間情報提供時の認知旅行時間分布の標準偏差  $\sigma_{ci}$  の推定値を、旅行時間信頼性情報を満たす標準偏差  $\sigma_{cs}$  で除したものである。なお、 $\sigma_{cs}$  は、旅行時間信頼性情報である 80%タイル旅行時間  $T_{80}$  を提示した回答について、 $m_c = m_i$  を仮定し、 $F_{tc}(T_{80}, m_i, \sigma_{cs}) = 0.80$  を満たすように求めた。95%タイル旅行時間  $T_{95}$  を提示した回答については、 $F_{tc}(T_{95}, m_i, \sigma_{cs}) = 0.95$  を満たすように求めた。

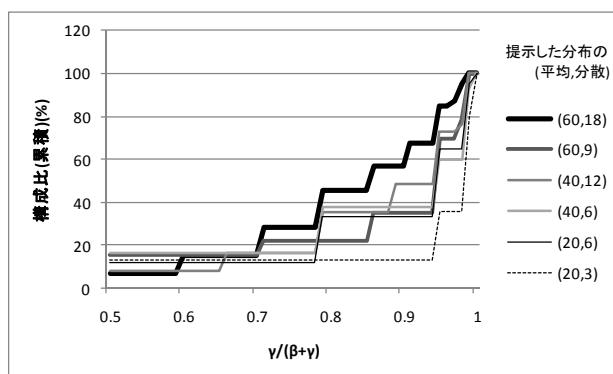


図-16  $\frac{\gamma}{\beta + \gamma}$  の推定結果

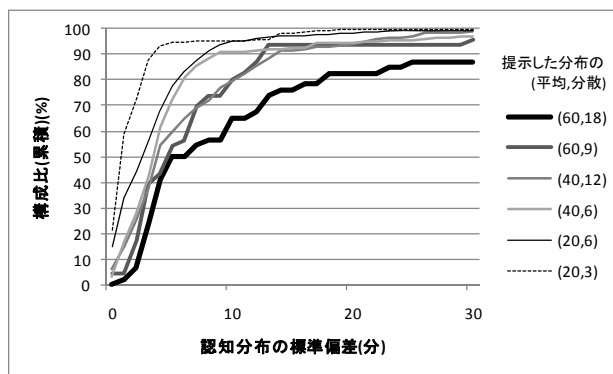


図-17 認知旅行時間分布の標準偏差 (旅行時間情報提供)

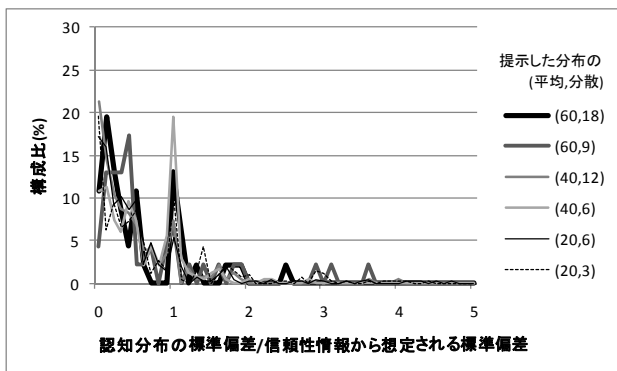


図-18 認知旅行時間分布の標準偏差と想定される旅行時間の標準偏差（旅行時間情報提供）

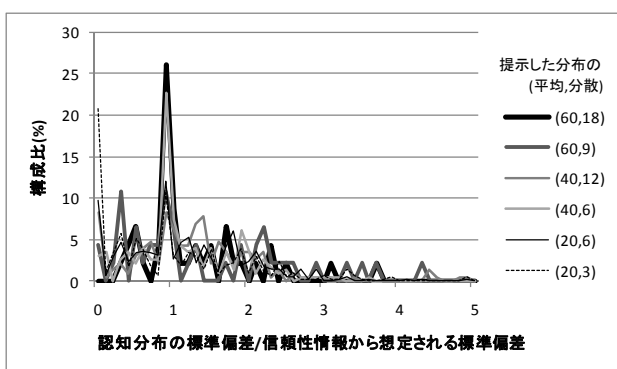


図-19 認知旅行時間分布の標準偏差と想定される旅行時間の標準偏差（旅行時間信頼性情報提供）

図-19は、旅行時間信頼性情報提供時の認知旅行時間分布の標準偏差 $\sigma_{cr}$ の推定値を、 $\sigma_{cs}$ で除したものである。なお、図-18と図-19のヒストグラムは、 $\sigma_{ci}/\sigma_{cs}$ を0.1毎に集計したものである。これらの図を比較すると、旅行時間情報のみを提示した $\sigma_{ci}/\sigma_{cs}$ は、SP時に提示した過去の旅行時間の分布に関わらず、1.0以下の値が比較的多くなっているのに対して、旅行時間信頼性情報提供時には、1.0もしくは、1.0以上の値をとることが多くなっていることが分かる。また、過去の旅行時間の平均値 $\mu$ が大きい場合ほど顕著になっていることがわかる。このことは、旅行時間情報のみが、提供されている場合には、道路利用者は、旅行時間情報を過度に信頼する恐れがあることを示しており、旅行時間の信頼性情報を提供することによって、過度に信頼を緩和することができることを示している。旅行時間信頼性情報提供時には、 $\sigma_{ci}/\sigma_{cs}$ が1.0付近となる回答者が多いことから、旅行時間信頼性情報の提供によって、認知旅行時間分布

を実際の旅行時間分布に近づけることができている回答者も一定数存在していることがわかる。しかし、一方で、旅行時間信頼性情報提供時には $\sigma_{ci}/\sigma_{cs}$ のばらつきが大きくなる傾向がみられることには留意が必要である。今後、これらのばらつきがでる原因を考察することで、適切な旅行時間信頼性情報の提供の仕方について検討したい。

## 5. おわりに

本研究では、旅行時間情報や旅行時間信頼性情報が提供された際の、道路利用者の認知分布と出発時刻選択行動への影響を明らかにすることを目的として、阪神高速道路利用者を対象にWeb上でのSP調査を実施した。

第3章では、旅行時間情報及び旅行時間信頼性情報提供時の回答者の出発時刻の選択に関する特性を把握することを目的として、基礎分析を行った。分析の結果、実行旅行時間の選択には、過去の旅行時間の平均値と分散の双方が影響し、旅行時間の絶対値と信頼性の双方が道路利用者に認知されていることが改めて確かめられた。旅行時間情報を提供された場合には、回答者は、一定程度、旅行時間情報を信頼して出発時刻の選択を行うことが示された。このことから、旅行時間信頼性情報が提供されない場合には、旅行時間情報の精緻化が重要性であることが確認される結果となった。旅行時間信頼性情報を提供した場合には、回答者は、旅行時間情報より、旅行時間信頼性情報を重視する傾向があることがわかった。また、旅行時間信頼性情報について旅行時間の80%タイル値を提供した場合と、95%タイル値場合では、回答者の実行旅行時間の選択が異なることが示され、道路利用者は、旅行時間信頼性情報から自ら希望している信頼性の大きさを見積もって、出発時刻を選択していることが示唆された。

第4章の分析では、出発時刻選択モデルを利用して道路利用者の認知旅行時間分布を推定することにより、旅行時間情報及び旅行時間信頼性情報が認知旅行時間分布に与える影響について分析した。この分析の結果でも、3章の分析結果と同様に、旅行時間情報のみが提供されている場合には、道路利用者は、旅行時間情報を一定程度信頼して認識しており、認知旅行時間の分散を小さく見積もる傾向があることが確かめられた。旅行時間信頼性情報を提供することによって、認知旅行時間の分散を小さく見積もることを緩和できることが確かめられた。より正しく旅行時間のばらつきを認知できる道路利用者がいた一方で、道路利用者が旅行時間信頼性情報から認知旅行時間を形成する際には個人差があり、過剰に認知旅行時間の分散を大きく見積もっている回答者もみられ

た。したがって、旅行時間信頼性情報の提供の仕方や情報の使い方の周知が課題であることも改めて確認できる結果となった。

4章での分析では、個人の認知所用時間分布について切断正規分布を採用したが、分析結果より必ずしも適切な分布形状と成っていない場合があると推察されたことから、今後より適切な分布について検討したい。また、交通目的などによる出発時刻選択の差異も考えられることから、今後、調査結果をより精査する予定である。

**謝辞：**本研究の調査の協力者である阪神高速道路(株)、及び(株)地域未来研究所 杉野勝敏氏に感謝の意を表します。

#### 参考文献

1) Lomax T, Schrank D, Turner S. and Margiotta R., Selecting Travel Reliability Measures , <http://tti.tamu.edu/documents/474360-1.pdf>, 2003.

2) 北澤俊彦, 田名部淳, 朝倉康夫: 阪神高速道路における所要時間の信頼性に関する評価, 高速道路と自動車, Vol.50, No.5, pp.37-40, 2007.

3) 山崎浩気, 嶋本寛, 宇野伸宏, 倉内文孝, 小笹浩司, 成田博: ETC データを用いた都市間高速道路の旅行時間信頼性指標についての一考察, 土木計画学研究・講演集, Vol.36, 2007.

4) 丸山俊明, 田畑大, 岡田知朗, 割田博: 所要時間信頼性評価による ITS 等導入効果の検証手法に関する研究, 第6回 ITS シンポジウム 2007 Proceedings, pp.361-366, 2007.

5) Hall, R.W.: Travel outcome and performance the effect of uncertainty on accessibility, Transportation Research, Vol.17B, pp.275-290, 1983.

6) Noland, R. B., and Small, K. A.; Travel-time uncertainty, departure time choice, and the cost of morning commutes, Transportation Research Record, 1493, pp.150-158, 1995.

7) 牛若健吾, 菊池輝, 北村隆一: 所要時間の認知に基づくセーフティーマージンの要因分析, 土木計画学研究・論文集, Vol. 22, No. 1, pp.569-574, 2005.

(2011.5.5 受付)

## BEHAVIOURAL ANALYSIS of DRIVERS' REACTION to TRAVEL TIME RELIABILITY INFORMATION

Takahiko KUSAKABE, Yohei TSUJIMOTO and Yasuo ASAKURA