

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  
*An Empirical Analysis of the Heterogeneity in Attitudes toward Uncertainty and  
 Development of a Route-Choice Model for Demand Forecasting*

藤井 聡\*, 守田武史\*\*, 北村隆一\*\*\*, 杉山守久\*\*\*\*  
*By Satoshi Fujii\*, Takeshi Morita\*\*, Ryuichi Kitamura\*\*\* and Morihisa Sugiyama\*\*\*\**

1.はじめに

集計的な交通需要予測についての様々な問題点が指摘され、個々人の行動に着目したいいわゆる非集計アプローチの有効性が認識されて以来、個人に着目した様々な行動モデルが提案されている。いわゆる四段階推計法の述語を援用すれば、発生、分布、分担、配分といったそれぞれの段階に対応した行動モデル、あるいは、それらを同時に扱う行動モデルが、種々の政策評価や需要予測に適用されている。ところが、発生、分布、分担の3つに対応するような行動モデルと比べた場合、配分に対応する経路選択モデルは、少なくとも現時点においてはその実際の交通需要予測への適用可能性が十分に高いとは言えないのではなかろうか。もちろん、情報提供の効果分析<sup>1), 2), 3)</sup>や、所要時間以外の経路選択要因の抽出<sup>4)</sup>、行動モデル自体についての基礎的な検討<sup>5), 6)</sup>等、様々な目的のもとで実証的な研究が重ねられ、経路選択行動や情報提供に関する有益な知見が蓄積されて来ている。しかし、様々な運転者を対象として、かつ、運転者間の種々の差異を許容した上で道路網上のより現実的な配分計算を行うためには、道路網上の経路選択行動に特徴的な種々の課題点を考慮にいれた行動モデルを実証データに基づいて構築することが不可欠であろう。

経路選択行動に固有なモデル開発上の課題点としては、まず、目的地や交通機関に比べて選択結果や選択肢集合を観測することが容易ではないという点が挙げられる。従来の経路選択モデルの多くがSP調査<sup>1), 3), 5)</sup>やODや経路を少数に限定したRP調査<sup>1), 2), 4), 6)</sup>でのデータに基づいているのはこの点が主要な原因であろう。そしてそれ故に、非集計アプローチに基づいた道路網上の配分計算にとって不可欠な、母集団として広範な運転者を想定した経路選択モデルの構築が困難であったものと考えられる。

さらに、経路選択行動における主要な要因である所要時間が個人にとっては確率的に変動するものであり、した

がって、個人は所要時間をあいまいに認識したままで意思決定を行っているという点を無視することができない、という点も経路選択モデルの特徴的な課題点として挙げることができる。これについては、運転者の認知所要時間を確率変数と捉えた上で期待効用最大化仮説を適用するというアプローチ<sup>5), 7)</sup>が考えられるが、このアプローチで的確な需要予測を行うためには、不確実性への態度が運転者やトリップの特性、あるいは、通行止めや事故渋滞などの不測の事態の発生に応じてどのように変化するのか、という点を的確に再現できることが不可欠であろう。

さらに、選択肢集合に含まれる個々の経路が互いに重複しあう、という点も経路選択モデルにおける特徴的な課題点である。この点に簡便に対処する方法としては、客観的に把握可能な指標、例えば経路長とその重複率で誤差構造を特定化する、という方法が考えられるが<sup>8)</sup>、そのためには、誤差項の異分散性を許容した上で、誤差分散と経路長との関係を把握する必要がある。

以上のように考えると、需要解析に適用可能な経路選択モデルを構築するためには、様々な課題が存在していることが改めて分かる。本研究ではこれらの課題点に対処し、最終的にはモンテカルロ法等で個人の経路を適切にシミュレート<sup>9)</sup>可能な需要解析ツールの構築を目指して、

- 1) 広範な運転者の行動データに基づき、
- 2) 個人やトリップの特性による不確実性に対する態度の差異を明示的に考慮し、かつ、
- 3) 誤差項の異分散性を許容した上で誤差分散と経路長との関係を明らかにした、

非集計型の経路選択モデルの構築を図る。

2. 経路選択モデルの理論的定式化

本研究では、経路*i*の認知所要時間 $T_i^n$ が個人*n*にとって確定値である場合、個人*n*は経路*i*に対して、以下のよう効用を形成しているものと仮定する。

$$U_i^n = V_i^n + \varepsilon_i^n \\ = u^n(T_i^n) + \mathbf{B}X_i^n + \varepsilon_i^n \quad (1)$$

- $U_i^n$  : 個人*n*の経路*i*の効用  
 $V_i^n$  : 個人*n*の経路*i*の確定効用  
 $T_i^n$  : 個人*n*の経路*i*の認知所要時間  
 $u^n(\cdot)$  : 個人*n*の所要時間に関する部分効用関数

キーワード: 交通行動分析, 交通量配分, 認知所要時間分布

\* 正員, 工博, 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻<sup>1</sup>

\*\* 正員, 西日本旅客鉄道株式会社

\*\*\* 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<sup>1</sup>

\*\*\*\* 正会員, 工修, 阪神高速道路公団大阪建設局建設企画部<sup>3</sup>

<sup>1</sup>: 〒606-8501 京都市左京区吉田本町, Tel: 075-753-5136, Fax: 075-753-5916), <sup>2</sup>: 〒530 大阪市北区芝田2丁目 4番24号, tel: 06-376-6078<sup>2</sup>; 〒559-0034 大阪市住之江区南港北, Tel: 06-615-7440, fax: 06-615-7449)

**B** :パラメータベクトル

$X_i^n$  :個人  $n$  の経路  $i$  の認知所要時間以外の要因

$\varepsilon_i^n$  :誤差項

ところが、認知所要時間  $T_i^n$  は個人  $n$  にとっては確率変数である。本研究では、このような不確実性状況下の個人の意思決定を、小林他<sup>7)</sup>、山下他<sup>9)</sup>、多々納他<sup>10)</sup>等が交通行動モデル構築の際に適用した期待効用最大化仮説の考え方に基づいて、個人  $n$  は以下の期待効用が最大となる経路  $i$  を選択するものと仮定する。

$$EU_i^n = \int_0^{\infty} \alpha u^n(x) f_i^n(x) dx + B X_i^n + \varepsilon_i^n \quad (2)$$

$$= EV_i^n + \varepsilon_i^n$$

$EU_i^n$  :個人  $n$ 、経路  $i$  の期待効用

$EV_i^n$  :個人  $n$ 、経路  $i$  の期待確定効用

$f_i^n(\cdot)$  :個人  $n$ 、経路  $i$  の認知所要時間の確率密度関数

このように定式化すると、所要時間の不確実性に伴うリスクについての回避型、中立型、愛好型といった態度は、関数  $u(x)$  の凹凸に依存する。本研究では、関数  $U^n(x)$  を、

$$u^n(x) = \alpha x^{\gamma_n} \quad (3)$$

$\gamma_n$  :トリップ  $n$  のリスクへの態度を表す非負のパラメータ (=1.0の場合は危険中立型、<1.0の場合は危険愛好型、 $\gamma_n > 1.0$ の場合は危険回避型)

$\alpha$  :パラメータ

と定式化して、関数  $U^n(x)$  の凹凸、すなわち、個人  $n$  のリスクへの態度が一つの定数  $\gamma_n$  に依存するようにした。そして、リスクへの態度の個人間の差異を考慮するために、 $\gamma_n$  を、

$$\gamma_n = \frac{\eta \exp(AZ_n)}{1 + \exp(AZ_n)} \quad (4)$$

**A** :パラメータベクトル

**Z<sub>n</sub>** :リスクへの態度に影響を及ぼす要因ベクトル

$\eta$  :  $\gamma_n$  の最大値を意味するパラメータ

と外生変数の関数として定式化した。なお、ロジット型の関数を用いているのは、非負条件を満たした上で、かつ、 $\gamma_n$  が発散すること避けるためである。

一方、式(1)の誤差項  $\varepsilon_i^n$  については、経路の長さに応じて誤差分散が異なるであろう、との見込みのもと、

$$\varepsilon_i^n \sim N(0, \sigma_i^2) \quad (5)$$

$$\sigma_i = L_i \sigma \quad (6)$$

$L_i$  :経路  $i$  の長さ

$\sigma_i$  :経路  $i$  の標準偏差

$\sigma$  :非負の定数

と定式化した。ここで、誤差項の独立性を仮定し、かつ、スケール固定のために  $\sigma = 1$  とすると、例えば経路 1, 2 の二項選択の場合の経路 1 の選択確率  $P(1)$  は以下となる。

表 1 SP 調査において想定した情報の種類

| 情報種類  | 情報内容                     |
|-------|--------------------------|
| 存在情報  | 事故渋滞あるいは通行止めの存在          |
| 時間情報  | 特定区間の所要時間(値の異なる2つの情報を提示) |
| 渋滞長情報 | 特定区間の渋滞長(値の異なる2つの情報を提示)  |



図 1 認知所要時間の観測方法

$$P(1) = \phi \left( \frac{EV_1^n - EV_2^n}{\sqrt{L_1^2 + L_2^2}} \right) \quad (7)$$

$\phi(\cdot)$  :標準正規確率分布関数

### 3. モデル構築のためのデータの概要

本研究では、前章に示した経路選択モデルにおける未知パラメータを推定するために、以下の2つの調査から得られたデータを用いる。

#### (1) 交通網異常時の行動に関する調査

この調査は、1997年2月4日(火)午前7時〜午後7時、阪神高速池田線空港集約料金所、同堺線堺集約料金所の2カ所を通過するそれぞれ合計2,500台の車両に、時間帯別に無作為に調査票を配付、後日郵送回収するという方法で行われたものであり、回収は403票(回収率8.6%)であった。

この調査では、年齢、性別等の個人属性と、調査票受け取り時のトリップのOD、出発時刻、到着時刻、目的、経路、認知所要時間、入り口／出口ランプ、ならびに、代替経路とその認知所要時間をデータとして得た。さらに、調査当日に「当該路線に事故渋滞が存在している場合」あるいは「当該路線が通行止めである場合」に、表1に示した合計5種類の情報を入手している場合を想定してもらい、その際の機関選択、自動車利用の場合の経路と代替経路、ならびにそれらの認知所要時間を調査した。

この調査では、経路は経路上に含まれる全ての路線名を出発地から順番に記入するという方法で回答を求めた。そして、解析時には、回答された全ての路線と出口／入り口ランプを使うという条件の下での最短時間経路を求め、それが回答時に被験者に想定されていた経路であると思なすこととした。また、代替経路は「その経路以外に使うかも知れない経路は？」という質問で被験者自身に1つ指定してもらった。また、認知所要時間については、「おおよそ何分から何分程度だと思いましたか？」という形で尋ねた。そして、データ解析時には、1)認知所要時間分布は正規分布であり、2)図1に示したように、回答された2つの

値を超過しない(超過する)確率が一定値  $\alpha$  (本稿に示す後の数値解析では、これを5%とした)である、という仮定のもと、その平均と標準偏差を算定した<sup>11)</sup>。もちろん、この2つの仮定の妥当性については今後十分に検討する必要があるが、不確実性への態度に関する実証的分析のためには、極めて主観的な認知所要時間分布の観測が必要であり、そのために何らかの仮定を施すのは不可避であることは事実である。それに加えて、少なくとも上記調査で回答された2つの数値には被験者自身の認知所要時間分布についての情報が含まれていること、ならびに、上記の計算方法で特定化される認知所要時間分布はその情報を反映したものとなる、ということは間違いないものと考えられる。

## (2) 認知所要時間の確率構造分析のための面接調査

上記の調査では、母集団が高速道路利用者に限られているため、より一般的な母集団を想定した経路選択モデルの構築を目指す本研究では、上記調査データに加えて、認知所要時間の分析<sup>11)</sup>を主たる目的とした面接調査で得られたRPデータを合わせて用いることとした。

この調査は、大阪市とその周辺部での自動車走行経験を持つ個人を対象として、無作為抽出した事業所に電話依頼、承諾が得られた事業所に直接出向くことで面接調査を実施することで抽出した70名、ならびに、居住地ベースで抽出した51名、合わせて121名を被験者とするものであり、1997年11月～12月に実施された。この調査では、1)自動車通勤トリップ、あるいは、大阪市周辺での自動車トリップで経路等を回答可能なものを被験者に選定してもらい、2)そのトリップの経路、代替経路、それらの認知所要時間を尋ね、3)面接官がそれらの回答に基づいて無作為に複数の道路区間を抽出し、4)種々の条件を提示しながらそれら道路区間の認知所要時間を調査する、というものである。なお、経路は、地図への記入形式で回答を求めた。そして、認知所要時間は(1)の調査と同形式で調査し、そして、同様の事後処理により特定化した。

## 4. パラメータの推定計算

本研究では、前章に述べた調査データを用いて式(1)、(4)に定義したパラメータベクトル  $A$ ,  $B$ , ならびにパラメータ  $\alpha$  を推定する<sup>12)</sup>。その際、前章(2)で述べた道路網異常時を想定したSPデータを用いた推定と、(1)(2)の双方の調査で得られている平常時でのRPデータを用いた推定計算を行った。そして、データとして観測されている利用経路と代替経路の2つを推定計算のための選択肢集合とし<sup>12)</sup>、かつ、それぞれの誤差項は独立と仮定して<sup>13)</sup>、式

表2 経路選択モデルの推定結果

### (A) 道路網平常時の場合(RPデータによる推定結果)

| 変数名                          | パラメータ  | t値      |
|------------------------------|--------|---------|
| <b>パラメータベクトルB</b>            |        |         |
| 平均車線数 <sup>*1</sup>          | 9.96   | (2.78)  |
| 費用(円) <sup>*1</sup>          | -0.022 | (-1.72) |
| 距離(km) <sup>*1</sup>         | -5.93  | (-6.30) |
| 平均速度(km/h) <sup>*1, *2</sup> | 2.35   | (3.84)  |
| <b>パラメータベクトルA</b>            |        |         |
| 定数項                          | -2.08  | (-4.63) |
| 通勤目的ダミー <sup>*3</sup>        | 1.55   | (2.67)  |
| 業務目的ダミー <sup>*3</sup>        | 1.35   | (2.23)  |
| 運転頻度毎日ダミー                    | -0.44  | (-0.87) |
| 男性ダミー                        | -1.25  | (-2.63) |
| パラメータ $\alpha$               | -48.04 | (-2.82) |

Sample Size = 359, L(0) = -249.91, L(B) = -151.14,  $\chi^2$  [df=10] = 197.55

### (B) 道路網異常時の場合(SPデータによる推定結果)

| 変数名                         | パラメータ | t値       |
|-----------------------------|-------|----------|
| <b>パラメータベクトルB'</b>          |       |          |
| 平均車線数 <sup>*1</sup>         | 6.84  | (38.67)  |
| 費用 <sup>*1</sup>            | 0.027 | (3.89)   |
| 走行距離 <sup>*1</sup>          | -4.55 | (-15.06) |
| 平均速度 <sup>*1, *2</sup>      | 3.54  | (9.49)   |
| <b>パラメータベクトルA'</b>          |       |          |
| 定数項                         | -0.29 | (-0.27)  |
| 通勤ダミー <sup>*3</sup>         | 0.97  | (1.04)   |
| 業務ダミー <sup>*3</sup>         | 0.05  | (0.06)   |
| 運転頻度毎日ダミー <sup>*4</sup>     | 1.00  | (2.23)   |
| 男性ダミー <sup>*4</sup>         | 0.83  | (1.55)   |
| 通行止め・時間情報ダミー <sup>*4</sup>  | 0.28  | (0.67)   |
| 通行止め・渋滞長情報ダミー <sup>*4</sup> | 1.16  | (4.60)   |
| 事故・存在情報ダミー <sup>*4</sup>    | 1.09  | (1.55)   |
| 事故・時間情報ダミー <sup>*4</sup>    | 1.16  | (3.59)   |
| 事故・渋滞長情報ダミー <sup>*4</sup>   | 1.29  | (4.52)   |
| パラメータ $\alpha$              | -2.49 | (-4.65)  |

Sample Size = 771, L(0) = -534.42, L(B) = -418.57,  $\chi^2$  [df=15] = 231.69

<sup>\*1</sup>:H2 道路交通センサスに基づいてデータ作成

<sup>\*2</sup>:認知所要時間分布の期待値で距離を除いた値

<sup>\*3</sup>:自由目的を基準としたダミー変数

<sup>\*4</sup>:通行止め・存在情報を基準としたダミー変数

(2), (3), (4), (7)に基づいて尤度関数を誘導し<sup>14)</sup>、これを最大化することで推定計算を行った。また、推定サンプルには高速料金所での配布データが含まれるため、一般的な母集団を想定した経路選択モデルの構築を目指す本研究では、現実のトリップ長別的高速利用率<sup>12)</sup>によるウェイトを用いた重み付き最尤推定法<sup>13)</sup>を行った。以上の前提で推定した結果を表2に示す。また、得られた推定値に基づいて、トリップや個人の属性別のセグメントごとの所要時間の部分効用関数  $u^n(x)/\alpha$  を、図2、図3に示す。

表2(A)(B)のパラメータ $\alpha$ の推定値より、道路網平常時、異常時を問わず、認知所要時間の増加が効用の低下を招くことが分かる。また、パラメータベクトルBからは、車線数が多く、距離が短く、かつ、平均速度が高い経路が、平常時、異常時を問わず好まれることが分かる。これらの結果はいずれも直感的に妥当な結果であると言えるとともに、配分計算時に所要時間以外の経路選択要因を無視する

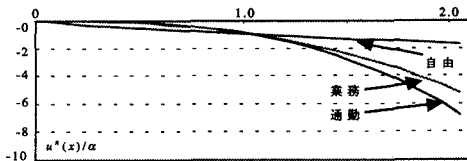


図2 平常時でのトリップ目的別の部分効用関数  $u^a(x)/a$

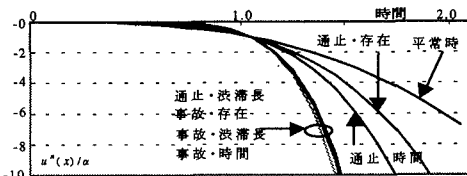


図3 道路網の状態と提供情報別の部分効用関数  $u^a(x)/a$

ことは決して得策ではないことを実証的に示している。なお、費用の係数については平常時は負である一方で、異常時には正となっているが、これは、異常時には料金を支払ってでも高速道路を利用したい、という選好を表しているものと考えられる。

次に、リスク態度を意味するパラメータベクトル  $A$  に着目すると、平常時には、通勤、業務それぞれの目的ダミーが有意に正の係数を持っており、そのため図2に示した様に自由の場合は若干の危険愛好型である一方、通勤、業務の場合は危険回避型となることが分かる。また、表2(A)(B)より、平常時には運転頻度が低く、かつ、女性の場合には危険回避傾向が強くなるが、異常時には全く逆の傾向が存在することが分かる。これは、男性であり、かつ、運転頻度が高い個人は、道路網の異常状態を強く警戒している一方で、女性、かつ、運転頻度が低い個人は、平常時から危険回避傾向が強いものの、異常状態に対するそのような警戒感がないためであると推測される。さらに、表2(A)(B)、ならびに、図3より、1)異常時には平常時よりも危険回避傾向が強い、2)通行止め時よりも事故渋滞時の方が危険回避傾向が強い、3)情報内容としては、事故渋滞時においても通行止め時においても存在情報、時間情報、渋滞長情報の順番で、それらの情報提供下での危険回避傾向が強くなるが、その傾向は通行止め時の方が顕著である、等が分かる。

また、誤差項の異分散性を考慮せず、かつ、表2と同様の説明変数の下で得られた尤度  $L(B)$  が、道路網平常時、異常時それぞれで、-176.44、-425.03 であり、表2に示した異分散性を考慮した上での  $L(B)$  の方がいずれにおいても良好な水準をとっている。このことから、的確な需要解析のためには、経路長と誤差分散との関係を考慮した上で、誤差項の異分散性を許容した行動モデルを用いることが望ましいことが分かる。

## 5. おわりに

本研究では、行動モデルに基づく配分計算を究極的な目的として、経路選択モデルの構築を図った。本モデルの特徴点としては、1) 母集団として広範な運転者を想定した実証モデルである点、2) 所要時間の不確実性の意思決定への影響を考慮している点、3) 不確実性への態度の個人間の差異を考慮している点、4) 平常時だけでなく道路網異常時での経路選択に関しても推定されている点、5) 誤差項の異分散性を考慮した推定計算がなされており、したがって、配分計算への適用時に選択肢間の誤差項の共分散を考慮することが可能である点、が挙げられる。本モデルを需要解析に適用するためには、個人の認知所要時間の確率構造に関する実証モデルが不可欠であるが、この点については、文献11)を参照されたい。

最後に、阪神高速道路公団、大窪剛文氏には、調査の遂行、並びに、資料提供に全面的なご協力を頂戴した。ここに記して、深謝の意を表します。

## 注

- 1)  $\eta$  は、 $\gamma_a$  の上限を制限することで、パラメータベクトル  $A$  の推定値を安定化させることをねらいとして導入されている定数であり、推定計算の対象となるものではない。この値を10に固定して推定計算を行った結果、いずれのトリップの  $\gamma_a$  が10よりも十分に小さな値となった。本研究では、この結果を受けて、10よりも大きな値を設定する必要がないもの判断し、10に固定して推定計算を行った。
- 2) 個々の選択肢が運転者に認知される確率が定数(1を含む)の場合、選択肢の全集合から無作為に抽出した集合を選択肢集合とみなした上で誘導される尤度関数を最大化して得られる推定値は、一貫性をもつことが知られている<sup>13)</sup>。この性質を利用して、本研究では、調査で観測された利用経路と代替経路は、いずれも選択肢の全集合から無作為に抽出されたものと仮定して、推定計算を行った。
- 3) 代替経路の回答を求める際、「できるだけ、利用経路とは別の」という趣旨を説明したため、利用経路と代替経路の重複率は低かった。
- 4) 尤度関数内の積分計算には、高橋・森の二重指数関数型積分公式に基づく自動積分法を用いた。

## 【参考文献】

- 1) 飯田、内田、宇野：交通情報の効果を考慮した経路選択行動の動的分析、土木学会論文集、No. 470 / IV-20, pp. 77-86, 1993.
- 2) ジョイバタチャリア、吉井、桑原：RP調査に基づいた動的交通情報提供がドライバーの経路選択行動に与える影響分析、土木計画学研究・講演集、No. 18(2), pp. 497-500, 1995.
- 3) 羽藤、香月、杉恵：Intranet SurveyによるSPデータを用いた交通情報獲得・経路選択行動分析、土木計画学研究・講演集、No. 20 (1), pp. 403-406, 1997.
- 4) 藤井、北村、矢部：個人の経路選択決定要因を把握するための非集計モデルの構築、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第4部、pp868-869, 1994.
- 5) 山下、萩山：所要時間分布の学習過程を内包した経路選択モデル、土木計画学研究・講演集、No. 19(2), pp. 757-758, 1996.
- 6) 坪井、秋山：フジニューラルネットワークを用いた経路選択行動のモデル化、土木計画学研究・講演集、No. 20 (2), pp. 193-196, 1997.
- 7) 小林、藤高：合理的期待形成を考慮した経路選択モデルに関する研究、土木学会論文集、No. 458 / IV-18, pp. 17-26, 1993.
- 8) 屋井、中川：構造化プロビットモデルの発展性、土木計画学研究・論文集、No. 13, pp. 563-570, 1996.
- 9) 土木学会：交通ネットワークの均衡分析-最新の理論と解法、pp. 178-181, 1998.
- 10) 多々納、小林、喜多：危険回避選好を考慮した2段階離散選択モデルに関する研究、土木計画学研究・論文集No.13, pp.553-562, 1996.
- 11) 林、藤井、北村、大窪：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、印刷中、1998.
- 12) 阪神高速道路の交通特性に関する検討業務報告書、阪神高速道路公団、1996.
- 13) Ben-Akiva, M. and Lerman, S.R.; *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, 1985.