

同伴者を考慮した交通機関選択モデルの構築

A development of a joint party-size and mode-choice model

藤井 聡** 阿部昌幸*** 北村隆一****

By Satoshi FUJII, Masayuki ABE, Ryuichi and KITAMURA

1. はじめに

近年、交通混雑の緩和方策として、交通需要マネジメントが注目を集めるに伴い、より、詳細、かつ、精緻な交通需要予測手法の開発が求められている。この認識のもと、交通発生や、交通機関選択、経路選択等の様々な個人の交通行動の局面に着目した交通行動モデルが数多く提案されている。それとともに、自動車交通量配分についても、動学化や運転者の経路選択行動、知覚旅行時間等に着目したより精緻な配分モデルが提案されている。

一般に、個人の交通行動に着目した非集計型の交通モデルを交通需要予測に適用する場合、集計化を経て、各々の機関を選択する個人数が算定される。従来の集計型の四段階推計法においても、同様に機関別の利用個人数が算定される。公共交通機関についての交通政策の検討を行う場合、こうして推定される OD 別や駅別等の利用者数が、重要な基礎的指標となりえる。ところが、道路交通政策を検討するために必要とされるものは、自動車利用者数ではなく、あくまでも OD 別、経路別、あるいは、リンク別の自動車の車両台数である。従来の交通需要予測手法では、自動車利用個人数を平均的な同乗者数で除することで自動車車両台数を求める、という極めて簡素な方法が用いられてきた¹⁾。しかし、一台あたりの同乗者数は、それぞれの車両によって異なることは自明である。この一台あたりの同乗者数の分布が、トリップ属性や個人属性等についての分布と完全に独立である場合、この簡素な方法でトリップ属性別や個人属性別の自動車車両台数を算定することで誤差は生じない。しかし、この両者が非独立である場合には、トリップ属性別、個人属性別の自動車車両台数は大きな誤差が生じる可能性を持つ。したがって、例えば、自動車個人数を算定するモデルシステムの予測誤差が小さく、かつ、交通量配分モデルが精緻なものであつ

たとしても、その両者をつなぐ自動車利用個人数から自動車利用台数を算定する局面において簡素な方法が用いられ、それに伴う予測誤差が大きなものとなった場合、最終的に得られる OD 自動車交通量や配分自動車交通量の予測誤差が大きくなる可能性は否めない。この予測誤差を軽減するためには、トリップ属性や、個人属性と同乗者数との関係を的確にモデル化することが不可欠であろう。

一方、個人の交通行動の意思決定構造を考えた場合、交通行動の同伴者数が意思決定に大きな影響を及ぼすことが推測される。特に、交通機関選択の局面においては、同乗者が存在する場合には、高速料金、あるいは、燃料費といった自動車走行に伴う費用を、複数個人で負担することも可能である。したがって、単独の行動では公共交通機関を利用するが、複数の個人と交通行動を共にするならば自動車を選好する傾向にある、という個人(あるいは、その逆の個人)が存在することは想像に難くない。逆に、自動車を利用する場合には同伴者を募り、自動車費用の削減を図るといった場合が存在することも考えられる。この点考えた場合、同乗者数との相互作用を明示的に考慮した交通機関選択モデルの構築を図ることは、個人の機関選択確率、ひいては、集計的な機関分担率の予測誤差の軽減に貢献するものと期待される。

この様に、精緻な交通需要予測手法の提案を図るためには、個人の交通行動にその個人以外の他者が及ぼす影響を考慮する必要性が高まっているものと考えられる。特に、同一世帯内の各構成員間には、世帯保有自動車の共有や利用についての競合など様々な相互作用が存在するため、この点に着目した研究が従来よりなされてきている。磯部²⁾は、鉄道端末交通における世帯の相乗り行動や送迎行動等について、樋口、青島³⁾は、世帯自動車による同乗交通についての分析を加えている。また、山本、藤井⁴⁾は、世帯保有自動車についての世帯構成員間の競合を考慮した自動車利用可能確率を用いて交通機関選択確率を定式化する交通機関選択モデルを提案している。さらに、多々納、喜多⁵⁾は、自動車の同乗者を送迎サービスを提供する個人、それを享受する個人とに

* キーワード:交通行動分析, 手段選択
** 正員,工修,京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻
*** 学生員,京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻
**** 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
(〒606 京都市左京区吉田本町,Tel 075-753-5136,
Fax 075-753-5916)

分類したうえで、個々の効用関数を定義し、かつ、それらの相互作用を考慮した行動モデルを提案している。そして、このモデルを家計員間の送迎、相乗り行動のモデル化に適用している。

この様に、従来においても、交通行動の同伴者に着目した研究が、特に世帯構成員間の関係に着目したものとなされてきているが、自動車利用者数と自動車車両台数との関係、ならびに、同伴者数と交通機関選択行動との関係に着目した交通需要予測手法の提案を図るためには、同伴者として世帯構成員以外の個人を考慮することが不可欠であろう。ただし、その場合には、世帯構成員以外の他者を特定することがデータ整備費用の関係から極めて困難であり、山本、藤井らや、多々納、喜多らが提案しているモデルの様に、他者の属性やスケジュールといった情報を外生変数として導入することができない。この点において、理論的な精緻さの観点から問題が存在するとは考えられるものの、需要予測時にコスト制約が存在する場合には、他者の情報を外生変数として持たない需要予測の枠組みを構築することに十分な意義は存在するものと考えられる。

そこで、本研究では、交通行動を行う際の同伴者数と交通機関選択行動の両者を内生化し、かつ、両者の相関を考慮した、他者の情報を外生変数として持たない非集計モデルシステムを提案する。

2. アンケートの概要

本研究では、1994年4月に全線供用された阪神高速湾岸線の影響と効果の調査、ならびに、1995年1月阪神淡路大震災が個人の交通行動に及ぼした影響を把握するために実施したパネル調査⁶⁾の第三回調査にあたる、1994年6月に実施したアンケートで得られたダイアリーデータを用いた。このパネル調査では、第一回調査の被験者を予備調査を実施することで抽出した。予備調査では、設問項目の少ない調査票を、神戸市、阪神地域を含む大阪湾岸地域の居住者を中心として抽出した7000世帯と、湾岸線競合路線利用者に手渡しで10,500人に調査票を配付した。なお、第三回調査では、この予備調査で回答した個人の中で、転居等で郵送不可能な個人以外の個人、3,489人の世帯を対象に、1世帯4枚の個人票を郵送した。そして、526世帯(回収率15.1%)から、916人の個人票を回収した。

ダイアリー調査では、調査日に実施した全ての活動、および移動についての回答を被験者に求めた。ダイアリー調

査で得られた主な項目は以下のものである。

活動について:内容、開始/終了時刻、場所、施設等
移動について:交通機関、同伴者数等

ただし、移動の出発時刻/到着時刻、あるいは、目的地/出発地については、その移動の前後の活動についての情報から把握できる。

本研究では、ダイアリーデータから得られた機関選択行動を分析対象とし、機関選択肢集合を公共交通機関と自動車に限定することとした。これは、都市交通に関する問題は、徒歩や自転車等では完結できない比較的距離のあるトリップに多く生じており、かつ、そのトリップの代表的な交通機関として考えられるのが、公共交通機関と自動車の両者であるという点に着目したからである。そこで、各回答者が報告しているトリップの中で、公共交通機関、あるいは自動車を利用しているトリップを抽出することとした。さらに、トリップを抽出する際には、前後の活動内容や活動場所も同時に抽出し、トリップ目的を特定するためのデータとして利用した。

3. モデルシステムの概要

3.1 モデルシステムの定式化

本モデルシステムでは、個人の機関選択行動の意思決定構造は、その個人が交通行動を行った際の同伴者の人数によって異なるものと考え、ある個人が、同伴者数*i*人で、交通機関*j*を選択する同時確率*P(i,j)*を以下のように定式化する。

$$P(i, j) = P_A(i)P_M(j|i) \quad (1)$$

i : 同伴者数(*i*=0, 1, 2, 3, …)

j : 交通機関(=1:公共交通機関, =2:自動車)

P(i,j) : 同伴者数*i*人で、交通機関*j*を選択する同時確率

P_A(i) : 同伴者の数が*i*人である確率

P_M(j|i) : 同伴者数が*i*人である場合に、交通機関*j*を選択する確率

そして、*P_A(i)*をオーダードプロビットモデル⁷⁾の枠組みに基づいて、*P_M(j|i)*をバイナリープロビットモデルの枠組みに基づいて、以下のように定式化する。

$$\omega_A = \beta_A X_A + \varepsilon_A \quad (2)$$

$$P_A(i) = \begin{cases} \Pr(\theta_{A1} > \omega_A) & \text{if } (i = 0) \\ \Pr(\theta_{Ai} \leq \omega_A \leq \theta_{A(i+1)}) & \text{if } (i = 1 \text{ or } i = 2) \\ \Pr(\theta_{A3} < \omega_A) & \text{if } (i \geq 3) \end{cases} \quad (3)$$

ω_A : 同伴者数を規定する潜在変数

β_A : 外生変数の係数ベクトル
 X_A : 同伴者数を規定する外生変数ベクトル
 ε_A : 平均 0 の正規分布に従う誤差項
 θ_{Ai} : しきい値

$$\omega_{M|i} = \beta_{M|i} X_{M|i} + \varepsilon_{M|i} \quad (4)$$

$$P_M(j|i) = \begin{cases} \Pr(\theta_{M|i} > \omega_{M|i}) & \text{if } (j=1) \\ \Pr(\theta_{M|i} \leq \omega_{M|i}) & \text{if } (j=2) \end{cases} \quad (5)$$

$\omega_{M|i}$: 同伴者数 i の場合の機関選択行動を規定する潜在変数

$\beta_{M|i}$: 外生変数の係数ベクトル

$X_{M|i}$: 同伴者数 i の場合の機関選択行動を規定する外生変数ベクトル

$\varepsilon_{M|i}$: 平均 0 の正規分布に従う誤差項

$\theta_{M|i}$: しきい値

一方、誤差項 $\varepsilon_A, \varepsilon_{M|i}$ の共分散構造を以下のように仮定する。

$$\begin{matrix} & \varepsilon_A & \varepsilon_{M|0} & \varepsilon_{M|1} & \varepsilon_{M|2} & \varepsilon_{M|3} & \dots \\ \varepsilon_A & 1 & \sigma_{A0}^2 & \sigma_{A1}^2 & \sigma_{A2}^2 & \sigma_{A3}^2 & \dots \\ \varepsilon_{M|0} & \sigma_{A0}^2 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ \varepsilon_{M|1} & \sigma_{A1}^2 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots \\ \varepsilon_{M|2} & \sigma_{A2}^2 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots \\ \varepsilon_{M|3} & \sigma_{A3}^2 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{matrix} \quad (6)$$

この式(6)は、同伴者数に影響を与える未観測要因が、機関選択行動に影響を与える未観測要因と相関を持つ一方で、各同伴者数における機関選択行動の未観測要因の間には相関がないという仮定に基づいている。なお、この後者を仮定したのは、本研究では全ての個人についての複数の機関選択行動データが得られていないためである。

ここで、 $P_A(i)$ を、同伴者数が 0 人、1 人、2 人、3 人以上のそれぞれについて定式化したが、同伴者数が 2 人以上の場合には、機関選択行動の意思決定構造は同伴者数に関わらず等しいものと仮定する。すなわち、任意の 2 以上の k, l に対して以下の式が成立するものと仮定する。

$$\beta_{M|k} = \beta_{M|l} \quad \forall k, l = 2, 3, \dots \quad (7)$$

$$\sigma_{Ak}^2 = \sigma_{Al}^2 \quad \forall k, l = 2, 3, \dots \quad (8)$$

以下、同伴者数が 2 人以上の場合のこれらのパラメータ、ならびに共分散を、それぞれ $\beta_{M|2}, \sigma_{A2}$ と表記する。

以上の仮定に基づいて、外生変数、外生変数の係数ベクトル、しきい値、ならびに、誤差項間の共分散が与えられた場合の、同伴者数 i 人で、交通機関 j を選択する同時確

率 $P(i, j)$ を以下のように定式化する。

$$P_j(i, j) = P_A(i) P_M(j|i) \begin{cases} \Pr(\theta_{A0} - \beta_A X_A > \varepsilon_A) \Pr(\theta_{M|0} - \beta_{M|0} X_{M|0} > \varepsilon_{M|0}) & \text{if } (i=0, j=1) \\ \Pr(\theta_{A0} - \beta_A X_A > \varepsilon_A) \Pr(\theta_{M|0} - \beta_{M|0} X_{M|0} \leq \varepsilon_{M|0}) & \text{if } (i=0, j=2) \\ \Pr(\theta_{Ai} - \beta_A X_A \leq \varepsilon_A < \theta_{Ai+1} - \beta_A X_A) \\ \times \Pr(\theta_{M|i} - \beta_{M|i} X_{M|i} > \varepsilon_{M|i}) & \text{if } (i=1 \text{ or } 2, j=1) \\ \Pr(\theta_{Ai} - \beta_A X_A \leq \varepsilon_A < \theta_{Ai+1} - \beta_A X_A) \\ \times \Pr(\theta_{M|i} - \beta_{M|i} X_{M|i} \leq \varepsilon_{M|i}) & \text{if } (i=1 \text{ or } 2, j=2) \\ \Pr(\theta_{A3} - \beta_A X_A \leq \varepsilon_A) \Pr(\theta_{M|i} - \beta_{M|i} X_{M|i} > \varepsilon_{M|i}) & \text{if } (i \geq 3, j=1) \\ \Pr(\theta_{A3} - \beta_A X_A \leq \varepsilon_A) \Pr(\theta_{M|i} - \beta_{M|i} X_{M|i} \leq \varepsilon_{M|i}) & \text{if } (i \geq 3, j=2) \end{cases} \quad (9)$$

ここで、誤差項 $\varepsilon_A, \varepsilon_{M|i}$ の間には、式(6)で示したような共分散が存在するものと仮定しているため、式(9)は以下のようなようになる。

$$P_j(i, j) = \begin{cases} \Phi_0(\theta_{A0} - \beta_A X_A, \theta_{M|0} - \beta_{M|0} X_{M|0}) & \text{if } (i=0, j=1) \\ \Phi_0(\theta_{A0} - \beta_A X_A, -\theta_{M|0} + \beta_{M|0} X_{M|0}) & \text{if } (i=0, j=2) \\ \Phi_i(\theta_{Ai+1} - \beta_A X_A, \theta_{M|i} - \beta_{M|i} X_{M|i}) \\ - \Phi_i(\theta_{Ai} - \beta_A X_A, \theta_{M|i} - \beta_{M|i} X_{M|i}) & \text{if } (i=1 \text{ or } 2, j=1) \\ \Phi_i(\theta_{Ai+1} - \beta_A X_A, -\theta_{M|i} + \beta_{M|i} X_{M|i}) \\ - \Phi_i(\theta_{Ai} - \beta_A X_A, -\theta_{M|i} + \beta_{M|i} X_{M|i}) & \text{if } (i=1 \text{ or } 2, j=2) \\ \Phi_i(-\theta_{A3} + \beta_A X_A, \theta_{M|i} - \beta_{M|i} X_{M|i}) & \text{if } (i \geq 3, j=1) \\ \Phi_i(-\theta_{A3} + \beta_A X_A, -\theta_{M|i} + \beta_{M|i} X_{M|i}) & \text{if } (i \geq 3, j=2) \end{cases} \quad (10)$$

ここに、 $\Phi_i(\cdot, \cdot)$ は式(2)における誤差項 ε_A と、式(4)における同伴者数が i 人の場合の誤差項 $\varepsilon_{M|i}$ が従う 2 変量正規分布関数であり、以下のように定義される。

$$\Phi_i(a, b) = \int_{-\infty}^a \int_{-\infty}^b \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\sigma_{Ai}^2}} \exp\left\{\frac{-1}{2(1-\sigma_{Ai}^2)}(\varepsilon_A^2 + \varepsilon_{M|i}^2 - 2\varepsilon_A \varepsilon_{M|i} \sigma_{Ai})\right\} d\varepsilon_A d\varepsilon_{M|i} \quad (11)$$

本研究で提案したモデルシステムに基づくと、需要予測の対象となる個人集合、ならびに、個人集合内の各個人の外生変数が特定化されており、かつ、未知パラメータ $\beta_A, \beta_{M|0}, \beta_{M|1}, \beta_{M|2}, \theta_{Ai}, \theta_{M|i}, \sigma_{A0}, \sigma_{A1}, \sigma_{A2}$ が与件として与えられていれば、式(10)、(11)で定式化した同伴者数、機関選択同時確率 $P(i, j)$ に基づいて交通需要予測が可能となる。なお、本研究では、ダイアリーデータから抽出した交通行動データに基づいて、式(10)、(11)を用いて尤度関数を定式化することで、全ての未知パラメータを同時に推定することとした。

3.2 同伴者を考慮した交通需要予測手法

ここでは、同伴者数、機関選択同時確率 $P(i,j)$ に基づいた交通需要予測手法に関して述べる。なお、対象とする個人集合は N 人の個人で構成されるものとする。また、ある個人 n の同伴者数、機関選択同時確率を、 $P^n(i,j)$ と表記するものとする。

はじめに、各個人の外生変数を式(10)、(11)に代入することによって、全ての個人について $P^n(i,j)$ を算出する。そして、対象とする個人集合の内、同伴者数 i 人で交通機関 j を選択する個人数 N_{ij} 、機関 j を選択する個人数 N_j を以下の式に基づいて算出する。

$$N_{ij} = \sum_{n=1}^N P_j^n(i, j) \quad (12)$$

$$N_j = \sum_{i=0}^{\infty} N_{ij} \quad (13)$$

同伴者数 i 人の自動車発生台数 NC_i 、自動車発生台数 NC は、式(12)で算定される同伴者数別の自動車利用者数 N_{i2} を用いて以下の式で算出する。なお、式(1)で定義したように、自動車の場合 j は 2、公共交通機関の場合 j は 1 である。

$$NC_i = \frac{N_{i2}}{i+1} \quad (14)$$

$$NC = \sum_{i=1}^{\infty} NC_i \quad (15)$$

従来では外生値として与えられていた平均自動車同乗者数 NA は、式(13)で算定される自動車利用者数 N_2 、ならびに NC から以下の式で求められる。

$$NA = \frac{N_2}{NC} \quad (16)$$

ただし、1 台に同乗できる人数には限りがあるため、式(14)における NC_i において、 i が 4 人あるいは 5 人以上の場合については、2 台に分乗する等の仮定を施し、補整を加える必要がある。本研究では、以上のような方法に基づいて、同伴者を考慮した公共交通機関利用客数、自動車利用者数に加えて、自動車発生台数を同乗者数の分布を考慮した上で予測することが可能であり、この点が、本モデルシステムの大きな特徴である。

4. モデルシステムの推定計算

本研究では、3. で述べたダイアリーデータから、交通機関、同伴者数、出発地、目的地等が不備なく回答されている 1209 トリップデータを抽出した。そして、このデータを用いて、式(10)、(11)に基づいて尤度関数を定式化し、

これを最大化することで、全ての未知パラメータ $\beta_A, \beta_{M0}, \beta_{M1}, \beta_{M2}, \theta_{A1}, \theta_{M1}, \sigma_{A0}, \sigma_{A1}, \sigma_{A2}$ を推定した。なお、交通機関選択モデルの構築を図る場合、トリップ目的別のセグメントを構成して未知パラメータを推定することが一般的であるが、トリップ目的別、同伴者数別に交通機関選択における未知パラメータの推定を行うためには、本研究で用いた 1209 トリップデータでは十分なものではなかった。そこで、同伴者数と交通機関選択との関係に着目した分析を目指す本研究では、目的別にセグメンテーションを行わず、トリップ目的についてはダミー変数という形で効用関数に導入することとめた。なお、トリップ目的については、表-1 に示した各トリップ目的と、それ以外のトリップ目的(以下、その他目的と呼ぶ)に分類し、かつ、その他目的のダミーパラメータを 0 に固定してそれ以外のダミーパラメータ推定値を求めるという方法で、その影響を考慮することとした。

以上の前提に基づいた推定結果を表-1 に示す。推定計算にあたっては、各々の未知パラメータについての t 検定を行った。なお、表-1 における「同伴者 0 人機関選択モデル」「同伴者 1 人機関選択モデル」「同伴者 2 人以上機関選択モデル」は、それぞれパラメータ $\beta_{M0}, \beta_{M1}, \beta_{M2}$ の推定値から機関選択確率 $P_M(j|i)$ を算定するモデルであり、「同伴者数モデル」はパラメータ β_A の推定値から同伴者数確率 $P_A(i)$ を算定するものである。

ここで、本研究で提案するモデルシステムの有効性を確認するために、同伴者数分布と交通機関選択確率との関係を一切考えないモデル(全ての i についての β_{Mi} が等しいと仮定し、かつ、共分散 $\sigma_{A0}, \sigma_{A1}, \sigma_{A2}$ を全て 0 に固定したモデル)を同一のサンプルを用いて推定した。以下、このモデルを比較モデルと呼ぶこととする。なお、比較モデルを構築する際にも、表-1 に示した推定計算と同様の説明変数を用いた上で、各未知パラメータについての t 検定を行い説明変数を特定化した。この比較モデルと、本研究で提案するモデルシステムのそれぞれの適合度を表-2 に示す。

表-2 より、本研究で提案したモデルシステムの方が高い適合度が得られていることが分かる。また、表-2 の結果に基づいて、両モデルの差の χ^2 値を算定すると、109.3(自由度 18)であり、両モデルに有意差が存在することが統計的に確認できる。この結果は、同伴者数によって交通機関選択の意思決定構造が異なること、および、同伴者数と交通機関選択に共通に影響を及ぼす非観測要因(omitted variables^{?)})が存在することを示すものである。すなわち、この結果は、同伴者数分布と交通機関選択確率とが独立で

表-1 モデルシステムの推定結果

| | 同伴者0人機関 選択モデル | | 同伴者1人機関 選択モデル | | 同伴者2人以上機関 選択モデル | | 同伴者数モデル | |
|-------------------------|------------------|--------|------------------|-------|--------------------|-------|-----------------------|--------|
| | 推定値 | t値 | 推定値 | t値 | 推定値 | t値 | 推定値 | t値 |
| 男性ダミー | | | | | 1.61 | 7.54 | -0.29 | -4.22 |
| 世帯内自動車保有台数 | 0.33 | 7.70 | | | | | -0.21 | -2.56 |
| 運転免許保有ダミー | 2.07 | 11.19 | 0.36 | 3.66 | | | -0.32 | -4.69 |
| 自営業ダミー | 0.63 | 4.68 | | | | | -0.15 | -2.10 |
| 学生ダミー | -0.94 | -3.56 | -1.00 | -5.90 | -2.15 | -5.01 | -1.32 | -13.73 |
| 専業主婦ダミー | 0.37 | 2.29 | -0.89 | -7.52 | 0.26 | 1.59 | -1.09 | -9.78 |
| 個人収入300万円以上ダミー | 0.26 | 2.80 | -1.00 | -7.30 | | | -0.41 | -6.32 |
| 通勤通学ダミー | -1.08 | -10.22 | -1.55 | -8.47 | | | -0.30 | -3.72 |
| 帰宅(会社学校より)ダミー | -0.77 | -6.82 | -1.39 | -7.75 | | | -0.12 | -1.75 |
| 帰宅(上記以外)ダミー | -0.61 | -6.57 | | | | | -0.36 | -3.06 |
| 食事・買い物ダミー | | | | | -0.72 | -2.70 | -0.42 | -5.42 |
| 趣味・スポーツダミー | | | | | -1.56 | -6.46 | 0.55 | 5.71 |
| 自動車費用(単位:千円) | -1.12 | -14.76 | -0.52 | -7.95 | -0.47 | -3.42 | 1.17 | 9.36 |
| 所要時間差(単位:100分) | 0.96 | 5.53 | 1.76 | 8.67 | 4.22 | 10.97 | | |
| 定数項 | -1.22 | -8.07 | 1.02 | 9.91 | 1.46 | 7.77 | | |
| | 推定値 | | t値 | | | | | |
| $\sigma_{\epsilon_0}^2$ | 0.62 | 10.77 | Sample Size | | 1209 | | $\chi^2(df=45) 763.7$ | |
| $\sigma_{\epsilon_1}^2$ | 0.79 | 28.57 | L(C) | | -1677.2 | | | |
| $\sigma_{\epsilon_2}^2$ | -0.79 | -34.16 | L(B) | | -1295.3 | | | |

(なお表中の各適合度指標はモデルシステム全体としてのものである)

- $\sigma_{\epsilon_0}^2$: 同伴者数モデルの誤差項と同伴者がいないのときの機関選択モデルの誤差項との共分散
- $\sigma_{\epsilon_1}^2$: 同伴者数モデルの誤差項と同伴者が1人のときの機関選択モデルの誤差項との共分散
- $\sigma_{\epsilon_2}^2$: 同伴者数モデルの誤差項と同伴者2人以上のときの機関選択モデルの誤差項との共分散
- 所要時間差* : 鉄道所要時間 - 自動車所要時間

表-2 比較モデルとの適合度の比較

| | L(C) | L(B) | χ^2 (df) |
|-------------|---------|---------|---------------|
| 本研究で提案したモデル | -1677.2 | -1296.3 | 763.7 (45) |
| 比較モデル | -1677.2 | -1350.0 | 654.4 (27) |

はなく、両者を独立と仮定した交通需要予測方法を用いることで、予測誤差が生じる危険性が存在することを示しているものと考えられる。

次に、表-1 の同伴者数モデルの推定結果に着目する。なお、同伴者数モデルでは、式(1)で引数 i を同伴者数と定義したこと、ならびに、式(2)、(3)の定式化より、パラメータベクトル β_{Ai} の要素が正の場合、それに対応する変数が増加すると、同伴者数が増加する傾向となる。まず、トリップ目的ダミーは全て負となったが、これは、ダミーパラメータを 0 に固定したその他目的の同伴確率が最も高いためである。それぞれのトリップ目的ダミーのパラメータ推定値の絶対値に着目すると、食事・買い物、趣味・スポーツ等の自由活動目的の場合、あるいは業務目的の場合に同伴傾向が相対的に大きく、通勤・通学、会社学校からの帰宅の場合では、同伴傾向が小さいことが分かる。また、女性や個人収入 300 万円以下の個人の同伴傾向が大きいことが分かる。以上より、同伴者数は、トリップ目的や個人属性に大きく依存していることがわかった。

ここで、1. で述べたように、同伴者数がトリップ目的や個人属性と完全に独立である場合、従来の交通需要予測に

おいて用いられてきた自動車利用者数を平均同乗者数で除するという簡素な方法でも自動車需要量の予測誤差は生じないが、両者に相関が存在する場合には、予測誤差が生じる。したがって、その両者に相関の存在が示された本研究の結果は、従来の簡素な自動車需要量の算定方法では、予測誤差が生じることを示しているものと考えられる。この予測誤差を除去するためには、本研究のように、同乗者数を明示的に考慮した交通需要モデルを用いることで有効であるものと考えられる。

さらに、機関選択効用のパラメータについて述べる。なお、交通機関 j については公共交通機関が 1、自動車が 2 と式(1)で定義しており、かつ、式(4)、(5)と効用関数を定義していることから、パラメータベクトル β_{Mji} の要素が正の場合、そのパラメータに対応する変数が増加すれば、自動車選択確率が増加することとなる。なお、表-1 に示した推定結果は、t 検定の結果、有意なパラメータが得られなかったものについては 0 に固定した。

推定結果より、有意なパラメータが推定されたいずれの変数についても、そのパラメータの符号は同伴者数によらず同じものとなっていることが分かる。この結果は、機関選択意思決定構造は、その基本的な部分においては同伴者数に依存しないことを示しているものと思われる。しかし、各パラメータの絶対値に着目すると、同伴者数によって変化していることが分かる。すなわち、学生は同伴者数が多いほど公共交通機関を選択する傾向が強くなる、専業主

婦は同伴者が1人の場合のみ公共交通機関の利用確率が大きい、それ以外では自動車を選択する傾向が強い、等の傾向が読み取れる。それに加えて、交通機関固有属性に着目すると、同伴者数の増加にしたがって、所要時間差のパラメータの絶対値は大きくなっていることが分かる。すなわち、同伴者数の増加に伴って、時間の価値をより高く評価する傾向にあるものと解釈できる。逆に、自動車費用についてのパラメータは、同伴者数の増加に伴ってより小さなものとなっている。ただし、推定結果から、一人当りの平均自動車費用負担額についてのパラメータを算定すると、同伴者数が1人の場合のパラメータは $0.52 \times 2 = 1.04$ 、2人の場合は $0.47 \times 3 = 1.41$ というパラメータが算定できる。同伴者が存在しない場合のパラメータが1.12であることを考慮すると、所要時間について見られたような同伴者数とパラメータ推定値との相関関係は読み取れない。これらのことを考え合わせると、同伴者数の増加に伴って、所要時間が長くなることについての忌避感が増大するが、一人当たりの平均負担費用に対する態度は同伴者数と独立であることが分かる。なお公共交通機関費用については、いずれの場合でも有意なパラメータが推定されなかった。

ここで、図-1に、表-1に示したパラメータ推定値から算定した、同伴者数別の自時間-費用線を示す^[1]。本研究で提案したモデルの推定結果より算出された時間価値は、同伴者が存在しないトリップでは、514.3(円/時間)、同伴者数が1人のトリップでは、2030.8(円/時間)、同伴者数が2人以上のトリップでは5387.2(円/時間)と、同伴者が増加するにつれて時間価値が増加する傾向にあることが分かる。また、上述の一人当りの平均自動車費用負担額を考慮し、時間価値に修正を施しても、同伴者数が0人、1人、2人のそれぞれの時間価値が514.3(円/時間)、1015.4(円/時間)、1795.7(円/時間)と、同様の傾向にあることが分かる。

一般には、交通行動の意思決定構造とトリップ目的の間には相関があることが知られている⁸⁾が、本研究では先述の様に、サンプル数の関係からトリップ目的別のセグメンテーションは行っていない。したがって、今回の推定サンプルにおいて、同伴者数別のトリップ目的分布が異なり、かつ、トリップ目的別に時間価値がことなっているため、上記の様に同伴者数別の時間価値が異なった、という可能性はこの推定結果からだけでは否定できない。本研究では、この点に検討を加えるため、同伴者の有無別トリップ目的別のセグメントを構成し、各セグメントごとに表-1に示した交通機関選択モデルと同様の説明変数を用いて二項

ロジットモデルの枠組みで推定計算を行い、時間価値を算定した。なお、トリップ目的については、通勤通学、会社・学校からの帰宅、業務といった固定的な活動目的(以下、固定活動目的)と、会社・学校以外からの帰宅、買い物飲食、趣味スポーツといった自由活動目的の2種類に分類した。以上の前提で算定した、各セグメントにおける時間価値を、各セグメント内のサンプル数と共に表-3に示す。まず、表-3に示したサンプル数に着目すると、自由活動目的の方が同伴傾向が強いことが分かる。なお、この結果は、表-1の同伴者数モデルの活動目的ダミーの推定値からも示されている。また、固定活動目的の方が、同伴者の有無に関わらず自由活動目的よりも高い時間価値となっていることも分かる。この2点を考え合わせると、表-1の推定結果から示された同伴者数の増加に伴う時間価値の増傾向は、同伴者数別の目的構成比率が異なっていることを原因としているのでは無いことが分かる。さらに、いずれの目的についても、同伴者が存在する場合の方が高い時間価値となっていることが分かる。以上の結果から、表-1の推定結果から示された同伴者の増加に伴う時間価値の増傾向は同伴者数別のトリップ目的構成比率の変化に依存するものではなく、同伴者数が増加することで時間価値が増加するという因果関係が存在することが示唆された。

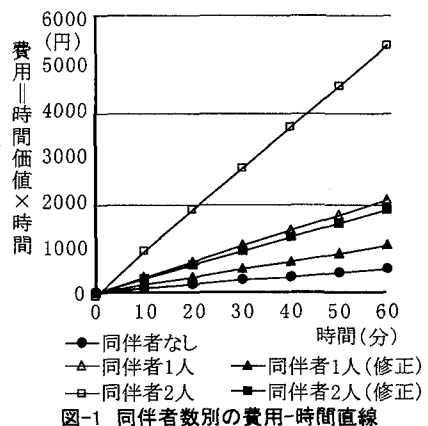


表-3 各セグメントの時間価値

| 同伴者数 | 同伴者無し | 同伴者有り |
|--------|-----------------|------------------|
| 固定活動目的 | 732.9円/時間 (533) | 2319.0円/時間 (104) |
| 自由活動目的 | 309.9円/時間 (288) | 1242.6円/時間 (155) |

()内はサンプル数

最後に、表-1の誤差項間の共分散(分散を1に固定しているため相関係数に等しい)の推定値に着目すると、同伴者数モデルと同伴者0人機関選択モデルでは0.62、同

伴者数モデルと同伴者1人機関選択モデルでは0.79、同伴者数モデルと同伴者2人以上機関選択モデルでは-0.79となっている。この結果は、同伴者が1人以下の場合に、さらに多くの人と一緒に行動しようとする非観測要因が存在する場合には、自動車の選択確率が増加することを示している。しかし、同伴者数が2人以上になった場合は、非観測要因の効果でさらに多くの人と一緒に行動しようとした場合には公共交通機関の選択確率が増加するものと解釈できる。この結果は、同伴者が1人以下であり、かつ、その状況下でさらに同伴者が増加する場合には、自動車の定員に余裕があるために自動車が好まれるが、同伴者が既に2人以上あり、かつ、その状況下で同伴者が増加する場合には、自動車の定員により、一台の自動車でトリップを実行することが困難となり、したがって公共交通機関が選好される、という因果関係が存在することを示唆しているものと考えられる。また、逆に言えば、同伴者が1人以下である時に非観測要因の効果で自動車が選好される場合には同伴者をさらに募る傾向にあるが、同伴者が2人以上の時に自動車が選好される場合には、自動車の定員があるために、同伴者を削減させようとする、とも解釈できる。以上の誤差項の共分散の推定値からも、同伴者数と機関選択行動は独立に決定されているものではないことが分かった。

5. モデルシステムの感度分析

ここでは、本研究で提案したモデルシステムに基づいて、推定サンプルを対象とした所要時間、費用についての感度を算定することで、これらの要因についての感度と同伴者数との関係を分析する。ただし、同伴者数別のサンプル自動車分担率を算定する際には式(12)を用いた。図-2、図-3のそれぞれに、推定サンプルの自動車の所要時間、自動車の費用が一律に増加した場合の、同伴者数別の自動車選択確率の平均(以下サンプル自動車分担率)を示す。

まず図-2より、自動車費用については、いずれの同伴者数であっても、その感度に大きな差は示されていない。これは、表-1に示したように、自動車費用についてのパラメータ推定値の大きさが、同伴者数に関わらずほぼ一定の値をとっていたためである。しかし、図-3に着目すると、同伴者数によってパラメータ推定値が異なっていた所要時間の感度については、同伴者数によって大きく異なっており、同伴者数が増加するにつれて所要時間の感度が大きなものとなっていることが分かる。特に、同伴者数が2人以

上の場合には、自動車所要時間の増加量が0の時には、サンプル自動車分担率は同伴者がいないトリップのサンプル自動車分担率よりも高い水準となっているが、所要時間が増加するにつれてその差は徐々に小さくなり、所要時間増加量が20分を超過した時点で両者のサンプル自動車分担率が逆転する結果となった。

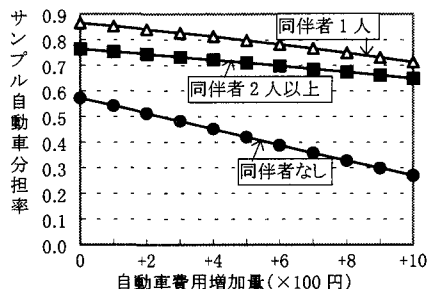


図-2 サンプル機関分担率に対する同伴者数別の自動車費用の感度

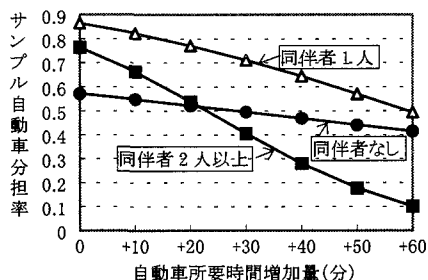


図-3 サンプル機関分担率に対する同伴者数別の自動車所要時間の感度

次に、同伴者を考慮しないモデル(4.で述べた比較モデル)と、本研究で提案したモデルシステムとの感度の相違を比較するために、自動車の所要時間、自動車の費用のそれぞれが一律に増加した場合の、全サンプルについてのサンプル自動車分担率を両モデルで算定した結果を図-4、図-5に示す。なお、本モデルシステムで全体のサンプル自動車分担率を算定する際には、式(13)を用いた。

まず、図-4、図-5より、自動車費用、所要時間いずれについても、その増加量が0の場合には、両モデルとも、同一のサンプル自動車分担率となっている。これは、いずれのモデルについても定数項を導入しているためであり、極めて当然の結果である。ところが、自動車費用、所要時間のいずれについても、それらが増加するにつれて、両モデルが算定するサンプル自動車比率は徐々に乖離していくことが分かる。そして、比較モデルの方が、いずれの要因についても、それらの感度を過大に算定していることが示されている。今回用いたサンプルからは、ここで示したような自動車費用、所要時間が増加した場合の行動データを

得ていないため、いずれのモデルによって算定された感度がより実際のものを再現しているかについて実証することはできない。ただし、前章で示した推定計算からは、両モデルはそれぞれの適合度について有意差が存在していること、また、同伴者数によって意思決定構造が異なることが統計的に示されている。この結果を考え合わせると、本研究で構築したモデルシステムの方が、妥当な感度を再現している可能性が極めて高いものと推測される。

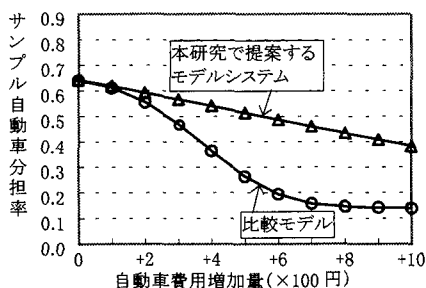


図-4 比較モデルと本モデルシステムとの自動車費用の感度の相違

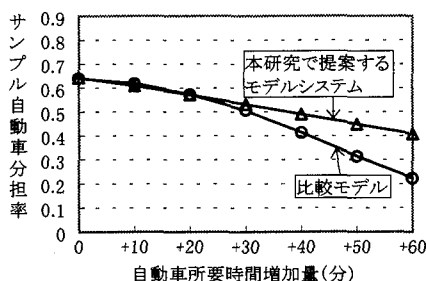


図-5 比較モデルと本モデルシステムとの自動車所要時間の感度の相違

6. 結論

本研究では、公共交通機関と自動車の2機関の交通機関選択分析を行う際に同伴者の存在を明示的に考慮し、同伴者数を内生化した形での交通機関選択モデルを提案した。モデルシステムの定式化にあたっては、同伴者数と交通機関選択行動の間の相関、ならびに、個人の機関選択行動の意思決定構造はその個人が交通行動を行った際の同伴者の人数により異なるものと考えた。そして、ダイアリーデータから抽出されるトリップデータを用いて、各未知パラメータを推定した。最後に、得られた推定結果に基づいて、推定サンプルを対象とした感度分析を行った。推定計算、ならびに、感度分析を行う際には、同伴者の影響を考慮しない交通機関選択モデルとの比較を行った。

本研究では、以上の数値計算を通じて、以下の知見が得られた。

①同伴者数分布とトリップ属性、個人属性との相関の存在: 同伴者数確率をプロビットモデルの枠組みで定式化した結果、トリップ属性や個人属性といった外生変数が、同伴者数に有意に影響を及ぼしていることが示された。この結果は、自動車利用者数を平均同乗者数で除することで得られる自動車需要量の予測値には、予測誤差が含まれることを意味するものである。この予測誤差を除去するためには、トリップ属性別、個人属性別に平均同乗者数を求める、という方法が考えられよう。しかし、本研究の推定結果では、同伴者数に影響を及ぼす要因は数多く存在することが示されている。さらに、同伴者数モデルと機関選択モデルとの誤差項の共分散が高かったことから、本稿で示された要因以外にも、より多くの要因が同伴者数に影響を及ぼしていることが推測される。これらを考えあわせると、各要因別の平均同乗者数を求めることは、実質的に極めて困難となることが予想される。したがって、この予測誤差を除去するための一手法として、本研究で提案した同乗者数モデルを導入した需要予測手法が有効となるものと考えられる。

②同伴者数と機関選択意思決定構造の相関の存在: 本モデルシステムの適合度と、同伴者を考慮しないモデルの適合度とから、両者のモデルに統計的に有意差が存在することが確認された。それに加えて、交通機関選択における効用関数のパラメータが同伴者数によって異なっていること、ならびに、同伴者数と機関選択行動の両者に共通に影響を及ぼす非観測要因存在することが示された。これらの結果は、いずれも同伴者数と機関選択意思決定構造との間に相関関係が存在することを示すものである。実際、感度分析からは、同伴者数との相関を一切考慮しない交通機関選択モデルが算定する時間、費用についての感度と、本モデルシステムが算定するそれらの要因についての感度とでは、大きく異なるという結果が示された。以上から、交通機関選択モデルを構築するにあたり、機関分担率の予測誤差を軽減する一つの方法として、同伴者を考慮するというアプローチが挙げられるものと考えられる。

③同伴者数の増加に伴う時間価値の逡増: 本モデルシステムのパラメータ推定値から算定される同伴者数別の時間価値から、同伴者数が増加するにしたがって時間価値が逡増することが示された。また、トリップ目的別に時間価値を求めた結果、同一のトリップ目的であっても時間価値が逡増することが示された。以上の結果から、同伴者が増加すると、(少なくとも2人までは)時間価値が増加する、という因果関係が存在することが分かった。この時間価値の

通増傾向が示されたのは、一人あたりの平均負担自動車費用についてのパラメータについては同伴者数によらずほぼ一定の値であった一方で、所要時間については同伴者が増加することでそのパラメータの絶対値が通増する傾向にあったからである。すなわち、個人には同伴者が存在する場合には時間を「大切にす」という傾向が存在することが示された。このことから、自動車速度の改善に伴って同伴者が存在する自動車の割合は増加していき、したがって、同伴交通の促進のためには自動車速度の改善が有効であること、ということが分かる。しかし、当然ながら、自動車速度の改善による自動車分担率の増加は、最終的には自動車速度の低下を招くため、自動車の同乗交通を促進させることで自動車車両台数の削減を目指す場合には、単独運転車両が都心へ流入する際に費用抵抗を付加する、あるいは流入自体を制御するといった、ある程度の強制性を伴った方策が必要とされるものと考えられる。

以上の様に本研究では数値計算を通じていくつかの知見が得られた。しかし、本研究は未だ途上にあり、以下の課題点が残されている。

- 1) トリップ目的が意思決定構造に及ぼす影響を考慮するために、より多くのサンプルを収集し、トリップ目的別のセグメントを構成した上で、本研究で提案したアプローチに基づいて推定計算を行う。
- 2) 同伴者モデルの説明変数として、本研究ではトリップ目的や個人属性のみを導入しているが、自動車交通需要の削減を図るための同乗交通の促進方策を検討するためにも、政策変数を導入する必要がある。
- 3) 本研究では、データ整備コストの関係から、他者の情報を導入せずに同伴行動を考慮した行動モデルの構築を図ったが、当然ながら、他者の属性やスケジュール

ルが同伴行動に影響を及ぼすものと考えられる。今後、これらの情報を考慮し、かつ、データ整備コストの低いアプローチを検討することが必要であるものと考えられる。

謝辞:本研究を遂行するにあたり、阪神高速道路公団に調査及び資料の提供について全面的なご協力いただいた。また、データ解析にあたっては、文部省科学研究費基盤研究(B)(2)の助成を受けた。ここに記して感謝の意を表します。

注

- [1] 本研究では、公共交通機関の費用について有意な係数が算定されなかったため、時間価値の算定にあたっては、自動車費用の係数と自動車所用時間の係数(=所用時間差の係数)から算定した。

参考文献

- 1) 佐佐木綱:都市交通計画, 国民科学社, pp. 20-21, 1983.
- 2) 磯部友彦:鉄道駅端末における世帯自動車同乗交通形態の分析, 土木学会第 50 回年次学術講演概要集 IV, pp. 132-133, 1995.
- 3) 樋口誠, 青島縮次郎, 宿良:世帯における複数保有車両の使い分けに関する平日・休日比較分析, 土木学会第 49 回年次学術講演概要集 IV, pp. 824-825, 1994.
- 4) 山本俊行, 藤井聡, 吉田洋, 北村隆一:世帯構成員間の関係に基づいた自動車利用確率を考慮した機関選択モデルの構築, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp. 535-542, 1996.
- 5) 小林潔司・喜多秀行・多々納裕一:送迎・相乗り行動のためのランダム・マッチングモデルに関する研究, 土木学会論文集, No. 536/IV-31, pp. 49-58, 1996.
- 6) 藤井聡, 北村隆一, 柘植章英:阪神・淡路大震災が個人の交通行動・生活行動に及ぼした影響の分析, 交通工学, Vol. 32, No. 2, pp. 37-46, 1997.
- 7) Kitamura, R. and Bunch, D.S. (1990) 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, New York, pp.477-496.
- 8) 土木学会:非集計行動モデルの理論と実際, pp. 145-186, 1995.

同伴者を考慮した交通機関選択モデルの構築

藤井 聡 阿部昌幸 北村隆一

本研究では、同伴者を明示的に考慮し、同伴者数を内生化した形での交通機関選択モデルを提案した。モデルシステムの定式化にあたっては、同伴者数と交通機関選択モデルの双方に影響を及ぼす非観測要因の存在、ならびに、個人の機関選択行動の意思決定構造はその個人が交通行動を行った際の同伴者の人数により異なるものと考えた。そして、ダイアリーデータから抽出されるトリップデータを用いて、本モデルに含まれる未知パラメータを推定した。推定の結果、同伴者数と交通機関選択行動には相関関係が存在すること、同伴者数とトリップ目的、個人属性との間には相関関係が存在することが示された。特に、同伴者数が増加するにつれて、時間価値が通増する傾向にあることが示された。

A development of a joint party size and mode choice models

Satoshi FUJII, Masayuki ABE, Ryuich and KITAMURA

A model system that predicts travel mode and party size jointly, is developed. This model system accounts for the correlation between party size and mode choice that arises due to omitted variables that affect the two. The coefficients of mode choice utility functions are assumed to vary with party size. The parameters are estimated using activity diary data and applying the bivariate probit model. The parameter estimates indicate that mode choice behavior is associated with party size, party size is affected by person attributes and the trip purpose, and the value of time increases with party size.