個人間の相互作用を考慮した送迎・相乗り行動モデルに関する研究

(株) 日水コン　正会員　○原田哲郎　鳥取大学工学部　正会員　多々納裕一
鳥取大学工学部　正会員　小林潔司　鳥取大学工学部　正会員　喜多秀行

1. 研究の目的

地方生活圏において家計員による送迎・相乗り行動は、交通弱者の主要な交通手段となっている。そこで本研究では、個人の効用間の相互作用、意思決定間の相互作用を明示的に考慮した送迎・相乗り行動モデルを提案する。さらに、パーソントリップ調査を用いることで、送迎・相乗り行動モデルの推計を試み、当該地域における送迎・相乗り行動のメカニズムについて考察する。

2. 分析の枠組み

従来のロジットモデルに代表されるようなランダム効用理論においては、交通行動を実施する個人にとって、他人の意思決定との関連は考慮されていない。しかしながら、送迎・相乗り行動は、自家用車の運転を実施することにより送迎サービスを提供する人（エイジェントと呼ぶ）とその送迎サービスを享受する人（プリンシパルと呼ぶ）が互いに時間や走行経路を調整するとともに、双方がサービスの享受に同意することが前提となる。したがって本研究ではこのような個人間の意思決定に関わる相互作用を考慮した送迎・相乗り行動モデルを提案する。

ここでエイジェントの立場に立てば、送迎サービスを提供するために自分の時間や財を余分に消費することになる。つまり、エイジェントが自己の効用のみの最大化を行う利己的主体であれば、送迎サービスを提供するというインセンティブは生じない。したがって、エイジェントがサービスの授受に応じるための動機として、1) 経済的動機、2) 利他的動機、3) 父権的動機の3種類をとりあげる。

3. 送迎・相乗り行動モデルの定式化

プリンシパルは、「エイジェントが提供する送迎サービスを享受して相乗りさせてもらう (B^1)」、「1人で目的地まで行く (B^2)」という選択肢が存在する。そこで、プリンシパルの選択肢 $B^i, i=1,2$ における確率効用関数 U_p^i を次式のように定式化する。

$$U_p^i = \beta \boldsymbol{X}_p^i + \eta_p U_a^i + \varepsilon_p^i \tag{1}$$

ここで、β：パラメータベクトル、$\boldsymbol{X}_p^i$：プリンシパルが直面する選択肢 B^i の特性や経済的費用を説明する変数、η_p：エイジェントに対するプリンシパルの「気兼ね」の程度を表す利他的動機のパラメータ、U_a^i：選択肢 B^i に対するエイジェントの効用、ε_p^i：プリンシパルに特有な変数を表わす。

また、エイジェントは「プリンシパルから提案された送迎サービスの提供を申し出る (A^1)」、「送迎サービスの提供を断る (A^2)」という選択肢が存在する。そこで、選択肢 $A^i, i=1,2$ における確率効用関数 U_p^i は次式のように定式化できる。

$$U_a^i = \alpha \boldsymbol{X}_a^i + \eta_a U_p^i + \varepsilon_a^i \tag{2}$$

ここで、α：パラメータベクトル、$\boldsymbol{X}_a^i, i=1,2$：選択肢 A^i の特性を説明する変数、ε_a^i：エイジェントに特有な変数、U_p^i：プリンシパルの効用、η_a：プリンシパルのエイジェンに対する「思いやり」の程度を表す利他的動機のパラメータを表している。ここで選択肢の選択確率を明示的に求めるため、誘導型の確率効用モデルを導出する。よって式(1)、式(2)を U_p^i, U_a^j に関して解くと次式を得る。

$$U_p^i = \overline{v}_p^i + \xi_p^i \tag{3}$$

$$U_a^i = \overline{v}_a^i + \xi_a^i \tag{4}$$

ここで、$\overline{v}_p^i = \beta \boldsymbol{X}_p^i/(1-\eta_a\eta_p) + \eta_p \alpha \boldsymbol{X}_a^i/(1-\eta_a\eta_p)$, $\overline{v}_a^i = \eta_a \beta \boldsymbol{X}_p^i/(1-\eta_a\eta_p) + \alpha \boldsymbol{X}_a^i/(1-\eta_a\eta_p)$, $\xi_p^i = \eta_p \varepsilon_a^i/(1-\eta_a\eta_p) + \varepsilon_p^i/(1-\eta_a\eta_p)$, $\xi_a^i = \eta_a \varepsilon_p^i/(1-\eta_a\eta_p) + \varepsilon_a^i/(1-\eta_a\eta_p)$ である。本研究では、異質分散性をもつ誘導型確率効用関数の確率構造を効果的に表現するため、構造型確率効用項が多次元正規確率分布に従うと仮定し、選択行動モデルをプロビットモデルで表現する。したがって4個の構造型確率効用項 $\varepsilon_p^i, \varepsilon_a^i$ がそれぞれ平均0分散・共分散行列 Σ_p, Σ_a を有する2次元正規確率密度関数 $N(0,\Sigma_p), N(0,\Sigma_a)$ に従うと仮定する。さらに実用性の高いモデルを構築するために、仮定1.$Var[\varepsilon_m^i]=\sigma^2$、仮定2.$E[\varepsilon_m^i\varepsilon_n^j]=0$ を設ける。ここで、プリンシパルとエイジェントが選好する選択肢の組み合わせに着目すれば、1) 双方がトリップの共同生産に同意 (Ω_1), 2) エイジェントが送迎サービスを申し出るがプリンシパルがそれを

断り、結果としてプリンシパルが公共交通サービスを利用する (Ω_2) , 3) プリンシパルが送迎サービスの提供を依頼するがそれをエイジェントが断る (Ω_3) , 4) エイジェントとプリンシパル双方が個別に行動 (Ω_4)、といった４つのケースが考えられる。したがって、送迎・相乗り行動が生起する確率 $P(\Omega_1|\boldsymbol{X},\boldsymbol{\theta})$ は以下のようになる。

$$P(\Omega_1|\boldsymbol{X},\boldsymbol{\theta}) = \mathrm{Prob}(U_p^1 \geq U_p^2, U_a^1 \geq U_a^2|\boldsymbol{X},\boldsymbol{\theta}) = \Phi(x_1)\cdot\Phi(x_2) \tag{5}$$

$$\begin{cases} x_1 = \dfrac{\alpha\Delta\boldsymbol{X}_a + \eta_a\beta\Delta\boldsymbol{X}_p}{\sqrt{1+\eta_a^2}} \\ x_2 = \dfrac{\eta_p\alpha\Delta\boldsymbol{X}_a + \beta\Delta\boldsymbol{X}_p}{\sqrt{1+\eta_p^2}} \end{cases} \tag{6}$$

ここで、$\Delta\boldsymbol{X}_k = \boldsymbol{X}_k^2 - \boldsymbol{X}_k^1, k = a, p$ であり、$\Phi(z) = \int_{-\infty}^{z}\phi(t,1)dt$ は正規確率分布関数、$\phi(t,1)$ は標準正規確率密度関数である。また、仮定2. の構造型確率効用項の独立性より他の事象の生起確率は以下のように簡潔に表すことができる。

$$P(\Omega_2|\boldsymbol{X},\boldsymbol{\theta}) = \Phi(x_1)\cdot(1-\Phi(x_2)) \tag{7}$$

$$P(\Omega_3|\boldsymbol{X},\boldsymbol{\theta}) = (1-\Phi(x_1))\cdot\Phi(x_2) \tag{8}$$

$$P(\Omega_4|\boldsymbol{X},\boldsymbol{\theta}) = (1-\Phi(x_1))\cdot(1-\Phi(x_2)) \tag{9}$$

一方、父権的モデルでは、プリンシパルがエイジェントの選好結果にもとづき、強制的に選択肢を決定しなければならない。したがって父権的モデルにおいて、送迎・相乗り行動は選択結果がエイジェントの選好によってのみ規定されるモデルを構築する必要がある。以上の定義にもとづいてエイジェントの確率効用関数は以下のように表現される。

$$U_a^i = \alpha X_a + \beta X_p + \varepsilon_a^i \tag{10}$$

ここで、構造型確率効用項 ε_a^i が平均 0 、分散 σ^2 を有する１次元正規確率密度関数 $N(0,\sigma^2)$ に従うと仮定すると、送迎・相乗り行動が選択される確率 $P(\Omega_1'|\boldsymbol{X},\boldsymbol{\theta})$ は、以下のように表される。

$$P(\Omega_1'|\boldsymbol{X},\boldsymbol{\theta}) = \mathrm{Prob}(U_a^1 \geq U_a^2|\boldsymbol{X},\boldsymbol{\theta}) = \Phi\left[\alpha\Delta\boldsymbol{X}_a + \beta\Delta\boldsymbol{X}_p\right] \tag{11}$$

4. 鳥取県東部地区を対象とした実証分析

鳥取県東部地区を対象にしたパーソントリップ調査を用いて本モデルの有効性及び同地域における送迎・相乗り行動について分析を行う。ここで本研究では、義務的トリップである通勤、通学に関しての推計を行う。この際、基本モデル、父権的モデルそれぞれの尤度関数の最大化を行うことで未知パラメータを求める。なお、尤度関数の最大化にはパターン法を用いた。以下、誌面の都合上、通勤トリップについてのみ述べる。

パーソントリップ調査から、142件の通勤トリップのデータを得た。そこで表–1のような説明変数において最も良好な結果を得た(同表–1)。表より尤度比、的中率、t値ともに比較的良好な結果となった。また尤度比、的中率などから、父権的モデルに比べ基本モデルが幾分説明力があると考えられる。

図–1は、基本モデルの推計結果を用いて、プリンシパルとエイジェントが選好する４つの事象のそれぞれが最大となる領域を図示したものである。図よりプリンシパルが断る領域 (Ω_2, Ω_4) が、送迎サービスを依頼する領域 (Ω_1, Ω_3) に比べかなり小さいことがわかる。また領域 Ω_3 は、プリンシパルが送迎サービスを依頼しているにもかかわらずエイジェントの理由等で送迎・相乗り行動が実現されない領域である。したがって、この領域を小さくするように公共交通機関の充実を図ることが、対象地域において重要な課題となるであろう。

表–1(a) 通勤トリップに関するモデルの推計結果 (基本モデル)

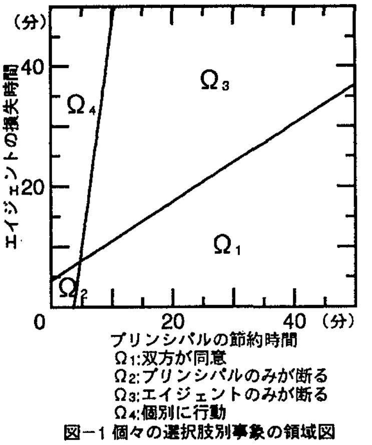
	内容	推計結果	t 値
α_1	エイジェントの損失時間	$-.448E+00$	$-.556E-01$
α_2	エイジェントの定数項	$.336E+00$	$.605E-01$
β_1	プリンシパルの節約時間	$.117E+02$	$.493E+02$
β_2	回数券保有	$.105E+01$	$.872E+01$
β_3	プリンシパルの定数項	$.558E+01$	$.252E+02$
η_a	「思いやり」の程度	$.250E-01$	$.342E-03$
η_p	「気兼ね」の程度	$.349E+01$	$.179E+02$

尤度比 .363
的中率 78.6%

表–1(b) 通勤トリップに関するモデルの推計結果 (父権的モデル)

	内容	推計結果	t 値
α_1	エイジェントの損失時間	$-.326E+01$	$-.190E+01$
β_1	プリンシパルの節約時間	$.170E+01$	$.762E-00$
β_2	回数券保有	$-.142E+01$	$-.164E+01$
β_3	プリンシパルの定数項	$-.635E+00$	$-.432E+00$
σ	分散	$.589E+01$	$.695E+01$

尤度比 .364
的中率 70.0%



Ω_1:双方が同意
Ω_2:プリンシパルのみが断る
Ω_3:エイジェントのみが断る
Ω_4:個別に行動

図－1 個々の選択肢別事象の領域図