IV-446 選択の多様性を考慮した地方バス路線の整備便益評価モデル

鳥取大学大学院　学生会員　○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. はじめに

現在地方都市圏では、自家用車保有率の増加に伴い、バス路線の利用者数は減少の一途をたどっている。そのため、バス路線の合理化が進展し、その結果としてバス利用が不可能な住民も数多くなってきている。地方都市圏では、利用可能な交通手段の種類が限られており、バスサービスは、地方都市圏における交通機関の選択の多様性を確保するうえで重要な役割を果たしている。本研究では、個人が直面している選択肢集合の形成を明示的に考慮した離散選択型モデルを定式化し、地方バス路線整備に関する便益の計量化を行うための理論的枠組みを提示することとする。

2. 分析の枠組み

ランダム効用理論を用いた交通手段選択モデルはすでに数多く提案されている。そこでは、個人は限られた選択肢集合の中からランダム効用で表される効用関数を最大にするような交通手段を選択するという仮定に基づいて個人の交通手段に対する選択確率が導出される。ここで、個人の利用可能な交通手段の集合に着目すればこれは自家用車の保有状況やバスサービスの提供水準等の個人的・地理的属性等に依存し、しかも時々の状況に応じてランダムに変化するという特性を有している。このような状況下における交通行動モデルとしては、Dogitモデルやその拡張[1]がいくつか試みられてきた。

本研究は、このような選択機会の変化に伴う経済的便益計量化のための枠組みを提案することを目的とする。そこで、本研究ではまず選択肢集合が確定的に与えられる場合を想定し、バス路線整備にともなう選択肢集合の変化を考慮した、支払い意思額指標を定式化する。次いで、選択肢集合のランダム性を考慮した交通行動モデルを定式化し、この場合に対応した支払い意思額の評価指標を提示することとする。

3. モデルの定式化

(1) 交通手段選択行動モデル

地方都市圏に居住する個人 n が利用可能な交通手段を、バス (A_1)、その他 $(A_2, A_3, \ldots, A_m)$ と定義する。このとき、個人が選択しうるすべての選択肢から成る集合 Ψ は、$\Psi = \{A_1, A_2, \cdots, A_m\}$ で与えられる。さらに、個人 n が直面する選択肢の集合を $\tilde{\Omega}_n(\boldsymbol{\xi}_n)$ で表す。$\tilde{\Omega}_n(\boldsymbol{\xi}_n)$ は集合 Ψ の部分集合であり、個人的・地理的属性 $(\boldsymbol{\xi}_n)$ に依存する。

まず、個人 n が直面している選択肢の集合が確定的に $\tilde{\Omega}_n(\boldsymbol{\xi}_n) = \Omega(\boldsymbol{\xi}_n)$ で与えられる場合を想定し、交通手段選択行動をモデル化する。このとき、個人 n の交通手段選択行動はランダム効用モデルを用いて次式のように表現できる。

$$V(Y_n, \varepsilon_n; \Omega(\boldsymbol{\xi}_n)) = \max_{A_i \in \Omega(\boldsymbol{\xi}_n)} \{v(\zeta_n^i, \theta) + \varepsilon_n^i + aY_n\} \quad (1)$$

ここで、Y_n :個人 n の所得、ζ_n^i :個人 n にとっての選択肢 A_i の属性を表すベクトル、a :所得にかかる未知パラメータ、θ : 未知パラメータベクトル、$v(\zeta_n^i, \theta)$: 確定効用項、ε_n^i : 確率変動項である。さらに $V(Y_n, \varepsilon_n; \Omega(\boldsymbol{\xi}_n))$ は、選択肢集合 $\Omega(\boldsymbol{\xi}_n)$ に直面する個人 n が Y_n, ε_n を与件として達成可能な厚生水準の最大値である。

確率変動項 ε_n^i が互いに独立な、平均 0 分散 $\pi^2/6\lambda^2$ のガンベル分布に従うとすると仮定しよう。このとき選択肢集合 $\Omega(\boldsymbol{\xi}_n)$ に直面する個人 n が選択肢 A_i を選択する確率 $p_n(A_i|\Omega(\boldsymbol{\xi}_n))$ は次式で与えられる。

$$p_n(A_i|\Omega(\boldsymbol{\xi}_n)) = \begin{cases} \dfrac{\exp\{\lambda v(\zeta_n^i; \theta)\}}{\sum_{A_k \in \Omega(\boldsymbol{\xi}_n)} \exp\{\lambda v(\zeta_n^k; \theta)\}} & (A_i \in \Omega(\boldsymbol{\xi}_n)) \\ 0 & (A_i \notin \Omega(\boldsymbol{\xi}_n)) \end{cases} \quad (2)$$

また、選択肢集合 $\Omega(\boldsymbol{\xi}_n)$ を所与とした場合の効用の条件付期待値 $E[V(Y_n, \varepsilon_n; \Omega(\boldsymbol{\xi}_n))|\Omega(\boldsymbol{\xi}_n)]$ は同様な仮定の下で以下のように算定される。

$$E[V(Y_n, \varepsilon_n; \Omega(\boldsymbol{\xi}_n))|\Omega(\boldsymbol{\xi}_n)] = \begin{cases} \dfrac{1}{\lambda}\ln\{\sum_{A_k \in \Omega(\boldsymbol{\xi}_n)} e^{\lambda(v(\zeta^i, \theta) + aY_n)}\} + \dfrac{c}{\lambda}, & \Omega(\boldsymbol{\xi}_n) \neq \phi \\ 0, & \Omega(\boldsymbol{\xi}_n) = \phi \end{cases} \quad (3)$$

ここで c は、オイラー定数を表している。

(2) 選択機会の多様性を考慮したバス路線整備の便益評価モデル

バス路線整備方策として、乗車時間の短縮、新規バス路線の運行、既存バス路線の増便等を想定しよう。これらの整備は、バスサービス (A_1) の提供水準を変化させる。この変化は、個人 n にとってのバスという選択肢の属性 ζ_n^1 及び ξ_n^1 の変化をもたらし、確定効用項 $v(\zeta_n^i,\theta)$ 、選択肢集合 $\Omega(\xi_n)$ を変化させる。いま、事前のバスサービスの提供水準に対応した選択肢集合を Ω^0 、個人 n の選択肢 A_k に対する確定効用を $\overline{v}_k^0$ 、サービス水準改善後のそれらをそれぞれ Ω^1 ,$\overline{v}_k^1$ とおく。このとき、個人 n の効用の期待値の増加量を VF_n は、

$$\begin{aligned} VF_n &= E[V(Y_n,\epsilon_n;\Omega^1)] - E[V(Y_n,\epsilon_n;\Omega^0)] \\ &= \frac{1}{\lambda}\ln\{\sum_{A_k\in\Omega_1}\exp(\lambda\overline{v}_k^1)/\sum_{A_k\in\Omega^0}\exp(\lambda\overline{v}_k^0)\} \end{aligned} \tag{4}$$

である。VF_n は、選択機会の変化を考慮した厚生水準の変化を表す指標である。VF_n と整合的な支払い意思額指標としてオプション価格 OP を次式で定義すれば、

$$E[V(Y_n,\epsilon_n;\Omega^1)] = E[V(Y_n - OP,\epsilon_n;\Omega^0)] \tag{5}$$

オプション価格 OP は次式で与えられる。

$$OP = \frac{1}{a\lambda}\ln\{\sum_{A_k\in\Omega^1}\exp(\lambda\overline{v}_k^1)/\sum_{A_k\in\Omega^0}\exp(\lambda\overline{v}_k^0)\} \tag{6}$$

(3) ランダム割当モデルへの拡張

以上では、$\tilde{\Omega}_n(\xi_n)$ が、確定的に与えられる場合を取り扱ってきたが、以下では、確率的に変動する場合を取り上げる。各選択肢の利用可能性の程度を一元的に表現する確率変数 ν_n^k を導入しよう。

$$\nu_n^k = \gamma^k\xi_n^k + \iota_n^k, \qquad k = 1,2,\cdots,m \tag{7}$$

ここで、ξ_n^k は個人的・地理的属性で、個人 n の選択肢 A_k の利用可能性に影響を及ぼす要因ベクトル、γ^k は選択肢 A_k に関する未知パラメータベクトルである。ν_n^k の値がいき値0より大きければ選択肢 A_k が利用可能であり、それ以下であれば選択肢 A_k が利用可能でないと仮定する。いま、ここで、確率項 ι_n^k が密度関数 $f_k(\iota_n^k),(k=1,2,\cdots,m)$ を有する互いに独立なロジスティック分布に従うと仮定する。

$$f_k(\iota_n^k) = \frac{1}{\beta_k}\cdot\frac{1}{2+2\cosh\{-(\iota_n^k-\alpha_k)/\beta_k\}} \tag{8}$$

ここで α_k,β_k は分布の形状を規定するパラメータである。このとき、個人 n にとって選択肢 A_k が利用可能である確率を $\pi_n(A_k)$、選択肢集合 Ω_j が生起する確率を $\Phi_n(\Omega_j)$ とおけば、$\pi(A_k)$, $\Phi_n(\Omega_j)$ は以下のように与えられる。

$$\pi_n(A_k) = \frac{\exp(-\frac{\gamma^k\xi_n^k-\alpha_k}{\beta_k})}{1+\exp(-\frac{\gamma^k\xi_n^k-\alpha_k}{\beta_k})} \tag{9}$$

$$\Phi_n(\Omega_j) = (\prod_{A_k\in\Omega_j}\pi_n(A_k))(\prod_{A_k\notin\Omega_j}(1-\pi_n(A_k))) \tag{10}$$

したがってランダムな機会集合に直面する個人 n が選択肢 A_k を選択する確率 $p(A_k)$ 及び個人 n の効用の期待値 $EU(Y_n)$ はそれぞれ以下のように求まる。

$$p(A_k) = \sum_{\Omega_j\subseteq\Psi}p(A_k|\Omega_j)\Phi_n(\Omega_j) \tag{11}$$

$$EU(Y_n) = \sum_{\Omega_j\subseteq\Psi}E[V(Y_n,\epsilon_n;\Omega_j)|\Omega_j]\Phi_n(\Omega_j) \tag{12}$$

(2) と同様にバス路線整備による便益の計量化を行う。選択肢集合が確率的に変動する際には、バス路線整備によって、確定効用項 $v(\xi_n^1|\theta)$ 及び、交通手段 A_k の利用可能確率 $\pi_n(A_k)$ が変化し、割当確率 $\Phi_n(\Omega_j)$ も変化する。バスサービスの提供水準の変化に伴い、割当確率が$\Phi_n^0(\Omega_j)$ から$\Phi_n^1(\Omega_j)$ に変化したとすれば、個人 n の効用の期待値の変化 VF_n 及び、オプション価格 OP は以下のように与えられる。

$$\begin{aligned} VF_n &= \frac{1}{\lambda}\sum_{\Omega_j\subseteq\Psi}\ln\{\sum_{A_k\in\Omega_j}\exp(\lambda\overline{v}_k^1)\}\Phi_n^1(\Omega_j) \\ &-\frac{1}{\lambda}\sum_{\Omega_j\subseteq\Psi}\ln\{\sum_{A_k\in\Omega_j}\exp(\lambda\overline{v}_k^0)\}\Phi_n^0(\Omega_j) \end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned} OP &= \frac{1}{a\lambda}\sum_{\Omega_j\subseteq\Psi}\ln\{\sum_{A_k\in\Omega_j}\exp(\lambda\overline{v}_k^1)\}\Phi_n^1(\Omega_j) \\ &-\frac{1}{a\lambda}\sum_{\Omega_j\subseteq\Psi}\ln\{\sum_{A_k\in\Omega_j}\exp(\lambda\overline{v}_k^0)\}\Phi_n^0(\Omega_j) \end{aligned} \tag{14}$$

4. おわりに

本研究では、個人にとって利用可能な交通手段の外生的な割当メカニズムと交通手段選択行動が互いに独立なメカニズムにしたがって生起することを仮定したが、交通手段の利用可能性の程度は交通手段選択行動に影響を及ぼすことが少なくないと考えられる。この課題に対処するためには、割当メカニズムが個人の選択行動に影響を及ぼす場合をも取り扱いうる分析枠組みの開発が必要である。このことに関しては今後の課題としたい。

最後に本研究を行うに際し、鳥取大学工学部奥山育英教授には貴重なコメントを賜った。ここに記し、感謝の意を表するものである。

参考文献

1) 森川高行・竹内博史ら;"定量的観光魅力度と選択肢集合の不確実性を考慮した観光目的地選択分析", 土木計画学研究・論文集,No.9,pp.117-124.1991