

交通手段の利用可能性を考慮した地方バス路線整備の経済便益に関する考察

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た。一方、自家用車は個人が多様な交通行動を実現するうえで極めて重要な役割を果たしているが、その一面、老人、子供などに代表される自家用車利用が果たせない交通弱者も存在する。地方都市圏では、そもそも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を目的とする。

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。しかしながら、この場合、個人の利用可能な交通手段の集合は一定に規定されており、個人々の直面する選択肢集合が個人属性や地理的属性等に依存し、しかもランダムに変化するという特性が考慮されていない。そこで本研究では選択肢集合が確率的に変動するランダム割当モデルを導入し、個人の直面する選択肢集合の変化を明示的に考慮する。さらに、路線バスサービス提供水準の向上は選択肢集合の生起確率の分布の変化をもたらすことに着目し、このような選択機会の変化が個人の厚生水準の変化に及ぼす影響を value of flexibility として評価し、便益評価のための指標を提示する。

3. モデルの定式化

(1) モデル化の前提

地方都市圏に居住する個人が利用可能な交通手段として、ここでは「自家用車: A_1 」、「バス: A_2 」を取りあげる。したがって、個人が選択しうるすべての選

択肢から成る集合 Ψ は、 $\Psi = \{A_1, A_2\}$ で与えられる。ところが交通機関選択に直面する個人は、この2つがつねに利用可能であるとは限らない。個人 n が直面する選択肢の集合を $\tilde{\Omega}_n$ と表そう。このとき $\tilde{\Omega}_n$ は集合 Ψ の部分集合となる。本研究では、個人が直面する選択肢集合は、個人属性、地理的属性に依存して変化すると仮定し、個人行動とは独立に外性的に与えられると考える。

(2) 選択行動モデルの定式化

まず、個人 n が直面している選択肢の集合が $\tilde{\Omega}_n = \Omega_j$ と確定的に定まっている場合を想定し、個人 n の交通手段選択行動をモデル化しよう。

このとき、個人 n の交通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。

$$U(Y_n, \epsilon_n; \Omega_j) = \max_{A_i \in \Omega_j} \{v(\zeta_n^i, \theta) + \epsilon_n^i + aY_n\} \quad (1)$$

ここで、 Y_n は個人 n の所得を表し a は所得にかかる未知パラメータであり、 ζ_n^i は個人 n の選択肢 A_i の属性を表すベクトル、 θ は未知パラメータベクトルであり、 $v(\zeta_n^i, \theta)$ はこれらの確定効用を表す。また、 ϵ_n^i は確率変動項である。さらに $U(Y_n, \epsilon_n; \Omega_j)$ は、選択肢集合 Ω_j に直面する個人 n が Y_n, ϵ_n が与件として定まっている場合に達成可能な厚生水準の最大値を与えている。式(1)より、個人 n が選択肢 A_i を選択するのは、選択肢 A_i を選択した場合の効用が集合 Ω_j に含まれる他のすべての選択肢のそれよりも大きい場合である。したがって、個人 n が選択肢集合 Ω_j の中から A_i を選ぶ確率 $p_n(A_i | \Omega_j)$ は、次式で定義される。

$$p_n(A_i | \Omega_j) = \Pr\{A_i = \arg \max_{A_i \in \Omega_j} \{v(\zeta_n^i, \theta) + \epsilon_n^i + aY_n\} | \tilde{\Omega}_n = \Omega_j\} \quad (2)$$

さらに、確率変動項 ϵ_n^i が密度関数 $h(\epsilon_n^i)$ を有する互いに独立な、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する。

$$h(\epsilon_n^i) = \{\lambda \exp(-\lambda \epsilon_n^i)\} / \{\exp\{\exp(-\lambda \epsilon_n^i)\}\} \quad (3)$$

このとき条件付き選択確率 $p_n(A_i | \Omega_j)$ は以下のように定まる。

$$p_n(A_i | \Omega_j) = \begin{cases} \frac{\lambda v(\zeta_n^i, \theta)}{\sum_{A_i \in \Omega_j} \exp\{\lambda v(\zeta_n^i, \theta)\}} & (A_i \in \Omega_j) \\ 0 & (A_i \notin \Omega_j) \end{cases} \quad (4)$$

また、選択肢集合 Ω_j を所与とした場合の効用の条

件付期待値 $E[U(Y_n, \epsilon_n; \Omega_j) | \Omega_j]$ は同様な仮定の下で以下のように算定される。

$$\begin{aligned} E[U(Y_n, \epsilon_n; \Omega_j) | \Omega_j] &= \int_{-\infty}^{\infty} h(\epsilon_n^1) d\epsilon_n^1 \int_{-\infty}^{\infty} \max_{A_i \in \Omega_j} (v(\zeta^i; \theta) + \epsilon_n^i + aY_n) h(\epsilon_n^2) d\epsilon_n^2 \\ &= \begin{cases} \frac{1}{\lambda} \ln \left\{ \sum_{A_i \in \Omega_j} \exp(\lambda(v(\zeta^i; \theta) + aY_n)) \right\} + \frac{c}{\lambda} & \Omega_j \neq \phi \\ 0 & \Omega_j = \phi \end{cases} \quad (5) \end{aligned}$$

ここで c は、オイラー一定数を表している。

(3) ランダム割当モデルの定式化

本研究では、個人 n が直面する選択肢集合 $\tilde{\Omega}_n$ は個人行動とは独立に外性的に与えられるが、選択肢集合 $\tilde{\Omega}_n$ は確率的に変動すると考える。このとき個人 n が直面する選択肢集合 $\tilde{\Omega}_n$ の生起確率は、個人属性、地理的属性などに依存すると考えられる。いま、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^i を導入しよう。

$$\nu_n^i = \gamma^i \xi_n^i + \epsilon_n^i, \quad i = 1, 2 \quad (6)$$

ここで、 ξ_n^i は個人属性、地理的属性など、個人 n の選択肢 A_i の利用可能性に影響を及ぼす要因ベクトル、 γ^i は選択肢 A_i ($i = 1, 2$) に関する未知パラメータベクトルである。 ν_n^i の値がいき値 0 より大きければ選択肢 A_i が利用可能であり、それ以下であれば選択肢 A_i が利用可能でないと仮定しよう。このとき、個人 n にとって選択肢 A_i が利用可能である確率 $\pi_n(A_i)$ は以下のように表される。

$$\pi_n(A_i) = \Pr\{\nu_n^i \geq 0\} \quad (7)$$

ここで、確率項 ν_n^i ($i = 1, 2$) が密度関数 $f_i(\nu_n^i)$ 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。

$$f_i(\nu_n^i) = \frac{1}{\beta_i} \cdot \frac{1}{2 + 2 \cosh\{-(\nu_n^i - \alpha_i)/\beta_i\}}, \quad (i = 1, 2) \quad (8)$$

ここで α_i, β_i は分布の形状を規定するパラメータである。このとき選択肢 A_i が利用可能である確率 $\pi_n(A_i)$ は、

$$\pi_n(A_i) = \frac{\exp(-\frac{\gamma^i \xi_n^i - \alpha_i}{\beta_i})}{1 + \exp(-\frac{\gamma^i \xi_n^i - \alpha_i}{\beta_i})}, \quad (i = 1, 2) \quad (9)$$

となる。さらに、選択肢集合 Ω_j が生起する確率 $\Phi_n(\Omega_j)$ は、以下ようになる。

$$\Phi_n(\Omega_j) = \left(\prod_{A_i \in \Omega_j} \pi_n(A_i) \right) \left(\prod_{A_i \notin \Omega_j} (1 - \pi_n(A_i)) \right) \quad (10)$$

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_i を選択する確率 $p(A_i)$ 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。

$$p(A_i) = \sum_{\Omega_j \subseteq \Psi} p(A_i | \Omega_j) \Phi_n(\Omega_j) \quad (11)$$

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

(4) バス路線整備による便益の計量化

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。このような整備は、バスサービス (A_i) 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^i や、バスサービスの利用可能性に影響を及ぼす要因ベクトル ξ_n^i の変化として記述できる。

ζ_n^i の変化はバスを選択する場合の確定効用 $v(\zeta^i; \theta)$ に影響を及ぼし、 ξ_n^i の変化は、個人 n がバス利用できる確率 $\pi_n(A_i)$ を変化させ、割当確率 $\Phi_n(\Omega_j)$ の変化をもたらす。

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 Ω_j の生起確率を $\Phi_n^0(\Omega_j)$ 、個人 n の選択肢 A_k に対する確定効用を $\bar{v}_k^0$ 、サービス水準改善後のそれらをそれぞれ $\Phi_n^1(\Omega_j)$, $\bar{v}_k^1$ とおこう。このとき、個人 n の効用の期待値の増加量を VF_n とおくと以下のようになる。

$$\begin{aligned} VF_n &= EU^1(Y_n) - EU^0(Y_n) \\ &= \frac{1}{\lambda} \sum_{\Omega_j \subseteq \Psi} \ln \left\{ \sum_{A_i \in \Omega_j} \exp(\lambda \bar{v}_k^1) \right\} \Phi_n^1(\Omega_j) \\ &\quad - \frac{1}{\lambda} \sum_{\Omega_j \subseteq \Psi} \ln \left\{ \sum_{A_i \in \Omega_j} \exp(\lambda \bar{v}_k^0) \right\} \Phi_n^0(\Omega_j) \quad (13) \end{aligned}$$

VF_n は、選択機会の変化に伴う厚生水準の変化を表す指標であり、これを value of flexibility を呼ぶ。 VF_n に対して、符号保存性、順序保存性を有する便益の評価指標としてオプション価格 OP を定義しよう。オプション価格 OP は、次式で定義できる。

$$EU^1(Y) = EU^0(Y - OP) \quad (14)$$

オプションプライス OP は以下のように与えられる。

$$\begin{aligned} OP &= \frac{1}{a\lambda} \sum_{\Omega_j \subseteq \Psi} \ln \left\{ \sum_{A_i \in \Omega_j} \exp(\lambda \bar{v}_k^1) \right\} \Phi_n^1(\Omega_j) \\ &\quad - \frac{1}{a\lambda} \sum_{\Omega_j \subseteq \Psi} \ln \left\{ \sum_{A_i \in \Omega_j} \exp(\lambda \bar{v}_k^0) \right\} \Phi_n^0(\Omega_j) \quad (15) \end{aligned}$$

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性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う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。