地方生活圏におけるバス定期券の購入行動に関するモデル分析

鳥取大学大学院　学生会員　○松下真一　鳥取大学工学部　正会員　小林潔司
鳥取大学工学部　正会員　多々納裕一　鳥取大学工学部　正会員　喜多秀行

1．研究の背景と目的

地方生活圏におけるバスサービスの需要は減少の一途をたどり、バス企業は極めて厳しい経営状況を余儀なくされている。さらにこれに対する合理化政策や人員削減、路線撤廃、便数減少は、サービスの提供水準、利便性の低下を起こし、更なる利用者の減少という悪循環に陥っている。

しかし一方では、バスサービスは「交通弱者」等の移動を保証し、地域社会の福祉に寄与している。また、地方生活圏における交通利便性を低下させないために、交通手段選択における選択の多様性（選択肢の数）の確保は極めて重要と言える。

本研究では、このような地域住民の手段選択における選択肢集合の多様性を明示的に考慮した交通手段選択モデルを提案し、個人のバス定期券行動モデルを定式化する。さらに、具体的な数値例を用い、モデルの数値特性を見いだすための数値計算を行う。

2．モデル化の前提

ランダム効用理論による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、選択肢集合が形成されるメカニズムを内生化したような交通手段選択モデルがいくつか提案された。

このような内生的割当モデルの特性は、特に交通弱者の交通行動や数少ない選択肢集合の中からさらに選択肢が限定されるような地方生活圏における交通行動を考える場合問題になってくる。この場合、むしろ個人にとって本来望ましいはずの選択肢が個人の意向とは無関係に外的な理由により選択肢集合の中から排除されるメカニズムをモデル化するほうが望ましいと考えられる。さらに現実に即して言えば、このような選択肢集合の割当が結果として交通手段に影響を及ぼしていると考えるほうが自然である。

そこで、本研究では選択肢集合が外生的に限定されるような状況下における交通手段の選択行動をモデル化する。そのうえで、このような日常的な交通手段選択行動を内蔵したような、バス定期券の購入行動モデルを定式化する。

3．モデルの定式化

まず、個人 n が直面している選択肢集合を所与とした場合、交通手段選択行動モデルをランダム効用モデルを用いて次式のように表現する。

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

ここで、Y_n：可処分所得、$\zeta_n^i(t)$：選択肢 A_iの属性ベクトル、$v(\zeta_n^i(t), \theta)$：確定効用項、ε_n^i：確率変動項、a, θ：パラメータである。また、t は $t=1$ のとき定期券の購入を、$t=0$ のとき定期券の未購入を表す変数とする。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仮定すると、個人 n の条件付選択確率は次式のようなロジットモデルとなる。

$$p_n(A_i \mid \Omega(\xi_n)) = \begin{cases} \dfrac{\exp\{\lambda v(\zeta_n^i; \theta : t)\}}{\sum\limits_{A_k \in \Omega(\xi_n)} \exp\{\lambda v(\zeta_n^k; \theta : t)\}} & (A_i \in \Omega(\xi_n)) \\ 0 & (A_i \notin \Omega(\xi_n)) \end{cases} \quad (2)$$

選択肢集合は確率的に変動する。そこで、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を導入することにした。

$$\nu_n^k = \gamma^k \xi_n^k + \iota_n^k \qquad (k = 1, 2, \ldots, m) \quad (3)$$

ここで、ξ_n^k：個人的、地理的属性、ι_n^k：確率変動項、γ^k：未知パラメータベクトルである。また、ν_n^kは選択肢 A_kの利用可能性を表す確率変数で、ν_n^kの値が正のとき選択肢 A_kは利用可能であり、0 または負のとき選択肢 A_kは利用不可能と仮定する。いま、確率項ι_n^kが、互いに独立なロジスティック分布に従うと仮定すると、個人 n にとって、選択肢 A_kが利用可能である確率と、選択肢集合Ω_jが生起する確率はそれぞれ次式で表される。α_k、β_kは、分布形状を規定するパラメータである。

$$\pi_n(A_k \mid \xi_n^k) = \frac{\exp\left(\frac{-(\gamma^k \xi_n^k - \alpha_k)}{\beta_k}\right)}{1 + \exp\left(\frac{-(\gamma^k \xi_n^k - \alpha_k)}{\beta_k}\right)} \quad (4)$$

$$\Phi_n(\Omega_j \mid \xi_n) = \left(\prod_{A_k \in \Omega_j} \pi_n(A_k \mid \xi_n^k)\right)\left(\prod_{A_k \notin \Omega_j} (1 - \pi_n(A_k \mid \xi_n^k))\right) \quad (5)$$

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、すなわち、選択肢の不確実性を考慮した交通手段選択確率は、式(2),(5)を用いて以下のようにして求めることができる。

$$\begin{aligned} P_n(A_k) &= \sum_{\Omega_j \subseteq \Psi} p_n(A_k \mid \Omega_j)\Phi_n(\Omega_j \mid \xi_n) \\ &= \sum_{\Omega_j \subseteq \Psi} \frac{\exp\{\lambda v(\zeta_n^k(t), \theta)\}}{\sum_{A_l \in \Omega(\xi_n)} \exp\{\lambda v(\zeta_n^l(t), \theta)\}} \\ &\quad \left(\prod_{A_k \in \Omega_j} \pi_n(A_k \mid \xi_n^k)\right)\left(\prod_{A_k \notin \Omega_j} (1 - \pi_n(A_k \mid \xi_n^k))\right) \end{aligned} \quad (6)$$

次に、以上のモデルを用いて個人のバス定期券の購入行動をモデル化する。はじめに、個人 n の効用の期待値と効用関数はそれぞれ次式で表される。

$$EU^t(Y_n) = \sum_{\Omega_j \subseteq \Psi} E[V(Y_n, \epsilon_n; \Omega_j : t) \mid \Omega_j]\Phi_n(\Omega_j \mid \xi_n) \quad (7)$$

$$U_n^1 = EU^1(Y_n - M) + \epsilon_n^1 \quad (8)$$

$$U_n^0 = EU^0(Y_n) + \epsilon_n^0 \quad (9)$$

いま、確率変動項$\epsilon_n^1, \epsilon_n^0$が、互いに独立な平均0、分散$(\pi^2/6\mu^2)$のガンベル分布に従うと仮定すると、定期券購入確率$Q_n^1$は、次式で表せる。

$$\begin{aligned} Q_n^1 &= \Pr\{\arg[\max(U_n^1, U_n^0)] = 1\} \\ &= \frac{\exp\{\mu EU^1(Y_n - M)\}}{\exp\{\mu EU^0(Y_n)\} + \exp\{\mu EU^1(Y_n - M)\}} \end{aligned} \quad (10)$$

4. 数値計算事例

本研究では以下のような場合を設定し数値計算を行い、個人のバス定期券の購入行動を分析する。代表的個人 n の利用可能な交通手段はバス(A_1)と自家用車(A_2)の2つであるとする。はじめに個人nのランダム効用関数の確定効用項を次式のように表す。

$$v(\zeta_n^i(t), \theta) = \theta_1 \zeta_n^{i1}(t) + \theta_2 \zeta_n^{i2}(t) + \theta_3 \zeta_n^{i3}(t) \quad (11)$$

説明変数を$\zeta_n^{i1}(t)$:利用料金、$\zeta_n^{i2}(t)$:乗車時間、$\zeta_n^{i3}(t)$:待ち時間を用いて説明し、選択肢利用可能確率を、ξ_n^{11}:定期券の有無、ξ_n^{12}:バス停までの距離、ξ_n^{21}:運転免許の有無、ξ_n^{22}:利用可能な自家用車の有無を用いて説明する。それぞれの変数に対応するパラメータは、$\theta_1 = -0.002, \theta_2 = -0.032, \theta_3 = -0.012, \gamma_1 = -0.01, \gamma_2 = -0.02$ とする。また、$\alpha = 0.0, \beta = 1.0, \lambda = 1.0, \mu = 1.0$、1日当たりのバスの定期券料金を$M = 300$とした。さらに、選択肢の質的属性の標準ケースは表-1のように、個人的地理的属性は表-2のように設定した。

表1　選択肢の質的属性

	バス定期券有	バス定期券無	自家用車
利用料金（円）	0	300	130
乗車時間（分）	25	25	20
待ち時間（分）	20	20	0

表2　個人的地理的属性の値

停留所までの距離（m）	300
運転免許の有無	1
自家用車の有無	1

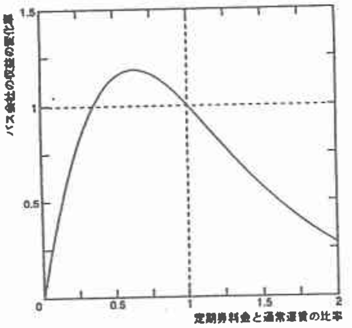

図1　定期券料金と通常運賃の比率とバス会社の定期券収入の関係（a=0.07のとき）

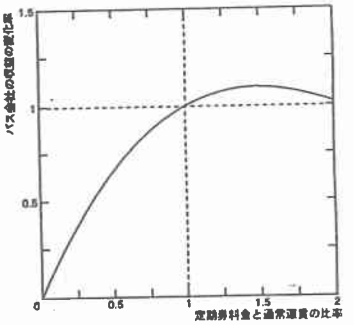

図2　定期券料金と通常運賃の比率とバス会社の定期券収入の関係（a=0.03のとき）

ここで、定期券を保有している場合には、日々の利用に際して料金を払う必要はないため$\zeta_n^{11}(t) = 0$として与えた。はじめに、バスサービスの属性として利用料金と待ち時間を変化させたところ、利用料金を上げると定期券購入確率が上がり、待ち時間を少なくすると購入確率が下がるという結果が得られた。次に、定期券料金の変化がバス会社の定期券収益に及ぼす影響について調べた。その結果を図1、図2に示す。この結果から、所得の限界効用（パラメータ a）が相対的に大きいと定期券料金の割引がバス会社の定期券収益を増大させることがわかった。現在、鳥取県東部地域を対象とした実証分析を実施中である。その結果については別の機会に報告したい。