

意識データを援用した離散型選択モデルによる高齢者・身障者の交通手段選択分析

名古屋大学大学院 倉内慎也, 森川高行, 佐々木邦明

1. はじめに

来たるべき超高齢化社会に向けて、高齢者及び身障者のモビリティの確保が交通計画上の重要な課題となっている。これに対して、主にマストラに関して様々な施策が講じられつつあるが、身体能力・情報収集能力の低下など様々な理由からマストラが利用不可能な場合も多く、高齢者・身障者向けのスペシャルトランスポートの必要性が高まっている。しかし、その需要予測を行う際、主に成人の健常者を対象としている従来の非集計交通行動モデルでは不的確な場合がある。なぜなら、対象母集団が高齢者及び身障者のみの場合、観測可能な個人属性は極めて類似しており、移動のニーズが多様で自由度が高く、加えて同年齢であっても身体的特性は大きく異なる高齢者・身障者の嗜好の異質性を十分表現できるとは言い難い。さらに、前述のように高齢者及び身障者は利用可能な交通手段が非常に限られており、選択肢集合を確定的に与える従来のモデルでは不十分であると言える。

そこで本研究では、交通手段を選択する際にどの属性を重視するのか（態度）、阻害となる要因は何か（制約条件）という意味決定に影響を及ぼすと考えられる要因を潜在変数として組み込んだ交通手段選択モデルの構築を試みる。その際、潜在意識の測定値である意識データを援用することにより嗜好の異質性を考慮し、モデルの精緻化に努める。

2. 潜在的要因を考慮した交通手段選択モデル

以上のような問題意識のもと、交通手段選択の意思決定構造を図1のように仮定しモデルを定式化した。

構造方程式

$$\mathbf{a}_n' = \mathbf{B}\mathbf{s}_n + \boldsymbol{\zeta}_n \quad (1)$$

$$\mathbf{C}_{kn}' = \boldsymbol{\rho}'\mathbf{a}_n' + \boldsymbol{\theta}'\mathbf{c}_{kn} + \mathbf{v}_{kn} \quad (2)$$

$$\mathbf{U}_n^{\text{RP}} = \boldsymbol{\beta}'\mathbf{X}_n^{\text{RP}} + \boldsymbol{\alpha}'\mathbf{a}_n' + \boldsymbol{\epsilon}_n^{\text{RP}} = \mathbf{V}_n^{\text{RP}} + \boldsymbol{\epsilon}_n^{\text{RP}} \quad (3)$$

$$\mathbf{U}_n^{\text{SP}} = \boldsymbol{\gamma}'\mathbf{X}_n^{\text{SP}} + \boldsymbol{\lambda}'\mathbf{a}_n' + \boldsymbol{\epsilon}_n^{\text{SP}} = \mathbf{V}_n^{\text{SP}} + \boldsymbol{\epsilon}_n^{\text{SP}} \quad (4)$$

測定方程式

$$\mathbf{Y}_n = \mathbf{A}\mathbf{a}_n' + \boldsymbol{\delta}_n \quad (5)$$

$$h_m = \begin{cases} 1; & \text{if } \mathbf{C}_{km}' \geq 0, \forall k \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$d_n^{\text{RP}}(i) = \begin{cases} 1; & \text{if alternative } i \text{ is chosen} \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$d_n^{\text{SP}}(i) = \begin{cases} 1; & \text{if alternative } i \text{ is chosen} \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

ここに、 $\mathbf{a}_n'$: 潜在的態度変数ベクトル、 $\mathbf{Y}_n$: 観測可能な態度指標、 $\mathbf{s}_n$: $\mathbf{a}_n'$ を構成する客観的観測変数、 $\boldsymbol{\zeta}_n, \boldsymbol{\delta}_n$: それぞれMVN(0, $\boldsymbol{\Psi}$), MVN(0, $\boldsymbol{\Theta}$)に従う誤差項ベクトル（MVNは多変量正規分布を表す）、 $\mathbf{C}_{kn}'$: 個人nの代替案iに対するk番目の制約、 $\mathbf{c}_{kn}$: $\mathbf{C}_{kn}'$ を構成する客観的観測変数、 h_m : 個人nの代替案iに対するavailability指標、 $\mathbf{U}_n'$: 個人nの代替案iに対する総効用、 $\mathbf{V}_n$: 個人nの代替案iに対する効用の確定項、 $\mathbf{X}_n$: $\mathbf{U}_n'$ を構成する客観的観測変数、 $d_n(i)$: 個人nの代替案iに対する選択ダミー、 $\boldsymbol{\epsilon}_n$: 誤差項、 $\mathbf{B}, \mathbf{A}$: 未知パラメータ行列、 $\boldsymbol{\rho}, \boldsymbol{\theta}, \boldsymbol{\alpha}, \boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\gamma}, \boldsymbol{\lambda}$: 未知パラメータベクトル、を表している。

ここで潜在的な「態度」とは、「費用を重視する」等の意思決定者の属性に対する主観的好みのことを言い、収入などの社会経済属性や代替案の属性等に影響を受けると考えられる。これを「費用をどの程度重視しますか」とアンケートなどで訊ねることにより客観的に計測される（態度指標）。また「制約条件」は、免許の有無などの観測可能な制約だけでなく、「費用の高い交通手段は使いたくない」などの心理的制約、送迎者の有無などの状況制約等も含めて潜在的であると言える。これら制約条件は、収入などの個人属性や運賃等の代替案の属性などに影響を受けるのに加え、

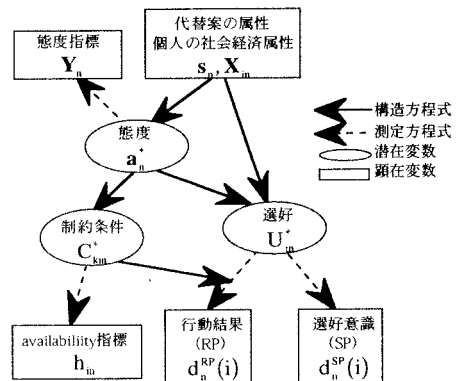


図1 交通手段選択の意思決定構造

「費用の高い交通手段は絶対に使わない」などのように、意思決定者の態度にも大きく依存する。代替案が選択肢集合に含まれていたか否かは、「バスは利用可能でしたか」と訊ねることにより計測できる (availability 指標)。「選好」とは、交通行動分析において通常「効用」として表されるものであり、その意思表示がSPデータとして表明され、それに制約条件が加味されて市場での実際の行動結果であるRPデータに現れる。

このシステムでは、式(1)と式(5)が LISREL モデルの形になっており、態度変数を同定するモデルになっている。式(2)と式(6)は代替案の利用可能性を表す選別モデルを構成しており、そこでは k 個の制約すべてを満たしていなければ利用可能でないという足切り型の意思決定構造を表している。式(2)の各制約条件の誤差項が I.I.D. ガンベル分布に従うと仮定すると、代替案 i が利用可能である確率 (選別確率: $q_n(i)$) は以下のように表すことができる。

$$q_n(i) = \prod_k \frac{\exp(\rho' a_n + \theta' c_{kin})}{1 + \exp(\rho' a_n + \theta' c_{kin})} \quad (9)$$

各選択肢ごとの選別確率の独立性を仮定すると、個人 n の選択肢集合が C である確率は次式で与えられる。

$$P_n(C) = \prod_{i \in C} q_n(i) \prod_{j \notin C} (1 - q_n(j)) \quad (10)$$

式(3)と式(7)及び式(4)と式(8)は離散型選択モデルを構成しており、それぞれ RP モデル、SP モデルを表している。誤差項に I.I.D. ガンベル分布を仮定すると、それぞれロジット型の選択確率式が導出できる。ここで RP モデル、SP モデルの誤差項の分散の違いを表すスケールパラメータを導入して、誤差項のスケールを統一する。RP モデルと選別モデルの関係を表す式としては、次式で表される Manski 型確率的選択肢集合モデルを用いる。

$$P_n(i) = \sum_{C \in G_n} P_n(i|C) P_n(C) \quad (11)$$

ここに、 G_n は物理的に選択可能な代替案の集合の全部分集合の組 (ただし空集合は除く) である。

以上の式を用いて推定を行った結果 (推定結果は紙面の都合上講演時に示す)、潜在的態度が選択肢集合形成段階及び選択段階の双方に深く関与していることが示された。さらにモデルの適合度も選択肢集合形成段階を考慮しないモデルと比較して飛躍的に向上することが確認された。

3. 誤差項の非独立性を考慮した選択肢集合形成モデル

2. で提案したモデルの式(9)及び式(10)は、式(2)の誤差項 v_{kin} が各制約間・各選択肢間・各個人間で独立であると仮定した場合に導出される。ところが実際にモデルで考慮できる制約条件は非常に限られており、残った制約条件はすべて誤差項に含まれることになる。しかし車椅子を必要とする人の鉄道とバスの制約条件の誤差項など、各制約間・各選択肢間・各個人間には明らかにシステムティックな誤差が存在する。そこで、以下にこのようなシステムティックな誤差が存在するようなより一般的な選択肢集合形成モデルの構築を行う。

まず、誤差項 v_{kin} を制約・個人・選択肢に共通なシステムティックな部分 τ と、真にランダムなホワイトノイズの部分 κ に分解する。

$$v_{kin} = \tau_{kin} + \kappa_{kin} \quad (12)$$

ここで、 κ_{kin} に I.I.D. ガンベル分布を仮定すると、式(9)は次式のようにになる。

$$q_n(i) = \prod_k \frac{\exp(\rho' a_n + \theta' c_{kin} + \tau_{kin})}{1 + \exp(\rho' a_n + \theta' c_{kin} + \tau_{kin})} \tau_i \quad (13)$$

個人 n の選択肢集合が C である確率は、次式のようなシステムティックな誤差項が既知であるときの条件付き確率で表現できる。

$$P_n(C|\tau) = \prod_{i \in C} q_n(i|\tau_{kin}) \prod_{j \notin C} (1 - q_n(j|\tau_{kin})) \quad (14)$$

ここに、 τ はシステムティックな誤差 τ_{kin} を要素に持つ確率変数ベクトルである。 τ の分布形として多変量正規分布を与え、その確率密度関数を $N(\tau)$ とすると、選択肢集合 C の生起確率は最終的に次式のようにになる。

$$P_n(C) = \iint \dots \int_{\tau_{kin}} P_n(C|\tau) N(\tau) d\tau \quad (15)$$

選択確率は式(15)の選択肢集合形成確率をそのまま式(11)に代入することにより求められる。

式(15)の計算は多重積分を必要とするが、事例研究において実用上の計算時間に全く問題がなかったため、そのまま数値積分を行った。その結果、選択肢集合形成モデルの定数項の値に変化がみられ、本研究で仮定したシステムティックな誤差項の存在が実証された。

4. おわりに

モデルの推定結果及び考察については紙面の都合上講演時に示す。