

# 意思決定方略の仮説が個人行動モデルに及ぼす影響の実証的分析\*

An Empirical Study on the Assumption of Decision-making Strategies which Underpin Individual Behavior Models \*

倉内慎也\*\*・三古展弘\*\*\*・森川高行\*\*\*\*・大橋聡子\*\*\*\*\*

By Shinya KURAUCHI\*\*・Nobuhiro SANKO\*\*\*・Takayuki MORIKAWA\*\*\*\*・Satoko OHASHI\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

人間の選択行動が、(期待)効用最大化が想定するような規範的行動から著しく逸脱しているとの指摘<sup>1)</sup>がなされて久しい。それ以降、人間の情報処理能力の限界を考慮した様々な意思決定方略(decision-making strategy)<sup>2)</sup>が見出され、それに対応した数理モデルも多数提案されている<sup>3)</sup>。交通行動分析の分野においても、1970年代後半から様々なモデルが提案されている<sup>4)</sup>が、選択肢集合形成過程に連結型の意思決定方略を採用する<sup>5)</sup>以外、広く受容されているモデルはない。その最大の理由は、多項ロジットモデル(以下、MNLモデル)をはじめとするランダム効用最大化に基づく離散選択モデル<sup>6)</sup>(以下、RUMモデル)と比較して操作性に劣る点にある。加えて、RUMモデルは、効用関数の特定化によっては、様々な意思決定方略を近似するという主張もある。しかし、仮に効用最大化以外の意思決定方略に従っている個人が多数存在するにも関わらずRUMモデルを適用した場合、その影響を誤差項で吸収することができず、効用パラメータにバイアスをもたらすことが予想される。また、様々な意思決定方略を考慮するために、効用関数を極度に複雑にした場合、現況再現性やある程度の予測精度が保証される反面、行動解釈というモデルの担う重要な側面を損なう恐れがある。以上の事柄は、あくまで著者らの推測であり、実際の選択状況においてどのような意思決定方略が採用されているのかは通常不明瞭である。また、そもそも効用最大化以外の意思決定方略を仮定したモデルの特性自体、不鮮明な点が多い。

そこで本研究では、行動モデルの根幹をなす意思決定方略に関する仮定に着目し、異なる仮定をおいた場合にどのような違いが生ずるのかを実証的に分析することを目的とする。具体的には、シミュレーションによって作成された様々な状況下における仮定の選択データに対し、異なる意思決定方略を仮定したモデルを適用し、各モデルの操作性、推定特性、予測精度の観点から、その特徴

や問題点を明らかにし、どのような状況に対してどのようなモデルが有効であるのか検討を行う。併せて、調査手法を含む今後の個人行動モデリングの方向性についても検討を行う。

## 2. 意思決定方略の多様性と潜在クラスモデル

実際の選択において用いられる意思決定方略は個人や選択の状況に応じて極めて多様であり<sup>7)</sup>、かつそれらは不明瞭な場合が多い。一方、分析者はモデル化に際して、それを特定する必要に迫られる。その点において、各個人が採用する意思決定方略を確定的に定めず、帰属度モデルを用いて確率的に表現した潜在クラスモデルは強力なツールとなり得るものと期待される。潜在クラスモデルの一般形は次式のように表される。

$$P_n(i) = \sum_k P_n(i|k)Q_n(k) \quad (1)$$

ここに、 $P_n(i)$ :個人 $n$ が代替案を選択する確率、 $P_n(i|k)$ :個人 $n$ が意思決定方略が同質なグループ $k$ に所属して代替案 $i$ を選択する確率、 $Q_n(k)$ :個人 $n$ がグループ $k$ に所属する確率(帰属確率)、である。つまり、当該選択問題において用いられているであろう意思決定方略をあらかじめ幾つか想定した上で $P_n(i|k)$ を定式化し、個人属性や状況変数を説明変数として帰属度モデルを特定化することにより、通常離散選択モデルと同様に、観測データからモデルを推定することができる。また、想定する意思決定方略の1つに、効用最大化を含めることが可能であるという点で、RUMモデルを特殊型として内包した一般性の高いモデルであると言える。

## 3. シミュレーションデータを用いたモデル推定特性の比較分析

### (1) 分析に用いるモデルの概略

効用最大化以外の行動原理に基づくモデルとして、潜在クラスモデルを援用して修正辞書編纂型の意思決定方略を考慮した離散選択モデル<sup>8)</sup>(以下、LEXモデル)に着目して分析を行う。また、比較検討のために、交通行動モデルのプロトタイプである、母集団に関して同一の効用パラメータを仮定した、線形効用関数を用いた多項ロジットモデル(以下、MNLモデル)、及び、潜在クラ

\* キーワーズ: 意思決定方略, 潜在クラスモデル

\*\* 正員, 工修, 名古屋大学大学院工学研究科

\*\*\* 学生員, 工修, 名古屋大学大学院環境学研究科

\*\*\*\* 正員, Ph.D., 名古屋大学大学院環境学研究科

\*\*\*\*\* 学生員, 名古屋大学大学院環境学研究科

(〒464-8603 名古屋市千種区不老町, TEL:052-789-3565, FAX:052-789-3738, E-mail:kurauchi@civil.nagoya-u.ac.jp)

モデルを用いたシンプルなモデルとして、2つの異なる線形効用関数を用いたモデル（以下、LC2モデル）を分析対象に加えた。各モデルの特徴を以下に示す。

#### 線形効用関数を用いた多項ロジットモデル (MNL)

このモデルでは、効用パラメータは母集団で同一であると仮定しているため、嗜好の異質性は考慮されていない。ただし、線形効用関数の中に含まれる個人属性により、定数項の異質性は考慮されている。

#### 2つの線形効用関数を用いた潜在クラスモデル (LC2)

実際の意思決定においては、所要時間や費用などの属性の重要度は個人によって様々であり、パラメータの値は個人ごとに異なると考えられる。そこで嗜好の異質性を明示的に考慮するため、サンプルを  $k$  個の潜在的なグループに分け、各グループで異なるパラメータ値を持つと仮定する。

$$U_{nk}(i) = \beta_{ik} x_{nik} + \epsilon_{nik} \quad (2)$$

ここに、 $U_{nk}(i)$ ：個人  $n$  がグループ  $k$  に所属した場合の代替案  $i$  の効用、 $\beta_{ik}$ ：グループ  $k$  の代替案  $i$  に関する効用パラメータベクトル、 $x_{nik}$ ：説明変数ベクトル、 $\epsilon_{nik}$ ：効用関数の誤差項、である。誤差項に i.i.d.ガンベル分布を仮定すれば、式 (1) の  $P_n(i|k)$  はロジットモデルで表される。各個人の嗜好は分析者にとっては不明瞭であるため、どのグループに所属するのかが式 (1) の  $Q_n(k)$  により確率的に表される。本研究では、 $Q_n(k)$  を記述するモデルとして、ロジットタイプの帰属度モデル<sup>9)</sup>を採用した。

このモデルでは、各グループへの帰属確率が個人ごとに異なるため、2 個以上の線形効用関数を用いれば、あたかも個人ごとにパラメータが異なるような構造になっている。また、例として、あるグループへの帰属確率が 1 で、その他のグループへの帰属確率が 0 となるとき、上述の多項ロジットモデルと等価になるため、それを特殊型にもつ一般性の高いモデルであると言える。なお、本研究では簡略化のために、2 つの潜在的なグループを仮定して推定を行った。

#### 修正辞書編纂型の意思決定方略を考慮した離散選択モデル (LEX)

修正辞書編纂型の意思決定方略は、認知負荷が少ない一方、ある程度の正確性を有している<sup>7)</sup>ことから、実際の選択状況において頻繁に観測されることが報告されている。この方略では、意思決定者は、まず最も重視する 1 つの属性に関して評価を行い、評価が最も高い代替案を選択する。そのような代替案が複数存在する場合には次に重視する属性について評価を行い、代替案が 1 つに特定されるまで順次このプロセスを繰り返す。ただし、特に属性が連続量の場合、料金が 250 円と 251 円のように僅少差である場合は選択の決め手とはならないため、各意思決定者が差が大きいと考える足切り条件（閾値）内にある代替案は同等と見なして、次の属性の評価に移

るといものである。すべての属性に関して評価を行った結果、複数の代替案が最後まで残るようなケースが生ずるため、そのような場合、意思決定者はすべての属性を総合的に評価する、つまり従来の線形効用関数による効用の大小によって選択を行うものと仮定する。意思決定者が評価する属性の順番は通常不明であり、個人ごとに異なると考えられるが、潜在クラスモデルを適用することによりモデル化が可能である。

このモデルは、属性の閾値の値を 0 とおいた場合には辞書編纂型の意思決定方略を表し、閾値を極めて大きな値にした場合には線形効用関数を用いた MNL モデルと等価になり、かつ閾値はモデルから内生的に推定されるため、一般性の高いモデルであると言える。なお、効用関数及び帰属度関数に含まれる未知パラメータ、および閾値は各個人の選択確率を尤度として最尤推定法により同時に推定することができる。紙面の都合上、定式化については文献 8 を参照されたい。

#### (2) 分析方法

交通手段選択問題として、自動車、バス、鉄道の 3 肢選択を想定し、シミュレーションにより仮想の選択データを生成してモデルの推定を行った。具体的な手順は以下の通りである。

- 1) 第 3 回中京都市圏 PT 調査データの私事目的トリップを参照し、対数正規乱数を発生させて、擬似的な個人属性データ及び全代替案の LOS データを生成
- 2) 上記 3 つのモデルから 1 つを選択し、意思決定者がそのモデルで表される意思決定プロセスに従っていると仮定
- 3) 選択したモデルが LC2 モデル及び LEX モデルであった場合、帰属度モデルに含まれる未知パラメータに適切な値を定め、次いで誤差項に乱数を発生させて、各個人が所属するグループを決定
- 4) さらに、LEX モデルの場合は、個人ごとに乱数を発生させて設定した、各属性の足切り条件を表す閾値に基づいて、選択結果のデータを生成
- 5) MNL モデルと LC2 モデルに含まれる効用パラメータを設定し、次に誤差項に乱数を発生させ効用値を計算し、各個人が選択する代替案を特定。LEX モデルにおいて、複数の代替案が残ったサンプルについても、同様にして選択結果のデータを生成
- 6) 以上のようにして作成した選択データ、LOS データ、及び個人属性データを用いて全てのモデルを推定し、推定されたパラメータと仮定した値（真値）との比較や、モデルの操作性や適合度について比較検討を行う。

シミュレーションデータ作成の際、効用関数の誤差項

に乱数を用いるため、同一個人に対しても誤差項の値によっては異なる選択結果が得られる。そこで本研究では誤差項の乱数の生成を 10 回行い、各回ごとにモデルを推定し、その推定結果の平均を用いて比較検討を行った。

(3) 推定結果と考察

紙面の都合上、具体的な推定結果は省略し、以下に分析から得られた主な知見を述べる。

表 1 は、それぞれのモデルの適合度と、推定計算においてどの程度収束したかを示している。MNL モデル、LC2 モデル、LEX モデルと尤度関数の非線形性が進むにつれ、尤度関数が収束する割合が低くなっている。加えて、潜在クラス型の LC2 モデルと LEX モデルは、パラメータの初期値の与え方によっては全く収束しない場合もあり、操作性に劣ると言える。このような傾向は、よりグループ数が多く複雑な LEX モデルで顕著であった。パラメータ推定値のばらつきについても複雑なモデルほど大きく不安定であった。これは、特に LEX モデルのよ

表 1 各モデルの収束可能性と適合度 (AIC)

推定データ	MNL モデル	LC2 モデル	LEX モデル
MNL	1147	1329	× 1344
LC2	964	910	1166
LEX	767	633	556

：常に収束      ：収束しないこと有り      ×：収束せず

表 2 LEX モデルを仮定したときの LEX モデルの推定結果

			真値	情報なし		情報あり		
				推定値	分散	推定値	分散	
帰属度モデル	費用	定数項	2.28	3.76	4.26	3.36	9.04	
		自動車保有台数	-0.305	-0.454	0.137	-0.807	1.28	
		男性ダミー	2.19	-0.300	0.712	-2.13	1.28	
		年齢	-0.0140	-3.69	5.95	-0.0925	1.64	
	端末時間	定数項	0.970	-8.47	54.3	-1.08	3.60	
		自動車保有台数	0.480	2.33	2.96	1.15	2.28	
		男性ダミー	-1.11	2.31	21.0	-0.0266	2.04	
		年齢	0.0250	14.9	217	2.39	4.13	
	閾値	総旅行時間	平均値	-0.800	-0.726	0.0316	-1.10	3.25
			標準偏差	0.200	1.30	0.0344	1.66	3.55
		費用	平均値	-0.700	-0.663	0.0130	-1.11	4.39
			標準偏差	0.270	0.802	0.0345	1.57	5.07
端末時間		平均値	-0.800	-0.551	0.0575	-0.983	2.80	
		標準偏差	0.150	0.611	0.0391	0.799	11.8	
効用関数	バス定数項	-1.00	-2.56	1.24	-3.68	10.1		
	鉄道定数項	2.00	1.28	20.5	-1.00	3.67		
	総所要時間	-3.15	1.89	9.74	1.15	108		
	費用	-0.800	11.8	204	13.1	120		
	端末所要時間	-2.50	-0.389	5.46	-0.0262	8.78		

うな足切り条件を含むモデルでは、それを同定することが難しいことが報告されており<sup>10)</sup>、その一方でモデル内で閾値が支配的な役割を果たすためであると考えられる。モデルの適合度については、LC2 モデルと LEX モデルは MNL モデルを内包しているため常に MNL モデルを上回ると予想されたがそうはならなかった<sup>注1)</sup>。これは、モデルを過度に複雑化しているためであり、一般性を追求しすぎた場合、モデルの自由度が大きすぎるあまりパラメータが予想に反した値をとり、結果として役に立たないモデルになる危険性を示唆していると考えられる。以上のことから、複雑な構造を仮定したモデルを、選択結果のみのデータから逆解析的に推定することは、極めて大きな危険性を孕んでいると思われる。一方、MNL モデルはどのデータに対しても安定した推定値を得ることができたが、複雑なモデルを仮定したデータに対する適合度は極めて低くなっている。

(4) 修正辞書編纂型モデルの改良

LEX モデルのような複雑な構造を持つモデルを、選択結果のみを被説明変数として推定した場合、推定されるパラメータ値は極めて不安定になる。しかし、実際の選択状況において LEX モデルのような意思決定方略が頻繁に採用される以上、実際の意思決定方略を忠実に再現するよう努力を続けることが肝要であると思われる。そこで、LEX モデルの意思決定を仮定したシミュレーションデータ作成の際に、選択結果と併せて、属性の重要度の順番に関するデータを生成し、それを被説明変数として同時に用いて推定を行った。これは、アンケート調査に

において、「どのような要因を重視して選択を行いますか」というようなデータが得られた場合を想定している。表 2 の“情報なし”が選択結果のみを用いた場合を、“情報あり”がそのようなデータを選択結果と同時に用いた場合の推定結果を示している。情報を付加することにより、帰属度モデルのパラメータ推定値が軒並み真値に近づき良好な推定結果を得ることができたと言える。効用関数及び閾値のパラメータは依然として不安定であるが、「所要時間の遅れは何分程度我慢できますか」のような設問をすることにより改善できるものと考えられる。以上のように、複雑な構造を持つモデルを推定する場合には、意識データのような心理学的データや SP データを援用することが不可欠であると思われる。

4. 実データを用いたモデル予測精度の比較

次に、モデルの予測精度を検証するために、平成 9 年中京都市圏小規模 PT 調査と同時に実

施された、「出勤時における交通アンケート調査」データを用いて分析を行った。調査では、公共交通と自動車の2肢選択状況において、現在の選択結果（RPデータ）とともに、自動車利用者の公共交通機関への転換意向（SPデータ）も各個人から最大3つ得られている。

#### (1) 分析に用いるモデル

MNLモデル及びLEXモデルを用いて分析を行った。先に述べたようなLEXモデルの推定に係る煩雑さ、不安定さを緩和するため、以下のように、LEXモデルを簡略化して適用している。

#### 簡略化した修正辞書編纂型モデル

- 個人は最も重要な属性に関して評価を行い、最も評価の高い代替案か、それと等価とみなせる代替案のみ選択の対象となる。ただし、最も重要な属性は「所要時間」であると仮定し、等価とみなす許容範囲については10分と設定する。これは、RPデータにおいて、所要時間が10分以上余分にかかる代替案を選ぶ個人が約10%であることを基準にしている。
- 最も重要な属性で選択が決定しなかった場合には、所要時間以外の属性を説明変数とした2項ロジットモデルを構築し、効用を最大化する代替案を確率的に選択する。

#### (2) 分析手法と評価に用いる指標

現状の選択結果を表すRPデータのみを用いて上述のモデルを構築し、それをSPデータにおけるLOS変数の変化に対して適用し、モデルの予測精度を検証した。

評価に用いる指標としては、的中率や数え上げ法による集計シェアの比較が考えられる。しかし、前者は、個人ごとに検証が可能である一方、確率論的に不適切であり、逆に後者は、確率モデルの考え方に準じてはいるが、個人ごとの検証ができない。そこで本研究では、以下に示す「尤度（選択確率）の上昇」を指標として用いる。

今回、実際的手段転換のデータは得られていないが、車から公共交通への転換意向のデータは得られている。転換意向を示した個人の公共交通の尤度に着目し、各SP回答について、「手段転換後の公共交通の尤度  $P_n^{SP}(\text{tran})$ 」と「手段転換前の公共交通の尤度  $P_n^{RP}(\text{tran})$ 」の差をとり、全SP回答数  $N^{SP}$  を用いて平均化する。

$$\frac{1}{N^{SP}} \sum_{n=1}^{N^{SP}} (P_n^{SP}(\text{tran}) - P_n^{RP}(\text{tran})) \quad (3)$$

推定したモデルが転換意向を適切に表すのであれば、公共交通の尤度は、手段転換前（RP）では低く、手段転換後（SP）では高くなっているはずである。すなわち、よりよいモデルほど、式（3）で表される「尤度の上昇」指標が大きくなっている、と考えられる。

#### (3) 計算結果と考察

計算された「尤度の上昇」は、MNLモデルでは6.39%、簡略化したLEXモデルでは8.30%であった。このように、観測データから意思決定ルールを確定的に定めた場合においてさえ、LEXモデルのほうが尤度の上昇が大きく、人間の行動が非補償型である、という一面が窺える。意思決定構造の分析が適切であれば、MNLモデルのような補償型モデルよりも優れた非補償型モデルが比較的容易に構築できると考えられる。

#### 5. おわりに

本研究は、あくまでも1つの実証的研究であり、今後更なる検証が不可欠であるが、操作性に優れているからという理由でRUMモデルを使い続けることの危険性や、選択結果のみから逆解析的に意思決定過程を類推するという、従来の行動モデリング手法全般に警鐘を鳴らすに足るものであると著者らは考える。意思決定プロセスを詳細に観測し、モデル化に援用することによって、意思決定プロセスを忠実に再現することがある程度まで可能であると予想されるが、そのような逆解析的なアプローチに限界が存在するのも事実であろう。新たな調査・モデリング技法や最尤法に代わる推定手法の開発などのブレイクスルーが強く望まれる。

#### 注

- [1] この原因としては、1) 今回の分析においては、MNLモデルの効用関数には個人属性が含まれている一方、LC2モデル及びLEXモデルの効用関数には個人属性を含めていないため、先述のように、MNLへの帰属確率が1になるように発散する事態は生じなかったこと、2) 特に、LC2モデル及びLEXモデルの尤度関数はMNLモデルのように狭義凹関数であることが保証されていないため、局所最適解に辿り着いた可能性がある、等が考えられる。

#### 参考文献

- 例えば、Simon, H. A.: *Administrative Behavior: A Study of Decision Making Process in Administrative Organization*, 2nd ed. Macmillan, 1957. (松田武彦, 高柳暁, 二村敏子 (訳): 経営行動, ダイアモンド社, 1965.)
- 例えば、竹村和久: 意思決定とその支援, 市川伸一編: 認知心理学4-思考, 東京大学出版会, pp.81-107, 1996.
- 例えば、Tversky, A.: Elimination by aspects: a theory of choice, *Psychological Review*, Vol.79, pp.281-299, 1972.
- 例えば、Recker, W. W. and Golob, T. F.: A non-compensatory model of transportation behaviour based on sequential consideration of attributes, *Transportation Research*, 13B, pp.269-280, 1979.
- Swait, J. and Ben-Akiva, M.: Incorporating random constraints in discrete models of choice set generation, *Transportation Research*, Vol.21B, pp.91-102, 1987.
- レビューとして、兵藤哲朗, 室町泰徳: 個人選択行動モデルの最近の開発動向に関するレビュー, 土木計画学研究・論文集, Vol.18, No.3, pp.517-522, 2001.
- Payne, J. W., Bettman, J. R. and Johnson, E. J.: *The Adaptive Decision Maker*, Cambridge University Press, 1993.
- Kurauchi, S. and Morikawa, T.: An exploratory analysis for discrete choice model with latent classes considering heterogeneity of decision making rules, *Travel Behaviour Research: The Leading Edge*, D. A. Hensher ed., Pergamon, pp.409-423, 2001.
- 佐々木邦明: 潜在的評価構造の差異を考慮した離散型選択モデル, 京都大学博士論文, 1997.
- Weitz, B. and Wright, P.: Retrospective self-insight on factors considered in product evaluation, *Journal of Consumer Research*, 6, pp.280-294, 1979.