

補償型・非補償型意思決定ルールを同時に考慮した交通手段選択モデル*

Travel Mode Choice Model Including Both Compensatory and Non-compensatory Decision Making Rules

倉内慎也**, 森川高行***, 中山 隆****

By Shinya KURAUCHI, Takayuki MORIKAWA, and Takashi NAKAYAMA

1. はじめに

交通行動分析に用いられる離散型選択モデルでは、属性の線形形で表される効用関数を用いることが一般的である。そのようなモデルでは、ある属性（例えば所要時間）の劣位を他の属性（例えば費用）の優位により埋め合わせることが可能なことから「補償型」モデルと呼ばれている。補償型モデルは需要予測や便益評価が比較的容易に行なうことができるなど、非常に操作性が高いために、これまで様々な選択問題に対して暗黙裡に適用されてきた。

しかし、補償型の意思決定方式は数多くの意思決定方式の一つに過ぎず、選択状況によっては属性相互で補償のきかない「非補償型」の意思決定や、属性を一つずつ取り上げて逐次的に絞り込みを行う「逐次選択型」意思決定方式¹⁾が支配的になる局面が交通選択においても少なからず存在すると考えられる。そのような状況に対して補償型意思決定ルールのみを仮定した離散型選択モデル（以下完全補償型モデル）を適用した場合、特に以下の2点について問題があると思われる。

一点目は行動論的妥当性の問題である。完全補償型モデルでは、意思決定者の行動原理として、「効用関数に含まれるすべての属性を横並びに同時に考慮し、属性間のトレード・オフを考えながら最大の効用を与える選択肢を選ぶ」という意思決定構造を仮定していることになる。しかしこれは人間の情報処理能力の拡大解釈であり、対象問題の選択肢数や選択肢を構成する属性の数が多い場合には、非補償型や逐次選択型等のより簡略化した方式で意思決定を行なう傾向が強いことが多数報告されている²⁾。

二点目は予測上の問題である。完全補償型モデルを用いて需要予測を行なった場合、バス運賃を10

円値下げした場合のような微少な属性値の変化に対しても必ずバスのシェアは向上することになる。しかし、実際には「50円安くならないとバスに乗らない」というように、行動変更には閾値効果が存在するものと考えられる。各個人がそのような閾値効果を持っていた場合、それを集計したシェアもあるサービスレベルを超えた場合に劇的にシェアが向上するような閾値的な挙動を示すものと考えられる。

以上の問題を踏まえ、本研究では、まず補償型意思決定ルールの代替的行動原理として非補償型意思決定ルールのモデル化を行う。次に、各個人の意思決定構造は分析者にとって不明であることから、潜在クラスモデル³⁾の枠組みで異なる意思決定構造を考慮した離散型選択モデルを構築する。

2. 補償型・非補償型意思決定ルールを同時に考慮した離散型選択モデル

(1) 意思決定者の行動仮説

非補償型／逐次型意思決定ルールの中で最も現実的かつ直観的にわかりやすいルールは、辞書編纂ルールである。辞書編纂ルールでは、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というものである。しかし、辞書編纂ルールを交通選択問題に適用した場合、主要なLOS変数が所要時間や費用などのように連続量であることが多いため、選択する代替案が一意に定まってしまう。そのような場合、単一属性のみで選択が帰結する、1分（1円）でも速い（安い）代替案を選択する、等の行動仮説を容認することになり、行動論的に見て非現実的である。そこで本研究では、評価が最も高い代替案と比較してある許容範

* キーワード：交通行動分析、交通手段選択

** 正会員 工修 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻

*** 正会員 Ph.D 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻

**** 正会員 工修 サーベイリサーチセンター

(〒464-8603 名古屋千種区不老町, tel:052-789-3565, fax:052-789-3738)

圈内にある代替案は、その属性に関しては同等とみなして次に重視する属性の評価に移るという「修正辞書編纂ルール」⁴⁾を採用する。

修正辞書編纂ルールでは、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場合が存在する。そこで本研究では、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、つまり従来の属性の線形和で表される補償型効用関数の大小によって選択を行うものと仮定する。

(2) モデルの定式化

前節で述べた行動仮説に従いモデルの定式化を行う。今、説明の簡単化のために、代替案*i, j*の二肢選択状況を想定する。同様に意思決定者は代替案の評価に際して、*t, c, f*の3つの属性に直面しているものとし、個人*n*が直面する代替案*i*に関する属性*t*の値を X_{ni} で表すこととする。

次に、修正辞書型モデルにおいて属性*t*に関する許容範囲を示す閾値を τ_t とする。ここで、ある意思決定者の属性の重要度の序列が*t, c, f*の順であったとすると、前節で説明した意思決定ルールによって代替案*i*が選択される確率は次式で表される。

$$P_n(i|t, c, f) = s_n(t) + \bar{s}_n(t) s_n(c) + \bar{s}_n(t) \bar{s}_n(c) s_n(f) + \bar{s}_n(t) \bar{s}_n(c) \bar{s}_n(f) \frac{\exp(V_{ni})}{\exp(V_{ni}) + \exp(V_{nj})} \quad (1)$$

ここに、 $P_n(i|t, c, f)$ ：重要度の序列が*t, c, f*であった場合に個人*n*が代替案*i*を選択する確率、 V_{ni} ：個人*n*の代替案*i*に関する補償型効用関数の確定項、

$$s_n(t) = \begin{cases} 1: & \text{if } X_{ni} - X_{nj} > \tau_t \\ 0: & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$\bar{s}_n(t) = \begin{cases} 1: & \text{if } |X_{ni} - X_{nj}| \leq \tau_t \\ 0: & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、属性の重要度の序列は個人ごとに大きく異なり、また多くの場合、分析者にとって不明瞭であるため、確率変数として扱わざるを得ない。そこで本研究では、潜在クラスモデルの枠組み³⁾に基づいて、個人ごとに異なる重要度の序列を考慮した離散選択モデルを構築する。

各属性の重要度を決定する変数として Y^* を仮定する。 Y^* は個人ごとに異なることから、年齢・性

別等の個人属性に影響を受けると考え、以下のように個人属性の線形和で表わすことにする。

$$Y_{ni}^* = \Gamma_t z_{ni} + \delta_{ni} \quad (4)$$

ここに、 Y_{ni}^* ：個人*n*の属性*t*に対する重要度関数、 z_{ni} ：個人*n*の属性*t*に対する重要度関数に影響を与える個人属性ベクトル、 δ_{ni} ：個人*n*の属性*t*に対する重要度関数の誤差項、 Γ_t ：未知パラメータベクトル。

このとき、 δ_{ni} にi.i.d.ガンベル分布を仮定すると、属性*t*を重視する確率は次式で表わされる。

$$Q_n(t) = \frac{\exp(\Gamma_t z_{ni})}{\sum_k \exp(\Gamma_k z_{nk})} \quad (5)$$

ここに、 $Q_n(t)$ ：個人*n*が属性*t*を重視する確率。

従って、ある個人*n*の属性の重要度の序列が*t, c, f*である確率 $Q_n(t, c, f)$ は、ランクロジットモデルと同様の仮定のもとで以下の式で与えられる。

$$Q_n(t, c, f) = \frac{\exp(\Gamma_t z_{ni})}{\sum_k \exp(\Gamma_k z_{nk})} \times \frac{\exp(\Gamma_c z_{nc})}{\sum_{k \neq t} \exp(\Gamma_k z_{nk})} \quad (6)$$

式(4)及び(6)を用いて、属性の重要度の序列の生起パターンと、属性値の差が閾値を超える場合とそうでない場合の組み合わせを全て評価することにより、最終的に個人*n*が代替案*i*を選択する確率は次式で与えられる。

$$P_n(i) = Q_n(t, c, f) \{ s_n(t) + \bar{s}_n(t) s_n(c) + \bar{s}_n(t) \bar{s}_n(c) s_n(f) \} + Q_n(t, f, c) \{ s_n(t) + \bar{s}_n(t) s_n(f) + \bar{s}_n(t) \bar{s}_n(f) s_n(c) \} + Q_n(c, t, f) \{ s_n(c) + \bar{s}_n(c) s_n(t) + \bar{s}_n(c) \bar{s}_n(t) s_n(f) \} + Q_n(c, f, t) \{ s_n(c) + \bar{s}_n(c) s_n(f) + \bar{s}_n(c) \bar{s}_n(f) s_n(t) \} + Q_n(f, t, c) \{ s_n(f) + \bar{s}_n(f) s_n(t) + \bar{s}_n(f) \bar{s}_n(t) s_n(c) \} + Q_n(f, c, t) \{ s_n(f) + \bar{s}_n(f) s_n(c) + \bar{s}_n(f) \bar{s}_n(c) s_n(t) \} + \bar{s}_n(t) \bar{s}_n(c) \bar{s}_n(f) \times \frac{\exp(V_{ni})}{\exp(V_{ni}) + \exp(V_{nj})} \quad (7)$$

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ルールを、閾値を極めて大きな値にした場合には従来の補償型の意思決定ルールを表わすような構造になっており、かつ閾値はモデルから内生的に推定されるため、補償型及び非補償型の双方の意思決定ルールを内包した一般性の高いモデルであると言える。なお、モデル内の補償型効用関数及び重要度関数の内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

で最尤推定法により同時に推定することができる。

3. 事例研究

(1) データの概略

本研究では、平成9年11月に名古屋大学大学院地圏環境工学専攻中村研究室が実施した、ダイナミックパークアンドライド（以下DP&R）の利用意向に関するSP調査データのうち、通勤・通学交通に関するデータを用いる。調査では、道路と地下鉄路線が平行して走っている状況の下で、現在自動車で名古屋都心部にあるオフィスまたは学校へ移動しているようなケースを想定させ、その途中で情報板により提供される情報から、そのまま自動車に乗り続けるか、あるいはP&R施設に駐車して地下鉄に乘換えるかを尋ねた選択形式のデータが得られている。提供される情報は、そのまま自動車で行った場合と地下鉄に乗り換えた場合の双方の所要時間及び費用（駐車料金を含む往復運賃）、地下鉄ホームまでの距離（以下アクセスと呼称）であり、表-1のように各属性の値をランダムに変化させ、1個人あたり最大7個のデータが得られている。

表-1 SP調査におけるサービスレベル変数

属性	交通手段	属性値
所要時間	自動車	40分, 30分
	地下鉄	30分, 20分, 10分
費用	自動車	0円
	地下鉄	450円, 900円, 1300円
アクセス	地下鉄	近い, 遠い

(2) 推定結果

本研究では、式(7)のように属性の重要度の序列及び各属性が閾値を超えるか否かの全組み合わせを評価した結果、選択確率の自由度が極めて高く、有意な結果を得ることができなかった。従って、ここでは簡単化のために、最も重視する属性にのみ修正辞書型ルールを適用し、それにより選択肢が一意に定まらなかった場合には補償型ルールを適用するという特殊型について推定を行なった。

結果を表-3に示す。Model 2は本研究で提案するモデルの推定結果を、Model 1はその比較のためにModel 2と全く同じ説明変数を用いて従来の完全補償型モデルを推定した結果をそれぞれ示している。

各属性の閾値は、所要時間 15 分、費用 1100 円、アクセスが遠い、というように推定された^{注1)}。これは所要時間を重視する人は差が 15 分を超えた場合には地下鉄を、費用を重視する人は差が 1100 円を超えた場合に自動車を、アクセスを重視する人は

表-2 推定に用いた説明変数の概略

説明変数名	内容
<補償型効用関数の説明変数>	
Rail-cst	補償型効用関数の定数項（自動車を0に固定）
Cost	費用（千円）
Time	所要時間（時間）
Access	1：地下鉄ホームまでが遠い，0：それ以外
<所要時間の重要度関数の説明変数>	
Ytime-cst	定数項
Age30	1：年齢が30歳以下，0：それ以外
Age60	1：年齢が60歳以上，0：それ以外
Meitoku	1：居住地が名東区，0：それ以外
Child	1：世帯内に子供がいる，0：それ以外
Car-use	1：業務目的で自動車を利用，0：それ以外
<費用の重要度関数の説明変数>	
Ycost-cst	定数項
H-income	1：年収が1000万円以上，0：それ以外
Male	1：男性，0：女性
Car-use	1：業務目的で自動車を利用，0：それ以外
<アクセスの重要度関数の説明変数>	
Carown	1：自動車を2台以上保有，0：それ以外
Age60	1：年齢が60歳以上，0：それ以外
Nisshin	1：居住地が日進市，0：それ以外

表-3 推定結果

説明変数	Model 1	Model 2
<補償型効用関数>		
Rail-cst	-0.62 (-2.2)	-1.29 (-3.4)
Cost	-1.41 (-8.8)	-0.98 (-3.2)
Time	-6.36 (-13.2)	-3.92 (-5.7)
Access	-0.94 (-9.0)	-0.75 (-3.3)
<所要時間の重要度関数>		
Ytime-cst		0.42 (1.1)
Age30	-0.98 (-6.6)	-1.90 (-4.4)
Age60	0.48 (2.9)	0.78 (1.6)
Meitoku	-0.08 (-0.7)	-0.02 (-0.1)
Child	-0.37 (-3.1)	-0.92 (-3.5)
Car-use	-0.53 (-4.2)	-1.27 (-3.4)
<費用の重要度関数>		
Ycost-cst		0.15 (0.3)
H-income	0.10 (0.6)	-0.04 (-0.1)
Male	-0.65 (-5.3)	1.20 (3.2)
Car-use		-0.97 (-1.6)
<アクセスの重要度関数>		
Carown	-0.24 (-1.8)	0.35 (0.9)
Age60		0.81 (1.0)
Nisshin	0.09 (0.6)	0.38 (0.8)
		所要時間の閾値 15分 費用の閾値 1100円 アクセスの閾値 遠い
サンプル数	2850	2850
$\bar{p}^2$	0.387	0.382

地下鉄のホームまでの距離が遠い場合に自動車を確定的に選択することを示している。個々のサンプルを見てみると、平均して費用、所要時間、アクセスの順で重要度関数の値が大きく、また、費用差が1100円を超えるサンプルは比較的少ないことから、一般的に補償型意思決定ルールを採用する人が多いと考えられる。個々の説明変数は概ね符号条件を満たしているが、完全補償型モデルと比較して効用関数の説明変数の t 値が低く、かつモデル全体の適合度も悪くなっている。これは、修正辞書型モデルが確定的モデルであること、及び重要度関数の説明変数として有意な要因が見い出せなかったために、構築したモデルが従来の補償型モデルを完全に内包していないためであると考えられる。

4. 推定モデルの挙動分析

前節で推定したモデルを用いて、政策変数の変化に対する集計シェアの挙動分析を行なった。なお、集計化には数え上げ法を用いた。

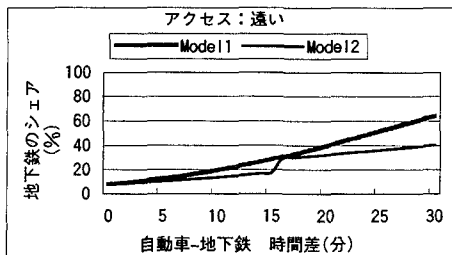


図-1 推定モデルの所要時間の変化に対する挙動

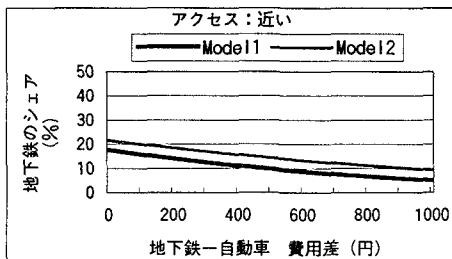


図-2 推定モデルの費用の変化に対する挙動

所要時間を変化させた場合(図-1)、完全補償型モデルでは所要時間差の増大に伴いシェアがほぼ一定の割合で増加するのに対し、提案モデルでは所要時間の閾値である15分の辺りでシェアが急激に変化しており、これにより行動変化の閾値効果を表

現することができたとと言える。また、一般的にシェアの変化は比較的緩やかであり、所要時間に関する感度が低く、P&Rに移行しにくい状況を示していると言える。費用に関しては(図-2)、前章で考察したように補償型意思決定ルールに依存するサンプルが多く、また閾値が1100円と高く評価されたために、完全補償型モデルとはほぼ同様の挙動を示している。

4. おわりに

本研究では、修正辞書編纂型モデルと潜在クラスモデルによって、行動変更の閾値効果を考慮し、かつ補償型・非補償型意思決定ルールの双方を考慮した一般性の高い離散型選択モデルを構築した。また、事例研究により政策変数の変化に対するモデルの挙動分析を行なった結果、従来の完全補償型モデルと異なる挙動を示すことが確認された。

しかし、本研究はいまだ途上段階であり多くの問題点を抱えている。主な課題としては、モデルの適合度が完全補償型モデルと比較して劣っていること、政策実施前後の行動変化を尋ねたパネルデータにより提案モデルの予測精度を検証することが挙げられる。今後、態度データや属性の重要度の序列に関するデータを収集すると共に、確率モデルの構築などの改良を加え、事例研究を重ねる必要がある。

最後に、貴重なデータを提供していただいた名古屋大学大学院地圏環境工学専攻中村研究室に深く感謝の意を表します。

注1) 表1からわかるように、データから生じうる自動車と地下鉄の所要時間差は10分、20分、30分、費用差は450円、900円、1300円というように幅を持った値になっている。そこで本研究では、閾値はそれぞれの中間値のいずれかである、つまり、所要時間については5分、15分、25分、35分、費用については225円、675円、1100円、1500円のいずれかであるものとして推定を行なった。

参考文献

- 1) 片平秀貴：マーケティング・サイエンス，東京大学出版会，1987。
- 2) Wright, P.: Consumer Choice Strategies: Simplifying vs. Optimizing, *Journal of Marketing Research*, vol.12, pp.60-67, 1975.
- 3) 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。
- 4) Coombs, C. H.: *Theory of Data*, New York, John Wiley.