

鉄道経路選択行動における最小知覚差と反応弁別閾値の計測

東京大学 学生会員 ○小野田 恵一
 東京大学 正会員 加藤 浩徳
 東京大学 正会員 家田 仁

1. はじめに

現在、交通選択行動分析では、多項ロジットモデル（MNLモデル）が多く用いられている。このモデルでは、個人の選択確率が選択肢間の効用差によって決定されるが、現実をみたとき、知覚困難なほど極小の効用差に人間が直面することが少なくない。そこで、本研究では、鉄道経路選択行動を対象として、最小知覚差と反応弁別閾値を計測することを目的とする。なお、最小知覚差（Minimum Perceivable Difference：MPD）とは、2つの異なる財・サービスを無差別と判断して行動する最大の効用差を指し、また反応弁別閾値とは、財・サービスの効用差が50%の確率で検出される値を指すものとする。

2. 鉄道経路選択行動における閾値の計測手法

MPD ならびに反応弁別閾値の計測に当たっては、Krishnan が提唱した MPD モデル¹⁾を改良の上用いてパラメータを推計するものとする。Krishnan は選択肢間の効用差が無差別になることを許容した BL モデルを MPD モデルとして提案した。本研究では、3つ以上の選択肢を取り扱うことから、MPD モデルを多肢選択問題に拡張する。ここでは、個人 n が I_n 個の選択肢からなる選択肢集合 Ω_n をもつ場合、選択肢 i の仮の選択確率 \hat{P}_{in} は、個人間で同一の常に正なる MPD δ を考慮することで、

$$\hat{P}_{in} = \Pr[U_{in} \geq U_{jn} + \delta | \forall j \neq i, i, j \in \Omega_n] \quad (1)$$

と表せる。ここで、選択肢 i の効用 U_i が確定項 V_i と誤差項 ε の単純和で表せるものとし、 ε に I. I. D. Gumbel 分布を仮定すると、式(1)は

$$\hat{P}_{in} = \frac{1}{1 + \sum_{j \neq i} \exp(V_{jn} - V_{in} + \delta)} \quad (2)$$

と表される。このとき効用差が MPD 未満であるケースが除かれているため、仮の選択確率 \hat{P}_{in} の総和は1とならず、効用差が無差別となる確率 $\hat{P}_{n,indifference}$ が式(3)のように計算される。

$$\hat{P}_{n,indifference} = 1 - \sum_{i \in \Omega_n} \hat{P}_{in} \geq 0 \quad (3)$$

ここで、効用差が MPD 未満の無差別のケースとしては、さまざまな組み合わせの可能性があるが、分析者には、事前に、どの組み合わせが発生するかは明らかではなく、また、無差別な選択肢グループ内で各選択肢がどのような確率で選択されるかも明らかではない。そこで、本研究では、効用差が無差別となる確率 $\hat{P}_{n,indifference}$ を各選択肢に同一に配分するものと仮定する。すると、最終的に求められる各選択肢の選択確率は、

$$P_{in} = \hat{P}_{in} + 1/I_n \cdot \hat{P}_{n,indifference} \quad (4)$$

となる。パラメータ推計には式(5)で表される尤度関数 L を最大化する方法を用いるものとする。

$$L = \prod_{i \in I_n} \prod_{n \in N} P_{in} \quad (5)$$

ここで、 N はサンプル全体の集合である。

次に、パラメータ推計によって求められた MPD をもとに反応弁別閾値を推定する。既往研究²⁾より、2肢強制選択（2AFC）法によって心理学実験を行った際の精神測定関数（図-1）を考えたときに、正答率が75%となる刺激差を弁別閾値（図-1の α ）とすることが提案されている。なお、精神測定関数とは、刺激の物理量と、その刺激による反応（通常は強制選択法での正答率）との関係をあらわす関数である。

一方、2肢選択 MPD モデルの選択確率分布関数を考えると図-2のように示される。図から分かるとおり、MPD モデルでは選択肢間の効用差がゼロに近づくと、効用差が無差別となることにより、選択確率50%近傍で選択確率分布関数の傾きが緩やかになっている。ここで、MPD モデルの選択確率分布関数（図-2）に

キーワード：最小知覚差，反応弁別閾値，MPD モデル
 連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 TEL 03-5841-6118

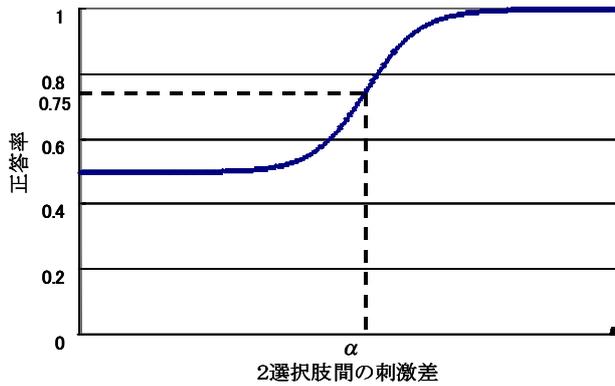


図-1：2AFCにおける精神測定関数と弁別閾値

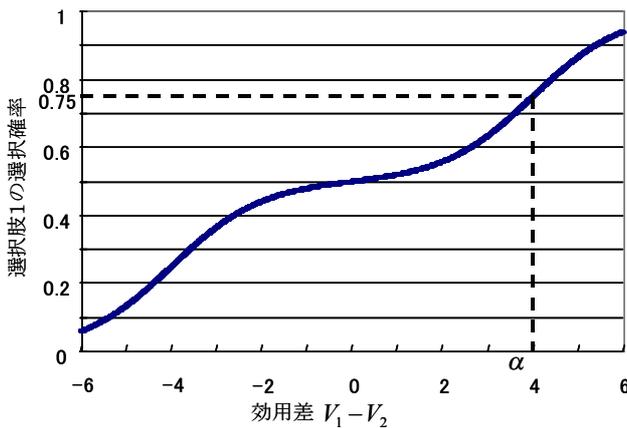


図-2：MPDモデルにおける選択確率（二者択一の場合）

において選択確率 50%以上の部分を一種の精神測定関数とみなすと、選択確率 75%のときの効用差（図-2の α ）を反応弁別閾値とすればよいことが分かる。反応弁別閾値 α は、図-2を踏まえて逆算すると、式(6)によって求められる。

$$\alpha = \ln \left[\frac{1 + e^{2\delta} + \sqrt{e^{4\delta} + 14e^{2\delta} + 1}}{2e^{\delta}} \right] \quad (6)$$

3. 都市鉄道経路選択行動におけるMPDと反応弁別閾値の推定

東京圏の通勤目的利用者の鉄道経路選択行動を対象に、実データからMPDならびに反応弁別閾値を推定する。用いたデータは平成7年大都市交通センサスの通勤利用者から抽出した1,218サンプルである。

代替経路を3つとし、効用関数を各特性変数の線型関数と仮定した。特性変数としては、運賃、乗車時間、アクセス時間、イグレス時間、乗換時間、待ち時間、乗換回数、混雑抵抗指標を用いた。ここで、混雑抵抗指標とは混雑率の2乗と乗車時間の積で表

表-1：各モデルのパラメータ推計結果

特性変数	単位	MPDモデル		MNLモデル	
		推定値	t値	推定値	t値
運賃	円	-0.00170	(-3.626)	-0.00168	(-3.805)
アクセス時間	分	-0.17496	(-13.397)	-0.16263	(-13.565)
イグレス時間	分	-0.12946	(-10.046)	-0.11793	(-10.113)
乗車時間	分	-0.10710	(-9.900)	-0.09821	(-9.935)
乗換時間	分	-0.00366	(-1.918)	-0.00360	(-1.871)
待ち時間	分	-0.22990	(-6.003)	-0.20730	(-5.895)
乗換回数	回	-0.75746	(-6.203)	-0.69087	(-6.170)
混雑抵抗指標		-0.01308	(-4.872)	-0.01135	(-4.557)
MPD		0.13637	(2.240)	-	-
サンプル数		1218		1218	
初期尤度		-1338.11		-1338.11	
最終尤度		-776.32		-786.04	
DF調整済尤度比		0.418		0.411	
的中率		74.71 %		74.63 %	

される数値である。

MPDとMNLのモデルのパラメータ推計結果を比較したものが表-1である。これより、いずれもモデル全体としては十分説明力のあるパラメータが得られており、各特性変数のt値、符合とも整合的な結果となっている。

各モデルの乗車時間1分当たりの貨幣価値を計算するとMPD、MNLモデルでそれぞれ63.1円/分、58.6円/分となり、既往研究と比較し妥当な値となっている。得られたMPDを見ると、乗車時間に換算して約76秒となっている。この結果を用いて反応弁別閾値を求めると乗車時間に換算し約10.3分となることが分かった。

4. まとめ

本研究では、東京圏都市鉄道の通勤目的利用者のMPDと反応弁別閾値を計測し、その結果これらの乗車時間換算値がそれぞれ約76秒、約10.3分であることが分かった。これらの結果が需要動向分析等に与える影響については今後の課題としたい。

参考文献

- 1) Krishnan, K. S. : Incorporating Thresholds of Indifference in Probabilistic Choice Models, *Management Science*, Vol.23, No.15, pp.1224-1233, 1977
- 2) Harvey, L. O. Jr. : Efficient Estimation of Sensory Thresholds, *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 18(6), pp.623-632, 1986