

都市鉄道の経路選択行動における最小知覚差の計測*

Minimum Perceivable Difference in Urban Railway Route Choice*

加藤 浩徳**・小野田恵一***・家田 仁****

By Hironori KATO**, Keiichi ONODA*** and Hitoshi IEDA****

1. はじめに

現在、各種交通行動分析においては、ランダム効用と個人の効用最大化行動を前提とした非集計型の交通行動モデルが、多く用いられている。我が国の実務においても、交通選択行動(例えば、交通機関選択や経路選択)を分析する際には、非集計ロジットモデル(MNLモデル)が適用されることが多い。

ところで、MNLモデルにおいては、個人の選択行動(選択確率)は選択肢間の効用差により決定される。そして、モデルの特性上、いかなる極小の効用差であっても、個人の選択確率は必ず変化するという仮定が置かれている。また、効用差がゼロに近づくほど、単位効用差あたりの選択確率の変分量は大きくなり、僅かな効用差の変化に対して、敏感に選択行動が変化することとなる。ところが、実際の人間の交通行動を観察すると、効用差が極小である場合には、それを知覚・反応することは極めて困難と考えられる場合が少なくない。そこで本研究は、交通選択行動を対象として、行動の違いを生じさせる最小の効用差がどの程度なのかを計測し、それが交通需要予測に与える影響を実証的に分析することを目的とする。

2. 計測の基本的な考え方

(1)MPDモデルの概要

本研究では、最小知覚差の計測に当たり、MPDモデルを多肢問題に拡張して用いる。Krishnan¹⁾の提案したMPDモデルの基本的な考え方は次の通りである。まず、選択肢 A_1 と A_2 があるとす。そのとき、選択肢の選好に

は次の3つのケースが考えられる。

(i) A_1 が A_2 より望ましいケース: $A_1 \succ A_2$

(ii) A_2 が A_1 より望ましいケース: $A_2 \succ A_1$

(iii) A_1 と A_2 が同程度に望ましいケース: $A_1 \sim A_2$

ここで、ランダム効用と効用最大化行動を仮定すると、個人によって共通かつ常に正となるMPD δ を導入することによって、(i)と(ii)のケースについては、

$$\hat{P}_1 = \Pr[U_1 \geq U_2 + \delta] \quad (1)$$

$$\hat{P}_2 = \Pr[U_2 \geq U_1 + \delta] \quad (2)$$

により仮の選択確率を計算できる。なお、選択肢 i の効用 U_i が、確定項 V_i と誤差項 ε の単純和で表されるものとし、 ε に I.I.D. Gumbel を仮定すると、この確率は、

$$\hat{P}_i = \frac{1}{1 + \sum_{j \neq i} \exp(V_j - V_i + \delta)} \quad (3)$$

と表される。

また、(iii)のケースについては、

$$\hat{P}_{12} = 1 - \hat{P}_1 - \hat{P}_2 \quad (4)$$

により仮の選択確率を得る。

その上で、 \hat{P}_{12} を特定の配分率 θ によって A_1 と A_2 に配分する。その結果、最終的な選択確率はそれぞれ、

$$P_1 = \hat{P}_1 + \theta \hat{P}_{12} \quad (5)$$

$$P_2 = \hat{P}_2 + (1 - \theta) \hat{P}_{12} \quad (6)$$

と求められる。ここで、Krishnan は、配分率 θ もパラメータの1つに含めて推定を行うことを提案している。

(2)MPDモデルの多肢選択への拡張

Krishnan のモデルでは2肢選択のみが対象となっているが、現実の問題では多肢選択の問題が多い。そこで、以下では、多肢選択問題にMPDモデルを拡張する。個人 n が I_n 個 ($I_n \geq 2$) の選択肢からなる選択肢集合 Ω_{I_n} を持つものとする。ここで、選択肢 i の仮の選択確率 \hat{P}_i は、MPD δ を考慮することにより、

$$\hat{P}_i = \Pr[U_i \geq U_j + \delta | \forall j \neq i, j \in \Omega_{I_n}] \quad (7)$$

*キーワード：交通行動分析，経路選択

**正員，博（工），東京大学大学院工学系研究科講師

（東京都文京区本郷7-3-1，

TEL03-5841-7451，FAX03-5841-8506）

***学生員，工修，東京大学大学院工学系研究科修士課程

****正員，工博，東京大学大学院工学系研究科教授

と表される。

このとき、無差別なケースが除かれていることから

$\sum_{i \in I_n} \hat{P}_i$ を計算しても1とならない。つまり、

$$\hat{P}_{indifferent} = 1 - \sum_{i \in I_n} \hat{P}_i \geq 0 \quad (8)$$

となる。ここで、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。例えば、3肢選択問題(選択肢を A_1, A_2, A_3 とする)の場合には、次のような8種類のケースがあり得る。ただし、 \neq は「同程度には望ましくない」、つまり、「いずれかがより望ましい」、ということの意味する。

- (i) $[A_1 \sim A_2] \cap [A_2 \sim A_3] \cap [A_1 \sim A_3]$
- (ii) $[A_1 \neq A_2] \cap [A_2 \sim A_3] \cap [A_1 \sim A_3]$
- (iii) $[A_1 \sim A_2] \cap [A_2 \neq A_3] \cap [A_1 \sim A_3]$
- (iv) $[A_1 \sim A_2] \cap [A_2 \sim A_3] \cap [A_1 \neq A_3]$
- (v) $[A_1 \neq A_2] \cap [A_2 \neq A_3] \cap [A_1 \sim A_3]$
- (vi) $[A_1 \neq A_2] \cap [A_2 \sim A_3] \cap [A_1 \neq A_3]$
- (vii) $[A_1 \sim A_2] \cap [A_2 \neq A_3] \cap [A_1 \neq A_3]$
- (viii) $[A_1 \neq A_2] \cap [A_2 \neq A_3] \cap [A_1 \neq A_3]$

だが、いずれの無差別のケースが発生するかは、事前には分析者に明らかでなく、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についても事前情報はない。本研究では、人間は効用差を正しく判断できないときにはランダムに選択するという仮定を置いていること、ならびに分析の便宜性を考慮して、効用差が MPD 未満の組み合わせを含むケース(3肢の例でいえば、先の(ii)~(viii)の7ケース)の確率は、全選択肢に等分されると仮定する。これは、2肢のケースにおいて配分率 θ を $1/2$ とすることと同じである。

その結果、各代替案の最終的な選択確率は、

$$P_i = \hat{P}_i + 1/I_n \cdot \hat{P}_{indifferent} \quad (9)$$

によって求められることとなる。

MPD モデルのパラメータを推定する方法としては、次の尤度関数 L を最大化する方法を用いる。

$$L = \left[\prod_{n \in N_1} P_1 \right] \left[\prod_{n \in N_2} P_2 \right] \cdots \left[\prod_{n \in N_i} P_i \right] \cdots \left[\prod_{n \in N_{I_n}} P_{I_n} \right] \quad (10)$$

ここで、 N_i : 選択肢 i を選択した個人の集合である。

3. 都市鉄道経路選択行動における最小知覚差の推定

以下では、交通選択行動として東京圏の鉄道経路選択問題を取り上げ、実データからMPDを推定する。

(1)使用するデータの概要

サンプルとして用いるデータは、第8回大都市交通センサス((財)運輸経済研究センター)における首都圏通勤利用客の母集団からサンプリングしたものである。調査は、1995年10~11月にアンケート調査方式によって実施されたものである。サンプリングに当たっては、同一ODペア間で代替経路が2つ以上となるものを選定し、最終的に得られた1,218サンプルを分析に用いた。

各サンプルの選択肢に対して、属性変数として運賃、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、混雑指標を設定した。属性変数設定に当たっては、東京圏を1,812ゾーンに区分したゾーニングを採用した。なお、各属性変数の定義は、表-1の通りである。

(2)パラメータの推定結果とMPDの試算

代替経路数を3つとし、効用関数を各属性変数の線形関数と仮定し、MPDモデルとMNLモデルのパラメータをそれぞれ推定した。結果を示したものが表-2である。

両モデルの推定結果を比較すると、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いる。また、いずれの属性変数についても、t検定値をみると十分説明力のある結果が得られており、また符号も整合的である。

次に、モデルパラメータ値を比較すると、同一データを用いているにもかかわらず、いずれの属性変数についてもMPDモデルの方がMNLモデルよりもパラメータ値が大きい傾向にあることがわかる。これは、MNLモデル

表-1 モデルの特性変数とその定義

| 特性変数名 | 単位 | 特性変数の定義 |
|--------|----|-------------------------|
| 運賃 | 円 | 1ヶ月あたり定期券購入額を1/40した金額 |
| 乗車時間 | 分 | 鉄道に乗車している時間 |
| アクセス時間 | 分 | 住居のあるゾーン中心から乗車駅までの所要時間 |
| イグレス時間 | 分 | 降車駅から勤務先のあるゾーン中心までの所要時間 |
| 乗換時間 | 分 | 鉄道列車間の乗換に要する時間 |
| 待ち時間 | 分 | 乗車ならびに乗換時の列車待ち時間 |
| 乗換回数 | 回 | 鉄道列車間の乗換回数 |
| 混雑抵抗指標 | 分 | 車両内混雑率を2乗した数値×乗車時間 |

表-2 各モデルのパラメータ推定結果

| 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 | 分 | -0.01308 | (- 4.872) | -0.01135 | (- 4.557) |
| 最小知覚差 | | 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 % | |

にMPDを考慮することによって、属性変数の説明力が向上し、誤差項の分散が小さくなったことが一つの理由として考えられる。また、属性変数間のパラメータ比を比較するために、各モデルの乗車時間1分あたりの貨幣価値を計算すると、MPD、MNLモデルでそれぞれ、63.0円/分、58.5円/分となり、MNLモデルより、MPDモデルの方が高いことがわかる。これをもう少し詳しく見ると、MNLモデルにMPDを導入することにより、運賃パラメータはそれほど変化していない(約1.1%の変化)一方で、乗車時間パラメータはかなり変化している(約9.1%の変化)ことが時間評価値の差を生じさせる原因であることがわかる。このことは、相対的に運賃は乗車時間よりも弁別しやすいことを意味する可能性があると思われる。

最後に、MPDの値をみると、乗車時間に換算して約76秒(運賃換算で、80.4円)であることがわかる。この数値は、直感的には妥当な数値のように思われる。

4. MPDが鉄道経路選択行動に与える影響

以下では、MPDを考慮する場合としない場合とを比較して、交通需要にどのような影響を及ぼすのかを、東京圏都市鉄道のプロジェクトを用いて検討する。

(1)分析の概要

ここでは、分析対象として、東京圏における郊外放射タイプの鉄道路線である小田急小田原線の複々線化事業(対象路線の位置については図-1を参照のこと)を取り上げることとする。プロジェクトの概要を示したものが表-3である。

試算の対象としたネットワークは東京圏全域の全鉄道路線網であり、運輸政策審議会答申第18号において活用された需要予測モデル²⁾と同一の設定を用いた。事業の有無ケースそれぞれについて、MPDモデルを用いる場合とMNLモデルを用いる場合とで、同一のODデータを用いた。代替経路としては、最大16経路を各ODペアについて設定している。また、MPDモデルの適用に当たっては、パラメータ推定時と全く同一の仮定を置いた。



図-1 事例分析の対象区間

表-3 対象プロジェクトの概要

| | |
|------|--|
| 路線名 | 小田急小田原線 |
| 区間 | 和泉多摩川—東北沢 |
| 整備延長 | 10.2km |
| 事業内容 | 複々線化 |
| 所要時間 | 急行:登戸→新宿(27分→19分) 各駅:登戸→新宿(38分→32分) |
| 運行本数 | 27本/時→37本/時 |

(2)分析結果

withケース, withoutケースそれぞれについてMPDモデルを用いた場合, MNLモデルを用いた場合の需要推計を行った。

まず, 対象路線の駅間断面交通量の推計結果を示したものが、図-2である。複々線化にともなう所要時間の短縮と運行本数の増加により, 対象路線の通過人員は増加しており, この増加分は人キロベースで18~19%増に相当する。また, 断面交通量の増加は町田~新宿間で顕著に見られ, 複々線化による効果が, 改良区間のみならず広範にわたっていることがわかる。

次に, MPDモデルとMNLモデルとの結果を比較するため, 両モデルの対象路線駅間断面交通量差をwithoutケース, withケースで比較したものが図-3である。これより, まずwithoutケースにおいてはほぼ全断面にわたって, MPD<MNLとなっていることがわかる。これは, MPD未満の効用差である競合路線の存在によって, その差がMNLモデルでは過大に評価されたためと考えられる。ただし, 町田以遠については, ほぼ両者の差はほとんどなくなっており, これはこの区間では, 都心に向かう他の路線との効用差がMPD以上であるためと考えることができる。一方で, withケースでは, 複々線化区間である登戸~東北沢間では, MPD>MNLとなっているが, それ以外の区間ではほぼMPD=MNLとなっていることがわかる。これは一見すると, 直感とは異なる結果となっているが, これは両モデルのモデルパラメータの感度の違いが原因であると考えられる。表-2からも明らかのように, MPDモデルの所要時間ならびに待ち時間に関するパラメータ値はMNLモデルのパラメータ値よりも大きい。そのため, 同一の時間短縮や運行本数の変化であっても, MPDモデルの方が需要が敏感に反応したため, MPD>MNLとなったと考えられる。

事例を用いた分析結果をまとめると次のようになる。

- ①サービス水準の類似した代替路線が存在する環境下では, MNLモデルの方がMPDモデルよりも大きめの需要が推計される。ただし, その差は, 人キロベースで比較しても高々1~2%程度である。
- ②プロジェクトが実施されたときの需要の変化については, MPDモデルの方がMNLモデルよりも大きく推計される。これは, MPDモデルの方が, パラメータ値が大きく推定されるため, モデルの感度が高くなることによる。ただし, 感度の差は, やはり需要量の1~2%程度で

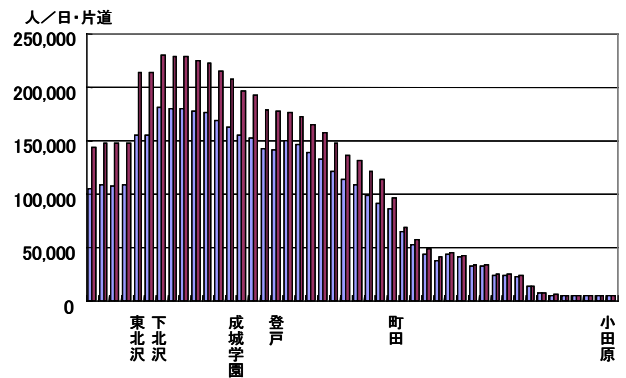
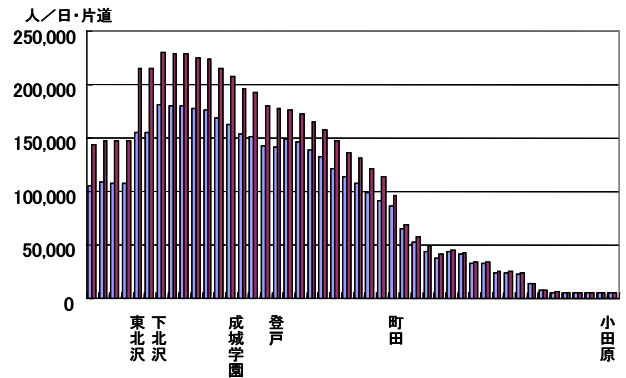


図-2 対象路線における駅間断面交通量の推計結果

注1: 上が MPD モデル, 下が MNL モデル

注2: 各グラフの左側が without ケース, 右側が with ケース

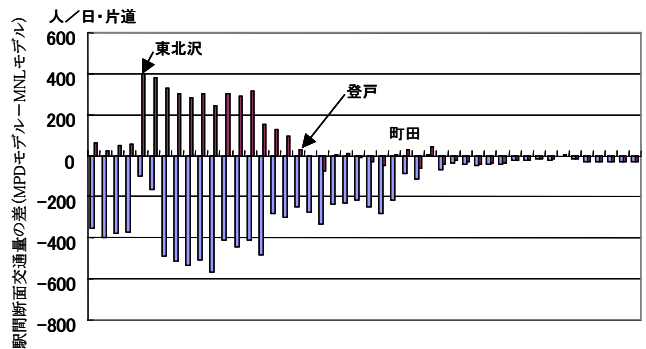


図-3 対象路線の駅間断面交通量のモデル間比較

注: グラフの左側が without ケース, 右側が with ケース

ある。

5. おわりに

本研究では, 東京圏都市鉄道の経路選択行動を対象にMPDモデルを用い, 最小知覚差を求めた。その結果, 乗車時間換算で約76秒という結果を得た。ただし, 実事例への適用を行った結果, その影響はかなり小さいことがわかった。

【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) Morichi, S., Iwakura, S., Morishige, T., Itoh, M. and Hayasaki, S.: Tokyo Metropolitan Rail Network Long-Range Plan for the 21st Century, *Transportation Research Board*, Paper No.01-0475, 2001.