

都市鉄道の経路選択行動における最小知覚差の計測 ならびにその交通需要に与える影響

各種交通需要推計においては、MNLモデル等のランダム効用をベースとする離散選択行動分析がよく適用される。だが、ここでは、いかなる極小の交通サービスの変化に対しても人間行動が変化するという仮定が置かれており、現実と必ずしも合致しない可能性がある。そこで、本研究では、東京圏の都市鉄道経路選択行動を対象に、交通サービス水準の閾値を計測し、それが需要予測に与える影響について分析を行った。その結果、2つの異なるサービスを無差別と判断して行動する効用差(MPD)は、乗車時間換算で約76秒との結果が得られた。また、現実の改良プロジェクトを対象にモデルを適用し、MPDを考慮する時としない時の需要推計結果の違いについて考察した。その結果、MPDの考慮の有無により、推計される需要は1~2%しか変化せず、実務的な観点からは閾(最小知覚差)を考慮する必要性は低いことが確認された。

キーワード 最小知覚差(MPD)、都市鉄道経路選択、交通需要分析

加藤浩徳
KATO, Hironori

博(工) 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻講師

小野田恵一
ONODA, Keiichi

東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻博士課程

家田 仁
IEDA, Hitoshi

工博 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻教授

1—はじめに

現在、各種交通行動分析においては、ランダム効用を仮定し、個人の効用最大化行動を明示的に取り扱っ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)等が適用されることが多い。

ところで、MNLモデルをはじめとする多くの離散選択モデルにおいては、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、それを正しく知覚し、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。

一方、我が国の交通サービスの状況を見ると、これまで交通基盤整備が徐々に進められてきた結果、旅行者が選択可能な交通サービスの幅、言い換えると交通サービス水準がある一定範囲内である代替的な交通サービスが飛躍的に拡大してきている。また、近年の交通・運輸マーケットに対する規制緩和等の結果として、交通企業間のサービス競争が激化し、競合サービス間の交通サービス水準が拮抗するケースも増えてきている。したがっ

て、以上のような状況下における交通サービスの選択行動に対して、標準的な非集計型離散モデルを単純に適用すると、微少な交通サービス水準差に対応する行動の違いが過大に評価されてしまう可能性も考えられる。

そこで、本研究は、実際の交通経路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、それが交通需要分析に与える影響を実証的に分析することを目的とする。

本論文の構成は次の通りである。まず本研究の背景と目的を示し(1章)、既存の関連研究を整理して本研究の位置づけを明確にする(2章)。次に、行動の違いを生じさせる最小効用差である最小知覚差(Minimum Perceivable Difference)の計測方法について検討し、東京圏都市鉄道の経路選択行動を対象に、それを実際に計測する(3章)。そして、その結果を用いて、最小知覚差を考慮したときとそうでないときで、交通需要がどのように変化するかを分析する(4章)。最後に、本研究から得られる結論と課題を整理する(5章)。

2—既存の関連研究と本研究の位置づけ

本研究が分析対象とするのは、行動の違いを生じさせる最小の効用差(=最小知覚差)であるが、これは一種の閾といえるものである。ところで、人間の閾計測は古典的な課題であり、膨大な研究蓄積がある。特に、閾の存在を考慮した人間の選択行動モデルに着目すると、これまでに多くのモデルが提案されている。これらのうち

代表的なものを整理すると次のようになる。

(1) 補償型モデル

- ・最小知覚差 (Minimum Perceivable Difference: MPD) モデル: Krishnan¹⁾により提案されたもので、選択肢間の効用差が最小知覚差 (= 閾) より小さいときには無差別になることを許容した二項ロジットモデル。

(2) 非補償型モデル

- ・連結 (conjunctive) 型モデル: 各属性について最低許容水準 (= 閾) を設定し、代替案を構成するすべての属性についてその基準を満たす代替案のみを選択の対象とする決定戦略モデル。
- ・分離 (disjunctive) 型モデル: 各属性について十分選択するに足る水準 (= 閾) を設け、一つでもその水準を超える属性があればその代替案が選択の対象となる決定戦略モデル。
- ・EBA (Elimination by Aspect) モデル: Tversky²⁾によって提案された考え方で、属性を自分が望ましいと思う条件 (= 閾) を満たすか否かで0-1のアスペクトとして捉え、各アスペクトについてそれぞれの代替案がそのアスペクトを持つか否かによって代替案を削除していき、最後の1つの代替案を残すという決定戦略モデル。

(3) 補償型と非補償型の両方の特性を持つモデル

- ・属性別の閾を考慮したロジットモデル: Young and Bertram³⁾により提案されたモデル。連結型モデルと同じ考え方によって、属性別に閾を設定し、ロジットモデルを繰り返して推定することによって説明力の大きい属性のみが残るように操作する。最終的に残るモデルは効用最大化原理を満たす補償型モデルであるが、属性削除の過程で非補償型モデルの考え方をを用いる。

このように、閾を考慮したさまざまな行動モデルが提案されているが、閾としては、いわゆる「刺激閾」に相当するものと「弁別閾」に相当するものの2種類があることに留意する必要がある。ここで、「刺激閾」とは、特定の刺激を知覚できる最小の刺激の大きさ(例えば、可視域等)を指すのに対して、「弁別閾」とは、あくまでも2つの刺激の差を正しく知覚できる最小の刺激差である。例えば、EBAモデルであっても、属性値の絶対値によって代替案を削除する方法を用いる場合には、閾は刺激閾と見なすことができるが、Recker and Golob⁴⁾のように最適となる選択肢の属性値と対象とする選択肢の属性値との差の比率によって代替案を削除する方法を用いる場合には、閾は一種の弁別閾であるといえる。

本研究で取り扱うのは、交通サービスに対する人間の

反応に違いが生じる閾である。ここでは、この閾を最小知覚差として定義する。最小知覚差は、刺激の絶対値ではなく差に対して閾を設けることから一種の弁別閾に相当するものと考えることができる。なお、交通サービスの要素としては、時間や費用等を想定する。MPDモデルでは、交通サービス消費による満足は、効用 (utility) として表現可能であり、人間は、個々の交通サービスの属性別ではなく、交通サービス属性から構成される(間接)効用に対して閾を持つと考える。また、本研究では、効用関数は単純化のため属性値の線形和によって表されると仮定する。

通常、交通行動調査で観測できるのは人間の「反応」のみである。ここで、本研究では、反応として「効用最大化行動」を、それに対する刺激として「交通サービス水準」をそれぞれ対応させるものとする。つまり、交通サービス水準によってもたらされる効用差がある一定値以上の場合にのみ、効用の最大となる交通サービスが選択され、そうでないときにはランダムに選択されると考える。したがって、行動全体としてみれば、必ずしも効用最大化行動をしないことを仮定することとなる。この考え方は、Simon⁵⁾⁶⁾の「限定合理性」に準拠しているものと見なせるであろう。なぜなら、人間の行動は、限定された計算能力と不完全な情報とに基づいて選択を行うとする限りにおいては経済合理的である、という前提を置いているためである。

3——鉄道経路選択行動における最小知覚差の計測

3.1 計測にあたっての基本的考え方

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。

(1) MPDモデルの基本的な考え方

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 があるとする。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、

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

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、

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

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) $[A_1 \neq A_2] \cap [A_2 \neq A_3] \cap [A_1 \neq A_3]$

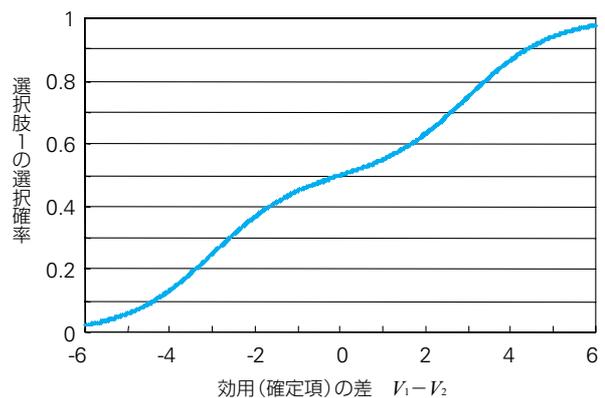
だが、いずれの無差別のケースが発生するかは、事前には分析者に明らかでなく、また無差別な選択肢グループ内で各選択肢がどのような確率で選択されるかについても事前情報はない。本研究では、人間は効用差を正しく判断できないときにはランダムに選択するという仮定を置いていること、ならびに分析の便宜性を考慮して、効用差がMPD未満の組み合わせを含むケース(3肢の例でいえば、先の(i)~(vii)の7ケース)の確率は、全選択肢に等分されるものと仮定する。これは、2肢のケースにおいて配分率 θ を1/2とすることと同じである。

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。

なお、MPDモデルにおける選択確率と効用差との関係を、二肢選択の条件の下で例示したものが、図-1である。これからもわかるように、MPDモデルでは、効用差がゼロに近づくと、効用差を正しく知覚できずランダム選択されることの影響が発生するので、選択確率50%の近傍で選択確率分布の傾きが緩やかになる^{注1)}。



■図-1 MPDモデルにおける選択確率分布関数形の例
(二肢選択, MPD=3, スケールパラメータ=1を仮定)

(3) MPDの推定方法

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。

3.2 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

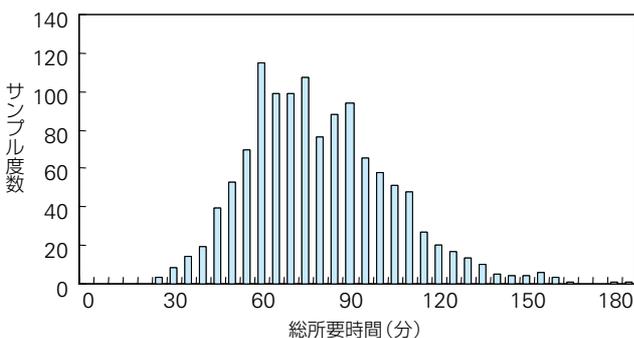
サス((財)運輸経済研究センター)における首都圏通勤利用客の母集団からサンプリングしたものである。調査は、1995年10～11月にアンケート調査方式によって実施されたものである。サンプリングに当たっては、同一ODペア間で代替経路が2つ以上となるものを選定し、最終的に得られた1,218サンプルを分析に用いた。

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。

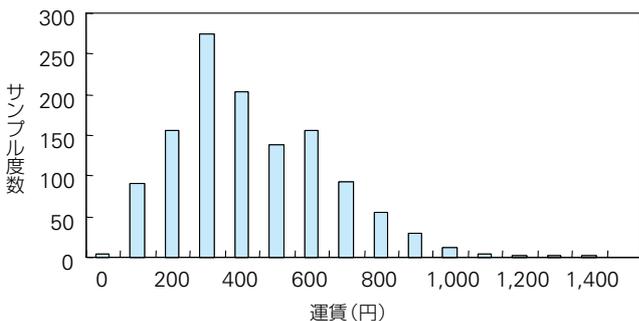
■表—1 モデルの特性変数とその定義

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

サンプルの選択実績に関して、総所要時間ならびに運賃の分布を示したものが図—2と図—3である。平均総所要時間が約78分(標準偏差約35分)、平均運賃が約478円(標準偏差約214円)となっている。第4回東京都市圏パーソントリップ調査(1998年時点の調査)のデータ⁷⁾によれば、東京区部への平均通勤所要時間は56分となって



■図—2 サンプルの総所要時間分布



■図—3 サンプルの運賃分布

いることから、サンプルの平均所要時間はこれより少し長いことがわかる。これは、本サンプルでは、複数の代替経路のあるODペアを選別したため、比較的距離の長いODペアのデータが多くサンプルに含まれていることが原因と考えられる。

(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。推定結果を示したものが表—2である。

■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	(-3.63)	-0.00168	(-3.81)
アクセス時間	分	-0.175	(-13.4)	-0.163	(-13.6)
イグレス時間	分	-0.129	(-10.0)	-0.118	(-10.1)
乗車時間	分	-0.107	(-9.90)	-0.0982	(-9.94)
乗換時間	分	-0.00366	(-1.92)	-0.00360	(-1.87)
待ち時間	分	-0.230	(-6.00)	-0.207	(-5.90)
乗換回数	回	-0.757	(-6.20)	-0.691	(-6.17)
混雑抵抗指標	分	-0.0131	(-4.87)	-0.0114	(-4.56)
最小知覚差		0.136	(2.24)	—	—
サンプル数		1218		1218	
初期尤度		-1338.1		-1338.1	
最終尤度		-776.3		-786.0	
DF調整済尤度比		0.418		0.411	
的中率		74.7%		74.6%	

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)に相当する結果が得られた。この数値は、直感的には妥当な範囲内の数値のように思われる。

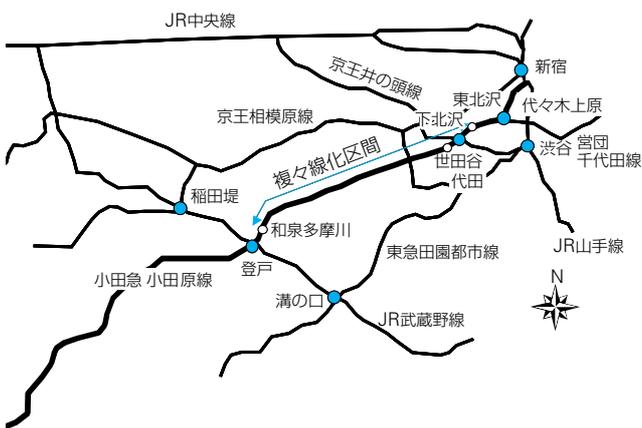
4——MPDが鉄道経路選択行動に与える影響

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、東京圏都市鉄道プロジェクトを用いて検討する。

4.1 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—4を参照)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と同一の設定を用いた。(詳細については、文献⁸⁾を参照されたい。)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—4 事例分析の対象区間

■表—3 対象プロジェクトの概要

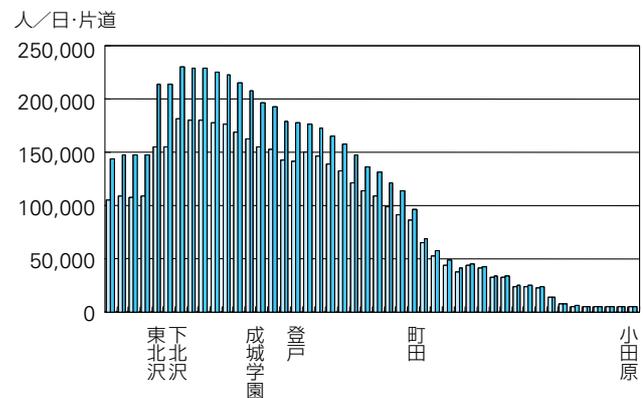
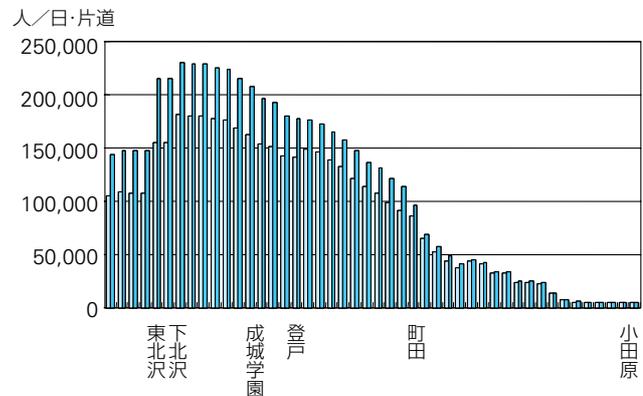
路線名	小田急小田原線
区間	和泉多摩川—東北沢
整備延長	10.2km
事業内容	複々線化
所要時間	急行：登戸→新宿(27分→19分)
	各駅：登戸→新宿(38分→32分)
運行本数	27本/時→37本/時

4.2 分析結果

withケース、withoutケースそれぞれについて3章で推定された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それぞれ行った。

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—5である。これらの図の横軸は、小田急小田原線の駅を新宿を起点に小田原まで順に並べたものであり、各駅間の1日あたり片道の駅間断面交通量が縦軸に示されている。

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。

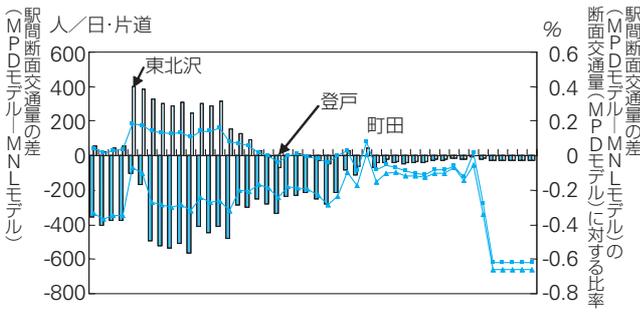


■図—5 対象路線における駅間断面交通量の推計結果

注1：上がMPDモデル、下がMNLモデル
注2：各駅間について左側がwithoutケース、右側がwithケース

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—6である。なお、この図の横軸も、先の断面交通量の図と同様に、小田急小田原線の駅を新宿を起点に左から小田原まで順に並べたものである。これより、まず、両者の差は高々600人/日・片道であり、駅間断面交通量の100,000~200,000人/日・片道のオーダーと比較して、両者の差はかなり小さい。また、両モデルの対象路線駅間断面交通量

差のwithoutケースにおける断面交通量に対する比率をみると、高々0.7%にすぎないことがわかる(ちなみに、人キロベースで比較した場合は、高々1.9%)。これは、推定された最小知覚差 δ が、選択肢間の効用差に対して十分に小さいために、選択確率にはほとんど影響を与えていないことが原因であると考えられる。したがって、MPDを考慮する場合であっても、MNLモデルの結果とほぼ同一の推計結果が得られ、その差は、実務的な視点から見ればほぼ無視できると考えられる。



■図一六 対象路線の駅間断面交通量のモデル間比較
注1: 棒グラフの左側がwithoutケース、右側がwithケースの駅間断面交通量の差
注2: 折れ線グラフは、各ケースの差の駅間断面交通量に対する比率

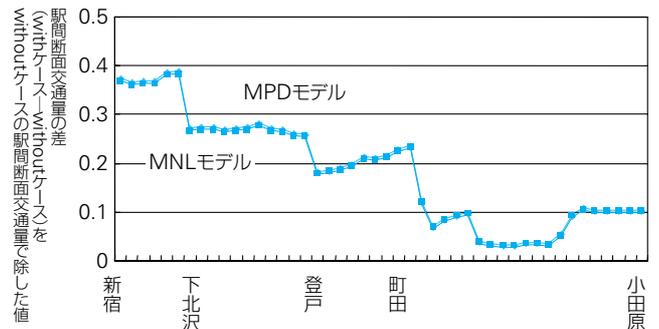
図一六を少し詳しく見ると、withoutケースにおいてはほぼ全断面にわたって、MPD < MNLとなっていることがわかる。これは、MPD未満の効用差である競合路線の存在によって、その差がMNLモデルでは過大に評価されたためと考えられる。ただし、町田以遠については、ほぼ両者の差はほとんどなくなっており、これはこの区間では、都心に向かう他の路線との効用差がMPD以上であるためと考えることができる。一方で、withケースでは、複々線化区間である登戸～東北沢間では、MPD > MNLとなっているが、それ以外の区間ではほぼMPD = MNLとなっていることがわかる。これは一見すると、当初予想とは異なる結果となっているが、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。表一2からも明らかなように、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。ただし、図一七を見ても明らかなように、プロジェクト有無による需要の変化割合の差は両モデル間で限りなく同一であり、それらの差は最大でも2.0%程度でしかないという結果が得られた。この差は、実務的な視点から見ればほぼ無視できるオーダーであると考えられる。

以上から、事例を用いた分析結果をまとめると次のようになる。

- ・事前に予想されたとおり、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、断面交通量ベースで高々0.7%程度、人キロベースで高々1.9%程度である。

- ・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、当初予想とは異なり、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、両モデル間での需要変化割合の差は、高々2%程度である。



■図一七 駅間断面交通量でみたモデル感度の比較

5 おわりに

(1) 本研究の成果

本研究では、人間の交通サービスに対する効用無差別と判断する最小知覚差(MPD)を実証的に測定し、それが交通需要分析に与える影響を実証的に分析した。MPDの計測に当たっては、Krishnanの提案するMPDモデルを特定の仮定の下で多選択肢に改良して用いた。また、実証分析としては、東京圏の都市鉄道における通勤目的の利用者選択行動への適用分析を行った。その結果、MPDとして乗車時間換算で約76秒に相当する結果が得られた。また、複々線化による改良事業を対象に、MPDを考慮した時(MPDモデル適用時)と考慮しない時(MNLモデル適用時)との推計される需要を比較した。その結果、効用が同レベルの代替経路が存在する際にはMNLモデルはMPDモデルよりも大きめの需要を推計すること、プロジェクト実施等によるサービス水準の変化については、逆にMPDモデルの方がMNLモデルよりも大きめに変化分を推計する可能性があること、ただしこれらの差は高々1~2%との結果が得られた。交通需要分析モデルの精度を考慮するならば、これらの差は十分無視できる程度の大きさであると考えられる。

以上の結果から総合的に判断すると、少なくとも東京圏の都市鉄道経路選択行動に関しては、交通需要分析の実務の観点から見れば、人間の最小知覚差による影響は無視できるほど小さく、したがって、実務上、交通需

要分析モデルの中に最小知覚差の影響を明示的に考慮する必要はないと結論づけられる。

(2) 本研究に残された課題

本研究には、いくつかの課題が残されている。

まず、本研究で求められたMPDの数値の妥当性に関しては、さらなる実証的検討が必要であると考えられる。ただし、閾は、対象とする行動や人、環境等によって異なるものである。実際、Krishnan¹⁾は、通勤目的の高速鉄道利用者の駅アクセス交通機関選択問題(選択肢=|徒歩, 自家用車|)にMPDモデルを適用した結果、MPDは所要時間換算で約176.9秒という結果を得ている。データの詳細が不明であるため、本研究で得られた数値との比較は困難であるが、本研究で得られた値とは大きく異なっていることは確かである。本来、MPDは、旅行者の全所要時間との比率や旅行の目的、対象とする選択問題の種類(交通機関選択, 経路選択等)等によって影響を受けることが考えられる。その意味で、本研究で得られたMPDは、東京圏の鉄道経路選択行動で得られた数値であることに留意が必要である。

また、使用されているデータの信頼性の問題もある。表一1に示される各種変数データとして標準的な数値が設定されているが、このデータにわずか60秒程度のMPDを推定できるだけの精度があるかどうかについては、疑問がないわけではない。特に、所要時間に関連するデータは、概ね分を単位として設定されていることから、これをもとに秒単位の行動を分析することが妥当であるかどうかには、十分な検証が必要であろう。

次に、MPDを考慮することによって便益計測にどのような影響を及ぼしうるのかについても、今後の研究課題である。MPDモデルは効用最大化原理と整合したモデルではないため、MNLモデルでしばしば適用される期待最大効用の概念を直接適用することはできない。効用最大化原理に当てはまらない人間行動モデルを適用する際、プロジェクト実施による便益をいかに計測すべきかは、MPDモデルに限定されない重要な課題と考えられる。

最後に、本研究では、効用差が微少な選択肢間の選択行動の事例として、東京圏の鉄道経路選択行動を取り上げたが、従来の研究⁹⁾が指摘するように、経路の重複等、誤差項における選択肢間の相関の問題が存在する可能性を鑑みれば、必ずしもベストの事例とはいえない面もある。今後は、以上のような問題の少ない他の事例についても同様の検証をしていくべきであると考えられる。

謝辞: 本研究のシミュレーションの実施に当たっては、(株)企画開発の早崎詩生氏、井上真志氏から多大なご協力をいただいた。また、匿名の査読者からはMPDモデルと精神物理学との関係およびMPDモデルの特性に関する貴重な意見を頂いた。ここに深く感謝する次第である。

注

注1) 二肢選択のMPDモデルにおける選択確率曲線について

「効用差が小さいときには人々はその差を正しく認知できない」というMPDモデルの特性から考えれば、図一1において、効用差=0付近(あるいは効用差の絶対値がMPD δ 以下の領域)で、選択確率は50%で一定となるべきなのではないかと直感的に考えられるかもしれない。だが、図一1からもわかるように実際にはそうならない。この違いは、式(1)、(2)からもわかるように、MPD δ が、効用の確定項の差 $V_1 - V_2$ ではなく、全(間接)効用の差 $U_1 - U_2$ に対して定義されていることによるものと思われる。

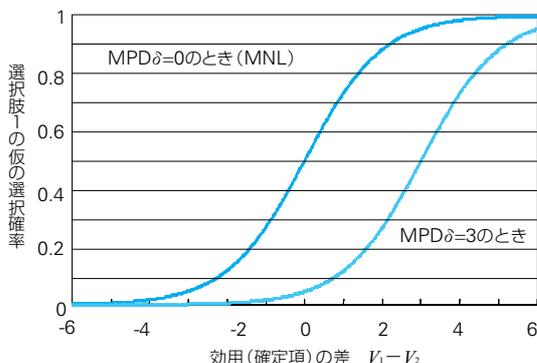
具体的には以下のように説明できる。

まず、式(3)からもわかるように、二肢選択のMPDモデルにおける仮の選択確率は、同一状況下のMNLモデルにおける当該選択肢の効用の確定項に定数 $-\delta$ を加えた場合の選択確率と同一となる(当然ながら、MPD $\delta=0$ のケースにおけるMPDモデルはMNLモデルと完全に一致する)。したがって、二肢選択のもとにおける仮の選択確率 \hat{p}_1 (あるいは \hat{p}_2)を表す曲線は、(MPD $\delta=0$)のMNLモデルのロジスティック曲線を効用差の軸方向へ δ だけ平行移動させたものとなる。二肢選択ケースにおける選択肢1の仮の選択確率 \hat{p}_1 の曲線の例を示したものが図一8である。図一8より、たとえ効用確定項の差 $V_1 - V_2$ がMPD $\delta(=3)$ 以下であっても、効用関数中の誤差項の影響により、 $\hat{p}_1 > 0$ となることがわかる。これは、効用確定項の差 $V_1 - V_2$ がMPD δ 以下の場合であっても、誤差項を含む全効用の差 $U_1 - U_2$ は、特定の確率でMPD δ より大きくなりうることを示している。

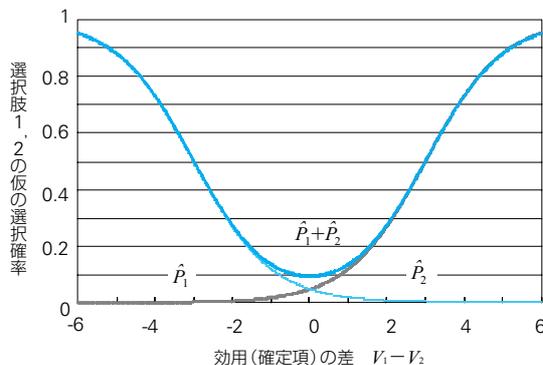
そして、同様の状況が全ての選択肢について発生する。二肢選択のもとにおける、選択肢1と2の各々の仮の選択確率曲線を同一のグラフ上に示したものが、図一9である。ここで、本文中でも示したとおり、各選択肢の仮の選択確率の総和は1にならず、残りにあたる「同程度に望ましい」状態が発生する。その残余確率は、式(4)によって正值として求められる。これを図一9に沿って図解すれば、 $\hat{p}_1 + \hat{p}_2$ の曲線を上下逆に見た左右対称のベル型の曲線が、「同程度に望ましい」状態が発生する確率に該当する。図一10の $1 - \hat{p}_1 - \hat{p}_2$ の曲線は、図一9の逆ベル型曲線を逆にして改めて図示したものである。本論文では、この残余確率が全選択肢に等分されることが仮定されているので、二肢選択のもとで等分された残余確率は、図一10における $\frac{1}{2}(1 - \hat{p}_1 - \hat{p}_2)$ の曲線として表される。これを各選択肢の仮の選択確率、例えば選択肢1の場合に加えることによって、最終的な選択確率、例えば \hat{p}_1 の曲線が得られることになる。ここで図一10から、 $\frac{1}{2}(1 - \hat{p}_1 - \hat{p}_2)$ の値が効用差=0近辺で最大となることが、最終的な選択確率の傾きが効用差=0近辺で緩やかになることの原因となっていることがわかる。なお、MPDモデルの選択確率曲線の形状は、MPD δ の値とスケールパラメータ値に依存する。図一11からもわかるように、MPD δ の値が大きいほど $V_1 - V_2 = 0$ 近辺における曲線の傾きはゼロに近づく。

参考文献

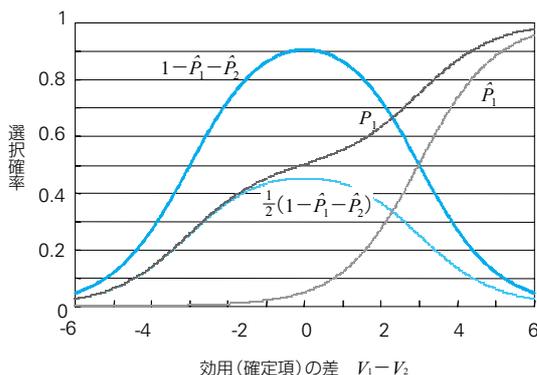
- 1) Krishnan, K. S.: Incorporating Thresholds of Indifference in Probabilistic Choice Models, Management Science, Vol.23, No.15, pp.1224-1233, 1977.
- 2) Tversky, A.: Elimination by Aspects: a theory of choice, Psychological Review, 79, pp.281-299, 1972.
- 3) Young, W. and Bertram, D.: Attribute Thresholds and Logit Mode-Choice Models, Transportation Research Record, 1037, pp.81-87, 1985.
- 4) Recker, W. W. and Golob, T. F.: A Non-compensatory Model of Transportation Behavior based on Sequential Consideration of Attributes, Transportation Research, Vol.13B, pp.269-280, 1979.
- 5) Simon, H. A.: The Science of the Artificial, MIT Press, 1981.
- 6) Simon, H. A.: Theories of Decision-Making in Economics and Behavioral Science, American Economic Review, Vol.49, Issue 3, pp.253-283, 1959.
- 7) 東京都都市圏交通計画協議会: 東京都都市圏の総合的な交通実態調査の結果概要, 1999.



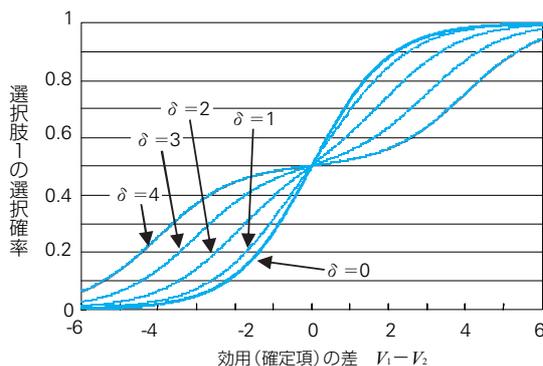
■図-8 仮の選択確率曲線 (MPD=0と3のケース)
(二肢選択, スケールパラメータ=1を仮定)



■図-9 各選択肢の仮の選択確率およびその和の曲線
(二肢選択, MPD=3, スケールパラメータ=1のケース)



■図-10 最終的な選択確率曲線の導出
(二肢選択, MPD=3, スケールパラメータ=1のケース)



■図-11 MPD deltaの値とMPDモデルの選択確率曲線
(二肢選択, MPD=0, 1, 2, 3, 4, スケールパラメータ=1のケース)

8) 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.
9) 屋井鉄雄, 岩倉成志, 伊東誠: 鉄道ネットワークの需要と余剰の推計法について, 土木計画学研究・論文集No.11, pp.81-88, 1993.
10) Ewing, R. H. : Psychological Theory Applied to Mode Choice Prediction, Transportation, No.2, pp.391-410, 1973.
11) 小林潔司, 松島格也: 限定合理性と交通行動モデリング: 研究展望, 土木

学会論文集, No. 688/IV-53, pp. 5-17, 2001.
12) 森川高行, 倉内慎也: 合理的選択の拡張とモデリングへのインプリケーション, 土木学会論文集, No.702/IV-55, pp.15-29, 2002.
13) 朝倉康夫, 羽藤英二: 交通ネットワーク上の経路選択行動: 観測と理論, 土木学会論文集, No.660/IV-49, pp.3-13, 2000.
14) 木下富雄: 社会心理学における閾の概念, 心理学評論, 心理学評論刊行会, Vol.26, No.3, pp.78-107, 1983.

(原稿受付 2003年6月23日)

Minimum Perceivable Difference in Urban Railway Route Choice and its Effect on Demand Analysis

By Hironori KATO, Keiichi ONODA and Hitoshi IEDA

This paper aims to measure the human threshold of travel behavior, namely minimum perceivable difference (MPD). We improve the MPD model originally proposed by Krishnan (1977) to measure the MPD for multi-alternative choice problem. By estimating the model of route choice behavior in the Tokyo Metropolitan urban railway network, we find that the MPD is around 76 seconds. Then, we discuss the impact of the MPD on the travel demand by applying the models to the railway project in Tokyo Metropolitan Area. We conclude that 1) MNL model may overestimate the demand when the difference of utility between alternatives is small, but its impact is quite small ; 2) MPD model tends to have a sensible parameter, but its impact is small as well.

Key Words ; *minimum perceivable difference model, urban railway route choice, travel demand analysis*