

駅構内における移動補助設備設置計画支援システムに関する基礎的研究*

A Basic Study on the Pedestrian Assistance Facilities Allocation Planning

Support System at Railway Station

斎藤 正俊**, 谷下 雅義***, 鹿島 茂****

By SAITO Masatoshi**, TANISHITA Masayoshi***, KASHIMA Shigeru****

1. はじめに

近年の都市内における鉄道整備は、駅構内の整備に重点が置かれている。とりわけ、利用者の移動負担を軽減することを目的に、エスカレータやエレベータ等の移動補助設備の設置が急速に進められている。

高齢者人口の急激な増加や交通バリアフリー法の制定等の社会情勢を考えると、エスカレータやエレベータ等の移動補助設備の必要性は今後さらに高まることが予想される。そのため、これらの移動補助設備は、設置に伴う資金的・技術的・物理的制約が大幅に緩和され、設置可能な場所がさらに増加すると考えられる。従って、エスカレータやエレベータ等の移動補助設備を設置する際、事前にその効果を推計・評価し、代替案の比較検討を行うことがより一層重要となる。しかし現在、その手法は確立されていない。

移動補助設備の設置効果は、移動補助設備が利用者の利便性向上を目的に設置され、また、設置に伴う事業者側の制約は今後緩和されることを考えると、利用者便益（移動補助設備の設置による移動負担の軽減量）を用いて表現することが適当であると考えられる。よって、移動補助設備の設置効果を事前に推計・評価するには、利用者の行動をモデル化し、そのモデルを用いて、移動補助設備設置による利用者の行動変化及び利用者便益の変化を予測することが必要であると考えられる。

そこで本研究は、移動補助設備の設置位置の決定を支援するシステムを開発することを念頭に、第一に、利用者の行動モデルを作成し、ケーススタディによってモデルの推定と検定を行い、第二に、そのモデルを用いて、移動補助設備の設置効果を利用者便益によって推計・評

価することを目的とする。

人間の行動を表すモデルは、大別すると個人行動モデルと流動モデルの2つに分類されるが、鉄道利用者の個人属性は今後さらに多様化することが予想されるので、本研究では、個人属性や数多くの政策変数を考慮できる前者のモデルを採用し、また、駅構内の利用者行動を決定する特性をすべて観測することは不可能であると考えられるため、非集計行動モデルを採用する。

2. 非集計行動モデルの作成

2.1. 選択構造の仮定

合理的行動を仮定するため、モデル対象を駅構内における通勤・通学者（高校生以上）の単独行動に限定し、また、そのときの一連の行動を経路選択行動として理解する。よって、トイレや喫煙所に行くなどの副次的行動は対象としない。

ランダム効用理論を仮定する非集計行動モデルは、利用者が経路を選択する確率を推計する。つまり、利用者の行動モデルは、経路選択確率モデルによって一般化される。

利用者の経路選択行動をモデル化するには、各利用者の行動順序、つまり、経路選択構造を仮定する必要がある。そこで、任意の個人 n の経路選択構造を次のように仮定する（図1参照）。

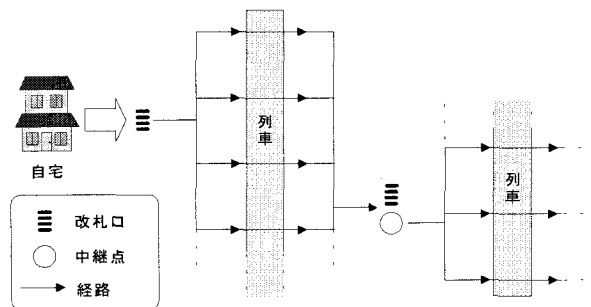


図1 個人 n の行動フロー

*Keywords: 交通弱者対策, ターミナル計画, 行動モデル

** 正会員, 工修, 中央大学理工学部

*** 正会員, 博(工), 中央大学理工学部

****正会員, 工博, 中央大学理工学部

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27
TEL: 03(3817)1817 FAX: 03(3817)1803
Email: mabo@kc.chuo-u.ac.jp

個人 n は、自宅を出発して最初に乗車する駅の改札口を通過して構内に入る。この改札口を起点 (Origin) とする。次に、移動設備を利用してホーム階に行き、予定した車両に乗車する。

下車または乗換する駅でその車両から降車し、移動設備を利用して改札口または乗換ホームに向かう。下車する場合は、改札口を着点 (Destination) とする。乗換する場合は、乗換ホームに向かう経路の途中に便宜的に中継点を設定し、この点を着点とする。中継点は、その後の経路の起点となる。

このとき、任意の OD 間を通過する個人 n の経路選択行動は、乗車駅での移動設備の選択、車両の選択、降車駅での移動設備の選択などの部分集合に分割できる。そこで、個人 n の選択構造は段階的選択構造であると仮定し、選択構造を図 2 のように考える。

ただし、実際は、個人 n の利用可能な選択肢は図 2 に示した選択肢よりかなり限定されることが多く、そのため、個々人の行動範囲を的確に限定し、選択肢を絞り込むことが重要となる。

選択構造のレベルは、各部分集合内の選択肢の類似性に応じて決定され、選択肢の類似性が小さい部分集合ほど、レベル数が大きくなる。また、類似性の小さい部分集合ほど、個人の経路選択に大きな影響を及ぼすことが一般に知られている¹⁾。

そこで今回は、降車駅における選択より、乗車駅における選択の方が、経路選択に影響を及ぼすと仮定して、選択構造を決定した。

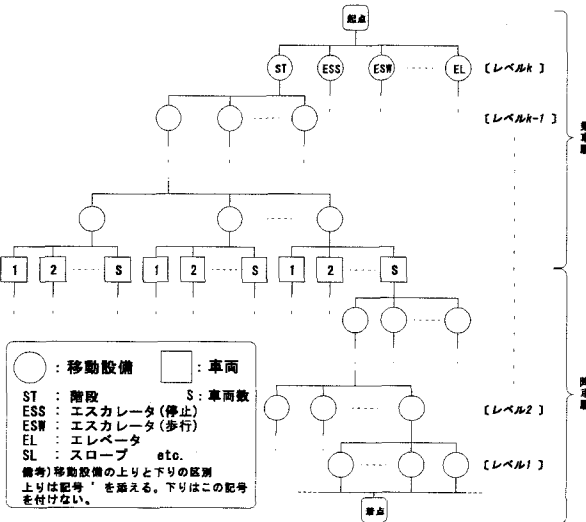


図 2 任意の OD 間を通過する個人 n の選択構造

2.2. 非集計行動モデルの作成

ここでは、図 2 の選択構造を表現する Nested Logit (NL) モデルを用いる。

図 2 の選択構造を持つ個人 n の選択肢集合を J_n とおく。そして、選択肢集合 J_n は、 $k-1$ 個 ($k \geq 2$) の部分集合 $B_n^1, B_n^2, \dots, B_n^{k-2}, B_n^{k-1}$ にわけられるとする。ただし、 B_n^{k-1} は、[レベル k] の部分集合に対応している。

このとき、個人 n がレベル 1 の選択肢 i ($i \in B_n^1 \in B_n^2 \in \dots \in B_n^{k-2} \in B_n^{k-1}$) を選ぶ確率 $P_n(i)$ は、次式で与えられる²⁾。

$$P_n(i) = P_n(B_n^{k-1}) P_n(B_n^{k-2} | B_n^{k-1}) \dots P_n(B_n^1 | B_n^2) P_n(i | B_n^1)$$

ただし、

$$P_n(B_n^{k-1}) = \frac{\exp\{\lambda_k [V_n(B_n^{k-1}) + \Lambda_n(B_n^{k-1})]\}}{\sum_{B^{k-1} \in B_n^k} \exp\{\lambda_k [V_n(B^{k-1}) + \Lambda_n(B^{k-1})]\}}$$

$$P_n(B_n^{k-2} | B_n^{k-1}) = \frac{\exp\{\lambda_{k-1} [V_n(B_n^{k-2} | B_n^{k-1}) + \Lambda_n(B_n^{k-2} | B_n^{k-1})]\}}{\sum_{B^{k-2} \in B_n^{k-1}} \exp\{\lambda_{k-1} [V_n(B^{k-2} | B_n^{k-1}) + \Lambda_n(B^{k-2} | B_n^{k-1})]\}}$$

$$P_n(i | B_n^1) = \frac{\exp\{\lambda_1 [V_n(i) + \Lambda_n(i | B_n^1)]\}}{\sum_{B^0 \in B_n^1} \exp\{\lambda_1 [V_n(B^0) + \Lambda_n(B^0 | B_n^1)]\}}$$

$$\Lambda_n(B^K) = \frac{1}{\lambda_K} \ln \left[\sum_{B^{K-1} \in B^K} \exp\{\lambda_K [V_n(B^{K-1}) + V_n(B^{K-1} | B^K) + \alpha \Lambda_n(B^{K-1})]\} \right]$$

ここで、

λ_k : [レベル k] のパラメータ

α : $K > 1$ のとき 1 となり、 $K \leq 1$ のとき 0 となる変数

B^K : [レベル $K+1$] の選択可能な部分集合

B^0 : [レベル 1] の選択可能な部分集合

$P_n(B_n^{k-1})$: 個人 n が [レベル k] で部分集合 B_n^{k-1} を選択する確率

$P_n(B_n^{k-2} | B_n^{k-1})$: 個人 n が [レベル k] で部分集合 B_n^{k-1} を選択したときの条件のもとでの [レベル $k-1$] の選択可能な部分集合 B^{k-2} から部分集合 B_n^{k-2} を選択する確率

$P_n(i | B_n^1)$: 個人 n が [レベル 2] で B_n^1 を選択したときの条件のもとでの [レベル 1] の選択可能な部分集合 B^0 から選択肢 i を選択する確率

$V_n(*)$: * のみに関連した効用の確定項 (効用関数)

となる。

3. ケーススタディ

3.1. 起点駅の選定

起点となる駅は、都営三田線の西高島平駅と新高島平駅の 2 駅とした。両駅はどちらも高架駅であり、改札階からホーム階に上がるとき、階段とエスカレータの選択が可能である。また、停車列車はすべて 6 両編成である。よって、選択構造は同一となる。

3.2. 都営三田線利用実態アンケート調査

(1) 調査概要

調査の概要を表1に示す。

表1 調査の概要

調査日時	2000年11月17日(金), 18日(土)
調査対象	三田線利用の通勤・通学者(高校生以上)
対象地域	板橋区高島平3丁目, 4丁目, 5丁目, 三園1丁目, 2丁目
配布方式	無作為戸別投函郵送回収方式
配布枚数	4000枚
回収枚数	642枚(回収率:16.2%)
調査項目	券種, 性別, 年齢, 階段昇降特性, 乗降駅, 乗降時刻, 移動人数, 選択経路, 経路選択理由, 階段選択理由 等

(2) 集計結果

集計作業の結果, 今回は, 選択構造及び選択可能な移動設備の位置関係が同様の巣鴨駅三田方面改札利用者, 水道橋駅三田方面改札利用者, 日比谷駅中央改札利用者を対象にモデルを作成することに決定した。表2に乗降駅別の分析対象サンプル数をまとめる。

表2 乗降駅別サンプル数

駅名	巣鴨	水道橋	日比谷	計
西高島平	88	36	18	142
新高島平	74	16	10	100
計	162	52	28	242

3.3. 母集団全体の選択構造の作成

調査結果より, 巣鴨駅三田方面改札, 水道橋駅三田方面改札, 日比谷駅中央改札をそれぞれ着点に設定した。

よって, モデルの妥当性を検証するため, オフピーク時を対象にモデルを作成する。表3にピーク時とオフピーク時の定義を示す。

表3 ピーク時とオフピーク時の定義

時間帯	車内 着席	滞留現象			
		改札口	移動設備	通路	ホーム
ピーク	不可	有	有	有	有
オフピーク	可	無	無	無	無

利用実態アンケート調査は, ピーク時の経路選択行動のデータが極めて多い。従って, ピーク時の経路選択行動データから, オフピーク時の経路選択行動を推定する必要がある。ただし, 今回のケーススタディの場合, 乗車駅は終日全車両着席可能であり, 移動設備やホーム及び通路, 改札口における滞留現象は認められない。そのため, 乗車駅の移動設備の選択は時間帯によらないと仮

定できる。また, オフピーク時の水平移動は最短距離を移動すると仮定すれば, 乗降車駅の構造上, 乗車駅の利用移動設備が決定すれば, 降車駅の利用移動設備の位置及び乗降車両の位置が一意的に定まる。結局, オフピーク時の経路選択行動は, オフピーク時における降車駅の移動設備の選択行動がわかれば推定できる。

オフピーク時における降車駅の利用移動設備は, ピーク時利用者の場合, 調査結果から直ちに判定することはできない。そのため, 降車駅の階段選択理由と経路選択理由の回答結果に基づいて判定した。このときの判定基準を表4に示す。

表4 判定基準

ピーク時 移動設備	アンケート調査の設問		オフピーク時 移動設備
	ST 選択理由	経路選択理由	
ST	①	(1)	ESS
		(2)	ESW
	②, ③		ST
ESW		(1)	ESS
		(2)	ESW
ESS			ESS

備考 ① 併設のエスカレータが混雑しているから

② 無理なく昇降できる距離だから

③ 健康のため

(1) 体力的に楽だから

(2) (1)以外を選択

このとき, 西高島平駅または新高島平駅の改札口(起点)から上記の着点までの選択可能な経路の集合 J は, 図3の選択構造で表される。

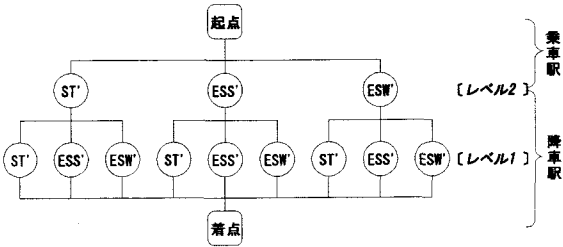


図3 ケーススタディにおける選択構造

3.4. モデルの推定と検定

各レベルにおける個人 n の効用の確定項(効用関数)を線形関数で仮定し, 同時推定法によりモデルを推定した。そして, 変数減少法に基づき, モデルの適合度が最大となるように特性変数の組合せを決定した。よって, 最終的にモデルに採用した特性変数の定義を表5に示し, モデルの推定結果を表6に示す。

表5 特性変数一覧

特性変数	定義
全移動時間	起点から着点までの構内移動時間 ³⁾
ESS固有ダミー	ESS=1, その他=0
誘導放送ダミー	誘導放送(有=1, 無=0)
左折ダミー	ホーム(左折=1, 右折=0)
ES女性ダミー	ES(女性)=1, その他=0
アクセス時間	起点から移動設備までの移動時間 ³⁾
垂直移動時間 / 全移動時間	移動設備移動時間 ³⁾ の全移動時間に対する割合
ホーム移動時間	ホーム上の移動時間 ³⁾
ESS固有ダミー	ESS=1, その他=0
ES女性ダミー	ES(女性)=1, その他=0
ST女性ダミー	ST(女性)=1, その他=0
垂直移動時間 / 全移動時間	移動設備移動時間の全移動時間に対する割合

表6 モデルの推定結果

特性変数	レベル2		レベル1	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値
乗車駅				
ESS固有ダミー	5.6306	4.64		
誘導放送ダミー	2.7610	3.13		
左折ダミー	0.8229	1.98		
ES女性ダミー	0.7529	2.09		
アクセス時間	-17.991	-6.34		
垂直移動時間 / 全移動時間	-40.661	-5.24		
ホーム移動時間			-12.593	-8.09
降車駅				
ESS固有ダミー			2.2489	6.55
ES女性ダミー			0.5141	3.16
ST女性ダミー			0.6226	2.16
垂直移動時間 / 全移動時間			-29.205	-8.33
λ	0.6554	4.88		
尤度比	0.598		0.456	
サンプル数	242		242	

推定されたモデルは、 $0 < \lambda < 1$ より、仮定した選択構造が成立し、また、すべてのパラメータは、符号条件が一致し、そして、統計的に有意となった。さらに、モデルの尤度比も高く、良好なモデルと言える。

3.5. 垂直移動設備の設置効果の推計

ランダム効用理論を仮定する非集計行動モデルでは、次に示す最大効用の期待値(EMU)によって利用者便益を表すことができる²⁾。

$$EMU = E(\max_{i \in B} U(i)) = \ln \sum_{i \in B} \exp(V(i))$$

上式を用いれば、移動設備の設置効果を利用者便益から推計することが可能となる。そこで今回は、図4に示す新高島平駅において、エスカレータの設置効果を推

計・評価するため、エスカレータがない場合の利用者便益を基準として、①、②、③の位置にそれぞれエスカレータを設置した場合の利用者便益の増加率を推計した。また、参考としてホーム階と改札階の高低差を1m縮めたときの利用者便益の増加率を同様に推計した。その結果を図5に示す。ただし、今回はデータ数の関係から、新高島平駅から乗車し、巣鴨駅で降車する男性利用者一人を年齢別に想定して利用者便益を推計している。

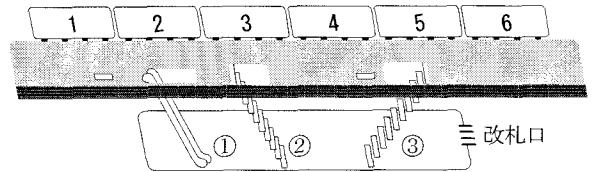


図4 新高島平駅構内図

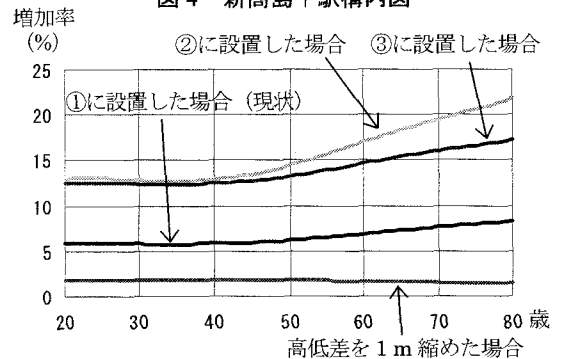


図5 エスカレータ設置による利用者便益の増加率

図5より、今回の条件下では、②の位置にエスカレータを設置したとき設置効果(利用者便益)が最大となり、①に設置した場合(現状)のおよそ2.2倍(20歳)、2.6倍(70歳)となることがわかる。また、高齢世代は、他の世代と比べて設置効果の差が大きいことから、従って、高齢になるほど、配置位置の検討が重要になると言える。

4. まとめ

本研究では、利用者行動を表すモデルを作成し、ケーススタディによって、モデルの妥当性を検証できた。そして、エスカレータの設置効果を利用者便益によって推計し、その設置位置を評価・検討することができた。今後は、設置効果をより詳細に推計・評価するとともに、適用範囲を拡大することが課題である。

参考文献

- 1) 土木学会土木計画学委員会編：非集計行動モデルの理論と実際，土木学会，1995
- 2) 佐野紳也：質的選択分析－理論と応用－，(財)三菱経済研究所，1990
- 3) 佐藤方彦 監修：人間工学基準数値式便覧，(株)技報堂出版，1992