

都市公共交通ターミナルにおける乗換抵抗の要因分析と低減施策による便益計測に関する研究*

A Study on Factor Analysis of the Transfer Resistance and Estimating the Benefit of the Reducing Project*

佐藤 寛之**, 青山 吉隆***, 中川 大****, 松中 亮治*****, 白柳 博章*****

By Hiroyuki SATOH**, Yoshitaka AOYAMA***, Dai NAKAGAWA****, Ryoji MATSUNAKA*****, and Hiroaki SHIRAYANAGI*****

1.はじめに

近年の高齢化の進行により、社会活動を支える公共交通機関においては、高齢者や障害者を含めた全ての人が利用しやすい旅客施設を整備する必要性が高まりつつある。特に、都市内交通においては、都市間交通と比べ乗車時間が短いため、乗換駅での乗換抵抗が移動抵抗全体に占める割合が大きい。そのため、多種多様な公共交通機関の結節点として重要な役割を担っている都市公共交通ターミナルでの乗換抵抗を低減するための施策を検討することは、今後の都市内交通施設計画において非常に重要である。

公共交通施設を利用する際の移動抵抗に関しては、様々な視点からの研究がなされている。特に、高齢者や障害者の視点を含めた施設のバリアフリー化に関する研究や、現在の公共交通施設での移動抵抗の把握と低減のための今後の課題を述べた研究や公共交通施設の改良に関する評価をした研究が多く見られる。これらの研究の中で駅やターミナルを対象とした研究の多くは、移動容易性をサービスレベル等を用いて表わしたり¹⁾、設備の整備度を評点化した^{2) 3)}ものであるが、移動抵抗が定量化されていない。

移動抵抗を定量化した研究として、飯田ら⁴⁾が提案した一般化時間は、アンケート調査により求めた乗換行動別の等価時間係数と、乗換時間との積により算出したものであり、等価時間係数については、属性の違いと心理的負担を考慮した指標である。また、加藤ら⁵⁾は、非集計ロジットモデルを用いて乗換行動別の時間価値を求め、乗換時間に混雑による

影響も考慮して一般化費用を算出している。しかし、乗換抵抗の要因を分析するまでには至っておらず、また乗降扉による乗換抵抗の違いを考慮していない。

そこで本研究では、乗換抵抗をより正確に定量化するために、以下の点を考慮することが可能な乗換抵抗指標を提案する。

- ・属性による乗換抵抗及び移動速度の違い
- ・乗換抵抗とその要因の定量化
- ・乗降扉による乗換抵抗及び経路の違い
- ・ダイヤを考慮した待ち時間による抵抗

そして、都市公共交通ターミナルとして京都駅を対象とし、本研究で提案する乗換抵抗指標を用いて、ターミナル施設全体の乗換抵抗要因を定量的に明らかにし、乗換抵抗を低減するための施策を提案する。さらに新設予定のターミナル施設として京都市営地下鉄東西線天神川駅を対象とし、路線間の乗換人員を考慮した上で、乗換抵抗低減施策による便益を計測することを目的とする。

2.乗換一般化費用の定義

(1) 乗換一般化費用

本研究で用いる乗換抵抗指標である乗換一般化費用を式(1)に示すように「到着車両の降車扉から乗換車両の乗車扉までの、各乗換行動の所要時間と各乗換行動コストの積の総和」と定義した。

$$GC(l, m, a_l, b_m, k) = \sum_n W_{n,k} \times t(l, m, a_l, b_m, k, n) \quad (1)$$

l : 到着車両

m : 乗換車両

a_l : 到着車両 l の降車扉

b_m : 乗換車両 m の乗車扉

$GC(l, m, a_l, b_m, k)$: 属性 k の到着車両 l の降車扉 a_l から乗換車両 m の乗車扉 b_m までの乗換一般化費用(円)

$W_{n,k}$: 属性 k の乗換行動 n のコスト (円/分)

$t(l, m, a_l, b_m, k, n)$: 属性 k の到着車両 l の降車扉 a_l から乗換車両 m の乗車扉 b_m まで移動の際の、乗換行動 n の所要時間(分)

*Key words : 交通弱者対策、ターミナル計画、乗換一般化費用

** 学生員 京都大学大学院工学研究科

*** フェロー 工博 京都大学大学院工学研究科

**** 正会員 工博 京都大学大学院工学研究科

***** 正会員 工修 京都大学大学院工学研究科

***** 学生員 工修 京都大学大学院工学研究科

(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 075-753-5759)

- n : 乗換行動 ($n=0$; 立位, $n=1$; 水平歩行, $n=2$; 階段下り, $n=3$; 階段上り)
- k : 属性
 ・高齢者 (65歳以上) (以下, 高齢者)
 ・非高齢者 (15~64歳) の通勤・通学目的 (以下, 通勤)
 ・非高齢者 (15~64歳) の買物・娯楽目的 (以下, 娯楽)

(2) 乗換行動コスト

乗換行動に起因する単位時間あたりの抵抗を貨幣換算した乗換行動コストは、式 (2) 及び図-1 に示すように 3 項の和と定義した。

$$W_{n,k} = W_{0,k} + V_k \times (C_{n,k} - C_{0,k}) + \delta_{n,k} \quad (2)$$

第 1 項…時間コスト: 立位の状態での時間経過に起因する抵抗を貨幣換算したもの

第 2 項…エネルギーコスト: 立位とのエネルギー消費量の差に起因する抵抗を貨幣換算したもの

第 3 項…心理コスト: 心理的負担に起因する抵抗を貨幣換算したもの
 V_k : 属性 k のエネルギー価値 (円/Kcal)

$C_{n,k}$: 属性 k の乗換行動 n の単位時間あたりのエネルギー消費量 (Kcal/分)

$\delta_{n,k}$: 属性 k の乗換行動 n の心理コスト (円/分)

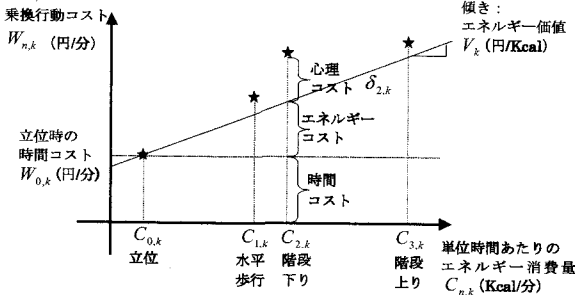


図-1 単位時間あたりのエネルギー消費量と乗換行動コストの関係

(3) 乗換行動コストの算出

式 (1) のうち $C_{n,k}$ は、MET 法を用いた日本体育・学校健康センター⁶⁾ のデータを用いて算出した。残りの $W_{0,k}$ 、 V_k 、 $\delta_{n,k}$ を算出するために、二項選択型アンケートを実施し、その結果から得られた選好意識データを用いて経路選択モデルを構築し、パラメータを推定した。推定結果を表-1 に示す。これより、時間コストについては、高齢者と娯楽はほぼ同じで、時間制約のある通勤が約 2 倍大きいという結果とな

表-1 パラメータ推定結果

	説明変数名	高齢者		通勤		娯楽	
		パラメータ	T 値	パラメータ	T 値	パラメータ	T 値
$W_{0,k}$	費用 (円)	-0.015	-1.604	-0.021	-3.301	-0.017	-3.091
	立位時間 (分)	-0.111	-0.814	-0.338	-3.028	-0.128	-1.408
	尤度比	0.145		0.119		0.220	
	サンプル数	55		82		129	
	時間コスト (円/分)	7.48		16.07		7.54	
V_k	費用 (円)	-0.067	-3.317	-0.027	-3.006	-0.039	-1.926
	エネルギー消費量 (Kcal)	-1.012	-3.088	-0.113	-1.035	-0.180	-0.792
	階段下りダミー	-3.412	-3.540	-	-	-	-
	尤度比	0.256		0.222		0.167	
	サンプル数	54		80		70	
$\delta_{n,k}$	エネルギー価値 (円/Kcal)	15.13		4.21		4.62	
	階段下り心理コスト (円/分)	58.52		-		-	

った。また、エネルギー価値については、肉体的負担が大きいと思われる高齢者の値が大きくなった。心理コストに関しては、各属性全ての乗換行動について推定した結果、高齢者の階段下りのみ有意な結果となった。

そして、式 (1) を用い乗換行動コストを算出した。その結果を表-2 に示す。これより、高齢者は階段昇降に非常に大きい抵抗を持っていることが分かった。また、時間制約のある通勤は全ての乗換行動において娯楽よりも大きい値となった。

表-2 乗換行動コスト (円/分) 算出結果

乗換行動	高齢者	通勤	娯楽
立位	7.48	16.07	7.54
水平歩行	33.51	28.17	20.84
階段下り	98.23	26.47	18.97
階段上り	81.49	39.95	33.80

(4) 乗換時間

降車扉から乗車扉までの乗換時間は、乗換行動別の所要時間の総和より求められる。エスカレータ・エレベータについてはそれぞれ所要時間を測定した。歩行・階段等は、JR 京都駅および阪急河原町駅において目視による定点観測で属性ごとに移動速度を測定し、距離と段数より所要時間を算出した。なお、属性は調査員の目視により判別した。移動速度の計測結果を表-3 に示す。

表-3 乗換移動速度の計測結果

乗換行動	属性	計測結果 (単位)	サンプル数
水平歩行	高齢者	1.10 (m/秒)	51
	通勤	1.32 (m/秒)	82
	娯楽	1.34 (m/秒)	46
階段上り	高齢者	1.30 (段/秒)	58
	通勤	1.59 (段/秒)	52
	娯楽	1.81 (段/秒)	45
階段下り	高齢者	1.53 (段/秒)	53
	通勤	2.07 (段/秒)	93
	娯楽	1.99 (段/秒)	48

(5) 乗換抵抗要因

式 (1) に式 (2) を代入することにより乗換一般化費用は式 (3) に示すような三項の和で表わされ、乗換抵抗を要因別に把握することができる。

$$GC(l, m, a_i, b_m, k) = W_{0,k} \times T(a_i, b_m, k) + W_{0,k} \times \{T'(l) - T'(m) - T(a_i, b_m, k)\} + \sum_n \{V_k \times (C_{n,k} - C_{0,k}) + \delta_{n,k}\} \times t(l, m, a_i, b_m, k, n) \quad (3)$$

第 1 項…乗換時間抵抗: 降車扉から乗車扉までの乗換時間による抵抗を貨幣換算したもの

第 2 項…待ち時間抵抗: ダイヤと乗換時間を考慮した待ち時間による抵抗を貨幣換算したもの

第 3 項…エネルギー消費及び心理的負担による抵抗: 乗換に要するエネルギー消費及び心理的負担による抵抗を貨幣換算したもの

$T(a_i, b_m, k)$: 属性 k の降車扉 a_i から乗車扉 b_m まで移動に要する

所要時間 (分) $(= \sum_i t(l, m, a_i, b_m, k, n))$

$T'(l)$: 到着車両の到着時間 $T'(m)$: 乗換車両の発車時間

3. 京都駅における乗換抵抗の要因分析と
その低減施策の提案

本章では、京都駅に発着する鉄道・バス・タクシーの内、計 21 路線を対象として、各路線間の乗換一般化費用を計測し、3つの観点より乗換抵抗の要因分析を行うと共に、低減施策の提案を行った。その際、京都駅全体の構造及び動線をネットワーク化すると共に待ち時間を考慮するために京都駅を発着する路線のダイヤを考慮した。また、乗降扉を考慮するために列車長及び列車停止位置を調査した。

(1) 待ち時間抵抗に関する分析

一つ目の分析として、乗換一般化費用の内、待ち時間抵抗の占める割合を示した一例を図-2 に示す。全ての路線間の割合を算出したところ、待ち時間抵抗が高齢者約 40%、通勤約 70%、娯楽約 60%と大きな割合を示していることが分かった。よって、この待ち時間抵抗を減らすことは乗換抵抗低減の施策として非常に重要である。しかし、待ち時間は列車の運行本数との相関が高く、列車は需要に応じて運行されているため、運行本数の増加よりも、接続を良くすることが考えられる。

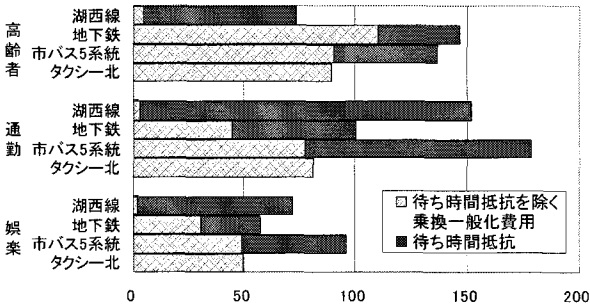


図-2 高槻方面快速・新快速からの乗換一般化費用(円)

また、待ち時間におけるエネルギー消費の低減のためにベンチの設置も施策の一つに挙げられる。表-4 は式 (1) より座位の乗換行動コストを求め、立位時に対する座位時の待ち時間抵抗の低減率を算出したものを示す。この結果より、特に高齢者にとってベンチや待合室の設置によって座って待つことによ

る効果が大きいことが分かった。また始発駅などでは、列車がホームで待機し、列車内の椅子で座って待つことも効果があると考えられる。

表-4 立位時・座位時の乗換行動コストと低減率

	高齢者	通勤	娯楽
立位(円/分)	7.48	16.07	7.54
座位(円/分)	3.90	14.91	6.27
低減率(%)	47.9	7.2	16.8

(2) エネルギー消費及び心理的負担に関する分析

二つ目の分析として、移動距離や乗換時間の異なる乗換経路を比較するために、待ち時間抵抗を除く乗換一般化費用に対するエネルギー消費及び心理的負担による抵抗の比を乗換負荷係数として算出した。一例を表-5 に示す。この値が大きい乗換経路ほど、階段などの負荷の大きい旅客設備を含む割合が多いことを示す。各路線間とも高齢者が最も大きい値となったが、特に下りが多い経路について係数の値が大きいことが分かった。これは京都駅には下りエスカレータの設置箇所が上りと比べ少ないため、階段を利用せざるを得ないことが原因として挙げられる。しかし、上下両方のエスカレータを階段に設置することは空間的制約により難しいため、乗降数の少ない駅では一台で昇降両方の機能を持つ列車運動型エスカレータの設置が設置コストから見ても有効といえる。また、エレベータは所要時間や定員に問題はあるものの、昇降両方の機能を持ち、車いす利用者ら障害者の立場から見ても効果があるといえる。

表-5 乗換負荷係数

	高槻方面 一地下鉄	高槻方面 各停	米原方面 一地下鉄	米原方面 地下鉄	北タケ 一地下鉄	北タケ 北タケ
高齢者	0.86	0.69	0.86	0.67	0.62	0.59
通勤	0.42	0.31	0.42	0.28	0.24	0.21
娯楽	0.63	0.57	0.63	0.55	0.43	0.39

(3) 降車扉に関する分析

三つ目の分析として、同じ降車ホームにおいて降車扉ごとにある乗車ホームまでの乗換抵抗を計測したものの一例が、図-3 である。これより、降車扉の違いにより乗換抵抗が大きく異なることが分かった。また、この図は各扉からある乗車ホームまでの乗換一般化費用が最小となる経路を利用した際の乗換抵抗を示しており、グラフの谷へと向かう経路選択が最小の乗換抵抗であることが明示されている。つまり、通勤、娯楽は階段やエスカレータが設置されている付近の乗換抵抗が小さいが、高齢者は階段に対する抵抗が大きいため、迂回距離が長くなっても移

動支援設備を利用する経路の方が乗換抵抗が小さいという結果となった。高齢者にとっては階段だけでなく移動支援設備を分散化させることが一つの効果的な施策として考えられる。しかし、空間的制約やコストの面を考えると複数の移動支援設備を設置するのは困難である。そこで、移動支援設備への迂回距離を減らすための施策として、案内標識を駅構内だけでなく列車内や他駅にも設置することが重要であると考えられる。

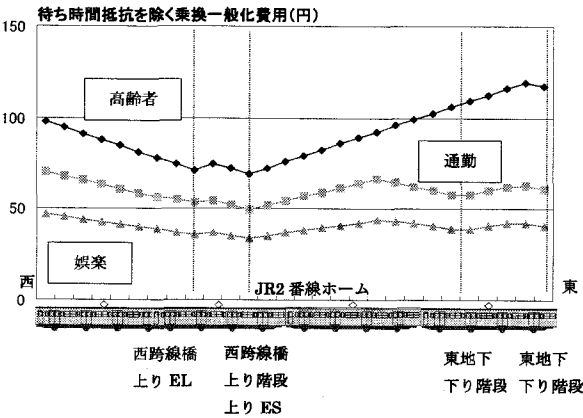


図-3 降車扉別の待ち時間抵抗を除く乗換一般化費用(円)
(JR2 番線から JR10 番線)

4.天神川駅における乗換抵抗低減施策による便益計測

本章では、消費者余剰の考え方をを用いて、京福天神川駅設置による便益と下りエスカレータ設置による便益を計測する。

天神川駅は京都市営地下鉄東西線の洛西方面への延伸時に設置される駅であり、地下鉄天神川駅の他に乗換駅として京福電鉄嵐山本線にも京福天神川駅が設置される予定である。天神川駅の設置案を表-6 に示す。基本案として、京福天神川駅未設置で既存の京福蚕ノ社駅接続となる第 1 案、スイッチバック型新駅の第 2 案、道路横付け型新駅の第 3 案を設定し、さらに改良案として各基本案に下りエスカレータを増設した案を設定した。

表-6 本研究で設定した天神川駅の設置案

	京福天神川 駅の形式	京福天神 川駅設置	軌道 横断	地下鉄ラッチ 外コンコース	地下鉄ラッチ外 下りエスカレータ
第 1 案	新駅未設置	×	有	北側	無
第 1 案改良案					有
第 2 案	スイッチ バック	○	無	南側	無
第 2 案改良案					有
第 3 案	道路横付け	○	有	南側	無
第 3 案改良案					有

新駅設置による便益を、第 1 案を Without case、第 2、3 案を With case として計測した結果を表-7 に示す。年間当たりで第 2 案が 1 億 348 万円、第 3 案が 1 億 9,326 万円となった。

表-7 新駅設置による便益額(万円/年)

	第 2 案	第 3 案
高齢者	775	1,322
通勤	7,247	13,669
娯楽	2,327	4,336
計	10,348	19,326

次に、下りエスカレータ設置による便益を、基本案を Without case、改良案を With case として計測した結果を表-7 に示す。高齢者は他の属性と比較し需要が少ないが便益額は同程度であり、高齢者一人あたりの便益額は非常に大きいことが明らかとなった。

表-8 下りエスカレータ設置による便益額(万円/年)
括弧内は一人あたりの便益(円/年)

	第 1 案	第 2 案	第 3 案
高齢者	177(5,975)	112(2,538)	132(3,050)
通勤	184(383)	269(383)	269(383)
娯楽	102(500)	152(507)	153(513)
計	462(649)	533(510)	555(531)

5.まとめ

本研究では、京都駅を対象として乗降扉およびダイヤを考慮した乗換一般化費用の計測をし、乗換抵抗の要因分析を行った。そしてその結果を用いて、乗換抵抗低減施策の提案を行った。さらに、天神川駅を対象として乗換抵抗低減施策による便益を算出し、低減効果を定量化した。

【参考文献】

1) 三星昭宏, 田中直人, 藤田治, 児玉健, 田中宏明: 高齢者・障害者の移動に配慮した鉄道ターミナル計画について, 土木計画学研究・講演集 20 (2) pp.783-786, 1997.11.
2) 田尻要, 伊達志日流: 公共交通施設におけるバリアフリー化を目的とした移動連続性に関する調査-地下鉄駅の事例-, 都市計画学会学術研究論文集 Vol.33 pp.205-210, 1998.11.
3) 太田公規, 榛澤芳雄, 小山茂: 鉄道新線駅とその周辺におけるバリアフリー化に関する調査-東葉高速鉄道線を対象として-, 土木計画学研究・講演集 22 (2) pp.921-924, 1999.10.
4) 飯田克弘, 新田保次, 森康男, 照井一史: 鉄道駅における乗換え行動の負担度とアクセシビリティに関する研究, 土木計画学研究・講演集 19 (2) pp.705-708, 1996.11.
5) 加藤浩徳, 芝海潤, 林淳, 石田東生: 都市鉄道駅における乗継利便性向上施策の評価手法に関する研究, 運輸政策研究, vol.3, No.2, pp.009-020, 2000.Summer
6) 日本体育・学校健康センター学校給食部: 学校給食広報 2000 年 1 月号, No.596, <http://www.ntgk.go.jp/kyuusyoku/kouhou/2000/kouhou1.html>