

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 at Terminal*

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

21世紀となり、高齢化社会への移行が現実的なものとなってきている。平成12年には全人口に占める高齢者の割合は全国平均で16.5%であったが、平成27年には25%に達すると予想されている。この急激な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。

平成12年5月には「高齢者、身体障害者の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律」（交通バリアフリー法）が成立し、同年11月に施行された。この法律の対象となる新設や大改良される鉄道駅などの旅客施設では、歩道の幅や段差解消、エレベータ、案内標識など、旅客施設の設備の整備が公共交通事業者には義務付けられた。しかし、公共交通機関利用者にとってのバリアには、階段昇降などの垂直移動や、乗換時等の案内情報の不足・不備といった、交通バリアフリー法の対象となっている旅客施設の設備に起因するバリアだけではなく、移動距離や乗換時間といった旅客施設の構造に起因するバリアもある。そのため、旅客施設全体のバリアを低減するための施策を検討していくためには、旅客施設の設備に起因するバリアと旅客施設の構造に起因するバリアの両方の観点から検討していく必要がある。

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、旅客施設の中で

も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といえる。

以上の背景をもとに、本研究では都市公共交通ターミナルを対象とし、旅客施設の設備や構造を考慮した上で、旅客施設全体の乗換抵抗要因を、3. で提案する乗換抵抗指標を用いて定量的に明らかにする。またそれを踏まえて、4. では京都駅を対象とし、乗換抵抗の要因分析を行い、旅客施設全体の乗換抵抗を低減するための施策を提案し、5. では天神川駅を対象とし、乗換抵抗低減施策による便益を算出する。

2. 乗換抵抗に関する既存の研究と本研究の特徴

(1) 既存の研究

公共交通施設を利用する際の移動抵抗に関しては、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、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、公共交通施設の改良を評価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など旅客施設を対象とした研究は、移動時の抵抗を評点で表して評価した研究と、指標化して評価した研究との二つに大きく分けられた。これら2つの研究分類の特徴及び問題点を述べるとともに、本研究における分析手法との比較を行う。

(a) 旅客施設での移動抵抗の評点による評価

階段やエレベータといった移動支援設備や案内情報設備を含めた複数の設備を対象とし、最終的に各設備から構成される旅客施設のネットワークの移動抵抗を評点で表した研究として、三星、田中、藤田、児玉、田中¹⁾は鉄道ターミナルを対象とし、まず階段やエス

*キーワード：交通弱者対策、ターミナル計画

** 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 Tel&Fax 075-753-5759)

カレータなど個々の設備の移動容易性を、各設備の整備レベルとして4段階に評価した。そして、歩道より改札口までのルートごとの移動抵抗を評価し、さらに改札口に集まる全てのルートを考慮することにより、全てのルートの移動抵抗を総合して6段階に評点で表したネットワーク整備レベルとしてターミナル施設全体の移動抵抗を評価した。

一方、階段やエレベータといった移動設備だけでなく、券売機、トイレ、公衆電話といった設備も対象に含めた研究として、都内の地下鉄の一路線を対象とした田尻、伊達の研究²⁾と、東葉高速鉄道線を対象とした太田、榛澤、小山の研究³⁾が挙げられる。これらの研究においては、出入口からホームまでの設備を改札口、券売機、ホームなどに細分化し、それぞれの設備において、点字案内や音声案内といった必要整備項目を3、4点挙げ、整備済みの項目の点数を総計したものを算出することにより、各駅の評価を行っている。さらにこれらの研究では、各設備間の移動利便性を、案内標識等による認識の面と段差等による移動抵抗の面の2つより、それぞれ4段階に得点化している。このように設備と設備間の両方を考慮することにより、旅客施設全体から見た評価を行っている。

以上のように、旅客施設での移動抵抗を評点で表すという評価手法では、移動支援設備や案内情報設備だけでなく、改札やトイレといった細かい設備まで対象とし、松葉杖利用者や単独での車いす利用者など、様々な対象者から見た評価が可能である。しかし評点による評価の問題点として、項目ごとの定量的な移動抵抗や評点間の定量的な差が明確に算出されないことが挙げられる。このために、旅客施設全体の移動抵抗を算出しても、移動抵抗を形成している要因の構成割合まで表すことはできない。そのため、旅客施設の改良などにより移動抵抗を低減する際に、考慮すべき移動抵抗の各要因を定量的に把握することは困難である。

(b) 旅客施設での乗換抵抗の指標による評価

金、北村、近藤、山田⁴⁾が提案した階段に対するエスカレータの迂回サービス水準は、意識データと行動データから、階段と比較して不便な位置にあるエスカレータを利用する際に迂回する距離を、階段と同等と思える迂回距離、心理的に許容できる迂回距離、心理的に限界な迂回距離、の3つの迂回距離について求め

たものである。エレベータなどの移動支援設備の多くはその空間的制約により、必ずしも便利なところにあるとはいえないことに着目している。この研究では、既存の研究では考慮されなかった移動支援設備の位置関係と代替経路との比較、そしてその選択と満足度について、歩行困難者と健常者を対象に評価している。しかし、この迂回サービス水準では乗換行動の内、階段上りや水平歩行といった一部の行動しか把握することができず、またエスカレータを選択する要因となると思われる迂回距離と所要時間、心理的負担の3つの要因がどのような割合で構成されているのかは明らかにされていない。

夏目、若林⁵⁾が提案した迂回率は、車いす利用者と松葉杖利用者の実質移動距離と最適移動距離の比を迂回率として算出するもので、対象者の移動能力を考慮することにより、様々な対象者に対する移動抵抗の評価を行っている。しかし、歩数を距離換算しているため階段やエレベータといった乗換行動別の抵抗の違いを定量的に表すことはできない。

三浦、大島ら^{6) 7)}が用いている乗換抵抗算定式は、各乗換行動のエネルギー消費量の比を用いて、乗換行動の抵抗を水平歩行距離に距離換算している。しかしこの指標は、属性別のエネルギー消費量の違いと乗換時間が考慮されていない。仮に、階段を上る経路と、遠回りしてエレベータを利用する経路が存在すると、乗換抵抗算定式の場合、高齢者、非高齢者とも同じ評価となる。また、この指標では乗換時間を考慮していないため、乗換抵抗を完全に把握したものとはいえない。

飯田、新田、森、照井⁸⁾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ている。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。しかし、乗換時間は属性によらず同一であり、またダイヤ、待ち時間が考慮されていないなどの問題がある。

加藤、芝海、林、石田⁹⁾が提案した一般化費用は、乗車駅から降車駅までの経路選択の結果より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、乗換駅での歩行経路を一つしか考慮しておらず、乗降扉による乗換経路の違いは考慮

できない。また、属性別の乗換時間とダイヤを考慮されていないため、乗換列車の待ち時間は指標には表れていない。

(2) 本研究の特徴

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として乗換一般化費用を提案する。

1. エスカレータやエレベータなどの個々の設備だけでなく、駅施設全体を対象として、降車車両から乗車車両までの一連の乗換行動における抵抗を定量化することができる乗換一般化費用を定義し、その計測を行う。
2. 乗換抵抗の各要因が全体に占める割合を定量的に把握し、その構成比に関する要因分析を行うとともに、乗換抵抗の低減に必要な要因の考察を行うために、時間、エネルギー消費量だけでなく、既存の研究では定量化されていなかった心理的負担も含めた、3つの要因で構成されている乗換行動コストを定義し、乗換抵抗要因別の乗換抵抗も算出する。
3. 属性別で異なる乗換移動速度より算出した乗換時間と列車等のダイヤを考慮することにより、乗換列車の待ち時間を反映した乗換一般化費用の計測を行う。
4. 路線間の乗換を考える時、車両の乗降扉の位置は乗換抵抗の大きな要因となっている。より効果的な移動支援設備の配置を考えるために、乗降扉ごとの乗換抵抗を算出し、属性や降車扉による乗換経路選択の違いを定量的に表しその要因を分析する。

3. 乗換一般化費用の定義と算出方法

(1) 乗換一般化費用の定義

本研究で用いる乗換抵抗指標である乗換一般化費用は乗換抵抗を貨幣タームであらわしたものであり、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、各乗換行動の単位時間あたりのコスト（以下、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)
 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)
 ・通勤・通学目的の非高齢者 (15~64 歳)
 ・買物・娯楽目的の非高齢者 (15~64 歳)

(2) 属性の定義

本研究では、年齢と時間制約の有無でセグメントを行った。年齢は、15 歳から 64 歳の非高齢者、65 歳以上の高齢者の 2 つに分類した。また、時間制約の強い通勤、通学目的での利用と、比較的制約の弱い買物や娯楽などの自由目的での利用では、乗換の際の移動速度や乗換行動コストが異なると考えられる。そこで本研究では、非高齢者については、通勤・通学目的と買物・娯楽目的の 2 つの目的で公共交通を利用するケースを考える。なお、高齢者は通勤・通学されている方の割合が少ないため、買物・娯楽目的のみ考えることとする。以上より本研究では属性（対象者）を、高齢者、通勤・通学目的の非高齢者、買物・娯楽目的の非高齢者の 3 つに分類した。

(3) 乗換行動コストの定義

既存の研究において、移動時における時間価値等の評価値は、各乗換行動における抵抗を時間のみでなく肉体的負担、心理的負担など様々な負担を合計したものとして算出しているが、各評価値の要因までは定量的に明らかになっていない。そこで本研究では、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ものを乗換行動コストと称し、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）

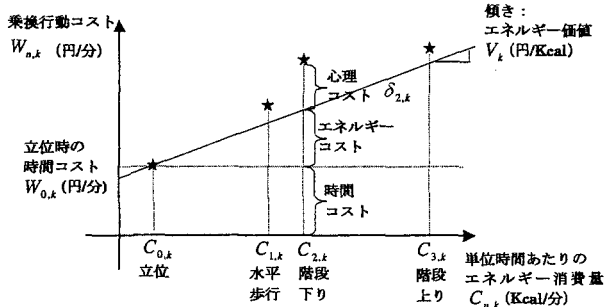


図-1 単位時間あたりのエネルギー消費量と乗換行動コストの関係

式 (1) のうち $C_{n,k}$ は、MET 法¹⁰⁾ によって計測された単位時間、単位体重あたりのエネルギー消費量 $EN_{n,k}$ の値を用いて式 (3) より算出した。

$$C_{n,k} = EN_{n,k} \cdot WE_k \cdot P_k \quad (3)$$

$EN_{n,k}$ ：属性 k の乗換行動 n の際における、単位時間、

単位体重あたりのエネルギー消費量（kcal/kg・分）

WE_k ：属性 k の平均体重（kg）

P_k ：属性 k の平均補正係数

(4) 乗換行動コストの算出

(a) アンケートの設定

残りの $W_{0,k}$ 、 V_k 、 $\delta_{n,k}$ を算出するために、アンケートを実施した。配布回収方法にインタビュー形式を用いたのは、特に高齢者についてより質の高い回答を得るためである。アンケートの実施概要を表-1に示す。サンプル数の総計は306であった。アンケート内容は、属性を訊ねる質問のほか、運賃、所要時間、乗換行動の異なる2つルートを選択してもらう二項選択型の質

表-1 アンケートの実施概要

配布目的	乗換行動コストの算出
配布対象	15歳以上の男女
実施場所	京都市都心部の6箇所
配布回収方法	インタビュー方式による即時回収
実施期間	'00.12.25~'00.12.26
回収部数	高齢者95部 通勤・通学目的の非高齢者82部 買物・娯楽目的の非高齢者129部 計306部

問である。ここで、二項選択型の質問を用いたのは、特に高齢者の方に理解しやすく、的確に回答してもらうため簡便化した質問とする必要性があるためである。

(b) 時間コスト $W_{0,k}$ の算出

質問1では、費用と乗換駅での立位での待ち時間が異なる2つのルートを選択してもらい、二項選択型の経路選択モデルを構築して、時間コスト $W_{0,k}$ を算出した。その際の経路選択の効用 $U_{i,k}$ は以下のような線形関数であると仮定した。

$$U_{i,k} = \alpha_k \times Cost_i + \beta_k \times Time_i \quad (4)$$

$Cost_i$ ：ルート i を選択した時の費用

$Time_i$ ：ルート i を選択した時の所要時間

α_k, β_k ：パラメータ

時間コスト $W_{0,k} = \beta_k / \alpha_k$

(c) エネルギー価値 V_k 、心理コスト $\delta_{n,k}$ の算出

質問2では、費用と乗換駅での乗換行動が異なる2つのルートを選択してもらい、 $C_{n,k}$ は式 (3) において算出した値を用い、二項選択型の経路選択モデルを構築して、エネルギー価値 V_k 、及び各乗換行動の心理コスト $\delta_{n,k}$ を算出した。その際の経路選択の効用 $U_{i,k}$ は線形関数であると仮定した。ここで心理的負担を変数として定量化することは困難であるため、本研究では心理コスト $\delta_{n,k}$ については、各乗換行動 n ($n=0 \sim 3$) ごとにダミー変数を設け、そのパラメータよりそれぞれ算出した。

$$U_{i,k} = \alpha_k \times Cost_i + \phi_k \times Energy_i + \sum_n \gamma_{n,k} \times Dummy_{i,n} \quad (5)$$

$Cost_i$ ：ルート i を選択した時の費用

$Energy_i$ ：ルート i を選択した時の所要時間

$Dummy_{i,n}$ ：ルート i を選択した時の乗換行動 n ダミー (0 or 1)

$\alpha_k, \beta_k, \gamma_{n,k}$ ：パラメータ

エネルギー価値： $V_k = \phi_k / \alpha_k$

乗換行動 n の心理コスト： $\delta_{n,k} = \frac{\gamma_{n,k} / \alpha_k}{l_n / v_{n,k}}$

l_n ：質問2で設定した乗換行動 n の長さ（m or 段）

$v_{n,k}$ ：属性 k の乗換行動 n の速度（m/秒 or 段/秒）

パラメータの推定結果を表-2に示す。これより、

表-2 パラメータ推定結果

	説明変数名	高齢者		通勤・通学 (非高齢者)		買物・娯楽 (非高齢者)	
		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		-		-	

時間コストについては、時間制約のない属性については年齢による違いはなく、時間制約のある通勤・通学目的の非高齢者の値は約2倍大きいという結果となった。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、各属性とも全ての乗換行動について推定した結果、高齢者の階段下りダミーのみ有意な値となった。

(d) 乗換行動コストの算出

次に、式(1)を用い乗換行動コストを算出した。その結果を表-3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。

時間コストは、既往の研究で算出されている都市内交通行動における時間価値の値^{1) 12) 13)}とほぼ同様の値となった。さらに、乗換行動による乗換行動コストの値の違いを比較してみると、飯田らの研究⁹⁾における等価時間係数や加藤らの研究⁹⁾における乗換行動別の時間価値の値と同様の傾向を示しており、また、所得接近法から算出された時間価値¹⁴⁾と比較しても妥当な値となっている。以上のことから、本研究ではこの乗換行動コストの値を以後の分析に用いることにする。

表-3 乗換行動コスト(円/分)算出結果

乗換行動	高齢者	通勤・通学 (非高齢者)	買物・娯楽 (非高齢者)
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

(5) 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によって求められる。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時間帯別に測定し、距離と段数より所要時間を算出した。混雑時(7時~10時)は通勤・通学目的、閑散時(10時~16時)は買物・娯楽目的での鉄道利用がそれぞれ大半を占めると考え、各時間帯の速度計測の結果を非高齢者の目的別の乗換時間とした。また、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-4に示す。

非高齢者について、通勤・通学目的と買物・娯楽目的を比較すると、水平歩行と階段下りでは大きな違いは見られなかったものの、階段上りでは通勤の方が遅いという結果となった。これはラッシュ時のため、階段での混雑により自由歩行ができなくなるためと考えられる。

一方、高齢者は混雑時と閑散時の明確な違いが見ら

表-4 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・通学(非高齢者)	1.32(m/秒)	82
	買物・娯楽(非高齢者)	1.34(m/秒)	46
階段上り	高齢者	1.30(段/秒)	58
	通勤・通学(非高齢者)	1.59(段/秒)	52
	買物・娯楽(非高齢者)	1.81(段/秒)	45
階段下り	高齢者	1.53(段/秒)	53
	通勤・通学(非高齢者)	2.07(段/秒)	93
	買物・娯楽(非高齢者)	1.99(段/秒)	48

れなかったため、両方を統一した値とした。高齢者の速度は全ての乗換行動において非高齢者より遅く、非高齢者の約 8 割の速度で乗換行動を行っていることが明らかとなった。

(6) 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 (6) に示すような三項の和で表され、乗換抵抗を要因別に把握することができる。

$$GC(l, m, a_l, b_m, k) = W_{0,k} \times T(a_l, b_m, k) +$$
$$W_{0,k} \times \{T'(l) - T'(m) - T(a_l, b_m, k)\} +$$
$$\sum_n \{V_k \times (C_{n,k} - C_{0,k}) + \delta_{n,k}\} \times t(l, m, a_l, b_m, k, n) \quad (6)$$

- 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
 $T(a_l, b_m, k)$ ：属性 k の降車扉 a_l から乗車扉 b_m まで移動に要する所要時間（分） $\{ = \sum_n t(l, m, a_l, b_m, k, n) \}$
 $T'(l)$ ：到着車両の到着時間 $T'(m)$ ：乗換車両の発車時間

4. 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 152 ペアを対象として、各路線間について算出した乗換行動ごとの所要時間を用い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う。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実際のダイヤを用いて分析した。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として、高槻方面から到着した快速・新快速列車から各路線への乗換一般化費用を一日の全到着列車で平均したものを図-2 に属性ごとに示す。このような結果を京都駅に乗り入れ

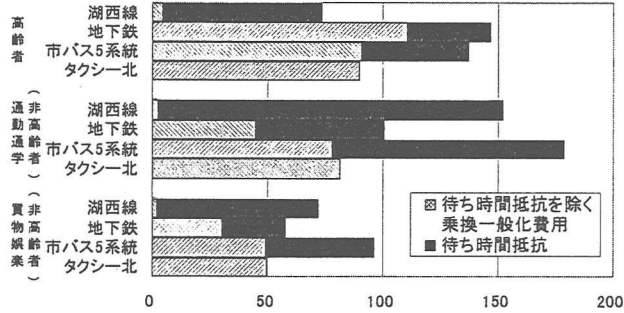


図-2 高槻方面快速・新快速からの乗換一般化費用(円)

る 21 路線相互間全てについて算出したところ、京都駅では乗換一般化費用の中で待ち時間抵抗が高齢者約 40%、通勤約 70%、娯楽約 60%と大きな割合を占めていることが分かった。京都駅のように都市圏内で列車本数が多い駅においても待ち時間抵抗は乗換抵抗の一つの大きな要因となっていることが分かる。すなわち、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ことが分かる。

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-5 は座位時のエネルギー消費量を式 (1) に代入して、座位の乗換行動コストを算出し、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る。また始発駅である場合などでは、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-5 立位時・座位時の乗換行動コストと低減率

	高齢者	通勤・通学 (非高齢者)	買物・娯楽 (非高齢者)
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

また、乗換抵抗を低減するための施策の一つに同一ホーム乗換が挙げられる。同一ホームでの乗換の例として、東海道本線高槻方面快速・新快速から湖西線への乗換を取り上げる。この乗換はほとんどの列車で 2 番線から 3 番線への同一ホーム乗換が可能である。それゆえに待ち時間抵抗を除く乗換一般化費用は図-2 に示すように非常に低い値であり、同一ホーム乗換は大きな低減の効果がある。ただし、湖西線への待ち時間抵抗は、大きい値となっている。すなわち、同一ホーム乗換は乗換抵抗の削減に非常に効果的ではあるが、

ダイヤの設定により待ち時間を減らすことがその効果をより高めるということが分かる。

(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おけるエネルギー消費及び心理的負担による抵抗の割合を乗換負荷係数として算出した。21 路線相互間全てについて算出した内の一例を表－6 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。逆に低い経路ほど、エスカレータやエレベータ等の移動支援設備が整備されている。

京都駅では、各路線間とも高齢者が最も大きい値となったが、特に階下への移動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に比べ少なく、下り階段を利用せざるを得ないため、階段下りに心理的負担を持つ高齢者のエネルギー消費及び心理的負担による抵抗が大きいためと考えられる。

しかし、上りエスカレータが階段側面に設置されている箇所にさらに下りエスカレータを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、エレベータについても所要時間や定員の関係で待ち時間抵抗の増大の可能性はあるが、下り階段に大きな抵抗を持つ高齢者や車いす利用者ら障害者には効果があるといえる。例えば、北タクシー乗り場から地下鉄への乗換負荷係数は全ての属性において他の路線間よりも低い値である。これは、階段を利用せずに移動ができると共に、エレベータの位置が便利な位置にあり、歩行距離も少なくすむためである。このように、エレベータの位置を迂回距離が少なくすむよう配置することにより、高齢者の乗換抵抗を減らすことが可能となる。

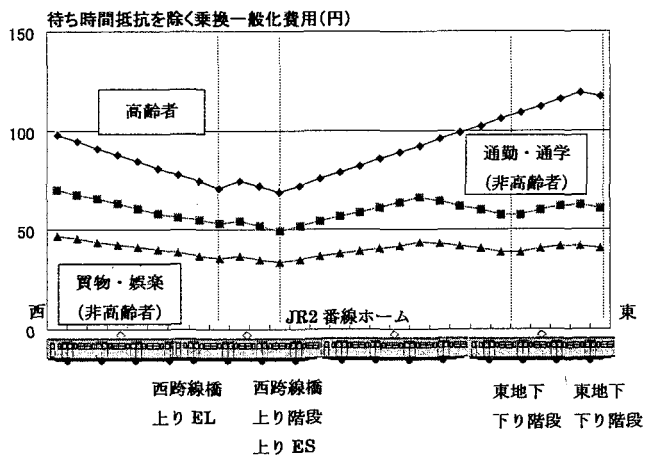
表－6 乗換負荷係数

	高槻方面各停 ↓ 地下鉄	地下鉄 ↓ 高槻方面各停	米原方面 ↓ 地下鉄	地下鉄 ↓ 米原方面	北タクシー ↓ 地下鉄	地下鉄 ↓ 北タクシー
	地下鉄	高槻方面各停	地下鉄	米原方面	地下鉄	北タクシー
高齢者	0.86	0.69	0.86	0.67	0.62	0.59
通勤・通学 (非高齢者)	0.42	0.31	0.42	0.28	0.24	0.21
買物・娯楽 (非高齢者)	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として、JR2 番線の各降車扉から JR10 番線までの待ち時間抵抗を除く乗換一般化費用をプロットし、グラフ化したものが、図－3 である。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、非高齢者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ため、案内標識等を駅構内だけでなく列車内や他駅にも設置することにより、移動支援設備への迂回距離を減らす施策が考えられる。



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)

5. 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、京福電鉄天神川新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

また、基本案に対する改良案の乗換抵抗要因の比較を行った結果、どの案も高齢者の乗換一般化費用は20%ほど低減したが、非高齢者は5%ほどの低減にとどまった。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 として同じく式(5)を用いて計測した結果を表-9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-9 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・人)

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

6. おわりに

本研究では、乗換時間とダイヤから算出される乗換列車の待ち時間や、車両の乗降扉や乗換経路による抵抗の違いを考慮したうえで、降車車両から乗車車両までの一連の乗換行動における抵抗を定量化することができる乗換抵抗指標として乗換一般化費用を定義した。

さらに乗換抵抗の要因を、時間、エネルギー消費、心理的負担の3つに分け、それらが全体の乗換抵抗に占める割合を把握するために、乗換行動コストを定義して、各乗換抵抗要因の定量化を可能とした。

そして、京都駅を対象として乗換抵抗及びその要因を定量化し、乗換抵抗の要因分析を行い、その分析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として、新駅設置、下りエスカレータ設置による便益を算出した。

今後は、これらの指標を用いてより効率的で効果的な移動支援設備の配置を含めた駅舎の設計を考えていく必要がある。また、昨年度施行された交通バリアフリー法により、特に改善の必要性の高い旅客施設を中心とした地区を重点整備地区に指定し、重点的かつ一体的にバリアフリー化を推進することになった。重点整備地区の選定の際に各駅の評価指標をより正確に算出し整備の優先順位を決めることにより、社会的によ

り効率的な整備が可能になると思われる。

【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) 金利明, 北村直輝, 近藤勝, 山田稔: 歩行困難者を考慮した階段とエスカレータの経路選択構造に関する研究, 都市計画学会学術研究論文集 Vol.35 pp.583-588, 2000.11.
- 5) 夏目浩次, 若林拓史: 障害属性を考慮した駅空間における移動容易性に関する研究, 第55回土木学会年次学術講演会講演概要集第4部 pp.186-187, 2000.9.
- 6) 三浦秀一, 加藤新一郎, 大島義行: 乗換駅における移動抵抗に関する研究, 第51回土木学会年次学術講演会講演概要集第4部 pp.218-219, 1996.9.
- 7) 大島義行, 松橋貞雄, 三浦秀一: 鉄道駅における乗換抵抗に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集 19 (2) pp.701-704, 1996.11.
- 8) 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.
- 9) 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
- 10) 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/kouho_fl.html
- 11) 岡崎真人, 佐々木邦明, 河上省吾: SP, RPおよび態度データを用いた意思決定者の嗜好に基づいたセグメンテーション分析, 土木計画学研究・講演集 18 (2) pp.481-484, 1995.12.
- 12) 板谷和也: 費用負担の関係を考慮した公共交通整備財源制度に関する研究, 東京大学新領域創成科学研究科修士論文, 2001.1.
- 13) 中川大, 松中亮治, 芦澤宗治, 青山吉隆: 都市内交通シミュレーションを用いたパッケージ施策の便益計測に関する研究, 都市計画学会学術研究論文集 Vol.36 pp.583-588, 2001.11.
- 14) (財) 運輸政策研究機構: 鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル 99, 1999.

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*

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

本研究では、乗換抵抗をより正確に定量化するために、属性別の乗換時間、乗降扉を考慮した上で、属性別の乗換抵抗及びその要因を定量化することができる乗換抵抗指標を提案し、都市公共交通ターミナルとして京都駅を対象として乗換一般化費用の計測を行い、乗換抵抗の要因分析を行った。そして、得られた結果より乗換抵抗低減施策として、ベンチ等の設置による待ち時間抵抗の低減、移動支援設備設置による高齢者の心理的負担の低減、移動支援設備分散化による迂回距離の低減、の3つの提案を行った。さらに、天神川駅を対象として乗換抵抗低減施策として、新駅設置、下りエスカレータ設置による便益を算出し、低減効果を定量化した。

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

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

In this study, in order to quantify the transfer resistance more exactly, we propose an index of transfer resistance, which can quantify transfer resistance and its factors respectively in consideration of transfer time and location of the door of vehicles. And targeting JR Kyoto Station, we measure the transfer generalized cost, and analyze the factors of the transfer resistance and propose some measures to reduce it. : First, reducing waiting time by installing the bench. Next, reducing aged mental resistance by installing the supporting equipment to move. Last, reducing roundabout roots by dispersing the supporting equipment to move.
