

駅周辺の特性を考慮した 鉄道とバスの乗継利便性評価の基礎検討

鈴木 崇正¹・武藤 雅威²・山本 昌和³

¹正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 信号・情報技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)
E-mail: tsuzuki@rtri.or.jp

²正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 企画室 (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)
E-mail: mutoh@rtri.or.jp

³非会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)
E-mail: masa-y@rtri.or.jp

鉄道と他の交通機関との乗継利便性の向上は、鉄道全体のさらなる利用促進に資する。そのためには、まず経路の利便性を定量的に評価することが重要であるが、その手法はこれまで確立されてこなかった。そこで、鉄道とバスの乗継経路の物理的特性に着目し、移動距離のほか歩行安全性やバス停構造など駅周辺の特性を考慮した、乗継利便性を定量的に評価する手法を開発した。はじめに一対比較による仮想乗継行動調査を行い、利用者の多様な利便性評価観点を抽出・整理した。その上で、取得されたデータに基づき、ロジスティック回帰モデルを援用した乗継利便性評価モデルを構築し、物理的特性に基づく乗継利便性を定量化した。

Key Words : railway, bus, transfer, convenience, evaluation

1. はじめに

鉄道を利用する時には、駅にアクセスするための交通機関との乗継行動が発生する。その乗継の利便性を高めることは、交通ネットワーク全体の利便性向上に資する。

2010年の大都市交通センサス¹⁾において、鉄道利用者の約2/3が徒歩で、次いで約1/5が自転車で駅にアクセスしている。一方、動力付き交通機関としてアクセス交通の最大シェアを占めるバスの分担率は、2000年には14%、2010年には10%と小さい²⁾。バス分担率の極めて小さい駅では、バス停が駅から遠く、またバス運転本数が少ないなど、鉄道とバスの乗継利便性の低さがその一因であることが示唆される。鉄道とバスの乗継利便性を向上することは、公共交通ネットワーク全体の利便性を高め、さらなる公共交通利用の機会提供に資すると考えられる。

鉄道同士の乗継利便性については、駅構内における歩行、階段移動、エスカレータやエレベータの移動に着目した研究を中心に、一定の知見が整理されている^{3,7)}。しかし、鉄道駅へのアクセス手段との乗継利便性を定量的に検討した研究は乏しい。例えば望ましいバスターミナルのあり方に関する研究⁸⁾はあるものの、利便性評価

の定量的検討はなされていない。

本研究は、重要な駅アクセス手段の一つであるバスに着目して、鉄道とバスの乗継利便性に対する利用客の評価を分析し、その評価手法を開発することを目的とする。考えられる評価基準は、歩きやすさ、案内の豊富さ、駅設備の充実、鉄道とバスのダイヤの整合性など多岐にわたるが、本研究は、鉄道とバスの乗継利便性に影響を与える基礎的要件として、駅出入口とバス停間の乗継経路の物理的特性に焦点を当てた。

はじめに、鉄道とバスの乗継経路の映像を用いた仮想乗継行動ウェブ調査を実施し、そのデータを用いて、乗継経路の様々な物理的特性が乗継利便性に与える影響について検証した。次いで、物理的特性に基づいて各乗継経路全体の利便性を定量的に評価できるモデルを構築し、その評価指標を提案した。最後に本モデルの適用例として、ある乗継経路の改修を想定し、改修後の乗継経路の利便性を試算した。

2. 仮想乗継行動調査

乗継経路の物理的特性と乗継利便性との関係を明らかにするため、乗継経路の映像を用いた仮想乗継行動ウェブ調査を実施した。

調査に先立ち、路線バスが乗り入れる東京都市圏内の駅のうち、その所在地や鉄道とバスの乗継経路の物理的特徴が相互に異なる27駅30経路について、歩行者と同様の視点になるよう駅出口からバス停まで動画撮影した。ここで物理的特徴として、経路延長、階段やエスカレータの有無、道路横断、通路の環境、バス停の構造などに着目した。撮影は晴天あるいは曇天の昼間に実施し、時間や天候の試験条件を統一した。また被験者に先入観を持たれないよう、撮影地が判別できるような地名表記を消す処理を行った。撮影された映像の例を図-1に示す。

調査は2011年12月に実施した。日常的に鉄道とバスを乗継利用している旅客を対象とすることとし、被験者について下記の基準を設けた。

- (1) 全国の政令指定都市あるいは東京都市圏内の居住者
- (2) 20～50代の男女
- (3) 鉄道とバスについて下記いずれかを満たすこと
 - (a) 通勤通学目的で週3回以上乗継利用していること（通勤利用サンプル）
 - (b) 通勤通学以外の目的で月1回以上乗継利用していること（一般利用サンプル）

各被験者にはこれらの映像30本のうち2本を提示し、仮想環境における鉄道とバスの乗継行動を視覚的に体験してもらった。その上で、提示された2つの乗継経路を比較し、荷物が小さい場合（ハンドバッグ程度）と大きい場合（キャリーバッグ程度）について、それぞれどちらの経路がどの程度望ましいかを1～10の10段階評価で回答してもらった。ここで回答が1であるとは、1本目の映像の経路（経路Aとする）の方が絶対に望ましいことを意味し、回答が10であるとは、2本目の映像の経路（経路Bとする）の方が絶対に望ましいことを意味する。

また、各被験者にはその評価基準についても尋ねた。基準はあらかじめ用意した23種類に『その他』を加えた24の選択肢から複数回答するものであり、その選択肢は『経路が短い』『エスカレータがある』『道路を横断しなくてよい』などである。選択肢の詳細は次章で示す。

取得された有効回答数は1,870であり、30本の映像から2本を提示する全ての組み合わせ（435通り）について、それぞれ2～8サンプルが取得された。回答者は30代・40代が比較的多いものの、年齢・性別の大きな偏りは認められない（図-2）。



図-1 撮影された映像の例

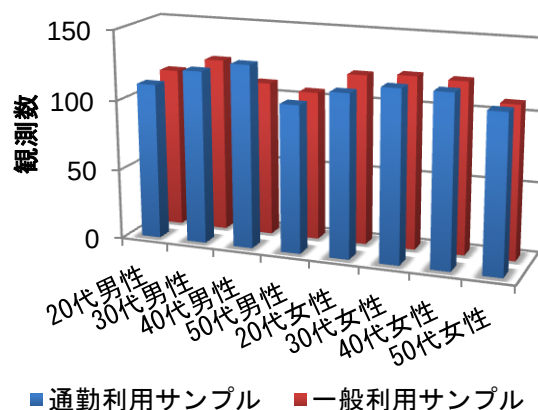


図-2 回答者の年齢・性別属性

3. 乗継利便性の評価観点

モデルに投入する説明変数の設定にあたっては、被験者がどのような観点で利便性を評価したのかを明らかにする必要がある。これは、アンケート調査中における『評価の理由』を整理することにより把握できる。

乗継利便性の評価基準の回答を図-3に示す。荷物が小さい場合の最重要基準は、駅からバス停までの距離の短さである。これは移動距離の長さが主たる負担であることを指摘した、鉄道同士の乗継利便性を対象とした既往研究による知見と一致する。そのほか、安全性、移動空間の広さ、上下移動の少なさが主要な利便性評価基準として挙げられる。屋根の整備も利便性を高める要素であると示された一方、経路上の店舗の存在は利便性評価に作用しているとは言えない。また、荷物が大きい場合には、上下移動や路面凹凸の少なさがより重視される傾向にあることが指摘される。

取得された回答を整理すると、利便性に影響を与える経路の特性は『水平移動』『上下移動』『安全性』『歩きやすさ』『バス停構造』の5つの観点に集約できる。利便性評価モデルの構築にあたっては、これらの観点を考慮した説明変数の設定が必要となる。

4. 乗継経路の認知

映像を見ながら乗継経路の利便性を評価する際、その経路を実際に知っていることが評価に影響することが想定される。地名表記を消しているとは言え、それ以外の情報から駅が認知される可能性もある。そこで、各被験者に映像を提示した際、それぞれの映像が撮影された駅を推理してもらった。1,870サンプル×映像2本＝合計

3,740回答のうち、駅名が正解であったものは全体の3.1%にあたる115回答であった。本研究では、バイアス除去のため、駅名が正解であったことを『撮影された経路を認知している』と捉え、制御変数としてモデルに加えることとした。

5. モデル構築

(1) モデル構造

前述の評価基準に基づき、乗継経路の物理的特性から乗継利便性を評価するモデルを構築した。アンケート調査では2つの乗継経路を比較してそれらの利便性が相対的に評価されている。このことから、2つの経路の物理的特性をそれぞれの経路の効用と捉え、経路の相対的利便性を目的変数とするロジスティック回帰モデルを構築した。被験者には荷物の大小に応じ2通りの利便性評価をしてもらっていることから、利便性評価モデルも荷物の大小に応じて2つ構築した。モデル構造を式(1)に示す。

説明変数には評価対象である2つの乗継経路の物理的特性を数値化して投入した。各経路の物理的特性の線形和がそれぞれの経路の効用関数を構成する構造である。説明変数については次節で述べる。

利便性評価値は『先に提示された経路（経路Aとする）が絶対に望ましい』を1、『後に提示された経路（経路Bとする）が絶対に望ましい』を10とする10段階で取得さ

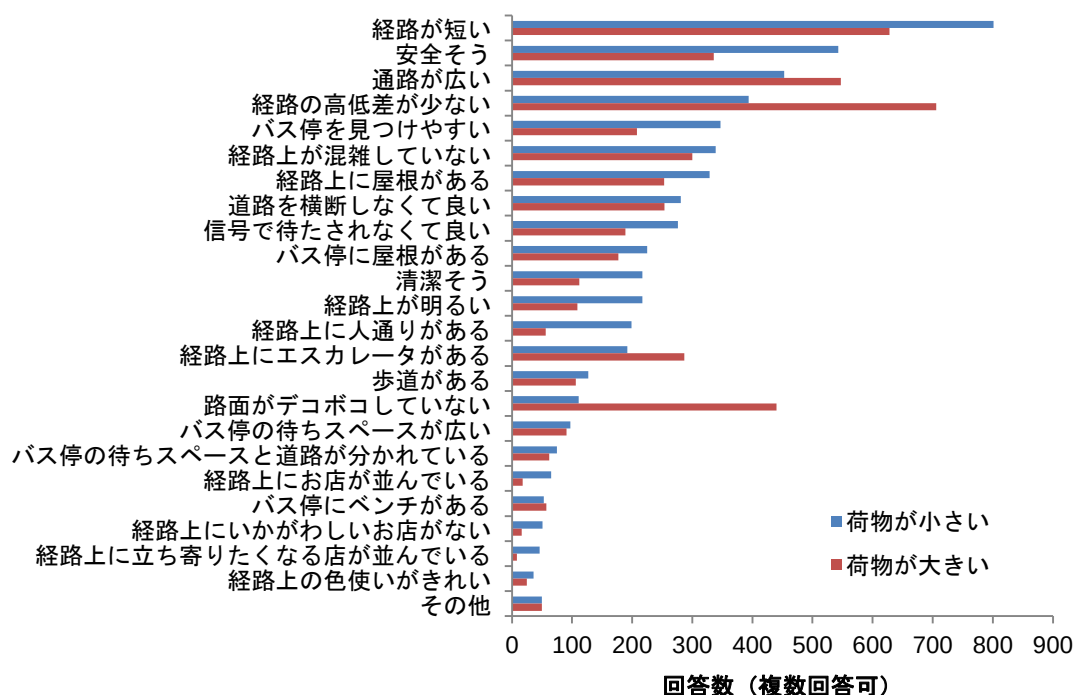


図-3 乗継利便性の評価基準

れたものであるが、この素点を0～1のスケールに変換して目的変数 EC_B とした。具体的には、『目的変数＝（素点－1）/9』により計算した。 $EC_B<0.5$ ならば『経路Aの利便性＞経路Bの利便性』であり、 $EC_B>0.5$ ならば『経路Aの利便性＜経路Bの利便性』であると解釈される。また EC_B が1に近づくほど、経路Bの利便性がより高いと解釈される。

$$EC_B = \frac{\exp(\sum_{i=1}^n a_i x_{Bi})}{\exp(\sum_{i=1}^n a_i x_{Ai}) + \exp(\sum_{i=1}^n a_i x_{Bi})} \quad (1)$$

ここで EC_B : 経路Bの利便性評価値
 a_i : パラメータ
 $i \in N$
 n : 説明変数の数
 x_{Ai} : 経路Aの物理的特性
 x_{Bi} : 経路Bの物理的特性

(2) 説明変数の設定

図3に示した乗継利便性の評価基準を可能な限り考慮しながら設定した説明変数を表1に整理する。これらはいずれも、各被験者に提示した映像から定量化したものである。水平移動、上下移動ともに、移動負担は距離ではなく時間（秒）で計算した。

また、経路の物理的特性に関わらず、映像の暗さが評

価に影響を与える可能性を考慮し、各映像の最低輝度を制御変数として投入した。さらに、前章で述べた経路認知をダミーの制御変数として投入した。

なお、前述のとおり、ここでは荷物の大小に応じた2つのモデルが構築されるが、荷物のサイズの差異により利便性評価の観点が異なっていることから、構築される2つのモデルにおいて、使用される説明変数は統一しなかった。

(3) パラメータ推定結果

パラメータは最尤法を用いて推定し、AIC（赤池情報量規準）に基づいてステップワイズ法により変数選択を行った。その結果を表1に示す。『-』は説明変数が選択されなかったことを意味する。

荷物の大小に関わらず、水平・上下移動ともに利便性に対して有意に負の影響を有する。上下移動は特に荷物が多い場合に大きな負担となっている。エスカレータのパラメータが有意に正であることは、上下移動時間が変わらない場合にはエスカレータの整備が利便性をより高めることを意味する。特に上りエスカレータの利便性向上効果が高いことが、パラメータの絶対値より指摘される。

道路横断などの安全性に関する観点も利便性に対して有意に影響している。道路横断より信号横断の利便性に対する負の影響がより強い原因としては、信号待ちによ

表-1 説明変数の一覧とパラメータ推定結果

			パラメータ (p値)	
観点	変数	単位／測定方法	荷物が小さい場合	荷物が大きい場合
水平移動	水平移動時間	水平歩行時間（秒）	-0.011 (0.000***)	-0.006 (0.004***)
上下移動	上下移動時間	階段移動時間＋エスカレータ移動時間（秒）	-0.016 (0.000***)	-0.040 (0.000***)
	上りエスカレータ	箇所数	0.489 (0.012**)	0.988 (0.000***)
	下りエスカレータ	箇所数	0.279 (0.031**)	0.678 (0.000***)
安全性	横断歩道箇所	箇所数（信号なきものに限る）	-0.195 (0.016**)	-0.204 (0.016**)
	信号横断箇所	箇所数	-0.332 (0.005***)	-0.662 (0.000***)
	車道歩行ダミー	車道歩行があれば1、なければ0	— —	-0.914 (0.000***)
	車道歩行率	車道歩行時間／全移動時間	-0.676 (0.002***)	— —
歩きやすさ	屋根整備率	屋根下歩行時間／全移動時間	— —	— —
	地下道	経路全体の半分以上が地下道なら1、それ以外0	— —	0.714 (0.002***)
	バス停視認率	最終曲がり角からバス停までの時間／全移動時間	— —	— —
バス停構造	バス停屋根	あれば1、なければ0	0.267 (0.053*)	— —
	バス停ベンチ	あれば1、なければ0	— —	0.237 (0.021**)
	バス待ちスペース	あれば1、なければ0	— —	— —
制御変数	最低輝度	各映像の最低輝度（5秒間隔で測定）	— —	— —
	経路認知	その映像の撮影駅が分かれば1、それ以外0	0.420 (0.047**)	— —
観測数			1,870	1,870
AIC(赤池情報量規準)			2,074.8	1,995.7
自由度調整済尤度比			0.199	0.230
観測値と推定値の相関係数			0.584	0.619
10分割交差検証における相関係数の標準偏差			0.035	0.063

***: p<0.01、**: p<0.05、*: p<0.1.

る所要時間増加が挙げられる。また車道歩行も利便性低下の一因である。荷物が小さい場合には車道歩行率を説明変数としたところ有意であった。荷物が大きい場合には車道歩行の有無を示すダミー変数を採用したところ有意となり、このことは、キャリーケース等を携行している場面ではほんの少しの車道歩行も望ましくないことを示している。

一方で、多くの被験者が評価基準として挙げた屋根の整備状況は、利便性に有意に影響しているとは認められない。この原因としては、屋根が映像内に十分に映っていないことや、映像が晴天あるいは曇天時に撮影したことにより、被験者にとって屋根の存在による恩恵を想像しにくい状況にあったことが考えられる。地下道の存在は特に荷物が大きい場合において利便性を高める効果を有する。地下道では歩行空間が確保され、路面も平滑であることがその原因にあると考えられる。

バス停構造もまた利便性に有意に影響しているが、荷物が小さい場合には屋根の有無が、荷物が大きい場合にはベンチの有無が影響し、その観点が異なる。荷物が大きい場合の疲労が考慮された結果であると考えられる。

構築されたモデル式の精度については、調査における利便性評価の観測値とモデルによる推定値との相関係数は

は0.6程度と比較的高い。また、10分割交差検証における相関係数の標準偏差が極めて小さいことから、本モデルは乗継利便性を安定して予測する性能を有していると言える。

6. 乗継利便性の計算例

前章で構築したモデルを使用して、ある仮想駅における鉄道とバスの乗継経路の改修を想定した(図-4)。表中『旧経路』が従前の経路であり、階段移動、道路横断、車道歩行、屋根やベンチのないバス停などの問題を抱えている。対策として、道路横断を解消するためにデッキを設置する『新経路1』と、バス停自体を移動させて上記の問題を解決する『新経路2』の2案を設定した。これら物理的特性の数値をモデルに投入し、旧経路と比較した場合の2つの新経路の利便性評価値を計算した。

ここで、前述のとおり、モデル内において乗継利便性は0から1までの値で取り扱われており、モデルによる乗継利便性評価の予測値も0から1までの値をとる。旧経路と比較して新経路の利便性が高まったか否かは『評価値が0.5を超えるか否か』により判定されるが、閾値が0.5

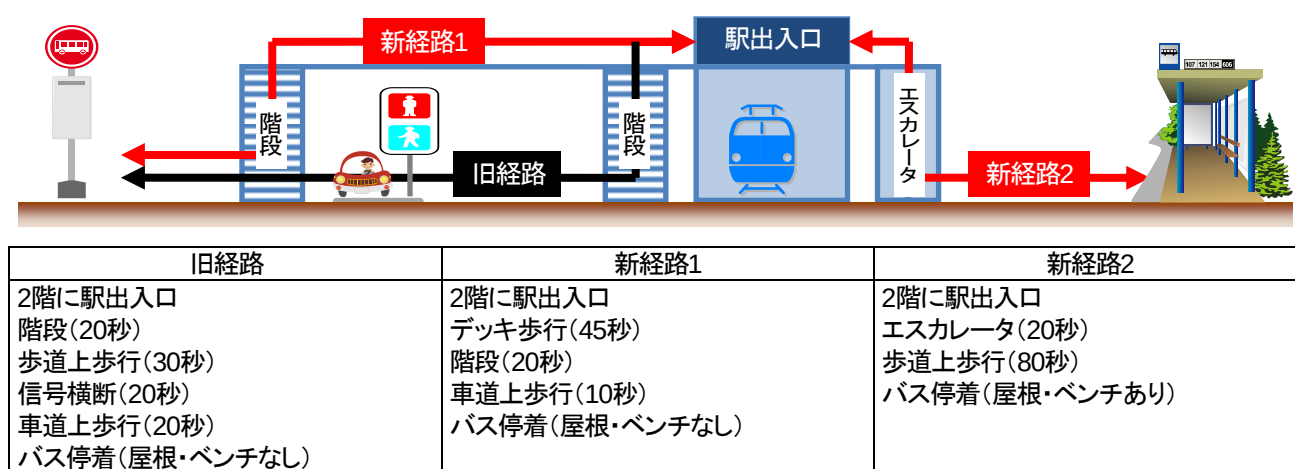


図-4 乗継経路改修を想定した新旧経路の例

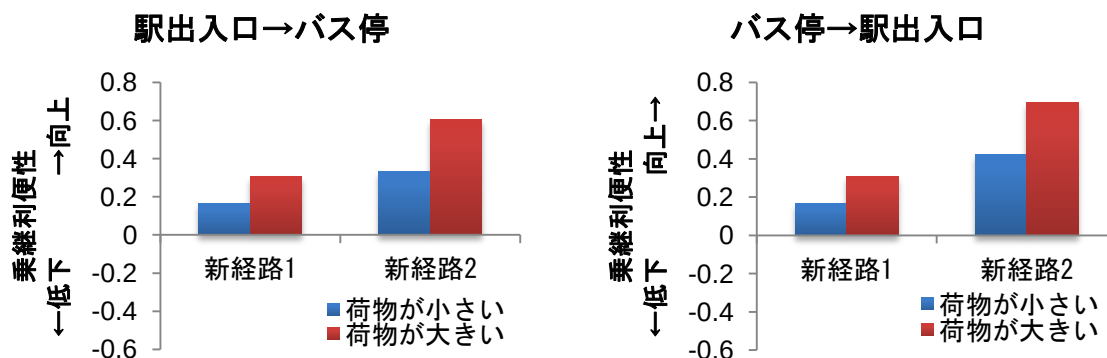


図-5 乗継利便性の計算結果

であることは分かりにくい。そこで、より分かりやすい評価値とするため、この値を-1から1までのスケールに変換する。具体的には、『変換後の利便性評価値=2×(変換前の利便性評価値-0.5)』により計算される。これにより、評価値の符号によってより直観的に利便性の比較が可能である。

計算結果を図-5に示す。新経路の利便性はどちらも正の値であることから、両者ともに旧経路より利便性が向上したと判断される。このうち、旧経路が抱える多くの問題点を解決した新経路2の利便性がより高い。また、エスカレータは上りと下りでパラメータが異なることから、上下双方のエスカレータを有する新経路2では乗り継ぎの方向により異なる利便性予測値が算出される。

7. おわりに

本研究では、ウェブ調査を通じて取得されたデータを活用して、乗継経路の物理的特性からその利便性を評価するモデルを構築した。本モデルにより、乗継経路の様々な物理的特性がその利便性に与える影響が明らかになるとともに、その利便性を定量的に評価することが可能になった。

一方、乗継利便性には、物理的特性以外にも様々な要素が影響する。その一例としては、乗継に関する案内の豊富さや適切さ、鉄道とバスなど他の交通機関とのダイヤ連携や運賃の共通性などといったサービスレベルなどが考えられる。また、例えば教育施設や商業施設などの近くに位置する駅では、その利用者層や利用目的等に特徴があるケースも考えられる。

今後は、上述のような今回の分析では反映できなかった

様々な観点を考慮した、より包括的な利便性の評価に取り組むとともに、さらに各駅の実態に即した利便性評価を可能にする手法の開発を目指す。

参考文献

- 1) 国土交通省：2010年第11回大都市交通センサス調査報告書，2012.
- 2) 国土交通省：2005年第10回大都市交通センサス，2007.
- 3) 飯田克弘，新田保次，森康男，照井一史：鉄道駅における乗換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，Vol.19，No.2，pp.705-708，1996.
- 4) Kang, K., Han, K. and Kim, J.: "A study on passenger level change mode choice in a public transport transfer system – Gwangmyeong station case-," *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.8, pp.1398-1407, 2010.
- 5) 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，Vol.19，No.2，pp.701-704，1996.
- 6) 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.9-20，2000.
- 7) 佐藤寛之，青山吉隆，中川大，松中亮治，白柳博章：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，土木計画学研究・論文集，Vol.19，No.4，803-812，2002.
- 8) 柳川友和，浅野光行：利用者の意識から見た駅前バスターミナルの整備のあり方に関する一考察，土木計画学研究・講演集，Vol.30，pp.255-258，2004.

(? 受付)

A RAIL-BUS TRANSFER CONVENIENCE EVALUATION CONSIDERING CHARACTERISTICS OF STATION SURROUNDINGS

Takamasa SUZUKI, Masai MUTO, Hiroshi MATSUBARA and Masakazu YAMAMOTO

This research aims to establish a method to evaluate convenience of rail-bus transfer considering transfer paths together with their physical and structural characteristics. An online survey was conducted to obtain passengers' evaluation on rail-bus transfer convenience. With data obtained through the survey, transfer convenience evaluation models have been developed to quantify the effect of each physical characteristic of transfer paths on convenience evaluation. Besides horizontal and vertical walk distances, which have been already taken into account in the preceding studies, features outside stations, including safety concerns and bus stop structures, have been also considered. Developed models have been applied to a sample case to demonstrate how transfer convenience can be evaluated in practice.