

# 公共交通ネットワークの再編に向けた公共交通手段・経路選択モデルに関する研究\*

## A study on the Traffic Measures and Route Choice Model for Public Transportation Network\*

野口 亮太\*\*・塚口 博司\*\*\*・高井 歩\*\*\*\*

By Ryota NOGUCHI\*\*・Hiroshi TSUKAGUCHI\*\*\*・Ayumi TAKAI\*\*\*\*

### 1. はじめに

バスは、鉄道とともに都市内の基幹的な輸送機関であるとともに、都市内交通のきめ細かなサービスを担う輸送機関である。このように、バスは面的な輸送サービスが提供できるという特徴をもっており、トリップ目的に柔軟に対応できる交通機関である。バスの利用を促進することは、道路空間の有効活用や道路交通の円滑化などといった観点から有効といえる。

これまで、バス路線計画は既存の利用者ODや事業者の経験をもとに、利用者が目的地まで乗換えなしで直行できることを重視して立案されることが多かった。多くのバス系統が中心市街地を起終点として計画されたために、同一区間に過度に系統が重複しており、利用者にとって分かりにくい路線体系になっている。一方、利用者の少ない系統については低頻度運行になっていることも問題である。このように、路線網計画を策定する際、「利用者の乗換」について十分に検討されていなかったために、高密度のバス路線網を有する都市においても、そのネットワークを十分に活かしきれていない点が都市公共交通の課題である。

都市の高密度な公共交通ネットワークを有効活用するには、目的地への直行性だけではなく、利用者の乗換も視野に入れた公共交通システムが必要である。本研究は、乗換を前提としたバス路線網再編計画の立案を目的としており、アンケート調査により公共交通に対する意識を把握するとともに、乗換

を考慮した公共交通手段・経路選択モデルを構築する。

### 2. 本研究の考え方

#### (1) 利用抵抗としての一般化費用

持続可能な公共交通システムを構築するにあたり、筆者らは、利用者に乗換が必要であっても既存のバスシステムを改善することにより、利用者の利便性および事業者の効率性の双方を維持、または向上させることが出来ると考える。

一般的に、公共交通の利用や、最適な経路・手段選択には、乗換の有無だけではなく、運賃や所要時間、待ち時間など他の要因も考慮に入れられる。これらを総合的に考慮した一般化費用の考え方に基づいて、利用者は最適経路を決定していると考えられる。そのため、乗換が増えたとしても、運行頻度の向上により待ち時間が減少することで、利用抵抗としての一般化費用の増加を抑制することが出来る。

倉内らは、一般化費用および乗客配分モデルを用いて京都市におけるバスネットワークのサービスレベルを評価している<sup>1)</sup>。また、一定ゾーン内での乗継無料制度導入によるサービスレベルの変化について分析をおこなっている<sup>2)</sup>。

#### (2) 乗換えを前提としたバス路線網への再編

本研究で対象とする京都市のバス交通は、京都駅や四条河原町など中心市街地を起点とするバス系統が豊富にあり、多系統少便型の運営になっている。そのため、中心部においては「バスは来るが、乗れるバスは来ない」、郊外部においては「バスの運行頻度が少ない」といった問題が生じている<sup>3)</sup>。

本研究では、このような課題に対応するために、乗換を前提とした少系統多便型のバス路線体系の構築を目指している。少系統多便型のバス路線体系は、利用者の乗換回数が増す以外に、定時性の確保や利用者の待ち時間、路線網の分かりやすさ、輸送の効率性などといった観点から効果的といえる。

\*キーワード: 都市公共交通、交通手段選択モデル、時間価値、乗換え

\*\*学生員、立命館大学大学院理工学研究科 創造理工学専攻

\*\*\*フェロー会員、工博、立命館大学理工学部 都市システム工学科、(〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 TEL:

077-561-2735、FAX:077-561-2667)

\*\*\*\*非会員、西日本旅客鉄道株式会社

### 3. 公共交通の利用に関するアンケート調査

#### (1) 調査の概要

本アンケート調査は、公共交通機関に対するイメージ、および乗換を前提とした新しい公共交通システムの経路選択行動を把握するために、京都市民500世帯(1,000人)に対し実施した。設問の内容としては、①公共交通機関の利用状況、②交通機関に対するイメージ、③乗換に対する意識、④交通手段・経路選択問題である。

調査は、電話帳に記載されている世帯をランダムに抽出し郵送により実施した。なお、区別の送付数に関しては、郊外部から中心部に向かう経路選択機会が多いと思われたため、郊外部の区には中心部の1.5倍多く配布した。本調査の回収結果は、回収率18.1%、回答者数181人であった。

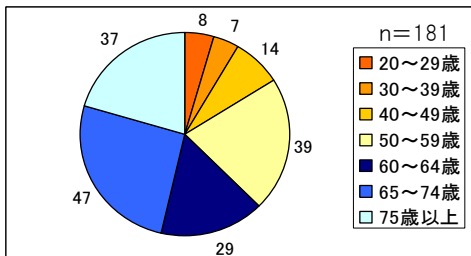


図1-回答者の年齢構成

#### (2) 公共交通の利用状況

図2に、公共交通を利用しての外出頻度を示す。全体の74%の回答者が月に1~2回以上利用すると回答しており、公共交通が多くの市民に利用されていることがわかる。しかし、「休日を含む毎日」、「平日のみ毎日」利用している割合は13%と低くなっている。これは、回答者に高齢者が多く、通勤や通学など規則的に利用する場合が少ないためと考えられる。

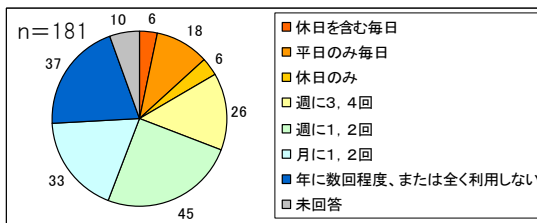


図2-公共交通利用状況

#### (3) 公共交通に対する意識

##### a) 鉄道、バスに対する意識

鉄道およびバスに対する意識を、「運賃」、「迅速性」、「定時性」、「路線網の分かりやすさ」、「総合的に利用しやすいか」という観点から5段階で評価をおこな

った(図3)。「満足している」に5を与えており、中心から離れるほど満足していることを表す。鉄道に関しては「定時性」・「迅速性」・「路線網のわかりやすさ」の3項目で高い評価が得られた。一方、バスに関しては、それらの項目で2ポイント強と低い評価となった。また、別の設問で公共交通が力を入れるべき施策として「定時性の確保」や「運行頻度の増強」が多く挙げられたこともあわせて考えると、利用者がバス輸送サービスの改善を求めていることが明らかになった。

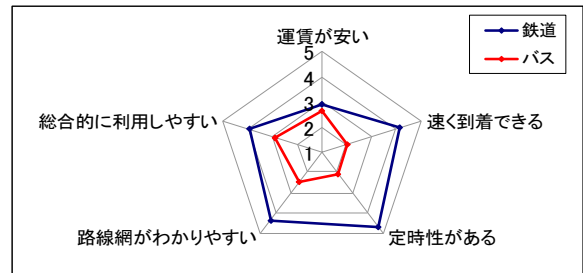


図3-鉄道、バスに対するイメージ

##### b) 乗換に対する意識

図4に、利用者が乗換の際に負担と感ずる項目を示す。この項目は、「公共交通を利用する」と回答した人に対して、最も負担と感ずるものから順に3つ回答してもらう形式をとった。この結果、「次の電車やバスを待たなくてはならない」という回答が、全体の票数、最も負担と感ずると回答した票数の双方で最も多くなった。本研究では、乗換を前提としたバスシステムの構築を目的としているが、系統間の運行ダイヤの連携を図ることにより、乗換の際の待ち時間をいかに減少させるかが課題である。

また、乗り換えた際に新たに生じる運賃への抵抗感を抱いている人が多く見られる。京都市のバス交通における現在の運賃制度では、一部を除き、乗り継ぎ度に新たな運賃が課せられており、公共交通を利用する上での大きな抵抗となっていることが確認できる。

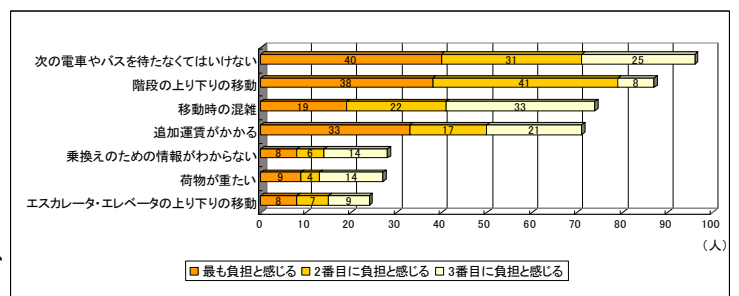


図4-乗換に対する意識

#### 4. 公共交通手段・経路選択モデルの構築

##### (1) 乗換を想定した経路設定

筆者らは持続可能な公共交通システムを構築するに当たって、乗換を前提としたバス路線ネットワークへの再編を目的としている。少系統多便型の路線網への再編を視野に入れ、経路選択問題で提示する経路を表1に従い設定する。

本研究は、利用者がバス停留所に到着してから、目的地に至るまでの一連の行動を対象としており、各経路の共通変数として①待ち時間、②バス乗車時間、③合計運賃を用いた。また、固有変数として、①鉄道乗車時間、②乗換の有無を用いた。各経路の、説明変数は表2に示す。

また、ルートBについては、乗換を重視した路線網の構築を前提としているために、バスとバスの乗換には新たな料金が発生しないものとした。

表1-各経路設定上の特徴

	ルートA	ルートB	ルートC
特徴	鉄道とバスを乗り継ぐ経路	バスとバスを乗り継ぐ経路	バス一本で目的地に向かう経路
長所	鉄道を利用するため、比較的所要時間が短い	バス所要時間が経路Cよりも短い	目的地まで乗換が不要
短所	鉄道とバスそれぞれに対して、乗車運賃を支払うため、合計運賃が比較的高い	乗換が必要	所要時間が大きい

表2-各経路の説明変数

	ルートA	ルートB	ルートC
合計運賃[円]	○	○	○
バス乗車時間[分]	○	○	○
待ち時間[分]	○	○	○
鉄道乗車時間[分]	○		
鉄道-バス乗換[回]	○		
バス-バス乗換[回]		○	

##### (2) 実験計画法による選択肢の割り付け

経路選択問題の作成は実験計画法に従い、3<sup>n</sup>型L<sub>81</sub>直交表を用いて選択肢の割り付けをおこなった。この中で、経路選択パターンを80ケース抽出し、ランダムに10種類の問題群を作成した。被験者1名に

対して8問ずつ提示し、3経路のうち最も合理的と思われる選択肢1つを回答してもらった。

表3-各経路の要因の水準

	ルートA	ルートB	ルートC
合計運賃[円]	400 350 300	250 200 150	250 200 150
鉄道乗車時間[分]	15 10 5		
バス乗車時間[分]	15 10 5	30 25 20	40 35 30
待ち時間[分]	10 7 5	10 7 5	10 7 5
鉄道-バス乗換[回]	1	0	0
バス-バス乗換[回]	0	1	0

##### (3) 公共交通手段・経路選択モデルの構築

現存しない仮想的なシステムについての嗜好を分析するために、SP調査による選択経路結果を用いて、非集計ロジットモデルによる公共交通手段・経路選択モデルを構築した。

なお、非集計ロジットモデルにおける選択確率は次式で与えられる。

$$P_{in} = \frac{\exp(V_{in})}{\sum_{j \in A_n} \exp(V_{in})} = \frac{1}{\sum_{j \in A_n} \exp(V_{in} - V_{in})}, (i \in A_n)$$

$A_n$  : 個人 $n$ の選択肢集合

$P_{in}$  : 個人 $n$ が選択肢 $i(i=1, \dots, I_n)$ を選択する確率

$V_{in}$  : 個人 $n$ が選択肢 $i$ から受ける効用の確定項

また、効用は選択肢の特性および社会属性などの要因 ( $Z_i = Z_{1i}, Z_{2i}, \dots, Z_{ki}$ ) からなる次のような線形関数で表される。

$$V_i = \beta_1 Z_{1i} + \beta_2 Z_{2i} + \dots + \beta_k Z_{ki}$$

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  : パラメータ

	待ち時間		合計運賃	解答欄
ルートA	5分		350円	通勤・通学 ショッピング 遊び など
ルートB	5分	<p>*所要時間は合計の表示です。</p>	250円	
ルートC	7分		250円	

図5-公共交通手段・経路選択問題

表3-パラメータ推定結果

目的		時間制約のある行動	自由行動
指標		パラメータ値 (t値)	パラメータ値 (t値)
合計運賃		<b>-0.0065587</b> (-5.2114***)	<b>-0.0092092</b> (-8.3038***)
バス乗車時間		<b>-0.1095736</b> (-8.6388***)	<b>-0.0609632</b> (-5.6558***)
待ち時間		<b>-0.0991355</b> (-3.9105***)	<b>-0.0471135</b> (-2.1981**)
鉄道乗車時間		<b>-0.1032486</b> (-5.0509***)	<b>-0.0330103</b> (-1.4777)
鉄道-バス乗換		<b>-0.8052661</b> (-1.7581*)	<b>-1.3183450</b> (-2.9356***)
バス-バス乗換		<b>-1.2192730</b> (-4.7504***)	<b>-1.2693920</b> (-6.2281***)
利用頻度ダミー (公共交通の利用が 月1.2回以上=1, それ以下=0)	ルートA	<b>0.9852280</b> (3.8181***)	<b>0.4370451</b> (-1.7109*)
	ルートB	<b>0.7553385</b> (2.9507***)	<b>0.2338511</b> (-1.1964)
サンプル数		705	906
$\chi^2$ 値		199.6117	276.0703
尤度比		0.1239	0.1349
的中率(%)		<b>54.2%=382/705</b>	<b>56.8%=515/906</b>

t値 \*\*\*は1%有意 \*\*は5%有意 \*は1%有意

時間制約のある行動と自由行動についてのパラメータの推定結果を表3に示す。各説明変数のパラメータの符号は合理的であり、t検定による有意性もほぼ満足されているものの、尤度比が低い結果となった。これは、設定した変数のほかに何らかの選択要因があるものと考えられる。

#### (4) 交通モード別時間価値の推定

本研究では構築した公共交通手段経路選択モデルをもとに、公共交通の利便性評価や公共交通ネットワークの適正化を行う予定である。利用者は、運賃や所要時間、乗換の有無を抵抗値として捉えた一般化費用によって経路選択行動を行っていると考えられるため、前節で構築した公共交通手段経路選択モデルをもとに各交通モード別時間価値の推定をおこなった(表4)。なお、時間価値の妥当性を検証するために、参考として倉内らの推定した時間価値<sup>1)4)</sup>もあわせて示す。

表4-時間価値推定結果

	バス乗車 [円/分]	鉄道乗車 [円/分]	待ち [円/分]	乗換 [円/回]
本研究	16.7	15.7	15.1	122.8(鉄道-バス) 185.9(バス-バス)
倉内ら	12.5	-	19.7	-

本研究では、乗換行動に対する抵抗を、乗換1回あたりの貨幣価値で表した。鉄道とバスの乗換は1回あたり122.8円、バスとバスの乗換は185.9円となった。それぞれの抵抗の大きさは、バス乗車時間の約7.4分、約11.1分に相当する。

待ち時間価値に着目すると、先行の研究成果ではバス乗車より大きいことに対して、本研究の時間価値は3指標の中で最も小さくなった。情報媒体の充実により、容易に時刻表を入手しやすくなったため、利用者が待ち行動をあまりしなくなったことが原因と推測される。

本研究で算出された時間価値は、先行研究で用いられているものと比較して、鉄道乗車、バス乗車、待ち時間価値のばらつきが小さい結果となったが、概ね妥当な数字といえる。

## 5. おわりに

本研究では、乗換を前提とした公共交通システムの構築を目的として研究を進めている。そこで、利用者の公共交通に対する意識および、乗換を考慮した新しいバスシステムにおける経路選択行動を分析するために、アンケート調査を実施し、公共交通手段・経路選択モデルを構築した。

今後は、構築したモデルを用いて公共交通の利便性評価をおこなうとともに、料金施策や路線設計といった政策的な観点から、利便性の高い公共交通システムを提案する予定である。

### 参考文献

- 1) 倉内文孝・嶋本寛・王萍・飯田恭敬：乗客配分モデルを用いたバスサービスの評価に関する研究，第31回土木計画学研究講演集，CD-ROM，2005。
- 2) 倉内文孝・嶋本寛・王萍・飯田恭敬：最小費用Hyperpath探索アルゴリズムを用いたバスサービス評価に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.23，No.3，Page.755-761，2006。
- 3) 京都市交通事業審議会：規制緩和と実施下における市バス事業経営のありかたについて。
- 4) 平井幹也，倉内文孝，飯田恭敬：融合型公共交通システム実現を目指した交通機関選択行動に関する実験分析，第30回土木計画学研究講演集，CD-ROM，2004。