

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*

Experimental Analysis on Mode Choice Behaviour for Merged Public Transport System*

倉内文孝[†]・平井幹也[‡]・飯田恭敬[§]

By Fumitaka KURAUCHI[†]・Mikiya HIRAI[‡]・Yasunori IIDA[§]

1. はじめに

本研究では、魅力的な公共交通の実現を考える上で大きなテーマと考えられる「融合型公共交通システム」，すなわち鉄道や路線バスなどの既存交通機関と，デマンドバスやカーシェアリングといった新しい交通サービス形態とを融合させて利用する公共交通システムの構築を目指している．交通機関の成立可能性を検討するためには，どのような運用条件ならば利用者が利用するのかについて，検討しておく必要がある．本稿では室内選択行動実験システムを通じて交通機関選択行動をモデル化し，それを用いた利用者の選択傾向分析について報告する．

2. 室内交通機関選択実験システムの概要

パソコンを用いた室内繰り返し選択実験は，データ間に個人の嗜好に起因する相関（系列相関）が生じること，少数の被験者を用いるため社会全体の平均的行動を反映していない可能性があること，選好意識調査と実際の行動は必ずしも一致しない可能性があること，などという欠点をもつ¹⁾．しかしながら，社会実験などの限られた期間内では実現が困難な様々な条件での選択行動を収集可能であること，同一被験者から多数の複数回の選択行動を効率的に収集可能であること，データ入力コストを省略できることなどの利点もあり，交通行動の観測の際に有用な手法といえる．そのため，本研究では室内選択

実験を採用した．ここでは，デマンドバス，カーシェアリングシステムといった新しい交通システムと自家用車，路線バスといった交通機関との競合関係を考察する交通機関選択実験と，デマンドバスあるいはカーシェアリングシステムと路線バスを乗り継ぐ融合形態での利用を考えた際の選択行動を考察する交通機関選択実験の2種類を実施した．

(1) 交通機関選択実験

本実験では，仮想的な都市を被験者に想像してもらった．目的地までの距離を5km程度，自由目的の片道トリップとし，自家用車，路線バス，タクシー，デマンドバス，カーシェアリングの5種類を選択対象とした．デマンドバスは，フルデマンド方式でバス停間サービスを行うもの，カーシェアリングは自宅付近のポートから車両を借り出し目的地付近の駐車場に乗り捨てるもの，と被験者に説明した．利用料金は，路線バス，タクシー，デマンドバスについては運賃を仮定し，自家用車についてはガソリン代および目的地での駐車場代を，カーシェアリングについては車両利用料金とした．また，デマンドバスでは他の乗客の予約を受け付けるために乗車時間が増加することを考慮して，乗車時間の幅も併せて示している．各設定変数の値は，その特性を考慮して一様乱数，指数乱数，正規乱数とし，さらに上下限值，丸め単位を設定可能としている．実験の際に設定した条件を表1に示す．なお表中のa, bは形状パラメータであり，正規乱数の場合は平均及び分散を，指数乱数の場合は平均およびシフト値を示している．上記の7変数が変化する5つの交通機関からひとつを選択することは実質困難であると考え，5交通機関から2交通機関がランダムに表示される2拓の選択となるような実験システムを開発した．図1に実験画面例を示す．本実験では，100回の2択の選択を依頼した．2交通機関の選択結果に加えて，年齢，性別，職業，免許の保有，免許取得歴，

* Keywords: 公共交通需要，交通手段選択，室内選択実験，融合型公共交通システム

[†] 正員，博（工），京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻（〒606-8501 京都市左京区吉田本町，Tel 075-753-5126，FAX 075-753-5907，Email:kurauchi@urbanfac.kuciv.kyoto-u.ac.jp）

[‡] 正員，修（工），大阪府土木部交通道路室

[§] フェロー会員，工博，京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

自家用車の保有，日常的に使える車の保有，普段利用する主な交通機関などの質問も併せて行った．被験者は，京都大学の学生 30 名（合計 30 x 100 = 3,000 サンプル）を対象として実施している．

表 1 変数の設定条件

番号	対象	変数の意味	乱数タイプ	a	b	下限値	上限値	単位
0		停留所アクセス時間	指数	13	5	0	90	1
1	路線バス	停留所待ち時間	指数	10	5	0	40	1
2		乗車時間	正規	22.5	3	15	30	1
3		停留所イグレス時間	指数	10	2	0	30	1
6		費用	正規	235	30	170	300	10
7	デマンドバス	停留所アクセス時間	正規	5	2	1	10	1
8		自宅待ち時間	指数	30	5	5	120	5
9		乗車時間	正規	20	2	15	25	1
10		乗車時間の幅	正規	10	5	0	20	5
12		停留所イグレス時間	正規	3	1	1	5	1
14		費用	正規	350	80	200	500	10
17	乗用車共通	乗車時間	正規	15	2	10	20	1
18	タクシ	自宅待ち時間	正規	10	2	5	15	1
20		費用	正規	1250	120	1000	1500	50
22	カーシェアリング	ポートアクセス時間	一樣	10	4	1	20	1
23		ポートイグレス時間	正規	2	1	0	4	1
25		自宅待ち時間	指数	10	20	0	90	5
27		費用	指数	600	200	200	1800	100
28	自家用車	イグレス時間	正規	7.5	4	0	15	1
29		燃料代	正規	50	0	50	50	50
30		駐車場費用	正規	900	350	0	1800	50



図 1 室内交通機関選択実験の画面

(2) 乗継を考慮した交通機関選択実験

(1)の交通機関選択実験により，デマンドバス，カーシェアリングなどの新しい交通システムの選択傾向を検討可能であるが，融合形態の成立を検証するためには異種モード間の乗継を評価する必要がある．そのため，乗継を考慮した交通機関選択実験も実施した．被験者は普段利用していない交通システムに加え，乗継という複雑な条件を考慮する必要があるため，けいはんな学研都市を考察対象とし，そこに居住あるいは就業している方々を対象として実験を行うことで，できる限り現実性の高いデータの収集を目指した．光台から学園前までの移動を考えてもらい，路線バス，デマンドバスと路線バスの乗継（D&R Bus），自家用車のみ利用，自家用車と路線バスの乗継（P&BR）の4交通機関について(1)

と同様の選択実験を行った．乗継地点は，学園前行ききのバスが頻繁に運行されている登美ヶ丘3丁目とした．光台から登美ヶ丘3丁目までがおおよそ4km，登美ヶ丘3丁目から学園前までが2.5km程度である．被験者には20回あるいは40回の繰り返しを依頼し，合計796の有効サンプルを収集した．表2に変数の設定条件を，図2にけいはんな地域の地図を示す．

表 2 変数の設定条件（乗継を考慮）

番号	対象	変数の意味	乱数タイプ	a	b	下限値	上限値	単位
0		停留所アクセス時間	正規	11	3	3	20	1
1	路線バス	停留所待ち時間	指数	10	5	0	40	1
2		乗車時間	正規	28	3	28	28	1
3		費用	指数	30	340	340	400	10
4		停留所アクセス時間	正規	3	1	2	4	1
5	路線デマンドバス	自宅待ち時間	指数	20	10	10	70	5
6		路線バス所要時間	正規	8	1	8	8	1
7	デマンドバスの融合	デマンドバス乗車時間	正規	20	2	15	25	1
8		デマンドバス乗車時間の幅	正規	10	5	0	20	5
9		乗り換え時間	正規	5.5	2	1	10	1
10		費用	正規	350	80	200	500	10
11	自家用車乗車時間	正規	10	1	8	12	1	
12	P & BR	乗り換え時間	正規	10.5	2	6	15	1
13		費用	正規	650	120	350	950	50
14	自家用車	イグレス時間	正規	6	2	2	10	1
15		乗車時間	正規	15	2	10	20	1
16		燃料代	正規	50	0	50	50	50
17		駐車場費用	正規	750	250	300	1200	50

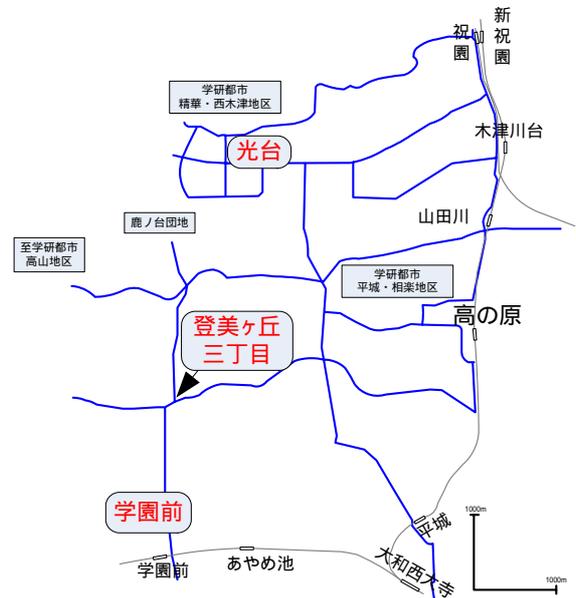


図2 けいはんな地域地図

3. モデル推定結果の考察

上記の実験により収集されたデータを元に，多項ロジットモデルにより交通選択モデルを構築することとした．室内実験では被験者に対して多数回の繰り返し実験を行っているため，繰り返しが選択に及ぼす影響，すなわち系列相関について考慮する必要

がある．系列相関を考慮した選択モデルはいくつか提案されている²⁾が，本研究で推定するのは4選択あるいは5選択モデルであり，選択肢数及び繰り返し回数に応じた多重積分を要することから，今後の課題に位置づけることとした．なお，選択回ごとに4つあるいは5つの交通機関中2つのみを提示しているが，これについては利用可能選択肢集合を変化させることで表現している．

(1) 交通機関選択実験

学生を対象とした交通機関選択実験の推定結果を示したのが表3である．設定変数の中で符号条件を満たさなかったデマンドバスの乗車時間の幅を除去したものを右列に示している．各時間に対するパラメータ推定値の大きさを比較するとアクセス時間>イグレス時間>停留所待ち時間>自宅待ち時間>乗車時間となっており，妥当な結果といえる．停留所での待ち時間に関する時間価値を算定したところ，12.7(円/分)となった．この値は，中川ら³⁾が用いたバス利用での自由目的トリップの時間価値13(円/分)とほぼ同等であり，ある程度信頼性できる結果が得られたものと考えている．次に，デマンドバス，カーシェアリングに発生する自宅待ち時間とアクセス時間のパラメータを比較すると，アクセス時間のパラメータの大きさは，自宅待ち時間のその2.5倍の値を示しており，また，自宅待ち時間よりも停留所待ち時間の方が大きいことから，自宅待ち時間はあまり重要視されず，それよりも停留所での待ち時間さらにはアクセス時間を重要視する傾向があることがわかる．このことからデマンドバス，カーシェアリングで生じる時間調整のための自宅待ち時間はある程度許容されるものといえる．また，乗車時間とアクセス時間のパラメータ比をとれば，アクセス時間のおよそ4倍まで乗車時間を許容できる．バス停の間隔を短くする代わりにデマンド運行によって乗車時間の増加することが許容されうること示唆しているといえよう．

(2) 乗継を考慮した交通機関選択実験

乗継を考慮した交通機関選択実験の推定結果を表4に示す．一般交通機関選択実験のケースと同様デマンドバスの乗車時間の幅は符号条件を満たさなかったため説明変数より除去している．選択肢固有ダミー変数を見ると，路線バスに関しては正の大き

表3 交通機関選択モデル推定結果

説明変数	基本モデル		乗車時間幅を除去	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値
選択肢固有ダミー変数 路線バス	0.446	1.847	0.431	1.841
選択肢固有ダミー変数 デマンドバス	-0.088	-0.390	-0.067	-0.319
選択肢固有ダミー変数 タクシー	-0.312	-2.763	-0.312	-2.760
選択肢固有ダミー変数 カーシェアリング	-0.368	-2.481	-0.368	-2.480
料金(円)	-0.003	-17.131	-0.003	-17.129
アクセス時間(分)	-0.085	-13.343	-0.085	-13.345
イグレス時間(分)	-0.070	-8.724	-0.069	-8.722
自宅待ち時間(分)	-0.035	-12.876	-0.035	-12.876
停留所待ち時間	-0.059	-7.173	-0.059	-7.175
乗車時間	-0.024	-1.493	-0.022	-1.597
デマンドバス乗車時間の幅	0.004	0.257	-	-
サンプル数	3000			
路線バス選択者	638			
デマンドバス選択者	758			
タクシー選択者	457			
カーシェアリング選択者	399			
自家用車選択者	748			
Lmax	-1509.852		-1509.886	
Lconst	-2050.384		-2044.530	
rho^2	0.274		0.274	
Adjusted Rho^2	0.273		0.273	
hit ratio	0.759		0.759	

表4 乗継を考慮した交通機関選択モデル推定結果

説明変数	パラメータ	t値
選択肢固有ダミー変数 路線バス	1.323	1.994
選択肢固有ダミー変数 デマンドバス&路線バス	-0.141	-0.219
選択肢固有ダミー変数 パーク&バスライド	0.073	0.162
料金	-0.004	-8.458
アクセス時間	-0.148	-3.932
乗り換え時間	-0.108	-2.691
自宅待ち時間	-0.107	-2.122
停留所待ち時間	-0.074	-5.852
乗車時間	-0.041	-1.408
サンプル数	796	
路線バス選択者	244	
デマンドバス&路線バス選択者	149	
パーク&バスライド選択者	172	
自家用車選択者	231	
Lmax	-459.192	
Lconst	-599.182	
rho^2	0.168	
Adjusted Rho^2	0.164	
hit ratio	0.667	

な値で，最も選好された交通機関であった．またアクセス時間1分当たりの時間価値を求めると $-0.148/-0.004=37.0$ (円/分)となった．一般交通機関選択実験の学生実験の結果(28.3円)と比較して，時間価値の値は若干大きな値となったが，これは被験者が学生か就業者か，といった違いによるものと考えられる．時間の項の大きさを比較すると，アクセス時間>乗り換え時間>停留所待ち時間>乗車時間>自宅待ち時間となっており妥当な結果といえる．乗り換え時間の抵抗は路線バスの停留所待ち時間と比較しておよそ1.46倍となっており，同じ路線バスを待つとしても，乗り継ぐことが大きな抵抗になることがわかる．乗車時間とアクセス時間のパラメータの比をとれば，アクセス時間のおよそ3倍まで乗車時間を許容できることになる．さらに待ち時間とアクセス時間のパラメータの比をとれば，アクセス時間のおよそ10倍まで自宅待ち時間を許容できることから，高密度のバス停の設置あるいは door-

to-door サービスなどアクセス時間を短くすることで、多少の出発時間調整を行うなど柔軟なサービス提供を実施することが可能といえる。もちろん乗り換えをスムーズにし、その抵抗を小さくすることも重要である。

4. シナリオ分析

本研究で得られた交通機関選択モデルを用いることで、様々な想定ケースでの交通機関の利用傾向の分析が可能である。ここでは一例として、けいはんな地域における社会実験において、デマンドバスの利用が多かった光台から高の原駅へのトリップを対象とし、表3の推定結果から計算できる路線バス/デマンドバスの2選択時のデマンドバス選択確率を用いて利用者の選好を検証した。デマンドバスの自宅待ち時間、路線バスの停留所待ち時間を変化させることによって選択確率の推移をみることにした。デマンドバスの予約待ち時間と路線バスの停留所待ち時間を変数としたときのデマンドバスの選択確率を図3に示す。これより選択確率50%を参照点とすると、路線バスの待ち時間が40分程度であれば、たとえサービスレベルが悪く、自宅での待ち時間が55分に達する場合でも交通機関選択者はデマンドバスを選択する可能性があるといえる。光台から高の原駅行きの路線バスのサービスレベルとしては一日に4本という運行が非常に少ない路線であったことや、光台から新祝園駅まで路線バスで行きそこから電車の乗り継ぐ際には440円必要であり、乗り継ぎの便も悪いためデマンドバスへの利用につながったことがこの結果からも確認できる。この例のように、想定されるサービス条件における利用者の選好について、本モデルを活用して検討可能である。

5. おわりに

本研究では、融合型公共交通機関選択の実現可能性を利用者の利用意向から評価することを目的とし、室内交通機関選択実験システムを用いて収集したデータに基づき交通機関選択モデルの構築を行った。得られたモデルのパラメータ値やその大小関係は妥当な結果となり、このモデルを用いた利用意向分析は一定の信頼性があると考えられる。本稿では交通機関選択モデルを用いた選択傾向分析の一例を示し

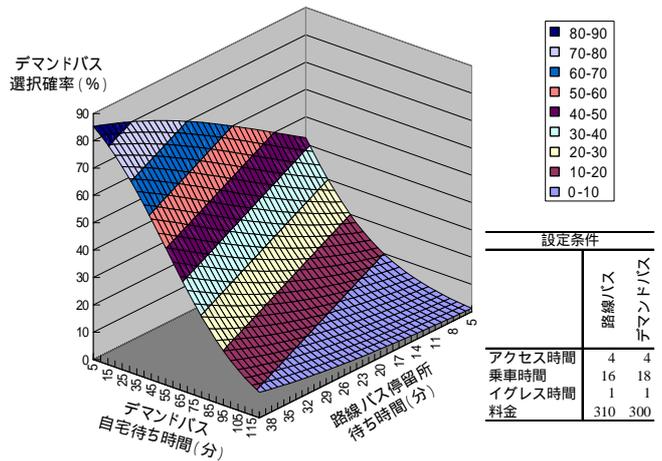


図3 デマンドバス選択確率の推移

たが、このような方法によって、提供サービスに対する利用意向を確認することが可能と考えられる。

今後の課題としては、繰り返し選択データに起因する系列相関を考慮したモデル化を実施すること、個人属性を考慮したモデル化を行うことなどが挙げられる。

謝辞

本研究は、地域新生コンソーシアム研究開発事業「IT技術を活用した融合型公共交通システムの実用化研究開発」の一部として実施されたものである。ここに記し、実験に参加頂いた被験者の方々に始め、関係者の方々、特に被験者の収集にご尽力頂いた(財)関西文化学術研究都市推進機構 安田三治氏、実験時の利用データ収集整理にご尽力頂いた中央復建コンサルタンツ株式会社 細川寛氏、伊藤薫氏に深謝いたします。

参考文献

- 1) 倉内文孝：“駐車場管理システム高度化による駐車行動の変化と道路網交通流への影響効果に関する研究”，学位論文（京都大学），2002
- 2) 森川高行・山田菊子：“系列相関をもつ RP データと SP データを同時に用いた離散型選択モデルの推定法”，土木学会論文集，No.476，pp.11~18，1993
- 3) 中川大・西尾健司・松中亮治・伊藤雅：“共通運賃制度の導入による所要時間短縮効果に関する研究”，土木計画学研究・論文集，Vol.16 pp.667-674，1999.9