

# 高齢者に配慮したコミュニティバスの 利用頻度予測モデルについて

新田保次<sup>1</sup>・都 君燮<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 大阪大学大学院助教授 工学研究科土木工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

<sup>2</sup>正会員 博(工) 名古屋工業大学助手 工学部社会開発工学科 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)

本研究は、高齢者を中心とした交通困難者のモビリティ向上を促す目的で導入されるコミュニティバスの需要予測手順の中で、このコミュニティバスへの転換者数予測の次段階に位置付けられるバス利用頻度予測に必要となるモデルを構築することを目的とした。このバス利用頻度予測モデルは、現状の外出利用交通手段別に構築した、現状の外出頻度選択を推定するモデル(外出頻度選択モデル)と、コミュニティバスの利用による外出頻度の増加を予測するモデル(外出頻度増加モデル)からなる。これらの構築されたモデルは精度的に良好であった。また、このモデルを使うことにより、新たなバスが導入されたときの潜在需要の顕在化を、利用頻度の増加という形で明示的に表現することにより、需要予測を行うことを可能にした。

**Key Words :** elderly people, community bus, ordered logit model, frequency-forecasting model

## 1. はじめに

今後わが国では、超高齢社会の到来が予測されており、高齢者の急激な増加が考えられる。高齢者の増加とともに社会活動への参加意欲も強くなっている。高齢者自身からも社会の側からも高齢者の社会参加が必要と考えられているが、その参加においては様々なバリアが存在している。このバリアを移動面から克服する手段として、筆者はコミュニティバスに着目し、需要予測における交通手段転換モデルの構築に関する研究を行ってきた<sup>1)~7)</sup>。

コミュニティバスとは、運輸省の定義<sup>8)</sup>によれば「既存のバスサービスだけではカバーしきれないニーズに対応する路線バスであり、そのサービス内容は必ずしもこれまでの路線バスの考え方によらず、利用者の利便性を最大限考慮し、かつ多様化する需要へ対応する新たなバスシステムである。同時に、福祉サービス、環境に与える影響の軽減を視野に入れたシステム」である。また、秋山<sup>9)</sup>は、「ルートと時刻表をもって運行を行うもので、車両は主としてミニバスを用いることが多い。これは、今までのバスがサービスできなかった地域や対象者を念頭においたバス」と定義している。筆者も上記の定義と同様にコミュニティバスを考えている。つまり、

「従来のバスサービスでは十分対応できなかった高齢者、障害者、子供たち、主婦などの利用ニーズに応えるもので、コミュニティのすべての人々が利用できるバスシステム」であると。

このコミュニティバスは、現在各地で検討されているが、すでに武蔵野のムーバス(1995年11月)<sup>10)</sup>を皮切りに、金沢のふらっとバス<sup>12)</sup>が1999年3月末より全国で初めてノンステップのミニバスを用い運行されている。いずれもミニバスを用い多頻度運行を心がけるとともに、バス停間隔を100~200mと短くしバス停までの徒歩距離の軽減を図っている。同時に料金を既存バスの半額と大幅に安くしている。

本研究では、このようなコミュニティバスの中で、特に高齢者に配慮し、高齢者が利用しやすいコミュニティバスを「高齢者対応型コミュニティバス」ということにする。そして、図-1に示す高齢者対応型コミュニティバスの需要予測手順の中で、今まで研究に着手していなかった利用者の頻度予測に必要なモデルの構築を主な研究目的にした。

この高齢者対応型コミュニティバスの利用頻度予測モデル(以下、「バス利用頻度予測モデル」という。)は、図-2に示すように、需要予測の際、対象とする目的地に向かう現状の交通手段による外出頻度を推定するモデル(以下、「外出頻度選択モデル」とい

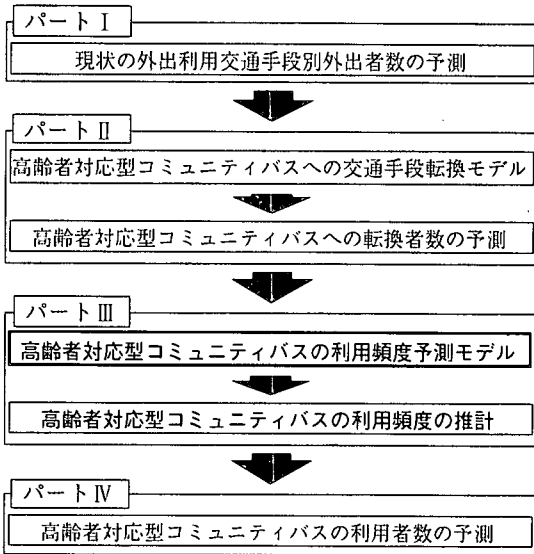


図-1 高齢者対応型コミュニティバスの  
需要予測の手順

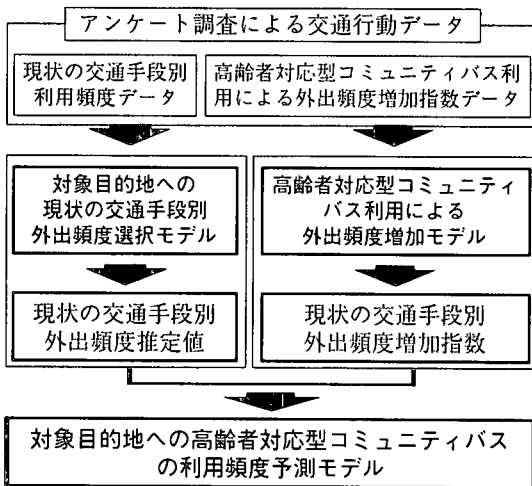


図-2 高齢者対応型コミュニティバス  
利用頻度予測モデル構築のフロー

う.)と、これらの人達が高齢者対応型コミュニティバスに転換したときの外出頻度の増加を予測するモデル(以下、「外出頻度増加モデル」という.)からなる。

## 2. バス利用頻度予測モデル

### (1) 本研究のバス利用頻度予測モデルの特徴

図-2に示すように、本研究の高齢者対応型コミュニティバスの利用頻度予測モデルは、現状の交通手段別外出頻度選択モデルと高齢者対応型コミュ

ニティバスが運行されたときのこのバス利用による外出頻度増加モデルの2種類のモデルにより構成される。

このように利用頻度予測モデルを2種類に分解した理由は二つある。一つは、高齢者対応型コミュニティバスが導入されたときの利用頻度の増分を明示的に表現するモデルを必要としたこと。これは高齢者対応型コミュニティバスを計画するときに、現状と比べてどれだけ利用頻度が増えるかということが常に需要予測上の課題として存在することによる。二つ目の理由は、モデル構築に用いたデータの種類の異なることによる。外出頻度選択モデルでは行動データを用いており、外出頻度増加モデルでは意識データである。データの性格が違うので、2種類のモデルに分解することにした。

外出頻度選択モデルでは、順序変数選択モデル(Ordered Logit Model, 以下「OLモデル」という.)を適用したモデルを構築し、現状の利用交通手段による外出頻度を把握したデータによりパラメーター推定を行う。また外出頻度増加モデルでは、数量化理論第I類を適用したモデルを使い、高齢者対応型コミュニティバスが運行されたと仮定したときの外出頻度の増加意向を調べた意識データをもとに、モデルの構築を行う。

OLモデルに関する既往の研究では、その多くが頻度選択モデルに関する事例である。このモデルは、Sheffi<sup>13)</sup>、<sup>14)</sup>によって提案されたものであるが、Hall<sup>15)</sup>、Daly & Van Zwam<sup>16)</sup>、Small<sup>17)</sup>、Lerman & Mahmassani<sup>18)</sup>等により、適用範囲の広いモデルが開発された。その後、効用関数の推定方法に関して、Vickerman<sup>19)</sup>とBarnby<sup>20)</sup>らによって、実証的研究が試みられた。

活動選択と活動時間配分を扱ったモデルでは、たとえば、Kitamura<sup>21)</sup>は1日の活動時間が非負で上限を有することから、上下制限付き変数選択モデル(Tobit Model)を適用した研究を行っている。

また、原田<sup>22)</sup>らは休日の買物交通を対象とした買物頻度選択モデルについて研究を行い、休日の買い回り品買物交通を対象として、OLモデルとRL(Repeated Logit)モデルの2つの頻度選択モデルをNL(Nested Logit)モデル体系の中で、統一的に扱う方法を提案し、その適用性を検討した。この研究では、OLモデルを用いた頻度選択モデルの精度が最も良いことが分かった。

### (2) バス利用頻度予測モデル

外出頻度選択モデルにより推定された頻度選択率をもとに求めた外出頻度と外出頻度増加モデルによ

り推定された頻度増加指数の両者を組み込んだバス利用頻度予測モデルの基本式を式(1)に示す。なお、本モデルでは、利用頻度として、1日あたりの利用回数を予測することになる。

$$F_j = a \left[ \sum_{k=1}^{n_j} \left( O_{jk} \left( \sum_{r=1}^R P_{jkr} \times Q_r \right) \right) / 100 \right] + b \quad (1)$$

ただし、 $F_j$  = 現状の外出交通手段jにおける高齢者対応型コミュニティバスの利用頻度、 $O_{jk}$  = 現状の外出交通手段jを利用する個人kの高齢者対応型コミュニティバスの利用頻度増加指数、 $P_{jkr}$  = 現状の外出交通手段jを利用する個人kの外出頻度ランクr(表-2参照)の選択割合、 $Q_r$  = 外出頻度ランクrの代表値(表-2参照)、 $n_j$  = 現状の外出交通手段jから高齢者対応型コミュニティバスへ転換する利用者数、 $a, b$  = パラメーター

### (3) 外出頻度選択モデル

外出頻度選択モデルは、式(1)の $P_{jkr}$ 推定するモデルである。以下、本研究で用いるOLモデルについて述べる。

ある個人が外出する時の頻度においては、外出しない(0回)、1回、2回、……と続く外出頻度を独立した離散的な選択肢とみなすことは可能であるが、外出頻度そのものは序列変数であるため、通常のMNL(Multinomial Logit)モデルをそのまま用いるのは適切ではないと考えられる。

そこで、本研究では、このような序列変数の多肢選択分析を行うため、Sheff<sup>14)</sup>が提案したOLモデルを用いる。このモデルは、序列変数の選択を二項選択のシークエンスに分解したもので、次のように表現される。

i番目の外出頻度の効用を $U_i$ とすればi番目の序列の外出頻度を選択する確率 $P(i)$ は、0から順にiまで選択する確率 $\Pr(U_0 < U_i)$ …… $\Pr(U_{i-1} < U_i)$ と、i+1番目以上が選択されない確率 $\Pr(U_i > U_{i+1})$ の積となる。

$$P(i) = \Pr(U_i > U_{i+1}) \prod_{k=1}^i \Pr(U_{k-1} < U_k) \quad (2)$$

さらに、 $P_{i+1|i} = \Pr(U_i < U_{i+1})$ とすれば、式(2)は次式のようになる。

$$P(i) = \left( 1 - P_{i+1|i} \right) \prod_{k=1}^i P_{k|k-1} \quad (3)$$

このとき、 $P_{i+1|i}$ は二項選択型のロジットモデルで表現される。そして、効用関数を説明変数xを用いて表現することにより、式(4)のようになる。

$$P_{i+1|i} = 1 / [1 + \exp(\alpha \Delta x + \beta)] \quad (4)$$

$$\Delta x = x_i - x_{i+1}$$

なお、説明変数には、表-1に示すものを採用した。そして、外出頻度の各選択段階において、いずれもこの説明変数を用いるものとした。よって、このモデルは、Vickermanのいう無制約型モデルである<sup>19)</sup>。

### (4) 外出頻度増加モデル

本研究では、アンケート調査により高齢者対応型コミュニティバス利用時の現状の外出頻度からの増加割合を示すデータを把握しているが、この頻度増加意識データをもとにし、数量化理論第I類を用いた外出頻度増加モデルを構築することとする。ここで数量化理論第I類を用いたのは、目的変数に相当する頻度増加データおよび説明変数の一部のデータがカテゴリー化されて採集されているためであり、このようなデータに対応する簡便なモデルとして数量化理論第I類を採用した。

この式は、目的変数の外的基準をY、説明変数(アイテム)のカテゴリースコアを $CS_1, CS_2, \dots, CS_i$ 、説明変数(アイテム)を $X_i$ とすると、式(5)のように表される。

$$Y = \bar{Y} + CS_1 + CS_2 + \dots + CS_i \quad (5)$$

$$\bar{Y} = (\sum y_i) / n$$

$$CS_i = X_i - WM_i$$

ただし、Y = 外出頻度増加指数、 $WM_i$  = アイテム別加重平均

なお、説明変数のアイテムには、年齢、性別、就業の有無、外出頻度、対象目的地までの所要時間の5つを選んだ。

## 3. アンケート調査の概要

### (1) 住民アンケート調査の概要

本研究では、主に鉄道駅を中心に循環する高齢者対応型コミュニティバス利用による頻度予測モデルの構築に必要なデータを得るため、大阪府枚方市の楠葉地区と京都府八幡市の男山地区(図-3)を対象に、それぞれ1996年12月と1997年11月にアンケート調査を実施した。この調査では、主に高齢者・非高齢者が日常生活において、どのような外出行動パターンをとっているのか、その際にどのような交通手段をどのくらい利用しているのか、また京阪樟葉駅を中心に循環する高齢者対応型コミュニティバス利用による外出頻度の変化などを把握している。アンケート調査票の配布・回収状況は、次の通りである。なお、高齢者は60歳以上、非高齢者は20～59歳としている。

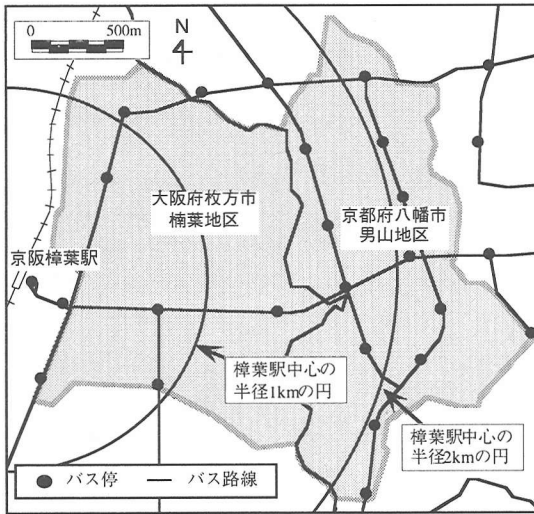


図-3 研究対象地区

- 現在運行されているバスは高齢者や体の不自由な人にとって、出入口の階段の昇降がしにくい、混雑していたら座れないなど、利用しにくいところがあります。
- また、場所によってはバス停まで遠く、利用が不便な地域があります。さらに混雑時には着席できるとは限りません。
- そこで、このような不便をなくすために、次のような高齢者などが利用しやすい新しいバスシステムの導入を考えています。

- ・ 自宅からバス停までは、高齢者などが無理なく歩ける距離にします。
- ・ 路線バスが入りにくい道路も走れる、中・小型車両で運行します。
- ・ 誰もが座れるようにします。
- ・ 京阪樟葉駅を起点とし、文化ホール、公園、郵便局、病院などを循環した後、京阪樟葉駅へ向かいます。そのため、通常の路線バスよりも時間がかかります。
- ・ ただし、バスの運行時間は午前9時から午後5時までとします。

図-4 高齢者対応型コミュニティバスの設定

- ・ 楠葉地区：配布数 1272 票，回収数 769 票  
(高齢者 528 票，非高齢者 241 票，回収率 60.5%)
- ・ 男山地区：配布数 1972 票，回収数 1162 票  
(高齢者 260 票，非高齢者 887 票，回収率 58.9%)

#### (2) 仮想した高齢者対応型コミュニティバス

アンケート調査票では、1.で示した高齢者対応型コミュニティバスの定義をもとに、京阪樟葉駅を起終点としたバスサービスを図-4に示すように仮想した。そして、この高齢者対応型コミュニティバスの利用による外出頻度の変化(頻度増加率)などを調査した。

## 4. 現状交通手段別外出頻度選択モデルの構築

ここでは、2.(3)で示したOLモデルを用いた現状の外出時利用交通手段別に求めた外出頻度選択モデルの構築について述べる。なお、用いたデータは楠葉地区と男山地区で行ったアンケート調査から得られた現状の外出時利用交通手段別頻度のデータである。

### (1) 交通手段別外出頻度選択モデルの変数

現状の外出時利用交通手段別外出頻度選択モデルの説明変数には、アンケート調査票をもとに、表-1に示すものを選んだ。また、目的変数にあたる現状の利用交通手段別外出頻度は、表-2に示すように、6つにわけてランク化した。現状の外出利用交通手段別の構成比もあわせて表-2に示している。

### (2) 外出頻度選択モデルの構築

表-2に示す現状の外出利用交通手段別ランク別構成比をもとに、OLモデルを用いた外出頻度選択モデルを構築した結果を示すと、表-3のようになる。表-3の外出頻度選択モデルの結果をみると、すべての交通手段での尤度比の的中率が各々0.2以上、70%を越えており、ほぼ満足のいくモデルが構築されたといえる。また、モデルの現況再現性について調べたところ、誤差は2%以下となりモデルの再現性は高いことがわかった。

## 5. 現状交通手段別外出頻度増加モデルの構築

ここでは、2.(4)に示した数量化理論第I類を用いた高齢者対応型コミュニティバスの利用頻度増加モデルの構築について述べる。

### (1) 頻度増加モデルの変数とデータ

数量化理論第I類で用いた目的変数の外的基準と説明変数を表-4に、カテゴリー別変数とデータ数を表-5に示した。このとき、説明変数には、順位尺度(年齢、外出頻度、所要時間)と名義尺度(性別、就業の有無)の2種類の変数を使用している。名義尺度である性別、就業の有無を説明変数に加えたのは、両変数も他の変数と並んで外出頻度増加指数に影響を及ぼすと考えたためである。

ここで外的基準に用いた外出頻度増加指数とは、男山地区のアンケート調査において、「高齢者対応型コミュニティバスが導入されれば、あなたの外出機会は増えると思いますか」の質問項目を設定し、「現在と変わらない」と回答した人の頻度増加指数

表-1 外出頻度選択モデルにおける説明変数の設定

区分	アイテム	カテゴリー
世帯の社会経済属性	①性別	男=1, 女=0
	②就業の有無	有職=1, 無職=0 (主婦, 学生を含む)
	③年齢	34歳以下=1, 35-44=2, 45-54=3, 55-64=4, 65-74=5, 75歳以上=6
	④自動車免許の所有有無	所有=1, 非所有=0
	⑤自動車の保有有無	保有=1, 非保有=0
目的地までの交通サービス条件	⑥目的地までの所要時間	現状の交通手段を利用する時, 対象目的地までの外出所要時間(分)

表-2 現状の外出利用交通手段別ランク別構成比

外出頻度 ランク	ランクの区分 (回/日)	ランクの 代表値	ランク別 構成比(%)	現状の交通手段別構成比(%)				
				徒歩	自転車	バイク	自家用車	バス
0	0.03未満	0.02	7	6	5	7	14	4
1	0.03~0.08未満	0.06	14	11	8	18	20	15
2	0.08~0.20未満	0.15	26	24	20	24	33	27
3	0.20~0.50未満	0.35	18	24	25	10	14	17
4	0.50~0.80未満	0.65	15	18	22	12	7	16
5	0.80以上	0.90	20	17	20	29	12	21
全体			100	100	100	100	100	100

注) 自家用車では同乗を含む。

表-3 現状の外出利用交通手段別頻度選択モデルの構築結果

交通手段	S <sub>i 0</sub>	S <sub>ii i</sub>	S <sub>iii ii</sub>	S <sub>iv iii</sub>	S <sub>v iv</sub>	交通手段	S <sub>i 0</sub>	S <sub>ii i</sub>	S <sub>iii ii</sub>	S <sub>iv iii</sub>	S <sub>v iv</sub>		
徒歩	$\alpha$	7.15	2.84	3.33	2.18	10.53*	自転車	$\alpha$	3.86	9.40*	9.26	6.97	2.83
	$\beta$	-2.81*	-1.43*	-1.53*	-1.30*	-0.60		$\beta$	-2.72*	-2.43*	-0.45	-0.73	-1.59*
	N	232	192	136	94	54		N	307	268	206	131	62
	$\rho^2$	0.50	0.20	0.22	0.32	0.36		$\rho^2$	0.59	0.29	0.21	0.24	0.28
	h-r	88%	75%	76%	81%	82%		h-r	91%	79%	75%	77%	79%
バイク	$\alpha$	2.37	2.80	4.53*	3.12	3.74*	自家用車	$\alpha$	0.85	1.74	9.47*	3.58	11.89*
	$\beta$	-2.20*	-1.95*	-3.51*	-1.30*	-0.02		$\beta$	-2.36*	-0.72*	-1.86*	-2.60*	-2.16*
	N	101	76	52	41	29		N	303	198	99	57	36
	$\rho^2$	0.34	0.24	0.54	0.49	0.19		$\rho^2$	0.27	0.09	0.43	0.64	0.50
	h-r	82%	76%	89%	88%	70%		h-r	79%	67%	86%	93%	88%
バス	$\alpha$	1.46*	1.64*	1.60*	2.17*	2.70*	ここで, $\alpha, \beta$ : パラメーター, N: データ数 $\rho^2$ : 尤度比, h-r: 的中率 *は有意水準1%で有意である。 ★は有意水準5%で有意である。						
	$\beta$	-1.05*	-0.19	-0.74*	-3.10*	-3.17*							
	N	630	512	345	233	131							
	$\rho^2$	0.42	0.21	0.36	0.42	0.37							
	h-r	85%	73%	82%	83%	79%							

注) 例えば, S<sub>i|0</sub>は表-2に示す外出頻度ランク0と外出頻度ランク1以上のランクのいずれかとの2項選択の結果, ランク0を選択する確率を示す。同様に, S<sub>ii|i</sub>は, 外出頻度ランク1と外出頻度ランク2以上のランクのいずれかとの2項選択の結果, ランク1を選択する確率を示す。以下同様である。

表-4 外出頻度増加モデルにおける変数設定

外的基準 外出頻度増加指数	説明変数の各アイテム別カテゴリー				
	年齢(x <sub>1</sub> )	性別(x <sub>2</sub> )	就業の有無(x <sub>3</sub> )	外出頻度(x <sub>4</sub> )	所要時間(x <sub>5</sub> )
100	~34歳	男	有	ほぼ毎日	10分以下
110	35~44歳	女	無	週4~5日	11~15分
120	45~54歳			週2~3日	16~20分
130	55~64歳			月3~4日	21分以上
140	65~74歳			月1~2日	
150	75歳~			月1日未満	
160					

表-5 現状の交通手段別変数とデータ数

アイテム別カテゴリー		徒歩	自転車	バイク	自家用車	バス
年齢 (x <sub>1</sub> )	34歳以下	X <sub>11</sub> (21)	X <sub>11</sub> (63)	X <sub>11</sub> (40)	X <sub>11</sub> (60)	X <sub>11</sub> (92)
	35~44歳				X <sub>12</sub> (56)	X <sub>12</sub> (75)
	45~54歳	X <sub>12</sub> (53)	X <sub>12</sub> (93)	X <sub>12</sub> (30)	X <sub>13</sub> (89)	X <sub>13</sub> (113)
	55~64歳			X <sub>13</sub> (22)	X <sub>14</sub> (30)	X <sub>14</sub> (123)
	65~74歳	X <sub>13</sub> (51)	X <sub>13</sub> (105)		X <sub>15</sub> (44)	X <sub>15</sub> (121)
	75以上	X <sub>14</sub> (47)				X <sub>16</sub> (79)
性別 (x <sub>2</sub> )	男	X <sub>21</sub> (58)	X <sub>21</sub> (94)	X <sub>21</sub> (37)	X <sub>21</sub> (143)	X <sub>21</sub> (210)
	女	X <sub>22</sub> (114)	X <sub>22</sub> (167)	X <sub>22</sub> (55)	X <sub>22</sub> (136)	X <sub>22</sub> (393)
就業の有無 (x <sub>3</sub> )	有	X <sub>31</sub> (42)	X <sub>31</sub> (98)	X <sub>31</sub> (65)	X <sub>31</sub> (179)	X <sub>31</sub> (259)
	無	X <sub>32</sub> (130)	X <sub>32</sub> (163)	X <sub>32</sub> (27)	X <sub>32</sub> (100)	X <sub>32</sub> (344)
外出頻度 (x <sub>4</sub> )	ほぼ毎日	X <sub>41</sub> (61)	X <sub>41</sub> (51)	X <sub>41</sub> (26)	X <sub>41</sub> (48)	X <sub>41</sub> (126)
	週4~5日		X <sub>42</sub> (60)	X <sub>42</sub> (21)		X <sub>42</sub> (96)
	週2~3日	X <sub>42</sub> (42)	X <sub>43</sub> (66)		X <sub>42</sub> (39)	X <sub>43</sub> (110)
	月3~4日	X <sub>43</sub> (43)	X <sub>44</sub> (52)	X <sub>43</sub> (22)	X <sub>43</sub> (91)	X <sub>44</sub> (158)
	月1~2日	X <sub>44</sub> (26)	X <sub>45</sub> (32)	X <sub>44</sub> (23)	X <sub>44</sub> (58)	X <sub>45</sub> (113)
	月1日未満				X <sub>45</sub> (43)	
目的地までの 所要時間 (x <sub>5</sub> )	10分以下	X <sub>51</sub> (66)	X <sub>51</sub> (156)	X <sub>51</sub> (70)	X <sub>51</sub> (200)	X <sub>51</sub> (198)
	11~15分		X <sub>52</sub> (66)	X <sub>52</sub> (22)	X <sub>52</sub> (40)	X <sub>52</sub> (152)
	16~20分	X <sub>52</sub> (49)	X <sub>53</sub> (39)		X <sub>53</sub> (39)	X <sub>53</sub> (214)
	21分以上	X <sub>53</sub> (57)				X <sub>54</sub> (39)
全体		172	261	92	279	603

注) ( )内数字はデータ数を示す。

を100とし、「非常に増える」「増える」「少し増える」と回答した人には、その増加割合を開き、その割合でもって、たとえば「1割」を110、「2割」を120というようにしたものである。ただし、「5割以上」は160としている。

楠葉地区のアンケート調査の場合には、男山地区と異なり「非常増える」「増える」「少し増える」「現在と変化なし」といった定性的な回答項目を設定したため、厳密な指数化は困難である。しかし、本研

究で対象とするコミュニティバスは両地区を循環するものであるため、モデルは共通したモデルであることが望ましい。そこで、楠葉地区の回答項目を男山地区に準じて、次のように指数化することにした。「非常に増える」を150、「増える」を130、「少し増える」を110、「現在と変化なし」を100に。

なお、この指数化にあたっては、男山地区でのアンケート集計結果を活用した。つまり「非常に増える」「増える」「少し増える」の回答グループ別に、

表一六 交通手段別外出頻度増加モデルの構築結果

交通手段	現状の外出利用交通手段別外出頻度増加モデルの構築結果	データ数
徒歩 (5%)	$[-4.88x_{11}, -3.27x_{12}, 1.42x_{13}, 4.33x_{14}] + [-1.17x_{21}, 0.59x_{22}]$ $+ [0.97x_{31}, -0.31x_{32}] + [3.81x_{41}, -0.50x_{42}, -3.35x_{43}, -2.59x_{44}]$ $+ [3.22x_{51}, -0.71x_{52}, -3.12x_{53}] + 115.9$	172
自転車 (5%)	$[-3.08x_{11}, -2.85x_{12}, 4.37x_{13}] + [1.04x_{21}, -0.59x_{22}] + [0.42x_{31}, -0.26x_{32}]$ $+ [1.64x_{41}, -0.73x_{42}, -0.54x_{43}, -0.87x_{44}, 1.28x_{45}]$ $+ [-0.27x_{51}, -0.64x_{52}, 2.18x_{53}] + 112.5$	261
バイク (10%)	$[-1.59x_{11}, -1.97x_{12}, 5.59x_{13}] + [-1.63x_{21}, 1.09x_{22}] + [0.23x_{31}, -0.56x_{32}]$ $+ [-0.62x_{41}, 1.56x_{42}, -0.68x_{43}, -0.07x_{44}] + [-0.45x_{51}, 1.43x_{52}] + 108.5$	92
自家用車 (0.1%)	$[-2.33x_{11}, -2.47x_{12}, -2.28x_{13}, 8.94x_{14}, 4.84x_{15}] + [-1.81x_{21}, 1.91x_{22}]$ $+ [-0.40x_{31}, 0.71x_{32}] + [0.95x_{41}, 0.91x_{42}, -1.51x_{43}, 1.05x_{44}, 0.06x_{45}]$ $+ [-0.63x_{51}, 0.68x_{52}, 2.56x_{53}] + 108.1$	279
バス (0.1%)	$[-5.53x_{11}, -2.19x_{12}, -2.71x_{13}, 1.43x_{14}, 2.39x_{15}, 6.50x_{16}]$ $+ [-0.63x_{21}, 0.33x_{22}] + [-0.10x_{31}, 0.08x_{32}]$ $+ [-1.00x_{41}, -1.58x_{42}, 2.09x_{43}, 0.62x_{44}, -0.44x_{45}]$ $+ [-0.66x_{51}, -1.86x_{52}, 0.18x_{53}, 9.58x_{54}] + 109.5$	603

注)  $x_{1i}$ : 年齢,  $x_{2i}$ : 性別,  $x_{3i}$ : 就業の有無,  $x_{4i}$ : 外出頻度,  $x_{5i}$ : 所要時間であり, 交通手段別の各アイテムのカテゴリは表一五を参照のこと。なお, 0.1%, 5%, 10%とは, この有意水準で有意であることを示す。

表一七 外出頻度増加モデルの再現性

交通手段	頻度増加指数(全体の平均)	
	実際値	予測値
徒歩	116	130
自転車	112	116
バイク	108	109
自家用車	108	114
バス	109	112

注) 実際値と予測値とのカイ2乗検定では, 全ての交通手段において, 有意水準0.1%で有意となった。

先に述べた頻度増加指数の平均値を求めたところ, 「非常に増える」の回答者の平均値が147.7, 「増える」が127.9, 「少し増える」が111.4であったため, 楠葉地区では先のように指数化したのである。

(2) 数量化I類を用いた外出頻度増加モデルの構築

以上のようにして求めた外出頻度増加モデルは表一六の通りである。なお, 説明変数の多重共線性と有意性については, 検討の結果, 変数は有意であるとともに変数相互間の相関は弱いことがわかった。

モデルの精度を検定するため, 各カテゴリー別相関度を調べたところ, 自家用車とバスでは0.1%の有意水準で有意であり, 徒歩と自転車では5%の有意水準で有意であることがわかった。バイクでは10%の有意水準で有意となった。よって, 高齢者対

応型コミュニティバスの利用による現状の外出利用交通手段別頻度増加モデルは, バイクではやや精度が劣るもののほぼ満足のいくモデルといえる。

(3) 頻度増加指数の推定値と実際値の比較

表一六の外出頻度増加モデルから求めた頻度増加指数の推定値とアンケート回答結果から集計した頻度増加指数の実際値との関係を比較し, 外出頻度増加モデルに対する妥当性の検討を行った結果が表一七である。表一七に示す実際値と推定値から, カイ2乗検定を行った結果, すべての交通手段で, 有意水準0.1%で有意となり, 得られたモデルは有用性があるといえよう。

6. 高齢者対応型コミュニティバスの利用頻度予測モデルの構築

2.(2)で示したように, 高齢者対応型コミュニティバスの利用頻度予測モデルは式(1)で示される。この式は右辺[]内の二つのモデルによる予測値, つまり現状交通手段の外出頻度予測値と外出頻度増加モデルによる利用頻度増加指数予測値の2種類を用いて求められた値, つまり高齢者対応型コミュニティバス利用頻度の理論的な予測値を説明変数とした1次式により, 目的変数に示す実際の予測値を求め構造を取っている。つまり二つのモデルから求められる理論的予測値を实际的予測値に適合させるために, パラメータ a, bを用いて補正させている。

表-8 高齢者対応型コミュニティバスの  
利用頻度予測モデルのパラメーター

現状の交通手段	a	b	サンプル数
徒歩	1.30	0.00	232
自転車	1.16	0.00	307
バイク	1.09	0.00	101
自家用車	1.14	0.00	303
バス	1.12	0.00	630

注) パラメーター a, b は, すべての交通手段において, t値が有意水準1%で有意となった。

そこで, これらのパラメータを求めるために, 個人別に求めた理論的予測値を説明変数に, アンケート調査から得られた現状の頻度選択率と同じくアンケートより求めた高齢者対応型コミュニティバス導入時の頻度増加指数の両者を乗じて求めた実際の予測値を目的変数に取り, 回帰分析により現状交通手段別にパラメーターを推定した。結果を表-8に示す。

すべての外出利用交通手段において, 目的変数の推定値と実際値の相関係数は0.98以上となるとともに, a, bのt値も有意水準1%で有意となったため, 得られた線形回帰モデルは精度が高いといえよう。ただし, 回帰係数aは1.09~1.30を示し, 理論的予測値を1~3割上方補正する必要があることを示した。一方, bはいずれの交通手段においても0となり切片補正は必要のないことがわかった。

## 7. 結論

本研究では, 高齢者対応型コミュニティバスの需要予測に必要なバス利用者の利用頻度を予測するモデルを構築することを主な研究目的としたが, 得られた成果を要約すると次のようになる。

- ①バス利用頻度予測モデルを, 現状の外出利用交通手段別外出頻度選択モデルと高齢者対応型コミュニティバス利用による外出頻度増加モデルを組み込むことにより定式化した。
- ②外出頻度選択モデルは, OLモデルを適用することにより構築した。また, 外出頻度増加モデルは, 数量化理論第I類を適用して求めた。現状外出交通手段において求めたいずれのモデルにおいても, ほぼ精度的に満足のいくモデルが得られた。両者を組み込んだバス利用頻度予測モデルにおいても, 同様に精度の高いモデルが得られたといえる。
- ③以上, 構築したモデルを用いた需要予測方法は,

高齢者対応型コミュニティバスのような新しいバスシステムを対象地域に導入しようとしたときに, 潜在需要の顕在化を利用頻度の増加という形で, 明示的に取り組んだ点に特徴があるが, このような需要予測の方法を提案することができた。

今後の課題としては, 本モデルにおいては, バスのサービス変数に, 目的地までの所要時間しか組み込むことが出来なかったが, 高齢者対応型コミュニティバスのサービス状況に応じた需要予測を木目細かく行うためには, 料金や混雑度, 乗り換え回数なども組み込んだ適用範囲の広いモデルを開発するとともに, ケーススタディ地区において, 本研究で求めたモデルを用い, 実際の需要予測を試み, 実用性を高めることが必要である。

幸い1999年7月より京阪宇治交通により本研究対象地区で, コミュニティバスが運行されるようになった。このバスは本研究で提案したバスに近いものであり, 利用者に好評である。今後, この運行で得られた利用者数やサービス水準に関するデータを用い, 本研究で提案したモデルによる予測値と実際値との比較を行ない, モデルによる推計上のバイアスを修正する方法を考察したい。この考察は, 主に意識データをもとにしたモデルによる予測バイアスと地域固有の特性に関するバイアスに関して行われることになろう。

最後に, 本研究を進めるにあたり多大なご支援・ご協力をいただいた京阪宇治交通株式会社, 調査票の配布・回収にご協力を頂いた大阪府枚方市精葉地区の各老人クラブと京都府八幡市男山団地の各地区住民自治会, そして調査・分析に尽力していただいた大阪大学学生の中島智一郎君(現 福井県)と名越聖子君(現 中央復建コンサルタンツ株式会社), 猪井博登君(現 大阪大学大学院工学研究科博士前期課程)に対して心から謝意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) Nitta, Y. and Do, G.: Special bus service planning for improving mobility of elderly people considering travel effort, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.2, No.5, pp.1481~1493, 1997.
- 2) 新田保次, 都 君嬭, 森 康男: 一般化時間を組み込んだ高齢者対応型バスへの交通手段転換モデル構築に関する研究, 第32回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.643~648, 1997.
- 3) Nitta, Y. and Do, G.: Transportation mode-change model to special bus incorporating generalized time, *Proc. of the 8th International Conference on Transport and Mobility for Elderly and Disabled People*, Vol.2, pp.619~632, 1998.



- 4) 新田保次, 都 君燮: 鉄道駅周辺地域における高齢者と非高齢者の外出時の交通行動特性の比較, 交通科学, Vol.28, No.1/No.2, 合併号, pp.82 ~ 90, 1998.
- 5) 新田保次, 都 君燮, 森 康男: サービスレベルに応じた高齢者対応型バスへの転換需要予測に関する研究, 第33回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.211 ~ 216, 1998.
- 6) 新田保次, 都 君燮: 高齢者の外出行動特性と高齢者対応型バスの利用意向, 第18回交通工学研究発表会論文報告集, pp.229 ~ 232, 1998.
- 7) 新田保次, 都 君燮: 利用頻度を考慮した高齢者対応型バスの需要予測, 土木計画学研究・講演集, No.21(1), pp.539 ~ 542, 1998.
- 8) 財団法人運輸経済研究センター: コミュニティバスの今後の推進方策に関する調査報告書, 1997.
- 9) 秋山哲男, 三星昭宏: 講座高齢社会の技術6 移動と交通, 日本評論社, pp.73 ~ 75, 1996.
- 10) 秋山哲男: 厚生省長寿科学総合研究事業「コミュニティバス: 高齢者対応型交通手段の研究」, pp.10 ~ 13, 1998.
- 11) 武蔵野市: ムーバス(コミュニティバス)の概要, 1998.
- 12) 金沢市: 金沢市におけるコミュニティバス導入可能性調査報告書, 1998.
- 13) Hendrickson, C. and Sheffi, Y.: *A disaggregate model of trip generation by elderly individuals*, 1.202 term paper, Department of civil engineering, MIT, Cambridge, Mass., 1978.
- 14) Sheffi, Y.: Estimating choice probabilities among nested alternatives, *Transp. Res.* 13B, pp.113 ~ 205, 1979.
- 15) Hall, P.: *Search behavior in urban housing markets*, Ph.D. dissertation, Department of civil engineering, MIT, Cambridge, Mass., 1980.
- 16) Daly, A. J. and Van Zwam, H. H. P.: Travel demand models for the zuidvleugel study, *proc. PTRC summer annual meeting*, 1981.
- 17) Small, K.: *Ordered Logit: A disaggregate choice model with proximate covariance among alternatives*, Working paper, Department of economics, Princeton university, Princeton, NJ, 1981.
- 18) Lerman, S. and Mahmassani, H.: The econometrics of search, *Envir. and planning*, forthcoming, 1984.
- 19) Vickerman, R.W. and Barmby, T.A.: Household trip generation choice-Alternative empirical approaches, *Transp. Res.* 19B, pp.471 ~ 479, 1985.
- 20) Barmby, T.A.: Model for analysis trip-level data, *Envir. Planning A*, Vol.23, pp.119 ~ 123, 1988.
- 21) Kitamura, R.: A model of daily time allocation to discretionary out-of-home activities and trips, *Transp. Res.* 18B, pp.255 ~ 266, 1984.
- 22) 吉田 朗, 原田 昇: 休日の買い回り品買物交通を対象とした買物頻度選択モデルの研究, 土木学会論文集, No.413/IV-12, pp.107 ~ 116, 1990.

(1999. 6. 23 受付)

## A TRAVEL FREQUENCY-FORECASTING MODEL BASED ON THE COMMUNITY BUS SERVICES - WITH SPECIAL CONSIDERATION OF ELDERLY PASSENGERS

Yasutsugu NITTA and Gunseop DO

This study aims to build a travel frequency-forecasting model based on the community bus services, these services are specially considered as easy to access by elderly passengers. The travel frequency-forecasting model is used to forecast each bus passenger's travel frequency per day. This forecasting model is composed of two models, which are as follows: one is the model estimates the individual choice ratio of travel frequency by present transport mode, and the second model forecasts the growth of travel frequency by using the community bus services, specially considered for elderly passengers. It is aimed that this forecasting model will enable the forecasting of unmet demand behind the present bus services when the new types of bus services are introduced.