

潜在的要因を考慮した離散型選択モデルによるパラトランジットの利用予測分析*

Forecasting Paratransit Ridership using Discrete Choice Models with Explicit Consideration of Latent Factors

倉内 慎也**, 森川 高行***, 佐々木邦明****

By Shinya KURAUCHI, Takayuki MORIKAWA and Kuniaki SASAKI

1 はじめに

現在、高齢者及び身障者のモビリティの確保や交通環境の整備が社会的要請となっている。これに対し、低床バスの導入や駅のエレベータ設置など個々の施設整備から、運賃制度、情報提供、公共交通ネットワークの拡充等からなるシステムとしての交通環境整備まで、主にマストラに関して様々な施策が講じられつつあるが、身体能力、情報収集能力の低下など様々な理由からそれらが必ずしも利用しやすいとは限らない。一方、近年の情報・通信技術の発達により、新たな交通サービスが提供されつつある。その中の一つに、需要対応型サービスである、駅やバス停までのアクセス・イグレスを必要としない等、マストラと補完的な特性を有しているパラトランジットがある。このような特質を持つ交通サービスを含めて交通システムを構築すると、高齢者及び身障者のモビリティが飛躍的に向上すると考えられる。また、これらはシステム構築が比較的安価であることなどから人口密度の低い地域にも適用可能であるなど、多くの効果が予想される。

このようなパラトランジットを効率的に機能させるには、対象となる高齢者及び身障者のニーズ及び交通手段選択特性を正確に把握することが不可欠である。しかし、高齢者及び身障者交通の需要予測を行う場合、多くの注意すべき点がある。表1は2.で述べる調査データを集計したものであるが、サンプルの54.4%がキャプティブであり、選択肢集合が個人間で大きく異なっていることから、代替案の利用

可能性を明示的に考慮する必要がある。また、高齢者は年齢、収入などの客観的個人属性が極めて類似している一方、移動のニーズが多様で自由度が高く、さらに同年齢であっても身体的特性は大きく異なることから、個人の嗜好の異質性を明示的に考慮する必要がある。

本研究は、需要対応型の送迎用公共交通機関であるdial-a-rideが運用されているノースカロライナ州ウィンストンセーラム市で行なわれた調査データを用いて、高齢者及び身障者の交通手段選択における意思決定構造を分析し、それを用いて政策分析を行い、パラトランジットの運行が、高齢者及び身障者の交通手段選択行動に与える影響を定量的に分析することを目的とする。

表1 サンプルの選択肢集合及び選択結果

選択肢集合	%	選択した交通機関			
		DA	DS	Bus	Dial
Drive Alone (DA)	9.6	9.6			
Drive Share (DS)	13.2		13.2		
Bus	25.0			25.0	
Dial-a-ride (Dial)	6.6				6.6
DA,DS	6.6	6.6	0		
DA,Bus	2.2	2.2		0	
DA,Dial	0				
DS,Bus	19.9		7.4	12.5	
DS,Dial	3.7		2.2		1.5
Bus,Dial	6.6			3.7	2.9
DA,DS,Bus	0.7	0.7	0	0	
DA,DS,Dial	0.7	0.7	0		0
DA,Bus,Dial	0				
DS,Bus,Dial	5.2		0	5.2	0
DA,DS,Bus,Dial	0				

* key words ; 交通行動分析, 交通手段選択
 ** 学生員 工修 名古屋大学大学院工学研究科
 *** 正会員 ph.D 名古屋大学大学院工学研究科 助教授
 **** 正会員 工修 名古屋大学大学院工学研究科 助手
 〒464-01 名古屋市中千種区不老町
 phone 052-789-3565 fax 052-789-3738

2 パラトランジット利用のモデル化

(1) 用いるデータの概略

本研究で用いるデータは、身体障害者及び65歳以上の高齢者236人を対象としており、個人属性、実際に行ったトリップに関するデータ（RPデータ）に加え、態度データ、SPデータが得られている。態度データに関しては9段階の主観的評価値が、SPデータに関しては実際に選択した交通手段と新規サービスの二項選択型データが得られている。新規サービスとしては既存のバス及びdial-a-rideのサービスレベルを変化させたものに加え、以下の2種類の新規パラトランジットを提示している。

- ・ bus-route deviation (BD) ; 路線バスが利用者の要望に応じて（要予約）4ブロック以内の範囲まで路線からそれて送迎してくれるサービス
- ・ dial-a-ride feeder (DF) ; dial-a-rideが自宅～バス停、バス停～目的地までの端末交通であるサービス

(2) モデルの定式化及び推定方法

1章で述べたように高齢者及び身障者の交通行動をモデル化する場合、代替案の利用可能性及び嗜好の異質性を明示的に考慮することが不可欠である。そこで本研究では、MaFadden¹⁾、Ben-Akiva & Boccara²⁾、Morikawa³⁾によって提案されたフレームに基づいて交通手段選択の意思決定構造を図1のように仮定しモデルを定式化した。態度、制約条件、選好の3つの潜在変数を仮定したこと、態度データ及び選好意識デー

タといった意識データを、それらの観測値として定義したことにより、より明確に行動を表すことが可能である。

構造方程式

$$a_n^* = B s_n + \zeta_n \quad (1)$$

$$C_{kin}^* = q' a_n^* + \theta' c_{kin} + v_{kin} \quad (2)$$

$$U_n^{RP*} = \beta' X_n^{RP} + \alpha' a_n^* + \varepsilon_n^{RP} = V_n^{RP} + \varepsilon_n^{RP} \quad (3)$$

$$U_n^{SP*} = \gamma' X_n^{SP} + \lambda' a_n^* + \varepsilon_n^{SP} = V_n^{SP} + \varepsilon_n^{SP} \quad (4)$$

測定方程式

$$Y_n = \Lambda a_n^* + \delta_n \quad (5)$$

$$h_{in} = \begin{cases} 1; & \text{if } C_{kin}^* \geq 0, \forall k \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$d_n^{RP}(i) = \begin{cases} 1; & \text{if alternative } i \text{ is chosen} \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$d_n^{SP}(i) = \begin{cases} 1; & \text{if alternative } i \text{ is chosen} \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

ここに、

a_n^* ; 潜在的態度変数ベクトル

Y_n ; 観測可能な態度指標

s_n ; a_n^* を構成する客観的観測変数

ζ_n, δ_n ; それぞれ $MVN(0, \Psi)$, $MVN(0, \Theta)$ に従う誤差項ベクトル（ MVN は多変量正規分布を表す）

C_{kin}^* ; 個人 n の代替案 i に対する k 番目の制約

c_{kin} ; C_{kin}^* を構成する客観的観測変数

h_{in} ; 個人 n の代替案 i に対する availability 指標

U_n^{RP*} ; 個人 n の代替案 i に対する総効用

V_n ; 個人 n の代替案 i に対する効用の確定項

X_n ; U_n^* を構成する客観的観測変数

$d_n(i)$; 個人 n の代替案 i に対する選択ダミー

$v_{kin}, \varepsilon_{in}$; 確率項

B, Λ ; 未知パラメータ行列

$q, \theta, \alpha, \beta, \lambda$; 未知パラメータベクトル

このシステムでは、式(1)と式(5)がLISREL⁴⁾モデルの形になっており、態度変数を同定するモデルになっている。式(2)と式(6)は代替案の利用可能性を表す選別モデルを構成しており、そこでは k 個の制約すべてを満たしていなければ利用可能でないという足切り型 of 意思決定構造を表しており、式(2)の各制約条件が独立でかつ確率項がI.I.D. ガンベル分布に従うと仮定すると、代替案が利用可能である確率（選別確率； q_{in} ）は以下のように表すことができる。

$$q_{in} = \prod_k \frac{\exp(q' a_n^* + \theta' c_{kin})}{1 + \exp(q' a_n^* + \theta' c_{kin})} \quad (9)$$

各選択肢ごとの選別確率の独立性を仮定すると、個人

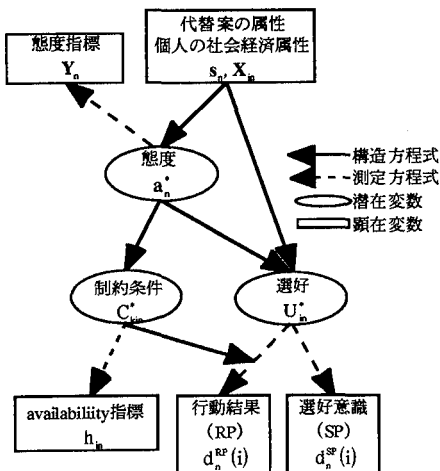


図1 交通手段選択の意思決定構造

n の選択肢集合が C である確率は次式で与えられる。

$$P_n(C) = \prod_{i \in C} q_n \prod_{j \notin C} (1 - q_n) \quad (10)$$

式(3)と式(7)及び式(4)と式(8)は離散型選択モデルを構成しており、それぞれRPモデル、SPモデルを表している。確率項にI.I.D. ガンベル分布を仮定すると、それぞれロジット型の選択確率式が導出できる。

$$P_n^{RP}(i|C) = \frac{\exp(V_n^{RP})}{\sum_j \exp(V_j^{RP})} \quad (11)$$

$$P_n^{SP} = \frac{\exp(\mu \cdot V_n^{SP})}{\sum_j \exp(\mu \cdot V_j^{SP})} \quad (12)$$

μ はランダム項の分散の違いを表すスケールパラメータであり、以下の関係が成り立っている。

$$\text{Var}(e_n^{RP}) = \mu^2 \text{Var}(e_n^{SP}), \forall i, n \quad (13)$$

RPモデルと選別モデルの関係を表す式としては多くのモデルが提案されているが本研究では次式のManski⁵⁾が提案している確率的選択肢集合モデルを用いる。

$$P_n(i) = \sum_{C \in G_n} P_n(i|C) P_n(C) \quad (14)$$

G_n : 物理的に選択可能な代替案の集合の全部分集合の組 (ただし空集合は除く)

以上の式を段階的に推定を行い、未知パラメータの推定値を得る。具体的には、まずコンピュータパッケージLINCISによりLISRELモデルを推定し、得られたパラメータ値を用いて潜在的態度及び知覚値変数の推計値を計算する。次にそれらを式(12)及び式(14)のモデルに代入しRP・SP同時推定 (RP/SP) モデル³⁾により残された未知パラメータを推定する。

3 推定結果と考察

潜在的態度として費用重視態度 (Cost*)、アクセシビリティ重視態度 (Access*)、サービス重視態度 (Service*) を仮定しモデル推定を行った。またDAが利用可能な個人はすべてDAを選択していることから、DAが利用可能なときのRPでのDAの選択確率を確定的に1とおいた。また、DSのアベイラビリティに関してはモデル化不可能であったため、調査で尋ねたアベイラビリティ指標に従い確定的に与えた。またSPモデルにおけるサービス変数はそれぞれ以下のことを示すダミー変数である。

Request120; 1: 自宅を起点とするトリップに関して120分前に予約が必要、0: 現状のまま (Dial,BD,DFの効用関数に含まれる; cf.現在は24時間前までに

しなくてはならない)

Return60; 1: 自宅に帰るトリップに関して60分前に予約が必要、0: 現状のまま (Dial,BD,DFの効用関数に含まれる; cf.現在は24時間前までにしなくてはならない)

Accuracy; 1: 時間の正確さを高める、0: 現状のまま

表2 モデルの推定結果

Variables			Estimates (t-statistics)	
			Normal model	PCS model
Utilities				
Constant	DA	(SP)	-0.412 (-1.5)	-0.377 (-1.2)
	DS	(RP)	0.670 (1.2)	0.946 (1.2)
		(SP)	-0.476 (-1.8)	-0.462 (-1.7)
	Bus	(RP)	1.22 (2.3)	1.41 (1.8)
		(SP)	-0.353 (-2.3)	-0.413 (-2.7)
	BD	(SP)	0.0517 (0.3)	0.0372 (0.2)
	DF	(SP)	-0.860 (-4.4)	-0.885 (-4.3)
Travel Time		(SP)	-0.656 (-0.9)	-0.651 (-0.9)
Travel Cost			-0.404 (-6.0)	-0.419 (-6.0)
Request120		(SP)	0.540 (2.9)	0.480 (2.5)
Accuracy		(SP)	0.224 (1.4)	0.262 (1.6)
Return60		(SP)	-0.400 (-1.5)	-0.312 (-1.2)
RP mode dummy		(SP)	0.850 (4.4)	0.837 (4.3)
Cost*	DA	(SP)		-0.220 (-1.7)
Access*	DA	(SP)		1.02 (3.3)
	DF	(SP)		0.520 (3.7)
Service*	DA	(SP)		-0.802 (-2.9)
	DF	(SP)		-0.458 (-3.5)
Availabilities				
DA	Constant			-1.69 (-9.6)
	Access*			-0.243 (-4.5)
Bus	Constant			7.06 (3.1)
	Cost*			3.11 (3.3)
	Constant			0.997 (4.1)
	Access*			0.188 (2.2)
Dial	Constant			-0.289 (-1.3)
	Access*			0.187 (2.6)
N			1122	1122
$\bar{\sigma}^2$			0.128	0.243

推定結果を表2に示す。高齢者及び身障者は費用に非常にsensitiveであることが分かる。一方、旅行時間のパラメータに関しては有意になっていない。これは高齢者及び身障者は時間的制約が緩いことに起因すると考えられる。サービス変数に関しては、Request120のパラメータ値が正であるのに対してReturn60は負に

なっている。これは、自宅で待つのはよいが、出先で待たされたくはないという心理状態の現れであると考えられる。これはAccuracyのパラメータ値が正になっていることにも裏付けられる。態度変数に関してはアクセシビリティ重視態度が選択過程、選択肢集合形成過程の双方に大きく関与していることが分かる。選択肢集合形成過程においてDAとBusのAccess*の符号が直観的に逆の符号をとっているが、これは態度モデルにおいて収入がAccess*に大きな影響を及ぼしているためである。モデルの適合度に関しては、客観的変数のみを用いた通常のRP/SPモデルと比較して飛躍的に向上している。

4. 政策分析

推定したモデルを用いて現況再現性の評価を行った(表3)。なお、定数項はSPモデルの値を用いている。DAのシェアが過小評価されているが、全体的に良い適合度を示していると言える。

次に以下のA～Hの政策分析を行った(表4～5)。

- A.バス料金無料
- B.dial-a-rideの予約システムの改善 (request120=1)
- C.dial-a-rideの予約システムの改善 (return60=0)
- D.到着定時制の改善 (Accuracy=1)
- E.B+C+D
- F.BDの導入
- G.DFの導入
- H.E+dial-a-rideに1\$の課金
- H.E+dial-a-rideに2\$の課金

表4からわかるように現況の利用可能性のままではいくら政策改善がなされたとしても大きくシェアは変わらないことが分かる。一方dial-a-rideを全員が知っているとしただけで(表のbase case)大きくdial-a-rideのシェアが向上している。また、そうすることによって政策に応じてシェアが大きく変化し、路線バスとも十分競合しうることが分かる。このことから新規サービスの導入に際して、まずサービスを認知させることが重要であると言える。

表3 モデルの現況再現性(%)

	DA	DS	Bus	Dial
Observed Share	19.9	22.8	46.3	11.0
Predicted Share	12.2	27.7	44.6	15.5

表4 現況の利用可能性を用いたときの予測シェア(%)

Policies	DA	DS	Bus	Dial	BD	DF
A	11.9	26.5	46.7	14.9		
B	11.9	27.0	43.2	17.9		
C	11.9	27.2	43.7	17.2		
D	11.9	27.4	43.8	16.9		
E	11.7	26.2	41.5	20.6		
F	12.3	28.3		15.9	43.5	
G	12.6	28.7	47.0			11.7

表5 全員dial-a-rideを知っているときの予測シェア(%)

Policies	DA	DS	Bus	Dial	DF
base case	10.6	25.0	37.4	27.0	
B	10.3	23.5	34.8	31.4	
C	10.4	24.0	35.7	29.9	
D	10.4	24.2	36.0	29.4	
E	9.8	21.9	31.9	36.4	
H	10.1	23.0	33.9	33.0	
I	10.5	24.3	36.1	29.1	
G	10.4	24.5	36.4		28.6

5. おわりに

本研究では、パトランジットの利用予測を行うために、マーケティングサイエンスの分野で用いられる消費者意思決定の考え方に基づいて高齢者および身障者の交通手段選択行動をモデル化した。その結果、高齢者及び身障者は費用とアクセシビリティにセンシティブであることが確認され、モデルの適合度も従来手法と比較して飛躍的に向上することを実証した。また、推定したモデルを用いて政策分析を行ったところ、サービスを認知させることによりdial-a-rideは他の交通手段と十分競合しうることが示された。

参考文献

- 1) McFadden, D.: The choice theory approach to marketing research. Marketing Science, Vol.5 No.4, 1986, pp.275-297.
- 2) Ben-Akiva, M. and Boccara, B.: Integrated framework for travel behavior analysis. Prepared for 5th International Conference on Travel Behavior, Aix-en-Provence, France, 1987.
- 3) Morikawa T.: Incorporating Stated Preference Data in Travel Demand Analysis, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1989.
- 4) Joreskog, K. and Sorbom, D.: LISREL VI - Analysis of Linear Structural Relations by Maximum Likelihood, Instrumental Variables, and Least Square Methods, User's Guide, Department of Statistics, University of Uppsala, Sweden, 1984.
- 5) Manski, C. : The structure of random utility models, Theory and Decision, Vol.8, 1977, pp.229-254.