

選好意識データを用いた交通手段選択モデルの特性

—広島市新交通システムを対象として—

杉 恵 頼 寧*・藤 原 章 正**

昭和63年10月31日 受理

The Characteristics of Mode Choice Models based on Stated Preference Data—A Study of the New Transit System in Hiroshima

Yoriyasu SUGIE and Akimasa FUJIWARA

Ordered stated preference data including the degree of individuals' preference were interviewed and some characteristics of mode choice models based on those data were investigated to estimate the mode choice behaviour after the introduction of the New Transit System in Hiroshima. First, we compared the reliability of models based on the stated preference data (SP models) with the conventional models on the revealed preference data (RP models). Although SP models were less accurate than RP models to estimate their actual behavior, the difference of both models were not statistically significant. Secondly, in an attempt to examine the bias caused by the fatigue and inertia for three times repetitive questions, the MNL models developed by data sets from the first to the last question were successively specified. This led to a fact that the repetitive answered bias was not significant, which means that the repetitive questions were important to save our efforts to collect the data associated with stated preference. Finally, we introduced the ordered logit models which were able to incorporate the informations related to all ordered data sets. The signs of parameters of ordered logit models were logically adequate and the model efficiency of these models was shown as good as that of conventional MNL models.

1. はじめに

従来の非集計交通選択モデルは、行動結果 (Revealed Preference : 以下, RP と記す) データに基づいて構築されるため、個人の現在の選択行動を説明するモデルとして優れていると言われている。将来の交通行動を予測する場合にも用いられるが、その際には現在の交通環境が大きく変化しないという前提に立っている。そこで、将来交通環境が大きく変化したり、まったく現存し

ない選択肢が新たに加わったりする場合には、例えば他の地域からの移転可能性のような仮定が必要となる。

これに対して、選好意識 (Stated Preference : 以下, SP と記す) 調査は、さまざまな要因の水準の組み合わせによって生じる多くの仮想的な選択肢に対する個人の好みを尋ねる調査である。マーケティング、とりわけ、消費者研究の分野では、この SP データを用いた分析は、コンジョイント測定法 (Conjoint Measurement) と呼ばれ、多くの実証的研究がなされている^{1,2)}。そして、

* 環境工学

** 呉工業高等専門学校土木工学科

次のような利点があることが明らかにされている。

- 1) 現存しない選択肢を扱うことができる。
- 2) 安全性や信頼性, 利用可能性など RP データでは容易に観測することのできないような特性を取り込むことができる。
- 3) 分析者が予め選択肢を計画的に設定することができる。
- 4) 同一個人から複数の回答を得ることができ, 調査サンプルが少なく済む。
- 5) 説明要因の観測誤差がない。

このような利点のため, 交通研究の分野でも近年, SP データに関心が寄せられてきている。しかし, 反面, 人々の回答は実際の行動と一致しないという SP データの信頼性に対する批判もあり, SP データを用いた交通選択モデルの適用性について十分な結論は得られていない。

本研究では, まず SP 調査に関する交通研究のレビューを行い, SP 法の考え方を簡単に紹介する。次いで広島市で計画されている新交通システムを対象に SP 調査を行って, 交通手段選択モデルの精度の観点から SP データの持つ特性と問題点を明らかにする。

2. 従来の研究のレビュー

SP 調査に関する研究は, 1970年代初期にマーケットリサーチの分野で開発され, 1978年には, Green と Srinivasan によって体系づけられた¹⁾。交通研究の分野では, 1970年代後半から英国を中心に注目を浴びるようになり, 現在では好みの構造の分析を越えて, 交通手段や経路の選択問題のような選択のプロセスの分析に関心が置かれてきている²⁾。

SP 調査の典型的な方法 (コンジョイント測定法) では, 関心のある交通要因の組合せからなる多くの選択肢を実験計画法によって予め設定し, 回答者に与える。回答者は選択肢を好みの順に順位づける。データの分析は, Kruskal が開発した MONANOVA をはじめ LINMAP や RANK LOGIT と呼ばれるプログラムパッケージを用いて行われる^{1), 4)}。

交通研究の例をいくつかみてみると, Bradley 他は, オランダのデルフト市の自転車通勤者の経路選択行動を対象として, SP 調査を行った³⁾。この研究では SP 調査の方法に焦点をあてており, 3つのタイプの調査方法を比較している。すなわち, 1) 一般的な順位づけ法, 2) 2つの経路選択肢の対比較を行い, 好みの程度を言葉によって表現し尺度化する方法, 3) 基本となる9つの経路の対比較を繰り返し, 各選択肢の選択確率を測定する方法である。結論として, SP データを得点化

するには順位づけの方法が最も簡単であり, また3番目の方法で得られた選択確率は, 直接回帰モデルを用いて分析することができるとしている。交通研究における SP 調査の方法はまだ十分確立されているとは言えず, 調査方法について1つの方向を与えるものであろう。

SP データの信頼性について, Bates 他は RP データとの比較を行った⁵⁾。両データを用いて, 通勤者の交通手段選択モデルを構築した結果, SP モデルは RP モデルに比べて精度がやや劣っているものの, SP モデルに現在の利用交通手段を説明変数として加えることで, 交通手段選択の習慣や惰性による効果を事前に説明することができる点を指摘している。また, SP モデルで得られる時間評価値 (value of time) は, RP モデルの値と比べて待ち時間を除くすべての変数で似通っており, SP モデルの信ぴょう性を裏づけるものと結論づけている。

Shiroishi は, SP データに含まれる誤差構造を次の2つに分類した⁷⁾。すなわち,

- 1) 様々のランダムな攪乱 (disturbances)
- 2) 『政策に影響させることを意図した戦略的な回答による偏り』, 『実際行っている選択を正当化しようとする回答による偏り』, 『交通環境の変化に対してマイナス面の考慮が欠けた回答による偏り』

これらの誤差に対する対策として, 1番目のタイプの誤差は尺度パラメータを用い, 2番目のタイプの誤差については, 選択肢の好みによって個人をいくつかのグループに分割してモデルを構築する方法を提案している。また, SP モデルの予測変動の改善のために, RP データと SP データを組み合わせた方法の開発が必要であると指摘している。

意識と行動の違いを明らかにすることは, SP データの実用上, 不可欠な問題であり, 今後このような研究成果の蓄積が望まれる。

本研究と同じく, 新交通システムの需要予測に SP データを用いた例は, Couture と Dooley の研究があり⁸⁾, 米国の地方都市のバス交通システムの開通にあたり SP 調査を実施した。当研究の特徴は, 開通1ヶ月前と開通8ヶ月後に調査を行い, SP モデルと RP モデルの比較を行っている点, モデルの説明変数に交通政策の効果に対する回答者の意見と交通サービスに対する認知を取り入れている点にある。結論として, SP モデルと RP モデルの精度に大きな違いはないが, 新交通システムの利用意思は実際の利用よりも過大に推計されることと, 政策に対する意見が重要な説明力をもつことを指摘している。

また, 新交通システムを選択するかどうかの意思を尋

ねるよりも、利用する頻度を尋ねる方が有効であるとしている。しかし、この点について Kroes と Sheldon は、SP 法の紹介論文の中で、これとは反対に、今後、選択肢の中から最適の選択を行う調査方法の方向に移行してゆくであろうとしており³⁾、議論の別れるところである。

SP 調査のなかで、転換価格 (Transfer Price: 以下、TP) 調査と呼ばれる意識調査もある。TP 調査は、例えば『代替交通手段 X の所要時間が何分短縮されれば、あなたは現在利用している交通手段から交通手段 X に転換してもよいと考えますか』のように、転換の限界値を尋ねる調査である (例えば、Bonsall 他、鈴木他)^{9),10)}。この調査から得られるデータは、時間評価値を測定するのに適している。

最近では、携帯型コンピュータを利用した質問形式の SP 調査が行われつつある^{11),12)}。各回答者の交通環境に適合した調査を実施することが可能であり、また、調査中に効用関数などを並行して求めることもできる。さらにアクティビティ・アプローチと連結させる方法も開発されてきている¹³⁾。

わが国の交通研究の分野における SP 調査の例をみると、田村他は空港のアクセス交通手段の利用について SP 調査を行った。ここでは交通手段選択モデルとして、順位づけデータの情報を活用した集計型のオメガモデルを構築している¹⁴⁾。またコンジョイント測定法を交通手段選択に適用した例としては、高田他¹⁵⁾の研究がある。

さらに上述の鈴木他¹⁵⁾の研究もあるが、わが国ではまだ欧米に比べ、交通研究の面からの SP 調査に関する研究例は少ないようである。そこで本研究は、わが国において SP 調査を実施し、従来の研究で主張されている SP 調査の特性のうち、次の点について検討することを目的としている。

- 1) SP データと RP データを用いた既存の交通手段の選択モデルの比較
- 2) 同一個人に対して、複数の質問を繰り返すことによって得られた SP データを用いた交通手段選択モデルの有効性
- 3) 順位づけデータを利用した交通手段選択モデルの構築方法とモデルの特性

3. 調査方法と結果

広島市では、市北西部の住宅地から市街中心部への流入交通による道路混雑を緩和するため、新交通システムの導入を計画している。本研究の SP 調査は、この新交通システムの計画路線の沿線の団地 (高取団地、毘沙門台団地) に住む通勤通学者を対象とした。選択肢は、現在利用可能な自動車と路線バス、そして新交通システムの 3 交通手段とした。表 1 に示す 8 つの交通サービス要因ごとに 3 水準用意し、実験計画法の $L_{27}(3^{13})$ 直交表に従って、27種類の交通環境を設定した。

回答者には、ある交通環境のもとで最も利用したい交

Table 1 Variables of the Factorial Design and Their Levels

Variables	Level 1	Level 2	Level 3
In-vehicle time (Car)	55 min	65	75
	50 min	60	70
Parking cost (Car)	free	¥10,000/month	20,000
	free	¥10,000/month	20,000
Waiting time (Bus)	10 min	12	15
	5 min	7	10
In-vehicle time (Bus)	40 min	50	60
	35 min	45	55
Access time (New Transit)	6 min	9	12
	10 min	15	18
Waiting time (New Transit)	2 min	3	5
	2 min	3	5
In-vehicle time (New Transit)	22 min	26	32
	17 min	20	24
Fare (New Transit)	¥380	440	500
	¥360	420	480

Upper figure: Takatori Housing Estate

Lower figure: Bisyamondai Housing Estate

通手段と2番目に利用したいと思う交通手段を回答してもらった。この質問は同一個人に対して3回繰り返された(調査票の詳細は日交研シリーズA-122を参照)¹⁶⁾。

調査は留置法で実施し、478人の通勤通学者から回答を得た。

4. 既存の交通手段に対する SP モデルと RP モデルの比較

既に述べたように、SP データの適用にあたって最も大きな問題は、選好意識 (SP) と行動結果 (RP) が必ずしも一致しないことである。しかしたとえ一致しなくとも、SP と RP の普遍的な関係 (例えば、時間やコストに対する重みにどの程度違いがあるかなど) を見いだすことは重要である。そこで SP データと RP データに基づく交通手段選択モデルを構築し、それらの適合度やパラメータを比較してみた。

なお、新交通システムの RP データを得ることはできないため、現在利用可能な既存の自動車と路線バスの2つを選択肢とした。また SP モデルに用いたデータは、自動車及び路線バスが選好順位1位と2位であるものとし、1位のものを選択手段としている。したがって、ここでは選択肢が自動車と路線バスの2つであり、いずれの交通手段も選択可能である個人に両モデルの対象を絞っている。

表2に SP モデルと RP モデルの結果を示している。説明変数は両データに共通の交通サービス変数である総所要時間とコストの2つに絞った。また RP モデルのこれらの変数値は、回答されたトリップの起終点をもとに地図上の実距離から換算したり、バスの運賃表と照合

させて計算した客観値とした。サンプル数は、SP モデル607、RP モデル156であった。両モデルのサンプル数が異なるのは、RP モデルの対象者を広島市旧市内に、あるいは旧市内を通過して通勤通学している者に制限したことと、SP 調査では同一個人に交通環境を変えて繰り返し質問しているため、回答者一人から最大3データ得られるためである。ここで構築したモデルは、式(1)で表される一般的な非集計ロジットモデルである。

$$P_{ij} = \frac{\exp(V_{ij})}{\sum_j \exp(V_{ij})} \quad (1)$$

$$V_{ij} = \sum_k \beta_k X_{ijk} \quad (2)$$

ここで、 X_{ijk} : 個人 i の選択肢 j に対する k 番目の説明変数の値

β_k : k 番目の変数のパラメータ

まずはじめに両モデルの精度を比較すると、的中率は SP モデルが67%、RP モデルが74%と RP モデルの方が高く (自動車の実績シェアは両データとも55%程度で差がなかった)、 ρ^2 値も SP モデルが0.10、RP モデルは0.27と RP モデルの方が優れている。RP モデルの方が、データの再現性が高いことを示している。SP モデルの定数項のパラメータ値および t 値が RP モデルに比べて非常に大きいことから、人の選好意識は所要時間やコストのような交通サービス変数だけでは説明できないことがわかる (例えば、現在利用している交通手段のような個人属性も重要な説明変数と思われる)。また Bonsall の言うように SP 調査の回答に含まれる4つのバイアス (偏り) (肯定バイアス、制約を受けない回答によるバイアス、合理化のバイアス、政策的回答のバイアス) の影響も、SP モデルの精度が劣る一因と思われる¹⁷⁾。

交通研究における SP データの適用例のほとんどは、個人の効用の絶対的な値ではなく、効用を構成する要因の相対的な重み (パラメータ) を推計することに主眼を置いている。そこで、SP モデルと RP モデルのパラメータの値を比較してみる。

両モデルのパラメータ間に差がないという仮説のもとに t 検定を行ってみると (表3)、総所要時間の t 値は

Table 2 Comparison of SP and RP Models

Independent Variable	Coefficient Estimate (t-Statistic)	
	SP model	RP model
Constant	-0.434 (-9.80**)	-0.118 (-0.09)
Travel time (min)	-0.022 (-5.79**)	-0.018 (-0.87)
Cost (¥100)	-0.196 (-7.10**)	-0.198 (-1.97*)
% Correct	66.6	73.7
RHO-BAR Squared	0.101	0.268
Value of time	¥11.5/min	¥8.9/min
No. of sample	607	156

**Significant at 1%, *Significant at 5%

Table 3 t-Test for Coefficients of SP and RP Models

Variable	t-Statistic
Constant	0.47
Travel time	0.38
Cost	0.03

選好意識データを用いた交通手段選択モデルの特性

Table 4 Estimation Accuracy of SP and RP Models for RP Data

	SP model	RP model
Correct		
Bus	28	28
Car	88	87
Incorrect		
Bus	0	0
Car	40	41
% Correct	74.4	73.7
RHO-BAR Squared	0.268	0.268

0.38, コストは0.03と小さく、ともに仮説は採択される。すなわち、SP モデルと RP モデルのパラメータには統計的に有意な差があると言えない。しかし、総所要時間とコストのパラメータの比率で求まる時間評価値を SP モデルと RP モデルで比較すると、SP モデルで11.5円/分、RP モデルで8.9円/分となっており、約3円/分の差がみられる。コストよりも総所要時間の t 値が大きいことから、この差は主に総所要時間のパラメータの差によるものと思われる。したがって、SP 調査で設定した時間に対する個人の評価の大きさ（重み）は、実

際の行動結果データから求められる値よりもやや過大に推計されることがわかる。

次に SP モデルが現実の選択をどの程度説明できるか調べるために、SP モデルを RP データに適用してみる（表4）。SP モデルの R^2 値は0.27、的中率は74%となり、RP モデルとほぼ同じ値を示しており、ここで構築した SP モデルは RP モデルと同程度の精度で実際の選択行動を説明することができる。

5. 繰り返し質問による SP データの有効性

SP 調査では分析者が自由に交通環境を設定できるため、同一回答者から複数の回答を得ることが理論的に可能である。しかし実際には、質問回数が増えるにつれて疲労を感じたり、回答の首尾一貫性を失ったりする危険性がある。

本節では、まず同一個人に対して3回の繰り返し質問から得られるデータから、以下の5つのデータ組を定義する。

- 1) データ (1) …… 1 回目のデータのみ
- 2) データ (2) …… 2 回目のデータのみ
- 3) データ (3) …… 3 回目のデータのみ
- 4) データ (1+2) …… 1 回目と 2 回目のデータをプールしたデータ
- 5) データ (1+3) …… 1 回目と 3 回目のデータをプ

Table 5 Comparison of MNL Models Based on Repetitive Data

Independent Variable	Coefficient Estimate (t-Statistic)				
	Data (1)	Data (2)	Data (3)	Data (1+2)	Data (1+3)
Actual mode	1.732	1.806	1.856	1.762	1.796
(1:car 0:others)	(7.00**)	(7.15**)	(7.18**)	(10.05**)	(10.10**)
Actual mode	1.337	0.745	1.204	1.031	1.262
(1:bus 0:others)	(4.90**)	(2.89**)	(4.59**)	(5.54**)	(6.70**)
In-vehicle time	-0.064	-0.058	-0.058	-0.061	-0.061
(min)	(-8.72**)	(-7.23**)	(-8.16**)	(-11.39**)	(-11.94**)
Waiting time	-0.150	-0.110	-0.121	-0.127	-0.133
(min)	(-8.72**)	(-5.05**)	(-5.20**)	(-7.50**)	(-7.59**)
Access time	-0.080	-0.062	-0.050	-0.069	-0.063
(min)	(-3.30**)	(-2.61**)	(-2.16**)	(-4.20**)	(-3.83**)
Cost	-0.384	-0.453	-0.370	-0.412	-0.369
(¥100)	(-5.27**)	(-5.81**)	(-4.86**)	(-7.79**)	(-7.08**)
% Correct	58.9	61.0	62.5	60.3	59.4
RHO-BAR Squared	0.2286	0.2147	0.2424	0.2224	0.2374
L($\hat{\beta}$)	-348.3	-353.7	-341.2	-703.8	-690.2
No. of sample	414	413	413	827	827

**Significant at 1%, *Significant at 5%

ルしたデータ

これらのデータごとにロジットモデルを構築して結果を比較する。そして、2回目及び3回目のデータを用いたモデルが1回目のモデルと差がないとき、これらのデータの信頼性は3回の繰り返し質問を通して安定しているものとする。

表5にそれぞれのデータ組を用いて、交通手段選択モデルを構築した結果を示す。なお、サンプル数に不具合が生じているのは、一部の繰り返し質問の回答が欠損する個人がいるためである。

まずデータ(1)からデータ(3)を用いた3つのモデルの精度をみると、データ(2)のモデルの p^2 値が0.21と他のモデルに比べてやや低くなっているが、大きな違いはない。また、3つのモデル的中率はほぼ60%で等しい。

次に、各質問で得られたデータを用いたモデル間の違いをみるために、尤度比検定を行う。データ(1)とデータ(2)を用いたモデルの検定を例にすると、帰無仮説は、

$$H_0: \text{両モデル間には差がない}$$

である。尤度比検定量は、

$$\chi^2 = -2[\ln(\hat{\beta}^{(1+2)}) - \ln(\hat{\beta}^{(1)}) - \ln(\hat{\beta}^{(2)})] \quad (3)$$

ここで、 $\ln(\hat{\beta}^{(g)})$ はデータ(g)を用いて推計したモデルの最大尤度

この χ^2 値は、次式で求まる自由度をもつ χ^2 分布に従う。

$$\text{自由度} : \phi = k^{(1)} + k^{(2)} - k^{(1+2)} \quad (4)$$

ここで、 $k^{(g)}$ はモデル(g)のパラメータ数

尤度比検定の結果を表6に示す。データ(1)とデータ(2)の比較と、データ(1)とデータ(3)の比較結果を示している。表よりいずれの場合も、データの差によるモデルの差は小さく仮説は採択される。つまり、3つのデータを用いたモデルの間には有意な差があるとは言えない。

1回目のモデルと2回目及び3回目のモデルのパラメータ間に差がないという仮説のもとに t 検定を行った結果を表7に示す。表よりすべてのパラメータは、統

Table 6 Likelihood Ratio Test of Models Based on Repetitive Data

Case	Test Statistic	Degree of Freedom	$\chi^2_{0.05}$
Data (1) vs. Data (2)	3.808	6	12.59
Data (1) vs. Data (3)	1.506	6	12.59

Table 7 t-Test for Coefficients of Models Based on Repetitive Data

Variable	Data (1) vs. Data (2)	Data (1) vs. Data (3)
	t-Statistic	t-Statistic
Actual mode (1:car 0:others)	0.250	0.012
Actual mode (1:bus 0:others)	1.472	1.304
In-vehicle time (min)	1.775	0.497
Waiting time (min)	1.771	1.219
Access time (min)	1.337	0.229
Cost (¥100)	0.334	0.081

計的に有意な差があるとは言えないことがわかる。

以上より、2回目、3回目の回答も1回目のデータと同等に信頼性がおけるものであり、調査労力の節約を考えると、同一個人に3回程度の繰り返し質問は有効であると言える。

6. 順位づけデータの特性

順位づけしたSPデータを用いたモデルの特性を調べるため、次の2つの方法で検討する。

- 1) 選好順位1位と2位以下のデータを用いた2項ロジットモデル(BLモデル)と、2位と3位のデータを用いたBLモデルを比較する。
- 2) 順位づけロジットモデル(Ordered Logit model: OLモデル)の適合度を調べる。

(1) BLモデルによる検討

1位と2位及び3位の順位づけデータを用いたBLモデルをAモデル、2位と3位のデータに基づくBLモデルをBモデルと呼ぶ。両モデルを比較した結果を表8に示す。同表では選択肢が自動車と路線バスの場合、自動車と新交通システムの場合、路線バスと新交通システムの場合に分けて比較している。

モデルの適合度をみると、いずれのモデルの場合もAモデルの方がBモデルよりも高い精度を示している。特に自動車と新交通システムのBモデルの p^2 値は低くAモデルと大きな差がある。このBモデルの対象は路線バスを1位と回答している人であり、路線バスの好みが高い人の2位以下の回答値を、交通サービス水準を説明変数とするモデルで説明することは難しいことがわかる。

しかしこのモデルの対象者の内、現在自動車を利用している人は約20%と少なく、これらの人はもともと自動

車の利用が困難なグループであり、自動車の利用可能性のような個人属性である程度識別できると思われる。

Table 8 Comparison of BL Models Based on Ordered Stated Preference Data
Car VS. Bus

Independent Variable	Coefficient Estimate (t-Statistic)	
	A-Model	B-Model
Constant	-0.573 (-10.80**)	-0.589 (-10.53**)
Actual mode (1:car 0:others)	1.316 (11.39**)	0.944 (8.44**)
In-vehicle time (min)	-0.025 (-5.14**)	-0.013 (-2.87**)
Waiting time (min)	-0.079 (-4.47**)	-0.017 (-0.93)
Cost (¥100)	-0.221 (-6.68**)	-0.175 (-5.35**)
% Correct	76.4	78.3
RHO-BAR Squared	0.313	0.154
No. of sample	607	589

**Significant at 1%, *Significant at 5%

Table 8 (Continued)
Car VS. New Transit

Independent Variable	Coefficient Estimate (t-Statistic)	
	A-Model	B-Model
Constant	-0.477 (-11.59**)	-0.844 (-9.43**)
Actual mode (1:car 0:others)	0.973 (12.22**)	0.226 (1.09)
In-vehicle time (min)	-0.020 (-4.53**)	0.0002 (0.02)
Waiting time (min)	-0.066 (-2.09*)	0.058 (0.81)
Access time (min)	-0.032 (-2.92**)	-0.023 (-1.02)
Cost (¥100)	-0.155 (-6.57**)	-0.094 (-1.63**)
% Correct	74.1	82.4
RHO-BAR Squared	0.196	0.005
No. of sample	970	238

**Significant at 1%, *Significant at 5%

Table 8 (Continued)

Independent Variable	Coefficient Estimate (t-Statistic)	
	A-Model	B-Model
Constant	-0.223 (-5.38**)	-0.392 (-5.88**)
In-vehicle time (min)	-0.022 (-4.81**)	-0.027 (-3.76**)
Waiting time (min)	-0.062 (-4.67**)	-0.078 (-3.12**)
Access time (min)	-0.058 (-4.90**)	-0.038 (-1.84*)
Cost (¥100)	-0.401 (-4.83**)	-0.496 (-3.56**)
% Correct	74.9	68.8
RHO-BAR Squared	0.130	0.124
No. of sample	901	285

**Significant at 1%, *Significant at 5%

パラメータの t 値をみると、自動車と路線バスの B モデルで待ち時間が 5% 有意となっていない。また自動車と新交通システムの場合では、A モデルですべてのパラメータが 1% 及び 5% 有意となっているにもかかわらず、B モデルでは定数項を除いてすべて有意となっていない。路線バスと新交通システムの B モデルでは、アクセス時間の t 値が低い。

(2) OL モデルによる検討

前述のように、コンジョイント測定法では、様々な属性の水準の組合せからなる選択肢の順序関係を再現するモデルを構築して、個々の要因の効果を測定する。回答者は、要因の重要度を回答するよりも選択肢の好みを表現する方が簡単なので、この方法は優れている。ここではこの考えに基づいて構築したモデルを OL モデルと呼び、交通手段選択モデルとして用いる。したがって、一般のロジットモデルのように最も好ましい選択肢の選択確率を目的変数とするのではなく、複数の選択肢の好みの順位づけが成立する同時確率を目的変数とする。ただし、コンジョイント測定法では各選択肢を構成する要因の水準に該当するときを 1、その他を 0 とするダミー値を説明変数として入力するが、ここでは各変数の水準値を直接入力している。

Beggs 他は OL モデルを次のように誘導し、電気自動車の評価に適用した例を報告しており¹⁸⁾、彼らの記述に基づいてモデルの構造を簡単に説明する。

個人 i の J 個の選択肢のうち H 番目の好みの選択肢

Table 9 Comparison of OL and MNL Models

Independent Variable	Coefficient Estimate (t-Statistic)					
	OL Model			MNL Model		
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3
Actual mode (1:car 0:others)	1.617 (13.28**)	1.589 (14.86**)		1.790 (12.31**)	2.141 (16.68**)	
Actual mode (1:bus 0:others)	0.686 (6.46**)	0.697 (8.08**)		1.087 (7.17**)	0.673 (5.92**)	
Travel time (min)		-0.055 (-21.72**)			-0.062 (-18.61**)	
In-vehicle time (min)	-0.053 (-15.54**)		-0.042 (-13.54**)	-0.059 (-14.02**)		-0.044 (-11.61**)
Waiting time (min)	-0.052 (-6.12**)		-0.048 (-7.94**)	-0.124 (-9.11**)		-0.107 (-12.24**)
Access time (min)	-0.048 (-4.49**)		-0.063 (-6.09**)	-0.062 (-4.67**)		-0.088 (-6.93**)
Cost (¥100)	-0.453 (-12.77**)	-0.455 (-13.27**)	-0.394 (-12.12**)	-0.396 (-9.15**)	-0.365 (-8.30**)	-0.338 (-8.81**)
% Correct						
1st order	60.0	59.9	55.5	59.8	60.2	56.2
2nd order	48.2	48.0	44.6			
3rd order	65.6	65.2	61.3			
total	57.9	57.7	53.8			
RHO-BAR Squared	0.213	0.214	0.142	0.229	0.221	0.137
No. of sample	1110	1110	1110	1240	1240	1240

**Significant at 1%

までの順位づけが成立する確率は、

$$\begin{aligned}
 & \text{pr}(U_{i1} > U_{i2} > \dots > U_{iH} \text{ for all } H \leq J) \\
 & = \text{pr}(U_{i1} > U_{i2} > \dots > U_{iH}) \\
 & \quad \times \text{pr}(U_{i2} > U_{i3} > \dots > U_{iH}) \\
 & \quad \times \dots \dots \dots \\
 & = \left\{ \exp(V_{i1}) / \sum_{m=1}^H \exp(V_{im}) \right\} \\
 & \quad \times \prod_{h=2}^H \left[\exp(V_{ih}) / \sum_{m=h}^H \exp(V_{im}) \right] \\
 & = \prod_{h=1}^H \left[\exp(V_{ih}) / \sum_{m=h}^H \exp(V_{im}) \right] \quad (5)
 \end{aligned}$$

- ここで、 U_{ij} : 個人 i の選択肢 j に対する効用
- V_{ij} : 個人 i の選択肢 j に対する効用の確定項
- J : 選択肢の数 ($J \geq 2$)
- H : 分析の対象とする選好順位

いま、 Z_{ij} を個人属性や交通サービス変数からなる変数ベクトル、 β をパラメータとし、確定項 V_{ij} は $V_{ij} = Z_{ij}\beta$ の線形式で表されると仮定する。そして、 J 個の選

択肢すべての順位を $R_i = (r_1, \dots, r_j)$ で表すと、個人 i の選択肢 J 個すべての順位づけが成立する確率は次式のようになる。

$$\begin{aligned}
 P(R_i) & = \text{pr}[U_{i1} > U_{i2} > \dots > U_{ij}] \\
 & = \prod_{h=1}^{J-1} \left[\exp(Z_{irh}\beta) / \sum_{m=h}^J \exp(Z_{irm}\beta) \right] \quad (6)
 \end{aligned}$$

($h=J$ のとき分母・分子は互いに打ち消し合う)

サンプル数 N に対して対数尤度 $L(\beta)$ は次のように表される。

$$\begin{aligned}
 L(\beta) & = \sum_{i=1}^N \ln P(R_i) \\
 & = \sum_{i=1}^N \sum_{h=1}^{J-1} Z_{irh}\beta \\
 & \quad - \sum_{i=1}^N \sum_{h=1}^{J-1} \left[\ln \sum_{m=h}^J \exp(Z_{irm}\beta) \right] \quad (7)
 \end{aligned}$$

パラメータ $\hat{\beta}$ は最尤法によって求められる。

OL モデルの構築結果を表9に示す。比較のため選好順位1位のデータだけを用いた従来の多項ロジット(MNL)モデルの結果も併記している。OL モデルの結

果をみると、モデルの説明力を示す ρ^2 値は0.14~0.21であり、中でも現在の利用交通手段を取り込んだモデル1及び2の精度は高い。また選考順位1位の的中率は55~60%となっている。OLモデルの ρ^2 値、的中率は、MNLモデルに比べて、ほとんど有意な差はないと言える。

以上の2つのモデルの分析結果より、順位づけしたSPデータの情報を漏れなく交通手段選択モデルに適用するには、OLモデルが有効であるが、選好順位2位以下のデータの信頼性は1位のデータに比べて低いことが明らかになった。

7. ま と め

本研究を通して、SPデータを用いた交通手段選択モデルのもつ特性が明らかになった。以下に研究成果をまとめる。

1) 既存の交通手段の選択モデルとして、SPモデルはRPモデルに比べてデータの再現性はやや劣る。しかし、現実の選択モデルに対するSPモデルの説明力はRPモデルとほぼ等しい。また時間やコストのパラメータは両モデルで有意な差があるとは言えないが、SPモデルで推計される総所要時間に対する個人の評価の大きさは、RPモデルによって求められる値に比べてやや過大推計となる。

2) 1被験者に対して、3回程度の繰り返し質問によって得られる回答値を用いたモデルの精度は安定しており、調査労力の簡略化の面からみると、SP調査は有効である。

3) SP調査の中で順位づけ法は、回答者にとって回答しやすいという利点があり、この方法で得られたデータを用いた交通手段選択モデルとしてOLモデルが有効である。しかし、選好順位2位以下のデータのみを用いたモデルは、1位のデータを用いたモデルに比べて推計精度が低い。

なお、SPデータを用いた交通手段モデルの有効性について明確な結論を得るためには、新交通システムが開通した後のRPデータを用いたモデルとの比較が必要であり、今後の研究課題としたい。

社会のニーズが多様化するにつれて、今後、例えば新交通システムの新設のような過去の実績データの少ない交通政策が取られるようになるであろう。このような背景のもとでSPデータの利用もますます盛んになってゆくものと思われる。本研究の結果は、そのための一つの基礎的な情報を与えるものであり、SP調査の調査方法も含めて、SPデータの適用性に関する研究成果が、一層蓄積されてゆくことが望まれる。

なお、本研究の遂行にあたり、広島大学・門田博知教授には貴重な助言を頂いた。また、調査票の配布、回収に際して、広島大学交通工学研究室の学生諸君には大変協力して頂いた。ここに謹んで感謝の意を表す。

References

- 1) Green, P. E. and V. Srinivasan, "Conjoint Analysis in Consumer Research: Issues and Outlook", *Journal of Consumer Research*, Vol. 5, pp. 103-123, 1978.
- 2) Madansky, A., "On Conjoint Analysis and Quantal Choice Models", *Journal of Business*, Vol. 53, pp. 37-44, 1980.
- 3) Kroes, E. P. and R. J. Sheldon, "Stated Preference Methods: An Introduction", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. XXII, No. 1, pp. 7-26, 1988.
- 4) Kruskal, J. B. and F. J. Carmone, "MONANOVA: A FORTRAN IV Program for Monotone Analysis of Variance", *Behavioral Science*, Vol. 14, pp. 165-166, 1969.
- 5) Bradley, M. A. and P. H. L. Bovy, "A Stated Preference Analysis of Bicyclist Route choice", *The PTRC 12th Summer Annual Meeting, Transportation Planning Methods*, pp. 39-54, 1984.
- 6) Bates, J. J., "Values of Time from Stated Preference Data", *The PTRC 12th Summer Annual Meeting, Transportation Planning Methods*, pp. 15-37, 1984.
- 7) Shiroishi, F., "Analysis of the Reliability of Stated Preference Data in Estimating Models of Travel Mode Choice", *Master's Thesis in M. I. T.*, 1988.
- 8) Couture, M. R. and T. Dooley, "Analyzing Traveler Attitudes to Resolve Intended and Actual Use of a New Transit Service", *T. R. R.* 794, pp. 27-33, 1981.
- 9) Bonsall, P. W., "Transfer Price Data—Its Use and Abuse", *The PTRC 11th Summer Annual Meeting, Transportation Planning Methods*, pp. 47-59, 1983.
- 10) 鈴木 聡・原田 昇・太田勝敏:「道路計画における時間評価値に関する研究」, *高速道路と自動車*, 第30巻第10号, pp. 28-36, 1987.
- 11) Bradley, M. A., "Realism and Adaptation in

- Designing Hypothetical Travel Choice Concepts', *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. XXII, No. 1, pp. 121-137, 1988.
- 12) 鈴木 聡・原田 昇：「パソコンベースの応答型意識調査手法に関する研究—通勤・通学の鉄道経路選択を対象として—」。土木計画学研究・論文集，No. 6, pp. 217-224, 1988.
 - 13) Jones, P. M., M. A. Bradley and E. S. Ampt, "Forecasting Household Response to Policy Measures Using Computerised, Activity-based, Stated Preference Techniques", *TSU Reference Vol. 381*, 1987.
 - 14) 田村 亨・佐藤馨一・五十嵐日出夫：「選好順位データを用いた交通手段選択モデルの構築に関する研究」。第5回土木計画学研究発表会講演集，pp. 407-412, 1983.
 - 15) 高田一尚・湯沢 昭：「コンジョイント分析による個人行動モデルに関する研究」。土木計画学研究・講演集，No. 11, pp. 717-714, 1988.
 - 16) 藤原章正：「新交通システム導入が沿線住民の交通および活動に及ぼす影響の評価」。日本交通政策研究会日交研シリーズA-122, 1988.
 - 17) Bonsall, P. W., "Transfer Price Data—Its Definition, Collection and Use", In "New Survey Methods in Transport", edited by E. S. Ampt, A. J. Richardson and W. Brog, VNU Press, pp. 257-271, 1985.
 - 18) Beggs, S., and S. Cardell and J. Hausmen, "Assessing the Potential Demand for Electric Cars", *Journal of Econometrics*, Vol. 16, pp. 1-19, 1981.