

相対性効用最大化理論に基づく交通機関選好意識のパネル分析*

Panel Analysis of Stated Preference for Mode Choice Based on Theory of Relative Utility Maximization*

張 峻屹**・杉恵 頼寧***・藤原 章正***・玉置 善生****

By Junyi Zhang**・Yoriyasu Sugie***・Akimasa Fujiwara***・Yoshio Tamaki****

1. はじめに

通常、意思決定者は嗜好といった心理的要素、情報の欠如、経験、他人の影響などによりすべての選択肢を意思決定過程において均等に認識しない。また、選択肢の効用は当該選択肢の属性以外に、選択肢集合にある他の選択肢の影響、過去・将来の選択行動の影響及び他人からの影響を受ける。これは相対性効用最大化(r-RUMと略す)理論の基本的な考え方であり、それに基づき開発された新たな選択モデルとしてr-MNL、r-NLモデルがある¹⁾。

しかし、r-RUM理論の重要な概念である相対重要性パラメータの時間的安定性、r-RUM理論における選択肢属性以外の影響要因の取り入れ方及びその相対重要性パラメータとの関係などについて議論されていない。

一方、今まで経験したことのない選択肢に直面して個人がどう反応するかを調査する手法として、SP(選好意識)調査手法が挙げられる。しかし、個人の選好意識は個人を取り巻く外部環境や内的要因(属性)の変化により時間的に一定であるとは限らない。このような個人意識の変化はr-RUM理論からみると、選択肢属性パラメータ値の変化と選択過程における異なる選択肢の相対重要性パラメータ値の変化に分けられる。

そこで、本研究では1994年に開通した広島市新交通システムの利用意識に関する4時点SP^{パネル}データを用いて、冒頭で説明したr-RUM理論の課題について理論的な解決方法を提案すると同時に、実証分析を行う。

2. 相対性効用最大化理論の概説

*キーワード: 相対性効用、交通行動分析、交通手段選択

**正員、工博、パシフィックコンサルタンツ(株)総合計画本部交通計画部
(東京都新宿区西新宿2-7-1新宿第一生命ビル20階
TEL03-3344-1109、FAX03-3344-1549)

***正員、工博、広島大学大学院国際協力研究科開発科学専攻
(東広島市鏡山1-5-1、TEL&FAX 0824-24-6919)

****正員、所属・連絡先は第1著者と同じ

従来の確率効用最大化(RUMと略す)理論では選択肢の効用を定義する際に、式(1)に示すように当該選択肢属性や個人属性以外の影響を無視する。

$$u_{ijt} = v_{ijt} + \varepsilon_{ijt} \quad (1)$$

ここで、 i は個人、 j は選択肢、 t は時間、 u は効用関数、 v は対象選択肢の属性や個人属性を含む効用関数の確定項、 ε は誤差項である。

これに対して、r-RUM理論は選択肢の効用が相対的な概念であると主張する。本研究では選択肢集合にある他の選択肢の影響のみに着目して、以下のような操作性の高い相対性効用を提案する。

$$U_{ijt} = \sum_{j' \neq j} (u_{ijt} - u_{ij't}) \quad (2)$$

この相対性効用は文脈依存性(context dependence)を考慮することができる。

一方、従来の選択モデルでは個人が選択肢集合にあるすべての選択肢を均等に認識すると仮定するが、Coleman(1973)²⁾とGupta(1989)³⁾に指摘されたように、この仮説は多くの意思決定場面において成り立たない。このため、式(2)を以下のように修正する。

$$U_{ijt} = r_{ijt} \sum_{j' \neq j} (v_{ijt} - v_{ij't}) + e_{ijt} \quad (3)$$

ここで、 r_{ijt} は時点 t ・個人 i ・選択肢 j の相対重要性を表す正值のパラメータである。 J 個の選択肢がある場合に $J-1$ 個の相対重要性パラメータが唯一に得られることが証明されている¹⁾。この相対重要性パラメータはグループ意思決定理論から借用された概念である^{2),3)}、その推定方法としていくつかが考えられるが、各選択肢の相対重要性パラメータの総和が1であると仮定する方法をここで採用する。

3. SPパネルデータに対応したシミュレーション手法

SPデータは仮想の状況を想定した調査であるがゆえに、RPパネル調査より多くのパネルが含まれる。そして、SPデータを用いて現存しない選択肢を予測する場合、過大に推

定されることが報告されている。

SP パイアの修正方法として幾つかが提案されているが、操作性の高いモテリング手法として、Morikawa (1989) の RP/SP 融合モデルがある⁴⁾。さらに、Zhang ら(2001)は Morikawa のモデルを改良し、嗜好と SP パイアを分離したモテリング手法を提案した⁵⁾。

本研究ではこれらの既存モデルをレビューした上で、相対性効用に基づく新たな RP/SP 融合モデルを提案すると同時に、冒頭で説明した課題について議論する。

(1) RP/SP 融合モデル

RP/SP 融合モデルは仮想条件下における SP パイアが実行動(RP)を無視したことから生じると主張する。このため、交通機関選択を考える際に、モテリングする段階において RP 情報を導入し、RP データと SP データから導き出された時間価値が同じであるという制約条件を加えることによって SP パイアを修正する。これを説明するため、式(1)を RP・SP データ別に以下のように書き換える。

$$u_{ij,t}^{RP} = \pi_j^{RP} + v_{ij,t}^{RP} + \varepsilon_{ij,t}^{RP} \quad (4)$$

$$u_{ij,t}^{SP} = \pi_j^{SP} + v_{ij,t}^{SP} + \varepsilon_{ij,t}^{SP} \quad (5)$$

$$v_{ij,t}^{RP} = \sum_h \beta_{jh,t} X_{ijh,t}^{RP} + \sum_g \gamma_{jg,t} W_{ijg,t}^{RP} \quad (6)$$

$$v_{ij,t}^{SP} = \sum_h \beta_{jh,t} X_{ijh,t}^{SP} + \sum_k \phi_{jk,t} Z_{ijk,t}^{SP} \quad (7)$$

ここで、 π_j^{RP}, π_j^{SP} は定数項、 $v_{ij,t}^{RP}, v_{ij,t}^{SP}$ は定数項を含まない確定項である。また、変数 $X_{ijh,t}^{RP}, X_{ijh,t}^{SP}$ は RP データと SP データの共通変数、変数 $W_{ijg,t}^{RP}, Z_{ijk,t}^{SP}$ はそれぞれ RP、SP データの固有変数である。

交通機関選択モデルの場合、共通変数として通常所要時間と費用を取り上げる。式(6)と(7)に示すように、これら共通変数のパラメータが等しい(言い換えると、RP と SP データから得られる時間価値が等しい)と仮定することにより、SP パイアを修正するモデルを Morikawa(1989)が提案した。さらに、SP 誤差項 $\varepsilon_{ij,t}^{SP}$ と RP 誤差項 $\varepsilon_{ij,t}^{RP}$ のばらつき(分散)は異なるため、Morikawa は以下のようなスケールパラメータ μ を導入した。

$$Var(\varepsilon_{ij,t}^{RP}) = \mu Var(\varepsilon_{ij,t}^{SP}) \quad (8)$$

(2) 嗜好と SP パイアを分離した RP/SP 融合モデル

Zhang ら(2001)は Morikawa の RP/SP 融合モデルの枠組みの中で、今まで区別せずに将来予測に利用されてきた各交通機関の定数項(式(4)と(5)の定数項 $\pi_{j,t}^{RP}$ と $\pi_{j,t}^{SP}$)を個人の嗜好項と非観測要因に起因する回答パイア項(SP

パイア項)に分け、既存と新規の選択肢の効用をそれぞれ以下のように再定義した。

① 既存選択肢

$$u_{ij,t}^{RP} = \tau_j + v_{ij,t}^{RP} + \varepsilon_{ij,t}^{RP} \quad (9)$$

$$u_{ij,t}^{SP} = \tau_j + \phi_j^{SP} + v_{ij,t}^{SP} + \varepsilon_{ij,t}^{SP} \quad (10)$$

② 新規選択肢

$$u_{ij,t}^{SP} = \psi_j^{SP} + v_{ij,t}^{SP} + \varepsilon_{ij,t}^{SP} \quad (11)$$

ここで、 τ_j は既存選択肢の嗜好項、 ϕ_j^{SP} は式(4)と(5)の定数項 $\pi_{j,t}^{SP}$ から分離してきた既存選択肢の SP パイア項である。嗜好項の明確な分離によって RP/SP モデルに存在する系列相関にも対処できると考える。 ψ_j^{SP} は新規選択肢の定数項であるが、関連する RP 情報がないため、嗜好と SP パイアを分離できない。

(3) r-RP/SP 融合モデル

個人意識の時間的変化は説明変数パラメータ値の変化と選択肢の相対重要性パラメータ値の変化に分けられる。前者については本研究のような少ない時点の初期データでは表現が難しいため、後者の相対重要性パラメータ値の変化のみについて検討する。

① 従来の選択モデルにおける定数項の役割

従来の選択モデルでは、モデルの推定分担率と実績分担率を一致させるように推定されるので、モデルの現況再現性を高めるために通常定数項を導入する。この定数項はモデルに取り入れられた説明変数以外すべての要因の影響を含めるものである。もし選択肢別に異なる定数項が導入されれば、それらが各選択肢の相対重要性を表現するとも解釈できそうであるが、相対重要性の定義からすると、この定数項が説明変数と相関してしまい、モデル推定上問題となる。

② 選択肢属性以外の影響要因の取り入れ方

交通機関の所要時間や費用といった選択肢属性が、個人の時間的・金銭的制約のもとで効用を最大化することを考えると、効用関数のなかに取り入れられることは理論的に保証されている。しかし、個人属性などの影響をどう取り入れるかについては明確な方法が存在しない。例えば性別などの個人属性によるセグメント手法や、それらを共通変数としてモデルの中に取り入れる方法が今まで多用されてきている。

r-RUM 理論における相対重要性パラメータは選択肢属性以外に、個人属性など（観測・非観測要因）にも影響される。このため、選択肢属性との線形結合で個人属性などを効用関数のなかで表現すると統計的に重共線性が生じてしまう。これに対して、r-RUM 理論では個人属性などが相対重要性パラメータを説明する要因として相対性効用関数に取り入れることは理論的な問題を生じない。

③ 選択肢の属性と相対重要性パラメータの関係

相対重要性パラメータは選択過程における個人の各選択肢に置く重みを表すため、その大きさが当然選択肢属性から影響を受ける。例えば、所要時間と費用のみをもとに自動車と公共交通機関の選択を考える場合、利用者は公共交通機関に大きな重みを置いても、運行頻度や乗り換えなどをも考慮に入れると、公共交通機関に置く重みは下がるであろう。

上述のことを網羅的に捉えるため、本研究では以下のように相対性効用を活用した新たな RP/SP 融合モデル（r-RP/SP 融合モデルと略す）を提案する。

$$P_i = \prod_t \left\{ \prod_j \left[\left(\frac{\exp(\mu w_{ij,t}^{SP})}{\sum_{j_0} \exp(\mu w_{ij_0,t}^{SP})} \right)^{v_{ij_0,t}^{SP}} \cdot \left(\frac{\exp(w_{ij,t}^{RP})}{\sum_j \exp(w_{ij,t}^{RP})} \right)^{v_{ij,t}^{RP}} \right] \right\} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} w_{ij,t}^{RP} &= r_{j,t}^{RP} \sum_{j'} ((\tau_j + v_{ij,t}^{RP}) - (\tau_{j'} + v_{ij',t}^{RP})) \\ w_{ij,t}^{SP} &= r_{j,t}^{SP} \sum_{j'} ((\tau_j + \phi_j^{SP} + v_{ij,t}^{SP}) - (\tau_{j'} + \phi_{j'}^{SP} + v_{ij',t}^{SP})) \\ w_{ij_0,t}^{SP} &= r_{j_0,t}^{SP} \sum_{j'} ((\psi_{j_0}^{SP} + v_{ij_0,t}^{SP}) - (\psi_{j'}^{SP} + v_{ij',t}^{SP})) \\ r_{j,t}^{SP} &= \sum_k (\beta_{jk} X_{ijk,t}) \\ r_{j_0,t}^{SP} &= \sum_k (\beta_{j_0k} X_{ij_0k,t}) \end{aligned}$$

ここで、 j_0 は新規選択肢、 r は相対重要性パラメータ、変数 X は個人属性、 β はそのパラメータである。本研究ではSPパネルデータにおける相対重要性パラメータの時間的変化の把握を目的とするため、RPデータにおける相対重要性パラメータに与える個人属性の影響を考えない。

4. モデルの推定及び考察

(1) 利用する SP パネルデータの概要

広島市新交通システム開業後における通勤通学者の交通機関選択行動の予測を目的に、1987 年から 90、93、94 年にかけて計 4 時点にわたって自家用車(CAR)、バス(BUS)と新交通システム(NTS)を対象に SP パネル調査が広島大学交通工学研究室により実施され、自家用車とバスの利用実態(RP)についても調査された。結果的に、各時点においてそれぞれ 226 パネルサンプルが得られた。

(2) モデルの推定及び考察

相対重要性パラメータに与える個人属性、選択肢属性及び SP パネルの影響を分析するために、以下の 8 種類のモデルを推定した。推定結果を表 2 に、新交通システムの相対重要性パラメータの経年的変化を図 1 示す。

表 1 対象モデル

モデル	嗜好と SP パネルの分離の有無	過去車利用経験の有無	待ち・アクセス時間の有無
Model-1	なし	なし	なし
Model-2	なし	なし	あり
Model-3	なし	あり	なし
Model-4	なし	あり	あり
Model-5	あり	なし	なし
Model-6	あり	なし	あり
Model-7	あり	あり	なし
Model-8	あり	あり	あり

表 2 からみると、どのモデルも精度（尤度比）が比較的に高く、相対性効用を導入することの有効性を示す。RP データにおける BUS の相対重要性パラメータ(CAR のそれを 1 に固定)をみると、時点間の差異が小さい。

また、SP データにおける BUS と NTS の相対重要性パラメータを説明する個人属性の推定結果をみると、ほとんどのパラメータが統計的に有意な値であり、第 3 節(3)で述べた選択肢属性以外の影響要因の取り入れ方が妥当であったことが分かる。

さらに、嗜好項と SP パネル項を分離したモデル(Model-5~8)は分離しないモデル(Model-1~4)より精度が若干高く、NTS の相対重要性パラメータ値の時間的変化が多少小さくなる傾向がある（紙面上の制限で Model-1~4 の結果を図 1 に示していない）。

図 1 をみると、過去の自動車利用経験と待ち・アクセス時間の影響を考慮したモデル(Model-3, 4)は考慮しないモデル(Model-1, 2)より相対重要性パラメータの時間的変化が明らかに大きい。これは判断基準属性の数が増えれば、個人が選択に関する意思決定を迷ってしまうことの現れであると考えられる。

表2 r-RP/SP融合モデルの推定結果

説明変数	Model-1	Model-2	Model-3	Model-4	Model-5	Model-6	Model-7	Model-8
交通機関サービス水準								
定数項 (BUS)	0.283	0.366*	0.277	0.407*				
定数項 (NTS)	1.104	0.684	7.021*	5.530*				
所要時間(分) (共通変数)	-0.061*	-0.078*	-0.051*	-0.060*	-0.071*	-0.078*	-0.050*	-0.065*
所要費用(円) (共通変数)	-0.008*	-0.008*	-0.007*	-0.007*	-0.008*	-0.008*	-0.007*	-0.007*
待ち時間(分) (SP固有: BUS, NTS)		-0.133		0.365*		-0.1196		-0.237*
アクセス時間(分) (SP固有: NTS)		-0.071		-0.151		-0.0620		-0.088
SPバイアス項+嗜好項 (NTS)					-1.618*	2.350*	7.824*	7.300*
SPバイアス項 (BUS)					-4.029*	3.462*	-0.290	9.038*
嗜好項 (BUS)					0.417*	0.391*	0.353*	0.231
スケールパラメータ	0.183*	0.183*	0.097*	0.089*	0.187*	0.179*	0.107*	0.120*
相対重要性パラメータ								
SP (BUS)								
定数項	-4.776*	1.443	-0.715	1.348	-5.710*	0.8379	-0.1298	1.8381
性別 (男性1、女性0)	-6.270*	4.188*	-3.795*	4.870*	-2.849*	3.492*	-4.312*	-1.496
年齢	0.323*	-0.190*	0.192*	-0.388*	0.256*	-0.117*	0.188*	-0.107
職業の有無 (あり1、なし0)	-5.209*	0.228	-5.381*	0.049	-2.192*	-0.1274	-4.883*	1.419
世帯人数 (人)	-0.189	0.818	0.131	1.539*	-0.941	0.1322	-0.1576	-0.640
過去の自動車利用経験 (あり1、なし0)			-5.375*	-0.093			-5.263*	3.035*
SP (NTS)								
定数項	2.983*	1.089	0.783	2.574*	4.172*	0.0976	-1.526	3.090*
性別 (男性1、女性0)	-0.030	2.969*	1.172	1.458	4.584*	-0.3368	-0.676	-3.172*
年齢	-0.061	-0.071	-0.087*	-0.088*	-0.203*	0.0459	-0.010	0.122*
職業の有無 (あり1、なし0)	4.887*	2.957*	4.703*	3.611*	8.437*	1.5711	2.768*	0.288
世帯人数 (人)	-0.447	0.683	0.016	0.086	-0.427	0.2766	0.2228	-1.024*
過去の自動車利用経験 (あり1、なし0)			-10.71*	-9.393*			-9.094*	-5.730*
RP (BUS)								
1994年	-0.546*	-0.549*	-0.421*	-0.511*	-0.542*	-0.540*	-0.466*	-0.530*
1993年	-0.460*	-0.461*	-0.328*	-0.413*	-0.464*	-0.450*	-0.340*	-0.400*
1990年	-0.599*	-0.597*	-0.469*	-0.560*	-0.560*	-0.589*	-0.467*	-0.551*
1987年	-0.406*	-0.421*	-0.253*	-0.344*	-0.358*	-0.413*	-0.314*	-0.269*
初期対数尤度	-1619.8	-1618.8	-1619.8	-1618.8	-1619.8	-1618.8	-1619.8	-1618.8
最終対数尤度	-1337.2	-1348.7	-1303.8	-1333.3	-1331.5	-1348.9	-1302.0	-1319.3
尤度比	0.1745	0.1669	0.1951	0.1764	0.1780	0.1667	0.1962	0.1850
サンプル数	904	904	904	904	904	904	904	904

注: * 有意水準は95%以上である。

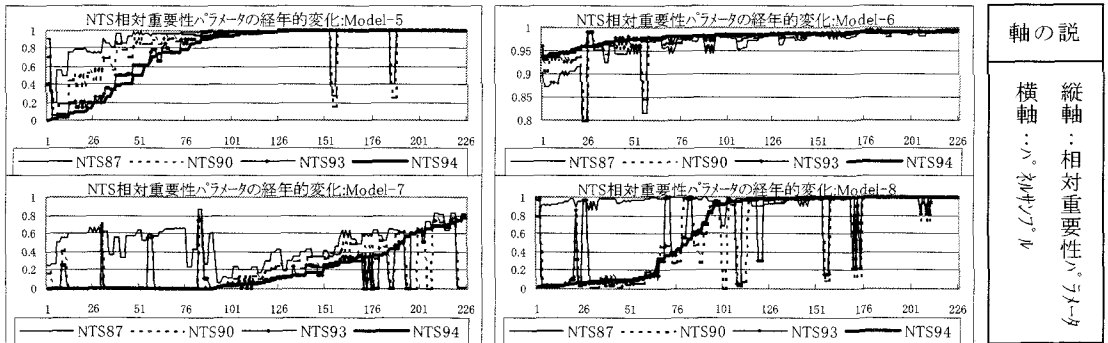


図1 新交通システム(NTS)の相対重要性パラメータの経年的変化

5. おわりに

本研究ではまず相対性効用による新たなr-RP/SP融合モデルを提案した。次に、広島市新交通システムの利用意識に関するSPパネルデータを用いて分析した結果、(1)相対性効用に基づくSPパネルデータ分析手法が有効であること、(2)RPデータにおける相対重要性パラメータが比較的に安定すること、(3)SPデータにおける相対重要性パラメータが時間的に変化し、個人属性が大きく影響していることが分かった。

参考文献

- 1)Zhang, J., Timmermans, H., Borgers, A., and Wang, D.: Modeling traveler choice behavior using the concepts of relative utility and relative interest, Transportation Research B, 2001 (under review).
- 2)Coleman, J.S.: The Mathematics of Collective Action, Aldine Publishing Company, Chicago, Chapter 3, 1973.
- 3)Gupta, S.: Modeling integrative, multiple issue bargaining, Management Science, Vol.35(7), pp.788-806,1989.
- 4)Morikawa, T.: Incorporating stated preference data in travel demand analysis, Ph.D. dissertation, Department of Civil Engineering, MIT, 1989.
- 5)Zhang, J., Sugie, Y. and Fujiwara, A.: A mode choice model separating taste variation and stated preference reporting bias, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2001 (forthcoming).