

RPデータと支払カード形式SPデータを同時に用いた非集計行動モデルの推定*

Estimation of Disaggregate Behaviour Models with RP and Payment Card SP Data*

三古展弘**・森川高行***

By Nobuhiro SANKO**・Takayuki MORIKAWA***

1. はじめに

非集計行動モデルを推定する際に用いるデータは、実際の行動結果を観測したRP (Revealed Preference)データと仮想の状況下における被験者の選好意思表示を観測したSP (Stated Preference)データに大別できる。これらのデータにはそれぞれに長所・短所があるものの、一方のデータの短所を他方のデータの長所で補えるという性質、つまり互いに補完的な性質、を持っている。この性質に着目し、RPデータとSPデータをモデル推定の際に同時に使用し、互いの長所を助長し合うことによって、より精度と操作性の高い需要予測手法 (RP/SP同時推定法) が提案されている¹⁾。

非集計行動モデルの推定に用いられてきたSPデータをその質問形式から整理すると、初期の段階では順位付け形式や評点付け形式が、最近では選択形式がよく用いられている。これらの形式によるSPデータは、ある代替案の他の代替案と比べた場合の優劣の情報 (または優劣の情報に変換したもの)、または評点値情報そのもの、を用いてモデル化されることが多かった^{2), 3)}。これに対し、複数の代替案を比較する場合には、選好無差別情報が得られる可能性がある。選好無差別情報は、代替案間の優劣や評点値情報とは異なり、選好の変化する状態そのものを特定できるという観点から、複数代替案の比較において情報量は豊富であると考えられる。しかし、交通の分野では選好無差別情報はマッチングデータ (特殊形としてトランスファープライスデータ) として入手されることはあっても、信頼性等の理由から積極的に利用されていない。

筆者ら⁴⁾はこれまでに、選好無差別な範囲を特定することが比較的容易な質問形式として1.5バウンド形式SPデータを用いたSPモデルおよびRP/SPモデルを推定し、選択形式のモデルよりも推定精度において優れていることを示している。そこで、本研究では、1.5バウンド形

式と類似した特徴を持つ質問形式として、支払カード形式SPデータを用いたSPモデルおよびRP/SPモデルを推定し、選択形式のモデルと比べた優劣を、特に推定精度の観点から評価することを目的とする。

2. 支払カード形式SPデータと定式化

(1) 支払カード形式SPデータ

支払カード形式は、仮想評価法(CVM: Contingent Valuation Method)⁵⁾の分野で知られた質問形式である。支払カード形式は、例えば、支払い意志額をたずねるときに、被験者に対し金額を記入した複数のカードを提示し、その中から1つを選択してもらう。

支払カード形式は交通手段選択には、例えば、以下のように適用できる。自動車と公共交通の2項選択を例にとる。現在の自動車利用者に対しては、ある1つのサービスレベルを変化させ、例えば、自動車の所要時間が5分、10分、15分、20分、25分長くなれば、という5枚のカードを提示する。そして、被験者には、公共交通に転換する最低限のサービスレベル変化を答えてもらう。転換すると答えたサービスレベルと (自動車に有利なほうの) その隣にあるサービスレベルの間に選好無差別情報が存在する。他の属性を変化させた場合についても同様の質問を行う。また、現在の公共交通利用者に対しても同様の質問を行う。

(2) 使用データ

本研究の使用データは、平成9年に中京都市圏小規模パーソントリップ調査と同時に実施された、「出勤時における交通アンケート調査」データである。

現在の利用交通手段というRPデータのほかに、SPデータを支払カード形式でたずねている。RPの自動車利用者であり、自動車にかわって公共交通を利用してもよいという転換意向を示した個人には、その条件 (例えば、「自宅から最寄りの停留所、駅が近くなれば」) を重要な順に3つまで、および改善されるべきサービスレベルの程度 (例えば「歩いて3分、5分、8分、10分、20分以下になれば」の中からひとつ選択) を質問している。なお、RPの公共交通利用者に対するSP質問は行われてい

*キーワード: 交通行動分析, 交通手段選択, SP データ

**正会員, 博(工), 神戸大学大学院経営学研究科
(神戸市灘区六甲台町 2-1,
Tel: 078-803-6987, E-mail: sanko@kobe-u.ac.jp)

***正会員, Ph. D., 名古屋大学大学院環境学研究科
(名古屋市中区千種区不老町,
Tel: 052-789-3564, E-mail: morikawa@nagoya-u.jp)

(自動車にかわって公共交通を*)利用してもよい理由を、下の1.~22.の中から重要な順に3つ以内を選んで□内
に書いてください。

1	2	3	→ あなたが選んだ番号についてのみお答えください。(1), 2)...のいずれかに 印)			
1. 自宅から最寄りの停留所、駅が近くなれば	1. 歩いて何分くら	1) 3分		2) 5分	3) 8分	4) 10分
...	いになれば	以下	以下	以下	以下	以下

(注)これは、現在、自動車を利用して、「今後公共輸送機関が整備されたり、今より自動車が利用しにくくなれば、自動車の利用をやめて、公共輸送機関を利用してもよい」と答えた個人に対する質問である。*質問票にはない、筆者らによる追加説明。

図 - 1 支払カード形式のSP質問の例

ない。質問票の例を図 - 1 に示す。

(3) 定式化

ここでは、説明の都合上、1st Boundを支払カード形式で選んだカードの値、2nd Boundを支払カード形式で選んだカードの(自動車に有利なほうの)隣のカードの値と言い換えている。

図 - 1 を例に説明する。例えば、「1. 自宅から最寄りの停留所、駅が近くなれば」を理由として選び、その条件として「2) 5分以下になれば」を1st Boundで回答したとする。このとき、2nd Boundは(自動車に有利なほうの)隣のカードの値であるから「3) 8分以下になれば」である。つまり、自動車と公共交通利用が選好無差別になるのは2)(公共交通を選択)と3)(自動車を選択)の間である。つまり、支払カード形式を用いることで選好無差別な範囲を特定できる可能性が高まることを示している。

ここで、これを非集計行動モデルで定式化する。状態 B (1st, 2ndがそれぞれ1st Bound, 2nd Boundに対応)での個人 n の選択肢 i に対する効用 U_{in}^B は、 $U_{in}^B = V_{in}^B + \varepsilon_{in}^B$ のように確定項 V_{in}^B と誤差項 ε_{in}^B に分けられるとする。また、誤差項に関する仮定として、SPに関する誤差項 ε_{in}^{1st} , ε_{in}^{2nd} は同じ ε_{in}^{SP} であるとする。このとき、1st Boundで公共交通($tran$)、2nd Boundで自動車($auto$)を選択する確率は、 $\varepsilon_{auto,n}^{SP} - \varepsilon_{tran,n}^{SP}$ が標準正規分布に従うと仮定すると、式(1)で表される。

$$\begin{aligned}
 P_n(d_n^{1st} = tran, d_n^{2nd} = auto) &= \text{prob}(U_{tran,n}^{1st} > U_{auto,n}^{1st} \text{ and } U_{tran,n}^{2nd} < U_{auto,n}^{2nd}) \\
 &= \text{prob}(V_{tran,n}^{1st} - V_{auto,n}^{1st} > \varepsilon_{auto,n}^{SP} - \varepsilon_{tran,n}^{SP} > V_{tran,n}^{2nd} - V_{auto,n}^{2nd}) \\
 &= \Phi(V_{tran,n}^{1st} - V_{auto,n}^{1st}) - \Phi(V_{tran,n}^{2nd} - V_{auto,n}^{2nd}) \quad (1)
 \end{aligned}$$

ここで、 d_n^B を個人 n の状態 B における選択結果、 $\Phi(\bullet)$ を標準正規分布の累積分布関数とする。

なお、今回は、例えば図 - 1 の「5) 20分以下」と答えた場合には、5)と(20分よりも長い)RPとの間に選好無差別な状態があると考えてモデル化している^[1]。

3. 推定結果

推定結果を表 - 1 のRPおよびi) ~ iii)に示す。RPモデルは2項プロビットモデルで推定した。SPモデルは、i) 1st Boundのみ選択形式として推定(2項プロビットモ

デル)^[2]、ii) 1st Boundと2nd Boundを独立な選択形式として推定(2項プロビットモデル)、iii) 1st Boundと2nd Boundを支払カード形式として推定(2.(3)の定式化)した^[3]。なお、支払カード形式では、1st Boundと2nd Boundでモデルに含まれる総ての説明変数の値が同じ場合(サービスレベルは変化していても、説明変数の値は変化していないことがある)、式(1)の選択確率が0になるため推定できない。このような状況が起こり得るデータは、i) ~ iii)のいずれの推定からも除いた^[4]。

推定結果を考察する。RPモデルでは所要時間、費用、運行間隔ともに有意に推定された。i) ~ iii)のSPモデルでは、iii)の場合のみ3つのサービスレベル変数ともRPモデルよりも t -値が高く、符号も正しく推定されている。推定値の標準誤差の比較からも、支払カード形式のほうがii)より小さい値となり、推定精度が高いと言える。なお、SPデータはRPにおいて自動車を利用している個人からしか得られていないため、慣性ダミーを含めることはできない。RP/SPモデル^[5]では、iii)の支払カード形式とみなした場合、3つのサービスレベル変数においてRPモデルよりも t -値を増している。また、スケールパラメータはSPモデルのほうが誤差項の分散が小さいことを意味している。3つの結果を比較した場合、支払カード形式とみなした場合に、3つのサービスレベル変数で最も t -値が大きくなっている。推定値の標準誤差も、符号の正しく推定されたii)のモデルに比べて小さく、推定精度が高いと言える。

ここで、RPとSP両モデルでのパラメータの等価性の χ^2 検定(自由度2)を行った。その結果、1st Boundのみ選択のときはSPモデルがないため検定できないが、1st Boundと2nd Boundともに選択形式とした場合(検定値: 0.57)、50%の有意水準でも棄却されなかった。支払カード形式とした場合(検定値: 17.76)、1%の有意水準でも棄却された。これは、iii)の分析において、パラメータをRPモデルとSPモデルでシェアすることが統計的に正当化されないことを意味する。

4. パラメータの等価性に関する検討

前章では、支払カード形式のSPモデルおよびRP/SPモデルが、推定精度の観点からは最も優れているが、RP、SP両モデルでパラメータをシェアすることが統計的に

正当化されないという結果が得られた。ここでは、これに関する2つの解釈を行う。

1つ目の解釈は、SPバイアスの観点から説明される。RPとSPにおいて個人が同一の行動規範に従っていることを仮定し、RPとSPでパラメータの等価性を正当化できないのはSPバイアスの存在に起因するという解釈である。現在のサービスレベルからある1つの属性のみ変化させた場合、その属性の変化に過剰に反応すれば、それはバイアスを生む可能性を持つ。

2つ目のより興味深い解釈は、選好の変容の観点から説明される。RPモデルのパラメータはサンプル全体における変数間の平均的な関係を記述しているに過ぎない。一方、特定個人のレベルでは、現状のサービスレベルからある1つの属性のみを変化させた場合、その変化に対応して行動規範が変化（選好が変容）する可能性がある、という解釈である。マーケティングの分野では、イノベーションによって製品空間が拡大するとき消費者が選好の再構築を迫られ、ひいては選好の変容につながる可能性があることが指摘されている⁶⁾。

RPとSPでパラメータをシェアすることの妥当性は、統計的検定で確認できる。現状から1つの属性を変化させた場合ではないSPデータ⁷⁾や、今回のように現状から1つの属性を変化させたSPデータでも1st Boundと2nd Boundを独立な選択形式とした場合には等価性は棄却されないこともある。RPとSPでパラメータをシェアできるかどうかは、質問形式や定式化にも大きく依存している可能性がある。

いずれにしても、支払カード形式のモデルにおいてRPとSPでパラメータをシェアすることが統計的に正当化されない以上、このままの定式化で支払カードのRP/SPモデルを構築することの問題は少なくない。そこで、ここでは、上の2つの解釈に沿ってモデルの再定式化を行う。

まず、通常のRP/SPモデル¹⁾を式(2)に示す。

$$U_{in}^{RP} = \beta' x_{in}^{RP} + \alpha' w_{in}^{RP} + \varepsilon_{in}^{RP} \quad (2a)$$

$$U_{in}^{SP} = \beta' x_{in}^{SP} + \gamma' z_{in}^{SP} + \varepsilon_{in}^{SP} \quad (2b)$$

$$Var(\varepsilon_{in}^{RP}) = \mu^2 Var(\varepsilon_{in}^{SP}), \forall i, n \quad (2c)$$

ここに、 U_{in}^M : Mモデルにおける個人nの選択肢iに対する総効用； ε_{in}^M : 総効用 U_{in}^M の誤差項； $x_{in}^M, w_{in}^M, z_{in}^M$: Mモデルにおける個人nの選択肢iの確定効用の説明変数ベクトル； α, β, γ : 未知パラメータベクトル；M : モデルの種類； μ : ランダム項の分散の違いを表すスケールパラメータ。

ここで、RPモデルとSPモデルにおけるパラメータ β はスケールパラメータを介することでシェアされていた。今回は、式(2b)を式(2d)のように定式化する⁶⁾。

$$U_{in}^{SP} = \beta' x_{in}^{RP} + \tilde{\beta}' (x_{in}^{SP} - x_{in}^{RP}) + \gamma' z_{in}^{SP} + \varepsilon_{in}^{SP} \quad (2d)$$

ここで、SPモデルにおいてはSPの属性を、RPの部分

(x_{in}^{RP})とRPからの変化の部分(差分)($x_{in}^{SP} - x_{in}^{RP}$)に分け、それぞれに対して別のパラメータ β と $\tilde{\beta}$ を設定する。ここで、RPの部分のパラメータ β のみを両モデルでシェアするという考えである。ここで、 $\tilde{\beta}$ は1つ目の解釈ではSP質問における状況依存的選好(Contingent Preference)を含むSPバイアスを、2つ目の解釈では新たなサービスレベルの提示に伴う選好の変容を表すと考えられる。 β は1つ目の解釈の場合には選好の核(Core Preference)を、2つ目の解釈の場合には全サンプルに共通する平均的な選好を表すと考えられる⁷⁾。

モデルの推定結果を表-1iv)に示す。 χ^2 検定値は1.13(自由度2)となり、50%の有意水準で等価性を棄却できず、パラメータをシェアすることが統計的にも正当化されたといえよう。まず、SPモデルの推定結果を見る。差分のパラメータは、RPの部分のパラメータと比べて有意かつ絶対値で相対的に大きな推定値(RPの部分のおおよそ4~50倍)を得ている。一方、表中ii)のSPモデルと比較すると、今回のモデルでもRPの部分のパラメータはt-値が向上しており、符号も正しく推定されている。次に、RP/SPモデルの推定結果を見る。表中i), ii)と比較すると、t-値は少なくとも同等以上に向上しており、符号も正しく推定された。符号が正しく推定されている、表中ii)のモデルよりも、標準誤差はシェアした部分で一部に大きな値もあるが、全体として同等以下であり、推定精度も同等以上であると言える。スケールパラメータは表中ii)のモデルよりもSPの誤差項の分散が小さいことを示している。

5. おわりに

これまでのSP分析では、選好無差別情報は積極的に利用されてこなかった。そこで、本研究では、選好無差別な範囲を特定することが比較的容易な支払カード形式のSPデータを用いたSPモデルとRP/SPモデルを推定した。その結果、支払カード形式モデルは選択形式モデルよりも推定精度が高いが、RP、SP両モデルでパラメータの等価性が棄却された。そこで、これをSPバイアスと選好の変容という観点からの解釈可能性を示し、SPの属性値をRPの属性値とRPからSPへの属性値の変化(差分)に分け、RPの属性値の部分のパラメータのみを両モデルで共有させた。その結果、両モデルでパラメータをシェアすることが正当化されるとともに、選択形式と同等またはそれ以上の推定精度を得た。また、SPの誤差項の分散が選択形式よりも小さい、という特徴も見られた。なお、ここで得られた結論は、筆者ら⁴⁾の行った1.5パウンド形式により選好無差別情報を得た分析結果と多くの点で類似している。

今後は、実際の需要予測に支払カード形式モデルを適用し、その有効性を選択形式等のモデルと比較する必要がある。支払カード形式以外にもCVMの知見を生かせば選好無差別情報入手する方法は多数あるため、質問形式の優劣も検討する必要がある。さらに、SPの属性値をRPの属性値とRPからSPへの属性値の変化(差分)に分けることの妥当性について、多くの分析事例等から評価する必要がある。なお、本研究についての詳細は三古⁸⁾を参照されたい。

注

- [1] RPと挟む形での選好無差別情報も利用する場合には、RPの状態における誤差項 ε_{in}^{RP} も ε_{in}^{SP} と同一であるという仮定が必要となる。これら2つの誤差項が同じという仮定は受け入れ難いかもされない。しかし、仮にSP質問でRPと全く同じ状態での選好意識をたずねた場合の誤差項とSPの誤差項が同じとする仮定を置けば、RPと挟む形での選好無差別情報も利用可能である。今回は支払カード形式においてサービスレベルが横並びになっており、カードを選ぶ際にRPの状態を意識することが比較的明確に行われていると考えたため、このような仮定を置いている。
- [2] i)では1st Boundで公共交通選択者しかいないためSPモデルを推定することができない。
- [3] 本研究で支払カード形式のモデル(2.(3)の定式化)の比較対象となる選択形式のモデルは、1st Boundと2nd Boundを独立な選択形式のデータと扱ったモデルii)と、1st Boundのみを選択形式のデータと扱ったモデルi)である。i)を設定したのは、2つのパウンドの選択を全く独立とする仮定は妥当性に欠ける可能性があるためである。
- [4] RPも含んだ式(1)の定式化において選択確率が0になるデータも、i)~iii)のいずれの推定からも除いている。
- [5] RP/SPモデルでは、1) RP、SPモデルにおける個別の定数項の導入、2) RP/SPモデルにおけるスケールパラメータの導入、が検討されることが多い。1)はSP固有の定数項にバイアスが含まれることから、RPモデルとSPモデルで別々の定数項を推定することによりバイアスを除去しようというものである。2)は誤差項のばらつきが異なるRPモデルとSPモデルにおいて推定の際に両モデルでパラメータを共有するためにスケールパラメータを導入するものである。しかし、今回のデータでは1st

BoundのSPデータとして公共交通を選択した個人しかいないため、i)のモデルでSPモデル固有の定数項やスケールパラメータを導入すると、それらを極端に大きく(あるいは小さく)してフィットをよくする、などの現実的ではない結果が得られ、推定結果にバイアスを含むと考えられる。ここでは、3つのモデルの比較のために、上の1)、2)を考慮しない簡略化したモデルを1st Boundのみ選択データの場合に推定する。

[6] ここで、式(2d)を以下のように定式化しても β に関しては式(2d)と同じ推定値が得られる。ただし、 β に関しては異なる推定値が得られる。

$$U_{in}^{SP} = \beta' x_{in}^{SP} + \beta' (x_{in}^{SP} - x_{in}^{RP}) + \gamma' z_{in}^{SP} + \varepsilon_{in}^{SP}$$

[7] 予測に用いる場合、 β と β に関して、1つ目の解釈では選好の核を表現する β のみを用いることが考えられる。2つ目の解釈では、まず、全サンプルに共通する平均的な選好を表すと考えられる β のみを用いることが考えられる。現状のサービスレベルからある1つの属性が変化した場合には選好が変容する可能性があるが、分析対象者の総てが選好の変容を迫られるほどの状況に該当するとは限らないためである。しかし、分析対象者の総てがそのような状況に該当する場合には、 β とあわせて β も用いることが考えられる。この結論は、パネルデータ等を用いた実際の分析結果により判断されるべきであると考え

参考文献

- 1) Ben-Akiva, M. and Morikawa, T.: Estimation of Travel Demand Models from Multiple Data Sources, Transportation and Traffic Theory (Proc. of the 11th Int'l Symp. on Transportation and Traffic Theory), Koshi, M. ed., Elsevier, pp. 461-476, 1990.
- 2) Louviere, J. J., Hensher, D. A. and Swait, J. D.: Stated Choice Methods - Analysis and Application, Cambridge University Press, 2000.
- 3) 森川高行: ステイティッド・プリファレンス・データの交通需要予測モデルへの適用に関する整理と展望, 土木学会論文集, No. 413/IV-12, pp. 9-18, 1990.
- 4) 三古展弘, 森川高行: RPデータと1.5パウンド形式SPデータを同時に用いた非集計行動モデルの推定, 土木計画学研究・講演集, No.32 (CD-ROM), 2005.
- 5) 栗山浩一: 環境の価値と評価手法 - CVMによる経済評価, 北海道大学図書刊行会, 1998.
- 6) 水野誠, 片平秀貴: 製品空間の拡大と消費者の選好ルール形成 - 製品と消費者選好の進化プロセス, マーケティング・サイエンス, Vol. 11, No. 1&2, pp. 1-18, 2003.
- 7) 森川高行, Ben-Akiva, M.: RPデータとSPデータを同時に用いた非集計行動モデルの推定法, 交通工学, Vol. 27, No. 4, pp. 21-30, 1992.
- 8) 三古展弘: 多時点断面データとSPデータを用いた交通行動変化の非集計分析, 名古屋大学博士学位論文, 2005.

表 - 1 推定結果 (斜体字は標準誤差, 括弧内はt値. 所要時間, 費用, 運行間隔以外の標準誤差の記載は略.)

説明変数†	RP	i) 1st 選択		ii) 1st, 2nd 選択		iii) 支払カード		iv) 支払カード差	
		SP	RP/SP	SP	RP/SP	SP	RP/SP	SP	RP/SP
RP 定数(A)	-0.403 (-3.85)	--	--	--	-0.401 (-3.85)	--	-0.286 (-3.11)	--	-0.424 (-4.16)
SP 定数(A)	--	--	-0.553 (-6.70)	-0.155 (-1.29)	-1.03 (-2.93)	-1.39 (-13.01)	-0.954 (-9.10)	0.643 (3.65)	1.35 (2.08)
スケール μ	--	--	--	--	0.184 (2.30)	--	1.45 (9.29)	--	0.513 (3.97)
所要時間[hr]	-1.78 <i>0.209</i> (-8.49)	--	-1.27 <i>0.144</i> (-8.81)	-0.393 <i>0.179</i> (-2.20)	-1.79 <i>0.207</i> (-8.63)	-1.98 <i>0.135</i> (-14.67)	-1.44 <i>0.158</i> (-9.15)	-0.740 <i>0.204</i> (-3.64)	-1.72 <i>0.221</i> (-7.76)
費用[1,000JPY]	-0.292 <i>0.144</i> (-2.03)	--	0.134 <i>0.128</i> (1.05)	0.134 <i>0.259</i> (0.52)	-0.281 <i>0.143</i> (-1.97)	-1.40 <i>0.160</i> (-8.74)	-0.754 <i>0.0892</i> (-8.45)	-0.240 <i>0.298</i> (-0.80)	-0.300 <i>0.141</i> (-2.12)
運行間隔[hr](T)	-1.36 <i>0.289</i> (-4.72)	--	-0.903 <i>0.198</i> (-4.57)	-0.268 <i>0.271</i> (-0.99)	-1.36 <i>0.284</i> (-4.78)	-1.26 <i>0.194</i> (-6.49)	-0.975 <i>0.154</i> (-6.32)	-0.979 <i>0.310</i> (-3.16)	-1.47 <i>0.261</i> (-5.64)
D 所要時間[hr]	--	--	--	--	--	--	--	-5.13 (-16.71)	-10.0 (-4.12)
D 費用[1,000JPY]	--	--	--	--	--	--	--	-12.3 (-11.93)	-24.0 (-3.80)
D 運行間隔[hr](T)	--	--	--	--	--	--	--	-4.12 (-9.02)	-7.78 (-3.95)
N	679	--	887	416	1,095	208	887	208	887
初期尤度	-470.65	--	-614.82	-288.35	-759.00	--	--	--	--
最終尤度	-335.79	--	-548.65	-285.27	-621.34	-684.33	-1,029.00	-420.60	-756.95
修正 ρ^2	0.278	--	0.101	-0.00320	0.173	--	--	--	--

†括弧内はTは公共交通, Aは自動車固有変数を示し, 記入のないものは選択肢共通. 説明変数の前のDは差分を表す.