

SPによる交通需要評価とその統計的効率性

交通需要の評価手法には、実際の旅行行動データを用いた顕示選好法(RP)と、回答者の表明データを用いた表明選好法(SP)がある。本研究ではモンテカルロ実験を用いてRPとSPの統計的効率性を比較し、少数のデータから効率的に推定するためのプロフィール・デザインの方法を検討した。その結果、推定値や支払意志額はRPとSPでは違いが見られないが、統計的効率性では差が見られた。RPは属性間の相関が高く、統計的効率性が比較的低い傾向にあったのに対して、SPは属性間の相関を低下させ、交通経路間のトレードオフが生じるようにデザインすることで、RPよりも高い統計的効率性を得ることが可能であった。

キーワード 交通需要評価, 顕示選好法, 表明選好法, モンテカルロ実験

栗山浩一
KURIYAMA, Koichi

農学博士 早稲田大学政治経済学部専任講師

1 はじめに

近年、公共事業に対する費用対効果を評価することが求められたことから、公共事業の経済効果を示すための評価手法に対する研究に関心が集まっている。交通の分野では、交通需要を評価する手法がいくつか開発されているが、その中でも旅行者の交通手段や経路の選択を推定する非集計モデルが一般に使われている^{1,2)}。この非集計モデルには、実際の旅行者の行動データをもとに推定する顕示選好法(revealed preferences: RP)と、アンケート調査で旅行者が回答したデータをもとに推定する表明選好法(stated preferences: SP)の二種類が開発されている³⁾。RP法とSP法のいずれも旅行者の交通需要を評価することで、新たな交通手段や交通経路が設けられたときの需要予測を行ったり、便益を評価することが可能となる。

RP法は、現実の行動データを用いるため比較的信頼性の高いデータが得られるという利点を持っているが、新たな交通手段や新規の交通経路に対する潜在的需要を評価することが比較的困難であること、およびデータに多重共線性が生じていると推定が影響を受けやすいなどの欠点がある。

これに対して、SP法はアンケート調査により旅行者の選好をたずねることで評価する⁴⁾。質問形式にはいくつかの方法があるが、その一つにプロフィールと呼ばれる複数のカードを回答者に示して、その中から最も好ましい交通手段や交通経路をたずねて評価する方法が考案

されている。SP法は主に交通経済学の分野で使われている手法だが、マーケティング・リサーチの分野で新商品の需要を調べたり⁵⁾、環境経済学の分野で環境の価値を評価するときにも使われている⁶⁾。SP法は交通手段や交通経路を自由に設計することができるので、RP法に見られる問題は解決可能である。しかし、欠点として回答者の表明したデータを用いるためバイアスを受けやすいこと、およびアンケートを実施するため比較的高い評価コストが必要な点あげられる。したがって、SP法の主要な研究課題は、バイアスを少なくするためのアンケート設計方法を開発すること、および少ないサンプル数でも効率的に推定するための手法の開発にある。

本研究の目的は、SP法の統計的効率性を検証し、少ないサンプルでも効率的に推定できるような手法を開発することにある。まず、RP法およびSP法の理論モデルから統計的効率性を定義する。次に、プロフィール・デザインの方法として、RPデータ、直交配列、D効率性の3種類を検討する。そしてモンテカルロ・シミュレーションを用いて、これらのプロフィール・デザインの統計的効率性を比較し、推定に必要なサンプル数を分析する。以上の分析結果をもとに、SP法の統計的効率性の改善方法を示すとともに、SP法の今後の研究課題を示す。

2 モデル

RP法とSP法には、データが現実の行動データか回答者の表明データかという違いがあるが、推定に用いるモ

デルは共通している。旅行者*i* ($i = 1, \dots, N$)が現在地から目的地までたどり着くためには複数の交通経路が考えられるとする。この交通経路の集合を*J*とすると、旅行者*i*は経路集合*J*からある経路*j*を選択するとする。交通経路*j*は、運賃(*C*)、乗車時間(*T*)、待ち時間(*W*)、交通手段(Air, Train, Bus, Car)の属性によって構成される。交通手段はダミー変数で、例えば経路*j*が航空機を用いるときはAirは1、用いないときは0となる。

RP法の場合は、以上のデータは現実の旅行行動データが用いられる。これに対して、SP法の場合は、複数の経路が回答者に提示されて、回答者は最も好ましい経路を選択する。例えば、表 1のような経路が示される。各経路は交通手段、運賃、乗車時間、待ち時間の属性によって構成されている。これらの属性の組み合わせはプロフィールと呼ばれている。このプロフィールは表 1の場合では各経路に相当する。

表 1 SP法におけるプロフィールの例

経路	1	2	3	4
交通手段	航空機	電車	バス	自家用車
運賃	160	60	20	100
乗車時間	200	800	1,200	400
待ち時間	80	20	40	0

旅行者*i*が交通経路*j*を選択したときの効用 U_{ij} は以下のとおりとする。

$$U_{ij} = V_{ij} + \epsilon_{ij} = V(\mathbf{x}_{ij}) + \epsilon_{ij} = \beta' \mathbf{x}_{ij} + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

ただし、 U は効用関数、 V は観察可能な効用関数、 ϵ は誤差項、 \mathbf{x}_{ij} は属性ベクトル、 β は推定されるパラメータである。McFadden⁷⁾は誤差項が第I種極値分布(Gumbel分布)に従うと仮定すると、旅行者*i*が交通経路*j*を選択する確率 P_{ij} は以下のとおりとなることを示した。

$$P_{ij} = \frac{\exp(-V_{ij})}{\sum_k \exp(-V_{ik})} \quad (2)$$

ただし、スケールパラメータ β は1に基準化される。このMcFaddenのモデルは条件付きロジットモデル(conditional logit model)と呼ばれている。このとき、対数尤度関数は以下のとおりとなる。

$$LL = \sum_{i,j} d_{ij} \ln P_{ij} \quad (3)$$

ただし、 d_{ij} は旅行者*i*が経路*j*を選択したときに1となるダミー変数である。RP法およびSP法は最尤法によってパラメータの推定を行う。すなわち、(3)式を最大化するようにパラメータの推定が行われる。

対数尤度関数の一階および二階の条件は以下のとおりである。

$$\frac{\partial LL}{\partial \beta} = \sum_{i,j} d_{ij} (\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{x}}_i) \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 LL}{\partial \beta^2} = - \sum_{i,j} d_{ij} P_{ij} (\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{x}}_i) (\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{x}}_i)' \quad (5)$$

ただし、 $\bar{\mathbf{x}}_i = \sum_j P_{ij} \mathbf{x}_{ij}$ である。(5)式より条件付きロジットモデルの対数尤度関数(3)は に関して大域的に凹関数であることがわかる。一般に、最尤推定値は漸近的に正規分布に従うことが知られており、その分散行列は以下のとおりである。

$$= \left[- E \left[\frac{\partial^2 LL}{\partial \beta^2} \right] \right]^{-1} \quad (6)$$

(5)式および(6)式より、推定されるパラメータの分散(あるいは*t*値)は、選択集合(*J*)、サンプル数(*N*)、およびプロフィール・デザイン(\mathbf{x}_{ij})に依存することがわかる。RP法の場合は選択集合やプロフィール・デザインは現実のデータによって制約されるので、推定値の*t*値を高めるためにはサンプル数を増やすしかない。これに対して、SP法の場合はプロフィール・デザインを自由に行うことができるので、サンプル数を増やさなくてもプロフィール・デザインを適切に行うことで統計的効率性を改善して推定値の*t*値を高めることが可能である。そこで、次にSP法のプロフィール・デザインについて検討する。なお、以下でのプロフィール・デザインとは、属性水準の組み合わせ方法のことを意味しており、属性数や水準数については所与として分析する。

3 プロフィール・デザインと統計的効率性

推定に影響を及ぼすことなく統計的効率性を改善するためには、少なくとも(1)属性間の相関を生じさせないことと、(2)非現実的ではないこと、および(3)選択肢間の効用バランスを保つことの三つが必要である。属性間の相関が生じると多重共線性が生じて推定に影響を与えてしまう。例えば、一般に運賃と乗車時間には相関が生じることが多く、RP法でこれらの両方の属性変数を推定しようとするると多重共線性が生じてしまう危険性がある。

また、非現実的なプロフィールは避けるべきである。ランダムに属性の組み合わせを作ると非現実的な経路が多数生じる。例えば、現実には自家用車で移動する場合は乗り換えによる待ち時間は生じない。しかし、自家用車の待ち時間が100分だったりすると、回答者がこのような経路は考えられないとして真剣に回答しなくなってしまう危険性がある。したがって、非現実的なプロフィールが生じないような配慮が不可欠である。ただし、あ

まりにも現実性を重視すると、今度は属性間の相関が生じる危険性があるので注意が必要である。

最後の効用バランス(utility balance)は、各経路の選択される確率が等しくなるようにデザインすることである。例えば、経路1は運賃が非常に安くて、乗車時間や待ち時間は非常に短いのにに対して、経路2は運賃が高く乗車時間や待ち時間が非常に長いと、回答者の全員が経路1を選んで経路2は誰も選ばないという結果になる。このようにあるプロファイルが別のプロファイルよりも明らかに好ましいとき、支配プロファイルと呼ばれる。支配プロファイルが多いと推定の無駄が増えてしまう。そこで、それぞれの選択肢のトレードオフが生じるようにデザインを行って、効用バランスを保つことが重要である。

SP法におけるプロファイル・デザインの方法は、これまでにいくつかの方法が開発されているが、ここでは、現実性重視デザイン、直交配列によるデザイン、そしてD効率性基準によるデザインの3種類について見てみよう⁸⁾。

第一の現実性重視デザインは、現実の経路を参考にしてプロファイルを作成する方法である。この方法では非現実的にプロファイルは生じないものの、属性間の相関が生じる危険性があり、また効用バランスは考慮されていないので、しばしば多くのサンプル数を必要とする。

第二の直交配列によるデザインは、実験計画法で用いられている直交配列(orthogonal matrix)を用いてプロファイルを作成する方法であり、マーケティング・リサーチの分野では頻繁に使われている。直交配列を用いると属性間の相関が生じないので、プロファイル・デザインによって推定が影響を受けることは少ない。ただし、単純な直交配列を用いると、しばしば非現実的なプロファイルが生じるので、非現実的なプロファイルを削除することも行われている。ただし、あまり多くのプロファイルを削除すると、直交性が崩れて属性間の相関が生じる危険性もある。また、直交配列では効用バランスは考慮されていない。

第三のD効率性基準によるデザインは、フィッシャー情報行列の逆行列(漸近的分散行列)行列を最小化するようにプロファイル・デザインを行う方法である⁹⁾。数式で表現すると、 $| \cdot |^{1/K}$ を最小化するようにデザインを行う。ただし、Kはパラメータ数である。D効率性によるデザインは、直交性と効用バランスの両方が満たされるようにプロファイル・デザインが行われるので、統計的効率性の高いデザインが可能となる。

4 モンテカルロ実験による分析

次に、SP法におけるプロファイル・デザインと統計的効

率性の関係を調べるために、モンテカルロ実験を用いて分析する¹⁰⁾。ここでは、Greene¹¹⁾のオーストラリアにおける交通需要データをもとに分析を行った。このデータは4種類の経路から一つを選択する形式となっている。

4.1 RPデータの場合

表2はGreeneのRPデータの属性間の相関を示したものであるが、運賃と待ち時間の相関は0.580、乗車時間と待ち時間の相関は-0.332と比較的高い値となっている。RPデータの推定結果は表3のRealの(1)RP_Rのとおりである。推定結果はおおむね良好で符号条件も満たされているが、運賃のt値が-2.092と少し低く、5%水準で有意となっている。推定結果をもとに各属性の限界支払意志額(MWTP)を算出したものが表4である。

表2 RPデータの相関

	運賃	乗車時間	待ち時間
運賃	1		
乗車時間	-0.160	1	
待ち時間	0.580	-0.332	1

注) Greene(1995)より作成⁹⁾

表3 推定結果一覧

	Real	Simulation		
	(1)RP _R	(2)RP _S	(3)SP _O	(4)SP _D
運賃	-0.013912 (-2.092)	-0.014981 (-2.552)	-0.01539 (-6.596)	-0.015549 (-5.143)
乗車時間	-0.003995 (-4.704)	-0.004532 (-5.299)	-0.004394 (-7.444)	-0.004425 (-7.182)
待ち時間	-0.096887 (-9.368)	-0.10926 (-8.542)	-0.107206 (-7.698)	-0.106526 (-8.504)
航空機	4.7399 (5.464)	5.2775 (5.353)	5.2375 (7.036)	5.3082 (7.382)
鉄道	3.9532 (8.437)	4.4611 (8.114)	4.3524 (6.258)	4.3610 (6.488)
バス	3.3062 (7.214)	3.7180 (7.431)	3.6189 (5.195)	3.7186 (6.152)
サンプル数	210	210	210	210

注) ()内はt値
Simulationは100回試行のモンテカルロ実験の結果
RP_Rは現実のRPデータ、RP_SはRPの属性データをもとにシミュレーションしたもの、SP_Oは直交配列によるデザイン、SP_DはD効率性によるデザイン

表4 限界支払意志額

	Real	Simulation		
	(1)RP _R	(2)RP _S	(3)SP _O	(4)SP _D
乗車時間	-0.287	-0.303 [0.327]	-0.286 [0.032]	-0.285 [0.043]
待ち時間	-6.964	-7.293 [8.308]	-6.966 [0.860]	-6.851 [1.016]
航空機	341	352 [341.7]	340 [47.0]	341 [50.4]
鉄道	284	298 [300.9]	283 [39.9]	280 [43.1]
バス	238	248 [245.9]	235 [43.5]	239 [37.4]

注) []内は100回試行のモンテカルロ実験によって得られた限界支払意志額の標準誤差

属性 x_j の限界支払意志額 $MWTP_j$ の計算は次式を用いた。

$$MWTP_j = \left. \frac{dC}{dx_j} \right|_{U=\text{constant}} = - \frac{U/x_j}{U/C} = - \frac{j}{c} \quad (7)$$

ただし、 C は運賃、 j は属性 x_j の係数、 c は運賃の係数である。(7)式は、属性 x_j が一単位増加したときに、効用を一定に保つためにいくら運賃が上昇しても構わないかを意味し、効用関数が線形であれば $MWTP_j$ は属性 x_j の一単位あたりの支払意志額に相当する。

4.2 モンテカルロ実験の手順

次に、この推定結果をもとにモンテカルロ実験を行う。モンテカルロ実験は以下の手順で実施した。

- (1)表 3の(1)RP_Rの推定パラメータを に代入
- (2)プロフィール・デザイン(x_{ij})とパラメータ()から観察可能な効用関数(V_{ij})を計算
- (3)正規分布に従う乱数から誤差項(ϵ_{ij})を発生させ、効用関数(U_{ij})を計算
- (4)4つの経路の中で最も効用の高いものを選択したものと仮想的な選択データを作成
- (5)仮想的な選択データを用いて条件付きロジットによりパラメータを推定
- (6)以上のプロセスを100回繰り返す。

なお、ここでは誤差項には正規分布に従う乱数を用いているが、条件付きロジットでは第 種極値分布を仮定しているため推定パラメータを比較するためには両者の分散の関係を $\sigma^2 = \sigma^2/6$ 用いてスケールリングを行う必要がある。ただし、 σ^2 は正規分布の分散、 σ はスケールパラメータである。なお、表 3および4の試行回数は100回であるが、試行回数を1,000回とした場合と比較したところ結果はほとんど変化なく、試行回数による影響は少ないものと思われる。

4.3 モンテカルロ実験の結果

モンテカルロ実験の推定結果は表 3のSimulationのとおりである。(2)RP_Sは(1)RP_Rと同じ属性データをもとにモンテカルロ実験を行ってRPの結果を再現したものである。(2)RP_Sの推定パラメータは(1)RP_Rと近い値となっており、運賃の t 値が-2.552と一番低い値となっている。(2)RP_Sと(1)RP_Rを比較すると係数、 t 値とも比較的近い値をとっていることがわかる。表 4の限界支払意志額についても、(2)RP_Sと(1)RP_Rで近い値をとっており、モンテカルロ実験の再現性が高いことが確認された。

表 3の(3)SP_Oは直交配列を用いてプロフィール・デザインを行った場合の結果を示している。ここでは、RP

データを参考に表 5のレベルを設定した。なお、RPデータでは自動車の待ち時間はすべて0だが、純粋な直交配列では0以外の値もとるため、非現実的なプロフィールが生じてしまう。そこで、ここでは自動車の待ち時間は0以外の値をとらないように制約を課して直交配列を作成してモンテカルロ実験を行った。推定結果は、表 3の(3)SP_Oのとおりである。(3)SP_Oを(1)RP_Sと比較すると、推定パラメータは近い値をとっているが、 t 値がかなり異なっている。特に、運賃の t 値が-2.552から-6.596へと改善されている。このことは、直交配列を用いて属性間の相関を低下すると、推定パラメータに影響を与えることなく t 値を改善することが可能であることを示している。直交配列デザインの限界支払意志額は、表 4の(3)SP_Oに示されている。限界支払意志額自体は(3)SP_O、(1)RP_R、および(2)RP_Sはいずれも近い値をとっているが、限界支払意志額の標準誤差は(3)SP_Oと(2)RP_Sを比較すると大幅に低下しており、限界支払意志額の統計的信頼性が格段に改善されている。

表 5 SPで用いた属性レベル

運賃	20	60	100	160
乗車時間	200	400	800	1,200
待ち時間	20	40	60	80
交通手段	航空機	鉄道	バス	自動車

注)自動車の待ち時間はすべて0に固定

D効率性によるプロフィール・デザインは、直交配列と同じく表 5の属性レベルを用いてデザインを行った。D効率性のデザインは以下の手順を用いた。なお、デザイン方法の詳細についてはZwerina et al.¹²⁾を参照するか著者に問い合わせいただきたい。

- (1)運賃、乗車時間、待ち時間、交通手段の各属性からレベルを取り出して可能な交通経路を作成する。ただし、自動車の待ち時間は0に固定する。
- (2)この中から表 1のような4つの経路の代替案をランダムに60種類作成する。この作業を1,000回繰り返して最もD効率性の高いものをプロフィール候補とする。なお、RP_Rの推定値を式(6)に代入することでD効率性の計算を行った。
- (3)60種類の代替案を一つずつ候補とならなかった他のプロフィールと変更してD効率性が改善されるときはプロフィールを変更する。
- (4)以上のプロセスを4回繰り返して、最もD効率性の高いプロフィールを最終プロフィールとする。

D効率性の場合の推定結果は表 3の(4)SP_Dに示されている。係数は(3)SP_Oとほとんど同じだが、 t 値は若干だけ(4)SP_Dの方が改善されている。表 4について

も、限界支払意思額はどれもほとんど同じ値だが、(3) SP_O に比べて(4) SP_D の標準誤差は若干だけ低下しており、 D 効率性によるデザインは直交配列によるデザインよりも少しだけ統計的信頼性を高める効果があることを示している。

以上のモンテカルロ実験の結果を整理すると以下のとおりである。第一に、推定された係数や限界支払意思額は、モンテカルロ実験ではRPデータ (RP_S)、直交配列 (SP_O)、 D 効率性 (SP_D)のいずれも近い値をとることが予想されるが、結果は予想どおりとなった。第二に、 t 値はRPとSPでは大きく異なっており、SPの統計的効率性が高いことを示している。第三に、直交配列 (SP_O)、 D 効率性 (SP_D)の t 値を比較すると若干だけ D 効率性の方が高く、 D 効率性の統計的効率性が直交配列よりもいくぶん高いことが示された。

5 サンプル数による影響

これまでサンプル数を固定してプロファイル・デザインの影響を検討したが、次にサンプル数が変化するときの影響について見てみよう。モンテカルロ実験によりサンプル数と t 値および限界支払意思額の標準誤差との関係を分析したところ、図 1 および表 6 の結果が得られた。どの場合もサンプル数の増加により t 値の絶対値は上昇し、限界支払意思額 ($MWTP$) の標準誤差は低下する傾向が見られる。以下、各属性別に見てみよう。

- (1) 運賃 RP_S の t 値の絶対値が低く、サンプル数が800以上になってようやく5に到達する状態である。一方、SPの場合はどちらの場合もサンプル数

が200ですでに t 値の絶対値は5に達しており、SPの t 値の絶対値はRPに比べて約2倍となっている。ただし、 SP_O (直交配列)と SP_D (D 効率性)の差はあまり大きくない。

- (2) 乗車時間 RP_S の t 値の絶対値は運賃に比べて高く、サンプル数が200でも t 値の絶対値は5を上回っているが、やはりSPの方が t 値の絶対値は約1.5倍と高くなっている。 SP_O と SP_D の差は運賃と同じく比較的小さい。
- (3) 待ち時間 RP_S 、 SP_O 、 SP_D のどれもほとんど同じ値をとっていた。
- (4) 航空機 RPよりもSPの方が t 値が約1.3 ~ 1.5倍高い。 SP_O と SP_D では差が少し見られ、 SP_D の方が SP_O よりも高い傾向が見られる。
- (5) 鉄道 これまでとは異なり RP_S が最も t 値が高い。 SP_O と SP_D では航空機と同じように SP_D の方が高い傾向が見られる。
- (6) バス 鉄道とほぼ同じ傾向が見られる。

以上のことをまとめると、以下のとおりである。第一に、 RP_S は属性によって t 値が大きく異なっていたのに対して、SPはどの属性も比較的安定的な値を取っていた。第二に、SPとRPを比較すると、SPの方がRPよりも限界支払意思額の標準誤差が小さく、SPの統計的効率性がRPよりも高いことを示している。第三に、 SP_O と SP_D の t 値を比較すると、運賃、乗車時間、待ち時間では差があまり見られないが、航空機、鉄道、バスでは SP_D の方が SP_O よりも高い傾向が見られた。この原因は不明だが、運賃、乗車時間、待ち時間は連続変数であるが、航空

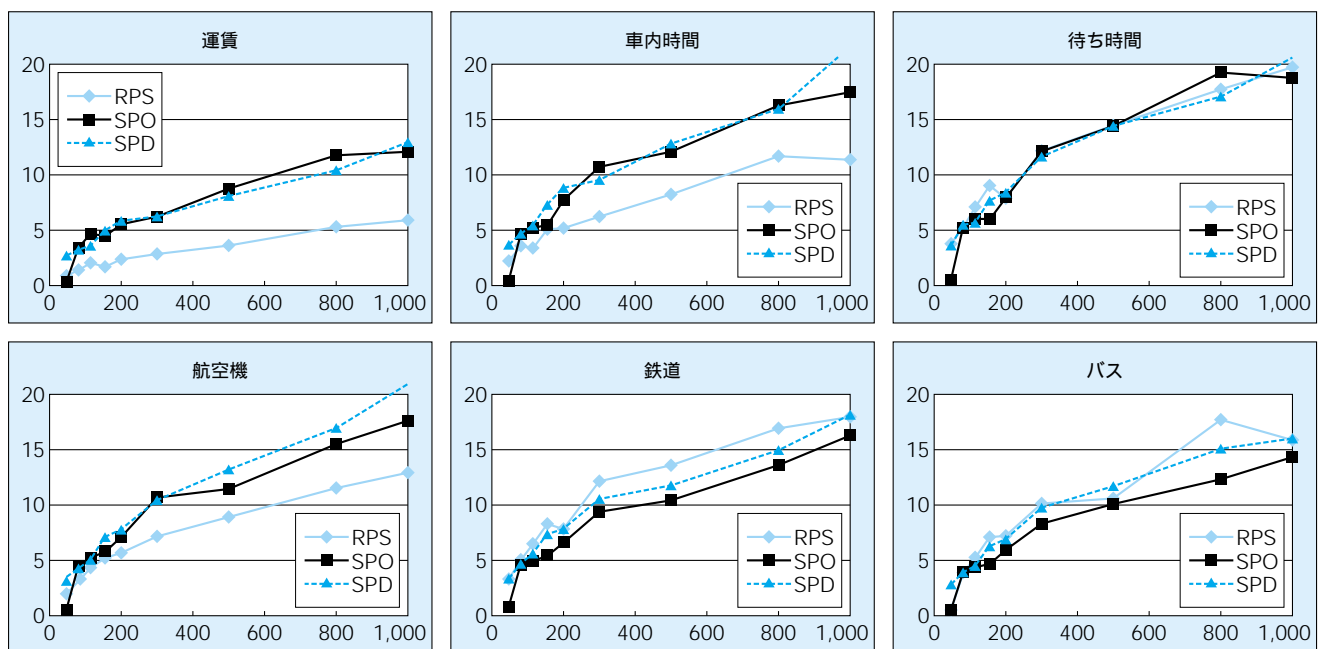


図 1 サンプル数と t 値の関係
注) 縦軸は t 値の絶対値、横軸はサンプル数、試行数100のモンテカルロ実験の結果。

表 6 サンプル数と限界支払意志額の標準誤差との関係

サンプル数		50	80	100	150	200	300	500	800	1000
車内時間	RP _s	1.73	12.51	0.34	0.38	0.28	0.73	0.14	0.07	0.05
	SP _o	0.00	0.07	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
	SP _b	0.09	0.10	0.08	0.06	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02
待ち時間	RP _s	49.21	432.54	6.88	10.79	7.40	17.27	3.41	80.73	1.25
	SP _o	2.64	1.62	1.32	1.22	1.01	0.86	0.58	0.44	0.42
	SP _b	2.06	2.58	1.93	1.36	1.00	0.94	0.80	0.63	0.46
航空機	RP _s	2,020.6	19,691.1	238.9	471.4	306.7	632.9	136.3	73.2	53.9
	SP _o	8,753.1	93.6	70.5	70.1	58.1	48.6	30.5	26.1	24.8
	SP _b	101.9	110.5	92.9	61.9	48.0	47.3	37.3	28.0	23.3
鉄 道	RP _s	1,787.8	17,096.0	244.3	397.5	271.3	601.5	126.9	61.9	45.2
	SP _o	6,287.2	79.3	58.6	54.5	46.0	38.1	24.1	21.0	19.3
	SP _b	82.2	95.5	85.5	58.9	42.0	42.0	31.2	24.7	19.6
バ ス	RP _s	191,653.3	16,342.4	214.2	361.3	231.3	546.3	109.7	56.0	41.0
	SP _o	4,874.9	69.8	61.2	59.1	46.1	40.1	25.0	19.4	19.4
	SP _b	81.8	88.1	73.3	51.4	39.8	38.4	27.7	22.7	17.8

注) 試行数100のモンテカルロ実験の結果

機、鉄道、バスはダミー変数であることが影響した可能性も考えられる。第四に、この結果から必要なサンプル数を調べたところ、すべての属性の t 値が5以上となるために必要なサンプル数はRPでは800、SP_oでは200、SP_bでは150であった。また、すべての属性の t 値が2をこえるために必要なサンプル数は、RPは200、SP_oは80、SP_bは50であった。ただし、以上のサンプル数はGreeneのデータの場合であり、必ずしもすべての場合に適用できるものではないことに注意されたい。

6 結論

本研究では、モンテカルロ実験を用いてRP法とSP法の統計的効率性の違いを分析した。その結果を要約すると以下のとおりであった。

第一に、推定値や限界支払意志額の値自体については、RP法でもSP法でも違いは見られず、プロフィール・デザインによる推定値や限界支払意志額への影響は少ないことが確認された。

第二に、RP法では属性間の相関が生じやすいため統計的効率性が低くなる傾向が見られたのに対して、SP法では相関を生じないようにデザインが可能のため統計的効率性が高くなる傾向が見られた。その結果、RP法によって推定された限界支払意志額の標準誤差はSP法のそれよりも格段に大きい。

第三に、サンプル数と t 値との関係をみたところ、RP法では属性によって t 値が大きく異なっていたが、SP法では比較的安定していた。またSP法の中でさらに直交配列の場合とD効率性の場合を比較したところ、連続変数の場合は違いが見られなかったが、ダミー変数の場合はD効率性の方が t 値は高い傾向が見られた。ただし、

この原因については不明であり、他のデータでも同様の結果が得られるかどうかの検証が必要である。

以上の結果より、SP法ではRP法より高い統計的効率性が得られ、少ないサンプル数でも有意な結果が得られることが示された。また属性変数が連続変数の場合は直交配列を用いたプロフィール・デザインでもD効率性とほぼ同じ統計的効率性が得られ、単純な直交配列のデザインでもRP法よりも高い統計的効率性が得られることが示された。全体的にD効率性によるデザインの統計的効率性が高い傾向が見られた、D効率性ではプレテストなどにより事前にパラメータの推定値を入手する必要に注意する必要がある。

SP法で現実的なプロフィール・デザインを採用すると、RP法と同じように属性間の相関が生じて統計的効率性が低下するため、SP法では現実性をあまり重視しすぎると推定が困難になる危険性がある。現実性も重要だが、効率的に推定を行うためには属性の無相関や効用バランスも重要である。以上のことから、SP法によって交通需要を効率的に評価するには、非現実的な属性の組み合わせを排除しつつ、D効率性によって属性間の無相関と効用バランスの両方を達成して統計的効率性を改善することが最も好ましい戦略といえるであろう。

ただし、本研究の結果はあくまでも統計的な効率性のみを検討していることに注意が必要である。現実には、SP法の場合は回答者の表明データを用いるため、さまざまなバイアスが生じる危険性があり、その場合はRP法よりも信頼性が低くなる可能性がある。したがって本研究の結果だけではSP法がRP法よりも優れているとは断定できない。今後は、実証研究でSP法におけるバイアスの影響を調べ、バイアスを少なくするための質問形式について検討することや、実証データを用いてRP法とSP

法を比較することが必要であろう。

今後、交通運輸政策において交通需要の評価をもとに事業の費用対効果を示すことは極めて重要となると予想される。本研究の成果は交通需要を評価する際に、サンプル数や調査票設計などの決定に大いに役立つものと思われる。

参考文献

- 1) 土木学会編[1995],「非集計行動モデルの理論と実際」, 土木学会。
- 2) Ben-Akiva, M. and Lerman, S. [1985], *Discrete Choice Analysis*, MIT Press, Cambridge, Mass.
- 3) Ben-Akiva, M. and Morikawa, T. [1990], "Estimation of Switching Models From Revealed Preferences and Stated Intentions", *Transportation Research A*, vol.24, pp.485-495.
- 4) 藤原章正, 杉恵頼寧[1993], "選択意識の設計の手引き", *交通工学*, 28, pp.63-71.

- 5) Louviere, J. J. [1994], "Conjoint Analysis", Bagozzi, R.P. (eds.), *Advanced Method of Marketing Research*, Blackwell, pp.223-259.
- 6) 栗山浩一[1999], "環境評価の現状と課題", 鷲田豊明・栗山浩一・竹内憲司編著「環境評価ワークショップ」, 築地書館, pp.25-45.
- 7) McFadden, D. [1974], "Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice in Behavior", Zarembka, P. (eds.), *Frontiers in Econometrics*, New York, Academic Press, pp.105-142.
- 8) Lorenzen, T. J. and Anderson, V.L. [1993], *Design of Experiments: A No-Name Approach*, Marcel Dekker, Inc.
- 9) Huber, J. and Zwerina, K. [1996], "The Importance of Utility Balance in Efficient Choice Designs", *Journal of Marketing Research*, 33, pp.307-317.
- 10) Zwerina, K. [1997], *Discrete Choice Experiments in Marketing*, Physica-Verlag.
- 11) Greene, W. [1995], *LIMDEP Version 7.0: User's Manual*, Bellport, NY: Econometric Software, pp.234-241.
- 12) Zwerina, K., J. Huber, W. F. Kuhfeld [1996], *A General Method for Constructing Efficient Choice Designs*, mimeo.

(原稿受付 1999年12月10日)

Statistical Efficient Estimation of Transportation Demand Analysis using Stated Preferences Data

By Koichi KURIYAMA

While revealed preferences (RP) use actual data of travel behavior, stated preferences (SP) use the survey data of respondents. This study compares statistical efficiencies between RP and SP data and analyzes efficient estimation methods using Monte Carlo experiments. The results show that there is no significant difference in estimated parameters and willingness-to-pays between RP and SP data. However, the correlation between attributes of RP data tend to be high, and statistical efficiencies of RP tend to be lower than of SP. When SP data is designed to make a trade-off between travel routes, statistical efficiencies of SP can be higher than of RP.

Key Words: *Transportation Demand Analysis, Revealed Preferences, Stated Preferences, Monte Carlo Experiments*
