

# 研究展望

## 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

### REVIEW AND PERSPECTIVE OF INCORPORATING STATED PREFERENCE DATA IN TRAVEL DEMAND ANALYSIS

森川 高行\*

By Takayuki MORIKAWA

#### 1. はじめに

ステイティッド・プリファレンス (stated preference; 以下, SP と略す)・データは, 仮想の状況における代替案に対する選好の意思表示のデータである。これに対するものとして, 市場における実際の行動結果であるリヴィールド・プリファレンス (revealed preference; 以下, RP と略す)・データがある。

従来, 計量経済モデル (交通需要予測モデルを含む) の推定には RP データのみが用いられてきた。これは, マイクロ経済学および計量経済学における「市場において顕在化 (revealed) した経済行動のみが計量経済モデルの根拠となるべき情報である」という基本的考えからすれば当然であろう。一方, 新商品開発・販売のための情報を提供することを主たる目的とするマーケティング・リサーチの分野では, SP データは 1970 年代から広く使われてきた<sup>1)</sup>。つまり, 市場に存在しない新しい商品やサービスの直接的な RP データを得ることは不可能なため, マーケティング・リサーチでは SP データが非常に有効な情報源になり得るのである。近年, 交通需要分析においても新しい交通サービスに対する需要予測のために SP データを用いることが多くなっている。このように SP データは, 現存しない代替案の直接的な選好情報を与えることができることや, 一種の実験データであることから操作性の高いことなど需要予測モデル推定のうえで多くの長所をもつが, その根本的な問題点

は得られた選好意思表示の信頼性である。すなわち, 仮想の状況における意思表示と実際の市場における行動との一致性, および, SP データ収集のための実験条件または質問方法による選好のばらつき, という二点に疑問が残る。

本稿は, 今後交通需要予測分析にますます利用が広がるであろう SP データの使用に関して, その信頼性に焦点を当てながら既存の研究の整理と, これからの研究展望をまとめたものである。2. は SP データの概論として, まず SP データに関する用語の整理を行い, 次に SP データの分類と収集法について述べ, 最後に RP データとの特徴の比較を行う。3. では, 主にマーケティング・リサーチにおける過去の研究より, どのような要因が SP データの信頼性に影響を与えるかについて述べる。

4. は, SP データの交通需要分析のための利用の方法論として, まず SP データを利用した内外の交通研究のレビューを行い, SP データの信頼性を明示的に考慮した交通需要予測モデルの推定方法を提案して将来の研究展望とする。

#### 2. SP データの概論

##### (1) 用語の整理

SP と RP という概念は非常に明瞭である。SP は, 仮想の「状況」に基づく代替案選好の意思表示であるが, 必ずしも「代替案」は仮想のものとは限らない。つまり現存する代替案に対する仮想の状況のもとでの選好を尋ねることも含む。これに対して RP は, 市場における実際の行動結果である。

SP データは, より広義の数理心理学データ (psychometric data; 以下 PM データと略す) に含まれると

\* 正会員 Ph.D. 京都大学助手 工学部交通土木工学教室  
(〒606 京都市左京区吉田本町)

Keywords: stated preference data, travel demand analysis,  
model estimation

考えられる。PM データには SP データのほか、代替案の属性に関する意識のデータ (perceptual data; 例, バスの乗り心地についてどう思いますか? ①非常に良い, ②良い, ③普通, など), 意思決定者の好みに関する主観的データ (attitudinal data; 例, 交通機関を選ぶときにどのような要因を重視しますか? ①料金, ②旅行時間, ③定時性, など) がある。

次に, 最近マーケティング・リサーチの分野でしばしば使用される「コンジョイント分析 (conjoint analysis)」について言及しておく。コンジョイント分析台頭期の代表的論文として知られる Green and Srinivasan<sup>2)</sup>によるとコンジョイント分析は, 「SP データを用いて代替案選好に関する各属性の重要度 (part-worth) を推定する手法」として定義されている。ただし, マーケティング・リサーチにおけるコンジョイント分析では, ほとんどの場合 part-worth は各個人ごとに推定されることが特徴である。Green and Srinivasan の定義によると SP データとコンジョイント・データは同義と考えられるが, それ以降のマーケティング・リサーチの文献によると次のような条件を満たす SP データがコンジョイント・データとよばれているようである。

- ① 各代替案はいくつかの (通常 6 個以内) 属性値で表わされる。
- ② 十数個以内の代替案を実験計画法により作成する。
- ③ 被験者はそれらの代替案の選好に基づいて順位付けまたは評点付けする。

最後に, これらの用語に対する邦語については, 近年「意識データ」という用語がよく使われているようであるが, その定義が厳密でないようである。場合によりそれが SP データや perceptual data, または広く PM データを表わすこともある。SP データを「選好意識データ」とよんでいる論文<sup>3)</sup>もみられるが, より適切な表現といえよう。著者の私見を述べると, 「意識データ」は PM データに, 「選好意識データ」または「選好意思表示データ」は SP データに, 「知覚値データ」は perceptual data に対応させるのが自然のように思われる。しかし, 学術研究の分野では SP・RP という用語は十分に広まっているように思われるので, そのように原語そのまま用いるのが最も適切であろう。

## (2) SP データの分類

一種の人為的実験データである SP データは, 被験者 (回答者) に与えられた課題によって, ①順位付け (ranking) データ, ②評価値付けまたは評点付け (rating) データ, ③選択 (choice) データ, ④マッチング (matching) データ, のように分類することができる。ここで, 被験者に示される各代替案は, 通常一組

の主要な属性値で表わされる (例, 代替案 1: 車内旅行時間 35 分, 運賃 500 円, 乗り換え 2 回, など)。

順位付けデータは, 被験者に複数の代替案を示し, その選好順位を回答してもらうことによって得られる。このとき, 実験課題は必ずしも示されたすべての代替案を順位付けすることだけでなくよく, たとえば, 8 つの代替案を示し, 上位 4 つの順位付けをしてもらう, という課題でもよい。その極端な例が, 最も好ましい代替案のみを答えるというもので, 「選択データ」に相当する。

評点付けデータは, 被験者にそれぞれの代替案のある尺度上に位置づけてもらうので, 代表的な尺度としては「望ましさ」や「選択頻度」がある。また, その尺度が順位尺度 (例, ①非常に望ましい, ②望ましい, ③普通, ④望ましくない, ⑤全く望ましくない) か, 間隔尺度 (例, 望ましさを 100 点満点で表わす) か, 比率尺度 (例, 選択頻度を確率値で表わす) か, によって一課題当たりのデータに含まれる選好に関する情報量が異なる。

選択データは, 先に述べたように順位付けデータの特例として位置づけることができるが, 次の二例はしばしば用いられ, かつ順位付けデータの範疇から少し離れるものである。まず, ステイティッド・インテンション (stated intention) データとよばれるもので, ある仮定の代替案を回答者に示し, それを将来利用するかどうかを尋ねるものである。これは暗黙のうちに現在利用している代替案との比較を尋ねていると考えられ, 交通需要分析においては現存しない交通手段の将来需要を予測するときにしばしば用いられる手法である。もう 1 つの例は, 3 つ以上の代替案の選好を調べる際に, すべての代替案を一度に被験者に示さず, 2 つの代替案を組にしてどちらを選好するかを尋ねることを繰り返す「一対比較法 (paired comparison)」である。

マッチング・データは, 被験者に 2 つの異なる代替案, ただしそのうち 1 つの代替案のある 1 つの属性 (たとえば費用) が空欄になっている, を示し, その 2 つの代替案が選好上無差別になるような空欄の属性値を尋ねることによって得られる。多くの場合, 空欄になっている属性が「費用」であるため, このデータはトランスファー・プライス (transfer price) データ<sup>4)</sup>ともよばれる。概念的には, これは「支払い対価 (willingness-to-pay)」を直接被験者に尋ねていると考えられる。

## (3) SP データの収集法

SP データの収集には, 被験者が独自で行う方法と, 実験者 (またはインタビューア) が臨席して行う方法がある。前者の方法では, 被験者が回答を記入した質問票を郵送などの方法で回収することがほとんどである。パーソナル・コンピュータが普及しているアメリカでは, 対話型質問をプログラムしたディスクに被験者

が自宅で回答を入力し、そのディスクを回収するという方法も試みられている。

実験者が臨席して質問を行う場合、一被験者当たりの費用は前者の方法に比べてかなり高くなるが、非常にフレキシブルな実験ができることが長所である。実験室に被験者を集めて行う場合には、スライドやビデオテープなどの視聴覚機器を用いて被験者の興味を持続させるような実験も可能である。順位付けデータを得るためにマーケティング・リサーチでよく用いられる方法は、まず各属性値で表わされた代替案を1つずつカードに書き（挿し絵なども用いることがある）、各被験者に一組（8～16枚程度）のカードを渡し、それを選好する順番に並び変える、というものである。

ここ数年のパーソナル・コンピュータの進歩、普及に伴って注目されている SP データ収集法は、実験者がポータブル・コンピュータをもって被験者のもとへ出向き、コンピュータの画面上に現われる質問に被験者が直接キーボードから回答を入力する手法である。この方法の長所としては、代替案の設定など質問事項を被験者の属性や過去の行動結果により特定化できること、複雑な代替案表現もコンピュータ・グラフィックスの利用で被験者の負担を軽減できること、実験者側がデータのコーディングおよび入力を行う必要がないことが挙げられる。

#### (4) SP および RP データの特徴の比較

SP データの特長は端的にいえば操作性に優れていることである。つまり、代替案を構成する属性およびその属性値や選択肢を実験者が決定できるので、モデル推定に関して SP データは次のような長所をもつ。

- ① 属性値の範囲を拡張することができる。
- ② 属性値間の重共線性を避けることができる。
- ③ 属性値の測定誤差 (measurement error) が無い。
- ④ 定性的属性 (快適性、安全性など) を取り入れやすい。
- ⑤ 選択肢が明確である。
- ⑥ 選好に関するさまざまな指標 (順位付け、評点付

けなど) を得ることができる。

⑦ 現存しない代替案に対する選好情報が得られる。

①および②は、パラメータの安定 (分散の減少) をもたらす。属性値の範囲に関する極端な例では、すべてのバスが均一運賃であるような地域の RP データからはモデル中の運賃の係数を推定することはできないが、SP データでは異なる運賃をもつ代替案を作成することによってその係数を推定することができる。また、重共線性の問題では、RP データでは旅行時間と運賃、乗り換え回数と車外旅行時間などは通常強い相関をもち、これらの属性のパラメータが安定しないことが多いが、SP データでは属性間の相関を低く設定することによってこの問題を避けることができる。

③でいう測定誤差とは、回答者が実際に直面した属性値とモデル推定の際に使われる属性値との差を指している。旅行時間の例でいうと、RP データを用いたモデル推定には通常アンケート調査で回答された時間や交通網から算定された時間を用いるが、この値が実際に回答者が行動を行ったときの値と等しいことはまれである。SP 実験では属性値を直接数字で与えるのでこのような誤差はあり得ない。ただし、SP 実験で現実的でない属性値を与えた場合、被験者がそれを正しく知覚することができないという「知覚誤差」が含まれる可能性がある。

⑤の選択肢の明確性は、離散型選択モデルを推定する際には非常に重要な点であるが、RP データでは各個人が実際にどのような選択肢をもっていたかを正確に知ることは非常に困難である。

⑥は、先に述べたように、SP データには代替案選好に対するさまざまな指標 (順位付け、評点付けなど) があり、各個人から選好に関する情報を RP データより多く得ることができる。RP データで得られる情報は「最も望ましい代替案」だけであり、その代替案が「どの程度望ましいか」や選択されなかった代替案の選好に関する情報を得ることはできない。

⑦の長所は、いうまでもなく最も直感的で重要な SP データの長所であろう。

表-1 RP データと SP データの比較

	RP データ	SP データ
選好情報	実際の行動結果に基づく 市場における行動と一致 得られる情報は「選択結果」	仮想の状況における意思表示 不一致の可能性 「順位付け」「評点付け」「選択」など
代替案	現存しない代替案は取り扱えない	現存しない代替案も取り扱える
属性	定量的属性のみ 測定誤差があることが多い 属性値の範囲が限られている 属性値間の重共線性が大きい	定量的および定性的属性 測定誤差はないが知覚誤差の可能性 属性値の範囲を拡張できる 属性値間の相関を制御できる
選択肢	不明瞭	明瞭

このように SP データは、RP データに比べ操作性に富み、一個人当たり多くの選好情報を得ることができ、現存しない代替案に対する選好情報も得ることができるが、その最も根本的な問題点は SP 実験によって得られた選好意思表示の信頼性である。この点については次章で詳しく論ずることにする。

表一は、これまで述べてきた SP データと RP データの特徴の比較をまとめたものである。

### 3. SP データの信頼性

前章の最後で述べたように、SP データの根本的な問題は仮想の状況における選好意思表示がどれほどの信頼性をもつか不明な点であり、これが実務レベルで SP データがモデルの推定や予測に使用されない理由であった。著者らは、SP データの「信頼性 (reliability)」には「信憑性 (validity)」と「安定性 (stability)」という2つの側面があることを発表した<sup>5)</sup>。「信憑性」とは、SP データに含まれる選好情報と市場における実際の行動との一致性を指し、「安定性」は、SP 実験のさまざまな実験条件により回答がばらつくことを意味している。すなわち、実際の行動を「真」と考えたとき、SP データの「信憑性」は「バイアス」を、「安定性」は「ランダムエラー」をそれぞれ問題にしていると考えられることもできよう。

「信頼性」の高い SP データを得るのに最も効果的な手段は「良い」SP 実験を行うことである。つまり、実験が被験者にとって現実的で興味をもって真剣に行われるような環境を作り出すことによって「信頼性」すなわち「信憑性」および「安定性」の高いデータが得られると思われる。ところが、どんなに良い SP 実験を行っても、SP データには市場における実際の行動からのシステマティックなバイアス、すなわち「信憑性」の問題や、SP データ特有のランダム・エラー、すなわち「安定性」の問題、が含まれる可能性が高いと考えられる。本章ではどのような要因が SP データの信頼性の2つの側面に影響を与え、その結果どのような誤差が生じるかについて述べる。

「信憑性」および「安定性」に似た概念として、マーケティング・リサーチの分野で初めてコンジョイント分析の信頼性を系統的に議論した先述の Green and Srinivasan は、「外部妥当性 (external validity)」と「内部妥当性 (internal validity)」という用語を提案している。外部妥当性は「予測妥当性 (predictive validity)」ともよばれ、SP モデルの予測値がいかによく実際の行動を表わすことができるかを指し、内部妥当性は予測値がいかによく SP データを再現しているかを指す。しかし、これ以降のマーケティング・リサーチの文献では同じ用

語を用いながらこの2つの概念が全く混同されて使われているようである。

#### (1) SP データの信憑性

本節では、SP データにはどのようなバイアスが含まれるかについて、その原因ごとに整理して述べる。

a) 実際の行動と異なる意思決定機構に起因するもの  
SP データ収集の際、最も根本的な問題となるのは被験者が実験に対し関心が低く、「いいかげん」に答えてしまう可能性があることである。これは、SP データには RP データよりも大きなランダム・エラーが含まれる可能性が高いことを暗示している。また、被験者は示されたすべての属性のトレード・オフを考慮して代替案を評価するのではなく、その被験者にとって最も重要な属性だけを考慮し、他の属性を無視することがしばしばあるが、これは「プロミネンス仮説 (prominence hypothesis)」とよばれる。たとえば、「費用」という属性だけを考慮すると、運賃だけがわずかに安い、他のサービス水準が大きく劣るような現実では選択されるとは思われぬ交通手段が SP 実験では選好されることがある。

SP 実験に対し被験者が「いいかげん」に答えるのは、市場における行動とは違い、選択結果が被験者の効用レベルに影響を与えないからであるが、場合によっては選択結果が効用に間接的に影響を与える（または少なくとも被験者がそう信じる）ことがある。それは、SP データが政策の決定に使用されることがわかっている際、被験者が政策を自分の都合の良いように導こうという意図のもとに回答を行う場合であり、「政策操縦バイアス (policy response bias)」<sup>6)</sup>とよばれる。これは公共事業に関連の深い交通の分野でよくみられるもので、新しい交通システムを計画する際に行う SP 調査では、その将来の利用に対する過大な回答が得られることが多い<sup>6),7)</sup>のは、政策操縦バイアスの典型的な例であろう。

また、実験者や調査員が望んでいる回答を被験者が察知してそのように答えてしまう、というバイアスも SP データに含まれることがある。たとえば、あるメーカーがブランド選択の SP 実験を行う際に被験者がそのメーカーのブランドを過剰に選んでしまう、といった例がある。

「正当化バイアス (justification bias)」は、市場での行動を正当化するような選好を SP 実験で回答する、というものであり、実際の行動の一種の「慣性力 (inertia)」とも考えられる。

#### b) 不完全な代替案表現に起因するもの

SP 実験では、課題の複雑化を避けるために1つの代替案を記述する属性の数を通常6個以内にしているが、この数は市場における行動を決定づける属性の数よりも

かなり少ないことが多い。もし、各代替案が意味のある「名前」(バス、地下鉄など)をもつ場合、被験者がSP実験で示された属性以外の属性をその「名前」より連想し、それを選択の際に考慮することがある。つまりSPモデルには含まれない(omitted)属性が選択を左右していることになり、それらの属性がモデルに含まれている属性と相関があるときには、推定されたモデルのパラメーターはバイアス(omitted variable bias)をもつ。

#### c) 現実の制約条件の無視に起因するもの

仮想の状況に基づく選好を回答するSP実験では、その状況が実現したときに生じる種々の制約条件を被験者が無視して答えてしまうことが多い。たとえば、自家用車を所有しない家計がSP調査では通勤に車を選択したり、徒歩で30分以上かかるような新設の地下鉄駅を選択するような場合である。しかし一方では、SP実験の1つの目的に、このような制約条件を取り除いて属性間の純粋なトレード・オフの情報を得ることがある。この場合には制約条件の無視は、そのようなSP実験の主旨に添ったものなので、当然短所とはいえない。

### (2) SPデータの安定性

SPデータの安定性についてはマーケティング・リサーチに研究例が多い。本節では、SPデータの安定性がどのような実験条件に影響を受けるかについて、マーケティング・リサーチの文献を紹介しながら分析する。

#### a) 属性の数

心理学でいう「刺激(stimulus)」の提示の仕方にはそれを表わす属性の数の観点から、①2つの属性、②3つ以上の属性、の二通りがある。①の方法はトレード・オフ分析(trade-off analysis)<sup>8)</sup>ともよばれ、被験者にとって課題が簡単であるが刺激の現実性が乏しいので得られた選好結果の信頼性に疑問がある。より一般的な②の方法はフル・プロフィール法(full-profile method)ともよばれ、通常3~6個の属性で刺激(代替案)を作成し、その選好を被験者に尋ねるものである。

これら2つの手法の比較を行った研究には文献9)~13)がある。文献9)、10)ではトレード・オフ分析が、文献13)ではフル・プロフィール法がそれぞれより適合度の高いモデルを作成することができ、文献11)、12)は両手法にモデルの適合度の差はないと結論している。

#### b) 選択肢の作成

「選択肢」とは、各被験者に提示する一組の代替案を指す。順位付けデータを収集する際には代替案の数が多いほど被験者一人当たりの情報量が増え、パラメーターの推定値が安定すると考えられるが、あまりに代替案の数が増えると被験者のオーバーロードや混乱によりかえってデータの信頼性を落とすことになる。個人別にパ

ラメーターを推定するコンジョイント分析では、一般に代替案の数は十数個のようである。Malhotra<sup>14)</sup>は代替案の数を15から25に増やしてもパラメーター推定値の標準偏差にはほとんど差がなかったと報告している。

重共線性の問題により選択肢内の属性値間の相関は小さいほどパラメーター推定値のばらつきは小さくなる。ところが、乗り換え回数と車外旅行時間など本来関係の強い属性間の相関を極端に小さくした場合、選択肢が現実離れし、被験者が正しく判断できなくなるおそれがある。また、属性値の範囲も現実性を失わない程度に設定しておくことも重要である。

#### c) 選択肢の表示方法

代替案の物理的表示方法には、文章による記述または視聴覚機器を用いた表示がある。被験者の興味を持続させ、多くの情報をただちに伝える方法としてビデオテープやスライドを用いた視覚的方法が優れているが、視覚的情報を属性としてモデルにどう取り入れていくかに問題がある。

また、学習効果や疲労の影響が回答に現われるので課題の順番はランダムにしておくことが必要である<sup>15)、16)</sup>。

#### d) 選好表現の方法

2.(2)で述べたようにSP実験における選好指標には「順位付け」「評価付け」「選択」「マッチング」がある。尺度指標による評価付けデータやマッチング・データはモデル推定に対する情報量が多いが、選好の程度を尺度上に表わす人間の能力に限界があるためデータの信頼性は低いと考えられる。被験者にとっては、これらの尺度指標による課題よりも、いくつかの代替案に選好の順番を付けることの方が容易であるため、順位付けデータはより信頼性が高いと思われる。ただし、代替案の数が非常に多いとき(たとえば8以上)には、特に下位の順位において選好順位の信頼性が落ちることが知られており、これに関する実証的研究も行われている<sup>5)、17)</sup>。結局、最も信頼性の高い選好情報を与えるのは最も単純な課題である「選択」であるが、一被験者当たり一課題とした場合、選択データからはマーケティング・リサーチで行われているような個人ごとのパラメーター推定を行うことはできない。

## 4. 交通需要分析のためのSPデータ利用法

### (1) 交通需要分析におけるSPデータ利用に関する既存の研究

交通研究の分野においてもSPデータを用いて交通需要予測モデルを推定することは1970年代後半より行われるようになってきた。SPデータとRPデータの性質の違いを考慮して両データをモデル推定の異なる局面に用いた先駆的研究としてLerman and Louviere<sup>18)</sup>が挙

げられる。この論文では、SP データは離散型選択モデルの効用関数型を同定するためだけに用い、パラメータの推定は RP データを用いて行っているのが特徴である。

Bates<sup>19)</sup> は SP データを用いる手法について幅広く考察を行っているが、その中で特に SP データの信憑性については RP データとの比較を行ってチェックすることの必要性を説いている。この両データの比較を定量的に行ったのが Louviere *et al.*<sup>20)</sup> で、2 地点 2 時点のパネル調査で SP と RP 両方のデータを収集し、SP モデルと RP モデルの予測精度および異なる地点と時間におけるパラメータの安定性を分析した。この実証的分析では、SP モデルは RP モデルと同程度の予測精度をもち、空間および時間的にもパラメータ推定値は安定している。また、SP モデルのパラメータ推定値は RP モデルの推定値と統計的に有意な差がなかったとしているが、これは RP モデルの主要なパラメータ推定値の標準偏差が大きかったためだと考えられるので、必ずしも SP データと RP データが同様な選好結果を表わしていると結論付けることはできないと思われる。

交通施設整備に対するステイティッド・インテンション・データと設備投資後の RP データを比較したものには前掲の文献 6), 7), 河上ら<sup>21)</sup>, 毛利ら<sup>22)</sup> がある。これらすべての論文においてステイティッド・インテンションによる新しい交通サービスに対する利用意向が過大であったことを言及しており、特に文献 6) ではこの理由として SP データにおける現実の制約条件の無視を指摘している。これらの研究が Louviere らの研究と異なる点は、Louviere らは SP データとして全く架空の代替案を実験計画法に基づいて作成したコンジョイント・データを用いたのに対し、文献 6), 7), 21), 22) では現実の交通施設整備の事前にその利用の意向を尋ねた SP データを使用していることである。この観点からは佐藤・五十嵐<sup>23)</sup> および藤原ら<sup>24)</sup> の研究は、実験計画法に基づいて作成した交通施設整備に関するコンジョイント・データと整備後の RP データを比較検討しているので両者の中間に位置するといえよう。

順位付けデータを用いて離散型選択モデルを推定した研究には前掲の文献 3), 5) のほかに高田・湯沢<sup>25)</sup> の研究がある。これら文献ではマーケティング・リサーチの分野で開発された<sup>26)</sup> Rank Logit というモデルを用いており、特に文献 25) ではマーケティング・リサーチでよく行われるように個人ごとのパラメータ推定を行っている。順位付けデータから離散型選択モデルを推定する手法については次節で詳しく説明する。

マッチング・データを分析した研究では、Gunn<sup>27)</sup> がトランスファー・プライスを用いて交通行動における時

間価値を算定している。その他、SP データによって時間価値を推定する研究では Horowitz<sup>28)</sup> が一対比較データを用いて行ったものもある。

このように交通研究の分野でも SP データ利用の理論的・実証的研究がかなり行われるようになってきているが、これを反映して Journal of Transport Economics and Policy は 1988 年 1 月に “Stated Preference Methods in Transport Research” と題した特集号を刊行した。この号には、主にヨーロッパから 7 人の研究者が論文を発表している。その中で、Kroes and Sheldon<sup>29)</sup> と Louviere<sup>30)</sup> は包括的な SP 手法のレビューを行っている。SP データの信憑性については先の 2 つの論文以外にも Fowkes and Wardman<sup>31)</sup>, Wardman<sup>32)</sup>, Bradley<sup>33)</sup> らが論じており、これまでの SP データに関する研究ではこの点に関しては「満足のいく」結果が得られたとしているが、より説得力のある結論を出すためには実証的研究をさらに続けなければならないことを指摘している。Bates<sup>34)</sup> と Hensher *et al.*<sup>35)</sup> は SP モデルをそれぞれ計量経済学およびマイクロ経済学的観点から論じている。

## (2) SP データによる交通需要予測モデル推定法

「選好 (preference)」を表わす潜在的な (latent) 変数を  $s_i$ 、それに影響を与える  $K$  個の要因のレベルを  $x_k$ ,  $k=1, \dots, K$ , とすれば、SP 分析またはコンジョイント分析は式 (1) の重み (part-worth)  $\beta_k$  を合理的に求めることである。

$$s_i = \sum_{k=1}^K \beta_k x_{ik} \dots \dots \dots (1)$$

上式では、一般に用いられる線形の選好関数を用い、添字  $i$  は代替案を表わしている。

選好指標が計量的 (metric) である場合には (たとえば、評点付けデータ)  $s_i$  をデータから直接得られるので  $\beta_k$  を最小二乗法 (OLS) または分散分析 (ANOVA) で求めることができる。ただし、このような統計的手法を用いる場合には明示的にランダム項を加えた式 (2) を仮定している。

$$s_i = \sum_{k=1}^K \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \dots \dots \dots (2)$$

マッチング・データの場合は、2 つの代替案の選好の差をある要因の値 (たとえば、費用) の差で与えられるので、その要因値の差を被説明変数にした OLS によってパラメータを推定することができる。

選好指標が計量的でない順位付けデータや選択データは直接的に  $s_i$  を与えない。順位付けデータを数理心理学やマーケティング・リサーチで分析する際によく用いられる MONANOVA<sup>36)</sup> や LINMAP<sup>37)</sup> は明示的にランダム項を考慮しておらず、そのパラメータ推定値の統

計的性質も明らかでない。交通需要予測に用いるには、背景となる行動理論が明確な、ランダム効用モデルに基づく離散型選択分析 (discrete choice analysis) が適当であると思われる。式 (2) の左辺を効用 (utility) と考え、順位付けの結果や選択結果の尤度 (likelihood) をランダム効用項の確率分布によって表わし、最尤推定法 (MLE) でパラメーターを求めることができる。SP データが選択データであるときには、従来のロジットやプロビット・モデルがそのまま適用できるが、順位付けデータの場合には通常次に述べるような Rank Logit や Exploded Logit とよばれる手法が用いられる<sup>26)</sup>。

つまり、順位付け課題を行うときに Luce の選択の公理 (Choice Axiom)<sup>38)</sup>、すなわち選択確率の文脈的独立 (IIA)、が成り立つとすると  $J$  個の代替案がある順番に順位付けする確率は次のように与えられる。

$$P(1, 2, \dots, J) = P(1|1, 2, \dots, J) \cdot P(2|2, 3, \dots, J) \cdots P(J-1|J-1, J) \\ = \prod_{j=1}^{J-1} P(j|j, \dots, J) \cdots \cdots \cdots (3)$$

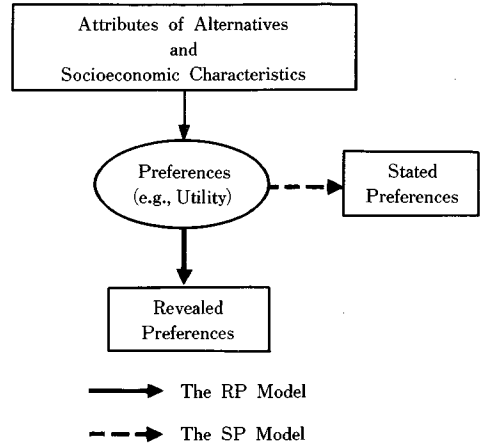
ただし、 $P(1, 2, \dots, J)$  は代替案 1 が一番に、代替案 2 が二番に、というように選好順位が付けられる確率で、 $P(j|j, j+1, \dots, J)$  は選択肢  $j, j+1, \dots, J$  の中から代替案  $j$  が選択される確率を表わしている。式 (3) は、順位付け確率が統計的に独立な選択確率の積で表わされることを示しており、IIA の性質をもったロジット・モデルの選択確率の積によって順位付けデータの尤度関数を表わすことができる。具体的には、 $J$  個の代替案の順位付けデータを  $J-1$  個の選択データに分解し、それをプールしてモデルの推定を行う。すべての選択データをプールするときの暗黙の仮定は、被験者が 1 番から  $J$  番までそれぞれの順位を付ける際に全く同じ意思決定構造で行っているということである。この仮定を統計的に検定し、新しい推定手法を提案した研究もある<sup>5), 17)</sup>。

(3) RP データと SP データを同時に利用する統計的手法

前章までの議論から、SP データの性質は次のように要約されると考えられる。

「SP は明らかに人間の潜在的な (latent) 「選好 (preference)」と関連しているが、必ずしも実際の行動をそのまま表わすとは限らない。すなわち、SP と RP とは異なる意思決定構造に支配されることがあるので、SP データには特有のバイアスやランダム・エラーが含まれていることが多い。」

ここで考えられることは、2.(4) で述べたように互いに補完的な性質をもつ RP データと SP データを同時に利用することによって両方のデータの長所を助長し合うことはできないか、ということであろう。つまり、両データを統計的に融合して RP データだけからでは正



図一 選好と RP データ・SP データの関係

確に推定できないパラメーターを SP データの情報によってみつけだすと同時に SP データに含まれるバイアスやランダム・エラーを修正するような手法を開発することである。

著者らは、このような手法を開発する際の基本的な考え方として、図一が示すように潜在的な「選好」と RP および SP はそれぞれ RP モデルおよび SP モデルというような別の関係を仮定すべきであることを発表した<sup>39)</sup>。ここで、主要な属性間のトレード・オフ関係は RP, SP に共通であると考えると両モデルでそれらの属性のパラメーターを共有することができ、RP データと SP データを同時に用いて両モデルを推定する意義がある。

このようなシステムを簡単な二項選択モデルの例で示すと次のように表わされる。実際の行動を規定する要因ベクトルを 2 つのサブベクトル  $x, w$  に分け、要因  $x$  については SP 実験にも含まれているとすると  $x$  の係数ベクトル  $\beta$  を RP モデルと SP モデルで共有することになる。

RP モデル

$$U = \beta'x^{RP} + \alpha'w^{RP} + \varepsilon \cdots \cdots \cdots (4)$$

$$d^{RP} = \begin{cases} 1 : \text{if } U \geq 0 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \cdots \cdots \cdots (5)$$

SP モデル

$$\tilde{U} = \beta'x^{SP} + \gamma'z^{SP} + \nu \cdots \cdots \cdots (6)$$

$$d^{SP} = \begin{cases} 1 : \text{if } \tilde{U} \geq 0 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \cdots \cdots \cdots (7)$$

この例では、SP データとして選択データ (代替案が 2 つなので順位付けデータでも同じであるが) を考えている。SP データに含まれるバイアスは  $\gamma'z$  で表わされており、RP データと SP データのノイズの大きさの違いはランダム項の分散の違い、つまり

$$\text{Var}(\varepsilon) = \mu^2 \text{Var}(\nu) \dots \dots \dots (8)$$

のスケール・パラメーター  $\mu$  で表わされる。このとき、たとえばプロビット・モデルの場合、RP モデルと SP モデルについてそれぞれ次のような選択確率から尤度関数を構築することができる。

$$P(d^{RP}=1) = \Phi(\beta'x^{RP} + \alpha'w^{RP}) \dots \dots \dots (9)$$

$$P(d^{SP}=1) = \Phi(\mu(\beta'x^{SP} + \gamma'z^{SP})) \dots \dots \dots (10)$$

ここで、 $\Phi$  は標準正規累積分布関数である。

RP モデルの尤度関数と SP モデルの尤度関数の積をこの統合システムの尤度関数として  $\alpha, \beta, \gamma, \mu$  を最尤推定したとき、両モデルのランダム項が統計的に独立と考えられるときには通常の望ましい統計的性質をもつ最尤推定量が求まるが、独立でない場合でも一致性のある推定量を得ることができる。

この手法による実証的研究の一部はすでに発表されているが<sup>40)</sup>、さらに詳細な推定法および他の実証的研究は Morikawa<sup>41)</sup> に詳しい。

### 5. おわりに

SP データは、これまでその性質を深く分析されることもなくさまざまな分野で使われてきた。数理心理学やマーケティング・リサーチのほか、経済学の分野では Keeney and Raiffa<sup>42)</sup> の効用関数同定法が SP データの利用として有名である。本稿は、交通需要分析においても近年注目を集めている SP データの性質、特にその信頼性に焦点を当てながら、既存の研究とその問題点を整理し、これから SP データをどのように取り扱っていくべきかという展望として SP データと RP データの同時利用という手法を提案した。

SP データは 1. で述べたように心理学的データの 1 つとして考えられ、perceptual data や attitudinal data などの他の心理学的データとともに「ソフト」なデータであり、「ハード」な RP データのみを推定に用いてきた計量経済モデルに大きな発展をもたらすものと考えられる。物理学が物体の運動の法則を解き明かしてきたように、マイクロ経済学や数理心理学が人間の行動のメカニズムを解き明かすためには、このような「ソフト」なデータの正しい活用が不可欠であろう。このような人間の行動のメカニズムとそれに関するデータは図-2 のようなパス・ダイアグラムで表わされると思われる。先に掲げた図-1 はこれの一部になっており、提案された手法はこのトータル・システムのサブモデルとなっていることが表わされている。

物体の運動に比べ不確定、不明瞭な要因の多い人間の行動の一般化された法則をみつめるには実証的研究の蓄積が重要であろう。SP データを含めた数理心理学的データの利用に関する実証的研究および理論的研究の蓄

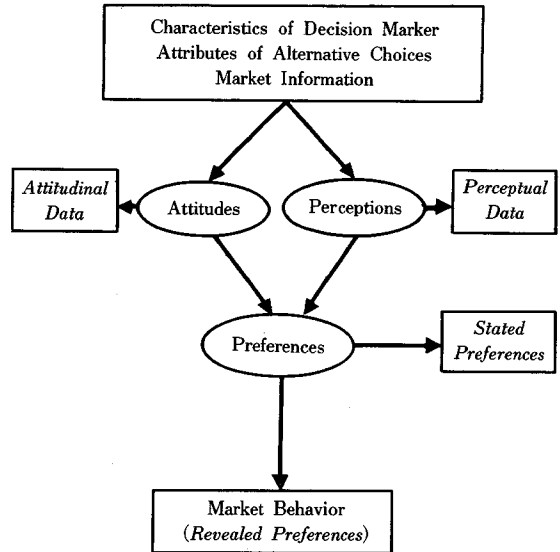


図-2 消費者行動のメカニズム

積が進み、人間の一般的行動原理の解明とまではいなくても日常的交通の手段・経路選択ぐらいはかなりの精度で予測できるよう交通需要予測の分野の研究が発展していくことを望むものである。

最後に本論文の作成にあたって、マサチューセッツ工科大学の Moshe Ben-Akiva および Daniel McFadden 両教授とのディスカッションが大変有益な情報を与えたことを記し、両教授に感謝の意を表す。

### 参考文献

- 1) Cattin, P. and Wittink, D.R. : Commercial Use of Conjoint Analysis : A Survey, *Journal of Marketing*, 46, pp.44-53, 1982.
- 2) Green, P.E. and Srinivasan, V. : Conjoint Analysis in Consumer Research : Issues and Outlook, *Journal of Consumer Research*, Vol. 5, pp. 103-123, 1978.
- 3) 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, 1988年.
- 4) Bonsall, P. : Transfer Price Data—Its Definition, Collection and Use, *New Survey Method in Transport*, VNU Science Press, pp.257-271, 1985.
- 5) Ben-Akiva, M., Morikawa, T. and Shiroishi, F. : Analysis of the Reliability of Stated Preference Data in Estimating Mode Choice Models, *Proceedings of the 5th World Conference on Transport Research*, Yokohama, forthcoming, 1990.
- 6) Couture, M.R. and Dooley, T. : Analyzing Traveler Attitudes to Resolve Intended and Actual Use of a New Transit Service, *Transportation Research Record*, 794, pp.27-33, 1981.
- 7) 鈴木 聡・原田 昇・大田勝敏 : 地下鉄開業時の事前・事後分析一意向データの有効性の検証一, 第21回日本都



- 市計画学会学術研究論文集, pp.205~210, 1986年.
- 8) Johnson, R. M. : Trade-Off Analysis of Consumer Values, *Journal of Marketing Research*, 11, pp.121~127, 1974.
  - 9) Montgomery, D. B., Wittink, D. R. and Glaze, T. : A Predictive Test of Individual Level Concept Evaluation and Trade-Off Analysis, Research Paper No. 415, Graduate School of Business, Stanford University, 1977.
  - 10) Alpert, M. I., Betak, J. F. and Golden, L. L. : Data Gathering Issues in Conjoint Measurement, Working Paper, Graduate School of Business, The University of Texas at Austin, 1978.
  - 11) Jain, A. K., Acito, F., Malhotra, N. and Mahajan, V. : A Comparison of Predictive Validity of Alternate Methods for Estimating Parameters in Preference Models, Working Paper, School of Management, State University of New York at Buffalo, 1978.
  - 12) Opedijk van Veen, W. M. and Beazley, D. : An Investigation of Alternative Methods of Applying the Trade-Off Model, *Journal of the Market Research Society*, 19, pp.2~9, 1977.
  - 13) Segal, M. N. : Reliability of Conjoint Analysis : Contrasting Data Collection Procedures, *Journal of Marketing Research*, Vol. 2, pp.139~143, 1982.
  - 14) Malhotra, N. K. : Structural Reliability and Stability of Nonmetric Conjoint Analysis, *Journal of Marketing Research*, Vol.19, pp.199~207, 1982.
  - 15) Acito, F. : An Investigation of Some Data Collection Issues in Conjoint Measurement, in 1977 Educators' Proceedings, Chicago, American Marketing Association, pp.82~85, 1977.
  - 16) Eberts, P. M. and Koeppl, K. W. P. : Recent Structural and Empirical Findings in Trade-Off Analysis, *Transportation Research Record*, 673, pp.171~176, 1978.
  - 17) Hausman, J. A. and Ruud, P. A. : Specifying and Testing Econometric Models for Rank-Ordered Data, *Journal of Econometrics*, 34, pp.83~104, 1987.
  - 18) Lerman, S. R. and Louviere, J. J. : Using Functional Measurement to Identify the Form of Utility Functions in Travel Demand Models, *Transportation Research Record*, 673, pp.78~86, 1978.
  - 19) Bates, J. : Stated Preference Technique for the Analysis of Transportation Behavior, Proceedings of the 3rd World Conference on Transport Research, Hamburg, pp.252~265, 1983.
  - 20) Louviere, J. J., Henley, D. H., Woodworth, G., Meyer, R. J., Levin, I. P., Stones, J. W., Curry, D. and Anderson, D. A. : Laboratory-Simulation versus Revealed-Preference Methods for Estimating Travel Demand Models, *Transportation Research Record*, 794, pp.42~51, 1981.
  - 21) 河上省吾・広島康裕・溝上章志 : 意識データに基づく非集計交通手段転換モデルの構築の試み, 土木計画学研究・論文集, No.1, pp.11~18, 1984年.
  - 22) 毛利正光・新田保次・安田扶律 : 交通手段転換意識モデルによる急行バスの需要推計について, *交通工学*, Vol.20, No.4, pp.3~13, 1983年.
  - 23) 佐藤馨一・五十嵐日出夫 : 実験計画モデルによる交通機関選択行動の事前・事後分析, 土木学会論文報告集, 第343号, pp.151~159, 1984年.
  - 24) 藤原章正・杉恵頼寧・平野毅志 : 順位付けした意識データの適用性に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No.11, pp.699~706, 1988年.
  - 25) 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.707~714, 1988年.
  - 26) Chapman, R. G. and Staelin, R. : Exploiting Rank Ordered Choice Set Data within the Stochastic Utility Model, *Journal of Marketing Research*, Vol.19, pp.288~301, 1982.
  - 27) Gunn, H. F. : An Analysis of Transfer Price Data, Proceedings of the 12th PTRC Summer Annual Meeting, pp.1~14, 1984.
  - 28) Horowitz, A. J. : Subjective Value of Time in Bus Transit Travel, *Transportation*, 10, pp.149~164, 1981.
  - 29) Kroes, E. P. and Sheldon, R. J. : Stated Preference Methods : An Introduction, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.22, No.1, pp.11~25, 1988.
  - 30) Louviere, J. J. : Conjoint Analysis Modelling of Stated Preference, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.22, No.1, pp.93~118, 1988.
  - 31) Fowkes, T. and Wardman, M. : The Design of Stated Preference Travel Choice Experiments with Special Reference to Interpersonal Taste Variations, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.22, No.1, pp.27~44, 1988.
  - 32) Wardman, M. : A Comparison of Revealed Preference and Stated Preference Models of Travel Behaviour, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.22, No.1, pp.71~91, 1988.
  - 33) Bradley, M. : Realism and Adaptation in Designing Hypothetical Travel Choice Concepts, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.22, No.1, pp.121~137, 1988.
  - 34) Bates, J. : Econometrics Issues in Stated Preference Analysis, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.22, No.1, pp.59~69, 1988.
  - 35) Hensher, D. A., Barnard, P. O. and Truong, T. P. : The Role of Stated Preference Methods in Studies of Travel Choice, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.22, No.1, pp.45~58, 1988.
  - 36) Kruskal, J. B. : Analysis of Factorial Experiments by Estimating Monotone Transformations of the Data, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 27, pp.251~263, 1965.
  - 37) Pekelman, D. and Sen, S. : Mathematical Programming Models for the Determination of Attribute Weights, *Management Science*, 20, pp.1217~1229,

- 1974.
- 38) Luce, R. D. : Individual Choice Behavior : A Theoretical Analysis, John Wiley and Sons, 1959.
- 39) Ben-Akiva, M., Morikawa, T. and Shiroishi, F. : The Reliability of Stated Preference Techniques, Prepared for the 67th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D. C., 1988.
- 40) Ben-Akiva, M. and Morikawa, T. : Estimation of Mode Switching Models from Revealed Preferences and Stated Intentions, Transportation Research B, forthcoming, 1990.
- 41) Morikawa, T. : Incorporating Stated Preference Data in Travel Demand Analysis, Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1989.
- 42) Keeney, R. L. and Raiffa, H. : Decisions with Multiple Objectives : Preferences and Value Tradeoffs, John Wiley & Sons, 1976.

(1989. 12. 11・受付)

---