

交通需要予測モデルへのステイティッド・プリファレンス・データ適用に関する一考察

A Note on Using Stated Preference Data for Travel Demand Analysis

森 川 高 行 *

by Takayuki MORIKAWA

Stated preference (SP) data, which are respondent's expressed preferences to hypothetical choice situations, have several advantages over revealed preference (RP) data in estimation of travel demand models. The advantages include: i) choice set can be prespecified; ii) range of attributes can be extended; iii) multicollinearity among attributes can be avoided; iv) attributes that are not easily quantified, such as safety, reliability, and availability, can be incorporated; and v) attributes are measured without errors. Despite these advantages, SP data have not been widely used in model estimation due to uncertain reliability of the elicited preference information under hypothetical scenarios. This paper describes the characteristics of SP data focusing on their reliability and then discusses the methods of estimating choice models that exploit the advantages of SP and RP data.

1. まえがき

交通需要予測モデルの推定には、従来リヴィールド・プリファレンス(revealed preference; 以下、RPと略す)・データ、すなわち実際の市場における行動結果、が使われてきた。これは、マイクロ経済学及び計量経済学に一貫する「市場において顕在化(revealed)した消費者の行動結果のみが経済モデルの根拠となるべき情報である」という考え方に基づくものである。近年、交通機関選択、経路選択、目的地選択などに一般的に用いられている離散型選択モデル(わが国では一般に「非集計モデル」と呼ばれるが、厳密には「離散型選択」と「非集計」とは異なつた概念に基づく分類である。)は、マイクロ経済学に基づく計量経済モデルであるので、このモデル推定にRPデータのみを用いてきたのは当然

であろう。

RPデータに対するものとして、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、すなわち市場における現存の代替案に対する選好結果ではなく仮想または実在する代替案に対する選好の意思表示、がある。全く新しい製品やサービスの需要予測を行うことが多いマーケティング・リサーチの分野ではSPデータは頻繁に使われているが、このような分析を過去の市場における選好結果、つまりRPデータ、だけから行うことは困難だからである。後述するようにSPデータには操作性の高さなど数々の長所が挙げられるが、その根本的な問題点は選好意思表示の信頼性である。つまり、SP調査から得られた意思表示通りに人々が実際の市場において行動するかどうか疑問なのである。経済学における先述の態度に従えば、SPデータのみを用いて計量経済モデルを推定することは意味がないといえる。

本論文は、SPデータを交通需要予測モデルの推

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

定に使用するための序論と行うことができよう。まずSPデータの分類及び収集法について言及し（第2章）、その長所・短所をRPデータと比較して整理する（第3章）。次に、SPデータの信頼性(reliability)を有意性(validity)と安定性(stability)という二つの概念を用いて分析し（第4章）、SPデータの信頼性を考慮した選択モデル推定の方法論を展開する（第5章）。

2. SPデータの概論

(1) SPデータの分類

ステイティッド・プリファレンス(SP)は「仮想の状況における代替案選好の意思表示」と定義することができる。「仮想の状況」は、必ずしも仮想の代替案に対する選好を意味するわけではなく、現存または計画決定された代替案に対する選好でも、それが市場における行動ではなく単に意思表示であればSPと呼ぶことができる。つまり、SPデータは一種の実験データである。

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(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、被験者に示されるそれぞれの代替案は、通常一組の主要な属性値で表される(例、代替案1:旅行時間30分、運賃500円、乗り換え1回、等)。

順位付けデータは、被験者に対して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、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事でなくてもよく、例えば、8つの代替案を示し、上位4つの順位付けをもらう、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てもらうというもので、これはすなわち「選択データ」を得ることになる。

評価値付けデータは、被験者にそれぞれの代替案をある尺度上に位置付けてもらうもので、代表的な尺度としては「望ましき」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ふつう、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点満点で表す)か、比率尺度(例、選択頻度を確率値で表す)か、によって一課題当りの選好に関する情報量は異なる。

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付けることができるが、次の二例はしばしば使用され、かつ順位付けデータの範疇から少し離れるものである。一つ目は、ステイティッド・インテンション(stated intention)・データと呼ばれるもので、ある仮想の代替案を回答者に示し、それを現在利用している代替案と比べて将来その仮想の代替案を利用するかどうかを尋ねるものである。これは、交通需要分析においては、現存しない新し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。もう一つの例は、三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、二つの代替案を組にしてどちらを選好するかを尋ねる「対比較法(paired comparison)」である。

マッチング・データは、被験者に二つの異なる代替案、但しそのうち一つの代替案のある一つの属性(例えば費用)が空欄になっている、を示し、その二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。多くの場合空欄となつている属性値が「費用」であるため、この種のデータはトランスファー・プライス(transfer price)・データとも呼ばれる。概念的には、これは経済学で言う「支払い対価(willingness-to-pay)」を直接被験者に尋ねていると考えることができる。

ここで、最近しばしばマーケティング・リサーチの分野で使用される「コンジョイント分析(conjoint analysis)」について言及しておく。第1章で述べたようにSPデータはマーケティング・リサーチの分野で広く使われており、コンジョイント・データ(またはコンジョイント・メジャメント)はSPデータの一つと考えられるか、またはSPデータとはほぼ同義に使われることが多い。コンジョイント分析台頭期の代表的な論文として知られるGreen and Srinivasan¹⁾によると、コンジョイント分析は、「SPデータを用いて各属性の重要度(part-worth、線型効用関数を仮定した場合各属性の係数)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（効用関数の係数が各個人ごとに異なる）ことが特徴である。Green and Srinivasanの定義によると、本節で挙げたSPデータはすべてコンジョイント・データと言えるが、それ以降の文献によると、コンジョイント・データは次のような条件を持ったSPデータと言うのが最大公約数的な定義であると著者は考える。

- 1)代替案はいくつかの（通常6個以内）属性値で表される。
- 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を順位付けまたは評点付けする。

すなわち、大ざっぱに言えば本節で述べた順位付けまたは評点付けデータがコンジョイント・データに相当すると言えよう。

(2) SPデータの収集法

SPデータの収集には、大きく分けて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）が臨席して質問を行う方法とがある。前者の方法では、質問表に被験者が記入したものを郵送などの方法で回収することがほとんどであるが、パーソナルコンピュータが普及した米国では、対話形質問をプログラムしたディスクケットに被験者が自宅で回答を入力し、郵送するという方法も試みられている。

実験者（またはインタビューア）を用いる場合、一被験者当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特長である。マーケティング・リサーチで通常用いられてきた手法は、まず各属性値で表された代替案を一つずつカードに書き（挿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かえる、というものである（順位付けデータ）。また、特別の実験室に被験者を集めて行う場合、スライドやビデオテープなど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。

ここ数年のパーソナルコンピュータの進歩、普及にともな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・パーソナルコンピュータを持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。この方法の特長としては、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パーソナライズできること、かなり複雑な質問もコンピュータ・グラフィックスの利用により被験者のオーバーロードを避けることができること、データのコーディング及び入力の手間がいらないこと、が挙げられる。

3. SP及びRPデータの特徴の比較

SPデータの特長は一言で言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の選択及びその属性値や選択肢を実験者が決定できるので、SPデータは次のような長所を持つ。

- 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)定量化しにくい属性（安全性、快適性など）が取り入れ易い。
- 4)選択肢が明確である。
- 5)現存しない代替案に対する選好を得られる。

1)及び2)は、モデル推定の際にパラメータの安定（分散の縮小）をもたらす。極端な場合は、例えば、バスが均一運賃制を取っている場合、RPデータからは運賃の係数を推定することはできないが、SPデータでは、異なる運賃を持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、RPデータでは旅行時間と費用、運賃と快適性、乗り換え回数と車外旅行時間などは通常強い共線性を持ち、これらの属性のパラメータが安定しないことが多い。但し、SP質問を作成する際、統計学的効率性のみを考慮し、実験計画法理論に厳密に従う余り、各属性値が代替案間で全く共線性を持たない、つまり直交するように定めると、多くの場合現実離れした代替案が作られ、被験者に対して現実性を失い、かえってデータの信頼性を失うことがあることに注意が必要である。

4)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ことで、RPデータでは選択肢の不明確性が常に問題となる。また、5)の長所

がSPデータが使われるもっとも大きな理由となっていることは明らかであろう。

さらに、属性値に関するSPデータの長所として、RPデータ収集の際にはほとんど避けることができない測定誤差(measurement error)が含まれない、という点がある。ここで測定誤差とは、例えば旅行時間の場合、回答者が答えた所用時間や交通網から算出した時間と実際の旅行時間との違いを指す。SP実験の場合、属性値を直接数字などで与えるので、その値とその後モデル推定の際に使われる値との間には誤差は有り得ない。

また前節で述べたように、SPデータでは、代替案選好に対する様々な指標（順位付け、評価値付けなど）を得られ、その結果各回答についてRPデータよりも多くの選好に関する情報を得ることが可能である。つまり、RPデータでは常に各個人にとって「最も好ましい代替案」という情報しか得られず、その代替案が「どの程度好ましいか」や「その他の代替案に関する選好」についての情報は含まれていない。

このようにSPデータは、RPデータに比べ、操作性に富み、回答者一人当りの情報量も多くすることができ、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に関する情報の信頼性である。つまり、SPデータがどれほど市場における実

際の消費行動と一致するか、という点に疑問が残るのである。この点については、次章で詳しく述べることにする。

表-1は、本節で述べてきたSP及びRPデータの特徴を項目別にまとめたものである。

4. SPデータの信頼性

本章では前節最後に述べたSPデータに含まれる情報の信頼性について分析する。コンジョイント分析の信頼性を初めて系統的に議論した先述のGreen and Srinivasanは、内部有意性(internal validity)と外部有意性(external validity)という二つの概念を導入した。内部有意性は、SPデータから推定されたモデルの被説明変数の予測値がいかに良くSPデータの実測値を再現しているか（被験者に異なる組の代替案を与えるなどSP実験の条件を少し変えた場合を含む）を指す。一方、外部有意性とは、SPモデルの予測値がいかに良く市場での実際の行動を表すことができるかを指し、予測有意性(predictive validity)と呼ばれることもある。しかし、これ以降のマーケティング・リサーチの論文では、この二つの概念が全く混同されて使われているのが現状である。

著者はここで新たにSPデータの「信頼性(reli-

Table 1 Characteristics of RP and SP Data

	RP Data	SP Data
Choice Set:	Ambiguous	Prespecified
Attributes:	Subject to measurement errors	Free from measurement errors (but subject to perception errors)
	Intangible attributes are difficult to incorporate	Intangible attributes can be incorporated
	Variability in attribute levels is limited	Variability in attribute levels can be controlled
Alternatives:	Cannot provide direct information on new (i.e., non-existing) alternatives	Can elicit preferences on new alternatives
Preference Indicator:	Choice (i.e., most preferred alternative)	Choice, Ranking, Rating, Matching

ability)」を「有意性(validity)」と「安定性(stability)」という二つの概念を用いて表すことを提案する。「有意性」は、Green and Srinivasan による「外部有意性」、「安定性」は「内部有意性」にそれぞれほぼ対応するものであるが、彼らは主に分析手法またはモデルの信頼性を対象としているのに対して、ここで提案する信頼性の概念は、S Pデータそのものを対象としている。すなわち、有意性は、S P実験で被験者が代替案の選好に関して述べたことが実際の市場での行動とどれだけ一致するかを意味し、安定性は、S P実験の種々の条件によってS Pデータ自身がどの様に影響を受けるかを対象とする。

(1) S Pデータの有意性

信頼性の高いS Pデータを得るのに最も効果的な方法は、「良い」S P実験を行うことである。ところが、どんなに工夫を凝らした現実性の高い実験を行っても、それが実際の市場における行動でないがゆえに、S Pデータ特有のバイアスやエラーが含まれる可能性が高いと考えられる。本節では、どのようなバイアスやエラーがS Pデータに含まれ得るかにについて、その原因ごとに整理して述べる。

a) 市場における行動と異なる意思決定機構に起因するもの

S Pデータ収集の際、最も根本的な問題となるのが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高いことである。これは、S PデータにはR Pデータよりも大きなランダムネスが含まれる可能性の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。これは、「プロミネンス仮説(prominence hypothesis)」と呼ばれ、この仮説の元では、例えば、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代替案が選ばれることもありうる。

S P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違い、回答が被験者の経済学的福祉レベルに影響を与えないからであるが、

場合によっては、回答が福祉レベル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、S Pデータが政策の決定に使わ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元に回答を行う場合であり、「政策操縦バイアス(policy-response bias)」と呼ばれる。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行うS P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のは、政策操縦バイアスの典型的な例である。

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S Pデータに含まれることがある。例えば、ある食品会社がブランド選択のS P実験を行った際に、被験者がその食品会社のブランドを過剰に選んでしまう、といった例が考えられる。

そのほかに、S Pデータに特有なものとして「正当化バイアス(justification bias)」がある。これは、過去または現在の市場での選択結果を正当化するような選択をS P実験においても行う、つまり現実の選択と同様の選択を行う、というものである。このバイアスは現実の行動の「慣性力(inertia)」とも考えられ、S Pだけではなく、R Pデータによりダイナミックな行動モデルを作成する際にはよくみられる現象である。

b) 不完全な代替案表現に起因するもの

S P実験では、課題の複雑化を避けるために一つの代替案を記述する属性の数を通常6個以内に行っているが、この数は市場における行動を決定付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、フェリーなど）を持つ場合、被験者はS P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、S P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はバイアス(omitted variable bias)を持つ。

c) 現実の制約条件の無視に起因するもの

仮想のシナリオに基づく選好を回答するSP実験では、そのシナリオが現実のものとなつたときに生じる種々の制約条件を無視して答えてしまうことが多い。例えば、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、歩いて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実験の一つの目的に、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実験の主旨に全く沿ったものなので、当然短所とは言えない。

(2) SPデータの安定性

SPデータの安定性は次のような実験条件に影響を受ける。

a) 選好表現の方法

心理学で言うところの「刺激(stimulus)」の提示の仕方にはそれを表す属性の数の観点から、①二つの属性、②三つ以上の属性、の二通りがある。①の方法はトレード・オフ分析(trade-off analysis)とも呼ばれ、被験者にとって課題が簡単であるが現実性が乏しいので信頼性のある選好結果が得られるかどうかの問題が残る。より一般的な②の方法はフル・プロファイル(full profile)法とも呼ばれ、通常3～6個の属性で代替案を作成し、その選好を被験者に尋ねるものである。

フル・プロファイル法では、第3章で触れたようにどのような選好指標を求めるかによってデータの信頼性は変わる。マッチング・データや評価値付けデータはモデル推定のための情報量は多いが、選好の程度を尺度上に表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ている。順位付けは評点付けより被験者にとって易しいので、そのデータも信頼性が高いと考えられるが、順位付けする代替案の数が余りに多いとき(例えば8以上)には、その情報の信頼性には疑問が残る。特に、順位の低いところの情報は順位の高いところの情報よりも信頼性が低いことは直感的にも納得できるし、実証を行った研究も見られる^{2), 3)}。

結局、最も簡単な課題である「選択」が最も信頼性の高い情報を与える、ということに議論の余地は

ないようである。

b) フル・プロファイル法における選択肢の作成

ここで「選択肢」とは、各被験者に表示する一組の代替案群を指す。第3章で述べたように、選択肢内の属性間の相関を非常に小さくすると現実離れた代替案が作成され、データの信頼性を落とすことになる。また、各属性値の範囲も現実性を失わない程度に抑えておくことは当然である。

c) 選択肢の表示方法

選択肢の物理的な表示法としては、文章による記述または視覚的、聴覚的機器を用いた表示があるが、被験者の興味を引きつけ、多くの情報をただちに伝える方法としてビデオテープ、スライドなどを利用した視覚的方法が優れている。また、学習効果や疲労などの影響によるバイアスを避けるため、代替案表示の順番はランダムにしておくことが必要である。

5. モデル推定のためのSPデータ利用の考え方

前章までの議論よりSPデータの需要予測モデル推定に対する位置付けは次の3点に要約される、と著者は考える。

- 1) 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すとは言えない。
- 2) SPはRPとは異なる意思決定機構に支配されていることが多い。
- 3) SPデータにはRPデータとは異なるバイアスやエラーが含まれていることが多い。

つまり、SPと潜在的な「選好」との因果関係は必ずしもRPとその関係とは同じではないが、SPデータは明らかに選好のある一面を表している、というのが基本的な考え方であり、これを表したものが図-1である。

著者らは、SP及びRPと選好との関係は、二つのモデルによって表し得ることを先に発表した⁴⁾。このRPモデル及びSPモデルというシステムを簡単に表すと以下ようになる。ここでは、SPデータは選択データを考え、通常のランダム効用関数によって選好を表している。

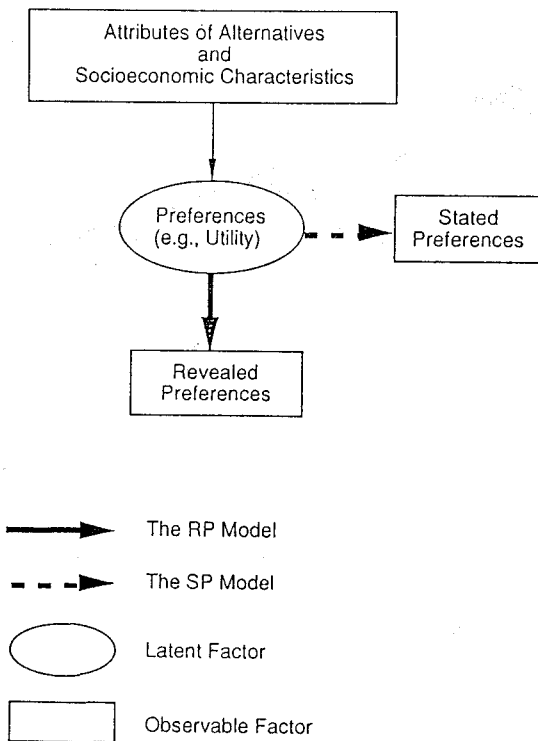


Figure 1 Modeling Framework

R P モデル

構造方程式(structural equation)

$$U = \beta'x^{RP} + \alpha'w^{RP} + \varepsilon$$

測定方程式(measurement equation)

$$d^{RP} = \begin{cases} 1: & \text{if } U \geq 0 \\ 0: & \text{otherwise} \end{cases}$$

S P モデル

構造方程式(structural equation)

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

測定方程式(measurement equation)

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

ここで、 α , β , γ はパラメータベクトル、 x , w , z は説明変数ベクトル、 ε , ν はランダム項である。 β は両モデルに共通で x 内のトレード・オフ関係を表しており、SP に特有のバイアスは $\gamma'z$ によって表されている。先に述べたように RP データと SP データの間ではランダム・エラーの大きさが異なると考えられるので、

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

という式を仮定すると、未知パラメータ μ は、両モデル間のスケールの違いを表す。

α , β , γ 及び μ を RP 及び SP データを同時に用いて同時または段階推定することによって、SP データのバイアス及びランダムエラーの大きさを修正し、SP データより得られる純粋なトレード・オフ情報を利用して β を精度良く推定することができる、というのがこのシステムの基本的な考え方である。

このモデルに基づく実証的研究の一部は既に発表されている⁵⁾が、さらに詳細な推定法及び他の実証的研究は Morikawa⁶⁾ に詳しい。

6. おわりに

本論分では、近年交通の分野でも注目を集めている SP データの分類と収集法、そしてその特徴を RP データと比較しながら分析を行った。

第3章で述べたように SP データと RP データは互いに補完的な性質を持ち合わせている。SP データは操作性が高いがデータの信頼性が未知である。著者の SP データ利用に対する基本的な態度は、その操作性の高さを利用して属性間のトレード・オフの情報を SP データから抽出して RP モデルの同定を援助する、というものである。簡単に言えば、補完的な性質を持つ RP 及び SP データの互いの長所を引き出してモデルを推定するのである。

このモデル推定法を用いた実証的研究は順次発表して行くつもりである。また、マーケティング・リサーチや交通の分野における SP データに関する文献の紹介は別の機会⁷⁾にゆずることとする。

最後にマサチューセッツ工科大学の M. Ben-Akiva 及び D. McFadden 両教授との議論から有益な示唆を得たことを記し、感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) Green, P. E. and Srinivasan, V. : Conjoint Analysis in Consumer Research: Issues and Outlook, Jour. of Consumer Research, Vol. 5, pp. 103-23, 1978.
- 2) Hausman, J. A. and Ruud, P. A. : Specifying and Testing Econometric Models for Rank-Ordered Data, Jour. of Econometrics, 34, pp. 83-104, 1987.
- 3) Ben-Akiva, M., Morikawa, T. and Shiroishi, F. : Analysis of the Reliability of Stated Preference Data in Estimating Mode Choice Models, Prepared for the 5th WCTR, Yokohama 1989.
- 4) Ben-Akiva, M., Morikawa, T. and Shiroishi, F. : The Reliability of Stated Preference Techniques, Prepared for the TRB Annual Meeting, Washington D. C., 1988.
- 5) Ben-Akiva, M. and Morikawa, T. : Estimation of Mode Switching Models from Revealed Preferences and Stated Intentions, Prepared for the International Conference on Dynamic Travel Behavior Analysis, Kyoto, 1989.
- 6) Morikawa, T. : Incorporating Stated Preference Data in Travel Demand Analysis, Ph. D. Dissertation, Dept. of Civil Eng., MIT, Cambridge, U. S. A., 1989.
- 7) 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（仮題）、研究展望、土木学会論文集、forthcoming.