

# 交通行動分析のための構造方程式モデリング

寺部慎太郎  
TERABE, Shintaro

外国論文研究会  
高知工科大学社会システム工学科助教授

## 1 構造方程式モデリングとは何か

構造方程式モデリング(SEM: Structural Equation Modeling)とは、多数の潜在変数と観測変数の関係を線形結合の形でモデル化する手法である。回帰分析やパス解析、因子分析などは、すべてこのSEMの傘下に入る「特殊な」分析手法である、ということができる。誤解を恐れずに平たく言ってしまうと、意識調査や観測調査によって得られたデータを用いて変数間の複雑な相関関係を数値で表すことができ、さらにその結果をパス図で視覚的にもわかりやすく表すことができるようにする統計的ツールである。特に、分析者が発想した変数間の因果関係に関する仮説をパス図で表現してモデルを構築し、それに自分のデータを当てはめてみて適合度の善し悪しから自分の仮説の妥当性を検証するという確信的アプローチは、従来の多変量解析の、データを様々な分析で切り刻みながら何か関係性を見つけようとする発見的アプローチとは異なる「味」を持っている。

のようになっている。1)SEMの概要説明、2)統計的手法としての解説、3)交通行動への適用研究の紹介、4)まとめ、付録)構造方程式モデルが扱えるソフトウェアのリスト。これを読むことにより、SEMは何に使用して、SEMを適用する際に何に気をつけるべきかという点が明らかになる。また本紹介論文の概要を訳すと下記ようになる。

「構造方程式モデリングは、線形の変数を扱う多変量統計モデリング技術として大変フレキシブルである。交通の行動や価値をモデリングするのに1980年ごろから使われはじめ、その論文数は急速に増加し、過去3年間で約2倍になって現在では50本以上になっている。このレビュー論文では、この手法をまだ使ったことの無い人々への紹介を意図するとともに、研究成果を比較しようとする人々に対して適用研究の概略を示し、また過去の研究と同じことをやるという落とし穴にはまらないようにするものである。」

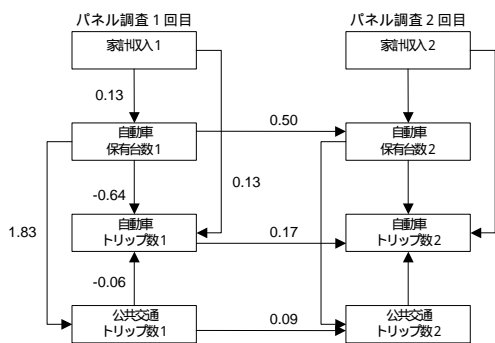


図 1 SEMの分析例(紹介論文筆者による分析から) 家計収入と自動車保有台数が自動車と公共交通機関のトリップ数に与える影響について、パネルデータを用いて分析している。四角が変数を、矢印が因果関係の向きを、数字がその因果関係の大きさを示す。

本稿では、このSEMが交通行動分析の分野でどのように使われてきたかをレビューしたGolob(2003)をメインの紹介論文にするとともに、我が国の研究者や実務者がSEMにより親しんでこれを活用することができるような日本語文献を紹介し、最後に筆者が我が国の土木計画分野におけるSEMの研究について最近感じる点を述べる。

紹介論文の筆者は、交通分野でも応用が進んでいるSEMについての第一人者であり、交通行動分析についてのレビュー論文としては世界初のものである。本紹介論文の構成は下記

## 2 交通行動分析にSEMを応用する

SEMの歴史は比較的新しく、1970年代から教育心理学を端緒に社会学、生物科学、教育研究、政策科学、マーケティングの分野で適用された。交通行動分析分野でも1976-80年頃に初期の研究が見られ、その後適用研究が増えており、都市のモデル分析、土地利用、地域科学、地理学、都市経済などの関連分野にも広がっている。

紹介論文では、適用分野として6つに区別している。

### (1)クロスセクションのデータを用いた交通需要モデリング

自家用車所有とその利用時間、走行距離の相互関係を同時に推定するモデルや、自家用車所有と定期券購入、交通機関選択の関係を表した研究などが挙げられている。このような題材における男女比較や、異国民比較などもクロスセクションのデータを用いた研究の特長である。

### (2)動的な交通需要モデリング

SEMはパネルデータのように時間差のある因果関係や相関のある誤差項などを取り扱うのに適している。これはパネルデータのように時期をおいて同じ方法で調査されたデータの場合、得られた変数によって説明されない要因は時期が違っ

ても無相関とは言えないため、その変数の誤差項に相関を設定することが望ましいと考えられるからである。

#### (3) アクティビティベースの交通需要モデリング

日常活動と交通の関係では、(a)活動場所とそこに至るための交通需要との間の直接関係、(b)異なった活動間への参加についての相互関係、(c)旅行時間から活動時間へのフィードバック、について包括的な枠組みでモデル化ができる。

#### (4) 態度や認知、仮想的な選択との連携

態度、認知、行動意向、実行動の間の因果関係について、様々な仮説を立ててデータに当てはめることにより検証ができる。またSEMの枠組みでは意識選好(SP: Stated Preference)による選択や評点付けは顕示選好(RP: Revealed Preference)による選択モデルの中に直接尺度化して組み込むことが可能である。

#### (5) 組織的な行動と価値

渋滞緩和政策に対する物流企業の考え方を聞いたアンケート調査にSEMを適用した事例がある。

#### (6) 運転者の行動

交通安全やITS技術への運転者の評価をSEMで分析した事例がある。

### 3 日本語で読むSEM

紹介論文第2章ではSEMの手法の理論的特徴について簡単に説明してあるが、ここではその解説を省略し、比較的多数の図書が出てきた日本語の情報について紹介する。実は、このような日本語のSEMに関するレビューはしばしば登場しており、後述する書籍の巻末にもそのような解説やソフトウェアの紹介が必ず載っている。

SEMについて簡単に早く知りたいという場合には、豊田・前田・柳井(1992)と豊田(1998)が良い。前者はブルーバックスだけあって因果関係とは何かからはじまり、平均、分散、相関係数の説明も出てくる超入門書である。後者は心理学や教育学にとどまらず工学やマーケティングなど広い範囲での分析例を21件収録したものであり、交通計画の分野からも3編が登場する。

実際にソフトウェアを用いて分析をすることを考え出す頃には、狩野(1997)がわかりやすい。筆者は学生時代の蓄積を捨てて新しいソフトウェアの使用法を習得する手間を惜しんでいるためLISRELを使っているが、これから新たに購入を検討する場合には、SPSS社のAMOSが日本語の解説書も出ていて取り組みやすいようである。また、学術的な議論に関してはここ数年の日本行動計量学会の会誌「行動計量学」が参考になる。

また、本稿を執筆中に豊田(2004)の私家版(試読版)が発行された。これは実際のデータを用いてSEMで分析しているときに出てくる多くの疑問をQ&A方式で解説しているものである。モデルの解釈の仕方や適合度指標の見方、SEMの特長を活かす様々なモデルの表現方法やパラメータが推定されずにエラーメッセージが出たもののどう対処したらよいか

わからない場合へのヒントなど、かなり実務志向である。

### 4 SEMで留意すべき点

SEMはソフトウェアでも簡単にパラメータ推定ができるため、広範囲の学問分野で活用されている。分析が簡単で試行錯誤ができるというのは、分析者にとって得られたデータへの理解を深めることができることから良いことである。しかしながら適用分野と適用例が増えた分だけ安直な使われ方も少なくない。ここでは以下の2つの点について、自戒も込めて注意喚起をしたい。

まず、多くの参考書で書かれ本稿の初めにも述べたとおり、SEMは仮説確認型の分析手法に特長がある。従って、分析者はモデル構築の前後に十分な仮説の検討を行い、また別の視点から異なった手法で分析をすべきである。分析者の知識が総動員され、それに基づく仮説がモデルとなり、試行錯誤されることこそSEMの本望であろう。安易にデータの因子分析からSEMを行い、まずまずの適合度指標が得られたので分析は成功で、SEMの結果についてのみ考察して結論づけるという分析スタイルは、その分析者による一連の分析の一部分だけにとどめておきたい。SEMの前後の議論こそが重要で、そのようにSEMを使ってこそ研究対象への接近が可能になる。

次には、何を持って因果関係とするか、という課題である。狩野(2002)によれば「因果推論とは交絡変数・中間変数を探す旅である」ということであり、対象とする因果関係に交絡変数(原因変数と結果変数の両者に影響を及ぼす第三変数)がないか吟味する、また因果関係をより精緻にするために中間変数(原因変数と結果変数の間に入る第三変数)の導入を検討する、といったことが必要とされる。また因果というためには、厳密には結果事象の起こる前に原因事象が起こるという時間的先行性の議論も必要であり、このような検討なくして「因果関係があった」と結論づけるのは乱暴である。

説得力のあるモデルを作成し、それとデータの適合度を上げるように「モデルをいじる」のは、ソフトウェアの進歩もあってそれほど手間もかからず楽しいものである。この簡便さによって得られた時間を、SEMそのものへの理解と、他の手法による分析と、研究対象へのより深い理解とに振り向けることが、これからの研究や実務での分析にSEMを十分に活用するための条件であると考える。

#### 参考文献

- 1) Golob, T. F. (2003) "Structural Equation Modeling for Travel Behavior Research", Transportation Research Part B, Vol. 37, pp.1-25
- 2) 狩野裕(1997),「グラフィカル多変量解析」,現代数学社
- 3) 狩野裕(2002),「構造方程式モデリング,因果推論,そして非正規性」,甘利俊一・他著『多変量解析の展開』統計科学のフロンティア5第II部,岩波書店
- 4) 豊田秀樹編(1998),「共分散構造分析 事例編」構造方程式モデリング,北大路書房
- 5) 豊田秀樹編著(2004),「共分散構造分析 疑問編」構造方程式モデリング,朝倉書店,刊行予定
- 6) 豊田秀樹・前田忠彦・柳井晴夫(1992),「原因を探る統計学 共分散構造分析入門」,ブルーバックスB-926,講談社