

氏 名 近 藤 文 代

学位（専攻分野） 博士(学術)

学 位 記 番 号 総研大甲第345号

学位授与の日付 平成10年9月30日

学位授与の要件 数物科学研究科 統計科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 State Space Decomposition of Scanner Sales
into Trend, Day-of-the-Week Effect, and
Multiple Exogeneous Effects

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 尾 崎 統
教 授 石 黒 真 木 夫
教 授 北 川 源 四 郎
助 教 授 樋 口 知 之 (統 計 数 理 研 究 所)
助 教 授 照 井 伸 彦 (東 北 大 学)

論文内容の要旨

消費者が購入商品を決定する場合、様々な要因によって影響をうける。これらの要因は小売店の観点から大きく2つに分けることができる。一つは小売店が決定可能なコントロール要因であり、もう一つは小売店にとってコントロール不可能な要因である。前者には値下げなどの販売促進変数や店頭在庫量が含まれ、後者には消費者の購買行動に強く影響する環境変数が含まれる。本研究では、状態空間モデルを用い、POS販売量を環境変数であるトレンドおよび曜日変動とコントロール変数である2つの値下げ効果（ブランドの代替、カテゴリ販売量の拡大）に分解する方法を開発し、実際のデータを使った実証分析においてそのモデルの有用性を示した。マーケティングリサーチの分野において本モデル以外にも環境変数とコントロール変数を同時に扱ったモデルには (Smith, McIntyre, Achabal 1994) の2段階のデイスカウント最小2乗法などがある。

POSデータを分析する際に直面する課題は大きい。まず、データの量が膨大で、データの分類、時系列化のみでも膨大な時間が必要である。さらに、興味のある信号以外に興味のないノイズが混在し、分析者が分析の視点を見失う危険性が大きい (McCann and Gallagher (1990) 等)。また、Hanssens, Parsons, and Schultz (1990) は時系列、クロスセクショナルデータを分析する際にダイナミックモデルの設定およびデータ間隔設定に関して以下の問題をあげている。1) ラグのあるマーケティング変数効果とラグのある販売量効果の区別の仕方、2) マーケティング変数効果測定のための最良のデータ間隔の決定、3) 2つの別々のマクロレベルのモデルとミクロレベルのモデルの結果の矛盾、4) マクロデータのみを使用したミクロ反応モデルのパラメーターの推定の仕方など。

マーケット反応モデルはマーケット変数が販売量（または販売量シェア）への反応を表わすモデルである。従来のマーケット反応モデルには実務的には2つの違ったタイプのモデルがよく使われている。販売促進効果を推定し、短いデータ間隔、例えば、製品の週合計の販売量を予測する場合、エコノメトリックモデル（回帰モデル）が使われている。また、ある店舗の月間の販売金額を予測する場合、トレンドや季節性を持つ時系列モデルが使われている。そのような状況の中で、Leone (1983) がエコノメトリックモデルと時系列モデルとを合成したモデルの重要性を提唱し、Hanssens (1990) らによりETSと呼ばれた。

これまでの主なETSモデルの文献には1) Distributed lag models (Bass and Clarke 1972)、2) 伝達関数モデル (Helmer and Johansson 1977; Adams and Moriarty 1981; Doyle and Saunders 1985)、3) 干渉モデル (Box and Tiao 1975; Wichern and Jones 1977; Leone 1987)、4) OLS と ARMA model を組み合わせたものがある。2) - 4) のモデルはARIMAモデル+説明変数のアプローチで、その短所はトレンドや周期性に関して事前に処理が必要で、2段階の分析である。このことから、マーケティングリサーチにおいて新しい統一的なETSモデルの開発の必要性が存在する。本研究のアプローチは各ブランドとカテゴ

リー間の階層構造および年、週、日といった周期構造を骨格とし、販売促進変数と環境変数を伴う統一的な状態空間モデルによってマイクロレベルのデータを有機的に結びつけることである。

第1章は序章で研究の動機および背景、過去の文献レビュー、POS販売量の構造分解モデルの概念を導入した。第2章では構造分解基本モデルの導入である。ここで定義した長期成分(トレンド)、曜日変動成分、短期成分(価格関数、ブランドの代替、カテゴリー拡大)の各成分を統合する構造にはBlattberg and Neslin(1990)によるセールスプロモーション(販売促進政策)に関する5つのメカニズム1)ブランドスイッチ、2)リピート購入、3)購入時期の早期化、4)カテゴリー販売量の増加、5)店舗の代替え)を考慮し、決定した。POS販売量を統一的なETSモデルとして状態空間モデルにより以下の4つに分解した。1)長期のトレンド成分、2)周期的な曜日変動成分、3)短期的なブランド代替成分、4)正味の(カテゴリー)販売量増加成分。第3章ではパラメーターの推定およびモデルの同定方法の記述で、状態空間モデルでのシステムモデルおよび観測モデルの具体的な設定を行なっている。第4章から第6章がPOSデータの実証分析で、4大ブランドとその他合計という設定で分析を行なった。第4章は2店舗の日次POSデータに関する一変量分析で、トレンドと曜日変動の抽出を行なった。さらに価格データを伴う一店舗のデータでは回帰係数は一定とし、一つのブランドの値下げがその販売量を増加させるように価格関数を決定し、さらにカテゴリー販売量の値下げ効果分析をおこなった。第5章は2店舗の日次POSデータおよび1店舗の週次POSデータを使用して多変量時変係数モデルで分析を行なった。ここでは回帰係数である値下げ効果成分も時変とし、全ての成分が時変となっているため、時変のカテゴリーモデルとシェアモデルといった従来の2本立てのモデル化の必然性はなくなった。各ブランドについてトレンド成分と値下げ成分の動きを比較すると、両者の動きは一つの例外を除いて、主に季節性を表すと考えられるようなほぼ同様な動きをしていることが分かった。その例外的なブランドでは、季節性に加えて競合関係が係数変動の要因と考えられる。第6章も多変量時変係数モデルでの分析で、値下げ効果をさらにブランド代替効果およびカテゴリー拡大効果の2つの効果、つまり、カテゴリーの内側で変化する効果とカテゴリーの外側で変化する効果に分解した。第7章は第5章で得られた値下げ効果係数の変動に関するシュミレーションを行なった。第8章は結果の要約である。第9章は今後の研究課題として具体的な実証分析は行なわなかった時間的代替成分モデルの説明である。

この新しいモデルはリサーチの手法として以下の利点がある。1)マイクロレベルのモデルとマクロレベルのモデルが常に矛盾がない。2)従来のETSモデルと比べてトレンドや周期性に関して事前に処理せず、直接非定常なデータを取り扱うことができる。3)トレンド、周期性、多重の外生変数成分に関するのPOS販売量の同時分解といった複雑なモデル化が可能。4)全ての成分が時間的に変化できるようになっている為、従来のカテゴリー合計のモデルとシェアモデルの2つの別々のモデルによる推定は不要。もちろん、従来のOLSの手法では不可能であった時間的変化の要素をモデルに取り込むことが可能

である。5) 消費者パネルデータを使った Sunil(1988) の販売量の分解とは異なり、直接に販売量の予測が可能である。

一方、小売店側ではこの新しいモデルの応用により、価格設定や店頭在庫管理に役立つ情報がそれぞれのカテゴリやブランドについて具体的な数値として得ることができる。例えば、本モデルにより、具体的な商品カテゴリおよびアイテムに関して、曜日変動の抽出や値引き効果の抽出が可能となった。カテゴリ合計の曜日変動を抽出することによって、何曜日にはどの位販売量があるかが分かる。また、通常より飛びぬけて価格を安く設定してもそのまま販売量増とはつながらないことが分析の中で確認されれば、実際に有効な上限の値下げレベルをモデルから決定することもできる。さらに、実証データの競合関係に関する分析から、弱いプライベートブランドの値引きは強いブランドが値引きしていない場合にのみ有効であることがわかり、プライベートブランドの値引きは他の強力なブランドが行っていない場合のみに行なうというような戦術を取ったりすることができる。値引き効果の減衰の具体的な数値を得ることにより、適正な店頭在庫の管理に役立てることができる。また、モデル化は店舗毎に可能なため、店舗間でのパラメーターの比較も可能である。

論文の審査結果の要旨

審査委員会は近藤文代氏の論文について、数物科学研究科における課程博士の授与に係る論文審査等の手続き等に関する規定に基づき、公開の論文発表会を開催し審査を行った結果、以下の理由により、統計科学に関して課程博士の学位を授与するに十分な内容と形式を備えているものと判断した。

1) 論文の概要

提出された論文は、Scanner sales データの新しい解析法を提案したものであり、全体の構成は9章からなる。

第1章では、本研究の動機および背景、過去の文献レビュー、POS 販売量の構造分解の考え方などを記述している。第2章では POS 販売量の構造分解モデルを導入している。基本モデルは長期成分（トレンド）、1週間の循環成分、短期成分（価格関数、ブランドの代替え、カテゴリー拡大）の成分で構成されている。これらの成分のために、各成分のモデルを導入していくつかの価格関数を提案している。第3章ではこの構造分解モデルのパラメーターの推定およびモデルの同定を、状態空間モデルとカルマンフィルターを用いて行なう方法を提案している。

4-6章は牛乳販売量に関する POS データの実証分析にあてている。第4章では、2店舗の日次 POS データに関する一変量分析を行い、価格関数の決定およびカテゴリー販売量の分析を行っている。第5章では2店舗の日次データ、1店舗の週次データについて多変量分析を行ない、さらに価格などの影響が時間とともに変化する時変係数のモデリングによる分析も行っている。第6章では価格プロモーション効果のブランド代替え効果およびカテゴリー拡大効果への分解を行っている。

第7章は以上の方法の有効性を検証するためにシミュレーション実験、out-sample の予測によるモデルの検証、ARIMA モデルとの比較検討を行っている。その結果、再現性、予測能力の観点からも有効であることが確認された。さらに、第8章では本論文で得られた結果の要約を行うとともに時系列解析およびマーケティングの分野への貢献点を明らかにし、第9章では今後の研究課題が述べられている。

2) 論文の評価

様々な計測機器の開発によって、我々が利用できる統計データは大きく変化しつつある。特に、販売データに関してはそれぞれの店舗、商品ごとにしかも経時的に記録された POS データが利用できるようになり、時系列構造とクロスセクショナルな関係を同時に考慮し、商品間の競争や販売活動の影響の分析

を行うことが可能になりつつある。

このような背景のもとで、本論文は価格の変化の影響を表現したいいくつかの価格関数を利用して、価格の操作によるブランドスイッチ、商品全体の販売拡大および時間代替のモデル化を行っている。さらにこれらのモデルを時系列解析における強力なツールである状態空間モデルの形で、時系列構造とクロスセクショナルな関係を統合することにより、観測された POS データを(1)長期成分(トレンド)、(2)短期的循環成分および(3)価格操作による変動成分に分解する実用的な方法を提案した。実際には(3)の変動はさらに(3-1)ブランドスイッチ、(3-2)カテゴリ拡大、(3-3)時間代替の 3 つの成分に分解することができる。POS データに関して時系列構造と競争関係のようなクロスセクショナルな構造を同時に捉えようとする試みは従来行われておらず、実際のデータに基づいてこれらの構造を数量的に把握する方法を実用化し、さらにミクロレベルとマクロレベルのモデルの矛盾を解決する方法を開発したことは重要な貢献であると認められる。また、極めて強いノイズを含むデータからの信号抽出の方法の成功例としても重要である。

本論文で提案した方法の有効性を確認するために、価格による販売量変化が顕著でかつ価格以外の販売促進策の影響が少ないと考えられる牛乳販売量データの実証分析を行っている。その結果、明瞭な曜日パターン、全国ブランドと弱小ブランドでの価格に対する販売量の影響の受け方の違いなど価格操作の様々な影響を数量的に把握できることを実証しており、マーケット分野の研究者や実務家からも高い評価を受けている。

以上の点から、本論文の研究内容は POS データの解析などの分野で重要な貢献をなす優れたものであり、統計科学の課程博士を授与するに十分であると評価された。