

氏名	加 藤 比 呂 子
学位（専攻分野）	博士（学術）
学 位 記 番 号	総研大甲第 1 0 8 号
学位授与の日付	平成 7 年 3 月 2 3 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	A Study of Multivariate Mean-Nonstationary Time Series Model for Estimating Mutual Relationships
論 文 審 査 委 員	主 査 教 授 尾 崎 統 教 授 北 川 源 四 郎 教 授 石 黒 真 木 夫 助 教 授 田 村 義 保 院 長 和 田 孝 雄（稲城市立病院）

論文内容の要旨

本研究の目的は、多変量時系列データにおける変量相互間の関係を明らかにするために、ベイズ型時系列モデルを構築することである。著者の興味は、相互に関係をもつ時系列に対して、従来行われているような1系列ずつの解析ではなく、多変量のモデルを適用し、時系列間の関係を掌握し、それを生成しているシステムを理解することにある。

変量間の関係を知るために、多変量定常時系列モデルを用いるが、多くの場合、データがトレンド等を含み非定常性を示すため、1系列ずつの detrending か、季節調整法で前処理をしてから解析される。そのとき、detrend された過程が、over adjust か、under adjust されているかどうかを判断するのが難しいために事前に原系列を個々に調整してしまう方法は、変量間の動的な関係を不鮮明にしてしまう可能性がある。

そこで、本研究では、そのようなデータに対し、事前に加工した個々の系列を用いずに、各変量間の構成成分を同時に推定するモデルを構築した。このモデルは、Akaike (1980)、Akaike and Ishiguro (1983) による単変量ベイズ型時系列モデルを拡張したもので、Kitagawa and Gersh (1984) により提案された状態空間表現によるモデルの多変量化に相当する。提案するモデルの未知ハイパーパラメータは、カルマンフィルターで計算された尤度を数値的最適化法により最大化する方法で推定される。種々のモデルの比較には情報量規準 AIC を用いた。AIC は、従来の単変量のモデル等との比較も可能であり、提案する方法の有効性を客観的に判断することができる。

変量間の関係についての解析では、モデルの構成成分のひとつのである循環変動成分に仮定された、多変量自己回帰モデルの係数行列と、分散共分散行列の推定値を用いて、周波数応答関数、パワースペクトル、インパルス応答関数、ノイズ寄与率等が計算でき、システムの構造を推定することができる。これらのシステム解析を行うために、Ishiguro (1989) の開発したプログラムパッケージ ARdock を用いた。

提案する方法の正確性は、シュミレーションデータにより検討された。シュミレーションデータは、実際の平均非定常時系列に近い形を得るために、トレンド成分に、実際存在する経済データのトレンドを用い、それに循環変動成分、季節成分、観測ノイズを加え、2変量のデータを作成した。単変量モデルを含む様々な構造のモデルに対する実験で、AIC はデータを発生したのと同じ構造のモデルを選択した。また、データ作成時に用いた循環変動成分と、推定されたハイパーパラメータのそれぞれのパワースペクトルやインパルス応答関数の比較から、提案する方法で、データの真の構造に近いものを推定できると確認できた。

次に、このモデルを用いて、3種類の実データの解析をおこなった。

まず、人間の体のバランス維持機構を調べるためのデータ解析である。このデータは、稲城市立病院の和田氏から提供されたデータで、左右の足にかかる体重を計るための2枚のプレートの上に、左右の足を別々にのせて、サンプリング30ミリ秒間隔で計測された時系列データである。目を閉じたとき、開いた時、または、脳障害により片側がマヒした患者のデータ等がある。このようなデータを選んだ理由は、明白なフィードバック関係をもつと思われる多変量時系列データから、提案するモデルがこのシステムの構造をどのように明らかにし得るか興味があったからである。この場合のモデルは、データに合

わせて、一次従属のトレンド成分を仮定した。この解析結果をまとめると、1. 平均非定常のデータに対し、多変量自己回帰モデルの直接のあてはめよりも、我々のモデルの方があてはまりが良い。2. 左右のフィードバックループによって、トレンドまわりの揺らぎの周波数は、1ヘルツ未満を維持している。3. 体のバランスを保つには、視覚からの情報の影響がありそうだ。4. 体の左右のバランス機構は、完全な対称ではなさそうである。

次に、経済システムの解析をおこなった。扱ったデータの組合せは、マクロ経済においてよく議論の対象になる生産と物価の関係である。データには、1985年の平均を100とした、サンプル数92点の鉱工業生産指数（IIP）、物価指数（WPI）の四半期データを用いた。この解析では、2変量が相互に影響しあっていると仮定するモデルと、単変量モデルとの比較をおこない、検討した。結果をまとめると、1. 循環変動成分の動きには、IIPとWPIの間に相互の関係がある。2. それぞれの時系列を1系列ずつ解析してしまうと、多変量時系列の重要な特徴を見逃してしまう可能性がある。3. パワースペクトルのピークは、低周波数帯で若干異なっているが、両者とも約4年周期の位置に見られる。4. ノイズ寄与率を見ることによって、経済の安定した成長には、物価の安定した成長が重要であることがわかった。この結果は、物価の安定の維持を重視しているといわれる日本の財政当局の目的を支持するものであると推察される。

最後に、血液中の CO_2 と HCO_3^- の関係の解析をおこなった。この2つの関係は、片方を減らせば片方が増えるという逆相関の関係になっており、臨床医学においては、 HCO_3^- の量が高い患者に対しては CO_2 の量を増やすことによって、 HCO_3^- の量を制御しているらしい。しかし、実際生体内、特に腎臓において、どちらがどちらを制御しているかが明らかにされていない。そこで、体の左右のバランス機構の解析で用いたモデルを応用して、初等的な解析をおこなった。最終的な結論を得るには至っていないが、このモデルによっていままでの方法では見ることのできなかつた相互作用が観察されている。

この研究を通じて我々の提案したモデルのメリットをまとめると、以下ようになる。

1. 多変量平均非定常時系列データに対し、我々のモデルは、データの事前の定常化をおこなうことになしに、1回の手順で、非定常成分とその他の仮定した成分に分割できる。
2. この分割の妥当性が情報量規準で評価できる。
3. 定常過程を仮定した成分の係数行列や分散共分散行列を用いることにより、変量間の隠れた関係を明らかにすることができる。
4. 相互に関係のあるデータに対しては、我々のモデルのような多変量モデルによる解析の方がふさわしく、また、データの特徴からそのデータによって構成されたシステムの動向を推測することができる。

論文の審査結果の要旨

1. 論文の概要

本論文は多次元非定常時系列データを解析して相互のダイナミックな関係を調べる新しい統計的方法を提案したものであり、全体の構成は5章より成る。

第1章では、この問題の背景と現状、そして問題を扱うに至った動機、根拠が記されている。

第2章では、この問題に関連する基本的な時系列解析理論の概観がまとめられている。

本論文の中心となる第3章において、変量間の関係を探るためのモデルが提案され、そのモデルをデータにあてはめる方法及び情報量規準によるモデル評価法が与えられている。ここではまた、シュミレーションデータへの適用によって、提案される方法の妥当性を確認している。

第4章では、

- ・左右の脚にかかる体重の時系列の解析による人間の姿勢制御における左右の脚の役割
- ・医学データである血中の重炭酸と塩素イオン濃度の時系列の解析による両者の間のダイナミックな関係
- ・経済データである卸売物価指数と鉱工業生産指数の四半期データの解析による経済システムの安定化の機構

などの研究が行われ、従来得られていない新しい結果が紹介されている。

最後の第5章に、本論文で得られた結果がまとめられている。

2. 論文の評価

本論文の貢献は、非定常な多次元時系列データの解析にあたり、まず個々の系列ごとにトレンド除去をほどこし、しかる後に多次元定常時系列解析を行うのが従来行われてきた方法であるのに対し、最初から有機的に結合された一つの非定常多次元時系列モデルをあてはめる方法を提案し、実用化した点にある。今まで安心して使えるトレンド除去の方法がなかったために十分な解析の出来なかった広範囲のデータへの応用が見込まれる方法を提案したこの論文の成果は高く評価されるものである。

このモデルの提案により、相互に関係のあるデータについて従来よく行われている単変量つつの定常化の前処理を含む解析の不十分性と多変量時系列の一括解析の重要性が、情報量規準の比較というかたちで、はじめて客観的に実データに即して示した点も重要である。

以上、加藤比呂子氏の論文について、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程に基づき審査を行った結果、統計科学に関して学位を授与するに十分な学識を有するものと判断した。