

氏名 姜 興 起

学位（専攻分野） 博士（学術）

学位記番号 総研大甲第39号

学位授与の日付 平成5年3月23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 Bayesian Methods for Modeling, Identification and
Estimation of Stochastic Systems

論文審査委員 主査 助教授 石 黒 真木夫
助教授 小 西 貞 則
助教授 中 村 隆
教授 田 辺 國 士
教授 尾 崎 統
教授 北 川 源四郎
教授 鈴 木 義一郎

論文内容の要旨

本論文では、経済データおよび地震データの解析のために、それぞれ非定常回帰モデルおよび時変係数多変量自己回帰モデルを開発し、それをふまえて一般的なベイズ型線形モデルにおける超パラメータの同定と推定の方法を提案している。本研究の目的は、ベイズアプローチによる統計的解析法を発展させることによって、統計科学の今後の研究に有用な結果を与えることにある。

本論文は5章から構成されている。序章では本研究の動機、目的、論文の構成について述べた。ベイズ法によるシステムの統計的解析法の理論的枠組みに関する知見などを概要的にまとめている。

第2章では、ベイズ型非定常回帰モデルとそのパラメータ推定を与えた。時変係数を持つ回帰モデルにおいて、時変係数に平滑化事前分布を導入することによって、ベイズ型モデルを構成し、超パラメータをデータから推定することにより、適切な推定値を得ることができることを、経済データ解析への応用例により示した。シミュレーションにより、モデルの適切性と推定法の有効性を検証した。平滑化事前分布は時変係数の整数階差分を平均ゼロの正規分布と見なしたもので、それは従来の多項式、三角関数、スプライン関数などの決定論的な制約より柔軟性に富むという特徴があり、最近非定常システムのデータ解析に使われている。本研究では、この新しいベイズ型モデリングの手法を取り入れることによって、よりよい時変係数の推定値を得ることができる。平滑化事前分布における差分の階数の決定に、赤池の提案したベイズ型情報量規準が適用できることを示した。

第3章では、共分散非定常な多変量時系列モデル構築の典型例として、地震データ解析のために時変係数多変量自己回帰モデル（時変VARモデル）を提案した。同時応答のある時変VARモデルの時変VAR係数に平滑化事前分布を導入して、ベイズ型時変VARモデルを構成した。周波数応答関数が時間的に滑らかに変化すると見なすことにより、超パラメータの数を大幅に減少させ、数値最適化の計算の効率を向上させることができた。また、Akaike, H. とKitagawa, G. の成果を援用して、カルマンフィルターによる尤度の計算と最小AIC手続きによるモデルの選択を行った。シミュレーションにより、モデリン

グの適切性と推定法の有効性を合わせて検証した。同時応答のある時変VARモデルを検証することによって、極めて効率的にモデルを推定することができた。さらに、時変係数VARモデルによって、効率的に多変量時系列の時変共分散、時変クロススペクトルおよび時変ノイズ寄与率を推定することもできる。これは、非定常なシステムの解析に対して非常に意義のあることである。最後に、地震データの解析例によって、提案したモデル有用性を示した。

第4章では、ベイズ型線形モデルにおける超パラメータの同定と推定に関するいくつかの理論的な問題を解決した。超パラメータに関する尤度の2種類の異なる表現があることを示し、これらが超パラメータに関して等しいものであることを示した。また、この2種類の尤度の表現に対応して、2種類のパラメータ推定法を与えた。さらに、異なる超パラメータの選択に対して、異なる尤度の値が得られ、よって異なるパラメータの推定値が導かれる。したがって、可能な超パラメータの選択の中に最大尤度を導くものを選ぶことによって、よりよいパラメータの推定値がえられることなど、ベイズ型線形モデルの同定と推定に関する重要な結果を導いた。また、2種類の推定法は場合によって必要な計算量が異なることも示した。最後、数値例によってこれらの事実をわかりやすく示した。これらの結果によって非ベイズ統計学の観点によるベイズ型線形モデルの推定量の統計的意味が明らかになった。

第5章は全論文のまとめで、本研究を通じて得た知見および考察を述べた。

最後に、本論文の主要な貢献を次のように要約できる。

- (1) ベイズ型非定常回帰モデルにより、ダイナミックな相互影響関係のある時系列間の時変回帰係数の推定と同定が可能で、それはダイナミックなシステムのシミュレーションと予測への応用が可能となった。
- (2) 新しく提案した時変係数VARモデルにより、非分散非定常な多変量時系列の解析、また時変共分散や時変クロススペクトルおよび時変ノイズ寄与率などの時変システムの重要な特性の推定への応用が可能となった。
- (3) ベイズ型線形モデルにおける超パラメータの2種類の同定法と推定法が得られた。

論文の審査結果の要旨

審査委員会は上記論文について、数物科学研究科における課程博士の授与に係わる論文審査等の手続きに関する規定にもとづき、公開の論文審査会を開催し審査を行った結果、以下の理由により合格と判断する。

本論文は（１）ベイズモデルによる時変多変量時系列解析法の提案と、（２）ベイズモデルにおける事前分布の設定に関する考察からなり、博士論文として十分な内容を備えている。

〔理由〕論文は１章と５章を問題の位置づけと結論にあて、２章と３章で新しいモデルにもとづく時変多変量時系列解析法の提案と、その有効性の検証を行ない、４章でベイズモデルにおける事前分布のとり方を新しい観点から論じている。論文としての形式は整っている。

２章：２変数の間の線形回帰モデルの係数が時間と共に変化するモデルを適用しベイズ手法でパラメータを推定した。この方法によって従来難しかった変動する経済構造の追跡などが容易になると考えられる。

３章：従来、１変量時系列解析の有効性が示されていた手法を多変量に拡張して時変の多変量ARモデルの推定法を開発した。この方法によって、各成分のパワースペクトラムの時間変化だけでなく、ノイズ寄与率など今までの方法では得られなかった成分の間の関のダイナミックな変化が見えるようになった。多くの分野への応用可能性を持つ汎用性のある方法であると思われる。同時応答モデルの利用やハイパーパラメータの数をへらす工夫に創意が認められる。

４章：線形モデルのパラメータに平滑化事前分布を導入する際の恣意性を指摘し、それによる影響を定量的に調べた研究はいままでに

ない。この章の結果は、理論的に重要な問題と関連しており、今後非線形ベイズモデルなどに関するこの分野の発展のための足がかりとなると期待される。なお、前半でA B I Cの2つの表現を結びつけるに際して援用した恒等式はいままで知られていないものである。

公表：2章の論文の内容に関連する論文がオペレーション・リサーチに掲載されている。(1992年、V o 1. 37)

3章の内容が Signal processing (欧文誌) に掲載予定
(1993 (12月) V o 1. 33, No. 3)