

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18700273  
 研究課題名（和文） ベイズモデルに対するモデル選択法の研究と非線形ベイズモデリングへの新展開  
 研究課題名（英文） Research on Model Selection for Bayesian models and its extension to Nonlinear modeling  
 研究代表者  
 安道 知寛（ANDO TOMOHIRO）  
 慶應義塾大学・大学院経営管理研究科・准教授  
 研究者番号：40407135

## 研究成果の概要：

本研究では、統計的モデリング手法のなかでも、特に、観測データの情報と事前知識を融合して目的に沿った情報を取り出すベイズモデリング手法の研究を進めた。研究成果の一つとして、ベイズモデルのモデル評価基準について予測の観点から検討し、新しいモデル評価基準を導出し、国際的なジャーナルへ掲載されている。

また、各分野で蓄積されつつある様々な実データの解析を通してその有効性を検証して研究を基礎理論から応用分野へと発展させた。研究成果は、応用という観点から周辺領域の分野を含めて、国際会議等で発表して広く意見を求めた。

## 交付額

（金額単位：円）

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2006年度 | 1,500,000 | 0       | 1,500,000 |
| 2007年度 | 1,100,000 | 0       | 1,100,000 |
| 2008年度 | 900,000   | 270,000 | 1,170,000 |
| 総計     | 3,500,000 | 270,000 | 3,770,000 |

## 研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・統計科学

キーワード：モデル選択

## 1. 研究開始当初の背景

急速に発展する情報化社会のあらゆる分野において、大量のデータが取得・蓄積され、そこから有益な情報を抽出するための統計的モデリング手法の研究が集中的に行われている。観測されたデータは誤差を内在し、さらに複雑な非線形構造を内在する場合がしばしばあり、このような状況下では、従来の線形性に基づく手法に代わる非線形な統計的モデリング手法が要求される。現在、統計科学・情報科学などの諸分野で、非線形モデリングの研究が活発に行われているが、現象の予測、知識発見、情報抽出に有用な手法

の開発は十分とはいえない。

現在、計算機の技術的発展と利用環境の飛躍的な向上により、マルコフ連鎖モンテカルロ法等の計算機の利用を前提としたベイズモデリングが主流となりつつある。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、複雑な自然現象や社会現象を解明するための、非線形多変量解析の理論・方法論の研究、特に現象の構造を表現するモデルの開発、モデルの推定法、構築したモデルの良さを評価するためのモデル評価基準の構成など一連の非線形モデリング手

法の開発にあった。

本研究では、統計的モデリング手法のなかでも、特に、観測データの情報と事前知識を融合して目的に沿った情報を取り出すベイズモデリング手法の研究を進めていた。従来は解析的に取り扱いが容易なベイズモデリングの研究が中心であったが、計算機の技術的發展と利用環境の飛躍的な向上により、現在は、マルコフ連鎖モンテカルロ法等の計算機の利用を前提としたベイズモデリングが主流となっている。マルコフ連鎖モンテカルロ法は、柔軟な統計モデルの構成に大きな展望をもたらしたが、同時に新たな問題も浮き彫りにした。例えば、様々な事前分布をモデルのパラメータに対して設定することが可能となったことにより、適切な事前分布を選択するという問題がある。また、データが生成される確率構造を適切に表現するモデルの設定、事前情報や知識の併合方法などを検討する必要もある。

一般に、これらの問題はモデル選択問題と呼ばれている。本研究においては、ベイズモデルのモデル選択問題を予測の観点から検討し、多様なベイズモデルの評価を可能とする新しいモデル評価基準を提唱した。さらに、開発したモデル評価基準を併用しつつ、様々な情報を統合可能とする汎用的な新しいベイズモデリング手法を開発し、それを実際問題へ適用していった。

また、前提とする事前情報や知識によって様々なモデルが得られることから、利用したモデルの精度が情報抽出の結果に直結することになる。すなわち、ベイズモデルの構築過程においてはモデルの評価が本質的であり、現象の予測と制御に有効なモデルを構築するには、候補となるモデルを客観的に比較するモデル評価基準の研究が非常に重要であり、その問題を解決することができた。さらに、様々な情報を統合可能とする汎用的な新しいベイズモデリング手法の開発にもつなげた。

### 3. 研究の方法

まず、ベイズモデルのモデル評価基準について予測の観点から検討し、新しいモデル評価基準を提案した。具体的には、既に提案されているいくつかのモデル評価基準と理論的・数値的に比較検討しながら、本研究で提案するベイズモデルのモデル評価基準の研究を推進した。さらに、各分野で蓄積されつつある様々な実データの解析を通してその有効性を検証した。

次に、提案するモデル評価基準を併用しつつ、現象の構造を表現するモデルの開発、高速計算機の利用を前提としたマルコフ連鎖モンテカルロ法によるモデルの推定方法など、

様々な情報を統合可能とする汎用的な新しいベイズモデリング手法を開発していった。特に、高次元連続・離散データを解析対象として、非線形回帰、非線形判別、時系列解析、生存時間解析などの問題に対して、厳密な理論展開のもとで応用に耐え得る手法を確立を試みた。

特に、非線形回帰、非線形判別、時系列解析、生存時間解析などの問題に対して有効に機能するベイズモデリング手法の研究をおこない、各分野で蓄積されつつあるデータの解析に積極的に取り組んだ。実際の問題に開発したモデリング手法を適用する際には、問題点を発見しながら研究を進展させ、諸科学の現象分析に大きく寄与する汎用性の高い柔軟なベイズモデリング手法の開発を目指した。

研究成果は、応用という観点から周辺領域の分野を含めて、国内外の会議等で発表して広く意見を求めた。また、国際的なジャーナルへ投稿した。

### 4. 研究成果

ベイズモデルのモデル評価基準について予測の観点から検討し、新しいモデル評価基準を導出した。ベイズモデルのモデル選択問題を予測の観点から検討し、多様なベイズモデルの評価を可能とする新しいモデル評価基準を提唱した結果、開発したモデル評価基準を併用しつつ、様々な情報を統合可能とする汎用的な新しいベイズモデリング手法を開発できた。さらに、様々な情報を統合可能とする汎用的な新しいベイズモデリング手法の開発にもつなげた。研究結果の一部は、下記にあるように、国際的評価が極めて高いジャーナルに掲載されている。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 11 件)

Ando, T. Bayesian portfolio selection using multifactor model and Bayesian predictive information criterion. International Journal of Forecasting, in press, (2009), 査読有.

Ando, T. Bayesian factor analysis with fat-tailed factors and its exact marginal likelihood. Journal of Multivariate Analysis, in press. (2009), 査読有.

Ando, T. Bayesian inference for the hazard term structure with functional

predictors using Bayesian predictive information criterion. Computational Statistics and Data Analysis, 53, 1925 -1939. (2009), 査読有.

Ando, T. Measuring the baseline sales and the promotion effect for incense products: A Bayesian state space modeling approach. Annals of the Institute of Statistical Mathematics, 60, 763 -780, (2008), 査読有.

Ando, T. Bayesian model averaging and Bayesian predictive information criterion for model selection. Journal of the Japan Statistical Society, 38, 243 -257, (2008), 査読有.

Ando, T. Bayesian predictive information criterion for the evaluation of hierarchical Bayesian and empirical Bayes models. Biometrika, 94, 443 -458, (2007), 査読有.

Ando, T. A Bayesian approach for inferring Gaussian graphical models: an application to management issues. Proceeding of International Association for the Scientific Knowledge, Global Management 68 -75, (2007), 査読有.

Ando, T. Bayesian State Space Modeling Approach for Measuring the Effectiveness of Marketing Activities and Baseline Sales from POS Data. Proceeding of IEEE International Conference on Data Mining, 21 -32. (2006), 査読有.

Ando, T. Bayesian credit rating analysis based on ordered probit regression model with functional predictor. Proceeding of The Third IASTED International Conference on Financial Engineering and Applications, 69 -76, (2006), 査読有.

Ando, T. Bayesian inference for regime switching stochastic volatility model with fat -tails and correlated errors. Proceeding of COMPSTAT 2006, 1573 -1581, (2006), 査読有.

Ando, T. Bayesian inference for nonlinear and non-Gaussian stochastic volatility model with leverage effect.

Journal of the Japan Statistical Society, 36, 173 -197, (2006), 査読有.

[学会発表](計8件)

Ando, T. and Zellner, A. A Direct Monte Carlo Approach for Bayesian Analysis of the Seemingly Unrelated Regression and Related Models. Seminar on Bayesian Inference in Econometrics and Statistics. (University of Chicago, Chicago, Illinois, USA.), 2008年10月17日.

Ando, T. and Tsay, R. Predictive likelihood for Bayesian model selection and averaging. Statistics Seminar, Department of statistics and actuarial science, The University of Hong Kong (The University of Hong Kong, Hong Kong, China), 2008年10月2日

Ando, T. and Tsay, R. Predictive likelihood for Bayesian model selection and averaging. Joint Statistics Seminar, The Hong Kong University of Science and Technology (The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China), 2008年9月29日.

Ando, T. and Tsay, R. Predictive likelihood for Bayesian model selection and averaging. Econometrics and Statistics colloquium, Graduate School of Business, University of Chicago. (University of Chicago, Chicago, Illinois, USA), 2007年12月10日.

Ando, T. Bayesian portfolio selection using multifactor model and Bayesian predictive information criterion. 27th international symposium on forecasting, 2007. (Marriott Marquis, New York, USA) 2007年6月26日.

Ando, T. A Bayesian approach for inferring Gaussian graphical models: an application to management issues. International Association for the Scientific Knowledge, Global Management 2007. (Hotel Eva, Faro, Portugal), 2007年5月4日.

Ando, T. Bayesian State Space Modeling Approach for Measuring the Effectiveness of Marketing Activities

and Baseline Sales from POS Data. Cherry Bud Workshop 2007. (Keio University, Japan), 2007年3月16日.

Ando, T. Bayesian State Space Modeling Approach for Measuring the Effectiveness of Marketing Activities and Baseline Sales from POS Data. The 2006 IEEE International Conference on Data Mining. (Hong Kong Convention and Exhibition Centre, Hong Kong), 2006年12月20日.

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

安道 知寛 (ANDO TOMOHIRO)

慶應義塾大学・大学院経営管理研究科・准教授

研究者番号：40407135

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者