

氏 名 矢野 浩一

学位（専攻分野） 博士（統計科学）

学位記番号 総研大甲第 1043 号

学位授与の日付 平成 19 年 3 月 23 日

学位授与の要件 複合科学研究科 統計科学専攻  
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Nonlinear, Non-Gaussian, and Non-stationary State  
Space Models and Applications to Economic and  
Financial Time Series

論文審査委員 主 査 教授 田村 義保  
助教授 佐藤 整尚  
助教授 山下 智志  
助教授 高橋 明彦（東京大学）  
教授 和合 肇（名古屋大学）

Financial markets and the economy are changing rapidly. On financial markets, many financial time series exhibit changes of volatility (variance) over time. Moreover, many financial time series are well known to have non-Gaussian heavy-tailed distributions. These facts indicate that a nonlinear non-Gaussian time series analysis is needed. Regarding the economy, as one example, the Japanese economy has the experience of the “bubble economy” in the late 1980s. After bursting of the “bubble economy”, the economy entered a decade of economic stagnation, which is often called “the lost decade”. These facts indicate that conventional linear regression based on ordinary least squares might be ineffective to analyze a non-stationary economy because the coefficients of linear regression are fixed. This paper shows several statistical approaches based on nonlinear non-Gaussian state space modeling and time-varying coefficient autoregressive modeling. These approaches are novel studies of financial markets and the economy.

In chapter 1, the Monte Carlo filter is introduced. It is a minimal introduction to nonlinear non-Gaussian state-space modeling.

In chapter 2, we propose a method to seek initial distributions of parameters for a self-organizing state space model proposed by Kitagawa]. Our method is based on the simplex Nelder-Mead algorithm for solving nonlinear and discontinuous optimization problems. We show the effectiveness of our method by applying it to a linear Gaussian model, a linear non-Gaussian model, a nonlinear Gaussian model, and a stochastic volatility model.

In chapter 3, we propose a smoothing algorithm based on the Monte Carlo filter and the inverse function of a system equation (an inverse system function). Our method is applicable to any nonlinear non-Gaussian state space model if an inverse system equation is given analytically. Moreover, we propose a filter initialization algorithm based on a smoothing distribution obtained by our smoothing algorithm and an inverse system equation.

In chapter 4, we illustrate the effectiveness of our approach by applying it to stochastic volatility models and stochastic volatility models with heavy-tailed distributions for the daily return of the Yen/Dollar exchange rate.

In chapter 5, we propose a method that estimates a time-varying linear system equation based on time-varying coefficients' vector autoregressive modeling (time-varying VAR), and which controls the system. In our framework, an optimal feedback is determined using linear quadratic dynamic programming in each period. The coefficients of time-varying VAR are assumed to change gradually (this assumption is widely known as smoothness priors of the Bayesian procedure). The coefficients are estimated using the Kalman filter. In our empirical analyses, we show the effectiveness of our approach by applying it to monetary policy, in particular, the

inflation targeting of the United Kingdom and the nominal growth rate targeting of Japan. Furthermore, we emphasize that monetary policy must be forecast-based because transmission lags pertain from monetary policy to the economy. Our approach is convenient and effective for central bank practitioners when they are unaware of the true model of the economy. Additionally, we find that the coefficients of time-varying VAR change in response to changes of monetary policy.

In chapter 6, we estimate the  $\beta$  of a single factor model that is often used by financial practitioners. In this chapter, we assume that  $\beta$  changes "gradually" over time; this assumption is identical to that in chapter 5. Using our approach, we can estimate  $\beta$ , even if it is time varying. We apply our approach to the Japanese Stock Markets and show its effectiveness. Although we adopt a very restrictive method (we assume smoothness priors and use the Kalman filter, which is based on linear state space modeling and the Gaussian distribution), we can obtain good estimates of  $\beta$ .

## 論文の審査結果の要旨

提出された論文の草稿は全6章170頁からなり、英語で執筆されている。経済時系列ならびに金融時系列を対象として、それらを(1)非線形・非ガウス状態空間モデル、(2)非定常時変係数モデルを用いて分析を行っている。1章から4章までは(1)に関する研究を、5章と6章は(2)に関する研究を取り扱っている。(1)の非線形・非ガウス状態空間モデルの推定手法としては、これまでモンテカルロフィルタが良く使われてきたが、本論文ではパラメータ推定の方法として、北川によって提唱された自己組織化状態空間モデルをさらに発展させるための初期分布探索アルゴリズムを提唱しており、この方式を自己組織化状態空間モデルと併用することによってより効率的に非線形・非ガウス状態空間モデルの状態推定ならびにパラメータ推定を行うことが可能であると主張している。1章では序章ならびに、モンテカルロフィルタの導入について説明されている。2章では筆者が提唱する初期分布探索アルゴリズムについて述べ、シミュレーションを用いてその有効性を示している。3章では状態空間モデルにおけるシステム方程式の逆関数が得られる場合の新しい平滑化アルゴリズムが提唱されている。2章と3章で提唱された新しい方式を用いて、4章では円/ドル為替レートの日次変化率に対して確率的ボラティリティ変動モデルを当てはめる実証分析を行っている。そこでは従来から広く用いられたマルコフ連鎖モンテカルロ法と比較しても遜色ない結果が得られており、さらに先行研究では行われていない新しいモデルの推定も実現している。(2)の時変係数モデルによる分析については、経済時系列や金融時系列の構造が時々刻々と変化するという前提にたって、北川により提唱された smoothness priors とカルマンフィルタを用いて、係数が変化する時変係数モデルの推定を行っている。5章では英国ならびに日本における金融政策を題材に、時変係数自己回帰分析モデルとダイナミックプログラミングを組み合わせることで実際の金融政策との比較を行っており、ある程度までは現実の政策を再現できることを示している。また6章では債券のリスクを分析するために用いられるシングルファクターモデルの $\beta$ を時変係数としたモデルの分析を行っており、 $\beta$ の変化が企業の経営状態等を反映する可能性があることを指摘している。

本論文の前半で提案されたパラメータ推定法は、すでに広く用いられている自己組織化状態空間モデルをより効率的に実行可能にし、実証分析の簡便さを実現するという意味で統計学に対する貢献は高く、また、実際のデータに適用することで有用性も確かめている。5章の金融政策に関する研究、6章における $\beta$ （システムティック・リスクを測る尺度）の時間変化についての研究は、時々刻々と変化する経済や金融の状況を捉えられるための一つの手法を提案したという意味で非常に意義深いといえる。2章に関係した申請者を単著者とする論文が採択済である。

以上から、博士論文審査委員会は、申請者の学位請求論文が学位に十分値する水準にあると全員一致で判定した。