

博士学位論文

内容の要旨

および

審査の結果の要旨

第 11 号

2014年2月

多摩大学

氏名	峰村英二
博士の専攻分野の名称	博士(経営情報学)
学位記番号	論博第3号
学位授与年月日	平成26年3月15日
学位論文題目	データ加増型モデルによる市場ダイナミズムの統計的予測
論文審査委員	委員長 教授 今泉 忠 委員 教授 宇佐美 洋 委員 教授 岡太 彬訓 委員 教授 有賀 裕二(中央大学商学部) 委員 教授 渡邊 則生(中央大学理工学部)

## 論文内容の要旨

### 1. 概要と目的

#### (1) 本論文の概要

経済時系列データを取扱うさいに、多くの場合問題とされることは、実際に観測されるデータの分布を求めると、正規分布と比較して、かなりの程度、裾の厚い分布となることが多いことである。

一方で、経済時系列分析の基礎理論は、観測データの確率的な変動が標準正規過程に従うという定理から成り立っている。このため、もし観測データの確率過程の経験分布が正規分布よりも裾の厚い分布に従うならば、正規過程に基づく予測や制御の範囲では到底起こりえない観測事象が事後的に生起することにより、予測や制御の有効性を大きく損ねる結果を招きかない。

この場合に重要なことは、異時点間の観測結果において、以前の観測時点ではみられなかった構造的変化がデータの生成過程で生じたとしても、これらの追加的な情報変化を的確に捉えることにより、同一の観測対象となる確率過程について常に同一の尺度で評価できる確率測度変換の方法を構築することである。もし、この様な確率測度変換法が確立されれば、複雑な挙動を持つ確率過程に関するも的確で頑健な評価が容易に可能になるものと考えられる。

逐次変化する観測情報に基づく統計的推論や予測については、West and Harrison の動的線形モデル(DLM)の適用が有効であり、動的線形モデルをランダム・ウォークモデルに用いることで各時点で観測可能なすべての情報に基づくドリフト期待値を逐次推論できる。

一方、確率論によれば、Øksendal が理論的に証明しているとおり、各時点で観測可能なすべての情報に基づき逐次推定されたドリフト期待値を原系列過程から除却することによりマルチンゲール過程を実現でき、当該マルチンゲール過程を適切に推定されたモーメントで標準化することにより、原形列過程を標準正規過程に転換できる。

任意の確率過程に関し、常に標準正規過程に変換できれば、「正規分布表」などを用いることで、市場価格変動などの経済・市場データの統計的な取扱いが今よりもき

わめて容易となり、経済学や経営学を含む、より幅広い分野における応用が可能となる。このためにデータに含まれる追加的な情報変化を的確に捉え、確率測度変換の方法を構築する。また、実際の経済時系列データに対して、データ加増型の統計シミュレーションを加えた新しい統計的推論により、その有効性について検討する。

## (2) 本論文の研究目的

本論では、構造的変化がデータの生成過程で生じた場合でも、その追加的な情報変化を的確に捉えることにより、同一の観測対象となる確率過程について常に同一の尺度で評価できる確率測度変換の方法を構築する。特に、Øksendal の理論的な証明を時系列データを用いた考察に応用することにより、確率論と統計的推論とを結び付けた新たな確率測度変換法の提案を行うことを目的とし、ここに示したいいくつかの課題と視点を踏まえ、動的線形モデルにデータ加増型の統計シミュレーションを加えた新しい統計的推論の提案を行い、市場価格変動データの確率測度変換に関する実証的な研究を行う。

本論文は次のように構成されている。

第一章(序論)では、研究の狙い、焦点、構成について述べている。本研究では、実際の市場データにみられるドリフト項の影響を除去した場合でも、誤差の経験分布での裾が厚い分布になる事象について、それを統計的に適切に表現するために有効で、かつ、実際的な確率測度変換を提案する。本章では、「派生証券」での基礎的な確率微分方程式を用い一般論を踏まえ、そこでの母数推定での問題点を明確しながらも、正規分布に比べて裾の厚い分布を扱う場合での分布の母数分布を推定する統計的方法に必要性について述べている。

第二章では、適切な確率測度変換のための統計学での理論的基礎について述べ、さらに、それをもとにして追加的な情報を取り入れることで逐次修正された確率測度に用いて適切な評価を行うモデルと方法を提案している。そのモデルは不均一分散を仮定した動的線形モデルを用いたドリフト項の推定量およびマルチンゲール過程への確率測度変換によるモデルであり、短期金利過程に対して適用可能であることを述べている。未知母数分布の推定においては、準ベイズ比を母数選択の基準として、また、それらを効率的に推定するために、Data Augmentation (データ加増) アルゴリズムを用いる場合について述べている。その場合に生成するレプリケーションは同一モデル分布にしたがう観測の複製ではなく、あくまでもベイズ予測に基づいて生成され、実際には観測することが不可能な予測値であるとしている。また、レプリケーションの振舞がドリフト状態などの未知母数ベクトルの推定に影響し、結果として、データ発生分布(data generation distribution)となる1期先観測予測分布密度自体も逐次変化することを述べている。

第三章の実証分析では、第二章で提案した確率測度変換をもとにしたモデルを実際のデータに適用して、その妥当性について検証した。項目としては米国財務省証券6ヶ月物金利月次データを用いて、変数としては1984年8月～2001年11月の月次でのデータである。この変数に対して超母数などを設定した不均一分散を仮定して動的線形モデルを用いて母数の分布を推定した。これらの結果を用いた最終の11期の予測値のパスは、従来の典型的なモデルの結果に比べて実際の金利データの傾向を対応していると解釈された。この優位性は、提案しているモデルの特徴である、情報の追加的な更新により母数推定値が更新されることと、金利

の予測分布が正規分布より裾の厚い  $t$  分布にしたがうことによるものであると解釈している。また、後ろ向き推論を用いて、残差過程の正規性近似についても検証できることを示している。

第四章では、初めに、正規密度関数を仮定した場合の一般化ハースト指数について述べている。次に、構造的な変化や大きな変動がデータの生成過程で生じた場合でも逐次的確に、当該データの背後にある「ドリフト」と「ボラティリティ」を解析するための方法について述べた。モデルは第二章で述べた動的線形モデルであり、項目は第三章と同じであるが変数は 1994 年 9 月から 2011 年 12 月である。この変数期間は事後的にはリーマンショックを含むものである。その結果、ドリフト項の推定および残差の振舞で、観測パスを十分説明していることが示された。これにより、本モデルが従来は困難とされている急激な構造変化への対応できることが示された。

第五章では、第一章から第四章での結果を踏まえて、提案したモデルと方法の特徴について述べ、経済学等の分野のみならず、確率過程の予測や制御を行う場合への適用可能性について述べている。

## 論文審査の結果の要旨

### 1. 本論文の特徴と意義

#### (1) 論文の構成と表現

本論文は次のように構成されている。

#### ① 問題提起と研究目的

第一章において、市場で取り引きされる原資産価格や収益率の期待値と変動リスクに関して、確率測度にもとづく理論的考察を行い、確率過程における母数推定での課題を指摘し、母数の事後分布の把握の重要性を指摘している。これを解決するためのモデルの重要性とそのため確率密度変換による表現について述べて、課題とその解決について明確にしている。

#### ② 金利変動モデルの提案

第二章において、不均一分散を持つ動的線形モデルによるドリフト項の扱いと、確率密度変換による誤差分布の扱いの二つ要因を識別して扱うためのモデルと方法について、そのベイズ確率モデルとしての理論的基礎から導いたモデルとして提案している。

#### ③ 妥当性の検証

第三章において、提案したモデルの妥当性について推定された母数分布やサンプルパスをもとに検証している。また、将来の変動を予測する「前向き推論」と過去の変動を検証する「後ろ向き推論」でも妥当な結果が得られたことを述べている。第四章では、従来のモデルでは適用な困難であった急激な構造変化があった場合についての適用でも、十分にその構造を抽出していることを述べている。

#### ④ 本研究の結論と今後の研究課題

本論文は、金利変動のデータについて、従来取り扱いが困難である裾の厚い誤差分布をもつ場合に、統計学的に適切に母数分布を推定できるデータ加増アルゴリズムを用いた動的線形モデルと確率測度変換によるモデルの提案とその妥当性について述べているものである。また、他分野のデータへの適用できる可能性についても述べている。

## (2) 本論文の特徴と意義

本論文は、次のような論文構成・研究内容上の特徴と、当該領域の研究開発上の意義、を持っていると考えられる。

- ①金融関係のデータの予測に関する課題を明確にするために、統計的モデルについて確率測度を用いて表現し、また、裾の厚い誤差分布が想定される場合に、従来の統計理論の適用を可能とするような確率密度変換を提案して一般化を行なっている点が理論的な大きな特徴である。
- ②さらに、短期間過程を扱う為に、データ加増型モデルとその母数分布の推定のための方法を提案して、さらに、変動が大きな場合に対しても適用して、モデルを検証しているのも特徴である。
- ③本論文の問題設定の仕方は、短期確率過程である1つのデータ(サンプルパス)から、構造変化も含むベイズ統計モデルの適用を提案しようとする点で、実際的である。
- ④本論文における研究方法は、妥当な確率測度の設定からその変換と理論的であるとともに、データ加増型アルゴリズムの提案という実際的な推定方法を含むものである。
- ⑤本論文は、確率過程において、実際の観測区間が短い場合へ、確率測度変換に基づくベイズ統計モデルの提案であるので、実際の場面での逐次的評価および他分野への適用可能性の点で高く評価できる。

## 2. 本論文の審査過程と総合評価

### (1) 審査の過程

本論文の審査は、2013年9月3日に第1回審査委員会を行い、本申請者から研究論文の提出と研究内容の報告を受け、質疑応答と研究評価及び論文構成・記述の問題点の指摘と改善の要請を行った。本申請者は適正に改善作業を進めた。

2014年2月8日に第2回審査委員会を行い、本申請者から改訂後の論文提出と研究内容の報告、特に、第1章の Mandelbort によるアプローチとの対応関係やその拡張、第4章の近年の実データへの適用におけるデータ加増型アルゴリズムの長所についての詳細な報告を受けた。質疑応答の後、審査委員は総合評価について議論した。

### (2) 審査の結果

各審査委員から提出された本論文に関する評価を総合すると、次のように表わされる。

#### ① 論文表現・構成

本論文は、問題提起、モデルと方法の提案、実証分析での検証から成っている。章立ても整理されている。文として読みにくい点の一部があるが、それは数理的な正確を表現するためのものであり、全体としては論旨の記述と展開も的確である。

#### ② 研究内容・構成

研究で扱ったデータは金融関係データと、ある意味今日的であるが、研究内容の基礎は確率過程における誤差分布に関するもので普遍的な研究内容である。特に、裾が厚い誤差分布の場合にも適用可能な確率測度変換を提案して、従来の統計学での枠組みでの展開に帰着できることを示し、また、その適用を行なったことは高く評価できる。

#### ③ 応用性

従来は誤差分布として正規分布を仮定したモデルが多いが、誤差の経験分布において観

測されることの多い、裾の厚い場合へも応用可能である。また、データ加増型アルゴリズムを用いているので、逐次推定が可能な点でも応用性は高い。このような点から、実際の場面においても極めて有効な実践的理論・手法となりうるであろう。

④ 実践力・研究力

申請者は、金利データを長年扱って来ている。その業務経験を通じた具体的な問題点の把握に見られる実務者としての能力と、それを、ベイズ統計モデルとして表現し活用できるようにすることに見られるアカデミックな研究者として能力を共に有していると判断される。これらから、妥協しない創造的志向性を備えた探索研究を行いながら、同時に経営での実践をも満足させようとしている点が特筆される。

以上の諸点を勘案し、審査委員一同全員一致で、峰村 英二氏は、博士(経営情報学)の学位を授与されるに値する、と判定する。

**【研究業績】**

**【単著】**

Minemura Eiji, An interest-rate model analysis based on Data Augmentation Bayesian Forecasting. Journal of Applied Statistics, 33, No.10, 2006, p. p. 1085-1104.

**【共著】 1 題 目**

峰村 英二・今泉 忠、動的線形モデルに基づくファット・テール分布の確率測度変換, 多摩大学研究紀要「経営・情報研究」, No. 17, 2013, p. p. 69-96.