

学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名	Jinghui Chen
学位の種類	博士（経済学）
学位記番号	国府博甲第17号
学位授与年月日	平成29年9月15日
学位授与の根拠	学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項
研究科(学府)・専攻名	国際社会科学府 経済学
学位論文題目	Testing for a Common Volatility Process and Frictionless Hedging in Bivariate Time Series Models and other improvement in model and method
論文審査委員	主査 横浜国立大学 教授 小林 正人 横浜国立大学 教授 永井 圭二 横浜国立大学 教授 大森 義明 横浜国立大学 准教授 鈴木 雅貴 一橋大学 教授 西出 勝正

論文の要旨

This paper contained three Parts:

Part I, I proposed a statistic test for common volatility process in bivariate time series model. We considers the problem as to whether financial returns have a common volatility process in the framework of stochastic volatility models that were suggested by [Harvey et al. \[1994\]](#). We propose a stochastic volatility version of the ARCH test proposed by [Engle and Susmel \[1993\]](#), who investigated whether international equity markets have a common volatility process. The paper also checks the hypothesis of frictionless cross-market hedging, which implies perfectly correlated volatility changes, as suggested by [Fleming et al. \[1998\]](#). The paper uses the technique of [Chesher \[1984\]](#) in differentiating an integral that contains a degenerate density function in deriving the Lagrange Multiplier test statistic.

Part II, I extend this model to more practical situation with stable distribution. Using

normal distribution to model the assets' return is not appropriate especially considering the rare events such as financial crisis. I suggest using Stable distribution which is more persuasively in fundamental generating process of price than other skewness and fat-tailed distribution. I also use state space model with α -Stable distribution to dynamically measure the changing of log-price, and catch different performance during different times. To compare the performance of different distribution, I use the Bayesian information criterion (BIC).

Part III, I learned a fast algorithm called fast Gaussian transform to accelerate the calculation in filtering and smoothing process. We focus on the description of this algorithm proposed in [Greengard and Strain \[1991\]](#). It is one of the fast algorithm called the fast multipole method (FMM). It use the two asymptotic expansion: the nearfield expansion well known as Taylor expansion, and the farfield multipole expansion named as Hermite expansion. There may be potential useful in high dimension particle filter and smoother, or multi-asset option pricing. It can be significant improvement for calculating the statistic proposed in Part I.

審査結果の要旨

本論文は、確率的に変動する分散を持つ二変数時系列モデルを stochastic volatility process (以降では SV と省略する) の枠組みで考察する。ファイナンスでの派生証券の価格付けには、条件付き分散変動のモデル化が重要な役割を果たし、Stochastic volatility process は、ARCH 型モデルとならび、分散変動のモデル化のための重要な枠組みであり、近年、急速に進歩している分野である。新しい派生証券の価格付けにおいては正確な条件付き分散変動のモデル化が中心的役割を果たすといっても過言ではない。

ARCH 型モデルは観測値の変動が次の期の誤差項の分散共分散を決定するという構造をもっており、拡張が比較的容易であり、多様な実用的分析手法が提案されており、広く使われて

いる。これに対して、SVにおいては、観測値の攪乱項とは独立に、誤差項の分散共分散構造を決定する攪乱項が存在する。このため、観測値の分布は第二の攪乱項を積分により消去して導出する。ここで膨大な計算量が必要とされ、多変量への拡張、正規分布以外の分布への拡張は極めて困難なものにならざるを得ない。

本博士論文では、二変量のSVモデルが共通のSVモデルを含むか否かの検定を導出する第一論文を中心とする。理論的な originality はきはめて高く、学会における大きな貢献として評価できる。第二論文では、正規分布の仮定という制約をはずす試みとして、stable distribution の導入をSVモデルで考察する。第三論文では、SVモデルの実用化における障害となる膨大な計算量の解決のため、fast gauss transform を用いたSVモデルの計算向上を考察する。第二論文、第三論文はいずれも第一論文をより現実的なモデルへと改良し、より効率的に推定するための試みであり、第一論文ほどの完成度はなく、独立した論文として出版するにはまだおおくの改善を必要とするが、SVの今後の発展的研究の第一歩であり、評価できる。

第一論文においては二変数の収益系列が単一のSV系列を共有するかどうかの検定を提案する。この検定は、金融市場の国際化にともない各国市場間で収益方向ばかりでなく、その変動の大きさも類似してきたという指摘に対して、数量的にその検証を行うことを可能にする。特に、金融危機においては、収益率ばかりでなく、volatility も軌を一にして拡大したといわれており、その数量的検証方法は重要な価値を持つ。

この問題のARCH型モデルでの検定はすでに多くの研究者によって提案されており、さまざまな問題に対して応用されており、その実用的な価値は確立されている。しかし、同じ問題にたいするSV型モデルに対する検定は存在せず、多様な分析手段を持つARCH型モデルとは対照的な状況であった。SVモデルにおいてこの問題に対する統計量が開発されていなかったのは、次の二つの難関があったからである。第一には、分散=0という仮説はパラメータ空間の境界にあるため、その上での最尤推定量の分布が左右対称にはならず、それを必要とするWald統計量や尤度比検定統計量は理論的分布から乖離するという問題であり、第二には、境界問題とは無縁なLagrange乗数統計量では、二変量volatility processの分布退化という帰無仮説のもと、無限大に発散する密度関数の積分が尤度の計算に必要とされるという問題である。

陳君は、Chesherが提案した手法を使うことにより、この無限大に発散する密度関数の積分という難問を回避した統計量の導出に成功した。

Chesher手法により理論的な困難は解消されたものの、数値的な計算量は莫大であり、通常のプログラミングではモンテカルロ実験を行うことが実際上不可能であり、導出された統計量の性質を実際に検証することができない。陳君は、行列計算ソフトMatlabの持つ並列計算機能を利用し、8個の計算プロセスを並行して行うことにより、大幅な計算時間の削減を達成し、

実際の統計量の分布が予想に一致することをしめした。

理論的な統計量の導出とその分布の確認ののち、(1) 株式市場の変動の国際的連関の有無を検証 (2) 為替変動の規模の大小により、volatility の連関の強度が変化するか否かの検証の二つの問題に対して実証分析を行い、いずれも興味深い結論を導き出している。

第二論文で扱う問題は、volatility を規定する確率変数の分布から正規性をはずし、より一般的なものに発展させることである。論文の作成過程に第一において明らかになったのは、volatility を規定する確率変数の分布に正規分布を置くことが、現実的なモデルの作成に重大に制約になっていることである。陳君は正規分布を含むより広いカテゴリーである **stable distribution** を取り上げ、これが SV モデルに応用可能であるかを検証し、肯定的な結論を得ている。ファイナンスの分野での論文として独立させるには、t 分布などの既存の分布との比較が望ましいが、**stable distribution** という選択肢をこの分野にとりいれた貢献は大きい。

第三論文は、数値計算の高速化技法である **fast Gaussian transform** を SV model の推定に応用する試みである。この手法は **option pricing** などの数値計算の高速化方法として Finance 分野では広く使われているが、SV model での推定に直接利用した例は極めて限定されている。陳君は、極めて単純な例であるが、この手法により精度を保ちながら計算時間が劇的に短縮されることを示し、**particle filter** などの手法と併用することにより、推定や予測に必要とする時間が短縮可能であることを示唆した。独立した論文として出版可能な完成度には達していないが、SV の推定においてはこの手法をもちいることにより解決可能と予想される問題は数多く存在し、本章の内容は今後の研究の発展にたいしては極めて有望なものである。

なお本論文の第一章の内容は、日本統計学会英文誌において、査読の上、出版許可が出ている。

以上のことから、本論文審査委員一同は、本研究科の博士号審査基準①に照らして、氏の学位請求論文「**testing for a common volatility process and frictionless hedging in bivariate time series models and other improvement in model and method**」が博士（経済学）の学位を授与するに値するものとして、判断する。

注 論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。