

博士学位請求論文審査報告

申請者：Md. Ashraful Islam Khan

論文題目：Modeling and Forecasting Asset Return Volatility by Support Vector Machine and Heterogeneous Autoregressive Model

1. 論文の主題と構成

近年、資産価格のボラティリティの推定量として注目を集めているものに **Realized Volatility (RV)** がある。これは日中リターンの2乗を一日分足し合わせたもので、もし価格にノイズがない場合、日中リターンの時間間隔が短ければ日次ボラティリティの精度の高い推定量となる。このRVの日々の変動を表すモデルに Corsi (2009) の提案した異質的自己回帰 (**Heterogeneous Autoregressive; HAR**) モデルがある。このモデルは、現在のRVを1日前のRV、過去1週間のRVの平均、過去1ヶ月のRVの平均といった期間の異なるボラティリティの線形関数として定式化する。そのため、OLS で簡単に推定が行え、かつ将来のボラティリティの予測パフォーマンスが良いので、よく用いられている。

Khan 氏の提出した博士学位請求論文は、日経 225 株価指数のRVに過去の値との線形関係だけでなく、非線形関係が存在することを明らかにした上で、**Support Vector Machine (SVM)** と呼ばれる機械学習の手法によってRVの非線形性を考慮してHARモデルのパラメータを推定することにより、リスク管理で重要な、ボラティリティの予測、**Value-at-Risk**、オプション価格の評価のパフォーマンスが改善するかどうか実証分析を行ったものである。

論文の構成は以下の通りである。

Chapter 1. Introduction

Chapter 2. Volatility Estimation

Chapter 3. Modeling and Forecasting Realized Volatility

Chapter 4. Modeling and Forecasting Daily Value-at-Risk

Chapter 5. Option Pricing and Trading

Chapter 6. Concluding Remarks

2. 各章の概要

Chapter 2-5 の各章の内容は次の通りである。

Chapter 2 Volatility Estimation では、まず、真のボラティリティである **Integrated Volatility** とその推定量である **Realized Volatility (RV)** を定義し、マイクロストラクチャノイズによるRVのバイアスの除去の方法、昼休みや夜間など取引のない時間帯の取り扱い、価格がジャンプする場合のRVの計算方法など、この分野の重要事項を整理している。次に、日経 225 のRVの計算方法を説明し、その基本統計量に基づいてRVの統計的性質を議論している。

最後に、BDS 統計量と CCK 統計量を用いて、RV に過去の値との有意な非線形依存関係が存在するとの結果を示しており、この結果が以後の分析に SVM を用いる動機となっている。

Chapter 3. Modeling and Forecasting Realized Volatility では、SVM と HAR モデルについて解説を行った後、Chapter 2 で計算した日経 225 の RV を用いて実証分析を行い、HAR モデルのパラメータを SVM を用いて推定することにより、将来のボラティリティの予測パフォーマンスが改善するとの結果を示している。また、株式市場では株価が下がった日の翌日にボラティリティがより上昇する傾向があるので、そうしたボラティリティ変動の非対称性を考慮した HARX モデルや RV から有意なジャンプを除去し、代わりに過去の有意なジャンプを HAR モデルの説明変数に加えた HAR-CJ モデルも用いており、いずれも SVM を用いてパラメータを推定することにより予測パフォーマンスが改善することを示している。

Chapter 4. Modeling and Forecasting Daily Value-at-Risk では、HAR モデルのパラメータを SVM を用いて推定することにより、Value-at-Risk のパフォーマンスも改善することを Kupiec (1995) の尤度比検定と Engle and Managanelli (2004) の検定によって示している。Value-at-Risk ではボラティリティだけでなく、日次リターン分布も重要なので、本章では、正規分布に加え、分布の裾の厚いスチューデントの t 分布や左右非対称な歪みを持つスチューデント t 分布も用いている。また、比較のため、日次リターンのみを用いる GARCH、EGARCH、APGARCH モデルも用いている。その結果、リターンの分布を歪みを持つスチューデント t 分布にした HAR モデルを SVM で推定した場合が最もパフォーマンスが良いことを示している。

Chapter 5. Option Pricing and Trading では、HAR モデルのパラメータを SVM を用いて推定することにより、オプション価格評価のパフォーマンスが改善するかどうか実証分析を行っている。そこでは、投資家がストラドルと呼ばれるオプションの投資戦略を用いるものと仮定し、どのモデルでボラティリティを予測した場合に最も高い利潤が得られるかという観点から比較を行っている。その結果、やはり SVM を用いて HAR モデルのパラメータを推定すると利潤が最も高くなることを示している。

3. 全体的な評価

このように SVM を RV の分析に応用した研究は本論文が初めてであり、また、SVM を用いることにより、ボラティリティの予測、value-at-Risk、オプション価格の評価すべてにおいてパフォーマンスが改善するという本論文の結果は SVM の有用性を示唆するものとして重要である。現時点では Chapter 3 と Chapter 4 の元論文がそれぞれ International Journal of Economics and Finance、Journal of Economics and International Finance といずれも査読付き学術誌に掲載されることが決まっている。また Khan 氏は入学時にはファイナンスをほとんど知らなかったが、入学後 3 年間である程度のレベルの計量ファイナンスの論文を書けるようになり、その努力と生産性の高さから今後も優れた研究活動が続けることが期待できる。

その一方で、2011 年 3 月 12 日に実施された口述審査では、まだ問題点が多く、審査員が

ら多くの質問やコメントが寄せられた。まず、リターンに過去の値との非線形関係が存在することはよく知られているが、ボラティリティにそうした非線形関係が存在することは明らかになっていないので、ボラティリティに非線形関係が存在するかどうか統計的検定を行うべきであるとの指摘がなされた。また、ボラティリティに有意な非線形関係が存在するのであれば、それは具体的にどのような非線形関係で、そのような非線形関係が生じる原因についても明らかにすべきとの指摘もなされた。次に、RV の計算では、マイクロストラクチャノイズによるバイアスの除去が重要であるにもかかわらず、それを行っていないとの指摘もあった。さらに、英文の文法が間違っていて意味不明の箇所が多々あるとの指摘もあった。その他、改訂に向けて多数の助言が得られた。

Khan 氏はそれ以降、これらのコメントを十分に反映させるべく改訂作業を進めてきた。ボラティリティにどのような非線形関係が存在するか、またボラティリティに非線形性が生じる原因については依然分析がなされていないが、その他の点については新たな実証分析を行うなどほぼ満足のゆく改訂がなされている。また、英文については、ネイティブチェックを受けることにより、意味不明な箇所はなくなった。こうして改訂された学位請求論文は審査員の指摘を反映したものとなり、全員の了解を得られた。

以上から、われわれ審査員一同は、Khan 氏が一橋大学博士（経済学）の学位を授与されるべき十分な資格を有していると判断する。

2011 年 11 月 9 日

審査員	石村	直之	
	黒住	英司	
	下津	克己	
	本田	敏雄	
	渡部	敏明	(主査)