

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：35402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330047

研究課題名(和文) 実現ボラティリティ分布に基づくボラティリティ変動モデルの構築とその応用

研究課題名(英文) Construction of stochastic volatility model based on realized volatility distribution and its application

研究代表者

高石 哲弥 (Takaishi, Tetsuya)

広島経済大学・経済学部・教授

研究者番号：60299279

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：実現ボラティリティを様々なサンプリング時間で計算し、その性質を調べた。実現ボラティリティを利用した実現確率的ボラティリティ変動モデルの推定を行うハイブリッドモンテカルロ法を開発した。ハイブリッドモンテカルロ法は並列化が可能であるので、パソコンのGPU計算を実行するプログラムを開発した。GPU計算の方がパソコン上のCPU計算よりも高速に計算できることが分かった。また、容易にGPUプログラムが作成できるOpenACCも利用し、従来から利用されているCUDAと同等の計算速度が達成できることが分かった。

研究成果の概要(英文)：We investigated properties of the realized volatility calculated with various sampling times. The hybrid Monte Carlo algorithm that infers the realized stochastic volatility model was developed. Since the hybrid Monte Carlo algorithm can be parallelized we made a program that executes the GPU calculation. We find that the GPU calculation is faster than the CPU calculation on a personal computer. We also use the OpenACC that enables us to make a GPU program easily, and find that the computational speed of the OpenACC is comparable with that of the CUDA.

研究分野：計算科学

キーワード：マルコフ連鎖モンテカルロ法 ハイブリッドモンテカルロ法 SVモデル GPU計算 実現ボラティリティ OpenACC

1. 研究開始当初の背景

(1) 金融資産の収益率の変動の大きさは一般にボラティリティと呼ばれ、金融資産のリスク管理に必要な重要なものである。しかし、金融資産の日次収益率データのみからは、日次のボラティリティを得ることができない。そのため、良く利用される方法は、金融資産の収益率時系列データをモデル化し、そのモデルのパラメータを推定して、ボラティリティを見積もる方法である。様々なモデルが提案されている中で、良く利用されているモデルが確率的ボラティリティ変動モデルである。このモデルのパラメータ推定には、ベイズ推定が用いられることが多く、ベイズ推定の実行にはマルコフ連鎖モンテカルロ法が用いられる。マルコフ連鎖モンテカルロ法はコンピュータで実行されるが、確率的ボラティリティ変動モデルは、変数の数が多く、計算量を多く必要とするため、効率的なマルコフ連鎖モンテカルロ法を実行するアルゴリズムの研究がなされている。

(2) 近年高頻度データを利用した実現ボラティリティが計算されるようになってきている。実現ボラティリティの利点は直接、日次ボラティリティが計算出来ることであるが、計算された実現ボラティリティは、マイクロストラクチャーノイズ等のバイアスを含んでおり、このバイアスをコントロールする必要がある。実現ボラティリティの情報を取り込み、かつ実現ボラティリティのバイアスも修正するモデルとして、実現確率的ボラティリティ変動モデルがある。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、高頻度データにより計算される実現ボラティリティに現れるバイアスの性質について、様々なサンプリング時間での実現ボラティリティを計算して、その性質を調査する。

(2) 近年、実現ボラティリティを取り入れた実現確率的ボラティリティ変動モデルが提唱されている。このモデルは、実現ボラティリティのバイアスを修正するパラメータを持ったモデルである。本研究では、この実現確率的ボラティリティ変動モデルの推定をハイブリッドモンテカルロ法で行う。その為、まずハイブリッドモンテカルロ法の効率化を研究する。更に、ハイブリッドモンテカルロ法の利点は並列化できることであるので、パソコンのGPU計算によって並列計算を行い、パソコンでも実現確率的ボラティリティ変動モデルの推定が高速で行えることを実証する。そして、実際の高頻度データを利用した推定を実行する。

3. 研究の方法

(1) 実現ボラティリティは高頻度データのサンプリング時間がゼロの極限で積分ボ

ラティリティに一致するが、有限のサンプリング時間ではバイアスが生じる。このバイアスについて、収益率を実現ボラティリティで標準化した量が標準正規分布を再現するかどうかによって調査をする。

(2) 実現確率ボラティリティ変動モデルの推定を行うハイブリッドモンテカルロ法の効率化を研究する。具体的には、ハイブリッドモンテカルロ法の中で利用される分子動力学シミュレーションにおける積分法を研究する。

(3) ハイブリッドモンテカルロ法は並列化が可能なので、実現確率ボラティリティ変動モデルの推定をパソコンのGPUで計算できるプログラムを開発する。そして、CPU計算もできるようにし、GPU計算とCPU計算の計算速度を比較する。また、GPU計算のプログラムをCUDAとOpenACCの両方で開発し、計算速度を比較する。

(4) 実現確率的ボラティリティ変動モデルを利用して、株価収益率のボラティリティを推定する。この時、様々なサンプリング時間の実現ボラティリティを利用して推定を行い、実現ボラティリティへのバイアスがどのように変化するかを調べる。

4. 研究成果

(1) 実現ボラティリティに現れるバイアスの影響を調べるために、様々なサンプリング時間で実現ボラティリティを計算し、収益率を実現ボラティリティで標準化した量を調べた。バイアスがなければ、収益率を実現ボラティリティで標準化した量は標準正規分布に従う。本研究では、標準化した量の10次モーメントまで調べた。これまでの研究では、4次モーメントまでしか調べられていないので、高次モーメントまで調べたのは、本研究が初めてである。標準正規分布のモーメントと比較すると、有限のサンプリング時間では標準正規分布のモーメントからずれており、サンプリング時間が大きくなるとずれが大きくなることが分かった。また、そのズレは理論計算から予想される値と一致することがわかった。

また、イジングモデルをベースにしたモデルによって人工的に生み出した収益率データに対しても、実現ボラティリティを様々なサンプリング時間で計算し、バイアスの影響を調べた。図1と図2はそれぞれ、8次モーメントと10次モーメントの結果を表している。サンプリング時間 t が大きくなるとモーメントは小さくなっている。サンプリング時間 t がゼロの極限である値に収束しているが、その値が標準正規分布のものとは一致する。

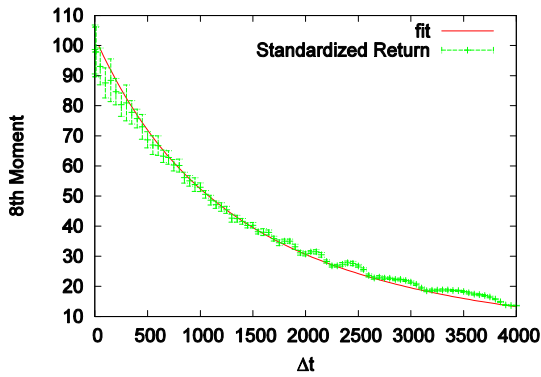


図 1 : 実現ボラティリティで標準化した量の 8 次モーメント

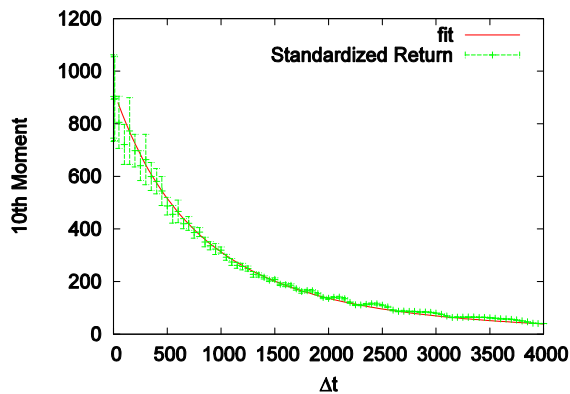


図 2 : 実現ボラティリティで標準化した量の 10 次モーメント

(2) ハイブリッドモンテカルロ法は分子動力学シミュレーションとメトロポリス法を組み合わせたマルコフ連鎖モンテカルロ法である。ハイブリッドモンテカルロ法の効率を高める方法はいくつかあるが、本研究では分子動力学シミュレーションで利用される積分法による効率化を研究した。標準的には、ハイブリッドモンテカルロ法の積分法としてリープフロッグ (LF) 法が利用される。これは 2 次の積分法であり、その他に高次の積分法も存在する。高次の積分法は積分誤差が小さくなるが、その一方で計算量が多くなるので、高次積分法がより効率が良いとは一概に言えない。これまでに、2 次の積分法で LF 法よりも積分誤差の小さい MN 法というのを研究してきた。本研究でもこの MN 法を実現確率的ボラティリティ変動モデルの推定に利用した。

図 3 は LF 法と MN 法による効率を比較したものである。横軸はハイブリッドモンテカルロ法のアクセプタンスを表し、縦軸が効率を表す。LF 法はアクセプタンスが 0.6 で最大値を取り、MN 法は少し高い 0.8 で最大値をとっている。そして、最大値での効率を比べると、MN 法の方が LF 法よりも約 3 倍効率がよく、MN 法の効率が良いことが分かった。

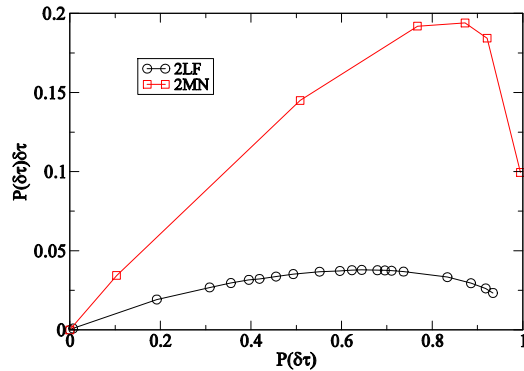


図 3 : LF 法と MN 法の効率の比較

(3) ハイブリッドモンテカルロ法は並列化が可能であるので、GPU 計算による並列計算が可能である。本研究では、GPU 計算とパソコン上の CPU 計算で計算速度の比較を行った。GPU 計算には、Nvidia 社の Geforce GTX 760 を利用した。パソコンは、Intel i7-4770 3.4GHz CPU のパソコンを利用した。

図 4 は CPU 計算と CUDA Fortran でプログラミングした GPU 計算の計算時間の結果である。横軸はボラティリティ変数の数である。計算時間は CPU 計算の方が多くかかっており、GPU 計算の方が速いことが分かる。

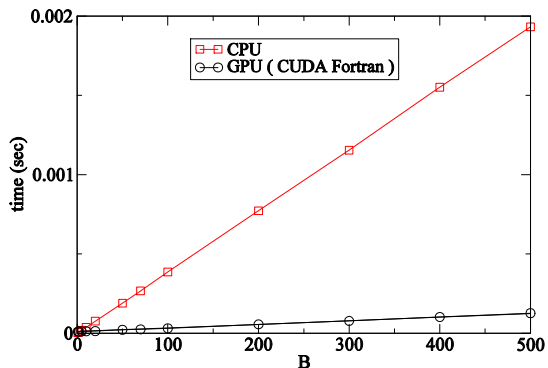


図 4 : CPU と GPU (CUDA Fortran) の計算時間の比較

図 5 は GPU 計算が CPU 計算よりどれくらい速いかを表したもので、CPU の計算時間 ÷ GPU の計算時間を表示している。変数の数が大きいほど GPU 計算の方がより速くなり、変数の数が大きい極限で約 1.7 倍の計算速度となっている。よって、GPU 計算によって実現確率的ボラティリティ変動モデルの推定が高速で行えることが分かった。

Nvidia 社の GPU 計算ではプログラミングの統合環境である CUDA が利用されることが多いが、コーディングは煩雑になりがちである。近年、OpenACC という既存のプログラムにディレクティブを挿入することによって GPU 計算ができるものが出現してきた。これを利用すると、コーディングの時間を格段に少なくすることができる。本研究では、CUDA と OpenACC での計算速度も比較した。

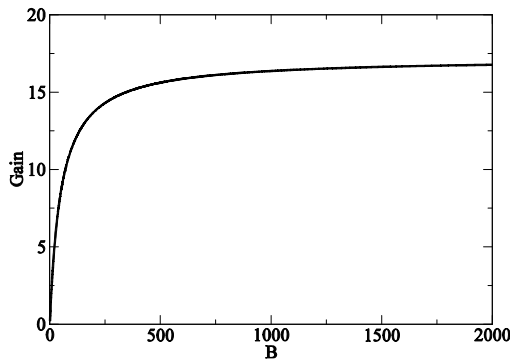


図5 : GPU 計算による高速化 (CPU 計算時間 ÷ GPU 計算時間)

図6はCUDAとOpenACCでの計算速度を比較したものである。そのまま単純にディレクティブを挿入しただけでは、計算速度は上がらないが、データ転送に関する適切なディレクティブを挿入することによってCUDAと同等の計算速度になることが判明した。

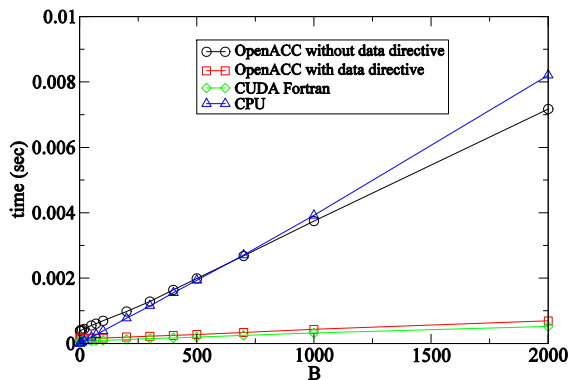


図6 : CUDA と OpenACC による計算時間の比較

(4) 野村ホールディングス(株)の高頻度データ2006年6月3日から2009年12月30日を利用して、実現確率的ボラティリティ変動モデルの推定をハイブリッドモンテカルロ法によって実行した。

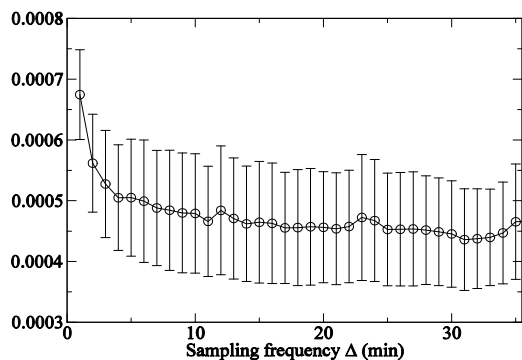


図7 : 平均ボラティリティのサンプリング時間依存性

図7は推定によって求めたボラティリティの平均値を図示したものである。横軸はサンプリング時間である。実現ボラティリティへのバイアスがどのサンプリング時間で

も修正されていれば、これらの値は同じになるはずであるが、サンプリング時間が小さい所で大きくなっている。これは、実現確率的ボラティリティ変動モデルの修正パラメータで修正しきれないバイアスがサンプリング時間の小さい領域に残っている可能性を示している。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

T.Takaishi, W.Watanabe, Analysis of Realized Volatility for Nikkei Stock Average on the Tokyo Stock Exchange, Journal of Physics: Conference Series, 710, 12010 [9pages] 2016. (査読有)
DOI:10.1088/1742-6596/710/1/012010

T.Takaishi, Bayesian Inference of Realized Stochastic Volatility Model and Bias of Realized Volatility, International Journal of Engineering Science and Innovative Technology, 4, 1-7, 2015. (査読有)
http://www.ijesit.com/Volume%204/Issue%206/IJESIT201506_01.pdf

T.Takaishi, Some properties of multiple time series Ising model in financial market simulations, 2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems, 104-108, 2015. (査読有)
DOI: 10.1109/CYBER.2015.7287918

T.Takaishi, GPU Computing in Bayesian Inference of Realized Stochastic Volatility Model, Journal of Physics: Conference Series 574, 012143 [5pages], 2015. (査読有)
DOI:10.1088/1742-6596/574/1/012143

T.Takaishi, Multiple Time Series Ising Model for Financial Market Simulations, Journal of Physics: Conference Series 574, 012149 [4pages], 2015. (査読有)
DOI:10.1088/1742-6596/574/1/012149

T.Takaishi, Realized Volatility Analysis in A Spin Model of Financial Markets, JPS Conf. Proc. 1, 019007 [4pages], 2014. (査読有)
DOI: 10.7566/JSPC.1.019007

T.Takaishi, Bayesian estimation of realized stochastic volatility model by Hybrid Monte Carlo algorithm, Journal of Physics: Conference Series 490 012092

[4pages], 2014. (査読有)
DOI:10.1088/1742-6596/490/1/012092

〔学会発表〕(計 4 件)

T.Takaishi, Y.Liu, T.T.Chen, An application of the hybrid Monte Carlo for the realized stochastic volatility model, LATTICE 2015, 2015 年 7 月 15 日, Kobe International Conference Center (兵庫県神戸)

T.Takaishi, Y.Liu, Accelerating the hybrid Monte Carlo algorithm by GPU computing for the realized stochastic volatility model, GTC Japan 2015, 虎の門ヒルズフォーラム(東京港区)

高石哲弥, GPGPU Computing in Financial Time Series, GTC Japan 2014, 2014 年 7 月 16 日、東京ミッドタウンホール&カンファレンス(東京都港区)

高石哲弥、ハイブリッドモンテカルロ法による実現確率的ボラティリティモデルのベイズ推定、日本金融・証券計量・工学学会、2013 年 8 月 4 日、明治大学(東京)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高石 哲弥 (TAKAISHI, Tetsuya)
広島経済大学 経済学部 教授
研究者番号: 60299279