

機関番号：34504

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19730159

研究課題名 (和文) 高頻度データによる金融市場のミクロ構造に関する研究

研究課題名 (英文) A research on the market microstructure of financial markets by using high frequency data

研究代表者

森本 孝之 (MORIMOTO TAKAYUKI)

関西学院大学・理工学部・専任講師

研究者番号：80402543

研究成果の概要 (和文)：まず、金融データの価格変化における飛躍の検出を研究し、米国同時多発テロ事件、米連邦準備制度理事会の公開市場操作、日銀の外国為替平衡操作を取り上げ、市場への情報流入が価格変化にどのような影響を与えるかを分析した。さらに、高頻度収益率に生じる市場のミクロ構造ノイズを共分散行列から除去する効率的な手法の開発を研究し、ランダム行列の最大固有値の漸近的性質に着目し、そのノイズに対する統計的仮説検定を提案した。

研究成果の概要 (英文)：First, I studied jumps in financial markets. To analyze information inflow and its impact on the markets, I covered events such as the attacks of September 11 2001, the open market operations of the Federal Reserve Board, and the Bank of Japan intervention. Second, I studied an efficient technique for removing "market micro structure noise" induced by sampling high-frequency data. It was well-known that the noise caused covariance estimators to be biased. Therefore, I proposed a statistical hypothesis testing to filter the noise by focusing on an asymptotic property of the maximum eigenvalues of random matrices.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1300000	0	1300000
2008年度	600000	180000	780000
2009年度	600000	180000	780000
2010年度	600000	180000	780000
年度			
総計	3100000	540000	3640000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経済学・経済統計学

キーワード：市場のミクロ構造ノイズ、高頻度データ、実現ボラティリティ、実現共分散行列、Lee-Mykland 統計量、価格変化における飛躍 (ジャンプ)、ランダム行列、Tracy-Widom 分布

1. 研究開始当初の背景

本研究では、株式、為替あるいは金利といった現実の高頻度金融データを用い、非完備市場でのより現実妥当性のある金融派生商品の価格付け、リスク管理などのモデルを数理ファイナンス理論とそれに基づく実証分析により考察する。非完備市場における金融派

生商品の評価とリスク管理というこれまでに無い研究テーマを迫するため、現実の高頻度金融データを用い分析する。このような分析手法は、現在でも未知な部分も多く、また高度な数値計算が必須なものである。そのため、データに関しては東証1部上場企業の高頻度金融データを用い、高度な数値計算技

術を駆使し、上述したような分析、つまり数理ファイナンス理論の現実妥当性を実際のデータを使い検証する。国内における本研究と類似の体系的な研究は前例を見ないが、国外に目を転ずれば、高頻度データの取引間隔をモデル化した(3)、日内の高頻度収益率の2乗和として計算されるリアライズドボラティリティ(RV)の有用性を説いた(1)、このRVを用いた時系列中に存在するジャンプを検出する検定を提案した(2)などがある。ただし、こうした研究は未だに理論的な基礎を構築している段階であり、実際的な応用は始まったばかりである。そこで本研究では、こうした基礎研究を踏まえ、現実のデータに即したオプション評価、リスク管理の技法を構築する。

- (1) Andersen, T. G., Bollerslev, T., Diebold, F. X., and Labys, P. (2003), "Modeling and Forecasting Realized Volatility," *Econometrica*, 71, 579-625.
- (2) Barndorff-Nielsen, O. E. and Shephard, N. (2004), "Power and Bipower Variation with Stochastic Volatility and Jumps," *Journal of Financial Econometrics*, 2, 1-37.
- (3) Engle, R. and J. Russell (1998), "Autoregressive conditional duration: a new model for irregularly-spaced transaction data", *Econometrica*, 66, 1127-1162.

2. 研究の目的

近年の急速な電子計算機技術の発達によって、金融の世界ではいわゆる高頻度データ(High Frequency Data in Finance, HFDF)が容易に利用できるようになった。このデータ(HFDF)は、金融のマイクロ構造分析において重要な役割を果たす日内の取引に関する重要な情報を提供する。しかしながら、HFDFは日次あるいは月次といった従来からある経済データとは極めて異なる性質を持っている。それは観測される時点間の間隔(デュレーション)が一定ではなく(つまり等間隔ではなく)、さらに一日の時間帯によって季節性ともいえるべき、ある種の周期性をも認めることができる。一方、オプション評価やリスク管理といった場面でGARCHあるいはSVモデルなどが頻繁に利用されているが、こういった等間隔のデータを前提としたモデルをそのままHFDFに適用しても正確に分析することはできない。そこで、いくつかの文献においてHFDFを扱う新しい時系列モデルが提案されつつある。また、金融工学の分野においてヨーロッパ・オプションの陽解が与えられて以来、「無裁定」と「市場の完備性」というキーワードを基に実務家・理論家の間で多くの金融(派生)商品

が開発されてきた。しかしながら、いくつかの実証的な研究結果によると、現実の金融市場においては無裁定性と市場の完備性が保障され得ないことが分かっている。このような市場においては、投資家の持つ情報の非対称性あるいはその他の原因に起因するジャンプ(anomaly)が存在し、原資産価格プロセスが幾何ブラウン運動に従わない可能性が存在する。本研究の独創性は、上述の2つの大きな課題を、統計学と金融工学の統合的なモデルとして扱っていく点にある。このようなアプローチは、日本はもとより世界的にも稀であり、予想される結果としては、高頻度データを基にした新しい金融商品の開発ということが期待されるであろう。また、伝統的な金融経済学の観点からは、日本の金融市場のマイクロ構造分析の体系的な実証研究として意義のあるものとなるであろう。本研究では、1で述べた先行研究を基に日本の金融市場におけるマイクロ構造の体系的な研究を行う。具体的には、高頻度金融データを用い(1)より適切な派生証券の価格付け、及び市場リスクの計測(2)金融資産の収益率過程に含まれる不連続な部分(ジャンプ)を検出(3)ボラティリティ、デュレーション(取引間隔)、ボリューム(出来高)の体系的な分析を研究期間内に行うことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) (2007年度)本研究を進める上で最も大切となる高頻度データの分類、加工を中心に行う。研究目的で述べたように、高頻度データは日次あるいは月次といった従来の経済データとは極めて異なる性質を持っている。まず、高頻度データは取引間隔が不均等であるため、サンプリングに際し、1. 不均等間隔のまま利用する。2. 何らかの方法で等間隔データに変換する。という2つの選択が考えられる。そこで本研究では、購入を予定している高性能コンピュータを駆使し、上述の1と2の方法によりデータを抽出する。それによって、次年度以降における分析において、例えば、不均等データと等間隔データとの比較実証研究といった幅広い分析が可能となる。また、本研究(「高頻度データによる金融市場のマイクロ構造に関する研究」)計画を遂行するための研究体制については、研究代表者を中心とした下記に挙げる研究資金、研究者とも有機的に連携を図り研究活動を実行した。

- ① 日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究B)「高頻度データによる株価・為替レートの計量ファイナンス分析」(研究代表者: 広島大学大学院社会科学部教授 前川 功一)

- ② 名古屋大学 21 世紀 COE プログラム「計算科学フロンティア」コンピュテーショナル・エコノミクス研究会「株価変動の因果性ネットワークに関する研究」(共同研究者: 名古屋大学大学院工学研究科計算理工学専攻 COE 研究員 橋 完太)
- ③ 第 12 回(2006 年度)日本商品先物振興協会 研究調査助成対象研究「商品先物市場のボラティリティ分析」(研究代表者: 名古屋市立大学大学院経済学研究科教授 程島 次郎)
- ④ 情報・システム研究機構 統計数理研究所 共同研究「計量ファイナンスにおける離散モデリングとその応用」(研究代表者: 統計数理研究所モデリング研究系助教授 川崎 能典)

(2) (2008 年度以降) 2007 年度に整備した高頻度データベースを生かし, 本格的な分析に入る. 具体的には, 生データから加工された 2 種類のデータ (1: 不等間隔データと 2: 等間隔データ) に対して, まずデータ 1 では, 時間間隔自体をモデルする必要があるため, それに対してデュレーション・モデルを, また取引ごとに生起する価格過程に対しては, 何らかの離散的なモデルが必要となる. さらに, 前述の 2 つのモデルを組み合わせたマーク付き点過程の適用も視野に入れる. 次に, データ 2 については, 等間隔であることから基本的に通常の時系列モデルを用い分析を進めることができる. そこで, データ 1 において用いたモデルとデータ 2 でのモデルの比較を行うことにより, より適切な金融市場分析にはどのようなデータを用いるべきか, という問題について議論することができる. こういった統計的な分析を用い, 高頻度データによる金融市場のマイクロ構造に関する研究を進めていく. また, 2008 年度以降の研究体制は, 2007 年度で本研究を中心とする高頻度金融市場分析のネットワークを構成していた研究グループのうち 2 つが抜け, 次のような体制で行った.

- ① 日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究 B)「高頻度データによる株価・為替レートの計量ファイナンス分析」(研究代表者: 広島大学大学院社会科学研究科教授 前川 功一)
- ② 情報・システム研究機構 統計数理研究所 共同研究「計量ファイナンスにおける離散モデリングとその応用」(研究代表者: 統計数理研究所モデリング研究系助教授 川崎 能典)

2008 年度以降は, こういった研究者グループとの連携以上に, 証券会社, 銀行等の実務家との連携や学会, 研究会での活動を重視していく. というのも研究目的で述べたように, 本研究の最終的な目的は, 高頻度データを基

にした新しい金融商品の開発, 及び日本の金融市場のマイクロ構造分析の体系的な実証研究という観点であるから, こういった金融機関に所属する実務家あるいは学会等での異分野の研究者との交流あるいは連携無くしては本研究の大きな進展は望めないからである. 具体的には, 証券会社, 銀行, 事業会社の実務家や経済学部出身に加え理学部, 工学部出身の研究者が多く在籍する, 日本金融・証券計量・工学学会 (JAFEE), 日本保険・年金リスク学会 (JARIP) といった学会を通じた実務家や異分野の研究者からのフィードバックを通じて, 上に挙げた所与の目的を研究期間内に遂行していく.

4. 研究成果

(1) (2007 年度) 年度前半は, まず本研究を進める上で最も大切となる高頻度金融データ, そしてその分析に必要なコンピュータ等の備品を購入し準備した. そして年度後半は, 実際の研究として「金融資産の収益率過程に含まれる不連続な部分 (ジャンプ) を検出」に関する分析を行った. この分析を行うために用いられたデータ系列は, 東京証券取引所 1 部上場の 500 銘柄, TOPIX 株価指数, そして円ドル為替レートの高頻度収益率系列である. 分析手法としては, 日内高頻度データに基づいた実現ボラティリティ (realized volatility, RV) の拡張である realized multipower variation (MPV) を用いた Lee and Mykland (2007) 統計量により価格変化における飛躍 (ジャンプ) を検出する. 分析結果としては, まずジャンプの頻度に関しては, ジャンプ確率が非常に低い銘柄が存在するが, 反面, 頻繁にジャンプが発生する銘柄も存在し, ジャンプの大きさも平均で正值の銘柄, 負値の銘柄が両方見られた. さらに, 米国同時多発テロ事件, 米連邦準備制度理事会 (FOMC) の公開市場操作, 及び日銀による外国為替平衡操作 (FXIO) を取り上げ, 市場への情報流入 (ニュース) がジャンプにどのような影響を与えるかを分析した. ニュースが発表された日のジャンプの発生確率では, 有意にニュースが発表された日の方が高かった. しかし, ジャンプの大きさは FOMC ではニュースの有無に関係なく, FXIO では有意に差があるという結果となった.

(2) (2008 年度) ジャンプの数理統計理論的な側面に焦点を当てるため, 研究協力者として増田弘毅 (九州大学数理学府) 氏も分析に加わっていただいた. 具体的には, 「金融資産の収益率過程に含まれる不連続な部分 (ジャンプ) を検出」に関する分析を行った. この分析を行うために用いられたデータ系列は, 東京証券取引所 1 部上場の 500 銘柄,

TOPIX 株価指数，そして円ドル為替レートの高頻度収益率系列である．分析手法としては，日内高頻度データに基づいた実現ボラティリティ (realized volatility, RV) の拡張である realized multipower variation (MPV) を用いた Lee and Mykland (2008) 統計量により価格変化における飛躍 (ジャンプ) を検出する．分析結果としては，まずジャンプの頻度に関しては，ジャンプ確率が非常に低い銘柄が存在するが，反面，頻繁にジャンプが発生する銘柄も存在し，ジャンプの大きさも平均で正値の銘柄，負値の銘柄が両方見られた．さらに，米国同時多発テロ事件，米連邦準備制度理事会 (FOMC) の 公開市場操作，及び日銀による外国為替平衡操作 (FXIO) を取り上げ，市場への情報流入 (ニュース) がジャンプにどのような影響を与えるかを分析した．ニュースが発表された日のジャンプの発生確率では，有意にニュースが発表された日の方が高かった．しかし，ジャンプの大きさは FOMC ではニュースの有無に関係なく，FXIO では有意に差があるという結果となった．

(3) (2009 年度) 年度前半は，昨年度の中心的研究「金融資産の収益率過程に含まれる不連続な部分 (ジャンプ) の検出」の研究結果を日本統計学会和文誌に掲載出版した．年度後半は，これまでの単変量日内高頻度データに対する分析を多変量に拡張することを研究の主題とした．特に高頻度データを用いることによって生じる市場のマイクロ構造ノイズ (Market microstructure noise) を実現共分散行列 (realized covariance matrix) から取り除くより簡便かつ効率的な手法の開発を研究の目標とした．このマイクロ構造ノイズを取り除く先行研究としては，交差積和行列を固有値分解しランダム行列の最大固有値よりも小さな固有値に対応する成分をノイズとみなし，それを除去する手法がある．しかし，既存の手法では，ランダム行列の最大固有値の漸近性を考慮せず，その収束値のみを用いるため，本質的なボラティリティを誤ってノイズとみなす危険性が定量的に評価されない可能性がある．そこで本研究では，ランダム行列の最大固有値は漸近的に Tracy-Widom 分布に従う性質を用い，共ボラティリティのノイズに対する統計的仮説検定を提案した．この提案手法を用いることにより，ノイズに影響されないより安定した実現共分散行列を推定することができた．

(4) (2010 年度) 昨年度に引き続き，多変量の日内高頻度データに対する分析を中心に研究を行った．特に高頻度データを用いることによって生じる市場のマイクロ構造ノイズ (Market microstructure noise) を実現共

分散行列 (realized covariance matrix) から取り除くより簡便かつ効率的な手法の開発を研究の目標とした．このマイクロ構造ノイズを取り除く先行研究としては，交差積和行列を固有値分解しランダム行列の最大固有値よりも小さな固有値に対応する成分をノイズとみなし，それを除去する手法がある．しかし，既存の手法では，ランダム行列の最大固有値の漸近性を考慮せず，その収束値のみを用いるため，本質的なボラティリティを誤ってノイズとみなす危険性が定量的に評価されない可能性がある．そこで，ランダム行列の最大固有値は漸近的に Tracy-Widom 分布に従う性質を用い，共ボラティリティのノイズに対する統計的仮説検定を提案した．この提案手法を用いることにより，ノイズに影響されないより安定した実現共分散行列を推定することができた．昨年度の研究では実証分析のみ行ったが，本年度は人工的に生成した高頻度収益率データから大規模な共分散行列をモンテカルロ・シミュレーションにより推定し，提案手法の理論的整合性を検証した．

5. 主な発表論文等

(研究代表者，研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 程島 次郎，森本 孝之，原油，ガソリン，灯油の 3 つの商品先物の高頻度データによるクロス相関分析，日本商品先物振興協会「先物取引研究」，査読無，印刷中
- ② 森本 孝之，橘 完太，A Note on a Statistical Hypothesis Testing for Removing Noise by the Random Matrix Theory and Its Application to Co-Volatility Matrices In Recent Advances in Financial Engineering 2009: Proceedings of the KIER-TMU International Workshop on Financial Engineering 2009 (Singapore: World Scientific), 査読有，2010, pp. 203-217
- ③ 増田 弘毅，森本 孝之，高頻度データ系列におけるジャンプ検出の実証分析，日本統計学会和文誌，査読有，Vol. 39, 2009, pp. 33-63

〔学会発表〕（計 5 件）

- ① 森本 孝之, Robust Estimation of Covariance Matrices Contaminated with Noise Using Random Matrix Theory, 2010 年度 統計関連学会連合大会, 2010 年 9 月 8 日(水), 早稲田大学早稲田キャンパス 7 号館 (東京都新宿区)
- ② 森本 孝之, A Note on a Statistical Hypothesis Testing for Removing Noise by The Random Matrix Theory, and its Application to Co-volatility Matrices, KIER-TMU International Workshop on Financial Engineering 2009, 2009 年 8 月 4 日(火), 大手町サンケイプラザ (東京都千代田区)
- ③ 森本 孝之, ランダム行列によるノイズ除去の統計的仮説検定とその共ボラティリティへの適用, 第 26 回応用経済時系列研究会・研究報告会, 2009 年 6 月 27 日(土), 情報・システム研究機構 統計数理研究所 講堂 (東京都港区)
- ④ 森本 孝之, 原油, ガソリン, 灯油の 3 つの商品先物の高頻度データによるクロス相関分析, 2008 年度 統計関連学会連合大会 2008 年 9 月 9 日(火), 慶應義塾大学 矢上キャンパス (横浜市港北区)
- ⑤ 森本 孝之, An optimal weight for realized variance based on intermittent high-frequency data, 2007 年度 統計関連学会連合大会, 2007 年 9 月 7 日(金), 神戸大学 (神戸市灘区)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森本 孝之 (MORIMOTO TAKAYUKI)
関西学院大学・理工学部・専任講師
研究者番号 : 80402543