

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：12613

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01248

研究課題名（和文）錐形ファイナンスと板情報過程の融合による市場流動性リスクの発生メカニズムの検証

研究課題名（英文）Verification of generation mechanism of market liquidity risk with conic finance and Limit-order-book process

研究代表者

中川 秀敏（NAKAGAWA, Hidetoshi）

一橋大学・大学院経営管理研究科・教授

研究者番号：30361760

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究を通じて、日本ではあまり浸透していなかった「錐型ファイナンス」と「板情報過程」という考え方を導入することで、高頻度取引データを用いた流動性ストレステストのような金融リスク管理高度化につながる応用の可能性を見いだすことができたと考えられる。
また、研究課題に関連する話題として、錐型ファイナンスのポートフォリオ最適化への応用、多次元Hawkes過程の信用リスク管理や高頻度取引分析への応用、仮想通貨市場の時系列データ分析、ビッグデータに対する機械学習手法の応用による人工市場生成、などでも新しい成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「錐型ファイナンス」に基づく分析手法やHawkes過程の拡張モデルが、さまざまな金融データの分析に有効であることが実証的にも確認できたことは学術的にはもとより、金融リスク管理という実務への応用に直接つながるという点でも意義があると考えられる。
また「板情報過程」を活用したアルゴリズム取引の実践という点でも、非常に大きなサイズのデータから板情報の再生に必要な情報を効率的に取り出し、敵対的生成ネットワークという技術を用いて、人工的な市場の生成を試みることができたことは、シミュレーションベースのストレステストの実用化という点でも大きな成果であるといえる。

研究成果の概要（英文）：Through this research, we conclude that it will be possible to implement advanced financial risk management such as liquidity stress test using high-frequency transaction data by introducing the concepts of "conic finance" and "limit-order-book(LOB) process," which have not been so popular in Japan.
In addition, we obtain some new knowledge about the following topics related to this research subjects: an application of conic finance to portfolio optimization, an application of multidimensional Hawkes process to credit risk management and high frequency trading, an analysis of cryptocurrency market time-series data, an artificial market generation with some machine learning method for big data, and so on.

研究分野：金融リスクのモデル化

キーワード：金融リスク Hawkes過程 板情報過程 高頻度取引

1. 研究開始当初の背景

(1)「流動性リスク」は、金融機関のリスク管理や資産価値評価の観点から以前から重要な研究対象であり、それまでも多くの研究がなされてきたが、データの制約もあり実証的な研究は難しい側面があった。しかし、研究開始当初には、株式市場における高頻度取引(HFT) データや仮想通貨市場のデータなどが利用しやすくなっており、高度な数理モデルに対する本格的な実証研究にも取り組みやすい状況になっていた。

(2) コンピュータによる自動取引(アルゴリズム取引)の応用で、株式市場における「板情報」の時間変動を表現する「板情報過程」の確率モデルの学術研究も進展していた。そして、板情報過程モデルをアルゴリズム取引に実際に応用する研究にフェーズが意向している時期であり、板情報過程モデルに基づくシミュレーション分析を行うことで、従来よりも精緻に現在の株式市場の流動性リスクの変動メカニズムを分析するのに有効と考えられた。

2. 研究の目的

(1) 株式市場の流動性リスクの変動メカニズムを分析するために、一物二価すなわち市場の買値(Bid)と売値(Ask)の存在を前提とする「錐型(conic)ファイナンス」の枠組みで、BidとAskの差に注目して流動性リスクを適切に定式化すること。また、その際には「市場参加者が利用可能な情報」という側面に目を向けてモデル化することが有用と考え、「完全情報」と「不完全情報」の違いによる評価の違いについても研究を行う。

(2) 「流動性ストレステスト」への応用などを念頭に「板情報過程」モデルを研究・開発すること。そのためには「イベントの自己励起性・相互励起性」を含意するように拡張することが望ましく、多次元 Hawkes 過程によるモデル化と推定についても研究を深める。

(3) 「錐型ファイナンス」と「板情報過程」の融合モデルに基づくシミュレーション実験を行うこと。特に「板情報過程」モデルに基づくアルゴリズム取引を実装する対象ということでは、仮想通貨市場のような新しい市場の分析も視野に入るため、株式の高頻度取引データはもとより仮想通貨市場のデータ分析を行うことが必要である。

3. 研究の方法

(1) 「錐型ファイナンス」と「板情報過程」という、日本ではまだ浸透していないトピックを扱う研究のため、まずは国外の先行研究の資料収集と先行研究の調査に取り組む。Bid/Ask モデルに関しては、先行研究で推奨されていた MINMAXVAR2 という2パラメータの歪み関数をベンチマークとして、いくつかの歪み関数による Bid/Ask モデルを構築して、ポートフォリオ最適化への応用に着手する。

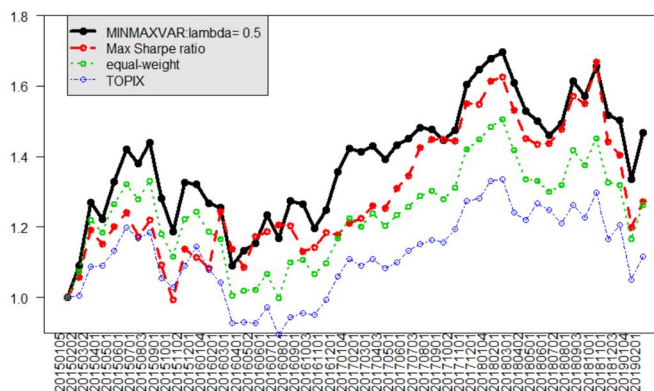
(2) 「板情報過程」モデル構築のためには、多次元 Hawkes 過程を用いることが有効と考えられるが、そのために多次元 Hawkes 過程モデルの拡張や強度モデルの推定法について習熟することが必要となる。そのため、データ整備に時間を要さない倒産履歴データを用いた研究を通じて、その知見を得ることとする。

(3) 「板情報過程」モデルに基づくシミュレーション実験のためには、膨大なサイズのデータから板情報構築に有効な情報を適切かつ効率的に取得して、人工的な市場環境を生成することが必要である。そのために、圏論や機械学習の手法に基づくアプローチを実践することが有望と考えられる、これらの計算機技術への応用を検討する。また、人工市場の対象としては、仮想通貨市場が興味深いと考えられ、仮想通貨市場のデータ分析も行う。

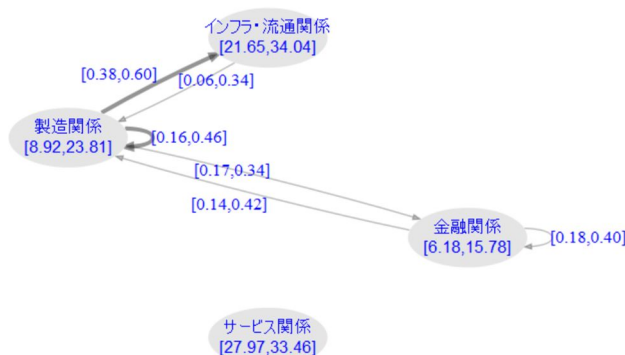
4. 研究成果

(1) 研究代表者の中川は、「錐型ファイナンス」についての先行研究を参考に、「ポートフォリオ全体での買値(bid)」と「個別資産の買値(bid)の投資比率加重和」の差で定義される「ダイバーシティ尺度」を最大化するポートフォリオ構築法を日本株式に応用し、分析した結果および検討課題を国内学会で報告した([学会発表]2件)。

比較のため東証株価指数(TOPIX)、「疑似 Sharpe レシオ(期待リターン/標準偏差)最大化」ポートフォリオ、等ウェイト・ポートフォリオの月初リバランスによるパフォーマンスも算出したが、今回の結果だけを見ると、錐型ファイナンスのアイデアに基づく「ダイバーシティ尺度」最大化ポートフォリオが、相対的に良いパフォーマンスを最も長い期間示していたことが分かった(図は発表資料より転載)。



(2) 研究代表者の中川は、日本における比較的長期の企業倒産履歴データを、業種および企業規模に基づいて複数のイベントタイプに分類したうえで、多次元 Hawkes 過程を用いて倒産発生の伝播構造をモデル化した。Hawkes 過程に付随する強度過程を特徴づける手法として、先行研究で提唱されたノンパラメトリックな推定法の適用を新たに試み、従来からよく用いられていた指数減錐型カーネル関数を最尤推定する方法と比べても遜色なく、応用可能性が十分であることを確認した(図は倒産リスクの依存関係をグラフ化したもの。雑誌論文1)より引用)。ここで用いたノンパラメトリックな推定法は近似的方法ではあるが、数値的最適化が不要な推定法であり、高頻度取引データのようなサイズが大きなデータを用いた場合に有望と考えられる(研究協力者・監物輝夫氏との共著論文[雑誌論文]の4)として掲載。[学会発表]4件)。



また、Queue-Reactive Hawkes 過程という拡張型モデルを用いて、株式市場の板情報の注文タイプおよび注文数量と仲値の変化との関係について分析を行い、国内学会で報告した(研究協力者・野原眞氏との共同研究として[学会発表]1件)。仲値の上昇は最良気配値における待ち注文数量の厚みに大きく依存すること、仲値が上昇(下落)した後の最良売り(買い)気配値における待ち注文数量が極端に多くなければ、価格が上昇(下落)しやすいという価格のモメンタムが見られること、などを確認した。

(3) 研究代表者の中川は、銀行に対する国際的な資本規制に対応するために近年発行が多くなってきた Additional Tier1 債券(AT1 債)と呼ばれる、リスク強制元本削減トリガー条項が付されたデフォルト可能性のある債券を対象に、完全情報および不完全情報下におけるプライシング・モデルを提案し、日欧の価格データを用いた実証分析を通じて、提案モデルの有用性を確認した。特に、実証分析が可能な形での「完全情報」と「不完全情報」の定式化の方法について有効な知見が得られた(研究協力者・杉山泰平氏との共著論文[雑誌論文]の1)として掲載。[学会発表]2件)。

(4) 研究分担者の足立は、東京証券取引所(TSE)の上場株式の注文記録を調べることで、さまざまなタイプの市場参加者の注文パターンを調査した。TSE の取引システム内の仮想サーバを分類し、同一カテゴリ内のサーバの注文パターンを短い間隔で分析し、取引量の多い上位10銘柄を分析した。

その結果、(a) サーバタイプ A は、市場の方向性に沿って、高速アルゴリズム戦略を備えた市場を作らない独自のトレーダーを含み、注文を実行して発注する。株価が急激に変動すると、実行方向と注文量のシェア、および市場の方向性が増加する (b) サーバタイプ B は、キャンセル率が高く実行率が低いマーケットメイキング戦略を採用しているサーバを含むと考えられ、そのマーケットメイキングの価格帯を急速な価格変動にシフトさせる (c) サーバタイプ C は、小規模な投資家からの注文を受け付けるサーバを含むと想定され、常に実行および注文量の大きなシェアを占めている、といったことが明らかになった。

本研究の結果は、取引タイプの分類に大きく貢献したもののだが、現在の市場取引の 7 割近くを占めると言われるアルゴリズム取引を特定する手法として有効なことを示した。これは、証券トレーダー・規制当局のどちらにも重要な知見であり、昨今の COVID-19 の影響もあって、今後ますます比重が増えると考えられる機械化された証券取引の健全な発展に寄与するものと考えられる（共著論文[雑誌論文]の 5)として掲載）。

(5) 研究分担者の足立は、仮想通貨として有名なビットコインのデータ分析を行った。具体的には次の 2 つの研究を行った。

ビットコインの時系列データにおけるテ일러効果の存在仮説を調査した。その結果、テ일러効果がビットコインに存在することを確認し、絶対リターンへの自己相関を最大化するべき乗値は自己相関関数のタイムラグに依存すること、ビットコインのテ일러効果には、外国為替レートで見られるような季節性は見られなかった（研究協力者・高石哲弥氏との共著論文[雑誌論文]の 6)として掲載）。

ビットコインの市場効率性、流動性、マルチフラクタル性間の動的な関係を調査した。その結果、2013 年以前は流動性が低く、ハースト指数が 0.5 未満であり、ビットコイン時系列が非永続的であることを示しているのに対して、2013 年以降は流動性が増加することで、ハースト指数約 0.5 に上昇し、市場の効率が向上したことが分かった。ただし、ハースト指数が 0.5 を大幅に下回る期間もあり、時系列は永続的とは言えない。また、一般化されたハースト指数を使用してビットコイン時系列のマルチフラクタル次数を調査し、マルチフラクタル次数が、市場効率と非線形に関連していることも確認した（研究協力者・高石哲弥氏との共著論文[雑誌論文]の 3)として掲載）。

これらの研究は学術的のみならず、仮想通貨取引を行う実務家にとっても重要な知見を与えたものであり、今後の流動性等に関する調査・研究にもつながると考える。

(6) 研究分担者の足立は、これまで決定版が存在しなかった確率空間のなす圏の定式化を行い、得られた圏の間の関手について研究した。具体的には、「対象」がすべての確率空間、「射」がある種の絶対連続性の要件を満たす可測関数であるような確率空間の圏 Prob を導入し、その数学的性質を多数明らかにした（研究協力者・琉佳勳氏との共著論文[雑誌論文]の 3)として掲載）。

本研究で導入した圏 Prob はきわめて自然に条件付き期待値を関手として定義できるなど、柔軟性があるため、ファイナンスのリスク計算などへの応用も容易になった。

今後は、時間領域から圏 Prob への関手を、通常のフィルトレーションを拡張した「一般化フィルトレーション」と考えることで、従来のフィルトレーションとは異なり、確率測度や台集合も時間とともに変化するもので、主観的確率空間の時系列ととらえることで、その応用範囲は極めて広範になると考える。

(7) 研究分担者の足立は、「板情報過程」に関する解説などを含む、アルゴリズム取引全般に関する研究をまとめ、その成果を著書としてまとめた（[図書]に掲載）。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 杉山 泰平・中川 秀敏	4. 巻 29
2. 論文標題 パーゼル 適格Additional Tier1債券（AT1債）に対する構造型プライシングモデルの改良	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本応用数理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 325-361
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11540/jsiamt.29.3_325	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Takanori Adachi and Yoshihiro Ryu	4. 巻 26
2. 論文標題 A category of probability spaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Sciences The University of Tokyo	6. 最初と最後の頁 201-221
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tetsuya.Takaishi and Takanori Adachi	4. 巻 27
2. 論文標題 Market efficiency, liquidity, and multifractality of Bitcoin: A dynamic study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Asia-Pacific Financial Markets	6. 最初と最後の頁 145-154
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10690-019-09286-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 監物輝夫・中川秀敏	4. 巻 17
2. 論文標題 多次元Hawkes過程を用いた倒産リスク伝播構造の推定 - Hawkesグラフ表現による視覚化 -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ジャフィー・ジャーナル	6. 最初と最後の頁 15-44
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.32212/jafee.17.0_15	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 T.Saito, T.Adachi, T.Nakatsuma, A.Takahashi, H.Tsuda and N.Yoshino	4. 巻 25
2. 論文標題 Trading and Ordering Patterns of Market Participants in High Frequency Trading Environment - Empirical Study in the Japanese Stock Market-	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Asia-Pacific Financial Markets	6. 最初と最後の頁 179-220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10690-018-9245-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tetsuya Takaishi, Takanori Adachi	4. 巻 172
2. 論文標題 Taylor Effect in Bitcoin Time Series	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Economics Letters	6. 最初と最後の頁 5-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.econlet.2018.07.046	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Hidetoshi Nakagawa (joint work with T. Kemmotsu)
2. 発表標題 Estimation and Visualization of Corporate Bankruptcy Risk Dependence Structure using Multi-dimensional Hawkes Process
3. 学会等名 国際ワークショップ Workshop on Hawkes processes in data science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川 秀敏
2. 発表標題 Conic finance に基づくポートフォリオ構築
3. 学会等名 日本応用数理学会2019年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野原 真・中川秀敏
2. 発表標題 Queue-Reactive Hawkes 過程を用いた株式板情報と価格変動の關係の分析
3. 学会等名 日本応用数理学会 2020年研究部会連合発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川 秀敏
2. 発表標題 Conic finance に基づくポートフォリオ構築
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2020年春季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 足立 高德
2. 発表標題 A binomial asset pricing model in a categorical setting
3. 学会等名 計量経済学ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takanori Adachi
2. 発表標題 A binomial asset pricing model in a categorical setting
3. 学会等名 KAFE-JAFEE Joint Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 足立 高德
2. 発表標題 A binomial asset pricing model in a categorical setting
3. 学会等名 第51回JAFEE大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 足立 高德
2. 発表標題 アルゴリズム取引の問題点と今後の課題
3. 学会等名 第16回東京ファイナンス・フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takanori Adachi
2. 発表標題 A binomial asset pricing model in a categorical setting
3. 学会等名 YNU-Nanzan Finance Workshop 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takanori Adachi
2. 発表標題 A binomial asset pricing model in a categorical setting
3. 学会等名 The Quantitative Methods in Finance 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉山 泰平, 中川 秀敏
2. 発表標題 パーゼルIII 適格Additional Tier1債券(AT1債)に対する構造型プライシングモデルの改良と実証分析
3. 学会等名 第49回(2018年度夏季)JAFEE大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉山 泰平, 中川 秀敏
2. 発表標題 パーゼルIII 適格Additional Tier1債券(AT1債)に対する構造型プライシングモデルの改良と実証分析
3. 学会等名 日本応用数理学会 2018年度年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 足立高德
2. 発表標題 アルゴリズム取引の実際
3. 学会等名 データサイエンス松本キャンプ2018(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 足立高德
2. 発表標題 アルゴリズム取引の実際
3. 学会等名 リスク工学研究会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 足立高德
2. 発表標題 Reference Rate Methodologies of Cryptocurrencies
3. 学会等名 第4回TMUシンポジウム「ブロックチェーン技術の展開」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中川秀敏
2. 発表標題 多次元 Hawkes 過程を用いたファイナンスのイベント・データの分析～日本企業の倒産リスクの伝播構造推定の事例を中心に～
3. 学会等名 2017年度中之島ワークショップ「金融工学・数理計量ファイナンスの諸問題 2017」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中川秀敏
2. 発表標題 Hawkes グラフによる倒産リスクの伝播構造の推定
3. 学会等名 統計数理研究所 リスク解析戦略研究センター 第5回金融シンポジウム「ファイナンスリスクのモデリングと制御」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hidetoshi Nakagawa
2. 発表標題 Is the Hawkes graph approach applicable for examining the bankruptcy risk dependence structure? An empirical analysis of firms' bankruptcies in Japan
3. 学会等名 10th World Congress of the Bachelier Finance Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takanori Adachi
2. 発表標題 A Category of Probability Spaces and Monetary Value Measures
3. 学会等名 The 5th Asian Quantitative Finance Conferencea (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takanori Adachi
2. 発表標題 A Category of Probability Spaces and Monetary Value Measures
3. 学会等名 Second Paris-Asia Conference in Quantitative Finance (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takanori Adachi
2. 発表標題 Monetary Value Measures over a Super Dynamic Stochastic System
3. 学会等名 Quantitative Methods in Finance 2017 Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 足立高德
2. 発表標題 アルゴリズム取引の数学
3. 学会等名 大規模統計モデリングと計算統計IV
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 足立高德	4. 発行年 2018年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 184
3. 書名 アルゴリズム取引	

〔産業財産権〕

〔その他〕

科研費ワークショップ Workshop on Finance and related topics https://sites.google.com/site/icsnakagawah/laboratory/workshop20180305
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	足立 高德 (ADACHI Takanori) (60733722)	首都大学東京・経営学研究科・教授 (22604)	
研究協力者	監物 輝夫 (KENMOTSU Teruo)		
研究協力者	杉山 泰平 (SUGIYAMA Taihei)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	野原 眞 (NOHARA Makoto)		
研究協力者	高石 哲弥 (TAKAISHI Tetsuya)		
研究協力者	琉 佳勲 (RYU Yoshihiro)		