

令和 6 年 5 月 24 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K04612

研究課題名（和文）自己励起型ポリマーモデルによる株式市場の時間相関の研究

研究課題名（英文）Study of time correlation in stock markets using self-excited polymer model

研究代表者

村井 浄信（Murai, Joshin）

岡山大学・社会文化科学学域・教授

研究者番号：00294447

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：株式市場における高頻度データの分析が進むにつれて、従来の日次データでは把握できなかった多くの現象が明らかになっている。本研究では、特に取引符号に見られる長期記憶の発生原因に焦点を当て、統計力学のアプローチを用いて理論的な研究を行った。これに加えて、市場で観測される間欠性やマルチフラクタル性といった複雑な現象がどのようにして生じるのかを探るために、異なる取引頻度を持つ市場参加者の相互作用に注目した。そして、取引頻度の低い市場参加者グループから取引頻度の高い市場参加者グループへの投資行動のカスケード構造を仮定することにより、これらの複雑な現象を理論的に再現することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

累積取引符号を表す離散型確率過程のスケール極限の連続時間確率過程がブラウン運動と異なるハースト指数を持つ複数の非整数ブラウン運動の重ね合わせになることを示したが、これらのハースト指数は $1/2$ 以上、すなわち得られた確率過程の増分は長期記憶を持つことが示された。さらに、異なる取引頻度をもつ市場参加者間のカスケード構造を導入することで、市場で観測される間欠性やマルチフラクタル性を再現する理論モデルを構築した。

研究成果の概要（英文）：As analysis of high-frequency data in the stock market has progressed, many phenomena that could not be captured by daily data have become apparent. In this study, we focused on the causes of long memory phenomenon of trade signs, and conducted a theoretical study using a statistical mechanics. In addition to this, we focused on the interactions of market participants with different trading frequencies in order to unveil how complex phenomena such as intermittency and multifractals observed in the market arise. We then theoretically replicate these complex phenomena by assuming a cascading structure of investment behaviour from a group of infrequently traded market participants to a group of frequently traded market participants.

研究分野：確率モデル論，経済物理学

キーワード：長期記憶 クラスタ展開 ハースト指数 株式市場

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年の株式市場は電子化されており、すべての取引情報や板情報が高頻度データ(ティック、データ)として記録されている。この高頻度データを分析することで、日次データでは観測されなかった新しい現象が次々と明らかになっている。

2004年に2つの経済物理学の研究チームが、ロンドン証券取引所とフランス証券取引所のそれぞれの高頻度データを分析した。その結果、両取引所で取引符号が長期記憶をもつことが明らかになった。私も東京証券取引所の高頻度データを用いて、取引符号が長期記憶をもつことを確認した。

取引符号が長期記憶をもつ原因として、2005年にリローとマイクとファーマーが提案した説が最も有力である。その説によれば、大口の潜在的注文を分割して発注するという投資行動が、その原因であると考えられている。具体的には、投資家が大規模な売買計画(潜在的注文)を所持している場合、価格変動による売買コストを抑制するために、その注文を小分けにして市場に出すことがある。こうした大口投資家の投資行動が取引符号の長期記憶を引き起こしているという仮説である。また、間接的ではあるが、分割発注を裏付ける実証結果も知られている。リローらはこの仮説のもとで、潜在的注文のサイズはベキ分布にしたがうと仮定し、取引符号の離散モデルを構成し、さらに、その自己相関関数を直接計算した。ただし、彼らは技術的な制約から、潜在的注文の個数が常に一定であるという不自然な仮定を追加することで、取引符号の長期記憶性を示した。一方、我々は、同じ仮説のもとで、サイズの代わりに分割発注の時間間隔がベキ分布にしたがうと仮定した。その結果、潜在的注文の個数に対する制限を与えることなく、離散モデルのスケール極限として得られる連続時間確率過程がハースト指数 $H > 1/2$ の非整数ブラウン運動と標準ブラウン運動の重ね合わせであることを示した。

さて、大口投資家による注文の分割という理由だけでは、現実の取引符号のハースト指数を理論的に説明することはできない。実際のデータから観測されるハースト指数は、理論上予想される値よりも大きい。さらに、流動性の高い銘柄については、銘柄や期間によるハースト指数の変動は小さく、安定していることがわかる。これらの事実は、取引符号が長期記憶をもつ背景には、大口投資家の投資行動だけではなく、他にも要因があることが示唆される。

2. 研究の目的

近年、株式市場における高頻度データ解析を通じて、時間的な相関に関する興味深い現象がいくつも発見されている。本研究では、それらの発見のうち市場の記憶に関する2つの現象、「取引符号の時系列データの長期記憶性」と「株式市場の間欠性やマルチフラクタル性」に焦点をあてる。具体的な研究テーマとして、「人間行動の時間間隔の分布が、取引符号の長期記憶という現象に及ぼす影響」、「潜在的注文量の分布が、取引符号の長期記憶に及ぼす影響」、及び「株価収益率の符号と取引符号の相関が取引符号とボラティリティの長期記憶に及ぼす影響」を取り扱う。

各現象に対し、ある仮説にもとづき離散時間の確率過程、いわゆる離散モデルを定義し、それが現象を再現できているかを検証する。離散モデルがある現象を再現していることを確かめるには、一般的に3通りの方法がある。

- (1) コンピュータ・シミュレーションによる方法。これは、人工市場の研究などで広く用いられている。
- (2) 離散モデルの分布を直接求める方法。これは、単純なモデルに対しては容易に行えるが、少しでも複雑な問題となると技術的にとても困難になる。
- (3) 離散モデルのスケール極限により連続時間の確率過程、いわゆる連続モデルを構築し、その分布を求める方法。

本研究ではこれらのうち、3番目の方法を用いる。特に、スケール極限の計算において、クラスター展開とよばれる統計力学の手法を活用する。

3. 研究の方法

研究テーマ「人間行動の時間間隔の分布が、取引符号の長期記憶という現象に及ぼす影響」について、以下のように進めていく。

まず、理論研究では、私はこれまでに統計力学の数学的な研究とその結果を株式市場に応用する研究を行ってきた。取引符号の長期記憶に関して、「大口の潜在的注文の分割発注」が長期記憶の原因であるという仮説にもとづき、さらにバラバシのパーセント理論をもとに「潜在的注文の分割発注の時間間隔はベキ分布にしたがう」という仮定を取り入れて、長期記憶をもつ連続時間の確率過程を構成した。ただし、この理論モデルでは時間間隔の「ベキ指数を潜在的注文のサイズに依存しない定数」と仮定したことにより、結果として得られた確率過程では、実証研究で観察されたハースト指数の銘柄や期間による揺らぎは小さいという現象を再現できなかった。そこで、本研究では、「潜在的注文の分割発注の時間間隔のベキ指数は潜在的注文のサイズに依存する」と仮定し、それをもとに累積取引符号を表現する離散時間の確率過程を定義する。そして、そのスケール極限として連続時間の確率過程を導出するため、「クラスター展開」「Kotecky-Preiss 理論」「Pfister の補題」という統計力学の手法を用いた。なお、スケール極限である連続時間の確率過程は標準ブラウン運動と互いに独立で異なるハースト指数をもつ非整数ブラウン運動の可算無限個の重ね合わせであると予想される。さらに、その確率過程は、現実の市場に

おけるハースト指数が銘柄や期間による揺らぎが小さいという実証結果を再現することが期待される。したがって、今後の理論研究の目標は上記の仮定にもとづく理論モデルを構成し、さらに、そのモデルを用いて、異なるタイプの投資家がハースト指数にどのような影響を与えるかを明らかにすることである。つぎに、実証研究において、私はこれまでに東京証券取引所における取引符号のハースト指数の推定などを行ってきた。これからの実証研究の目標は、次の2つである。

(1) 市場が大きく動いたときの取引符号の記憶の変化を推定し、その結果を理論モデルに適用して投資家の行動変化を考察すること。

(2) 株取引だけでなく、他の「やること」の時間間隔の分布とその頻度の関係について調べ、「潜在的注文の分割発注の時間間隔はベキ分布にしたがう」という仮定の妥当性を確認すること。

研究テーマ「潜在的注文量の分布が、取引符号の長期記憶に及ぼす影響」では、2005年のリローらの研究を参考にして、潜在的注文のサイズはベキ分布にしたがうという仮定のもとで、長期記憶をもつ連続時間の確率過程を構成する。リローらの研究ではこの仮定に加えて、技術的な制約から潜在的注文の個数は常に一定であるという不自然な仮定を課していた。しかし、我々の研究方法を用いる事でそのような制約を取り除くことができると考えられる。

4. 研究成果

現代の多くの株式市場では、取引情報が秒単位あるいはそれより短い時間単位で記録された高頻度データが蓄積されている。この膨大な量の高頻度データを分析することで、日次データでは観測できない現象が次々と発見されている。

本研究では、それらの現象のうち、取引符号の長期記憶が発生する原因について、統計力学の手法を用いて理論的な解析を行なった。取引符号とは、世界の株式市場で一般的な連続オークション方式において、最良売気配での取引をプラス、最良買気配での取引をマイナスとして定義される。一般的に、株式の価格変動は長期記憶を持たないことが知られている。したがって、取引符号の長期記憶性は高頻度データの解析を通じて発見された興味深い現象である。その発生原因が個々の投資家による潜在的注文の分割発注にあるという仮説に基づき、機関投資家から個人投資家までタイプの異なる投資家それぞれの投資行動を統計力学のポリマーを用いて表現し、累積取引符号を表す離散型確率過程を定義した。さらにクラスター展開を用いて、そのスケール極限の連続時間確率過程がブラウン運動と複数の異なるハースト指数を持つ非整数ブラウン運動の重ね合わせになることが示された。さらに、これらのハースト指数は $1/2$ 以上、すなわち得られた確率過程の増分は長期記憶を持つことが確かめられた。

これまでの研究では、取引頻度の高い投資家の投資行動が取引符号の長期記憶を生み出す主な原因と考えられていた。ところが、本研究で構成された連続時間確率過程では、ハースト指数に最大の寄与をするのは、取引頻度が中間的な投資家であるという興味深い結果が得られた。

また、市場で観測される間欠性やマルチフラクタル性などの複雑な現象がどのように発生するのかを理解するために、異なる取引頻度を持つ市場参加者の相互作用に焦点をあてた。さらに、取引頻度の低い市場参加者グループから取引頻度の高い市場参加者グループへの投資行動のカスケード構造を仮定することにより、理論モデルを構築し、これらの複雑な現象を理論的に再現することに成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Maskawa Jun-ichi, Kuroda Koji, Murai Joshin	4. 巻 15
2. 論文標題 Multiplicative random cascades with additional stochastic process in financial markets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Evolutionary and Institutional Economics Review	6. 最初と最後の頁 515 ~ 529
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s40844-018-0112-y	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計1件

1. 著者名 黒田耕嗣、増川純一、村井浄信	4. 発行年 2021年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 256
3. 書名 株式市場のマルチフラクタル解析	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------