

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：32630

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01259

研究課題名(和文)異なる取引時間スケールをもつ投資主体の相互作用による株式市場の不安定化メカニズム

研究課題名(英文) Mechanism of stock market destabilization by interaction of market participants with different time horizons

研究代表者

増川 純一 (Maskawa, Jun-ichi)

成城大学・経済学部・教授

研究者番号：30199690

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：金融市場において、異なる時間スケールで計測したボラティリティの階層構造に関して、大きな時間スケールから小さい時間スケールへのボラティリティ・カスケードという観点からの研究を行った。成果は、(1)W-cascadeと呼ばれる離散的ランダムカスケードモデルに対して、実証研究の結果とより整合的な拡張を行ったこと、(2)拡張した離散過程を確率微分方程式により連続的な確率過程として定式化し、実証研究の結果を再現する結果を得たこと、(3)市場外からの外生的ショックを取り込んだマルチフラクタル・ランダムウォーク過程を提案し、実証研究との整合性を確認したことである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、株式市場を異なる取引時間スケールを持つ複数の投資主体の集合とみなし、それらの投資主体の相互作用の結果として生じる非線形性に着目した研究である。成果として実証研究の結果と整合的な数理モデルを構築した。この研究により、あらたな市場の動リスク指標を提案すること、それに加え、暴騰暴落の予兆を検知、抑止し、安定な市場を実現するための施策、制度を立案する上での実証的な基盤が確立できる。

研究成果の概要(英文)：Multiplicative random cascade model naturally reproduces the intermittency or multifractality, which is frequently shown among hierarchical complex systems such as turbulence and financial markets. We investigate the validity of a multiplicative hierarchical random cascade model (W-cascade model) through an empirical study using financial data. (1) We have extended the multiplicative model to incorporate an additional stochastic term. Results show that the proposed model is consistent with the relevant empirical results. (2) We have proposed a novel continuous cascade model of volatility formulated as a stochastic differential equation. The results reproduced the pdf of the empirical volatility, the multifractality of the time series, and other empirical facts. (3) We have constructed a log-volatility process for Multifractal Random Walk and consider an exogenous shock and the relaxation process of the volatility.

研究分野：経済物理学

キーワード：株式市場 マルチフラクタル 確率過程

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

- (1) 株式市場、外国為替市場など、投機的性格を持つ資産市場では、ヘッジファンド、投資信託、年金基金、デイトレーダー、プログラム売買の投資家など、様々な投資主体が収益を競い合っている。これらの投資主体は、投資額、投資戦略が異なるだけでなく、投資から回収までの時間スケールが異なる。これら取引時間スケールの異なる投資家同士が、価格や売買のシグナルを通して複雑に相互作用しているのがこれらの市場である。このような相互作用は、価格変動時系列が複数の時間スケールの変動の単純な重ね合わせでは表せない非線形性を生じさせる。
- (2) 株価変動時系列に現れる非線形性は、マルチフラクタル性と呼ばれるある種の規則性を持つことが近年分かってきている。マルチフラクタル性をもつ確率過程はマルチフラクタル・ランダムウォークと呼ばれ、非線形性の強度を表すパラメータを含んでいる。先にも述べたように、非線形性の起源は異なる時間スケールを持つ市場参加者間の相互作用であるから、パラメータの値はこの相互作用の強さを表しているものと考えられる。
- (3) 株価時系列（広くは金融時系列）がマルチフラクタル性を持つメカニズムは何か。発達した乱流においては、マクロ・スケールで力学的に生成された渦がナビエ・ストークス方程式に従って変形、不安定化しより小さな渦に分裂していく過程をエネルギー・カスケードと捉え、その過程をモデル化したランダム・カスケードモデルが現象をよく記述する。同様の考え方を、マルチフラクタル性を示す信号時系列に対して適用したのが **W-cascade** モデルである。マルチフラクタル性を粗視化したスケールから微視的なスケールへの再帰的なランダム乗算過程でモデル化するというアイデアである。
- (4) 申請者らは、ロンドン証券取引所や東証のティック・データ（全取引が記載されたデータ）を用いた 2008 年の暴落時のマルチフラクタル・ランダムウォークをベースとした実証研究により、以下のことを明らかにした(Maskawa Prog. of Ther. Phys. Suppl. 2012) (Maskawa et al. EIER 2013)。
 - ① 暴落の直前から暴落時にかけて、非線形強度パラメータ、すなわち異なる時間スケールを持つ市場参加者間の相互作用が急激に大きくなったこと。
 - ② このパラメータの急激な増加は“financial crisis”というワードを含むニュースの頻度と関連しており、パラメータの値はこれらのニュースの累積頻度と共にベキ関数で増加したこと。これらの事は、市場の不安定性の尺度としてマルチフラクタル・ランダムウォークの非線形強度パラメータが有望である事、一つのニュースに暴落を引き起こすようなインパクトが無くても、ニュースには蓄積効果があり、市場参加者の集団行動が、“financial crisis”という世界経済に関する悲観的なワードの出現頻度と共に高まっていったことを表している。
- (5) 本研究では、株式市場を異なる取引時間スケールを持つ複数の投資主体の集合とみなし、それらの投資主体の相互作用の結果として生じる非線形性に着目して数理モデルの構築を行う。

2. 研究の目的

本研究は、株式市場において、ニュースなどの外生的直接要因や、ニュースがもたらす印象の蓄積によって市場参加者間に醸成されたムードで内生的に引き起こされる市場の不安定化のメカニズムとそのプロセスを明らかにするものである。それにより、暴騰暴落の予兆を検知、抑止し、安定な市場を実現するための施策、制度を立案する上での実証的な基盤が確立される。主たる研究項目は以下の通りである。

- (1) 大規模な価格変動に至るまでの株価時系列や売買注文時系列の特徴変化を追跡することにより、市場の不安定性を特徴付ける指標を抽出する。
- (2) 市場の不安定性の指標をパラメータとして含むような価格変動の数理モデルを構築する。
- (3) 市場が不安定化するメカニズムを解明する。

3. 研究の方法

本研究では、市場が不安定化するメカニズムを以下の方法により明らかにする。

- (1) 大規模な価格変動直前の市場が不安定化していく過程における価格変動と市場参加者の発注行動を定量的に特徴付け、市場の不安定性を特徴付ける指標をマルチフラクタル解析により抽出する。
- (2) 市場の安定性の指標をパラメータとして含むような、複数の時間スケールを持つ価格変動の数理モデルを構築する。
- (3) 構築したモデルの数理解析と、市場の不安定性や複数の時間スケールを特徴付けるモデル・パラメータの時間発展を追跡することにより、市場の不安定化のメカニズムを明らかにする。

4. 研究成果

- (1) 東京証券取引所に上場されている金融、製造、小売、サービス、通信の銘柄から代表的な企業を選び、2008年10月の株式市場の大暴落前後（前1年、後1年）で価格変動時系列のマルチフラクタル・スペクトルの変化を調べた。市場の平均的な動きを表す第1主成分（マーケット・モード）に関しては暴落前に比べ大きな変動に対応するスペクトルが減少し

ていたが、個別銘柄では銀行はどれも逆の傾向を示しており、暴落後の株価の動きと整合的であった。このことは間欠性指数と呼ばれるスペクトルを特徴づける値が、市場の不安定性を表す一つの指標であることを意味している。

- (2) 金融市場において、異なる時間スケールで計測したボラティリティの階層構造に関して、大きな時間スケールから小さい時間スケールへのボラティリティ・カスケードという観点からの研究を行った。
 - ① 間欠性指標を含む、W-cascade モデルと呼ばれる離散的ランダムカスケードモデルに対して、実証研究を行った。ランダム乗算過程における乗数因子の統計に関して、W-cascade モデルで仮定されているような独立性は成り立たず、乗数因子がコーシー分布で表される、裾野の広い分布に従うこと、また、隣接する乗数因子間で強い負の相関を示すことが分かった。
 - ② この結果に対し、W-cascade モデルに付加的なノイズ項を導入する拡張を行い、実証研究の結果と整合的な結果を得た。
- (3) 離散的なモデルは2進格子などの特定なスケール空間の構造を仮定した。言うまでもなくそれは仮構のものである。そこで、スケールの階層構造に依らない連続的モデルを考えた。(2)②で拡張した離散過程を確率微分方程式により連続的な確率過程として定式化した。ここでは、離散モデルにおいて、付加的なノイズ項を導入する拡張を行ったのと同様に、独立なブラウン運動を二つ導入した。モデルに含まれるパラメータは、実際の株価時系列から推定可能である。2008年の株式市場の大暴落前後2年間の株価時系列（ロンドン証券取引所に上場されているFTSE100構成銘柄の平均的な動きを表すマーケット・モード）を用いて検証を行った。提案した確率微分方程式と同値なフォッカー・プランク方程式を導き、数値計算を行った。高い精度で実証研究の結果を再現した（下図）。
- (4) 市場外からの外生的ショックを取り込んだマルチフラクタル・ランダムウォーク過程を提案しボラティリティの応答を調べた結果、応答はベキ関数で減衰することを見出し、実証研究との整合性を確認した。
- (5) 今後、これらの成果をさらに発展させ、金融市場における価格変動モデルを定式化する。上記のボラティリティの確率微分方程式には、価格変動のモデルとして必要な、時間軸や価格変動の符号に関する情報は含まれていない。また、実際の株式市場では、時間軸に関する対称性を破るよく知られた特性がある。長期と短期のスケールのボラティリティの因果構造、価格とボラティリティの相関関係（リバレッジ効果）などである。これらの現象を再現するような連続的ランダムカスケードモデルの拡張を行う。
- (6) 金融市場において適切な価格変動モデルを構築することは、金融資産保有のリスクを見積もる上でも重要な基盤を提供する。
- (7) これらの成果は、国内外の研究集会や専門雑誌で発表している(2)(4)、また一部投稿中(3)である。また、これらの成果を含む内容の著書「株式市場のマルチフラクタル解析」(仮題)(黒田、増川、村井共著)を日本評論社から刊行予定である。

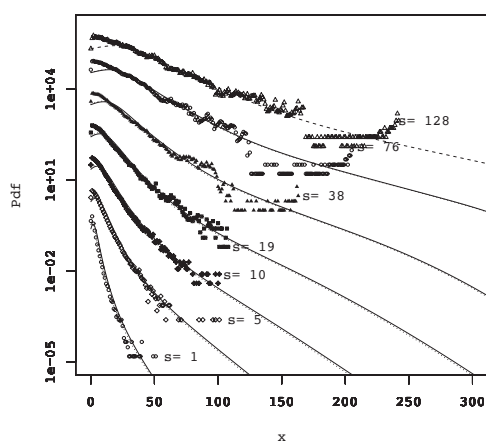


図1 フォッカー・プランク方程式の数値計算によって得られたボラティリティの確率密度関数

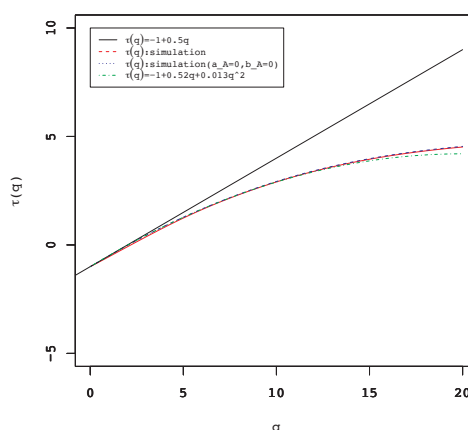


図2 数値計算結果から求めたスケーリング指数

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Maskawa, J., Kuroda, K. & Murai	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 J. Evolut Inst Econ Rev	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） https://doi.org/10.1007/s40844-018-0112-y	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 Kuroda, K. & Maskawa	4. 巻 16
2. 論文標題 Exogenous shock and multifractal random walk	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Evolut Inst Econ Rev	6. 最初と最後の頁 213-238
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1007/s40844-018-0106-9	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 Jun-ichi Maskawa	4. 巻 11(8)
2. 論文標題 Collective Behavior of Market Participants during Abrupt Stock Price Changes	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 e0160152
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0160152	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8件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Maskawa, J., Kuroda, K. & Murai
2. 発表標題 Collective behavior in market participants with different time horizons
3. 学会等名 The 23rd Annual Workshop on Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Maskawa, J., Kuroda, K. & Murai
2. 発表標題 Multiplicative random cascades with additional stochastic process in financial markets
3. 学会等名 Asia-Pacific Econophysics Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増川純一、黒田耕嗣、村井浄信
2. 発表標題 株式市場における時間スケール軸のマルコフ過程
3. 学会等名 日本物理学会年次大会 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun-ichi Maskawa, Koji Kuroda, Joshin Murai
2. 発表標題 Empirical study on random cascades among different time horizons in stock markets
3. 学会等名 13TH ECONOPHYSICS COLLOQUIUM & 9TH POLISH SYMPOSIUM ON PHYSICS IN ECONOMY AND SOCIAL SCIENCES (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増川純一、黒田耕嗣、村井浄信
2. 発表標題 株式市場におけるマルチフラクタル性のランダム・カスケードモデルによる実証研究
3. 学会等名 京都大学基礎物理学研究所研究会経済物理学 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増川純一、黒田耕嗣、村井浄信
2. 発表標題 株式市場におけるマルチフラクタル性のランダム・カスケードモデルによる実証研究
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jun-ichi Maskawa, Koji Kuroda and Joshin Murai
2. 発表標題 Collective behavior in market participants with different time horizons
3. 学会等名 ASIA-PACIFIC ECONOPHYSICS CONFERENCE 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 増川純一
2. 発表標題 金融時系列における異なる時間スケール間の相互作用
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔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
研究 分 担 者	黒田 耕嗣 (Kuroda Koji) (50153416)	日本大学・文理学部・教授 (32665)	