

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：24402

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18959

研究課題名（和文）株式市場の対称性の破れ度計測による完全データ駆動型相転移予測法の開発

研究課題名（英文）Development of phase transition prediction method by fully data driven measurement of the degree of symmetry breaking in stock markets

研究代表者

高田 輝子（Takada, Teruko）

大阪市立大学・大学院経営学研究科・准教授

研究者番号：30347504

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：システム不安程度を示す投資家行動の「対称性の破れ度」に特に注目して抽出し、その特徴を活用して、株式バブルのような相転移現象の予測の高精度化を目指した。まず予測に有効な前兆現象を価格変動パターンから抽出し、システム不安程度を特に敏感に反映する小型株や投資家リスク回避度の指標を導入した。次に大きな価格下落予測が孕む難題である非定常性問題と上昇/下落頻度不均衡問題についての対処策を講じた長期株価トレンド方向予測法を提案し、従来法を凌ぐ暴落回避性能を完全データ駆動的に実現した。投資家期待が一方向に傾くことによって価格変化の非対象度が増大し、その後の大きな価格下落に結びつくプロセスについても検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

株式バブル崩壊のような相転移現象は社会に大きな損失をもたらすため、その予測や制御は、社会的喫緊の課題である。本研究の成果は、金融市場のみならず、様々なシステムにおける大きな変化をもたらす相転移現象への活用への発展が可能であり、社会的意義が高い。相転移現象の予測や制御は、被害をもたらす現象の情報が少ない一方で、それを生み出すシステムは多くの要素が絡む非常に複雑なシステムであるため、現代科学にとっての難題である。本研究が実現した、データの大規模化による情報増大と、非定常性問題や価格下落方向の情報の少なさといった本質的な問題への対処による暴落回避性能の向上は、学術的にも意義が高いものである。

研究成果の概要（英文）：We aimed at predicting phase transition with higher precision by using the extracted system instability feature focusing on the “symmetry breaking” investor behavior. First, several precursory price change patterns useful for predicting phase transitions are newly found. Moreover, the small cap stocks change patterns and investor risk appetite levels are added as the most sensitive factors reflecting the system instability level. Then, we proposed fully data-driven long-term trend direction prediction method which outperforms conventional methods in the crash avoidance performance by taking several measures for challenging but inevitable problems of nonstationarity and class imbalance for predicting phase transitions. It is also verified that the asymmetric price change pattern is induced by expanding investor expectation, leading to a subsequent large price decline.

研究分野：Computational finance

キーワード：非対称度 相転移予測 投資家行動 株式バブル データ駆動型 ノンパラメトリック

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

金融バブルのような相転移現象は社会・経済にもたらすダメージが大きいため、そのメカニズム解明・予測・制御は社会的緊急課題である。しかし、分析に利用できる相転移統計は、発生頻度の低さ、異常値の多さ、確率分布の非正規性(裾厚性・多峰性)などの問題により、従来法による統計分析が技術的に難しいため、相転移データ解析例は少なく、何らかのパラメトリックモデルを仮定するシミュレーション分析によるメカニズム解明が主流となっている。

しかし説明対象は、多くの因子が絡む非常に複雑なシステムであるため、**model misspecification** のリスクが高い点が問題であり、データのみを用いた事実発見・モデルマイニングが望ましい。近年、生態系分野を中心に、分散・AR1 といったモーメントベースのデータのみによる相転移予測法が提案され、実験による一連の検証が *Nature* 誌上などで行われてきたが、予測性能の限界が問題になっている。その背景には、長期間継続する上昇期の後に突然大きく下落する事象は、非定常であることに加え、上昇期と下落期の統計データ数も不均衡と、従来の統計学や情報科学が適用できない最も困難な問題の組み合わせとなっていることがある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、株式市場において投資家集団が生み出す相転移現象としての株式バブルを対象に、データから最大限の情報抽出を行うことにより相転移現象特有の統計パターンを明らかにし、それを利用した高精度相転移予測を実現することである。予測対象時系列のみを入力情報とし、そこに含まれる相転移現象に本質的な特徴の抽出により、完全データ駆動的な予測方法の提案を行う。

特に注目するのは「対称の破れ度」すなわち「系の非対称度」である。価格と非対称度の動きに影響を与える観測可能な重要変数、及び、重要変数間相関構造パターンを明らかにし、これらを用いて高精度予測の実現を目指す。

3. 研究の方法

社会科学分野で最大規模の社会集団行動をとらえた統計であるニューヨーク証券取引所(NYSE)株式統計(1993.1~2018.12, 全100TB超)を主対象に、応募者開発の相転移現象に強いノンパラメトリック確率密度推定法ベースの諸手法を適用し、投資家行動の「対称性の破れ度」に特に注目して最大限の情報抽出を図り、発見した統計パターンを利用した高精度予測の実現を目指した。

高頻度 NYSE 株式データを用いた完全データ駆動的な予測システムによる計算には、大規模データが関わる作業において多大な計算時間を要する。また、研究途中で、既存クラスターマシンの故障に加え、当初想定以上に計算時間がかかることが判明した。そこで、本研究は高頻度 NYSE 株式データの自動取得とクリーニングの作業と並行しながら、以下の3つのアプローチに分けて、同時並行的に研究を行った。

- (1) 相転移予測に有効な前兆現象の探索：NYSE 市場の高頻度統計から算出した株式統計を主な対象として、特に「対称性の破れ」に注目して、相転移現象予測を完全データ駆動的に行うのに有用な前兆現象を探索。
- (2) 完全データ駆動型の相転移予測システムの開発：高頻度 NYSE 統計を使って、(1)で有効性を確認した前兆現象を活用した予測システムを作成することが最終目標とし、まず相転移予測システムが抱える非定常かつ上昇/下落の発生頻度の不均衡という難問題に対処し、精度の高い相転移予測を実現するための枠組を作成した後、(1)の発見事実と高頻度 NYSE 統計を活用した高精度化を図る。大規模データに高度な手法を適用する段階では、計算時間の大幅な増大が発生するため、そのための対処策を講じる必要がある。
- (3) 「投資家心理→価格非対称度増大→暴落」の検証：価格の非対称度増大が相転移現象に根源的に重要な情報を有することを示すことを目的とする。投資家の期待が上昇か下落の一方向に振れる結果、価格変化の上昇/下落についての非対称度が増大し、その後の暴落につながるプロセスがあることを示すため、特定の事例に注目して、テキストデータの解析なども併用し、具体的に何が起きているかを明らかにする。

4. 研究成果

本研究の各アプローチの成果は、以下のとおりである。

(1) 相転移予測に有効な前兆現象の探索：

市場全体統計である NYSE 平均株価指数の大きな下落(相転移)予測を行う際、の大きな下落の前兆現象として、自身の株価変化率確率密度形状(特に非対称度)がある程度有効であることは、既に確認済であるため、その有効性を更に高めるべく、より市場リスクに敏感に変動する前兆現象の探索を行った。

① システム不安定性に敏感な小型株統計における前兆現象の探索

高頻度 NYSE 株式統計から時価総額別指数を算出し、まず、小型株統計がシステム不安定性に最も敏感に反応することを確認した。次に、小型株統計について、確率密度形状から計測

した変動パターン(ボラティリティーや非対称度などの非正規度)や流動性(取引量)の暴落の予兆性との関係を詳細に分析し、非正規度の暴落予兆性などを含む幾つかの相転移予測に有用な新事実を発見した。【学会発表①】【雑誌論文①】

② 投資家のリスク回避度導入による暴落リスク算出性能の向上

暴落リスク算出については、従来法はボラティリティーベースのものが主流であるが、これに加えて、投資家のリスク回避度の代理指標としての信用スプレッドを導入することが、リスク度が高い局面分類性能向上に有益であることを示した。また、ボラティリティーだけでは捉え切れない確率密度の裾形状のパターン活用の有効性も示された。【学会発表②】

(2) 完全データ駆動型の相転移予測システムの開発：

① 日次データを使った暴落予測システムの基本枠組の開発

金融バブルのような大きな価格下落の予測は、価格の長期トレンドの方向予測によって遂行できるが、これには、非定常性の問題に加え、上昇トレンド時と下落トレンド時で対象データ数が大きく異なる(class imbalance)問題といった難題を孕み、従来法をそのまま適用することができない。価格変動の非対称性への着目をはじめとして、こうした難題への対処策を講じた上で、日次価格変化の確率密度形状を要約するモーメント統計が捉える市場状態と長期トレンドの変動パターンを学習機械 SVM に学習させ、株価の長期トレンド予測を行うシステムを開発した。モメンタムや移動平均といった長期株価予測の従来法や、単純な機械学習の適用との比較分析の結果、最も高い投資パフォーマンスを示した。しかも、その利益の源泉は暴落回避性能の高さにあることが示された。【雑誌論文③】

② 投資家のリスク回避度と価格変化の非対称度も加えた暴落予測

株価変化の変動パターンに基づいた暴落予測に、信用スプレッドがもたらす投資家リスク回避度についての情報を導入することにより、更なる高精度化を実現した。【雑誌論文④】

③ 高頻度 NYSE 統計と(1)での発見事実を活用した相転移予測システム高精度化

(2)①で用いた価格変化のモーメント統計を(1)で発見した有用な前兆現象に差し替えて、相転移予測システムの計算を行うことを目標とする。より大規模なデータと、より詳細な確率密度形状の活用を、完全データ駆動的に行うことになるため、データ数の増大と共に計算時間が増大する。当初想定以上に計算時間がかかることが判明した上に、既存のクラスターマシンの故障を受け、新規に GPU を伴うクラスターマシンの整備を行い、それに向けて、プログラムの修正を行った。しかし、残念ながら、研究期間終了までに間に合わなかった。研究機関終了後も、引き続き、計算高速化のためのプログラム作成及び環境整備を行い、目標達成を目指す。

(3) 「投資家心理→価格非対称度増大→暴落」の検証：

「IPO パズル」と呼ばれるアノマリーに着目し、投資家の過剰な上昇期待が価格変動の非対称性を生み出し、株式公開直後の価格上昇の後、長期的な価格低迷をもたらすプロセスの実態を分析した。株式統計に加え、Yahoo!Finance 掲示板からウェブマイニングした投資家による書き込みデータを活用して、投資家期待の度合いを数値的に捉えるとともに、テキスト分析により、投資家心理の具体的内容をテキストにより把握した。これにより、「投資家期待上昇→価格変化の非対称度増大→大きな価格下落」という因果関係を仮定することの正当化のための一根拠が得られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2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 Tsukioka Yasutomo, Yanagi Junya, and Takada Teruko	4. 巻 56
2. 論文標題 Investor sentiment extracted from internet stock message boards and IPO puzzles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Review of Economics & Finance	6. 最初と最後の頁 205-217
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.iref.2017.10.025	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 Teruko Takada and Takahiro Kitajima	4. 巻 9
2. 論文標題 SVM-based stock market trend following strategy for avoiding risks from long-term trend reversals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 OCU-GSB Working Paper	6. 最初と最後の頁 1-20
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 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 -

1. 著者名 岩本菜々・高田輝子	4. 巻 68
2. 論文標題 高頻度データを用いたノンパラメトリック小型株効果分析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 経営研究	6. 最初と最後の頁 111-126
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yusuke Takase, Nana Iwamoto, and Teruko Takada	4. 巻 1
2. 論文標題 Downside risks measurement using innvestor sentiment.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 OCU-GSB Working Paper	6. 最初と最後の頁 1-21
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 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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岩本菜々*, 高田輝子
2. 発表標題 高頻度データを用いたノンパラメトリック手法による小型株効果の検証
3. 学会等名 日本金融・証券計量・工学学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高瀬裕介*, 岩本菜々, 高田輝子
2. 発表標題 投資家センチメントを考慮した米国株式市場のリスク度分類
3. 学会等名 日本金融・証券計量・工学学会
4. 発表年 2019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
---------------------------	-----------------------	----