

# 研究報告書

## 「金融市場における相転移の時空間構造の自動抽出と予測」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 21 年 10 月～平成 25 年 3 月

研究者: 高田 輝子

### 1. 研究のねらい

金融バブルは世界中で繰り返し発生し、その崩壊時には経済・社会に深刻なダメージをもたらしてきている。従って、その制御のためのメカニズム解明や暴落時期の予測は社会的緊急課題である。金融バブルは相転移現象としてとらえることができる。相転移現象は、発生頻度が低いにも関わらず異常値等により扱いにくく、抽出できる情報量が少ない。しかしその一方で、相転移現象を生み出すシステムは多くの因子を含む非常に複雑なものである。本研究では、大規模データを利用して情報量を増大することに加え、データからのロバスト・効率的データ抽出のための統計手法を開発することにより、少ない情報で複雑なシステムを説明する困難さの克服を目指す。そして相転移現象の基本的事実やパターンを明らかにし、予測や制御に役立てることが、本研究のねらいである。

### 2. 研究成果

#### (1) 概要

本研究は、二つの方向から相転移解析の難しさの克服を図った。金融市場における相転移解析のためのロバスト・効率的情報抽出を可能にする新しい統計手法の開発(研究テーマ A)の方向と、大規模データ利用による情報量増大の方向である。大規模データ利用は、相転移予測精度向上にも寄与したが、中心的成果は金融バブル生成・崩壊メカニズム解明において核心的な因子である投資家心理についての大規模データを用いた新事実発見(研究テーマ B)であった。

研究テーマ A としては以下の3つの点について新しい手法の開発を行い、データからの情報抽出の効率化を実現した: ①相転移予測前兆指標のロバスト化と精度向上を実現する新手法の開発、②SVM を用いた相分類による相転移予測精度向上、③金融バブルのスケール標準化法の提案による主要相転移前兆指標についての情報量増大の実現である。これら成果により、研究開始当初想定していた本研究進展にあたっての技術的困難は概ね解消された。その結果、従来法を用いた場合よりも高精度な相転移予測を実現した。

研究テーマ B としては金融バブル期の投資家心理に関わる解析を中心に行い、以下の結果を得た: ①金融バブル生成・崩壊期における売手/買手別投資家心理の非対称性の可視化と、②ウェブ上の検索行動の株価暴落予兆性の発見、③投資家ネットワークの形状パターンと金融バブルの関係分析や、金融政策の投資家心理への影響分析である。投資家の行動や心理に関わる事実解明は、金融バブル拡大の事前抑制や暴落後の市場鎮静化のためのシステム・デザインに役立つ重要なものである。

#### (2) 詳細

本研究では、いくつかの新しい統計手法の開発により、ロバスト・効率的データ抽出を実現した上で、特に投資家心理に注目した大規模データ解析を行い、いくつかの新事実発見を行った。

【研究テーマ A: 相転移解析におけるロバスト・効率的情報抽出の為に新しい統計手法開発】  
以下の3点について新しい手法の開発を行い、データからの情報抽出の効率化を実現した:

① 相転移予測前兆指標のロバスト化と精度向上を実現する新手法の開発

生態系や気象の分野などを中心に、現在利用されている相転移予測の前兆指標としては、分散、系列相関度(AR1)、歪度、要素間の空間的パターン出現などが、主要なものとして挙げられる。これらをロバスト化・効率化して金融市場に応用するために、本研究ではまず、分散や歪度について、裾厚分布に強いノンパラメトリック確率密度推計値ベースの統計値を提案した。系列相関度については、pointwise mutual information ベースの瞬間的相関度を開発し、ロバスト化・効率化を実現した(論文1)。これは AR1 と異なり、非線形相関度を局所時点で計測できる画期的な方法である。要素間の空間的パターンの例としては、微生物の増殖の相転移の前に出現する特徴的なパターンなどがある。これを金融バブルに応用するにあたり、本研究では投資家同士のネットワーク・パターンの時系列推移を、1998 年以降直近までの米国ダウ30株価指数構成銘柄についての投資家用掲示板データを用いてまず可視化した。そしてそれをマイクロベースの投資家間相互作用度を表す指標に集計し、「市場が一方向に向かうときに投資家間相互作用度が高まる」傾向と、その相転移前兆指標としての有効性を示した(論文投稿準備中)。投資家間相互作用度は、マクロデータをベースにして計測されるものが通例であり、真にマイクロベースで広範囲に渡って投資家間相互作用度を計測したのは、本研究が初めてである。これら前兆指標の提案法は生態系や気象など、他の複雑系分野にも影響しうる貢献である。

② 相分類に SVM を導入することによる相転移予測精度向上

金融市場における上昇期と下落期の特徴を、価格収益率データのモーメント情報から SVM に逐次学習させ、上昇期、移行期、下落期の統計的特徴を分析した。また学習結果を基に将来の市場が上昇傾向か下落傾向かを SVM に予測させ、市場平均を大きく上回る投資パフォーマンスを実現させた(その他の成果1)。モーメント情報の代わりに有意な相転移前兆指標を利用すれば、更なる予測精度向上も期待できる。

③ 金融バブルのスケール標準化法の提案による情報量増大の実現

金融バブルは数十年に 1 度の頻度でしか発生しないため、現在利用可能な統計データには限りがあり、十分な解析を行いにくい。しかし、地震の場合と同様に、スケールの小さいミニバブルであれば発生頻度も高く、十分な統計量が確保できる。本研究では、金融バブルのスケールの標準化をボラティリティーについて行う新しい手法を提案し、相転移予測に有益ないくつかの新事実を発見した(その他の成果3)。ボラティリティーは、相転移予測の前兆指標の中でもシステム安定性との関係が特に深い重要指標であり、これについての情報量増大手法の提案と新事実発見は、他分野の相転移解析にとっても重要な貢献であると考えられる。

以上の新しい統計手法開発の成果により、研究開始当初想定していた本研究進展にあたっての統計手法面の技術的困難を、概ね解消することができた。その結果、従来法を用いた場合よりも高精度な「金融市場における相転移予測」を実現させることができた(論文投稿準備中)。

#### 【研究テーマB:大規模データによる投資家心理についての新事実発見】

金融バブル期の投資家心理に関わる統計解析を行い、以下の結果を得た:

##### ① 金融バブル生成・崩壊期における売手/買手別投資家心理の非対称性の可視化

ニューヨーク証券取引所全上場銘柄について、利用可能最長株式の指値注文表の気配値データを用いて、金融バブル生成・崩壊局面における売手/買手別不安度の時系列推移パターンの非対称性を可視化した。その結果、「金融バブル生成局面においては非対称度が拡大し、金融バブル崩壊後はそれが解消し対称度が高まる」という事実をデータで示すことができた(論文投稿準備中)。これだけ大規模な板値データ解析はほとんど例が無い。また「対称性の破れ」は物理学において、一般的な相転移に関係の深い現象であり、この発見は、金融バブルも普遍的な物理法則に支配されている可能性につながりうるものといえる。

##### ② ウェブ上の検索行動の株価暴落予兆性の発見

金融バブルの生成過程で重要な役割を果たすのは機関投資家よりもむしろ一般投資家である。そしてその一般投資家は、実際に投資行動を起こす前に、インターネット上で情報を確認してから投資判断を下すことが多いと考えられる。本研究では、ウェブ上の検索行動と株価変動の関係を各国主要株価指数について分析した結果、株価の上昇時/下落時における検索行動の非対称性や、検索頻度統計による株価暴落予測可能性を発見した(その他の成果2)。投資行動の方向性決定の前段階である検索行動と、投資行動の結果である株価変動との関連性を分析した研究はまだ非常に少ない。

##### ③ 解析途上の研究

###### 投資家ネットワーク分析

収集した投資家ネットワーク時系列データの、株価変動とネットワーク形状パターン変動の関係についての分析を行った。これだけ長期の大規模な社会ネットワークの解析は例が無く、学術的価値が高いものである。

###### 金融政策が投資家心理に与える影響分析

1990年代初め頃からの格付けが利用できる米国上場のほぼ全ての社債の長期時系列データを用いて、金融政策が投資家のリスク選好度(投資意欲)にどのように影響を与えているかについての分析を行い、いくつかの新事実を発見した。本研究は金融政策から投資家心理へのチャンネルをつなげるものであり、金融政策デザインのために不可欠なものである。

金融バブル生成・崩壊期における投資家の行動や心理に関わる事実解明は、投資家間相互

作用を通じて価格上昇/下落期待が高まる過程という核心部分の解明につながるものであり、最終的には金融バブル拡大の事前抑制や暴落後の市場鎮静化のためのシステム・デザインに役立つ、重要なものである。

### 3. 今後の展開

今後の展開については、大きく分けて二つの方向を考えている。一つは、生態系や物理系など他の複雑系における相転移現象と金融バブルとの間の共通パターンに注目し、一般的な相転移現象について既に得られている予測やメカニズムについての知見を活用し、金融バブル研究に応用していく方向である。もう一つは、金融バブルの生成・崩壊の核心的因子である投資家心理のダイナミクスを群集行動としてとらえ、金融市場の高頻度数値データだけでなく、大規模ウェブ・テキストデータなども用いて、ミクロな投資家レベルからマクロな株価変動レベルへの伝播過程を観察し、基本的事実発見、メカニズム解明、制御を目指す方向である。今後はこの二つの方向から、金融バブルの真実に迫り、社会に役立てる研究成果に結実させていきたい。

### 4. 自己評価

本研究の当初目標は、金融市場における相分類による相転移予測を、大規模金融データとロバスト・効率的手法の開発により、実用レベルの精度に高めることであった。さきがけ研究の成果は、相転移研究のための技術的困難を、統計手法とデータの大規模化の両面から、概ね解消することができたことである。統計手法面では投資家間相互作用度の開発も、ミニバブル情報の発掘による金融バブル情報増大も、さきがけ期間に着手できるとさえ想定していなかった。また、データの大規模化による情報量増大面についても、当初予定の日米株式逐次データのみならず、日米の売手/買手別指値表による板値の最長時系列データや、ウェブ上の大規模投資家掲示板最長時系列データ、格付けが利用できる米国上場のほぼ全ての社債データなど、異なる種類について全テキストファイルで約280TBに達するなど、比類の無いレベルの大規模データを収集・クリーニングし、解析を行うことができた。

一方、本研究の技術的困難をさきがけ期間中に解決することを目指したことに加え、データ・クリーニングや大規模データ用クラスター・マシンの整備といった「大規模データ解析環境整備」に想定以上に時間がかかってしまった結果、成果が総花的となってしまう、着手した研究を全てさきがけ期間内にまとめきることができなかった点は、目標通りだったとは言えない。できるだけ早いタイミングで全て完成させたい。さきがけのおかげで、当初想定 of 技術的困難はクリアされ、計算環境も大規模データも整備された。しかも、今後本研究を発展させていく上で発生しうる技術的困難点については、共同研究などにより、多くのさきがけ研究者やアドバイザーの先生方からの協力を得られる環境まで整ったことは、心強い限りである。あとは、ロバスト・効率的な大規模データ解析により、この研究を大きく花開かせるよう、努力していきたい。

### 5. 研究総括の見解

金融・経済データ情報から金融バブルなどの相転移現象の時空間構造を可視化し、相転移メカニズムの探索・モデル化と予測を可能にする知識生産方法を開発し、金融・経済のシミュレーションモデルの新しいデータ同化技術構築の基盤技術を目指すという研究課題である。

当初目標は、金融市場における相分類による相転移予測を大規模金融データとロバスト・効率



的手法の開発により、実用レベルの精度に高めることであったが、相転移研究のための技術的困難を、統計手法とデータの大規模化の両面から、ほぼ解消することができている。また、さきがけの特徴である研究者間のコラボレーションをうまく活用し、当初の研究範囲を超え、日米の売手/買手別指値表による板値の最長時系列データやウェブ上の大規模投資家掲示板最長時系列データ、格付けが利用できる米国上場のほぼ全ての社債データ等々、他種の大規模データの収集・解析を行い、相転移予測の精度を高めることができたことを評価する。

今後、他の複雑系における相転移現象で得られている知見の活用や、投資家心理のダイナミクスの分析等を進め、金融バブルの真実に迫り、社会に役立てる研究成果に結実させて行っていきたい。

## 6. 主な研究成果リスト

### (1) 論文(原著論文)発表

1. Teruko Takada. Mining Local and Tail Dependence Structures based on Pointwise Mutual Information. Data Mining and Knowledge Discovery. 2012, 24(1), pp.78-102.

### (2) 特許出願

研究期間累積件数:0 件

### (3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

1. Teruko Takada and Takahiro Kitajima. Phase Classification by Support Vector Machine. Computational Statistics and Data Analysis International Conference on Computational and Financial Econometrics, 2010.
2. 高田輝子、佐藤圭. ウェブ検索頻度による投資家不安度の分析. 日本統計学会第 80 回大会、2012.
3. Teruko Takada and Akimitsu Inoue. Multiple Time Scale Volatility Patterns before Abrupt Switching in Financial Markets. Computational Statistics and Data Analysis International Conference on Computational and Financial Econometrics, 2012.
4. 高田輝子. 金融バブルのような相転移現象の予測法開発. 競創ダイナミクスの統合的理解 第1回研究会, 2013. (招待講演)
5. 高田輝子. 金融バブルの大規模データ解析. 第 27 回人工知能学会全国大会オーガナイズド・セッション「金融情報学」, 2013. (招待講演)