

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：32615

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25380404

研究課題名(和文) 投機的バブルとバブル崩壊のモデルの構築とその実証的検証

研究課題名(英文) Building a model of bubbles and crashes and the empirical verification

研究代表者

海蔵寺 大成 (KAIZOJI, Taisei)

国際基督教大学・教養学部・教授

研究者番号：10265960

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、投機的バブルの発生とそれに続くバブルの崩壊の原因を解明する理論モデルを提案することである。本研究では、投資家の心理的な揺らぎ(直観)が、株式市場のバブルやバブルの崩壊を生み出す本質的な原因であることを理論的に示した。投資家の心理的揺らぎが小さいとき(つまり、投資家が自らの投資行動に強い自信を持っている時)、投機的バブルとその崩壊が起きることがわかった。さらに、モデルから導かれるバブルの崩壊の理論的条件を実際の株価データが推計した結果、バブル崩壊と理論的予測が一致していることがわかった。以上の結果から、株式市場のバブルの崩壊は理論的に予測可能性であることが示された。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to propose a theoretical model to elucidate the causes of speculative bubbles and the crashes that inevitably follow. We also demonstrate that the investor's psychological fluctuation (corresponding to temperature under the maximum entropy principle) is the root cause of speculative bubble and crash. More concretely if the investor's psychological fluctuation is small, then the stock market generates multiple equilibria, and the herd behaviour of the investors gives rise to a bubble, which is prolonged by their positive-feedback trading but inevitably ends with a crash, which is the first-order phase transition in the asset market. We also describe how cycles of bubbles and crashes are repeated. We also estimate the parameters of the model using the actual financial data and confirm that market crashes are probably predicted by the theoretical model proposed by this study.

研究分野：金融経済学、ファイナンス、経済物理学

 キーワード：投機的バブル 暴落 ノイズ・トレーダー 効率的市場仮説 相転移 エントロピー最大化原理 離散  
 選択モデル

## 1. 研究開始当初の背景

本研究のテーマである投機的バブルとバブル崩壊のメカニズムの研究は、経済学、ファイナンス、さらに、経済物理学における最も重要な研究課題の一つである。特に、1929年のニューヨーク証券取引所におけるクラッシュ、2000年のインターネット・バブルの崩壊、そして、2006年以降の欧米の不動産バブルの崩壊は、単に資産市場の崩壊にとどまらず深刻な景気後退の原因になったため、活発な研究が行われている。

投機的バブルは、適正な資産価格から実際の価格が長期間、大幅に乖離する現象である。これまでに、この乖離を説明するさまざまな仮説が提案されている。現時点で有力な仮説のひとつは、Fisher Black 等によって提唱されたノイズ・トレーダー仮説である (Fisher Black (1986))。DeLong 等は、ポジティブ・フィードバック戦略を取るノイズ・トレーダーとファンダメンタル価格投資を行う合理的投資家が共存する株式市場のモデルを構築し、投機的バブルとバブルの崩壊を説明するモデルを提案した。(De Long, Shleifer, Summers, and Waldmann; Positive Feedback Investment Strategies and Destabilizing Rational Speculation, The Journal of Finance, Vol. 45, No. 2. 1990)。彼らの研究以降、ノイズ・トレーダーの存在に関する多くの実証研究が行われている。たとえば、Jegadeesh and Titman (The Journal of Finance, Vol. 56, No. 2. 2001) は、ノイズ・トレーダーの基本戦略であるポジティブ・フィードバック戦略 (あるいは、モメンタム戦略) が実際の株式市場で収益を挙げられるかどうかを踏査した。その結果、(i) 3 か月から1年の保有期間では超過利益をあげることができるが、(ii) 2年以上保有すると超過利益は失われてしまうことがわかった。彼らの結果はノイズ・トレーダー・モデルが示唆するバブルとバブル崩壊のプロセスと一致していることから、ノイズ・トレーダーの存在を示唆するひとつの証拠であると考えられている。この結果はその後に行われた多くの実証研究でも確かめられている。また、実験経済学の分野でも、ポジティブ・フィードバック戦略がバブルを作り出すことが確かめられている。(V. L. Smith, G. L. Suchanek, A. W. Williams, Bubbles, Crashes, and Endogenous Expectations in Experimental Spot Asset Markets, Econometrica, Vol. 56, No. 5, 1988)。

以上のように、ノイズ・トレーダーの投資行動が、バブルの発生と崩壊に深く関わっていることが次第に明らかになりつつある。しかし、DeLong 等のモデル (そしてそれ以降に開発されたノイズ・トレーダー・モデル) のひとつの問題点は、ノイズ・トレーダーの投資行動を合理的に説明する原理がモデル化されていないことである。本研究では、こ

れまでの研究を踏まえ、ノイズ・トレーダーの投資行動の原理をモデル化するとともに、彼らの投資行動によって、バブルが生成され、崩壊するメカニズムを説明するモデルを構築する。

## 2. 研究の目的

本研究目的は、統計力学の視点から株式市場におけるバブルとバブルの崩壊をモデル化し、バブルの発生と崩壊の理論的条件を明らかにし、それを実証的に検証することである。これまでの研究からわかってきたノイズ・トレーダーの投資行動の特徴は、(1)他のトレーダーの行動を観察し、多くのノイズ・トレーダーがとる行動を模倣しようとする、(2)価格が継続的に上昇している資産に投資すること、(3)予測できないランダムな要素、いわゆる、直感に基づいて投資を行っていることである。

このうち、他のトレーダーの行動を観察し、多くのノイズ・トレーダーがとる行動を模倣しようとする行動は、herding behavior と呼ばれるが、価格の上昇トレンドを作り出すことから、性質の(1)と(2)は密接に関係していると考えられる。本研究では、上記3つのノイズ・トレーダーの性質のモデル化を試みる。ノイズ・トレーダーの模倣行動をモデル化するため、ノイズ・トレーダーが互いに影響しあっている離散選択モデルを用いる (Brock, and Durlauf, RES, 68-2 (2001))。このモデルの均衡状態は、すべてのノイズ・トレーダーが他のノイズ・トレーダーの行動を平均的に正しく予想している状態であるといえる。この均衡は、J.M. Keynes の有名な美人投票の繰り返しゲームの均衡点に対応すると解釈できる。

したがって、このノイズ・トレーダー・モデルは、J.M. Keynes の有名な美人投票のモデル化であると考えられる。

次に、ノイズ・トレーダーとCAPMに従う合理的な投資家が共存する株式市場において、バブルの発生とバブル崩壊が起きるメカニズムを理論的に示す。さらに、モデルの妥当性を実データを使って検証する。まず、資産価格 (特に、株価) が株価の適正価格 (いわゆる、ファンダメンタルズ) から長期間乖離することを事象的に示す。また、モデル・パラメータを株価の実データから推計し、理論的に示されるバブル発生とバブルの崩壊が起きる条件が満たされているときに、実際にバブルとバブル崩壊が起きていることを暴落の事例を使って検証する。

本研究のもう一つの課題は、企業のファンダメンタルズを推計することである。実際の企業の財務データからファンダメンタルズを推計する理論モデルを提案し、株式市場のバブルとバブル崩壊時に、株価がファンダメンタルズから乖離することを実証的に示す。

### 3. 研究の方法

理論研究の方法としては、先行研究[1]で提案した、株式市場におけるバブルとバブル崩壊の「イジング・モデル」を「確率的効用最大化モデル」として再定式化する。具体的には、投資家が相互に影響しあう離散選択モデルを使う。本研究では、エントロピー最大化と確率的効用最大化の理論的な関係を研究する。また、イジング・モデルは、形式的にニューラルネットワークの基本モデル(ボルツマンマシン)と共通点が多いため、ニューラルネットワークのモデルを応用することでモデルの拡張を行う。

コンピュータ・シミュレーションを使って、投機的バブルとバブルの崩壊の発生が理論通りにおきるかどうかを検証する。さらに、開発した理論モデルを実際のバブルとバブル崩壊の例(インターネット・バブル)に応用し、実データからモデル・パラメータの推計を行う。

実証研究の方法として、実際の財務データから企業のファンダメンタルズを算出する。ピューロ・バン・ダイク社が提供する世界の上場企業約6万社の企業財務データベース「OSIRIS」を利用して、2004年から2013年のパネル・データの分析を行い、企業のファンダメンタルズを算出し、実際の株価との乖離を実証的に示す。

[W1] Taisei Kaizoji, (2000), Speculative bubbles and crashes in stock markets: an interacting agent model of speculative activity, *Physica A*. 287, 3-4, 493-506.

### 4. 研究成果

#### 理論研究の成果

本研究では、統計力学の視点から株式市場におけるバブルとバブルの崩壊をモデル化し、投資家の集団心理が作り出す行動を解明することである。

まず、イジング・モデルを使って定式化された株式市場のモデル[1, W2]を確率的効用関数最大化モデル(離散選択モデル)を使って再定式化した。MacFaddenによって定式化された離散選択モデルは、投資家(経済主体)の意思決定が、確率的なゆらぎ(つまり、直観)に影響されると考えている。確率的効用最大化モデルでは、この確率的要因をガンベル分布によって現わしている。本研究では、このガンベル分布の分散を決めるパラメータがエントロピー最大化モデルの「温度」に対応していることを理論的に示した。また、離散選択モデルは確率的効用関数最大化問題として定式化されるが、この効用最大化問題をエントロピー最大化問題として再定式化することができることを理論的に示した。この理論的考察は、すでに、Conjugate理論を使って、Miyagi(1986)によって展開された

理論である。これまで、経済物理学の分野で、多くの株式市場の理論モデルが提案されてきた。これらのモデルのほとんどは、統計力学のスピン・モデルを応用して、投資家の行動を記述するモデルである。最大の問題は、スピン・モデルがエントロピー最大化を基本原理としている一方で、経済学の経済主体の行動モデルは効用最大化を基本原理としていることである[5]。これら二つの大原理の関係、特に、一致性を証明することが重要な課題であった。本研究によって、この問題に一つ解答を示すことができた[W3]。本研究のもう一つの成果は、投資家の意思決定の確率的な揺らぎ(直観)が、株式市場のダイナミクスを決める重要な要素であることを示すことができたことである。投資家の確率的揺らぎが大きいとき、つまり、投資家が自分の意思決定に確信を持っていないとき(イジング・モデルの温度が高いとき)、株式市場は唯一の均衡点を持ち、株価は適正価格、企業のファンダメンタルズ株価は収束する。しかし、投資家の確率的揺らぎが小さく、投資家が自らの投資行動に強い確信を持っている時(温度が低いとき)、株式市場は複数均衡を持つようになり、投機的バブルとばぶるの崩壊が必然的に繰り返される。バブルの発生はイジング・モデルの2次相転移に対応し、バブルの崩壊は1次相転移に対応する。相転移に関する理論的分析から、バブルの崩壊(1次相転移)が起きる理論的条件を示すことができる。この理論条件を実データを使って検証することができる。2000年に実際に起きた投機的バブルとバブルの崩壊の理論条件を実データを使って検証した結果、インターネット・バブルが崩壊した時点を理論的に示すことができた。これらの結果から、本研究で開発した理論モデルを使って、投機的バブルの崩壊を予測できる可能性が示された。

バブルとバブル崩壊に関して行ったもう一つの研究成果は、株式の適正価格である企業のファンダメンタルズを推計する実証モデルを開発したことである。の財務データを利用して、企業価値理論でしばしば採用される財務指標、「一株当たり配当金」、「一株当たりキャッシュフロー」、「一株当たり純資産」の3つを説明変数とし、株価を説明する回帰モデルの推定を行った。世界の上場企業約7000社のパネルデータ分析の結果、統計的に有意で、かつ、最適なモデルとして「2方向固定効果モデル」が選ばれた。(決定係数=0.97)。

2方向固定効果モデルは、2つの固定効果(時間固定効果と個別固定効果)を定数項に持つ回帰モデルである。個別固定効果は、個々の企業の株価を説明する企業固有のファクターを現している一方、時間固定効果は、ある時点で起きたリーマン・ショックのような外生的ショックの株価に対する影響を現していると考えられる。このモデルから企業

のファンダメンタルズを計算するために、2方向固定効果モデルから時間固定効果を除外した理論値をファンダメンタルズとして定義した。これによって、個々の企業の株価がその企業のファンダメンタルズからどの程度かい離しているのかを時系列的に分析することが可能になった。乖離率の分布を検証した結果、リーマン・ショック前の2006年から2007年は乖離率の分布がプラス側に偏っているのに対して、リーマン・ショックが起きた2008年には、分布がマイナスの方向に大きく動いていることがわかった。この現象はバブル崩壊時に市場の相転移が起きていたことを示唆しており、本研究の理論モデルの結果を裏付ける結果であると考えられる[3,6,8,14]。

[W2] Taisei Kaizoji, “A Model of Speculative Bubbles and Crashes”, under review.

[W3] Taisei Kaizoji, Statistical Equilibria in a Discrete Choice Model of Financial Markets, to be appeared.

[W4] Taisei Kaizoji and Michiko Miyano, Stock Market Crash of 2008: an empirical study of the deviation of share prices from company fundamentals, under review.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計8件)

- [1] Michiko Miyano and Taisei Kaizoji, (2016), The Divergence Rate of Share price from Company Fundamentals: An empirical Study at Regional level, forthcoming in Yuji Aruka and Alan Kirman (eds.), *Economic Foundations for Social Complexity Science: Theory, Sentiments, and Empirical Laws*, in *Evolutionary Economics and Social Complexity Science* Chapter 12, Springer.
- [2] Lukas Pichl and Taisei Kaizoji, (2016), Computational Intelligence Methods for Data Mining of Causality Extent in the Time Series, forthcoming in *International Journal of Computational Science and Engineering*.
- [3] Taisei Kaizoji, (2016), Toward economics as a new complex system, *The European Physical Journal Special Topics*, December 2016, Volume 225, Issue 17, pp 3225–3230.

[4] [6] Taisei Kaizoji and Michiko Miyano, (2016), Why does the power law for stock price hold?, *Chaos, Solitons and Fractals* 88, 19–23.

[5] Lukas Pichl and Taisei Kaizoji, (2016), Analysis of Market Trend Regimes for March 2011, USDJPY Exchange Rate Tick Data, Osman, Nardine, Sierra, Carles (Eds.), *Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pp. 184-196, (Lecture Notes in Artificial Intelligence Vol. 10003).

[6] Michiko Miyano and Taisei Kaizoji, (2017) Power Law Distributions for Share Price and Financial Indicators: Analysis at the Regional Level, in Frédéric Abergel et al: *Econophysics and Sociophysics: Recent Progress and Future Directions*, (Chapter 6, pp. 85-101), the New Economic Windows series of Springer International Publishing AG.

[7] Taisei Kaizoji, Matthias Leiss, Alexander Saichev, and Didier Sornette, (2015), Super-exponential endogenous bubbles in an equilibrium model of fundamentalist and chartist traders *Journal of Economic Behavior & Organization* Volume 112, Pages 289–310.

[8] Cheoljun Eom, Jong Won Park, Yong H. Kim & Taisei Kaizoji (2015): Effects of the market factor on portfolio diversification: the case of market crashes, *Investment Analysts Journal*, *Investment Analysts Journal*, 44:1, 71-83.

〔学会発表〕(計11件)

- [1] Taisei Kaizoji, “Zipf’s law for Company Fundamentals and Stock Market Anomaly”, 第21回進化経済学会 京都大会2016, 2017年3月25日～2017年3月27日, 京都府 京都市.
- [2] Taisei Kaizoji, “Speculative Bubbles and Crashes in An Ising-like Model of Financial Markets”, Workshop on the Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents (WEHIA), 2016年6月22日～2016年6月24日, Castellon, Spain.
- [3] Taisei Kaizoji, “Speculative Bubbles and Crashes: A Model of Financial

Markets with Interacting Agents”,  
EAEPE ( Industrialization,  
Socio-Economic Transformation and  
Institutions ), 2016 年 10 月 3 日～2016  
年 10 月 5 日, Manchester UK.

- [4] Taisei Kaizoji, “Speculative Bubbles and Crashes in An Ising-like Model of Financial Markets”, International Conference on Socio-economic Systems with ICT and Networks, University of Tokyo, 2016/03/26.
- [5] 海蔵寺 大成, 「株価と一株当たり財務情報のパレート法則」  
ネットワークが創発する知能研究会 (JWEIN2015), 日本大学駿河台キャンパス, 2015 年 8 月 19 日
- [6] Taisei Kaizoji, “Why does the power law for hold?”, Econophysics 2015, 2015/11/27- 2015/12/02, JNU New Delhi, India.
- [7] 海蔵寺 大成, 「なぜ、株価のベキ法則は成立するのか？」経済物理学 2015、京都大学、2015 年 12 月 04 日。
- [8] Taisei Kaizoji, “A Theory of Bubbles and Crashes”, WEHIA2014, 2014/06/17～06/19, Tianjin University, China.
- [9] [Taisei Kaizoji, Intrinsic Value of Bitcoin and Bitcoin Bubbles, WEHIA2014, 2014/06/17～06/19, Tianjin University, China.
- [10] Taisei Kaizoji, Bubbles and Crashes: Modeling from the point of view of statistical physics, Econophysics Colloquium 2013, 2013/07/30～31, POSTECH, Pohang Korea.
- [11] Taisei Kaizoji, “Bubbles and Crashes: Modeling from the point of view of statistical physics”, Econophysics Colloquium 2013, 2013/07/30～31, POSTECH, Pohang Korea.

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

海蔵寺 大成 ( KAIZOJI, Taisei )

国際基督教大学・教養学部・教授

研究者番号 : 10265960