

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：12613

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K01585

研究課題名（和文）バブルの検出とモニタリング検定

研究課題名（英文）Detection of Bubbles and Monitoring Tests

研究代表者

黒住 英司（KUROZUMI, Eiji）

一橋大学・大学院経済学研究科・教授

研究者番号：00332643

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：金融資産価格などにバブルが発生したか否かをリアルタイムで検証する統計的手法（バブルのモニタリング検定）を新たに開発し、それらの理論的な特性を明らかにした。その結果、モニタリング期間の初期に発生するバブルを検知しやすい検定と、中期から後期に発生するバブルの検知に優れている検定があることを明らかにした。また、バブルの発生から検知までのタイムラグについても、検定手法に依存して変化することが分かった。最終的には、これらの特性を生かしたハイブリッドなモニタリング検定を開発し、ソフトウェアに実装して、金融資産価格のバブルの検知に活用できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金融資産価格などに発生するバブルをリアルタイムにより早く検知できる統計的手法を確立したことは、その対応策にいち早く着手できるという意味で、金融システムの安定化に重要な役割を果たすことになり、学術的にも社会的にもその意義は大きい。バブルの発生とその検知にはタイムラグが発生するが、このタイムラグの分布を導出したことは、学術的に注目される成果であり、実際、研究成果が掲載されたジャーナルの2019 - 2020年ににおける一番多くダウンロードされた論文の一つとして評価されている。

研究成果の概要（英文）：I developed several statistical methods for detecting a bubble in financial time series in real time (monitoring tests for a bubble) and found their theoretical properties. It turned out that some of the tests are good at detecting a bubble emerging early in the monitoring periods, whereas the others are suitable for a late emerging bubble. I also found that the delay times between the emergence and the detection depends on the tests. By taking these properties into account, I developed a hybrid method of monitoring a bubble, and implemented it to find the explosive behavior of financial prices.

研究分野：時系列分析

キーワード：バブル 仮説検定 オンライン検定 モニタリング リアルタイム検定

## 1. 研究開始当初の背景

長期の経済時系列データの分析を行う際、しばしば議論されるのが構造変化の可能性である。観測期間を長くとれば、モデルの推定精度や予測精度が向上する一方、国際的な経済情勢の変化や技術革新、人々の嗜好の変化など、様々な要因でモデルの構造が変化している可能性がある。そのため、計量経済学・統計学の分野を中心に、構造変化の有無の検定や変化点に関する統計的推測方法が提唱されており、すでに計量経済分析ソフトウェアに実装されている。ただし、構造変化の検定の多くは、与えられた観測期間中のモデルの構造変化の検証を主な目的としており、しばしば「回顧的検定」と呼ばれている。一方、経済データは時々刻々とアップデートされていくものであり、経済政策的な観点からは、データが更新される毎にモデルの安定性を検証し、モデルに変化が見られた場合には早急に対処策を検討することも、重要な課題である。このようにデータの更新に伴い仮説検定を繰り返し行う手法は「リアルタイム検定」もしくは「モニタリング検定」と呼ばれており、統計学の分野では逐次解析として発展してきている。このモニタリング検定の経済分析への応用は、参考文献[1] Chu, Stinchcombe and While (1996)で回帰分析への利用が検討されており、それ以降も数々の研究が進められている。

経済モデルの構造変化に関する応用研究では、回帰モデルを用いた限界効果や弾力性、乗数の変化の検証が数多く行われてきた。一方、近年、注目を集めている構造変化の検定の応用の一つとして、投機的バブルの検定が挙げられる。金融資産価格の変動は、効率的市場仮説のもとでは、単位根過程としてとらえることができる一方、ファンダメンタルズからの乖離であるバブルの発生は単位根過程から発散的な過程へ移行したものととらえることができる。この特性を利用して[2] Diba and Grossman (1988)は単位根検定(ADF検定)を利用したバブルの検定を提唱した。一方で、この手法では検出力が低いことも判明しており、そのため、[3] Phillips, Wu and Yu (2011)はADF検定を右側に応用したsupADF検定を提唱した。この手法は、バブルが検出された場合、バブルの発生時期と崩壊(収束)時期を計量経済学的に推定するというものであり、以降、バブルの検証に広く使われている。さらに、[4] Phillips, Shi and Yu (2015)では金融資産価格の安定時期とバブルの期間が交互に続くようなモデルについても、バブル期の推定が可能であることを示しており、より複雑なモデルが[5] Phillips and Shi (2018)で開発されている。

上述したバブルの検定は、過去のバブルを検出し、バブルの時期を計量経済学的に特定するという観点から開発・応用されたものであり、基本的には与えられたデータ期間内での分析が中心であった。一方、バブルの出現は金融市場の混乱要因を招くことになり、バブルの兆候が観測された場合、政府や中央銀行は、早急に対処策を施す必要がある。すなわち、金融資産価格をモニタリングし、バブルの兆候の有無を観測することは非常に重要な政策課題の一つである。

## 2. 研究の目的

以上の学術的背景のもと、本研究の目的は、(1)既存のバブルの検定をモニタリング検定のフレームワークへ拡張、(2)バブルのモニタリング検定の統計的性質の分析、(3)モニタリング検定でバブルが検出された場合の検出までのタイムラグの分布の分析、(4)モニタリング検定の実証分析への応用、の4点である。

まず、(1)と(2)のモニタリング検定への拡張と統計理論分析は、これまでの既存手法とは異なる「リアルタイム」な検定への拡張・分析という点で、独自の手法の開発であるといえる。先行研究との大きな違いは、先行研究ではバブルの検出後、バブル期間の開始・終了時点の決定方法に重点が置かれているが、本研究では、現在進行形でバブルをいかに早く検出するかを主な目的とする、という点である。また、統計的分析では、後述するように、「バブルの期間の長さが検定の性質にどのように影響するか」という点に焦点を当てて漸近的な性質を明らかにする。バブルがクラッシュするというモデルはこれまでも想定されているが、バブル期間の長さや検定の性質の関連性を詳細に分析した先行研究の事例はないので、独創的・創造的な研究内容・成果を求めることになる。

(3)については、バブルが発生したからといって瞬時に統計的に検出できるものではなく、バブル期間がある程度続いて初めてバブルを検出できるため、その検出時点(ストップ・タイム)は発生時点よりも遅れるのが通常である。このタイムラグも、あまりにも遅くはモニタリング検定の意味が無くなってしまいうので、理論的な分析は学術的に重要である。バブルの検定ではストップ・タイムの分布はこれまで導出されておらず、新たなチャレンジングな試みとなる。

(4)については、いくつかのモニタリング検定方法の現実的な比較・検討には欠かせないものである。コンピュータによるシミュレーション実験と平行して、実際のデータへの適用可能性は十分に確認しなくてはならない。

## 3. 研究の方法

研究の方法としては、まず目的(1)から(3)は理論的な研究であるので、先行研究の調査を

行いつつ、独自の理論を展開していくことが必要である。特に、目的(1)では既存のバブルの回顧的検定方法をモニタリング検定のフレームワークに乗せていくため、バブルの検定に関する先行研究と、一般的なモニタリング検定に関する先行研究を十分に調査する。そのうえで、2つの先行研究の内容を融合した検定を開発していく。

バブルのモニタリング検定の開発後は、その理論的な特性を分析する。特に、バブルの検出力は、バブルの発生時期、バブルの大きさ、バブル期間の長さなどに依存するので、局所対立仮説を想定した場合の検定手法の漸近分布を導出し、上述の要因に分布がどのように依存するのかを考察する。一方で、シミュレーション実験により有限標本での特性を確認、漸近特性と比較する。特に、目的(3)のタイムラグの極限分布は導出が困難であることが予想されるので、シミュレーション実験による有限標本特性の分析は有用である。

また、目的(4)のモニタリング検定の実証分析への応用では、バブルが発生したと認知されている金融資産価格の系列に対して、開発した手法を用いてバブル発生以前にモニタリングを開始した場合に、いつバブルが検知できるかを確認する。

#### 4. 研究成果

(1) バブルの回顧的検定の代表的なものである supADF 検定と一般化 supADF 検定をモニタリング検定のフレームワークに乗るように修正・開発した。また、一般的な Fluctuation 検定(FL 検定)と呼ばれるモニタリング手法をバブルの検定用に応用した検定方法を提案した。さらに、既存のモニタリング検定である CUSUM タイプの検定がバブルのモニタリング検定に応用できることを示した。複数のバブルのモニタリング検定の手法を提示したことになり、実務家に応用への道を提示することができたといえよう。

(2) 上述のバブルのモニタリング検定の統計量の局所対立分布を導出し、それぞれの手法の理論的な特性を明らかにした。具体的には、モニタリング期間の比較的早い時期にバブルが発生する場合には CUSUM タイプの検定の検出力が高くなる一方、バブルの出現が遅い場合には、supADF 検定、一般化 supADF 検定および FL 検定の検出力が高いことを明らかにした。とりわけ、後者の場合は FL 検定の検出力が高いことを理論的に示した。この理論的な特性はシミュレーション実験により有限標本でも確認することができた。その結果、各モニタリング検定が検出しやすいバブルの形態が明らかとなり、バブルのモニタリング検定のさらなる発展の方向性を提示することができた。

(3) CUSUM タイプのモニタリング検定について、バブルの実際の発生時点と検定により検出された時点(ストップピングタイム)との時間差であるディレイタイムの極限分布を導出し、その分布はバブルの発生時点までの時間とバブルの大きさに依存することを明らかにした。一方、supADF タイプの検定と FL 検定についてはディレイタイムの分布は導出できなかったが、その発散速度を導出することができた。その結果、検出力の分析と同様に、モニタリング開始早々にバブルが発生した場合は CUSUM タイプの検定のディレイタイムは比較的短くなる一方、sup タイプや FL タイプの検定はモニタリング開始からバブルの発生が遅い場合にディレイタイムが相対的に短くなることを明らかにした。この理論特性は有限標本特性と一致しており、当該分野での未解決問題を解いたことになるため、その意義は大きい。実際、この研究成果は、論文が掲載された Journal of Timeseries Analysis 誌において、2019 - 2020 年で最も多くダウンロードされた論文の一つとして顕彰された。

(4) 上述のようにモニタリング検定の手法により検出しやすいバブル/検出しにくいバブルがあるが、実際のはどのようなバブルが発生するのかわからない。そこで、どのようなバブルの形態でも検出力が高く、ディレイタイムも比較的短い手法を開発した。具体的には、上述の複数のモニタリング検定をうまく組み合わせることにより、様々な発生形態のバブルに対応できる検定手法を開発した。これにより、実証分析で使うべき検定を一つに絞ることができ、実務家へその利用を促進することができた。

(5) 上述したバブルのモニタリング検定をソフトウェア GAUSS に実装し、日本の 80 年代後半のバブルや米国の住宅バブルの検出に有用であることを示した。開発した手法をソフトウェアに実装したことにより、実務家への利用を促すことが可能となった。

(6) バブルモデルの中でも、線形トレンド的な形態を想定できるような場合において、CUSUM タイプのモニタリング検定と FL 検定の停止時間(ストップピングタイム：モニタリングの開始から検出までにかかる時間)の漸近分布を導出した。前者については、モニタリング開始から比較的早い時期のトレンドの変化に対して、より早く変化を検出できる傾向があることを明らかにした。これまで想定した発生メカニズムと異なるバブルの検出方法を提示したことになり、学术界へ新たなモデルと検定手法を提示したという意味で、今後の発展が期待できる研究成果といえよう。

(7) これまで想定していた攪乱項の仮定(マルチンゲール差分過程)を大幅に緩めて、攪乱項の分散が不均一である場合のバブルの検定(回顧的検定)を開発した。具体的には、インサンプルでのボラティリティの推移をノンパラメトリックに推定し、その相対的な大きさに応じてサンプリング期間を変えることにより、新たなバブルの検定方法を開発した。先行研究にも不均一分散下でのバブルの検定は存在するが、今回開発した検定手法のパフォーマンスが既存のものを上回るケースがあり、理論・実証研究の両面から、新たな検定手法が開発できた意義は大きい。

(8) バブルのモニタリング検定や回顧的検定でバブルの発生が確認された場合に、その発生時

点, 崩壊時点, 通常の市場動向へ戻る時点を推定する手法を提案し, その漸近特性を明らかにした。具体的には, バブルが崩壊する時点については一致推定することが可能であるが, バブルの発生時点と崩壊から回復する時点については必ずしも一致推定できるものではないことを明らかにした。この研究成果ではバブルの検証を行う際に必要となる手法を提案しており, その実務的な意義は大きい。

[参考文献]

- [1] Chu, Stinchcombe and White (1996). On-line Monitoring of Pollution Concentrations with Autoregressive Moving Average Time Series. *Journal of Time Series Analysis* 35, 239-261.
- [2] Diba and Grossman (1988). Explosive Rational Bubbles in Stock Prices? *American Economic Review* 78, 520-530.
- [3] Phillips, Wu and Yu (2011). Explosive Behavior in the 1990s NASDAQ: When Did Exuberance Escalate Asset Values? *International Economic Review* 52, 201-226.
- [4] Phillips, Shi and Yu (2015). Testing for Multiple Bubbles: Historical Episodes of Exuberance and Collapse in the S&P 500. *International Economic Review* 56, 1043-1077.
- [5] Phillips and Shi (2018). Financial Bubble Implosion and Reverse Regression. *Econometric Theory* 34, 705-753.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Eiji Kurozumi, Anton Skrobotov, Alexey Tsarev	4. 巻 -
2. 論文標題 Time-transformed Test for Bubbles under Non-stationary Volatility	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Financial Econometrics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/jjfinec/nbac004	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 該当する
1. 著者名 Eiji Kurozumi, Anton Skrobotov	4. 巻 -
2. 論文標題 On the Asymptotic Behavior of Bubble Date Estimators	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Time Series Analysis	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/jtsa.12672	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 該当する
1. 著者名 Peiyun Jiang, Eiji Kurozumi	4. 巻 -
2. 論文標題 A New Test for Common Breaks in Heterogeneous Panel Data Models	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Econometrics and Statistics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ecosta.2023.01.005	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 Toshikazu Tayanagi, Eiji Kurozumi	4. 巻 -
2. 論文標題 In-fill Asymptotic Distribution of the Change Point Estimator When Estimating Breaks One at a Time	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Time Series Econometrics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1515/jtse-2022-0013	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 Eiji Kurozumi	4. 巻 42
2. 論文標題 Asymptotic Behavior of Delay Times of Bubble Monitoring Tests	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Time Series Analysis	6. 最初と最後の頁 314 ~ 337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jtsa.12569	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 Eiji Kurozumi	4. 巻 39 (5)
2. 論文標題 Asymptotic Properties of Bubble Monitoring Tests	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Econometric Reviews	6. 最初と最後の頁 510 ~ 538
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/07474938.2019.1697086	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 Peiyun Jiang, Eiji Kurozumi	4. 巻 207
2. 論文標題 Monitoring Parameter Changes in Models with a Trend	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Statistical Planning and Inference	6. 最初と最後の頁 288 ~ 319
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jspi.2020.01.004	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 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Eiji Kurozumi, Anton Skrobotov
2. 発表標題 On the Asymptotic Behavior of Bubble Date Estimators
3. 学会等名 5th International Conference on Econometrics and Statistics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Eiji Kurozumi, Anton Skrobotov
2. 発表標題 On the Asymptotic Behavior of Bubble Date Estimators
3. 学会等名 2022 Asian Meeting of the Econometric Society in East and South-East Asia (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田柳俊和, 黒住英司
2. 発表標題 Change Point Estimator with the Weighted Objective Function When Estimating Breaks One at a Time
3. 学会等名 2022年度(第30回)関西計量経済学研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Eiji Kurozumi
2. 発表標題 Testing for common breaks in panel data models
3. 学会等名 41st International Symposium on Forecasting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒住英司
2. 発表標題 Time-Transformed Test for the Explosive Bubbles under Non-Stationary Volatility
3. 学会等名 日本経済学会2021年度秋季大会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Eiji Kurozumi
2. 発表標題 Asymptotic Behavior of Delay Times of Bubble Monitoring Tests
3. 学会等名 2020年度関西計量経済学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Eiji Kurozumi
2. 発表標題 Asymptotic Properties of Bubble Monitoring Tests
3. 学会等名 Workshop on Recent Progress in Time Series: in honour of Peter Robinson (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eiji Kurozumi
2. 発表標題 Monitoring Parameter Changes in Models with a Trend
3. 学会等名 The 6th Annual Conference of the International Association for Applied Econometrics (国際学会)
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
研究協力者	田柳 俊和 (TAYANAGI Toshikazu)	一橋大学・大学院経済学研究科・博士後期課程学生	

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			
ロシア連邦	Russian Presidential Academy ( RANEPA)			