

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11857

研究課題名（和文）局所定常単位根周辺過程を用いた大規模金融データにおけるバブル期の経済構造の調査

研究課題名（英文）Investigation of the financial structure of the bubble period based on the unit root contiguous processes with locally stationary high dimensional disturbance

研究代表者

蛭川 潤一（Hirukawa, Junichi）

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：10386617

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：局所定常イノベーションを持つ単位根周辺過程の漸近理論、即ち、最小二乗推定量の漸近分布を導出した。緩やかに爆発する過程により、バブル期の金融時系列データを記述し、バブル期の始まりと終焉の時期を識別するのに応用した。単位根に関する長期記憶過程である非整数和分過程について、パラメータが正の場合の疑似正規最尤推定量の一致性と漸近正規性の結果をパラメータが負の場合にも拡張した。局所定常イノベーションを持つ一般化単位根近接過程の部分過程のCARMA過程への弱収束を導いた。また、独立性の帰無仮説に対して、局所定常MA対立仮説検定問題にランク検定統計量を応用し、対立仮説の下での検定統計量の漸近分布を導いた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今後は、局所定常単位根周辺過程を一般化単位根周辺過程を含む形に一般化して、より広いクラスである局所定常一般化単位根周辺過程の理論を構成する。金融時系列データ等の多様性を記述することが可能になり、大規模金融データにおけるバブル期の経済構造やコロナ感染症の流行時期の特徴等をより詳細に説明できるようになる。投資市場やCovid データにおけるイベントの従属構造を局所定常一般化単位根周辺過程を用いて可視化する。局所定常一般化単位根周辺過程の理論を様々な非定常・非正則な時系列解析手法と組み合わせることによって、大規模かつ多種多様な金融時系列やコロナ感染症のデータへの応用が可能になるという意義がある。

研究成果の概要（英文）：We constructed the asymptotic theory of unit root related processes with locally stationary innovations. In particular, the asymptotic distribution of the least squares estimator was derived. We applied the slowly explosive processes to describe the financial time series data of the bubble period and to identify the beginning and the end of the bubble period. We extended the results of consistency and asymptotic normality of quasi-Gaussian maximum likelihood estimators for $I(d)$ processes with positive parameters, which are long memory processes related to unit roots, to negative parameters. We derived weak convergence of partial sum processes of generalized near unit root processes with locally stationary innovations to CARMA processes. For the testing problem of null hypothesis of independence against the locally stationary MA alternative hypothesis, we applied the rank test statistic and derived the asymptotic distribution of the test statistic under the alternative hypothesis.

研究分野：統計科学

キーワード：時系列解析 緩やかに爆発するモデル 局所定常過程 金融工学 高次元データ 非整数和分過程 長期記憶過程 ランク検定

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

1 次の自己回帰 (AR(1)) 過程は自己回帰係数の絶対値が 1 よりも小さいときに定常になる。また、絶対値が 1 のときには、単位根過程、絶対値が 1 よりも小さいけれど、標本の数が多くなるにつれて 1 に近づいていくときには、単位根近接過程と呼ばれ、いずれも非定常過程となる。定常な自己回帰過程については、詳細な研究がなされていて、単位根や単位根近接過程についても様々な理論や応用の研究が行われてきた。一方で、絶対値が 1 よりも大きいときには、爆発する過程と呼ばれ、イノベーションが正規分布の場合には、最小二乗推定量 (LSE) がコーシー分布に分布収束するという古典的な漸近結果が知られている。ここで、イノベーションが正規分布であるという仮定は本質的であり、非正規の場合には、同様な結果を得ることができない。近年、自己回帰係数の絶対値が 1 よりも大きいけれど、標本の数が多くなるにつれて 1 に緩やかに近づいていく、緩やかに爆発する過程が提案された。イノベーションが独立な場合と定常な場合の緩やかに爆発する過程について、非正規な場合であっても、コーシー分布に収束する漸近結果が確立された。

また、独立同一分布に従うようなイノベーションを持つ単位根近接過程の最小二乗推定量の極限分布が標準ブラウン運動の確率積分で表されることは良く知られた古典的な結果であり、定常時系列イノベーションの場合や局所定常イノベーションの場合に拡張されてきた。一方で、極限分布において、固定してあった定数部分の絶対値を発散させると標準正規分布に分布収束するが、こちらの結果については、同じように古典的な結果であるにもかかわらず、長い間、拡張がなされていない。

2. 研究の目的

先行研究においては、イノベーションが独立な場合や定常な場合が仮定されている。しかしながら、時系列を駆動するイノベーションについて、相関構造が長い期間に渡って一定であるという定常性の仮定は現実的でない。時間と共に相関構造が滑らかに変化していく様な現象が個々の金融時系列データにおいて観測される。このような非定常性を記述するモデルとして、局所定常過程が優れている。以上のことから、局所定常イノベーションを持つ緩やかに爆発する過程の漸近理論を導く。緩やかに爆発する過程は、バブル期のような金融時系列データを記述するのに適している。局所定常単位根過程の帰無仮説に対して、局所定常イノベーションを持つ緩やかに爆発する過程の対立仮説を検定することにより、バブル期の始まりと終焉の時期を識別するのに応用する。

また、単位根近接過程について、極限分布において、固定してあった定数部分の絶対値を発散させると標準正規分布に分布収束するという古典的な結果を局所定常イノベーションを持つ単位根近接過程の場合に拡張する。このことにより、単位根近接過程の漸近論を再構築することができる。結果を緩やかに爆発する過程を適応した場合と比較することで単位根周辺過程についての網羅的な漸近理論のフレームワークを構成できる。

本研究課題では、局所定常イノベーションを持つ緩やかに爆発する過程の漸近理論を金融時系列のバブル期の始まりと終焉を識別するのに応用する。更に、大規模金融データに対する局所定常時系列因子モデルを用いて、何故バブル期が生まれ、そしてはじけたかの要因を明らかにする。また、単位根近接過程の漸近論を再構築し、結果を緩やかに爆発する過程を適応した場合と比較し、単位根周辺過程についての網羅的な漸近理論のフレームワークを構成する。

3. 研究の方法

(1) 理論の整備

新しい時系列解析の手法を導くための理論、即ち、大規模金融データに対する局所定常単位根周辺過程の統計的漸近理論の整備を行う。新しい統計手法を導きたい時、準備として、既存の手法について詳細に調査することが不可欠である。高次元多変量モデルについての手法は、広範囲に渡って研究され整備されている。また、多変量時系列モデルについても様々な研究が行われてきている。従って、まず初めに、数理統計学関連図書、多変量解析関連図書、時系列関連図書を用いて、高次元多変量モデルや多変量時系列モデルの統計手法についての基本知識を整理する。この際に、独立観測の多変量モデルについてまで詳細に調査することは、本研究計画を遂行する上での基礎を固めるために不可欠であるだけでなく、本研究計画の視野を広げる可能性を内包している。独立観測の多変量モデルの歴史は長く、20 世紀初頭に心理学の応用として誕生し、多種多様な手法が提案されている。

次に、既存の手法を高次元局所定常単位根周辺過程に拡張することを考える。特に、局所定常過程のイノベーションが未知の場合には、セミパラメトリック漸近最適理論に基づく新たな手法が必要になる。この問題の解決法として、ベイズ法、ランク推定法が挙げられる。ランク推

定法は、近年、セミパラメトリック漸近最適な推定法として、再び脚光を浴びている。その理論は現在進行形で発展しているので、最新の資料の提供・閲覧を依頼する必要がある。また、国内外の学会や国際会議等に参加し、最近の研究についての講演を聴き、議論する必要がある。局所定常過程やランク推定法といった最新の研究における新しいアイデアが必要となるが、これら最新の研究の専門家は国内外に目を向けてみても希少である。そのような専門家を訪問し、交流して、研究打ち合わせを行うことが重要となる。

(2) 大規模金融時系列データへの応用

構築した新しい時系列解析の手法を実際の金融時系列データに応用する。局所定常時系列は、時間と共にスペクトル構造が変化するので、正則条件を満たすためには、長期に渡って観測される時系列データを用いる必要がある。

また、時系列の次元を無限大に近づけることも想定しているため、数千の単位の時系列が並ぶことになる。そのため、解析の対象となるデータは、長期間の高次元時系列データである。以上のことから、効率的な計算プログラムを用いても、計算量が膨大になることが容易に予想される。従って、高速ワークステーションを用いて、効率よく計算し、計算時間を短くする必要がある。これに付随して、統計用数値計算のためのソフトウェアを導入する。研究の初期段階においては、金融時系列データは入手しやすいものを利用し、基礎となる結果を得ることを優先する。インターネット等からデータを入手したり、統計ソフトに付随する時系列データ等を用いる。

(3) 研究発表

得られた結果をプレプリント等にして配布する。また、学会、国際会議等で研究発表し、国内外の研究者と交流を図り、研究を進展させる。特に、金融工学分野において実際に観測されるデータの中で高次元局所定常単位根周辺過程モデルが適していると判断されるデータについての意見を募る。

(4) 結果をフィードバック

得られた基礎的な結果を更に発展させていく。国内外の様々な分野の専門家と交流した際に得た意見やアドバイス等を、先に得られた基礎的な結果にフィードバックしていく。特に、金融工学分野の研究者や実務家から局所定常単位根周辺過程モデルの方が適している金融時系列データ、非定常性を調査することに大きな意義が見出せる様なデータ等についての意見を募り、そのようなデータに対して、構築した手法を応用する。その際に、金融工学関連図書、因子分析関連図書を用いて、理論面での発展を目指す。利用すべき金融データが専門的なものである場合には、データを入手するために専門知識の提供が必要となる。この段階においては、他の研究者との交流の機会を多く持ち、発表や議論を重ねて、結果にフィードバックしていくことが重要になる。従って、学会や国際会議等の場だけでなく、国内外でのセミナー等、より少人数での研究打ち合わせや議論も多く行う必要がある。そのような場所でのプレゼンテーション用として、ラップトップ型のコンピュータを用いる。得られた結果をプレプリントにまとめ学術雑誌等に投稿する。

4. 研究成果

定常な自己回帰過程については、詳細な研究がなされていて、単位根や単位根近接過程についても様々な理論や応用の研究が行われてきた。近年、1次の自己回帰(AR(1))過程の自己回帰係数の絶対値が1よりも大きいけれど、標本の数が多くなるにつれて1に緩やかに近づいていく、緩やかに爆発する過程が提案された。イノベーションが独立な場合と定常な場合の緩やかに爆発する過程について、非正規な場合であっても、最小二乗推定量がコーシー分布に収束する漸近結果が確立された。単位根周辺過程は、単位根過程、単位根近接過程、緩やかに爆発する過程等の非定常過程の他、I(d)過程やFARIMA過程といった長期記憶型過程も含む、極めて広範なモデルである。実際の金融時系列データにおいて、時間と共にスペクトル構造が滑らかに変化していく様な現象が観測される。このような緩やかに時間変化する非定常性を記述するモデルとして、局所定常過程が優れている。

本研究では、局所定常イノベーションを持つ単位根周辺過程の漸近理論、即ち、最小二乗推定量の漸近分布を導出した。緩やかに爆発する過程により、バブル期の金融時系列データを記述し、バブル期の始まりと終焉の時期を識別するのに応用した。単位根に関する長期記憶過程である非整数和分過程について、パラメータが正の場合に疑似正規最尤推定量の一致性と漸近正規性の結果が知られている。本研究ではこれらの結果をパラメータが負の場合にも拡張して導いた。また、局所定常イノベーションを持つ一般化単位根近接過程の部分和過程のCARMA過程への弱収束を導いた。更に、独立性の帰無仮説に対して、局所定常MA対立仮説を検定する問題にランク検定統計量を応用し、対立仮説の下での検定統計量の漸近正規性を導いた。

今後は、大規模金融データに対する局所定常時系列因子モデルをバブル期の前、中、後に、それぞれあてはめることにより、何故バブル期が生まれ、はじけたかの要因を明らかにする。得られた結果を将来のバブル期の予測に応用する。

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 2件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hirukawa Junichi, Sakai Shunsuke	4. 巻 -
2. 論文標題 Rank Tests for Randomness Against Time-Varying MA Alternative	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 In: Liu, Y., Hirukawa, J., Kakizawa, Y. (eds) Research Papers in Statistical Inference for Time Series and Related Models. Springer, Singapore.	6. 最初と最後の頁 221 ~ 245
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-99-0803-5_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 Hirukawa Junichi, Raissi Hamdi	4. 巻 90
2. 論文標題 Testing linear relationships between non-constant variances of economic variables	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Economic Modelling	6. 最初と最後の頁 182 ~ 189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.econmod.2020.05.007	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 Hirukawa Junichi, Lee Sangyeol	4. 巻 84
2. 論文標題 Asymptotic properties of mildly explosive processes with locally stationary disturbance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Metrika	6. 最初と最後の頁 511 ~ 534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00184-020-00782-2	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

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 11件／うち国際学会 13件）

1. 発表者名 Hirukawa, J., Fujimori, K.
2. 発表標題 Innovation algorithm of fractionally integrated $I(d)$ process and applications on the estimation of parameters
3. 学会等名 5th International Conference on Econometrics and Statistics (EcoSta 2022), 於 Ryukoku University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirukawa, J., Fujimori, K.
2. 発表標題 Weak convergence of the partial sum of I(d) process to a fractional Brownian motion in finite interval representation
3. 学会等名 ROME- WASEDA TIME SERIES SYMPOSIUM, Villa Mondragone, Monte Porzio Catone (Rome) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirukawa, J., Fujimori, K.
2. 発表標題 Innovation algorithm of fractionally integrated I(d) process and applications on the estimation of parameters
3. 学会等名 BOLOGNA-WASEDA TIME SERIES WORKSHOP, Accademia delle Scienze, Bologna (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirukawa, J., Fujimori, K.
2. 発表標題 Innovation algorithm of fractionally integrated I(d) process and applications on the estimation of parameters.
3. 学会等名 ''Topological Data Science, Causality, Analysis of Variance, & Time Series'' 於 早稲田大学基幹理工学部 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirukawa, J., Fujimori, K.
2. 発表標題 Innovation algorithm of fractionally integrated I(d) process and applications on the estimation of parameters.
3. 学会等名 ''Applications of Data Science in Social Science'' 於 東北大学 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirukawa, J., Akashi, F., Lee, S.
2. 発表標題 The self-weighted LAD estimator for unit root process with locally stationary innovations.
3. 学会等名 第三回日本統計研究所研究集会～様々な多様体上における統計的推測～ 於 法政大学
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Junichi Hirukawa and Kou Fujimori
2. 発表標題 Weak convergence of the partial sum of $I(d)$ process to a fractional Brownian motion in finite interval representation
3. 学会等名 科研費シンポジウム「統計科学の革新にむけて」於 金沢大学
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Junichi Hirukawa and Sangyeol Lee
2. 発表標題 Asymptotic Properties of Mildly Explosive Processes with Locally Stationary Disturbance
3. 学会等名 Mini Workshop on TDA(Topological Data Analysis), Time Series & Statistics 於 早稲田大学(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junichi Hirukawa and Kou Fujimori
2. 発表標題 Weak convergence of the partial sum of $I(d)$ process to a fractional Brownian motion in finite interval representation
3. 学会等名 3rd International Conference on Econometrics and Statistics, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junichi Hirukawa and Sangyeol Lee
2. 発表標題 Asymptotic Properties of Mildly Explosive Processes with Locally Stationary Disturbance
3. 学会等名 2019 NBER-NSF Time Series Conference, The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junichi Hirukawa and Kou Fujimori
2. 発表標題 Weak convergence of the partial sum of I(d) process to a fractional Brownian motion in finite interval representation
3. 学会等名 科研費シンポジウム「多様な分野における統計科学に関する諸問題」(Problems related to statistical science in various fields) 於 コープシティ花園 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junichi Hirukawa and Kou Fujimori
2. 発表標題 Weak convergence of the partial sum of I(d) process to a fractional Brownian motion in finite interval representation
3. 学会等名 International Symposium on Theories and Methodologies, Tsukuba International Congress Center (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junichi Hirukawa and Sangyeol Lee
2. 発表標題 Asymptotic Properties of Mildly Explosive Processes with Locally Stationary Disturbance
3. 学会等名 Time-Series Seminar, Lancaster University, UK (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junichi Hirukawa and Sangyeol Lee
2. 発表標題 Asymptotic Properties of Mildly Explosive Processes with Locally Stationary Disturbance
3. 学会等名 CFE-CMStatistics 2019, University of London, UK (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junichi Hirukawa and Sangyeol Lee
2. 発表標題 Asymptotic Properties of Mildly Explosive Processes with Locally Stationary Disturbance
3. 学会等名 STATISTICAL TOPOLOGICAL DATA ANALYSIS WORKSHOP, King Abdullah University of Science and Technology, Saudi Arabia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Junichi Hirukawa and Sangyeol Lee
2. 発表標題 Asymptotic Properties of Mildly Explosive Processes with Locally Stationary Disturbance
3. 学会等名 多様な高次元モデルにおける理論と方法論, 及び, 関連分野への応用 於 イーアスホール (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 (Editor) Liu, Y., Hirukawa, J., Kakizawa, Y.	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 607
3. 書名 Research Papers in Statistical Inference for Time Series and Related Models - Essays in Honor of Masanobu Taniguchi	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------