

令和元年5月19日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K17104

研究課題名(和文) 観測頻度の異なる多変量時系列データの計量分析 理論とマクロ経済への応用

研究課題名(英文) Statistical analysis of mixed frequency data: Theory and macroeconomic applications

研究代表者

茂木 快治 (Motegi, Kaiji)

神戸大学・経済学研究科・講師

研究者番号：60742848

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：時系列データは、月次、四半期、年次など様々な頻度で観測される。Mixed Data Sampling (MIDAS, マイダス) は、観測頻度の異なる時系列をデータの集計化なしで分析することのできる革新的なアプローチである。本研究は、MIDASに関する3つの課題を解決した。第一に、観測頻度が大きく異なる時系列の間のグランジャー因果性(予測力向上可能性)の検定を開発した。第二に、多数のパラメータを持つ回帰モデルの残差に対して実行可能なホワイトノイズ性(予測不可能性)の検定を開発した。第三に、日本の「失われた10年」における民間企業設備投資の低迷の主因が株価の低迷にあることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

統計学や計量経済学において現在最も関心を集めている研究テーマのひとつは、推定すべきパラメータの数や検定すべき仮説の数がサンプルサイズに比べて大きいとき、推定や検定をどのように実行すべきかという問題である(高次元の問題)。本研究で提案したグランジャー因果性検定とホワイトノイズ検定は、MIDASに関する問題のみならず、高次元の問題全般に対する画期的な解決策であるといえる。さらに、本研究で行った日米のマクロ経済分析や世界の株式市場の効率性の検証は、資産運用、経営戦略、財政金融政策などの実務に対して極めて有用な知見を与えるものである。

研究成果の概要(英文)：Time series are sampled at various frequencies including monthly, quarterly, and yearly. Mixed Data Sampling (MIDAS) econometrics is an innovative approach to analyze mixed frequency data without performing temporal aggregation. In the present research, I resolve three problems which are related with MIDAS. First, I propose a mixed frequency Granger causality test (i.e., test of incremental predictive ability) that operates well even when the ratio of sampling frequencies is relatively large. Second, I propose a white noise test (i.e., test of unpredictability) that can be applied to a residual from a regression model involving many parameters. Third, I revealed that the declined Japanese stock prices were a main cause of the sluggish private investment in Japan during the Lost Decade.

研究分野：計量経済学、時系列分析

キーワード：時系列分析 Mixed Data Sampling グランジャー因果性検定 ホワイトノイズ検定 最大値検定 マクロ経済分析 失われた10年 株式市場の効率性

1. 研究開始当初の背景

(1) 時系列データは、月次、四半期、年次など様々な頻度で観測される。従来の多変量時系列分析は、すべての変数の観測頻度が統一されて初めて実行可能となる。そのため、観測頻度の相異なる時系列を分析する場合、観測頻度の高い方を集計して観測頻度の低い方に揃えてから分析を実行する必要があった。

(2) **Mixed Data Sampling (MIDAS, マイダス)** は、観測頻度の相異なる時系列をデータの集計化なしで分析することのできる革新的なアプローチである。MIDAS は 2004 年頃から計量経済学の分野で急速に普及した。

(3) 研究開始時点での MIDAS には、次の 3 点の課題が残されていた。

- ① 観測頻度の差が大きいときのグランジャー因果性（予測力向上可能性）の検定
- ② 多数のパラメータを持つ回帰モデルの残差に対するホワイトノイズ検定
- ③ 日本の「失われた 10 年」における民間企業設備投資の低迷の要因の究明

2. 研究の目的

(1) 第一の目的は、週次データ対四半期データのように、**観測頻度が大きく異なる多変量時系列に対して使用可能なグランジャー因果性検定を開発すること**である。Ghysels, Hill, and Motegi (2016) は、複数の観測頻度が混在する状況下でのグランジャー因果性を定義し、その検定方法を提案した。しかし、Ghysels, Hill, and Motegi (2016) の検定は、月次データ対四半期データのように、観測頻度の差が小さいときのみ有効である。その課題を解決することが本研究の第一の目的である。

(2) 第二の目的は、**多数のパラメータを持つ時系列回帰モデルの残差に対するホワイトノイズ検定の開発**である。時系列回帰モデルの適切さを診断する有力な方法のひとつは、モデルの残差がホワイトノイズ（予測不可能な時系列）に従っているかを検定することである。既存のホワイトノイズ検定は、回帰モデルに含まれるパラメータの数が大きいとき、統計的な精度を欠く。MIDAS 回帰モデルはパラメータの数が大きくなりがちであり、その傾向は観測頻度の差が大きいとき特に顕著となる。そのような状況下でも高い精度を持つホワイトノイズ検定を開発することが、本研究の第二の目的である。

(3) 第三の目的は、日本の「失われた 10 年」における**民間企業設備投資の低迷の要因を究明すること**である。日本経済に関する既存の実証分析では、データの集計化を伴う従来の時系列分析のみが用いられていた。データの集計化は情報の損失を招き、統計的に不正確な分析結果を生む恐れがある。本研究は MIDAS を駆使して民間企業設備投資の低迷の要因を再考察する。日本のマクロ経済に対して MIDAS を応用したのは、本研究が世界初の事例である。

3. 研究の方法

(1) 第一の目的（グランジャー因果性検定）を達成するために、回帰モデルと検定統計量の両方に斬新な工夫を施す。メインとなる説明変数の次元を h とする。本研究では、 **h 個の回帰モデルを用意し、各モデルにメインの説明変数をひとつずつ含める**。さらに、それぞれの回帰モデルについて最小二乗推定量を計算し、 h 個の最小二乗推定量の**最大値**に基づいて検定統計量を構築する。このようにして得られた最大値検定統計量が統計的に望ましい性質を有することを、数学的考察、数値実験、実証分析を通じて示す。

(2) 第二の目的（ホワイトノイズ検定）を達成するために、検定統計量の構築の仕方に工夫を加える。通常のアプローチでは、検定対象の時系列の自己相関係数の二乗和に基づいて検定統計量を構築する。それに対して、本研究では、自己相関係数の**最大値**に基づいて検定統計量を構築する。仮説検定を実行する際は、Shao (2011) の dependent wild bootstrap を用いて p 値を計算する。提案の最大値検定が統計的に望ましい性質を有することを、数学的考察、数値実験、実証分析を通じて示す。

(3) 第三の目的（設備投資の実証分析）を達成するために、Ghysels (2016) の mixed frequency vector autoregression や Ghysels, Hill, and Motegi (2016) のグランジャー因果性検定を用いる。分析対象は月次の日経平均株価、四半期の銀行貸出、四半期の民間企業の経常利益、四半期の民間企業設備投資の 4 変数である。特に、「失われた 10 年」において最初の 3 変数が民間企業設備投資に与えた影響を精査する。

4. 研究成果

(1) 第一のプロジェクト（グランジャー因果性検定）については、次のような成果を得た。

① グランジャー因果性が存在しないという帰無仮説の下で、提案の最大値検定統計量が漸近的に従う確率分布を導出した。その分布は非標準的ではあるものの数値的に近似することが容易な分布である。したがって、提案の最大値検定の p 値を計算することは容易である。

② グランジャー因果性が存在するという対立仮説の下で、最大値検定統計量が正の無限大に発散することを証明した。これは、最大値検定が**一貫性**（consistency）を持つことを意味する。一般的な対立仮説の下では、 h 個の回帰モデルの一部もしくは全部は定式化の誤りを含む。それにもかかわらず一貫性が成立するという事実を証明した点が、本研究の学術的価値を著しく高めた。証明は線形代数を駆使した明快なものであり、**統計理論および計量経済理論に対して重要な貢献を果たした。**

③ モンテカルロ実験の結果、最大値検定が小標本において高い統計的精度を持つことが明らかとなった。メインの説明変数をひとつの回帰モデルにすべて含めてウォルド検定を実行するという従来のアプローチと、提案の最大値検定を比較した結果、最大値検定の精度がウォルド検定の精度を上回るケースが多いことが分かった。特に、メインの説明変数の間の相関が強いほど、最大値検定の優位性が高まる。時系列回帰モデルにおいては説明変数同士が高い相関を持つことが多いため、**最大値検定は実用上極めて有力な検定である。**

④ 実証分析の一例として、週次の米国の長短金利差から四半期の米国の経済成長率へのグランジャー因果性の有無を検定した。長短金利差は景気循環の先行指標のひとつとして古くから知られており、その有効性を MIDAS に基づき再検証するという本事例は、学術的にも実務的にも興味深いものである。最大値検定の結果、2000 年頃までは長短金利差から経済成長率への有意な因果性が存在するが、それ以降は有意な因果性が存在しないという結論に至った。これは定説と整合的な結論であり、**最大値検定の有用性が示唆された。**

⑤ 以上のとおり、本研究で提案した最大値検定は理論的、数值的、実証的に優れた性質を有している。また、本研究のアプローチは、グランジャー因果性のみならず、縮小推定やホワイトノイズ検定など、限られたサンプルサイズの下で多数のゼロ仮説を同時に検定することを要求される事例に広く応用可能である。下図のとおり、本研究の成果は、**現代の統計学および計量経済学の最大の研究テーマのひとつである高次元（high dimensionality）の問題に画期的な解決策を提示するものである。**

図：観測頻度の差が大きいときのグランジャー因果性検定に関する研究成果と学術的意義

1. 統計理論上の重要な貢献

— 一貫性の数学的証明

2. 良好な数値実験の結果

— 小標本における高い精度

3. 実務上有益な実証分析

— マクロ経済予測の進歩に寄与

4. 幅広い応用範囲

— MIDAS回帰モデル

— グランジャー因果性検定

— ホワイトノイズ検定

— 縮小推定

【本論文の学術的意義】

高次元の問題に画期的な解決策

⑥ 本研究の成果をまとめた学術論文は、2018 年 7 月、**Journal of Econometrics** に採択された。**Journal of Econometrics** は計量経済学のフィールド・トップ・ジャーナルであり、2017 Impact Factor は 1.632 である。本論文の詳細な引用情報については、「5. 主な発表論文等」の雑誌論文②を参照されたい。

(2) 第二のプロジェクト（ホワイトノイズ検定）については、次のような成果を得た。

① 本研究は、時系列の予測不可能性の種類を厳密に区別した上で、検定の理論を組み立てた。時系列は、予測不可能性の強い順に系列独立、マルティンゲール差分、ホワイトノイズ、共分散定常と分類される。本研究における帰無仮説はホワイトノイズであり、対立仮説は共分散定常である。このように厳密な意味でのホワイトノイズ検定を構築した先行研究は少ないため、本研究の学術的価値は高い。

② ホワイトノイズの検定にあたっては、何期先までの自己相関係数を検定統計量に含めるか（すなわちラグの次数）を選択しなければならず、そこに恣意性が入り得る。ラグの次数をデータに基づいて客観的に選択することができれば、それは学術的にも実務的にも大きな進歩であるといえる。本研究では、Escanciano and Lobato (2009)のアプローチを応用し、**データに基づく客観的なラグの次数の選択方法を提案した。**

③ 検定の対象の時系列がホワイトノイズであるという帰無仮説の下で、最大値検定統計量の持つ漸近的な性質を導出した。一般に、最大値検定統計量の漸近的な確率分布を導出することは不可能である。しかし、Shao (2011)の dependent wild bootstrap を利用して、p 値を計算することは可能である。本研究は、このように計算された p 値が帰無仮説の下で漸近的に有意水準（例えば 5%）に確率収束するという望ましい性質を証明した。

④ 検定の対象の時系列が共分散定常であるという対立仮説の下で、最大値検定統計量が正の無限大に発散することを証明した。つまり、最大値検定は**一貫性**を有する。

⑤ モンテカルロ実験の結果、最大値検定が小標本において高い統計的精度を持つことが明らかとなった。自己相関係数の二乗和に基づいて検定統計量を構築する従来のアプローチよりも、自己相関係数の最大値に基づく提案のアプローチの方が、高い精度を示す場合が多い。その傾向は、大きなラグにおいてのみ自己相関が存在する場合に特に顕著である。したがって、最大値検定は、**季節性の有無を検定する手段として特に有用**であるといえる。

⑥ 最大値検定を世界の主要な株価指数の日次データに当てはめ、**株式市場の効率性**を検定した。株式市場の効率性と株価変化率のホワイトノイズ性は同値である。先行研究では、時系列の予測不可能性に関する場合分けが明確に行われずに株式市場の効率性が検証されていた。株価変化率のホワイトノイズ性を厳密に検定した先行研究はほとんど存在せず、その意味で本研究の独自性は高い。

⑦ 実証分析の結果、日本と中国の株式市場は効率的である可能性が高いことが分かった。言い換えれば、日本と中国の株価指数の将来の値を、過去および現在の値から予測することは、基本的に不可能である。

⑧ 一方、英国と米国の株式市場は、イラク戦争やサブプライム金融危機などの動乱期において、非効率的となることが明らかとなった。具体的には、英米の株価指数の変化率は、動乱期において統計的に有意な負の自己相関を有する。負の自己相関は、正の株価変化率と負の変化率が日ごとに激しく入れ替わることを意味している。その意味において、**英米の株価指数は部分的に予測可能である**という結論に至った。これは学術的にも実務的にも極めて興味深い発見である。

⑨ 理論的考察およびモンテカルロ実験の成果（①～⑤）をまとめた論文は、計量経済学の分野で最もレベルの高い学術雑誌のひとつにおいて、現在 2 回目の revise and resubmit に入っている。実証分析の成果（⑥～⑧）をまとめた別の論文は、2018 年 8 月に **Economic Modelling** に採択された。Economic Modelling は Social Science Citation Index (SSCI) に含まれる著名な英文学術雑誌であり、2017 Impact Factor は 1.696 である。本論文の詳細な引用情報については、「5. 主な発表論文等」の雑誌論文①を参照されたい。

(3) 第三のプロジェクト（日本の設備投資の分析）については、次のような成果を得た。

① 実証分析の結果、株価から設備投資への大きな影響が観察された。予測誤差分散分解を行ったところ、株価が設備投資の長期的変動の 50.7%を説明することが分かった。したがって、「失われた 10 年」においては、**株価の低迷が設備投資の低迷の主因であった**といえる。

② 銀行貸出から設備投資への有意な影響は観察されなかった。したがって、銀行側が企業への貸し出しを渋ったがゆえに設備投資が減少したとする「貸し渋り仮説」は**否定された**。

③ 株価から銀行貸出への有意な影響が観察された。これは、株価の下落（すなわち将来の業績予想の悪化）を受けて企業が銀行からの借入を減少させたことを示唆する。つまり、銀行貸出の減少は、設備投資低迷の原因ではなく、企業活動の縮小の結果であると解釈できる。

④ インパルス応答分析の結果、「株価の下落 ⇒ 経常利益の減少 ⇒ 設備投資の減少 ⇒ 株価の下落」という負のスパイラルの存在が確認された。

⑤ 以上の分析結果は、MIDAS に基づいて月次の株価、四半期の銀行貸出、四半期の経常利益、四半期の設備投資を同時に分析したからこそ得られた結果である。仮に月次の株価を四半期ベースに集計化し、従来どおりの時系列分析を実行したとすると、得られる分析結果は大幅に変化する。これは株価の集計化によって重大な情報の損失が生じたことを示唆しており、MIDAS の有効性が改めて示された。

⑥ 本研究の成果をまとめた学術論文は、2017 年 10 月に **North American Journal of Economics and Finance** に採択された。North American Journal of Economics and Finance は SSCI に含まれる著名な英文学術雑誌であり、2017 Impact Factor は 1.098 である。本論文の詳細な引用情報については、「5. 主な発表論文等」の雑誌論文③を参照されたい。

<引用文献>

- ① Escanciano, J. C. and I. N. Lobato (2009). An automatic Portmanteau test for serial correlation. *Journal of Econometrics*, vol. 151, pp. 140-149.
- ② Ghysels, E. (2016). Macroeconomics and the reality of mixed frequency data. *Journal of Econometrics*, vol. 193, pp. 294-314.
- ③ Ghysels, E., J. B. Hill, and K. Motegi (2016). Testing for Granger causality with mixed frequency data. *Journal of Econometrics*, vol. 192, pp. 207-230.
- ④ Shao, X. (2011). A bootstrap-assisted spectral test of white noise under unknown dependence. *Journal of Econometrics*, vol. 162, pp. 213-224.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Jonathan B. Hill and Kaiji Motegi (2019). Testing the white noise hypothesis of stock returns. *Economic Modelling*, vol. 76, pp. 231-242. 査読有, 2017 Impact Factor = 1.696. [URL] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264999318306849?via%3Dihub>
- ② Eric Ghysels, Jonathan B. Hill, and Kaiji Motegi (2018). Testing a large set of zero restrictions in regression models, with an application to mixed frequency Granger causality. *Journal of Econometrics*, accepted in July 2018, forthcoming. 査読有, 2017 Impact Factor = 1.632.
- ③ Kaiji Motegi and Akira Sadahiro (2018). Sluggish private investment in Japan's Lost Decade: Mixed frequency vector autoregression approach. *North American Journal of Economics and Finance*, vol. 43, pp. 118-128. 査読有, 2017 Impact Factor = 1.098. [URL] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1062940817301894>

[学会発表] (計 10 件)

- ① Kaiji Motegi, A max-correlation white noise test for weakly dependent time series, 15th International Conference, Western Economic Association International (WEAI), March 2019.
- ② Kaiji Motegi, A max-correlation white noise test for weakly dependent time series, Essex Centre for Macro and Financial Econometrics Seminar Series, January 2019.
- ③ Kaiji Motegi, Testing for weak form efficiency of stock markets, 3rd Annual International Conference on Applied Econometrics in Hawaii, September 2017.
- ④ Kaiji Motegi, Testing for weak form efficiency of stock markets, 4th Annual Conference of the International Association for Applied Econometrics (IAAE), June 2017.
- ⑤ Kaiji Motegi, Testing for weak form efficiency of stock markets, 1st International Conference on Econometrics and Statistics (EcoSta 2017), June 2017.

⑥ Kaiji Motegi, Testing for weak form efficiency of stock markets, 50th Anniversary Seminar, Department of Statistics and Actuarial Science, June 2017.

⑦ 茂木快治, Testing for weak form efficiency of stock markets, 第11回日本統計学会春季集会, 2017年3月. 「優秀発表賞」受賞.

⑧ Kaiji Motegi, Max-correlation test and max-causality test for economic time series, UNC Econometrics Workshop, February 2017.

⑨ Kaiji Motegi, A max-correlation white noise test for weakly dependent time series, 2016 NBER-NSF Time Series Conference, September 2016.

⑩ Kaiji Motegi, A max-correlation white noise test for weakly dependent time series, 2016 Asian Meeting of the Econometric Society, September 2016.

[その他]

ホームページ等

【個人ウェブサイト】 <http://www2.kobe-u.ac.jp/~motegi/>

【神戸大学】 <http://www.econ.kobe-u.ac.jp/faculty/fields/econometrics/motegi.html>

6. 研究組織

(1) 研究分担者 なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：エリック・ガイセルズ

ローマ字氏名：GHYSELS, Eric

研究協力者氏名：ジョナサン・B・ヒル

ローマ字氏名：HILL, Jonathan B.

研究協力者氏名：貞廣 彰

ローマ字氏名：SADAHIRO, Akira

※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、研究者個人に帰属されます。