

Title	非線形動学的一般均衡モデルの推定およびマクロ経済分析への応用
Sub Title	Estimation of nonlinear DSGE models and their application to macroeconomic analysis
Author	廣瀬, 康生(Hirose, Yasuo)
Publisher	
Publication year	2024
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2023.)
JaLC DOI	
Abstract	本研究には大きく分けて二つの成果があった。(1) 二国間モデルに確率的ボラティリティを導入したうえで非線形推定を行った結果、カバーなし金利平価からの乖離を表すリスク・シェアリング・ショックが為替レート変動の主たる要因である一方、ボラティリティ・ショックもそれなりに寄与していることが分かった。(2) 名目金利の非負制約を含む非線形モデルを用いた複数の実証分析から、同制約を含まない線形モデルを用いた場合と比べて、推定された非線形モデルの含意がどのように変化するかを定量的に明らかにした。 This research project has two major academic contributions. (1) Nonlinear estimation of a two-country model with stochastic volatilities shows that while risk-sharing shocks, which represent deviations from uncovered interest rate parity, are the main source of exchange rate fluctuations, volatility shocks also contribute to a certain extent. (2) Empirical analyses using nonlinear models with the zero lower bound constraints on the nominal interest rates quantitatively reveal how the implications of the estimated nonlinear models change compared to those using linear models without the constraints.
Notes	研究種目：基盤研究 (C) (一般) 研究期間：2019～2023 課題番号：19K01560 研究分野：マクロ経済学、金融政策
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_19K01560seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

令和 6 年 5 月 2 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K01560

研究課題名（和文）非線形動学的一般均衡モデルの推定およびマクロ経済分析への応用

研究課題名（英文）Estimation of nonlinear DSGE models and their application to macroeconomic analysis

研究代表者

廣瀬 康生（Hirose, Yasuo）

慶應義塾大学・経済学部（三田）・教授

研究者番号：50583663

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）：本研究には大きく分けて二つの成果があった。（１）二国間モデルに確率的ボラティリティを導入したうえで非線形推定を行った結果、カバーなし金利平価からの乖離を表すリスク・シェアリング・ショックが為替レート変動の主たる要因である一方、ボラティリティ・ショックもそれなりに寄与していることが分かった。（２）名目金利の非負制約を含む非線形モデルを用いた複数の実証分析から、同制約を含まない線形モデルを用いた場合と比べて、推定された非線形モデルの含意がどのように変化するかを定量的に明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マクロ経済モデルのパラメータ推定には、通常、計算負荷を軽減するために、本来非線形である方程式を線形近似したモデルが用いられている。しかし、名目金利の非負制約、将来に関する不確実性の変化、構造変化、といった現実の経済を考えるうえで重要な経済現象は、線形近似されたモデルでは取り扱うことができない。本研究では、上記～を明示的に取り込んだモデルを非線形のまま推定することによって、線形モデルに依拠した既存研究の結果とは異なる新たな知見を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：This research project has two major academic contributions. (1) Nonlinear estimation of a two-country model with stochastic volatilities shows that while risk-sharing shocks, which represent deviations from uncovered interest rate parity, are the main source of exchange rate fluctuations, volatility shocks also contribute to a certain extent. (2) Empirical analyses using nonlinear models with the zero lower bound constraints on the nominal interest rates quantitatively reveal how the implications of the estimated nonlinear models change compared to those using linear models without the constraints.

研究分野：マクロ経済学、金融政策

キーワード：動学的一般均衡（DSGE）モデル 非線形モデル 為替レート 確率的ボラティリティ 名目金利の非負制約 バイズ推定 マクロ経済学 金融政策

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

動学的一般均衡モデル (DSGE モデル: Dynamic Stochastic General Equilibrium Model) は、フォワードルッキングな経済主体の最適化行動から導かれる行動方程式と市場の均衡条件を組み合わせた経済モデルである。DSGE モデルは、政策の波及効果を考える上で重要となる経済主体の期待の役割を明示的に取り込んでいるなど、政策分析に適した性質を有していることから、学界のみならず世界中の主要中央銀行や国際機関においても盛んに開発・運用が行われており、近年のマクロ経済分析の標準ツールの一つとなっている。元来、DSGE モデルは理論分析に用いられることが多かったが、現実のマクロ経済変数の動きを十分に再現できるようモデルが改良されたことに加えて、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC: Markov Chain Monte Carlo) を用いたベイズ推定手法が発展してきたことから、最近では実証分析にも盛んに用いられるようになっている。

DSGE モデルのパラメータ推定には、通常、本来非線形である方程式を線形近似したモデルが用いられている。これは、線形のモデルであれば、合理的期待均衡解の導出が容易であり、Kalman filter によって効率的に尤度関数が評価できるからである。しかし、名目金利の非負制約、将来に関する不確実性の変化、構造変化、といった近年の景気循環や財政・金融政策を考える上で特に重要であると考えられている要因は、線形近似されたモデルでは取り扱うことができない。また、DSGE モデルの非線形性を考慮せずに推定を行うと、推定されたパラメータに大きな歪みが生じることも知られている (Fernández-Villaverde and Rubio-Ramírez, 2005; Hirose and Inoue, 2016; Hirose and Sunakawa, 2015)。

非線形 DSGE モデルのパラメータ推定は、モデルの解法と尤度関数の評価の両方に膨大な繰り返し計算を伴う数値計算が必要となることから、極めて time-consuming な作業となる。このため、非線形 DSGE モデルの推定およびそれを用いた実証分析は世界的にみても数例しかなく、上記 ~ といった非線形性を考慮することによって DSGE モデルの実証的含意がどのように変化するかは、殆ど明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、DSGE モデルを非線形のまま推定することによって、より現実的な設定の下で景気循環や財政・金融政策に関する分析を行うことである。モデルの非線形性を考慮することによって、線形モデルに依拠した既存研究の結果とは異なる、新たな知見が得られることが期待される。

モデルの非線形性を考慮すると、DSGE モデルの実証的含意はどのように変化し得るのであるのか？ 具体例として、開放経済モデルを用いた為替レートの変動要因分析について考えてみよう。標準的な二国モデルでは、為替レートの変化率の期待値は、無裁定条件から導かれるカバーなし金利平價 (UIP: Uncovered Interest Parity) で表されるが、実証分析に用いられる DSGE モデルでは、現実の為替レートの UIP からの乖離を考慮し、UIP の式に外生ショック u_t が加えられる。したがって、為替レートを e_t 、自国および他国の名目金利をそれぞれ i_t および i_t^* とすると、線形近似したモデルにおける為替レートの決定式は、 $E_t \Delta e_{t+1} = i_t - i_t^* + u_t$ と表される。この式を含む線形 DSGE モデルを推定すると、データでは為替レートの変化と内外金利差はさほど連動していないため、為替レートの動きは殆どが外生ショックによって説明されることになる。しかし、無裁定条件を 2 次近似した場合の非線形モデルでは、為替レートの決定式は、 $E_t \Delta e_{t+1} = i_t - i_t^* + 1/2 [cov_t(M_{t+1}^*, \Delta e_{t+1}) + cov_t(M_{t+1}^*, -\Delta e_{t+1})] + u_t$ となる。ここで、 M_{t+1}^* および M_{t+1}^* は、自国および他国の確率的割引因子であり、各国のファンダメンタルズから内生的に決まるものである。この式を含む非線形 DSGE モデルを推定すると、為替レートの動きが各国の確率的割引因子と為替レートの変化との共分散によって内生的に説明される割合が高まるため、外生ショック u_t の寄与は低下すると考えられる。この結果、他の構造ショックや政策変更といった、線形モデルでは考慮されなかった要因が為替レートに影響することから、為替レートの変動要因に関する新たな実証的含意が得られることになる。さらに、より高次の近似や完全に非線形な解法を用いることによって上記 ~ といった非線形性を考慮すれば、名目金利の非負制約によって内外金利差の項がより正確に捉えられるようになるほか、将来に関する不確実性の変化や構造変化が共分散項を通じて為替レートに与える影響も分析可能となる。

3. 研究の方法

本研究は、個別の研究テーマについて、「DSGE モデルの構築」→「モデルの解法」→「モデル

の推定」→「推定されたモデルに基づく分析」という手順を進めた。なお、個別の研究テーマとしては、先に具体例として挙げた為替レートの変動要因分析に加えて、名目金利の非負制約が存在する場合におけるパラメータ、構造ショック、および自然利子率といった潜在変数の識別に関する実証分析を行った。これらのテーマは全て、線形化されたモデルでは考慮することができない要因を含んでいる。

研究テーマに応じて、閉鎖経済または開放経済におけるニュー・ケインジアン・モデルを構築した。モデルの定式化の際には、通常の CRRA 型効用関数だけでなく、非線形性がより重要となる Epstein-Zin 型の再帰的効用関数も考慮した。将来に関する不確実性の変化については、構造ショックに stochastic volatility を導入した。

非線形 DSGE モデルの解法については、定常状態近傍での 2 次または 3 次近似による perturbation 法と、大域的非線形解法である projection 法の両方を検討した。名目金利の非負制約のように方程式に kink が存在する場合や、構造変化のように定常状態の変化および定常状態からの大幅な乖離の可能性がある場合には、projection 法が必要となるが、その必要がない場合は、短時間で解が導出可能な perturbation 法を適用した。具体的な解法としては、perturbation 法は高次近似の場合に起こり得る発散解の可能性を排除した Andreasen et al. (2018) の解法を用い、projection 法は効率的な Smolyak アルゴリズムを適用した Judd et al. (2015) の解法を用いた。

モデルの推定には、ベイズ推定手法を用いた。本研究では非線形モデルを推定するため、尤度関数の評価に Kalman filter を適用できないことから、projection 法によってモデルを解く場合は、計算負担の極めて大きい particle filter を用いた。他方、2 次または 3 次近似による perturbation 法でモデルを解く場合には、Central Difference Kalman Filter (Andreasen, 2013) を用いることによって尤度関数を近似し、計算負担を大幅に軽減することができた。事後分布のサンプリングには、DSGE モデルの推定に通常用いられる Metropolis-Hastings (MH) アルゴリズムのほか、多峰性のある事後分布にも対応できるよう、Sequential Monte Carlo (SMC) アルゴリズムも実装した。また、particle filter や SMC を用いた推定には並列計算を最大限活用し、計算時間の短縮を図った。

推定されたモデルから、インパルス応答や分散分解を計算することによって、モデルの動学的性質やマクロ経済変動の主たる要因を考察した。また、推定されたモデルのシミュレーションによって、より現実的な設定の下で金融政策に関する分析を行った。こうした結果と線形モデルを用いた場合の結果を比較することによって、モデルの実証的含意がどのように変化するかを明らかにした。

4. 研究成果

(1) 非線形二国間動学的一般均衡モデルを用いた為替レートの変動要因分析

非線形の二国間動学的一般均衡モデルを米国および欧州のデータを用いて推定し、為替レートの変動要因を分析した。具体的には、標準的な二国間モデルに確率的ボラティリティを導入したうえで、3 次近似によってモデルを解き、Central Difference Kalman Filter や Sequential Monte Carlo 法といった新手法を用いて推定を行った。

推定されたパラメータを所与として為替レートの分散分解を行った結果、カバーなし金利平価からの乖離を表す「リスク・シェアリング・ショック」が為替レート変動の主たる要因である一方、ボラティリティ・ショックもそれなりに寄与していることが分かった。また、特定のショックのみを考慮した部分均衡モデルであれば、現実のデータで観測されるような内外金利差と為替レート変化率間の負の関係が再現できるものの、様々なショックを考慮した一般均衡モデルではそれが難しいことを示し、これを「general equilibrium puzzle」と名付けることにした。

分析結果は、論文「Exchange Rate Disconnect and the General Equilibrium Puzzle」(Chen, Yu-chin、藤原一平との共著)に取り纏め、複数の国際コンファレンスやワークショップで発表した後、CEPR Discussion Paper として公表した。現在は、学術雑誌への投稿に向けて論文の改訂を行っている。

(2) 非線形動学的一般均衡モデルを用いた自然利子率の推定

名目金利の非負制約を含む非線形ニュー・ケインジアン・モデルを用いて、米国の自然利子率の推定を行った。ここでの自然利子率は、価格や賃金が伸縮的な経済における実質利子率と定義され、インフレ率の安定化および社会厚生観点から望ましい水準の利子率である。

分析の結果、モデルの非線形性を考慮すると、通常用いられる線形モデルから推定される値よりも、自然利子率の水準が高めに推定されることが分かった。その理由としては、非線形モデル

を用いた場合は、線形モデルでは捨象される価格や賃金の散らばり (price and wage dispersion) を表す変数が存在するために技術ショックが大きく推定された可能性と、名目金利の非負制約を考慮することにより選好ショックが大きく推定された可能性の両方が考えられる。推定された構造ショックの動きを、非線形モデルを用いた場合と線形モデルを用いた場合で比較したところ、の影響が大きいことが分かった。これは、自然利子率の推定において、名目金利の非負制約を考慮することの重要性を示唆している。

分析結果は、論文「The Natural Rate of Interest in a Nonlinear DSGE Model」(砂川武貴との共著)に取り纏め、International Journal of Central Banking に投稿していた。その後、同誌からの2度の改定要求をクリアし、無事掲載された。

(3) 行動経済学的期待を導入した非線形動学の一般均衡モデルの推定

将来の期待効用や期待収益をより多く割り引く (cognitive discounting) という行動経済学期待を導入した非線形ニュー・ケインジアン・モデルを名目金利の非負制約も含めて推定を行った。Gabaix (2020) は、cognitive discounting を導入することによって、ゼロ金利制約下におけるニュー・ケインジアン・モデルの性質が大きく異なることを理論的に示しており、本プロジェクトは彼の理論的結果を実証的に検証しようとするものである。

米国のデータを用いた推定の結果、家計および企業ともに、将来を通常の主観的割引率よりも15%程度多く割り引くことが分かった。その結果、モデルが示唆する中央銀行によるフォワード・ガイダンスの効果は、これまでの経験則と整合的に、相対的に弱まることも分かった。また、名目金利の非負制約を含むモデルは、通常仮定される合理的期待の下では、同制約にバインドしている期間が長くなると、非線形解が収束しないという技術的問題が生じることが知られているが、cognitive discounting の導入によって、非線形解が収束するパラメータ空間が大幅に拡大することが明らかになった。これは、合理的期待を仮定した既存のアプローチでは、解が収束する狭いパラメータ空間でしか推定ができないことを意味しており、パラメータの推定値に偏りが生じている可能性を示唆している。

分析結果は、「Estimating a Behavioral New Keynesian Model with the Zero Lower Bound」(飯星博邦、新谷元嗣、上田晃三との共著) というタイトルで東京大学金融教育研究センターのワーキング・ペーパーとして公表した後、Journal of Money, Credit and Banking に投稿した。その後、同誌からの修正要求に対応し、無事掲載が決定した。

(4) 非線形動学の一般均衡モデルを用いた量的質的金融緩和 (QQE) およびイールドカーブ・コントロール (YCC) の効果に関する分析

飯星博邦、新谷元嗣、上田晃三との共同研究として、日本銀行による量的質的金融緩和 (QQE) およびイールドカーブ・コントロール (YCC) の効果を分析するために短期金利のみならず長期金利にもゼロ金利制約を考慮した非線形動学の一般均衡モデルを推定するプロジェクトを開始した。

現在は、実際のデータにフィットするようにモデルを改良したうえで、モデルの解法および推定手法を検討しているところである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yasuo Hirose, Hirokuni Iiboshi, Mototsugu Shintani, Kozo Ueda	4. 巻 -
2. 論文標題 Estimating a Behavioral New Keynesian Model with the Zero Lower Bound	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Money, Credit and Banking	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/jmcb.13117	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 Yasuo Hirose, Takushi Kurozumi, Willem Van Zandweghe	4. 巻 51
2. 論文標題 Inflation Gap Persistence, Indeterminacy, and Monetary Policy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Review of Economic Dynamics	6. 最初と最後の頁 867-887
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.red.2023.08.007	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 Yasuo Hirose, Takeki Sunakawa	4. 巻 19(1)
2. 論文標題 The Natural Rate of Interest in a Non-linear DSGE Model	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Central Banking	6. 最初と最後の頁 301-340
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Yasuo Hirose, Takushi Kurozumi	4. 巻 25(6)
2. 論文標題 Identifying News Shocks with Forecast Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macroeconomic Dynamics	6. 最初と最後の頁 1442-1471
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/S1365100519000737	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 Yu-Chin Chen, Ippei Fujiwara, Yasuo Hirose	4．巻 DP16555
2．論文標題 Exchange Rate Disconnect and the General Equilibrium Puzzle	5．発行年 2021年
3．雑誌名 CEPR Discussion Papers	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） なし	査読の有無 無
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 Yasuo Hirose, Takushi Kurozumi, Willem Van Zandweghe	4．巻 37
2．論文標題 Monetary policy and macroeconomic stability revisited	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Review of Economic Dynamics	6．最初と最後の頁 255-274
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.red.2020.03.001	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8件（うち招待講演 0件／うち国際学会 7件）

1．発表者名 Hirose, Yasuo
2．発表標題 Connecting Exchange Rates to Fundamentals Under Indeterminacy
3．学会等名 Workshop on International Finance and Trade（国際学会）
4．発表年 2024年

1．発表者名 Hirose, Yasuo
2．発表標題 Connecting Exchange Rates to Fundamentals Under Indeterminacy
3．学会等名 Workshop of the Australasian Macroeconomics Society in partnership with the UCSB Laboratory for Aggregate Economics and Finance（国際学会）
4．発表年 2023年

1 . 発表者名 Hirose, Yasuo
2 . 発表標題 Uncovered Interest Rate Parity Puzzle and Sunspot Fluctuations
3 . 学会等名 International Conference on Computing in Economics and Finance (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Yasuo Hirose
2 . 発表標題 Uncovered Interest Rate Parity Puzzle and Sunspot Fluctuations
3 . 学会等名 Keio-Waseda Macro Workshop
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Yasuo Hirose
2 . 発表標題 Uncovered Interest Rate Parity Puzzle and Sunspot Fluctuations
3 . 学会等名 BOJ-CEPR International Macroeconomics and Finance Conference (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Yasuo Hirose
2 . 発表標題 Monetary Policy and Macroeconomic Stability Revisited
3 . 学会等名 EC^2 Conference on Identification in Macroeconomics (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuo Hirose
2. 発表標題 Is Exchange Rate Disconnected After All?
3. 学会等名 Annual West Coast Workshop in International Finance (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuo Hirose
2. 発表標題 Monetary Policy and Macroeconomic Stability Revisited
3. 学会等名 International Conference on Computing in Economics and Finance (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

個人ホームページ https://sites.google.com/site/yasuohirose/

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			
米国	University of Washington	Federal Reserve Bank of Cleveland		