

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：12613

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K13665

研究課題名（和文）高次元マクロ計量経済学における大域的推測理論の確立

研究課題名（英文）Construction of the global inference theory in high-dimensional macroeconometrics

研究代表者

植松 良公 (UEMATSU, Yoshimasa)

一橋大学・大学院ソーシャル・データサイエンス研究科・准教授

研究者番号：40835279

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題期間中には主に、大規模なファクターモデルとベクトル自己回帰モデルに関連する研究を行った。その得られた研究成果は、(1) 今まで考察されてこなかった、スパース性に誘導される弱いファクターモデルとその効率的な推定手法を提案した。(2) そのスパース性を検証するための統計的推測法を提案した。(3) 大規模なベクトル自己回帰モデルにおけるグレンジャー因果ネットワークを検出するための統計的推測法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

上記(1),(2)の学術的意義は、より実データに沿った弱いファクターモデルの理論を発展させた点にある。これにより、例えばより正確な経済予測が可能になる。こうした成果は2つの論文にまとめられ、共にJournal of Business & Economic Statisticsに掲載された。上記3の学術的意義は、大規模時系列に潜む新たな知見の発見につながるネットワーク関係を安定的に検出できる点にある。この成果は海外専門誌からの改訂要求を受けて改訂し再投稿中である。

研究成果の概要（英文）：During the period of this research project, we primarily conducted studies related to large-scale factor models and vector autoregressive models. The research outcomes obtained are as follows: (1) We proposed a weak factor model induced by sparsity, which had not been considered before, and its efficient estimation method. (2) We proposed a statistical inference method to verify the sparsity. (3) We proposed a statistical inference method to detect Granger causality networks in large-scale vector autoregressive models.

研究分野：統計学

キーワード：ファクターモデル ベクトル自己回帰モデル 高次元統計学 偽発見率 スパース性

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年のデータ環境の充実に伴い、高次元データ(サンプル・サイズ n よりも変数の次元 p が大きいデータ)に対する統計学・計量経済学が発展してきた。高次元回帰モデルの推定を考える場合、最も有名な手法の一つは 1995 年の Tibshirani による Lasso と呼ばれる罰則項付き回帰である。この係数ベクトルの推定値はスパースになるため、係数推定と同時に変数選択(次元削減)を行うことができる。しかし、Lasso で選択された変数の有意性の考察は難しい。実際、統計的推測のための漸近分布や分散の一致推定量の導出は非常に困難であるため、 t 検定や区間推定、もしくは BH 法に代表される FDR コントロールも実行できない。

2000 年代の高次元推測の研究は、罰則項を改良してバイアスを減らすことで漸近正規性を回復する方向(いわゆる Oracle property の導出)に向かった。しかしいくつかの批判を受けて、現在ではこの類の研究はあまり見られない。

2. 研究の目的

マクロ計量経済学においても、選択的推測に関する研究が徐々に発展してきている一方で、大域的な同時推測の研究は非常に限られている。先に述べた通り、モデル-X ノックオフを適用する場合、データの分布(モデル)が既知でなければならない。モデルのパラメータが未知で、その推定を許すような(私の知る限り)唯一の方法が、自身の論文 Fan et al. (2018) の IPAD である。そこでは高次元線形回帰モデルの説明変数行列 X に高次元マクロ計量モデルでよく使われるファクターモデルを仮定した上で、そのモデルを推定しても FDR コントロールができることを示した。これにより、実際のデータを用いた場合でも FDR コントロールが可能となった。しかし、現状の理論保証は厳しい仮定の下に成り立っているため、マクロ時系列データに適用するにはさらなる理論研究が必要となる。そこで本研究課題では、ノックオフの理論を拡張することで、高次元マクロ計量モデルに適用可能なノックオフ法に基づく大域的推測理論の確立を目指す。

3. 研究の方法

マクロ計量経済学で頻繁に用いられるファクターモデルや VAR モデルにおいて、大域的推測理論に基づく有益な統計学的方法論を開発する。その際、ノックオフや BH 法の拡張により、高次元データにおいても有効な FDR コントロールを達成することを目指す。こうした手法が統計学理論的に優れた性能を持つことを高次元非漸近論を用いて証明する。また、モンテカルロ実験と実データ分析を通じて、それらの手法が実証においても有用であることを示す。

4. 研究成果

本研究課題期間中には主に、大規模なファクターモデルとベクトル自己回帰モデルに関連する研究を行った。その得られた研究成果は以下の通りである：

(1) 今まで考察されてこなかった、スパース性に誘導される弱いファクターモデルとその効率的な推定手法を提案した。弱いファクターモデルとは、従来のファクターモデルに従うデータの分散共分散行列のシグナル固有値がすべて変数の次元 N のオーダーで発散するものであったのに対して、それぞれ N より小さいオーダーでの発散も許すようなモデルである。モデルパラメータを通じての固有値のコントロールは一般に困難であるが、観測的に同値となる特定のローテーションを考えることで、ファクター負荷行列のスパース性と固有値とを関連付け、そのファクター負荷行列をスパースに推定することにより、効率的な弱いファクターモデルの推定を可能にした。また、負荷行列のサポートを正しく推定する修正を加えたことで、その固有値の発散オーダーの推定をも可能にした。こうした拡張は、金融や経済の時系列データに沿ったものであり、経済時系列予測や大規模分散共分散行列の推定精度を向上させるものである。この成果は、英国ヨーク大学の山形孝志氏との共著で、Journal of Business & Economic Statistics に掲載された。

(2) 上記のスパース性に誘導される弱いファクターモデルにおける重要な仮定は、(特定のローテーションのもとでの)ファクター負荷行列がスパースかどうか、である。2 つ目の成果は、そのスパース性を検証するための統計的推測法を提案したことである。われわれが提案した SOFAR 推定量は、回帰分析における Lasso 推定量と同様、バイアスを伴う。ゆえに、直接推測に用いる

ことはできない。そこで、このバイアスを除去した SOFAR 推定量を提案した。これにより、負荷行列の各要素について推測が可能になる。今回の焦点は、各要素ではなく、列ベクトルごとのスパース度合いのため、各要素がゼロかどうかの多重検定における FDR コントロール手法を提案した。ここでは、バイアス除去済みの SOFAR 推定量をもとに漸近正規性を持つ t 統計量を構成し、連続的な t 検定による FDR コントロールを目指した。検定の臨界値をデータ依存でうまく選択することで、その目的を達成した。この成果は、英国ヨーク大学の山形孝志氏との共著で、Journal of Business & Economic Statistics に掲載された。

(3) 大規模なベクトル自己回帰 (VAR) モデルにおけるグレンジャー因果ネットワークを検出するための統計的推測法を提案した。従来のグレンジャー因果性は 2 変量間で定義され、一方の系列 X の過去の情報がもう一方の系列 Y の予測を向上させるとき、 X は Y に対してグレンジャー因果があるという。近年では、これを多変数に拡張したグレンジャー因果ネットワークが考察されるようになった。しかし、高次元 VAR における簡易なスパース推定に基づくネットワーク推定が主流であり、統計的推測に基づく議論はなかった。そこでわれわれは、高次元 VAR の Lasso 推定量のバイアスを除去し t 統計量を構成し、多重 t 検定による FDR をコントロールしたネットワーク発見手法を提案した。これは 2 の成果と同様に漸近正規性とデータ依存の臨界値によるものであるが、いくつかの場合においてやや FDR コントロールの精度が悪かった。そこでこのブートストラップによる漸近分布の有限標本バイアスの修正をし、より保守的な手法を提案した。こうした結果は、英国ヨーク大学の山形孝志氏との共著としてまとめ、海外専門誌からの改訂要求に基づき改訂ののち、再投稿した。

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 Runyu Dai, Yoshimasa Uematsu, Yasumasa Matsuda	4. 巻 27
2. 論文標題 Estimation of large covariance matrices with mixed factor structures	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Econometrics Journal	6. 最初と最後の頁 62～83
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ectj/utad018	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 Yoshimasa Uematsu, Takashi Yamagata	4. 巻 41
2. 論文標題 Estimation of Sparsity-Induced Weak Factor Models	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Business & Economic Statistics	6. 最初と最後の頁 213～227
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/07350015.2021.2008405	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 Yoshimasa Uematsu, Takashi Yamagata	4. 巻 41
2. 論文標題 Inference in Sparsity-Induced Weak Factor Models	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Business & Economic Statistics	6. 最初と最後の頁 126～139
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/07350015.2021.2003203	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12件（うち招待講演 8件／うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Yoshimasa Uematsu
2. 発表標題 Revisiting asymptotic theory for principal component estimators of approximate factor models
3. 学会等名 16th CMStatistics 2023, Berlin, Germany（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshimasa Uematsu
2. 発表標題 High-dimensional robust inference via the debiased rank lasso
3. 学会等名 5th International Conference on Econometrics and Statistics (EcoSta 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshimasa Uematsu
2. 発表標題 High-dimensional asymptotics for single-index models via approximate message passing
3. 学会等名 15th CMStatistics 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植松良公
2. 発表標題 高次元データにおける統計的推測とその高次元ベクトル自己回帰への応用
3. 学会等名 統計関連学会連合大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 植松良公
2. 発表標題 On weak factor models
3. 学会等名 関西計量経済学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 植松良公
2. 発表標題 Robust False Discovery Rate Control via Debiased Rank Lasso
3. 学会等名 Applications of Data Science in Social Science
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 植松良公
2. 発表標題 On weak factor models
3. 学会等名 日本統計学会春季集会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshimasa Uematsu
2. 発表標題 Inference in weak factor models
3. 学会等名 Econometric Society World Congress 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshimasa Uematsu
2. 発表標題 Estimation of weak factor models
3. 学会等名 39th International Symposium on Forecasting（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshimasa Uematsu
2. 発表標題 Large-dimensional vector autoregression
3. 学会等名 2019 UEA-Tohoku Joint Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshimasa Uematsu
2. 発表標題 IPAD: stable interpretable forecasting with knockoffs inference
3. 学会等名 11th CSA-KSS-JSS Joint International Session (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshimasa Uematsu
2. 発表標題 IPAD: stable interpretable forecasting with knockoffs inference
3. 学会等名 11th ICISA International Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

https://sites.google.com/site/uematsu0911/

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			
英国	ヨーク大学			