

令和 6 年 4 月 30 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H01484

研究課題名（和文）ファクターモデルと罰則化法を用いた時系列・パネルデータの計量分析：理論と応用

研究課題名（英文）Econometric analysis of time series and panel data using factor models and penalization methods: theory and applications

研究代表者

早川 和彦（Hayakawa, Kazuhiko）

広島大学・人間社会科学研究所（社）・教授

研究者番号：00508161

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、ファクターモデルと罰則化法を用いて、時系列・パネルデータを分析するための新しい統計手法を開発した。具体的には、(1)誤差項がファクター構造を持つパネル回帰モデルにおいて、系列相関、不均一分散、回帰係数の不均一性にロバストな統計的推測方法の開発、(2)動学的構造、内生性、相互作用効果を持つパネル回帰モデルの新たな推定量の開発、(3)多変量時系列データからトレンド成分を抽出する手法の開発と日本経済への応用、(4)スパース性に起因するWeakファクターモデルの推定・推測方法の開発などが挙げられる。これらの一部はすでに有力雑誌に掲載されている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

上記(1)のロバストな推測方法は、実証分析では非常に有用な方法であり、今後広く使用されるようになる可能性がある。(2)の新しい推定量は、様々なモデルの統一的に推定することを可能にしている。(3)の多変量時系列データからトレンドを抽出する方法は、世界各国の様々なデータに適用可能である。(4)のWeakファクターモデルの推定と推測に関しては、本研究結果が嚆矢となり、現在、関連する様々な研究が行われている。以上のことから、本研究課題で得られた成果は、一定のインパクトを持っていると言える。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we developed new statistical methods for time series and panel data analysis using factor models and penalization methods. These include (1) development of statistical inference methods robust to serial correlation, heteroskedasticity, and slope heterogeneity in panel regression models where the error term has a factor structure, (2) development of new estimators for panel regression models with dynamics, endogeneity, and factor error structure, (3) development of methods for extracting trend components from multivariate time series data and their application to the Japanese economy, and (4) development of estimation and inference methods for weak factor models induced by sparsity. Some of these have already been published in leading journals.

研究分野：計量経済学

キーワード：パネルデータ 時系列データ ファクターモデル 罰則化法 トレンド

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年の情報通信技術の発展により、大規模なデータがアカデミック・ビジネス・自然科学・社会科学を問わず、あらゆるところで利用可能となってきた。そのような巨大なデータを分析する際、従来の統計的手法では扱えない新たな問題が生じるようになり、様々な新しい分析手法が多く分野で開発されている。その中でも、計量経済学・数理統計学・機械学習等の分野では、近年、特にファクターモデルと罰則化法(あるいは正則化法)に関連する研究が活発に行われている。しかし、両手法は新しい統計手法というわけではなく、例えば、ファクターモデルに至っては、100年以上も前に(1904年)心理学者 Spearman によって提案されている。これらのモデル・手法が近年、特にポピュラーになった背景として、大規模なデータが簡単に利用できるようになったということが考えられる。例えば、ファクターモデルでは、多くの変数の動きを、データの持つ情報量を可能な限り保持しながら数個のファクターで記述するため、大規模データの分析と相性が良い。一方、Tibshirani (1996)による LASSO(Least Absolute Shrinkage and Selection Operator)の開発以来、大規模データの分析ツールとして罰則化法を用いた統計手法が数多く提案されている。

本研究課題では、このように、近年、特に注目を集めているファクターモデルと罰則化法を用いて、時系列・パネルデータを分析する新しい統計手法を開発する。以下では、各研究課題の背景について詳しく説明する。

【研究課題 1】誤差がファクター構造を持つパネル回帰モデルの新しい推測方法の開発(早川・山形)

クロスセクション数 N と時系列の長さ T が両方とも大きいパネル回帰モデルを考察した代表的な研究として Pesaran (2006)と Bai (2009)がある。Pesaran (2006)では、回帰係数がクロスセクションに関して均一な場合と不均一な場合の両方を考えているが、Bai (2009)は、回帰係数が均一の場合のみを考えている。したがって、実証分析において、回帰係数が不均一であると考える場合、Bai (2009)の方法を用いることができないという制約があった。

【研究課題 2】罰則付縮小ランク回帰を使った新しい景気動向指数の開発と応用(山田)

ホドリック・プレスコット・フィルターは、マクロ計量経済学の分野では非常に有名なトレンド・サイクル分解手法である。近年、抽出されるトレンドが連続区分線形トレンドであるという特徴を有する新たなトレンド・サイクル分離手法である I1 トレンド・フィルターが開発された。これらのトレンド・サイクル分解手法は、1変量時系列のみにしか適用できないため、他の時系列データの情報を活用できないという制約があった。

【研究課題 3】Weak ファクターモデルに関する統計的推測(植松・山形)

経済分析で重要な (N 次元)近似的ファクターモデルに関する研究において、従来のモデルでは、すべてのシグナル固有値は同じオーダー N で発散することが仮定されてきた。それに対して近年では、より実データに即した、それぞれの発散オーダーが N よりも小さくてもよい Weak ファクターモデルの研究が注目を集め始めていた。

2. 研究の目的

【研究課題 1】

本研究課題では、Bai (2009)を回帰係数がクロスセクションに関して不均一である場合へ拡張する。具体的には、回帰係数が均一・不均一のいずれの場合にも機能する新たな統計的推測の方法を開発する。

【研究課題 2】

こうした中、本研究では、ホドリック・プレスコット・フィルターや I1 トレンド・フィルタ

ーを複数の時系列データから共通のトレンドやサイクルを抽出できるように拡張し、実データに応用することを目指した。ホドリック・プレスコット・フィルターの多変量版を使えば複数の経済時系列に共通する景気循環成分を抽出することが可能になる。開発した手法を実際に我が国のマクロ経済時系列に対して適用してその有効性を確認することも本研究の目的の一つである。

【研究課題3】

負荷行列のスパース性に誘導される Weak ファクターモデルにおいて、負荷行列のスパース性に関する統計的推測の方法論および統計理論とその応用について考察することを目的とした。より具体的には、負荷行列の各要素がゼロかどうかの多重検定において、偽発見率 (false discovery rate, FDR) を所与の水準以下にコントロールするような方法論を構築することを目的とする。さらにそれに付随する統計理論として、実際に提案手法が FDR コントロールすること、その検出力が漸近的に 1 に収束すること、そして実データを用いた実証によりその手法の有効性を確認することを目的とする。

3. 研究の方法

【研究課題1】

Bai (2009)では、説明変数に関して特定の構造は仮定されていなかったが、回帰係数に不均一性を許すために、Pesaran (2006)のように説明変数がファクター構造を持つことを仮定する。この仮定の導入により、回帰係数が均一な場合と不均一な場合の両方を特殊ケースとして含む統一的なモデルを構築できる。このモデルを Bai (2009)で提案された繰り返し主成分分析推定量を使うことで、一致推定量が得られる。また、回帰係数が均一・不均一の両方のケースで機能する Wald 検定を提案した。また、関連して、不均一回帰係数が説明変数と相関しているかどうかの検定も提案した。

【研究課題2】

ホドリック・プレスコット・フィルターや I1トレンド・フィルターは共に罰則付き最小二乗法として与えられる。両者ともその目的関数がコアシブかつ狭義凸関数である最小化問題として記述されるので、解析解が得られるかどうかを別にして、唯一の大域最小解が存在する。今回の研究では、この目的関数の多変量化に取り組み、多変量時系列の線形結合で表される系列の(1変量)ホドリック・プレスコット・フィルターや I1トレンド・フィルターによるトレンド・サイクル分解を行えばよいことを示した。加えて、開発した手法を実際に応用するための MATLAB ユーザー定義関数を開発・提供した。更に、開発した手法を実データに応用した。

【研究課題3】

Uematsu, Fan, Chen, Lv and Lin (2019) で提案された SOFAR 推定のフレームワークを、負荷行列のスパース性に誘導される Weak ファクターモデルに応用し、負荷行列のスパースな推定量 (SOFAR 推定量) を得た。その推定量のバイアスを除去することにより、各要素の推定量の漸近正規性を導き、適切な検定統計量を構成した。多重検定における FDR コントロールが目的であるため、それを達成するような棄却域をデータに依存する形でうまく構成することで、目的を達成した。

4. 研究成果

【研究課題1】

論文“ A robust approach to heteroskedasticity, error serial correlation and slope heterogeneity in linear models with interactive effects for large panel data ” (早川・山形)では、不均一性を許したパネルデータモデルの推定と検定ならびに不均一性の独立変数とのパネル相関テストを考察した。

論文 “Testing for alpha in linear factor pricing models with a large number of securities”(山形)では、線形資産価格モデルにおける切片の不均一性のパネルテストを考察した。

【研究課題 2】

論文 “11 Common Trend Filtering”(山田)では、1 変量時系列のトレンド・サイクル分解手法の一つである 11 トレンド・フィルターの多変量化に取り組んだ。この手法を使えば、複数の時系列に共通する連続区分線形トレンドを抽出することが可能になる。開発した手法を応用するための MATLAB ユーザー定義関数を開発・提供したほか、我が国のマクロ経済時系列に応用した。研究成果をまとめた論文は査読の後 *Computational Economics* 誌に掲載された。

論文 “11 Common Trend Filtering: An Extension”(山田・早川)では、先に開発した多変量版 11 トレンド・フィルターの拡張に取り組んだ。先に開発したフィルターでは、推定のために識別制約という条件を課さなければならない。本研究では、先に開発したフィルターでは扱って出来なかった他の様々な識別制約にも対応できるようにフィルターを拡張した。その上で、MATLAB ユーザー定義関数を開発・提供したほか、開発した手法を海洋時系列データに応用した。研究成果をまとめた論文は査読の後、*Journal of Statistical Computation and Simulation* 誌に掲載された。

論文 “Multivariate Hodrick-Prescott Filter: Extracting the Common Business Cycle of Multiple Economic Time Series”(山田)では、ホドリック・プレスコット・フィルターの多変量化に取り組んだ。この手法を使えば複数の経済時系列に共通する景気循環成分を抽出することが可能になる。開発した手法を実際に我が国のマクロ経済時系列に対して適用して共通の景気循環成分を抽出したところ、政府の決定した景気転換点日付と高い整合性を有する様子を確認することが出来た。研究成果をまとめた論文は、現在国際学術誌において査読中である。

【研究課題 3】

論文 “Estimation in sparsity-induced weak factor models” (植松・山形)並びに “Inference in sparsity-induced weak factor models”(植松・山形)では、負荷行列のスパース性に誘導される Weak ファクターモデルについて、SOFAR 推定量の理論を構築し、バイアス除去法を提案することで、各要素の推定量の漸近正規性を導き、適切な検定統計量を構成した。さらに多重検定における FDR コントロールを達成する方法論を確立した。

《参考文献》

- Bai, J. (2009) “Panel data models with interactive fixed effects,” *Econometrica*, 77(4), 1229-1279.
- Pesaran, M. H. (2006) “Estimation and inference in large heterogeneous panels with a multifactor error structure,” *Econometrica*, 74(4), 967-1012.
- Tibshirani, R. (1996) “Regression shrinkage and selection via the lasso,” *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, 58(1), 267-288.
- Uematsu, Y., Y. Fan, K. Chen, J. Lv and W. Lin (2019) “SOFAR: Large-scale Association Network Learning,” *IEEE Transactions on Information Theory*, 65, 4924-4939.
- Yamada, H. (2024) “Multivariate Hodrick-Prescott Filter: Extracting the Common Business Cycle of Multiple Economic Time Series,” 国際学術誌にて査読中.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Yamada Hiroshi	4. 巻 38
2. 論文標題 TREND EXTRACTION FROM ECONOMIC TIME SERIES WITH MISSING OBSERVATIONS BY GENERALIZED HODRICK- PRESCOTT FILTERS	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Econometric Theory	6. 最初と最後の頁 419 ~ 453
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S0266466621000189	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 Uematsu Yoshimasa, Yamagata Takashi	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 and 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 -
1. 著者名 Uematsu Yoshimasa, Yamagata Takashi	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 and 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 -
1. 著者名 Cui Guowei, Hayakawa Kazuhiko, Nagata Shuichi, Yamagata Takashi	4. 巻 41
2. 論文標題 A Robust Approach to Heteroscedasticity, Error Serial Correlation and Slope Heterogeneity in Linear Models with Interactive Effects for Large Panel Data	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Business and Economic Statistics	6. 最初と最後の頁 862 ~ 875
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/07350015.2022.2077349	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 Yamada Hiroshi、Bao Ruoyi	4. 巻 59
2. 論文標題 l1 Common Trend Filtering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computational Economics	6. 最初と最後の頁 1005 ~ 1025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10614-021-10114-9	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 Breitung Joerg、Kripfganz Sebastian、Hayakawa Kazuhiko	4. 巻 24
2. 論文標題 Bias-corrected method of moments estimators for dynamic panel data models	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Econometrics and Statistics	6. 最初と最後の頁 116 ~ 132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecosta.2021.07.001	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 -

1. 著者名 Pesaran M Hashem、Yamagata Takashi	4. 巻 22
2. 論文標題 Testing for Alpha in Linear Factor Pricing Models with a Large Number of Securities	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Financial Econometrics	6. 最初と最後の頁 407 ~ 460
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jjfinec/nbad002	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 Bao Ruoyi、Yamada Hiroshi、Hayakawa Kazuhiko	4. 巻 93
2. 論文標題 l1 common trend filtering: an extension	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Statistical Computation and Simulation	6. 最初と最後の頁 493 ~ 512
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00949655.2022.2144314	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 -

1. 著者名 Hayakawa Kazuhiko, Pesaran M. Hashem, Smith L. Vanessa	4. 巻 38
2. 論文標題 Short T dynamic panel data models with individual, time and interactive effects	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Applied Econometrics	6. 最初と最後の頁 940 ~ 967
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jae.2981	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

[学会発表] 計6件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Ruoyi Bao, Hiroshi Yamada, Kazuhiko Hayakawa
2. 発表標題 I1 common trend filtering: an extension
3. 学会等名 IASC-ARS2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takashi Yamagata
2. 発表標題 Assessing the impact of COVID-19 on global fossil fuel consumption and CO2 emissions
3. 学会等名 Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takashi Yamagata
2. 発表標題 Discovering the network Granger causality in large vector autoregressive models
3. 学会等名 Dimensionality Reduction and Inference in High-Dimensional Time Series (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takashi Yamagata
2. 発表標題 Estimation of 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 Takashi Yamagata
2. 発表標題 Linear Panel Regression Models with Non-Classical Measurement Error: An Application to Investment Equations
3. 学会等名 Econometric Society European Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuhiko Hayakawa
2. 発表標題 Linear Panel Regression Models with Non-Classical Measurement Error: An Application to Investment Equations
3. 学会等名 28th International Panel Data Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 石垣 司、植松 良公、千木良 弘朗、照井 伸彦、松田 安昌、李 銀星	4. 発行年 2022年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 248
3. 書名 経済経営のデータサイエンス	

〔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
研究分担者	山田 宏 (Yamada Hiroshi) (90292078)	広島大学・人間社会科学研究科(社)・教授 (15401)	
研究分担者	山形 孝志 (Yamagata Takashi) (20813231)	大阪大学・社会経済研究所・特任教授(常勤) (14401)	
研究分担者	植松 良公 (Uematsu Yoshimasa) (40835279)	一橋大学・ソーシャル・データサイエンス教育研究推進センター・准教授 (12613)	

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		
ドイツ	University of Cologne		
英国	University of Exeter		