

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：12613

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25285067

研究課題名(和文)大規模パネル・データ・モデルの統計的分析手法の開発とその実証研究

研究課題名(英文)Development of Statistical Methods for Large Panel Data Models and Their Applications

研究代表者

黒住 英司(KUROZUMI, Eiji)

一橋大学・大学院経済学研究科・教授

研究者番号：00332643

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではクロスセクション方向の次元 N と時系列方向の次元 T がどちらも大きな「大規模パネル・データ」の統計的分析手法の開発とそれらを応用した実証分析を行うことが研究の主眼である。理論的な側面では、 N と T の両方を無限大に発散させる漸近論および N を固定した T に関する漸近論を駆使し、パネル・データ分析のための新たな分析手法を開発した。これらの手法を用いた実証分析も行っており、本研究の成果は、国内外の計量経済学の理論・実証の両面で注目を集めており、国際的に大きなインパクトを与えた。今後は、本研究で開発した手法を用いた実証分析が広く行われ、大規模パネル・データを用いた分析が盛んに行われていくと期待される。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this project is to develop statistical methods for investigating large panel data models with both the cross-sectional dimension N and the time-series dimension T being large and to apply those developed methods to empirical analyses. We developed new methods for panel data analysis using the joint asymptotics where both N and T go to infinity or the T asymptotics with N fixed. We also conducted empirical analyses using the developed methods. The methods developed in this project are expected to be used in the future empirical analyses and, in general, the econometric analyses with large panel data would become more popular in the near future.

研究分野：計量経済学

キーワード：経済統計学 パネルデータ 共和分 構造変化 ジャンプ 動学パネル GMM

1. 研究開始当初の背景

(1) 多面的な経済データの充実：従来のミクロ・パネル・データは、調査対象である個体数(N)が大きく、通常、Nは1,000以上であるのに対して、時系列観測時点数(T)は高々数時点しかなく、NはTよりも圧倒的に大きいことが特徴であった。しかしながら、ミクロ・パネル・データの集計が長年行われ続けていることから、NとTがどちらも大きなデータが入手できるようになった。一方、各国のマクロ経済状況に関する統計の整備がすすめられてきたことから、マクロ経済指標のパネル化されたデータが利用できるようになってきた。このようなマクロ・パネル・データは多くの場合、分析対象となる調査個体数(N)よりも時系列観測時点数(T)の方が大きいという点が特徴である。

(2) 新たな統計的手法の必要性：充実した経済データが利用可能になった結果、従来パネル・データ・モデル想定されていた「観測時点数(T)は固定」という仮定では分析が困難になってきており、NとTの両方を無限大へ発散させる漸近理論、もしくは、従来の多変量時系列分析では想定しなかった大きさの有限のNを許容したTに関する漸近理論が必要とされていた。

2. 研究の目的

本研究では、近年のパネル経済データの整備の進展に合わせて、時系列方向の次元(T)とクロスセクション方向の次元(N)が大きなパネル・データに対する、統計的分析手法を開発し、新たな経済分析へとつなげていくことを目的とする。とりわけ、構造変化・単位根・共和分・因子モデル・動学モデルに関する統計的推定・検定手法の開発を行う。従来の典型的なパネル・データは、Tが小さく、Nが大きいというものであったが、このタイプのデータに対する分析手法は、Nだけに関する漸近論に依存していた。しかしながら、本研究では、Nばかりでなく、Tが大きなケースを想定しているので、NとTの両者を無限大へとばす同時漸近論、もしくは、Tだけに関する漸近論を展開して、経済分析を進めていく。

3. 研究の方法

研究目的には複数の副次的トピックスを含むことから、トピックス毎に中心的役割を担うリーダーを決め、リーダーが中心となって各研究を遂行していく。その為には、各リーダーがそれぞれの最先端の研究動向を学会や文献を通して調査・整理し、その内容を互いに共有することが最初の段階で行うべきことである。その上で、第2段階として、互いに顔をつき合わせて直接議論を交わしながら、具体的に統計的推測手法の開発を行っていく。初期段階の理論の開発が成功したら、第3段階として、国内外で研究発表を行い、

様々な意見を取り入れて研究成果の精緻化を図っていく。そして、理論の精緻化が完成した時点で、国際的な学術雑誌に研究成果を発表していく一方、実証分析を進めていき、本研究の成果の有用性を広めていく。

4. 研究成果

本研究では大規模パネル・データの統計的分手法の開発とそれらを応用した実証分析を行うことが研究の主眼である。理論的な側面では、NとTの両方を無限大に発散させる漸近論およびNを固定したTに関する漸近論を駆使し、パネル・データ分析のための新たな分析手法をいくつか開発した。また、これらの手法を用いて、プレビッシュ・シンガー仮説の検証や米国マクロ経済データの分析を行った。このように、大規模パネル・データの分析手法を開発し、それらの応用方法を提示したことは、国内外の計量経済学の理論・実証の両面で注目を集めており、国際的に大きなインパクトを与えたといえる。今後は、本研究で開発した手法を用いた実証分析が広く行われ、大規模パネル・データを用いた分析が盛んに行われていくと期待される。

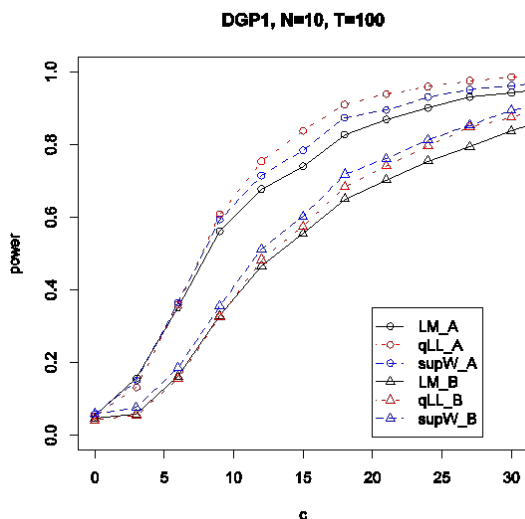
個別の具体的な研究成果は、以下の通りである。

(1) パネル単位根検定：先行研究では、すべての個体が単位根を持つ、という帰無仮説の単位根検定が提唱されてきたが、帰無仮説が棄却された場合、どの個体が単位根を持っているのかが分からないという欠点があり、最終的には各個体の一変量単位根検定を行わなければならない。この場合、既存の単位根検定は検出力が低いという欠点があるため、これを改善するため、共変量ADF検定を利用することを推奨した。共変量ADF検定そのものは先行研究で提唱されたものであるが、実証分析で応用する場合、共変量をどのように選択するかが問題となる。そこで、マクロ・パネル・データの各個体が比較的強い相関を持っていることを前提に、この相関を利用して共変量単位根検定を行うことを提唱した。特に、共変量の候補が多数ある場合には、すべての共変量を使うとかえって検出力が落ちることがあることから、共変量の新たな選択方法を開発・提案した。この新たな手法を用いて、プレビッシュ・シンガー仮説の検証を行い、亜鉛、スズ、羊毛、鉄、アルミニウム、コーヒー、ココアという幅広い1次産品に関して(工業製品に対する)相対価格が下落するトレンドがあるというプレビッシュ・シンガー仮説を支持する結果が得られた。

(2) パネル共和分検定：先行研究で開発されてきたパネル共和分検定は、帰無仮説のもとでパネル共和分が成り立たない、というものであったが、本研究では帰無仮説の下でパネル共和分が成り立つことを想定した。先行研究では、クロスセクション間の独立性を仮定

しているが、これは非現実的な仮定であるので、クロスセクション間の従属性、異なる個体間の $I(1)$ 変数同士の共分散関係、を許容する検定方法を開発した。この検定は残差の自己共分散を利用した検定であり、クロスセクション方向の次元(N)を固定しているため、時系列方向の次元(T)が N より大きなマクロパネル・データに利用可能である。また、この検定では自己共分散の次数(異時点間の間隔)の選択が重要であるが、提唱した次数選択方法が理論的に支持されるということをもとで立証した。

(3) パネル・モデルの構造変化の検定：先行研究ではパネル・モデルのパラメータがクロスセクション間で異なるかどうかの検定が提唱されているが、マクロ・パネル・モデルの場合、時系列方向の次元(T)が比較的大きいため、時系列方向の意味でパラメータが安定的であるかどうかの検証が必要である。そこで、時系列方向の次元(T)がクロスセクション方向の次元(N)より小さい状況下での、構造変化の検定方法を開発した。具体的には、局所最適(LM)検定および様々な対立仮説の下での検出力の加重平均を最大化するような(qLL)検定を開発した。このような検定は一見、多変量時系列モデルの単純な拡張に見えるが、極限分布の「自由度」が300を超えるために、シミュレーション実験で各分位点を求めることは非現実的である。そこで、上記2つの検定統計量の極限分布の特性関数を導出し、特性関数を反転させて数値積分を行うことにより分位点をもとめ、それらに対して response surface 回帰を行うことにより、各自由度・有意水準に応じた検定の臨界値を容易に求めることに成功した。また、クロスセクション間ではパラメータの傾きが等しいにもかかわらず、あたかも異なるかのような冗長なモデル(一般モデル)を前提に検定を行うと、検出力が大幅に低下することを明らかにした。



上図において、LM_A, qLL_A, supW_A は上記2つの検定と先行研究にある sup-Wald 検定の検出力(クロスセクション間でパラメータの傾きが等しいと仮定)、添え字を B としたものが一般モデルを想定した場合の各検定の検出力である。

(4) 動学パネル・モデルの最尤推定：先行研究では分散が均一である場合の動学パネル・モデルの最尤推定が提案されているが、これをクロスセクション間に不均一分散があるケースへ拡張し、不均一分散がある場合の最尤推定量の性質を導出した。従来手法では、不均一分散が存在する場合には、分散が均一であると想定した最尤推定量の標準誤差は誤りであり、その結果、誤った統計的推測を行う可能性があった。本研究で、不均一分散の下でも利用可能な頑健な標準誤差の導出の方法を提案し、正しい統計的推測を行うことが可能になった。

(5) 過剰識別制約検定：モーメント条件が多い場合の GMM 推定量の過剰識別検定については、先行研究ではサイズ特性が全く異なるシミュレーション実験結果が報告されていたが、その原因がウエイト行列にあることを明らかにした。次に、モーメント条件がグループ化されているときに、既存の検定よりもサイズの歪みをはるかに小さい新しい検定を開発した。また、グループ構造が未知の場合にも利用できるように、K-平均法を使う手法を開発した。

(6) パネル AR()モデル：個別効果のある動学パネル AR()モデルの推定方法を開発した。AR()モデルを有限次元モデルで近似し、クロスセクション方向の次元(N)と時系列方向の次元(T)に関する同時漸近論を用いて、固定効果推定量の一致性及び漸近正規性を導出した。また、固定効果推定量にはバイアスが生じることから、バイアス修正方法を提案した。シミュレーション実験により、バイアス修正済み固定効果推定量の有限標本特性が優れていることを明らかにした。

(7) 異質な動学特性を持つパネル・モデル：パネルデータの各個体がそれぞれ異なる動学特性を持つ場合の分析手法を開発した。本分析手法はモデルの特定化を行わず、手法も非常に単純であることが特徴である。具体的には、各個体から求められた標本平均、自己共分散、自己相関係数からそれぞれの経験分布関数をもとめ、分析はこれら経験分布関数にもとづいて行われる。同時漸近論を用いることにより、これらの経験分布関数にもとづくパラメータの分布推定量に関しては、汎関数中心極限定理が成立つことを明らかにした。

(8) 因子モデルの構造変化：因子モデルの因

子負荷行列の構造変化の検定方法を開発した。まず、先行研究で提案されている因子負荷行列の構造変化の検定は、検出力が非単調になることを明らかにした。そこで、モデルの取り得るファクター数に応じて個別に統計量を作成して、それらの最大値を最終的な検定統計量とすることにより、検出力の非単調性問題を克服できることを明らかにした。

(9) ジャンプの伴うファクター・モデル：金融・マクロ時系列データにおいては頻度は低いもののジャンプが観測されることがある。そこで、共通因子モデルの標準的な統計的推測方法が許容しうる理論的なジャンプの大きさを導出した。次に、ジャンプを検出して取り除く手法を提案した。モンテカルロ実験により、この手法が有限標本において効果的であることを明らかにした。

(10) 国際研究集会：2015年5月30,31日に一橋大学国立西キャンパスで開催された The 11th International Symposium on Econometric Theory and Applications (SETA 2015)を共催した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計29件)

- (1) Kazuhiko Hayakawa (2016). "Unit Root Test for Short Panels with Serially Correlated Errors," *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 印刷中, 査読有り, DOI:10.1080/03610926.2015.1076471
- (2) Qingfeng Liu, Ryo Okui and Arihiro Yoshimura (2016). "Generalized Least Squares Model Averaging," *Econometric Reviews*, 印刷中, 査読有り, DOI:10.1080/07474938.2015.1092817
- (3) Ryo Okui (2016). "Misspecification in Dynamic Panel Data Models and Model-free Inferences," *The Japanese Economic Review*, 印刷中, 査読有り, DOI:10.1111/jere.12080
- (4) Yohei Yamamoto (2016). "A Modified Confidence Set for the Structural Break Date in Linear Regression Models," *Econometric Reviews*, 印刷中, 査読有り, DOI:10.1080/00927872.2016.1178892
- (5) Kazuhiko Hayakawa (2016). "Improved GMM Estimation of Panel VAR Models," *Computational Statistics and Data Analysis*, 印刷中, 査読有り, DOI:10.1016/j.csda.2015.05.004
- (6) Kazuhiko Hayakawa and Shuichi Nagata (2016). "On the Behavior of the GMM Estimator in Persistent Dynamic Panel Data Models with Unrestricted Initial Conditions," *Computational Statistics and Data Analysis*, 印刷中, 査読有り, DOI:10.1016/j.csda.2015.03.007
- (7) Pierre Perron and Yohei Yamamoto (2016). "On the Usefulness or Lack Thereof of Optimality Criteria for Structural Change Tests," *Econometric Reviews*, Vol.35, pp.782-844, 査読有り, DOI:10.1080/07474938.2014.977621
- (8) Kazuhiko Hayakawa (2016). "Identification Problem of GMM Estimators for Short Panel Data Models with Interactive Fixed Effects," *Economics Letters*, Vol.139, pp.22-26, 査読有り, DOI:10.1016/j.econlet.2015.12.012
- (9) Yohei Yamamoto (2016). "Forecasting with Non-spurious Factors in U.S. Macroeconomic Time Series," *Journal of Business and Economic Statistics*, Vol.34, pp.81-106, 査読有り, DOI:10.1080/07350015.2015.1004071
- (10) Kaddour Hadri, Eiji Kurozumi and Daisuke Yamazaki (2015). "Synergy Between an Improved Covariate Unit Root Test and Cross-sectionally Dependent Panel Data Unit Root Tests," *The Manchester School*, Vol.83, pp.676-700, 査読有り, DOI:10.1111/mana.12080
- (11) Daisuke Yamazaki and Eiji Kurozumi (2015). "Improving the Finite Sample Performance of Tests for a Shift in Mean," *Journal of Statistical Planning and Inference*, Vol.167, pp.144-173, 査読有り, DOI:10.1016/j.jspi.2015.05.002
- (12) Yohei Yamamoto and Shinya Tanaka (2015). "Testing for Factor Loading Structural Change under Common Breaks," *Journal of Econometrics*, Vol.189, pp.187-206, 査読有り, DOI:10.1016/j.jeconom.2015.06.018
- (13) Kaddour Hadri, Eiji Kurozumi and Yao Rao (2015). "Novel Panel Cointegration Tests Emending for Cross-Section Dependence with N Fixed," *Econometrics Journal*, Vol.18, pp.363-411, 査読有り, DOI:10.1111/ectj.12054
- (14) Eiji Kurozumi and Yohei Yamamoto (2015). "Confidence Sets for the Break Date Based on Optimal Tests," *The Econometrics Journal*, Vol.18, pp.412-435, 査読有り, DOI:10.1111/ectj.12055
- (15) Kazuhiko Hayakawa and M. Hashem Pesaran (2015). "Robust Standard Errors in Transformed Likelihood Estimation of Dynamic Panel Data Models with Cross-Sectional

- Heteroskedasticity," *Journal of Econometrics*, Vol.188, pp.111-134 , 査読有り, DOI:10.1016/j.jeconom.2015.03.042
- (16) Daisuke Yamazaki and Eiji Kurozumi (2015). "Testing for Parameter Constancy in the Time Series Direction in Panel Data Models," *Journal of Statistical Computation and Simulation*, Vol.85, pp.2874-2902 , 査読有り, DOI:10.1080/00949655.2014.945089
- (17) Kazuhiko Hayakawa (2015). "The Asymptotic Properties of the System GMM Estimator in Dynamic Panel Data Models When Both N and T are Large," *Econometric Theory*, Vol.31, pp.647-667 , 査読有り, DOI:10.1017/S0266466614000449
- (18) Eiji Kurozumi (2015). "Testing for Multiple Structural Changes with Non-Homogeneous Regressors," *Journal of Time Series Econometrics*, Vol.7, pp.1-35 , 査読有り, DOI:10.1515/jtse-2012-0019
- (19) Pierre Perron and Yohei Yamamoto (2015). "Using OLS to Estimate and Test for Structural Changes in Models with Endogenous Regressors," *Journal of Applied Econometrics*, Vol.30, pp.119-144 , 査読有り, DOI:10.1002/jae.2320
- (20) Ryo Okui (2014). "Asymptotically Unbiased Estimation of Autocovariances and Autocorrelations with Panel Data in the Presence of Individual and Time Effects," *Journal of Time Series Econometrics*, Vol.6, pp.129-181 , 査読有り, DOI:10.1515/jts-e-2013-0017
- (21) Rasmus Fatum and Yohei Yamamoto (2014). "Large versus Small Foreign Exchange Interventions," *Journal of Banking and Finance*, Vol.43, pp.114-123 , 査読有り, DOI: 10.1016/j.jbankfin.2014.03.015
- (22) Pierre Perron and Yohei Yamamoto (2014). "A Note on Estimating and Testing for Multiple Structural Changes in Models with Endogenous Regressors via 2SLS," *Econometric Theory*, Vol.30, pp.491 - 507 , 査読有り, DOI:10.1017/S0266466613000388
- (23) Qingfeng Liu and Ryo Okui (2013). "Heteroscedasticity-robust Cp Model Averaging," *The Econometrics Journal*, Vol.16, pp.463-472 , 査読有り, DOI:10.1111/ectj.12009
- (24) Yohei Yamamoto and Pierre Perron (2013). "Estimating and Testing Multiple Structural Changes in Linear Models Using Band Spectral Regressions," *The Econometrics Journal*, Vol.16, pp.400-429 , 査読有り, DOI:10.1111/ectj.12010
- (25) Tanjim Hossain and Ryo Okui (2013). "The Binarized Scoring Rule," *The Review of Economic Studies*, Vol.80, pp.984-1001 , 査読有り, DOI:10.1093/restud/rdt006
- [学会発表](計49件)
- (1) Yohei Yamamoto, Asymptotic Inference for Common Factor Models in the Presence of Jumps, AJRC and HIAS Joint Conference on Recent Issues in Finance and Macroeconomics, 2016年3月22日, Camberra (Australia)
- (2) Eiji Kurozumi, Monitoring Parameter Constancy with Endogenous Regressors, 12th International Symposium on Econometric Theory and Applications 2016年2月19日, Hamilton (New Zealand)
- (3) Yohei Yamamoto, Asymptotic Inference for Common Factor Models in the Presence of Jumps, 12th International Symposium on Econometric Theory and Applications 2016年2月18日, Hamilton (New Zealand)
- (4) Kazuhiko Hayakawa, Instrumental Variable Estimation of Panel Data Models with Weakly Exogenous Variables, The 9th International Conference on Computational and Financial Econometrics, 2015年12月14日, London (UK)
- (5) Ryo Okui, Panel Data Analysis with Heterogeneous Dynamics, Econometric Society 2015 World Congress, 2015年8月18日, Montreal (Canada)
- (6) Kazuhiko Hayakawa, Alternative Over-Identifying Restriction Test in GMM with Grouped Moment Conditions, The 21th International Conference on Panel Data, 2015年6月29日, Budapest (Hungary)
- (7) Eiji Kurozumi, Confidence Sets for the Break Date Based on Optimal Tests, The 2nd Annual Conference of the International Association for Applied Econometrics, 2015年6月27日, Thessaloniki (Greece)
- (8) Yohei Yamamoto, A Modified Confidence Set for the Structural Break Date in Linear Regression Models, The 2nd Annual Conference of the International Association for Applied Econometrics, 2015年6月25日, Thessaloniki (Greece)

- (9) Ryo Okui, Panel Data Analysis with Heterogeneous Dynamics, 10th Netherlands Econometric Study Group Meeting, 2015年6月13日, Maastricht (the Netherlands)
- (10) Ryo Okui, Panel Data Analysis with Heterogeneous Dynamics, Princeton-QUT-SJTU-SMU conference, 2015年4月19日, Singapore
- (11) Ryo Okui, Dynamic Panel Data Analysis when the Dynamics are heterogeneous, Hitotsubashi-Sogang conference on Econometrics, 2014年12月13日, Seoul (Korea)
- (12) Yohei Yamamoto, A Modified Confidence Set for the Structural Break Date in Linear Regression Models, Hitotsubashi-Sogang conference on Econometrics, 2014年12月13日, Seoul (Korea)
- (13) Yohei Yamamoto, Testing for Factor Loading Structural Change under Common Breaks, 31st Meeting of the Canadian Econometric Study Group Meeting, 2014年10月5日, Vancouver (Canada)
- (14) Kazuhiko Hayakawa, Identification Problem of GMM estimators for Short Panel Data Models with Interactive Fixed Effects, Econometric Society European Meeting, 2014年8月26日, Toulouse (France)
- (15) Kazuhiko Hayakawa, Transformed Maximum Likelihood Estimation of Short Dynamic Panel Data Models with Interactive Effects, The 20th International Conference on Panel Data, 2014年7月9日, 一橋講堂 (東京都・千代田区)
- (16) Eiji Kurozumi, Improving the Finite Sample Performance of Tests for a Shift in Mean, The Annual Conference of the International Association for Applied Econometrics, 2014年6月26日, London (UK)
- (17) Eiji Kurozumi, Novel Panel Cointegration Tests Emending for Cross-Section Dependence with N Fixed, Asian Meeting of Econometric Society, 2014年6月22日, 台北 (台湾)
- (18) Ryo Okui, Dynamic Panel Data Analysis when the Dynamics are Heterogeneous, IAS Workshop on Advances in Microeconometrics, 2014年5月24日, 香港 (中国)
- (19) 早川和彦, 相互作用の固定効果を含むパネルデータモデルの考察, 統計関連学会連合大会, 2013年9月9日, 大阪大学(大阪府・豊中市)
- (20) Ryo Okui, Asymptotic Inference for

Dynamic Panel Estimators for Infinite Order Autoregressive Processes, KAKENHI Symposium: Recent Advances in Statistical Theory and Applications for High Dimensional Data Analysis and Related Topics, 2013年9月6日, 小樽商科大学 (北海道・小樽市)

- (21) Yohei Yamamoto, Forecasting with Non-spurious Factors in U.S. Macroeconomic Time Series, EEA-ESEM Meeting 2013, 2013年8月28日, Gothenburg (Sweden)
- (22) Eiji Kurozumi, Testing for Parameter Constancy in the Time-Series Direction in Fixed-Effect Panel Data Models, EEA-ESEM Meeting 2013, 2013年8月26日, Gothenburg (Sweden)
- (23) Kazuhiko Hayakawa, Improved GMM Estimation of Panel VAR Models, Asian Meeting of Econometric Society, 2013年8月3日, Singapore
- (24) Yohei Yamamoto, Forecasting with Non-spurious Factors in U.S. Macroeconomic Time Series, Econometric Society Australasian Meeting, 2013年7月12日, Sydney (Australia)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒住 英司 (KUROZUMI, Eiji)
一橋大学・大学院経済学研究科・教授
研究者番号: 00332643

(2) 研究分担者

早川 和彦 (HAYAKAWA, Kazuhiko)
広島大学・大学院社会科学研究所・准教授
研究者番号: 00508161

奥井 亮 (OKUI, Ryo)
京都大学・経済研究所・准教授
研究者番号: 20563480

山本 庸平 (YAMAMOTO, Yohei)
一橋大学・大学院経済学研究科・准教授
研究者番号: 80633916

(3) 研究協力者

Kaddour Hadri (HADRI, Kaddor)
Queen's University Belfast・Queen's Management School・Emeritus Professor
なし

山形 孝志 (YAMAGATA, Takashi)
University of York・Department of Economics and Related Studies・Professor
なし