

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 23 日現在

機関番号：34403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K03403

研究課題名(和文) パネル単位根検定における多重検定手法の適用に関する研究

研究課題名(英文) Application of multiple testing methods in panel unit root testing

研究代表者

松木 隆 (Matsuki, Takashi)

大阪学院大学・経済学部・教授

研究者番号：60319564

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：パネルデータの単位根検定において発生する問題(パネルデータの構成系列のどれが定常であるかを特定できない、多重性問題)について、有力な解決法として考えられる多重検定の適用を行った。特に、以下の3点に注力した。パネル単位根仮説の検定の際に起こりうる条件設定の下での検定パフォーマンスを検証した。逐次多重検定において、第1段階で棄却される仮説に対応するデータ系列を定常共変量として再利用する検定を提案し、その検定特性を考察した。で考察した検定手法やその拡張手法について、現実データへの適用を行った。その結果、のどの考察においても、多重検定が実用に耐えうる有力な方法である証拠を得た。

研究成果の概要(英文)：In panel unit root testing, two crucial issues often arise: (1) Impossibility to identify which is the stationary series through commonly used panel unit root tests when the joint unit root null is rejected; (2) multiplicity problem (that is, over-rejection of the null in the repeated application of individual tests). To address these issues, this study employs multiple testing in nonstationary panel settings. Specifically, this study focuses on three points: (1) the test performance is investigated under various circumstances in actual data analysis. (2) In conducting stepwise multiple testing, the data associated with the null hypothesis rejected in the first step is re-utilized in later steps as a stationary covariate that correlates with other series. The gain in test power is confirmed. (3) Then, some multiple testing methods are employed to analyze actual economic data. As a result, all these analyses show a good practical performance of multiple testing.

研究分野：計量経済学

キーワード：非定常パネルデータ 単位根 共和分 多重検定 経済構造変化 非線型性 共変量

1. 研究開始当初の背景

パネルデータの単位根検定において、従来法(パネル単位根検定、1変量単位根検定の繰り返し適用)を用いると、構成系列(時間軸方向に見た場合のデータ)のどれが定常であるかを特定できない問題や、単位根帰無仮説を過剰に棄却する問題が起こりうる。この問題の有力な解決方法として多重検定の適用があるが、検出力の低さから、非定常パネルデータ分析の分野において、ほとんど研究がなされていなかった。

2. 研究の目的

多重検定手法の抱える重要な問題として、検定する仮説数が多い時に検出力が低下することが挙げられる。単位根仮説の検定においても、例えばクロスセクション数が10、時系列数が50程度の場合でも、検出力が0.3~0.5程度に低下する場合がある(Matsuki and Sugimoto (2013))。この問題への対応として、(1) Familywise Error Rate (FWER)の一般化(Dudoit et al. (2004)、Romano et al. (2008))による検出力向上の試みが行われており、これは有効で実用的な方法として考えられる。また、別の有力な方法として、(2) 逐次多重検定において破棄される情報の再利用が考えられる。これは、前の検定ステップで棄却された仮説に関する情報(データ)はその後のステップにおいて通常利用されないが、単位根検定でそれを定常な共変量(stationary covariate)として統計量を再計算することに利用すれば、検定全体の検出力の向上が見込めるというアイデアである。個々の検定の検出力の向上を多重検定の検出力の向上に結び付けるものともいえる。

本研究課題では、(1) いくつかの多重検定手法について、パネル単位根仮説の検定の際に起こりうる様々な条件設定の下でモンテ・カルロ・シミュレーションを行い、それ

らの検定パフォーマンスを精査する。(2) 逐次多重検定において、第1段階で棄却される仮説(最も棄却され易い仮説)に対応するデータ系列を定常な covariate として再利用する検定を提案する。さらに、その検定特性についても明らかにする。(3) (1)で考察した検定手法について、データが経済構造変化や非線型性を含む場合への拡張を行い、同時に検定特性の考察も行う。また、実証分析への適用も行う。

3. 研究の方法

(1) モンテ・カルロ・シミュレーションにより、いくつかの多重検定手法について、単位根仮説の検定パフォーマンスを考察する。特にここでは、先行研究において、ブートストラップ法を用いてデータ間または検定統計量間での相関構造を柔軟に捉えることで検出力向上につながるの指摘から、ブートストラップ法に基づくアプローチを中心に考察する。シミュレーション実験では、以下の項目について様々な条件を設定して計算を行う。横断面次元(N)、時系列次元(T)の大きさ。許容可能な誤って棄却される仮説数。パネルデータを構成する定常系列と非定常系列の構成割合。クロスセクション間の相関強度。各系列の攪乱項を $u_{i,t} = \lambda_i f_t + \varepsilon_{i,t}$ とするときのパラメータ λ_i の大きさ ($i=1, \dots, N, t=1, \dots, T$ であり、 f_t は common factor、 $\varepsilon_{i,t}$ は idiosyncratic error である)。

idiosyncratic error を ARMA(p, q) モデルで表現するときの AR パラメータ及び MA パラメータの大きさ及び符号。クロスセクション間の相関構造を捉える際のブートストラップ法の違い(sieve bootstrap、block bootstrap)。個別検定統計量の違い。

(2) 逐次検定の際に捨てられる情報(定常と判断されたデータ)を再利用する。特に、ここでは、「定常である」「他の系列と相関を

持つ」という2つの条件を最大限活用するために、(検定対象系列と相関を持つ)定常な covariate を利用した統計量 (Hansen (1995)) を計算し、2段階目の多重検定に利用することを試みる。これにより、2段階目の個々の検定統計量が間違っただけをより棄却するような値をとることが予想され、検定全体としての検出力向上が期待できる。

(3) 複数回の経済構造変化の存在や非線型性の存在を許すタイプの検定手法を考え、その検定特性も考察する。

(4) 上記 (1) (2) (3) において考察した検定について、そのいくつかを実際のデータを用いた分析に用い、得られた結果を確認・検討する。

4. 研究成果

(1) モンテ・カルロ・シミュレーションにより、単一時系列を対象とする検定(個別検定)の繰り返し適用と多重検定 (Romano and Wolf (2005)、Hanck (2009)) の検定パフォーマンスを比較した結果 (一部を掲載) は以下のようになった (Table 1)。

Table 1

T	N	FWER		検出力	
		個別検定	多重検定	個別検定	多重検定
50	5	0.154	0.078	0.302	0.750
	10	0.278	0.053	0.304	0.572
100	5	0.172	0.089	0.724	0.987
	10	0.290	0.074	0.713	0.979
200	5	0.180	0.088	0.941	1.000
	10	0.346	0.082	0.940	1.000

(注) 帰無仮説、対立仮説の下でのモデルは、 $y_{i,t} = y_{i,t-1} + u_{i,t}$ (H0), $y_{i,t} = 0.85 y_{i,t-1} + u_{i,t}$ (H1)。ここで、 $u_{i,t} \sim (L) \quad i, t, \quad t \sim N(0, \quad)$,

$$\Omega = \begin{pmatrix} 1 & 0.3 & \dots & 0.3 \\ 0.3 & 1 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0.3 \\ 0.3 & \dots & 0.3 & 1 \end{pmatrix}。 \text{回帰式は}$$

$\Delta y_{i,t} = \hat{\phi}_i y_{i,t-1} + \sum_{l=1}^{\bar{l}_i} \hat{a}_{i,l} \Delta y_{i,t-l} + error$ である。ラグ次数 \bar{l}_i は modified AIC で決定。

Table 1 より、個別検定の繰り返し適用では FWER が 5% を大きく超えており、一方、多重検定では 5% を大きく超えない範囲でコントロールしていることが分かる。また、検出力 (Average Power) においても、全ての時系列数 (T) とクロスセクション数 (N) の組み合わせにおいて、多重検定が高いことが分かる。

(2) 時系列に経済構造変化が存在する場合について、得られたシミュレーション結果 (一部を掲載) は以下のようになった (Table 2)。

Table 2

T	N	FWER		検出力					
		個別検定	多重検定	=1		=3		=5	
50	5	0.133	0.106	0.095	0.487	0.241	0.707	0.528	0.902
	10	0.267	0.065	0.104	0.308	0.244	0.605	0.529	0.859
100	5	0.133	0.150	0.247	0.939	0.421	0.972	0.679	0.989
	10	0.246	0.087	0.244	0.909	0.417	0.964	0.678	0.987
200	5	0.145	0.163	0.683	1.000	0.789	1.000	0.900	1.000
	10	0.259	0.072	0.680	0.999	0.784	1.000	0.898	1.000

(注) クロスセクション間の相関 ρ が 0.3、経済構造変化の大きさ $\delta = 1, 3, 5$ の場合。

Table 2 より、FWER について、クロスセクション数が小さい場合 (N=5) で僅かに多重検定の値が大きくなることもあるものの、個別検定と比較して、総じて FWER を適切にコントロールできているといえる。また、検出力について、多重検定が個別検定を大きく上回っていることが確認できる。また、構造変化の大きさ (δ) が大きくなるにつれて、検出力も増大することが観察できる。

(3) 逐次多重検定において、最初のステップで定常系列として判断されたデータを次のステップで検定に再利用した場合 (Table において CADF と表記) と用いない場合 (同 ADF と表記) について、得られた FWER (一部を掲載) は以下の通りである (Table 3)。

Table 3

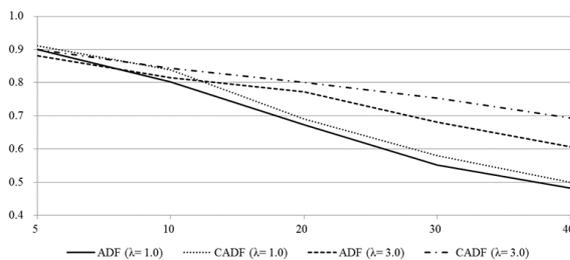
T	N	$\xi \sim U(-0.1, 0.1)$								
		$\xi = 0.0$				$\xi \sim U(1.0, 3.0)$				
		$\lambda = 1.0$		$\lambda \sim U(1.0, 3.0)$		$\lambda = 1.0$		$\lambda \sim U(1.0, 3.0)$		
		ADF	CADF	ADF	CADF	ADF	CADF	ADF	CADF	
50	5	0.107	0.092	0.128	0.141	0.090	0.100	0.138	0.104	0.088
	10	0.071	0.062	0.090	0.100	0.067	0.058	0.098	0.088	0.088
	20	0.059	0.051	0.083	0.081	0.049	0.053	0.072	0.090	0.090
	30	0.048	0.045	0.072	0.065	0.045	0.049	0.065	0.079	0.079
	40	0.061	0.050	0.065	0.088	0.048	0.050	0.069	0.066	0.066
70	5	0.100	0.085	0.131	0.127	0.092	0.093	0.123	0.112	0.112
	10	0.057	0.069	0.091	0.098	0.064	0.065	0.090	0.083	0.083
	20	0.051	0.063	0.087	0.090	0.056	0.061	0.090	0.095	0.095
	30	0.056	0.056	0.090	0.086	0.051	0.051	0.085	0.086	0.086
	40	0.054	0.058	0.089	0.080	0.066	0.049	0.079	0.063	0.063
100	5	0.085	0.097	0.126	0.116	0.098	0.098	0.110	0.126	0.126
	10	0.061	0.067	0.095	0.076	0.059	0.063	0.091	0.090	0.090
	20	0.062	0.075	0.105	0.093	0.067	0.078	0.095	0.105	0.105
	30	0.063	0.070	0.073	0.089	0.062	0.062	0.091	0.087	0.087
	40	0.051	0.054	0.075	0.089	0.041	0.047	0.071	0.073	0.073
150	5	0.096	0.097	0.117	0.131	0.089	0.084	0.110	0.119	0.119
	10	0.082	0.080	0.101	0.099	0.077	0.072	0.106	0.105	0.105
	20	0.076	0.071	0.076	0.086	0.073	0.058	0.086	0.073	0.073
	30	0.058	0.060	0.083	0.080	0.059	0.061	0.084	0.087	0.087
	40	0.058	0.065	0.092	0.095	0.057	0.048	0.091	0.074	0.074

(注) データ生成過程における誤差項は $u_{it} = \lambda_i f_t + \epsilon_{it}$, $\epsilon_{it} = \xi_i \epsilon_{it-1} + \epsilon_{it}$ と定式化される。ここで、 λ_i はクロスセクション間の相関を表し、 ξ_i は誤差項の自己相関を表す。ここでは、 $i=1.0$, $i \sim U(1.0, 3.0)$ と $i=0.0$, $i \sim U(-0.1, 0.1)$ の場合を表す。

Table 3 より、ADF (Augmented Dickey-Fuller) 統計量を用いた多重検定、CADF (Covariate ADF) 統計量を用いた多重検定共に、軽微な過剰棄却は見られるものの、多くの場合において許容可能な水準に FWER をコントロールしていることが分かる。

次に、検出力 (Average Power) を比較した結果は以下ようになった (Figure 1)。

Figure 1



(注) T=150、クロスセクション間の相関が 1.0 と 3.0 の場合。

Figure 1 より、各 (クロスセクション間の相関の程度) の値において、CADF 統計量を用いた多重検定 (第 1 ステップで定常系列と判定されたものを再利用した検定) の方が、検出力が常に高いことが分かる。また、クロスセクション数 (図の横軸) が大きくなるにつれて、 $\lambda=3.0$ のケースでは 2 つの多重検定

の検出力差が大きくなる。つまり、クロスセクション間の相関がより強いとき (λ がより大きいとき)、クロスセクション数が大きいほど、CADF 統計量を用いた多重検定とそうではない検定の検出力の差が拡大することを意味する。

(4) 多重検定の実証分析への応用について、Table 4 では、1 回の経済構造変化を考慮した多重検定において、OECD 諸国中の 13 カ国の失業率の定常性を検定した。

Table 4

Country	Zivot and Andrews (1992) 統計量	個別検定 ^a	多重検定 ^b
Australia	-3.152		
Austria	-2.903		
Canada	-2.622		
Chile	-2.616		
Denmark	-4.197		++
Germany	-1.556		
Greece	-2.053		
Ireland	-6.483	***	++
Japan	-2.209		
Korea	-6.382	***	++
Mexico	-2.614		
New Zealand	-3.308		
US	-3.473		

^a***, **, * は、それぞれ 1%, 5%, 10% の有意水準の下で有意であることを表す。臨界値は Zivot and Andrews (1992), *Journal of Business & Economic Statistics*, 10, 251-270 による。

^b++, + は、それぞれ 5%, 10% の FWER の下で有意であることを表す。

この結果より、個別検定 (Zivot and Andrews (1992) 検定) の繰り返し適用では、2 カ国の棄却であるが、多重検定では 3 カ国の棄却となり、多重検定の検出力の高さを確認できる。

次に、多重検定をアジア 9 カ国の一人当たりアウトプットの収斂の確認に用いた。得られた結果は以下の通りである (Table 5)。

Table 5

Countries	Trade/GDP ratio		Inflation rate		Government expenditure/GDP ratio	
	t	ρ^2	t	ρ^2	t	ρ^2
China	-1.264	0.56	-0.822	1.00	-0.978	0.97
Indonesia	-0.766	0.87	-0.597	0.95	-0.693	0.96
India	0.181	0.56	-0.047	0.93	0.356	0.38
Korea	-2.800 *	0.98	-2.799 *	0.98	-3.018 **	1.00
Malaysia	-0.524	0.99	-0.237	0.83	-0.583	0.85
Philippines	0.216	0.99	0.812	0.90	0.642	0.83
Singapore	-1.769 *	0.88	-1.100	0.89	-1.838 *	0.87
Thailand	-0.448	0.85	-0.487	1.00	-0.464	0.87
Taiwan	-2.109 *	0.99	-2.009 *	1.00	-2.150 **	0.99
Countries	Human capital index		TFP index			
	t	ρ^2	t	ρ^2		
China	-0.932	0.93	-0.958	0.71		
Indonesia	-0.639	0.90	-0.623	0.78		
India	-0.261	0.96	-0.282	0.86		
Korea	-2.719 *	0.99	-2.796 *	0.94		
Malaysia	-0.246	0.83	-0.286	0.69		
Philippines	0.686	0.74	0.356	0.95		
Singapore	-1.199	1.00	-1.065	0.99		
Thailand	-0.488	1.00	-0.473	0.97		
Taiwan	-2.165 *	0.93	-2.048 *	1.00		

(注)香港を reference country として、2 国間のアウトプット差の定常性を確認している。また、5 つの economic growth determinants (Trade/GDP ratio, Inflation rate, Government expenditure/GDP ratio, Human capital index, TFP index) を covariate とする CADF 統計量を用いて多重検定を行っている。

Table 5 の結果は、個別検定で得られた結果 (本報告書未掲載。発表論文に掲載。) を正確に確認するものであり、用いた多重検定が FWER を適切にコントロールしつつ、有意に仮説を棄却していることが分かる。

< 引用文献 >

- Dudoit, S., M.J. van der Laan, and K.S. Pollard (2004) “Multiple Testing. Part I. Single-Step Procedures for Control of General Type I Error Rates,” *Statistical Applications in Genetics and Molecular Biology*, 3.
- Hanck, C. (2009) “For Which Countries Did PPP Hold? A Multiple Testing Approach,” *Empirical Economics*, 37, 93–103.
- Hansen, B.E. (1995) “Rethinking the univariate approach to unit root testing: Using covariates to increase power,” *Econometric Theory*, 11, 1148–1171.
- Matsuki, T. and Sugimoto, K. (2013) “Stationarity of Asian real exchange rates: An empirical application of multiple testing to nonstationary panels with a structural break,” *Economic Modelling*, 34, 52–58.
- Romano, J.P. and Wolf, M. (2005) “Stepwise multiple testing as formalized data snooping,” *Econometrica*, 73, 1237–1282.
- Romano, J.P., A.M. Shaikh, and M. Wolf (2008) “Formalized data snooping based on generalized error rates,” *Econometric Theory*, 24, 404–447.

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 12 件)

松木隆「OECD 諸国の経済成長とその要因」

『国際学研究』 Vol. 7, no. 2, pp. 21–33, 2018 年 (査読無し)。

Takashi Matsuki “Stochastic properties of unit root tests under a stationarity alternative with multiple structural breaks,” 大阪学院大学『経済論集』、第 30 巻第 1・2 号、pp.33–63、2017 年 (査読無し)。

<http://id.nii.ac.jp/1142/00000297/>

Takashi Matsuki and Katsuhiko Satoma “Policy assessment of Japanese unconventional monetary measures using daily observations for 2000–2015,” *Osaka Gakuin University Discussion Paper Series*, no.20, pp.1–34, 2017 (査読無し)。

松木隆「パネル単位根検定における問題と多重検定の適用」『国際学研究』Vol. 6, no. 3, pp. 31–40, 2017 年 (査読無し)。

<http://hdl.handle.net/10236/00025638>

Takashi Matsuki and Ming-Jen Chang “Out-of-Sample Exchange Rate Forecasting and Macroeconomic Fundamentals: The Case of Japan,” *Australian Economic Papers*, vol.55, pp.409–433, 2016 (査読あり)。

<https://doi.org/10.1111/1467-8454.12088>

Takashi Matsuki, Kimiko Sugimoto and Yushi Yoshida “Regional Integration and Risk Management of African Stock Markets,” *Risk Management in Emerging Markets: Issues, Framework, and Modeling*, edited by Sabri Boubaker, Bonnie G. Buchanan, and Duc Khong Nguyen, Emerald Group Publishing, pp.423–468, 2016 (査読あり)。

Kimiko Sugimoto and Takashi Matsuki “Unconventional Monetary Policies and International Spillover to Asian Stock Markets,” The 15th International Convention of the East Asian Economic Association 報告論文, pp.1–27, 2016 (査読なし)。

Takashi Matsuki “Output convergence across Asian countries,” The 15th International Convention of the East Asian Economic Association 報告論文, pp.1–27, 2016 (査読なし)。

Takashi Matsuki “Improvement of stepwise multiple testing using a

stationary covariate for unit root testing in nonstationary panels,” *Osaka Gakuin University Discussion Paper Series*, no.19, pp.1–13, 2016 (査読なし).

Kimiko Sugimoto and Takashi Matsuki “Which combination is desirable? Monetary policy and exchange rate regime in West Africa,” Annual Spain Business Research Conference (Barcelona) 報告論文 (Best Paper Award), pp.1–19, 2015 (査読あり).

Takashi Matsuki, Kimiko Sugimoto and Katsuhiko Satoma “Effects of the Bank of Japan’s current quantitative and qualitative easing,” *Economics Letters*, vol.133, pp.112–116, 2015 (査読あり).

<https://doi.org/10.1016/j.econlet.2015.05.025>

松木隆・杉本喜美子・里麻克彦「アベノミクスにおける金融政策の評価」大阪銀行協会 大銀協フォーラム研究助成論文集、第19号、pp.1–19, 2015年(査読なし)。

[学会発表](計9件)

松木 隆、Output convergence across Asian countries、計量経済学セミナー(京都大学) 2018年3月7日。

Takashi Matsuki、Policy assessment of Japanese unconventional monetary measures using daily observations for 2000–2015, the 1st International Conference on Risk in Economics and Society (Shiga University), November 18, 2017.

Takashi Matsuki、Linear and nonlinear comovement in Southeast Asian local currency bond markets: a stepwise multiple testing approach、Workshop on spatial and spatio-temporal data analysis (東北大学) November 10, 2017.

Takashi Matsuki、Output convergence across Asian countries, The 83th International Atlantic Economic Conference (Berlin), March 23, 2017.

Takashi Matsuki、Output convergence across Asian countries, The 12th International Conference on Asian Financial Markets and Economic Developments, (Kyoto Terra & Siga University), January 8, 2017.

Takashi Matsuki、Output convergence across Asian countries, The 15th International Convention of the East Asian Economic Association (Bandung), November 6, 2016.

松木 隆、単位根検定と共和分検定の理論と実証、日本生産管理学会研究部会(関西学院大学梅田サテライト) 2016年8月22日。

Takashi Matsuki、Out-of-Sample Exchange Rate Forecasting and Macroeconomic Fundamentals: The Case of Japan, International Conference on Asia-Pacific Economic & Financial Development (Ho Chi Minh City), July 25, 2016.

松木 隆、Performance of multiple testing in nonstationary panels and empirical applications、計量経済学セミナー(京都大学) 2016年2月24日。

[図書](計1件)

明石喜彬・宇佐美竜一・白井克典・佐野薫・松木隆「コンパクト経済学」, 中央経済社、2016年、pp.1-225 (担当部分 pp.165-204)。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松木 隆 (MATSUKI, Takashi)
大阪学院大学・経済学部・教授
研究者番号: 60319564