

鄭 鎬成 ( Jung Hosung )

Some Developments in Dynamic Panel Data Analysis  
( ダイナミック・パネル・データ分析におけるいくつかの展開 )

はじめに

本論文は、経済の実証分析において、年々重要度が増しているパネル・データの分析について、計量経済理論の観点から、さまざまな統計的問題を論じたものである。タイトルが示すように、本論文では動学的なパネル・データ分析に焦点を当て、従来のパネル・データを分析する際に仮定されていた諸条件をゆるめた場合の議論を展開している。本論文は全部で6つの章から構成されている。章の構成は、次の通りである。

- Chapter 1 Overview
- Chapter 2 An Alternative System GMM Estimation in Dynamic Panel Model
- Chapter 3 An Autocorrelation Test in Dynamic Panel Model
- Chapter 4 A Test for Cross Section Dependence in Dynamic Panel Model
- Chapter 5 New Results for Nonstationary Panel Regressions
- Chapter 6 A Panel Unit Root Test for One-Factor Residual Models

第1章では、本論文の全体を概観し、総括および要約を与えている。そして、本論文で扱っている動学的なパネル・データの分析と、従来のパネル・データ分析の枠組みとの相違点が述べられている。主要な相違点としては、モデルに関する仮定、例えば、誤差項の独立性や誤差項と説明変数の独立性などが成立しない状況を想定している点が挙げられている。その際、時間軸方向の相関だけでなく、クロスセクション方向の相関も考慮するようにモデルが拡張され、さらに、現実のパネル・データの制約、すなわち、時間軸方向のデータが多くない状況を念頭に置いて議論が展開されることを述べている。

第2章以降は、5つの独立した論文で章が構成されている。第2章から第4章までは、定常なパネル・データに関する議論がなされており、第2章では推定問題、第3章と第4章では検定問題が考察されている。また、第5章と第6章では非定常なパネル・データに関する議論がなされており、第5章では推定量に関する漸近理論、第6章ではパネル・

データの単位根検定問題が論じられている。以下，第2章以降の内容について，さらに詳しく述べることにする。

## 要旨

第2章では，定常な場合における次のような動学的パネル・モデルにおける推定問題を考察している。

$$y_{it} = \delta y_{i,t-1} + u_{it}, \quad (|\delta| < 1), \quad i = 1, \dots, N; \quad t = 1, \dots, T$$

ここで，誤差項  $u_{it}$  には，1元配置誤差成分モデル

$$u_{it} = \mu_i + v_{it}$$

が仮定される。ただし， $\mu_i \sim \text{i.i.d.}(0, \sigma_\mu^2)$ ， $v_{it} \sim \text{i.i.d.}(0, \sigma_v^2)$  であり，これらは互いに独立である。このモデルに対して，係数パラメータ  $\delta$  の代表的な推定法として GMM (Generalized Method of Moments) 推定が考察されている。このようなモデルでは，2段階の GMM 推定が漸近的効率性をもたらす推定量として知られているが，有限標本，特に，時系列方向のデータが少ない場合は，バイアスを増加させ，不安定な推測をもたらすことがわかっている。本章では，そのような GMM 推定の欠点を補う方法として，鄭氏独自の推定量が提案されている。それは，Blundell-Bond (1998) で提案された第1段階推定量で使われた加重行列を，個別効果の影響を考慮した加重行列で置き換えて得られる推定量である。この推定量は，理論的には最適ではないが，個別効果の影響が大きい場合に優位性が期待できるものとして提案されている。実際，上記のモデルに基づくシミュレーション実験により，鄭氏が提案した推定量と，他のさまざまな GMM 推定量を比較することにより，次のような事実が見出された。

1. ここで考えている推定量のバイアスと標準誤差は，いずれも，個別効果の大きさに依存する。
2. しかしながら，鄭氏の提案する推定量は，他の推定量に比べれば，個別効果の変化に対してロバストであり，バイアスは最小で，標準誤差も，多くの場合に最小である。
3. 欠点としては，係数パラメータ  $\delta$  が 1 に近づくにつれて，推定の精度が悪くなることが挙げられる。その理由は，個別効果の推定が不安定になることによる。

上記の推定量の振る舞いのよさを確認した上で，この方法が日本の製造業の生産関数の推定に用いられている。そして，従来の方法と比較して，提案された推定方法が合理的な結果を与えていることが示されている。

第3章では、外生変数を含むようなダイナミック・パネル・モデルにおける誤差項の系列相関に関する検定が議論されている。誤差項に系列相関が存在する場合には、内生変数のラグを操作変数とする通常のアプローチは、係数パラメータの推定が一致性を失うことになるので、系列相関を検出する場合には、適切な操作変数を使う必要がある。鄭氏は、誤差項が AR(1) 過程に従うことを想定した上で、モデルに含まれる外生変数を操作変数として使うことにより、モデルを推定して、残差に基づく  $t$  検定を提案している。なお、一致性をもつ推定量ならば、任意の推定量を使うことができる。そして、シミュレーション実験により、過剰制約に関する検定として使われる  $m_2$  検定や Sargan 検定と比較して、その優位性を確かめている。また、この検定は、誤差項が MA(1) 過程に従う場合にも適用可能であることを示している。

第3章が時間軸方向の相関の有無に関する検定を考察したのに対して、第4章では、クロスセクション方向の相関に関する検定が議論されている。すなわち、次のモデル

$$y_{it} = \alpha_i + \lambda y_{i,t-1} + \beta x_{it} + u_{it}, \quad (|\lambda| < 1), \quad i = 1, \dots, N; \quad t = 1, \dots, T$$

において、検定問題

$$H_0: E(u_{it} u_{jt}) = 0 \quad (i \neq j)$$

が考察される。この場合の検定方式としては、Breusch-Pagan (1980) のラグランジュ乗数検定、Pesaran (2004) の cross-section dependence 検定、Sarafidis et al. (2006) により提案された階差 Sargan 検定などが知られている。これらの検定において、問題となるのは、パネル・データでは普通の状況である  $T$  が大きくない場合に、検定サイズのゆがみが出るのが挙げられる。鄭氏は、ここで、GMM Hausman 検定と GMM Sargan 検定を提案して、シミュレーション実験により、既存の検定方式との比較を試みている。その結果、GMM Sargan 検定は、サイズのゆがみもなく、既存の方式に比べて検出力も優れていることが見出された。また、階差 Sargan 検定や GMM Hausman 検定が外生変数の存在を前提しているのに対して、GMM Sargan 検定は必ずしも必要としないという利点があることにも触れられている。

残りの2つの章では、非定常なパネル・データに関する分析が議論される。まず、第5章では、2組の非定常なパネル・データ間の関係が、見せかけの回帰の場合と共和分回帰の場合の2通りについて議論される。見せかけの回帰においては、2組のパネル・データの生成過程を

$$x_{it} = x_{i,t-1} + \varepsilon_{it}, \quad y_{it} = y_{i,t-1} + u_{it}, \quad i = 1, \dots, N; \quad T = 1, \dots, T$$

とする。ここで、 $\{\varepsilon_{it}\}$  と  $\{u_{it}\}$  は2次元の i.i.d. 過程に従うものとする。このような問題設定のもとで、回帰関係

$$y_{it} = \hat{\alpha}_i + \hat{\beta} x_{it} + e_{it}$$

を考える．ここで， $\hat{\alpha}$  と  $\hat{\beta}$  は，OLS 推定量である．このとき， $\hat{\beta}$  のさまざまな漸近的な性質が導出されている．先行研究では，クロスセクション軸と時間軸の双方を無限大にした場合の結果が議論されているのに対して，本章では，時間軸方向を固定したままの漸近的な性質が導出されている．通常のパネル・データでは，時間軸方向のデータ数が少ないことを考慮すれば，この場合の結果は重要である．特に，純粋な時系列データにおいては，互いに独立な非定常時系列間の回帰では，回帰係数が 0 に確率収束することなく退化しない分布をもつものに対して，パネル・データでは，0 に確率収束することや，中心極限定理が成立することなどを，時間軸方向を固定した上で示している．

共和分回帰では，モデルとして

$$y_{it} = \alpha_i + x_{it}\beta + u_{it}, \quad x_{it} = x_{i,t-1} + \varepsilon_{it}, \quad i = 1, \dots, N; \quad t = 1, \dots, T$$

を仮定した上で， $\beta$  のさまざまな推定量の性質が議論される．推定量として取り上げられているのは，OLS (最小 2 乗) 推定量や LSDV (最小 2 乗ダミー変数) 推定量である．ここで，OLS 推定量  $\tilde{\beta}$  は，

$$\tilde{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (x_{it} - \bar{x}_{..}) y_{it}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (x_{it} - \bar{x}_{..})^2}, \quad x_{..} = \frac{1}{NT} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T x_{it}$$

で定義され，LSDV 推定量  $\hat{\beta}$  は，

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (x_{it} - \bar{x}_{i.}) y_{it}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (x_{it} - \bar{x}_{i.})^2}, \quad x_{i.} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T x_{it}$$

で定義される．そして， $\tilde{\beta}$  や  $\hat{\beta}$  の漸近的な性質が  $T$  を固定したままで求められている．従来の漸近的な結果は， $N$  だけでなく  $T$  も無限大にした場合のものであるが，現実のパネル・データでは  $T$  があまり大きくないので，この結果は価値があると考えられる．

最後の第 6 章では，パネル・データにおける単位根検定が議論されている．その際，通常は，クロスセクション間の独立性が仮定される．その上で，有名な Dickey-Fuller の  $t$  検定が適用される．そして，パネル・データでは， $N$  が大きくなるとともに，中心極限定理が成立することが示される．しかし，相関がある場合には状況が異なり，相関を無視して適用した場合には，検定サイズのゆがみや非正規性が現れることになり，適用は不可能となる．このような状況を考慮して，鄭氏は修正版の単位根検定を考察している．使われるモデルは，

$$\Delta y_{it} = \eta_{0i} + \delta_i y_{i,t-1} + u_{it}, \quad i = 1, \dots, N; \quad t = 1, \dots, T$$

であり，誤差項  $\{u_{it}\}$  には，1 因子構造と呼ばれる次のモデルが仮定される．

$$u_{it} = \sum_{j=1}^p \theta_{ij} u_{i,t-j} + \lambda_i f_t + \varepsilon_{it}$$

ここで、 $\{\lambda_i\}$ 、 $\{f_t\}$ 、 $\{\varepsilon_{it}\}$  は、互いに独立な定常系列である。クロスセクション間の相関は、 $\{\lambda_i f_t\}$  の項の存在によりもたらされる。このとき、単位根検定の仮説は、

$$H_0: \delta_i = 0, \quad \eta_{0i} = 0 \quad (i = 1, \dots, N)$$

と定式化される。この検定問題に対して、鄭氏は相関要因を除去する形の変換をほどこした上で、修正  $t$  検定を提案している。そして、シミュレーション実験により、提案された検定の振る舞いを他の標準的ないくつかの検定方式と比較して調べている。その結果、提案された検定は、さまざまな固定効果を想定したモデルにおいて、検定のサイズもよく、検出力も優れていることが確かめられている。

## 評価

以上、本論文の概略について述べてきたが、本論文の内容は、すでに日本統計学会や複数の研究集会において報告されており、一部は国際的な専門雑誌にも発表されている。特に、第 3 章の内容は、*Journal of the Korean Statistical Society* (2005) Vol. 34, No. 4 に掲載されている。また、第 5 章は、*Applied Economics Letters* への掲載が決まっており、第 6 章については投稿中である。これらは、いずれも査読付きジャーナルである。これらの章以外も、それぞれが単独の論文として発表できる内容となっている。ただし、今後の研究課題として、次のことを挙げておきたい。第 2 章では、提案された推定量のよさを調べるためのシミュレーション実験において、外生変数をモデルに含めた場合の結果はどうなるかという点。第 3 章では、誤差項の構造について、AR(1) や MA(1) よりも一般的な場合を仮定する余地が残されている点。第 4 章では、クロスセクション間の相関の有無に関して、提案された検定を実証研究に応用すること、第 5 章および第 6 章においても、第 4 章と同様に、非定常パネル・データの実際の分析例を挙げることなどが、今後の課題として考えられる。パネル・データは、これからの実証研究において、経済学的にも注目される分野であるので、鄭氏がこれらの問題を今後の研究課題として追究されることを期待したい。しかし、学位請求論文は、鄭氏がすでに独立した研究者として学術専門誌に発表しうる水準の論文を書く能力を十分に有していることを明白に示している。したがって、審査員一同は、所定の試験結果と以上の論文評価に基づき、鄭鎬成氏に一橋大学博士（経済学）の学位を授与することが適当と判断する。

2007 年 2 月 14 日

## 審査員

北村 行伸      黒住 英司      斯波 恒正      田中 勝人      山本 拓