

論文審査の報告

論文題目：Estimation and Testing in a Structural Equation Model with Possibly Many Instruments (操作変数の数が大きい場合の構造方程式の推定と検定)

氏名：松下幸敏

論文の内容：

この論文は、計量経済学分野で近年になり再びかなりの関心の持たれている同時方程式や構造方程式の統計的推測問題を扱っている。計量経済学では同時方程式に関する統計的推測問題は1950年代～1980年代に研究が行われ、それが古典的な標準的理論として定着し、しばらく研究活動が下火になったという経緯がある。ところが、近年になり主として応用経済学における計量分析の興隆とともに、国際的規模において統計理論的な研究活動が再び盛んになりつつある。本研究もそうした近年の研究動向の中で重要な一石を投じる新しい研究成果と位置づけることができよう。例えば労働経済学などをはじめとして多くの応用経済学分野の研究では、大規模なクロスセクション・データの解析や計量分析が重要な位置を占めるようになってきている。こうした応用経済学において行われている近年での実証研究ではしばしばデータ数(観測数)はかなり多くなることがあるが、同時にかなりの数の操作変数(instrumental variables)を用いられることも少なくない。こうした、多くのデータ(観測数)が利用可能でありかつ多くの操作変数が利用可能な状況における構造方程式や同時方程式の推測問題をどの様な統計的方法を利用したらよいかという解答を与えることが本研究の主要な目的である。

まず第一章では、近年の計量経済学における新しい研究動向について幾つかの著名な実証研究を引用しつつ解説している。そして、本学位論文の全体について、その研究結果の概要と新しい知見の概略を説明している。

次に第二章では本論文で考察する構造方程式の定式化と構造方程式の統計的推定法を説明している。本論文では計量経済学における伝統的なパラメトリック推定法として制限情報最尤法(LIML)、二段階最小二乗法(TSLS)を扱うが、さらにセミパラメトリック推定法として一般化積率法(generalized method of moments、略してGMM)及び最大経験尤度法(maximum empirical likelihood method、略してMEL)を扱っている。経験尤度法はOwen(1990)がノンパラメトリックな信頼区間の構成法として提案したが、その後Qin-Lawless(1994)が推定方程式の推定問題に適用できることを示してから計量経済学においても関心が持たれるようになってきている。計量経済学における同時方程式や構造方程式は統計学における推定方程式として解釈可能であり、例えば計量経済学においてGMMと言う名前がよく知られている方法は統計学におけるGodambeの推定方程式論と本質的に同一であると見なせることを指摘し、さらに経験尤度法(empirical likelihood method)

の概要を解説している。なお、本論文で扱っている4つの統計的推定法はいずれも単一方程式法、あるいは制限情報推定法である。近年の計量経済学では操作変数が多く存在する場合において操作変数の質が問題となり、しばしば「弱操作変数 (weak instruments)」が議論されているが、こうした近年における研究動向についても解説している。さて、本論文では統計的漸近理論が一つの主要な分析手段であるが、統計学の標準的教科書等で説明されている伝統的な大標本理論 (large sample asymptotic theory) の他に、操作変数の数が大きい場合には多操作変数理論 (large- K_2 asymptotic theory、あるいは many instruments theory) を考察する重要性を強調し、その内容の概要を説明している。

本論文の主要な部分は、三章から六章で展開されている4つの論文から構成されている。前半の2つの章では同時方程式・構造方程式における母数の統計的推定法に関する理論的結果 (それぞれ漸近理論及び有限標本論からの結果) を説明している。後半の2つの章では同時方程式・構造方程式に表れる母数に関する統計的検定問題 (それぞれ t 検定統計量と尤度比統計量に関する結果) を扱っている。ここで各章の内容は次のように要約できる。

第三章では構造方程式における母数の推定量の分布の漸近展開を導いている。構造方程式の推定量については、しばしば近年の研究でも形式的に期待値や MSE (Mean Squared Errors、平均二乗誤差) など積率 (moments) やその漸近展開などを比較することなどが行われている。しかしながら、例えば古典的な研究 (Mariano-Sawa (JASA 1972)) により LIML 推定量について (一定の仮定の下で) 期待値が存在しないことが証明されおり、期待値や MSE などの積率により推定方法を比較することは不十分であると云える。そこでこの章では (一定の仮定の下で) 推定量の厳密な分布関数の漸近展開を導いている。こうした統計学的に厳密な結果は (一定の仮定の下とは云え) 特に GMM 推定量と MEL 推定量についてこれまで皆無であったと思われるので極めて興味深い。ここで得られた結果は、1980年代初頭に Anderson, Sawa, Morimune, Kunitomo 等の研究により得た結果のセミパラメトリックな状況への一般化になっている。本章で導かれた漸近展開は新しい結果と考えられるが、通常漸近理論を用いた推定量の高次の性質を調べる上で有用であると判断できよう。

第四章では構造方程式における母数の推定量の精密分布についての検討結果をまとめて議論している。同時方程式の場合には線形構造方程式のようなごく簡単な場合でも、推定量の精密分布は複雑になることが知られており、その分析は極めて困難である。本章では Anderson-Kunitomo-Sawa (1982) が TSLS 推定量と LIML 推定量の比較のために利用したシミュレーションに基づく分布関数の評価方法を用い、新たに GMM 推定量及び MEL 推定量の分布を正確に評価している。この方法の特長は計算誤差が極めて小さいことが、精密な分布関数が得られている場合には既に知られている。これに対して近年の研究でもしばしば利用されているモンテカルロ実験の平均値や MSE は (積率の非存在等のことから) 必ずしも信頼できるものではないので、本章の内容も注目すべき結果を与えていると考え

られよう。本章での重要な知見として、GMM 推定量の分布は TSLS 推定量の分布に極めて近く、MEL 推定量の分布は LIML 推定量の分布に極めて近いことを報告している。このことは近年の研究で GMM 推定と MEL 推定の比較が焦点の一つであるので重要な知見と判断されよう。

第五章では構造方程式における母数の検定問題を議論している。ここで扱っている検定問題については、Anderson-Rubin (1949) が提案した古典的な統計量 (AR 統計量) が古典的方法として知られていたが、操作変数の数が増えると検出力が弱くなるのがこれまでの研究で明らかとなっている。そこで AR 検出力を改善する観点より、近年になり Kleibergen の統計量と Moreira の統計量 (条件付尤度比統計量) が代替する検定統計量として脚光を浴びている。本章では多操作変数理論により t 検定統計量の精密分布の漸近展開を行い、実は t -検定統計量を修正した修正 t -統計量が既存のよく知られている統計量よりも遙かに検出力がよいことを示している。本章で扱っている t -統計量は極めて容易に計算ができることもあり、本章の結果は今後の理論分析及び実証分析にも大きなインパクトがあると考えられる。

最後の第六章では検定統計量として尤度比統計量の精密分布の漸近展開を導いている。この章の内容は Kunitomo-Morimune-Tsukuda (1983) 及び Morimune-Tsukuda (1985) などの先行研究の拡張になっている。特に操作変数の数が多い場合には、尤度比統計量よりも t -統計量の方がよい性質を持っているという結果は、本章で説明している漸近展開がオリジナルであるとうにとどまらず、極めて興味深い結果となっている。操作変数が弱い場合には識別性の条件がデータ上では弱いためと解釈されよう。

講評：

本論文はこれまで松下氏が博士課程に在学中に一貫して追求している計量経済学における構造方程式の統計的推測問題に関する理論的研究の結果をまとめたものである。近年の計量経済分析で特に注目を浴びている GMM 法や MEL 法などの統計的推定方法の性質を精密に検討し、推定方法と検定方法についてかなりの新しい結果を導いている。こうした計量経済学の統計的方法に関する理論的研究は、応用経済学における実際的な計量経済的分析と深く結びついており、応用上でも大きな意味のある独自の貢献がかなりあると高く評価できる。この論文で扱われている様々な問題は近年の計量経済学分野においてそれぞれかなり重要な問題であるが、そうした問題について注目すべき独創的な結果を導いたことは松下氏の力量を示すものとなっている。

第二には本論文では高度な数理統計学的方法を利用していることに言及する。特に各章で示された理論的分析の水準は新たな漸近理論を展開しているなど、国際的研究水準に対してもかなり高度な先進的になっていることを指摘できる。また、理論分析に平行して行われている研究遂行上で必要となった計算機を利用したモンテカルロ実験や数値計算も高度な水準にあり、数理統計的な意味ばかりで

はなく、付随する計算機の利用能力やプログラミング能力など松下氏の研究水準の高さを示している。

第三には、近年のミクロ応用経済学の分析では、本論文の各章において議論されている統計的方法、例えば一般化積率法 (GMM) が標準的手法として広汎に用いられていることも重要である。本論文の結果は幾つかの重要な点に置いて、計量経済学の標準的教科書で説明されている GMM 推定法に関する常識的議論について再考を迫るものがある。特に、 t 検定に関する本論文の理論的結果は理論的結果とともに応用上に意義深いので、今後にかなり研究方向にもインパクトがあると判断される。

次に個々の章で論じられている内容については審査委員からは次のようなコメントや論点が提起されたことを報告しておく。第一のコメントとして、本論文での議論はあくまでも統計学的・理論的な考察であり、現実の計量経済分析に表れるデータ分析上にどの程度まで適切な議論となっているのか吟味が必要であろう。実際にミクロ応用経済学で表れる構造方程式を用いた分析が必要であろう。こうした目的の為に、例えば日本の大規模なデータを例として適用してみることが望まれよう。

第二のコメントとして、本論文で議論されている構造方程式の構造型と誘導型の関係は必ずしも明確ではないという問題が指摘された。操作変数の数がデータとともに増加する時には、誘導型方程式はデータとともに変化していると考えることが自然である。そこで、例えば本論文の定式化とは別に始めから無限に操作変数が存在しているような統計的問題の設定もあり得るとの指摘がなされ、特に統計的時系列解析で開発されている無限次数を含む統計的時系列モデルを巡る分析が参考となであろうという論点が指摘された。

第三のコメントとしては、実際の計量経済分析に置いては構造方程式が非線形であったり、あるいは多くの操作変数を持つ時系列に対する構造方程式の場合については今後十分に検討すべきとの指摘もあった。こうした問題の重要性は否定しがたいが、本論文で扱った線形同時方程式・構造方程式に関する理論的結果を拡張することは可能であろう。ここでコメントとして指摘された大きな問題群については、松下氏による今後の研究の発展が期待される。

論文審査の結論：

以上の講評では松下氏の提出論文に対する全体的な好意的評価とともに、学位論文として提出された論文を超えて各審査委員が気がついた将来の課題などについての重要な論点を指摘した。もちろん、本論文の全体的な内容そのものはオリジナルな内容が多く含まれているだけにとどまらず、既にかかなりの完成度があり、本研究科が要求する論文博士の基準を十分に満たしていると考えられる。したがって、この審査委員会は、本論文により博士（経済学）の学位を授与するにふさわしいと全員一致で判断した。