

平成 22 年 5 月 21 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2006～2009 年度
 課題番号：18530158
 研究課題名 (和文) コンピュータ・インテンシブな計量的手法とその実証研究
 研究課題名 (英文) Computer-Intensive Econometric Methods and their Empirical Studies
 研究代表者
 谷崎 久志 (Hisashi Tanizaki)
 神戸大学・大学院経済学研究科・教授
 研究者番号：60248101

研究成果の概要 (和文)：

近年のパーソナル・コンピュータの発展に伴って、計算量が膨大な (computer-intensive) 推定・検定を行うことが出来るようになってきている。その一つには、乱数を用いた手法 (いわゆる、モンテ・カルロ法) があり、もう一つはノンパラメトリックによる手法が考えられる。このモンテ・カルロ法やノンパラメトリック法等の computer-intensive な手法を用いて、計量経済学で利用される推定・検定問題に考察し、それらを実証分析に応用した。

研究成果の概要 (英文)：

By recent progress of personal computers, computer-intensive estimation methods and testing procedures have been applied to empirical studies. One of the computer-intensive methods is due to random numbers (so-called Monte Carlo method). Another of the computer-intensive methods includes nonparametric estimation and test. We have considered these computer-intensive methods in a field of Econometrics and applied them to empirical studies.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,000,000	0	1,000,000
2007 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,600,000	780,000	4,380,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経済学・経済統計学 (細目番号 3603)

キーワード：モンテ・カルロ、シミュレーション、非線形フィルタ、ブートストラップ

1. 研究開始当初の背景

計算負担が重く、昔であれば、研究できなかった事が、近年のコンピュータの発達に伴い研究の対象となってきた。その中の次の4点に絞って、本研究を進めることにした。

- (i) 非線形・非正規の状態空間モデルについて、サンプリングの手法を用いて、状態変数の推定と同時に未知パラメータの推定を行う。
- (ii) 回帰モデルに AR 項が含まれる場合、小

標本では、回帰係数のパラメータの推定値にバイアスが生じる。サンプリングの手法を用いてバイアス是正の問題を考える。

(iii) 回帰モデルについて、ブートストラップ法を用いて、分布に依存せずに回帰係数の推論を行うことを考える。他の検定方法も考える。

(iv) 関数形を特定化せずに回帰分析を行うためには、密度関数のノンパラメトリック推定の手法を用いる。

2. 研究の目的

上記の「研究計画の概要」(i)~(iv)に沿って、研究の目的は下記の通りにまとめられる。

(i) 非線形・非正規の状態空間モデルについて、ベイズ推定とMCMCを用いて、状態変数の推定と同時に未知パラメータの推定を行った。さらに、日米英の株価データを利用して、その変動要因を実証分析することを目的とした。

(ii) 回帰モデルにAR項が含まれる場合、パラメータの推定値にバイアスが生じることが知られている。ブートストラップ法を用いてバイアス是正の問題を考えることを目的とした。

(iii) 回帰モデルについて、ブートストラップ法を用いて、回帰係数の推論を行った。モンテ・カルロ実験によって、手法の妥当性を検証した。さらに、AIDSモデルに応用し、日本の需要関数の分析を行い、分布を仮定せずに検定を行う方法についても検討することを目的とした。

(iv) ノンパラメトリック推定について、関数形を特定化せずに、日米英の株価データを利用して、その変動要因を実証分析することを目的とした。

3. 研究の方法

上記の「研究計画の概要」(i)~(iv)に沿って、研究の方法は下記の通りにまとめられる。

(i) 状態空間モデルに未知パラメータが含まれている場合、未知パラメータを推定しながら状態変数を推定することは計算量が膨大になり、未知パラメータの数が多いときは計算が事実上不可能になることがある。未知パラメータを推定する場合、通常、最尤法を用いて、収束計算が行われる。収束計算の段階ごとに乱数を生成させて、尤度関数を評価する必要があるため、膨大な計算量が必要になる。そのため、より実行可能な未知パラメータの推定方法を考えることが今後の課題となる。未知パラメータの推定には、MCMC

(Markov Chain Monte Carlo) を用いてベイズ推定を行う方法、未知パラメータを状態変数として推定する Self-Organizing 状態空間モデル (Kitagawa, 1998), Simulated Annealing による推定といった方法が考案されている。非線形状態空間モデルの推定には、各種のサンプリング法が不可欠となっている。ベイズ推定を行うとガンマ乱数が必要になる。効率的な状態空間モデルの推定を行うことを考えた。

(ii) 回帰モデルにAR項が含まれる場合、小標本では、回帰係数のパラメータの推定値にバイアスが生じる。この研究では、攪乱項に正規分布を仮定して、サンプリングの手法を用いてバイアス是正の分析を行った。その結果、バイアスの是正がうまく行われたことが示された。しかし、実際には、攪乱項の分布を特定化することは不可能である。よって、攪乱項に分布の仮定を置かない場合、いかに回帰係数の推定値のバイアスを是正することが出来るかが、大きな問題となる。ARモデルを単純に最小自乗法によって推定し、得られた残差をリサンプリング(re-sampling) することによって (いわゆる、ブートストラップ法)、この問題を解決した。

(iii) 平均の差の検定を行うためのノンパラメトリック検定については、攪乱項の分布にかかわらず、適用出来ることがモンテ・カルロ実験を通して確認することが出来る。この検定を回帰係数の有意性検定に応用することも可能である。しかし、問題点は、計算量の多さである。n をデータ数とするとき、検定には n! の計算量を必要とする (n=10 のとき、n! は約 363 万となる)。n=20~30 程度を越えると、今のコンピュータの計算速度でさえも、あり得るすべての組み合わせを計算するのはほとんど不可能である。小標本で、母集団が正規分布でないにもかかわらず、t 検定を当てはめると、正しい検定結果が得られない。大標本では、母集団の分布が何であろうと、平均と分散が存在しさえすれば、中心極限定理によって、標本平均の分布を正規分布に近似することが出来る。本研究では、標本の分布を仮定せずに平均の検定を行うことを考えた。分布に依存しない検定 (non-parametric test or distribution-free test) はこれまで数多く考案されてきた。本研究では、検出力やサイズについて比較検討を行い、その拡張を行った。

(iv) ノンパラメトリック推定 (nonparametric estimation) による密度関数の近似も重要なテーマである。密度関数自体が未知でこれを推定しようというものである。推定、検定を行う場合、通常、分布を仮定する。例えば、平均に関する仮説検定を行うとき、正規母集団を仮定するケースが多い。しかし、本来、分布は未知である。分布自体が未知と考

えて、平均、分散等の母数の推論を行う方法をノンパラメトリック法と呼ぶ（通常のように、分布を仮定する方法はパラメトリック法と呼ばれる）。ノンパラメトリック法にはいくつかの種類があるが、ここでは、観測られた標本からその分布自体を推定することを考えた。密度関数を推定する場合、バンド幅（または、窓幅、平滑化定数等の呼び名もある）を推定する必要がある。バンド幅の推定には、平均自乗誤差の積分を最小にする方法、尤度関数の推定値を最大にする方法等が考案されているが、本研究では、これらバンド幅の推定方法をモンテ・カルロ実験によって比較した。

4. 研究成果

上記の「研究計画の概要」(i)~(iv)に沿って、研究成果は下記の通りにまとめられる。

(i) 本研究では、日本の株式市場における株価の変動要因 (Volatility) について調べる。過去において、株価の Volatility に関する様々な実証分析が行われてきた。すなわち、Volatility の非対称性 (asymmetry effect), 休日効果 (holiday effect), 曜日効果 (day-of-the-week effect) に関する研究がなされてきた。さらに、Volatility のスピルオーバー効果が日英米間であるかどうか、または、レベルではどうかなどの研究も数多くなされている。その他にも、ある出来事 (news impact) が Volatility に与える影響や取引量と Volatility との関係等を調べる実証分析もある。これら多くの実証分析では、GARCH (Generalized Auto-Regressive Conditional Heteroscedasticity) モデルが用いられている。SV (Stochastic Volatility) モデルを用いた研究については、Volatility の非対称性を実証する研究はいくつか見られる。しかしながら、休日効果、曜日効果、日英米間のスピルオーバー効果を、SV モデルを用いた分析はほとんど見られない。特に、SV モデルを用い、非対称性、休日効果、曜日効果、日英米間のスピルオーバー効果の全部を同時に取り入れ、Volatility への影響を調べた研究は皆無である。これまでは、SV モデルの推定問題が大きな研究テーマであったため、実証分析はあまり行われてこなかった。本研究では、SV モデルを用いた株価変動の実証分析を行うことを目的とする。GARCH モデルに基づいた過去の研究から判断して、予想される結論は、(1) 前日株価が下落すると株価の変動は大きくなる (asymmetry effect), (2) 休日明けの株式市場では株価の変動は大きくなる (holiday effect), (3) 株式市場が開いている日の月曜日でも休日明けのため株価の変動は大きい

が、その反動として、火曜日には株価変動は小さくなる傾向がある (day-of-the-week effect), (4) 日本の株価は米国、英国の株価と正の相関を持つ (spill-over effect in level), (5) 日本の株価の変動は米国、英国の株価変動と正の相関を持つ (spill-over effect in volatility), の5つが考えられる。GARCH モデルだけでなく、SV モデルでも同様の結論が得られたので、(1)-(5)の事実の信憑性はより確実なものになった。付随的な成果として、SV モデルの推定には、ベイズ推定の手法を用いたが、その際、ガンマ乱数の生成が必要になり、乱数生成の簡単で比較的効率的なアルゴリズムを考案した。

(ii) 回帰モデルにAR項が含まれる場合、小標本では、回帰係数のパラメータの推定値にバイアスが生じる。この研究では、攪乱項に正規分布を仮定して、サンプリングの手法を用いてバイアスは正の分析を行った。その結果、バイアスの是正がうまく行われたことが示された。しかし、実際には、攪乱項の分布を特定化することは不可能である。よって、攪乱項に分布の仮定を置かない場合の回帰係数の推定値のバイアスを是正することを考案した。その一つの方法として、ARモデルを単純に最小自乗法によって推定し、得られた残差をリサンプリング (resampling) することによって (いわゆる、ブートストラップ法)、この問題を解決した。

(iii) 代表的な需要関数の推定に AIDS モデル (Almost Ideal Demand System モデル) が用いられる。このモデルでは、被説明変数はシェアを表し、0と1の間の値をとる。すなわち、このモデルの誤差項は正規分布に従っていない。にもかかわらず、パラメータに関する仮説検定や信頼区間を求める場合、多く (ほとんど 100%) の実証研究においては、t 分布が用いられる。データ数が多い場合には問題はないが、データが少ない場合には誤った結果が得られることになる。これを解決するためには、残差に制約を付けて、ブートストラップを実行することによって、パラメータの信頼区間を構成することが出来た。さらに、より推定の簡単な線形近似した AIDS モデル (すなわち、LA-AIDS モデル) は、Deaton-Muellbauer (1980) によって紹介されて以降、需要分析において非常によく用いられてきた。ほとんどの実証研究において、推定パラメータから計算された弾力性の値に対して何ら統計的な検証をすることなしに、財の性質を解釈したり、政策的な分析に用いられていた。しかし、もし弾力性の値が統計的に有意でなければ、分析そのものが違った結果となる危険性がある。本研究では、このような問題に対して、ブートストラップ法を応用して、弾力性の標準誤差、p 値、信頼区間などの分布の情報を計算し、弾力性の統計

的な検証を行う方法を提案した。また、LA-AIDS モデルは、本来内生性の問題から誤差項と説明変数に相関が発生してしまい、推定結果にバイアスをもたらす。しかしながら、ほとんどの先行研究ではこの問題を無視して推定を行っていた。本研究では、操作変数法を用いてこの問題に対処している。また実証研究として、1975年から2005年の月次データを用いた日本の家計支出10費目の需要モデルの推定を行った。実証研究の結果、弾力性の値が理論的あるいは、経験的に非現実的な値を取る場合、分布の情報に基づいて統計的な検証を行わないと誤った解釈を与えてしまう可能性があることが分かった。また、パラメータの分布情報より、日本の消費構造のうち、教養の所得弾力性と住宅の自己価格弾力性はバブル期において構造変化を起こしていることが示された。Stone型の価格指数を用いたLA-AI 需要システムは、非常に有用なモデルであるが、いくつかの問題を含んでいる。とりわけ、このStone価格指数に関する議論はいまだに解決されていない問題である(Moschini (1995))。最近では、コンピュータの進歩により、オリジナルの非線形モデルでも推定が容易になってきている。本研究の結果は、LA-AI 需要システムに関してのみ取り扱ったが、同様にオリジナルのAI 需要システムにも適用可能である。

(iv) 株価(東証株価・日経225種平均・終値)、為替レート(東京外国為替相場・円ドル・終値)、金利(普通国債・東京店頭最長期物・気配値)の3つの日次データ(1997年1月1日以降)を用いて、Volatilityの変動要因・相互依存関係等を実証分析を通して解明することを目的とする。過去の様々な研究において、株価のVolatilityを説明するものとして、非対称性(Asymmetry effect, すなわち、株価が下落した次の日には株価変動が大きくなる)、休日効果(Holiday effect, すなわち、休日明けには株価変動が大きくなる)、曜日効果(Day-of-the-week effect, すなわち、株価変動の大小は曜日に依存する)等が考えられてきた。さらに、株価のVolatilityのスピルオーバー効果が国際間(例えば、日英米間)で観測されるかどうか、または、株価の値自体ではどうかなどの研究も数多くなされている。為替レートや金利に関しても同様の実証研究が数多く行われている。しかし、上述した株価・為替・金利の変動要因を同時に全部の効果を含めた実証研究や株価・為替・金利間のVolatilityの相互依存関係を調べた実証研究は、私の知る限りにおいて、まだ行われていない(上述の変動要因を個々に調べた実証分析は多いが、同時に調べたものは皆無である)。したがって、本研究では、まず、株価・為替・金利のそれぞれについて、Volatilityにおける非

対称性、休日効果、曜日効果の有無を実証分析によって明らかにする。さらに、Volatilityにおいて株価・為替・金利の相互依存関係があるかどうかを調べる。また、過去の研究では、GARCHモデルやSV(Stochastic Volatility)モデルのような、関数形を特定化したParametricなモデルがVolatilityの実証研究に用いられてきた。しかしながら、関数形は本来未知であり、関数形の特定化による誤りが生じる可能性が十分にある。したがって、本研究では、関数形を特定化せずNonparametricな手法を用いて、より緩い仮定のもとで分析を行うことを考える。関数形を特定化することは通常の分析で一般的に見られる計量手法ではあるが、関数形の誤りにより間違った推論を行ってしまう可能性も十分にある。この関数形による誤りを排除することにより、より正しく分析が行われることが期待される。以上のように、本研究では、(1) 株価・為替・金利のVolatilityの変動要因を調べる、(2) 株価・為替・金利のVolatilityの相互依存関係を調べる、(3) 関数形を特定化せずに分析を行う、の三点を取り上げた。最後に、(1)-(3)を同時に含めて得られた推定結果と過去の様々な実証研究との比較・検討を行った。(1)-(3)を同時に含めたとしても、過去の個々の研究との整合性をすべて実証出来れば、本研究の意義は大きいと考えられる。また、多くの経済データ(特に、株価データ)の階差は、正規分布よりも裾野の広い分布に従うことが知られている。よって、分布を仮定せずに、ノンパラメトリックによる推定を当てはめることがより現実的であると言える。従来、関数形を仮定して分析が行われていたが、関数形を特定化しなくても過去の研究と同様の結論が得られるかどうかを調べた。その結果、ノンパラメトリック推定において、評価点の違いによって偏微係数の推定値とその標準誤差の値は大きく異なっていることから、線形関数で近似するには無理があると結論付けられた。

「研究計画の概要」(i)は「代表的な研究成果」の〔雑誌論文〕(3)~(5)、(9)に対応する。「研究計画の概要」(ii)は「代表的な研究成果」(10)に該当する。「研究計画の概要」(iii)は「代表的な研究成果」(2)、(6)、(7)に相当する。「研究計画の概要」(iv)は「代表的な研究成果」(1)に対応する(また、「代表的な研究成果」の〔図書〕や〔その他の著作〕についても、「研究計画の概要」(i)~(iv)に当てはめることが出来る)。以上のように、研究計画に沿って研究成果が研究論文として専門雑誌に掲載されていることから、「研究計画の概要」(i)~(v)による研究の進捗状況は満足できるものだったと言える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- (1) 谷崎久志 (2010) 「株価，為替，金利のボラティリティの変動要因・相互依存関係について：ノンパラメトリック推定の応用」『国民経済雑誌』第 201 巻，第 3 号，pp.15-28. (査読無)
- (2) H. Tanizaki and A. Namba (2010) "Simulation Studies on Cressie-Read Power Divergence Test Statistic under Empirical Likelihood Setup," *Kobe University Economic Review*, Vol.55, pp.35-51. (査読無)
- (3) H. Tanizaki and S. Hamori (2009) "Volatility Transmission between Japan, UK and USA in Daily Stock Returns," *Empirical Economics*, Vol.36, No.1, pp.27-54. (査読有)
- (4) 谷崎久志 (2008) 「ガンマ乱数の生成方法について」『国民経済雑誌』第 197 巻，第 4 号，pp.17-30. (査読無)
- (5) H. Tanizaki (2008) "A Simple Gamma Random Number Generator for Arbitrary Shape Parameters," *Economics Bulletin*, Vol.3, No.7, pp.1-10. (査読有)
- (6) 溝渕健一・谷崎久志 (2007) 「AI 需要システムによる弾力性の推定について：ブートストラップ法の応用」『日本統計学会誌』第 37 巻，シリーズJ，第 1 号，pp.161-178. (査読有)
- (7) H. Tanizaki (2007) "On Small Sample Properties of Permutation Tests: A Significance Test for Regression Models," *Kobe University Economic Review*, Vol.52, pp.27-40. (査読無)
- (8) S. Hamori, H. Tanizaki and Y. Matsubayashi (2006) "An Empirical Analysis on the Business Cycle Transmission between Japan and the United States," *The Eurasian Review of Economics and Finance*, Vol.2, No.2, pp.1-8. (査読有)
- (9) 谷崎久志 (2006) 「非線形・非正規状態空間モデルの推定について」『国民経済雑誌』第 193 巻，第 4 号，pp.37-52. (査読無)
- (10) H. Tanizaki, S. Hamori and Y. Matsubayashi (2006) "On Least-Squares Bias in the AR(p) Models: Bias Correction Using the Bootstrap Methods," *Statistical Papers*, Vol.47, No.1, pp.109-124. (査読有)

[学会発表] (計 2 件)

- (1) 日本統計学会 (2006 年 9 月 6 日，東北大学) 「AI 需要システムによる弾力性の推定について：ブートストラップ法の応用」(報告者は溝渕健一)
- (2) 日本経済学会・春季大会 (2007 年 6 月 3 日，大阪学院大学) "On Nonlinear Non-Gaussian State Space Models with Correlated Errors" (報告者は谷崎久志，特別セッション，Invited Speaker)

[図書] (計 4 件)

- (1) H. Tanizaki (近刊) "Disturbance Terms," in *Encyclopedia of Research Design* (N.J. Salkind, Eds.), SAGE Publications, Inc. (査読有)
- (2) K. Kakamu, H. Wago and H. Tanizaki (2010) "Estimation of Regional Business Cycle in Japan using Bayesian Panel Spatial Autoregressive Probit Model," in *Handbook of Regional Economics* (Tomas P. Nolin, Eds.), Chap.22, pp.555-571, Nova Science Publishers, Inc. (査読有)
- (3) S. Hamori and H. Tanizaki (2008) "Structural VAR Approach to the Sources of Exchange Rate Fluctuations in Sub-Saharan African Countries," in *Economics of Developing Countries* (T.N. Caldeira, Eds.), Chap.1, pp.1-17, Nova Science Publishers, Inc. (査読有)
- (4) 谷崎久志 (2007) 「状態空間モデル」『計量経済学ハンドブック』(箕谷千風彦，縄田和満，和合肇編)，20 章，pp.621-642，朝倉書店。(査読無)

[その他]

- ・神戸大学学術成果リポジトリ：
<http://www.lib.kobe-u.ac.jp/kernel/>
- ・研究代表者(谷崎久志)のホームページ：
<http://ht.econ.kobe-u.ac.jp/~tanizaki/cv/cv-j.htm>
- ・その他の著作 (啓蒙的著作)：
 - (1) 「ガンマ乱数生成のアルゴリズムについて」『日本統計学会会報』(第 139 号，pp.12-14，2009 年 4 月号に収録).
 - (2) 「統計学～中心極限定理について」『経済学・経営学学習のために』(国民経済雑誌別冊，平成 21 年度 前期号) pp.11-18，2009.
 - (3) 「統計推理論」『経済学研究のために(第 9 版)』(pp.107-112，2006).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷崎 久志 (Hisashi Tanizaki)
神戸大学・大学院経済学研究科・教授
研究者番号： 60248101