

平成22年6月20日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19530190

研究課題名（和文） 経済時系列データにおけるグラフ構造分析

研究課題名（英文） Analysis of the graph structure in economic time-series data

研究代表者

細谷 雄三 (HOSOYA YUZO)

明星大学・経済学部・教授

研究者番号：40004197

研究成果の概要（和文）：

本研究では、多変量実験データの間での従属関係の表示に用いられるグラフィカルモデル法と、それとは独立に発展してきた時系列解析予測理論にもとづく因果性概念とを融合して、因果性の方向だけではなく、それに加えて因果性の強度の定量的特徴づけを可能とする、応用性の高い経済経験分析の接近法を構築した。自然科学の実験データ分析で展開されている方法論を時系列計量経済モデルに応用できる方法へと改良することを研究課題とし、取り組んだ。

研究成果の概要（英文）：

In this research I have dealt with the problem of combining this approach used in analyzing multivariate experimental data and the approach developed in time series analysis on the prediction improvement. The research during the period 2007-2009 surveyed the predecessor studies in this field. In the research I have produced a feasible way of numerically feasible method of conducting statistical estimation and testing of partial causal measures.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経済学・経済統計学

キーワード：因果測定、グラフィカルモデル、経済時系列、多変量従属関係、共和分モデル、一方向因果性、統計的漸近理論、スペクトル正準分解

1. 研究開始当初の背景

二つの時系列の間での、フィードバック関係の存在・非存在，因果の矢印の方向とその強度など因果関係を検出することは，Granger (1963, 69)が予測精度の改善というプラグマティックな観点から因果性（あるいはその非存在）を定義して以来，時系列データの主要な分析視角の一つとなっている．Granger 因果性の検定は定常時系列の枠組みで行うのが基本であるが，非定常自己回帰モデルに対しても，時間領域表現を用いた検定として，Mosconi and Giannini (1992), Lutkepohl and Reimers (1992), Toda and Phillips (1993, 94), Toda and Yamamoto (1995) などの研究があり，さらに Yamamoto and Kurozumi (2006)が Granger 長期因果性を扱っている．周波数領域での因果測度や検定法については，Gel'fand and Yaglom (1959), Granger (1969), Geweke (1982)などの研究がある．また，Hosoya(1991)は非確定的多変量定常時系列間での因果性の測度と周波数領域での分解を提案した．Granger and Lin (1995)は因果測度を2変量非定常共和分過程に拡張した．一つの系列 y から他の系列 x への一方向効果は， $y(t)$ の過去の「一方向効果」を予測に追加することによる予測誤差の改善として定量的に評価するものが著者の提案した測度であるのにたいして，Geweke は y から x への線形フィードバック測度は，過去の y 値全体の追加による予測の改善として定義される．著者の提案する測度では， y から x への因果測度は対応する周波数因果測度の積分に等しいが，Geweke 測度では不等式関係しか得られない．さらに，周波数領域での接近法は，Granger 因果性を検定するのみでなく，周波数ごとの因果性の強度を検定し，またその信頼集合を形成することができるという意味で，時間領域における因果性の不在の検定よりも優れている．周波数領域での因果測度の Wald 検定については Yao and Hosoya (2000), Hosoya, Yao and Takimoto(2005)を参照

グラフィカルモデルの考え方は，統計物理あるいは遺伝学の分野で発展したグラフ理論にもとづいた接近法であり，専ら多変量実験データの解析に用いられて，変量間のグラフを，実験状況の解釈と第三変量を条件付きにした場合の条件付独立性（あるいは直交性）の観点から構築してゆく方法である（この分野を展望した代表的な著書としては，S.L. Lauritzen” Graphical Models”(1996)がある）。このグラフィカルモデルの接近法と平

行して（研究としては独立して）上述したように，時系列解析における因果性分析の研究が広範におこなわれてきている．経済時系列解析における特徴は，多くの場合実験を行うことが出来ないため，因果関係の存在と方向を変量間の時間的ラグとリードをとともなう変量間の相関関係のみから探らざるを得ない反面，独立な観測にもとづく多変量解析とは異なり，時間的従属関係あるいはデータ生成の時間的順序を利用できることである。

2. 研究の目的

多変量実験データの間での従属関係の表示に用いられるグラフィカルモデル法と，それとは独立に発展してきた時系列解析予測理論にもとづく因果性概念とを融合して，因果性の方向だけではなく，それに加えて因果性の強度の定量的特徴づけを可能とする，応用性の高い経済経験分析の接近法を構築することを研究目的とした．グラフィカルモデル分野のこれまでの研究著書，研究論文を渉猟・比較研究を行い，自然科学の実験データ分析で展開されている方法論を時系列計量経済モデルに応用できる方法へと改良することを課題として取り組んだ．平成 19-21 年度の本研究では，グラフ特定のため，偏因果性諸測度（partial causal measures）について，時系列モデル識別，複数の一方向偏因果測度および偏相互性測度の同時推定・同時検定法の研究ならびに計算アルゴリズムの開発，実データへの応用といった一連のテーマを研究課題とした．この研究によってもたらされる成果としては，経済ファンダメンタルズ相互間の因果性グラフ構造について精密な理論的基礎づけが可能となる点が挙げられる．本研究では，グラフ特定のため，偏因果性諸測度（partial causal measures）について，時系列モデル識別，複数の一方向偏因果測度および偏相互性測度の同時推定・同時検定法の研究ならびに計算アルゴリズムの開発，実データへの応用といった一連のテーマを具体的な課題とした．共和分ベクトル ARMA モデルなどにもとづいてパラメトリックに偏因果測度を数値的に導出解析するため，多変量 ARMA スペクトル密度関数の正準分解が不可欠となるが，とくに本研究においては，AR 因子のアジョイント行列表現をもちいることにより，問題を多変量 MA スペクトルの分解問題に帰着することができることを解

明し、実行可能な数値法を新たに開発した。こうして、Whittle 型尤度関数に基礎をおいた、推定・検定法についての数値計算プログラムと、MA スペクトル密度行列の正準分解のための数値法を用いて、一方向偏因果測度、相互性測度を数値的に推定する計算法することを実行可能とする。

3. 研究の方法

本研究では、共和分ベクトル ARMA モデルなどにもとづいてパラメトリックに偏因果測度を解析するため、Whittle 型尤度関数に基礎をおいた、推定・検定法を採用する。とくに尤度最大化の数値法では、従来あまり注意が払われなかった。固有方程式の解が単位円の外にあるという条件を満たすプログラムを設計・使用する。また、本研究が最近開発した MA スペクトル密度行列の数値的正準分解アルゴリズムを用いて、実際に一方向偏因果測度、相互性測度を数値的に測定する。経済時系列解析の分野において、第三の系列が存在する状況でのグラフ=因果構造分析については、これまで理論・実証研究が国内・外国を通してあまり存在しない。当該研究期間では、実際の経済時系列データに適用可能な、広い適応性をもつ計量的グラフ分析法を開発する。本研究において、プログラム開発、モンテカルロ法などのコンピュータ・シミュレーションおよびマクロ経済時系列への実際の適用のための主要な計算は、東北大学情報シナジーセンターのスーパーコンピュータ SX-4/128H4 を使用して実行した。また関連分野の研究者との意見交換、研究会が本研究の遂行にとって大いに役立った。

4. 研究成果

(1) $g(z)$ が z の m 次の多項式であり、因子 $z-\alpha$ を持っていることが分かっているとす。多項式 $g(z)/(z-\alpha)$ を得るために、本論文では最小二乗法を適用して、 $g(z)/(z-\alpha)$ を $1, z, \dots, z^{m-1}$ の上に回帰して係数 b_j を推定することを提案する。ここで残差平方和は単位円上のフーリエ周波数を z -格子点のデザイン・データ集合として設定して計算する。スペクトル密度関数の分解法としては、代数的構造を無視した計算集約的な方法も、計算誤差の発生を無視した純粹に代数的な方法も適切ではない。数値的な計算過程に、代数的構造を組み込んだアルゴリズムが望ましい。本研究は Rozanov による有理型スペクトル解析を数値的に実行可能なアルゴリズムとして拡張してスカラー値 MA スペク

トルの数値的分解を扱うおよび一般の MA スペクトル密度行列の分解法を提案した。さらに ARMA モデルにもとづく偏因果測度の数値計算を実行するために、余因子行列法を利用することにより、多変量 ARMA スペクトル正準分解の数値計算を MA スペクトル密度の分解に帰着することが可能であることを示した。この研究成果は

“A Numerical Method for Factorization of Rational Spectral Density Matrices”
(Yuzo Hosoya and Taro Takimoto)

として Journal of Time Series Analysis に掲載されている。

(2) 偏因果測度の検定: 偏因果諸測度については、実際のデータ生成状況に対応するさまざまな定常・非定常時系列モデル上で、有限観測値にもとづく統計的推測を実行することができる。モデルは通常未知母数 θ を含んでいて、偏因果測度もこの母数の関数になっている。その母数の推定値と真値の差のワルド統計量 2 次形式がカイ二乗分布に従うことを利用して大標本検定を行う。この統計量にもとづいて Granger 非因果性を検定できるのみではなく、偏因果諸測度の信頼性命題を作成することができる。非定常共和分過程 $X(t), Y(t), Z(t)$ の偏因果諸測度が定常生成過程 $x(t), y(t), z(t)$ の対応する諸測度に帰着される場合には、この接近法は $X(t), Y(t), Z(t)$ へ拡張される。Breitung and Candelon (2006) は非因果性を検定するために、スカラー過程間に対して係数ベクトルの線形制約を F-統計量にもとづいて検定することをかれらは提案している。本研究が導出した検定および信頼域構成法は一般のベクトル過程間に適用可能であり、広範囲の応用性をもつものである。

(3) 本研究は第 3 時系列が現前する場合の偏因果諸測度の推定・検定方法を考察した。偏因果測度にはたいしては、データ生成過程がたとえ AR 過程であっても、スペクトルを直接分解するアルゴリズムが必要となる。Hosoya (1991, 97a) が導入した 2 系列間の単純因果測度と異なり、それらの構成には観測 ARMA モデルに対応しないスペクトル密度行列の正準因子の知識が必要である。本研究においては、これらの諸問題に対応するため、AR 因子のアジョイント行列表現をもちいることにより、問題を多変量 MA スペクトルの分解問題に帰着することができることを解明し、実行可能な数値法を新たに開発した。Whittle 型尤度関数に基礎をおいた、推定・検定法についての数値計算プログラムと、MA スペクトル密度行列の正準分解のための数値法を用いて、一方向偏因果測度、相互性測度を数値的に推定する計算法することが

可能となった。

(4) 因果性諸測度は関係する多変量時系列の一期先線形予測量の平均二乗誤差を基礎に構成される。しかし時系列がガウス過程でない場合は、この線形予測誤差の測定は一般性をもたない。むしろ条件付期待値が一般的な予測量となる。しかし非母数条件付予測とそれにもとづく因果性諸測度の構成は技術的に大変困難である。実行可能な方法としては、各変量を非線形変換して結果的にガウス過程近似を改善し、その上で本研究の計算手順を適用することが考えられる。この観点から本研究において非線形変換定常時系列の統計的推測問題にも取り組んで、その研究成果は "Inference on transformed stationary time series" (Y. Hosoya and T. Terasaka) として Journal of Econometrics (vol. 151, 2009) に発表した。

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 4 件)

(1) Hosoya, Y. and Takimoto, T. (2010)
A numerical method for factorizing the rational spectral density matrix, vol. 31, pp. 229-240.

(2) Hosoya, Y. and Terasaka, T. (2009).
Inference on transformed stationary time series Journal of Econometrics, vol. 151, pp.129-139.

(3) 細谷雄三(2009).
スペクトル正準分解と偏因果諸測構成
日本統計学会誌, 第 38 巻シリーズ J 第 2 号, pp.1-24.

(4) Hosoya, Y. (2008). Inference on a set of statistical models Journal of The Japan Statistical Society, vol.38, no.1, pp.107-118.

[学会発表] (計 1 件)

Inference on transformed stationary time series ピーター・ロビンソン教授記念計量経済学コンファレンス, ロンドン・スクール・オブ・エコノミクス, ロンドン, 2007 年 5 月. (寺坂崇宏と共著)

[図書] (計 1 件)

翻訳: C.W.J.Granger 著、細谷雄三訳「経済モデルは何の役に立つのか — 経済経験モデルの特定化と評価」(牧野書店 2009)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.hino.meisei-u.ac.jp/econ/yhosoya/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

細谷 雄三 (HOSOYA YUZO)

明星大学・経済学部・教授

研究者番号: 40004197

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし