

統計科学と金融工学

研究代表者 谷口 正信
(基幹理工学部 応用数理学科 教授)

1. 研究課題 統計科学、金融工学、位相データ解析における因果性理論

ノーベル経済学賞受賞者の Granger が 1969 年に導入した時系列の平均 2 乗予測誤差からの因果性の概念は当初、計量経済学の分野での話であったが、今やグラフやネットワーク、遺伝子まで 極めて広汎に応用されてきている。過去、谷口は、金融解析の分野で提唱された非線形時系列モデルを癲癇患者の脳波と筋電波に適用し意味ある相関を見出した。従って経済・金融の分野から自然科学や異質の分野への大きなインパクトを実感、実証してきている。本研究では、Granger 因果性などを含む高度な因果指標を極めて一般的な乖離度から導入して、データ科学における今まで捉えられなかった潜在要因の統一的指標を提案する。観測対象も従来の統計データだけでなく、高次元時空間過程、グラフ・ネットワーク、遺伝子、トポロジカルデータ等にも適用する。

2. 主な研究成果

本研究では、Granger 因果性などを含む高度な因果指標を極めて一般的な乖離度 $D(\cdot, \cdot)$ から導入して、データ科学における今まで捉えられなかった潜在要因の統一的指標を提案することを目論んでいる。この流れで、まず、多次元定常時系列解析に対してスペクトル行列に対する乖離度による多次元時系列の、ある成分ベクトルから他の成分ベクトルへの因果性のある、なしの検定手法の提案をし、さらにはポートフォリオ問題に対しても因果性を議論した。

近年、高次元の統計列観測に対する研究が発展してきている。本研究では、そのもっとも基本になる時系列共分散行列の推測に於いて、観測次元数と観測系列の長さが、適当なオーダーで発散する設定での漸近理論の構築を行った。結果は、有限次元の時系列観測と異なり、推測方法も変えねばならず、また一致性のオーダーも異なってくることが判明した。さらには、高次元時系列の未知母数を、Threshold ピリオドグラム行列に基づく Whittle 推定量で推測することを提案し、この推定量の漸近的性質を明らかにした。

独立標本に対する縮小推定量については、過去膨大な研究蓄積があるが、従属標本に対しては、未開な状態である。本研究では、多次元定常過程の平均ベクトルの推測に於いて、James-Stein 型や、経験ベイズ型推定量の漸近的性質を調べ、標本平均を改善する十分条件を導出した。また、局確率分布モデルの曲母数に対する縮小推定量を提案して最尤推定

量を改善する十分条件を導出した。またこの結果を、シュミレーションで検証して、金融、年金ポートフォリオ推測にも応用した。

独立標本に対して、分散分析と判別解析は、古典的な話題で、多様の手法提案と応用が進展してきた。しかしながら、従属標本に対しては、分散分析や判別解析は、未開な部分が多い。分散分析では、ANOVA モデルで攪乱項が多次元確率過程で群間平均が等しいという仮説のもと独立標本で提案された検定統計量の帰無分布を導出し、それが漸近カイ 2 乗分布になる十分条件を導出した。結果はシュミレーションで検証され、福島県の放射線データに適用し因果性にも触れた。また時系列の判別解析に於いては、データが高次元であると仮定すると、従来の統計量がバイアスを持つことが分かり、その修正等を議論した。

株価の観測において、上昇 = 1, 下降 = 0, で見ると株価過程を 2 値で変換した確率過程 (2 値過程) が観測される。本研究では、2 値過程から確率過程の未知母数の推測や、判別解析を行うことを試みた。2 値過程は、情報を失うので、推測、判別の効率は落ちるということが判明したが、実世界の観測では、外れ値が混入することが通常であるので、外れ値に対しては、2 値過程にもとづく解析が頑健性をもつことが示され、尤度原理にならないポテンシャルが見出された。

方向データの分布は、円周分布で記述される。該当分野では多種の円周分布が提案されて、適合度が議論されてきた。ただ、円周型同時分布など、解析が未開な状態であるが、谷口は、定常過程の高次のスペクトル分布が、これを極めて一般的に記述できることを突き止め、この関係性の指摘と、局所漸近正規性に基づく最適推測理論を展開している。これは、円周分布の分野でも、新しい流れを築くもので、今後、この様な観測に対する因果性の基礎も与えた。

半世紀前、経済学者 Granger が 2 本の経済時系列に対して、予測誤差の観点から因果性の概念を導入した (Granger 因果性)。その後 Granger 因果性は、遺伝子解析、グラフ、ネットワーク、等膨大な分野に適用され進展中である。本研究では、時空間観測やトポロジカルな観測、医用画像、等の観測にまで適用される一般化因果性を導入し、その最適推測論の構築、また結果を膨大な対象に適用することを目論んでいる。まず手始めに、金融データは 2 次モーメントを持たないと実証認識があるので、そのような現象の数理モデルである安定過程に対する Granger 因果性の研究を経験尤度解析と絡めて展開中である。

点群データに対してその位相的な情報を探る解析は位相データ解析 (TDA) と呼ばれている。従来の統計解析では、突然の大変化を事前につかむのが難しいが、TDA には、それができる可能性が指摘されている。実際、金融データに対して位相データ解析の手法から得られた指標が金融危機の兆候を事前に検出することが報告されている。本研究では、TDA を用いた因果性解析の基礎理論構築とその最適統計推測論を展開し、金融データの突然の大変化の事前予測を因果性因子を使って行う。また、このメカニズムをつかむ統計モデルの提案をするとともに、位相データ手法の頑健性の研究も進めつつある。

独立標本に対して、分散分析は、古典的な話題であるが ANOVA モデルで攪乱項が多次元確率過程で群間平均が等しいという仮説のもとランダム効果のある分散分析モデルで、ランダム効果、有り無しの検定統計量の漸近理論は、通常のそれと大きく異なることが判明し、興味ある理論が進行中である。また時系列攪乱項のあるモデルへの基礎理論構築も興味あるところである。

多次元局所定常過程に対する位相データ手法の適用についての基礎研究も推進中である。

Dahlhaus が局所定常過程を導入してこれに対する種々の基礎理論が発展してきた。本研究では、時間依存の推定された構造から、観測の部分成分から他の部分成分への因果性を種々の乖離度を導入して、時間変化するスペクトル行列の積分汎関数による因果性検定を論じた。また時間依存推定量からパーシステント・バーコード、パーシステント・ランドスケープを求め、後者の面積指標を用いて、元データの位相情報を引き出す。これを将来の金融の大きな変動や医学データの隠れ因子を予測する統計量の提案につなげる予定である (R1)。

(R1) Liu, Y., Kimura, A., Taniguchi, M. and Ombao, M. (2020). A persistent diagram approach for local Granger causality analysis. In preparation.

3. 共同研究者

劉 言 (理工総研、数理科学研究所講師)

明石 郁哉 (理工総研、数理科学研究所講師, 現東大講師)

木村 晃敏 (理工総研次席研究員)

後藤 祐一 (基幹理工学研究科学振 DC1)

4. 研究業績

4.1 学術論文

(T1) Akashi, F., Taniguchi, M. and Monti, A.C. (2020) Robust causality test of infinite variance processes. To appear in J. Econometrics .

(T2) Xue, Y. and Taniguchi, M. (2020) Local Whittle likelihood approach for generalized divergence. To appear in Scand. J. Statist. DOI: 10.1111/sjos.12418

(T3) Xue, Y. and Taniguchi, M. (2020) Modified LASSO estimators for time series regression models with dependent disturbances. Statistical Methods & Applications DOI: 10.1007/s10260-020-00506-w

(T4) Goto, Y. and Taniguchi, M. (2019) Robustness of zero crossings estimator. J. Time Ser. Anal. 40 815-830.

(T5) Liu, Y., Xue, Y. and Taniguchi, M. (2019) Robust linear interpolation and extrapolation of stationary time series in L_p . To appear in J. Time Ser. Anal.

(T6) Goto, Y. and Taniguchi, M. (2019) Discriminant analysis based on binary time series. To appear in Metrika DOI:10.1007/s00184-019-00746-1

4.2 総説・著書

2019 年度はなし。

4.3 招待講演

(T7) Taniguchi, M. “Time Series Analysis under Non-Standard Settings”
“STATISTICAL TOPOLOGICAL DATA ANALYSIS WORKSHOP”
King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Saudi Arabia
Venue: Building 1, Level 4, Room 4102, January 3 – January 8, 2020

(T8) Taniguchi, M. “Joint circular distributions in view of higher order spectra of time series” NCKU-Waseda International Symposium: “Time Series, Machine Learning and Causality Analysis”
Date: 4-5 September 2019
Venue: 3F Conference Room, Department of Statistics, National Cheng Kung University, Tainan.
supported by: Japan Society for the Promotion of Science Kiban (S) No.18 H05290 (Taniguchi, M)

(T9) Taniguchi, M. “Time Series Analysis under Non-Standard Settings”
NSYSU-Waseda International Symposium “Time Series, Machine Learning and Causality Analysis”
Date: 2-3 September 2019, Venue: International Conference Room SC 1005,
College of Science Department of Applied Mathematics, National Sun Yat-sen University, Kaohsiung.
supported by: Japan Society for the Promotion of Science Kiban (S) No.18 H05290 (Taniguchi, M)

(T10) Taniguchi, M. “Joint circular distributions in view of higher order spectra of time series”
Workshop : “Workshop on causal inference in complex marine ecosystems”
Date: 11-12 June 2019, Venue: Institute of Marine Research, Bergen Norway
Supported by JSPS KAKENHI Kiban (S) Grand-in-Aid No. 18H05290 (M.Taniguchi)による。

(T11) Taniguchi, M.. “Time Series Analysis under Non-Standard Settings”
Workshop : “Statistical Methods and Models for Complex Data”
June 5-7, 2019、 Department of Law, Economics, Management and Quantitative Methods (DEMM) Piazza Arechi II - Palazzo De Simone, 82100 Benevento, Italy,
Supported by JSPS KAKENHI Kiban (S) Grand-in-Aid No. 18H05290 (M.Taniguchi).

4.4 受賞・表彰

2019年度はなし。

4.5 学会および社会的活動

(T12) 日本数学会 一般講演、2019年9月19日、於 金沢大学
・後藤祐一、M.Hallin(Univ. Libre Brussels), 谷口正信 :

“Kolmogorov-Smirnov tests for Laplace spectral kernels.”

2019年度からは、谷口の科研費基盤（S）によるシンポジウムを海外移転させ、さらにグローバルな交流、研究展開を図った。例えばイタリアでは、“Statistical Methods and Models for Complex Data” June 5-7, 2019, Univ. Sannio, Benevento, Italy を開催、またノルウェーでは、“Workshop on causal inference in complex marine ecosystems” 11-12 June 2019, Institute of Marine Research, Bergen, Norway を開催した。

2020以後も、この科研費によるシンポジウムを、イタリア、ベルギーの大学に移転し、さらにグローバルな研究展開、研究交流を図る予定である。

5. 研究活動の課題と展望

多次元局所定常過程に対する位相データ手法について、時間依存の推定されたる構造から、観測の部分成分から他の部分成分への因果性を種々の離反度を導入して、時間変化するスペクトル行列の積分汎関数による因果性検定に対する統計的最適推測論を完成させる。また時間依存推定量からパーシステント・バーコード、パーシステント・ランドスケープを求め、後者の面積指標を用いて、元データの位相情報を引き出す。これから将来の金融の大きな変動や医学データの隠れ因子を予測する統計量の提案を行う。

高次元データの統計解析では、従来の手法が有効でないことが知られている。そこで高次元観測に最適因果性推測が可能かを論じ、高次元確率過程に対して一般化乖離度から高次元確率過程観測の間の一般化因果性を導入する。この推測は、高次元統計推測になるので、従来の統計推測とは異なってくる。この状況で、最適統計推測理論を構築する。高次元手法を、因果性分野に導入し、基礎理論構築と理論成果の応用を多方面に展開する。

また予見していなかった流れとして、分散分析におけるANOVAモデルで攪乱項が多次元確率過程で群間平均が等しいという仮説のもとランダム効果のある分散分析モデルで、ランダム効果、有無の検定統計量の漸近理論は、通常のそれと大きく異なることが判明した。興味ある理論が進行中であり、時系列攪乱項のあるモデルへの基礎理論構築も興味あるところである。この部分は、予見していなかった成果で、今後、こういったモデルでの因果性解析も含めて、大きく発展すると思われる。