

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：37104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2023

課題番号：18K04626

研究課題名(和文) 非線形確率システムにおける状態変化・構造変化の検出及びそのリスク管理

研究課題名(英文) Detection of State Changes and Structural Changes in Nonlinear Stochastic Systems and Their Risk Management

研究代表者

譚 康融 (Tan, Kouyuu)

久留米大学・経済学部・教授

研究者番号：70368968

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究にて以下の成果が得られた。

本研究で提案・確立・開発された複数の手法は経済・経営の時系列データの解析に適用できるのみならず、確率微分方程式(SDE)の構造変化の検出や、時系列データの信号処理などといった多くの分野において、それらの有効性が実証分析および数値解析等で確認された。またMulticoreを用いたParallel Computingによって、Markov Chain Monte Carlo Methods等の計算時間が指数的に大幅に削減することができた。さらに国内外の研究者による共同研究、研究連携などによって、日本の研究成果を世界に発信することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

非線形確率システムにおける状態変化・構造変化に関する既往の成果よりも、本研究では、より汎用的な数理モデリング/解析手法を複数に提案・開発しており、より正確的にリアルタイムにシステムの状態変化・構造変化を検出することができた。

提案手法はシステムの構造変化、COVID-19の感染者数の動的変化、ネット攻撃、株価・為替レートの急激な変化などをいち早く捉えることができた。文理を問わず、多くの分野における提案・開発された手法の有効性が実証分析・数値解析によって確認された。これからのより情報化・AI化の社会において、様々な状況において、提案手法の活用が期待できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The following results were obtained from this research:

The multiple methods proposed, established, and developed in this research (such as mathematical modeling techniques and system analysis methods) have been confirmed through empirical analysis and numerical analysis, including simulations, to be effective and applicable in various fields. These fields include not only the analysis of economic and management time series data, but also the detection of structural changes in stochastic differential equations (SDEs), the detection of network attacks on systems, and signal processing of time series data. Additionally, the use of parallel computing with multicore technology has allowed for a significant exponential reduction in computation time for methods such as Markov Chain Monte Carlo Methods. International collaboration and research partnerships enabled the dissemination of Japan's research achievements to the world.

研究分野：数理モデリング、数理モデル解析、シミュレーション

キーワード：Change Point State/Structural Change Bayesian Inference Markov Regime Switching SDE Dynamics K SVM

1. 研究開始当初の背景

経済のグローバル化に伴い、地域間・企業間における連携は拡大し、またインターネットの普及及び情報機器の高機能化により、大量多様な情報が瞬時に伝達され、従来よりもリスクの伝播範囲は拡大し、拡散速度も速くなる。一方、金融危機や、財政破綻などによって、システム挙動の急激な変化をもたらす為、システムを安定化させ、持続的経済成長を実現するため、システムの構造変化(Structural Change)、状態変化(Change Point)を迅速に解析・検出し、システムティックリスクを解明し制御することが求められている。

経済システムは、例えば、株価、為替レートの変動、資本・労働市場の変化、財政状況等、種々の変数・リスクファクターによる多期間に亘る多次元・非線形確率システムとして捉えることができる。これまで不確実性下の意思決定、リスク分析・制御に関して様々な手法が開発されているが、主に正規性や、ブラウン運動等の変動要因を前提とするモデルが多く、この種のモデリングや予測手法が大きな役割を果たしてきたと言え、実世界では、非正規、非ブラウン運動ベースの確率現象は多々存在し、リスクファクターによるシステムの挙動が急変することは否めない事実である。

このような従来の方法では記述できない現象はシステム解析、リスク分析・制御の1つ大きな課題となっていることが確認され、リスク分析におけるアプローチや、解析手法の修正・更新を迫るものとなっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は非線形確率システムにおけるシステムの状態変化、構造変化を転換点の出現として捉え、それらの転換点の検出の数理的手法、ならびにそれらの変化に応じたリスクの評価を行い、リスク管理の対策を有効的にとることとしている。

これまで、不確実性の下での意思決定・リスク管理に関して様々な手法がなされているが、確率統計理論とコンピュータサイエンスやデータマイニングなどの結合によるハイブリッド解析手法は少ない。本研究では多岐にわたる現存理論に基づき、それらの結合によるハイブリッド解析手法を開発し、非線形確率システムの状態・構造変化の解析・検知を行い、伴うリスクを予測・評価・制御する数理モデルを構築する。

このようなハイブリッド解析手法に基づき、システムから観測された時系列データ、並びに各種の統計量、或いは変数間の依存構造の変化をシステムの状態変化とみなし、従来の正規性を前提とせず非正規確率過程として捉え、システムの転換点を解析・検出し、伴うリスクを予測・評価・制御する。同じくシステムの記述方程式(SDE等)の変化が生じた時、その変化を構造変化とみなし、その転換点の解析・検出及び変化したシステムの同定を行う。実務に有効的で再現性の高い理論モデル、及び精度の高い数値解析アルゴリズムを開発し、イベントや転換点等による時変・非線形・非正規分布現象の解明、リスク解析・評価・制御への適用を目指している。

3. 研究の方法

数理モデリング手法を用いて現象に対する数理モデルの構築・理論解析を行い、その上、実証分析や数値解析やシミュレーションなどを展開する。システムの状態変化、構造変化

の検出をより正確的にリアルタイムに捉えることができるようにしている。

方法論としては、例えば、確率微分方程式(SDE: Stochastic Differential Equation)等による構成されるシステムの解析を行い、システムの状態変化、あるいは構造変化が生じた時、素早くその転換点をキャッチし、変化に伴うシステムの挙動を解析し、リスクの再評価・制御策に努める。つまり、時系列データの解析に数理モデリングを行い、理論解析、或いは数値解析によって、システムの状態・構造変化を明らかにする。そのため、以下のよう手順をとっている。

1) 数理モデルの構築、数値解析、アルゴリズムなどの開発。

2) 理論解析や、実証分析・シミュレーションなどによるモデルの妥当性を検討し、必要があれば、モデルの修正を加えること。

3) 国内外の研究者との共同研究、研究協力・連携。

特に実際に観測されているデータに適応でき、柔軟性のある動的モデリング法の開発を目指し、転換点等による時変・非線形な不確実な現象の解明、リスク解析・評価・制御への適用を目指す。

4. 研究成果

本研究にて以下の成果が得られた。

本研究で提案・確立・開発された複数の手法(数理モデリング手法やシステム解析手法など)は経済・経営の時系列データの解析に適用できるのみならず、確率微分方程式(SDE)の構造変化の検知、システムへのネット攻撃の検知、ネットワークトラフィックの状態の調べ、COVID-19の感染者数の動的状況の把握、時系列データの信号処理などと言った多くの分野において、本研究の提案手法の有効性および適用できることが実証分析およびシミュレーションなどの数値解析によって確認された。すなわち、本研究で提案・開発された手法は、経済学を始め、情報科学、医学(例えば、感染症の流行状況の把握)、感染症の流行と株価市場の変動との関連性等々、多くの分野の類似問題を解くのに有効で役立つことが明らかになった。

また Multicore を用いた Parallel Computing によって、MCMC Bayesian Inference (Markov Chain Monte Carlo Methods) などの計算処理時間を指数的に大幅に削減することができた。よって、複雑な環境におけるその有効性、効率性および実用性がより一層高まったことを明らかにした。

さらに国内外の専門家(九州大学、名古屋大学、コロンビア大学など)を招き、本研究に関わる国際共同研究発表会、乃至はトップレベルの研究者との意見交換・ディスカッションを行った。ハイレベルな国際学術交流を通じて、海外類似分野の研究レベルや進捗状況などを見据えた上で、研究を進めたことができたと同時に、国際共同研究によって、日本の研究成果を世界に発信することができた。

これからのより情報化・AI化の社会において、より複雑な情報のあり方や情報ネットワークなどを形成していく中で、これまでに出逢わなかった様々な状況において、文理を問わず、本研究で提案・開発された手法の活用が期待できると考えられる。

国内外の研究専門雑誌に研究成果をまとめた論文が複数掲載された。また国内外の研究者による研究講演会などが行われた。詳細は以下の表に示している。

掲載論文等の研究成果の一覧表

査読付き論文	20篇
図書	1冊
国際研究講演会・意見交流会	2回
国内研究講演会・意見交流会	5回
学会発表	4回

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Shozo Tokinaga, Kangrong Tan	4. 巻 89(1)
2. 論文標題 Multi-Fractality Analysis of Network Traffic based on the Network Tomography and the Genetic Programming and its Applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Political Economy	6. 最初と最後の頁 23-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 時永祥三, 譚康融	4. 巻 89(4)
2. 論文標題 証券投資家間の情報ネットワーク形成過程のEdge Snapping による同期化を用いた分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 経済学研究	6. 最初と最後の頁 37-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kangrong Tan, Shozo Tokinaga	4. 巻 CSC12022
2. 論文標題 Entry and Exit Decision Under Uncertainty Where Prices Include Jump Diffusion Processes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2022 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence	6. 最初と最後の頁 534-539
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kangrong Tan, Shozo Tokinaga	4. 巻 8(3)
2. 論文標題 Markov Regime Switching Analysis for COVID-19 Outbreak Situations and their Dynamic Linkages of German Market	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal	6. 最初と最後の頁 11-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kangrong Tan	4. 巻 62(1-2)
2. 論文標題 Detecting Rare Events Based upon One-Class Support Vector Machine	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of the Society for Studies on Industrial Economies	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shozo Tokinaga, Kangrong Tan	4. 巻 88(5-6)
2. 論文標題 Estimation of Occurrence of Jumps in Time Series Models Including Jump Diffusion Processes and Their Applications to Optimal Portfolio Formations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Political Economy	6. 最初と最後の頁 33-45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shozo Tokinaga, Kangrong Tan	4. 巻 88(2-3)
2. 論文標題 Estimation of Connectivity among Units of Vector Auto-Regressive Models Based On the Edge Snapping and its Applications to the Network Formations / Disruptions Analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Political Economy	6. 最初と最後の頁 73-88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kangrong Tan	4. 巻 36
2. 論文標題 The Impact of the COVID-19 Pandemic on the Stock Market : Evidence from Germany	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 コンピュータジャーナル	6. 最初と最後の頁 14-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kangrong Tan, Shozo Tokinaga	4. 巻 2021
2. 論文標題 Markov Regime Switching Analysis for the Pandemic and the Dynamics of German Market	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The 2021 Proceedings of International Conference on Computational Science and Computational Intelligence(CSCI)	6. 最初と最後の頁 to appear
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kangrong Tan	4. 巻 61(2-3)
2. 論文標題 Identifying the Pandemic Change Points of COVID-19 Outbreak : Case Studies in Germany, Italy and Austria	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The journal of the Society for Studies on Economies and Societies	6. 最初と最後の頁 19-33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shozo Tokinaga, Kangrong Tan	4. 巻 87(4)
2. 論文標題 Estimating States of Variables in Nonlinear Models used for Supplier-Retailer Relation based on Particle Filters and its Applications to Suppression of Bullwhip Effects	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Political Economy	6. 最初と最後の頁 47-65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kangrong Tan	4. 巻 59(4)
2. 論文標題 Estimation of the Statistical Properties of Network Traffic Time Series and Its Rare Events	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 経済社会研究	6. 最初と最後の頁 181-202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 時永祥三, 譚康融	4. 巻 86 (2/3)
2. 論文標題 遺伝的プログラミングを用いた動的ベイズネットワーク記述における形状変化の推定とその応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 経済學研究	6. 最初と最後の頁 1 - 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kangrong Tan, Shozo Tokinaga	4. 巻 なし
2. 論文標題 Estimation of Occurrence of Jumps in Time Series Models Including Jump Diffusion Processes and Their Applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of NOLTA2019	6. 最初と最後の頁 353-356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 譚康融, 時永祥三	4. 巻 119(423)
2. 論文標題 Edge Snappingによるベクトル自己回帰モデルユニット間の結合推定とその応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 信学技報, CAS2019-124, pp. , 2020年2月.	6. 最初と最後の頁 155-160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 時永祥三, 譚康融	4. 巻 86 (5/6)
2. 論文標題 サプライチェーン管理における異質エージェントのモデル化とトモグラフィを用いた確率分布推定	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 経済學研究	6. 最初と最後の頁 1 - 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kangrong Tan	4. 巻 Vol.58, No.1-2
2. 論文標題 Detecting Structural Changes in Stochastic Differential Equation System Based Upon a Bayesian Approach	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 経済社会研究	6. 最初と最後の頁 51-67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 譚 康融	4. 巻 33
2. 論文標題 通信トラフィック解析及びその転換点の検出について	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンピュータ・ジャーナル	6. 最初と最後の頁 67-85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 時永祥三 譚 康融	4. 巻 85
2. 論文標題 ネットワークにおけるEdge Snappingによる構成要素間の結合係数変化もモデル化を用いた連携分析とその応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 経済学研究	6. 最初と最後の頁 47-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kangrong Tan	4. 巻 65(1)
2. 論文標題 Evaluating the Effectiveness of Parallel Computing by Using CPU with Multicores	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Economic and Social Research	6. 最初と最後の頁 採択済
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 譚康融
2. 発表標題 システムにおける異常値などの検知について
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 譚康融
2. 発表標題 SDEにおけるChange Pointの検出について
3. 学会等名 久留米大学経済学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 譚康融
2. 発表標題 学内ネットワークのトラフィック解析
3. 学会等名 2019年秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 譚康融、時永祥三
2. 発表標題 Edge Snappingによるベクトル自己回帰モデルユニット間の結合推定とその応用
3. 学会等名 電子情報通信学会回路システム研究会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 譚康融	4. 発行年 2023年
2. 出版社 九州大学出版会	5. 総ページ数 276
3. 書名 Rによる経済・経営データ解析入門	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	谷口 剛 (Taniguchi Takeshi) (00102096)	久留米大学・文学部・教授 (37104)	途中から定年退職離脱

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計2件

国際研究集会 国際講演研究会・意見交流会	開催年 2022年～2022年
国際研究集会 国際研究講演会・意見交流会	開催年 2021年～2021年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------