

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11719

研究課題名(和文) 時空間データの局所複雑構造に対する統計解析の理論的新展開

研究課題名(英文) Theoretical development on statistical inference for local complex structure of temporal and spatial data

研究代表者

劉言(LIU, Yan)

早稲田大学・理工学術院・専任講師

研究者番号：10754856

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)：時空間データが簡単に取得できるようになった昨今、その複雑な構造を統計的に解析することが重要になってきている。従来の時系列解析では、定常過程の統計解析が主な研究対象であった。それに対し、本研究では、時空間データの局所構造に着目し、新たな統計解析手法を提案する。これは一種の高次元統計解析であり、チャレンジングな課題である。3年間の研究では、局所的な複雑構造を捉えるため、カーネルによる重み付きホイットル尤度法を提案し、その漸近論を展開した。さらに、局所グレンジャー因果性の検定を、脳波データへ応用し、脳波間のグレンジャー因果性変化を捉え、癲癇患者の脳波間にある時間変化が初めて明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ビッグデータ時代の到来により、大規模なデータでも簡単に取得できるようになった。降雨量等の環境学データ、生物学データ、経済データや金融データ等多くの場合、時空間データとなっている。このような大規模な時空間データは往々にして、不規則で非定常性が伴う。本研究は局所的に複雑な構造をもつ時空間データの数理理論を展開する。従来の主な予測モデルがブラックボックス・モデリングを利用しており、定常性やエルゴード性等予測性能に関係しているにもかかわらず、社会的にそのデータ分析手法が広く展開されつつある。本研究で展開する理論を通して、すでに開始している自動車産業との「将来予測技術」の共同研究への応用も期待できる。

研究成果の概要(英文)：With the recent advancement in acquiring spatiotemporal data, it has become important to statistically analyze its complex structure. In conventional time series analysis, statistical analysis of stationary processes has been the main focus of research. In contrast, this research focuses on the local structure of spatiotemporal data and proposes a new statistical analysis method. This is a type of high-dimensional statistical analysis and poses a challenging task. For three years of research, we proposed a weighted Whittle likelihood method using kernels to capture local complex structures and developed its asymptotic theory. Furthermore, we applied the test of local Granger causality to brainwave data, capturing the changes in Granger causality between brainwaves and revealing, for the first time, the temporal variations in brainwave interactions among epilepsy patients.

研究分野：数理統計学、統計科学、時系列解析

キーワード：時空間データ 局所的統計解析 局所グレンジャー因果性 時変スペクトル 予測誤差 高次漸近論  
長期記憶モデル 非線形時系列

## 1. 研究開始当初の背景

時系列データに関する統計的理論はこれまで主に、観測系列全体をまとめてモデリングし、統計解析で用いられる統計量が多く、観測のもとで成り立つ統計性質を調査対象としてきた。即ち、時系列データの大局的性質に着目し、その統計的漸近理論が展開されてきた。モデリング側も ARCH や GARCH のような非線形時系列モデルなどが提案されたが、近年の金融危機に着目すると、単一株価等の解析はなかなか現象解明に繋がらず、株価間の影響なども度外視できない要因となっている。

研究代表者はこれまで大まかに、時系列データの統計解析として、経験尤度法やブートストラップ法について研究してきた。それに、以下のことについて知見を得ている。

- (1) 時系列モデルの推定論と予測性能の関係性、
- (2) 高次元時系列の判別分析と検定論について研究を行った。

(1)の研究を通して、経済時系列等でよく観測される非有限分散安定過程のもつ特性指数と、予測問題との関係性を見出した。一方で、(2)高次元時系列の統計的解析において、判別統計量や検定統計量は、次元の増加とともに大きなバイアスをもつことや、統計量の漸近分散が時系列構造に依存することなどが判明した。これらの統計手法を組み合わせることにより、個別のモデリングによらない頑健な時系列解析法を構成した。

## 2. 研究の目的

研究の目的は従来の観測系列全体に対する時系列解析を発展させ、局所的に複雑な構造をもつような時系列データに対して、統計手法を新たに提案し、その統計理論を構築することである。具体的には、以下のような項目が挙げられる。

- (1) 時変スペクトルをもつ時空間データにおける局所的統計推測手法を提案する。
  - (2) 提案手法のもつ本質をまとめ、局所従属構造の解明に纏わる漸近理論を構成する。
  - (3) 構成した統計推測論に基づき、諸統計仮説に対する検定統計量を提案する。
  - (4) 提案手法に従い、金融・環境データのトポロジカル構造を理論的に分析する。
- 以上のように、局所時空間のデータ解析に局所尤度に基づいた統計推測理論を構築して、実データの現す現象に潜む原理を理論的に分析し、時空間データに最適な統計的推測法を提案する。

## 3. 研究の方法

- (1) 多変量局所定常過程の部分観測を利用して、変量間の局所的相関構造をパーシステントホモロジーで表現し、その位相幾何構造の変化に対する統計的漸近論を導く。また、統計的最適推測理論を構築し、金融・環境データの位相幾何的構造を分析する。
- (2) 上記で得た成果について国内外の研究者と交流し、理論構築上の問題点を整理し、ディスカッション等を通じて今後の理論的展開を展望しつつ、その応用的研究について共同研究を展開していく。
- (3) 多変量局所定常過程に対する局所因果性を定式化して、脳波 EEG データへの適用を試みる。また、理論的成果を利用して、経済データや感染者数データなどに適用し、実用化を目指す。

## 4. 研究成果

- (1) スペクトル分布の不確実性に対処するために、定常過程の  $L_p$  空間におけるミニマックス性をもつ補間および外挿問題を考慮した。補間および外挿問題は、複素平面上の単位円内での線形近似問題と見なすことができる。頑健な一時先予測子と補間子は既に別々に前の文献で考慮されているが、我々は観測集合を考慮した上で、 $L_p$  ノルムの下での補間および外挿誤差の評価の観点から、不確実性クラスに対してミニマックス補間子と外挿子となるための十分条件となる二条件を与えた。我々は、それら条件の下で、未知のスペクトル密度によってイプシロン汚染されたスペクトル密度のクラスに対してミニマックス補間子と外挿子が存在することを示した。不確実性クラスには、ルベグ測度に対して絶対連続ではないスペクトル分布関数が含まれている場合、スペクトル分布が密度を持つ場合に、最大の補間および外挿誤差がミニマックス誤差となる任意に近い近似補間子と外挿子の存在を示し、結果的に、定常調和可能安定過程への適用も可能である。

- (2) 時系列データ解析におけるミニマックス手法、つまり最大のリスクに対して推定誤差を最小となる推定量を提案した。とくに、Whittle 推定量が予測誤差損失のミニマックス推定量となることを示した。Whittle 推定量が Jeffreys の事前分布に対するベイズ推定量であることも示された。
- (3)  $p$  次元正規定常確率過程に対して縮小推定量を提案した。縮小推定量は、サンプル平均や James-Stein 推定量を特殊な場合として含む縮小関数によって表される。縮小推定量の平均二乗誤差を評価したところ、縮小推定量が標本平均よりも平均二乗誤差の意味で改善し、そのための十分条件を、縮小関数とスペクトル密度行列の観点から与えた。さらに、標本平均に最も顕著な改善をもたらす縮小推定量も理論的に提案した。30 産業の月次データによるポートフォリオ推定に本手法を適用し、推定精度の改善を確かめることができた。
- (4) ベイズ推測の観点から Whittle 推定量のミニマックス性を理論的に示した。この理論に基づき、ホイットル推定量の 2 次バイアスをリスク関数と取り、ベイズ型ホイットル推定量を提案し、その高次漸近論を展開した。理論的には移動平均モデルなどにおいて、ベイズ型ホイットル推定量がプロパーでないという難所もあったが、数値シミュレーションではベイズ型ホイットル推定量が既存の Whittle 推定量よりもバイアスが小さいことを示した。
- (5) 非定常な時空間データに対する統計的推測を展開し、予測的因果性の時間発展を捕捉する理論を構成した。予測的因果性とは、相関関係による因果性判断ではなく、ある時系列の過去の値が別の時系列の将来の値を予測する能力を根拠に、因果性を判断する理論である。従来の研究は、因果性が時間的に不変である、という視点に立脚したものだけだった。この研究では、時間発展を表す局所定常過程に対し、非定常コルモゴロフ公式に着目することにより、非定常確率過程のグレンジャー因果性を数学的に正当化できた。この数学的正当化に基づき、時变的予測因果性に対する統計的推測手法を構築した。その応用例の一つである脳波間の因果性変化を明確に示した。
- (6) 時系列設定の下で、分散分析の検定統計量は局所漸近正規性が成り立たないことが知られている。そのため、漸近分布の退化を考慮した新たな検定統計量を考えることが必要であった。時系列構造に依存しない特徴のある新しい検定統計量を提案し、線形時系列モデル、非線形時系列モデルに加えて、推定問題において計算コストの高い歪分布を革新過程にもつ時系列観測でも、十分高い検出力をもつことがわかった。これを用いて株価収益率に着目して業界分類ができた。
- (7) 実数値時系列観測の予測誤差分散を最小にするコントラスト関数を、多変量時系列観測に拡張し、その漸近理論を展開した。多変量時系列の最小コントラスト関数は実際、行列距離に対応しており、今後、統計的次元削減手法の提案が期待される。本研究の提案する最小コントラスト関数の適切性を示すため、ヘルダー不等式の二段階適用を行った。また、理論的にはホイットル推定量が漸近的に最適であるが、数値シミュレーションではホイットル尤度よりも優れる最小コントラスト関数があることを観察することができた。この数値結果より、多変量時系列の母数推定問題でもシュタイン現象が起きていることが予想され、今後はより高度な次元削減手法の提案が期待される。
- (8) 分散不均一モデルの拡張として、観測分布を規定する整数値時系列モデルがある。従来、汎化分散不均一モデルが通常の統計解析において一般的であるが、この汎化分散不均一モデルに長期記憶性を導入し、ゼロ過剰モデルを加えたポアソン分布を用いて、日本、イタリア、イギリス、米国などの Covid-19 感染者数の局所予測を行った。LFIGX モデルの母数推定は一般的に計算コストが高いが、ベイジアン MCMC を導入することにより、局所的予測でも安定的な推定パフォーマンスを実現した。
- (9)  $\ell_0$ -混合的と、 $\ell_1$ -混合的な時系列それぞれに分けて、高次元時系列モデルの統計解析について議論を行った。さらに、高次元時系列に対する罰則項つき主成分分析手法の理論構築において、罰則項が  $\ell_0$ -ノルムか  $\ell_1$ -ノルムかによって推定リスクが異なることを、理論的に示した。数値シミュレーションでは、スパース主成分分析が従来の主成分分析よりも優れた場

合を示し、実データ解析では、京都市の気温変動についてスパース主成分分析を行った。

- (10) ほかには、長期記憶モデル、分散不均一時系列モデル、局所定常過程、整数値時系列、コピュラモデルなどのモデルやそれに関連する統計解析について編著著書に収めた。また今後の統計解析やデータサイエンスにおいて、最適輸送問題や位相的手法などの提案手法についても新しい展開が期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 劉 言	4. 巻 52
2. 論文標題 予測に基づく時系列の統計推測	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本統計学会誌	6. 最初と最後の頁 53～68
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11329/jjssj.52.53	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 Xu Xiaofei, Liu Yan, Taniguchi Masanobu	4. 巻 44
2. 論文標題 Higher order asymptotics of minimax estimators for time series	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Time Series Analysis	6. 最初と最後の頁 247～257
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/jtsa.12661	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 該当する
1. 著者名 Goto Yuichi, Arakaki Koichi, Liu Yan, Taniguchi Masanobu	4. 巻 32
2. 論文標題 Homogeneity tests for one-way models with dependent errors under correlated groups	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 TEST	6. 最初と最後の頁 163～183
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11749-022-00828-9	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 Liu Yan	4. 巻
2. 論文標題 A minimum contrast estimation for spectral densities of multivariate time series.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Research Papers in Statistical Inference for Time Series and Related Models	6. 最初と最後の頁 325～342
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 Fujimori Kou, Goto Yuichi, Liu Yan, Taniguchi Masanobu	4. 巻
2. 論文標題 Sparse principal component analysis for high-dimensional stationary time series	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scandinavian Journal of Statistics	6. 最初と最後の頁 1~42
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 Liu Yan, Tanida Yoshiyuki, Taniguchi Masanobu	4. 巻 24
2. 論文標題 Shrinkage estimation for multivariate time series	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Statistical Inference for Stochastic Processes	6. 最初と最後の頁 733~751
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11203-021-09248-2	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 Liu Yan, Taniguchi Masanobu	4. 巻 79
2. 論文標題 Minimax estimation for time series models	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 METRON	6. 最初と最後の頁 353~359
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s40300-021-00217-6	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 Liu Yan, Xue Yujie, Taniguchi Masanobu	4. 巻 41
2. 論文標題 Robust Linear Interpolation and Extrapolation of Stationary Time Series in $L_p$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Time Series Analysis	6. 最初と最後の頁 229~248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jtsa.12502	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 Liu Yan, Taniguchi Masanobu	4. 巻 -
2. 論文標題 Minimax estimation for time series models	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Metron	6. 最初と最後の頁 -
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37件 (うち招待講演 21件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Fujimori Kou, Goto Yuichi, Liu Yan, Taniguchi Masanobu
2. 発表標題 Sparse principal component analysis for high-dimensional stationary time series
3. 学会等名 NUS-WASEDA Workshop 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Xu Xiaofei, Chen Ying, Liu Yan, Goto Yuichi, Taniguchi Masanobu
2. 発表標題 Long-memory Log-linear Zero-inflated Generalized Poisson Autoregression for Covid-19 Pandemic Modelling
3. 学会等名 NUS-WASEDA Workshop 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Liu Yan, U LAN, Taniguchi Masanobu
2. 発表標題 Semiparametric empirical likelihood for circular distribution
3. 学会等名 Kanazawa International Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Liu Yan
2. 発表標題 A minimum contrast estimation for spectral densities of multivariate time series
3. 学会等名 Waseda Mini-Workshop 「Recent development on time series analysis and related topics」 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fujimori Kou, Goto Yuichi, Liu Yan, Taniguchi Masanobu
2. 発表標題 高次元・定常時系列に対するスパース主成分分析
3. 学会等名 科研費シンポジウム「大規模複雑データの理論と方法論-新たな発展と関連分野への応用-」 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Liu Yan
2. 発表標題 Semiparametric empirical likelihood for circular distribution
3. 学会等名 Waseda-Bologna Time Series Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Liu Yan
2. 発表標題 Detection of relevant change in frequency domain
3. 学会等名 Waseda-Rome Time Series Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 Fujimori Kou, Goto Yuichi, Liu Yan, Taniguchi Masanobu
2. 発表標題 The Lasso-based principal component analysis for high-dimensional stationary time series
3. 学会等名 日本数学会・北海道大学
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Liu Yan
2. 発表標題 A minimum contrast estimation for spectral densities of multivariate time series
3. 学会等名 日本数学会・北海道大学
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fujimori Kou, Goto Yuichi, Liu Yan, Taniguchi Masanobu
2. 発表標題 Sparse principal component analysis for high-dimensional stationary time series
3. 学会等名 科研費シンポジウム「データサイエンスと周辺領域の双方向的理解への挑戦」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Liu Yan, Omabao Hernando, Taniguchi Masanobu
2. 発表標題 Statistical inference for local Granger causality
3. 学会等名 科研費シンポジウム「データサイエンスと周辺領域の双方向的理解への挑戦」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fujimori Kou, Goto Yuichi, Liu Yan, Taniguchi Masanobu
2. 発表標題 The Lasso-based principal component analysis for high-dimensional stationary time series
3. 学会等名 九州大学・統計セミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fujimori Kou, Goto Yuichi, Liu Yan, Taniguchi Masanobu
2. 発表標題 The Lasso-based principal component analysis for high-dimensional stationary time series
3. 学会等名 EcoSta2022・龍谷大学（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Liu Yan
2. 発表標題 Detection of relevant change in frequency domain
3. 学会等名 EcoSta2022・龍谷大学（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 劉 言
2. 発表標題 On the model selection of symmetric alpha-stable processes
3. 学会等名 日本数学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤森 洸、後藤 佑一、劉 言、谷口 正信
2. 発表標題 Sparse principal component analysis for high-dimensional stationary time series
3. 学会等名 日本数学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Liu, Yan
2. 発表標題 Sphericity test for time series
3. 学会等名 Otsu International Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Xu, Xiaofei; Liu, Yan; Taniguchi, Masanobu
2. 発表標題 Higher order asymptotics of minimax estimators for time series
3. 学会等名 Otsu International Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Liu, Yan
2. 発表標題 Statistical and Topological Inference for Local Granger Causality
3. 学会等名 Waseda International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fujimori, Kou; Goto, Yuichi; Liu, Yan; Taniguchi, Masanobu
2. 発表標題 Sparse principal component analysis for high-dimensional stationary time series
3. 学会等名 Waseda International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Goto, Yuichi; Arakaki, Koichi; Liu, Yan; Taniguchi, Masanobu
2. 発表標題 Homogeneity tests for one-way models with dependent errors under correlated groups
3. 学会等名 Waseda International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Xu, Xiaofei; Chen, Ying; Liu, Yan; Goto, Yuichi; Taniguchi, Masanobu
2. 発表標題 Long-memory log-linear zero-inflated generalized Poisson autoregression for COVID-19 pandemic modeling
3. 学会等名 Waseda International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fujimori, Kou; Goto, Yuichi; Liu, Yan; Taniguchi, Masanobu
2. 発表標題 Sparse principal component analysis for high-dimensional stationary time series
3. 学会等名 多様な高次元モデルの理論と方法論：最前線の動向
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Liu, Yan; Goto, Yuichi, Taniguchi, Masanobu
2. 発表標題 Detection of relevant change in frequency domain
3. 学会等名 日本数学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤 佑一、新垣 航一、劉 言、谷口 正信
2. 発表標題 Homogeneity tests for one-way models with dependent errors
3. 学会等名 日本数学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Xu, Xiaofei; Liu, Yan; Taniguchi, Masanobu
2. 発表標題 Higher order asymptotics of minimax estimators for time series
3. 学会等名 日本数学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 劉 言
2. 発表標題 予測誤差に基づく時系列の統計的推測とその応用
3. 学会等名 統計関連学会連合大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤森 洸、後藤 佑一、劉 言、谷口 正信
2. 発表標題 高次元・定常な時系列に対するスパース主成分分析
3. 学会等名 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 劉 言、後藤 佑一、谷口 正信
2. 発表標題 周波数領域における顕要変化の検出
3. 学会等名 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤 佑一、新垣 航一、劉 言、谷口 正信
2. 発表標題 従属誤差を持つ一元配置モデルにおける均一性の検定
3. 学会等名 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Xu, Xiaofei; Liu, Yan; Taniguchi, Masanobu
2. 発表標題 時系列の高次漸近論を考慮したミニマックス推定
3. 学会等名 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青山 祐介、各務 文雄、柳沼 基、塩見 岳史、劉 言、谷口 正信
2. 発表標題 感性工学活用による燃料電池研究価値向上研究
3. 学会等名 日本感性工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 劉 言、木村 晃敏、谷口 正信、Ombao Hernando
2. 発表標題 パーシステントホモロジーによるグレンジャー因果性の可視化
3. 学会等名 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 劉 言、木村 晃敏、谷口 正信、Ombao Hernando
2. 発表標題 Topological analysis for local Granger causality
3. 学会等名 日本数学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Liu Yan
2. 発表標題 Statistical Inference for Persistence Landscapes of the Granger Causality
3. 学会等名 Waseda International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 劉 言、谷口 正信、Ombao Hernando
2. 発表標題 Hypothesis testing for local Granger causality
3. 学会等名 日本数学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Liu Yan
2. 発表標題 Statistical and Topological Inference of the Granger Causality
3. 学会等名 Waseda Cherry Blossom Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 Liu Yan、Hirukawa Junichi、Kakizawa Yoshihide	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 607
3. 書名 Research Papers in Statistical Inference for Time Series and Related Models	

1. 著者名 Liu Yan	4. 発行年 2021年
2. 出版社 DesignEgg Co.,Ltd.	5. 総ページ数 174
3. 書名 Foundations of Statistics A	



1. 著者名 Liu Yan	4. 発行年 2021年
2. 出版社 DesignEgg Co.,Ltd.	5. 総ページ数 150
3. 書名 Foundations of Statistics B	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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5件

国際研究集会 Waseda Seminar on High-dimensional Statistics I	開催年 2022年～2022年
国際研究集会 Waseda Seminar on Statistics	開催年 2022年～2022年
国際研究集会 Waseda Seminar on High-dimensional Statistics II	開催年 2022年～2022年
国際研究集会 Waseda mini-workshop "Recent development on time series analysis and related topics"	開催年 2022年～2022年
国際研究集会 Waseda Seminar on High-dimensional Statistics III	開催年 2022年～2022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		
イタリア	University of Bologna	University of Roma 'Tor Vergata'	
ルクセンブルク	University of Luxemburg		
サウジアラビア	KAUST		