

令和 4 年 5 月 11 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22837

研究課題名（和文）超高次元データによる個別化モデリングへの挑戦

研究課題名（英文）Tackling individualized modeling with ultra-high dimensional data

研究代表者

青嶋 誠（AOSHIMA, Makoto）

筑波大学・数理工学系・教授

研究者番号：90246679

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、既存の学術の体系を大きく見直し、個別化モデリングという新奇な発想から、超高次元データを高速で高精度に解析するための新たな技術を開発することで、科学技術・産業への革新的展開を目指したものである。次の3つの研究成果を得た。(1)超高次元データの高速クラスタリングとIID変換法の開発。(2)超高次元データの潜在構造とノイズ構造の精密な統計解析。(3)超高次元データによる個別化モデリング法の確立。この斬新なアプローチにより、既存の方法では不可能であった超高次元データの高速で高精度な分析が可能になった。これは、医療分野で特に価値があるだろう。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国主導で遺伝情報を用いた個別化医療開発が進んでいるものの、超高次元データの解析技術が確立されているとは言いがたい。本研究は、個別化医療を低コストで実現するために、超高次元データについて、モバイルPCでも処理できる高速計算と、高精度に処理できる統計解析、そして、それらの新技術を統合した個別化モデリング法を開発した。超高次元の天文データの解析にも使用され、モバイルPCであっても、個別化モデリング法はノイズを精密に処理して高速かつ高精度に潜在情報を抽出することが確認された。

研究成果の概要（英文）：In this study, we reviewed previous academic systems and developed a new technology for analyzing ultra-high-dimensional data at high speed and with high accuracy. The novel idea is "individualized modeling". We aimed at innovative developments in science, technology and industry. We produced the following significant results: (1) Developments of high-speed clustering for ultra-high-dimensional data, and the creation of the I.I.D. transformation method. (2) Precise statistical analysis for the latent structure and noise structure of ultra-high-dimensional data. (3) Establishment of the "individualized modeling" method using ultra-high-dimensional data. This novel approach now allows the high-speed, high-accurate analysis of ultra-high-dimensional data which had not been possible with existing methods. This will be of particular merit in the medical field.

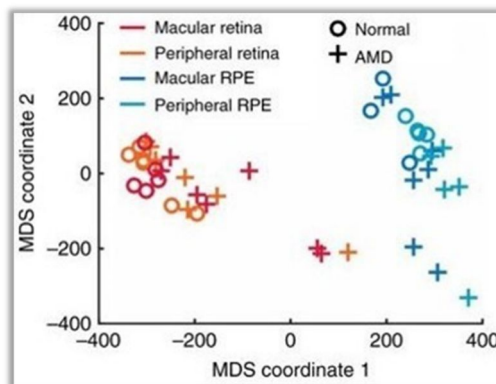
研究分野：統計科学

キーワード：超高次元データ 個別化モデリング 天体スペクトル 次世代シーケンサー クラスタリング 個別化医療

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

右図は、次世代シーケンサーによるゲノム構造活性データについて、Wang et al. (*Nature Communications* 9, 2018)の解析結果である。著者たちは、ゲノム領域数が300万次元を超える40個のサンプルを、既存の多次元尺度構成法で解析した。著者たちは、NormalとAMD(加齢黄斑変性)が上手く分離されているとの主張だが、統計学的には、両者が分離されているようには見えない。これは、多次元尺度構成法は超高次元データの巨大なノイズを処理できないことが原因であると考えられる。このように、最先端の超高次元データ解析において、統計手法の誤用がしばしば見られる。超高次元データ解析の統計的方法論は、体系的に与えられていないのが現状である。超高次元データは、個体差の特徴が複雑かつ膨大に絡み合っているため、精密な解析をするためには、既存の方法論を超えた新たな統計解析手法が必要になる。こういった状況でありながら、超高次元データ解析が確立されないまま、国主導で遺伝情報を用いた個別化医療開発が進んでいる。個別化医療を低コストで実現するためには、モバイルPCでも超高次元データを高精度に解析できる高速な方法論が必要である。以上のような背景から、超高次元データに対して統計解析法を整備し、個別化モデリング法として体系化することが急務であると考えた。



2. 研究の目的

近年、データの取得技術の進歩は目覚ましい。次世代シーケンサーでは、数百万から数千万次元にもなるゲノムデータの取得が容易になった。その一方で、データの解析技術は、遅れていると言わざるを得ない。実際、深層学習やスパースモデリングといった解析技術は、高い計算コストと理論上の制約があるために、こういった超高次元データに適用できない。

現在、超高次元データの解析技術が確立されないまま、国主導で遺伝情報を用いた個別化医療開発が進んでいる。今後、個別化医療を低コストで実現するためには、超高次元データについて、モバイルPCでも処理できる高速計算と巨大なノイズを正確に処理できる統計解析、そして、それらの新技術を統合した個別化モデリング法の確立が急務と考える。本研究は、既存の学術の体系を大きく見直し、個別化モデリングに着目して、超高次元データを高速で高精度に解析するための新たな技術の開発と、科学技術・産業への革新的展開を目指す。

次の3つを研究目的とする。

- (1) 超高次元データの高速クラスタリングとIID変換法の開発
- (2) 超高次元データの潜在構造とノイズ構造の精密な統計解析
- (3) 超高次元データによる個別化モデリング法の確立

なお、個別化モデリングという着眼点は、学界の常識を覆す斬新なアイデアである。本研究は、超高次元データの本質に合った新しいモデリングとして個別化モデリング法を創生し、従来の学術の体系や方向を大きく変革・転換させ、飛躍的な発展を志向するものである。

3. 研究の方法

研究目的(1)について、超高次元データは個体差の特徴が浮き彫りになるために、統計的な独立同分布(IID)の仮定が成立しない。個体差は個別化モデリングにとって重要な情報になるものの、特定の症例に関わるゲノム領域の統計的推測を行う上では巨大なノイズとなる。超高次元データから個体差の情報を如何に抽出するかが問題である。非正則な場合のカーネル法を考え、超高次元データを敢えて更に高い次元の空間に写像し、個体差の特徴をあぶり出すアイデアを試みる。計算コストが低く高精度な高次元主成分分析として知られる青嶋・矢田のクロスデータ行列法(*J. Multivariate Anal.* 101, 2010)を施し、クロスデータ行列法に基づく高速クラスタリング法を開発して個体差の特徴を抽出・分類し、それを除く空間にデータを射影することで超高次元データセットをIIDに変換するアイデアを試みる。

研究目的(2)は、(1)で個体差を除いたIIDデータについて、超高次元データが内包する母集団に関する巨大なノイズ構造を解析する。強スパイクなノイズの探索と分離に、青嶋・矢田のデータ変換法(*Statistica Sinica* 28, 2018)を使う。ノイズが分離された空間から潜在情報を特定し、統計解析の視覚化を試みる。

研究目的(3)は、(2)で巨大なノイズを分離したことで、構造が視覚化された超高次元データの潜在情報について、高精度な推定・検定、変数選択、判別分析などを構築する。高速クラスタリング法で抽出される個体差の情報と、ノイズ解析で得られる母集団の潜在情報を統合して、高速かつ高精度な個別化モデリング法を確立する。

4. 研究成果

本研究は、令和元年度から3年度の3年間で計画され、各年度の研究成果は次の通りである。

(1) 初年度に当たる令和元年度は、研究目的の(1)と(2)を遂行した。超高次元データは個体差の特徴が浮き彫りになるために、統計的な独立同分布(IID)の仮定が成立しない。個体差は個別化モデリングにとって重要な情報になるものの、特定の症例に関わるゲノム領域の統計的推測を行う上では巨大なノイズとなる。超高次元データから個体差の情報を抽出するために、修正ノイズ掃き出し法によるノイズ空間の解析法を開発し、巨大なノイズを除去して超高次元データセットをIIDに洗練化するデータ変換法を開発した。このデータ変換法を用いて、次世代シーケンサーによる300万次元のゲノム構造活性データをたった40標本で解析し、データの潜在構造とノイズ構造の分離および高速クラスタリングを、モバイルPCによる5分程度の処理で解析することに成功した。本研究の成果は世界的に注目され、多数の招待講演を行った。特に、青嶋はニューヨークで開催された国際学会で基調講演を行い、矢田と石井はそれぞれ台湾で開催された経済統計の国際学会で招待講演を行った。なお、本研究に関連して、青嶋と矢田は国際賞 Abraham Wald Prize を受賞し、さらに青嶋は東京理科大学物理学園賞も受賞した。

(2) 2年目に当たる令和2年度は、研究目的(1)について、潜在構造の推定と変数選択を同時に処理することができる高次元スパースPCAを開発し、超高次元データに対する高速かつ高精度なクラスタリングを実現した。研究目的(2)について、2つの母集団の超高次元データに青嶋・矢田のデータ変換法を施すことで、ノイズ構造を幾何学的表現で精密に捉え、さらに、2つの母集団の潜在構造の異質性を高い精度で検出することに成功した。研究目的(3)について、高次元カーネル法における特徴空間の幾何学的表現を新しく導出し、カーネルPCAに組み込むことで、超高次元データがもつ個の特徴量の抽出が可能となった。なお、開発したスパースPCAを天文学に応用することで、高次元小標本の天体スペクトルデータについて、ノイズ除去と変数選択を自動処理し、従来は見つけることができなかった個別データのスペクトル構造を抽出することにも成功した。本研究の成果は世界的に注目され、幾つかの国際会議で基調講演と招待講演が予定されていたが、コロナ禍のためキャンセルとなった。本研究課題に関連するシンポジウムを、感染症防止対策を遵守し、対面+オンライン(Zoom)のハイブリッド形式により、つくば国際会議場で開催した。なお、青嶋は、本研究課題に関連して令和2年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞(研究部門)を受賞した。

(3) 最終年度に当たる令和3年度は、研究目的(1)について、カーネルPCAの高次元漸近的性質を明らかにし、最適なカーネル関数の選択法を与え、超高次元データにおいても高速かつ高精度なクラスタリング法を開発した。研究目的(2)について、超高次元データの階層的な潜在構造に着目し、個のデータがもつノイズ構造と潜在構造の距離が最大となるように距離関数を選び、個の潜在空間に基づく階層的な分類を可能にした。研究目的(3)について、個の特徴がノイズに埋もれることで一点に集中するという"data piling"現象を解明し、それを防ぐための新たな距離加重分類法(DWD)を提案した。この分類法に基づいて、巨大な個の特徴量を浮き彫りにする個別化モデリング法が開発された。本研究は、天体の分光観測による分光マッピングなど、超高次元の天文データにも応用された。個別化モデリング法を用いることで、モバイルPCでも、高速にノイズを処理して各天体がもつ個の潜在構造を高精度に抽出することが確認された。本研究の成果は世界的に注目され、幾つかの国際会議で特別講演と招待講演を行った。本研究課題に関連する国際シンポジウムを、対面+オンライン(Zoom)のハイブリッド形式により、つくば国際会議場で開催した。なお、本研究課題に関連し、青嶋は筑波大学 Best Faculty Member Award を受賞し、石井は日本計算機統計学会奨励賞と応用統計学会奨励論文賞を受賞した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 青嶋 誠、石井 晶、矢田和善	4. 巻 73
2. 論文標題 論説：高次元小標本における統計的仮説検定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 数学	6. 最初と最後の頁 360～379
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 Ishii Aki, Yata Kazuyoshi, Aoshima Makoto	4. 巻 73
2. 論文標題 Hypothesis tests for high-dimensional covariance structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Annals of the Institute of Statistical Mathematics	6. 最初と最後の頁 599～622
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10463-020-00760-5	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 Nakayama Yugo, Yata Kazuyoshi, Aoshima Makoto	4. 巻 185
2. 論文標題 Clustering by principal component analysis with Gaussian kernel in high-dimension, low-sample-size settings	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Multivariate Analysis	6. 最初と最後の頁 104779～104779
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmva.2021.104779	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 Egashira Kento, Yata Kazuyoshi, Aoshima Makoto	4. 巻 4
2. 論文標題 Asymptotic properties of distance-weighted discrimination and its bias correction for high-dimension, low-sample-size data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Statistics and Data Science	6. 最初と最後の頁 821～840
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s42081-021-00135-x	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 Yata Kazuyoshi, Aoshima Makoto	4. 巻 47
2. 論文標題 Geometric consistency of principal component scores for high dimensional mixture models and its application	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scandinavian Journal of Statistics	6. 最初と最後の頁 899 ~ 921
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/sjos.12432	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 Ishii Aki, Yata Kazuyoshi, Aoshima Makoto	4. 巻 49
2. 論文標題 High-dimensional Two-sample Test Procedures under the Strongly Spiked Eigenvalue Model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ouyou toukeigaku	6. 最初と最後の頁 109 ~ 125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5023/jappstat.49.109	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 Nakayama Yugo, Yata Kazuyoshi, Aoshima Makoto	4. 巻 72
2. 論文標題 Bias-corrected support vector machine with Gaussian kernel in high-dimension, low-sample-size settings	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Annals of the Institute of Statistical Mathematics	6. 最初と最後の頁 1257 ~ 1286
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10463-019-00727-1	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 Aoshima Makoto, Yata Kazuyoshi	4. 巻 71
2. 論文標題 Distance-based classifier by data transformation for high-dimension, strongly spiked eigenvalue models	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Annals of the Institute of Statistical Mathematics	6. 最初と最後の頁 473 ~ 503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10463-018-0655-z	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 Aoshima Makoto, Yata Kazuyoshi	4. 巻 21
2. 論文標題 High-dimensional quadratic classifiers in non-sparse settings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Methodology and Computing in Applied Probability	6. 最初と最後の頁 663 ~ 682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11009-018-9646-z	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 Ishii Aki, Yata Kazuyoshi, Aoshima Makoto	4. 巻 202
2. 論文標題 Equality tests of high-dimensional covariance matrices under the strongly spiked eigenvalue model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Statistical Planning and Inference	6. 最初と最後の頁 99 ~ 111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jspi.2019.02.002	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 Ishii Aki, Yata Kazuyoshi, Aoshima Makoto	4. 巻 2
2. 論文標題 Inference on high-dimensional mean vectors under the strongly spiked eigenvalue model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Statistics and Data Science	6. 最初と最後の頁 105 ~ 128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s42081-018-0029-z	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 Ishii Aki, Yata Kazuyoshi, Aoshima Makoto	4. 巻 294
2. 論文標題 A quadratic classifier for high-dimension, low-sample-size data under the strongly spiked eigenvalue model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 14th Workshop on Stochastic Models, Statistics and their Application	6. 最初と最後の頁 131 ~ 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-28665-1_10	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 Ishii Aki	4. 巻 49
2. 論文標題 A classifier under the strongly spiked eigenvalue model in high-dimension, low-sample-size context	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications in Statistics - Theory and Methods	6. 最初と最後の頁 1561 ~ 1577
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/03610926.2018.1528365	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 -

[学会発表] 計23件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 青嶋 誠
2. 発表標題 高次元小標本の統計学：非スパース性と巨大ノイズ (特別講演)
3. 学会等名 統計数理研究所リスク解析戦略研究センターシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ishii A., Yata K., Aoshima M.
2. 発表標題 High-dimensional quadratic classifiers under the strongly spiked eigenvalue model
3. 学会等名 IISA 2021 Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yata K., Ishii A., Aoshima M.
2. 発表標題 Tests for covariance structures in high-dimensional data
3. 学会等名 The 4th International Conference on Econometrics and Statistics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ishii A., Yata K., Aoshima M.
2. 発表標題 High-dimensional classifiers under the strongly spiked eigenvalue model
3. 学会等名 The 4th International Conference on Econometrics and Statistics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nakayama Y., Yata K., Aoshima M.
2. 発表標題 Clustering by kernel PCA with Gaussian kernel and tuning for high-dimensional data
3. 学会等名 The 4th International Conference on Econometrics and Statistics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yata K., Aoshima M.
2. 発表標題 Sparse PCA for high-dimensional data based on the noise-reduction methodology and its application
3. 学会等名 The 63rd ISI World Statistics Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nakayama Y., Yata K., Aoshima M.
2. 発表標題 Asymptotic properties of high-dimensional kernel PCA and its applications
3. 学会等名 International Symposium on New Developments of Theories and Methodologies for Large Complex Data (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井 晶
2. 発表標題 単一強スパイク固有値モデルにおける高次元平均ベクトルの2標本検定（応用統計学会学会賞受賞者講演）
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 矢田和善、石井 晶、青嶋 誠
2. 発表標題 高次元データにおけるノイズ構造の高精度な解析に基づく統計的推測
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 竹内 努、矢田和善、青嶋 誠、石井 晶、江頭健斗、河野 海、中西康一郎、Suchetha COORAY、河野孝太郎
2. 発表標題 高次元統計学の方法による銀河の分光マップの解析
3. 学会等名 科研費シンポジウム「多様な分野における統計科学に関する理論と方法論の革新的展開」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢田和善、青嶋 誠
2. 発表標題 ノイズ掃き出し法による高次元スパースPCAについて
3. 学会等名 日本学術振興会科学研究費による研究集会「大規模複雑データの理論と方法論：最前線の動向と新たな展開」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeuchi T, Kono K, Nakanishi K, Yata K, Aoshima M, Egashira K, Ishii A
2. 発表標題 High-Dimensional Statistics for Integral Field Spectroscopic Data
3. 学会等名 日本学術振興会科学研究費による研究集会「初代星・初代銀河研究会2020」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内 努、河野 海、中西康一郎、矢田和善、青嶋 誠、石井 晶、江頭健斗
2. 発表標題 Analysis of Spatially Resolved Galaxy Spectra as a High-Dimensional Low-Sample Size Data Problem
3. 学会等名 日本学術振興会科学研究費による研究集会「大規模複雑データの理論と方法論：最前線の動向と新たな展開」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeuchi T, Kono K, Nakanishi K, Yata K, Aoshima M, Egashira K, Ishii A
2. 発表標題 High-Dimensional Statistical Analysis of ALMA Spectroscopic Mapping Data
3. 学会等名 自然科学研究機構：自然科学研究における機関間連携ネットワークによる拠点形成事業シンポジウム「自然科学における階層と全体」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeuchi T, Kono K, Yata K, Aoshima M, Ishii A, Nakanishi K, Egashira K, Cooray S, Kohno K
2. 発表標題 High-Dimensional Statistical Analysis of the ALMA Spectroscopic Map of a Nearby Galaxy NGC 253
3. 学会等名 Galaxy Evolution Workshop 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内 努、河野 海、中西康一郎、矢田和善、青嶋 誠、石井 晶
2. 発表標題 Analysis of Integral Field Spectroscopic Data as a High-Dimensional Low-Sample Size Data Problem
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aoshima Makoto
2. 発表標題 High-Dimensional Statistical Analysis: Non-Sparsity, Strongly Spiked Noise and HDLSS (Keynote Speech)
3. 学会等名 The 7th International Workshop in Sequential Methodologies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yata Kazuyoshi、Aoshima Makoto、Nakayama Yugo
2. 発表標題 A Test of Sphericity for High-Dimensional Data and Its Application for Detection of Divergently Spiked Noise
3. 学会等名 The 7th International Workshop in Sequential Methodologies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yata Kazuyoshi、Aoshima Makoto
2. 発表標題 A high-dimensional quadratic classifier by data transformation for strongly spiked eigenvalue models
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Econometrics and Statistics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢田和善、石井 晶、青嶋 誠
2. 発表標題 Geometrical quadratic discriminant analysis for high-dimension, strongly spiked eigenvalue models
3. 学会等名 日本学術振興会科学研究費による研究集会「高次元複雑データの統計モデリング」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ishii Aki, Yata Kazuyoshi, Aoshima Makoto
2. 発表標題 Tests of high-dimensional correlation matrices on the basis of eigenstructures
3. 学会等名 The 7th International Workshop in Sequential Methodologies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ishii Aki, Yata Kazuyoshi, Aoshima Makoto
2. 発表標題 Inference on mean vectors for high-dimensional data with the strongly spiked eigenstructure
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Econometrics and Statistics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ishii Aki, Yata Kazuyoshi, Aoshima Makoto
2. 発表標題 Tests for high-dimensional covariance structures under the SSE model
3. 学会等名 International Symposium on Theories and Methodologies for Large Complex Data (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 青嶋 誠、矢田 和善	4. 発行年 2019年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 120
3. 書名 高次元の統計学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

青嶋研究室ホームページ https://www.math.tsukuba.ac.jp/~aoshima-lab/jp/
--

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	矢田 和善 (YATA Kazuyoshi) (90585803)	筑波大学・数理物質系・准教授 (12102)	
研究分担者	石井 晶 (ISHII Aki) (20801161)	東京理科大学・理工学部情報科学科・講師 (32660)	
研究分担者	赤平 昌文 (AKAHIRA Masafumi) (70017424)	筑波大学・数理物質系(名誉教授)・名誉教授 (12102)	

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 International Symposium on New Developments of Theories and Methodologies for Large Complex Data	開催年 2021年～2021年
国際研究集会 International Symposium on Theories and Methodologies for Large Complex Data	開催年 2019年～2019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			
米国	Princeton University	University of North Carolina		
中国	Academia Sinica			
ノルウェー	University of Stavanger			
韓国	Seoul National University			