

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11707

研究課題名(和文)関数データ解析に基づく高次元データのための新たな統計的モデリングの開発と適用

研究課題名(英文)Development of novel statistical modeling based on functional data analysis for high-dimensional data and its application

研究代表者

荒木 由布子 (ARAKI, YUKO)

東北大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：80403913

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、時空間で変動する高次元データを対象に、関数データ解析法による統計モデルの開発を目的とし、データの関数化(次元縮小)、関数データ集合への解析モデル開発という理論的研究と、実データに新モデルを適用する実践的研究である。理論的研究では、経時測定データから時空間データへ適用できる次元縮小法を発展させるとともに、経時測定データへのベイジアン非線形分位点混合効果モデルの開発と実データへの適用、時空間データへの多変量関数主成分分析の適用、ヒトの共変量を含む高次元データのクラスタリングとその結果を共変量にもつ生存時間解析の新モデルの検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

様々なタイプの高次元データに適用可能な、関数データ解析法による多変量解析法の体系化が喫緊の学術的課題である。本研究で、ベイズ型非線形混合効果分位点回帰モデルの提案、多変量関数主成分分析のセンサーデータへの適用、関数convex clusteringとその結果を共変量に持つCox PHモデルの検討を行い、非高次元経時測定データから高次元時空間データへ、さらにそこから多層高次元時空間データへ、と対象を広げ、関数データ解析の多変量解析モデル開発という体系化へ道筋をつけた。さらに提案手法や適用先について小児体内周期、医療トリアージ、手話学習者データに適用して、手法の提案と適用の新展開を行った。

研究成果の概要(英文)：This research aims to develop statistical models based on functional data analysis for high-dimensional data that exhibit spatiotemporal variation. It consists of both theoretical and practical studies, including the theoretical development of smoothing (functionalization: dimension reduction) and the development of statistical models for functional data sets, as well as the application of the new models to real-world data. In the theoretical study, we expanded dimension reduction methods that can be applied from longitudinal measurements to spatiotemporal data. We also developed a Bayesian nonlinear quantile mixed-effects model for longitudinal measurements and applied it to the neonatal hormone secretion data. Furthermore, we explored the application of multivariate functional principal component analysis to sensor data of sign language learners.

研究分野：統計数理学

キーワード：関数データ解析 高次元データ 凸クラスタリング 経時測定データ 非線形分位点回帰モデル ベイズ推定

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

最近の高度な測定技術で収集された複雑・多様化した価値のあるデータが社会に大量に蓄積されている。頭部磁気共鳴(MRI)データ、脳波測定データや近赤外線分光法(NIRS)の時系列データ、GPSにより観測された時空間 Traffic データなどは高次元データと呼ばれている。本研究でターゲットとした高次元データは、従来の手法では有効な情報の抽出が難しいため、新たな手法開発が学界とデータ解析現場から強く求められている。

高次元データの解析では、未知パラメータ数が大である一方標本数が限られているため、適切な次元縮小と安定した汎化能力の高い統計モデルのパラメータ推定が難しい。その結果、諸科学の高次元データを扱う研究現場では、部分データや平均値による解析、仮定の検討や結果に至る説明が不可能な従来の統計モデルの適用や、次々と提案される一方で理論的基盤の確立と手法に固有の評価指標の開発が不十分な機械学習法の適用など、結果の追求が最優先され、分析結果から信頼性と有益な情報が失われている懸念が残る現状があった。

研究代表者は、2000年以降、高次元データから有効な情報を抽出するために関数データ解析法を使った統計モデルの理論的な開発研究に取り組んできた。関数データ解析法とは、各個体や対象に対して、離散点で経時的・空間的に観測・測定された一組のデータを滑らかな関数として捉えて関数化(代表的には基底関数の線形結合で表現する)して次元縮小(平滑化)を行い、その関数化データの集合から有効に情報を抽出するための統計モデルからなる、一連の手法である。

研究代表者は、引き続き関数データ解析法による統計モデル理論の開発・拡張に取り組む過程で、高次元医用データや、理工系分野・社会で大量に生み出されている多層構造をもつ時空間の高次元データに接し、従来の関数データ解析法を、時間相関とともに空間相関を定式化して多層構造を持つモデルへ拡張するというアイデアを得た。すなわち関数データ解析法を「内在的な特徴の抽出法」として再定義し、高次元データのもつ特徴(例えば多層な構造)に着目する、新しい発想による関数データ解析を中心とした統計モデルの開発・体系化を目指して、検討を開始した。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、時間・空間で変動する高次元データに、関数データ解析法を用いて新たな統計モデルの理論的な開発を行い、実データへ適用してモデルをさらに進化させつつ新たな知見を得る実践的な開発も行うことであった。関数データ解析は、第1段階:データの関数化(次元縮小)、第2段階:関数データを対象とした統計モデル開発からなる。

したがって本研究で目的とする関数データ解析法を使った統計モデルの開発とは、第1段階での非高次元経時測定データから高次元時空間データへ、さらに将来的には多層構造高次元時空間データへとターゲットを広げる狙いを持った次元縮小法の開発と、第2段階での関数主成分分析、関数判別分析から一般化線形モデル、非線形モデル、構造方程式モデル、生存時間解析モデルの構築(将来的な体系化の際にはそろっていることが望ましい)という関数化多変量解析モデルの開発過程に整理できる。この過程において、高次元データでも適切な関数化が極めて困難な、ますます増加すると予想される複雑な多層構造をもつデータに対して適用対象を拡大して、安定した推定値を与え理論的基盤をもつ関数化モデルの構築が、将来的な研究目的達成の鍵でもある。

さらに第3段階の実証的研究として、構築したモデルを、分担者や協力者から提供された実データ(頭部MRIデータ、被爆者長期成人健診データ、手話動作計測データなど)へ適用し、該分野での既存分析手法では得られなかった新たな知見を得ることである。実データには高次元データでも多層構造データも含まれ、理論と実践を連携させるモデル開発に最適である。

### 3. 研究の方法

本研究を上述の3つの段階を元に、以下の研究トピックで構成した方法の検討を試みた。

第1段階・関数化: 1)各個体(対象)に対して、多数の離散点で測定された一組の高次元データを次元縮小のために、従来のスパース推定法ではなく、基底展開とスパース主成分分析を用いた、申請者独自の合成基底関数展開法を用いて関数データを求める。この方法を用いることで、データに適した基底関数を構築し柔軟なモデリングが可能となる狙いがある。および高次元データでも、適切な関数化が極めて困難でますます増加すると予想される複雑な多層構造をもつデータに将来的に適用対象を拡大でき、安定した推定量を与え、理論的基盤をもつ関数化モデルを構築することである。

第2段階・関数化データを対象にした統計モデル開発: 2)多変量解析の基本モデルである一般化線形モデルを高次元データへ拡張した、関数一般化線形モデルを新たに構築する。さらに関数一般化線形モデルを元に、多変量解析手法の種々の手法を包含する関数構造方程式モデルの開発へと発展させる。3)機械学習の分野で有用性が注目されており、事前にクラスタ数を与える必要がなく、正則化アルゴリズムによる計算時間短縮も提唱されている凸クラスタリングを関数データの枠組みで展開して、群ラベルを共変量に含む、高次元データに適用可能な生存時間解析

の Cox 比例ハザードモデルを構築する。凸クラスタリングの活用は関数データ解析分野では初の試みである。4)新モデルのために、Jensen-Shannon 情報量やベイズ型情報量に基づく情報量規準を開発する。これらはモデルの設定・推定・評価を行う理論体系の確立をめざすことになる。

特に、第1段階の関数データ化における非線形回帰モデルのパラメータ推定と、第2段階の統計モデルのパラメータ推定を各段階で行う「2段階法」(推定方程式が簡便で計算量が少)と、2つの段階のパラメータを同時にベイズ推論により推定する「ジョイント法」(観測誤差・個体間変動が大きい場合にも有効)を併用し、導出した情報量規準により適切な方法を選択する。

第3段階・実践的研究: 5)各種の医用・工学データに提案モデルを適用した実践的研究を行って新たな知見を得る。さらにその成果を統計モデルに反映し、理論の精緻化をはかる。

#### 4. 研究成果

研究期間の3年間で得られた成果は、上記1)~5)に記述した豊富な内容の一部であるが、その内容を以下の3トピックに絞って述べる。そして上記の「3. 研究の方法」のうち、第1段階の高次元データの関数データ化のモデル開発は、以下の理論的研究を主として実行したものと、第2段階以降の2)~5)とも連携し実践的研究へも展開したものに分けられる。

##### (1) 関数データに基づく混合治癒モデル(生存時間解析モデル)の検討開始

生存率やイベント発生までの時間を予測し、さらにそれらに関連するリスク因子とその影響度を明らかにするため、一般的には Cox 比例ハザードモデルや比例オッズモデルなどの生存時間解析が用いられる。生存時間解析のうちでも混合治癒モデルは、母集団にあるイベントが将来的にも発生しない一定の"治癒群"の存在を仮定した上で、ハザード関数や治癒確率を推定する比較的新しい手法である。

治癒率は、例えばがん患者の予後指標を通常の5年生存率とすると、個別のばらつきに対応できないため、生存率に替わる新たな指標として注目されてきた。治癒率を指標とするモデリングでは、治癒群の存在を考慮したうえで、治癒確率や非治癒群の生存関数を共変量の影響も捉えながら推定するため、比例ハザードモデルを発展させたタイプの混合治癒モデルなどが提案されている。

今の医療現場では、ウェアラブルデバイスから観測された生体信号や、ベースライン期間に観測された個体の生物学的観測値の時間的変動など、時間や空間の経過に伴い変化する多くの値が測定されている。本研究では、それらが通常のスカラー値と共に、治癒率や生存時間関数へ影響がある場合を考えようと試みた。

関数データ解析を用いた生存時間モデルには、近年になって関数データに基づく Cox 比例ハザードモデルなど、関数共変量の対数ハザード関数への影響を捉えるモデルが存在する。一方で、母集団に一定割合の治癒群が存在する場合、上述の理由でこれらのモデルは適用できない。本研究で検討を開始した関数データに基づく混合治癒モデルでは、Cox 比例ハザードモデルを基盤としたモデルの共変量にベースラインで観測された生物学的観測値の関数データを含むとき、この係数関数の推定が新たに通常の混合治癒モデルに付加されることになる。すなわち、これらを考慮した全生存関数(混合治癒モデル)を、治癒確率(サブモデル)と、非治癒確率と非治癒群の生存関数(ハザード関数)の積で捉えるモデルを構築した。さらにそのモデルのうち、治癒確率に関する治癒サブモデルと、非治癒のハザード関数を推定するための潜在サブモデルでは、スカラーと関数データの2種類の共変量の存在を仮定して、モデリングを行った。

それぞれのサブモデルには、目的変数がスカラーの場合の関数回帰モデルが活用でき、離散点観測の関数化は、基底展開法やガウス過程を用いることができる。サブモデルを構築する過程で [Shyら\(2022\)](#) は主成分規定を用いた平滑化を行って、関数混合治癒モデルを展開している。本研究では、治癒したかどうかは潜在変数であり観測されないため、EM アルゴリズムを用いてパラメータの推定を行う新モデルの検討を開始した。まだ検討段階に過ぎないが、今後はさらにモデルを精緻化し、数値実験による挙動の検証と実データへの適用を、本研究費の援助が終了したあとも続けていく計画である。

##### (2) 分位点回帰モデルの開発と実践的研究(社会への成果発信)

一般に回帰モデルは目的変数の共変量の平均的效果を捉えるには有用であるが、目的変数の分布が非対称型であるか、分散が大きい場合に目的変数の分位点に着目する分位点回帰法が有効である。一方、経時測定データも種々の型の高次元データが収集されて、これらのデータに対応できる分位点回帰法の開発が急務であった。そのうち経時データへの分位点回帰モデルの従来法では、特定の非線形構造を定めた正則化法によって基底関数(もしくは回帰モデル)のパラメータを推計していたが、必ずしも対象としたデータが特定の形の非線形構造をもつ場合とは限らないこと、非線形型の実データの平滑化(次元縮小)過程での基底関数のパラメータ推計の計算量が膨大となり推計が困難な場合が多かった。

本研究の目的は上記の課題を解決するため、非線形構造で階層構造をもつ高次元経時測定データへ適用できるような、現象の分位点の情報を精度よく効率的に抽出できる、非線形混合効果モデルとベイズ推定を組み合わせた分位点回帰モデル(Bayesian Nonparametric Quantile Mixed effects Models, BNQMM)を提案することであった。

本研究では、臨床現場での新生児のコルチゾール測定値を想定し、モデル開発の対象データ

(目的変数)が非対称型,非線形型,かつ多層構造をもつ高次元データとし,「基底展開」に「混合効果モデル」を組み合わせて,さらにこれらを「分位点回帰モデル」へ組み込んだ。

非線形の事象を平滑化するためには事前に特定の非線形関数を仮定する必要があるが,その仮定なしに基底関数を使うことで分位点の特徴と捉えた非線形関数を推計できるようにした。そして多層構造の高次元データに適用可能とするため,基底展開に混合効果モデル(固定効果と変量効果の和)を組み込んだ。混合効果モデリングでは,基底関数の数と正則化パラメータ値の設定との最適化を図る必要があるが,従来,計算上の複雑さの観点から最適化が困難であった。そのため本研究では,基底関数の係数パラメータ推計のために機械学習で多用されるガウス過程の事前分布を使ったベイズ推定を採用して,非線形構造の複雑性のために基底関数の数が過度になる過適合を小さくした。さらにベイズ型情報量による新たな評価規準を導出して,ガウス過程分布のハイパーパラメータの候補値から最適なものを選択した。実際値からの分位点ごとの時間的に変化する特徴を捉えるため,上位 2.5%・下位 2.5%などの分位点の事後の 95%の信頼区間を求めた。

上述のとおり,階層構造をもつ高次元データへ適用した混合効果モデルの推計を行う過程で,基底関数の数と正則化パラメータ値との最適化を図らなければならないという課題がある。つまり,従来,対象とするデータへの最適解を得るために,事前分布のハイパーパラメータの点推定作業を繰り返す必要があり,計算上の複雑さから最適化が困難であった。本研究では,ハイパーパラメータ値の評価のためベイズ型の情報量規準を構築してその困難性を克服した。モンテカルロ法による数値実験によって,実験で設定した種々の構造の高次元データに対して,本モデルは他の類似の手法に比較して,最も高い正確性と有用性を示す結果が得られた。

ヒトのコルチゾールは副腎皮質から分泌され様々な体内代謝に関連し,抗炎症・免疫抑制作用をもつ重要なホルモンで,生物学的リズムを知るマーカーであるとされる。本研究では,入院を要する早産の 455 新生児について生後 31 日から 124 日まで採取した小水に含まれるコルチゾール分泌物値(8 回測定/日,ただし測定のタイミングは不規則的)を上記のモデルによって分析し,新生児の出生時からの経過時間とコルチゾール値の各層での変化の様子を適切に捉えることができた。本研究成果は国際論文へ採択され,社会への発信という目標を達成できた。

また,本研究で構築した分位点回帰モデルは,高次元データのうちでも経時測定データから MRI 画像など時空間データへのこれからの発展を目指している。

### (3) 多変量関数主成分分析モデルの実践的研究

本研究は手話研究分野に関数データ解析法を新たに導入して,手話の分析法と手話教育システムの改善につながる,多変量関数主成分分析法を使った手話動作分析を提案した研究である。元々,手話は連続的な動作により言語が構成され,手話動作を測定したデータは高次元時空間データに位置付けられる。先行研究では手のひらや手指の動きに着目して手話動作を評価していた。本研究では手指,肘,肩などの他の部位を含む動きを分析した。その結果,動作の中でどのような特徴があるのかを時間変化とともに捉え,そのデータに多変量関数主成分分析を適用して,時空間の中の動作を少数の成分として抽出することができた。この成果は従来法である深層学習の手法では得られなかったものである。結果を以下に述べる。

データの関数化の過程では,基底関数に B-スプライン関数を使い,複数の多項式によって関数化データを構成した。さらにその基底関数のパラメータ推定を,ペナルティ項を尤度関数に加えた正則化最尤推定法を用いた。得られたモデルを,予測誤差の推定に使われるクロスバリデーション法を用いて評価して,最適な基底関数を得た。そして関数化データに適用する多変量関数主成分分析法のうち,ここでは変動が大きく異なる関数を同時に扱うことで推定制度の低下を防ぐ Happ and Greven(2018)の方法を使用した。

対象としたデータは,2019 年に静岡大学西田研究室にて Kinect を呼ばれるジェスチャー・音声認識システムにより測定した手話のセンサーデータで,被験者(手話学習者)10 名,30 単語,1 単語あたり 5 回の観測,18 箇所の観測部位,1 秒あたり 30 時点の値からなる。

「富士山」という単語の手話動作に着目すると,元々「富士山」は左右対称の動作をする単語であり,「手を体の前に構え,両手が離れたように手を外側に横移動させる」「その後,両手を斜め下方向に手が広がるように移動させる」という 2 つの動作で構成される(図 5)。

分析の結果,主成分ごとの個体差を示す指標(観測部位のばらつき程度)のスコア中央値が 0.48 と 0.24 である,主要な 2 成分が抽出された。そして主成分ごとの観測部位でのばらつき指標から,左手の動作が右手に対して個人の特徴が大きいこと,特にその特徴は左手の手のひらと指先に現れていることが明らかになった。また時間の経過と動作の個体間のば

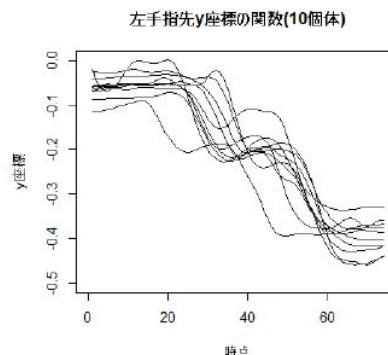


図 5 10 個体の関数  
Fig. 5 Function of ten subjects.

Table 4 Distance from master data.

個体	E	I	G	B	J
距離	0.212	0.355	0.755	0.833	1.486
個体	H	D	C	F	A
距離	2.344	2.560	2.624	2.881	4.179

らつきでは、動作の約 50%以降にその傾向が現れており、特に手を下に移動させる動作が個体ごとにはばらついていることがわかった。

各々の手話学習者の評価として「お手本」の動作との個体の成分得点間の距離で評価すると、個体差が大きく現れている学習者グループとお手本と似た動作をする学習者グループに 2 分することができた(表 4)。さらに観測された全単語に対して分析すると、学習に難しい傾向のある単語や、学習者を総合的に定量的に評価することもできた。本研究成果も学術論文に掲載され、社会への成果発信、情報発信という目標を達成した。

今後の発展として、上記の評価値の基準を定めることができれば、手話の熟練者と非熟練者の区別や、学習が難しい単語・難しい動作をリストアップして手話学習者に単語の傾向に沿った学習支援が行えると期待される。

#### <引用文献>

Happ, C., Greven, S. (2018). Multivariate functional principal component analysis for data observed on different(dimensional) domains. Journal the American Statistical Association. 113, 522, 649-659.

Sy, J. P. and J. M. Taylor (2000). Estimation in a cox proportional hazards cure model. Biometrics 56(1), 227-236.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Osuke Iwata, Sachiko Iwata, Tsuyoshi Kurata, Kennosuke Tsuda, Koya Kawase, Masahiro Kinoshita, Yung-Chieh Lin, Mamoru Saikusa, Yuko Araki, Sachio Takashima, Motoki Oda, Etsuko Ohmae, Shiji Saitoh	4. 巻 11
2. 論文標題 Foetal growth, birth transition, enteral nutrition and brain light scattering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific reports	6. 最初と最後の頁 21318 - 21318
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-00624-9	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 Yuta Tanabe, Yuko Araki, Masahiro Kinoshita, Hisayoshi Okamura, Sachiko Iwata & Osuke Iwata	4. 巻 -
2. 論文標題 Bayesian nonparametric quantile mixed-effects models via regularization using Gaussian process priors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Statistics and Data Science	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) 10.1007/s42081-022-00158-y	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 Imai K, Suzuki T, Fukaya S, Karasawa Y, Bando Y, Sawaki D, Araki Y, Saitoh S, Iwata O.	4. 巻 In Press
2. 論文標題 A New Quantitative Triage System for Hospitalized Neonates to Assist with Decisions of Hospital Evacuation Priorities	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Prehosp Disaster Med	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S1049023X22000553	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 Nagai Y, Mizutani Y, Nomura K, Uemura O, Saitoh S, Iwata O.	4. 巻 82(2)
2. 論文標題 Diagnostic rate of autism spectrum disorder in a high-survival cohort of children born very preterm: a cross-sectional study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Int J Dev Neurosci	6. 最初と最後の頁 188-195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jdn.10168.	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 Kuroda M, Suetsugu Y, Iwata S, Kinoshita M, Fujita F, Sato Y, Saitoh S, Iwata O, Morokuma S.	4. 巻 11(1)
2. 論文標題 Influence of mothers' nighttime responses on the sleep-wake rhythm of 1-month-old infants.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sci Rep.	6. 最初と最後の頁 24363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-03717-7	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 櫻田京之介, 荒木由布子, 和泉勇希, 西田昌史	4. 巻 22(4)
2. 論文標題 手話データの多変量関数主成分分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ヒューマンインタフェース学会論文誌	6. 最初と最後の頁 475-484
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11184/his.22.4_475	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 田辺佑太, 荒木由布子	4. 巻 -
2. 論文標題 ガウス過程分位点帰帰モデリングと新生児ホルモン分泌リズムの解明	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020年度科研費シンポジウム「多様な分野のデータに対する統計科学・機械学習的アプローチ」報告書	6. 最初と最後の頁 11-12
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 田邊 倭, 板東 蓉子, Kim Taejin, 荒木由布子	4. 巻 -
2. 論文標題 初回走者一塁におけるエンドランの成功要因分析 (奨励賞受賞)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第10回スポーツデータ解析コンペティション報告書	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 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 大嶋夏乃, 澤本拓真, 澤木大輔, 金子楓果, 荒木由布子	4. 巻 -
2. 論文標題 グラフィカルモデリングを用いたハイプレス有効性の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第10回スポーツデータ解析コンペティション報告書	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 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 Sachiko Iwata, Reiji Katayama, Kennosuke Tsuda, Yung-Chieh Lin, Tsuyoshi Kurata, Masahiro Kinoshita, Koya Kawase, Takenori Kato, Shin Kato, Tadashi Hisano, Motoki Oda, Etsuko Ohmae, Sachio Takashima, Yuko Araki, Shinji Saitoh, Osuke Iwata	4. 巻 9
2. 論文標題 Near-infrared light scattering and water diffusion in newborn brains	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ANNALS OF CLINICAL AND TRANSLATIONAL NEUROLOGY	6. 最初と最後の頁 1417-1427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/acn3.51641	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26件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 田邊倭, 板東蓉子, 荒木由布子
2. 発表標題 共分散構造分析を用いた野球における「勝負強さ」の探索
3. 学会等名 日本統計学会スポーツ統計分科会 第11回スポーツデータ解析コンペティション
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松谷康平, 山元佑京, 土居亮介, 金子楓果, 荒木由布子
2. 発表標題 ぶよぶよスポーツにおける先制の概念の検討と勝因の分析
3. 学会等名 日本統計学会 スポーツ統計分科会 第11回スポーツデータ解析コンペティション
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 荒木 由布子
2. 発表標題 関数データ解析の基礎と実践
3. 学会等名 計量生物学会主催 2021年度計量生物セミナー 「関連のあるデータの解析」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuko Araki
2. 発表標題 Functional survival analysis with convex clustering
3. 学会等名 The 14th International Conference on Computational and Methodological Statistics (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Bando, Y, Yamamoto, U, Ojima, T, Akamatsu, Y, Araki Y
2. 発表標題 Changes in alcohol consumption pattern during the COVID-19 pandemic
3. 学会等名 The 26th Shizuoka forum on health and longevity
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sawaki, D, Mizunaga, N, Ojima, T, Akamatsu, Y, Araki Y
2. 発表標題 Constructing a prediction model for ocular fundus abnormalities using health big data in Hamamatsu
3. 学会等名 The 26th Shizuoka forum on health and longevity
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荒木由布子
2. 発表標題 非線形構造を有する経時測定データのためのBayesian nonparametric quantile mixed-effects models
3. 学会等名 久留米大学バイオ統計センター 公開セミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 櫻田 京之介, 澤木 大輔, 荒木 由布子, 久岡 未来
2. 発表標題 関数順序付きロジスティック回帰モデルによる官能評価予測
3. 学会等名 2021年度統計関連学会連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤木 大輔, 櫻田 京之介, 荒木 由布子
2. 発表標題 Functional convex clustering
3. 学会等名 2021年度統計関連学会連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高須 優, 櫻田 京之介, 荒木 由布子, 西田 昌史, 綱川 隆司, 西村 雅史
2. 発表標題 多変量関数主成分分析を用いた手話学習支援システムの構築
3. 学会等名 情報処理学会アクセシビリティ研究会 第16回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuko Araki
2. 発表標題 Functional survival analysis with several classes of trajectories
3. 学会等名 The 13th International Conference on Computational and Methodological Statistics 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田辺佑太, 荒木由布子
2. 発表標題 ガウス過程分位点回帰モデリングと新生児ホルモン分泌リズムの解明
3. 学会等名 2020年度科研費シンポジウム「多様な分野のデータに対する統計科学・機械学習的アプローチ」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 櫻田京之介, 荒木由布子, 和泉勇希, 西田昌史
2. 発表標題 多変量関数主成分分析による手話学習者の多部位挙動分析
3. 学会等名 2020年度統計関連学会連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒木由布子
2. 発表標題 不確実性の中からの知識価値生成 ~ 医学研究における統計モデルの探求 ~
3. 学会等名 第118回肥前セミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒木由布子
2. 発表標題 医学研究における統計的モデリング
3. 学会等名 浜松工業会東京支部 2020年度講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大嶋夏乃, 澤本拓真, 澤木大輔, 金子楓果, 荒木由布子
2. 発表標題 グラフィカルモデリングを用いたハイプレス有効性の検討
3. 学会等名 第10回スポーツデータ解析コンペティション
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田邊 倭, 板東 蓉子, Kim Taejin, 荒木由布子
2. 発表標題 初回走者一塁におけるエンドランの成功要因分析
3. 学会等名 第10回スポーツデータ解析コンペティション
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kyonosuke Sakurada, Yuko Araki, Yuki Izumi, Masafumi Nishida
2. 発表標題 Characterization of sign language movement at multiple body parts using multivariate functional principal component analysis
3. 学会等名 第25回静岡健康・長寿学術フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daisuke Sawaki , Fuka Kaneko , Yamato Tanabe , Yuko Araki , Ataru Shindo , Natsumi Harada and Chiaki Yagura
2. 発表標題 Study on the impacts of regional differences and care-receivers' age on the demand for care services by text mining
3. 学会等名 第25回静岡健康・長寿学術フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Araki
2. 発表標題 Functional mediation analysis with model selection
3. 学会等名 15th International Conference of the ERCIM WG on Computational and Methodological Statistics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 板東 容子, 荒木 由布子
2. 発表標題 Latency estimation for P-spline mixture cure model
3. 学会等名 第20回情報学ワークショップ (実行委員会・電子情報通信学会東海支部)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Araki, Yuko
2. 発表標題 Statistical Modeling for the Nonlinear Structure of Quantiles in Hierarchical Data via Regularization
3. 学会等名 Risk and Statistics, 3rd Tohoku-ISM-UUIm Joint Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 澤木 大輔, 西田 昌史, 荒木 由布子
2. 発表標題 多変量関数凸クラスタリングの提案と手話学習データへの適用
3. 学会等名 2022年度統計関連学会連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuko Araki
2. 発表標題 Biostatistical modeling for the analysis of the cortisol circadian rhythm in infants
3. 学会等名 8th Annual Data Science in Engineering and Life Sciences Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒木 由布子
2. 発表標題 関数データ解析入門
3. 学会等名 中央大学研究機構 講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuko Araki
2. 発表標題 Survival analysis with several classes of functional data as covariates
3. 学会等名 The 5th International Conference on Econometrics and Statistics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

## 〔図書〕 計3件

1. 著者名 柳川 堯、荒木 由布子、柳川 堯	4. 発行年 2021年
2. 出版社 近代科学社	5. 総ページ数 258
3. 書名 バイオ統計の基礎 : 医薬統計入門	

1. 著者名 Hiroshi Yao, Yuko Araki, Fumio Yamashita, Makoto Sasaki, Manabu Hashimoto	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Academic Press	5. 総ページ数 15
3. 書名 The Neuroscience of Dementia, Volume 2	

1. 著者名 鬼塚俊明 他	4. 発行年 2023年
2. 出版社 新興医学出版社	5. 総ページ数 280
3. 書名 精神医学領域の論文を読みこなすキーワード100!	

## 〔産業財産権〕

## 〔その他〕

researchmap <a href="https://researchmap.jp/yabiost">https://researchmap.jp/yabiost</a> 荒木研究室 <a href="https://www.math.is.tohoku.ac.jp/~araki/lab/">https://www.math.is.tohoku.ac.jp/~araki/lab/</a>
--

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	岩田 欧介  (Iwata Oshuke)  (30465710)	名古屋市立大学・医薬学総合研究院(医学)・准教授     (23903)	

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0件

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