

令和 2 年 5 月 27 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02669

研究課題名(和文) 生体情報の統計科学

研究課題名(英文) Statistical Science of Bioinformatics

研究代表者

狩野 裕 (Kano, Yutaka)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：20201436

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)： 公刊された学術論文については9つに分類して報告することができる。その中では特に、欠測・欠損データ解析とメタアナリシスに関する研究成果および、巡回因果モデルに関する結果が顕著である。研究方法として重要な意見交換会等については、国際シンポジウム5件(学会大会での国際招待講演セッション開催を含む)および国内の中規模シンポジウム1件を組織し実施した。それぞれのシンポジウムにおける講演数は3～20件であった。小規模セミナーは大阪大学において13回開催し計15件の講演があり、それぞれの講演に対して詳細な議論を行った。以上の活動が公刊された学術論文に結実している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会的かつ学術的に最も顕著な研究成果は巡回因果モデルの開発である。循環する可能性のある因果関係は社会的に大きな需要があるにもかかわらず、その基本的なコンセプトが成熟しなかったが故に、研究対象となることが殆ど無かった。本研究において発展させられた非線形関係を想定するモデルは、巡回因果モデルによる解析の嚆矢となることが期待される。欠測・欠損データ解析での理論研究は今までの学術研究を完全化させることに貢献する。また、欠測・欠損データ解析のための(数学的)条件を緩和することは、その適用範囲を広げることであり、応用にも貢献できる可能性がある。

研究成果の概要(英文)： We can summarize our research results as nine categories. In particular, results on the missing data analysis and meta analysis are influential. For the results to obtain, we have organized and offered five international symposiums and a domestic one in the research period. Each of the symposiums consisted of 3 to 20 presenters. In addition, we have hosted small size colloquiums 13 times in Osaka University, where totally 15 speakers were invited; and essential discussions in the colloquiums helped to proceed and complete our research.

研究分野： データ科学

キーワード： 巡回因果モデル 欠測値データ解析 メタアナリシス 統計的因果推論 fMRIデータ 脳科学・脳情報

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、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

統計学的方法論の進歩は科学技術を発展させる。科学技術の進歩はまた、方法論を発展させる。これらは車の両輪である。昨今、典型的には統計学的方法論に二つの方向性がある。一つは、等質な小標本から一般的な結論を導くための統計学から、異質で多様かつ時系列的に変化する大規模データから有意義な情報を抽出するための方法論を発展させること、他の一つは、今までブラックボックスとして処理してきたデータ発生機構を解明するための統計科学である。前者は、情報技術とネットワーク、そしてセンシング技術の発展により様々なデータ収集と大規模データの蓄積が可能になったこと、後者は生体内部の情報を非侵襲型(身体を傷つけない)で計測できるようになってきたことが重要な役割を果たしている。

因果関係の同定はサイエンスの基礎である。ヒトの特性や行動の研究においても、その多くは原因と考えられる変数と結果変数間の関係を模索するものである。伝統的な心理学はヒトの外部からの刺激と結果としての行動を、身体内部での反応をブラックボックス化して、研究を進めてきた。統計的方法もそういった目的に適合した方法が発展してきた。しかし、この20年、ブラックボックスの機能が、生理学、神経生理学、脳科学によって解明されつつある。即ち、外的な刺激が身体内でどのような反応を生み結果変数として表出するのか、そのプロセスにメスが入ってきたのである。因果関係の分析モデルにおける重要な制限は巡回的なモデルを扱えないということである。DAG(Directed Acyclic Graph)という名称にあるように、今までの研究は巡回モデルを避けて進んできたと言える。

原因変数を潜在変数とみて結果変数の変動を説明する統計モデルも数多く提案されてきた。多くの研究者の納得了解の下、知能や能力、性格特性という脳内の仮想量(潜在変数)が結果変数を説明するモデルが構築され、潜在変数の値を予測するといったことが行われてきた。典型的には一世紀前に登場した因子分析モデルや項目反応モデルがそれにあたる。潜在変数モデルによる知見は膨大であり、たとえば、性格特性は大きく5つに分かれるというBIG FIVE理論、語学力を細かく測定し異なった時に異なった試験を受けたとしても普遍的な能力を測定することができるTOEICやTOEFL試験の社会的インパクトは大きい。統計学で頻出する潜在変数の実体は何であるのか。潜在変数モデルの成功は、次にこのような課題を投げかけている。計量心理学のトップジャーナルであるPsychometrikaは2013年にfMRIデータの分析を特集している(Guest editors: Maydeu-Olivars and Brown)。それは本研究課題と方向を一にするものであるが、同特集はfMRIデータの分析方法の紹介に留まっている。

神経生理学と統計学的方法論のコラボレーションの代表はニューラルネットワークである。この分野では近年深い階層を利用するDeep Learningが注目されている(Bengio 2012; Hilton 2013)。ここで登場する「階層」は統計科学でいう潜在変数に対応する。当然ながら仮想的な階層とニューロンとのマッチングは重要である。

2. 研究の目的

21世紀は脳の時代と言われ、脳機能や脳構造の研究が盛んであるが、そこには雑音に埋もれる信号の問題が障壁となっており、データ科学の貢献が期待される。多くの研究分野で生物に倣えの号令の下、融合的研究が進んでいる。そこでは実証的研究が主を占めるが、そのデータ科学的分析方法は依然として20世紀型である。本研究を進めることで21世紀型のデータ科学を開発し、脳研究や生物科学研究に有意に貢献するデータ科学的方法論を開発することを目的とした。具体的には、生体情報の分析において、巡回的な因果関係を実証的に統計分析可能とするような方法論を開発し、いくつかの実データに適用する。統計的因果推論では反事実モデルの導入は有効である。理想的には「反事実」を実現するクロスオーバーデザインの発展可能性を検討する。生体を対象とする限り、得られるはずのデータが得られないという欠測の問題を避けて通れない。21世紀型の欠測値データ解析の理論と応用を開拓する。なお、欠測値データ解析と統計的因果推論は強い関係がある。

3. 研究の方法

著名研究者との意見交換・共同研究

研究を推進するため、関連の著名研究者(連携研究者、連携協力者)と意見交換する。具体的には、生物や人に関する因果構造分析の世界的第一人者であるVictoria Savalei教授、欠損値データ分析法の世界的第一人者であるJae Kwang Kim教授とMortaza Jamshidian教授(California State U)、モデル選択の専門家である渡辺澄夫教授(東工大)とShu-Hui Yu教授(National U Kaohsiung)、循環因果モデルにおいて顕著な業績を上げているJoris M. Mooij教授(U Amsterdam)¹、Forre Patrick氏(U Amsterdam)および清水昌平教授(滋賀大)、計量心理学の第一人者であるKe-Hai Yuan教授(U Notre Dam)、脳科学(fMRIデータ分析)の専門家である三分一史和教授(統計数理研究所)等と意見交換し共同研究を行う。

研究集会の開催

通期で定期的に数名の講演者からなる小規模研究集会を開催し、研究講演を行い、実質的な意見交換を行う。海外研究協力者と共に研究分担者、連携研究者を中心に問題・興味を共有する研究グループを構成する。そのために中規模の研究集会(国際ワークショップ)を開催する。学会大会において特定の

¹ Mooji氏は家庭の事情により来日が叶わなかった。

テーマを議論する招待講演セッションを組織し、内外に研究成果を配信するとともに、研究成果に対する批評を得る。

4. 研究成果

学術論文の公刊

- (1) 生物を対象とするデータの採取には欠測・欠損が免れない。適切な統計的分析を実行するには欠測メカニズムの同定が重要である。完全にランダムな欠測(MCAR)を統計的に検定する方法に欠測パターンごとのモーメントの等質性を検定する方法がある。本研究では、同方法には検出力が0となるMCARでない欠測メカニズムが存在し、重大なピンホールになることを実例に基づき指摘した。本研究成果は Yuan, Jamashidian and Kano (2017)として計量心理学のトップジャーナル *Psychometrika* に出版された。
- (2) メタアナリシスとは、複数の過去の研究を統合することによってサンプルサイズを確保し過去の各研究より精度の高い統計解析を行うための方法論である。生物を対象とする統計分析では、例えば希少疾患の治療法の研究など、小さなサンプルしか得られない状況は多い。本研究では、メタアナリシスに構造方程式モデリングを適用するには、GLS, ML-GLS など様々な推定方法があるが、それらのうち主要なものは数学的に同値であることを証明した。本研究成果は、Yuan and Kano (2018) として英文国際誌 *Journal of Educational and Behavioral Statistics* に出版された。
- (3) 因果分析は生物情報分野に留まらず、様々な研究分野において主要なテーマである。しかし、特に因果の方向性すなわち $A \rightarrow B$ or $B \rightarrow A$ の決定の研究はほとんど進んでいない。このテーマについては、影響を規定する関数が非線形であるときに因果の方向を決定できる可能性があるという仮説の下に、理論研究・応用研究を進めている。本研究では影響を規定する関数が多項式であるときにこの仮説をサポートする理論的な結果が得られた。本研究成果は、Nagase and Kano(2017) として数理統計学の国際専門誌 *Statistics and Probability Letters* に出版された。
- (4) 二つの方式 A, B (たとえば薬剤 A と B)のどちらが、より有効であるかを検討する際、クロスオーバーデザインは重要な選択肢である。しかし、同デザインはキャリーオーバー効果が存在すると不適切になる。これを改善しようとした方法が Balaam デザインであるが、他方、その検定方式は検出力が低いという課題があった。本研究では、混合モデルのアイデアを注入することにより検出力を改善し統計解析の精度を向上させることに成功した。本研究成果は Mori and Kano (2015)として、薬剤研究に関する国際学術誌である *Pharmaceutical Statistics* に出版された。
- (5) 欠測データ解析は、生物情報分野を超えて様々な分野で重要になっている。しかし、その理解は十分ではなく、国際的な研究者でも大きな誤解がある。本研究では、その誤解を明示的に指摘するとともに、正しい理解とその拡張について議論した。研究成果は、狩野(2019)として日本統計学会誌に、また、狩野・今田(2017)として電気情報学会誌に出版された。なお、研究代表者である狩野は、欠測データ解析と生物情報に関する統計解析に関する研究成果により2018年度に日本統計学会賞が授与されている。
- (6) サル脳幹のアセチルコリン性の脚橋被蓋核において、特に随意眼球運動遂行中に、 β レンジ (8-30Hz)で規則的な単一ニューロン活動が生じることを発見し、国際的な学術雑誌である *PLoS One* に Okada and Kobayashi (2015) として公刊した。
- (7) ヒトの微小な重心の動揺の計測およびダイナミクスの統計解析によって、重心動揺のフィードバック制御に関する脳幹の姿勢制御および強化学習の役割を明確にした。研究成果は国際共著であり、2016 IEEE 38th Annual International Conference において発表した。
- (8) 経済不平等性の拡大がうつ病指標を予測できることを統計的に示した。経済ゲーム中の自己と他の報酬の間の不平等によって誘発された扁桃体および海馬における機能的磁気共鳴イメージング活動パターンが、参加者の現在および将来の(1年後に測定された)うつ病指標を予測できることを実証した。そのような予測は、参加者の行動的および社会経済的状態尺度を用いては不可能であった。研究成果は Tanaka, Yamamoto, and Haruno(2017)として当該分野におけるトップジャーナルである *Nature Human Behaviour* に掲載された。
- (9) ニューラルネットワーク(Neural Network, NN)は脳の神経網を統計モデル化したものである。深層学習(Deep Learning or Deep NN)には明らかに、浅い NN には無い特徴がある。しかし、数学的には浅いモデルでも任意の関数を表現することが可能であり、深層にする必要はないことが分かっている。この課題に対して、ディープラーニングの開発の基礎となるノイズ除去オートエンコーダ(DAE)の一連のトランスポートマップを指定することで、DNN のパフォーマンスの良さを解明した。本研究成果は Sonoda and Murata (2019)として、機械学習分野のトップジャーナル *Journal of Machine Learning Research* に掲載された。

シンポジウムおよび大会セッションの組織と開催

- (1) 科学研究費によるデータ科学シンポジウム 2015
「欠測データ解析とモデル選択: 生体情報データの統計モデル」
会期 2016年1月22日(金)~23日(土)。会場 大阪大学、豊中キャンパス。
講演者と講演タイトル

- ◆ 鈴木 譲 (大阪大学). 欠損データを含む場合の森構造学習のベイズ最適化とゲノム解析への応用.
 - ◆ 福元健太郎 (学習院大学). Missing Data under the Matched-Pair Design: A Practical Guide .
 - ◆ 奥野彰文 (大阪大学). 反復重みつけによるロバストなマッチング相関分析.
 - ◆ 寺田吉吉 (情報通信研究機構). fMRI データに対する血流動態反応関数のセミパラメトリック推測とその応用.
 - ◆ 三分一史和 (統計数理研究所). A statistical mapping strategy to identify inspiratory neurons among active cells in the pre-Bötzing Complex .
 - ◆ 倉田澄人 (大阪大学). ダイバージェンスに基づいたロバストなモデル選択について.
 - ◆ 田辺竜ノ介 (大阪大学). spike and slab 事前分布を利用したスパース推定.
 - ◆ 高井啓二 (関西大学). 欠測データにもとづく正規分布モデルの最尤推定における選択行列の使用について.
 - ◆ 馬場崇充 (九州大学). 傾向スコアを用いた因果推論のためのモデル選択.
 - ◆ 若木宏文 (広島大学). ランダム係数を持つGMANOVA モデルの変数選択規準. (special lecture)
 - ◆ 新村秀一 (成蹊大学). 判別分析の 100 重交差検証法による誤分類確率と判別係数の 95% 信頼区間とモデル選択.
 - ◆ 藤越康祝 (広島大学). 高次元多変量線形モデルにおける次元の推定.
 - ◆ 柳原宏和 (広島大学). Consistent Information Criterion for Normal Multivariate Linear Regression Model under High-dimensionality .
 - ◆ 渡辺澄夫 (東京工業大学). 潜在変数を持つモデルの評価について. (special lecture)
 - ◆ Discussants 阿部貴行(慶応義塾大学), 矢田和善(筑波大学)
- (2) International Invited-Paper Session 「Missing-data Analysis and SEM」
 Name of Meeting: Annual Meeting of the Japanese Federation of Statistical Science Associations
 Meeting Period: September 4-7, 2016. Meeting Place: Kanazawa University, Kakuma Campus
 Organizers: Yutaka Kano and Shimpei Imori (Osaka U)
 Chair: Shimpei Imori (Osaka U)
- ◆ Ke-Hai Yuan (U Notre Dame) Missing Data Mechanisms and Homogeneity of Means and Variances-Covariances or Power Analysis for Structural Equation Modeling with Incomplete Data from an Unknown Population Distribution.
 - ◆ Victoria Savalei (U British Columbia) and Mijke Rhemtulla (U Amsterdam) Two-stage ML Estimator for Item-Level Missing Data.
 - ◆ Kosuke Morikawa (Osaka U), Jae Kwang Kim (Iowa State U) and Yutaka Kano (Osaka U). Semiparametric maximum likelihood estimation under nonignorable nonresponse.
 - ◆ Shimpei Imori (Osaka U). Model selection for data with nonignorable missingness.
 - ◆ Kentaro Fukumoto (Gakushuin U) Missing data under the matched-pair design: a practical guide.
- (3) International Invited-Paper Session 「Recent Developments in Missing Data Analysis」
 Name of Meeting: Annual Meeting of the Japanese Federation of Statistical Science Associations
 Meeting Period: September 4-7, 2017. Meeting Place: Nanzan University, Nagoya Campus
 Organizers: Kosuke Morikawa and Yutaka Kano (Osaka U)
 Session Chair: Takayuki Abe (Keio U)
- ◆ Jae Kwang Kim (Iowa State U) and Shu Yang (North Carolina State U). Predictive mean matching imputation in survey sampling.
 - ◆ Hejian Sang (Iowa State U), Gyuhyeong Goh (Kansas State U) and Jae Kwang Kim (Iowa State U). Bayesian sparse propensity score estimation for unit nonresponse.
 - ◆ Kosuke Morikawa (Osaka U) and Jae Kwang Kim (Iowa State U). The identification problem for nonignorable nonresponse data.
 - ◆ Keiji Takai (Kansai U) Parameter estimation with the incomplete-data Fisher scoring method.
 - ◆ Yoshiharu Takagi (Sanofi K.K.) and Yutaka Kano (Osaka U). Bias reduction using auxiliary variables in clinical trial.
- (4) Invited-Paper Session (SP21) 「Causal inference and related topics」
 Name of Meeting: The 15th International Federation of the Classification Societies (IFCS2017)
 Meeting Period: August 8-10, 2017
 Meeting Place: Tokai University, Takanawa Campus
 Organizer: Etsuo Hamada and Yutaka Kano (Osaka U)
 Chair: Etsuo Hamada(Osaka U)
- ◆ Sumito Kurata (Osaka U). A robust model selection criterion family and its application for the causal model.
 - ◆ Ching-Kang Ing (National Tsing Hua U). A high-dimensional location-dispersion model with dependent error and its applications to WTA data analysis
 - ◆ Mario Nagase (Osaka U). Causal Analysis with Cyclic Structural Equation Models

- ◆ Kosuke Morikawa (Osaka U). Identification and Semiparametric Adaptive Estimation With Nonignorable Nonresponse Data.
- (5) Invited-Paper Session (SP22) 「Bayesian inference and model selection」
Name of Meeting: The 15th International Federation of the Classification Societies (IFCS2017)
Meeting Period: August 8-10, 2017
Meeting Place: Tokai University, Takanaawa Campus
Organizer: Etsuo Hamada and Yutaka Kano (Osaka U)
Chair: Ching-Kang Ing (National Tsing Hua U)
- ◆ Makoto Okada (U Tokyo). Online Ensemble Learning Using Hierarchical Bayesian Model Averaging..
- ◆ Masayuki Jimichi (Kwansei Gakuin U). Applied Feasible Generalized Ridge Regression Estimation to Linear Basis Function Models.
- ◆ Ryunosuke Tanabe (Osaka U). Bayesian interpretation of the ℓ_0 penalized linear regression estimator.
- ◆ Shu-Hui Yu (National U Kaohsiung). Order selection for high-dimensional non-stationary time series.
- (6) International Invited-Paper Session
Name of Meeting: The 47th Annual Meeting of the Behaviormetric Society
Meeting Period: September 3-6, 2019
Meeting Place: Osaka University, Toyonaka Campus
Organizer: Mario Nagase and Yutaka Kano (Osaka U)
- ◆ Forre Patrick (U Amsterdam). Markov properties for non-linear structural causal models with cycles and latent confounder.
- ◆ Mario Nagase (Osaka U). Causal discovery of cyclic nonlinear relations: Cyclic non-linear structure equation models with additive normal noise.
- ◆ Shohei Shimizu (Shiga U). Causal discovery based on non-Gaussianity of data and its applications.

小規模セミナーの開催

- (1) 令和元年 6 月 12 日(水) 松田孟留氏(東京大学 情報理工学系研究科 助教)
演 題: 特異値縮小事前分布と経験ベイズ行列補完
- (2) 平成 30 年 6 月 20 日(水) 野間久史氏(統計数理研究所 准教授)
演 題: Precision Medicine, Comparative Effectiveness Research とデータサイエンス
- (3) 平成 30 年 6 月 13 日(水) 片山翔太氏(東京工業大学 工学院 経営工学系 助教)
演 題: セルワイズな外れ値に対してロバストなスパースグラフィカルモデリング
- (4) 平成 30 年 6 月 6 日(水) 清野 健氏(大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授)
演 題: ウェアラブル生体センサと IoT を活用した実世界データ分析とその応用
- (5) July 28, 2017, 13:00-14:30 Dr. Jorge Tendeiro (University of Groningen)
Title: Three-mode Principal Component Analysis (3MPCA) and Item Response Theory
Dr. Rei Monden (University of Groningen)
Title: 3MPCA applied to clinical longitudinal data and Bayesian estimation for the efficacy of antidepressants
- (6) 平成 29 年 7 月 14 日(金) 服部 聡氏(大阪大学 大学院医学系研究科 教授)
演 題: 診断法研究のメタアナリシスにおける公表バイアスの影響評価
- (7) 平成 29 年 1 月 18 日(水) 鈴木良介氏(野村総合研究所(NRI), 主任コンサルタント)
演題: 見える化止まりにしないビッグデータ・IoT 活用
- (8) 平成 28 年 12 月 22 日(木) Vladimir Ulyanov (Moscow State University)
Title: Bootstrap confidence sets for spectral projectors of sample covariance
- (9) 平成 28 年 10 月 7 日(金) Ke-Hai Yuan (University of Notre Dame, Professor)
Title: Power Analysis for Structural Equation Modeling with Incomplete Data from an Unknown Population Distribution
- (10) 平成 28 年 7 月 8 日(金) 吉田裕亮氏(お茶の水女子大学 理学部 情報科学科)
演 題: 成分間に相関のあるランダム行列の時系列モデル解析への応用
平野敏弘氏(日本電気株式会社 中央研究所 データサイエンス研究所, 研究員)
演 題: 大規模空間データに対する効率的な統計解析手法について
- (11) 平成 27 年 6 月 26 日(金) 逸見昌之氏(統計数理研究所, データ科学研究系)
演 題: 欠測を含むデータに対するセミパラメトリックな解析法について
- (12) 平成 27 年 5 月 29 日(金) 鈴木 謙氏(大阪大学 理学研究科)
演 題: 相互情報量の推定と独立性検定
- (13) 平成 27 年 5 月 15 日(金) 麻生英樹 (産業技術総合研究所)
演 題: Deep Learning (深層学習) による深層表現の学習

他

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Miyuki Imada, Kei Hirose, Manabu Yoshida, Sun Yong Kim, Naoya Toyozumi, Guillaume Lopez, and Yutaka Kano	4. 巻 15
2. 論文標題 An Interpersonal Sentiment Quantification Method Applied to Work Relationship Prediction	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 NTT Technical Review	6. 最初と最後の頁 1-14
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 該当する
1. 著者名 Takagi, Y. and Kano, Y.	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Bias reduction using surrogate endpoints as auxiliary variables	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Annals of the Institute of Statistical Mathematics	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 Ke-Hai Yuan, Mortaza Jamshidian and Yutaka Kano	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Missing data mechanisms and homogeneity of means and variances-covariances	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Psychometrika	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11336-018-9609-x	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 Toshiko Tanaka, Takao Yamamoto, and Masahiko Haruno	4. 巻 1
2. 論文標題 Brain response patterns to economic inequity predict present and future depression indices	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Human Behaviour	6. 最初と最後の頁 748-756
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41562-017-0207-1	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 Nagase, M. and Kano, Y.	4. 巻 122
2. 論文標題 Identifiability of nonrecursive structural equation models	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Statistics and Probability Letter	6. 最初と最後の頁 109-117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1016/j.spl.2016.11.010	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 Kenjiro Michimoto, Yasuyuki Suzuki, Ken Kiyono, Yasushi Kobayashi, Pietro Morasso, Taishin Nomura	4. 巻 なし
2. 論文標題 Reinforcement learning for stabilizing an inverted pendulum naturally leads to intermittent feedback control as in human quiet standing	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2016 IEEE 38th Annual International Conference	6. 最初と最後の頁 37-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/EMBC.2016.7590634	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 該当する

1. 著者名 Fumika Mori, Ken-ichi Okada, Taishin Nomura, Yasushi Kobayashi	4. 巻 10
2. 論文標題 The Pedunculo-pontine Tegmental Nucleus as a Motor and Cognitive Interface between the Cerebellum and Basal Ganglia	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroanatomy	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnana.2016.00109	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 Ken-ichi Okada, Yasushi Kobayashi	4. 巻 10
2. 論文標題 Reward and Behavioral Factors Contributing to the Tonic Activity of Monkey Pedunculo-pontine Tegmental Nucleus Neurons during Saccade Tasks	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Frontiers in Systems Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnsys.2016.00094	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 Mori, J. and Kano, Y.	4. 巻 14
2. 論文標題 A powerful test for Balaam's design	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Pharmaceutical Statistics	6. 最初と最後の頁 464-470
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pst.1703	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 Eshima, N., Tabata, M., Borroni, C.G., and Kano, Y	4. 巻 17
2. 論文標題 An entropy-based approach to path analysis of structural generalized linear models: A basic idea	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Entropy	6. 最初と最後の頁 5117-5132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/e17075117	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 該当する

1. 著者名 Okada, K. and Kobayashi, Y.	4. 巻 10
2. 論文標題 Rhythmic Firing of Pedunculopontine Tegmental Nucleus Neurons in Monkeys during Eye Movement Task	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 PLoS One	6. 最初と最後の頁 e0128147
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0128147	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 Matsuo Y, Watanabe M, Taniike M, Mohri I, Kobashi S, Tachibana M, Kobayashi Y, Kitamura Y.	4. 巻 10
2. 論文標題 Gap Effect Abnormalities during a Visually Guided Pro-Saccade Task in Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 PLoS One	6. 最初と最後の頁 e0125573
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0125573	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21件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Nagase, M. and Kano, Y.
2. 発表標題 Cyclic Nonlinear Structural Equation Models
3. 学会等名 Joint Statistical Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊森晋平・寺田吉壱
2. 発表標題 補助変数のスクリーニング法について
3. 学会等名 2017年度統計関連学会連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Matsuoka, Y. and Hamada, E.
2. 発表標題 Nonparametric causal inference by the kernel method
3. 学会等名 The 10th Conference of the IASC-ARS (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kurata, S. and Hamada, E.
2. 発表標題 A robust model selection criterion family and its application for the causal model
3. 学会等名 Conference of the International Federation of Classification Societies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺田 亘・瀧田悦生
2. 発表標題 Covariate Balancingに基づいた高次元データにおける頑健な因果効果の推定
3. 学会等名 第12回日本統計学会春季集会 ポスターセッション
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 春野雅彦・森数馬
2. 発表標題 ソーシャルネットワーキングサービスの神経科学
3. 学会等名 第40回日本神経科学大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 春野雅彦
2. 発表標題 社会脳科学の最近の発展
3. 学会等名 生命体工学セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 齋藤洋一, 宇賀 太一, 船本 万里, 森 風美加, 平石 幹, 岡田 研一, 小林 康, 眞野 智生
2. 発表標題 パーキンソン病患者における反復経頭蓋磁気刺激治療前後の眼球運動評価
3. 学会等名 第40回日本神経科学大会
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Morikawa, K., Imori, S. and Kano, Y.
2 . 発表標題 A New Information Criterion for Ignorable Missing Data
3 . 学会等名 IC-SMHD-2016 (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Imori, S. and Shimodaira, H.
2 . 発表標題 An information criterion for partially prediction with incomplete data
3 . 学会等名 IC-SMHD-2016 (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Nagase, M. and Kano, Y.
2 . 発表標題 Cyclic Structural Equation Models and Their Identifiability
3 . 学会等名 ISI Regional Statistics Conference (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Morikawa, K. and Kim, J. K.
2 . 発表標題 Semiparametric Efficient Estimation Under Nonignorable Nonresponse I
3 . 学会等名 KAIST Statistical Workshop (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1. 発表者名 林 暢哉・狩野 裕
2. 発表標題 Comparisons Among Doubly Robust Estimators in Restricted Moment Models
3. 学会等名 2016年度統計関連学会連合大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 森川遼真・森川耕輔・狩野 裕
2. 発表標題 congeniality と over-imputation を用いた傾向スコアの推定
3. 学会等名 第11回日本統計学会春季集会 ポスターセッション
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kano, Y.
2. 発表標題 Developments in multivariate missing data analysis
3. 学会等名 International Meeting of the Psychometric Society 2015 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 長瀬真利雄, 狩野 裕
2. 発表標題 非逐次モデルの識別性について
3. 学会等名 2015年度統計関連学会連合大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 坂口弘樹, 狩野 裕
2. 発表標題 一般化線形混合モデルにおけるランダム効果の分布の誤特定による推定への影響
3. 学会等名 2015年度統計関連学会連合大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 上野真依, 狩野 裕
2. 発表標題 順序のあるカテゴリカルデータに対するノンパラメトリックベイズモデリング
3. 学会等名 2015年度統計関連学会連合大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 倉田澄人, 瀧田悦生
2. 発表標題 回帰モデルの選択規準と外れ値に対するロバスト性の検証
3. 学会等名 第10回日本統計学会春季集会 ポスターセッション
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 倉田澄人, 瀧田悦生
2. 発表標題 ダイバージェンスに基づいたロバストなモデル選択について
3. 学会等名 シンポジウム「欠測データ解析とモデル選択：生体情報データの統計モデル」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 森川耕輔・伊森晋平・狩野 裕
2. 発表標題 不完全データにおける情報量規準
3. 学会等名 日本行動計量学会第43回大会
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計0件

〔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	乾 敏郎 (Inui Toshiro) (30107015)	追手門学院大学・心理学部・教授 (34415)	
研究分担者	春野 雅彦 (Haruo Masahiko) (40395124)	国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報工学研究室・研究マネージャー (82636)	
研究分担者	野村 泰伸 (Nomura Taishin) (50283734)	大阪大学・基礎工学研究科・教授 (14401)	
研究分担者	村田 昇 (Murata Noboru) (60242038)	早稲田大学・理工学術院・教授 (32689)	
研究分担者	森川 耕輔 (Morikawa Kosuke) (40824305)	大阪大学・基礎工学研究科・助教 (14401)	

6. 研究組織（つづき）

	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	小林 康 (Kobayashi Yasushi) (60311198)	大阪大学・生命機能研究科・准教授 (14401)	
連携 研究者	濱田 悦生 (Hamada Etsuo) (20273617)	大阪大学・基礎工学研究科・特任教授 (14401)	
連携 研究者	伊森 晋平 (Imori Shinpei) (80747345)	広島大学・理学研究科・助教 (15401)	