

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K11175

研究課題名（和文）ベイズ推定の手法に基づく行列分解問題の研究

研究課題名（英文）Study of Matrix Factorization Problem Based on Bayesian Inference Method

研究代表者

竹田 晃人（Takeda, Koujin）

茨城大学・理工学研究科（工学野）・准教授

研究者番号：70397040

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題の主要な成果は以下である。(A) スパース行列分解問題の変分ベイズ解析解を導出し、得られた解析解を基にアルゴリズムを構成するとスパース行列解に関する良好な求解性能を示すことを確認した。さらにスパース性に関するハイパーパラメータを自動調整する手法を考案した。(B) 数理神経科学的手法と熱力学的手法に基づき、行列分解アルゴリズムの解の性質およびダイナミクスの挙動を解析する方法を開発した。(C) 脳神経活動のfMRIデータからの特徴量抽出にスパース行列分解が有効であることを指摘した。加えてスパース性を取り入れた独立成分分析の手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

行列分解問題は与えられた行列を2つの行列の積に分解する問題であり、データ解析や信号処理等の分野で応用される情報科学の基本的な問題である。しかし行列分解問題には様々な問題設定が存在するが、それらの問題の数理構造を統一的に理解する試みは十分に行われていなかった。本研究の成果により、ベイズ推定の枠組みで様々な設定の行列分解問題の数理構造が系統的に解析できることが示された。この成果は行列分解問題の研究に新たな知見を与えるとともに、行列分解の実問題への応用にも今後大いに役立つと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The main results of this research project are summarized as follows. (A) We derived a variational Bayesian solution to the sparse matrix factorization problem analytically, and confirmed that the matrix factorization algorithm based on the analytical solution exhibits good performance in seeking a sparse factorized matrix solution. Furthermore, we proposed an automatic tuning method for the sparsity hyperparameter. (B) Based on mathematical neuroscience and thermodynamics, we developed a method to analyze the properties of the solution and the dynamical behavior for the matrix factorization algorithm. (C) We pointed out the effectiveness of sparse matrix factorization for feature extraction from fMRI data of neuronal activity in the brain. In addition, we proposed a method of independent component analysis incorporating sparsity.

研究分野：統計物理学

キーワード：行列分解 ベイズ推定 統計物理学 数理神経科学 スパース性

## 1. 研究開始当初の背景

行列分解問題は与えられた行列を 2 つの分解行列の積に分解する問題であり、情報科学分野における基本的な問題と認識されている。この問題はデータ解析や信号処理等の分野で特に重要とされ、具体的な応用としては画像・動画等の物体分離処理、音声信号分離処理、協調フィルタリングに代表される商品推薦システムの構築、システム同定等非常に幅広い。近年の人工知能研究の劇的な進展という背景からも活発に研究されている対象である。

この行列分解問題には問題設定のバリエーションが数多く存在する。例えばスパース性を含む行列分解（辞書学習やスパースコーディング）、非負値行列分解、独立成分分析等である。さらに行列分解を実行するために最適化すべき目的関数も様々な形に設定される。しかし各問題設定下で求解性能等の数理的性質を個別に解析することには困難を伴う。そこで、行列分解問題自体の数理解造を統一的に理解するための理論的手法が必要であった。

このような背景の下、行列分解問題をベイズ推定の枠組みで扱うと問題の統一的理解が進むのではないかと考えられた。ベイズ推定では尤度や事前分布等を適宜変更することで問題設定の変更が容易であり、さらに数値解析手法としてマルコフ連鎖モンテカルロ法、理論解析手法としてレプリカ法、平均場近似、確率伝搬法といった統計物理学由来の手法が適用可能な利点があるからである。

なお、行列分解問題をベイズ推定の枠組みで扱った研究は本研究課題開始時点でも幾つか存在していた。例えば、解析が容易になるように事前分布や尤度にガウス性を仮定した上での解析である (Ilin-Raiko 2010, Nakajima-Sugiyama 2011 等)。しかし、より一般的な設定下での解析はこれまでに試みられておらず、研究の必要性があった。

## 2. 研究の目的

前述の背景を踏まえ、本研究課題ではベイズ推定の枠組みに基づき、行列分解問題の数理解造を一般的な問題設定下で解析する手法の確立を目的とした。具体的には以下 3 点を主目標と定め本課題を実施した。

- 幅広い問題設定に適用可能な行列分解問題の解析手法をベイズ推定の枠組みで確立すること、および得られる分解行列解の性質を理論的に解明すること
- 実問題でよく扱われる問題設定下での行列分解問題の求解アルゴリズムの構築
- 様々な行列分解アルゴリズムで利用可能な求解性能および安定性の評価手法の確立

本課題により行列分解問題の数理解造を統一的に理解することで、個々の設定下での行列分解問題の解の性質、および多数提案されている行列分解アルゴリズムの性質を系統的に解明できるようになり、その知見により行列分解問題に関する新たな研究を創造できると考えた。

## 3. 研究の方法

以下に本研究課題における具体的な研究テーマおよび方法を示す。なお当初の研究計画には無く、研究開始後に加えられたテーマについても記述する。

### (1) スパース性を含む設定下での分解行列の変分ベイズ近似解の性質の解明

分解行列にスパース性を含む行列分解問題の性質を解明するにあたり、一方の分解行列にラプラス事前分布を設定し、変分ベイズ法を利用しかつ適切な近似を導入することで、分解行列解の具体的な表現を求める。この問題設定は辞書学習あるいはスパースコーディングと呼ばれるものに対応し、機械学習分野では精力的に研究されている対象である。加えて、得られた解析解をアルゴリズムとして利用した場合の分解行列解の性質を数値的に調べ、既存のスパース行列分解アルゴリズムとの性質を比較する。さらに、双方の分解行列に指数分布を仮定した上で同様の解析を行う。この設定は非負値行列分解の特殊な場合に相当する。

### (2) スパース行列分解における事前分布の適切なハイパーパラメータ値の自動探索法

方法(1)のスパース分解行列解を行列分解アルゴリズムとして利用する場合について、効率的に解を得るために事前分布中のハイパーパラメータ最適値の決定法を確立する。手法として統計物理学の分配関数零点評価の方法を利用する。

### (3) 数理神経科学的手法に基づく行列分解アルゴリズムの性能評価

数理神経科学では神経細胞群の発火状態の動的挙動を粗視化し追跡する手法として Amari-Maginu の方法 (Amari-Maginu 1988) が知られているが、この手法を行列分解アルゴリズムに適用し、アルゴリズムの安定性及び収束性の解析を試みる。

#### (4) 連想記憶模型の自由エネルギー形式を利用した行列分解アルゴリズムの性質の解析

方法(3)とも関連するが、神経科学分野では連想記憶模型 (Hopfield 模型) における想起構造を熱力学の自由エネルギー形式で解析したものが知られている (Amit et al. 1985)。連想記憶模型と行列分解模型とは対応が付けられるため、連想記憶模型の自由エネルギー定式化を参考に、行列分解問題の自由エネルギー定式化を試み、分解行列解の性質を自由エネルギー形式で解析する。

#### (5) スパース行列分解による機能的磁気共鳴画像法(fMRI)データからの特徴抽出

機能的核磁気共鳴法(fMRI)で取得したデータから脳の神経活動の特徴を捉えようとする研究は多数行われているが、その中には行列形式で与えられた fMRI データを行列分解することで特徴量を抽出するものがある。そこでこれまでの多数の先行研究の結果を基に、スパース行列分解によって神経活動の適切な特徴が抽出できるかを調べ、スパース性の有効性について議論する。

#### (6) スパース性を含む独立成分分析アルゴリズムの開発と性能解析

独立成分分析は与えられた信号を独立信号成分に分離する手法であり、行列分解の一手法とみなすこともできる。そこで既存の研究をもとに、一方の行列にスパース性を仮定した独立成分分析の手法を新たに構築し、さらに提案手法で得られる分解行列の独立性とスパース性を評価する。

以上の他、行列分解アルゴリズムの安定性と収束性の改良法の考案、アルゴリズムの計算量の軽減等のテーマも当初は予定していたが、本研究課題の研究期間の都合によりこれらに着手するには至らなかった。

### 4. 研究成果

以下に主要な研究成果を示す。なお以下各項目は「研究の方法」の各研究テーマと対応する。

#### (1) スパース性を含む設定下での分解行列の変分ベイズ近似解の性質の解明

変分ベイズ法を利用し、一方の分解行列の事前分布がラプラス分布の場合のスパース行列分解問題の変分ベイズ近似解を求めた。なお、ラプラス分布の仮定下では解析解の厳密な表式の導出が困難なため、幾つか近似を導入し解を得ることに成功した。さらに得られた解を行列分解アルゴリズムとみなして数値実験を行い、得られた解析解がスパース行列の復元に実際に有効であることを示した。この結果は既に学術誌論文として掲載されている (Kawasumi-Takeda 2018)。

次に非負値行列分解問題への応用を考慮し、前述のラプラス事前分布での手法を参考にし、双方の分解行列の事前分布を指数分布とした場合の変分ベイズ解析解を導出した。この解析解についても数値実験を行い、事前分布のパラメータを調整することで解のスパース性を調整できる可能性があることを示した。他方、数値実験の結果では分解行列解に負行列要素が混ざっており、本来期待される非負値行列解が得られていない問題が残っている。なおこの結果は国際会議論文として出版されている (Tamai-Takeda 2018)。

#### (2) スパース行列分解における事前分布の適切なハイパーパラメータ値の自動探索法

成果(1)で構成したスパース行列分解アルゴリズムについて、スパース行列の確率分布の正規化因子 (分解関数) の零点が適切なハイパーパラメータ値を与える実験事実に基づき、ハイパーパラメータ自動調整機構を取り入れた新たなアルゴリズムを構築した。このアルゴリズムの挙動を調べたところ、スパース主成分分析(SparsePCA)でハイパーパラメータ値を適切に選んだ場合に匹敵する良好なスパース行列復元性能を示すことが分かった。なおスパース主成分分析はスパース行列分解アルゴリズムとして広く利用されているものである。この結果は既に学術誌論文として掲載されており (Kawasumi-Takeda 2023)、さらに国際会議および国内学会でも成果を公表している。

#### (3) 数理神経科学的手法に基づく行列分解アルゴリズムの性能評価

ガウス事前分布の下で変分ベイズ解析解より構成された行列分解アルゴリズムは、分解行列解に高速に収束することが実験的に知られる。そこでアルゴリズムの動的挙動を理論的に調べるために、数理神経科学で知られる Amari-Maginu ダイナミクスの解析手法を利用し、行列分解アルゴリズムの挙動を少数の動的変数を含む簡約ダイナミクス式で記述した。また、適切な実験条件の下では簡約式の動的挙動と実際の行列分解アルゴリズムの挙動が一致することが分かり、簡約式の理論的正当性が確認できた。一方で両者の挙動がずれる実験条件も存在することが分かった。この結果は諸学会で公表しており、今後学術誌への論文投稿を計画している。

#### (4) 連想記憶模型の自由エネルギー形式を利用した行列分解アルゴリズムの性質の解析

成果(3)で解析した行列分解アルゴリズムについて、連想記憶模型である Hopfield 模型の自由エネルギー定式化の手法を利用し、アルゴリズム収束後の分解行列解の性質の解析を試みた。具体的には(3)で述べた行列分解模型に対応する自由エネルギーを少数の秩序変数で記述し、それ

を最小化することで平衡解の性質を調べた。なおこの平衡解は行列分解アルゴリズムの収束点に対応している。結果として、アルゴリズムにより得られる分解行列から求めた統計量、および自由エネルギー最小化で得られる秩序変数との間には、理論的に予想される正しい対応が見られることが分かった。この結果は既に国内学会で公表しており、学術誌への論文投稿を準備している。

#### (5) スパース行列分解による機能的磁気共鳴画像法(fMRI)データからの特徴抽出

脳情報処理で重要なスパースコーディングと行列分解問題との関係を調べるため、機能的磁気共鳴画像法(fMRI)の公開データに様々な行列分解アルゴリズムを適用し特徴量抽出を試みた。より具体的には、被験者が様々な画像を見ている状態で取得された Haxby fMRI データセット (Haxby et al. 2001)に行列分解アルゴリズムを適用し特徴量を抽出した。結果として、スパース性を取り入れた行列分解アルゴリズムはスパース性を考慮しないアルゴリズムと比べ効率良く特徴量を抽出できており、視覚情報処理 fMRI データからの行列分解による特徴量抽出にスパース性が重要であることが判明した。この結果は既に学術誌論文として掲載されている (Endo-Takeda 2024)。

#### (6) スパース性を含む独立成分分析アルゴリズムの開発と性能解析

スパース性を含む独立成分分析のアルゴリズムは幾つか知られているが、先行研究を参考に L1 正則化を利用した新たなアルゴリズムを構成した。加えて、構成したアルゴリズムを人工データへ適用したところ、得られる分解行列の独立性 (非ガウス性) がある程度調整可能な一方、原行列再構成誤差とスパース性とがトレードオフ関係にある結果が得られた。また、成果(5)で利用した Haxby fMRI データセットに本手法を適用したところ、視覚情報処理の適切な特徴量を抽出できることが判明した。さらに提案アルゴリズムの典型的挙動を調べるために、統計物理学のランダムスピン系の解析手法である Thouless-Anderson-Palmer の方法を利用し、提案アルゴリズムに相当する自由エネルギーの表式を分解行列要素のモーメント変数で記述した。これらの成果の一部については学術誌に論文が掲載予定であり (Endo-Takeda 2024, 掲載予定)、かつ国際会議および国内学会でも公表している。

他に行列分解問題の関連研究として、機械学習のクラスタリングに関する研究成果 (神経細胞集団推定の新規手法開発) が学術誌論文として出版されている (Kimura-Ota-Takeda 2021, Kimura-Takeda 2023)。さらに行列分解を導入した半教師あり学習器の性質に関する研究等、機械学習分野の研究成果を諸学会で公表している。

またスパース行列分解に関連したアウトリーチ活動として、スパースモデリングに関する海外書籍を共同翻訳し(「スパースモデリング」ジャムハウス社, 2020)、さらにスパース学習やスパース信号推定に関する依頼講演を多数実施した。

本研究課題についてはコロナ禍による研究の若干の遅れがあり、かつ参加予定の国際会議の開催延期があったため、研究期間の1年間の延長を申請したが、延長期間中に論文を複数出版しかつ国際会議へも参加でき、結果として延長期間を有効に活用できた。なお前述の研究成果には未完のものもあるが、それらに関しては今後も継続し行列分解問題の数理の統一的な理解を目指したい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yusuke Endo, Koujin Takeda	4. 巻 (掲載予定)
2. 論文標題 L1-Regularized ICA: A Novel Method for Analysis of Task-related fMRI Data	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Neural Computation	6. 最初と最後の頁 (掲載予定)
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 Yusuke Endo, Koujin Takeda	4. 巻 36 (1)
2. 論文標題 Performance Evaluation of Matrix Factorization for fMRI Data	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Neural Computation	6. 最初と最後の頁 128-150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1162/neco_a_01628	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 Shun Kimura, Koujin Takeda	4. 巻 18(6)
2. 論文標題 Generalization of generative model for neuronal ensemble inference method	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 e0287708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0287708	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 Ryota Kawasumi, Koujin Takeda	4. 巻 35
2. 論文標題 Automatic Hyperparameter Tuning in Sparse Matrix Factorization	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Neural Computation	6. 最初と最後の頁 1086-1099
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1162/neco_a_01581	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 遠藤優介, 竹田晃人	4. 巻 122
2. 論文標題 DCアルゴリズムを用いたSCAD正則化項付きICA	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Technical Report	6. 最初と最後の頁 NC2022-53
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 Kimura Shun, Ota Keisuke, Takeda Koujin	4. 巻 2021
2. 論文標題 Improved neuronal ensemble inference with generative model and MCMC	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment	6. 最初と最後の頁 63501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-5468/abffd5	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 Hiroki Kitano, Koujin Takeda	4. 巻 89
2. 論文標題 Belief Propagation for Maximum Coverage on Weighted Bipartite Graph and Application to Text Summarization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 43801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.043801	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 Shun Kimura, Koujin Takeda	4. 巻 なし
2. 論文標題 Improved Algorithm for Neuronal Ensemble Inference by Monte Carlo Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of NetSci-X 2020	6. 最初と最後の頁 77-90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-38965-9_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 玉井智貴, 竹田晃人	4. 巻 なし
2. 論文標題 行列分解ダイナミクスの適用限界	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報理論とその応用シンポジウム(SITA2019)予稿集	6. 最初と最後の頁 156-161
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 木村俊, 竹田晃人, 太田桂輔	4. 巻 119
2. 論文標題 モンテカルロ法を用いた神経集団推定法の改良と実データへの適用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 NC2019-101
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 Ryota Kawasumi, Koujin Takeda	4. 巻 -
2. 論文標題 Approximate method of variational Bayesian matrix factorization/completion with sparse prior	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment	6. 最初と最後の頁 53404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-5468/aabc7d	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 Tomoki Tamai, Koujin Takeda	4. 巻 -
2. 論文標題 Variational Bayes method for matrix factorization to two sparse factorized matrices	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Xplore (Proceedings of ISITA 2018)	6. 最初と最後の頁 418-422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/ISITA.2018.8664315	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 玉井智貴, 竹田晃人	4. 巻 IBISML2018
2. 論文標題 行列分解問題の変分ベイズ解のダイナミクス解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 74
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 玉井智貴, 竹田晃人	4. 巻 -
2. 論文標題 行列分解問題への甘利・馬被ダイナミクスの適用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第41回情報理論とその応用シンポジウム予稿集	6. 最初と最後の頁 377-382
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 -

〔学会発表〕 計70件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 遠藤優介, 竹田晃人
2. 発表標題 L1正則化付きICAの理論的性能評価
3. 学会等名 日本物理学会春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 遠藤優介, 竹田晃人
2. 発表標題 新たな疎制約付きICAの提案と収束性の評価
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yusuke Endo, Koujin Takeda
2. 発表標題 Application of sparse ICA to fMRI data and performance analysis based on statistical mechanical method
3. 学会等名 International Conference on Machine Learning Physics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 遠藤優介, 竹田晃人
2. 発表標題 スパース制約を課した新たな ICA とタスク付き fMRI データ解析への応用
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川澄亮太, 竹田晃人
2. 発表標題 疎行列分解におけるパラメータ自動調整法の提案と有効性の検証
3. 学会等名 情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 遠藤優介, 竹田晃人
2. 発表標題 神経活動データに対するスパース独立成分分析の適用と統計力学的手法に基づく性能解析
3. 学会等名 情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木村俊, 竹下晴山, 岩崎唯史, 竹田晃人
2. 発表標題 確率的ブロックモデルに基づく時系列信号クラスタ推定
3. 学会等名 情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川澄亮太, 玉井智貴, 竹田晃人
2. 発表標題 ベイズ行列分解モデルの平衡解の性質と解析手法の関係
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 遠藤優介, 竹田晃人
2. 発表標題 DCアルゴリズムを応用した正則化付きICAによるfMRIデータの解析
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 遠藤優介, 竹田晃人
2. 発表標題 新たな正則化付きICAとfMRIデータ解析への応用
3. 学会等名 日本神経回路学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoki Tamai, Ryota Kawasumi, Koujin Takeda
2. 発表標題 Analysis of matrix factorization by signal-noise separation in neural networks
3. 学会等名 STATPHYS28 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shun Kimura, Koujin Takeda
2. 発表標題 Time series data clustering by MCMC with Dirichlet process
3. 学会等名 STATPHYS28 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木村俊, 川澄亮太, 竹田晃人
2. 発表標題 行列分解を用いた神経クラスタ推定
3. 学会等名 日本物理学会春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 畑中亮介, 竹田晃人
2. 発表標題 特徴量抽出によるネットワークトラフィックの異常検知精度の改善法
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 遠藤優介, 竹田晃人
2. 発表標題 DCアルゴリズムを用いたSCAD正則化項付きICA
3. 学会等名 ニューロコンピューティング(NC)研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 玉井智貴, 川澄亮太, 竹田晃人
2. 発表標題 信号雑音分離による行列分解アルゴリズムの解析手法の発展と評価
3. 学会等名 情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 遠藤優介, 竹田晃人
2. 発表標題 DC計画問題の応用によるスパースICAの提案
3. 学会等名 情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 遠藤優介, 竹田晃人
2. 発表標題 fMRIデータに対する行列分解による脳情報コーディング
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 遠藤優介, 竹田晃人
2. 発表標題 DC 計画問題を用いたスパース制約付き独立成分分析
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 遠藤優介, 竹田晃人
2. 発表標題 行列分解を用いたfMRIデータのエンコーディングに関する研究
3. 学会等名 NEURO2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹田晃人
2. 発表標題 圧縮センシングの基礎と応用・最新技術
3. 学会等名 日本テクノセンター講習会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川澄亮太, 竹田晃人
2. 発表標題 特異点を利用した変分ベイズ疎行列分解アルゴリズムの事前分布パラメータ自動調整
3. 学会等名 情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 遠藤優介, 竹田晃人
2. 発表標題 fMRI データに対する行列分解の性能評価
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川澄亮太, 竹田晃人
2. 発表標題 疎行列分解アルゴリズムの事前分布パラメータ自動調整
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹田晃人
2. 発表標題 圧縮センシングの基礎と応用・最新技術
3. 学会等名 日本テクノセンター講習会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤岡義治, 竹田晃人
2. 発表標題 近似的メッセージ伝搬法を用いた半教師あり学習による画像分類
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 玉井智貴, 竹田晃人
2. 発表標題 行列分解アルゴリズムが局所解に収束する場合のダイナミクス解析
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 玉井智貴, 竹田晃人
2. 発表標題 行列分解ダイナミクスの適用限界
3. 学会等名 情報理論とその応用シンポジウム(SITA2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤岡義治, 竹田晃人
2. 発表標題 DeepClusterによる半教師あり学習のクラスタリング性能による精度評価
3. 学会等名 情報論的学習理論ワークショップ(IBIS2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉井智貴, 竹田晃人
2. 発表標題 行列分解問題への信号雑音分離法の適用評価
3. 学会等名 情報論的学習理論ワークショップ(IBIS2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤岡義治, 竹田晃人
2. 発表標題 DeepClusterに基づく半教師あり学習の考察
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉井智貴, 竹田晃人
2. 発表標題 事後共分散項を考慮した行列分解アルゴリズムの解析
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉井智貴, 竹田晃人
2. 発表標題 行列分解問題の簡約ダイナミクスの修正および停留点解析
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉井智貴, 竹田晃人
2. 発表標題 行列分解問題への甘利・馬被ダイナミクスの適用
3. 学会等名 第41回情報理論とその応用シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 玉井智貴, 竹田晃人
2. 発表標題 行列分解問題の変分ベイズ解のダイナミクス解析
3. 学会等名 第21回情報論的学習理論ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 玉井智貴, 竹田晃人
2. 発表標題 行列分解問題の変分ベイズ解の求解ダイナミクスの簡約化
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Irina Rish, Genady Ya Grabranik著, 竹澤邦夫, 大関真之, 高橋茶子, 竹田晃人, 徳田悟, 藤本晃司, 安田宗樹 共訳	4. 発行年 2020年
2. 出版社 ジャムハウス	5. 総ページ数 232
3. 書名 スパースモデリング	

〔産業財産権〕

〔その他〕

竹田 晃人 (研究代表者) のホームページ <a href="http://takeda.ise.ibaraki.ac.jp/takeda/index.html">http://takeda.ise.ibaraki.ac.jp/takeda/index.html</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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------