

令和 2 年 5 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K00031

研究課題名(和文)大規模ロバスト最適化問題に対する効率的解法と機械学習への応用

研究課題名(英文)Efficient large-scale robust optimization algorithms and their applications to machine learning

研究代表者

武田 朗子 (Takeda, Akiko)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

研究者番号：80361799

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)：実問題に使えるようにロバスト最適化手法を改良・拡張することを目的とした研究を行った。

(1)多くの判別モデルがロバスト最適化問題(min-max問題)を用いて記述できるため、そのmin-max問題の効率的解法の構築と収束性の解析を行うことで、様々な判別モデルにまとめて解法を与えた。(2)多期間ロバスト最適化問題は、期の長さ分だけmin-maxが繰り返される難しい問題である。双対性などを利用した高速解法を構築し、太陽光発電システム導入量決定問題へ適用した。(3)(1)の問題を含む一般的な非凸最適化問題に対し、一次法に基づく効率的な解法を提案し、外れ値検出問題やシステム同定問題等の実問題へ適用した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロバスト最適化法は不確実な要因に対して1つの値を想定せず集合を与えて意思決定する手法であり、不確実な要因の記述方法を工夫することにより、不確実性を含んだ問題を解きやすいクラスの問題に帰着させる。一方で、定式化や不確実な要因の記述方法に強い条件があり、その条件が満たされないと、途端に解くすべの無い問題に帰着してしまうという問題点があった。本課題では、そのように解くすべの無い問題に帰着されても、具体的な適用先(機械学習の判別問題や外れ値問題、太陽光発電システム)のモデルの特徴を利用することにより、理論保証のついた効率的な解法を構築できること示し、実際にその適用可能性を数値実験にて示した。

研究成果の概要(英文)：We have conducted research that aimed at improving and extending robust optimization methods so that they can be used in real-world problems.

(1) Since many classification models can be described using robust optimization problems (min-max problems), we have developed an efficient optimization algorithm for the min-max problem and analyzed the convergence of the algorithm. (2) The multi-period robust optimization problem is a difficult problem in which min-max is repeated for the length of the period. We developed an efficient algorithm using duality of the problem, and applied it to a solar power generation system for deciding the best size of solar system. (3) For the general non-convex optimization problem including the problem in (1), we proposed an efficient solution method based on the first-order method and applied it to real-world problems such as outlier detection problem and system identification problem.

研究分野：数理最適化, オペレーションズ・リサーチ

キーワード：ロバスト最適化 不確実性 多期間ロバスト最適化問題 非凸非平滑最適化 太陽光発電システム 外れ値検出 システム同定

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1998年に Ben-Tal & Nemirovski の研究成果をきっかけとして、その後 10 年程、「ロバスト最適化法」に関する理論的な研究が盛んに行われるようになった。研究開始当初は、エネルギーシステム分野や金融工学分野など様々な分野で適用例が報告されている状況であった。

ロバスト最適化法は不確実な要因（最適化問題のデータ）に対して 1 つの値を想定するのではなく集合を与えて意思決定を行う手法であり、不確実な要因の記述方法を工夫することにより、不確実性を含んだ問題を解きやすいクラスの問題に帰着させることができる。一方で、解きやすいクラスの問題に帰着させるためには、定式化や不確実な要因の記述方法に強い条件があり、その条件が満たされないと、途端に解くすべの無い問題に帰着されてしまうという問題点があった。現実問題への適用例によっては、そのような条件が満たされるとは限らず、これが当時、ロバスト最適化法があまり社会で活用されていない主要な原因であると考えて、本研究課題を遂行するに至った。

2. 研究の目的

実問題に使えるようにロバスト最適化手法を改良・拡張することを目的として、以下の課題について研究を行なった。

(1)効率的な解法（アルゴリズム）の構築と機械学習問題に対するロバスト最適化法の応用

これまでの研究代表者による研究成果により、多くの判別モデルがロバスト最適化問題（min-max 問題）を用いて記述できること、そして、それらの判別モデルの差異は min-max 問題の制約領域、つまり、不確実な要因の取りうる範囲（ここでは、与えられたデータセットから想定される、未知データの取りうる値の範囲）の記述方法に違いがあること、等が明らかにされていた。そこで、その min-max 問題を解くための効率的な解法を構築し、さらにその解法に収束性の保証を与えることにより、様々な判別モデルに対してまとめて理論保証の付いた解法を与えることを目的として研究を行った。

(2)多期間ロバストモデルへの解法の拡張の実問題への適用

(1)の min-max 問題の高速解法は多期間ロバスト最適化問題の解法へと繋がる、とても重要な研究課題である。多期間ロバスト最適化問題は、期の長さの分だけ min-max が繰り返されるため、非常に難しい問題に定式化される。今まで様々な実際問題に携わり、多期間ロバスト最適化問題が様々な応用を持つことは分かっており、この問題の高速解法の開発が非常に重要である。そこで、多期間ロバスト最適化問題に対する高速解法を構築すること、そして実際に実問題への適用することを目的に研究を行った。

(3)より一般的な非凸最適化問題に対する効率的な解法の構築

本課題申請時当初の研究目的になかったものの、平成 29 年度までに上記 2 つの課題をほぼ解決できたため、(1)から派生した研究を行なった。(1)の研究にて扱った非凸最適化問題を含むような一般的な非凸最適化問題に対し、一次法に基づく効率的な解法の提案、さらに外れ値検出問題やシステム同定問題等の機械学習や制御分野で扱われる現実問題への適用を目的として、研究を行った。当時は、非凸な正則化項を含み、かつ制約条件を有する最適化問題に対して、効率的な一次法は提案されていなかった。

3. 研究の方法

(1) min-max 問題が凸最適化問題に帰着されるタイプの判別モデルに対し、min-max 問題をさらに変形して「ある制約領域の下で凸二次目的関数を最小化する問題」として統一的に表した。また、多くの判別モデルは単純な制約領域を持つために制約領域上への射影が高速に計算できることを明らかにし、統一的な解法として加速近接勾配法（APG）を適用した。また、これまでに知られている 4 種の高速化テクニックを加えた APG（FAPG）に対して、最適解への収束の速さを理論的に示した。

(2) min-max 問題が非凸最適化問題に帰着されるタイプの、新たな判別モデルを提案した。より具体的には、min-max 問題の不確実性領域として、新たな集合（楕円、縮退凸包、それらを組み合わせたもの等）に設定、また、制約領域を適切に設定することにより、非凸最適化問題に帰着される新たな判別モデルを提案した。帰着された非凸最適化問題を効率的に解く解法を考案するとともに、判別性能が既存手法よりも概ねよいことを数値実験的に確かめた。

(3)多期間モデルは問題のサイズが非常に大きくなるため、効率的な解法が望まれている。部分的にラグランジュ緩和法を適用し、さらに問題を複数の子問題に分けて並列処理を行うことにより、大規模な多期間モデルを解くことができることを確認した。実際に、東京電力 5 年分の需要データや東京の日射量や気温データを用いて、天候変化や電力需要量変化のある不確実性状況下でロバストな意思決定を行うための多期間モデルを構築し、提案手法によって最適な太陽光発電システム導入量や発電量を求めた。

(4) 非凸な正則化項を含み、かつ制約条件を有する非凸最適化問題に対して、あるタイプの DC 分解を利用して等価な問題に変形すると、DC (difference-of-convex) アルゴリズムで解かれる子問題が非常に簡単になるため、既存の DC アルゴリズムが非常に高速になることを理論的に示した。また、提案 DC アルゴリズムは凸最適化問題に対する近接勾配法と非常に似た計算手順であることを示し、そこから近接勾配法の高速化法を DC アルゴリズムに取り入れることを提案した。

(5)(4)よりもさらに一般的な非凸最適化問題を対象とした DC アルゴリズムについて研究を行った。難しい構造（例えば、微分不可能性や構造的スパース性）を表す項を2つ以上含むような目的関数の最小化に対して、効率的な一次法を考案し、大域収束性や収束の速さなどの理論保証を与えた。これまで非平滑非凸な項を複数含む最適化問題に対して、効率的な一次法は提案されていなかった。本研究において、非平滑非凸な項に対して Moreau 包絡関数で緩和し、その DC 分解を利用した DC アルゴリズムを適用することを提案した。また、さらなる高速化を目指して、勾配計算を確率的に行なう確率 DC アルゴリズムを提案し、収束率の平均評価を行った。

4. 研究成果

(1) 様々な 2 値判別モデルを扱いやすい形で統一的に定式化し、その定式化に対して汎用的かつ高速な解法を提案した。提案する解法は、Beck & Teboulle [2009]の加速近接勾配法をもとに様々な高速化技法を取り入れている。取り入れた高速化技法の中には、これまで理論的な収束性が知られていなかったものも含まれているが、本研究において、それらを組み合わせた提案手法 (FAPG) に対し大域的収束性及び収束率を示すことができた。

FAPG は様々な既存モデルに適用可能という汎用性を持つ上、それぞれに対して提案されている固有の解法に比べても早いことを、数値実験を通して示した。数値実験では、サポートベクターマシンやロジスティック回帰モデルに対して、提案手法と既存解法を比較し、速さに定評のある LIBLINEAR (Fan, Chang, Hsieh, Wang and Lin, 2008)と比べても大規模データでの優位性を示すことができた (図 1 を参照)。提案する FAPG は、制約領域上への射影の計算方法を変えることで、様々な判別モデルを解くことができる。その汎用性に加えて高い計算効率を持つことから、実際に手法を使う側にとって、非常に使い勝手のよい解法といえる。本成果は機械学習分野の一流雑誌 JMLR に採択された。

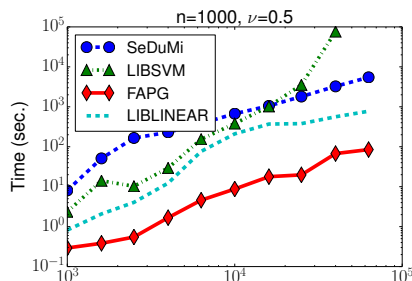


図 1 既存手法との計算時間比較

(2) min-max 問題の不確実性領域として、楕円と縮退凸包を組み合わせた領域 (図 2 を参照) を用いることにより、新しい判別モデルを構築した。与えられた訓練データに対してクラスタリング法を用いて楕円として表現した後で縮退凸包をとり、これを不確実性集合として設定したため、結果として定式化される問題の

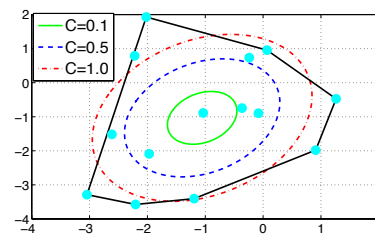


図 2 楕円と凸包を組み合わせた領域

変数は既存モデルより少なく済む。そのため、大規模データセットに対しても速く、なおかつ予測精度の高い判別関数を得ることができた。

(3)(2)において、不確実性領域として楕円を用いると、二次制約の下での二次関数最小化問題 (QCQP) に帰着される。QCQP は一般に NP-hard な問題として知られ、厳密解を効率的に求めるのは難しい。そこで、効率的に緩和問題を解くための手法を提案した。半正定値緩和と同等もしくは少し劣る緩和精度ではあるが、計算時間が少なく済むことを数値実験により確認した。

(4) 実問題からくる多期間モデルは問題のサイズが非常に大きくなる傾向にあるため、効率的な解法を構築した。実際に、東京電力の 5 年分の需要データ、東京の日射量などの実データを用いて多期間モデルを構築し、提案手法により、天候変化や電力需要量変化に頑健な解 (最適な太陽光発電システム導入量や発電量) を求めた。そして、他手法では解けないサイズの多期間ロバスト最適化問題を、提案手法を用いて解けることを確認した。また、サンタンデル銀行の主な支店での現金保有量データに基づいて、現金需要変動にロバストな意思決定 (現金保有量の決定) を行なうための多期間ロバストモデルを構築し、効率的な解法を考案した。エネルギーシステムへの応用、銀行業務運営への応用のいずれも国際雑誌にて報告されている。

(5) 非凸な正則化項と制約領域を持つ最適化問題に対して、これまで効率的な一次法は提案されていなかったが、あるタイプの DC 分解を利用して等価な問題に変形することで、DC アルゴリズムの高速化が可能になった。実際に、スパースポートフォリオ選択問題に適用し、その計算性能を他手法と比較し、優位性を検証した。本成果は、最適化分野の国際一流雑誌である Mathematical Programming に掲載された。

(6) これまで非平滑非凸な項を複数含む最適化問題に対して、効率的な一次法は提案されていなかった。そのような一般的な問題についても、Moreau 包絡関数を用いれば、DC アルゴリズムの各反復で解かれる子問題が閉形式を持つことを理論的に示し、大域収束性や収束の速さなどの理論保証を与えた。さらに数値実験を通して、停留解が高速に求まることを確認した。さらに、この提案手法を信号処理 (図 3 を参照)、外れ値検出問題やシステム同定問題に適用し、提案手法の計算性能を他手法と比較することにより、提案手法の優位性を検証した。

(7)(6)のアルゴリズムのさらなる高速化を目指して、(6)のアルゴリズムでの勾配計算を確率的に行う、確率 DC アルゴリズムを提案した。機械学習分野では、大規模データを扱うために、勾配計算に基づく解法に対して勾配計算を確率的に行う解法が盛んに研究されている。これまでは、滑らかな（連続的微分可能な）目的関数を最小化する問題に対して確率的手法が研究されていたが、本研究課題において、滑らかな関数に非凸非平滑正則化項を足し合わせた目的関数を研究対象とし、その目的関数を最小化するための確率的解法を構築した。非凸非平滑な目的関数に対して、収束の速さを保証した確率的最適化法は、我々の調べた限り最初のものである。本研究成果は機械学習分野での一流国際会議 ICML2019 に採択され、成果報告を行なった。

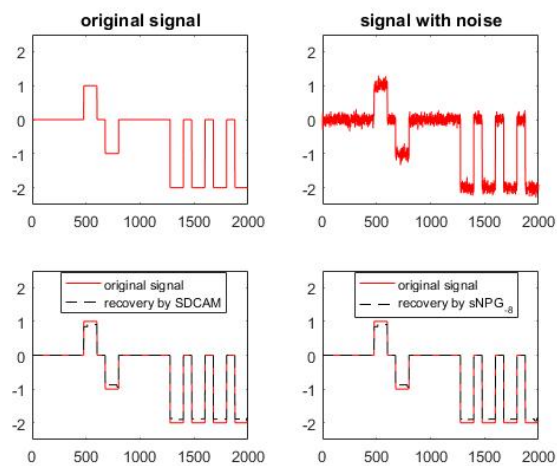


図 3 精度の高いスパース信号の復元

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 12件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Tianxiang Liu, Ting Kei Pong, Akiko Takeda	4. 巻 176
2. 論文標題 A successive difference-of-convex approximation method for a class of nonconvex nonsmooth optimization problems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mathematical Programming	6. 最初と最後の頁 339-367
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s10107-018-1327-8	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 Tianxiang Liu, Ting Kei Pong, Akiko Takeda	4. 巻 73
2. 論文標題 A refined convergence analysis of pDCA _e with applications to simultaneous sparse recovery and outlier detection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Computational Optimization and Applications	6. 最初と最後の頁 69-100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s10589-019-00067-z	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 Naoki Ito, Sunyoung Kim, Masakazu Kojima, Akiko Takeda, Kim-Chuan Toh	4. 巻 45
2. 論文標題 Algorithm 996	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACM Transactions on Mathematical Software	6. 最初と最後の頁 1~26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1145/3309988	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 Kazuhiro Sato, Akiko Takeda	4. 巻 4
2. 論文標題 Construction Methods of the Nearest Positive System	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Control Systems Letters	6. 最初と最後の頁 97~102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LCSYS.2019.2921838	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 Daniel Andrade, Akiko Takeda, Kenji Fukumizu	4. 巻 30
2. 論文標題 Robust Bayesian Model Selection for Variable Clustering with the Gaussian Graphical Model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Statistics and Computing	6. 最初と最後の頁 351-376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s11222-019-09879-9	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 Donya Rahmani, Mahesan Niranjan, Damien Fay, Akiko Takeda, Jacek Brodzki	4. 巻 131
2. 論文標題 Estimation of Gaussian mixture models via tensor moments with application to online learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Pattern Recognition Letters	6. 最初と最後の頁 285 ~ 292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.patrec.2020.01.001	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 Michael Metel, Akiko Takeda	4. 巻 97
2. 論文標題 Simple Stochastic Gradient Methods for Non-Smooth Non-Convex Regularized Optimization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning	6. 最初と最後の頁 4537-4545
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 Ivan Markovsky, Tianxiang Liu, Akiko Takeda	4. 巻 -
2. 論文標題 Subspace methods for multi-channel sum-of-exponentials common dynamics estimation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 IEEE 58th Conference on Decision and Control (CDC)	6. 最初と最後の頁 2672-2675
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 該当する

1. 著者名 Lopez Lazaro Jorge, Barbero Jimenez Alvaro, Takeda Akiko	4. 巻 92
2. 論文標題 Improving cash logistics in bank branches by coupling machine learning and robust optimization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Expert Systems with Applications	6. 最初と最後の頁 236 ~ 255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.eswa.2017.09.043	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 Konishi Ryusuke, Takeda Akiko, Takahashi Masaki	4. 巻 11
2. 論文標題 Optimal Sizing of Energy Storage Systems for the Energy Procurement Problem in Multi-Period Markets under Uncertainties	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 158 ~ 158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/en11010158	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 Yamada Shinji, Takeda Akiko	4. 巻 71
2. 論文標題 Successive Lagrangian relaxation algorithm for nonconvex quadratic optimization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Global Optimization	6. 最初と最後の頁 313 ~ 339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10898-018-0617-2	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 Ito N., Kim S., Kojima M., Takeda A., Toh K.-C.	4. 巻 72
2. 論文標題 Equivalences and differences in conic relaxations of combinatorial quadratic optimization problems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Global Optimization	6. 最初と最後の頁 619 ~ 653
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10898-018-0676-4	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 Ikeda Shunnosuke, Takeda Akiko, Ohmori Hiromitsu	4. 巻 -
2. 論文標題 Optimal sizing of photovoltaic systems for loss minimization in distribution network	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 2018 SICE International Symposium on Control Systems (SICE ISCS)	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) 10.23919/SICEISCS.2018.8330174	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 Junpei Komiyama, Akiko Takeda, Junya Honda, Hajime Shima	4. 巻 80
2. 論文標題 Nonconvex Optimization for Regression with Fairness Constraints	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of Machine Learning Research (ICML2018)	6. 最初と最後の頁 2737 ~ 2746
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 該当する

1. 著者名 Atsushi Miyauchi, Akiko Takeda	4. 巻 -
2. 論文標題 Robust Densest Subgraph Discovery	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 the 2018 IEEE International Conference on Data Mining	6. 最初と最後の頁 1188 ~ 1193
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 Sakaue Shinsaku, Takeda Akiko, Kim Sunyoung, Ito Naoki	4. 巻 27
2. 論文標題 Exact Semidefinite Programming Relaxations with Truncated Moment Matrix for Binary Polynomial Optimization Problems	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Optimization	6. 最初と最後の頁 565 ~ 582
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/16M105544X	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 Fujiwara Shuhei, Takeda Akiko, Kanamori Takafumi	4. 巻 29
2. 論文標題 DC Algorithm for Extended Robust Support Vector Machine	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Neural Computation	6. 最初と最後の頁 1406 ~ 1438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1162/NECO_a_00958	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 Kanamori Takafumi, Fujiwara Shuhei, Takeda Akiko	4. 巻 19
2. 論文標題 Breakdown Point of Robust Support Vector Machines	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Entropy	6. 最初と最後の頁 83 ~ 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/e19020083	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 Kanamori Takafumi, Fujiwara Shuhei, Takeda Akiko	4. 巻 94
2. 論文標題 Robustness of learning algorithms using hinge loss with outlier indicators	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 173 ~ 191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neunet.2017.07.005	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 Junpei Komiyama, Junya Honda, Akiko Takeda,	4. 巻 30
2. 論文標題 Position-based Multiple-play Multi-armed Bandit Problem with Unknown Position Bias	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 31st Neural Information Processing Systems (NIPS 2017)	6. 最初と最後の頁 4998 ~ 5008
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 Song Liu, Akiko Takeda, Taiji Suzuki, Kenji Fukumizu,	4. 巻 30
2. 論文標題 Trimmed Density Ratio Estimation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 31st Neural Information Processing Systems (NIPS 2017)	6. 最初と最後の頁 4518 ~ 4528
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 該当する

1. 著者名 Katsuya Tono, Akiko Takeda, Jun-ya Gotoh	4. 巻 -
2. 論文標題 Efficient DC Algorithm for Constrained Sparse Optimization	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 arXiv:1701.08498	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 Yawwani Gunawardana, Shuhei Fujiwara, Akiko Takeda, Jeongmin Woo, Christopher Woelk, Mahesan Niranjan	4. 巻 31
2. 論文標題 Outlier-Detection at the Transcriptome-Proteome Interface	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Bioinformatics	6. 最初と最後の頁 2530-2536
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/bioinformatics/btv182	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 Dimitris Bertsimas, Akiko Takeda	4. 巻 62
2. 論文標題 Optimizing Over Coherent Risk Measures and Non-convexities: A Robust Mixed Integer Optimization Approach	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Computational Optimization and Applications	6. 最初と最後の頁 613-639
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10589-015-9755-3	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 Satoru Iwata, Yuji Nakatsukasa, Akiko Takeda	4. 巻 25
2. 論文標題 Computing the signed distance between overlapping ellipsoids	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Optimization	6. 最初と最後の頁 2359-2384
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/140979654	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 Shuichi Katsumata, Akiko Takeda	4. 巻 38
2. 論文標題 Robust Cost Sensitive Support Vector Machine	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 JMLR Workshop and Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 434-443
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43件 (うち招待講演 17件 / うち国際学会 26件)

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Group Lasso for Household Energy Consumption Prediction and Toward Nonconvex Regularizer
3. 学会等名 The PolyU AMA - RIKEN AIP Joint Workshop on Optimization and Machine Learning, (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 DC Formulations and Algorithms for Sparse Optimization Problems
3. 学会等名 the Sixth International Conference on Continuous Optimization (ICCOPT 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Efficient DC algorithm for nonconvex sparse optimization problems
3. 学会等名 International Conference on Optimization: Techniques and Applications (NACA-ICOTA2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Efficient DC Algorithm for Nonconvex Nonsmooth Optimization Problems
3. 学会等名 Faculty Seminar, Southwest Jiaotong University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武田朗子
2. 発表標題 世の中の「困った」を解決する数学：数理最適化法の紹介
3. 学会等名 RDC展 2019, 東芝研究開発センター (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Efficient DC Algorithm for constrained sparse optimization problems
3. 学会等名 23rd International Symposium on Mathematical Programming (ISMP 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Nonconvex Sparse Optimization by DC Algorithm
3. 学会等名 7th International Conference on Control and Optimization with Applications (7thOCA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Nonconvex Sparse Optimization by Proximal Difference-of-convex Algorithm
3. 学会等名 Chile- Japan Academic Forum 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Hyperparameter Learning via Bilevel Nonsmooth Optimization
3. 学会等名 The Workshop on Variational Analysis and Stochastic Optimization (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Nonconvex Sparse Optimization by Proximal Difference-of-convex Algorithm
3. 学会等名 2019 Optimization Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武田朗子
2. 発表標題 スパース最適化手法の紹介とエネルギー需要予測への適用
3. 学会等名 計測自動制御学会, モデルベース ト制御における機械学習とダイナミクスの融合 調査研究会 (DML 研究会) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武田朗子
2. 発表標題 ロバスト最適化法の教師あり機械学習への適用
3. 学会等名 IEICE-MSS, CAS IPSJ-AL 共催研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Proximal DC Algorithm for Sparse Optimization
3. 学会等名 SIAM Conference on Optimization (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Efficient DC Algorithm for Nonconvex Nonsmooth Optimization Problems
3. 学会等名 Georgia Tech and Friedrich-Alexander-Universitat Workshop 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Proximal DC Algorithm for Sparse Optimization
3. 学会等名 Seminar, Vrije Universiteit Brussel (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Proximal DC Algorithm for Sparse Optimization
3. 学会等名 France / Japan Machine Learning Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Household Energy Consumption Prediction by Feature Selection of Lifestyle Data
3. 学会等名 the 2nd ISM-ZIB-IMI MODAL Workshop on Mathematical Optimization and Data Analysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Efficient DC Algorithm for Sparse Optimization
3. 学会等名 Workshop on Recent Development in Optimization, National Graduate Institute for Policy Studies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Household energy consumption prediction by feature selection of lifestyle data
3. 学会等名 CURRENT SLC Seminar, The University of Tennessee (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Efficient DC Algorithm for Nonconvex Nonsmooth Optimization Problems
3. 学会等名 Tokyo Deep Learning Workshop 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武田朗子
2. 発表標題 数理最適化の視点から機械学習の紹介
3. 学会等名 金沢数理データサイエンス研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katsuya Tono, Akiko Takeda, Jun-ya Gotoh
2. 発表標題 A Link between DC Algorithms and Proximal Gradient Methods
3. 学会等名 the Fifth International Conference on Continuous Optimization (ICCOPT 2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1 . 発表者名 Shinsaku Sakaue, Akiko Takeda, Sunyoung Kim, Naoki Ito
2 . 発表標題 Exact SDP Relaxations with Truncated Moment Matrix for Binary Polynomial Optimization Problems
3 . 学会等名 the Fifth International Conference on Continuous Optimization (ICCOPT 2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Shinji Yamada, Akiko Takeda
2 . 発表標題 A Fast Approximation Method for Nonconvex Quadratic Optimizations with Few Constraints
3 . 学会等名 the Fifth International Conference on Continuous Optimization (ICCOPT 2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Akiko Takeda, Katsuya Tono, Jun-ya Gotoh
2 . 発表標題 Efficient DC Algorithm for Sparse Optimization
3 . 学会等名 Numerical Analysis Group Internal Seminar University of Oxford
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Satoru Iwata, Yuji Nakatsukasa, Shinsaku Sakaue, Akiko Takeda
2 . 発表標題 Nonconvex Quadratic Optimization with One or Two Constraints
3 . 学会等名 CORMSIS Seminar
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Akiko Takeda, Katsuya Tono, Jun-ya Gotoh
2. 発表標題 DC Formulations and Algorithms for Sparse Optimization Problems
3. 学会等名 ECS Department Seminar
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山田 慎二, 武田 朗子
2. 発表標題 非凸二次計画問題に対する凸二次緩和反復解法
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ 学会 2017 年春季研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西田 光甫, 武田 朗子, 岩田 覚, 木方 真理子, 中山 功
2. 発表標題 ライフスタイルデータの特徴選択による電力消費モデル
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ 学会 2017 年春季研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高松 瑞代, 武田 朗子, 岩田 覚
2. 発表標題 電力需要予測への機械学習法の適用
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ 学会 2017 年春季研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤 直紀, 武田 朗子, Kim-Chuan Toh
2. 発表標題 実用的な加速近接勾配法の実装
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ 学会 2017 年春季研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Dimitris Bertsimas, Akiko Takeda
2. 発表標題 Optimizing Over Coherent Risk Measures for Binary Classification
3. 学会等名 The 22nd International Symposium of Mathematical Programming (ISMP2015) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Akiko Takeda, Naoki Ito, Kim Chuan Toh
2. 発表標題 A Unified Classification Algorithm Based on Accelerated Proximal Gradient Methods
3. 学会等名 INFORMS Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 DC Formulations and Algorithms for Sparse Optimization Problems
3. 学会等名 Workshop on Systems Management and Control (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Jun-ya Gotoh, Akiko Takeda, Katsuya Tono
2. 発表標題 Proximal DC algorithm for Sparse Optimization
3. 学会等名 International Meeting on High-Dimensional Data Driven Science (HD3-2015) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Jun-ya Gotoh, Akiko Takeda, Katsuya Tono
2. 発表標題 DC Formulations and Algorithms for Sparse Optimization Problems
3. 学会等名 Research Seminar of computer engineering and telecommunications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Robustness in Optimization under Uncertainty
3. 学会等名 Doctoral course in Machine Learning Group (GAA), Universidad Autonoma de Madrid (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 伊藤 直紀, 武田朗子, Kim Chuan Toh
2. 発表標題 簡素な制約を持つ凸最適化問題の解法とその応用
3. 学会等名 W00@つくば 未来を担う若手研究者の集い 2015
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 松永 龍弥, 小西 隆介, 高橋 正樹, 武田 朗子
2. 発表標題 ベースロード電源の負荷追従運転を考慮した再生可能エネルギーのロバスト設備投資計画問題
3. 学会等名 第58回自動制御連合講演会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 後藤 順哉, 武田 朗子, 東野 克哉
2. 発表標題 スパース正則化に対するDCアルゴリズム
3. 学会等名 第18回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2015)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 後藤 順哉, 武田 朗子, 東野 克哉
2. 発表標題 DC計画法によるスパース最適化
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2016年春季研究発表会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 坂上 晋作, 武田 朗子, Kim Sunyoung, 伊藤直紀
2. 発表標題 二値変数多項式最適化の縮小Lasserre hierarchy
3. 学会等名 日本応用数理学会 第12回 研究部会連合発表会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 坂上 晋作, 武田 朗子, Kim Sunyoung, 伊藤直紀
2. 発表標題 二値変数多項式最適化の縮小Lasserre hierarchy
3. 学会等名 研究集会「最適化:モデリングとアルゴリズム」
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Jun-ya Gotoh, Akiko Takeda	4. 発行年 2016年
2. 出版社 Wiley-Blackwell	5. 総ページ数 32
3. 書名 Chapter 10 (CVaR Minimizations in Support Vector Machines) in Financial Signal Processing and Machine Learning	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>武田朗子のホームページ http://www.or.mist.i.u-tokyo.ac.jp/takeda/index-e.html</p>

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
研究協力者	ニランジャン マヘサン (Niranjan Mahesan)	サウザンプトン大学・Electronics and Computer Science・教授	

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
連携 研究者	金森 敬文 (Kanamori Takafumi) (60334546)	東京工業大学・情報理工学院・教授 (12608)	
連携 研究者	後藤 順哉 (Gotoh Jun-ya) (40334031)	中央大学・理工学部・教授 (32641)	