

令和 6 年 5 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H04069

研究課題名(和文) 一般的な非凸非平滑最適化のための効率的解法の開発と機械学習への応用

研究課題名(英文) Developing efficient algorithms for nonconvex non smooth optimization and its application 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) 12,790,000円

研究成果の概要(和文)：スパース最適化問題は非凸非平滑最適化問題の代表例であり、非凸性と微分不可能性という2つの扱いにくさを持つ最適化問題である。本研究課題では、これまで開発してきたSDCA (Successive Difference-of-Convex Approximation method) にホモトピー法を組み合わせることで、「効率性」と「高い近似精度」の2つの特徴を兼ね揃えた解法を構築した。さらに計算効率の向上のため、パラメータの変更と停留点を求めるための反復解法の実行を同時に行うことにより、通常非線形最適化法と遜色のない理論収束レートを持つ解法を構築できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

非凸非平滑最適化問題に対して、効率性、高い近似精度の両方を兼ね揃えた解法の提案することを目標に掲げて研究を遂行した。解くべき問題を凸計画問題から元問題の非凸最適化問題へと変形しつつ最適解を求めていくという、ホモトピー法のアイデアを取り入れることで、両方の特徴を兼ね備えた解法の構築が可能になった。現実問題には非凸最適化問題として定式化される場合がしばしばあるが、既存の非凸最適化法を用いると、用いる初期解によって得られる解がかなり異なるため、応用上使いにくい場合も多い。本研究結果により、この非凸性による欠点がある程度解消されるため、十分に社会的意義もある成果と自己評価している。

研究成果の概要(英文)：The sparse optimization problem is a typical example of a nonsmooth nonconvex optimization problem, which has two intractable characteristics: nonconvexity and non-differentiability. In this research project, we have developed a solution method that combines the Successive Difference-of-Convex Approximation method (SDCA) with the homotopy method to achieve both "efficiency" and "high approximation accuracy". Furthermore, by simultaneously changing the parameters and performing iterative update to find a stationary point to improve computational efficiency, we were able to construct an algorithm with a theoretical convergence rate that is comparable to that of ordinary nonlinear optimization methods.

研究分野：数理最適化

キーワード：非凸非平滑最適化 機械学習 DC最適化 最悪反復計算量 大域収束性 確率最適化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) L0 ノルムやランク関数は非凸関数であり、そのような関数を目的関数や制約式に含むスパース最適化問題は、一般には NP 困難であることが知られている。研究開始当初、研究代表者のグループ、そして他の研究者グループが同時期に、L0 ノルムよりも扱いやすい非凸な連続関数を用いたスパース最適化問題の定式化を示し、研究代表者グループは勾配計算に基づく効率的な解法（近接 DCA 法）を提案した。

(2) さらに、研究代表者らは、近接 DCA 法とペナルティ法を組み合わせることにより得られる解法 SDCA (Successive Difference-of-Convex Approximation method) が、スパース最適化問題を含む広いクラスの問題（いくつもの非凸項、非平滑項を含む、非凸非平滑最適化問題）に対して適用可能であることを示した。しかし、非凸スパース最適化法の研究は始まったばかりで、実用化に向けて様々な課題が残されている。そこで本研究課題として、SDCA の効率化、そして、最適解により近い解（より“良い”解）を求めるための SDCA の改良を研究目標に掲げ、研究を遂行した。

2. 研究の目的

(1) スパース最適化問題は非凸非平滑最適化問題の代表例であり、非凸性と微分不可能性という 2 つの扱いにくさを兼ね備えた問題である。その問題に対して、通常の「停留点の求解」を目標とするのではなく「より大域的最適解に近い解の求解」を目標とした解法の構築、さらに、「既存手法よりもより早い」解法の構築を研究目的とした。

(2) 通常非線形最適化手法は非凸最適化問題の停留解を求めるための解法であり、得られた解が最適値に近い値を達成する保証はない。実際、研究代表者らはエネルギー分野の実データによるスパース回帰問題に近接 DCA を適用し、用いる初期解によって得られる解がかなり異なることを確認した。しかしながら、研究者の関心は今なお解法の効率性に向けられており、その解法の出す解の“良さ”、つまり、どれくらいの近似精度の解が得られるか、についてはほとんど議論がなされていない。そこで、実社会への応用も見据えて、精度のよい効率的解法の構築を目的とした。

3. 研究の方法

本研究課題申請当初、SDCA によって得られる解の精度保証は未だ十分に研究されていない状況だった。下記のような手段で研究を遂行した。

(1) 実行可能解を求めるための発見的解法と SDCA を組み合わせた高速 SDCA

SDCA は勾配計算に基づく解法で、1 次法と呼ばれる解法の一つである。1 次法は大規模な問題を扱える反面、解への収束が遅いという欠点がある。特に、SDCA はペナルティ法と組み合わせているため、十分に収束させてアルゴリズムを終了しないと、制約式を満たす解が得られなくなってしまう。しかし、収束が遅い上に十分収束させる必要があるとなると、規模の大きな問題を現実的な時間で解くことはできない。そこで、早い段階で SDCA の反復を終了させ、そのあと事後処理プロセスとして交互射影法に切り替えて実行可能解を求める、という解法を構築した。理論的に困難な点として、SDCA から交互射影法に解法を切り替えるタイミングを注意深く考える必要性が挙げられる。そこで、反復法における収束判定条件の設定の際にしばしば用いられるエラーバウンド等の基準を使えるか、また、エラーバウンドの基準を満たしたまま交互射影法を実行できるか等を調べ、効率的な解法を提案した。

(2) 確率的な勾配計算を取り入れた確率的 SDCA 法の提案

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ことが一つのトレンドとなっている。確率的に勾配を計算すると、計算時間を短くできるという利点のみならず、そのランダムネスにより質の悪い停留点から抜け出すという効果も期待できる。SDCA も勾配計算に基づく解法であり、勾配計算を確率的に行うことは可能である。そこで、上記(1)でエラーバウンドによる収束評価を行った後、確率的な勾配計算による解法を構築し、その収束解析を行なった。

(3) 「効率性」、「高い近似精度」の両方を兼ね揃えた解法の提案

上記(1),(2)にて「効率性」を重視した高速 SDCA を構築した後、「高い近似精度」を重視した SDCA ホモトピー法を構築した。高速化 SDCA と SDCA ホモトピー法を組み合わせ、「効率性」と「高い近似精度」の 2 つの特徴を兼ね揃えた解法、改良 SDCA を構築した。機械学習分野での大規模データより生じる大規模最適化問題に適用し、その有効性を検証するとともに、どこまで大規模な問題を現実的な時間で解けるか調べた。

(4) SDCA の適用範囲を、2 次錐や半正定値錐上でのスパース最適化問題へ拡張

研究代表者の一連の研究は、単純な問題設定 (L0 ノルム制約, もしくはランク制約のもとで滑らかな目的関数を最小化) での近接 DCA の提案から始まった。そして、近接 DCA とペナルティ法を組み合わせることにより得られる解法 SDCA が、スパース最適化問題を含む広いクラスの問題 (いくつかの非凸項, 非平滑項を含む, 非凸非平滑最適化問題) に対して適用可能であることを示した。一方で、他のグループによる手法: 近接勾配法は、近接 DCA と同様に、単純な問題設定しか扱えないままである。研究代表者らが提案した SDCA は広いクラスの問題を扱えることを特徴としており、さらなる適用範囲の拡張を目標において研究を遂行した。具体的な方法として、ユークリッドジョルダン代数を用いることで、2 次錐や半正定値錐を含む問題に対して、効率的な近接 DCA 法を構築できることに注目した。すると、特徴間のグループ構造に対するスパース性を L0 ノルムと 2 次錐制約を用いて表現することができることから、今までスパース制約を L1 ノルムで緩和して扱っていた「グループ Lasso モデル」を L0 ノルムのまま扱うことが可能になる。つまり、グループ間の疎性構造を考慮しつつ、よりスパースな解を得ることが可能になることに着目して研究を遂行した。

4. 研究成果

(1) 実行可能解を求めるための発見的解法と SDCA を組み合わせた高速 SDCA

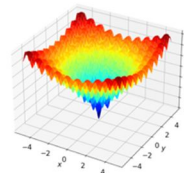
SDCA はペナルティ法と組み合わせているため、十分に収束させてアルゴリズムを終了しないと、制約式を満たす解が得られなくなる。一方で、そうすると現実的な時間で解くことはできないといった問題が発生する。そこで、早い段階で SDCA の反復を終了させ、そのあと事後処理プロセスとして交互射影法に切り替えて実行可能解を求める解法を構築した。このように実用上、異なる 2 つの解法を途中で切り替えて用いることはしばしば行われるが、解法全体としてその収束性について理論保証を与えることはこれまで我々の知る限り、ほとんどなされていない。本研究では、SDCA から交互射影法に解法を切り替えるタイミングについて、反復法における収束判定条件の設定の際にしばしば用いられるエラーバウンドの基準を用いることで、提案手法の収束性について理論的な保証を与えることに成功した。本研究成果のうち、理論的な面についての論文は数値計算分野の国際雑誌 [1] に掲載され、また数値実験による実践的な面については制御分野の国際雑誌 [2] に掲載された。

(2) 確率的な勾配計算を取り入れた確率的 SDCA 法の提案

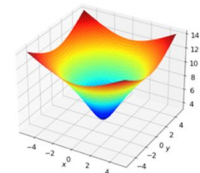
非凸非平滑な最適化問題に対して研究代表者らが提案した SDCA は、目的関数の勾配計算に基づく解法である。その勾配計算を確率的な勾配計算に置き換えることで、確率的 SDCA (SSDCA) を提案した。さらに収束解析を行ない、既存の手法 [3] に比べて収束スピードが速いことを理論的に、そして数値実験を通して示した。実は、本研究成果が得られた時点では、非凸非平滑最適化問題に対する確率最適化法に対して、これまで非漸近的な収束解析結果は知られておらず、我々のグループが論文 [3] の著者グループと同時に独立に、初めて非漸近的な収束解析の保証を与えた。本研究成果は機械学習分野の国際会議 ICML [4] に、[3] の著者らと同時に採択された。

(3) 大域最適解に近い解を求めるための、SDCA ホモトピー法の開発

非凸非平滑最適化問題のために提案されている既存解法はいずれも停留解を求めるための解法であり、アルゴリズムの初期解によって得られる停留解がかなり異なることが指摘されている。この問題を解決すべく、非凸最適化法とホモトピー法を組み合わせることを検討した。パラメータを 1 つ導入して、解くべき問題を凸計画問題から元問題へと変形しつつ最適解を求めていく手法を考案した。具体的には、この変形した最適化問題の解を次の最適化問題の初期解として最急降下法を適用していく解法である。非凸性の高い左図の関数を直接最適化すると質の悪い停留点にすぐにはまってしまうため、右図の滑らかな関数から左図へと連続変形しつつ最適解を求めていく手法である。さらに計算効率の向上のため、パラメータの変更と停留点を求めるための反復解法の実行を同時に行うことを検討した。同時にパラメータの変更を行うと、理論保証が難しくなるが、研究対象とする最適化問題を限定することで、提案解法より導出される解について、理論的保証を与えることができた。本研究成果は機械学習分野の国際会議 NeurIPS [5] に採択された。



(a) Ackley function



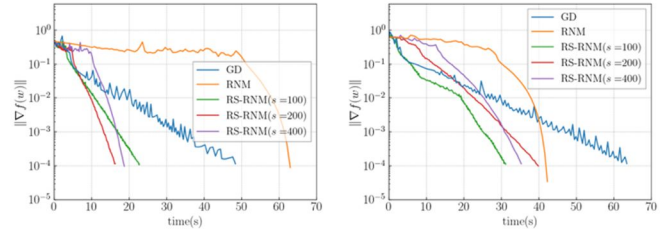
(b) Gaussian smoothed function with parameter $l = 1$

Figure 3: Visualization of the Ackley function and its Gaussian smoothed function.

(4) 次元縮小による大規模非凸最適化解法の提案

本研究課題にて、様々なタイプの非凸非平滑最適化問題に対して SDCA 解法の適用を検討してきた。本研究課題で目指していた「効率性」、「高い近似精度」の両方を兼ね揃えた解法提案という目標が上述の (3) により達成できたため、更なる解法の高速度化に向けて、ランダム行列を用いた問題の次元縮小を検討した。ランダム行列を用いて、扱う最適化問題のサイズを縮小し、元問題の最適値との解法によって得られる解の関数値の差を高確率で保証する方法が知られてい

るが、非凸最適化問題については厳密解を得る解法の構築自体が難しくなるので、これまでほとんど研究がされていなかった。本研究課題では、非凸最適化問題を次元縮小するとその非凸性が緩和される現象に着目し、次元縮小した後に凸近似することを提案した。この成果は国際一流雑誌[6]に掲載済みである。さらに、これをアルゴリズムの各反復で行うことにより、部分空間アルゴリズムを構築できた。右の2つの図より、元の変数次元 1500 より小さい次元の部分空間



(c) computation time versus $\|\nabla f(w)\|$ (\log_{10} -scale) for Geman-McClure loss (d) computation time versus $\|\nabla f(w)\|$ (\log_{10} -scale) for Cauchy loss

($s=100, 200, 400$) を各反復で解くことにより、短時間で解法が終了条件を見たして終了している様子が窺える。本成果は現在、論文雑誌に投稿中[7]である。

(5)SDCA の 2 次錐や半正定値錐上でのスパース最適化問題への拡張

我々の SDCA に関する一連の研究は、非凸非平滑最適化問題を解くまでに拡張されている。さらなる適用範囲の拡張を目指して研究を行った。具体的には、ユークリッドジョルダン代数を用いることで、2 次錐や半正定値錐を含む問題に対し、効率的に SDCA を適用できると考えて、研究を進めた。解法の開発については順調に進んだものの、提案解法に対して理論的な保証を与えるのに多くの理論的な道具（微分計算など）を用意する必要があり、その理論的な道具の部分をまずは研究して論文執筆した。実際に、ユークリッドジョルダン代数上でのスペクトラル関数の一般化劣微分の特徴についての研究成果[8]は数理最適化分野の一流雑誌に掲載された。ようやく、必要な数学的道具が揃い、当初から本研究課題の目標として掲げていた、「ユークリッドジョルダン代数を用いた、2 次錐や半正定値錐を含む最適化問題のための効率的 SDCA 解法の開発」について検討を進め、既存手法より速い解法の構築ができたところである。大域的収束性や収束の速さについての保証を与えるとともに、数値実験を通して、 p 次錐を含む問題に適用して収束スピードを確認した。本成果は現在、論文雑誌に投稿のために、論文執筆している段階である。

引用文献

- [1] T. Liu, I. Markovskiy, T.K. Pong, A. Takeda, “A hybrid penalty method for a class of optimization problems with multiple rank constraints”, *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*, 41(3), pp.1260-1283 (2020).
- [2] I. Markovskiy, T. Liu, A. Takeda, “Data-driven structured noise filtering via common dynamics estimation”, *IEEE Transactions on Signal Processing*, 68, pp.3064-3073 (2020).
- [3] Y. Xu, Q. Qi, Q. Lin, R. Jin, T. Yang, “Stochastic optimization for dc functions and non-smooth non-convex regularizers with non-asymptotic”, *Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning (ICML 2019)*, 2019.
- [4] M. Metel, A. Takeda, “Simple Stochastic Gradient Methods for Non-Smooth Non-Convex Regularized Optimization”, *Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning (ICML 2019)*, 2019.
- [5] H. Iwakiri, Y. Wang, S. Ito, A. Takeda, “Single Loop Gaussian Homotopy Method for Non-convex Optimization”, *Neural Information Processing Systems 35 (Neurips 2022)*, 2022.
- [6] T. Fuji, P.L. Poirion, A. Takeda, “Convexification with bounded gap for randomly projected quadratic optimization”, *SIAM Journal on Optimization*, 32(2), pp.874-899 (2022).
- [7] T. Fuji, P.L. Poirion, A. Takeda, “Randomized Subspace Regularized Newton Method for Unconstrained Non-convex Optimization”, [arXiv:2209.04170](https://arxiv.org/abs/2209.04170), 2022.
- [8] B.F. Lourenco, A. Takeda, “Generalized subdifferentials of spectral functions over Euclidean Jordan algebras”, *SIAM Journal on Optimization*, 30(4), pp.3387-3414 (2020).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計31件（うち査読付論文 31件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Andrade Daniel, Takeda Akiko	4. 巻 216
2. 論文標題 Robust Gaussian Process Regression with the Trimmed Marginal Likelihood	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the Thirty-Ninth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 67 ~ 76
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 Iwakiri Hidenori, Wang Yuhang, Ito Shinj, Takeda Akiko	4. 巻 35
2. 論文標題 Single Loop Gaussian Homotopy Method for Non-convex Optimization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advances in Neural Information Processing Systems	6. 最初と最後の頁 7065 ~ 7076
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 Obara Mitsuaki, Sato Kazuhiro, Sakamoto Hiroki, Okuno Takayuki, Takeda Akiko	4. 巻 69
2. 論文標題 Stable Linear System Identification With Prior Knowledge by Riemannian Sequential Quadratic Optimization	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Automatic Control	6. 最初と最後の頁 2060 ~ 2066
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TAC.2023.3318195	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 Liu Tianxiang, Pong Ting Kei, Takeda Akiko	4. 巻 86
2. 論文標題 Doubly majorized algorithm for sparsity-inducing optimization problems with regularizer-compatible constraints	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Computational Optimization and Applications	6. 最初と最後の頁 521 ~ 553
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10589-023-00503-1	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 該当する

1. 著者名 Arahata Shun, Okuno Takayuki, Takeda Akiko	4. 巻 86
2. 論文標題 Complexity analysis of interior-point methods for second-order stationary points of nonlinear semidefinite optimization problems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Computational Optimization and Applications	6. 最初と最後の頁 555 ~ 598
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10589-023-00501-3	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 -

1. 著者名 Sukeda Issey, Miyauchi Atsushi, Takeda Akiko	4. 巻 309
2. 論文標題 A study on modularity density maximization: Column generation acceleration and computational complexity analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 European Journal of Operational Research	6. 最初と最後の頁 516 ~ 528
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejor.2023.01.061	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 Poirion Pierre-Louis, Lourenco Bruno F., Takeda Akiko	4. 巻 664
2. 論文標題 Random projections of linear and semidefinite problems with linear inequalities	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Linear Algebra and its Applications	6. 最初と最後の頁 24 ~ 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.laa.2023.01.013	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 Marumo Naoki, Okuno Takayuki, Takeda Akiko	4. 巻 84
2. 論文標題 Majorization-minimization-based Levenberg-Marquardt method for constrained nonlinear least squares	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Computational Optimization and Applications	6. 最初と最後の頁 833 ~ 874
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10589-022-00447-y	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 Metel Michael R., Takeda Akiko	4. 巻 195
2. 論文標題 Perturbed Iterate SGD for Lipschitz Continuous Loss Functions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Optimization Theory and Applications	6. 最初と最後の頁 504 ~ 547
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10957-022-02093-0	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 Liu Tianxiang, Takeda Akiko	4. 巻 82
2. 論文標題 An inexact successive quadratic approximation method for a class of difference-of-convex optimization problems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Computational Optimization and Applications	6. 最初と最後の頁 141 ~ 173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10589-022-00357-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 -

1. 著者名 Obara Mitsuaki, Okuno Takayuki, Takeda Akiko	4. 巻 32
2. 論文標題 Sequential Quadratic Optimization for Nonlinear Optimization Problems on Riemannian Manifolds	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Optimization	6. 最初と最後の頁 822 ~ 853
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/20M1370173	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 Fuji Terunari, Poirion Pierre-Louis, Takeda Akiko	4. 巻 32
2. 論文標題 Convexification with Bounded Gap for Randomly Projected Quadratic Optimization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Optimization	6. 最初と最後の頁 874 ~ 899
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/21M1433678	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 Metel Michael R., Takeda Akiko	4. 巻 15
2. 論文標題 Primal-dual subgradient method for constrained convex optimization problems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optimization Letters	6. 最初と最後の頁 1491 ~ 1504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11590-021-01728-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 -

1. 著者名 Metel Michael R., Takeda Akiko	4. 巻 22(115)
2. 論文標題 Stochastic Proximal Methods for Non-Smooth Non-Convex Constrained Sparse Optimization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Machine Learning Research	6. 最初と最後の頁 1 ~ 36
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 Okuno Takayuki, Takeda Akiko, Kawana Akihiro, Watanabe Motokazu	4. 巻 22(245)
2. 論文標題 On Lp-hyperparameter Learning via Bilevel Nonsmooth Optimization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Machine Learning Research	6. 最初と最後の頁 1 ~ 347
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 Marumo Naoki, Miyauchi Atsushi, Takeda Akiko, Tanaka Akira	4. 巻 -
2. 論文標題 A Projected Gradient Method for Opinion Optimization with Limited Changes of Susceptibility to Persuasion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CIKM '21: Proceedings of the 30th ACM International Conference on Information & Knowledge Management	6. 最初と最後の頁 1274 ~ 1283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3459637.3482408	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 Sato Ryo, Tanaka Mirai, Takeda Akiko	4. 巻 34
2. 論文標題 A Gradient Method for Multilevel Optimization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Neural Information Processing Systems	6. 最初と最後の頁 7522 ~ 7533
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 Rahmani Donya, Niranjan Mahesan, Fay Damien, Takeda Akiko, Brodzki Jacek	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) 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 Suehiro Daiki, Hatano Kohei, Takimoto Eiji, Yamamoto Shuji, Bannai Kenichi, Takeda Akiko	4. 巻 32
2. 論文標題 Theory and Algorithms for Shapelet-Based Multiple-Instance Learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neural Computation	6. 最初と最後の頁 1580 ~ 1613
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1162/neco_a_01297	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 Sato Kazuhiro, Takeda Akiko	4. 巻 4
2. 論文標題 Controllability maximization of large-scale systems using projected gradient method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Control Systems Letters	6. 最初と最後の頁 821 ~ 826
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LCSYS.2020.2993983	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 Markovsky Ivan、Liu Tianxiang、Takeda Akiko	4. 巻 68
2. 論文標題 Data-Driven Structured Noise Filtering via Common Dynamics Estimation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Signal Processing	6. 最初と最後の頁 3064 ~ 3073
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TSP.2020.2993676	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 Liu Tianxiang、Markovsky Ivan、Pong Ting Kei、Takeda Akiko	4. 巻 41
2. 論文標題 A Hybrid Penalty Method for a Class of Optimization Problems with Multiple Rank Constraints	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications	6. 最初と最後の頁 1260 ~ 1283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/19M1269919	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 Lourenco Bruno F.、Takeda Akiko	4. 巻 30
2. 論文標題 Generalized Subdifferentials of Spectral Functions over Euclidean Jordan Algebras	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Optimization	6. 最初と最後の頁 3387 ~ 3414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/19M1245001	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 Ogura Hikaru、Takeda Akiko	4. 巻 -
2. 論文標題 Convex Fairness Constrained Model Using Causal Effect Estimators	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 WWW '20: Companion Proceedings of the Web Conference 2020	6. 最初と最後の頁 723 ~ 732
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3366424.3383556	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 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) 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) 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: BBCPOP: A Sparse Doubly Nonnegative Relaxation of Polynomial Optimization Problems with Binary, Box and Complementarity Constraints	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) 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) 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 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)}, Nice, France, 2019, pp. 2672-2675.	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

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Random subspace optimization methods for large-scale optimization problems
3. 学会等名 Deep Learning (DL 2024) workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Applying Random projection techniques to nonconvex optimization problems
3. 学会等名 Mini Workshop on Optimization, University of Southampton ((招待講演)(国際学会))
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Applying Random projection techniques to nonconvex optimization problems
3. 学会等名 ZIB- AISST Seminar, The Zuse Institut Berlin (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Generalized Levenberg-Marquardt method with oracle complexity bound and local quadratic convergence
3. 学会等名 Optimization in the Big Data Era (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Bilevel Optimization for Machine Learning Problems
3. 学会等名 the 6th RIKEN-IMI-ISM-NUS- ZIB-MODAL-NHR Workshop on Advances in Classical and Quantum Algorithms for Optimization and Machine Learning (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Bilevel Optimization for Some Machine Learning Problems
3. 学会等名 the Seventh International Conference on Continuous Optimization (ICCOPT 2022), (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Bi/trilevel Optimization Approach for Hyper- parameter Selection
3. 学会等名 The SIAM Conference on Optimization (OP23) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Difference-of-Convex Approach for Nonconvex Nonsmooth Optimization Problems
3. 学会等名 5th ZIB-RIKEN-IMI-ISM MODAL Workshop on Optimization, Data Analysis and HPC in AI (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田朗子
2. 発表標題 不確実性下での最適化手法: ロバスト最適化法の紹介
3. 学会等名 第 41 回 IBISML 研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akiko Takeda
2. 発表標題 Deterministic and Stochastic Gradient Methods for Non-Smooth Non-Convex Regularized Optimization
3. 学会等名 Variational Analysis and Optimisation Webinar series (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Homepage of Akiko Takeda https://www.or.mist.i.u-tokyo.ac.jp/takeda/publication-e.html

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	ロウレンソ ブルノ・フィゲラ (Lourenco Bruno F.) (80778720)	統計数理研究所・数理・推論研究系・准教授 (62603)	

6. 研究組織（つづき）

	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	L i u T i a n x i a n g (Liu Tianxiang) (90835216)	国立研究開発法人理化学研究所・革新知能統合研究センター・特別研究員 (82401)	
研究分担者	M e t e l M i c h a e l R o s (Metel Michael Ros) (40839081)	国立研究開発法人理化学研究所・革新知能統合研究センター・特別研究員 (82401)	

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