

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02379

研究課題名（和文）ロバストなデータ解析のための最適化モデリングの深化

研究課題名（英文）Deepening optimization modelings for robust data analysis

研究代表者

後藤 順哉（GOTOH, Jun-ya）

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：40334031

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 6,300,000円

研究成果の概要（和文）：データ解析手法や経営科学における意思決定の多くは数理最適化モデルを通じてアプローチできる。本研究課題ではそのような手法や意思決定問題に資する最適化モデリングおよびアルゴリズムに対し、研究代表者らが過年度に提示した非凸最適化のモデリング技法を用い、より発展的なデータ解析手法を提示したり、有効なアルゴリズムを示した。また、敵対的な状況に対する最適化の1形式であるロバスト最適化モデリングにおけるパラメータの設定方針や定式化の含意について、その事後パフォーマンスに関する理論的な解析を通じた示唆を与えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

経営科学におけるデータ解析に基づく意思決定（ビジネスアナリティクス）において、その技術のロジックを人間が解釈し易くなるような手法の提案を目指す。より具体的には、現実社会で見られるデータが持つ、扱いづらい性質のいくつかに注目し、研究代表者らが最近提示した非凸最適化のモデリング技法を用い、なるべく統合的な形でデータ解析手法を提示していく。このように背後のロジックが明確な方法論についても新しい方法論を提示し、理解を深めることで、ブラックボックス化を前提に進むデータ解析手法の補完技術を整備する。

研究成果の概要（英文）：data analysis methods and decision making in management science can be approached through mathematical optimization models. In this research project, we propose more advanced data analysis methods based on optimization modeling and algorithms that contribute to such modelings and decision-making problems, using the non-convex optimization modeling technique presented by the P.I. in the past year. In addition, a theoretical analysis of out-of-sample performance and an interpretation of a robust optimization modeling, a form of optimization for adversarial situations, were given to suggest a parameter setting policy.

研究分野：オペレーションズ・リサーチ、数理最適化

キーワード：数理最適化 データ ロバスト スパース最適化 機械学習

## 1. 研究開始当初の背景

インターネットを介したデータ収集やセンサー技術の普及に伴い、経営科学におけるデータ解析に基づく意思決定、いわゆるビジネスアナリティクスの重要性と期待が、これまでにない高まりを見せている。その象徴は、画像処理などの分野で驚異的な進歩を見せる深層学習(ディープラーニング)などの人工知能技術であるが、そこでよく問題になるのは、そのプロセスの解釈、すなわちロジックがユーザにとって不明であることである。そのような問題意識に立てば、データ解析技術を発展させつつ、かつ、人間が解釈できるような基礎技術となるように、それらの手法の再整備が必要であった。

## 2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、本課題では、いくつかの基本的なデータ解析の方法論を対象とし、ビジネスなど現実社会で見られるデータが持つ、扱いづらい性質のいくつかに注目し、研究代表者が研究提示していた非凸最適化のモデリング(= 定式化)技法を用い、なるべく統合的な形でデータ解析手法を提示すること、および、近年注目を集める最適輸送距離などを用いた新しいデータ解析手法の創出を目指した。

以上を踏まえ、当課題の申請時には4年間にわたり以下の課題1.~4. について取り組む計画を立てた。

1. DC 最適化モデルのフロンティアの拡大
2. DC 最適化モデルに対するアルゴリズムとその効果の比較評価
3. 統計的仮定に対する分布的ロバスト最適化の深化
4. 非数値データを取り込んだデータ解析手法の探求

単純な線形回帰モデルに対する最小二乗における変数選択や行列補完に対しては、既に研究代表者らが論文 Gotoh, Takeda, Tono (2018)において、近接 DCA と呼ばれる問題の構造を活かした局所探索アルゴリズムを提示し、そのパフォーマンスの数値実験結果が示されている。そこで課題 1.として、より柔軟な回帰モデルであるスプライン回帰や、クラスタリングなどの回帰分析以外のデータ解析手法、そして圧縮センシングと呼ばれる、圧縮された画像データの復元に関する問題に対し、Gotoh, Takeda, Tono (2018)の DC 表現に基づくアプローチを拡張していくことを目指した。

課題 2. は各データ解析手法に対する DC 表現の妥当性の検証である。実用的な観点から、どの対象に、どのモデリング、どのアルゴリズムの適用が好ましいのか、実験的に明らかにすることを目標とし、対象によっては理論的にその差異を特徴づける試みである。

課題 3. では Gotoh, Kim, Lim (2018)の分析をより多様なダイバージェンス(や距離)を用いた DR0 へと拡張する理論分析と、データ解析に対する効果の実験的検証を行い、ハイパーパラメータの与え方が事後パフォーマンスにもたらす影響を明らかにする。

課題 4. は Wasserstein 距離 / EMD の柔軟性に着目し、オペレーションズ・リサーチ(OR)分野で知られた階層分析法(AHP)などを援用し、主観評価などの非数値データを従来型の数値データ解析法に取り込む新しい手法を提示することを想定したものである。

結果的に、課題 4. については試行的な取り組み、あるいは、DR0 に関する投稿論文内での部分的な展開までとなり、投稿論文執筆まで到達できなかった。以降では課題 1.~3. の取り組みについての結果を中心に成果を報告する。

## 3. 研究の方法

4. に示すように、大きく2つのトピックが主たる成果といえる。いずれも数理最適化モデリング(定式化)と理論的分析、そして数値計算に基づく実証分析に拠るところが大きい。実施体制としては、いずれも複数名による共同研究の形で実施し、流動的に役割を分担して進めた。

## 4. 研究成果

研究成果は大きく以下の2つのトピックにまとめられる。

- (1) スパース最適化に対する非凸型正則化を用いた定式化の拡張的な適用と、理論的分析および数値計算に基づく実証(Nakayama, Gotoh, 2021 など)
- (2) 分布的ロバスト最適化モデルの事後パフォーマンスに関する理論的考察(Gotoh, Kim, Lim, 2021 など)

これらについて、以下、やや詳しく記す。

- (1) スパース最適化に対する非凸型正則化を用いた定式化に対する取り組み

Gotoh, Takeda, Tono (2018)は有限次元実ベクトルに対するあるノルム(最大 $k$ ノルム)の

差で表される関数を正則化関数として用いることで、使用する変数の数を指定した変数選択とモデル適合を同時に行う方法を提示している。この非凸な正則化関数は他の研究者のプレプリントに倣って、現在刈込 LASSO 関数などと呼んでいる。また、刈込 LASSO 関数をデータとモデルの非適合度の関数（残差平方和）に追加し手構成した目的関数の最小化問題に対し、刈込 LASSO 関数の DC 分解に着目し、その一部に対する近接写像を利用し、目的関数の上界を繰り返し最小化する、近接 DC アルゴリズム PDCA と呼ばれる上界値最小化 (MM) アルゴリズムの枠組みを利用する解法を提示している。

一方で, Gotoh, Takeda, Tono (2018) で利用した非凸正則化関数については, DC 分解に基づく部分的な近接写像でなく, 分解しない刈込 LASSO 関数全体に対する近接写像も同程度に効率的に求まることが指摘されていた (Lu, Li, 2018). そこで, Nakayama, Gotoh (2021) では DC 分解に基づかない近接勾配法 (PGM) と DC 分解に基づくアルゴリズムの改良版について比較を行った。近接勾配法の各反復では直線探索をどのように行うかがアルゴリズムの実践的な効率性を左右する。そこで本研究では PGM の改良版である General Iterative Shrinkage and Thresholding アルゴリズム (GIST, Gong et al., 2013) を採用した。これは各反復の直線探索において, Barzilai-Borwein (BB) ルールと呼ばれる, 目的関数の 2 次の特性も取り入れた初期ステップサイズ決定ルールと, 目的関数値の単調性を要求しない非単調直線探索の 2 技法を取り入れた PGM と言える。

理論的な収束性については, GIST も PDCA も DC 最適化問題の臨界点 (critical point) と呼

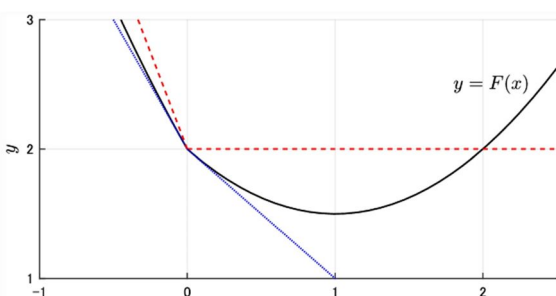


図 1  $x = 0$  は関数  $y = F(x)$  の停留点でない臨界点の例 (Nakayama, Gotoh, 2021 の Fig.2 より抜粋)

ばれる, 通常の意味での停留点より緩い条件を満たす点に収束することが知られていた (図 1). 本課題の前までに Lu, Zhou (2019) が PDCA に大幅な手間を加えた改良版 NEPDCA を提示し, それが臨界点よりも強い局所最適の必要条件である方向停留点に収束することを示していた。それに対し, 本論文では, いくつかの技術的な仮定の下で, GIST が出力する点列は, DC 分解可能な問題だけでなく, より一般的な非平滑非凸最小化問題に対しても, 何の修正も加えることなく方向停留点に収束することを示した。すなわち, DC 分解に基づかず, 直接非凸正則化関数全体に対する PGM の方が, 方向停留点と呼ばれる, より

好ましい点に収束することを証明した。

さらに Nakayama, Gotoh (2021) では刈込 LASSO 関数を用いて変数選択を行うというアイデアを援用し, モデルとデータの非適合度 (残差平方和) にも適切な変数と非凸正則関数を追加することで, 外れ値の排除と変数の選択とモデルの適合を同時に行う回帰推定モデル (スパース・ロバスト回帰) についても考えている。当該拡張モデルは変数選択と外れ値除去のために 2 つの刈込 LASSO 関数を持つことになる。その結果, 各反復で近接写像を 2 回適用する手続きを行うように GIST を改良した GPALM を提示し, いくつかの技術的な仮定の下, このアルゴリズムについても生成点列が方向停留点 (の拡張されたバリエーション) に収束することを示した。

最後に, GIST, PGM, NEPDCA, PDCA (の改良版である PDCAe) を実データに基づく数値比較した結果, 非凸正則化の近接写像に基づく GIST が DC 分解に基づく NEPDCA, PDCA よりも良い解により効率的に行きついていることが確認された。表 1 はその例の 1 つである。ここで正則化パラメータ  $\lambda$  が大きければ変数の上限  $K = 9$  個を達成することが期待される定式化となっている。表を見ると大きい  $\lambda$  に対して GIST は指定された変数の数  $K = 9$  個を達成し, かつ, PDCA よりも小さい目的関数値  $F(x)$  を達成しているという意味で, より良い解に到達していることがわかる。また NEPDCA は  $\lambda$  が大きくなると時間がかかり過ぎている。詳細は省くが, 所望の制約を達成するためには大きい  $\lambda$  が必要になることもあり, 大きな  $\lambda$  でも安定的に解けている点も GIST の利点である。理論的な収束性で高々 (DC 問題の) 臨界点への収束しか言えていないアルゴリズム (PDCA) に比べて, 方向停留点というより強い条件への収束まで保証できている方法 (GIST) の方が安定的に良い解を見つけられたということになる。

同様に, Nakayama, Gotoh (2021) ではスパース・ロバスト回帰についても, 既存の PDCA と射影をベースにした方法などの比較対象と比べ, 特に非凸正則化項のパラメータが大きいときに顕著な差を示す形で, より良いパフォーマンスを示した。特に, BB ルールと非単調直線探索を用いない場合と比べても, GPALM は平均的に優れており, 当応用におけるこれら 2 つの技法の有効性についても確認できた。

この研究に加え, 課題期間では大学院学生の論文指導の一環として, ネットワーク LASSO と呼ばれる凸最適化に基づく方法論の限界を指摘した上で, 上記の非凸正則化関数を用いて拡張し論文にまとめた。この方法はネットワーク刈込 LASSO と呼んでいるが, その正則化項を刈込 LASSO 関数と線形変換の合成で表した, 一般的な刈込 LASSO 正則化を持つ問題への方法論として拡張し国際学術論文誌への投稿や国際会議での発表を行った。これらの論文については研究課題の期間中に論文採録に至らなかったため, 本報告での報告は行わないが, 引き続き論文の改訂を続けていく予定である。

表 1 スパース最適化問題に対する GIST と PDCAe と NEPDCA の比較例 (Nakayama, Gotoh, 2021, Table 4 より抜粋)

		Iter			Time [sec.]		
$\lambda$	$K$	GIST	PDCAe	NEPDCA	GIST	PDCAe	NEPDCA
0.001	9	2124	2500	1096	0.22487	0.19205	0.16583
0.1	9	2817	1898	2264	0.26507	0.14024	0.30017
10	9	639	484	158	0.07050	0.04343	14.72229
1000	9	723	330	5	0.07644	0.03321	90+

		$F(x)$			$f(x)$		
$\lambda$	$K$	GIST	PDCAe	NEPDCA	GIST	PDCAe	NEPDCA
0.001	9	<b>1.32932</b>	1.32934	1.32935	<b>1.32713</b>	1.32715	1.32715
0.1	9	<b>1.41426</b>	1.41428	<b>1.41426</b>	<b>1.36434</b>	1.36443	<b>1.36434</b>
10	9	<b>1.61452</b>	1.95086	1.75285	<b>1.61452</b>	1.95086	1.75285
1000	9	<b>1.58680</b>	2.17224	3.21618	<b>1.58680</b>	2.17224	3.21618

		$\ (x_2, \dots, x_p)\ _0$		
$\lambda$	$K$	GIST	PDCAe	NEPDCA
0.001	9	59	58	59
0.1	9	32	32	32
10	9	<b>9</b>	5	6
1000	9	<b>9</b>	3	3

結果として、計画のうち、1., 2. についてある程度論文としてまとめることができた。

(2) 分布的ロバスト最適化モデルの事後パフォーマンスに関する理論的考察

分布の不確かさを明示的に考慮した方法論の1つとして、分布的ロバスト最適化 (DRO) がある。主に期待値を含む、つまり、確率分布が与えられているとして記述される目的関数や制約式によって記述される最適化問題に対し、通常期待値で表される部分を実現値の標本平均に基づき評価したもので置換えることが多い。しかしながら、標本平均に基づく当該関数の推定精度は標本数に依存し、標本数を簡単に増やすことができなければ、その最適解の精度 (真の分布の下での最適解との近さ) を担保することは難しいことが多い。そのような状況に対し、DRO では想定する分布の範囲を集合 (不確実性集合) や、ダイバージェンスによる罰則項により予め与えておいて、その想定範囲内での最悪な分布の下で最適化問題を定義し直す。すなわち、最も慎重・保守的な評価基準に基づく最適化モデルとも言える。DRO を現実の問題に適用するには、不確実性集合の大きさ、あるいは、ダイバージェンスの罰則を規定するあるハイパーパラメータを決め、保守性の度合いを調整する必要がある。そのパラメータの設定については、決定的な基準はなく、交差検証やブートストラップ法などのデータ駆動的な方法に基づくものなども含まれる。

代表者の過年度課題の成果である Gotoh, Kim, Lim (2018) では、保守性の度合いを表すハイパーパラメータが小さい場合、広いクラスの DRO の目的関数が、期待値と分散の和の形で近似できることを指摘していた。これをベースに本課題では DRO の事後パフォーマンスに関する理論的な分析を、シンガポール国立大学 (NUS) とブリティッシュコロンビア大学 (UBC) の研究者との共同研究として実施し、その共著論文は Gotoh, Kim, Lim (2021) として国際学術論文誌に採録された。

当該論文では、あるクラスのダイバージェンスを罰則として採用した DRO における、罰則パラメータが十分小さいときに、ロバスト性を考慮しない標本平均に基づくモデルからどのような変化があるかについて考察している。この小さな導入による DRO の最も大きな利点は、事後的報酬の分散が大幅に減少することである。DRO の既存の文脈では分散によるばらつきは実験的に確認されることはあったが、DRO の利点を事後的報酬の平均の増加に見出すものがほとんどであった。既に述べたように Gotoh, Kim, Lim (2018) ではそもそも目的関数が報酬の平均と分散の重み付き和で近似できることを示したが、Gotoh, Kim, Lim (2021) では、その事後パフォーマンスを理論的に評価し、報酬の分散減少に比べ、平均報酬増加への影響はほぼ 1桁小さいこと、また、DRO を導入することで必ず平均報酬が増えるわけではないこと、などを示した。この結果は、既存研究とは着眼点が違えばかりでなく、既存研究で DRO の重要な利点として考えられる平均報酬の増加は限定的であり、あまり着目されてこなかった分散減少にこそ DRO の役割が大きいことを示している。また、ロバスト性のパラメータの決定についても、事後的な報酬の平均と分散の推定値の間のトレードオフを見極めながら調整されるべきであることを提案している。

そのため、Gotoh, Kim, Lim (2021) ではロバスト平均・分散フロンティアを導入し、それをブートストラップ法などの再標本手法を用いて近似することを提案した。論文では、ロバスト平均分散フロンティアを単純な在庫管理問題、期待効用最大化型のポートフォリオ最適化問題、ロジスティック回帰のモデル推定の3つの応用例に適用し、ブートストラップ法によりロバスト平均分散フロンティアの描画を行った。図2はその1例である。縦軸が平均報酬、横軸が報酬の分

散であるが、ブートストラップ、事後標本テスト(事後的パフォーマンス)いずれにおいてもフロンティアは似たような形状となっていることがわかる。また、平均報酬が最大になるように調整しても、経験的な平均報酬最大化(図中 emp)からの縦軸方向、つまり平均報酬の増分は微々たるものになっているのに対し、横軸方向、つまり報酬の分散の減少は大幅に期待できることが

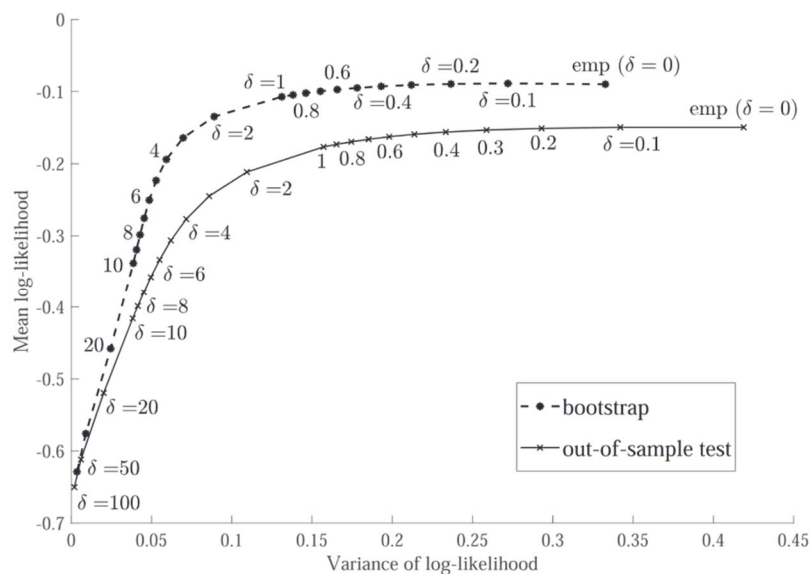


図 2 ブートストラップ法と事後標本テストによるロバスト平均分散フロンティア (Gotoh, Kim, Lim, 2021 の Figure 9 より抜粋)

わかる。また、同じ様な観点に基づく別の例からも、標準的な信頼水準(95%など)に基づく古典的なパラメータチューニング基準では、ロバスト性パラメータが過度に大きくなり、テスト標本下での平均事後パフォーマンスが低下し、過度に保守的な解が得られる(図2のフロンティアでいう左下部分に近い部分に対応)ことが珍しくないことを指摘した。逆に分散を無視してを小さくし過ぎると、事後的な分散を小さくするという、ロバスト最適化の主たる効能を逃す解に至ることが数値実験で示された。

この論文の研究に加え、課題期間ではGotoh, Kim, Lim (2018)の拡張として、さらに色々なダイバージェンスを採用した場合についても、分散に替えて、他のばらつきの尺度を採用した形で表すことができることなどを示し、国際学術誌への投稿を行ったが、課題期間中に論文採録に至らなかったため、本報告での報告は行わない。それら学術誌での採録に至らなかった論文については引き続き改訂を続けていく予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計27件（うち査読付論文 24件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 16件）

1. 著者名 Yuichi Takano, Jun-ya Gotoh	4. 巻 10
2. 論文標題 Dynamic portfolio selection with linear control policies for coherent risk minimization	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Operations Research Perspectives	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) 10.1016/j.orp.2022.100262	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 Kobayashi, Yuichi Takano, Kazuhide Nakata	4. 巻 309
2. 論文標題 Cardinality-constrained distributionally robust portfolio optimization	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 European Journal of Operational Research	6. 最初と最後の頁 1173 ~ 1182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejor.2023.01.037	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 Akihisa Watanabe, Ryuta Tamura, Yuichi Takano, Ryuhei Miyashiro	4. 巻 217
2. 論文標題 Branch-and-bound algorithm for optimal sparse canonical correlation analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Expert Systems with Applications	6. 最初と最後の頁 1 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.eswa.2023.119530	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 Yasuhiro Yoshida, Yuichi Takano	4. 巻 210
2. 論文標題 Linear control policies for online vehicle relocation in shared mobility systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Expert Systems with Applications	6. 最初と最後の頁 1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.eswa.2022.118417	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 岩永二郎, 西村直樹, 鮎川矩義, 高野 祐一	4. 巻 37
2. 論文標題 出産前後の情報検索の分析: 数値最適化による検索日の確率分布推定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 人工知能学会論文誌	6. 最初と最後の頁 1~11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1527/tjsai.37-3_D-L74	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 河上佳太, 工藤晃太, 川瀬元暉, 最首大輝, 山田直輝, 吉田晏大, 岩永二郎, 高野祐一	4. 巻 67
2. 論文標題 ランキング手法を用いたフィットネスクラブの分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学	6. 最初と最後の頁 73~80
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 Ken Kobayashi, Yuichi Takano, Kazuhide Nakata	4. 巻 81
2. 論文標題 Bilevel cutting-plane algorithm for cardinality-constrained mean-CVaR portfolio optimization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Global Optimization	6. 最初と最後の頁 493~528
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10898-021-01048-5	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 Kai Zhang, Yuichi Takano, Yuzhu Wang, Akiko Yoshise	4. 巻 9
2. 論文標題 Optimizing the Strategic Decisions for One-Way Station-Based Carsharing Systems: A Mean-CVaR Approach	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 79816~79828
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2021.3084287	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 Hiroki Saishu, Kota Kudo, Yuichi Takano	4. 巻 16
2. 論文標題 Sparse Poisson regression via mixed-integer optimization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 1~17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0249916	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 河上佳太, 西村直樹, 白鳥友風, 工藤晃太, 松岡雄大, 最首大輝, 渡邊彰久, 高野祐一	4. 巻 66
2. 論文標題 時間付加グラフのベクトル表現を用いたタクシー軌跡データの解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学	6. 最初と最後の頁 246-254
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 高野 祐一, 宮代 隆平	4. 巻 50
2. 論文標題 混合整数最適化による線形回帰モデルの最良変数選択	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本統計学会誌	6. 最初と最後の頁 343-362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11329/jjssj.50.343	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 Tomokaze Shiratori, Ken Kobayashi, and Yuichi Takano	4. 巻 15
2. 論文標題 Prediction of hierarchical time series using structured regularization and its application to artificial neural networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0242099
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0242099	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 Natsumi Shimada, Natsuki Yamazaki, and Yuichi Takano	4. 巻 28
2. 論文標題 Multi-objective optimization models for many-to-one matching problems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 406-412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2197/ipsjjip.28.406	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 Kota Kudo, Yuichi Takano, and Ryo Nomura	4. 巻 E103.D
2. 論文標題 Stochastic discrete first-order algorithm for feature subset selection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1693-1702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2019EDP7274	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 Yuichi Takano and Ryuhei Miyashiro	4. 巻 28
2. 論文標題 Best subset selection via cross-validation criterion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 TOP: An Official Journal of the Spanish Society of Statistics and Operations Research	6. 最初と最後の頁 475-488
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11750-020-00538-1	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 高野 祐一	4. 巻 65
2. 論文標題 サポートベクトルマシンとカーネル法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 オペレーションズ・リサーチ：経営の科学	6. 最初と最後の頁 304-309
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 西村直樹, 鮎川矩義, 高野祐一, 岩永二郎	4. 巻 65
2. 論文標題 形状制約モデルによる顧客の商品選択行動の予測	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学	6. 最初と最後の頁 328-333
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 オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Jun-ya GOTOH, Michael J. KIM, Andrew E.B. LIM	4. 巻 -
2. 論文標題 CALIBRATION OF DISTRIBUTIONALLY ROBUST EMPIRICAL OPTIMIZATION MODELS	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Operations Research	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) 10.1287/opre.2020.2041	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 東出 卓朗, 浅井 謙輔, 後藤 順哉, 藤田 岳彦	4. 巻 30巻
2. 論文標題 初到達時間を用いたペアポートフォリオ最適化問題の新定式化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本応用数理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 194-225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11540/jsiamt.30.3_194	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 Shummin Nakayama, Jun-ya Gotoh	4. 巻 -
2. 論文標題 On the superiority of PGMs to PDCAs in nonsmooth nonconvex sparse regression	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optimization Letters	6. 最初と最後の頁 1-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11590-021-01716-1	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 Ken Kobayashi and Yuichi Takano	4. 巻 75
2. 論文標題 A branch-and-cut algorithm for solving mixed-integer semidefinite optimization problems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computational Optimization and Applications	6. 最初と最後の頁 493 ~ 513
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10589-019-00153-2	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 Jiro Iwanaga, Naoki Nishimura, Noriyoshi Sukegawa, and Yuichi Takano	4. 巻 37
2. 論文標題 Improving collaborative filtering recommendations by estimating user preferences from clickstream data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electronic Commerce Research and Applications	6. 最初と最後の頁 1 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.elerap.2019.100877	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 Naoki Nishimura, Noriyoshi Sukegawa, Yuichi Takano, and Jiro Iwanaga	4. 巻 -
2. 論文標題 Estimating product-choice probabilities from sequences of page views	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2019 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications	6. 最初と最後の頁 25 ~ 28
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 Toshiki Sato and Yuichi Takano	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Smoothness-constrained model for nonparametric item response theory	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Information Science and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34360/00011106	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20件（うち招待講演 16件 / うち国際学会 16件）

1. 発表者名 Jun-ya Gotoh
2. 発表標題 Fitting Models to Data with Trimmed LASSO Penalties
3. 学会等名 NUS-Tsukuba Joint-Online-Workshop on “ Sustainable Management and Data Sciences ”（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤順哉
2. 発表標題 分布的ロバスト最適化におけるパラメータの選択
3. 学会等名 数理システムアカデミックコンファレンス FY 2020（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jun-ya Gotoh
2. 発表標題 Worst-case Sensitivity
3. 学会等名 Workshop: Uncertainty Management and Machine Learning in Engineering Applications（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 後藤順哉
2. 発表標題 分布的ロバスト最適化モデリング---解釈と実用への示唆
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 関西支部シンポジウム『最適化の理論と応用』（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jun-ya Gotoh
2. 発表標題 Continuous Exact Penalty Approach To Grouped Variable Selection In Regression Methods
3. 学会等名 INFORMS Annual Meeting 2020 virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuichi Takano
2. 発表標題 Best subset selection for linear regression models via mixed-integer optimization
3. 学会等名 NUS-Tsukuba Joint-Online-Workshop on "Sustainable Management and Data Sciences" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kota Kudo, Yuichi Takano, and Ryo Nomura
2. 発表標題 Stochastic discrete first-order algorithm for feature subset selection
3. 学会等名 INFORMS 2020 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuichi Takano and Jun-ya Gotoh
2. 発表標題 Dynamic portfolio selection with linear control policies for coherent risk minimization
3. 学会等名 Webinars of Quantitative Finance Program, Stony Brook University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuichi Takano and Jun-ya Gotoh
2. 発表標題 Dynamic portfolio selection with linear control policies for coherent risk minimization
3. 学会等名 INFORMS 2019 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuichi Takano and Ryuhei Miyashiro
2. 発表標題 Best subset selection via cross-validation criterion
3. 学会等名 International Conference on Nonlinear Analysis and Convex Analysis -- International Conference on Optimization Techniques and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野祐一, 後藤順哉
2. 発表標題 コヒレントリスク指標に基づくポートフォリオの線形制御政策最適化
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会「評価のOR」研究部会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun-ya GOTOH, Takumi FUKUDA
2. 発表標題 Sparse Recovery with Continuous Exact k-sparse Penalties
3. 学会等名 The PolyU AMA - RIKEN AIP Joint Workshop on Optimization and Machine Learning (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun-ya GOTOH, Shumin NAKAYAMA
2. 発表標題 Continuous Exact k-Sparse Penalties for Sparse Optimization
3. 学会等名 International Conference on Continuous Optimization (ICCOPT) 2019 Berlin (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun-ya GOTOH, Michael J. KIM, Andrew E.B. Lim
2. 発表標題 ロバスト最適化モデルの事後的振る舞いについて
3. 学会等名 科学研究費 基盤研究(A)「機械学習システムの社会実装に向けた次世代最適化技法の研究」による2019年度ワークショップ (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun-ya GOTOH, Michael J. KIM, Andrew E.B. Lim
2. 発表標題 Calibration of distributionally robust empirical optimization models
3. 学会等名 NACA-ICOTA 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun-ya GOTOH, Michael J. KIM, Andrew E.B. Lim
2. 発表標題 Calibration of distributionally robust empirical optimization models
3. 学会等名 西南交通大学 (中国) でのセミナー (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun-ya GOTOH, Shumin NAKAYAMA
2. 発表標題 Sparse Robust Regression with Continuous Exact k-Sparse Penalties
3. 学会等名 INFORMS Annual Meeting 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuo HIGASHIDE, Kensuke ASAI, Jun-ya GOTOH, Takahiko FUJITA
2. 発表標題 A New Formulation of Pair's Portfolio Selection with First Passage Time
3. 学会等名 Workshop: New Ideas in Quantitative Finance (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun-ya GOTOH, Michael J. KIM, Andrew E.B. Lim
2. 発表標題 Calibration of distributionally robust empirical optimization models
3. 学会等名 Workshop on Recent Development in Optimization III (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中山舜民、後藤順哉
2. 発表標題 非凸最適化問題に対する近接勾配法の方向停留点への収束性と近接DCAとの比較
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会
4. 発表年 2020年



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Jun-ya Gotoh's Homepage  
http://www.indsys.chuo-u.ac.jp/~jgoto/  
高野祐一（筑波大学）  
https://www.sk.tsukuba.ac.jp/~ytakano/index.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	高野 祐一  (TAKANO Yuichi)  (40602959)	筑波大学・システム情報系・准教授   (12102)	

	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	— —  (LIM Andrew E.B.)	シンガポール国立大学・Institute of Operations Research and Analytics・Professor	
研究協力者	— —  (LIM Michael Jong)	ブリティッシュコロンビア大学・Sauder School of Business・Associate Professor	

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

シンガポール	National University of Singapore			
カナダ	University of British Columbia			