

令和元年6月13日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26242027

研究課題名(和文) 新時代の最適化モデルに基づく意思決定支援プラットフォームの研究と開発

研究課題名(英文) Research and Development of Decision Making Platform by New Optimization Model

研究代表者

水野 眞治 (MIZUNO, SHINJI)

東京工業大学・工学院・教授

研究者番号：90174036

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、3つの目的に関して次のような研究成果をあげた。意思決定問題のモデル化では、国際分散投資におけるポートフォリオ最適化問題、コンテナターミナルにおける蔵置問題、多重共線性を考慮した変数選択問題などを整理してモデル化した。

アルゴリズムの開発では、線形計画問題を解く単体法とLPニュートン法、カバーリング整数計画問題を解く近似アルゴリズム、対称錐計画問題を解くロバストアルゴリズムなどに関する研究成果をあげた。

意思決定支援プラットフォームの開発では、実務上の制約をみたく大規模なスケジューリング問題、多期間ポートフォリオ最適化問題などに関するアルゴリズムを実装し、その性能評価を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

意思決定問題のモデル化に関する研究成果は、今まで長年の経験を積んだ実務家のみが行うことができた意思決定を、最適化問題としてモデル化することにより、誰もが利用できるように可能性を広げたところに社会的な意義がある。

アルゴリズムの開発に関する研究成果は、最近とくに高度化あるいは複雑化している最適化問題をより正確かつ高速に解くための基礎研究として学術的な意義がある。

意思決定支援プラットフォームの開発に関する研究成果は、上記の基礎研究の成果を実務家が実際に利用するために必要であり、企業の業績改善・業務効率化に役立つものと期待できる。

研究成果の概要(英文)： In this research, we had the following results for three purposes. For the modeling of decision making problems, we constructed new models for portfolio optimization problems, storage problems in a container terminal, and variable selection problems for eliminating multicollinearity.

For the development of algorithms, we had new results for the simplex method and LP-newton methods for linear programming problems, approximation algorithms for covering integer programming problems, and robust algorithms for symmetric cone programming problems.

For the development of decision making platform, we implemented and evaluated computer programs for solving large scale scheduling problems with practical constraints, minimum maximal flow problems, and multi-period portfolio selection problems.

研究分野：経営工学

キーワード：最適化 意思決定問題 アルゴリズム モデル化 数理計画問題

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

最適化は、実務家的に確かな意思決定を支援するために有効な数理技術である。その中でも、線形整数計画は特に有用な最適化手法である。実用上、必要設備数や作業人員を求める際には解の整数性が不可欠であり、線形整数計画は線形計画に整数性を課すことによって、この問題に対処している。実際に企業等では、設備計画・生産計画・スケジューリング・配送計画などを線形整数計画によってモデル化し、数理的に扱うことにより、業績の改善や業務の効率化を実現している。

一方、現代では情報化が進み、実社会で発生している問題は複雑性を増している。そこで本研究では、整数性と非線形性を取り扱える新時代の最適化モデルを主な研究対象とする。そのような最適化問題は、高いモデル記述能力を有することに加えて、理論的には内点法などによって解くことができる。この手法を利用すれば、投入に対して非線形な費用関数を正確に扱うことや、一般の非線形計画問題を高精度で近似することができる。さらに、不確実性下での意思決定手法であるロバスト最適化モデルも扱うことができる。

### 2. 研究の目的

情報化・グローバル化の急速な進展により、迅速な意思決定を支援するためのツールとして最適化の重要性が非常に高まっている。しかし、現実社会で起きている問題は複雑かつ大規模であることが多く、既存の最適化技術では対応することが難しい。本研究では、複雑で大規模な問題を扱うことのできる新時代の最適化モデルを主な研究対象とする。その問題を効率よく解くアルゴリズムの研究と実装のみならず、現実問題をモデリングする技術や使いやすいユーザーインターフェースまで含めた統一的視点から最適化技術を見直し発展させていく。それにより、実務家等が広く最適化技術を利用できる意思決定支援プラットフォームを構築することを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、新時代の最適化モデルに対するアルゴリズムを開発・実装する。また、最適化アルゴリズムの開発に加えて、ユーザーインターフェースまで含めた統一的視点から最適化技術を見直し発展させていくことにより、実務家等が広く最適化技術を利用できるような意思決定支援プラットフォームを研究・開発することを目的とする。

本目的の達成のため、研究代表者の全体統括の下で、2班に分かれて(1)意思決定問題の整理とモデル化と(2)最適化問題を解くアルゴリズムの開発と実装の研究課題に取り組む。その後、2班で協働し、(3)意思決定支援プラットフォームの研究と開発を進める。

### 4. 研究成果

本研究では、3つの目的に関して、次のような研究成果をあげた。(1)意思決定問題の整理とモデル化では、国際分散投資におけるポートフォリオ最適化問題、コンテナターミナルにおける蔵置問題、多重共線性を考慮した変数選択問題などを整理してモデル化した。(2)最適化問題を解くアルゴリズムの開発に関する研究では、線形計画問題を解く単体法とLPニュートン法、カバーリング整数計画問題を解く近似アルゴリズム、対称錘計画問題に対するロバストアルゴリズムなどに関する研究を行い、新しい成果をあげた。(3)意思決定支援プラットフォームの研究と開発では、実務上の制約をみたく大規模なスケジューリング問題、最大流の最小化問題、多期間ポートフォリオ最適化問題などに関するアルゴリズムを実装し、その性能評価を行った。

これらを含む研究成果は、98件の論文として国際的論文誌等に掲載され、国際会議等で154件の発表が行われた。また、平成26年度と28年度には、本研究グループの関係者による、少規模であるが、ディスカッションを中心とした密度の濃い科研費によるワークショップを開催し、平成30年度には、ワークショップにより本研究の成果を発信した。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計98件)

Shinji Mizuno, Noriyoshi Sukegawa, and Antoine Deza, An enhanced primal-simplex based Tardos' algorithm for linear optimization, Journal of the Operations Research Society of Japan, 査読有、61巻、2018年、186-196、DOI: 10.15807/jorsj.61.186

Kuan Lu, Shinji Mizuno, and Jianming Shi, A Mixed Integer Programming Approach for the Minimum Maximal Flow, 査読有、61巻、2018年、261-271、DOI: 10.15807/jorsj.61.261

Yotaro Takazawa, Shinji Mizuno, and Tomonari Kitahara, Approximation algorithms for the covering-type k-violation linear program, Optimization Letters, 査読有、採録決定済、2019年、DOI: 10.1007/s11590-019-01425-w

Tomohiko Mizutani, Convex Programming Based Spectral Clustering, arXiv: 1805.04246, 査読有、印刷中、2018年

Tomonari Kitahara, Noriyoshi Sukegawa, A Simple Projection Algorithm for Linear Programming Problems, Algorithmica, 査読有、81巻、2019年、167-178、DOI: 10.1007/s00453-018-0436-3

Yuko Kuroki, Tomomi Matsui, Approximation Algorithm for Cycle-Star Hub Network Design

Problems and Cycle-Metric Labeling Problems, Journal of Graph Algorithms and Applications 査読有、23 巻、2019 年、93-110、DOI:10.7155/jgaa.00485

Gotoh, J., Kim, M.J., and Lim, A.E.B., Robust Empirical Optimization is Almost the Same as Mean-Variance Optimization, Operations Research Letters, 査読有、46 巻、2018 年、448-452、DOI:10.1016/j.orl.2018.05.005

Tamura Ryuta, Kobayashi Ken, Takano Yuichi, Miyashiro Ryuhei, Nakata Kazuhide, and Matsui Tomomi, Mixed integer quadratic optimization formulations for eliminating multicollinearity based on variance inflation factor, Journal of Global Optimization, 査読有、73 巻、2019 年、431-446、DOI: 10.1007/s10898-018-0713-3

Naoki Ito, Sunyoung Kim, Masakazu Kojima, Akiko Takeda, Kim-Chuan Toh, Equivalences and differences in conic relaxations of combinatorial quadratic optimization problems, Journal of Global Optimization、 査読有、72 巻、2018 年、619-653、DOI:10.1007/s10898-018-0676-4

Yotaro Takazawa, Shinji Mizuno, Tomonari Kitahara, An approximation algorithm for the partial covering 0-1 integer program, Discrete Applied Mathematics, 査読有、印刷中、2017 年、DOI:10.1016/j.dam.2017.08.024

Gotoh Jun-ya, Takeda Akiko, Tono Katsuya, DC formulations and algorithms for sparse optimization problems, Mathematical Programming, 査読有、169 巻、2018 年、141-176、DOI:10.1007/s10107-017-1181-0

Naoki Nishimura, Noriyoshi Sukegawa, Yuichi Takano, Jiro Iwanaga, A latent-class model for estimating product-choice probabilities from clickstream data, Information Sciences, 査読有、429 巻、2018 年、406-420、DOI:10.1016/j.ins.2017.11.014

Tomohiko Mizutani, Mirai Tanaka, Efficient preconditioning for noisy separable nonnegative matrix factorization problems by successive projection based low-rank approximations, Machine Learning、 査読有、107 巻、2018 年、643-673、DOI:10.1007/s10994-017-5673-1

R. Tamura, K. Kobayashi, Y. Takano, R. Miyashiro, K. Nakata, T. Matsui, Best subset selection for eliminating multicollinearity, Journal of the Operations Research Society of Japan, 査読有、60 巻、2017 年、321-336、DOI:10.15807/jorsj.60.321

Shinji Mizuno, Noriyoshi Sukegawa, Antoine Deza, Small degenerate simplices can be bad for simplex methods, Journal of the Operations Research Society of Japan, 査読有、60 巻、2017 年、419-428、DOI:10.15807/jorsj.60.419

Noriyoshi Sukegawa, Improving bounds on the diameter of a polyhedron in high dimensions, Discrete Mathematics, 査読有、340 巻、2017 年、2134-2142、DOI:10.1016/j.disc.2017.04.005

Lalida Deeratanasrikul and Shinji Mizuno, Multiple-stage multiple-machine capacitated lot-sizing and scheduling with sequence-dependent setup: a case study in the wheel industry, Journal of Industrial and Management Optimization, 査読有、13 巻、2017 年、413-428、DOI : 10.3934/jimo.2016024

Yotaro Takazawa and Shinji Mizuno, A 2-approximation algorithm for the minimum knapsack problem with a forcing graph, Journal of the Operations Research Society of Japan, 査読有、60 巻、2017 年、15-23、DOI:10.15807/jorsj.60.15

Shinji Mizuno, The simplex method using Tardos' basic algorithm is strongly polynomial for totally unimodular LP under nondegeneracy assumption, Optimization Methods and Software, 査読有、31 巻、2016 年、1298-1304、DOI:10.1080/10556788.2016.1208748

T. Sato, Y. Takano, R. Miyashiro, and A. Yoshise, Feature subset selection for logistic regression via mixed integer optimization, Computational Optimization and Applications, 査読有、64 巻、2016 年、865-880、DOI:10.1007/s10589-016-9832-2

⑳ Jiro Iwanaga, Naoki Nishimura, Noriyoshi Sukegawa, Yuichi Takano, Estimating product-choice probabilities from recency and frequency of page views, Knowledge-Based Systems, 査読有、99 巻、2016 年、157-167、DOI:10.1016/j.knosys.2016.02.006

㉑ Gotoh, Jun-ya; Uryasev, Stan, Two pairs of families of polyhedral norms versus lp-norms: proximity and applications in optimization, Mathematical Programming (Series A)、 査読有、156 巻、2016 年、391-431、DOI:10.1007/s10107-015-0899-9

㉒ Tomohiko Mizutani, Robustness analysis of preconditioned successive projection algorithm for general form of separable NMF problem, Linear Algebra and its Applications, 査読有、497 巻、2016 年、1-22、DOI : 10.1016/j.laa.2016.02.016

㉓ Tomomi Matsui and Rudolf Scheifle, A linear time algorithm for the unbalanced Hitchcock transportation problem, Networks, 査読有、67 巻、2015 年、170-182、DOI:10.1002/net.21668

㉔ Ryuhei Miyashiro, Yuichi Takano, Mixed integer second-order cone programming formulations for variable selection in linear regression, European Journal of Operational Research, 査読有、247 巻、2015 年、721-731、DOI:10.1016/j.ejor.2015.06.081

㉕ Yuichi Takano, Keisuke Nanjo, Noriyoshi Sukegawa and Shinji Mizuno, Cutting plane algorithms for mean-CVaR portfolio optimization with nonconvex transaction costs,

Computational Management Science、査読有、12 巻、2015 年、319-340、DOI:10.1007/s10287-014-0209-7

⑳ Shinji Mizuno, Noriyoshi Sukegawa, and Antoine Deza, A primal-simplex based Tardos' algorithm, Operations Research Letters、査読有、43 巻、2015 年、625-628、DOI:10.1016/j.orl.2015.10.002

㉑ Noriyoshi Sukegawa and Tomonari Kitahara, A refinement of Todd's bound for the diameter of a polyhedron, Operations Research Letters、査読有、43 巻、2015 年、534-536、DOI:10.1016/j.orl.2015.07.001

㉒ Makoto Yamashita and Kazuhide Nakata, Fast implementation for semidefinite programs with positive matrix completion, Optimization Methods and Software、査読有、30 巻、2015 年、1030-1049、DOI:10.1080/10556788.2015.1014554

㉓ R. Miyashiro and Y. Takano, Subset selection by Mallow's Cp: A mixed integer programming approach, Expert Systems with Applications、査読有、42 巻、2015 年、325-331、DOI:10.1016/j.eswa.2014.07.056

㉔ Tomomi Matsui and Katsunori Ano, A note on a lower bound for the multiplicative odds theorem of optimal stopping, Journal of Applied Probability、査読有、51 巻、2014 年、885-889、DOI:10.1239/jap/1409932681

㉕ Tomomi Matsui, Noriyoshi Sukegawa, Atsushi Miyauchi, Fractional programming formulation for the vertex coloring problem, Information Processing Letters、査読有、114 巻、2014 年、706-709、DOI:10.1016/j.ipl.2014.06.010

㉖ Yuichi Takano, Gotoh Jun-ya, Multi-period portfolio selection using kernel-based control policy with dimensionality reduction, Expert Systems with Applications、査読有、41 巻、2014 年、3901-3914、DOI:10.1016/j.eswa.2013.11.043

㉗ T. Mizutani, Ellipsoidal rounding for nonnegative matrix factorization under noisy separability, Journal of Machine Learning Research、査読有、15 巻、2014 年、1011-1039

[学会発表](計 154 件)

Shinji Mizuno, The Simplex Method for LP and the Length of a Path, Optimization and Discrete Geometry: Theory and Practice、2018 年

Yotaro Takazawa and Shinji Mizuno, Approximation Algorithms for the Covering-Type Linear Programming with Violations, INFORMS International Conference、2018 年

Yuichi Takano and Ryuhei Miyashiro, Recent Advances in Mixed-integer Optimization Approaches to Feature Subset Selection, INFORMS 2018 Annual Meeting、2018 年

Yoshito Hirata, Noriyoshi Sukegawa, On distance computation of marked point process, LIPN Seminar, Université Paris 13、2019 年

Akihiro Kawana, Tomomi Matsui, Trading Transforms of Non-weighted Simple Games and Integer Weights of Weighted Simple Games, International Workshop on Computational Social Choice、2018 年

Jun-ya Gotoh, Michael J. Kim, Andrew E.B. Lim, Out-of-sample analysis of distributionally robust optimization, ISMP (International Symposium on Mathematical Programming) 2018 Bordeaux、2018 年

Shinji Mizuno, The simplex method for degenerate and nondegenerate LP, Nonlinear Analysis and Convex Analysis、2017 年

Jun-ya Gotoh, Michael J. Kim, Andrew E.B. Lim, Robust Empirical Optimization is Almost the Same as Mean-Variance Optimization, 2017 SIAM Conference on Optimization、2017 年

高澤陽太郎、水野眞治、北原知就, An Approximation Algorithm for the Partial Covering 0-1 Integer Program, 2017 SIAM Conference on Optimization、2017 年

Ryuta Tamura, Ken Kobayashi, Yuichi Takano, Ryuhei Miyashiro, Kazuhide Nakata, Tomomi Matsui, A Mixed Integer Semidefinite Programming Approach for Variable Selection Avoiding Multicollinearity, The fifth International Conference on Continuous Optimization、2016 年

M.Kojima, A Lagrangian and Doubly Nonnegative Relaxation for Polynomial Optimization Problems in Binary Variables, The fifth international conference of continuous optimization、2016 年

Yuichi Takano, Toshiki Sato, Ryuhei Miyashiro and Akiko Yoshise, Feature Subset Selection for Logistic Regression via Mixed Integer Optimization, The 28th European Conference on Operational Research (EURO 2016)、2016 年

Shinji Mizuno, Strong Polynomiality of the Simplex Method, the 6th International Conference on Optimization and Control with Applications、2015 年

Gotoh, Jun-ya; Kim, Michael J; Lim, Andrew E.B., Two Perspective on Robust Empirical Optimization, The 22nd International Symposium on Mathematical Programming (ISMP 2015)、2015 年

Shinji Mizuno, A Strongly polynomial simplex method for totally unimodular LP, The 22nd

International Symposium on Mathematical Programming (ISMP 2015)、2015 年  
Yuichi Takano、Feature Subset Selection for Linear/Logistic Regression via Mixed Integer Optimization、The 22nd International Symposium on Mathematical Programming (ISMP 2015)、2015 年

Jun-ya Gotoh, Stan Uryasev、Support Vector Machines Based on Convex Risk Functional and General Norms、INFORMS Annual Meeting, San Francisco 2014、2014 年

Shinji Mizuno、A strongly polynomial simplex method for totally unimodular LP、The First Pacific Optimization Conference(POC2014)、2014 年

T. Kitahara, S. Mizuno, and J. Shi、The LP-Newton method for standard form linear programming problems、PGMO Seminar and Workshops、2014 年

〔図書〕(計1件)

松井知己 他、近代科学社、モデリング - 広い視野を求めて、2015、192 (157-173)

〔その他〕

ホームページ等

「新時代の最適化モデルに基づく意思決定支援プラットフォームの研究と開発」

[http://www.me.titech.ac.jp/~mizu\\_lab/KAKEN2014/index.html](http://www.me.titech.ac.jp/~mizu_lab/KAKEN2014/index.html)

「Jun-ya Gotoh 's Homepage」

<http://www.indsys.chuo-u.ac.jp/~jgoto/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：中田 和秀

ローマ字氏名：Nakata Kazuhide

所属研究機関名：東京工業大学

部局名：工学院

職名：准教授

研究者番号(8桁)：00312984

研究分担者氏名：水谷 友彦

ローマ字氏名：Mizutani Tomohiko

所属研究機関名：静岡大学

部局名：工学部

職名：講師

研究者番号(8桁)：00553984

研究分担者氏名：北原 知就

ローマ字氏名：Kitahara Tomonari

所属研究機関名：九州大学

部局名：経済学研究院

職名：准教授

研究者番号(8桁)：10551260

研究分担者氏名：鮭川 矩義

ローマ字氏名：Sukegawa Noriyoshi

所属研究機関名：東京理科大学

部局名：工学部情報工学科

職名：助教

研究者番号(8桁)：20757710

研究分担者氏名：松井 知己

ローマ字氏名：Matsui Tomomi

所属研究機関名：東京工業大学

部局名：工学院

職名：教授

研究者番号(8桁)：30270888

研究分担者氏名：後藤 順哉  
ローマ字氏名：Goto Junya  
所属研究機関名：中央大学  
部局名：理工学部  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：40334031

研究分担者氏名：高野 祐一  
ローマ字氏名：Takano Yuichi  
所属研究機関名：筑波大学  
部局名：システム情報系  
職名：准教授  
研究者番号（8桁）：40602959

(2)研究協力者

研究協力者氏名：小島 政和  
ローマ字氏名：kojima Masakazu

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。