

平成 30 年 5 月 28 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350430

研究課題名(和文) 離散凸性を軸とする不確定・多情報スケジューリングの研究

研究課題名(英文) Scheduling under uncertainty and information-rich environment based on discrete convexity

研究代表者

森口 聡子 (Moriguchi, Satoko)

首都大学東京・社会科学部研究科・准教授

研究者番号：60407351

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：各応用分野において生じる離散最適化の諸問題について調べ、分離凸関数、離散L-natural/M-natural凸関数を含む一般的なクラスである整凸関数について理論解析を行い、スケジューリング可能性に関する結果とそれに付随する最適解の近接性を明らかにした。更にこれまで効率的な最小化アルゴリズムが開発されていなかった離散凸関数に対し、効率的な最小化アルゴリズムを導出することに成功した。応用研究として、ITプロジェクトマネジメントにおけるスケジューリング作業の効率向上によるプロジェクトマネージャの負荷軽減を目的としたITプロジェクトスケジューリングツールの開発に取り組んだ。

研究成果の概要(英文)：We investigated the problems of discrete optimization which occur in each application field and theoretically analyzed the class of integrally convex functions which constitute a common framework for discrete convex functions, including separable convex, L-natural-convex and M-natural-convex functions. The new findings of this research are scalability and a proximity theorem of integral convexity. As a consequence of our proximity and scaling results, we derive a minimization algorithm. Also, we developed a software for IT project scheduling to reduce the workload on the project manager by improving the efficiency of scheduling work in IT project management.

研究分野：離散凸解析

キーワード：OR アルゴリズム 数理計画法 スケジューリング 離散凸解析

1. 研究開始当初の背景

マトロイド・劣モジユラ関数に関する研究の流れを汲み、1990年代中頃より盛んに研究されてきた離散凸解析(Murota[2003])は、M凸性とL凸性という2つの概念を基礎とし、離散最適化における凸解析的枠組として、最適化の分野で研究開始当初も注目されていた。研究代表者も、離散凸構造に着目した各種の効率的なアルゴリズムや離散凸解析理論の確立に寄与する性質の究明、理論とアルゴリズムの各分野への応用に取り組んでいた。

これまで工学、数理経済学・ゲーム理論等、様々な方面への応用展開がなされてきたが、特にスケジューリング分野への展望が、研究開始当初にわずかつ指摘され始めてきていた。研究代表者も、特殊ケースを対象とすることから、研究の萌芽を示し始めていた時点であった。しかしながら、まだ実用の局面を十分に考慮した理論活用には至っていなかったのが実情であった。実用に際して遭遇する多種多様なケースに対応し得る、より一般化された離散構造を究明し、それを応用した体系的な理論的手法を構築していきたいというのが、本研究の開始当初の動機であった。

2. 研究の目的

既存の意思決定手法よりも精度の高い意思決定と、より多くの情報を扱えるスケジューリングモデルへの対応を実現することを目的とした。人的資源管理、シフトスケジューリング問題に内在する離散凸構造を精査し、離散凸構造に着目した効率的な最適化手法を開発すること、及び、一般化された離散凸構造の理論を研究することで、これまではモデルの構造理解が十分に成されていなかったことと、最適化アルゴリズムの性能の限界により、現場の希望に対して精度の低いスケジューリングしか示されていなかったスケジューリングモデルに対して、高精度の意思決定法を与えることと、一般的なモデルにも拡張できる体系的な理論的手法を構築していくことを目指した。

3. 研究の方法

目的の実現のため、離散凸解析における理論的コアと、応用における具体的な問題に対する研究の両面から、研究計画を実行した。理論の具現化として、離散凸最適化ソルバの整備とスケジューリングアプリケーションの開発を行った。

他の様々な分野における研究成果との関連を明らかにするためにも、離散凸解析理論の研究で既に整備されたL凸性・M凸性だけでなく、より一般的な離散凸性として知られている整凸性に関連する概念との関係についても、研究を推進した。効率的なアルゴリ

ズム構築において強力なテクニックであるスケーリングと近接定理が利用できるか否かの検討研究においては、数値計画ソルバを用いた反例作成も実施した。また、実用を想定した具体的なスケジューリングに対する求解では、多目的最適化を解くことが求められ、多目的遺伝的アルゴリズムソフトウェアNSGA-IIを用いた。提案手法の実問題への適用の評価として、実務家へのヒアリングアンケートを実施した。

研究の遂行のため、国内外の学会や研究集会に参加し、他の研究者との情報交換を行った。学会発表時に頂いたコメントを、ソフトウェア開発、論文執筆に活かすことができた。

研究成果を多くの人に利用してもらえよう、開発したソフトウェアをWEBサイトで公開している。広範な応用文多での利用を期待し、離散凸パラダイム:DCP(Discrete Convex Paradigm)に参加することでWEB公開を行った。

4. 研究成果

(1)各応用分野において生じる離散最適化の諸問題について調べる中で、離散M/L凸関数を含む一般的なクラスである整凸関数について理論解析を行った。これまで明らかにされていなかったスケーリング可能性とそれに付随する最適解の近接性を明らかにした。スケーリングと最適解の近接性は、他の離散最適化においても効率化の鍵となる重要な概念である。この結果により、これまで効率的な最小化アルゴリズムが開発されていなかった離散凸関数に対しても、効率的な最小化アルゴリズムを導出することに成功した。整凸関数のスケーリング近接性に関する結果を論文としてまとめ、国際学術論文誌Mathematical Programmingに掲載されることとなった。

更に、整凸関数の基本演算についても研究し、これまで明らかにされていなかった射影、合成積に関する性質を整理した。離散関数に対して、変数のシフト、変数の符号反転、関数値の正数倍などの演算が自然に定義される。実際、離散凸解析における種々の凸性(分離凸性、L凸性、 L_{\square} 凸性、M凸性、 M_{\square} 凸性、整凸性)は、このような基本演算で保たれることが知られていた。また、二つの整凸関数の合成積は整凸関数にならないことも知られていた。本研究では、整凸関数の射影が整凸関数であること、整凸関数と分離凸関数の合成積が整凸関数であることを示した。

整凸関数のクラスの広範さが明らかになっていく研究の中で、L凸性と整凸性の中間に位置づけられる離散凸性の理論的意義が見いだされ、その概念を「離散中点凸性」と定義し、その性質の精査についても、研究を進めた。査読付き国際会議27th International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2016)に投稿が受

理され、発表を行った。発表を踏まえて得られたコメントを基に、研究の精度を高めた。これらの結果により、これまで効率的な最適化アルゴリズムが開発されていなかったより多くの離散構造を有する問題に対しても、効率的な最適化手法を与えることにつながった。

(2) 離散凸最適化ソルバの整備とアプリケーションの開発を行った。アプリケーションの開発においては、関数の離散凸性判定に取り組んだ。入力した関数が、離散 M/L 凸性等の各種離散凸性を有しているか、を判定するプログラムを開発、公開した。公開している離散凸最適化ソルバは、最適化したい関数の離散凸性の種類を正しく指定してこそ、ソルバの性能を発揮するため、離散凸性判定プログラムはユーザーのニーズが高い。また、モデルの拡張や新たな応用分野の開拓の局面で遭遇する関数の理解においても、離散凸性判定プログラムは有益である。

L 凸性を有することが知られている、サービスレベルを考慮したシフトスケジューリングモデルに対する拡張として、雇用コストを精査した目的関数を導入した。ここで、雇用コストを加えて拡張したモデルでも、L 凸性を保存していることから、効率よく最適シフトスケジューリングを求めることができた。本研究では、さらにその双対問題を精査した。L 凸目的関数の最適化問題に対して、その双対を考えると、M 凸目的関数が出現する事実が知られているが、この事実を開発した離散凸性判定プログラムのベンチマークとしても利用した。

(3) 応用研究として、IT プロジェクトマネジメントにおけるスケジューリング作業の効率向上によるプロジェクトマネージャの負荷軽減を目的とした多目的遺伝的アルゴリズムによる IT プロジェクトスケジューリングに取り組んだ。一般にプロジェクトの納期とコストはトレードオフの関係にあり、優先度はプロジェクトがおかれた環境や状況次第で変化する。そして、実用の現場では一般に、スケジューリング作業の効率向上策として、プロジェクトマネジメントツールの活用が挙げられる。近年のプロジェクトマネジメントツールの世界市場シェアを占めるいずれのツールも、スケジュール作成を支援する機能は持っているが、プロジェクトの納期とコストの最小化に対するトレードオフを考慮した複数の最適スケジュールを提案する機能はない。そこで、プロジェクトの納期とコストのトレードオフを考慮した IT プロジェクト向けの自動スケジューリングソフトウェアを提案することとした。開発したソフトウェアは、予め制約条件を入力すると、その制約条件を満たす複数のパレート準最適解をデータとして出力するものとし、またそのデータをユーザーがガントチャートと

して閲覧することにより準最適解の集合の中からプロジェクトの状況にあったスケジュールを選ぶことができるものとした。ユーザーは、必要に応じて、選択した準最適解を Excel やプロジェクトマネジメントツールにインポートして、プロジェクトマネジメントに使用できるものとした。この開発したソフトウェアにより、IT プロジェクトマネジメントにおけるスケジューリング作業の効率向上によるプロジェクトマネージャの負荷軽減を実現につながった。

日本情報システム・ユーザー協会は、企業 IT 動向調査において IT プロジェクトをシステム開発規模で 100 人月未満、100 人~500 人月、500 人月以上の 3 つに大別している。このうち全体の 85%を占める 500 人月未満を提案するソフトウェアの対象とした。一般的に 1 タスクあたり 2 週間が目途であるため、500 人月をタスク数に変換すると、 $500 \text{ 人月} \times 20 \text{ 日} (1 \text{ か月の稼働日数}) \div 10 \text{ 日} (2 \text{ 週間稼働日数}) = 1000 \text{ タスク}$ となる。

計算時間は、実務において、業務終了時刻にスケジュール変更が発生してから、日付が変わるまでに再作成したスケジュールを要員に展開完了できることを目標とし、プログラム実行から計算完了までを 1 時間以内とした。

本研究では、納期、要員の重複タスク日数、要員数の 3 式の目的関数を最小化するための多目的遺伝的アルゴリズムを用いた自動スケジュール生成ソフトウェアを提案した。プロジェクトマネージャは、提案するソフトウェアで生成された複数の準最適解の中から、プロジェクトの状況にあったスケジュールを選択することができるようにした。提案したソフトウェアは、一般的な PC を用いて現実的な時間内でスケジュールを生成する。数値実験及び実務家へのインタビューにより、提案するソフトウェアがプロジェクトマネージャの負荷軽減に有効であることを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

“Scaling, Proximity, and Optimization of Integrally Convex Functions,” Satoko Moriguchi, Kazuo Murota, Akihisa Tamura, and Fabio Tardella, *Mathematical Programming*, to appear.

DOI:10.1007/s10107-018-1234-z.

(2018), 査読有

“Scaling and proximity properties of integrally convex functions,” Satoko Moriguchi, Kazuo Murota, Akihisa Tamura, and Fabio Tardella, 27th International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2016), Seok-Hee

Hong (Ed.): ISAAC2016, Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs), Vol.64 (2016), Article No. 57, pp.57:1--57:12.
DOI: 10.4230/LIPIcs.ISAAC.2016.0
査読有

〔学会発表〕(計 11 件)

Satoko Moriguchi, Kazuo Murota, Akihisa Tamura, and Fabio Tardella, "Algorithms for Discrete Midpoint Convex Functions,"
研究集会「最適化：モデリングとアルゴリズム」, 政策研究大学院大学(港区六本木), 2018年3月

小林 敬明, 森口 聡子, "多目的遺伝的アルゴリズムによる IT プロジェクトスケジューリングモデル,"
日本オペレーションズ・リサーチ学会 2018年春季研究発表会, 東海大学高輪キャンパス(港区高輪), 2018年3月

小林 敬明, 森口 聡子, "納期, 要員の重複タスク日数, コストのトレードオフを考慮した IT プロジェクトスケジューリングの自動生成ソフトウェア,"
プロジェクトマネジメント学会 2018年度春季研究発表大会, 東洋大学白山キャンパス(文京区白山), 2018年3月

小林 敬明, 森口 聡子, "初期集団の改良によりパレートフロントへの収束性を高めた多目的遺伝的アルゴリズムによる IT プロジェクトスケジューリング,"
情報処理学会第 116 回数理解モデル化と問題解決研究発表会, 奈良女子大学(奈良県奈良市), 2017年12月

Satoko Moriguchi, Kazuo Murota, Akihisa Tamura, and Fabio Tardella, "Discrete Midpoint Convexity,"
日本オペレーションズ・リサーチ学会 2017年秋季研究発表会, 関西大学千里山キャンパス(大阪府吹田市), 2017年9月

森口 聡子, 室田 一雄, "整凸関数の基本演算について,"
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, 沖縄県市町村自治会館(沖縄県那覇市), 2017年3月

村上 智之, 森口 聡子, "秩序と混沌の度合いを考慮したメロディー生成に対する数理計画法の適用,"
情報処理学会第 114 回 音楽情報科学研究会, ヤマハ株式会社 本社(静岡県浜松市), 2017年2月

Satoko Moriguchi, Kazuo Murota,

Akihisa Tamura, and Fabio Tardella, "Scaling and Proximity Properties of Integrally Convex Functions,"
ISAAC2016 (The 27th International Symposium on Algorithms and Computation), Sydney, Australia, December 12-14, 2016

Satoko Moriguchi, Kazuo Murota, Akihisa Tamura, and Fabio Tardella, "Directed Integrally Convex Functions,"
日本オペレーションズ・リサーチ学会 2016年秋季研究発表会, 山形大学小白川キャンパス(山形県山形市), 2016年9月

Satoko Moriguchi, Kazuo Murota, and Fabio Tardella, "Scaling and Proximity Properties of Integrally Convex Functions,"
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, 慶応義塾大学(神奈川県横浜市), 2016年3月

土村 展之, 森口 聡子, 室田 一雄, "離散凸性判定プログラムの実装,"
日本オペレーションズ・リサーチ学会 2015年春季研究発表会, 東京理科大学(東京都新宿区), 2015年3月

〔その他〕
開発したソフトウェアを公開するホームページ
離散凸パラダイム: DCP (Discrete Convex Paradigm)
<https://ist.ksc.kwansei.ac.jp/~tutimura/DCP/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森口 聡子 (MORIGUCHI, Satoko)
首都大学東京・社会科学部・准教授
研究者番号: 60407351

(2) 研究協力者

小林 敬明 (KOBAYASHI, Takaaki)