

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K00036

研究課題名(和文)人工知能技術のための離散凸最適化

研究課題名(英文)Discrete Convex Optimization for Artificial Intelligence Technology

研究代表者

永野 清仁(Nagano, Kiyohito)

群馬大学・情報学部・准教授

研究者番号：20515176

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)：本研究では、ネットワークのような離散構造を扱う離散最適化(または組合せ最適化)の中でも、特に離散世界における凸最適化といえる劣モジュラ関数に関する最適化やその周辺手法に基づいたネットワーク最適化などの手法を中心に研究に取り組んだ。最適化理論研究に加え、機械学習などの人工知能技術への離散凸最適化の応用を中心テーマとして扱った。また、ネットワーク最適化技術の応用を主眼に入れて、交通ネットワーク関連の研究などに焦点を当てて取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

数多くある候補の中から最もよいものを見つける数学的手法は「数理最適化」とよばれる。本研究は数理最適化でも、特にネットワーク構造のような離散的な対象を扱う数理最適化の理論研究とその人工知能技術への応用をテーマとしてきた。ネットワーク構造のような様々な分野において現れる基本的な研究対象であり、その効率化は理論研究も、実社会への応用研究も社会的意義のある取り組みであるといえる。

研究成果の概要(英文)：In this research, we deal with discrete optimization (combinatorial optimization) problems related to discrete structures such as networks. In particular, we focus on submodular optimization problems, which can be called convex optimization in the discrete world. In particular, we focus on submodular optimization problems, which can be called convex optimization in the discrete world.

We worked on a theoretical study of submodular optimization and related problems. In addition, we dealt with the application of discrete convex optimization to artificial intelligence techniques such as machine learning. Furthermore, as an application of network optimization technology, we worked on research related to transportation networks and so on.

研究分野：組合せ最適化

キーワード：劣モジュラ最適化 人工知能 機械学習 ネットワーク最適化

1. 研究開始当初の背景

人間関係、インターネット、交通網など、実社会における多くの対象は、点と線からなるネットワークとして解釈できる。一見すると複雑に思える対象であっても、そのシステムの構成要素と要素間の関係をネットワークとして数学的に捉えることによって、深い理解につながる解析が可能となる。ネットワークデータの最適化は様々な分野において現れ、理論・応用の両面において基本的な研究対象である。

数多くある候補の中から最もよいものを見つける数学的手法は「数理最適化」とよばれる。数理最適化の中でも、ネットワーク最適化やその一般化した離散凸最適化の問題に対するの理論研究を我々は重要なテーマであると認識している。またその数理最適化手法について、機械学習などの人工知能技術のためのネットワーク最適化の応用が重要な課題であった。この状況は現在でも継続しているといえる。

2. 研究の目的

本研究の中心的な役割を果たすのは「離散凸性」の概念である。実数値をとる連続変数を扱う連続最適化では、関数の凸性は最小化問題の扱いやすさを意味する。整数格子点のような離散領域上の凸性と対応する概念として劣モジユラ関数がある。劣モジユラ性は n 次元 0-1 ベクトル全体の上の凸性とある意味で等価であることが知られており (L. Lovasz, 1983 年)、この性質は室田 (2003 年) らによる 離散凸解析 の理論へと発展している。

劣モジユラ最適化の理論を用いることで、ネットワーク構造を含む様々な離散構造を統一的に扱うことが可能となる。劣モジユラ最適化や離散凸最適化の理論に基づくネットワークに関する最適化理論を人工知能関連の問題に応用することが本研究の中心テーマのひとつである。また、実社会における活用を意識して、効率的な社会システムを目指すようなアルゴリズムの設計を目的とする。

3. 研究の方法

数理最適化の研究で注意すべきは最適化問題には 解きやすい問題 と 解きにくい問題 があるということである。例えば、ネットワークのノード集合の 2 分割で、またがるエッジの重み和を最小化する問題は解きやすい。しかし、一般のノード k 分割問題 (k は 3 以上) は NP 困難な解きにくい問題になってしまう。理論研究として、解きやすい問題については大規模なデータにも対処するためにさらなる高速化の研究に取り組み、また解きにくい問題については、何らかの形で問題の難しさを克服する研究に取り組む必要がある。

理論と応用を組み合わせた研究として、ネットワークに関連した最適化問題などに対し、離散凸性・劣モジユラ性を活用したより良いアルゴリズム開発に取り組んだ。またこれらの手法に対し、人工知能分野への応用を目指した研究に取り組んだ。

4 . 研究成果

本研究において取り扱ったテーマの一つは、劣モジュラ関数の一般化に対応する概念の、劣加法的関数である。我々は劣加法的関数の最適化の理論的解析と、その人工知能関連分野への応用研究に取り組んだ。人工知能分野のマルチロボットルーティング問題等は劣加法的関数に関する最適化問題として帰着することができる。本研究では劣加法的関数の最適化問題の難しさの解析や、劣加法的関数の負荷分散問題に対するアルゴリズムの提案、および提案手法の計算機実験などに取り組んだ。さらに、劣加法的関数の劣モジュラ関数への近さを考慮した劣化法的最適化アルゴリズムの解析、人工知能分野のマルチロボットルーティング問題への応用と計算機実験などに取り組んだ。

本研究の別のテーマとして、クラス編成問題に応用されるような割当問題を扱った。この問題に対して、ネットワークフローに基づく効率的な辞書式最適化手法を提案し、その有効性を実証する計算機実験を行った。

さらに、劣モジュラ最適化のテキスト分析への応用を主眼に入れた基礎研究にも取り組んだ。テキスト分析に適用可能な最適選択問題に対し、基本的な離散凸最適化の近似アルゴリズムの性能を検証するために、数理最適化ソルバによる厳密最適化との比較実験を行った。

現実のネットワークに対する最適化技術の応用と関連して、特に交通ネットワーク関連の研究に焦点を当てて取り組んだ。公共交通システムにおけるスケジューリング問題に対する数理最適化アプローチの有効性の検証を行った。さらに、若者のモビリティ（移動手段）への意識について調査を実施しそのデータ分析を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 永野清仁	4. 巻 27
2. 論文標題 テキストデータ分析のための劣モジュラ最適化と整数最適化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 群馬大学社会情報学部研究論集	6. 最初と最後の頁 49-62
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 永野清仁, 吉良知文	4. 巻 27
2. 論文標題 辞書式最適ネットワークフローによる公平なクラス編成問題へのアプローチ	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 群馬大学社会情報学部研究論集	6. 最初と最後の頁 63-78
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 永野清仁, 杉山学, 松井猛, 草野邦明	4. 巻 30
2. 論文標題 大学におけるカーシェア実証実験と大学生のモビリティ意識分析 群馬大学の事例	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 群馬大学社会情報学部研究論集	6. 最初と最後の頁 37-56
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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 斎藤芽, 永野清仁
2. 発表標題 持続可能なバス交通システムへの数理最適化に基づくアプローチ～新潟市BRTの改善可能性の検討～
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉良知文、永野清仁、杉山学、神山直之
2. 発表標題 クラス編成問題：群馬大学のOR活用と実践
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会常設研究部会 評価のOR研究部会 第89回研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kiyohito Nagano
2. 発表標題 Subadditive set optimization and its applications
3. 学会等名 International Conference on Nonlinear Analysis and Convex Analysis--International Conference on Optimization: Techniques and Applications (NACA-ICOTA2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永野清仁
2. 発表標題 劣加法的集合関数の限界と応用可能性について
3. 学会等名 日本オペレーションズリサーチ学会 本部SSOR2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 永野 清仁, 岸本 章宏
2. 発表標題 劣加法的集合関数の負荷分散最適化
3. 学会等名 情報処理学会 第164回アルゴリズム研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 永野清仁, 杉山学氏, 奥貫圭一, 草野邦明, 松井猛
2. 発表標題 大学におけるカーシェア実証実験と大学生のモビリティ意識分析
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会常設研究部会 評価のOR研究部会 第99回研究会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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

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