

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 18 日現在

機関番号：10101
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2012～2015
課題番号：24700001
研究課題名(和文) ロバストなネットワーク設計のためのグラフ論的アプローチとその一般化に関する研究

研究課題名(英文) Studies on graph theoretical approaches for robust network design and its generalizations

研究代表者
石井 利昌 (Ishii, Toshimasa)
北海道大学・経済学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30324487
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：現代社会では、交通網や通信網などネットワーク構造を持つものが数多くみられる。地震や洪水など自然災害が多発する中、これらにはある程度の故障が起きても対処できるロバストな構造が求められる。本研究では、ロバストなネットワーク制御・設計が求められる問題を対象に、効率的なアルゴリズムをいくつか提案した。また、これらの結果をネットワーク以外の一般的な問題にも応用するための拡張についていくつかの結果を得た。

研究成果の概要(英文)：In modern society, we have many networks such as traffic networks and communication networks. It is required that such networks have some fault-tolerance, because we have many natural disasters such as earthquake and flood in Japan. In this research, we proposed several efficient algorithms for the control and design of robust networks. Also, we extended these results, which may contribute to the analysis of other general problems.

研究分野：組合せ最適化，アルゴリズム理論

キーワード：組合せ最適化 離散最適化 アルゴリズム ネットワーク設計 グラフ理論

1. 研究開始当初の背景

現代社会では、通信網・交通網・電力網・VLSI などネットワーク的構造を持つものが多くみられる。中でも、2011年3月の震災以来、特にロバストなネットワーク制御・設計の重要性がより一層高まっていた。このようなネットワークに関する諸問題をグラフ上の離散最適化問題として定式化することで、問題が有する計算の複雑さの解析や高性能なアルゴリズムの開発が行われてきていた。さらに、これらの研究に関して劣モジュラ関数などを用いた一般化の試みがなされてきていたが、未解決な部分が多く残されていた。

2. 研究の目的

ロバストなネットワーク制御・設計が求められる問題を対象に、効率的なアルゴリズムの構築という立場から研究を推し進め、さらに「1. 研究開始当初の背景」で述べたような離散最適化問題としての一般化を図り、最終的にはグラフ問題にとどまらない他の最適化問題における新しい概念や手法の発見を目指す。

3. 研究の方法

ネットワークに関する諸現象を理論的に扱う場合、しばしばグラフにモデル化される。また、離散最適化問題として定式化することで、問題が有する計算の複雑さの解析や高性能なアルゴリズムの適用が可能となる。本研究では、この観点から、主にロバストなネットワーク制御・設計が求められる問題を対象に、グラフを用いた離散最適化問題として定式化し、問題の分析および効率的なアルゴリズムの開発を行った。より具体的には、次の(1)(2)(3)の流れで研究を行ってきた。

(1) 与えられたネットワークの性能・信頼性を分析する構造に関する研究に取り組み、効率的なアルゴリズムの設計のための有用な構造を見出すことを目指す。

(2) その構造解析を元に、主にロバストなネットワーク制御・設計が求められる問題の構造の解析・効率的なアルゴリズムの開発を行う。

(3) さらに、これらの研究で得られた知見を元に、劣モジュラ関数や正モジュラ関数などを用いた一般化した特徴づけの研究を行い、他の最適化問題への適用を模索していく。

4. 研究成果

まず、ロバストなネットワーク制御・設計問題に対して、以下の(1)～(4)の結果を得た。

(1) 距離制約を考慮したラベリング問題：無線通信ネットワーク設計に応用のある $L(2,1)$ -ラベリング問題に対して、グラフが木である場合、線形時間で解けることを示すことで、問題に対する最適なアルゴリズムを与えた。

(2) 耐故障性の高いネットワーク構成問題：連結度増大問題を拡張した集合間の連結度を増大させる問題に対して、最適な近似アルゴリズムを与えた。また、それまで未解決であった周辺の問題に対して、計算の複雑さを明らかにした。

(3) 距離制約をもつネットワーク構成問題：通信遅延を軽減するネットワーク構成問題に対して、一般の場合定数倍近似の解を求めるのが困難であるのに対して、外平面的グラフの場合定数倍近似可能であることをはじめて示した。

(4) 施設配置問題：古典的な支配集合問題を拡張したベクトル支配集合問題に対して、木幅を限定した場合の問題が多項式時間で解けること、平面グラフの場合の問題が準指数固定パラメータ容易であることをはじめて示した。パラメータ化計算量に関する議論では、単に固定パラメータ容易であるだけでなく、準指数固定パラメータ容易であるかどうかの一つの大きなテーマであり、後者の結果は、この分野での成果が評価され、2015年度情報処理学会山下記念研究賞を受賞した。

劣モジュラ関数等を用いた離散最適化問題としての一般化に関して次の結果を得た。

(5) 正モジュラ関数最小化問題：正モジュラ関数は、無向グラフのカット関数など様々な組合せ最適化問題に現れる重要な離散構造である。正モジュラ関数最小化問題は、それまでエグレス(Egres)未解決問題に示された重要な未解決問題であったのに対して、解くのに指数時間必要であることをはじめて示した。また、値域を限定した場合や最大化問題の計算の複雑さについていくつかの結果を得た。これらの成果は、FIT2015 船井ベストペーパー賞を受賞した。

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11件)

1) Toshimasa Ishii, Hiroataka Ono, Yushi Uno, “Subexponential fixed-parameter algorithms for partial vector

- domination,” *Discrete Optimization*, 査読有, 掲載決定済 (DOI: 10.1016/j.disopt.2016.01.003).
- 2) 石井 利昌, 牧野 和久, 「正モジュラ関数の最適化」, FIT2015 (第 14 回情報科学技術フォーラム) 講演論文集, 査読有, 1 巻, 2015, pp. 1—6 (URL: <https://www.ipsj.or.jp/award/9faeag000004eyo-att/RA-001.pdf>).
 - 3) Toru Hasunuma, Toshimasa Ishii, Hirotaka Ono, Yushi Uno, “Algorithmic aspects of distance constrained labeling: a survey,” *International Journal of Networking and Computing*, 査読有, vol. 4, 2014, pp. 251—259 (URL: <http://www.ijnc.org/index.php/ijnc/article/view/85>).
 - 4) Toshimasa Ishii, Kazuhisa Makino, “Augmenting edge-connectivity between vertex subsets,” *Algorithmica*, 査読有, vol. 69, 2014, pp. 130—147 (DOI: 10.1007/s00453-012-9724-5).
 - 5) Toshimasa Ishii, Hirotaka Ono, Yushi Uno, “(Total) vector domination for graphs with bounded branchwidth,” 11th Latin American Theoretical Informatics Symposium, 査読有, 2014, pp. 238—249 (DOI: 10.1007/978-3-642-54423-1_21).
 - 6) Toshimasa Ishii, Hirotaka Ono, Yushi Uno, “Subexponential fixed-parameter algorithms for partial vector domination,” 3rd International Symposium on Combinatorial Optimization, 査読有, 2014, pp. 292—304 (DOI: 10.1007/978-3-319-09174-7_25).
 - 7) Toshimasa Ishii, “Augmenting outerplanar graphs to meet diameter requirements,” *Journal of Graph Theory*, 査読有, vol. 74, 2013, pp. 392—416 (DOI: 10.1002/jgt.21719).
 - 8) Toru Hasunuma, Toshimasa Ishii, Hirotaka Ono, Yushi Uno, “A linear time algorithm for L(2,1)-labeling of trees,” *Algorithmica*, 査読有, vol. 66, 2013, pp. 654—681 (DOI: 10.1007/s00453-012-9657-z).
 - 9) Toru Hasunuma, Toshimasa Ishii, Hirotaka Ono, Yushi Uno, “The (p,q)-total labeling problem for trees,” *Discrete Mathematics*, 査読有, vol. 312, 2012, pp. 1407—1420 (DOI: 10.1016/j.disc.2012.01.007).
 - 10) Toru Hasunuma, Toshimasa Ishii, Hirotaka Ono, Yushi Uno, “A tight upper bound on the (2, 1)-total labeling number of outerplanar graphs,” *Journal of Discrete Algorithms*, 査読有, vol. 14, 2012, pp. 189—206 (DOI: 10.1016/j.jda.2011.12.020).
 - 11) Toshimasa Ishii, “Graph augmentation problem with diameter requirements,” 3rd International Conference on Networking and Computing, 査読有, 2012, pp. 393—398 (DOI: 10.1109/ICNC.2012.75).
- 〔学会発表〕(計 7 件)
- 1) 石井 利昌, 牧野 和久, 「正モジュラ関数の最適化」, FIT2015 (第 14 回情報科学技術フォーラム), 2015 年 9 月 15 日, 愛媛大学城北キャンパス (愛媛県松山市).
 - 2) 石井 利昌, 「連結度制約をもつネットワーク構成問題とその一般化について」, ERATO 湊離散構造処理系プロジェクトセミナー, 2015 年 8 月 31 日, 北海道大学 (北海道札幌市).
 - 3) Toshimasa Ishii, Hirotaka Ono, Yushi Uno, “(Total) vector domination for graphs with bounded branchwidth,” アルゴリズム研究会 (情報処理学会), 2014 年 6 月 13 日, 道後温泉大和屋 (愛媛県松山市).
 - 4) Toshimasa Ishii, Hirotaka Ono, Yushi Uno, “(Total) vector domination for graphs with bounded branchwidth,” 11th Latin American Theoretical Informatics Symposium, 2014 年 4 月 1 日, モンテビデオ市 (ウルグアイ).
 - 5) Toshimasa Ishii, Hirotaka Ono, Yushi Uno, “Subexponential fixed-parameter algorithms for partial vector domination,” 3rd International Symposium on Combinatorial Optimization, 2014 年 3 月 5 日, リスボン市 (ポルトガル).
 - 6) 石井 利昌, 「連結度制約をもつネットワーク構成問題」, 京都大学数理解析研究所「組合せ最適化セミナー」, 2013 年 7 月

24日, 京都大学数理解析研究所(京都府京都市).

- 7) Toshimasa Ishii, "Graph augmentation problem with diameter requirements," 3rd International Conference on Networking and Computing, 2012年12月6日, 沖縄男女共同参画センター(沖縄県那覇市).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ:

- (1) 大学のURL
<http://www.econ.hokudai.ac.jp/~ishii/>

- (2) Research map のURL
<http://researchmap.jp/read0064603>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石井 利昌 (ISHII, Toshimasa)

北海道大学・経済学研究科(研究院)・准教授

研究者番号: 30324487