

令和元年6月25日現在

機関番号：12614

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K16293

研究課題名(和文) 組合せ最適化問題に対する多点探索型メタ戦略の開発

研究課題名(英文) Development for multi point search based metaheuristics for combinatorial optimizations

研究代表者

橋本 英樹 (Hashimoto, Hideki)

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：70548114

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：現代社会に現れる問題はNP困難であることが多く、厳密な最適解を求めることは非常に困難である。そのような問題の現実的妥協策として近似解法が重要である。本研究では特に順序、割当てや配置を求める問題に対して近似解法を開発した。近似解法としては、比較的短時間で計算が終了する構築型解法、改善型解法、およびそれらを組み合わせる等でより長い時間をかけてより高精度の解を求めるメタ戦略がある。本研究ではデータ構造を工夫することで高速な構築型解法あるいは改善型解法を実装し、それを組み込んだメタ戦略により高性能な解法を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現代社会において現れる問題の多くは組合せ最適化問題として定式化することができる。それらの中でも順序、割当てや配置を求める問題は多い。本研究により得られたこれらの典型的な組合せ最適化問題に対する解法、およびそれを組み込んだメタ戦略が他の様々な問題に対しても高性能な解法を設計するための良い凡例となることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Problems that appear in real world are often NP-hard, and it is difficult to find an exact optimal solution. An approximate solution is important as a practical compromise for such problems. In this research, we developed heuristic methods especially for problems of asking for order, assignment, and placement. As a heuristic method, there is a construction method, an improvement method, and a metaheuristics that seeks for a more accurate solution taking longer time by combining them. In this research, we proposed efficient construction methods and improvement methods by devising the data structure, and achieved effective metaheuristics by incorporating them.

研究分野：組合せ最適化

キーワード：組合せ最適化 メタ戦略 局所探索法 構築型解法

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

### 1. 研究開始当初の背景

通信、ロジスティクス、生産計画など社会における多くの場面で組合せ最適化問題が現れる。また、近年、情報化社会の進展により、様々な情報をデータとして取得することが可能になり、組合せ最適化の適用範囲や対象とする問題のサイズがさらに拡大している。しかし、それらの問題は NP 困難であることが多く、厳密な最適解を効率よく求めることは非常に困難である。そのような問題の現実的妥協策として近似解法がある。

基本的でかつ有効な近似解法のひとつとして局所探索法(local search)がよく知られている。局所探索法とは、適当な解から始めて、現在の解  $x$  の近傍  $N(x)$  内に改善解があれば移動するという操作を反復する手法である。近傍内により良い解が存在しない解は局所最適解(local optimum)と呼ばれ、局所最適解が得られた時点で局所探索法は終了する。局所探索法は、単純な手法であり実装が容易であるため多くの問題に自然に適用することができる基本的な最適化ツールとなっている。しかし現実には、単純な局所探索法のみでは満足のいく結果が得られず、より高性能なアルゴリズムが必要となることも多い。この目的のために、近年ではメタ戦略(metaheuristics)と呼ばれる手法がよく用いられている。メタ戦略とは、最適化問題(特に組合せ最適化問題)に対する実用的な探索手法を設計するための一般的な枠組みを与えるものである。

局所探索法は単純な手法であるが、データ構造を駆使することで近傍探索を高速に実行することができ、多くの場合、局所最適解を非常に短時間で求めることができる。この局所探索法を用いれば、反復局所探索法のように局所最適解から逃れる簡単なメカニズムを組み込むだけで非常に性能の高い解法となる。現在、様々な問題に対して性能の高い解法の多くは高性能な局所探索法に簡単なメカニズムを組合せた解法である。しかし、このタイプの解法には、解空間全体を戦略的に探索するメカニズムがないため、探索がある程度進んだ後はさらなる改善解を見つけることが難しくなる。

### 2. 研究の目的

組合せ最適化問題に対する高性能な解法を実現するにはどうすればよいだろうか。解法は大きく分けて次の2つに大別される。ひとつは、局所探索法のように探索中に解を一つしか持たない解法である。もうひとつは、遺伝的アルゴリズムに代表される複数個の解を保持しながら探索を進める解法であり、こちらは多点探索型の解法と呼ばれる。多点探索型解法は、より多くの情報を使って探索することが可能となるため、うまく設計すれば高性能な解法が期待できる。本研究では、様々なタイプの組合せ最適化問題に対して高性能な解法を設計することを目指して多点探索型メタ戦略およびその基本ルーチンとなる解法の研究を行う。

### 3. 研究の方法

本研究では、典型的な組合せ最適化問題を選定し、それらに対して構築型解法、改善型解法、およびそれらを組み合わせるメタ戦略を開発する。

### 4. 研究成果

主な研究成果を以下に挙げる。

(1)被覆制約付き配送計画問題に対する局所探索法. この問題では訪問できる点(訪問点)の集合とそれらに被覆される点(被覆点)の集合が与えられたときに、複数の車両を用いて全ての被覆点を被覆できるように一部の訪問点を訪問し、そのような経路の中で、コストが最小のものを求める問題である。制約条件は各車両の容量制約がある。容量制約とは、訪問点の要求量の総和が車両の容量を越えてはいけないという制約である。本研究では、訪問点の集合と巡回路を同時に探索する局所探索法を2種類提案した。さらに、効率的な近傍探索およびペナルティーの自動調整による自動探索メカニズムを組み込んだタブー探索を提案した。計算実験により従来手法に対する提案手法の優位性を確認した。

(2)航空乗務員スケジューリング問題に対する列生成法. この問題は、様々な制約の下で、与えられた全ての業務を運航するようにスケジュールを作成するとき、人件費等のコストを最小化することを目的とする問題である。一般に乗務員スケジューリング問題には非常に多くの制約がある。本研究では、集合被覆問題に基づく列生成アプローチを用いた解法を提案した。

(3)レクトリニア多角形配置問題に対する厳密解法. レクトリニア図形は縦と横の線分のみからなる図形、すなわち内角が90度あるいは270度の何れかであるような多角形である。レクトリニア多角形配置問題とは、いくつかのレクトリニア図形を幅の決まった長方形の容器に詰込むとき、高さを最小にする問題である。本研究では、配置する  $x$  座標が与えられている図形に対し、詰込み順序に基づく新たな解表現法を提案し、解表現から各図形の  $y$  座標を定めるアルゴリズムを考案した。また、図形を配置する  $x$  座標の組合せを生成し、それに伴う最適な  $y$  座標に対応する解表現を探索する手法を提案した。この手法により、既存手法に比べて計算時間を改善することができた。

(4)ビットマップ図形配置問題に対してボトムレフト法に基づく構築型解法の提案を行った。一般の図形はビットマップ図形で近似することができるため、本問題では任意の形状の図形の配置問題を近似的に扱うことが可能となる。計算実験により提案手法が非常に短い時間で良い解を求められることを確認した。

(5)自動倉庫とは在庫の入出庫をコンピュータ制御により自動で行う倉庫である。自動倉庫の利点として、通常の倉庫に比べ空間効率、在庫管理精度の向上、自動搬送による省力化があげられる。本研究では、自動倉庫内での在庫の配置換えを最小化するモデルを容量制約付きのグラフ彩色問題として定式化し、それに対してタブー探索を設計し、計算実験を行なった。

(6)ロケーションルーティング問題(LRP)に対して配送計画問題に対する解法が適用可能であることを確認した。ロケーションルーティング問題と配送計画問題の大きな違いとして、配送計画問題では車両が出発し帰還するデポと呼ばれる拠点は一箇所であるのに対し、LRPではデポの候補地が複数あり、コストを伴って開設するか否かも決定する必要がある。これらの開発した解法の応用においては、対象の問題を解法が適用できる問題に変換することで取り扱いを可能とした。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 14 件)

1. K. Haraguchi, H. Hashimoto, J. Itoyanagi, M. Yagiura, "An efficient local search algorithm with large neighborhoods for the maximum weighted independent set problem," *International Transactions in Operational Research*, 26 (2019) 1244-1268
2. Y. Hu, S. Fukatsu, H. Hashimoto, S. Imahori, M. Yagiura, "Efficient Overlap Detection and Construction Algorithms for the Bitmap Shape Packing Problem," *The Journal of the Operations Research Society of Japan*, 61 (2018) 132-150
3. Y. Takada, Y. Takeuchi, Y. Hu, H. Hashimoto, M. Yagiura, "A Tabu search algorithm for the multi-vehicle covering tour problem," *MIC 2017*, July 4-7, 2017 (Barcelona, Spain), pp.380-382.
4. Yuta Takeuchi, Yosuke Takada, Yannan Hu, Hideki Hashimoto, Mutsunori Yagiura, "Efficient Implementations of an Iterated Local Search Algorithm for the Multi-Vehicle Covering Tour Problem," *International Symposium on Scheduling*, June 23-25, 2017 (Nagoya), pp.79-86.
5. K. Matsushita, Y. Hu, H. Hashimoto, S. Imahori, M. Yagiura, "A New Solution Representation for the Rectilinear Block Packing Problem," *The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, December 4-7, 2016 (Bali, Indonesia), 5 pages.
6. H. Hashimoto and M. Kubo, "Supply Chain Optimization: A Survey --Models, Algorithms, Decision Support Systems, and Applications --," *Innovation and Supply Chain Management*, 10 (2016) 10-19
7. W. Wu, Y. Hu, H. Hashimoto, T. Ando, T. Shiraki and M. Yagiura, "A column generation approach to the airline crew pairing problem to minimize the total person-days," *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 10 (2016) 11 pages
8. H. Iwasawa, Y. Hu, H. Hashimoto, S. Imahori and M. Yagiura, "A heuristic algorithm for the container loading problem with complex loading constraints," *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 10 (2016) 12 pages
9. Y. Hu, H. Hashimoto, S. Imahori, T. Uno and M. Yagiura, "A Partition-Based Heuristic Algorithm for the Rectilinear Block Packing Problem," *The Journal of the Operations Research Society of Japan*, 59 (2016) 110-129
10. Y. Hu, H. Hashimoto, S. Imahori and M. Yagiura, "Efficient Implementations of Construction Heuristics for the Rectilinear Block Packing Problem," *Computers and Operations Research*, 53 (2015) 206-222
11. Y. Takada, Y. Hu, H. Hashimoto, M. Yagiura, "An Iterated Local Search Approach for the Multi-Vehicle Covering Tour Problem," *The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, December 6-9, 2015 (Singapore), 6 pages.
12. Wei Wu, Yannan Hu, Hideki Hashimoto, Tomohito Ando, Takashi Shiraki, Mutsunori Yagiura, "A heuristic algorithm for the crew pairing problem in airline scheduling," *International Symposium on Scheduling*, July 4-6, 2015 (Kobe, Japan), pp.121-127, Best Paper Award for Scheduling Practice.
13. Hiroki Iwasawa, Yannan Hu, Hideki Hashimoto, Shinji Imahori, Mutsunori Yagiura, "A

- heuristic algorithm for the container loading problem of Challenge Renault/ESICUP," International Symposium on Scheduling, July 4-6, 2015 (Kobe, Japan), pp.236-241.
14. Ken Matsushita, Yannan Hu, Hideki Hashimoto, Shinji Imahori, Mutsunori Yagiura ``An exact algorithm with successively strengthened lower bounds for the rectilinear block packing problem," International Symposium on Scheduling, July 4-6, 2015 (Kobe, Japan), pp.242-247.

〔学会発表〕(計 26 件)

1. Y. Hu, S. Fukatsu, H. Hashimoto, S. Imahori, M. Yagiura, ``Heuristics for the Bitmap Shape Packing Problem: Efficient Implementations and Placement Strategies," 13th ESICUP Meeting, Ibiza, Spain, May 18-20, 2016.

〔図書〕(計 2 件)

1. 久保幹雄, 小林和博, 斉藤努, 並木誠, 橋本英樹, Python 言語によるビジネスアナリティクス 実務家のための最適化・統計解析・機械学習, 近代科学社, 2016 年 9 月, 411-426.
2. 今堀慎治, 胡艶楠, 橋本英樹, 柳浦睦憲, ``Python による図形詰込みアルゴリズム入門," オペレーションズ・リサーチ, 63 (2018), 762-769.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ

<http://alg.u.e.kaiyodai.ac.jp/>

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。