

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04900

研究課題名（和文）割当および順序を決定する多様な問題に対する汎用解法フレームワークの設計と開発

研究課題名（英文）Design and development of a general-purpose solver for a variety of problem of asking assignment and ordering

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） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：最適化問題に対して最も普及している汎用解法である整数計画ソルバは割当や順序を求める問題が苦手であり小規模の問題例に対しても求解することが難しい。本研究では、そのような割当および順序を求める典型的な問題に対して、問題構造を分析し、効率的な局所探索法や構築型解法およびそれらを組み合わせたメタヒューリスティクスの開発を行なった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

割当および順序を最適化したいという実務的な要求は多く、多種多様な問題がある。例えば、様々な制約条件の下で、複数の車両を用いて全ての客をちょうど1回ずつ訪問するような経路の中で、コストが最小のものを求める配送計画問題がその一例である。しかし、これらの問題は整数計画ソルバでは小規模の問題しか求解することができない。本研究では、割当および順序を求める問題を対象として典型的な問題構造を持つ問題に対して効率的な解法の開発を行なった。

研究成果の概要（英文）：Integer programming solvers, which are the most popular general-purpose solving methods for combinatorial optimization problems, are not good at problems that ask for assignments or ordering, and are difficult to solve even for small-scale problems. In this study, we analyzed the problem structure of typical problems that ask for such assignments and orders, and developed efficient local search methods, construction methods, and metaheuristics combining them.

研究分野：組合せ最適化

キーワード：配送計画問題 配置問題 局所探索法 メタ戦略

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在、最適化問題に対して最も普及している汎用解法は整数計画ソルバである。通信、ロジスティクス、生産計画など社会における様々な場面で現れる多くの問題が整数計画問題として定式化可能であり、ソルバを実行するだけで最適解が得られることも多い。しかし、これらのソルバが苦手とするタイプの問題もある。例えば巡回セールスマン問題のような順序を求める問題は小規模の問題例に対してもこれらのソルバで十分な精度の解を得ることは難しい。本研究では、このような整数計画ソルバでは求解が難しい割当および順序を求める問題に的を絞った解法の構築を目標とした。割当および順序を求める問題の適用範囲は非常に広い。例えば、スケジューリング分野において割当および順序を最適化したいという要求がよくある。一例として配送計画問題 (VRP) を挙げる。VRP は、様々な制約条件の下で、複数の車両を用いて全ての客をちょうど 1 回ずつ訪問するような経路の中で、コストが最小のものを求める問題である。VRP の解は客の車両への割り当てと各車両に割り当てられた客の訪問順序により定まる。車両の積載量に対する容量制約と客の訪問時刻に対する時間枠制約の下で車両の総移動距離を最小化する問題は時間枠付き配送計画問題 (VRPTW) と呼ばれる。VRPTW 以外にも非常に多くの VRP モデルが存在するが、それらも割当および順序を最適化する問題である。VRP 以外にも、機械スケジューリング問題、乗務員スケジューリング問題、ロケーションルーティング問題、シェアリングでの再配置問題など割当および順序を最適化する多種多様な問題が研究されている。

このような問題に対する最も有望な解法の一つは局所探索法 (LS) である。LS とは、現在の解の近傍に良い解があれば移動する、という操作を反復することで解を改善してゆく手法である。また、LS を基本ルーチンとして戦略的に探索するなどの方法により、多少時間はかかってもより精度の高い解を求める枠組はメタ戦略とよばれる。LS およびメタ戦略は、単純で普遍的なアイデアであり、解の評価手段と近傍の定義があれば、容易に実現することができる。ただし、高性能な LS (そして、メタ戦略) を実現するには、データ構造などを工夫した効率的な近傍探索手法が必要不可欠である。

### 2. 研究の目的

割当および順序を最適化したいという要求は多く、これまでに研究されているモデルおよび実務に現れる問題は多種多様で、制約条件や目的関数は千差万別である。このような状況で、多様な問題を包括的に扱うことができる汎用解法の需要は非常に高い。しかし、現状ではそのような汎用解法で実用的なものは存在しない。本研究の目的は、学術的な数理モデルだけでなく実務的な問題も対象とした汎用解法フレームワークの設計と開発である。

### 3. 研究の方法

汎用解法を実現するための一つの方法は、全てのモデルを含む一般モデルを定め、それに対して解法を設計することである。しかし、本研究では非常に多様な問題を対象としており、これらを全て考慮した一つのモデルを決定し、高性能な解法を開発することは非現実的である。本研究では、これまでに開発した効率的な局所探索法は解の評価部分と解の探索部分が分離して構成されており拡張性が高いことに着目した。典型的な問題構造ごとに解の効率的な評価方法を設計することで、それらを必要に応じて組み合わせることで様々な問題に対応できる拡張性の高い汎用解法フレームワークの構築を目指す。そのためにも、割当および順序を求める問題に対してその問題構造を分析しそれを利用した解法を研究する。

### 4. 研究成果

本研究の主な成果を以下に挙げる。

- (1) 線形制約を持つ配送計画問題を提案した。配送計画問題に対しては様々なタイプのモデルが研究されており、時間枠付き配送計画問題などのように、車両の巡回路だけでなく、その訪問スケジュールの決定も必要となるものがある。車両の巡回路に対してその最適な訪問スケジュールを求める問題は線形計画問題として定式化できることが多い。このような車両の巡回路の評価を線形計画問題として定式化できる問題を本研究では線形制約を持つ配送計画問題とし、局所探索法で近傍解を評価する際のサブルーチンである巡回路の評価を効率的に行う手法を提案し、計算実験によりその効果を確認した。
- (2) 自転車シェアリングとは、様々な場所にあるポートでそこに配置されている自転車を借りることができるサービスである。利用者は任意のポートで自転車を借り任意のポートで返却す

ることができる。このサービスを実現した際に問題となるのは、多くの利用者の使用に伴い、各ポートで自転車数が過剰あるいは不足することである。本研究では、過剰に自転車が存在するポートから自転車不足しているポートへトラックで自転車を移動させる問題を扱った。この問題を整数計画問題として定式化し、さらに局所探索法に基づくアルゴリズムを設計した。

- (3) 多期間配送計画問題とは、配送計画問題を多期間に拡張した問題である。顧客ごとにその顧客を訪問可能な日の組み合わせのパターンが与えられており、その中のいずれかのパターンで訪問する。また本問題では顧客は時間枠を持ち、車両はその顧客を訪問する場合はその時間内に訪問する必要がある。この問題に対して、どの日にどの顧客を訪問するかを決める部分問題と各日で訪問される顧客をどのように巡回するかを求める部分問題の2つに対してそれぞれ解法を設計し、それらを組み合わせることで2段階型のアルゴリズムを設計した。
- (4) 重み付き有向グラフにおいて与えられた始点から終点までの最短の経路を求める最短路問題は古典的な最適化問題であり、交通機関の乗り換え検索やカーナビの経路検索に用いられている。本研究課題の主題の一つである配送計画問題では2点間の距離等は与えられるものという前提であることがほとんどだが、実際の応用の場面では経路を求める必要がある。この研究では、移動に対して時刻依存性を考慮し各出発時刻に対して刻々と変化する最短路を求める問題に対して、プログラム実装時の高速化を目指し、逐次的に最短路を修正するアルゴリズムを設計した。
- (5) 本研究ではハブ・スポーク配送計画問題をさらに一般化した二段階配送計画問題を提案した。この問題では、ドローンと配送車を併用した配送方法で、配送車とドローンの容量制約を満たす巡回路の中で、それらの総コストを最小化する問題である。本研究では、ランダム多スタート法、反復局所探索法、パスリリンクの3種類のメタ戦略による解法を提案した。ランダム多スタート法では解を改善する局所探索法として異なる近傍を持つ insert-swap, 1del-1ins の2つの手法を使用した。反復局所探索法では、使用している停留点を変更する操作を kick として探索を行なった。パスリリンクでは、局所探索を行う解を選定する基準を設けることで高速化を行った。計算実験により小規模な問題例に対しては反復局所探索法による求解が優れており、中規模、大規模な問題に対してはパスリリンクによる求解が優れていることがわかった。パスリリンクの高速化を行なったことで短時間で精度の高い解の求解が可能であることを確認した。
- (6) 長方形ストリップパッキング問題は、与えられた長方形を幅が固定された長方形の容器(ストリップと呼ぶ)に重なりなく詰め込むとき、ストリップの高さをできるだけ小さくする問題である。本研究では、長方形ストリップパッキング問題において、与えられた長方形集合の任意の3つの長方形の幅の合計がストリップの幅より大きいことを考える。この問題を配置が2列になる長方形ストリップパッキング問題と呼ぶ。この問題に対して、まず幅方向に3つ以上の長方形を配置することができない場合の配置の条件と最適性の条件を示し、この問題の複雑さを分析した。また、最適性の条件等を利用した整数計画問題としての定式化を提案した。計算実験では、ランダムに生成した問題例に対して、提案する定式化を MIP ソルバ gurobi で求解しその効果を示した。
- (7) 通勤バスルーティング問題に対する反復局所探索法を提案した。バス停の候補とルートを同時に探索できる近傍操作 set-del/1-ins を提案した。また、set-del/1-ins 近傍により得られた局所最適解を VRP-OPT\* という近傍操作に基づく方法で解を改善した。解に多様性を持たせるため、重みを適応的に変化できるペナルティ付き評価関数も設計した。計算実験により近傍操作の有効性を確認した。また、1000人の社員を含む大規模な問題例に対して、3600秒で良質の解を求めた。

## 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 0件）

1. 著者名 Y. Takada, M. Shimazaki, Y. Hu, and M. Yagiura	4. 巻 14
2. 論文標題 Efficient Algorithms for Optimal Pickup-Point Selection in the Selective Pickup and Delivery Problem with Time-Window Constraints	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jamdsm.2020jamdsm0074	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 V.M. Fukushigue Hama, S. Kanazawa, Y. Hu, S. Imahori, H. Ono and M. Yagiura	4. 巻 14
2. 論文標題 The Computational Complexity of the Gear Placement Problem	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jamdsm.2020jamdsm0069	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 橋本英樹, 胡艶楠	4. 巻 64
2. 論文標題 配送計画問題に対する発見的解法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 システム/制御/情報	6. 最初と最後の頁 218-223
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 1件／うち国際学会 6件）

1. 発表者名 H. Hashimoto, Y. Hu, Y. Okamoto
2. 発表標題 An Efficient Route Evaluation Method for the Vehicle Routing Problem with Linear Constraints
3. 学会等名 The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Hashimoto, Y. Hu, T. Sugiura, Y. Takada, M. Yagiura
2. 発表標題 An Iterated Local Search Algorithm for Commuting Bus Routing Problem with Latest Arrival Time Constraint
3. 学会等名 The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上杉昂, 胡艶楠, 橋本英樹
2. 発表標題 最遅到着時刻を考慮するPrize-collecting バスルーティング問題に対する反復局所探索法
3. 学会等名 スケジューリング学会シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本英樹, 胡艶楠
2. 発表標題 配置が2列になる長方形ストリップパッキング問題
3. 学会等名 スケジューリング学会シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野航生, 橋本英樹
2. 発表標題 二段階配送計画問題に対するメタ戦略
3. 学会等名 スケジューリング学会リスクマネジメント研究部会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡本優太, 橋本英樹
2. 発表標題 線形制約を持つ配送計画問題に対する効率的な巡回路評価法
3. 学会等名 スケジューリング学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鶴川知哉, 竹田陽, 三國寛佳, 胡艶楠, 小野廣隆, 柳浦睦憲
2. 発表標題 自動車運搬船における貨物積載プランニングの席割問題に対する数理モデリング
3. 学会等名 第48回日本OR学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡田寛治, 胡艶楠, ピッツティ・アンドレア, マリネッリ・ファブリツィオ, 柳浦睦憲
2. 発表標題 ギロチンカットおよび順序制約を考慮する2次元ビンパッキング問題に対する反復局所探索法
3. 学会等名 第48回日本OR学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉浦知樹, 胡艶楠, 橋本英樹, 柳浦睦憲
2. 発表標題 最遅到着時刻制約付き通勤バスルーティング問題に対する反復局所探索法
3. 学会等名 SSOR中部支部
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋本英樹
2. 発表標題 配送計画問題に対する汎用的な局所探索法
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋本英樹
2. 発表標題 配送計画問題に対する局所探索法とその応用
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会第47回中部支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hideki Hashimoto, Yannan Hu
2. 発表標題 A general vehicle routing problem and an effective heuristic algorithm for the location routing problem
3. 学会等名 International Symposium on Scheduling (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉浦知樹, 高田陽介, 胡艶楠, 橋本英樹, 柳浦睦憲,
2. 発表標題 最遅到着時刻制約付き通勤バスルーティング問題に対する発見的解法
3. 学会等名 スケジューリング学会シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本英樹
2. 発表標題 汎用的な配送計画モデルに対する効率的な局所探索法とその応用
3. 学会等名 スケジューリング学会最適化とアルゴリズム研究部会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Lin, W. Wu, Y. Hu, M. Yagiura
2. 発表標題 Heuristics for the Min-Max Regret Shortest Path Problem under Interval Costs
3. 学会等名 the 9th Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 V. Hama, S. Kanazawa, Y. Hu, S. Imahori, H. Ono, M. Yagiura
2. 発表標題 On the complexity of the gear placement problem
3. 学会等名 International Symposium on Scheduling (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Takada, M. Shimazaki, Y. Hu, M. Yagiura
2. 発表標題 Optimal pickup-point selection for the selective pickup and delivery problem with time-window constraints
3. 学会等名 International Symposium on Scheduling (国際学会)
4. 発表年 2019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
研究 分担 者	胡 艶楠  (Hu Yannan)  (00778326)	東京理科大学・理学部第一部応用数学科・講師    (32660)	

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
---------	---------