

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：32660

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26882039

研究課題名(和文)船舶の省エネルギー航海のための最適化手法の研究

研究課題名(英文)A study of optimization method for low-emission shipping

研究代表者

田中 未来(Tanaka, Mirai)

東京理科大学・理工学部・助教

研究者番号：40737053

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、現実的な制約条件を考慮しつつ、燃料の総消費量を最小化する港の訪問順・航路・船速を求める問題を考えた。具体的には、海流の影響下で航路(2港間をどのように航海するか)と各時点での船速を最適化する問題と港に出入りできる時間帯や港を訪問する順序の先行関係などといった様々な条件を考慮しつつ港の訪問順を最適化する問題を考え、それぞれに対する効率のよい最適化アルゴリズムを構築した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we dealt with optimization problems for minimizing total fuel consumption under practical constraints. In our problems, the order of visiting ports, the route between two ports, and the shipping speed on each leg were treated as decision variables. Especially, we considered the following two optimization problems: (i) the minimization of the total fuel consumption between two ports by controlling the shipping route and the shipping speed on each leg under the effect of ocean current and (ii) the minimization of the total fuel consumption on a voyage by controlling the order of visiting ports under practical constraints. For the former problem, we proposed a practical algorithm based on enumeration and relaxation. In addition, we modeled the latter problem into set covering problem and proposed inexact column generation algorithm based on relaxation.

研究分野：最適化

キーワード：最適化

1. 研究開始当初の背景

船舶の航海計画に関する研究の歴史は長く、古くは James (1957) が出発地から目的地までの航海時間を最小にする航路を求める研究を行なっている。以降、変分法や動的計画法などの手法を用いることで、なんらかの意味 (例えば、航海時間の最小化や、燃料消費量の最小化) で最適な航路を求める研究が盛んに行なわれてきた。近年では、原油価格の高騰や地球温暖化の影響から、燃料の消費量を削減することがより重要になっている。特に、わが国は島国であるため、大量輸送を行なうには海上輸送を避けて通ることはできず、省エネルギー航海の重要性は高い。

航海において燃料の消費量を削減するためには航路の選択のみならず船速の制御も重要である。実際、ここ 10 年の航海計画に関する研究では、船速の最適化に関する研究が急激に増加している (Christiansen et al., 2013)。例えば、Fagerholt et al. (2010) は港を訪問する順序や航路を所与として船速を最適化することで、燃料の消費量を最小化する問題を考えている。

2. 研究の目的

貨物船やタンカーなどの船舶が航海を行なう際には、港に出入りできる時間帯や港を訪問する順序の先行関係などといった様々な条件を考慮しつつ、港の訪問順、航路 (2 港間をどのように移動するか)、各時点での船速を決定する必要がある。本研究ではこのような現実的な制約条件を考慮しつつ、燃料の総消費量を最小化する港の訪問順・航路・船速を求める問題を考えた。

3. 研究の方法

本研究では、扱う問題を 1 回の航海において港の訪問順を最適化して燃料の消費量を最小化する問題と航海中の 2 港間の航行において海流の影響下で航路と船速を最適

化して燃料の総消費量を最小化する問題に分割した。いずれの問題においても 2 港間の航路の燃料消費量や運航時間に出現する非線形性が 2 次錐制約と呼ばれる扱いやすい形で表現できることを示した。さらに、前者の問題を集合被覆問題として、後者の問題をネットワーク上の 2 次錐計画問題として定式化した。なお、2 次錐計画問題とは、線形計画問題の拡張の 1 つであり、内点法と呼ばれるアルゴリズムを用いることで効率よく解くことができる。

前者の問題に対しては最適解の有力な候補となる港の訪問順を列挙していく列生成法に基づくアルゴリズムを構築した。一般に列生成法の内部では価格付け問題と呼ばれる問題を解いて列を生成する必要がある。今回の場合は価格付け問題が混合整数 2 次錐計画問題となる。本研究では列の生成を高速に実行するために緩和を解くことで列を生成することを提案した。

後者の問題に対しては perspective 再定式化と呼ばれる技法を用いてネットワーク上の 2 次錐計画問題を分枝限定法が効率よく働くように等価変形できることを示した。さらに、燃料の消費量が少ないことが見込まれる航路を整数計画問題を解くことで生成し、それぞれの航路について 2 次錐計画問題を解くことで船速の最適化を行なうアルゴリズムを提案した。この問題については日本海洋データセンターより提供を受けた海流のデータを用いた計算機実験を行なうことにより、実用的な解が得られることを示した。

4. 研究成果

航路と船速に関する最適化問題の研究に関する成果のうち、perspective 再定式化に関するものは国際スケジューリングシンポジウムにおいて発表し、会議録に採録された。また、この問題を効率よく解くためのアルゴ

リズムに関する研究成果は現在論文としてまとめている最中で、オペレーションズ・リサーチに関する国際誌に投稿する予定である。

港の訪問順に関する最適化問題の研究についてはそのプロトタイプを日本オペレーションズ・リサーチ学会の研究発表会で発表した。現在、計算機実験を行なっている最中で、計算機実験の結果がまとまり次第、オペレーションズ・リサーチまたは最適化に関する国際誌に投稿する予定である。

また、物流や交通に係る最適化モデルの研究も並行して行なった。不確実性を考慮したサプライ・チェーン最適化モデルの研究では、多期間にわたるサプライ・チェーン最適化において需要の不確実性を考慮した問題を混合整数 2 次錐計画問題として定式化した。この成果はオペレーションズ・リサーチ誌に採録されている。また、公共交通サービスの効率性評価に関する研究では、それぞれの駅や停留所における乗降客数のデータから OD データを推定するための最適化モデルを構築し、その結果に基づいて公共交通機関の効率性を評価した。この研究成果は国際会議に採択され、発表と会議録の出版が予定されている。

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 3 件)

- ① Mirai Tanaka, Takuya Kimata, Takeshi Arai: Estimation of passenger origin-destination matrices and efficiency evaluation of public transportation, *Proceedings of the 5th IIAI International Congress on Advances Applied Informatics* (査読あり, 採録決定).

- ② Mirai Tanaka and Kazuhiro Kobayashi: Perspective reformulation for optimal fuel routing problem, *Proceedings of International Symposium on Scheduling 2015*, p.p. 89—94, 2015 (査読あり).
- ③ 久保幹雄, 小林和博, 武田朗子, 田中未来, 村松正和: サプライ・チェーン最適化における 2 次錐最適化の応用, *オペレーションズ・リサーチ* 59 (2014) 379—743 (査読なし).

[学会発表] (計 4 件)

- ① 小林和博, 田中未来: 船舶スケジューリングに対する緩和問題を用いた列挙解法, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2015 年秋季研究発表会, 九州工業大学 (福岡県北九州市), 2015 年 9 月 (査読なし).
- ② Mirai Tanaka and Kazuhiro Kobayashi: Perspective reformulation for optimal fuel routing problem, *International Symposium on Scheduling 2015*, 3A1, Kobe Industrial Promotion Center Convention Hall (兵庫県神戸市), July 2015 (査読あり).
- ③ 田中未来: サプライ・チェーン・リスク管理のための不確実性を考慮した最適化モデル, Supply Chain Risk Management フォーラム サプライ・チェーン・リスク管理と人道支援ロジスティクスセミナー 第 8 回, 東京海洋大学 (東京都江東区), 2015 年 5 月 (招待講演).
- ④ 田中未来: 不確実性を考慮したサプライ・チェーン最適化モデル, 電気通信大学 第 9 回 情報数理工学セミナー, 電気通信大学 (東京都調布市), 2014 年 10 月 (招待講演).

6. 研究組織

(1)研究代表者

田中未来 (TANAKA, Mirai)

東京理科大学 理工学部 経営工学科 助教

研究者番号: 40737053