

機関番号： 12614
 研究種目： 基盤研究 (C)
 研究期間： 2008 ～ 2010
 課題番号： 20510132
 研究課題名 (和文) 在庫と不確実性を考慮した船舶スケジューリングモデル構築
 研究課題名 (英文) Ship scheduling with inventory and uncertainty management
 研究代表者
 久保 幹雄 (KUBO MIKIO)
 東京海洋大学・海洋工学部・教授
 研究者番号： 60225191

研究成果の概要 (和文)：

船舶スケジューリングは2週間程度までの効率的な運航スケジュールを作成する手法である。この手法を、天候による移動時間の不確実性を取り入れるもの、および生産状況の変化に対応するための在庫管理と組み合わせたものに拡張する方法を研究する。不確実性に対応するためには、Bertsimas and Sim のロバスト組合せ最適化問題のフレームワークを部分問題である最短路問題に適用し、数理モデルを開発した。生産状況の変化に対応するには、2週間程度よりもより長期のスケジュールを考慮する必要がある。このためには、ローリングホライズン方式による計画方法、および近似動的計画法および強化学習による計画方法を開発した。

研究成果の概要 (英文)：

The ship scheduling with inventory and uncertainty management is studied. To deal with the uncertainty of the travelling time, the robust combinatorial optimization approach by Bertsimas and Sim is applied to the shortest path problem arising in the set partitioning formulation of the ship scheduling problem. To deal with the uncertainty of the production schedule, the approximate dynamic programming and learning approach are applied. Another approach to deal with the uncertainty of the long-term scheduling, the rolling-horizon approach is applied.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：ロジスティクス工学、サプライチェーンマネジメント

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、社会システム工学・安全システム

キーワード：ロジスティクス、アルゴリズム、海上物流、在庫管理、不確実性

1. 研究開始当初の背景

サプライ・チェーン最適化とは、ロジスティクスを情報技術を用いて、全体最適化することである。現在までに、様々な個別最適化システムが開発され、実務でも使われている。

個別システムは、意思決定レベル別にまとめると、ストラテジック、タクティカル、オペレーショナルというレベル別に分けられる。また、計画期間の長さでは、長期、中期、短期の別に分けられる。海上輸送は他の輸送モ

ード（自動車、鉄道、航空機）に比べて安価で大量の物資を輸送できることが特徴であり、貨物量×輸送距離ベースで国内貨物輸送の4割を、産業基礎物資に限ってはその8割を輸送している。したがってサプライ・チェーン最適化には重要な要素である。その一方で、これまでの個別最適化システムは陸上を対象としてきた。そこで我々は海上輸送を前提とした個別最適化システムの開発を実施した。

2. 研究の目的

(1) サプライ・チェーン最適化において、研究代表者らは、最適化、特にメタ解法とよばれる新しい技術を用いて、この個別モデルに対して効率的なアルゴリズムを設計し、システム化し、それを実務の世界へと普及させてきた。この研究では、海上輸送に関連する業務を対象とした最適化モデルの開発を行う。具体的には、研究代表者らが既に開発した船舶スケジューリングモデルを拡張したモデルを開発する。

(2) 1つ目のモデルは、在庫管理を考慮した船舶スケジューリングモデルである。海上輸送では、荷主は貨物輸送とあわせた在庫管理も海運会社に委託する場合がある。この場合、海運会社は荷主側の各拠点（倉庫、工場）での在庫状況を見ながら貨物の輸送量と時期を決定する。考慮する要素が増える一方、うまく扱えばより効率的な輸送が実現できる。そこで、効率的な船舶スケジューリングが行えるように在庫管理の仕組みを拡張することにより、輸送スケジュールと在庫管理を同時に効率化するモデルを開発することを目的とする。

(3) 2つ目のモデルは、天候の変動や輸送内容の変更を考慮したロバストな船舶スケジューリングモデルである。航海中の船舶は、気象海象の影響を受け運航状況が変化する。具体的には、風、海流、波が船舶に様々な抵抗を与え、船速や燃料消費量を変化させる。また、一航海の所要時間が長く（数時間から数日）、急激な気象海象の変化があった場合に遅延の影響が大きくなる傾向がある。このため、予定時刻に目的港につかずその後のスケジュールが実行できなくなる場合がある。基本モデルでは2港間の航海時間は一定値として与えており、遅延が発生した場合はその後のスケジュールを再度計算することで対応している。そこで、航海にある程度の遅延が起こってもその後の輸送を実行できるような、頑強（ロバストな）スケジュールが作成できる拡張モデルを開発することを目的とする。

これらの拡張により、実務で直面する問題により幅広く対応できるモデルを開発することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 船舶スケジューリングの標準的アプローチである集合被服定式化により、2週間から1ヶ月程度の計画期間に対して分単位の精度のスケジュールを得ることができる。このモデルにおいて不確実性に対処する方法として、ローリングホライズン方式による方法と、近似動的計画法および強化学習による方法を採用する。ローリングホライズン方式では、向こうN日の輸送計画を立てるが、実際に実行するのは1日目だけであって、2日目以降の計画は実行しない。次の日にはより新しい情報を用いて次のN日分の計画を立てる。これを繰り返すことにより、最新の情報を取り入れた計画を立てることができる。

(2) 近似動的計画法および強化学習では、製品の輸送量・積み地・揚げ地などの統計的な情報を抽出し、ある時点の計画作成に、より長期の情報を取り入れる。これにより、繰り返しスケジュール作成を行う場合の累積コストが小さくなることが期待される。

(3) 船舶スケジューリングの数理モデルでは、船舶の運航を表すために最短路問題を用いている。最短路問題において、2点間の移動時間に不確実性がある場合を扱うために、**Bertsimas and Sim**のロバスト組合せ最適化問題のフレームワークを適用する。是により、運航速度などがある程度変化しても、全体の計画に影響の少ない数理モデルを開発する。

4. 研究成果

(1) 船舶輸送での不確実性の原因は、自然に起因するものと、自然以外に起因するものがある。しかし、ある輸送要求の実行が遅れた原因を、ただ一つの要因に求めることは実際には困難であることが実績データの解析により判明した。そこで、海流・波の変化などの自然要因を個別にモデル化する方法はとらず、全体を1つのシステムとしてとらえ、近似動的計画法および強化学習の方法を採用することで不確実性に対処する方法を開発した。

(2) ローリングホライズン方式については、協力企業から提供を受けた実務データに依って開発した手順を検証し、現在1日かけて手作業で行っているものと同程度の高質なスケジュールが、数秒で作成できることがわかった。

(3) ロバストな最短路問題を解く方法に就いては、Bertsimas and Sim らによるロバスト組合せ最適化問題のフレームワークを、最短路問題に対して適用した。Bertsimas らは一般の組合せ最適化問題にロバスト性を加味する一般的な手法を提示していたが、我々はそれを最短路問題に適用し、最短路問題にロバスト性を加味した具体的な数理モデル表現を与えた。さらにその実装方法を考案した。

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 2 件)

- ① K. Kobayashi、M. Kubo、Optimization of Oil Tanker Schedules by Decomposition, Column Generation, and Time-Space Network Techniques, Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics、査読有、Vol. 27(1)、2010、161-173
- ② T. Seta、K. Kobayashi、M. Kubo、Ship Scheduling in the Steel Industry - a Rolling Horizon and Approximate Dynamic Programming Approach、Proceedings of the International Symposium on Scheduling、査読有、2009

[学会発表] (計 11 件)

- ① 小林和博、久保幹雄、時空間ネットワークによる船舶スケジューリングに対する列生成法、日本応用数理学会 2010 年度年会、2010 年 9 月 9 日、明治大学 (東京都)
- ② M. Kubo、"The Current Trend in Supply Chain Optimization" Invited Talk, International Workshop on Optimization and Its Applications (IWOA2010), August 1, 2010, Tsukuba Campus, The University of Tsukuba, Japan.
- ③ Z. Jinhua and M. Kubo、Lot-sizing model with dynamic safety inventories, EURO XXIV (24th European Conference on Operational Research), Lisbon (2010, 7/11)
- ④ 小林和博、中期船舶スケジューリングに対する近似動的計画法、日本オペレーションズ・リサーチ学会「若手による OR 横断研究」研究部会若手研究交流会、2009 年 10 月 10 日、関西大学 (奈良県)
- ⑤ K. Kobayashi、T. Seta、M. Kubo、An Approximate Dynamic Programming Approach for Ship Scheduling Problem、20th International Symposium on

Mathematical Programming (ISMP2009)、2009 年 8 月 26 日、シカゴ (アメリカ合衆国)

- ⑥ K. Kobayashi、T. Kano、M. Kubo、A Two-Phase Algorithm for Tramp Ship Routing Problems by a Column Generation Approach、Learning and Intelligent Optimization (LION3)、2009 年 1 月 15 日、トレント (イタリア)

[図書] (計 1 件)

- ① 久保幹雄、朝倉書店、サプライ・チェーン最適化—統一モデルによるアプローチ—、発行年 2011 年、総ページ 160

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久保 幹雄 (KUBO MIKIO)
東京海洋大学・海洋工学部・教授
研究者番号：60225191

(2) 研究分担者

小林 和博 (KOBAYASHI KAZUHIRO)
海上技術安全研究所・運航物流系・研究員
研究者番号：00450677