

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04601

研究課題名（和文）海上輸送リスクを対象とした監視システム運用並びに船舶運航航路の最適化に関する研究

研究課題名（英文）Optimization of surveillance operation and vessel routing for risk in maritime transportation

研究代表者

渡部 大輔 (Daisuke, Watanabe)

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：30435771

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）：海に囲まれた我が国の生活と産業を支える海上輸送において、海賊出没や海難事故などを始めとした海上輸送リスクに対応する必要がある。そのために、まず、海上輸送リスクに関する現状を把握するために、現地調査及びデータベースの構築を行った。そして、海賊等の出没を予測するため、海上輸送における時空間リスク予測モデルの開発を行った。監視システムの動的な運用のために移動速度の制約条件の中で監視対象を最大化する運用スケジューリングシステムを開発した。航行船舶の最適ルーティングモデルの開発を行い、船舶が海賊と遭遇する危険性を最小化する航路を求めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、安全かつ安心なサプライチェーンの実現を通じて、貿易立国である我が国を支える安全な国際物流ネットワークの構築へ向けた非常に意義の大きな研究であるといえる。学術的な特色・独創的な点として、地理情報科学と数理最適化といった社会システム工学とともに、確率ロボティクスを融合した研究アプローチを取っていることが挙げられる。そして、監視システムの運用について配置とスケジューリングについても対象としているとともに、航行船舶のルーティングについて分析することで、海洋輸送のシステム全体のリスクを低減することが可能となる点が挙げられる。

研究成果の概要（英文）：In Japan, surrounded by the sea, it is necessary to deal with maritime transportation risks such as piracy and maritime accidents, which support life and industry. For this purpose, we first conducted a field survey and constructed a database to understand the current status of maritime transportation risks. Then, a spatio-temporal risk prediction model for maritime transportation was developed to predict the appearance of pirates. For the dynamic operation of the surveillance system, we developed an operation scheduling system that maximizes the number of targets to be monitored under the constraint of movement speed. An optimal routing model for ships was developed to minimize the risk of ships encountering pirates.

研究分野：社会システム工学

キーワード：海上監視システム 最適配置モデル 最適ルーティングモデル

1. 研究開始当初の背景

海に囲まれた我が国において、海上輸送は貿易量の 99.7% (重量ベース) を担っており、我が国の安定的な貿易を確保する必要がある。現に、我が国はソマリア周辺海域やマラッカ・シンガポール海峡を始めとする東南アジア海域において、海上監視体制への協力等の海賊対処活動の支援を積極的に進めている。しかし、国際的な協力体制を構築した対策が行われているにも関わらず、海賊活動は世界的に近年増加傾向が見られており、特に東南アジアやアフリカにおいて発生件数が多く見られる。国際海運においては保険料の上昇や迂回輸送などコスト増加を余儀なくされている中でも、ソマリア沖における海賊被害に対して莫大な費用が海賊対策にかけられている。海賊対策にかかる費用を削減することを主目的として、ドローンのような小型無人機や飛行船の一種である成層圏プラットフォームを活用した監視システムのように様々な新技術が提案されている。従来の護衛体制に加えて、このような新システムを活用することで、海賊対策の高度化が図られることから、海上監視システムの最適な運用システムの確立は必要不可欠であると言える。

海賊対策に関する研究において、海賊の罪種に関する地域的特性、海賊活動が国際海運に与える経済損失等の影響に関する分析が行われているものの、海賊発生位置や船舶航行ルートなどの地理情報を用いた海賊活動の分析については、まだまだ研究の蓄積が非常に少ないと言える。犯罪学においては、地理情報科学の発展に伴い、ホットスポット分析などを用いて、犯罪の地理的分布の特徴が研究されてきた。更に、これまでの空間分析から時空間分析へと拡張することで、より詳細な予測を行うことができる。一方、監視システムの運用については、ドローンのような小型無人機や飛行船の一種である成層圏プラットフォームを活用した監視システムのように様々な新技術が提案されているものの、海上輸送を対象とした運用最適化に関する研究事例はほとんど見られない。更に、スケジューリング問題を取り組むことで、時間単位での運用について分析が可能となる。

2. 研究の目的

東南アジアやアフリカにおいて多発している海賊を中心とした海上輸送におけるリスクを対象として、航行船舶の海賊被害を低減するために、本研究の目的として、(i) 海上輸送におけるリスク管理の現状把握と地理情報システムを用いたデータベースを構築する、(ii) 海上における時空間リスク事象の発生を予測する、(iii) 海上監視システムの最適な配置と運用を提案する、(iv) 航行船舶の最適な航行経路を提案する、(v) 上記モデルの計算時間や実行可能性などの評価を行う、という以上 5 つを挙げる。

3. 研究の方法

本研究では、研究目的で掲げた 5 つの項目を設定した。各研究テーマは研究代表者および研究分担者の専門に基づいて割り当てられ、関連する研究テーマに関しては連携して取り組んだ。学術的な特色・独創的な点として、地理情報科学と数理最適化といった社会システム工学とともに、近年 Deep Learning の登場によって注目を集める人工知能と車の自動運転に寄与する確率ロボティクスを融合した研究アプローチを取っていることが挙げられる。そして、監視システムの運用について配置とスケジューリングについても対象としているとともに、航行船舶のルーティングについて分析することで、海洋輸送のシステム全体のリスクを低減することが可能となる点が挙げられる。このように本研究は、安全かつ安心なサプライチェーンの実現を通じて、貿易立国である我が国を支える安全な国際物流ネットワークの構築へ向けた非常に意義の大きな研究であるといえる。

4. 研究成果

(i) 海上輸送リスクに関する現地調査及びデータベースの構築

東南アジアやアフリカにおいて多発している海賊を中心とした海上輸送におけるリスクを対象として、航行船舶の海賊被害を低減する海上輸送におけるリスク管理の現状把握と時空間リスク予測と航行船舶の最適ルーティングに関する基礎モデルの検討を行う必要がある。国内外の海運関係企業を訪問し、海上輸送の現状や海上輸送リスクの管理体制とともに、海運デジタル化や IoT などセンサーなど先進技術の開発状況に関するヒアリング調査を行った。また、海事保安関係の機関の調査報告書から、海上のどの位置に海賊が出現しやすいか、海賊の罪種に関する地域的特性など情報を入手した。そして、海上輸送ネットワーク並びに海上輸送リスクに関する地理データ、統計データの入手を行い、地理情報システムを用いてそれらに関するデータベースを構築した上で、各年度に合わせて更新作業を行った。更に、海運や港湾における情報システムの現状と課題を明らかにするとともに、それに対する現状の取り組みに関する現状調査を行った。

(ii) 海上輸送における時空間リスク予測モデルの開発

本モデルの開発について、過去の統計データから予測するモデルを構築するために、カーネル密度推定法を基にして、時間や季節を考慮した時空間補間によるリスク予測に関する基本モデルの開発を行った。

衛星 AIS データを用いて、LNG 運搬船を対象とした船舶航行の際のエネルギー消費に基づいて、地理情報システム (GIS) を用いた GHG 排出量の空間的分布を図 1 のように地図上に可視化した。また、海岸線データを用いた空間解析を行うことで、沿岸国に対する環境影響について分析を行った。更にその計算結果を踏まえて、GHG 排出量の空間的分布に対する空間的自己相関に関する分析を行った。その結果、チョークポイントに位置する国家において、自国の貿易とは関係のない海運により、環境影響を大きく受けているということが明らかになった。更に LNG 運搬船を対象とした船舶航行の際のエネルギー消費に基づいて、現行の排出規制海域 (ECA) に加え、現在未設定である日本周辺海域 ECA の有無を仮定した場合の燃料消費及び排気ガス排出に関する影響を分析した。その結果、LNG 運搬船の消費燃料別分布の傾向とともに、日本周辺海域の ECA 設定が排気ガス排出削減へ大きな影響を与えており、温室効果ガス削減にも繋がる可能性があることがわかった。

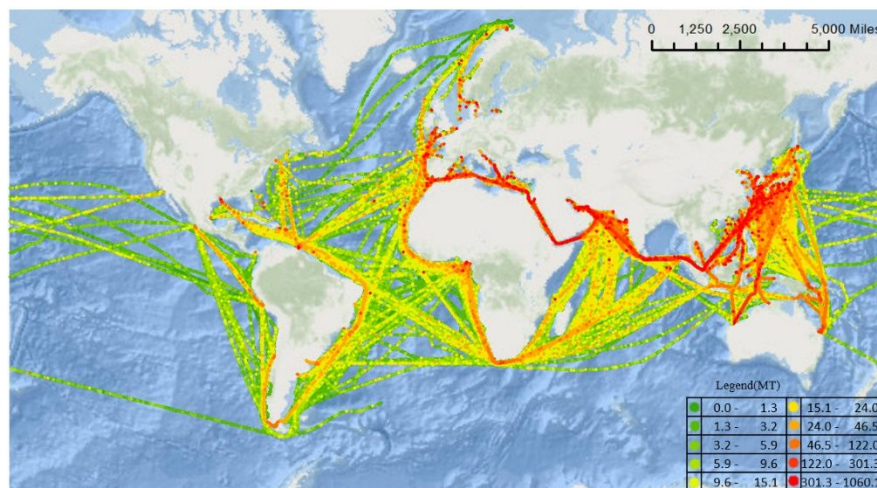


図 1 LNG 運搬船による GHG 排出量の空間的分布 (出典)

(iii) 海上監視システムの最適運用モデルの開発

本モデルの開発について、代表的な施設配置問題の一つである最大被覆問題 (Maximal Covering Location Problem) に基づき海賊監視を対象とした最適配置モデルとして、センサーの被覆する監視対象となる航行船舶の数が最大となるように複数施設を配置する問題に基づいた数理モデルを構築した。監視システムにある複数種類の監視用センサーの性能を加味した重み付き最大被覆問題、そしてセンサーの不確実性があることを想定した最大期待被覆問題、その 2 つの状況を組み合わせた重み付き最大期待被覆問題に基づいた数理モデルの構築について開発を行った。更に、監視システムの動的な運用のために、移動速度の制約条件の中で監視対象を最大化する運用スケジューリングシステムの開発を行った。

(iv) 航行船舶の最適ルーティングモデルの開発

本モデルの開発について、時空間リスクモデルによる海賊出現の予測データとともに、監視システムの運用状況を加味しながら、船舶が海賊と遭遇する危険性を最小化する航路を求めた。そのための、過去の海賊船発見情報から海賊の出現しそうな場所をベイズ確率により推定し、動作計画法における価値反復を用いて航行ルート最適化を行った。複数台のロボットによる領域警備をタスク割り当て問題の観点から解決した結果、訪問者の発見回数も増加することが示された。このように、今後の実機のロボットでの検証を行うための基礎的知見を得た。

定時間間隔の船舶航跡データを時空間データに変換し、RNN (Recurrent Neural Network) モデルの拡張である LSTM (Long short-term memory) モデルに基づき、図 2 のように船舶の航跡と航行状態を予測し、それに基づいて二酸化炭素排出量を予測するモデルを構築した。

(v) フィージビリティ・スタディ

(i) で対象とした地域について、東南アジアやアフリカなど海賊多発地帯、特にアデン湾・ソマリア沖、マラッカ海峡をケーススタディとして、(ii) で構築した海賊予測シナリオを対象に、(iii) 及び (iv) のモデル分析を行った。そして、海上監視システムの最適運用並びに船舶の運航ルートの結果に対して、フィージビリティ・スタディを行い、計算時間や実行可能性などの評価を行った。

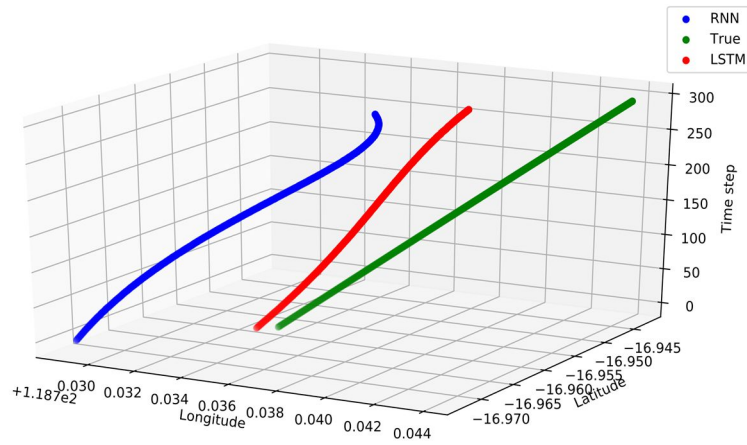


図 2 船舶の航跡と航行状態の予測結果の空間的分布 (出典)

< 引用文献 >

Kim, H., Watanabe, D and Hirata, E.: Spatial Analysis of an Emission Inventory from Liquefied Natural Gas Fleet Based on Automatic Identification System Database, Sustainability, 13(3), 1250, <https://doi.org/10.3390/su13031250>, 2021.

Wang, Y. and Watanabe, D.: Vessel carbon dioxide emission management research based on AIS data using deep learning Proceedings of 28th Annual Conference of the International Association of Maritime Economists (IAME), 1-21, 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 渡部大輔	4. 巻 65(4)
2. 論文標題 ORのための地理情報システム(GIS)ソフトウェア入門	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 オペレーションズ・リサーチ	6. 最初と最後の頁 226-231
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 無
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 飯田純也, 渡部大輔, 水野成典	4. 巻 23
2. 論文標題 港湾関連行政手続システムの情報表現規約に関する国際標準化の動向分析と我が国の対応策	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 運輸政策研究	6. 最初と最後の頁 7-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24639/tpsr.TPSR_23R_01	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kim, H., Watanabe, D. Toriumi, S. and Hirata, E.	4. 巻 13(3)
2. 論文標題 Spatial Analysis of an Emission Inventory from Liquefied Natural Gas Fleet Based on Automatic Identification System Database	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 1250
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/su13031250	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 渡部大輔	4. 巻 97(9)
2. 論文標題 スマート港湾の実現に向けた船舶・港湾荷役機械に関するイノベーションの動向	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 港湾	6. 最初と最後の頁 6-9
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 無
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 Iida, J., Watanabe, D., Nagata, K., Matsuda, M	4. 巻 5(4)
2. 論文標題 Sharing Procedure Status Information on Ocean Containers across Countries Using Port Community Systems with Decentralized Architecture	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Asian Transport Studies	6. 最初と最後の頁 694-719
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11175/eastsats.5.694	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Lambrou, M., Watanabe, D. and Iida, J.	4. 巻 4
2. 論文標題 Shipping digitalization management: conceptualization, typology and antecedents	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Shipping and Trade	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s41072-019-0052-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Majima, T., Takadama, K, Watanabe, D., Aratani, T. and Sato, K.	4. 巻 2019
2. 論文標題 Application of Multi Agent System and Transition Matrix Analysis to Logistics System for Equal Distribution under Disaster Situation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 58th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)	6. 最初と最後の頁 108-114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/SICE.2019.8859856	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kim, H., Watanabe, D and Hirata, E.	4. 巻 2019
2. 論文標題 Analyzing spatial autocorrelation in AIS based LNG emitted bunker consumption	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Conference on Logistics and Industrial Engineering (ICLIE2019)	6. 最初と最後の頁 1-6
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 -

1. 著者名 Lambrou, M., Watanabe, D. and Iida, J.	4. 巻 2019
2. 論文標題 Maritime Blockchains: Decoding Diverse Strategies for Value Extraction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 27th Annual Conference of the International Association of Maritime Economists (IAME)	6. 最初と最後の頁 1-22
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 該当する

1. 著者名 Lambrou, M., Watanabe, D. and Iida, J.	4. 巻 2019
2. 論文標題 A Tripartite Model of Shipping Digitalization: Findings from a Multi-Case Study	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of World Conference on Transport Research(WCTR 2019)	6. 最初と最後の頁 1-20
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 該当する

1. 著者名 Kim, H., Watanabe, D and Toriumi, S.	4. 巻 2019
2. 論文標題 Spatial analysis of AIS-based LNG fleet emission inventory	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of International Forum on Shipping, Ports and Airports(IFSPA2019)	6. 最初と最後の頁 1-13
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 -

1. 著者名 飯田純也, 渡部大輔, 永田健太, 松田雅宏	4. 巻 31(1)
2. 論文標題 国際海上コンテナ貨物の港湾に関する国際間での手続情報共有のための情報システムの現状と課題	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 沿岸域学会誌	6. 最初と最後の頁 21-32
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 -

1. 著者名 渡部大輔, 飯田純也	4. 巻 206
2. 論文標題 港湾・海運・物流におけるIoTによる自動化・省人化の現状	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本航海学会誌	6. 最初と最後の頁 13-22
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 無
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 渡部大輔	4. 巻 27(6)
2. 論文標題 国際物流における輸送品質とリスクマネジメント	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本包装学会誌	6. 最初と最後の頁 401-407
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 無
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 渡部大輔	4. 巻 28(1)
2. 論文標題 IoTを用いた輸送包装の高度化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本包装学会誌	6. 最初と最後の頁 5-12
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 無
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9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Hirata, E., Lambrou, M., and Watanabe, D.
2. 発表標題 Application of Blockchain in Supply Chain - Insights from Machine Learning
3. 学会等名 International Association of Maritime Economists (IAME) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Wang, Y. and Watanabe, D.
2. 発表標題 Vessel carbon dioxide emission management research based on AIS data using deep learning
3. 学会等名 International Association of Maritime Economists (IAME) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤澤郁也, 星野智史
2. 発表標題 複数台の警備ロボットによる訪問者を対象とした環境の領域分割
3. 学会等名 日本ロボット学会第38回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡部大輔, 金會勸, 鳥海重喜
2. 発表標題 船舶動静データを用いた環境影響に関する空間解析
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会令和元年秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯田純也, 渡部大輔, 永田健太, 松田雅宏
2. 発表標題 国際海上コンテナ貨物の港湾に関する国際間での手続情報共有のための情報システムの現状と課題
3. 学会等名 日本沿岸域学会平成30年度全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kim, H. and Watanabe, D
2. 発表標題 Environmental assessment by using vessel movement data
3. 学会等名 第27回地理情報システム学会学研究発表大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kim, H. and Watanabe, D
2. 発表標題 Spatial analysis of AIS-based LNG fleet emission inventory
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2019年春季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe, D
2. 発表標題 Facility Location Model for Truck Platooning
3. 学会等名 INFORMS 2018 International Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡部大輔, 百田大輔, 松井一
2. 発表標題 メコン地域の南北経済回廊における輸送環境調査
3. 学会等名 日本包装学会第27回年次大会研究発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 貞広幸雄、山田育穂、石井儀光	4. 発行年 2018年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 184
3. 書名 空間解析入門	

1. 著者名 柴崎隆一編	4. 発行年 2019年
2. 出版社 成山堂	5. 総ページ数 234
3. 書名 グローバル・ロジスティクス・ネットワーク：国境を越えて世界を流れる貨物	

〔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	星野 智史 (Hoshino Satoshi) (80431980)	宇都宮大学・工学部・准教授 (12201)	

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		
ギリシャ	エーゲ大学		