

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 3 月 31 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04589

研究課題名（和文）推薦航路における船舶行動の予測モデルに関する研究

研究課題名（英文）Prediction model of ship traffic behaviour around recommended routes

研究代表者

伊藤 博子 (Itoh, Hiroko)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：70446590

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：伊豆大島西岸沖海域は、東京湾に近い海上交通量が多く、過去には深刻な衝突事故も発生している。この海域の海上交通を整理するために、東西の交通流を分離する推薦航路が平成30年に運用開始された。国内の沿岸ではほとんどの海域で海上交通は整理されておらず、他船と遭遇した際に、個別の状況に応じて条約や法律に従う避航行動をとっている。

本研究では、このような海域に対して新たに推薦航路を導入した場合における船舶行動の変化や交通密度等を分析し、これにもとづいて予測手法を構築した。これにより、将来的に別の海域で推薦航路を導入する際に、船舶間の遭遇頻度や妨害の発生等を評価できるようになり、効果的な立案に資する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

船舶自動識別装置が普及したことにより、以前よりも広い海域の船舶観測が可能となり、準ふくそう海域における航行実態が明らかになりつつある。これに伴い、交通安全対策も海上保安庁において次々に検討されている。しかしながら、伊豆大島西岸沖に導入されたような交通管理法はこれまでの実績がないため、導入前の検討において、個別の対策案の効果を推定できない状況であった。

本研究の成果により、船舶行動や交通密度に対する交通管理の導入の影響が明らかになったことにより、今後は導入前に効果の高い対策案の選定や、導入により発生する問題点の特定などが行いやすくなると考えている。これにより、海上交通の安全性に寄与すると考える。

研究成果の概要（英文）：The sea area off the west coast of Izu O Shima Island is located near Tokyo Bay. Due to the heavy ship traffic, serious collisions have occurred in the past. To manage maritime traffic in this area, a recommended route separating eastbound and westbound traffic flows has been in operation since 2018. To date, maritime traffic has not been managed in most of the coastal areas in Japan. Therefore, when encountered with other ships, ships have taken evasive action based on relevant conventions and laws depending on individual circumstances.

In this study, we constructed a prediction method of ship encounter frequency and occurrence of obstruction by ships after the introduction of a recommended route, based on analyses of the changes in the ship behavior and traffic density. This makes it possible to determine the effect of a recommended route in advance and will contribute to the development of effective maritime traffic management plans for other sea areas in the future.

研究分野：海上交通工学

キーワード：海上交通 準ふくそう海域 推薦航路 船舶行動 交通密度 影響予測

1. 研究開始当初の背景

船舶は高速化、大型化が著しく、沿岸域における安全確保は海上交通の重要課題である。準ふくそう海域とよばれる沿岸の海域では、以前は通航実態の把握が難しかったことから、安全対策の検討が行いにくかったが、近年、AIS（船舶自動識別装置）の普及により実態把握が進みつつある。研究開始当初、国内各地で海域毎の通航実態を考慮した効果的な船舶交通安全対策の構築が期待されており、現在の交通流を考慮して航路を整理する新しい交通ルールを立案したり、その効果を事前に精度よく推定したりする技術が必要とされていた。しかし、沿岸域のような広域の船舶行動の観測は可能になったばかりで、研究例が少ない。さらに、行動予測や、交通ルールの効果予測は、未着手の分野であった。

研究代表者らは、平成 27 年から 28 年にかけて伊豆大島西方沖海域における新しい交通ルールとして、推薦航路を立案した。その作業の中で、AIS の航跡情報にもとづき、海域の船舶交通流に関する詳細な分析を行った。この分析にもとづき立案した推薦航路が平成 30 年から実運用されることになったため、運用開始の前後における船舶行動の変化や推薦航路の遵守率などを詳細に分析することで、推薦航路を適用した場合の船舶行動の予測や、安全性を予測する技術を開発することが可能になると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、新しく推薦航路を適用した場合の船舶行動を予測する技術を確立することである。推薦航路は、整流化のための交通ルールの一つであり、研究期間中に国内の海域において初めて導入され、今後も国内各所での導入が見込まれる。そこで、導入前後の期間に観測される船舶行動を分析することで、効果的な推薦航路の立案を可能にするために必要となる船舶行動の予測技術を開発する。

沿岸域を航行する船舶は、多くが近年普及した AIS を搭載しており、AIS 普及前と比較して格段に観測が容易になった。AIS の情報には、船舶の現在位置、針路、船速といった動的情報のほか、船種、積荷、仕向地といった静的情報も含まれ、これらから船舶の行動や特徴を把握する。

3. 研究の方法

本研究では、対象エリアにおける船舶行動を表す船舶通航経路モデルを作成した。次にこれが推薦航路の導入前後でどう異なるかを調査し、ルール導入後の行動予測手法を確立した。

(1) 船舶通航経路モデルの作成

船舶行動を考える場合、発着地や中継地が類似する航跡から経路を集約する方法が良く用いられる。各経路にはそこを通航する船舶群が対応するため、船舶数や船種といった情報や個々の船舶が通航する際の位置や速度といった情報を関連付ける。

研究代表者らは平成 27 年から 28 年にかけての推薦航路検討の際に、本研究で扱う伊豆大島西方沖海域における AIS データを収集し、上記のような経路と船舶群の組を複数作成することで海域の交通をほぼ表現できることを確認した。そこで、これを船舶通航経路モデルと呼び、収集された AIS データからモデル構築を行う。1 年目にはモデルの具体的な定義や表現方法を考える。例えば、船舶行動を表現する上で重要な海域への出入口を整理し、航跡群を経路としてまとめる。まとめた経路の横方向の通航位置分布を確認し、経路における分布の特徴を把握する。これらを用いることで、安全性にどのような影響が出ているかを、遭遇頻度分布の算出により分析する。

(2) 新ルール導入前後における行動の分類と分類内容の解析による行動予測手法の構築

船舶運航者らと議論したところ、個々の船舶が整流化ルールに対して取る行動は、整流化ルールへの理解度、周辺の物理的制約、時間的余裕等々、多様な要因に影響されて決められていると分かった。しかしながら、結果として観察できる行動は大きく分けて、ルールに従う意図があると考えられる場合の「ルールに十分従う行動」や、「少し外れる行動」、ルールを意識して回避する意図があると考えられる場合の「大きく迂回する行動」、ルールを理解していないと考えられる場合などの「全く従わない行動」などとなる。そこで、推薦航路導入後の期間における航跡からこのような行動分類を確認し、各行動分類に属する船舶の割合や導入前との関係、また、分類毎の行動内容、すなわち標準的な通航方法やその導入前との関係を統計的に解析する。新しいルールへの理解度のように経時変化すると考えられる要因も行動に影響するので、間隔を開けて収集したデータにより調整する。導入前後の割合構成と標準的な通航方法の関係をj用いて船舶行動の予測とこれを用いた遭遇頻度分布の予測手法を確立する。

4. 研究成果

(1) 船舶通航モデルの作成とこれを用いた遵守率の分析

推薦航路は、図 1 に示す通航方法である。その導入前後の交通行動の状態を表現するために、船舶が通航する主要な航路を経路と呼び、経路の通航状況を把握するために船舶通航モデルを作

成してデータを分析する。なお、推薦航路は、2018年1月1日に運用を開始したため、2015年から2017年は「導入前」、2018年は「導入後」の期間と定義した。



図1 伊豆大島西岸沖の推薦航路（海上保安庁ホームページより）

船舶数、速度、対地進路等の航行データを取得するため、図2に示すゲートライン8本を設定した。このうち、ゲートラインG1からG4は、対象海域の外側に配置し、出入する通航船舶数を取得するために用いた。ゲートラインW1からW4は対象海域の内部で、船舶が進路を変更するウェイポイントとなる場所の近くを選定して配置し、推薦航路の遵守率を分析するために用いた。

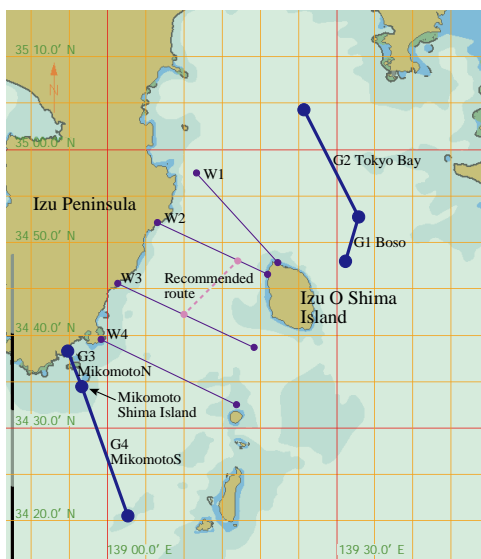


図2 航行データ取得のためのゲートライン(Itoh & Miyake, 2019)

導入前後にエリア入口となるゲートラインで AIS データにより計数した 1 か月の船舶隻数を図3に示す。エリア入口ゲートラインとは、西航船ではG1、G2、東航船ではG3、G4を指す。期間による隻数の相違はほとんどないことが分かった。

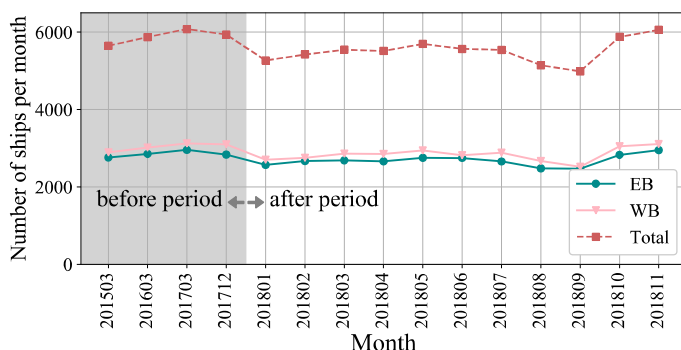


図3 入口ゲートラインにおける船舶通航数（西航船はG1、G2で、東航船はG3、G4で計数）(Itoh & Miyake, 2019)

次に、エリア入口ゲートラインにおける主要な経路の推薦航路の導入前後の遵守率を図4に示

す。導入前の「遵守率」は、実際には推薦航路の導入前であるため、遵守ではないが、仮に推薦航路があったとしてその位置を通過している割合を指すものとしてこの語を用いる。船舶の速度と速度変化は、経路毎に大きく異なることが分かる。

航跡を分析したところ、ほとんどが入口ゲートライン 4 本の組み合わせから生成した以下の 4 本の経路のいずれかに分類されることが分かった。

- 東京湾口から神子元島北(G2-G3)
- 東京湾口から神子元島南(G2-G4)
- 神子元島南から東京湾口(G4-G2)
- 神子元島北から東京湾口(G3-G2)

それ以外の経路は、交通量がごく僅かであったため、以降の分析からは除外する。

(2)新ルール導入前後における行動の分類と分類内容の解析による行動予測手法の構築

「東京湾口から神子元島北」においては、遵守率は一貫して高かった。このことから、この経路では、推薦航路導入の影響はあまりなかったことが分かる。

「東京湾口から神子元島南」(西航)と「神子元島南から東京湾口」(東航)の経路の割合は、導入前には増加していたが、導入後の期間では変化が小さかった。対象期間の最後の 3 か月を見ると、この経路の遵守率は西航で約 95%、東航で 91%が維持されていた。

「神子元島北から東京湾口」の経路では、これらと異なる特徴があった。導入前の遵守率は約 0%であったが、導入後、3 か月で約 14%まで増加した。

「神子元島北から東京湾口」と「神子元島南から東京湾口」の遵守率が大きくことなるのは、主に船舶交通の特徴が異なるためと考えられる。つまり、前者の経路の交通は、主に、より短いルートを目指する小型船や内航船により構成されるのに対して、後者は、十分な航行スペースを志向する大型船や外航船により構成される。

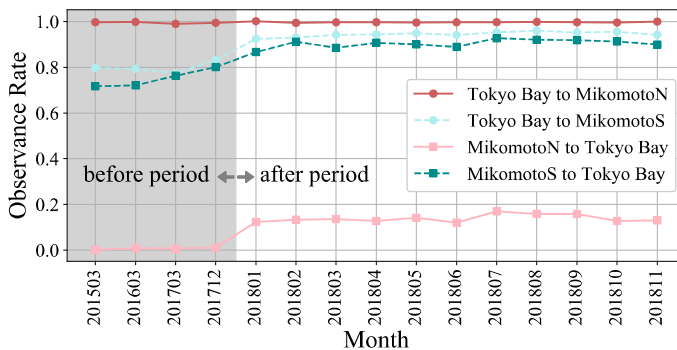


図4 経路ごとの推薦航路の遵守率 (Itoh & Miyake, 2019)

「神子元島北から東京湾口」(東航)の経路における 2018 年 3 月の交通の横断方向の密度分布と航跡を図 5 に示す。密度分布は各ゲートライン上にヒストグラムとして表し、航跡は灰色線で表す。

上述のように、この経路は、全期間を通じて遵守率が低い、図の通航密度分布は、その交通行動をより詳しく表すものである。これを見ると、特にゲートライン W4 と W3 で、推薦航路の左側(北側)に航跡が集中しており、ほとんどの船舶が中心線かその延長線の左側を航過していることを示している。その後、東に進み、ルートの東端である W2 に近づくにつれて、徐々に分布が右側に移動している。これは、船舶の一部がゲートライン W3 と W2 の間の推薦航路に従う対航船群の航路を横断していることを意味し、西航船との危険な遭遇の可能性を高める可能性が考えられる。

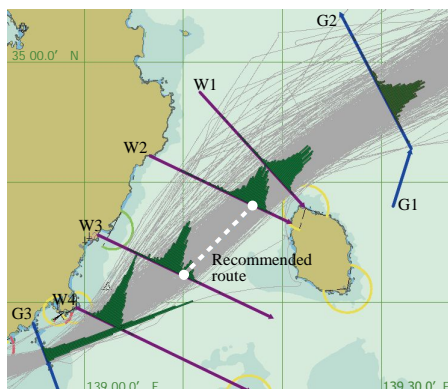


図5 ゲートラインにおける交通密度分布の一例 (神子元島北方から東京湾方面)(2018.3) (Itoh & Miyake, 2019)

次に、反航船の遭遇頻度、つまり東航船と西航船の遭遇を確認した。ここで、遭遇型である「反航」、「交差」、「同航」は、一時的な見合い関係ではなく、出発地と到着地から得られる交通流の方向により判定した。さらに、この海域での多くの遭遇は「反航」に分類され、同じ方向からの船舶の遭遇は、反航の場合と比較して十分少なく、交差もほとんど見られなかったため、以下の分析からは除外した。

反航の遭遇頻度は、メッシュ形状のゲートラインを用いて計算した。図6に、遭遇頻度の分布、つまり、期間の前後におけるメッシュ(370m×305m)あたりの1日(24時間)あたりの衝突候補の数を示す。図から、実施後、反対方向から接近する船の遭遇は確実に減少したことが分かるが、完全には削減されておらず、推薦航路の北側に依然として遭遇が存在していることが分かる。これは、上述のように、推薦航路を横断する東航船が原因と考えられる。

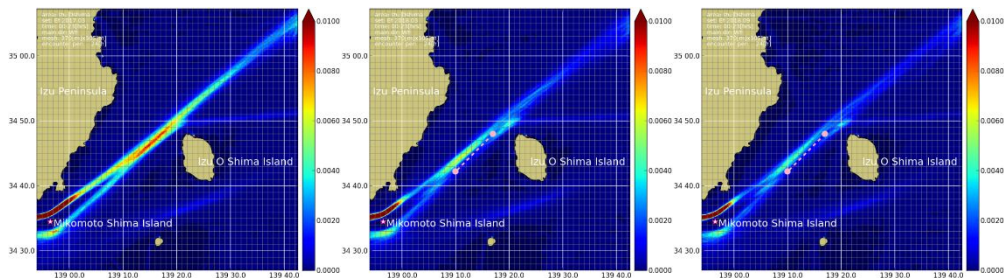


図6 導入前後における反航船の遭遇頻度分布 ((左) 2017.3 (中) 2018.3 (右) 2018.9) (Itoh & Miyake, 2019)

以上の分析にもとづき、新ルール導入後の遭遇頻度を予測するための船舶行動の予測手法を図7のように構築した。また、船舶の遭遇頻度を構成する主要な3変数、すなわち交通量、速度、船舶の長さに対する感度解析の結果、遭遇頻度に対しては交通量の感度がもっとも高いことを確認し、船舶通航位置の横方向分布の予測が遭遇頻度の分布予測において最も重要であることを特定した。さらに、この横方向分布が新ルールによりどのように変更されるかを予測する手法として、確率分布関数を用いた予測手法を提案した。実際に交通流に対する制限を行うルールが過去に導入されていた福島沖海域の船舶交通データを用いて、図7の手法に従って予測を行い、図8のように観測結果と予測結果にもとづく遭遇頻度の推定を行うことで手法の検証を行った。

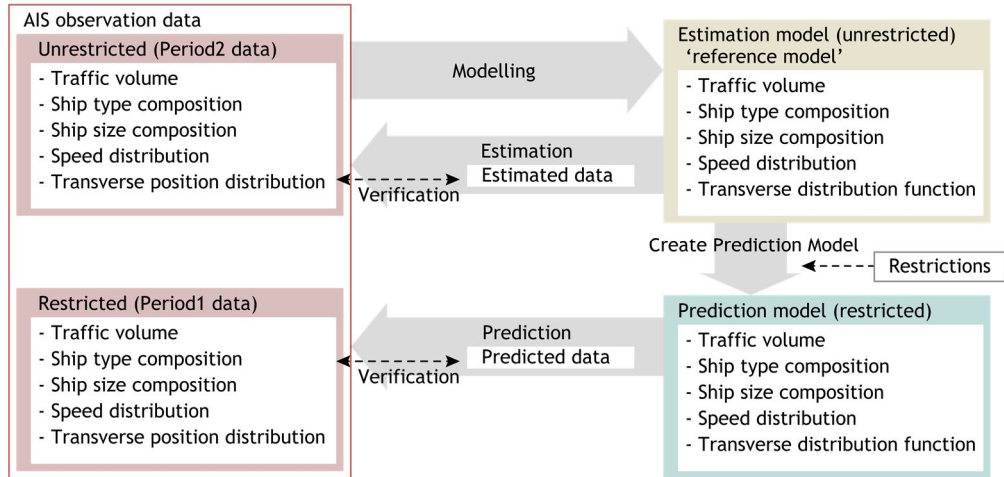


図7 交通流予測手法の全体構成 (Itoh, 2022)

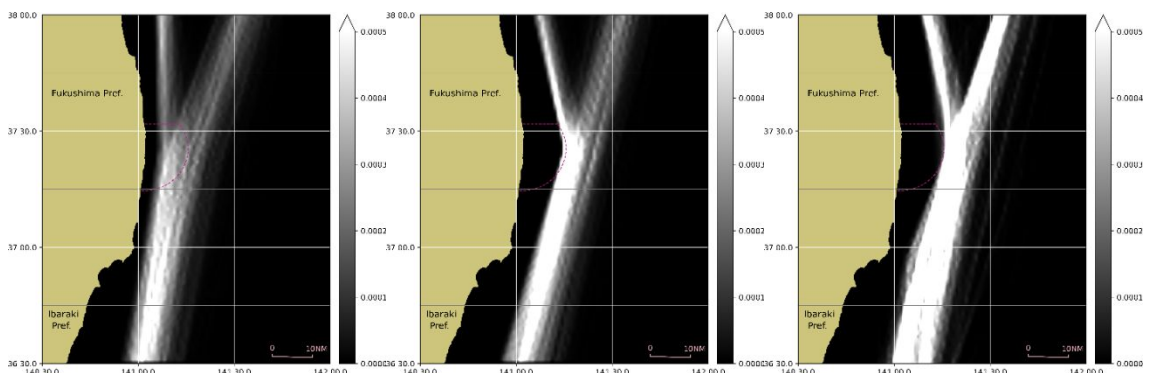


図8 観測結果と航跡予測結果に基づき算出した遭遇頻度分布 ((左)参照モデルを用いて推定 (中)予測モデルを用いて予測 (右)観測データから直接推定) (Itoh, 2022)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 河島園子、伊藤博子、川村恭己	4. 巻 144
2. 論文標題 衝突頻度モデルに基づく衝突原因確率の推定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本航海学会論文集	6. 最初と最後の頁 32-41
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9749/jin.144.32	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 Hiroko Itoh	4. 巻 75(1)
2. 論文標題 Method for prediction of ship traffic behaviour and encounter frequency	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Navigation	6. 最初と最後の頁 106-123
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/S0373463321000771	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 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 H. Itoh and R. Miyake
2. 発表標題 Research on change of traffic safety accompanying the implementation of a new recommended route
3. 学会等名 the 8th International Conference on Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures (ICCGS 2019) (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	三宅 里奈 (Miyake Rina) (60618776)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員 (82627)	

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