

令和 5 年度 防衛装備庁
安全保障技術研究推進制度

研究成果報告書

輻輳海域の海上交通流を対象とした 衝突危険性評価システムの開発

令和 5 年 1 2 月

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

本報告書は、防衛装備庁の安全保障技術研究推進制度による委託業務として、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所が実施した令和５年度「輻輳海域の海上交通流を対象とした衝突危険性評価システムの開発」の成果を取りまとめたものです。

1. 委託業務の目的

1. 1 研究課題の最終目標

本研究では、衝突事故の防止や衝突危険性の少ない安全な航行ルート（航路）の選定を実現するために、船舶同士の潜在的な衝突危険性を定量的に評価及び予測することを可能とする技術が必要であると考え、その技術を基に衝突危険性を地図上に表示するシステムを開発する。これらの衝突危険性に関する複数の情報を同時に地図上に表示することで、統計的及び経験的な情報に基づく「衝突危険度マップ」を表示可能なシステムを構築することを本研究の最終目標として、以下の内容の達成を目指す。

- ①「衝突危険度マップ」（以下、「本マップ」という。）は、海域上の衝突危険性の度合いを示す遭遇頻度を視覚的に表現するために、カラー濃淡図として面的に表示する。そのために、幅員狭小海域等の複雑な交通流に適用可能な遭遇頻度の推定手法を確立する。更に、過去に発生した衝突事故の場所も本マップに同時に表示する「衝突危険性評価システム」を構築する。
- ②「衝突危険性評価システム」（以下、「本システム」という。）の対象海域は、最終的には日本沿岸全域とするが、本研究では、日本の主要航路の周辺海域を対象として実施する。本システムは、海域別に表示できるとともに、期間や時刻等の時間軸を考慮できる条件別の表示機能を備えたものとして構築する。これらの機能は、GUI上で設定できるものとする。
- ③本マップ及び本システムを用いて、衝突危険性を事前に回避した航路を選定することを可能とするために、任意の航路を設定し、表示する機能を付加し、航路上の衝突危険性を定量的に評価するシステムを構築する。これらの機能のように、船員や海域管理者が航海計画や海域管制等で必要となる要素を組み込んで、当該業務中に容易に操作可能なGUIとする。

1. 2 最終目標を実現するために克服又は解明すべき要素課題

(1) 船舶情報データベースの構築

最終目標で示した遭遇頻度を推定するためには、あらゆる船舶の遭遇状況を計算するための船舶情報が必要となる。遭遇状況を表す船舶情報には、時々刻々変化する船舶の通航量や位置、進路や船速等の動的情報、及び船舶の固有情報である船長や船幅等の静的情報が含まれ、これらのデータを基に遭遇頻度を計算する必要がある。AISが導入される以前は、詳細な船舶情報を入手することが困難であったため、限られた情報から簡易な交通流の解析が行われていたが、AISの導入により、幅員狭小海域や沿岸域等を航行する多種多様なAIS搭載船舶の動静を把握することが可能となった。したがって、AISによる船舶動静データ（AISデータ）を用いることにより、詳細な交通流に基づく遭遇頻度を計算できるため、AISデータを整備すると共に、必要なデータを抽出するためのソフトウェアを開発し、遭遇頻度の推定に必要なデータベースを構築することが課題となる。更に、AISを搭載していない船舶の動静も考慮する必要がある。上記のAIS搭載船データベースにAIS非搭載船も加えることで、全航行船舶を網羅できる。

また、同じく最終目標で示した衝突事故発生場所を地図上に表示するためには、当該場所の経緯度の情報が必要となる。この情報は、運輸安全委員会等の船舶事故報告書を参考にすることができるが、様々な海難事故が記された膨大な報告書から、船舶同士の衝突事故に関する情報を抽出する処理を事前に行う必要がある。

(2) 幅員狭小海域における遭遇頻度の推定手法の確立

遭遇頻度を推定する従来の方法は、浦賀水道航路のような通航分離があり整流された航路全体において、船舶同士が一定の出会角で遭遇し、その通航位置の分布を正規分布で表現できる基本的な一交通流に対して適用できるものであった。一方、幅員狭小海域では、様々な進路の船舶が多く行き交っているため、あらゆる出会角で遭遇する複雑な交通流を考慮する推定手法が必要とされている。更に、幅員狭小海域を含めた整流されていない海域の交通流は、船舶の位置や航跡が多種多様であるため、通航位置の分布を代表的な連続確率分布を用いて近似的に表現することさえも困難であった。そのため、最終目標で示した日本沿岸全域における遭遇頻度のカラー濃淡図を作成するためには、従来の推定手法では適用できなかった幅員狭小海域等の複雑な交通流に対応した遭遇頻度の推定手法を確立することが必要となる。

また、本研究で提案する遭遇頻度の推定手法及びそれに基づき計算した遭遇頻度の妥当性を

検証することが必要となる。更に、得られた計算値が衝突危険性を示す妥当な指標かどうかに関する検証も課題となる。

(3) 衝突回避の検討に有効な時間軸を考慮した衝突危険度マップの表示

最終目標で示した海域や時間軸を考慮した条件別の衝突危険度マップは、入力項目に応じて、データベース上のデータをフィルタリングすることにより表示できるものとする。そのため、入力項目の条件を検討する必要がある。更に、本システムに、必要とするデータを効率的に取り込むため、構築予定のデータベースへのアクセス方法も検討する必要がある。

本マップは、衝突危険性を地図上に定量的に表示するものであり、海域における遭遇頻度の高低を考慮した最適航路の選定等の衝突回避誘導の手段として活用することが期待される。そこで、本マップが衝突危険性の把握及び衝突回避の検討に対して有効であることを検証することが求められるため、本マップに航路を表示し、その航路上の衝突危険性を定量的に推定及び評価する仕組みが必要となる。

また、本システムは、船員や海域管理者等をユーザーとして想定しており、航海計画時や海域管制中に、容易に操作できるものとするべきである。したがって、本システムを実用化するために、当該ユーザーに、業務中に本システムを使用することを想定したユーザビリティに関する調査を行う必要がある。

1. 3 要素課題に対する実施項目及び体制

(1) 船舶情報データベースの構築

(a) 船舶動静情報データベースの構築

遭遇頻度の推定のために必要な海域及び期間におけるAISデータは、東洋信号通信社より購入した未加工データを使用する。AISの未加工データは、海域上で船舶が通航した位置毎に船舶情報が収集されているため、連続した航跡データとするために、船舶毎に時系列に並び替える処理が必要となる。また、下記(2)にて、輻輳海域における遭遇頻度を推定するための手法を確立する際は、日本における主要な輻輳海域の膨大な交通流データも抽出して解析できるように、大容量のAISデータを蓄積し、検索できる処理プログラムを作成する。ここでは、これらの処理が一体となったプログラムを作成することを目指す。

AISを搭載していない船舶の動静は、漁船へ漁業活動に関してアンケート調査を行うことにより、航跡データを生成する。漁港や漁法、操業場所や時間帯、船速を調査し、当該船舶の航行時間と船速を含めた航跡データを推定する。

(b) 衝突事故情報データベースの構築

衝突事故発生場所に関するデータは、必要な海域及び期間の船舶事故報告書を収集し、データベース化する。これにより、発生場所等の詳細な事故状況データを抽出できるようにし、下記(3)にて、衝突事故発生場所を地図上に表示できる形にする。

(2) 輻輳海域における遭遇頻度の推定手法の確立

(a) 遭遇頻度推定手法の検討

輻輳海域のような様々な進路の船舶で行き交う複雑な交通流に対応した遭遇頻度を計算する方法を検討する。本研究では、輻輳海域の交通流を連続体とみなして計算格子を導入することにより、対象海域を要素毎に離散化して計算することを試みる。これにより、要素毎に進路別の船舶の遭遇を考え、進路毎の遭遇状況をAISデータより抽出して計算することが可能となる。計算格子は、経緯度に平行に配置することを考える。そして、計算格子の幅は、自船を中心とした左右“ $3.2 \times \text{船長(m)}$ ”を船舶の安全領域とする従来からの考え方を鑑みて、まずは経緯度0.2分（日本経緯度原点（東京都港区）では、緯度0.2分は約370m、経度0.2分は約302m）として、計算を進める。但し、感度解析を行い、最適な計算格子の幅を決定することとする。

遭遇頻度を計算するために必要なAISデータには、各要素を通過する船舶の進路に加え、要素毎の通航位置分布や通航量、通過した船舶の船長や船速等があり、これらの計算は以下の考え方を基に実施する。

- 進路別の遭遇頻度の計算をできるようにするため、各要素を通過する船舶を進路別に細かくグループ分けをする。まずは、進路を5度ずつのグループに分けることを検討しているが、交通流を解析し、感度解析等により最適なグループ分けを行うこととする。また、要素を通過する船舶の抽出は、要素の辺を通過した交通流のAISデータにより行うこととし、ここでは、進路グループ毎にAISデータを抽出する。以下の計算は、進路グループ同士の組合せにより行う。
- 通航位置分布に関して、実態に即した分布とするために、離散化した要素毎の海域で分布を計算する。計算格子により海域を細かく分割するため、その細かな要素内の通航位置分布は一樣であるとみなすことができる。なお、通航位置分布は進路毎に設定し、各分布が十分に一樣であると仮定できる大きさの計算格子を配置する。
- 通航量は、各要素を進路グループ毎に通過した船舶の積分値とする。基本的に、同一船舶（交通流）は、要素の4辺のうち2辺を通過すると考えられるため、それを考慮して、AISデータを基に計算する。
- 船長や船速は、各要素を各進路で通過した船舶のAISデータのそれぞれの平均値とすることを想定している。但し、船長や船速のそれぞれの標準偏差に偏りがあると判断した場合、船長や船速内でいくつかのグループに分けて計算する。

(b) 遭遇頻度推定手法の検証

上記(2)(a)の遭遇頻度の推定手法及びそれに基づく遭遇頻度の計算値が妥当であるか検証するために、従来の推定手法に基づいて計算した値と比較する。但し、従来の手法は、一定の出会角で遭遇する単純な分布の交通流に対して適用できるため、AISデータからそのような通航状態にある海域及び日時を選択し、同一の遭遇条件下で従来の推定手法と本研究で提案した推定手法を適用する。このような単純な交通流は、浦賀水道航路のような通航分離があり整流化された航路内において見られることがあるため、この海域を検証の対象として考える。これにより、両手法に基づいて集計した各AISデータの値と計算した遭遇頻度を手法間でそれぞれ比較し、同等な値が得られること及び上記(2)(a)の提案手法が妥当であることを示す。

また、本手法による遭遇頻度が、衝突危険性を評価する妥当な指標であるかどうかを検証するために、各格子要素の遭遇頻度を、衝突事故発生場所と比較する。衝突事故発生場所は、遭遇頻度と相関があると考えられていることから、比較対象指標とし、これらの相関を解析する。ここで、衝突事故発生場所に関する情報は、上記(1)でデータベース化した事故報告書から抽出する。

(3) 衝突回避の検討に有効な時間軸を考慮した衝突危険度マップの表示

(a) 時間軸を考慮した衝突危険度マップの表示

本マップにおいて、海域及び時間別の遭遇頻度の表示は、AISデータを取り込むことで実施できる。AISデータには経緯度及び時刻が含まれているため、これらに関連付けてフィルタリングし、遭遇頻度を表示することを試みる。特に、船舶の航行状況や遭遇頻度は時刻により特徴が異なることが想定されるため、海域毎に時刻別の遭遇頻度を表示できるような時間軸を考慮したシステムとする。また、海域により航行の特徴と遭遇頻度の大きさが異なることも想定されるため、船舶の出会角（追越し・横切り・行会い）別に遭遇頻度を表示できるようにする。更に、衝突危険性は、台風等の気象及び海象が影響を及ぼすことから、本マップを気海象別に表示するために、気象庁の「GPV (Grid Point Value: 格子点値)」に関連付ける。GPVの格子点上の気海象データと、海域及び時間別のAISデータに関連付けて、衝突危険度マップ上に気海象情報も併せて表示するシステムとする。

衝突事故発生場所に関しては、上記(1)のデータベースに発生場所の経緯度及び時刻の情報が含まれているとともに、衝突に対する出会角等の衝突状況に関する情報も抽出できる。衝突事故に関するこれらの情報を表示するとともに、当該情報をフィルタリングできる機能を加える。

(b) 衝突回避の検討に有効な表示システムの構築と定量評価の実施

上記(3)(a)で示した本マップが衝突回避に有効であることを定量的に評価するために、地図

上に計画した航路を表示し、航路上の衝突危険性を計算する機能をシステムに加える。航路は、変針点の経緯度を本システム上に入力することで表示するものとし、その航路が通過する全ての格子の遭遇頻度を自動で積算する。そして、通常の航路選定による航路上の遭遇頻度と本マップの情報をを用いた場合の航路上の遭遇頻度を定量的に比較する。通常の航路選定による航路は、これまで船舶が選定した航路の実績があるため、その航路に従って遭遇頻度を計算する。本マップを用いた場合の航路は、時間軸を考慮して複数の航路を選定し、それぞれの航路上の遭遇頻度を計算する。これらの遭遇頻度の積算値がどの程度異なるかを解析するとともに、どの程度の遭遇頻度で衝突回避手段として有効であるかを評価する。ここで、遭遇頻度は時刻により特徴が異なることが想定されることから、本定量評価は、船舶が航行する時間を考慮して実施する。

また、本システムを実用化するためのユーザビリティの調査は、海事関係者にヒアリングやアンケートにより行う。調査対象者は、東京海洋大学のスタッフや学生等とし、航行支援システムとしてユーザビリティの良いものとする。

(4) プロジェクトの総合的推進

本研究課題の最終目標である上記(3)を達成するために、各要素課題に関する研究の進捗を管理するとともに、それぞれ並行して研究を進める。また、本委託業務の実施により得られた成果について、国内外の学会等において積極的に発表し、本研究のさらなる進展に努める。

2. 研究開始時に設定した研究目標の達成度

1. 1の①～③に記載した本課題で目指すべき研究内容（研究目標）について、それぞれの達成度を以下に示す。

①の内容は達成することができた。具体的には、輻輳海域等の交通流の複雑な実態に即した衝突危険性の度合いを推定するために、遭遇頻度の推定手法を確立した。そして、本手法により計算した海域の遭遇頻度の分布を地図上に可視化して表示することが可能なシステムを構築した。本システムでは、衝突事故の発生場所も併せて表示することができるようにした。

②の内容はほぼ達成することができた。具体的には、日本の主要航路の周辺海域のAIS搭載船舶及びAIS非搭載船舶の両者を含めた船舶の動静データを用いて、見合い関係や、期間や時間帯といった時間軸を表す条件別に遭遇頻度の分布図を表示できるようなシステムとした。なお、AIS搭載船舶の動静データに関しては、日本沿岸全域において、当該条件別に遭遇頻度の分布図を表示することができる。一方、時間軸を表す他の条件として気象海象の情報を表示することを課題として挙げていたが、本課題では、統計的及び経験的な情報に基づいた衝突危険性を評価するシステムを構築することが最終目標であるため、時々刻々変化する気象海象の情報は本システムでは取り扱わないこととした。

③の内容は達成することができた。具体的には、危険な遭遇や衝突を避けて安全な航行に導く航路を選定することを可能とするために、遭遇頻度の推定結果を用いて航路上の衝突危険性の度合いを推定する手法を確立した。そして、本手法を本システムに組み込み、システム上で航路を設定して表示し、航路上の衝突危険性を評価できるようにした。

3. 委託業務における研究の方法及び成果

(1) 船舶情報データベースの構築

(a) 船舶動静情報データベースの構築

遭遇頻度を計算する際に必要となる船舶動静情報に関するデータを整備するために、AIS搭載船舶及びAIS非搭載船舶の両者の船舶の動静データを含めた船舶動静情報データベースを構築した。AIS搭載船舶に関しては、AISの未加工データを使用した。AIS未加工データは、位置毎に収集されたAIS搭載船舶の点の情報であるため、これを船舶毎に時系列に並び替える処理を行い、連続した航跡データとする作業を行った。AIS非搭載船舶に関しては、レーダーの未加工データを使用した。レーダーは、AISの搭載有無に関わらず電波を反射させた全ての船舶の情報が得ら

れるため、航跡データの作成にあたり、AIS搭載船舶とAIS非搭載船舶の情報を区別する作業を行った。そして、同一船舶の航跡であるかどうかを判断した上で、AISデータと同様に、点データを連続した航跡データとなるように解析作業を行った。これらのAISとレーダーの膨大なデータを抽出できるように、大容量のデータを蓄積して検索できる処理プログラムも作成し、連続した航跡データに基づく船舶動静情報のデータベースを構築した。なお、1. 1で記載したように、本データベースを利用して遭遇頻度の分布図を表示する海域は日本の主要航路の周辺海域としたため、AIS非搭載船舶の対象海域は浦賀水道航路及び中ノ瀬航路を含む東京湾としたが、AIS搭載船舶は日本沿岸全域を対象に表示することを可能とした。

上記より、東京湾に関しては、AISの搭載の有無を問わず、航行する船舶の動静情報を抽出するデータベースとすることができた。ここで、図1に、ある対象期間に東京湾を航行したAIS搭載船舶及びAIS非搭載船舶の航跡データを示す。本航跡データを解析した結果、AIS搭載船舶とAIS非搭載船舶の隻数の比率は1:0.93であり、両者は同程度の隻数であることが分かった（参考文献1））。



(a) AIS搭載船舶



(b) AIS非搭載船舶

図1 東京湾を航行する船舶の航跡データ（参考文献1））

(b) 衝突事故情報データベースの構築

過去に発生した衝突事故の発生場所を本マップ上に表示するシステムを構築するために、衝突事故情報に関するデータベースを作成した。具体的には、日本周辺海域で発生した船舶事故に関する詳細な情報が記載された運輸安全委員会の船舶事故調査報告書を収集し、当該報告書の事故内容に関する各項目の文書をデータ化した。ここで、当該報告書は様々な種類の海難事故（衝突、乗揚、運航不能等）を取り扱っていることから、海難事故の種類を区別できるように設定して、衝突事故を容易に抽出することができるようにした。本課題では、従来から収集及び作業していた報告書も含めて、直近の約10年間に公表された報告書の衝突事故情報を整理することができた。これにより、対象期間の衝突事故の発生場所や日時、船の情報や事故の詳細等を容易に抽出することを可能とした。

(2) 輻輳海域における遭遇頻度の推定手法の確立

(a) 遭遇頻度推定手法の検討

1. 1で記載したように、様々な進路の船舶が行き交う輻輳海域において船舶同士の衝突危険性の度合いを推定するため、複雑な交通流に対して船舶の遭遇頻度を推定する手法を確立し

た（参考文献2）、3））。これまで衝突危険性の度合いは、限定された数の交通流が一定の出会角や見合い関係で交差し、船舶の密度や速度等の航行状況が一定である限定された条件において、交通流全体に対して推定が可能であった。このような制約から、主に航路や狭水道等といった限定的な対象において使用されてきた。輻輳海域の複雑な交通流に対して衝突危険性の度合いを推定するために、本手法に、交通流を連続体とみなして緯度経度に沿う直交座標系を用いた計算格子を対象海域に導入し、対象海域を格子毎に離散化することにより、格子毎に船舶同士が遭遇する頻度を推定するという新しい概念を取り入れた。各格子における全通航船舶を出会角別に有限な数の群に分けることで、発生する全ての出会角の船舶群同士の遭遇頻度を推定することを可能とし、出会角に対応した遭遇頻度を推定することができるようになった。また、遭遇頻度の計算では、進路別の通航量や通航位置分布、船長や船速等を計算するが、これらの変数は、2.1で想定していた考え方により計算できることを確認した。

本手法は、単位面積かつ単位時間あたりに遭遇頻度を計算するため、海域や時間帯の特徴を考慮することや、海域間の衝突危険性を比較することができる。更に、格子毎にあらゆる出会角の船舶遭遇に対応しているため、見合い関係（追越し関係、正面関係、横切り関係）別に遭遇頻度を計算することができるという特徴もある。

格子毎に計算した遭遇頻度を海図上にカラー濃淡図として面的に表示し、遭遇頻度の分布を視覚的に表現した結果として、図2に、東京湾における遭遇頻度の分布のカラー濃淡図を見合い関係別に表示した図を示す。これにより、見合い関係別に海域の潜在的な衝突が発生する海域の特徴を特定することができる。

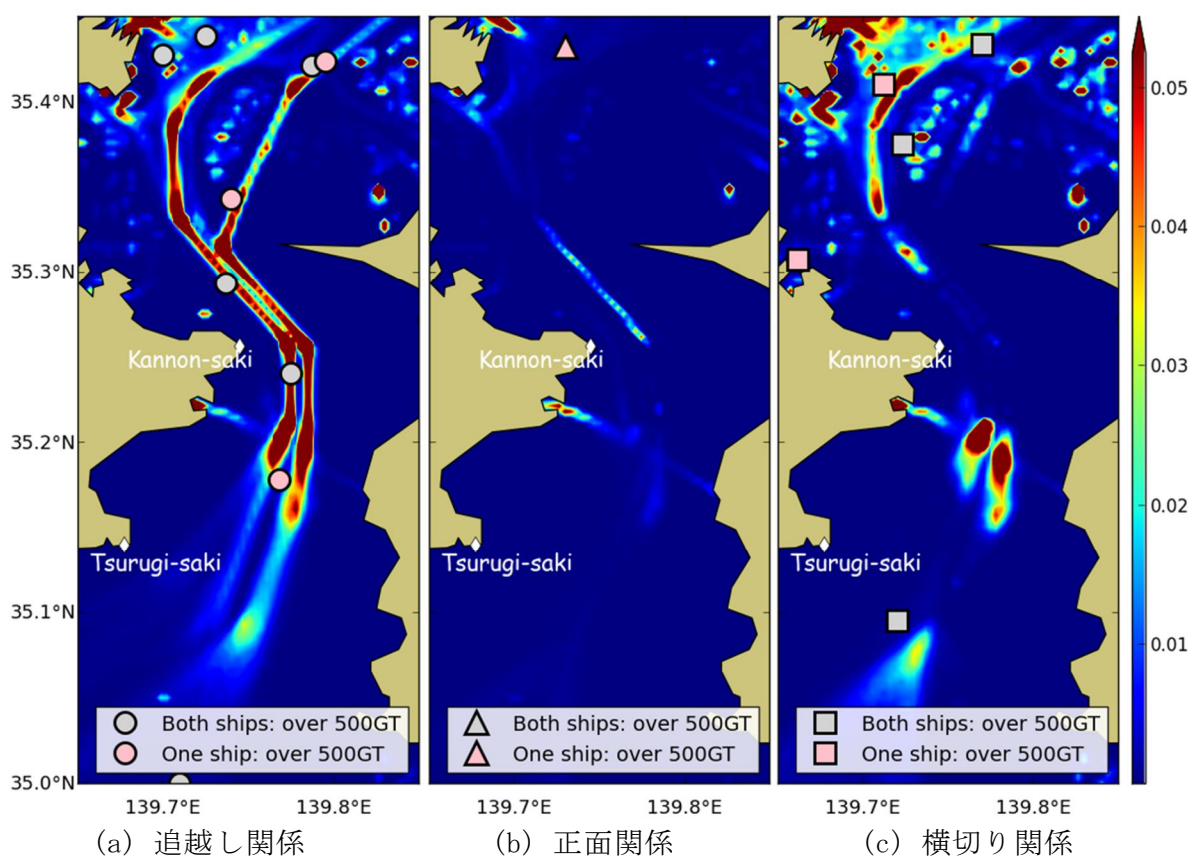


図2 東京湾における見合い関係別の遭遇頻度（参考文献2）

(b) 遭遇頻度推定手法の検証

本手法の妥当性を検証するために、本手法と従来手法をある交通流にそれぞれ適用して計算した結果を比較し、両者の計算結果が定量的に良好な一致が見られることを示した（参考文献3））。具体的には、従来手法は、整流された単純な交通流には適用することができるため、北向き及び南向きに航行する船舶の通航が分離されている東京湾の浦賀水道航路を対象海域として、当該海域の真正面での遭遇が発生する交通流を、本手法と従来手法に適用させた。図3に、

本手法と従来手法の計算結果を示す。両者の計算結果の比率（従来手法/本手法）はほぼ1であることから、両者の計算結果が概ね一致することを確認することができた。

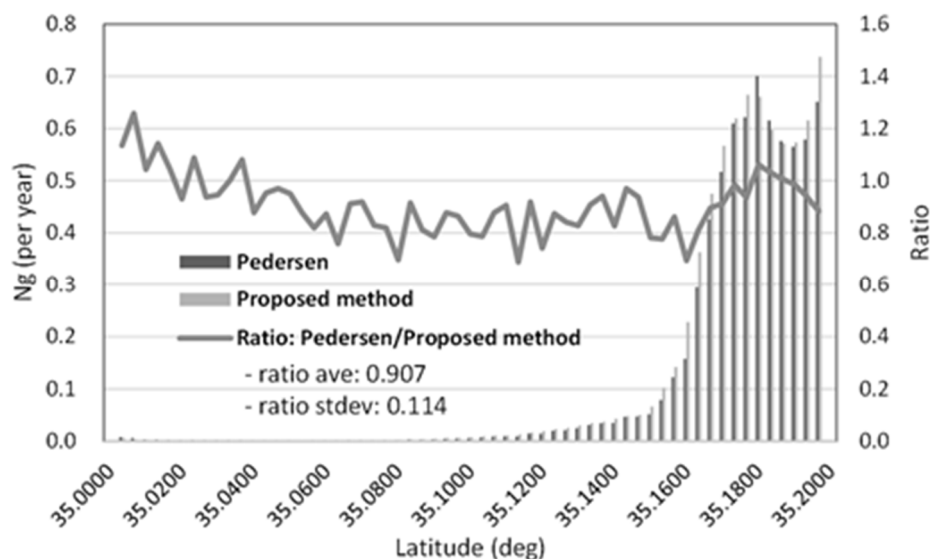


図3 本手法と従来手法の計算結果（参考文献3）

(3) 衝突回避の検討に有効な時間軸を考慮した衝突危険度マップの表示

(a) 時間軸を考慮した衝突危険度マップの表示

上記(2)(a)で確立した遭遇頻度の推定手法を用いて衝突危険性の度合いの定量的な評価を行うために、遭遇頻度の計算プログラムと上記(1)(a)で構築した船舶動静情報データベースを連携させて、1.1で記載した遭遇頻度を地図上にカラー濃淡図として表示する衝突危険性評価システムを作成した。図4に、当該システムの構成を示す。遭遇頻度の推定手法は、単位面積かつ単位時間あたりに計算した遭遇頻度を用いて海域や時間帯、見合い関係の特徴を考慮することができるため、本システムでは、海域や期間、時間帯（1日中もしくは1時間ごと）や見合い関係といった条件を指定して遭遇頻度を計算し、カラー濃淡図として表示できるようにした。

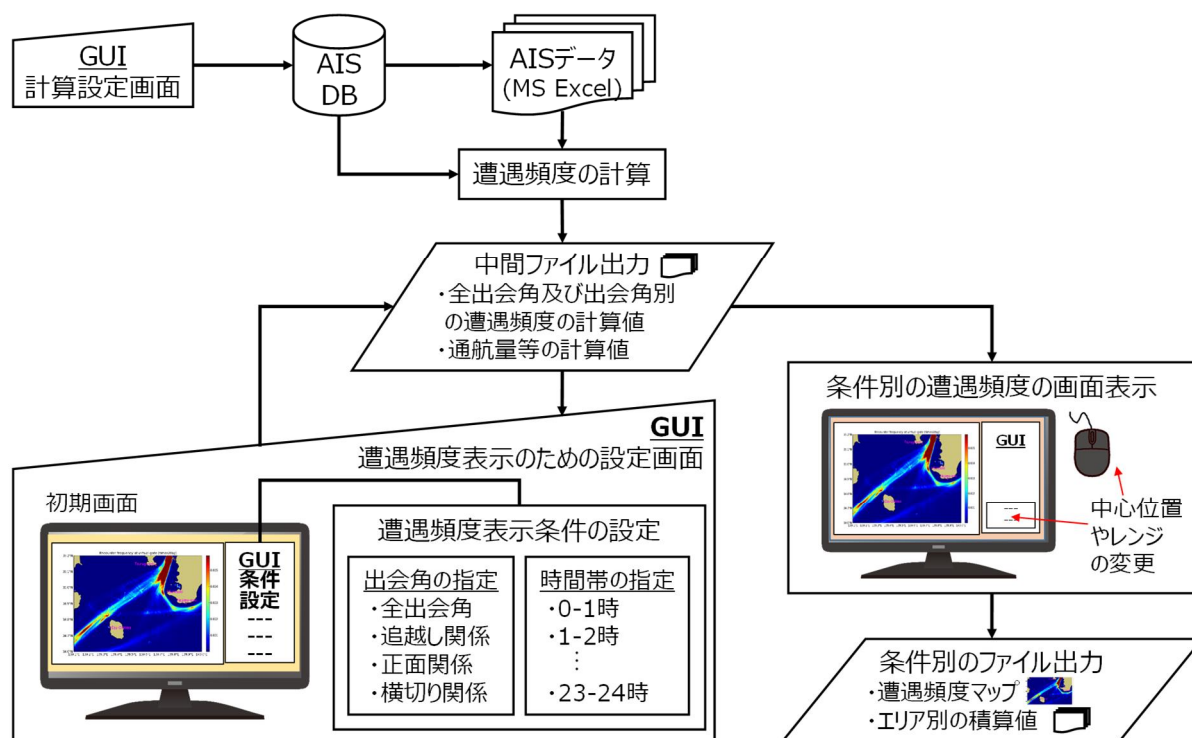


図4 衝突危険性評価システムの構成

時間軸を考慮した定量解析として、本システムを用いて、時間帯別の遭遇頻度を計算した。図5に、東京湾における時間帯別の追越し関係の遭遇頻度の分布を示す。5～6時と17～18時の遭遇頻度を計算したところ、遭遇頻度の高さが時間帯（朝方と夕方）で異なることを確認した（参考文献4）。東京湾では朝方と夕方の通航状況に違いがあると言われているが、図5より、潜在的に衝突が発生しやすい場所と頻度も5～6時と17～18時で異なることが示された。本計算結果より、時間軸に関する解析は重要な情報を抽出できることが分かった。

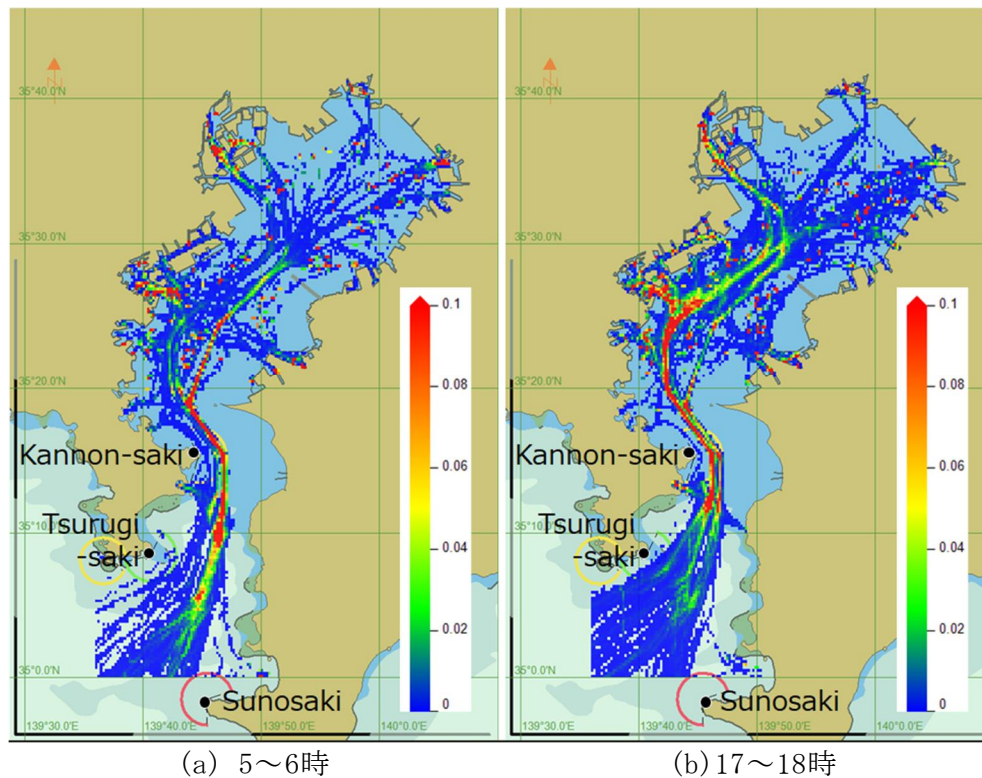


図5 東京湾における時間帯別の追越し関係の遭遇頻度の分布（参考文献4）

また、衝突危険性の評価では、遭遇頻度といった統計情報を用いた確率的手法による推定結果によるものだけでなく、事故情報といった実態調査や経験的な情報を考慮する重要であるため、本システムでは、上記(1)(b)で構築した衝突事故情報データベースに蓄積した衝突事故の発生場所とその他情報（発生日時や事故概要等）も併せて表示できるようにした。図6に、当該データベースに基づいて本システムで衝突事故発生場所を表示させた図を示す。衝突事故発生場所をクリックすると、衝突事故の発生場所や日時、船の情報や事故の詳細等を閲覧することができる。更に、このような事故発生場所の点の情報に加え、本システムでは、点情報を用いてカーネル分布及び点密度分布を表示できるようにした。本システムにより、遭遇頻度と衝突事故発生場所の関係性の定量的な解析が可能となった。本解析を行ったところ、遭遇頻度と衝突事故発生場所には相関があることが示された（参考文献2）、5）。

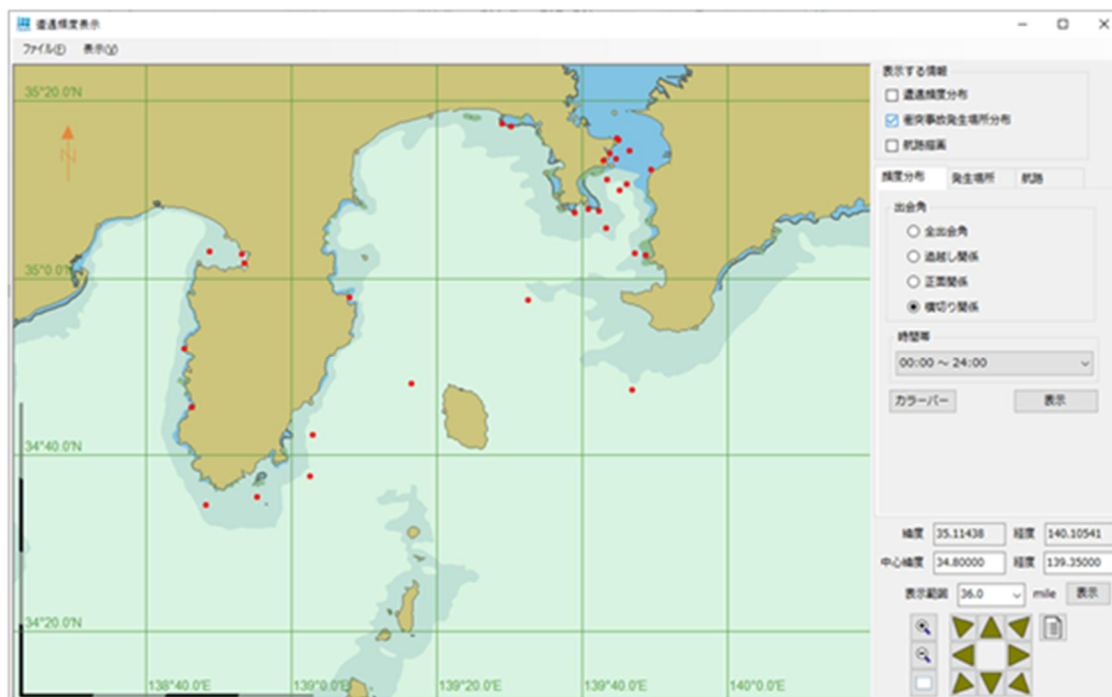


図6 衝突事故発生場所の表示

(b) 衝突回避の検討に有効な表示システムの構築と定量評価の実施

1. 1で記載したように、危険な遭遇や衝突を避けて安全な航行に導く航路を選定することを可能とするために、遭遇頻度に基づいた航路上の遭遇発生回数を計算する手法を提案した(参考文献6))。具体的には、本手法は、設定した航路が通過する格子の遭遇頻度と通航時間を用いて格子の遭遇の可能性を回数として表現し、それを航路上の全ての格子に適用させ、航路上の潜在的な遭遇発生回数を計算するものとした。

本手法をシステムに組み込み、システム上で航路を設定して表示し、航路上の遭遇発生回数を計算できるようにした。図7に、本システムで遭遇頻度のカラー濃淡図を表示し、航路を設定して重畳させた図を示す。

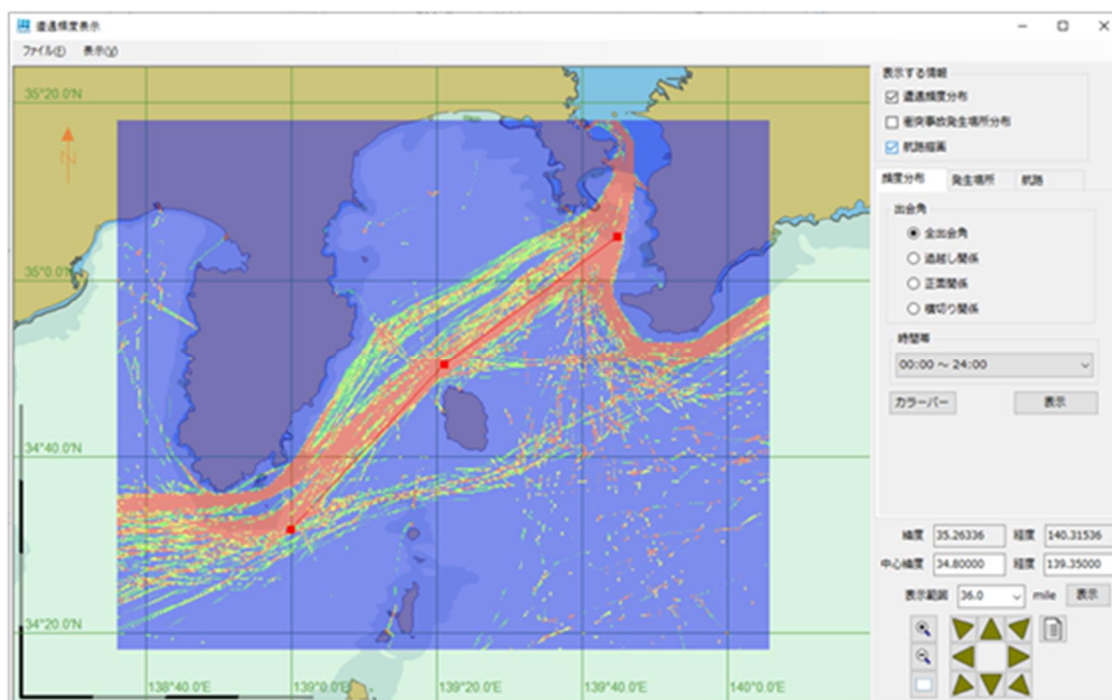


図7 計画航路（赤線）と遭遇頻度（カラー濃淡図）の重畳図

また、本手法と本システムの有効性を説明するため、複数の航路における遭遇発生回数を計算した（参考文献6）。複数の航路は、対象海域における船舶の平均的な通航位置から定義した航路（standard route）と、見合い関係別の遭遇頻度の推定結果及び航行距離を考慮して通常航路を修正した2種類の航路（plan 1とplan 2）とし、図8に、遭遇頻度のカラー濃淡図を表示した上にこれらの航路を重ねさせた図を示す。これらの航路上の遭遇発生回数を計算した結果、plan 1とplan 2の遭遇発生回数は、standard routeの遭遇発生回数よりも低くなった。航路の微修正が遭遇発生回数を減少させることを示すことができた。

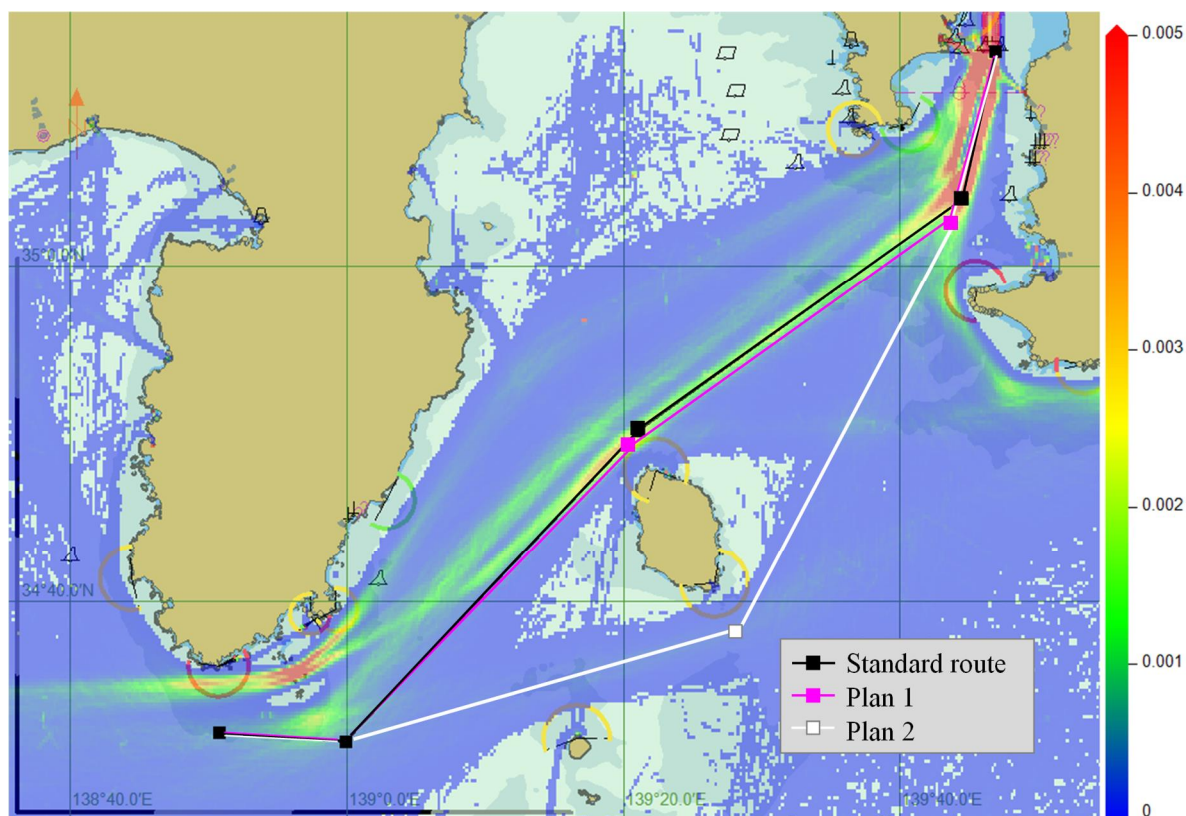


図8 遭遇頻度と設定した航路を重ねた図（参考文献6）

本手法について、航路上の衝突危険性を評価する手法としての妥当性を検証するために、本手法の計算結果を別の指標による計算結果と比較した（参考文献6）。一般に、危険性を評価する手法には大きく分けて、統計データを用いる確率論的手法と、観測データ（もしくは、リアルタイムデータ）を用いる決定論的手法の2種類がある。本手法は確率論的手法で頻度を計算するものであるが、リアルタイムの遭遇を評価する決定論的手法と比較することで、本手法の妥当性を示せると考えた。そこで、自船と他船の位置と運動量から自船の航行を妨害されるゾーンを占めることができる決定論的手法の指標のOZT（Obstacle Zone by Target）を利用して、航路上のOZTの回数と本手法により計算した航路上の遭遇発生回数を比較した。その結果、両者で特徴が定量的に類似していることが分かり、本手法が航路上の衝突危険性を評価する手法として妥当であると結論付けた。

本システムを実用化するために、ユーザビリティを調査することを当初から予定していた。現在、海事業界では、運航の安全性に係るデータを共有することや活用することに取り組んでおり、2022年度より日本財団が助成している内航自動化・デジタル化の環境整備事業が開始され、研究代表者らも当該事業に参加している。2023年度には、船員や海域管理者が安全上配慮すべき箇所を理解するための情報提示の例として遭遇頻度のカラー濃淡図での表示と、遭遇頻度の活用方法として危険な遭遇や衝突を避けて安全な航行に導く航路を選定する事例を示した。このシステムの活用事例に関して、2023年度中に当該事業に参加する海事関係者にヒアリングやアンケート調査を実施していく。

(4)プロジェクトの総合的推進

上記要素課題(1)～(3)を並行して進めるために、研究分担者や研究補助者と定期的に打合せを行い、各要素課題に関する研究とプロジェクト全体の進捗状況を管理した。本委託業務の実施により得られた成果について、英文及び和文の学術論文を執筆して、学術雑誌に掲載されるとともに、国際及び国内の学会発表を行い、本研究の更なる進展に努めた。また、日本財団が助成する内航自動化・デジタル化の環境整備事業の活動と連携して、社会実装を視野に、本プロジェクトの成果を活用することにも努めた。

参考文献

- 1) 須山雄介, 河島園子, 伊藤博子, 川村恭己 (2023): 東京湾におけるAIS非搭載船舶の動静解析と衝突原因確率の推定, 日本航海学会論文集, 147巻, pp. 85-94.
- 2) 河島園子, 伊藤博子, 川村恭己 (2021): 衝突頻度モデルに基づく衝突原因確率の推定, 日本航海学会論文集, 144巻, pp. 32-41.
- 3) Sonoko Kawashima, Hiroko Itoh and Yasumi Kawamura (2022): Calculation of the number of ship collision candidates using mesh-based estimation method for ship traffic data, Journal of Marine Science and Technology, Vol.27, Issue 4, pp.1233-1251.
- 4) 河島園子, 伊藤博子 (2022): 船舶遭遇頻度分布を用いた海上交通の地理情報システムの開発, 海上技術安全研究所研究発表会, pp. 93-94.
- 5) Hiroko Itoh and Rina Miyake and Sonoko Kawashima (2023): Relationship between estimated ship collision frequency and observed near misses in the real traffic environment, Advances in the Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures (pp.11-18)
- 6) Sonoko Kawashima, Hiroko Itoh and Rina Miyake (2023): Safe navigation routing using mesh-based encounter frequency, Advances in the Collision and Grounding of Ships and Offshore Structures (pp.137-144)

4. 委託業務全体の成果

4. 1 計画時に想定していなかった成果（副次的成果）や、目標を超える成果

1. 3の(3)(b)に記載した要素課題の一つである、本システムを実用化するためのユーザビリティの調査は、当初は東京海洋大学のスタッフや学生等を対象としてヒアリングやアンケートにより調査することを想定していた。一方、日本財団が助成している内航自動化・デジタル化の環境整備事業が始まり、研究代表者らが本事業に携わったことにより、幅広い業界の海事関係者にシステムの活用事例に関してヒアリングやアンケート調査を実施することが可能となった。

4. 2 研究課題の発展性（間接的成果を含む）

本研究成果は、日本財団が助成している内航自動化・デジタル化の環境整備事業で既に活用している。本事業では自動運航など内航船の安全運航に係る船外環境情報の共有化や活用化を目指しており、研究代表者らは、本研究で確立した推定手法で計算される海域の遭遇頻度をカラー濃淡図として地図上へ情報付加することで、船員や海域管理者が安全上配慮すべき箇所を理解するための情報提示となることを提示した。更に、遭遇頻度のカラー濃淡図のユースケースとして、危険な遭遇や衝突を避けて安全な航行に導く航路を選定することが可能であることも併せて提示した。これにより、海事分野の安全運航に係るデータの活用の発展に寄与している。

4. 3 研究成果の発表・発信に関する活動

本研究成果に関して、学術論文を3件発表した。そのうち、以下の2本について表彰された。

- ・日本航海学会論文集（第144巻）に掲載された論文「衝突頻度モデルに基づく衝突原因確率の推定」（3. の参考文献2）では、日本航海学会より奨励賞を受賞した。
- ・Journal of Marine Science and Technology（Vol.27, Issue 4）に掲載された論文「Calculation of the number of ship collision candidates using mesh-based estimation method for ship traffic data」（3. の参考文献3）では、研究代表者らが所属する研究所内の表彰であるが、令和4年度における研究所の最優秀論文賞に選ばれた。

5. プロジェクトの総合的推進

5. 1 研究実施体制とマネジメント

各要素課題に関する研究の進捗を管理し、それぞれ並行して研究を進めた。

5. 2 経費の効率的執行

経費の執行に関する特筆すべき取り組み事例はないが、経費を無駄なく執行した。

6. まとめ、今後の予定

本課題では、輻輳海域における衝突事故の防止や衝突危険性の少ない安全な航行ルート（航路）の選定を実現するために、船舶同士の衝突危険性の度合いを推定する手法を確立するとともに、衝突危険性の度合いの評価や衝突事故の防止のための対策の策定に寄与するシステムを構築した。

1. 1の①～③に記載した本課題で目指すべき研究内容（研究目標）に沿って、本研究成果を以下にまとめる。

- ① 輻輳海域の複雑な交通流に対して衝突危険性の度合いを推定するために、海域に導入した計算格子毎に船舶同士の遭遇頻度を推定する手法を確立した。本手法は、海域や時間帯、見合い関係の特徴を考慮することができる。本手法の妥当性の検証では、本手法と従来手法をある交通流にそれぞれ適用して計算した結果を比較することにより、両者の計算結果が定量的に良好な一致が見られることを確認した。また、本手法により計算した海域の遭遇頻度の分布を地図上に可視化して表示することが可能なシステムを構築した。そのために、AIS搭載船舶及びAIS非搭載船舶の両者の船舶動静情報データベースを構築してシステムと連携させて、遭遇頻度の計算に必要なデータを抽出できるようにした。更に、衝突事故データベースを構築してシステムと連携させて、本システムで衝突事故発生場所とその情報を表示できるようにした。
- ② 本システムでは、海域や期間、時間帯や見合い関係といった条件別に遭遇頻度のカラー濃淡図を表示することができるようにし、時間軸を考慮できるシステムとした。これにより、遭遇頻度を用いて時間帯を考慮した定量解析を可能とした。遭遇頻度を表示するための対象海域は、AIS非搭載船舶は日本の主要航路である浦賀水道航路とその周辺海域（東京湾）であり、AIS搭載船舶は日本沿岸全域である。
- ③ 危険な遭遇や衝突を避けて安全な航行に導く航路を選定することを可能とするために、遭遇頻度の推定結果を用いて航路上の衝突危険性を推定する手法を確立し、本手法を本システムに組み込んだ。本手法と本システムの有効性を説明するため、船舶の平均的な通航位置から定義した標準航路と、遭遇頻度の計算結果と航行距離を考慮して標準航路を修正した航路における遭遇発生回数を計算したところ、航路の微修正が遭遇発生回数を減少させることを示すことができた。また、本手法について、航路上の衝突危険性を評価する手法としての妥当性を検証するために、本手法と自船と他船の位置と運動量から計算するOZT（Obstacle Zone by Target）という指標を利用した計算結果と比較したところ、両者で特徴が定量的に類似していることを示した。

本システムを実用化するために、日本財団が助成している内航自動化・デジタル化の環境整備事業において、船員や海域管理者が安全上配慮すべき箇所を理解するための情報提示の例として遭遇頻度のカラー濃淡図を表示するとともに、遭遇頻度の活用方法として危険な遭遇や衝突を避けて安全な航行に導く航路を選定する事例を示した。活用事例等に関して、2023年度中に当該事

業に参加する海事関係者にヒアリングやアンケート調査を実施し、本システムの有効性を検証していく。

本研究では、船舶の遭遇を減少させるための安全な航行ルートを選定が可能なシステムを構築することができた。これは、衝突事故の防止のための対策の立案にも繋がることが想定される。更に、航行支援のために交通等の船外環境データを地図上に情報付加することにも寄与すると考えられる。

7. 研究発表、知的財産権等の状況

(1) 研究発表等の状況

種別	件数
学術論文	3件
学会発表	6件
展示・講演	該当なし
雑誌・図書	該当なし
プレス	該当なし
その他	該当なし

(2) 知的財産権等の状況

該当なし

(3) その他特記事項

該当なし