

海上交通流シミュレーションシステムによる 新しい航路指定の評価法の確立

三宅 里奈*, 伊藤 博子**, 西崎ちひろ***, 福戸 淳司*

Establishment of an Assessment Method for New Ship s' Routeing System With a Marine Traffic Simulation System

by

Rina MIYAKE, Hiroko ITOH, Chihiro NISHIZAKI
and Junji FUKUTO

Abstract

Ships' routeing systems at sea, such as traffic separation schemes, have been established for keeping navigation safety especially in port or bay areas in Japan. They have been conventionally developed based on information obtained by radar observation or experts' judgment. Environment surrounding marine traffic is recently changing. Offshore structures have been increasing because of the utilization of sea area to obtain natural energy or ocean resources and they give significant impact to marine traffic. Therefore, demands of assessment for navigation safety of marine traffic at sea in coastal sea areas are increasing. On the other hand, it has been possible to obtain wider and more precise information of marine traffic than before because of spread of AIS (Automatic Identification System) in recent years. In this paper, the authors propose an effective method for design and assessment of a new ship's routeing system. It utilizes mainly AIS data to obtain current traffic information, and helps the ships' routeing developer to evaluate its effectiveness by simulating ships' movements in a new designed routeing system. This paper describes the concept of the method and result of the assessment of a newly designed ships' routeing system in a sea area off the western coast of Izu Oshima Island.

* 運航・物流系, ** 海洋リスク評価系, *** 東京海洋大学 (研究当時海技研)

原稿受付 平成28年11月10日

審査日 平成28年12月28日

目 次

1. まえがき	2
2. 海上交通流シミュレーションシステムの構築	3
2.1 海上交通流シミュレーションシステムの概要	3
2.2 海上交通流シミュレーションシステムの手順	4
2.2.1 船舶発生データ構築	4
2.2.2 海上交通流シミュレーションの実行	6
2.2.3 解析評価	6
3. 伊豆大島西方海域における新しい航路指定案の設計・評価	6
3.1 伊豆大島西方海域における安全対策	6
3.2 推薦航路の設計・評価の方法	8
3.2.1 対象海域における航行状況の事前解析	8
3.2.2 シミュレーション条件の設定	9
3.2.3 推薦航路案の検討	12
3.2.4 推薦航路導入による船舶交通の将来予測	13
3.2.5 海上交通流シミュレーションおよび定量評価	14
4. まとめ	15
謝辞	15
参考文献	15

1. まえがき

船舶の海難事故において、事故の種類では「衝突」が最も発生件数が多く¹⁾、船舶の航行安全には衝突を防止することが重要である。ところで、海上交通においては、湾内や瀬戸内海などの多くの船舶で混雑するふくそう（輻輳）海域、その周辺に広がる準ふくそう海域、非常に狭い海域に多くの船舶が航行・停泊する港内などの海域があり、それぞれ異なった航行船舶や航行状況等の特徴を持つので、それに応じた安全対策を講じる必要がある。従来の安全対策は、海難事故が多く発生し、かつ、レーダー観測や目視観測により比較的容易に情報収集が可能なるふくそう海域を対象に、過去の経験則や専門家判断に基づき行われてきた。

一方で、準ふくそう海域では、海域全体での船舶の行動の集積の流れと捉えたとき（以下、「交通流」と呼ぶ。）、航行する船舶が多く、また交通流が複雑に交差するため衝突が多く発生しており、衝突が発生した場合、死者・行方不明者および沈没全損、油の流出等を伴う重大海難となることが多い²⁾。このため航行環境を改善するための対策が求められているが、レーダー観測等では広範に及ぶ交通流の情報を十分得ることができないこと、また新たに設定する安全対策による影響が広範に及ぶことが予想されるがその客観的根拠を示すデータがほとんどなく過去の知見をそのまま適切でできるかが不明であることなどの理由から、従前のおりの手段が適用できるとは言い難い。

さらに近年、自然エネルギー需要の高まりにより、沿岸域を含めた海洋の利用が注目されており、船舶の交通環境は従来よりも複雑になることが予想される。また、300 総トン以上の国際航海に従事する全ての船舶、国際航海に従事する全ての旅客船、500 総トン以上の国際航海に従事しない全ての船舶については、AIS（Automatic Identification System: 船舶自動識別装置）の搭載が義務化されており、広範の航行状況の情報を高い精度で、従前よりも容易に得ることが可能となった。

このような近年の航行環境や情報環境の変化を受けて、海上交通の現状理解・将来予測に基づく安全対策を実現する手法が求められている。そこで、著者らは、海上交通流シミュレーションにより航行環境を定量評価する際の手順を体系化し、海上交通流シミュレーションシステムを構築した。さらに、伊豆大島西方海域をモデル海域として、安全対策を実現するために、新しい航路指定を設計しその効果を客観的に評価する手法を確立した。

本報告では、これらのうち、まず海上交通流シミュレーションシステムの概要とモデル海域を例とした手順を述べ、次にモデル海域における航路指定の設計・評価手法について説明する。なお、本研究の一部は、海上保安庁との共同研究として実施した。

2. 海上交通流シミュレーションシステムの構築

2.1 海上交通流シミュレーションシステムの概要

海上交通流シミュレーション（以下、「交通流シミュレーション」と呼ぶ。）は、船舶の交通環境をコンピューター上で模擬し、航行環境を定量的に評価することを目的に実施される。交通流シミュレーションでは、現実の船舶の航行状況を数学的にモデル化して再現するだけでなく、例えば航路改良計画などの将来的な航行状況の変化を予測するモデルを構築することで、実在しない環境での航行状況を模擬することができる。交通流シミュレーションを実行するには、まず、現状の航行状況を正しく理解し、将来予測を加味した航行情報を数学的に正しくモデル化することが必要となる。また、航行環境を評価するためには、交通流シミュレーション結果を分析し、目的に応じた視点から定量的評価を行う必要がある。このような交通流シミュレーションにより航行環境を定量評価する際の手順を体系化し、AIS データを解析し船舶発生データを作成するプロセスおよび作成した船舶発生データに基づき海上交通流シミュレーションを実行するプロセス、さらにさまざまな視点から定量的に評価するプロセスを体系的に行う海上交通流シミュレーションシステムを構築した。図1は、海上交通流シミュレーションシステムの流れを示す。

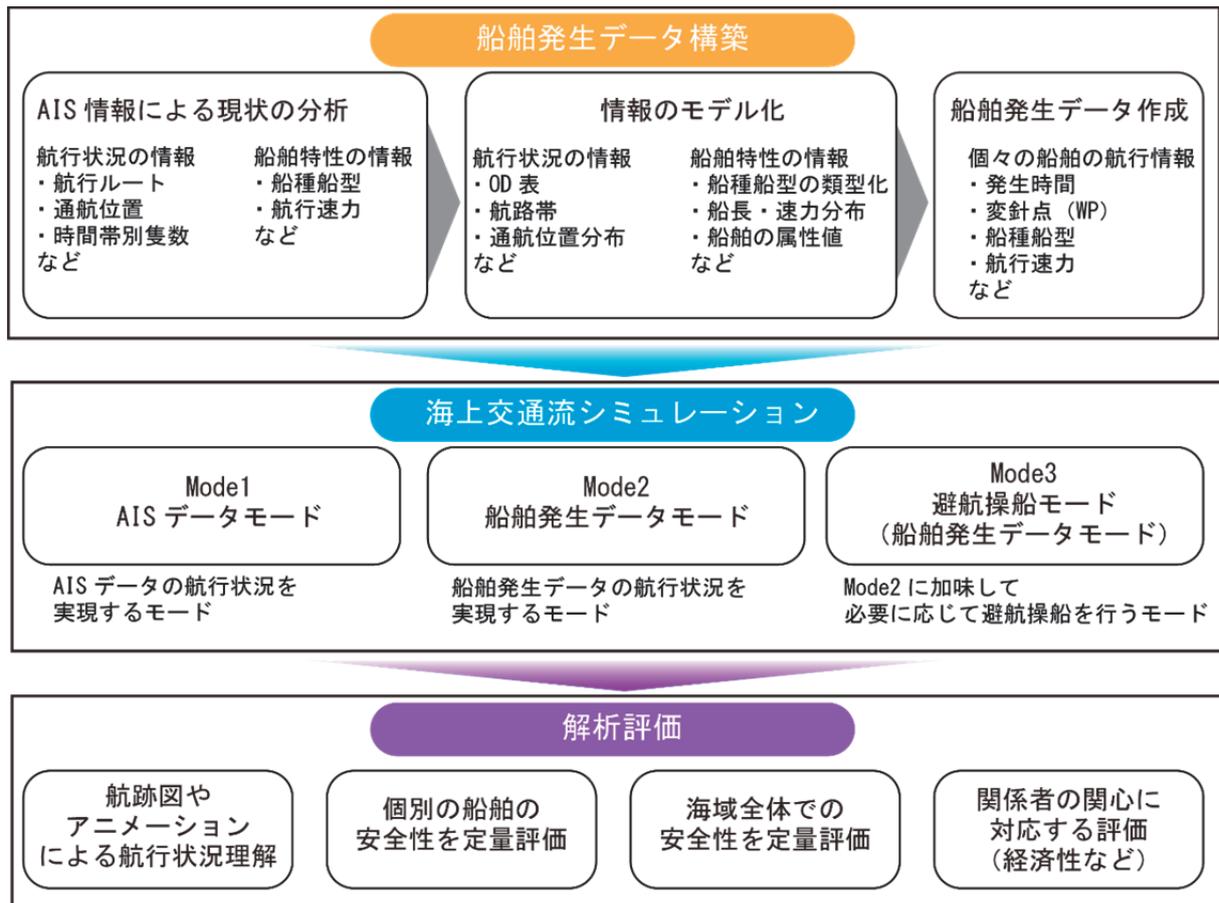


図1 海上交通流シミュレーションシステムの流れ

2.2 海上交通流シミュレーションシステムの手順

2.2.1 船舶発生データ構築

海上交通流シミュレーションシステムでは、情報の取得の容易さなどの理由から、海域の航行情報は AIS データから取得する。すなわち、AIS データから生成した航跡データを解析し、対象海域の交通情報を取得するとともにモデル化を行い、それをもとに船舶発生データを作成する。この船舶発生データは、交通流シミュレーションの入力ファイルとして用いられる。以下では、図 2 に示す伊豆大島西方海域を対象に、海上交通流シミュレーションシステムでの手順の概要を示す。また、本研究では、図 2 に示す船舶発生データを作成するためのツール「船舶発生データ作成支援システム」を作成した。

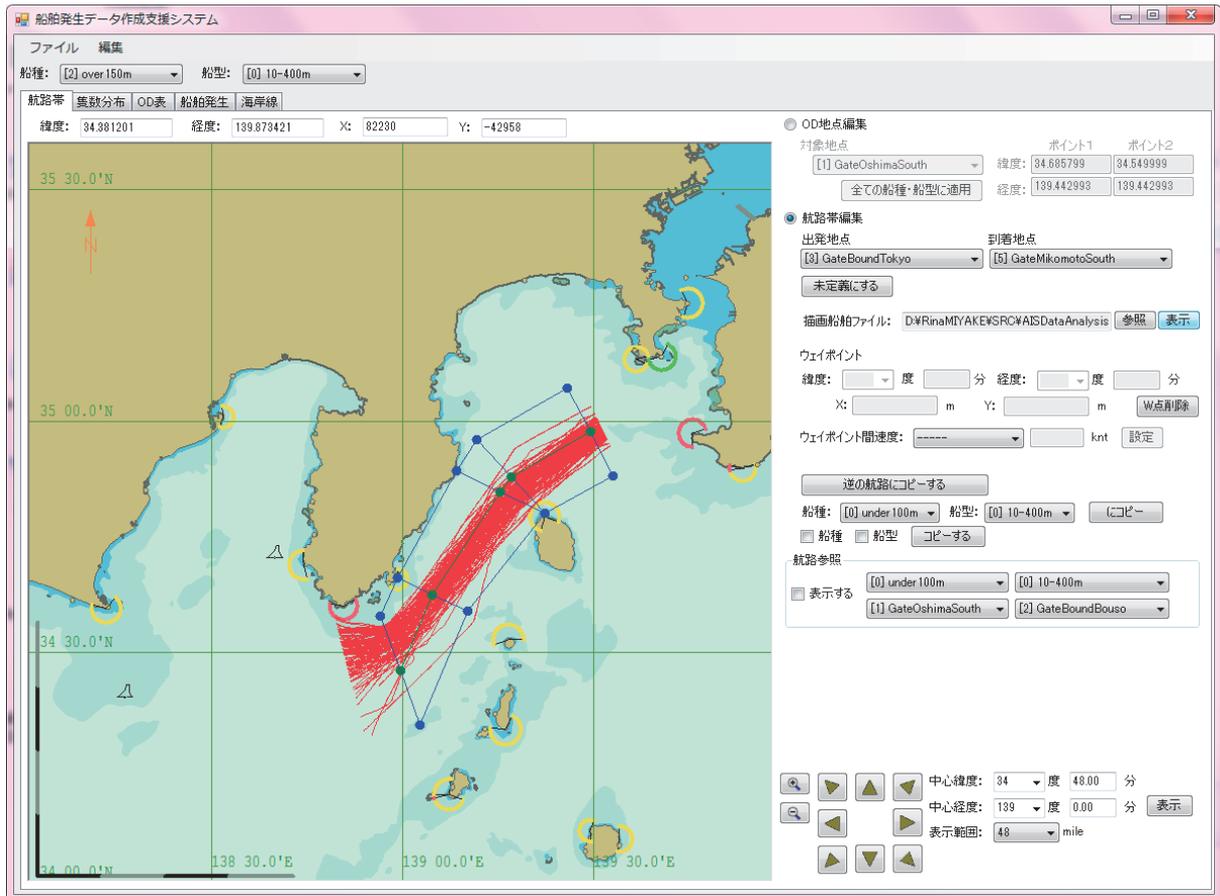


図 2 船舶発生データ作成支援システム（2014 年 3 月 1 日から 3 月 31 日の 7 日間の航跡（0-2 時））

(1) AIS データ解析による現状の分析

対象海域での詳細な航行情報を分析するため、2014 年 3 月 1 日から 3 月 31 日までの 31 日間の AIS データを用いて OD 調査を行った。OD 調査は、起点 (Origin) と終点 (Destination) となるゲートラインと呼ばれる仮想線を主要な交通流上に設定し、起点のゲートラインから終点のゲートラインまでを移動する船舶の流量を調査する手法である。交通密度分布図や航跡図をもとに、対象海域の主要な交通流上に図 3 の青色の直線が示す 5 本のゲートラインを設定して OD 調査を行った。東京湾に向かう船舶が集中して航行している海域が伊豆大島西方に存在しており、過密な交通状況にあることがわかる。なお、図 3 は、2014 年 3 月の AIS データから分析した東航船の交通密度分布である。

OD 調査結果の例として、図 4 に、神子元島を挟んで南北に設定されたゲートライン 4 と 5 を通過した船舶の船長構成を示す。神子元島北側に設定したゲートライン 4 を通過する船舶は船長 100m 未満の船舶がほとんどで、神子元島南側ゲートライン 5 を通過する船舶は 100m 以上が大部分を占めている。このように、OD 調査により、

ゲートラインを通航する船舶の構成の特徴がわかる。また、船長構成のほか、各ゲートラインを通過する船舶数、船種船型の構成、航行速度なども明らかとなる。

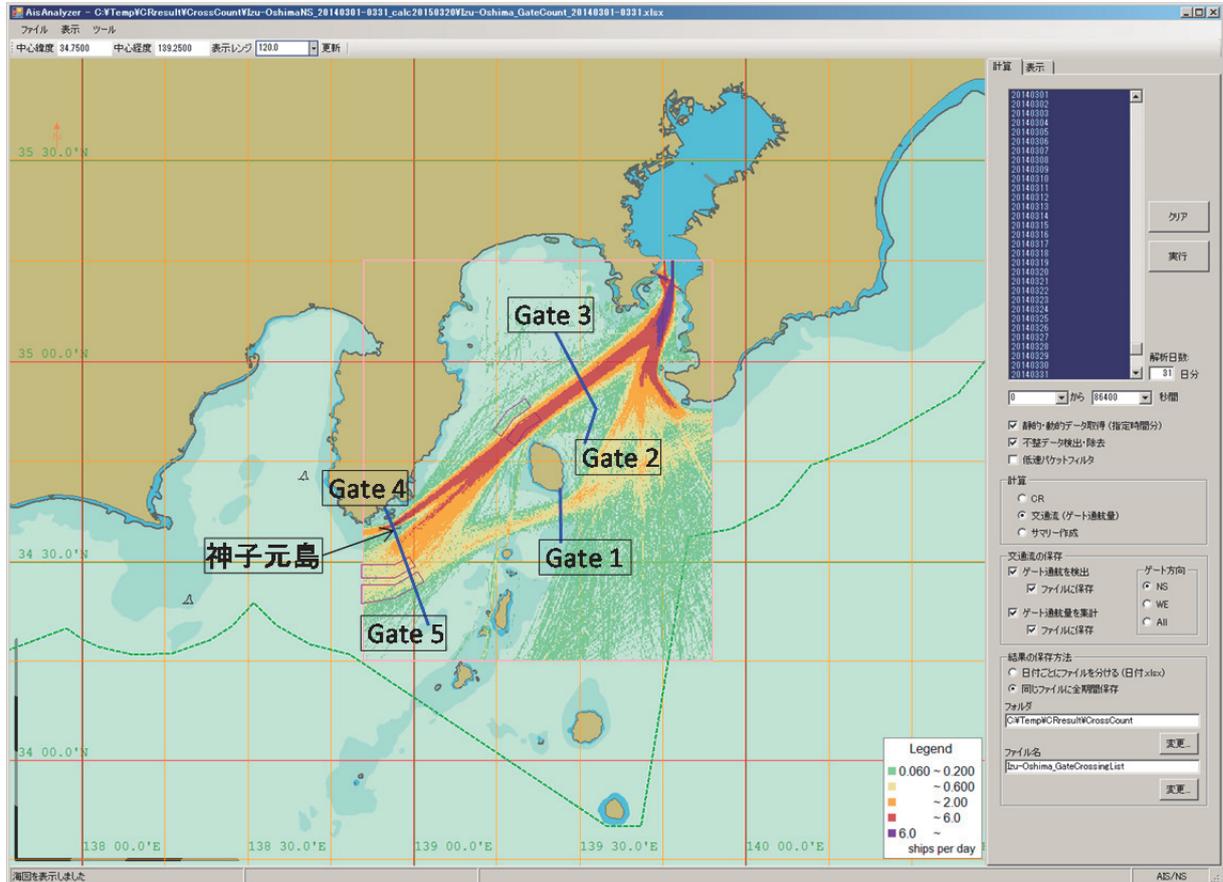


図3 伊豆大島西方海域における東航船の交通密度分布 (2014年3月)

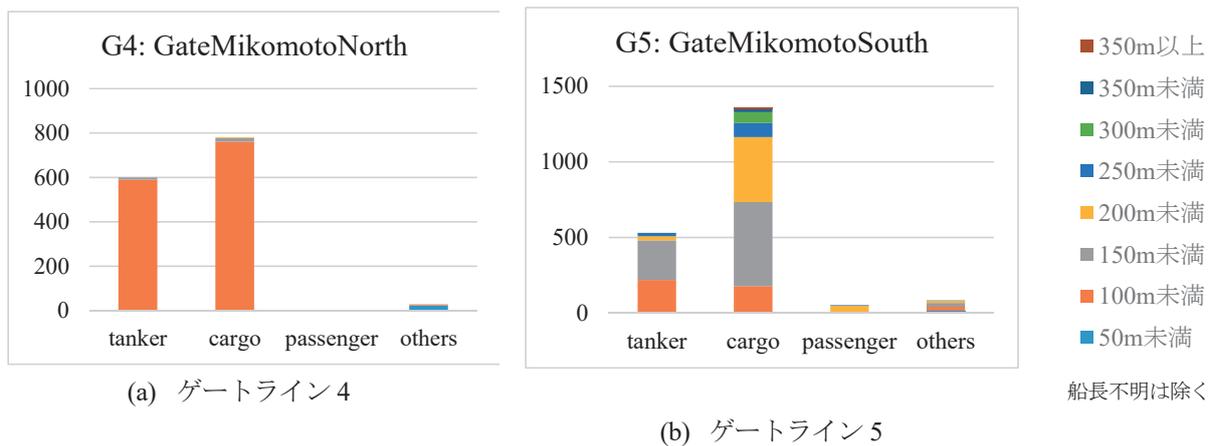


図4 ゲートライン4と5を通過した船舶の船種別の船長分布 (東航: 31日間)

(2) 交通流のモデル化

OD 調査により得られた情報に基づき、交通流のモデル化を行い、実際の船舶交通を簡素化しながらもその特徴を的確に表現する。具体的にはまず、OD 調査により得られた情報をもとに、船種および船型別で類型化を行う。次に、類型化された船種船型別に、船舶特性情報と航行情報の代表値を OD 調査により得られた情報をもとに設定する。ここでは、これを交通流の「モデル化」と呼ぶ。船舶特性情報は船舶特性についての情報であり、

それには船種、船長や船幅、航行速力、操縦性時定数などを含んでいる。航行情報は船舶の航行に関わる情報であり、時間帯別航行隻数、航行ルートやゲートライン上の通航位置などの情報を含む。

航行情報のモデル化についてさらに具体例を挙げて示す。類型化された船種船型別の時間帯別航行隻数は、OD 調査結果をもとに、起点と終点を行列の表形式の「OD 表」として表現される。ある 1 時間あたりの OD 表を例にすると、OD 表の行列の各値の総和はその時間帯にいずれかの起点のゲートラインを通過した船舶の総数を表し、任意の行列の交差するところの値は OD の組み合わせのゲートラインを通過した船舶の隻数を表す。つまり、OD 表によって OD ゲートライン別の船舶交通量が表現される。次に、類型化された船種船型別および OD ゲートライン別に、OD ゲートラインと変針点に設定された WP (Way Point) ラインで構成される船舶の通航経路を帯状で表現した「航路帯」が設定される。図 2 は類型化した船種船型のひとつ「150m 以上の船舶」についての航跡と航路帯を青色の枠で示している。この航路帯により、「150m 以上の船舶」の船舶が航行するルートの概略が表現される。さらに、AIS データから「150m 以上の船舶」に類型化された船舶のそれぞれが、この航路帯の各ゲートラインおよび WP ラインを通過するときの位置を分析し、それらのライン上の通航位置分布を確率密度関数で表現することによって、「150m 以上の船舶」の船舶が実際に通航する位置に従った航行ルートが表現される。

(3) 船舶発生データの作成

モデル化された船舶特性情報および航行情報をもとに、交通流シミュレーションの入力ファイルとなる船舶発生データを作成する。船舶発生データは、交通流シミュレーションで生成される個々の船舶について、類型化された船種船型別の区分、発生時間、初期位置、変針点、目的位置、速力が記載されている。

2.2.2 海上交通流シミュレーションの実行

船舶発生データを用いて、交通流シミュレーションを実行する。海上交通流シミュレーションシステムでは、3 個のモードの交通流シミュレーションを整備している。一つ目の AIS データモードは、入力された AIS データに基づいて等時間間隔で船舶の位置を外挿しながら船舶の動きを計算するものである。二つ目の船舶発生データモードでは、船舶発生データをもとに、船舶が初期位置で発生し設定された速力で航行ルートを航行する。三つ目の避航操船モードは、二つ目の船舶発生データモードと同様に、基本的に船舶発生データに従って各船舶は航行するが、航行中に船舶同士が衝突もしくは異常接近するときは避航操船アルゴリズム³⁾に基づき避航操船が行われる。交通流シミュレーションの実行結果として、交通流を構成する全ての船舶の位置情報、船首方位、速力などの運動状態の時刻歴データが作成される。

2.2.3 解析評価

交通流シミュレーション結果の時刻歴データを分析し、目的に応じた視点から定量的評価を行う。海上交通流シミュレーションシステムでは、1) 航跡やアニメーションによる航行状況の理解、2) 個々の船舶の安全性、3) 対象海域全体での安全性、4) 例えば経済性などの関係者の関心、の観点から解析し、定量的に評価を行うことができる。これらの評価方法の概要は、3.2.5 項で述べる。

3. 伊豆大島西方海域における新しい航路指定案の設計・評価

3.1 伊豆大島西方海域における安全対策

伊豆大島西方海域では、平成 25 年 9 月に 499 総トン型の内航貨物船が 3,000 総トン級の外航貨物船と衝突、転覆し、内航貨物船の 6 名の乗組員が亡くなる海難が発生した。そこで、本研究では、伊豆大島西方海域の海難事故減少を目的として、AIS 仮想航路標識を用いて交通流を整流分離する推薦航路の基線を複数案設計し、その効果を定量的に比較評価する手法を構築した。図 5 に航路指定案の設計・評価手法の流れを示す。事前解析 (A) では、対象海域での航行情報の概略を把握し、問題点とそれを解決する方針の見通しをつけることを目的とした調査を行った。航行情報の詳細な解析 (B) では、OD 調査やアンケート調査等の結果から対象海域の詳細な航行情報を分析しモデル化を行った。新しい航路指定案の設計 (C) では、分析した結果をもとに問題点を解決する

複数の具体案を立案した。将来予測 (D) では、複数の複数の航路指定の設計案導入による将来的な交通流を予測しモデル化を行った。シミュレーション結果の評価 (E) では、モデル化された現状交通流と予測交通流をもとに交通流シミュレーションを実行し、その結果を安全性や経済性等の点から定量的に評価した。最後に、最適案の選定 (F) で、定量的評価結果を複数の航路指定の設計案別で比較し最も効果が高い一案を選定した。なお、2章に示す海上交通流シミュレーションシステムは、図5の航路指定の設計・評価手法のうちの、(B)、(D) および (E) の交通流シミュレーションに関係する一部分を構成するものである。

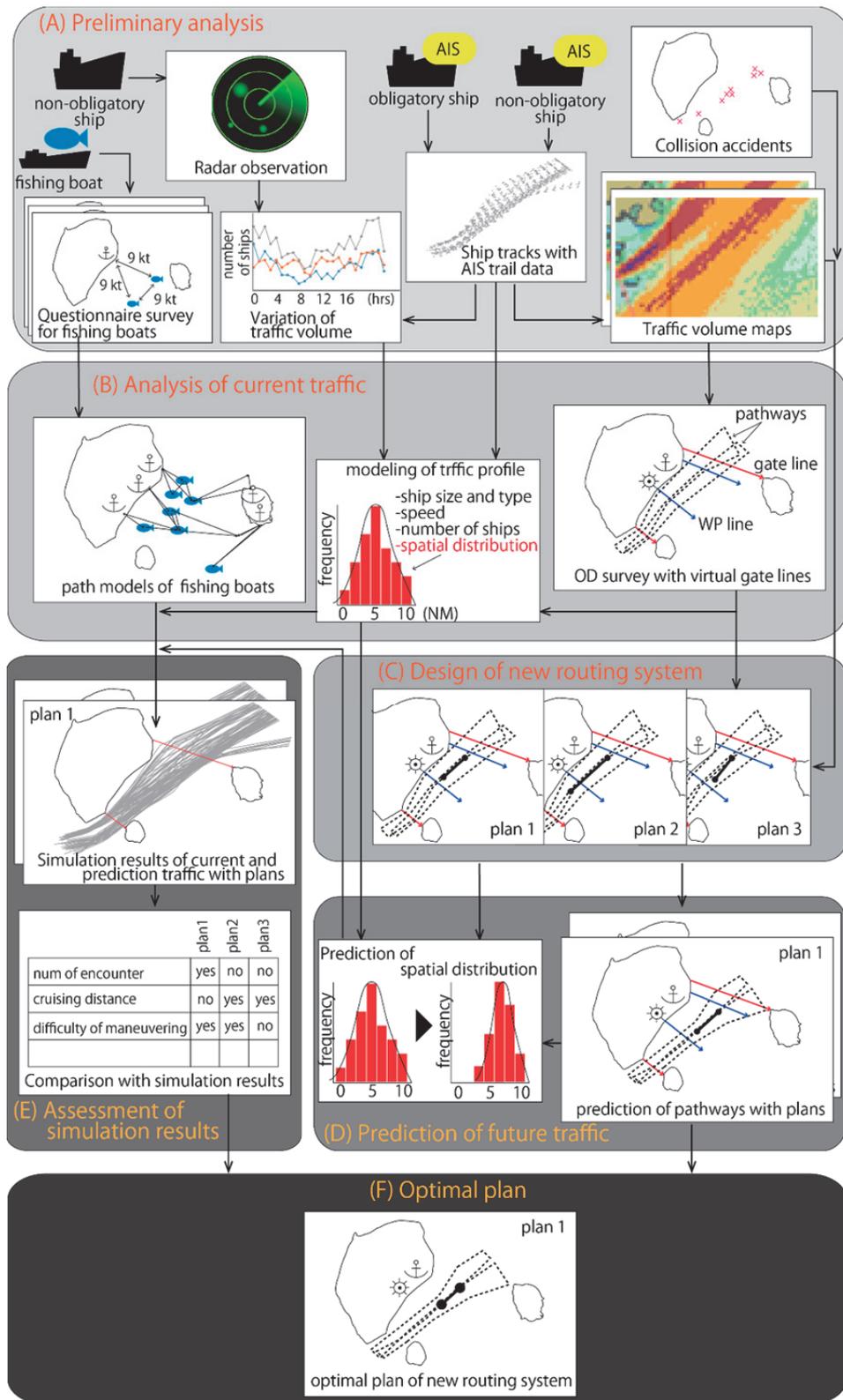


図5 航路指定の設計・評価手法の流れ

3.2 推薦航路の設計・評価の方法

3.2.1 対象海域における航行状況の事前解析

航路指定案の設計・評価手法においては、対象海域の問題の特定やそれを解決する方針を決定することを目的として、交通流の概略を分析するための事前解析を行う。本研究では、衝突の発生状況、船舶の通航状況および漁船の操業状況について調査した。

(1) 衝突の発生状況

伊豆大島西方海域での海難調査結果⁴⁾⁵⁾から、以下にその特徴をまとめる。北緯34度26分～北緯34度56分、東経138度30分～東経139度30分の範囲で発生した海難を調査した。この海域における衝突は10年間で35件発生しており、その発生場所は伊豆大島西方から石廊崎の南西方の一般商船の通航路上であった。時間帯別の発生状況は、18時から翌6時までを夜間としたとき、全体の約7割の24件が夜間に発生していた。

また、衝突の発生状況は、商船同士の衝突が19件、商船と帰航中の漁船との衝突が11件、商船と操業中の漁船との衝突が5件であった。商船同士の衝突では、反航が12件、同航が7件であったが、伊豆大島西方の海域に限定すると、反航6件、同航1件であった。発生時間帯別に見ると、商船同士の衝突は、商船の交通量が多くなる夜間に多く、商船と漁船の衝突は夜間および9～15時に多く発生していた。

(2) 船舶の通航状況

伊豆大島西方海域を航行する船舶の多くは東京湾内の諸港に入港していると考え、東京湾内主要港湾の月別入港推移を調査した。その結果3月の入航隻数が最も多く、湾内の船舶交通も3月が最もふくそうしていた。そのため、3月のAISデータを分析し詳細な航行情報を取得した。

また、既往調査結果⁶⁾から、伊豆大島西方海域における時間帯別の東航船の交通量のピークは夜間1時から2時、西航船のピークは20時から21時に現れることがわかった。その傾向は年間を通して全ての月で類似していた。さらに、同海域を東西方向35個×南北方向31個のメッシュに区切って仮想ゲートを設定し、1日あたりの仮想ゲート毎の交通密度の分布を解析した。その結果、東航船については、図3に示すように神子元島の南北両方から東京湾に向かう船舶が伊豆大島西方海域で合流することで、当該海域で交通密度分布が高いことがわかった。西航船では、神子元島の北側を通航する船舶は東京湾を出る時点で北寄りを通り、神子元島の南側を通過する船舶は南寄りに針路をとっていることから、伊豆大島西方海域では比較的交通密度が低いことがわかった。

(3) 漁船の操業実態

海上保安庁が行った推薦航路に対する漁業事業者の意識および操業実態に関するアンケート調査結果を集計し、漁船の操業実態を調査した。集計の結果、対象海域では立網による漁業が全体の約65%を占めており、また、主な漁獲物としては約78%の回答者がキンメダイを挙げていた。また、伊豆大島西方海域を東西に航行する船舶の交通流と漁船が交差するのは、2時～6時の往路および12時～14時での復路であった。

(4) 推薦航路の概略位置の決定

衝突を減少させるためには、反航する商船同士の見合いおよび商船と帰港中の漁船との交差を解消することが有効と考えられることから、本研究では、伊豆大島の西方に推薦航路を設計し整流化することとした。推薦航路の安全性評価においては、反航する商船同士の安全性および、商船と帰港中の漁船の安全性の両面から評価することが重要と考えた。

3.2.2 シミュレーション条件の設定

事前解析に基づき、対象海域の詳細な航行情報を分析した。具体的には、2.2.1項に示すOD調査の結果をもとに現状の船舶交通モデル化(以下、「現状モデル」と呼ぶ。)し、交通流シミュレーション条件を設定した。本研究では、船舶の通航状況を考慮して、反航する商船同士が多い時間帯と、商船と帰港中の漁船が多い時間帯の2種類の時間帯の航行状態に焦点をあて、1ヶ月分(30日分)のシミュレーションを行った。

(1) 漁船の航行モデル

操業実態に関するアンケート調査結果から、漁船は一般商船とは異なりそれぞれ独自の航行パターンを持っていることがわかった。航行パターンには、出港地および帰港地、漁場、荷揚げ港、航行速度などが含まれる。そのため、それぞれの漁船の航行パターンから、全ての漁船に共通の航行状態をモデル化することは難しいと考え、個々の漁船の出港から帰港に至るまでの行動について、漁港の位置、経由する漁場の位置、荷揚げ港の位置、航行中の変針点の位置、航行速度、出港時間および帰港時間などの情報を持つ漁船航行モデルを作成した。図6は、漁船航行モデルでの航跡図を示す。なお、同海域において、2015年10月23日から25日の3日間、レーダーにより漁船行動を観測した。図7に、漁船航行モデルをもとに交通流シミュレーションを実行した漁船の航跡(黒色)と3日間で観測された漁船の航跡(赤色)を重畳して示す。天候の影響によりレーダーによる観測の対象海

域が伊豆大島の北西にずれてしまったが、観測できた範囲での漁船の航跡は、実態とシミュレーション結果とでよく一致していると言える。

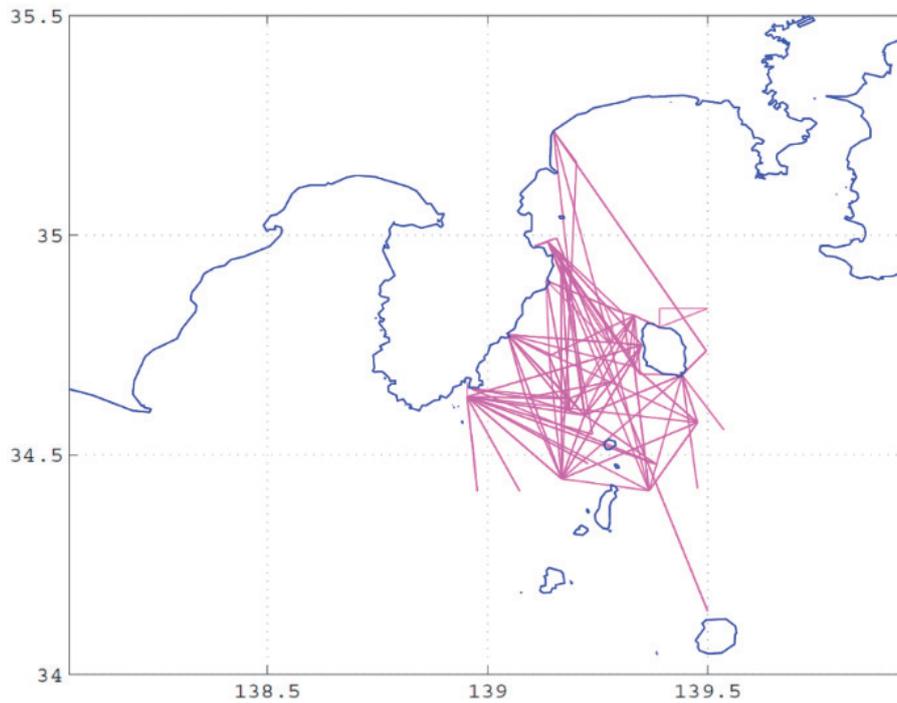


図6 漁船航行モデルでの航跡

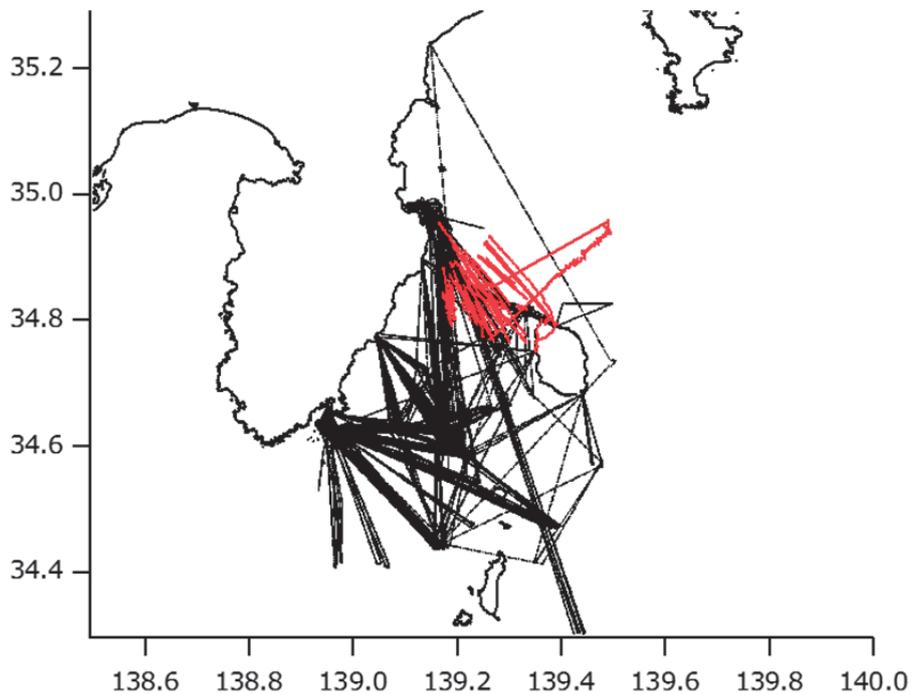


図7 漁船航行モデルでの航跡

(2) シミュレーション時間帯の検討

3.2.1 項 (2)で設定した仮想ゲートにおける船舶の遭遇頻度（後述する 3.2.5 項 (1)を参照.）を1時間ごとに分析した。最大は午前1時（1:00:00～1:59:59）であった。次いで高かった時間帯は、午後8時および午前0時であった。さらに、3.2.1 項 (2)より時間別交通量の東航船の交通量のピークは夜間1時から2時であったことを考慮し

て、商船を主眼とした分析のための時間帯は午前0時から2時(以下、「夜間」と呼ぶ。)をシミュレーションの時間帯とした。また、商船と帰港中の漁船に焦点を当てた分析には、3.2.1項(3)の漁船の操業実態の調査結果から、漁船の航行隻数が多い12時から14時(以下、「昼間」と呼ぶ。)をシミュレーションの時間帯とした。

本研究におけるシミュレーションについて、図8に交通流モデルおよび漁船航行モデルによって船舶発生データに示される船舶の一日あたりの流れを示す概念図とシミュレーションの時間帯(夜間・昼間)との関係を示す。図8のTraffic model of merchant shipsは、交通流モデルにより定義される一般商船の交通流が、途切れることなく24時間連続する1日分の交通流を表現している。また、図8のFish boat AおよびBは、個別の漁船航行モデルにより定義された2隻の漁船(Fish boat AおよびB)の1日分の航行状況、つまり入港から操業しその後の帰港までの動きを表現している。本シミュレーションでは、商船交通流のモデルと漁船航行モデルにより表現される1日分の交通流のうち、図8の青枠で囲んだ商船が多く航行している夜間と、図8の黄枠で囲んだ漁船が多く航行している昼間のそれぞれ2時間に焦点をあて、それぞれ1ヶ月分(30日間)をシミュレーションした。

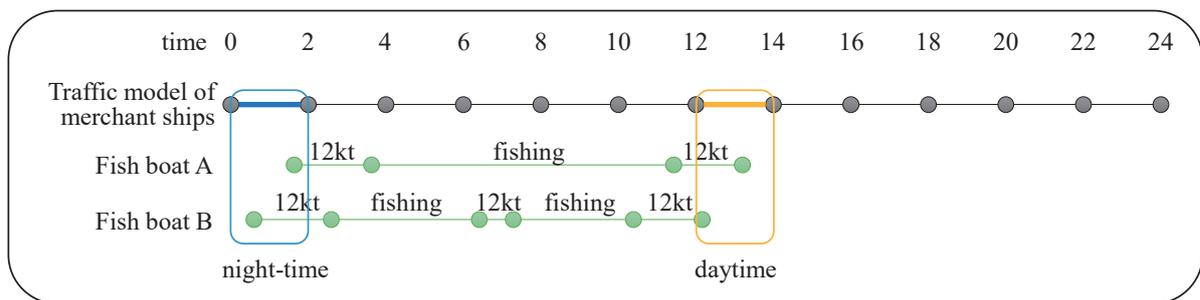


図8 AISに基づく交通流と漁船の航行状況の関係

(3) 船種船型区分の検討

2.2.1項(2)で示したように、船長および速力による船種船型区分についてOD調査の結果をもとに解析を行った。本研究では、6つの船種船型に分類し、それぞれの船種船型での速力や船長を表1および表2のように設定した。これらの設定をもとに、船舶発生データに登場する船舶の速力および船長や船幅が決定される。船種船型別の船長および船幅の分布は日本船舶明細書をもとに設定した。さらに船舶特性情報として、6つの船種船型別にシミュレーションに必要な操縦性指数などの属性値を設定した。

表1 船種船型区分と速力分布

ID	分類	平均船速 (knots)	船速標準偏差 (knots)
0	100m未満	11.47	2.01
1	150m未満	13.56	2.87
2	150m以上	15.64	3.80
3	passenger	17.37	3.65
4	500GT未満	11.22	1.70
5	漁船		0.00
総計		12.87	3.42

表 2 船種船型区分と船長および船幅分布

ID	分類	Loa (m)		船幅 (m)	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
S0	100m 未満	77	10	13	2
S1	150m 未満	112	12	17	2
S2	150m 以上	236	60	39	11
S3	passenger	49	46	10	6
S4	500GT 未満	47	17	9	2
S5	漁船	13	1.20	2.1	0.45

(4) 航行船舶数の検討

OD 調査の結果、1 ヶ月あたりの夜間の合計隻数は 12.5 隻/h、昼間は 6.8 隻/h であった。航行隻数が多い OD の組み合わせは、房総方面⇄神子元島北、房総方面⇄神子元島南、東京方面⇄神子元島北、東京方面⇄神子元島南、伊豆大島南⇄神子元島南であった。さらに最も航行船舶数が多い状況をシミュレーションで再現するため、夜間・昼間別の各時間帯で船舶数が多かった 1 週間での航行隻数を調査した。その結果 1 時間あたりの航行隻数は、夜間が 17.4 隻/h、昼間が 9.4 隻/h であり、これをシミュレーションの 1 時間あたりの通航隻数とした。

なお、2.1 節に示した海上交通流シミュレーションシステムでは、AIS を搭載していない船舶の情報を得ることができないため、AIS を搭載しない小型船舶の隻数は、2005 年に実施されたレーダー・目視による通航量調査⁷⁾をもとに推定し、漁船の隻数は 3.2.2 項 (1) に示したようにアンケート調査結果をもとに推定した。具体的には、AIS データから取得した船舶について日本船舶明細書に照らし合わせて総トン数を特定し、AIS データから取得できた 500GT 未満の AIS 搭載船の総数を、2005 年の観測結果での 500 総トン未満の航行隻数の総数に合わせた。

3.2.3 推薦航路案の検討

本研究では新しい航路指定案として「推薦航路案」を対象海域に設計した。推薦航路案を設計するにあたり、東航船と西航船による両方向の交通を分離することで、これらの行き会いの頻度を抑制することを目的として基線を設けた。

(1) 遭遇頻度分布図

AIS データによる反航船の遭遇頻度図を用いて、行き会いの見合い関係での遭遇が集中する地点を調査した。AIS を搭載していない船舶すべての通航状況を把握することはできないが、東京方面-神子元島北においては、東西別の交通流はそれぞれの向きで異なる位置を通航していることが確認できた。また、神子元島北側は比較的小型の船舶が通航し、ここを通航する西航船は伊豆半島に沿って通航する傾向があった。

(2) 通航分布によるオーバーラップ海域

OD 調査結果から、東西両方向の航行船舶が共有しているエリアとして「オーバーラップ海域」を確認した。伊豆大島西方海域、特に神子元島南側を航行する際に、東航船と西航船の交通流が非常に多くの部分で重なっていることがわかった。

(3) 推薦航路の設計

遭遇頻度分布やオーバーラップ海域、漁場位置、海難の発生状況などを考慮して推薦航路の基線案を設計した。図 9 は、設計した三つの基線案と、操業位置および衝突発生位置を示す。まず、基線案 1 として、北端（北緯 34 度 48 分、東経 139 度 17 分）と南端（34 度 44 分東経 139 度 12 分）を進路 45 度（225 度）で結ぶ線を設計した。さらに、案 1 をもとに基線の長さ、向き（針路）、基線の東西位置要素を変えて案 2 および案 3 を設計した。

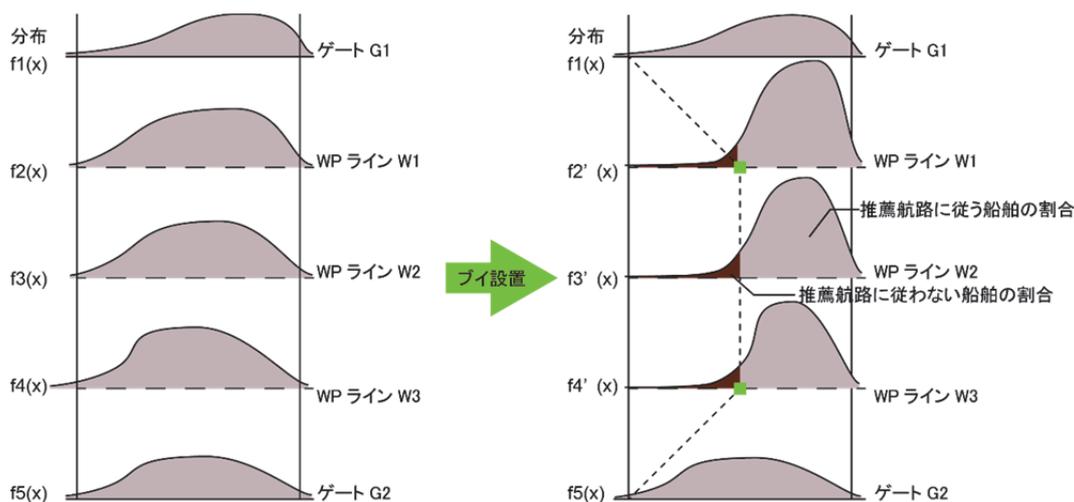


図 10 推薦航路導入後の船舶行動を予測する手法

3.2.5 海上交通流シミュレーションおよび定量評価

現状モデルおよび将来交通の予測モデル、また漁船航行モデルにより、推薦航路の基線案ごとの船舶発生データを作成し交通流シミュレーションを実施した。次に、シミュレーション結果である航行データから基線案の安全上の効果および経済性に及ぼす影響を推定した。最後に、推薦航路の基線案の長短を比較検討して三つの案から一案を選定した。ここでは評価の内容を簡単に紹介する。

(1) 遭遇頻度による商船同士の衝突リスクの評価

対象海域は、横切りの見合い関係よりも同航や反航の見合い関係が多く、また衝突の発生状況を考慮して反航船に焦点を当てた衝突リスクを評価した。本研究では、反航する船舶群の通航密度、速力、船長を考慮して、任意の範囲のエリア内で反航船が直進したときに衝突に至る回数を幾何学的に求めた遭遇頻度¹²⁾¹³⁾を推定し、現状の交通流と推薦航路導入後の遭遇頻度の増減の変化から海域全体での衝突リスクを評価した。

(2) OZT (Obstacle Zone by Target) による操船困難度の評価

対象海域は、商船の通航量や操業漁船数が多いため、操船者は複数の船舶の見合い関係から状況を判断し必要に応じて適切な避航操船を行う必要がある。自船の進行方向における他船(ターゲット)によって近い将来妨害される「相手船による妨害ゾーン(OZT)」¹⁴⁾が、自船から見て前方に存在する場合には、自船の操船行動に圧力をかける要素となり操船に困難を生じているとみなすことができる。そこで、一定以上の操船困難な状況になったケースを抽出しその発生場所の分布や発生回数を調査することで、東航船・西航船・漁船別の操船困難度を定量的に評価し、現状の交通流と推薦航路導入後のOZT発生回数の増減の変化から操船困難度を評価した。

(3) 航行距離による経済性評価

推薦航路により最も影響を大きく受けると考えられる神子元島北側を通り、東京湾方面へ向かう東航船の船舶の航跡をサンプリングし航行距離の変化量を比較した。また、各案について最短ルートと考えられる理論的な経路を航行した場合での航行距離を参考値として示した。

(4) 推薦航路の基線案の比較検討

表3に漁船と商船の遭遇が多い昼間(12時から14時)を対象とした評価の比較を示す。現状と推薦航路導入後を比較した結果、遭遇頻度およびOZT遭遇回数ともに基線案2が最も効果が高かった。また現状において、東西交通流中に存在する高場漁場と基線の延長線との位置関係を確認したところ、3案とも基線から離れたところに漁場が存在していた。そのため、高場漁場で操業し帰港する漁船は、現状では一度に東西両方向から接近する船舶に注意を向ける必要があったが、推薦航路導入後は東航船または西航船のいずれか一方に注意を向ける方向が限定される。航行距離については、3案とも現状よりも増加するがその変化量は微小であり経済的な影響は少ないと考える。

さらに、商船同士の遭遇が多い夜間(0時から2時)についても同様の評価を行い、総合的な評価結果から、案2の基線案を伊豆大島西方海域における推薦航路の基線案として提案した。

4 まとめ

海上交通流シミュレーションにより航行環境を定量評価する際の手順を体系化し、海上交通流シミュレーションシステムを構築した。さらに、海上保安庁の第3次交通ビジョン「船舶交通の安全・安心を目指した取組み」による準ふくそう海域における「AIS 仮想航路標識等を活用した安全対策の推進」の一環として、伊豆大島西方海域をモデル海域とした安全対策推進に参画し、推薦航路の基線案について客観的に設計、評価して最も効果が高い一案を選定するとともに、他の海域においても活用できる評価手法を確立した。

なお、今回は伊豆大島西方海域をモデル海域として評価を行ったが、例えば横切りの見合い関係が多い海域や曳き網漁などの漁船が低速で移動しながら操業する場合など、このモデル海域とは異なる状況であっても、本評価手法を応用することで他のさまざまな海域における安全対策の設計・評価が可能であると考えられる。

表3 評価結果の比較 (昼間: 12時から14時)

	現状	案1	案2	案3
全体傾向				
遭遇頻度	140.7	66.0 (47%)	56.2 (40%)	58.5 (42%)
OZT(両側) 遭遇回数	2,868	2,866 (100%)	2,499 (87%)	2,505 (87%)
OZT(右側) 遭遇回数	1,100	1,204 (109%)	1,026 (93%)	1,128 (103%)
G3-G4 間航行距離 [m]	65,397	65,577 (100.3%)	65,815 (100.6%)	65,873 (100.7%)
G3-G4 間の 理論的最短経路 [m]	65,477	65,554 (100.1%)	65,671 (100.3%)	65,685 (100.3%)
高場漁場				
延長線との離隔距離 [NM]		0.2	0.2	0.8
漁場通過 OD	Gate3→Gate5 Gate5→Gate3	Gate5→Gate3	Gate5→Gate3	Gate3→Gate5
高場漁場と漁港間経路				
商船との遭遇	両方向		場所によって東航船または西航船	

※回数は2時間×30日あたり、割合は現状比を示す。

謝 辞

海上保安庁交通部安全課(現 航行安全課)の方々および日本海難防止協会の皆様にお世話になりました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 海上保安庁「海難の現況と対策について(平成27年版)」, 2016.
<http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/h28/k20160316/k160316-2.pdf> (参照日 2016年10月30日)
- 2) 海上保安庁「資料1 海難状況等について 平成27年2月」, 2015. <http://www.mlit.go.jp/common/001081099.pdf> (参照日 2016年10月30日)

- 3) K. Hasegawa, J. Fukuto, R. Miyake, M. Yamazaki : An intelligent ship handling simulator with automatic collision avoidance function of target ships, Proc. of INSLC 17, 2012.
- 4) 公益社団法人 日本海難防止協会:伊豆大島西方海域における安全対策の構築に関する調査研究報告書, 2016.
- 5) 三宅里奈, 西崎ちひろ, 伊藤博子:伊豆大島西方海域における推薦航路設定のためのシミュレーションを用いた検討, 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所研究発表講演会, pp.132-141, 2016.
- 6) 石村恵以子, 伊藤博子, 工藤潤一, 森有司: AIS 情報を用いた沿海海域における船舶の遭遇頻度の推定 第3報 荒天が遭遇頻度に及ぼす影響, 日本船舶海洋工学会講演会論文集第 18 号, pp.279-280, 2014.
- 7) 公益社団法人 日本海難防止協会「海難多発海域における安全対策の構築に関する調査研究」, 2012.
- 8) 伊藤博子, 石村恵以子, 工藤潤一, 森有司: AIS 情報を用いた沿海海域における船舶の遭遇頻度の推定, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 16 号, 2013, pp. 309-312.
- 9) 工藤潤一, 伊藤博子, 森有司, 西崎ちひろ: AIS を用いた航行制限の影響の調査, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 17 号, 2013, pp. 187-190.
- 10) 伊藤博子, 石村恵以子, 工藤潤一, 森有司: 沿海海域における衝突海難と海上交通流の分析, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 18 号, pp. 447-450, 2014.
- 11) 河島園子, 伊藤博子, 木村新太: 交通流解析に基づく洋上発電設備への衝突危険性の検討, 日本航海学会講演予稿集, 第 4 巻 1 号, pp.58-61, 2016.
- 12) 藤井弥平, 巻島勉, 原潔: 海上交通工学, 海文堂, 1981.
- 13) 藤井弥平, 山内宏之, 水城南海男: 海上交通管制の基礎研究 - その 1 避航と衝突の確立について -, 電子航法研究所報告, pp. 1-16, 1970.
- 14) 今津隼馬: 衝突針路を使った OZT 算出方法, 日本航海学会誌 Navigation, pp. 78-81, 2014.