

TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

見張り作業における操船者の状況認識と見張り支援
に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2016-06-23 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 西崎, ちひろ メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1282

博士学位論文

見張り作業における操船者の状況認識と
見張り支援に関する研究

平成27年度
(2016年3月)

東京海洋大学大学院
海洋科学技術研究科
応用環境システム学専攻

西崎 ちひろ

目次

第 1 章	序論	1
1.1	海難の現状とヒューマンエラー	1
1.2	船舶運航におけるヒューマンエラーの研究 (先行研究)	2
1.3	研究目的及び概要	6
1.3.1	研究目的	6
1.3.2	研究の概要	6
第 2 章	事故防止対策の現状とヒューマンファクター	9
2.1	緒論	9
2.2	ヒューマンファクター及びヒューマンエラーの概念と分析方法の進化	9
2.2.1	本論文で扱うヒューマンエラー (操船者エラー) の定義	9
2.2.2	ヒューマンエラーの種類	10
2.2.3	ヒューマンファクターの定義とヒューマンエラーを考えるためのモデル	11
2.2.4	ヒューマンエラーの分析法の進化	13
2.3	各交通分野における人間のかかわり方	15
2.3.1	操縦・運転・操船する人間の特性 (職業人と非職業人)	15
2.3.2	自動化 (無人化・自律化) の程度	15
2.4	海難及び海難防止対策の現状	16
2.4.1	海難の定義	16
2.4.2	海難統計に基づく現状の分析	17
2.5	ヒューマンエラーの観点からの海難防止マネジメント	28
2.5.1	衝突海難において注目すべきヒューマンエラー (操船者のエラー)	28
2.5.2	海難防止マネジメント	29
2.6	結論	31
第 3 章	操船者の見張り作業におけるエラーモードと状況認識の特徴 ¹⁻³⁾	33

3.1	緒論	33
3.2	行動分析による操船者エラーの抽出と背後要因の検討	33
3.2.1	操船者の見張り作業におけるエラーモード	33
3.2.2	操船者の一般的な見張り作業の特徴及びエラーモードの分析方法	35
3.2.3	操船者の一般的な見張り作業の特徴及びエラーモードの分析手順	38
3.2.4	シミュレータ実験	39
3.2.5	行動分析結果	42
3.2.6	操船者エラー発生要因の検討	48
3.2.7	操船者エラー発生過程の検討	49
3.2.8	操船者エラー発生条件の検討	50
3.2.9	操船者の一般的な見張り作業の特徴と操船者エラー	51
3.3	SAGAT を用いた操船者の見張り作業における状況認識の分析	52
3.3.1	操船者の見張り作業における状況認識の計測方法	52
3.3.2	操船者の見張り作業における状況認識の特徴分析手順	53
3.3.3	SAGAT を用いたシミュレータ実験	54
3.3.4	操船者の状況認識の計測結果	58
3.3.5	操船者の状況認識の特徴	64
3.4	継続した見張りが必要な横切り船	69
3.5	結論	72
第 4 章	CREAM を用いた衝突海難事例分析及び衝突海難の背後要因の検討	75
4.1	緒論	75
4.2	CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method) ⁴⁾	75
4.2.1	概要	75
4.2.2	CREAM 分析の手順	76
4.3	海難に特化した CPC	78
4.4	海難に特化した CPC の依存関係	84
4.4.1	アンケート調査方法	84
4.4.2	調査結果	85
4.5	海難分析に特化した原因-結果リンク	88
4.6	CREAM を用いた衝突海難事例分析	90
4.6.1	衝突海難事例の分析 1 (貨物船 HARMONY WISH 貨物船しんかずりゅう)	90
4.6.2	衝突海難事例の分析 2 (貨物船 NORD POWERE 貨物船 HAI YING)	100

4.6.3	衝突海難事例の分析 3 (自動車専用船 CYGNUS ACE 多目的船 ORCHID PIA)	112
4.6.4	CREAM を用いた衝突海難事例分析の結果	119
4.7	結論	119
第 5 章	操船者の状況認識に着目した衝突海難対策の検討手法 ^{5,6)}	121
5.1	緒論	121
5.2	操船者の意思決定過程のイベントツリー表現による衝突海難対策の検討手法	121
5.3	衝突海難対策の検討手法の有効性の検証	124
5.3.1	シミュレータ実験	124
5.3.2	実験結果	126
5.3.3	操船者の意思決定過程のイベントツリー表示による分析	128
5.3.4	操船者の判断エラーの背後要因の検討	131
5.4	結論	131
第 6 章	見張り不十分が原因とされる衝突海難の対策 ^{7,8)}	133
6.1	緒論	133
6.2	操船者の判断エラー発生過程の検討	133
6.3	操船者の判断エラー (思い込み) を抑制するための対策の検討と評価	134
6.3.1	操船者の判断エラー (思い込み) を抑制するための対策の検討	134
6.3.2	シミュレータ実験	135
6.3.3	実験結果	137
6.3.4	避航判断パターンのモデル化による背後要因の検討	139
6.3.5	情報の事前提供による衝突海難抑制効果の検証	140
6.4	レーダを用いた情報の事前提供	141
6.4.1	レーダを用いた情報の事前提供方法	141
6.4.2	見張りが必要な物標の選定方法	142
6.4.3	レーダ画像から見張りが必要な物標の選定結果	144
6.4.4	現実的なレーダによる情報の事前提供方法の提案	151
6.5	結論	151
第 7 章	結論	153
謝辞		157
参考文献		159

第1章

序論

1.1 海難の現状とヒューマンエラー

旧海難審判庁の海難レポート及び海難審判所のレポート海難審判，海上保安庁の海難統計によると，海難件数は年々減少傾向にあるが，いまだに多くの海難が発生していることが分かる⁹⁻¹²⁾。また，海難の中で最も多いのは衝突海難であり⁹⁻¹²⁾，衝突海難は，人命や積荷へ大きなダメージを与える可能性が高いだけではなく，油の流出等，環境汚染に繋がる可能性も高い海難と言える。そこで，衝突海難を減らすための対策が望まれている。

一方，原子力発電所や医療現場をはじめ，航空機，鉄道，自動車，船舶等，様々な分野において，事故調査や事故分析が継続して行われている。その結果，これら人間の判断や操作を伴うシステムにおける主要な事故原因の一つは「ヒューマンエラー」である。船舶においても，多くの衝突海難の原因として，見張り不十分や操船不適切等の「ヒューマンエラー」が指摘されている。衝突海難の原因の79%はヒューマンエラー，つまり操船者のエラーである¹²⁾。ヒューマンエラーが原因とされる事故を減少させるためには，システムの完全自動化，もしくはヒューマンエラーの抑制が必要である。近年，航空機の自動操縦や自動車の自動運転等，完全自動化を目指した研究開発が進む交通システムが増加している。船舶においても，ヨーロッパを中心に自律航行船（無人化船）の研究が始まっている¹³⁻¹⁵⁾。しかし船舶は，船橋からの見張り作業に着目すると，周囲の環境情報や他船情報の電子化，情報収集方法の自動化は進んできているが，基本的には人間（操船者）の判断や操作が中心となって運航されている。つまり，船舶は航空機や鉄道，自動車等の他の交通分野に比べ，人間（操船者）の専門知識や高度な操船技術，また乗船経験に基づく操船者の行動が，より多く必要とされる交通分野である。人間の関わる部分が多い船舶の運航システムでは，機能の自動化への課題が多く，船舶の運航が完全に自動化（無人化）されるまでには，まだ長い年月がかかることが予想できる。したがって，現時点で衝突海難を減少させるためには，船舶運航におけるヒューマンエラー（操船者のエラー）を理解し，それらを抑制する対策を行う必要がある。

1.2 船舶運航におけるヒューマンエラーの研究 (先行研究)

船舶運航における操船者の見張り特性や操船者のエラー、避航行動や操船者のエラーが原因となった海難分析に関し、すでに多くの先行研究がなされている。

今津らは、海難原因の解明を目的として、ヒアリハット事例（ニアミス事例）について、アンケート及びヒアリング調査を行い、ニアミスを起こした多くのケースで、その時のワッチレベルでの対応が困難になっていたことと、ワッチレベルが高い場合でも、チームワーク不足で能力が十分に発揮されていないケースがあることを明らかにした^{16,17)}。村山、山崎らは、操船者が緊急な危機回避行動を要求されヒヤリとする状況を未然事故と定義し、調査票による発生状況を調査し、海難審判を受けた船舶数と比較することで、未然事故はハインリッヒの法則に近い割合で発生していることを示した¹⁸⁾。また、未然事故の調査結果と海難審判裁決録を用いて、両者の発生状況の類似性を示し、未然事故調査と同種の見張り調査を実施し、両者の事故に影響を与えた因子を抽出し比較検討する必要性を示した^{19,20)}。さらに、海難別に一次クロス集計により、海難状況別に特有の要因相互関係を抽出し、多重分割表分析により、二つの要因の関係へ第三の要因の関わり方を評価し、危険要因の関係を断ち切ることが海難防止には必要であることを示すと共に、行動形成因子（PSF : Performance Shaping Factor）に基づき、海難におけるインシデント調査の調査項目と評価項目（評価内容）を整理し、安全対策上重要な 95 因子を示した^{21,22)}。乾らは、目視とレーダ・ARPA（Automatic Radar Plotting Aids）から得られる他船情報の性質の違いに着目しシミュレータ実験を行い、視界制限状態における避航操船において、操船者に負荷を与える要因を明らかにした²³⁾。この様に、実際に事故が発生していない状況においても、ニアミスや未然事故が発生しており、それらに着目した研究が行われている。しかし、これらの研究はアンケート調査に基づくものが多く、ニアミスや未然事故が起こりやすい状況やその発生頻度、一部要因の指摘にとどまっており、それらが発生した過程や背後要因を辿る分析をしている事例は少ない。そこで、本論文の対象は、衝突海難を引き起こしたケースと共に、ニアミスや未然事故等の実際には衝突海難を起こしていないケースも含む船舶運航における操船者のエラーとし、それらが発生した過程や背後要因を示すとともに、安全対策の検討と提案を行う。

操船者の見張り特性に関する研究として、遠藤らは、避航操船に関する操船者の作業過程において、知覚と処理の過程の特性を明らかにするための操船シミュレータ実験と実船観測を行っている。昼夜の他船知覚状況を比較分析した結果、他船の変針を知覚できない「他船変針不感帯」が、夜間にかなり大きくなることを示し、昼間より夜間の操船が困難であるという操船者の一般的な認識に根拠を示した²⁴⁾。久保田らは、シミュレータを用いた認知実験により、航海情報を得る手段によって主観的な衝突のおそれや避航意思決定時間が変化することを示し、学生と航海士経験者の違いについても明らかにしている²⁵⁾。小林らは、操船シミュレータを用いて東京湾中ノ瀬航路入り口で発生した衝突海難事例を分析

し、その原因が操船者のエラーであることを示すと共に、航路航行義務という環境特性と操縦性能が間接原因であることを示した。また、海難の関係因子抽出と因子間関係を明らかにするにあたり、操船シミュレータを用いた調査が有効であるとしている²⁶⁾。西村らは、航行環境の変化に対する操船者の見張り特性として、視界制限状態や周囲の船舶数の増加により、見張りの範囲が狭められることと、自船から近い船舶に見張りが集中することで、見張りの範囲が狭められることを示している²⁷⁾。金湖らは、遭遇確率から衝突リスク削減効果を定量的に評価する手法を開発し、航行環境整備による衝突海難防止対策を提案している²⁸⁾。また、ブリッジチームによるシミュレータ実験の発話分析から、視程の低下や漁船群の存在する場合は、操船者は情報収集の頻度を上げることで、運航の安全を保つための現状把握を行っていることを示し、見張り作業限界を考慮した分析から人間の特性に合ったサポートシステムによる操船者の作業限界を超えない見張り当直環境の実現の必要性について言及している²⁹⁾。さらに、操船シミュレータを用いてランダムな交通流における操船者の発見から避航動作までの一連の作業を分析し、避航判断の遅れが発生する要因は、航行環境に存在する可能性を示し、避航判断の遅れによる衝突海難を防止する対策の具体例として、日本船長協会が推薦する分離通航方式の強制化を提案している³⁰⁾。これらの研究結果から、操船者の見張り特性やエラーの発生過程を分析するために、操船シミュレータの利用は有効であると考えられる。そこで、実船で計測することが難しい操船者の見張り特性やエラーの発生過程を分析する手段として操船シミュレータを活用したいと考える。

井上らは、水先人養成を目的としたシミュレータ訓練において、操船実務経験者と商船系学生の見張り作業の違いを示す有効な手法として、SAGAT(Situation Awareness Global Assessment Technique)³¹⁾を用いている³²⁾。SAGATは、実験後に実験中の状況についてヒアリング調査を行うのではなく、実験中にその場の状況に関する被験者の知識を調査する手法であり、実験後の記憶や感情に影響されない、実験中の状況認識を計測できる特徴がある。そこで、操船シミュレータ実験における操船者の行動分析とは別に、操船者の状況認識の詳細を分析するためには、SAGATが有効であると考えられる。

安藤らは、BTM(Bridge Resource Management)トレーニングの観察及び分析から船員のチーム作業をモデル化し、シミュレーションによるワークロードの評価から、ワークロードの増加に伴ってエラーモードが増加することを確認した³³⁾。内野らは、操船シミュレータを用いた被験者実験より、安全運航に必要なタスクの抽出することで、定量的に操船者のワークロードを推定している³⁴⁾。現状として、内航船は1名当直が主流となる中、操船者の見張り作業におけるワークロードの増加は避けることが難しい。つまり、操船者のワークロードを抑制するような対策が、今後さらに必要となると考えられる。また、遭遇する船舶数もワークロードが増加する一つの原因と考えることができる。そこで本論文では、複数の船舶に遭遇する状況において発生しやすい操船者エラーの指摘とその背後要因について指摘する。

また、小林らの研究結果で示す様に、海難事例を用いた操船シミュレータ実験の結果を分析することでその事例で発生した操船者エラーやその背後要因を指摘することは可能である。一方、導入コストを

考慮すると、発生した全ての操船者エラーの背後要因に対策をとることは不可能であり、効率の良い衝突海難対策を選択する必要がある。しかし抽出した操船者のエラーの発生過程において、効率の良い衝突海難対策を選択する手法は、まだ確立されていないのが現状である。そこで本論文では、海難事例を用いた操船シミュレータ実験の結果から、抽出した操船者エラーの発生過程を分析し、効率の良い衝突海難対策を選択・提案する手法を構築し、提案する。

さらに、西村らが提案している分離通航方式の強制化や金湖が提案する航行環境整備等、自船周囲の地形等の環境の面から海難の防止策をとることで、それらの対策が多くの船舶に適用され、大きな効果を期待できると考えられるが、海上交通に関わる法律の改正や、変更されたルールが操船者に浸透するまでのリスクは高いとが予想される。一方、周囲の環境や自身の経験等で変化する操船者側の意識を改善する等、操船者（人間）側の視点から海難防止対策を検討することも可能であると考えらる。操船シミュレータ実験では、実船では難しい操船者の意識を意図的にコントロールする条件を組み込むことがも可能であり、自船周囲の環境とは別の、操船者側で取ることができる対策を視野に、研究に取り組むこととする。

小林らは、船舶の運動の次元を二次元、運動形態を速力制御及び方向制御とし、船舶操縦の特性と人間の操作エラーの関係を分析し、移動体の速応性（追従性）と人間の操作エラーの関係式を示している³⁵⁾。また小林は、狭水道航行の際、情報提供の方法が操船者の負担、また操船の精度に影響することを示し、操船者に有効な情報提供方法の検討を行っている³⁶⁾。情報提供の方法として有用であるとしている、自船の運動ベクトル表示や航跡表示機能、地形情報と自船位置情報の同一画面表示機能は、現在、すでにレーダやECDIS(Electronic Chart Display and Information System)に組み込まれおり、研究当初に比べ情報収集における操船者エラーは抑制されていると考えられるが、一方で、操船者エラーが指摘されている衝突海難は、まだ多数発生しているのが現状である。したがって、操船者エラーを抑制するための新たな情報提供の方法を検討する必要がある。

長畑は、航路における避航航跡をレーダフィルムから分析し、交通量が多い海域において、操船者の距離感は一般的に近距離では過少に目測し、遠距離では過大視しやすい等の見張り特性を示した³⁷⁾。八田は、実船における被験者 3 名の調査から、避航開始時期は自身の経験に基づいて決まっていることを示し³⁸⁾、瀧らは、学生や水先人を含む操船実務経験者計 104 名のアンケート調査結果を用いて、保持船の動作判断時期の特徴を示した。分析結果では、実務経験にともなって避航判断時機が遅くなることや、実務経験と共に自己技能評価が上がることを示されている^{38,39)}。また瀧らは、アンケート調査に基づき船型の経験が避航判断時機だけではなく、避航判断の内容が異なることを示している⁴⁰⁾。これらの研究より、レーダフィルムの分析やアンケート調査により、操船者の見張り特性が把握できることが分かる。しかし、レーダフィルムの分析では実際の操船意図を読み取ることが難しく、アンケート調査は、あくまで記憶に基づく結果であるため、実際に操船する場合とは操船者の見張り傾向が異なる可能性がある。そこで本論文では、操船者の見張り傾向を把握し、操船者エラーを抑制するために有効な情報提

供を検討・提案するにあたり、実験直後等、可能な限り操船者へ直接ヒアリング調査を行うこととした。

海難の事例分析に基づく研究として、山崎は、海難審判庁裁決録において「見張り不十分」を主要因と記載されている衝突海難のみを対象とした事例分析を行い、漁船と貨物船別の見張り不十分となった理由等、衝突海難の実態を示した⁴¹⁾。福地らは、人間-機械システムの安全設計を目標とし、海難審判庁の海難データをFTA(Fault Tree Analysis)を行っている。船舶の様に外部環境からの影響が大きい人間-機械システムにおいては、緊張ストレスの程度を考慮した事故防止対策が必要であること、また、緊張ストレスと同様の傾向を示す環境ストレス値⁴²⁾をシステムの設計に用いることが可能であるとしている⁴³⁾。さらに、緊張ストレス環境下において、衝突海難に至る状態遷移を分析することで、とるべき対策の抽出手法を提案しており、操船者の「判断」段階の支援が効果的であることを示した⁴⁴⁾。篠田らは、海難審判庁裁決録を基にVTA(Variation Tree Analysis)を用いた海難事例分析を行い、衝突海難データベースを構築した。また、IMO(International Maritime Organization)で承認されたFSA(Formal Safety Assessment)⁴⁵⁾に関するガイドラインに沿って、衝突海難リスク解析を行っている。事故発生確率の算出には、Event Tree Analysis(ETA)を用いており、リスクを削減するための対策、つまりRisk Control Option(RCO)の検討までを行っている⁴⁶⁾。さらに、リスクを削減するための対策の有効性の評価として、ベイジアンネットワークを用いた手法を提案し、漁船と大型船の衝突海難事例に応用した結果、漁業従事者のアンケート調査から得た支払い意思額程度の安全対策であれば、漁船側に受け入れの可能性が高いことが示されている⁴⁷⁾。竹本らは、Fault Tree (FT)を用いて船舶と橋との衝突海難を分析し、船舶が橋に衝突するプロセスから、衝突発生に関連する重要な要素の組み合わせを示した。また、ヒューマンエラーの発生過程⁴⁸⁾から、大きく5つに分かれる衝突海難の分類法を提案し、その分類に基づく事故分析の有用性を示した⁴⁹⁾。さらに、分類に基づき海難審判庁裁決録に記載された190隻の衝突海難事例を分析し、操船者の情報処理過程における5つのエラーの発生過程の特徴を示すと共に、数量化Ⅲ類を用いて操船者のエラーと衝突海難の相関を、カテゴリープロット及びスコアで表現している^{50,51)}。これらの研究から、衝突海難事例の分析により、その発生傾向を把握することが可能であることが分かり、発生頻度の高い操船者エラーやその背後要因の一部を示すことが可能であると考えられる。そこで本論文では、安全対策を検討する上で必要となる操船者エラーの一般的な背後要因のリストアップに海難事例を用いる。

1.3 研究目的及び概要

1.3.1 研究目的

本論文は、海難はあくまで最終的な結果であり、海難の主要な原因として指摘される操船者のエラーは海難の背後要因の一つ過ぎず、操船者エラー背後には様々な要因があるという視点から、船舶運航における操船者の一般的な状況認識の特徴を示すことを目的とする。さらに、それらの特徴に基づき、見張り不十分が原因として指摘される衝突海難を減らすための効果的な対策を提案することを目的とする。

1.3.2 研究の概要

本論文では、まず衝突海難事例からその傾向を分析し、かつ船舶運航における人間の関わり方や自動化の度を整理することで、衝突海難対策を検討するためには、操船者の状況認識に着目することの必要性について示した。次に、操船者の一般的な状況認識の特徴を明らかにするために、操船実務経験者を被験者とした操船シミュレータ実験を行い、操船者の行動分析と SAGAT (Situation Awareness Global Assessment Technique)³¹⁾ を用いた状況認識の分析を行った。また、人間信頼性解析手法である CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method)⁴⁾ を用いて、衝突海難事例を分析する過程において、見張り作業における操船者エラーの背後要因を整理した。さらに、操船者の状況認識を含む意思決定過程をイベントツリー表示し、重要度評価手法を適用する、衝突海難対策の検討法を提案した。提案した手法を用いて衝突海難事例を分析した結果と、操船者の一般的な状況認識の特徴を用いて、見張り不十分が原因とされる衝突海難の具体的な対策を提案した。本論文の構成は以下の通りである。

第 1 章は、本論文の大目標、操船者エラーの考え方を初めとした本論文の視点、また、衝突海難における操船者のエラーに着目した先行研究について統括的に述べるとともに、本論文の意義及び目的を述べた。

第 2 章は、衝突海難事例の分析と、船舶運航における人間の関わり方や自動化の程度について調査し、衝突海難の発生傾向等から、現在最も対策をとるべき船舶運航における操船者エラーとして、操船者の状況認識におけるエラーを指摘した。

第 3 章は、操船者の一般的な見張り作業やその特徴を明らかにするため、操船シミュレータを用いた操船者の行動分析及び SAGAT を用いた状況認識の分析を行った。また、操船者の一般的な状況認識モデルを作成し、想定される背後要因の検討を行った。

第 4 章は、見張り不十分が原因とされる衝突海難対策の検討に先立ち、人間信頼性解析手法である CREAM を用いて衝突海難事例を分析し、その過程において操船者エラーの背後要因を整理した。

第5章は、効率的な衝突海難対策を提案することを目的に、操船者の状況認識を含む意思決定過程をイベントツリー表示し、重要度評価手法を適用する衝突海難対策の検討手法を提案した。また、提案した検討手法を用いて、衝突海難事例を分析し、手法の有効性を示した。

第6章では、第3章で明らかとした操船者の一般的な状況認識の特徴と、第4章で整理した操船者エラーの背後要因に基づき、第5章で提案した検討手法と衝突海難事例を分析した結果を用いて、現実面と効率面の両面から具体的な衝突海難対策を検討し、提案を行った。

第7章は、本研究で得られた成果を統括するとともに、提案した衝突海難の対策を行うための今後の課題を述べた。

第2章

事故防止対策の現状とヒューマンファクター

2.1 緒論

原子力発電所や医療現場をはじめ、航空機、鉄道、自動車、船舶、各交通分野において、事故調査や事故分析が継続して行われている。これら人間の判断や操作を伴うシステムにおける主要な事故原因として「ヒューマンエラー」が指摘されており、船舶においてもその例外ではなく、多くの衝突海難の原因として、見張り不十分や操船不適切等の操船者のエラーが指摘されている。本章では、航空機、鉄道、自動車、船舶、各交通分野における事故調査の現状と、各分野における自動化の程度等を整理し、船舶の運航における操船者の関わり方と事件事例分析から分かる操船者エラーの特徴を把握する。また、海難の発生状況とヒューマンファクターの視点からの現状の海難対策について調査を行い、船舶の運航における操船者エラーを抑制するための視点について整理する。さらに、過去の事故調査で指摘される原因を調査し、発生頻度が高く、事故による人的被害や環境影響が大きい衝突海難の発生傾向から、現在最も対策をとるべき船舶運航における操船者のヒューマンエラー（操船者エラー）を指摘する。

2.2 ヒューマンファクター及びヒューマンエラーの概念と分析方法の進化

2.2.1 本論文で扱うヒューマンエラー（操船者エラー）の定義

ヒューマンエラーは様々な定義がされているが、Meister(1971)はヒューマンエラーを「システムから要求されたパフォーマンスからの逸脱」と定義し、Swain(1980)は「システムによって定義された許容限界を超えないことと実際の行動の差」をヒューマンエラーと定義している。また芳賀は、ヒューマンエラーとは「ヒューマン・マシン・システムのパフォーマンスを阻害し、事故やトラブルを引き起こ

す人間の決定、行動であり、通常はシステムの中で働く人が、意図せずにおかしてしまう失敗を指す」としている。また、違反や不安全行動のような意図的に行われる行動でも、本人が意図しない事故やトラブルの原因となるため、ヒューマンエラーに含まれる可能性があることを説明している⁵²⁾。第 1 章では、操船者の引き起こすヒューマンエラーを「操船者エラー」として漠然と表現してきたが、操船者が船舶運航において要求される判断や行動と、実際に実施したことの差を、本論文における「操船者エラー」と定義する。

2.2.2 ヒューマンエラーの種類

ヒューマンエラーによって起こる事故の原因やその背後要因を明らかにするにあたり、ヒューマンエラーの分類が提案されている。

(1) Swain の分類⁵³⁾

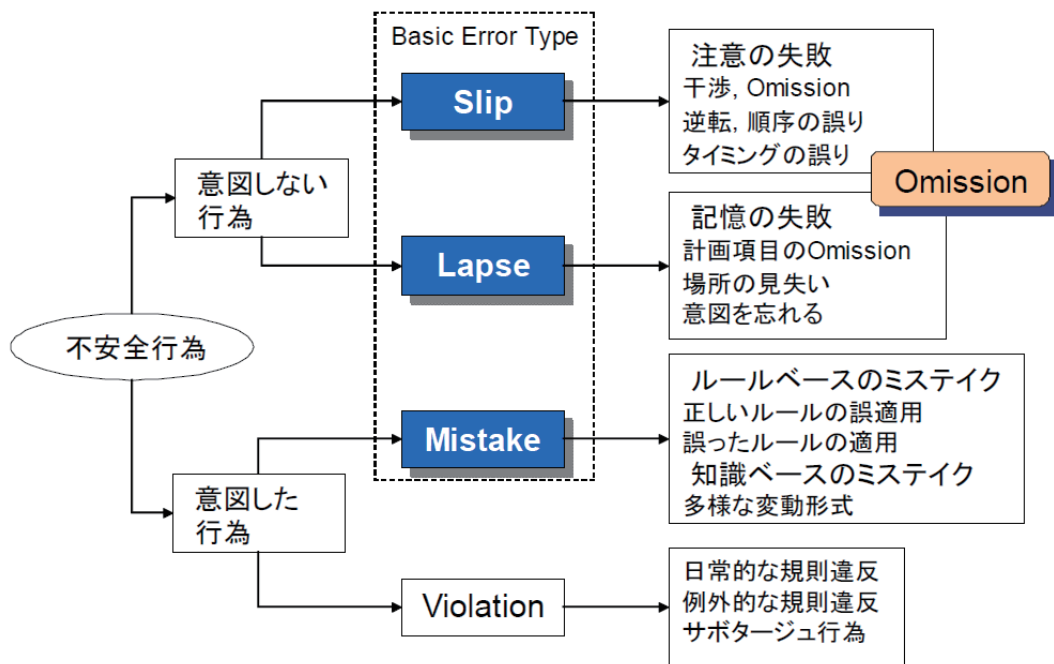
A. D. Swain は、原子力プラントの制御室のオペレーターのヒューマンファクターを分析する目的で、下記に示す行動の類型による分類を提案した。

- Omission Error : 必要なタスクやタスクのステップを行わなかった (省略)
- Commission Error : タスクは行っているが、違うことをした (やり間違い)
- Extraneous Act : 本来やるべきではないタスクや行為を、タスクの中に挿入している (余計な行為)
- Sequential Error : タスク遂行の順序が違う (順番間違い)
- Time Error : 行うべきタスクは実施しているが、行うタイミングが早すぎる、もしくは遅すぎる (不適切なタイミング)

操船者の見張り作業では、定期的に他船の情報収集を行うことが求められるが、書類作業等、他の作業を行っており、しばらく周囲の監視というタスクを行わなかった場合は、Omission Error が起こったと考えることができ、衝突を避けるために変針を行う際、逆の方向へ舵を切ってしまった場合は、Commission Error が起こったと考えることができる。

(2) Reason の分類⁵⁴⁾

Reason は、人間の不安全行動を、意図した場合と意図していない場合に分けた分類を提案した (図 2.1)。基本エラーのタイプは、スリップ、ラプス、ミステイクの 3 つが考えられており、スリップは、見間違いや思い違い、思い込み等の錯誤のこと、ラプスは、タスクを失念 (し忘れ) てしまうこと、ミステイクは、意図した行為自体が間違っていることである。また、規則違反や規定違反は Violation である。

図 2.1: Reason の不安全行為の分類⁵⁴⁾

2.2.3 ヒューマンファクターの定義とヒューマンエラーを考えるためのモデル

システムの種類やシステムを取り巻く人間の立ち位置によって、ヒューマンファクターの示す範囲は変化する可能性があるが、Edwards(1985)は、ヒューマンファクターは、「人間科学を体系的に利用することで、システム・エンジニアリングの枠内で統合して、人間とその活動の関係を最適なものにすること」と定義している⁵⁵⁾。また Hawkins は、ヒューマンファクターとは「人間と機械、装置との関係、その処理との関係、その環境との関係に関するもの」と定義している⁵⁶⁾。黒田は、ヒューマンファクターとは「機械やシステム等からなるシステムを安全に、しかも有効に機能させるために必要とされる、人間の能力や限界、特性などに関する知識の集合体」と定義している⁵⁷⁾。この様に、ヒューマンファクターとは人間をシステムに含まれる一つの要素と捉え、システムが安全でかつ効率よく動く際に必要とされる人間の要因である。

A. D. Swain は、ヒューマンエラーの原因究明と対策立案のためには、人間の行動がどのような要素とその組み合わせで構成されているかを考慮すべきとしヒューマンエラーの主要要因の全てを合わせて、「行動形成因子 (PSF: performance shaping factor)」と定義している⁵³⁾。ヒューマンエラーの主要要因は、一般的に SHELL モデルや 4M (又は 5 M) として表現することができる⁵⁵⁾。これらのモデルは、ヒューマンエラーの原因究明や対策の立案において、エラーを起こした「人間」だけを考えるはならないことを示している。つまり、ヒューマンファクターの定義にもある様に、人間をシステムに含ま

れる一つの要素と捉えたアプローチが必要である。

(1) 4M (5M)⁵⁵⁾

ヒューマンエラーの要因、つまりヒューマンエラーを防止するための対策の訴求先として、4M というモデルがあり、下記の 4 つの要素から構成される。

- Man 作業者本人，作業指示や命令を行う上司や，作業を一緒に行う同僚等，人的な要素
- Machine 作業に使われる道具，機器や設備等，ハード的な要素
- Media 照明や騒音，温度や湿度等の物理的環境要素，手順等の情報環境や同僚等の人間環境など，様々な環境要素
- Management 使役条件，精度や管理体制等，管理的な要素

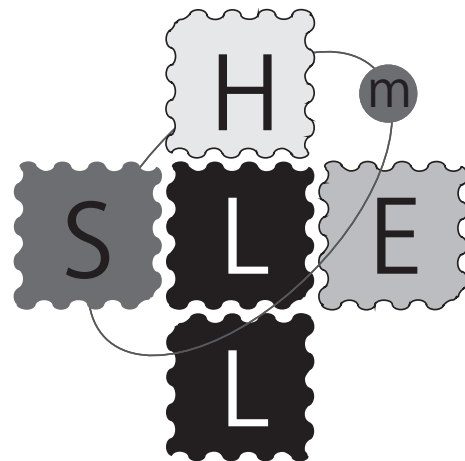
4 つの要素の他に，作業目的や目標に関する要素（Mission）を付加してものが 5M と呼ばれる。

(2) SHELL モデル⁵⁸⁾

ヒューマンファクターを考えるための一般的なモデルとして、Edward が提案した基本モデルを基に Hawkins が改良した SHEL モデルがある。Hawkins の SHEL モデルは航空機パイロットのヒューマンエラーを説明するために使用されてきたもので、4M や 5M と同様に下記に示す 4 つの要素で構成され、L (Liveware) を中心に、それぞれの要素が影響し合うことが表現されている (図 2.2)。

- S (Software) 作業手順や作業指示の内容，それらが記載されている手順書や作業指示書，作業指示の出し方や教育訓練法等，ソフトに関わる要素
- H (Hardware) 作業に使われる道具，機器や設備等，ハード的な要素
- E (Environment) 証明や騒音，温度や湿度，作業空間の広さ等，作業環境に関わる要素
- L (Liveware) 作業指示や命令を行う上司や，作業を一緒に行う同僚等，人的な要素

SHEL の全体を把握し、それらの関係のバランスを保つためには、マネジメントが必要であり、東京電力のヒューマンファクターグループでは、SHEL モデルに m を付加した m-SHEL モデルを提案している (図 2.3)⁵⁹⁾。伊藤らは、船舶運航の取り巻く環境を、ホーキンスの提案する m-SHEL モデルで分析し、アンケート調査結果を基に、操船者が安全運航に必要と考える事項の系統的分類を行っている⁶⁰⁾。m-SHEL モデルとは、人間の取り巻く環境を説明するモデルの一つであり、様々な産業分野のヒューマンファクター分析に利用されている。船舶運航を取り巻く環境は、船橋内に留まることなく、外部の船舶や陸上からのサポート等、とても広い範囲を網羅した分析が必要であり、広い範囲を網羅した操船者エラーの背後要因を整理して事前把握しておく必要性がある。

図 2.2: SHEL モデル⁵⁸⁾図 2.3: mSHEL モデル⁵⁹⁾

2.2.4 ヒューマンエラーの分析法の進化

古田は、交通分野をはじめとする様々な分野でヒューマンファクターが注目される理由について、システムの複雑化とそれにとまなう安全問題の変化を図 2.4 で説明している⁶¹⁾。システムが複雑ではなかった時代には、技術的な欠陥が問題であったため、事故防止対策は技術的なもので対応が可能であったが、システムが複雑になるにしたがって、人間つまりヒューマンエラーによる事故が増加し、個人が原因として指摘された。この段階では、会社での教育訓練や、従業員の選抜等で事故を防止する対策が取られていた。次に注目されたのは、社会と技術の相互作用であり、ヒューマンエラーや技術的な問題が発生した場合にそれらが所属する組織内で関係のある人間や、その組織の管理・技術等との相互関係から発生する事故が目立つようになった。さらに組織の内部だけではなく、外部の関係者との関係不全についても事故を引き起こす問題の一つとして目立つようになり、現在はそれら広範囲わたる事故対策が求められていることが分かる。

この様に、古典的なヒューマンファクター分析では、発生したヒューマンエラーに着目し、あくまでエラーを起こした人間が問題視される傾向にあった。しかし、ヒューマンエラーの分析が進み、各分野の事件事例の蓄積から事例分析が行えるようになり、人間をコンピュータと同様の情報処理システムとして捉えるようになり、現在は、人間及び人間と関わりのある機械を合わせて一つのシステムと考え、発生したエラーはあくまで最終的な結果と捉える考え方に変化している (図 2.5)。

操船者エラーの詳細を分析するためには、操船者を船舶運航における情報処理システムの一つとして捉えることは有効であると考えられる。しかし、海難防止対策の提案に結びつけるためには、発生した操船者エラーの分析はもちろん、操船者が所属する組織 (船内、所属企業等)、操船者が関わる外部組織 (交通管制や港湾関係者等)、操船者が関わる技術も考慮した上で、分析を行う必要がある。したがって、

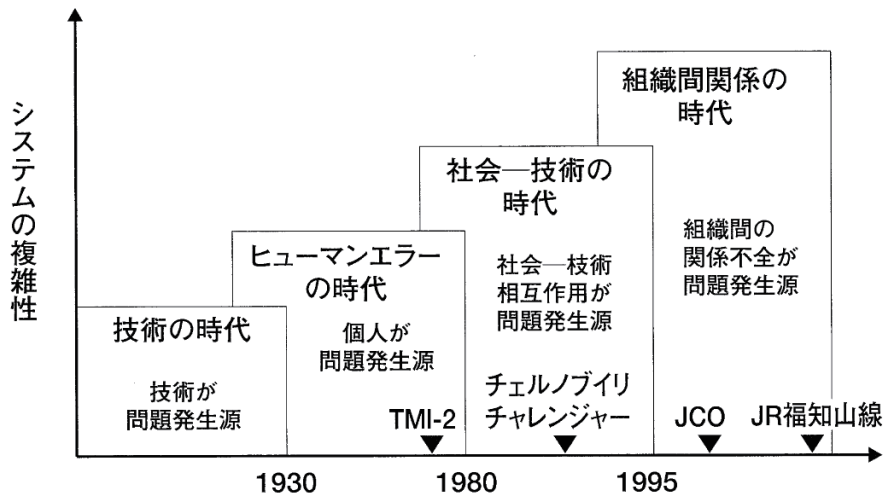


図 2.4: ヒューマンエラーの概念と分析方法の進化 ⁶¹⁾

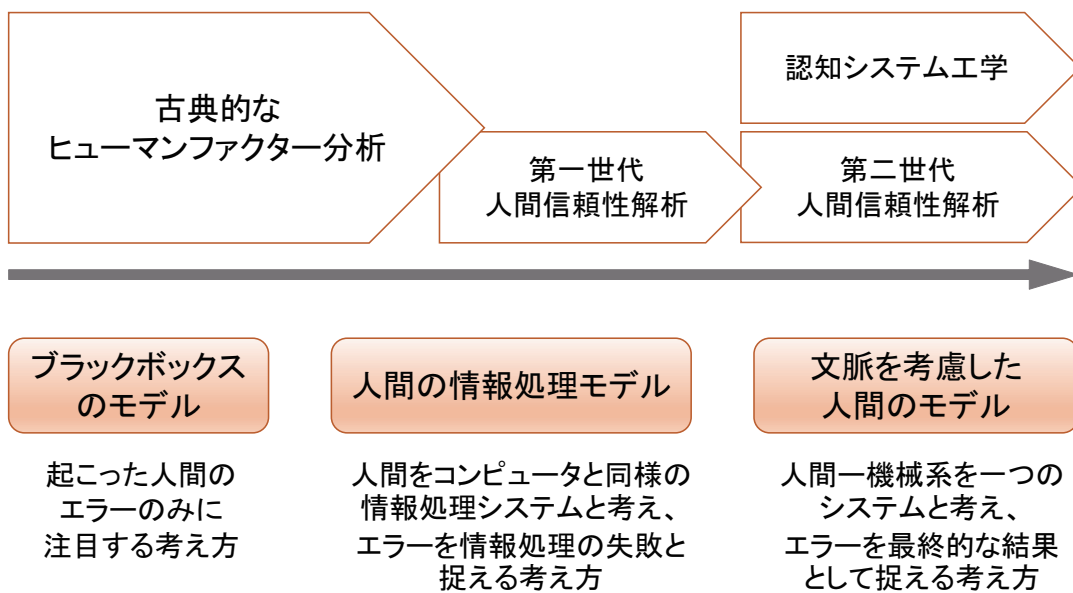


図 2.5: ヒューマンエラーの概念と分析方法の進化

本論文では操船者に着目する場合（第 3 章）と、操船者と操船者に関わる組織全体に着目する場合（第 4 章）に分析を分けて行うこととする。

2.3 各交通分野における人間のかかわり方

2.3.1 操縦・運転・操船する人間の特徴（職業人と非職業人）

交通機関を運転する人間を、運転を職業としている「職業人」とそれ以外の「非職業人」の2種類に分類すると、鉄道はほぼ100%職業人が運転しており、航空機では、大型の航空機はもちろん、自家用の小型飛行機であっても、一定の訓練を受けたパイロット（職業人）が操縦する場合もあるが一般的であり、事故による被害の大きさから考えても、職業人（パイロット）による事故に注目する必要がある。一方、タクシーやバス等を除く自動車の大半は、非職業人（ドライバー）による運転がされており、交通事故の大半は非職業人の関わるものである⁶²⁾。船舶は職業人（海技士）と非職業人（小型船操縦士等）の操縦が混在し、特に沿岸海域や湾内では、小型漁船やプレジャーボート等、非職業人が操縦に関わる場合が多い。ただし、航空機と同様、船舶においても、事故による被害の大きさを考えると、職業人（海技士）の関わる事故に、まず着目する必要がある。

2.3.2 自動化（無人化・自律化）の程度

航空機、鉄道、自動車及び船舶では、人間（操縦士や操船者等）の判断や操作が必要とされる範囲やその割合が異なる。航空機ではトラブルのない限り、通常飛行時は、ほぼシステムの自動化がなされており、離陸・着陸時のみパイロットの判断に基づく操縦や、パイロットと管制官との協力作業が必要となる。近年は、パイロットの操縦負担より、離発着数の増加による航空管制官の負担が問題視され、ASAS(Aircraft Surveillance Applications System)等、航空機の安全間隔の維持をパイロット側に持たせる研究も行われている⁶³⁾。衝突事故を考えた場合、他の交通分野と大きく異なるのは、他の航空機との接近を避ける方法として、高度方向への避航が可能である点である。また、移動速度が速いため、パイロットが避航判断をするまでの時間が短く、より遠方からの監視が必要とされる点である。

鉄道は線路に沿って運行するため、車掌は主に速度のコントロールと停車・発車の操作を行っている。例外的に線路内の障害物に遭遇する可能性もあるが、基本的には信号や鉄道のタイムスケジュールに沿うための運行の判断が求められる。近年は、一部区間で速度超過を検知するセンサが取り付けられ、自動で速度制限される機能等が追加されているだけでなく、モノレールであるゆりかもめは、完全に車掌が乗っていない自律運行（無人運行）がされている⁶⁴⁾。

自動車は、航空機や船舶と異なり、道路や信号によって走るべき道が明らかであり、非職業人であっても簡単な判断や操作で運転することが可能である。そのため非職業人による運転割合が多く⁶⁵⁾、他の交通分野に比べ事故数も多い⁶²⁾。近年、自動ブレーキ機能の搭載が増え、近い将来、自動運転する自動車が公道を走る可能性が高い。

船舶の運航は航空機同様に、気象海象等の自然環境に直接対峙しており、大きな影響を受ける交通分野であると言える。船舶の運航も、情報収集方法等、徐々に電子化が進んでいるが、基本的に人間（操船者）の見張りに基づく操船判断に従って行われているのが大きな特徴である。つまり、操船者の専門知識や高度な操船技術、また乗船経験に基づく操船者の判断や操作がより多く必要とされる交通分野であると言える。海外を中心に、日本においても自律船に関わる検討が始まっているが、人間の関わる部分が多い船舶運航では、様々な機能の自動化への課題が多く、自律船が運航されるまでには、まだ長い時間を要すると考えられる。船舶は、沿岸や湾内に設置された航路や水深を考慮して運航する場合と、航路等が設定されず、他船や障害物だけに注意を払って運航する場合があるが、他の交通分野に比べ、航行速度が遅く、他船との接近時間に余裕がある場合が多い。また、船舶は航空機と同様、海上交通センターから航行指示を受ける場合があるが、船舶管制官の主な発言は、あくまで「アドバイス」の立場であり、最終的な操船判断は操船者に委ねられる。つまり、船上で操船者（人間）が判断すべき事項が、他の交通分に比べ多いと考えられる。

2.4 海難及び海難防止対策の現状

2.4.1 海難の定義

「海難」とは、船舶に関して発生する事故の総称であり、各種法令や統計上の用語として使用されているが、海難審判法第二条では、「海難の発生」を次のように定義している⁶⁶⁾。

- (1) 船舶に損傷を生じたとき、又は船舶の運用に関連して船舶以外の施設に損傷を生じたとき
- (2) 船舶の構造、設備又は運用に関連して人に死傷を生じたとき
- (3) 船舶の安全又は運航が阻害されたとき

海難審判所は、海難が海技士若しくは小型船舶操縦士又は水先人の濃い又は過失によって発生したものである場合に、調査及び裁決をもって懲戒処分を行う組織である（海難審判法第八条）。一方、運輸安全委員会は、海難に限らず、航空、鉄道及び船舶の事故及び重大インシデントが発生した原因や、事故による被害の原因を探求するための調査を行う組織であり、事故等の調査結果を用いて事故及インシデントの防止のため施策や措置について、関係者等へ勧告・意見を伝えている。重大インシデントとは、事故が発生する恐れがあると認められる事態と定義されている⁶⁷⁾。

海上保安庁は「要救助海難」を「海上において下記の事態が生じた場合で、事態発生当時の救助を必要としたと認められるもの」として下記を定義し、年に1回、救難統計を発表している⁶⁸⁾。

- (1) 船舶の衝突、乗揚げ、火災、爆発、浸水、転覆、行方不明
- (2) 船舶の機関、推進器、舵の損傷、その他船舶の損傷

(3) 船舶の安全が阻害された事態

また海上保安庁は、海上の安全及び治安の確保を図るため、運輸安全委員会及び海難審判書の行うものを除く海難の調査に関する事務を行うことになっており（海上保安長法第5条）、初動調査の際、海上保安庁が現場の保存を行うこともある⁶⁹⁾。

2.4.2 海難統計に基づく現状の分析

(1) 海難審判庁及び海難審判所の統計

海難審判所（旧海難審判庁）では、船舶の大小や用途、航行海域や船籍、に関わらず、水上輸送に用いる船舶を全て「船舶」として定義し、年1回、それらの海難の統計を発表している。「船舶」には推進機関の有無は問われないが、サーフボードや水上スキー等、レジャーに使用されるものは「船舶」とみなさないこととしている。「認知海難」とは、海難審判所もしくは地方海難審判所の理事官が、関係行政機関からの報告や新聞・テレビの報道等で、海難の発生を認知した海難である。現在、海難審判所もしくは地方海難審判所の理事官は、海難の発生を認知した際、直ちに事実関係の調査を開始すると共に、その海難が海技士等の職務上の故意又は過失によって発生したと認めた場合、これを事件として詳細な調査を行っている。つまり、「立件海難」とは認知海難の中で、理事官がさらに調査を行うことを決め、詳細な調査を行った海難である。平成19年以前の旧海難審判庁統計では「認知海難」数を、平成20年以降の海難審判所の統計では「立件海難」数を集計している。

平成25年中に発生し、理事官が立件した海難（立件海難）は、1,001件1,362隻であり、調査の結果、海難が海技士等の職務上の故意又は過失によって発生したものであると認め、事件を管轄する海難審判所又は地方海難審判所に審判開始の申し立てが行われたのは、305件424隻であった。以後、理事官が申し立てを行った海難を「申立海難」と呼ぶ。

平成10年から平成19年までの、認知海難隻数の船種別の推移を図2.6に示す。図2.6より、平成10年には8,144隻あった認知海難隻数は、徐々に減少し、平成19年には5,158隻と、平成10年と比較して約3分の2の隻数へ減少していることが分かる。中でも、貨物船による立件海難隻数は最も減少率が高く、平成10年に3,100隻であったが、平成19年は1,827隻まで減少している。

平成20年から平成25年までの、立件海難隻数の船種別の推移を図2.7に示す。図2.7より、平成20年には2,915隻あった立件海難隻数は、徐々に減少し、平成25年には1,362隻へ減少していることが分かる。

一方、我が国全体の船舶隻数の減少を続けており、単純に海難が減少したと捉えることはできない。例えば、国土交通省の2014年海事レポート⁷⁰⁾によると、日本周辺に多数航行している内航船の隻数は、平成10年から平成23年にかけて、ゆるやかに減少しており、15年間で2,523隻減少

していることが分かる（図 2.8）。また、農林水産省の水産白書⁷¹⁻⁷⁴より、漁港に登録がされている動力漁船隻数の推移を調査した結果、内航船と比較しても漁船隻数の減少率は大きく、13 年間で 76,630 隻減少していることが分かる（図 2.9）。海難審判所や旧海難審判庁の統計には外航船の海難も含まれているが、統計には内航船及び漁船の船舶数の減少にともなう海難数の減少が含まれており、実際の海難数は大幅には減少していないと考えることができる。

図 2.6 より、平成 19 年まで貨物船による海難が最も多く、次いでその他の船舶、漁船の順番で多く発生していることがわかる。また、図 2.6 より、平成 20 年は貨物船による海難が最も多く立件され、次いでその他の船舶、漁船の順番で立件数が多かったが、平成 21 年以降は、貨物船と漁船による海難の立件数が逆転していることが分かる。平成 25 年の立件海難隻数は、貨物船 216 隻に対し、漁船 462 隻となっている。この様に、平成 20 年以降の理事官の立件海難隻数からは、漁船による海難防止対策から検討をする必要があると考えられるが、先に述べたような実際の海難数の減少幅も考慮し、かつ人的被害や積荷の被害、環境影響等、海難が起こった後の様々な影響を考慮すると、貨物船やタンカー、旅客船に対する海難の対策も平行して検討をする必要があると考えられる。

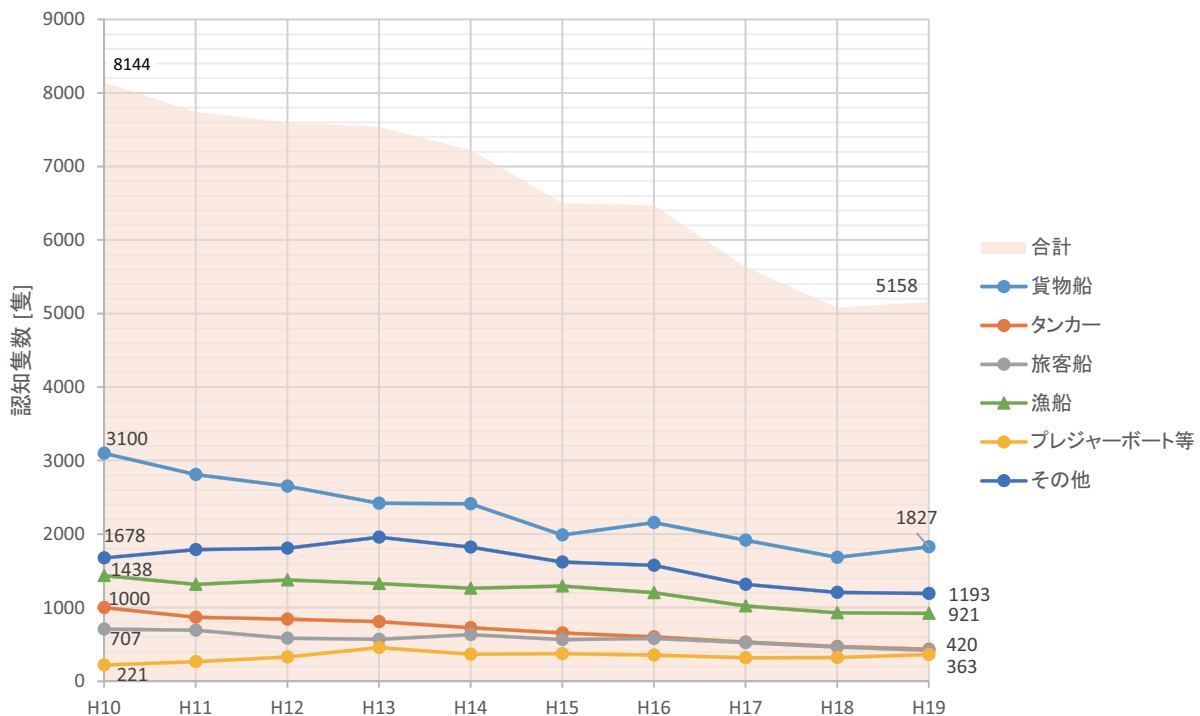


図 2.6: 船種別、認知海難隻数の推移 (H10～H19)

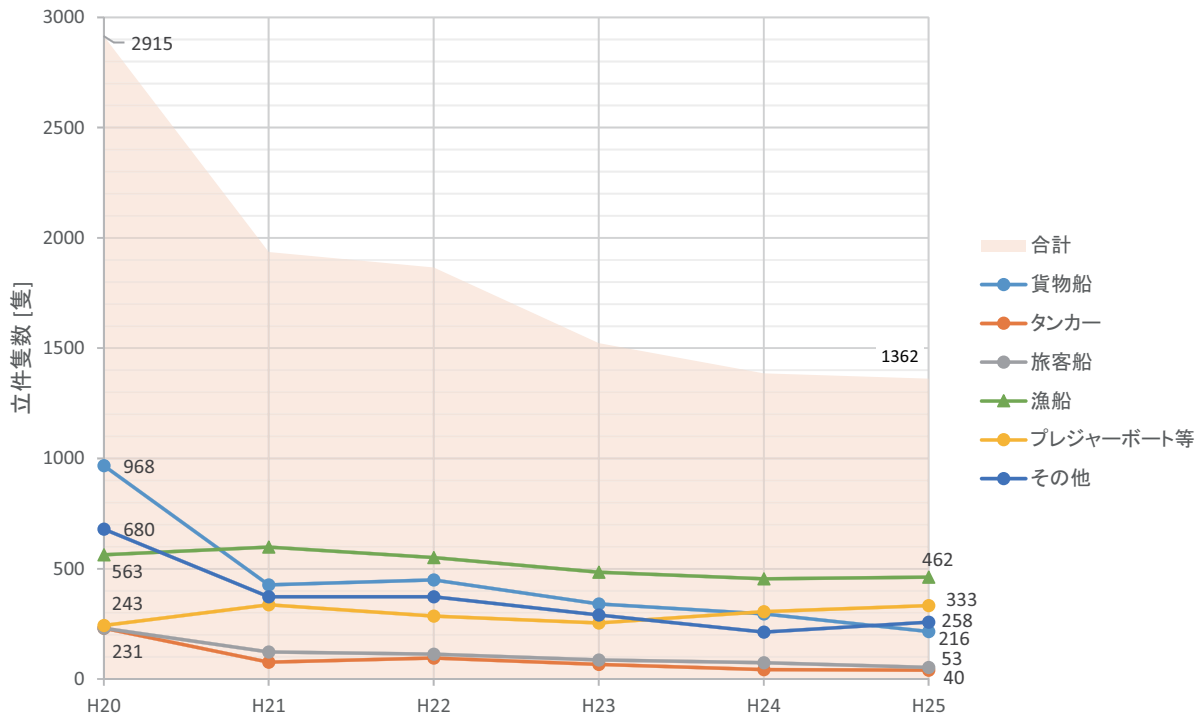


図 2.7: 船種別，立件海難隻数の推移 (H20～H25)

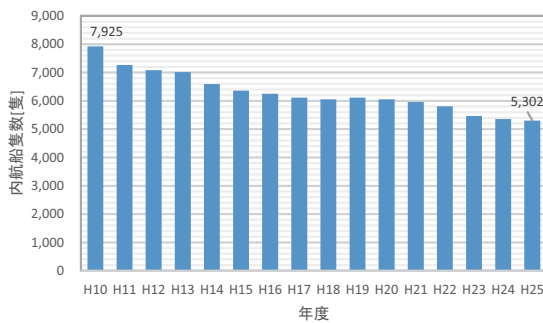


図 2.8: 内航船舶隻数の推移

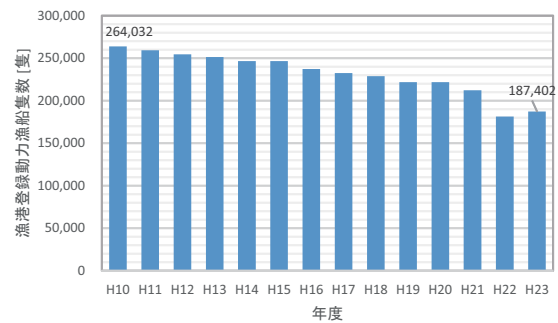


図 2.9: 漁港登録動力漁船隻数の推移

平成 10 年から平成 19 年までの，立件海難隻数の海難種類別の推移を図 2.10 に示す．平成 10 年は遭難隻数が最も多く，次いで衝突，乗揚，単衝突の順番で多く発生していることが分かる．旧海難審判庁では，「海難の原因，態様が複合していて他の海難の種類の一に分類できない場合，又は他の海難の種類のもいずれにも該当しない場合」を「遭難」と定義している．したがって，衝突の結果，火災が発生したり沈没した場合は「遭難」に分類されることから，その数が最も多くなっている．図 2.10 より，衝突や乗揚げの認知海難隻数は緩やかに減少しているが，特に船舶同士の衝突は，図 2.8 に示した船舶隻数の影響が大きいと考えられることから，大幅な減少はしていないと考えるこ

とができる。また、遭難を除いた場合、衝突や乗揚げの認知海難隻数は他の種類の海難に比べ、常に大きな割合を占めていることが分かる。

平成10年から平成19年までの、立件海難隻数の海難種類別の推移を図2.11に示す。海難審判所では、「海難の原因が複合する等、他の海難の種類の内いずれにも該当しない場合」を「遭難」と定義しており、旧海難審判庁での定義と大きな変更はない。ただし「遭難」には、漂流物の接触やプロペラへのロープの絡み等も認知海難として扱われているため、平成20年以降、立件される海難隻数としては大幅に少なくなっていることに留意する必要がある。したがって、立件海難隻数、つまり海難が海技士等の職務上の故意又は過失によって発生したと認められ、詳細な調査が行われた隻数では、衝突が最も多く、平成25年は594隻発生しており、次いで乗揚げが多いことが分かる。

これらの結果から、「衝突」海難は現在最も対策を検討すべき海難であると言える。中でも、大型船の衝突は船体及び積荷への影響が大きい海難の一つであると考えられ、船種別の立件海難隻数の推移に関する調査でも述べたとおり、海難が起こった後の様々な影響を考慮し、貨物船やタンカー等の衝突海難は対策を検討する必要性がとて高いと考えられる。

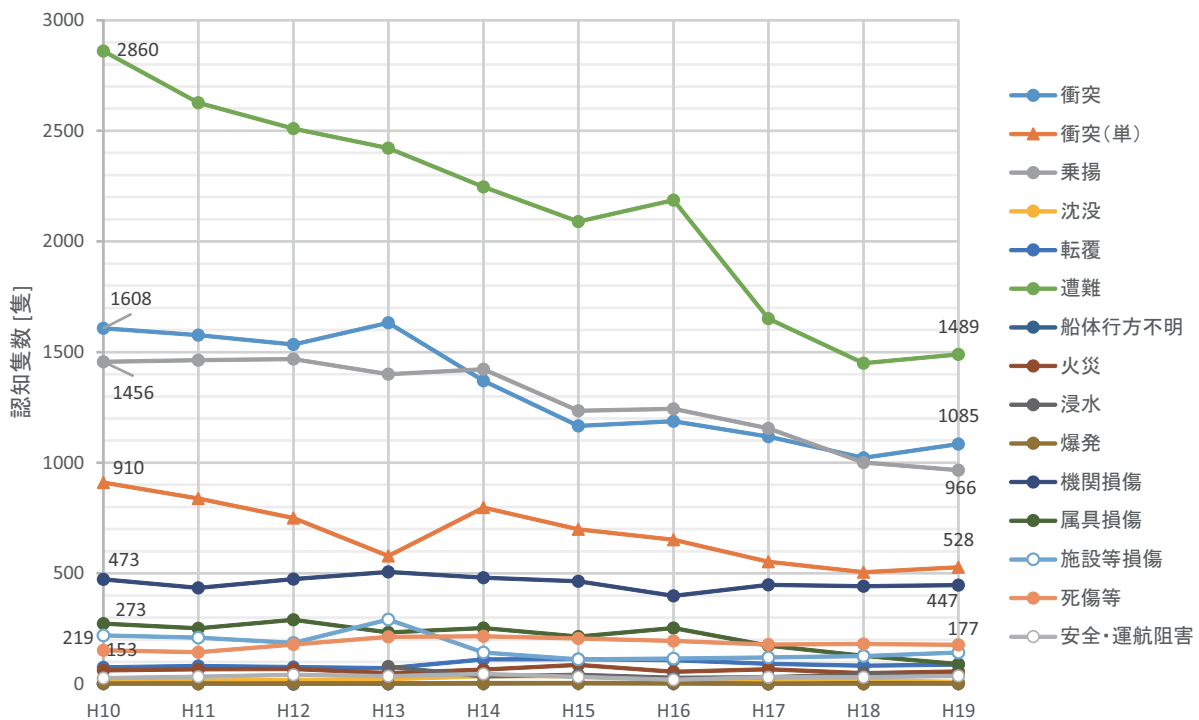


図 2.10: 海難種類別、認知海難隻数の推移 (平成10年～平成19年)

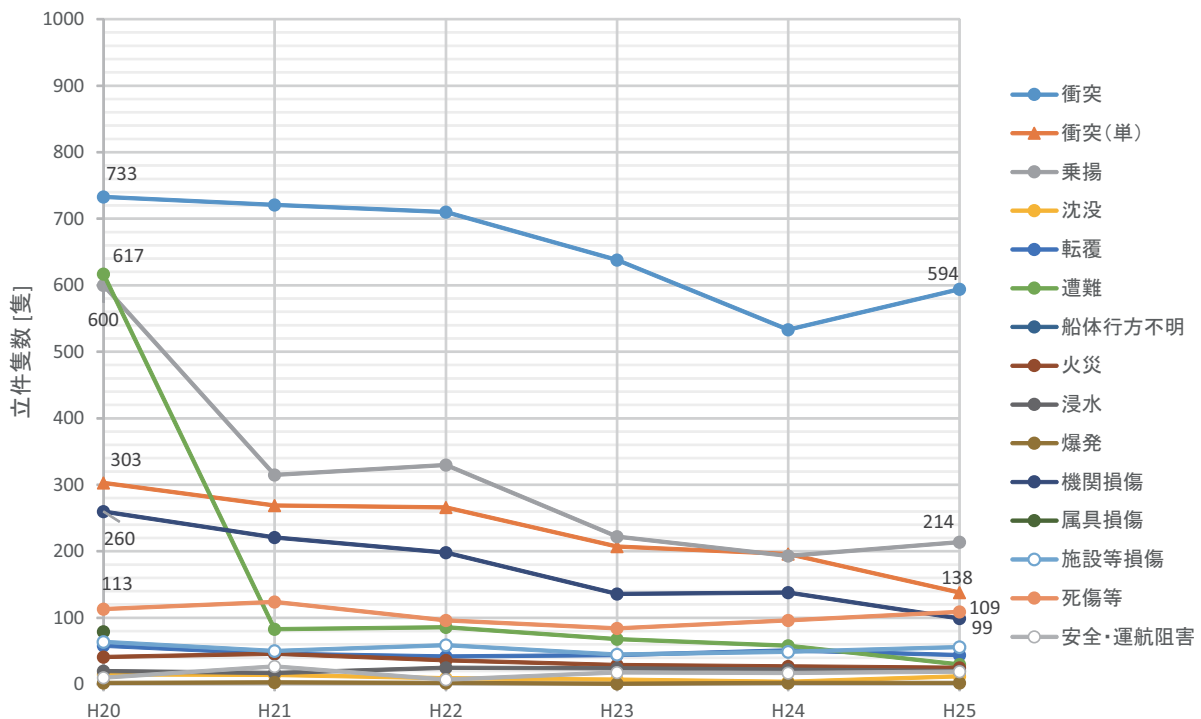


図 2.11: 海難種別別, 立件海難隻数の推移 (平成 20 年～平成 25 年)

理事官は立件した海難の調査の結果, その海難が海技士等の職務上の故意又は過失によって発生したと認めた場合, その海技士等を受審人に指定して, 事件を管轄する管轄する海難審判所又は地方海難審判所に審判開始の申し立てを行う。平成 25 年には, 立件された 1,001 件 1,362 隻の内 305 件 424 隻の船舶が審判の対象となった。つまり, 実際に審判の対象となったのは, 立件海難隻数の約 3 分の 1 であることが分かる。平成 25 年の立件船舶数, その中で申し立てをされた船舶 (以下, 申し立て船舶) 数, また, 平成 25 年に裁決された船舶 (以下, 裁決船舶) 数について, 船種別の比較を図 2.12 に, 海難種別別の比較を図 2.13 に, 示す。図 2.12 より, 漁船による海難は立件されることも多く, 申し立てされる割合も最も多いことが分かり, 貨物船は, 漁船に比較し, 立件された隻数に対する申し立てされた隻数が少ないことも分かる。一方, 2.12 では, 立件された衝突船舶数の割合に比較し, 衝突海難の申し立て隻数の割合は増加し, さらに裁決船舶の割合は, 全体の半数以上を占めていることが分かる。乗揚げについても, 申し立て船舶数の割合は立件船舶数の割合に比べ増加していることが分かる。この様に, 立件海難隻数と申し立て海難隻数, 裁決船舶隻数の割合には差があることを留意しておく必要がある。

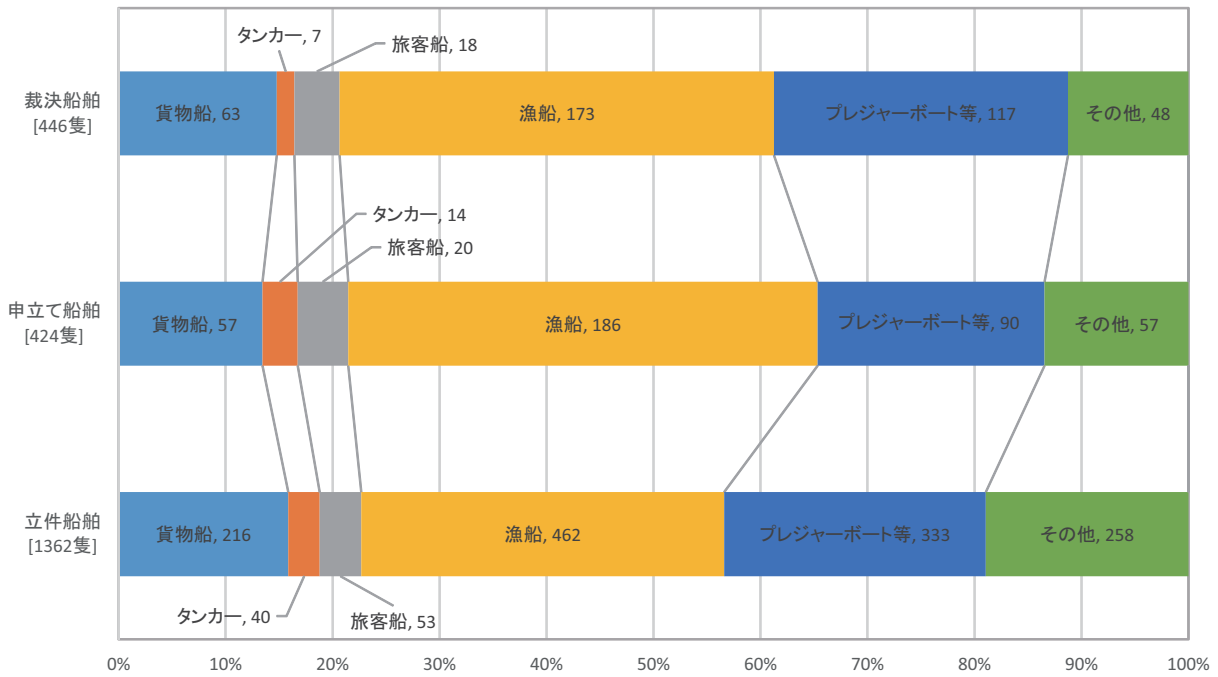


図 2.12: 船種別、立件海難隻数・申し立て船舶数・裁決船舶数の比較

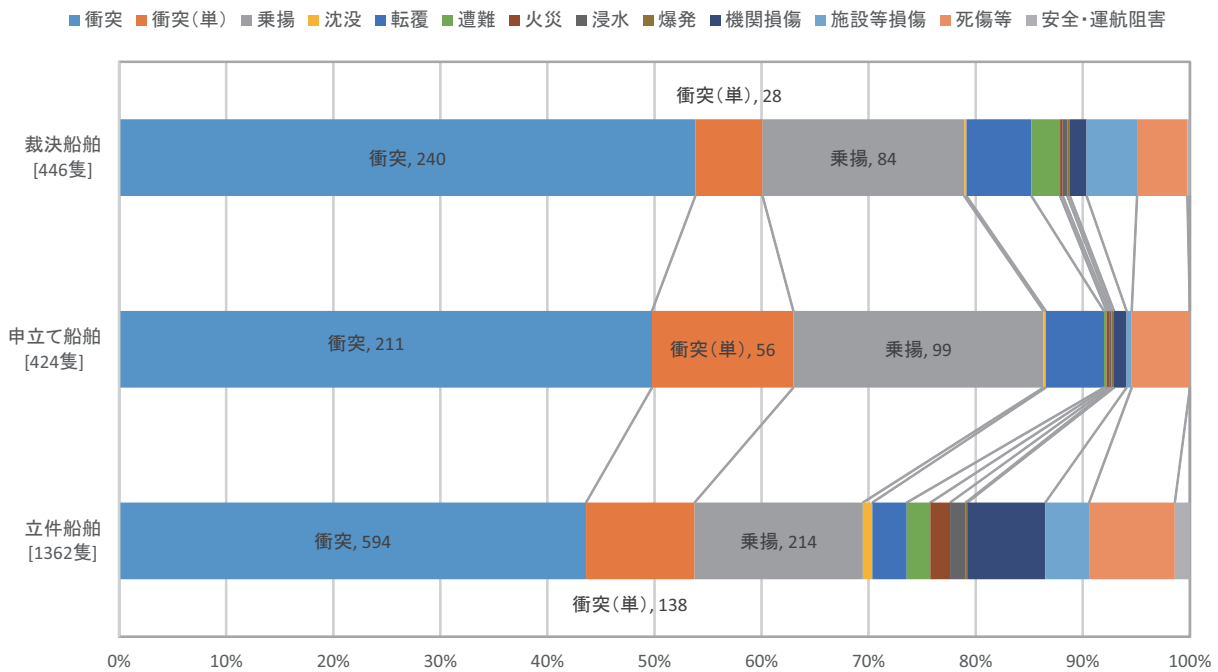


図 2.13: 船種別、立件海難隻数・申し立て船舶数・裁決船舶数の比較

図 2.14 に、平成 25 年に裁決された 426 隻に対する 472 原因について、その内訳を示す。見張り不十分は原因の 35% を占め、最も多い原因であることが分かる。海難審判庁裁決録では、他船を全く見ていない「見張り不十分」と他船に気付いていたにも関わらず継続的な見張りを行わなかった「動静監視不十分」を厳密に分けているが、統計上はどちらも「見張り不十分」として集計されている。見張り不十分の次に多い原因は航行不遵守（11%）、続いて船位不確認（8%）、居眠り（8%）となっており、その他（13%）には、速力選定不適切やサービスに対する指揮・監督の不適切、荒天措置不適切、船体・機関・設備・資材・修理不良や不可抗力等が含まれる。船体・機関・設備・資材の不良や不可抗力を除くと、裁決海難の 9 割以上は操船者の関係するエラーが原因で発生していることが分かる。

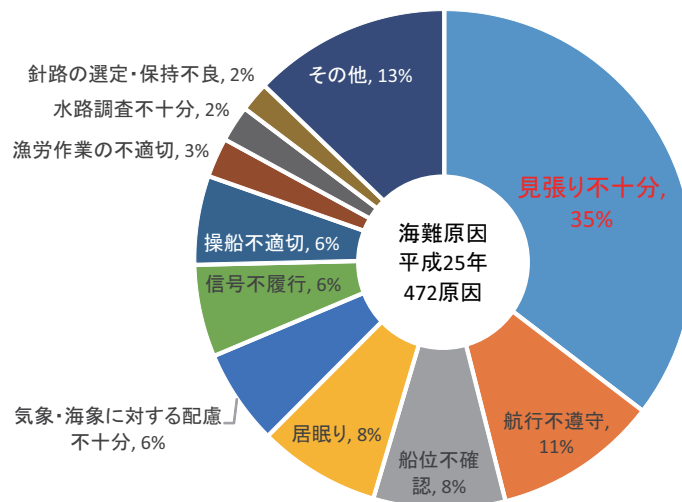


図 2.14: 平成 25 年の海難審判所裁決における海難原因の割合

図 2.15 に、平成 25 年に裁決された衝突海難の原因割合について示す。平成 25 年に裁決された衝突海難は 115 件 240 隻、250 原因であり、見張り不十分が原因の 64% を占めていることが分かる。さらに、航行不遵守（20%）及び船位不確認（11%）であるため、衝突海難の原因の 9 割以上は、見張り不十分、航行不遵守及び船位不確認が占めることが分かる。つまり衝突海難の対策を考えるためには操船者の見張り作業において、見張り不十分に対する対策が最も必要と考えられる。なお、裁決では 1 隻の船舶に対し、複数の原因を示すことがあるため、海難隻数と原因数は一致しないことには、注意が必要である。

旧海難審判庁は、海難レポート 2008 において、見張り不十分が原因とされた衝突海難について詳細な分析を行っている。分析の結果、見張り不十分が原因とされた 374 隻の船舶のうち、103 隻

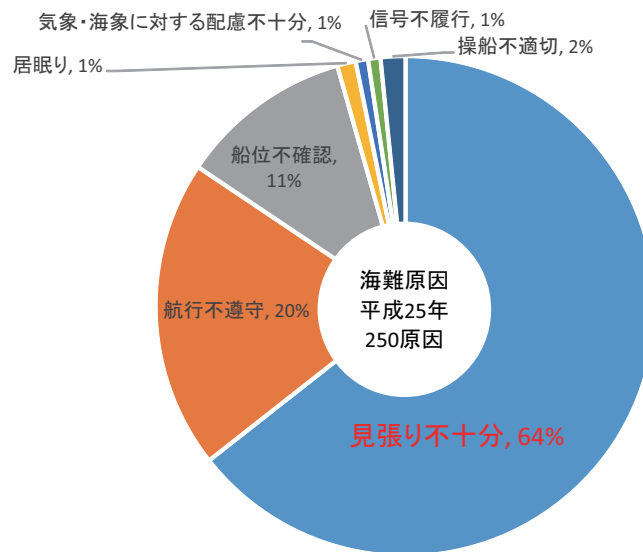


図 2.15: 平成 25 年の海難審判所裁決における衝突海難の原因割合

(27%) は見張りを行わなかったケース、153 隻 (41%) は相手船に気づかなかったケース、残りの 118 隻 (32%) は、相手船を認めたものの、その後の動静監視を行わなかったケースであるとしている。また、見張りが十分でなかったケースの約 7 割は、相手船の存在自体に気づかずに衝突していることを示している。つまり、見張り不十分が原因とされる衝突海難の対策では、相手船の存在に気づかせる対策が必要であるといえる。海難レポート 2008 の分析では、見張り自体を行わなかった 103 隻をさらに細かく分類しており、73 隻 (71%) は不在橋、21 隻 (20%) は操舵室内で他の作業を行っていたことを示している。不在橋の 8 割は、操業や漁獲物の選別等、漁船やプレジャーボートにおける作業であり、操舵室内では魚群探索や書類整理等を行っていたことを指摘している。

本論文では、衝突海難による影響の大きさから、漁船等の小型船ではなく、貨物船やタンカー等の商船による衝突海難に着目し、その対策を提案することを目的としている。そのため、やむを得ず船橋内で見張り以外の作業をしていたとしても、衝突の危険がある船舶の存在や、新たに衝突の可能性が発生したことに気づくことができれば、それらの衝突海難は防ぐことができるのではないかと考える。

海難レポート 2008 の分析では、見張り体勢には就いていたが、衝突直前まで相手船に気づかなかった 153 隻についても詳細な分類による分析を行っている。衝突の直前まで相手船に気づかなかった要因は、漫然と航行 (45 隻, 29%)、死角を補う見張りを行わなかった (36 隻, 24%)、第三船に気を取られていた (28 隻, 18%) となっている。船橋内からは 360 度を見渡すことが難しいため、死角が発生することは、通常起こりえることと考えられ、現在の船橋の構造からは、見渡すこ

とができない範囲を補間できるような対策も考えられる。また、周囲に複数の船舶が存在する場合には、優先的に見張りを行うべき船舶を知らせることができれば、第三船へ気を取られてことで発生する衝突海難は予防できるのではないかと考える。

さらに、海難レポート 2008 の分析では、相手船を認めたにもかかわらず、その後動静監視を行っていなかった 118 隻の要因について、そのまま危険ではないと思った (82 隻, 44%), 相手船が避けてくれると思った (31 隻, 26%), まだ余裕があると思った (6 隻, 5%) を説明している。したがって、相手船を認めたにもかかわらず、その後動静監視を行っていなかった要因は、操船者の思い込みや臆断によって引き起こされていると考えられる。この思い込みを抑制する方法も、衝突海難を減らすための対策として検討が必要と考える。

(2) 海上保安庁の統計

海上保安庁では、海難の統計として「海上保安統計」と「海難の発生と救助の状況」という 2 種類の統計を公表している。「海上保安統計」では、救助が必要とされた海難（要救助海難）数が示されており、「海難の発生と救助の状況」では、要救助海難に加え、海上保安庁への通報のみ等、救助を必要としなかった海難を含む海難数が含まれている。本章では、海難の発生状況を把握する必要があるため、平成 3 年から平成 25 年まで「海難の発生と救助の状況」に含まれる海難統計を用いて、その傾向を分析した。

図 2.16 は船種ごとの海難隻数の推移を示す。平成 3 年に 3,196 隻であった海難船舶は、平成 25 年には 2,306 隻となっており、減少していることが分かる。平成 17 年以降は、1 年毎に隻数の上下変動はあるもの、2,500 隻を下回っている。ただし、海難審判所の海難統計と比較し、より顕著な減少傾向を把握することは難しい。海難審判所の統計と大きく異なるのは、平成 12 年以降、最も海難が多い船種はプレジャーボートであり、船種の中で唯一、海難隻数の増加が見られる点である。また、海上保安庁が調査する海難の半数以上が、プレジャーボートもしくは漁船による事故であることが分かり、漁船及びプレジャーボートを除いた場合、最も多いのは貨物船による海難であることが分かる。これは、貨物船による海難が最も多いという海難審判所の統計とも傾向が一致する。海難の顕著な減少が認められない中、人的被害や積荷の被害、環境影響等、海難が起こった後の様々な影響を考慮すると、貨物船やタンカー、旅客船に対する海難の対策が、やはり必要があると考えられる。

図 2.17 は海難種類別の海難隻数の推移を示す。図 2.17 より、平成 3 年から平成 25 年までの 22 年間連続して衝突海難が最も多いことが分かり、衝突海難は緩やかな減少傾向にあることが分かる。しかし、船種ごとの海難隻数の推移と同様、海難審判所の海難統計と比較し、衝突海難以外は、顕著な減少傾向を把握することは難しい。海難審判所の統計では、船舶同士の衝突と岸壁等への単衝

突を区別していたが、海上保安庁の統計では同じ区分となっている。したがって、衝突海難には単衝突も含まれているが、内航船の船舶隻数の推移（図 2.8）を考慮すると、やはり大幅な減少はしていないと考えることができる。

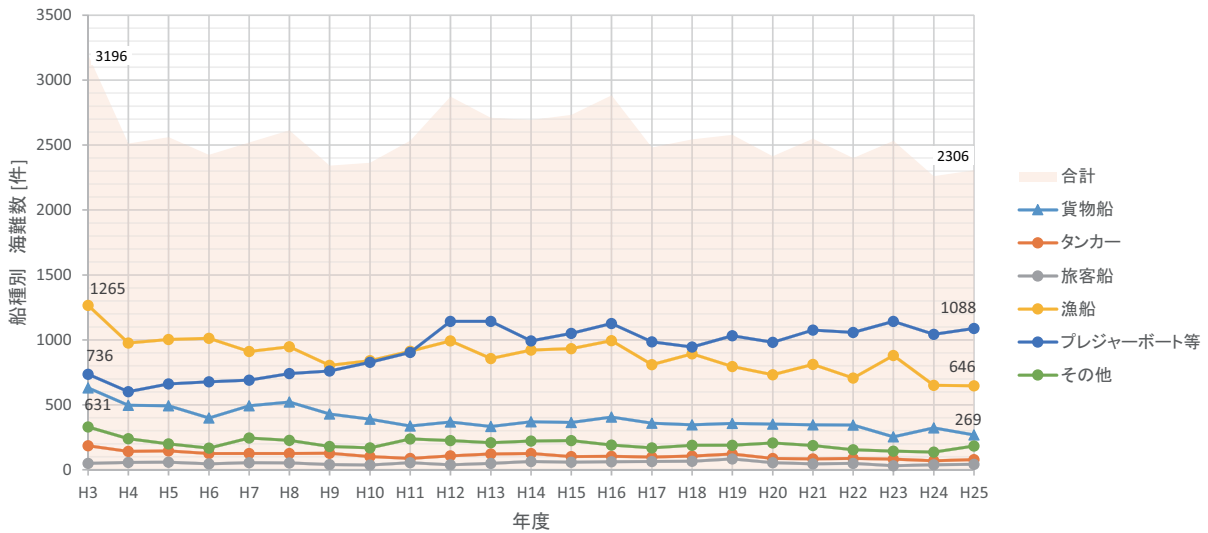


図 2.16: 船種別海難隻数の推移

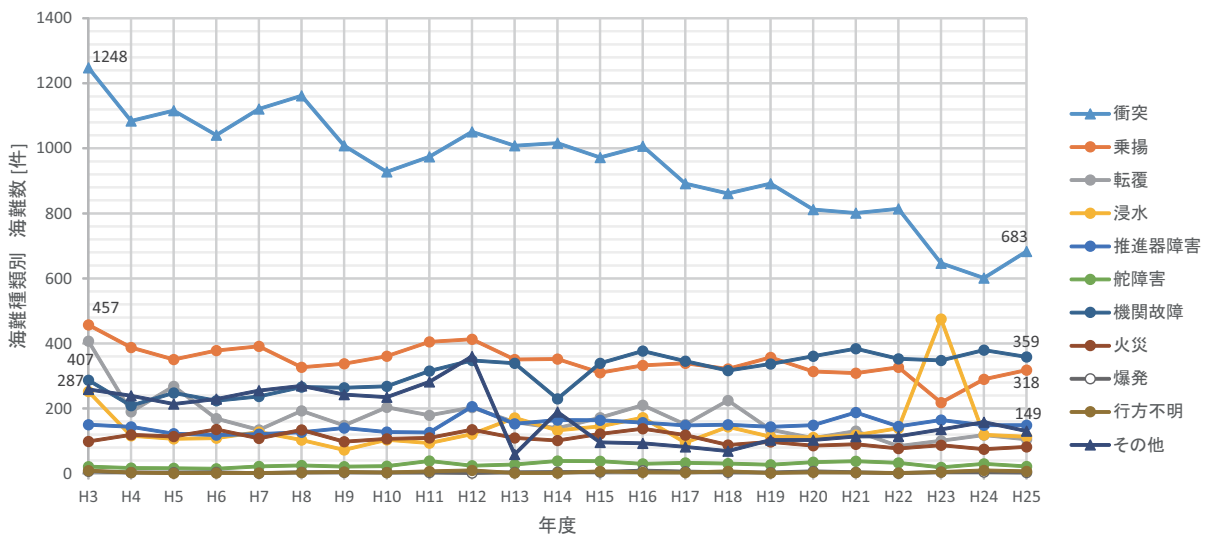


図 2.17: 海難種類別海難隻数の推移

図 2.18 に、平成 25 年に海上保安庁が調査した 2,306 隻の海難の原因割合について示す。最も多いのは見張り不十分（21%）であり、次いで操船不適切（13%）、機関取扱不良（13%）、船体機器整備不良（9%）と続く。海上保安庁の調査では、海難審判所で区分があった「運航管理」は区分として設けられていないが、見張り不十分が最も多いという傾向は、海難審判所の統計とも一致する。

また、海難原因の79%が人為的要因として指摘されている。海上保安庁の統計では、海難審判所と異なり、衝突海難のみの原因分析ではなく、衝突と乗揚げ海難を合わせてその原因を集計している。図2.19に、平成25年に発生した衝突及び乗揚げ海難1,001隻の海難の原因割合について示す。

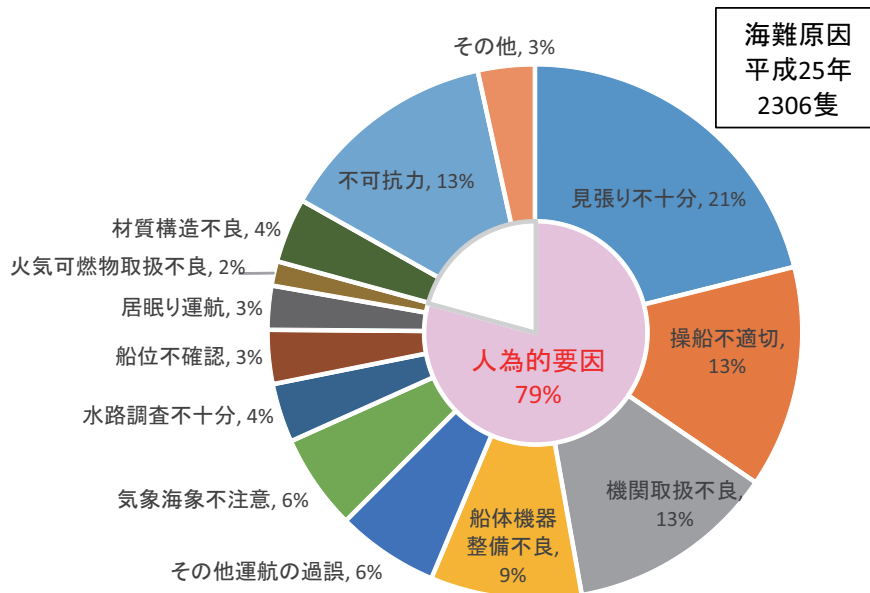


図 2.18: 平成 25 年海上保安庁統計における海難の原因割合

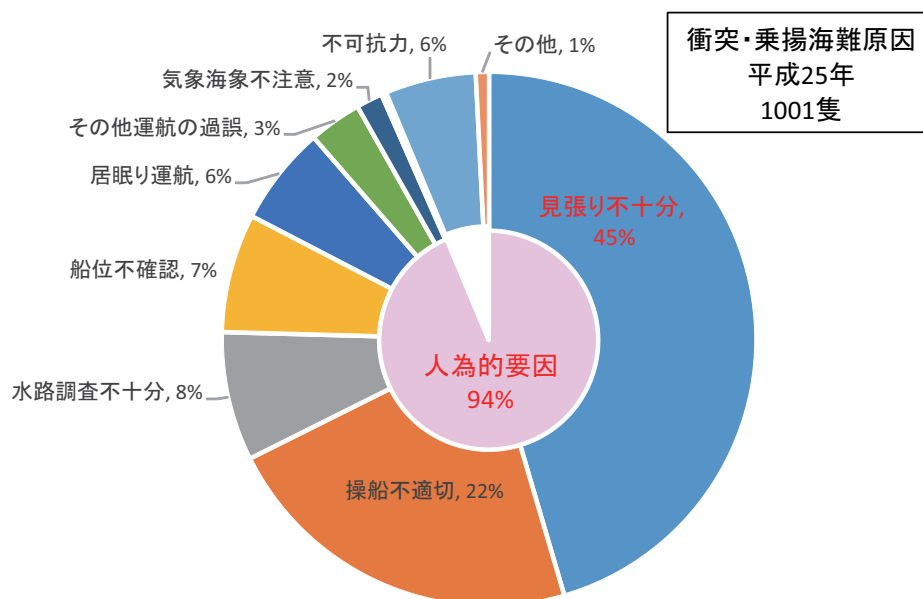


図 2.19: 平成 25 年海上保安庁統計における衝突・乗揚げ海難の原因割合

図 2.19 より、見張り不十分が全体の 45% を占めており、次に多いのは操船不適切 (22%)、水路調査不十分 (8%)、船位不確認 (7%)、居眠り運航 (6%) と続いている。さらに、この図から衝突及び乗揚げ海難の 94% は人的要因が原因であることが分かる。衝突海難を抑制するためには、人的要因の中でも見張り不十分に着目する必要があると考えられ、これは海難審判所の統計を分析した結果とも一致する。

つまり、海難を減らすための対策を検討するためには、人為的要因を抑制する必要がある。中でも操船者の見張り不十分から、その対策を検討することが一つの効果的なアプローチであると考えられる。

2.5 ヒューマンエラーの観点からの海難防止マネジメント

2.5.1 衝突海難において注目すべきヒューマンエラー（操船者のエラー）

航空機のパイロットや鉄道の車掌、自動車のドライバーや船舶の操船者等、様々な環境下において、自身の経験や知識を用いて行う意思決定を研究対象として、その理論を構築しようとするものは、Naturalistic Decision Making (以下、NDM) と呼ばれている。NDM は、理想的な意思決定はどうあるべきかを示す、規範的意思決定アプローチと、人はどのように意思決定をしているかを表現する、記述的意思決定アプローチがあり⁷⁵⁾、代表的な NMD モデルの一つに、図 2.20 に示す Endsley の NMD モデルがある⁷⁶⁾。

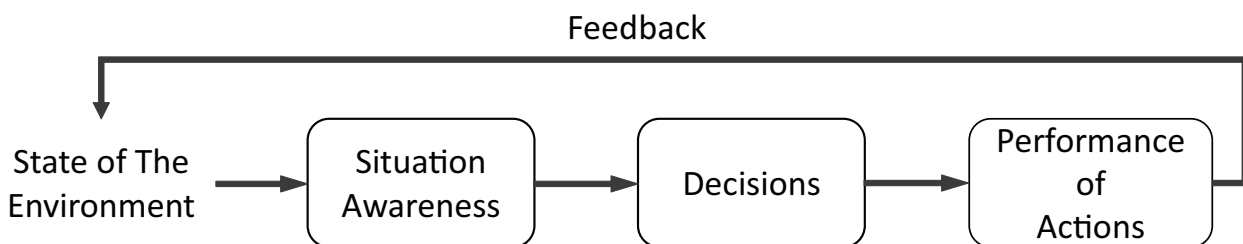


図 2.20: Endsley の NMD モデル

Endsley の NMD モデルでは、人間の意思決定過程を状況認識 (Situation Awareness)、意思決定 (Decisions)、行動 (Performance of Actions) の 3 段階で表現しており、その結果がフィードバックする構造を持っている。また Endsley は、状況認識 (Situation Awareness) の内部について詳細に示し動的な意思決定における状況認識モデルを提案しており (図 2.21)、状況認識 (Situation Awareness) の内部に、Level1 から Level3 までの下記に示す 3 段階のプロセスがあると説明されている。

- 現在の周囲の状況から認識すべき対象を認知 (Level1)

- 現在の周囲の状況を理解 (Level2)
- 将来の状況を予測 (Level3)

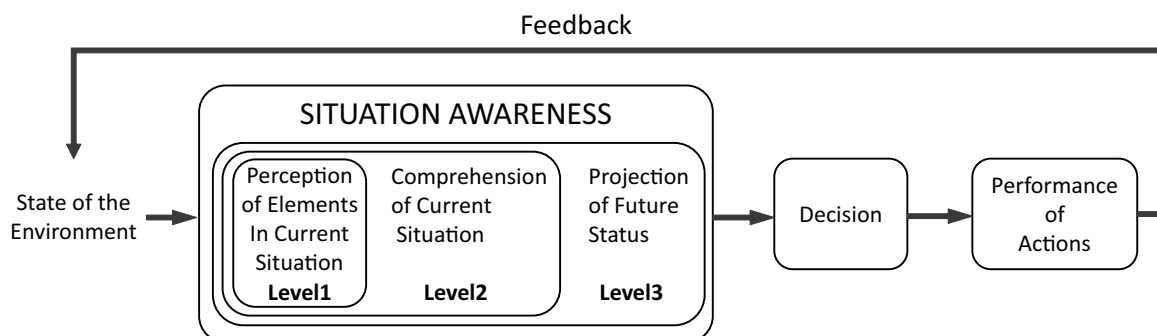


図 2.21: Endsley の動的意識決定における状況認識モデル

ここで、操船者の見張り作業を考えると、操船者は自身の目視や航海計器等の操作により、情報収集を行うことで周囲の状況を把握している。避航行動という意思決定を行うにあたり、まずは自船周囲の対象となる船舶を認識し、その船を含めた周囲の状況を理解した上で、対象となる船舶の将来予測に基づき、すぐに避航動作が必要かどうかの判断を行っていると考えられる。すぐに避航が必要と判断した場合は、避航動作を行うが、すぐに避航が必要ないと判断した場合は、周囲の情報収集を継続している。つまり、これら操船者の見張り作業とそれに基づく避航動作までの一連のプロセスは Endsley の状況認識モデルと同等の作業であり、見張り作業は他船に対する状況認識が継続・繰り返し行われているものであると考えることができる。衝突の主要な原因として指摘される「見張り不十分」は、他船をまったく見ていない（認知していない）状況や衝突の危険がないと予測し、その後の情報収集を行わない状況等、さまざまな状況が含まれているが、操船者の見張り作業を、Endsley の状況認識モデルに当てはめて考えると、「見張り不十分」とは操船者の状況認識におけるエラーであると考えることができる。そこで、見張り不十分が原因とされる海難を抑制する方法を検討するにあたり、まずは操船者の見張り作業（状況認識）の詳細を理解する必要がある。

2.5.2 海難防止マネジメント

重大な海難が発生した場合、その原因の調査が詳細に行われ、新しい機器や機能追加等のハード面からの対策や、分析結果の周知、安全指導等のソフト面の対策が実施されている。特にハード面については、近年、国際航海に従事する貨物船や 300 トン以上のその他の船舶、国内航海に従事する 500 トン以上の全ての船舶への AIS 搭載が義務化されている。また、電子海図 (ECDIS : Electronic Chart Display and Information System) の装備や居眠りによる海難防止を目的とした船橋航海当直警報装置 (BNMAS : Bridge Navigational Alarm System) の義務化等、急速な対応がとられている。一方で

ソフト面の対策では、ISM コード（国際安全管理コード）に基づく安全管理システムマニュアルの遵守、訓練を含む BRM(Bridge Resource Management) の実施や、船舶輻輳海域における VTS (Vessel Traffic Service) による陸上からの航行支援等、対策がとられている。その結果、第 2.4 章に述べたように、海難数の減少に繋がっている一方、いまだに年間 500 隻以上の船舶が衝突を引き起こし、かつ、その約 80% は、操船者のエラーで引き起こされていることも事実である。この操船者エラーの中には、船舶輻輳海域において、アラームが鳴りすぎることにより、レーダ ARPA 機能を使わない等、操船者が有効に活用していないことで引き起こされるものも含んでおり、ハード面の整備を進めたとしても、操船者が適切に使うことができなければ、有効な対策とならないことが分かる。ハード面・ソフト面どちらの面からの対策も進める必要はあるが、それらが有効に活用される仕組みも合わせて検討する必要があると考えられる。

石谷ら⁷⁷⁾は、毎年似通った原因で、類似的な事故が起きている海難を、「成熟系」と呼んでいる。成熟系における値の変動は、母集団における変動ではなく、母集団の一定の確率及び確立比が年ごとに分散もつことによる変動とされている。従来の事故防止マネジメントでは、1997 年に Reason が提唱した「スイスチーズモデル」⁵⁴⁾を用いた検討が行われてきた（図 2.22）。

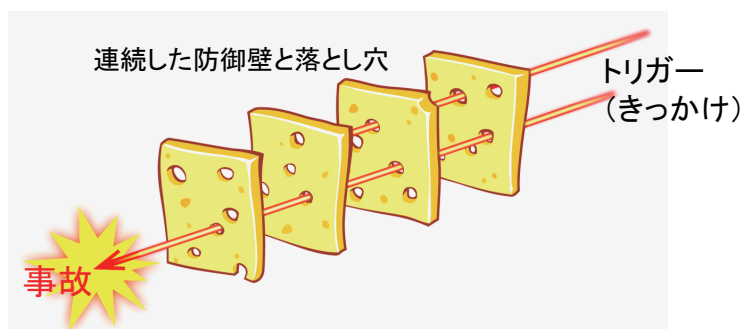


図 2.22: Reason のスイスチーズモデル

このモデルは、複数の防護システムを通過する事故機会の軌跡を示しており、一時期に全ての防護で穴が発見される軌跡の機会は少ないことが分かる。最終的な事故を防止するためには、防護壁にある穴を小さくする、もしくは穴が重ならないような対策も、このモデル上では効果的な対策と考えることができる。また、このモデルから、事故に至る最終的に防護壁を強固に設定すれば、事故を防ぐことができるとも考えられる。しかし、人間や機器が複雑に絡み合うシステムにおいて、まだ発生していない事故について漏らさず防護壁の穴を見つける、予測することは不可能である。また、最終的な防護壁を強固にするためには莫大なコストがかかることが予想されそれらの対策は現実的ではないと考えられる。成熟系のシステムにおける事故、つまり海難をさらに減少させるためには、すでにある防護壁を強固にする対策以外に、事故から遠い場所（潜在的な部分）に、エラーをコントロールできる新たな防護壁を設け、エラーを事前にブレイクスルーさせる対策が考えられる。そのためには、エラーをブレイクスルー

できる場所を事前に見つけておくことが必要と考えられ、本論文では、見張り不十分が原因とされる衝突海難を抑制するために操船者の見張り作業における特徴と操船者エラーに着目し、衝突に至る前にブレークスルーさせる方法について検討を行う。

2.6 結論

本章では、航空機、鉄道、自動車、船舶、各運輸分野におけるヒューマンエラーを含む事故調査の現状を調査し、船舶の運航における事故の特徴を整理した。また、海難審判所（旧海難審判庁）の海難レポート（過去 20 年分）と海上保安庁の海難統計（過去 22 年分）を用いて、衝突海難の発生傾向を分析し、以下の結論を得た。

- (1) 交通機関を運転する人間を、運転を職業としている「職業人」とそれ以外の「非職業人」の 2 種類に分類すると、船舶は職業人（海技士）と非職業人（小型船操縦士等）の操縦が混在し、特に沿岸海域や湾内では、作業船やタグボート等の職業人と、小型漁船やプレジャーボート等、非職業人の操縦する船舶が近接して航行している。
- (2) 事故による被害の大きさを考えると、小型船やプレジャーボートより、大型の船舶、つまり職業人（海技士）の関わる事故に、まず着目する必要がある。
- (3) 船舶の運航は、操船者の専門知識や高度な操船技術、また乗船経験に基づく操船者の判断や操作がより多く必要とされる交通分野である。
- (4) ヨーロッパを中心に、日本においても自律船（無人化船）に関わる検討が始まっているが、人間の関わる部分が多い船舶運航では、様々な機能の自動化への課題が多く、自律船が運航されるまでには、まだ長い時間を要すると考えられる。
- (5) 多くの事故対策の結果、衝突海難は、少しずつ減少傾向にあるが、ここ数年の減少幅が小さい。これは、今まで行われてきた事故分析の結果に基づく対策だけでは、衝突海難の抑制に限界があることの表れと考えることができる。つまり、衝突海難をさらに減少させるためには、事故分析以外のアプローチも必要であると考えられる。
- (6) 衝突海難の原因として多く指摘されるのは「見張り不十分」や「操船不適切」等、操船者のヒューマンエラー（操船者のエラー）であり、衝突海難の原因全体の約 80% を占める。したがって、現在最も対策の検討が望まれる船舶運航におけるヒューマンエラーの一つである。
- (7) 衝突海難の原因として多く指摘される「見張り不十分」には、まったく他船に気づいていない場合と、他船の存在に気づいていたにも関わらず、継続的な見張りを行っていなかった場合の両方が含まれており、海難審判裁決録や海難レポートからは、なぜ「見張り不十分」に陥ってしまったのかという背後要因を把握することが難しい。操船者のエラーは、あくまで最終的な結果であるという

視点から対策の検討を行う必要がある。

- (8) 操船者の見張り作業を Endsley の状況認識モデルに当てはめて考えると、「見張り不十分」とは、操船者の状況認識におけるエラーであると考えられる。そこで、見張り不十分が原因とされる衝突海難を抑制する方法を検討するためには、まず、操船者の見張り作業（状況認識）の詳細を理解する必要がある。
- (9) 本論文では、見張り不十分が原因とされる衝突海難を抑制するために操船者の見張り作業における特徴と操船者エラーに着目し、発生頻度の高いエラーをブレイクスルーできる場所を指摘し、対策の検討を行う。

第3章

操船者の見張り作業におけるエラーモードと状況認識の特徴¹⁻³⁾

3.1 緒論

衝突海難の主要な原因として指摘される「見張り不十分」は、状況認識における操船者エラーの一つであると考えられる。また、操船者の見張り作業において、海難には至らないが、海難を引き起こす可能性のある状況が多数発生していることは一般的に知られており、海難審判所（旧海難審判庁）や海上保安庁の統計で示されるより多くの操船者エラーが発生していると考えられる。操船者エラーが原因で引き起こされる海難を抑制するためには、操船者の標準的な見張り作業を把握した上で、海難発生の有無に関わらず発生している操船者エラーを把握する必要がある。事故に結びつく可能性のある人間の行動は観察が可能であるため、それらの行動を分類したものはエラーモードと呼ばれる。本章では、操船者の行動分析から、操船者の見張り作業の特徴やエラーモードの分析を行うと共に、SAGAT（Situation Awareness Global Assessment Technique）³¹⁾を用いた操船者の状況認識の詳細分析を行い、複数の操船者に共通する一般的な見張り作業の特徴を明らかにする。また、海難の発生の有無に関わらず発生している一般的な操船者エラーを指摘し、その背後要因の検討を行う。

3.2 行動分析による操船者エラーの抽出と背後要因の検討

3.2.1 操船者の見張り作業におけるエラーモード

第2章で述べた通り、衝突海難の主要な原因として指摘されるのは、操船者の「見張り不十分」である。「見張り不十分」とは、衝突してしまった相手船への動静監視を怠った操船者の行動を意味し、状況認識における操船者エラーの一つと考えられる。海難審判所（旧海難審判庁）の審判の様に、海難の責任を明らかにするためには、実際に起こった操船者エラーを特定することが最も重要となる。しかし、

操船者エラーが原因で引き起こされる海難を抑制するためには、海難発生の有無に関わらず、それらのヒューマンエラーがなぜ起こったのか、その背後要因を明らかにする必要がある。操船者の見張り作業において、海難には至らないが、海難を引き起こす可能性のある状況が多数発生していることは一般的に知られており、村山らは、緊急な危機回避行動が要求されヒヤリとする状況（未然事故）が、船舶の運航においてもハイインリッヒの法則に近い割合で発生していることを示した¹⁸⁾。操船者の見張り作業に着目した場合、実際には衝突海難に至っていないが、見張りを行うべき他船を見落とす等の操船者のエラーは、日常的に発生している可能性が高い。村山らの分析では、海難審判裁決率・アンケートによる損傷報告率・アンケートによる無損傷報告率の3つの値を用いている。したがって、実際に発生している操船者のエラーはアンケートで報告のないものも含め、さらに多いと予想できる。

エラーモードとは、機械等で用いられる故障モードに類似したものであり、事故に結びつく可能性のある行為（行動）の分類である⁴⁾。Hollnagel は、4つのカテゴリーに大きく分類される8つのエラーモードを定義している（図 3.1 及び表 3.1）。事故に結びつく可能性のある人間の行動は、観察が可能であることから、しばしば分析の対象となっている。そこで本章では、まず操船者の行動分析から、衝突海難を引き起こす可能性のある操船者の行動（操船者エラー）を特定する手法を提案する。また、見張り作業において日常的に発生している操船者エラーを特定し、その背後要因の検討を行う。見張り作業で日常的に起きているエラーを特定し、その背後要因を明らかにすることで、今後起こる可能性の高い衝突海難を抑制するための対策を検討でき、特定した操船者エラーの発生率は、対策の順番を決める際に有効な情報と考えられる。

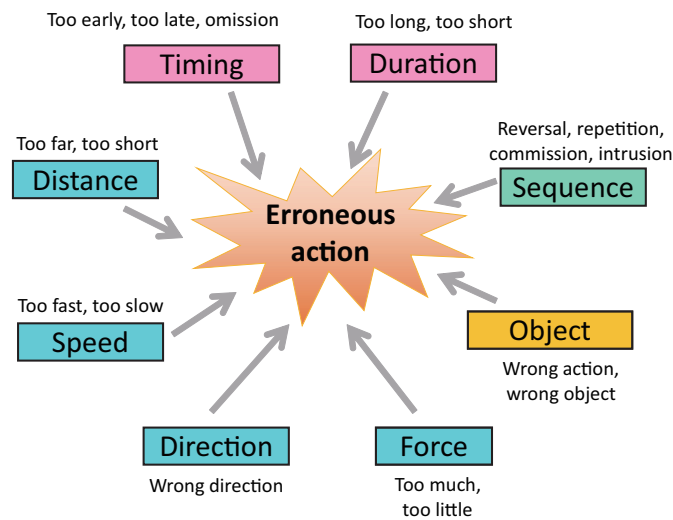


図 3.1: Hollnagel の定義するエラーモード⁴⁾

表 3.1: カテゴリー別エラーモード

Categories	General Effect	Specific Effects
Action at Wrong Time	Timing	Too early
		Too late
		Ommision
	Duration	Too long
		Too short
Action at Wrong Type	Force	Too little
		Too much
	Distance	Too far
		Too short
	Speed	Too fast
		Too slow
	Direction	Too Wrong direction
		Wrong moverment type
Action at wrong object	Wrong Object	Neighbour
		Similar object
		Unrelated object
Action in wrong place	Sequence	Omission
		Jump forward
		Jump backwards
		Repetition
		Reversal
		Wrong action

3.2.2 操船者の一般的な見張り作業の特徴及びエラーモードの分析方法

(1) 操船者の見張り作業を分析するために用いるツール

近年、航海機器から電子化された情報が得られるようになり、それらの情報を組み合わせて活用する INS (Integrated Navigation System) または IBS(Integrated Bridge System) が導入される船舶も出てきた。海洋調査船や海外の船舶において、図 3.2 に示すように、座っていてもある程度周囲の見張りが可能で、コックピット型に配置された航海計器を用いて航海に必要な情報が参照で

きる船舶も存在する。しかし、日本沿海を航行する内航船や、通常日本人船員が乗船する船舶は、従来どおり立ったままの当直作業を行っており、航空機のパイロットや鉄道の運航士、自動車のドライバーによる運転・運航とは大きく異なる。自動車のドライバーの周囲監視状況を把握するため、アイポイント（トラッカー）が活用されており、操船者の状況認識の計測にも用いられることがあるが、船橋内を移動しながら情報収集を行う操船者に対し精度の高いイトラックを行うことは現状として難しい。さらに、実海域では周囲の状況が時々刻々と変化し、同一の環境条件における操船者の見張り作業を観察・計測することは不可能である。

そこで本章では、同一環境を繰り返し再現でき、かつビデオやマイクを利用し、操船者の目線や航海機器の操作状況等、操船行動を計測することができる操船シミュレータを用いる。操船実務経験を被験者としたシミュレータ実験において、被験者の見張り行動を計測し分析することで、操船者の見張り作業の特徴を明らかとする。



図 3.2: コンテナ船の IBS(Integrated Bridge System) の一例

(2) 操船者エラーの抽出方法

本論文では、実験シナリオ作成の際、事前に見張りを行うべき船舶を定義し、それらの船舶が適切なタイミングで監視されているかどうか評価することで、海難の有無に関わらず、実験中に発生した操船者エラーを特定する。

(3) 操船者が見張りを行うべき船舶の選定方法

衝突の危険度を評価するための指標は、様々なものが提案されている。例えば、小林らは衝突危険の評価量として CJ(Collision Judgement) を提案している。この指標は 1 対 1 の見合い関係における衝突危険度を示すことができ、自船からの距離・相対方位を用いて計算される⁷⁸⁾。原らが提案する SJ(Subjective Judgement) 値は、1 対 1 の見合い関係における、操船者の主観的衝突危険度を表す指標である。SJ 値は、3 段階のファジー表現をされた相対方位変化率及び自船からの距離の変化率を用いて計算される⁷⁹⁾。また、原らが提案した衝突危険度評価式は、複数の船舶に遭遇する状況における衝突危険度を示す。この指標では、自船からの距離と相対方位変化率を用いて 1 隻ず

つ衝突危険度を計算するもので、重み係数に複数の船舶に遭遇する状況が考慮されている⁸⁰⁾。CJ値やSJ値が、1対1の見合い関係における衝突危険度を計算する指標であるのに対し、衝突危険度評価式は、複数の船舶に遭遇する状況での衝突危険度を計算できる。

ここでは、複数の船舶に遭遇する状況で見張りを行うべき船舶を選定するため、原らによる衝突危険度評価式⁸⁰⁾を用いる。同式では、横軸に自船からの距離、縦軸に方位変化率で定義した評価領域を用いて衝突危険度が示され、危険領域・注意領域・安全領域の3つのレベルが定義されている。これらのうち、危険領域及び注意領域に含まれる船舶を、本章での「見張りを行うべき船舶」とすることとした。衝突危険度評価式を用いた評価において、危険領域に含まれる船舶は式(3.1)、注意領域に含まれる船舶は式(3.2)で選定される。

$$\dot{\omega} \leq \alpha \cdot R^{\beta} \quad (3.1)$$

$$\alpha \cdot R^{\beta} < \dot{\omega} \leq \gamma \cdot R^{\delta} \quad (3.2)$$

式(3.1)及び式(3.2)において、 $\dot{\omega}$ は方位変化率(deg./min.)、 R は相対距離(m)を示す。また、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ は重み係数で、他船の通航状態によって、次のように定義される。

他船が自船の船首をこれから通過する場合、危険領域に含まれる船舶は、自船からの距離が1,800m以下の範囲で選定され、注意領域に含まれる船舶は自船からの距離が3,400m以下の範囲で選定される。このとき、重み係数は下記の通りである。

$$\begin{aligned} \alpha &= 4.5 \times 10^5 \\ \beta &= -1.7 \\ \gamma &= 5.8 \times 10^5 \\ \delta &= -1.7 \end{aligned} \quad (3.3)$$

他船が自船の船首を通過した場合、危険領域に含まれる船舶は、自船からの距離が1,500m以下の範囲で選定され、注意領域に含まれる船舶は自船からの距離が3,700m以下の範囲で選定される。このとき、重み係数は下記の通りである。

$$\begin{aligned} \alpha &= 3.0 \times 10^5 \\ \beta &= -1.7 \\ \gamma &= 1.9 \times 10^5 \\ \delta &= -1.6 \end{aligned} \quad (3.4)$$

衝突危険度評価式⁸⁰⁾の定義では、他船が自船の船尾をこれから通過する場合と、船尾を通過した場合には危険領域の定義はない。他船が自船の船尾をこれから通過する場合、注意領域に含まれ

る船舶は自船からの距離が 3,300m 以下の範囲で選定される。このとき、重み係数は下記の通りである。

$$\begin{aligned}\alpha &= 0 \\ \beta &= 0 \\ \gamma &= 5.2 \times 10^5 \\ \delta &= -1.7\end{aligned}\tag{3.5}$$

また、他船が自船の船尾を通過した場合、注意領域に含まれる船舶は自船からの距離が 2,500m 以下の範囲で選定される。このとき、重み係数は下記の通りである。

$$\begin{aligned}\alpha &= 0 \\ \beta &= 0 \\ \gamma &= 4.1 \times 10^5 \\ \delta &= -2.1\end{aligned}\tag{3.6}$$

(4) 操船者エラー背後要因の検討方法

行動分析の結果を用いて、第 2.5 章で述べた Endsley の状況認識モデルをベースに操船者の状況認識モデル作成し、抽出した操船者エラーの背後要因について検討を行う。

3.2.3 操船者の一般的な見張り作業の特徴及びエラーモードの分析手順

操船者の一般的な見張り作業を把握し、操船者のエラーモード分析を行うための手順を下記に示す。

(1) 実験シナリオの作成

複数の船舶と複数のタスクを含む実験シナリオを作成する。

(2) 操船シミュレータ実験

複数の船舶に遭遇する状況での、操船者の見張り行動を観察及び記録する。

(3) 操船者の行動分析

船舶の目視発見時刻、船舶に対する情報収集の頻度、監視する船舶の時間的变化（監視リスト内部の時間的变化）、避航時刻を明らかにする。

(4) 操船者の状況認識モデルの作成

行動分析結果を用いて、操船者の状況認識モデルを作成する。

(5) 操船者のエラーの特定

見張りを行うべき船舶が、適切な時刻に監視の対象として選択され、かつ、継続的な情報収集が行

われているかを評価する。操船者のエラーとは、見張りを行うべき船舶が適切な時刻に継続的に監視されていない場合の、操船者の行動である。

(6) 操船者のエラーの発生過程と発生条件の検討

操船者の状況認識モデルを用いて、操船者のエラーの発生過程及び発生条件を検討する。

3.2.4 シミュレータ実験

シミュレータ実験は、通常実船では計測が難しい、当直作業における操船者の見張り行動を観察及び計測することを目的に実施した。シミュレータ実験では、同じ状況を繰り返し再現することが可能であることから、複数の被験者による見張り行動を計測する事が可能である。具体的な実験シナリオと実験内容は下記の通りである。

(1) 実験シナリオ

実験シナリオは、海域を含む環境条件と他船の交通によって定義する。陸上や航路が見張りに与える影響を避けるため、海域は外海（Open Sea）とした。最も重要とされる目視による情報収集を観察するため、時間帯は昼間を設定した。一方、実験時間が限られる中、実験開始直後から見張りに集中する環境として、視程を4海里とし、実験開始時に目視ではいずれの他船も確認できない環境とした。実験では、複数の船舶に遭遇する状況における操船者の見張り行動を観察し、行動分析により操船者の監視リスト内部の時間的変化を明らかにしやすいよう、同時に出現する他船を6隻とし、それらを6海里以内に配置した。保持義務船・避航義務船による状況認識の違いについても観察できるよう、他船の配置は左舷・右舷の両方に分散させた。複数の船舶を見張りが必要な状況におくため、全ての他船は、一定の時間、衝突に至る見合い関係となるようにした。最後に衝突に至る見合い関係が生じる他船は、必ず避航が必要な船舶となるようにすることで、避航行動を観察する。以下に、他船の詳細条件を示す。

- 右舷に3隻、左舷に3隻配置する。
- 自船から4から6海里の距離から衝突の見合い関係がないコースでスタートする
- 初期船速は、8から19knotの間に設定し、船舶は常に初期船速を保持する
- 衝突に至る見合い関係とは、最接近距離が0海里となるコースライン上を船舶が航行している状況とする
- 6隻中の5隻の船舶は、実験開始から300秒後から、1隻ずつ順次、60秒から120秒の時間差を持って、最接近距離が0海里となるコースに変針し、240秒間、衝突に至る見合い関係を保持する
- 最大で4隻の船舶が、同時に衝突に至る見合い関係とする

- 6 隻の中の 1 隻は、実験終了まで衝突の見合い関係が生じた針路を保って航行する

実験は一人の被験者が、同一日に複数の実験シナリオを用いて行う。そのため、被験者は船舶が変針する時期や順番等の実験シナリオの傾向を記憶し、それに基づき見張り作業を行う可能性が考えられた。極端に早い時期に避航動作を取った場合、他の被験者の見張り行動との比較が難しくなるため、実験中は被験者の見張り作業の傾向を観察し、状況に応じて実験シナリオを追加した。例えば、まだ衝突に至る見合い関係が生じていない状況で、左舷の横切り船に対し避航動作を取ってしまう被験者の場合、基本交通流の範囲内で左舷船のスタート位置を変更し、相対距離を延ばす等の調整を行った。実験シナリオを追加する際には、基本交通流をベースとして、自船へ接近する他船のスタート位置、針路、速力及び衝突に至る見合い関係が生じる順番を変化させ、最終的に 14 種類の実験シナリオとした。その結果、実験シナリオ毎に、実施した被験者数にばらつきが生じた。そこで、被験者の 3 名以上が実施した 10 種類の実験シナリオ (I~X) を用いた実験について、被験者の見張り行動を分析した。分析した 10 種類の実験シナリオでは、主に自船の進行方向に近い船舶や自船からの距離が近い船舶が、見張りを行うべき船舶として選定された。

図 3.3 に、実験シナリオ I 及び III の相対的な航跡を示す。黒線は実験シナリオ I の航跡、赤線は実験シナリオ III の航跡である。他船の番号は、右舷船は S、左舷船は P を頭文字とし、左右それぞれ、自船の進行方向に近い船舶から順番に 1 から 3 の番号を付けた。実験シナリオ I 及び III では、S1 は実験終了まで衝突の見合い関係が生じた針路を保っていることが分かる。図 3.4 は、これらのシナリオにおいて、衝突に至る見合い関係が生じる時間帯を示しており、横軸に実験シナリオの時間、縦軸に他船番号を示す。この図より、2 つのシナリオでは、S1 及び P1~P3 の 4 隻について、衝突に至る見合い関係が生じる時間帯が異なることが分かる。

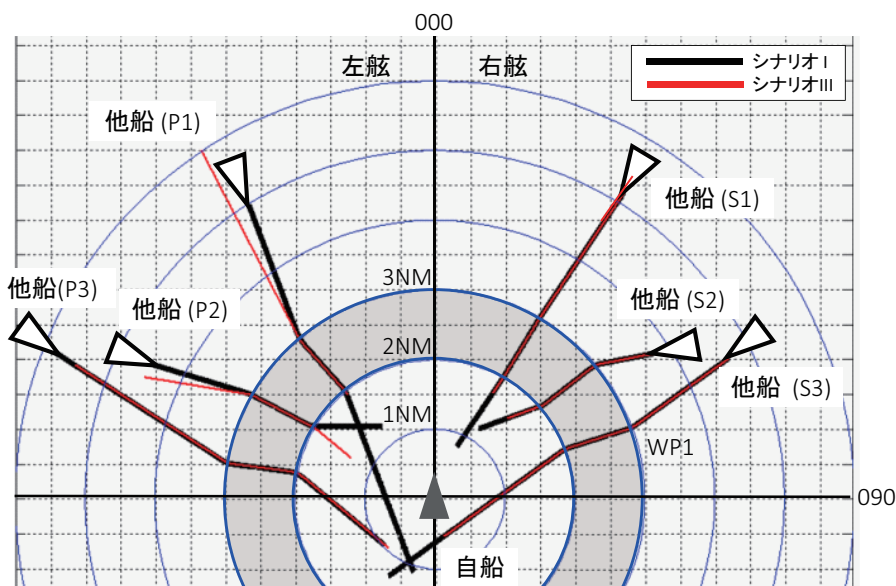


図 3.3: 実験シナリオ I 及び III の相対的な航跡

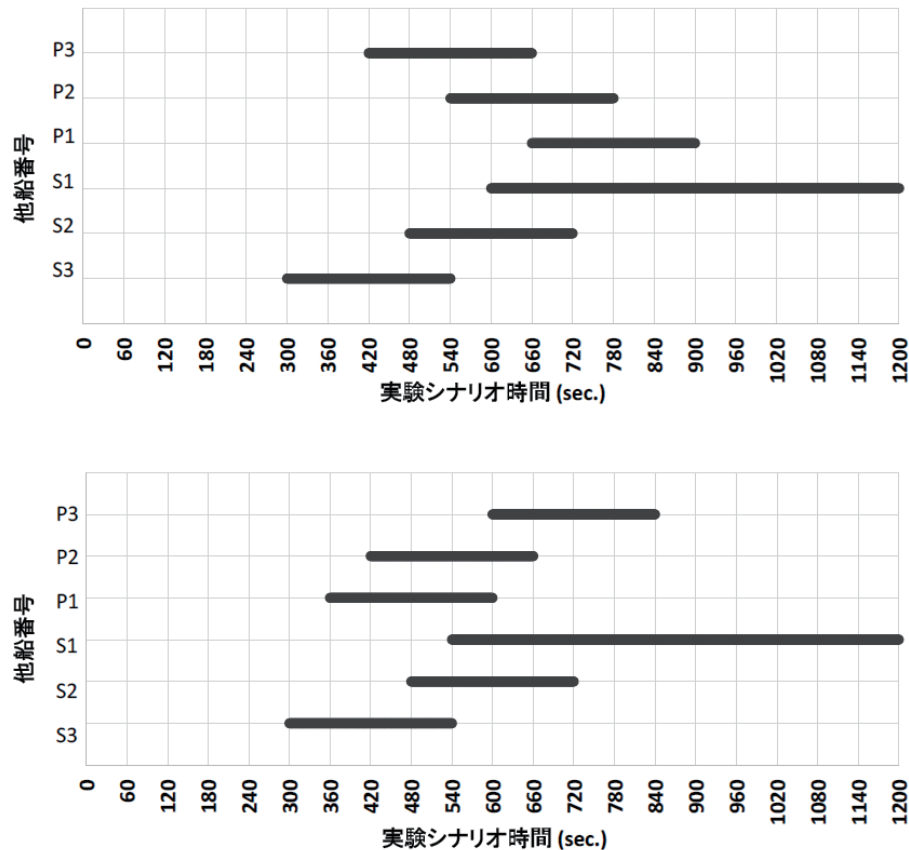


図 3.4: 衝突に至る見合い関係が生じる時間帯（上図：シナリオ I，下図：シナリオ III）

(2) 実験方法

実験は、操船実務経験のある 16 名の被験者を対象に、各被験者につき複数の実験シナリオを用いて実施した。16 名の被験者の乗船経験等を表 3.2 に示す。実験前、全ての被験者に対し、国立研究開発法人海上技術安全研究所、人間を対象とする実験に関する倫理及び安全管理規定⁸¹⁾、並びに、人間工学実験取扱細則⁸²⁾に則って、実験の内容や被験者の権利について説明を行い、インフォームドコンセントを得た上で、実験を実施した。実験中、被験者は下記の 3 点のタスクを行う。

(a) 一般的な航海計器を使用し、通常の見張り当直作業を行う

(b) 目視で他船を発見した場合、他船のコンパス方位を報告する

(c) 避航の必要があると判断した場合、船橋内の操舵手へ操船の指示をし、避航動作をとる

実験中の被験者の行動は、操船シミュレータ船橋内に設置した赤外線カメラで撮影し、被験者の発話等の音声及びレーダ画像と合わせて、ビデオカメラ及び HDD/DVD レコーダで記録した。

表 3.2: シミュレータ実験における被験者の情報

Subject No.	海技免状	航行している 海域・航路	乗船している 船種	役職
1	一級	全海域	VLCC ^{*1} , PCC ^{*2} , GC ^{*3} , Bulkер, Product Carrier	Capt.
2	一級	PG ^{*4} , 豪州	VLCC, LPG ^{*5} , Bulkер, Bulkер, PCC	1/O
3	一級	PG, 豪州, 北米西岸	VLCC, LPG, Bulkер, PCC	Capt.
4	二級	PG	VLCC, LPG	-
5	一級	世界	VLCC, LPG, Bulkер, Container	1/O
6	二級	PG, 豪州	VLCC, Bulkер	1/O
7	二級	PG	VLCC	2/O
8	一級	PG,	VLCC, LPG	1/O
9	一級	全海域	VLCC, LPG, Bulkер, PCC	Capt.
10	二級	PG	VLCC, AFLA Max ^{*6}	1/O
11	三級	-	-	-
12	一級	PG, 豪州	VLCC, LPG	1/O
13	二級	PG, 豪州	VLCC, Bulkер	1/O
14	一級	世界	Bulkер	1/O
15	一級	PG, 豪州	VLCC, LPG, Bulkер	1/O
16	二級	PG, 豪州	VLCC, LPG, Bulkер	1/O

3.2.5 行動分析結果

(1) 操船者の状況認識モデルの作成

図 3.5 にシミュレータ実験における操船者の見張り状況の一例を示す。横軸に実験開始からの時間、縦軸に他船の番号を表す。実験及び行動分析の詳細については次の節で詳しく述べる。図 3.5 では、目視やレーダ、双眼鏡、コンパス等により情報収集を行った時刻を灰色の丸いシンボルで、目視での発見報告の時刻を黒色のクロスシンボルで示す。また、目視での発見以外の報告を黒い色の丸いシンボルで示す。図 3.5 より、監視している船舶が時間によって移り変わる様子や、同時

*1 Very Large Crude Carrier

*2 Pure Car Carrier

*3 General Cargo ship

*4 Persian Gulf

*5 Liquefied Petroleum Gas carrier

*6 Average Freight Tate Assessment Max tanker

に複数隻の船舶に対し、見張りが行われている状況を把握できる。被験者によって見張りの状況は異なるが、全ての実験での被験者の行動を分析したところ、同時に見張りを行っている船舶数は最大で4から5隻程度であることが分かった。つまり、周囲に複数の船舶が存在する場合、操船者はそれらの船舶について見張りの優先順位を決めていると考えられる。筆者らは、操船者の見張りの優先順位を示したものを監視リストと考え、操船者の監視対象となる船舶の変化は、監視リストの作成及び更新により表現できると考えた。

例えば、図3.5の状況では、300秒から420秒の間では、P1とS2という2隻が監視リストに入っており、S2に比べ見張り頻度の高いP1が見張りの優先順位が高い、つまり監視リストの上位に位置していたと考えられる。420秒から540秒の間では、S1、S2、P1の3隻が監視リストに入っており、P1に比べS1及びS2の見張りの優先順位が高かったことが予想できる。

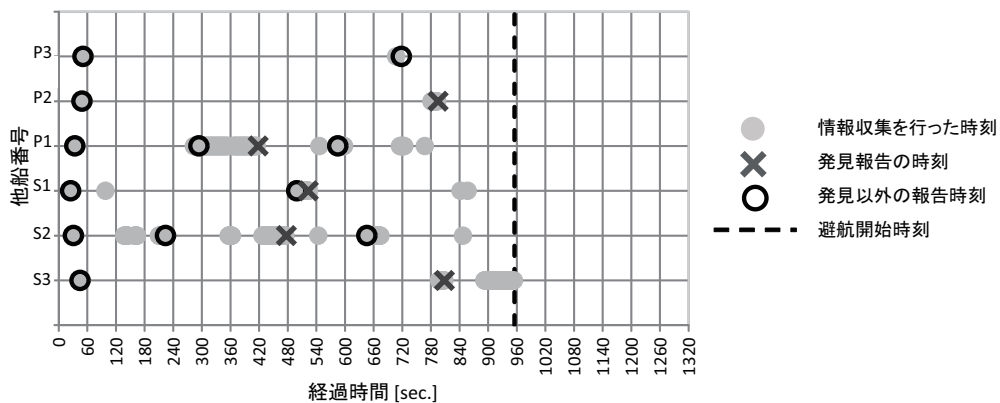


図 3.5: 操船者の見張り状況の一例

監視リストの作成・更新の流れを含む、操船者の状況認識モデルを図3.6に示す(5)(6)。これは第2章で詳しく述べた Endsley の動的意識決定における状況認識モデル（以下、Endsley モデルと呼ぶ）⁷⁶⁾ を基に作成したもので、図3.6の(1)～(13)が Endsley モデルの状況認識 (Situation awareness) に相当する。操船者の状況認識モデルでは、見張り作業の開始や新しい船舶の出現により、監視リストの作成が行われる(図3.6(1)～(4), (7))。新たに船舶を発見した場合、その船舶に対する情報収集と、将来予測を行い、監視リストの作成もしくは更新を行う(図3.6(3)(4))。新たに船舶を発見しなかった場合、監視リストを更新するために、監視リストに含まれる全船舶の情報収集と将来予測を行う(図3.6(5)(6))。新しい他船1隻に対する情報収集及び将来予測と、監視リストに含まれる全船舶に対する情報収集及び将来予測は、作業量や対象の船舶が異なるため、別のタスクとして分けて記述する(図3.6(3)～(6))。

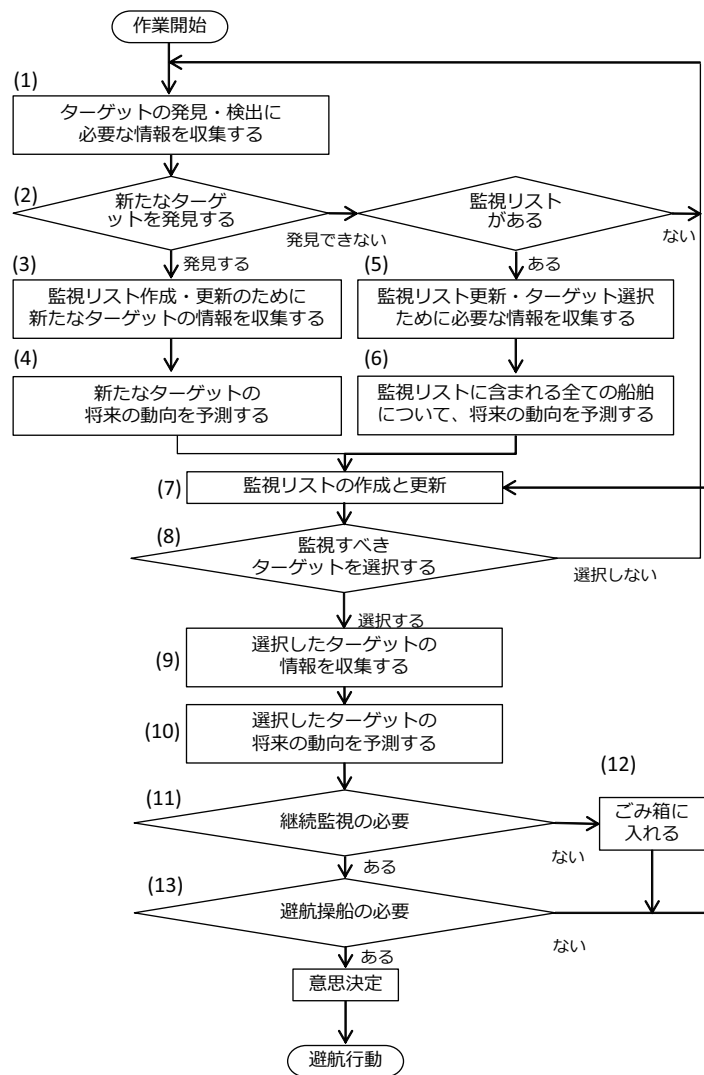


図 3.6: 操船者の状況認識モデル

監視リストが固まると、監視リスト中から見張りの優先順位の高い船舶が選択され、その船舶に対する情報収集と将来予測が行われる（図 3.6 (8)~(10)）。将来予測の結果、継続した見張りが必要ないと判断された場合、その船舶は監視リストから外れ、ごみ箱に入れられる（図 3.6 (11)(12)）。継続した見張りが必要と判断された場合は、直ちに避航が必要かどうか判断する（図 3.6 (11)(13)）。直ちに避航が必要と判断されれば、避航行動を決定し、避航動作を行うが、直ちに避航を行う必要がないと判断された場合は、将来予測の結果に基づき監視リストの更新を行う（図 3.6 (7)(13)）。操船者の状況認識モデルは、操船者が見張り作業で行う主要なタスクとその順序を表現しているが、多くのタスクは操船者の内的行動であり、観察が難しい。通常の操船に近い見張り作業を通し、操船者の行動として観察できるのは、「(1) 発見」「(3)(5)(9) 情報収集」「(8) ターゲットの選択」であると考えられる。そこで、本論文では「発見」「情報収集」「ターゲットの選択」というタスクで起きる操船者のエラーを特定し、その発生率を示す。

(2) 操船者エラーの抽出結果

図 3.7, 図 3.8, 図 3.9 に, 被験者のうち 3 名 (A, B, C) の見張り行動を時系列で示す. 見張り行動として記録したのは, 操船者が目視により他船を発見した時刻 (灰色のクロス) のシンボル, 目視やレーダ, 双眼鏡, コンパス等により他船に関する情報収集を行った時刻 (灰色の丸), 避航の時刻 (青色の線), 目視による発見以外の報告時刻 (濃い灰色の丸) である. ピンク色のシンボルは, 見張りを行うべき船舶を示している. 目視による他船の発見時刻とは, 目視で他船を発見し, その他船のコンパス方位を口頭で報告した時刻, つまり被験者がタスク (b) を実施した時刻である. したがって, コンパス方位の報告がなかった場合, 実際には目視を行っている場合でも, 目視による発見時刻がプロットされない場合がある.

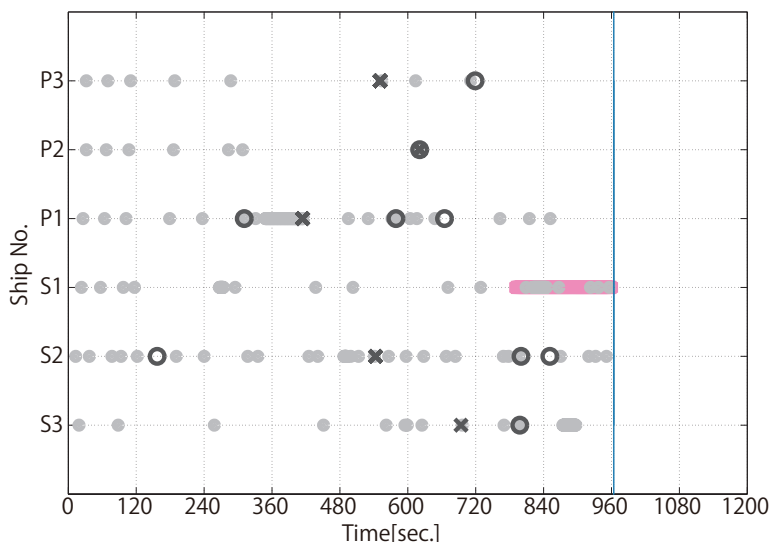


図 3.7: 被験者 A の他船に対する見張り状況の推移 (実験シナリオ III)

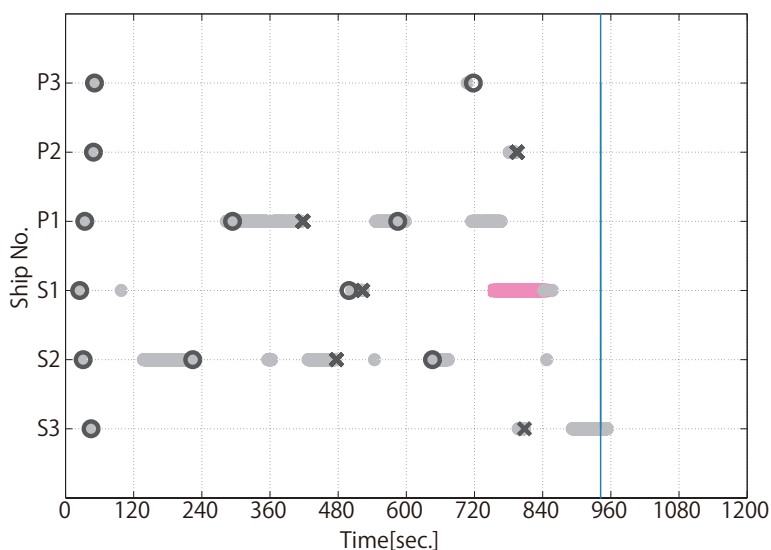


図 3.8: 被験者 B の他船に対する見張り状況の推移 (実験シナリオ III)

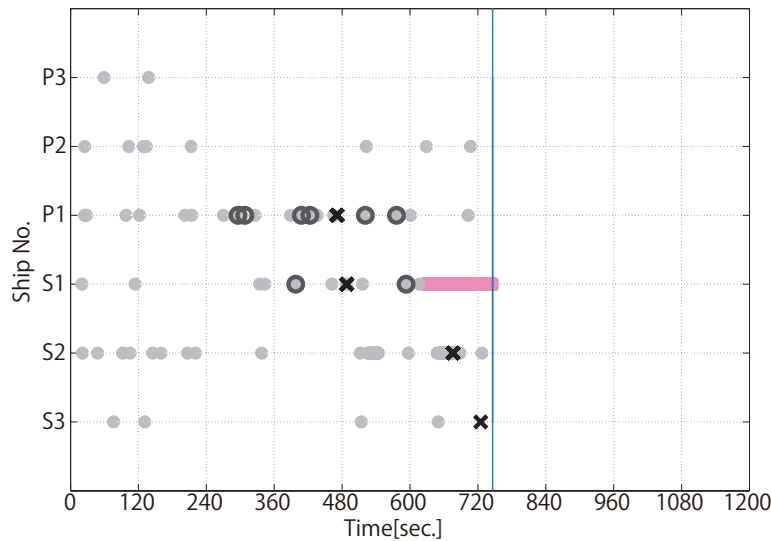


図 3.9: 被験者 B の他船に対する見張り状況の推移 (実験シナリオ I)

図 3.7 では、S1 に対する目視での発見時刻がプロットされていないが、行動分析の結果、実際には目視による情報収集が行われている。発見以外の報告についても同様に、被験者の報告が全くないケースも存在するため、報告及び情報収集を行った時刻のプロットを合わせて分析を行った。図 3.7 より被験者 A は、見張りを行うべき船舶 (S1) を頻繁に監視していることが分かる。一方、図 3.8 より被験者 B は、見張りを行うべき船舶 (S1) を、しばらくの間監視しておらず、監視を開始する時刻が遅れていることが分かる。図 3.9 より、被験者 C は、見張りを行うべき船舶 (S1) を、まったく監視していないことが分かる。この様に、操船者が他船を発見した時刻や他船に関する情報収集を行った時刻を時系列で表現することで分かる、他船ごとの監視の時間的变化と、見張りをを行うべき船舶の発生時刻を比較したところ、見張りをを行うべき船舶が監視されていない時間帯があることが分かった。そこで、レーダ ARPA による他船の動的情報の計算時間を含めた情報収集の時間を考慮し、見張りをを行うべき時間帯となってから、1 分以上、見張りをを行うべき船舶の監視をはじめめる時刻が遅れることを「気づき遅れ」、見張りをを行うべき船舶をまったく監視しないことを「見落とし」と定義し、これらを操船者のエラーとした。図 3.8 より、被験者 B の実験シナリオ III を用いた実験では、S1 に対し気づき遅れというエラーが発生したと言える。図 3.9 より、被験者 C の実験シナリオ I を用いた実験では、S1 に対し見落としというエラーが発生したと言える。図 3.7 及び図 3.9 において、S1 は被験者が避航行動をとるまで、継続して見張りをを行うべき船舶として選定されている。一方、図 3.8 では、S1 は 840 秒前後で見張りをを行うべき船舶として選定されていない。自船の船速は操船シミュレータで制御しているが、実験ごとに 0.5knot 前後の速度差が生じる。また、オートパイロットによる針路保持の誤差もあるため、同じシナリオであっても、実験ごとに自船との距離及び相対方位変化率に差が生じる。

図 3.10 は、横軸に自船からの距離、縦軸に相対方位変化率を示し、横切り前の他船に対する危険領域（濃い灰色の領域）及び注意領域（薄い灰色の領域）を示す。これらが見張りを行うべき船舶の評価領域に対応している。被験者 B の実験シナリオ III を用いた実験における S1 に対する衝突危険度を実線で示す。この実線より、S1 は距離が近づくとつれ、一度は見張りを行うべき船舶として判断されるが、その後、注意領域から外れ、見張りを行うべき船舶ではなくなることが分かる。自船からの距離及び相対方位変化率の関係から、時間の経過と共に見張りを行うべき船舶として定義されなくなるケースは、他のシナリオにおいても複数見られた。式 (1)~(4) で示され、図 3.10 に表現した注意領域及び危険領域の境界線は、あくまで、ばらつきのある観測データから得られた近似線である。原らの論文⁸⁰⁾では、注意領域の境界線の外側であっても、近似線の付近に船舶の動静がプロットされた場合、複数のケースで注意を要する船舶であると評価された結果が示されている。

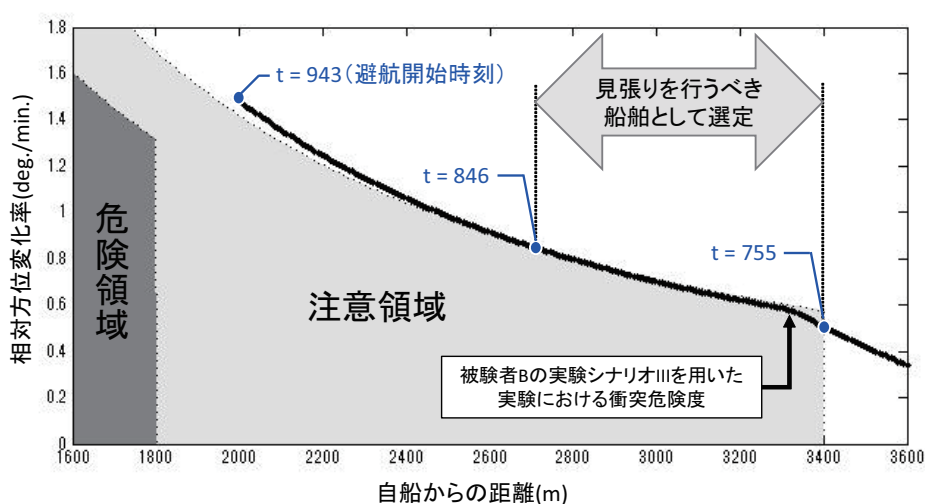


図 3.10: 被験者 B 実験シナリオ III における S1 に対する衝突危険度評価結果

図 3.10 の様に、注意領域の境界線に密接して船舶の動静がプロットされた場合においても、より安全サイドで見張りを行っている操船者の評価としては、「注意を要する船舶」として判断されることが考えられる。そこで本論文では、注意領域の境界線に密接して船舶の動静がプロットされた場合でも、境界内である場合は見張りを行うべき船舶として選定することとした。見張りを行うべき船舶の選定では、1 隻毎に式 (1)~(4) を用いた計算を行う。したがって、操船者の避航行動の時刻や他船の接近する角度によって、複数の船舶が選定される場合もある。この場合も、1 隻のみ選定される場合と同様に、見張りを行うべき船舶 1 隻ごとに気づき遅れ及び見落としの発生状況を分析した。全ての被験者が行った実験結果から、気づき遅れ及び見落としの発生状況の分析を行った結果について表 3.3 に示す。表 3.3 は、シナリオ毎の実験実施回数、分析を行った船舶数、また、その中から見張りを行うべき船舶として選定された船舶の数、気づき遅れ及び見落としの発生件数を示している。気づき遅れは合計 2 件、見落としは合計 13 件発生しており、特に見落としという

エラーは複数のシナリオ及び複数の被験者で発生している。本論文で用いた 10 種類の実験シナリオでは、見張りを行うべき船舶（72 隻）に対し、気づき遅れ及び見落としが発生した割合（合計 15 件）は、約 21% であった。実験では、一つのシナリオを実施できる被験者に限りがある。また本実験は、操船者が遭遇した状況の難易度に対する正確なエラー発生率を示すことを目的としていないため、シナリオ I~X の合計値での評価に留めた。全ての実験において、被験者は衝突に至る前に避航行動をとり、衝突事故は起こらなかった。したがって、突事故が起こらない場合においても、気づき遅れや見落としというエラーは複数発生していることが分かる。

表 3.3: 見張り作業における操船者エラー（気づき遅れ及び見落とし）の発生件数

シナリオ 番号	実験実施 回数 (回)	分析を行った 船舶数 (実験回数 × 6 隻) (隻)	見張りを 行うべき 船舶数 (隻)	エラーの発生件数	
				① 気づき遅れ (件)	② 見落とし (件)
I	13	78	4	0	2
II	12	72	8	0	1
III	11	66	9	1	2
IV	11	66	15	0	3
V	10	60	8	0	1
VI	10	60	15	0	2
VII	7	42	4	0	1
VIII	7	42	6	1	1
IX	5	30	2	0	0
X	3	18	1	0	0
合計	89	534	72	2	13

3.2.6 操船者エラー発生要因の検討

気づき遅れや見落としが発生した 15 件のケースで、その間に行われていた操船者の行動を調べた結果、11 件のケースにおいて、見張りを行うべき船舶以外の船舶に見張りが集中していることが明らかとなった。例えば、図 3.9 では、見張りを行うべき船舶（S1）ではなく、主に S2 や S3 に監視が集中している。つまり、気づき遅れと見落としというエラーの発生要因は、見張りの優先順位、つまり操船者の監視リストが適切ではなかったことであると考えられる。

3.2.7 操船者エラー発生過程の検討

気づき遅れや見落としというエラーの発生過程について、図 3.6 に示した操船者の状況認識モデルを基に検討を行った。見張りの優先順位が適切ではなかった原因は、操船者の状況認識モデルから、以下に示す 4 つのケースが考えられる。

- 情報収集が不十分であった

少ない情報に基づき、他船の将来予測を行った結果、継続監視の必要性はないと判断され、見張りを行うべき船舶の優先順位が下がった可能性がある。

- 他船の将来予測を誤った

適切な情報収集が行われ、将来予測に用いる十分な情報がある場合でも、操船者個人の認知バイアスにより、将来予測を誤った可能性がある。将来予測を誤った結果、見張りを行うべき船舶の優先順位が下がった可能性がある。

- 継続監視の必要性の判断を誤った

正しい将来予測がされたとしても、継続監視の必要性の判断を誤る可能性がある。

- 監視リストの更新が適切ではなかった

ある特定の船舶に対する情報収集や将来予測に時間がかかり、監視リスト全体の更新頻度が低下した可能性がある。

操船者のワークロードが増大した結果、気づき遅れ等のエラーが発生することは、実験で証明されている³³⁾。操船シミュレータ実験は、複数の船舶を同時に監視することを求める内容であったため、操船者のワークロードは常に高い状況であったと考えられる。高いワークロードの中、見張りを行うべき船舶が監視されなかった要因は、行動分析で明らかとなった見張りを行うべき船舶がまったく監視されていなかった状況や、他の船舶を監視していた状況から、下記に示す 2 つが挙げられる。

- 監視リストの全体の更新がされず、見張りを行うべき船舶が監視リストの下位に位置し続け、監視対象とならなかった場合

例えば、図 3.9 では、見張りを行うべき船舶 (S1) は、600 秒過ぎまでは継続的に監視されていたことが分かる。複数の船舶に対し、頻繁な情報収集や将来予測が求められる中、監視リスト全体を更新する余裕がなく、監視リスト上位 (図 3.9 では S2) のみ更新がされ続けた可能性がある。つまり操船者の状況認識モデルにおける「(8) の監視すべきターゲットの選択」が適切ではなかった可能性がある。

- 見張りを行うべき船舶が、ある時刻に継続した見張りは必要ないと判断され、監視リストから抜けてしまった場合

例えば図 3.8 では、見張りを行うべき船舶 (S1) は、540 秒前から監視がされていなかったことが分かる。このケースでは、複数の船舶に対し、頻繁な情報収集や将来予測が求められる中、S1 に対し、一度継続した見張りは必要がないという判断した可能性がある。つまり、操船者の状況認識モデルで考えると、S1 に対し「(11) 継続監視の必要」はないと判断し、「(12) ごみ箱に入れる」が選択された可能性がある。その結果、見張りを行うべき時刻になった時点で S1 は監視リストに入っておらず、見張りを行うべき船舶として認識することが遅れたと考えられる。

3.2.8 操船者エラー発生条件の検討

見張りを行うべき船舶以外の船舶に見張りが集中している 11 件のケースについて、エラーが発生している時間帯に、最も見張りが集中している船舶の特徴について分析を行った。分析を行った 11 件中 6 つのケースでは、自船針路に対する進入角が 40~45 度の船舶に見張りが集中していることが分かった。表 4.3 は、見張りを行うべき船舶と実際に見張りが集中していた船舶について、距離・自船針路に対する進入角のエラーが発生した時間帯における平均値 (6 ケース) を示す。ケース番号 2 以外の 5 ケースでは、0.16~0.90 海里程度、見張りを行うべき船舶よりも距離が遠い船舶に見張りが集中している。したがって、進入角が 90 度以上で距離の近い横切り船よりも、今後も長時間横切りの見合い関係が続く同行ぎみの横切り船に対する見張りが優先された可能性があると言える。自船針路に対する進入角が 40~45 度という、今後も長時間横切りの見合い関係が続く船舶の存在が、本論文における気づき遅れ及び見落としというエラーの発生条件の一つと推察する。

表 3.4: 操船者エラー発生時に見張りが集中する船舶の特徴

	見張りを行うべき船舶		最も見張りが集中している船舶		距離の差 (NM) D1<D2 : + D1>D2 : -
	距離 (NM) D1	進入角 (deg.)	距離 (NM) D2	進入角 (deg.)	
1	1.72	90	1.99	41	0.27
2	1.61	90	1.49	45	-0.12
3	1.65	90	1.94	43	0.29
4	0.87	125	1.03	40	0.16
5	0.74	135	1.57	45	0.83
6	0.73	135	1.64	45	0.90

3.2.9 操船者の一般的な見張り作業の特徴と操船者エラー

操船シミュレータ実験及び操船者の行動分析から、見張りを行うべき船舶が適切な時刻に継続監視されているかどうかを評価し、「気づき遅れ」及び「見落とし」という操船者エラーが、実際に衝突海難を引き起こしていない場合にも発生していることを示した。また、シミュレータ実験で用いた10種類のシナリオでは、選定した見張りを行うべき船舶に対し、気づき遅れ及び見落としの発生率は21%であった。さらに、これらの操船者エラーが発生した要因は、見張りの優先順位、つまり操船者の監視リストが適切ではなかったことであると考えられる。

この様に、見張りの優先順位は、操船者エラーの背後要因の検討を行う上で、重要なテーマの一つであると考えられる。操船シミュレータ実験における操船者の行動分析では、見張りを行うべき船舶が監視リストに入っているかどうかの把握は可能であり、操船者の状況認識モデルを用いることで、操船者エラーの背後要因の予測を行うことは可能である。しかし、操船者の行動分析結果だけでは、監視リストに入っている船舶の見張りの優先順位を把握することは難しそこで本論文では、人間の状況認識を計測できる手法を用いたシミュレータ実験及び見張り作業の詳細分析を実施した。

3.3 SAGAT を用いた操船者の見張り作業における状況認識の分析

Endsley は、航空機のパイロットの状況認識を計測する SAGAT(Situation Awareness Global Assessment Technique)³¹⁾ という手法を提案している。SAGAT は、実験後に実験中の状況についてヒアリング調査を行うのではなく、実験中にその場の状況に関する被験者の知識を調査する手法であり、実験後の記憶や感情に影響されない、実験中の状況認識を計測できる特徴がある。SAGAT を用いた状況認識の評価は、航空機のパイロットに関するものだけではなく、すでに船舶を運航する操船者についても、水先人養成において訓練の効果を評価する手法や、操船者の技術伝承を目的とした、操船実務経験者と商船系学生の見張り作業の違いを示す手法として用いられている。^{32,83)} 本論文では、見張り不十分が原因として指摘される衝突海難の抑制にあたり、操船者の状況認識に着目した対策を検討することを目的に、SAGAT を用いた操船者の見張り作業における状況認識の計測と計測に基づき操船者の状況認識の特徴について分析を行う。

3.3.1 操船者の見張り作業における状況認識の計測方法

(1) SAGAT(Situation Awareness Global Assessment Technique)³¹⁾

SAGAT は、実験後に実験中の状況についてヒアリング調査を行うのではなく、実験中にその場の状況に関する被験者の知識を調査する手法であり、具体的に下記の方法が提案されている。

- (a) パイロットにシミュレータ実験のシナリオ上のミッションを与える
- (b) ランダムなタイミングで、実験シナリオを中断し、コックピットや窓の外を見えなくする
- (c) パイロットの周囲の状況に対する知識を計測するため、一定時間内に、パイロットに対し一連の質問を行う
- (d) 実験シナリオを中断中に全ての周囲の状況について質問することはできないため、質問の一部はランダムに選ぶ。ただし、ランダムに選択する方法は、一貫性や統計的な妥当性を考慮した上で行うこと。
- (e) 質問終了後、実際に起こった状況をベースに、パイロットが回答した内容について評価を行う。
- (f) これらのランダムな質問プロセスを、数人のパイロットそれぞれに対し、数回繰り返す。

SAGAT は、実験後の記憶や感情に影響されない、被験者の状況認識を直接計測できるというメリットがある。SAGAT を操船者の状況認識の計測手法として適用する具体的な方法について、次に述べる。

(2) SAGAT を用いた操船者の見張り作業における状況認識の計測方法

上記に説明したとおり、SAGAT ではシミュレータ実験中に実験シナリオを一時中断し、その時

に認識している周囲の状況について、被験者から直接回答を得る必要がある。しかし、周囲に複数の船舶が存在する場合、口頭質問から得られる回答にはあいまいさを含んでおり、短時間では、認識している船舶をリストとして書き出すには限界がある。そこで本論文では、水先人養成において訓練の効果を評価している研究事例³²⁾を参考に、通常操船者が情報収集で利用しているレーダー画面に近いレーダチャート紙に認識している船舶とその特徴（認識した船舶の相対方位距離、船首の向いている方向）を記入する方法を採用した。

Endsley による SAGAT 手法の検証では、シナリオ停止時間を 1 分半とし、計 3 回の計測を行った場合と、シナリオを停止しなかった場合のパイロットの主観的評価とパフォーマンスを比較し、その差がなかったことが示されている。シナリオの停止時間は、シナリオの流れや見張り作業の集中を妨げないように、可能な限り短い方が望ましいと考えられる。本論文では、レーダチャートを用いることで、船舶の位置関係を距離及び方位の情報に基づき記録することができるため、シナリオ停止時間は 1 分以内とした。

第 3.2 章で実施した操船者の行動分析を目的としたのシミュレータ実験では、1 日に 1 人の被験者が実施できる実験回数を考慮し、避航行動を含め 20 分前後のシナリオ用いた実験を行っており、被験者の集中力が途切れず見張り作業が行われていることを確認している。そこで本論文では、計測時間を含め 22 分間のシナリオ作成し、計 4 回の SAGAT 計測を行うこととした。つまり、見張り作業（5 分～7 分）、シナリオの中断とレーダチャートを用いた状況認識の計測（1 分以内）、シナリオの再開というサイクルを、シナリオが終了するまで繰り返し行い、操船者の状況認識の時間的変化を計測する。

3.3.2 操船者の見張り作業における状況認識の特徴分析手順

自船周囲に複数の船舶が存在する場合の、操船者の状況認識の特徴を把握するための手順を下記に示す。

(1) 実験シナリオ及びヒアリング調査項目の作成

複数の船舶と複数のタスクを含む実験シナリオを作成する。

(2) 操船シミュレータ実験及び見張り作業に関するヒアリング調査

複数の船舶に遭遇する状況での、操船者の状況認識を SAGAT により計測・記録し、シミュレータ実験直後に SAGAT の記録に基づき見張り作業に関するヒアリング調査を行う。

(3) 操船者の状況認識の分析

SAGAT 計測結果を用いて複数の被験者が共通して認識している船舶の特徴を明らかとすると共に、一般的な見張り作業に関するヒアリング調査結果を合わせて、操船者の状況認識の特徴を示す。

3.3.3 SAGAT を用いたシミュレータ実験

(1) 実験シナリオ

色々な見合い関係における見張りの特徴を計測するために、計 24 隻の船舶を発生させる実験シナリオを作成した。実験シナリオにおける他船の絶対航跡及び出現する他船の情報について図 3.11 及び表 3.5 に示す。横切りの見合い関係における保持義務船・避航義務船による状況認識の違いを把握するため、他船の配置は左舷・右舷の両方に分散させる配置とし、同航船や反航船も出現させた。船舶は通常右側航行をしているため、左右の横切り船も基本的に右舷航行を行うよう配置した。第 3.2 章の操船者の行動分析と同様、陸上や航路が見張りに与える影響を避けるため、海域は外海 (Open Sea) とした。

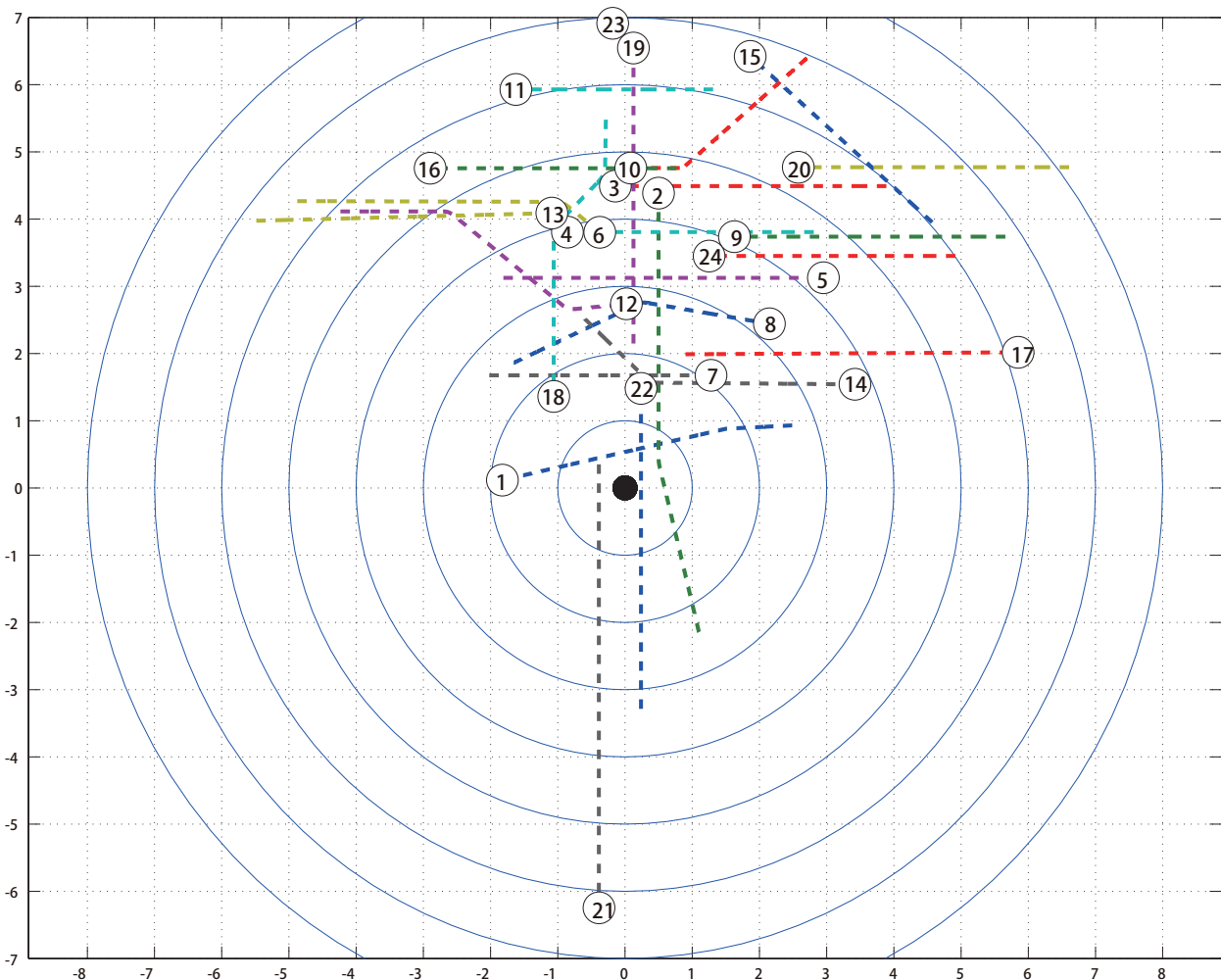


図 3.11: 実験シナリオにおける他船の絶対航跡

表 3.5: 実験シナリオに出現する他船の特徴

Ship No.	見合い関係	船種	LOA(m)	B(m)	初期針路 (deg.)	速力 (knot)
1	右舷横切り船	GC*7	64.6	10.0	270	12.0
2	右舷追越し船	Container	253.0	32.2	345	18.0
3	右舷横切り船	Bulker	113.3	19.4	270	11.0
4	右舷横切り船	GC	64.1	10.2	270	10.0
5	左舷横切り船	Bulker	113.3	19.4	090	13.0
6	左舷横切り船	Bulker	105.2	16.5	090	13.0
7	左舷横切り船	GC	64.1	10.2	090	9.0
8	左舷横切り船	Bulker	93.3	15.6	065	11.0
9	左舷横切り船	Bulker	105.2	16.5	090	11.0
10	右舷横切り船	GC	64.6	10.0	230	8.8
11	右舷横切り船	GC	64.6	10.0	270	8.0
12	左舷横切り船	Bulker	113.3	19.4	090	13.0
13	左舷横切り船	GC	64.6	10.0	090	12.0
14	左舷横切り船	GC	66.0	10.0	130	12.0
15	右舷横切り船	GC	66.0	10.0	310	10.0
16	右舷横切り船	GC	66.0	10.0	270	10.0
17	右舷横切り船	GC	64.1	10.2	090	13.5
18	左舷反航船	GC	190.0	28.0	180	12.0
19	右舷同航船	GC	190.0	28.0	000	12.0
20	右舷横切り船	GC	64.6	10.0	270	11.0
21	右舷反航船	Container	354.0	42.8	180	18.0
22	右舷同航船	GC	190.0	28.0	000	13.0
23	右舷反航船	Container	354.0	42.8	180	16.0
24	右舷横切り船	GC	104.5	15.6	270	13.0

*7 General Cargo ship

(2) 実験方法

実験は、操船実務経験のある 4 名の被験者を対象に行った。4 名の被験者の乗船経験等は表 3.6 に示す。実験前、全ての被験者に対し、国立研究開発法人海上技術安全研究所、人間を対象とする実験に関する倫理及び安全管理規定、並びに、人間工学実験取扱細則に則って、実験の内容や被験者の権利について説明を行い、インフォームドコンセントを得た上で、実験を実施した。

実験中、被験者には、一般的な航海計器を利用した通常の見張り当直作業と、5 分毎に見張り作業を中断し、その際認識している全ての船舶を 1 分以内にレーダチャート紙へ記入するタスクを課した。実験シナリオ時間及び状況認識の計測時間について、表 3.7 に示す。また、実験に使用したレーダチャート紙（SAGAT 記録用紙）について図 3.12 に示す。

レーダチャート紙には、認識している船舶の位置とその特徴（認識した船舶の相対方位距離、船首の向いている方向）を記入させた。また、本実験では、操船者の見張りの優先順位の特徴を明らかにすることを最終目的としているため、レーダーチャートに記入した船舶について、見張りの優先順位の高い船舶から順に、番号の記入も合わせて指示した。したがって、レーダーチャートに記入された船舶が、操船者の監視リストに入っている船舶であり、その中でも優先順位が高い船舶を調査することが可能である。シナリオ停止中はシミュレータの映像を消し、ブラインド状態での回答が好ましいが、シナリオ停止時間が短いことと、シナリオ再開をよりスムーズに行うために、本実験では映像を消さず、被験者に対し、記憶の範囲内での回答を指示した。

表 3.6: SAGAT を用いたシミュレータ実験における被験者の情報

Subject No.	海技免状	乗船している船種	役職
1	一級	LNG ^{*8} , PCC ^{*9} , GC ^{*10} , Container, Bulker, Tanker	Capt.
2	一級	実習船	Capt.
3	一級	Bulker, 油タンカー, 実習船	Capt.
4	一級	実習船	Capt.

*8 Liquefied Natural Gas Carrier

*9 Pure Car Carrier

*10 General Cargo ship

表 3.7: 実験シナリオ時間及び SAGAT による状況認識の計測時間

計測番号	時間 (sec.)	計測及びシナリオ操作内容
	0	実験開始
1	420	シナリオ中断
	(1 分以内)	計測, その後シナリオ再開
2	720	シナリオ中断
	(1 分以内)	計測, その後シナリオ再開
3	1020	シナリオ中断
	(1 分以内)	計測, その後シナリオ再開
4	1320	シナリオ停止
	(1 分以内)	計測, その後実験終了

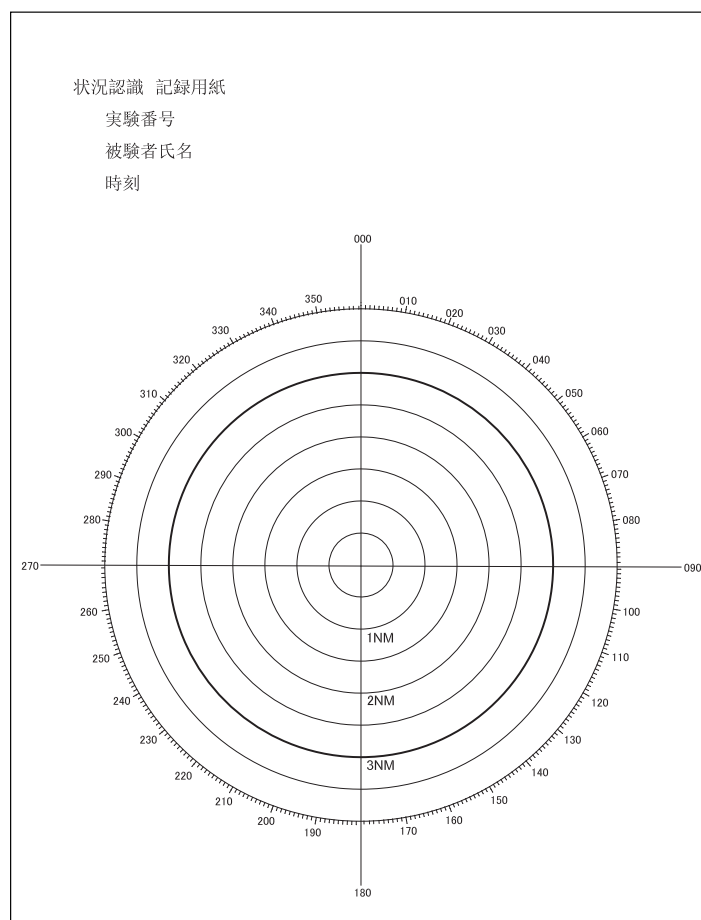


図 3.12: SAGAT 記録用紙の例

3.3.4 操船者の状況認識の計測結果

計測 1 (t=420(sec.)) における操船者の状況認識について図 3.13 に、その時の他船の位置関係について図 3.14 に示す。図 3.13 の横軸は他船番号、縦軸は各船舶を認識をした被験者数を示す。図 3.14 は、自船の航跡を黒の破線他船の絶対航跡をカラーの破線で示す。また、計測 1 (t=420(sec.)) における自船位置を黒色のひし形、他船の位置を丸付きの番号で示し、それぞれの番号が他船番号を示している。

図 3.13 より、計測 1 では、全ての被験者が Ship8 を認識しており、Ship19 も 3 名が認識している。また、Ship5, Ship9, Ship24 は 2 名に認識されている。Ship8 は距離が 1NM 程度で、自船の前方の 1NM 以内を左舷から横切る船舶である。Ship19 は同航船であり、自船よりも 1knot 程度速力が早いものの、大きな速力差はない船舶である。Ship5 は、Ship8 同様、これらから自船の前方を左舷から横切る船舶であり、Ship9 及び Ship24 は 6NM 以上の遠方であるが、今後右から左へ船首を横切る可能性が高い船舶である。一方、近距離の Ship14 や Ship7, Ship1 は、1 名のみの認識にとどまる。つまり、今後自船の前方を横切る見合い関係が生じる船舶と、自船と速力が近い同航船が共通して認識されており、今後自船の前方を横切る見合い関係が生じる船舶の中では、より近距離の船舶が共通して認識されている。

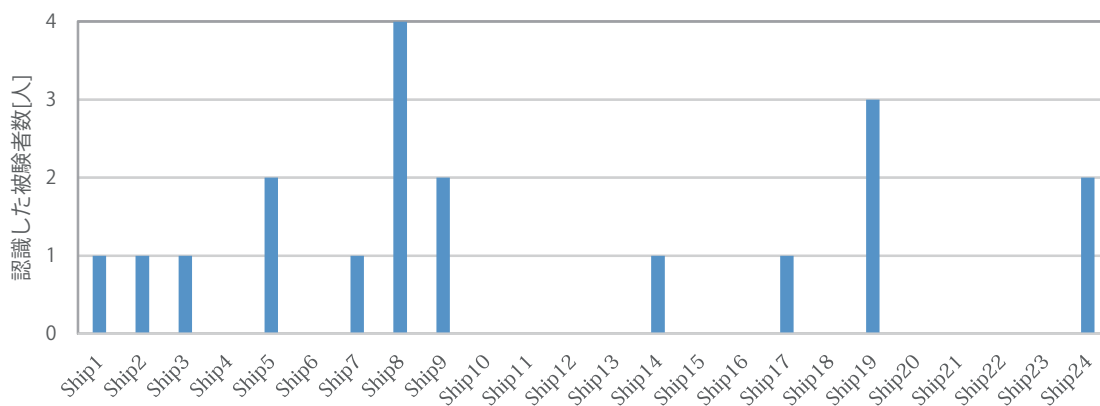


図 3.13: 認識されている船舶と認識人数 (計測 1, t=420(sec.))

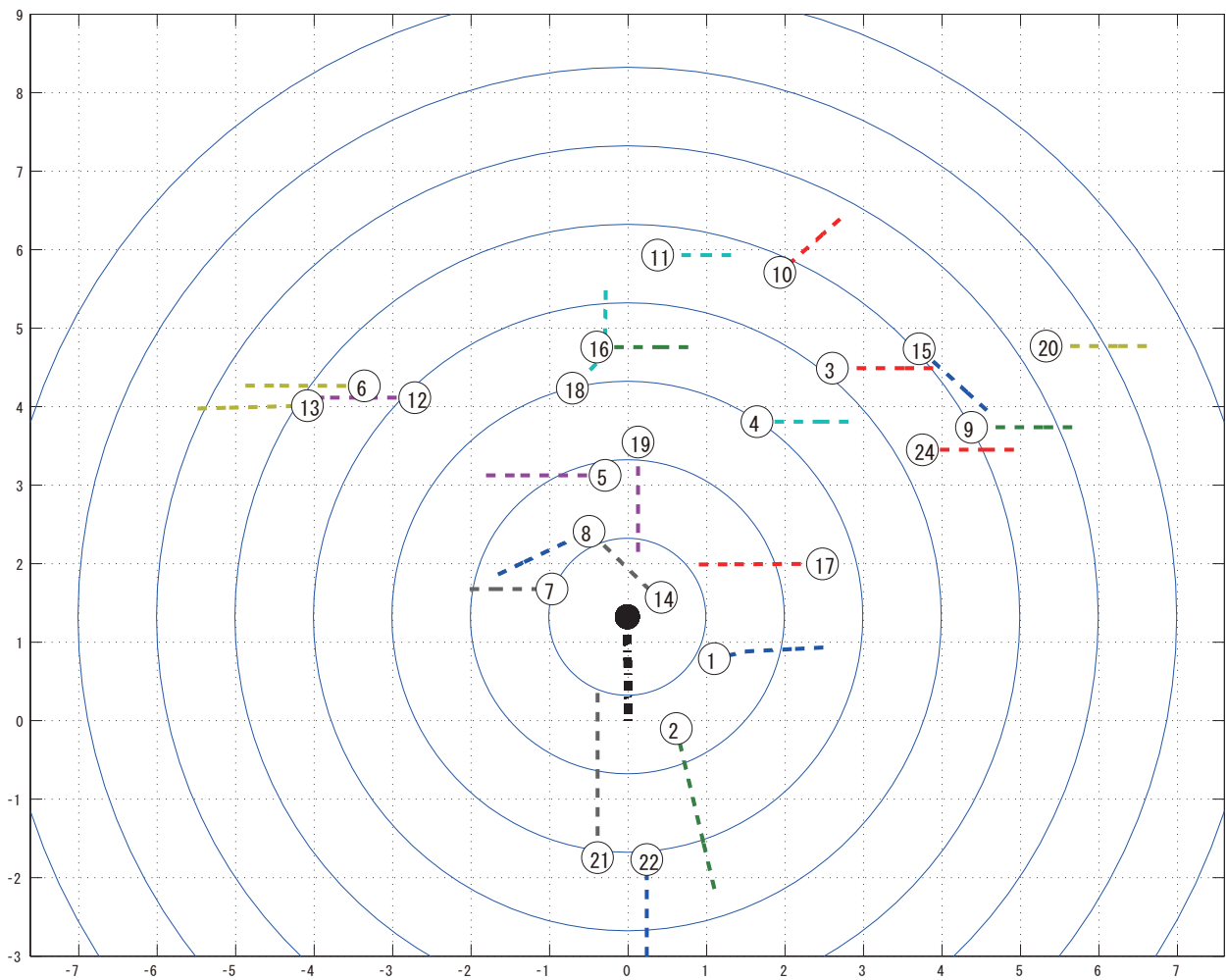


図 3.14: 他船との位置関係 (計測 1, $t=420(\text{sec.})$)

計測 2 ($t=720(\text{sec.})$) における操船者の状況認識について図 3.15 に、その時の他船の位置関係について図 3.16 に示す。図 3.15 より、計測 2 では、全ての被験者が Ship3 を認識している。また、Ship9, Ship19, Ship24 を 3 名が認識しており、Ship4 も 2 名が認識している。Ship24 は、計測 1 でも複数の被験者が認識していた自船と速力が近い同航船である。その他の複数の被験者が認識している船舶は、全て今後自船の前方を横切る、右舷からの横切り船である。計測 1 で複数の被験者が認識していた Ship5 や Ship8 は前方を航過し、計測 2 ではほとんど認識されていない。したがって、今後自船の前方を横切る左舷からの横切り船が認識されるのは、主に船首航過前である。計測 2 で複数の被験者に認識された右舷からの横切り船と似通った距離にある、左からの横切り船 Ship6 や Ship13 は、認識されていないため、保持船及び避航船の立場による違いがあると考えられる。

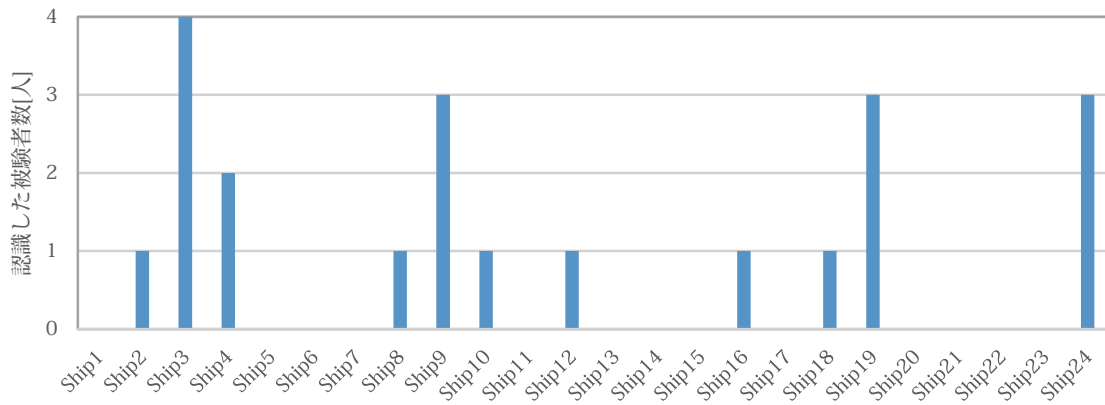


図 3.15: 認識されている船舶と認識人数 (t=720(sec.))

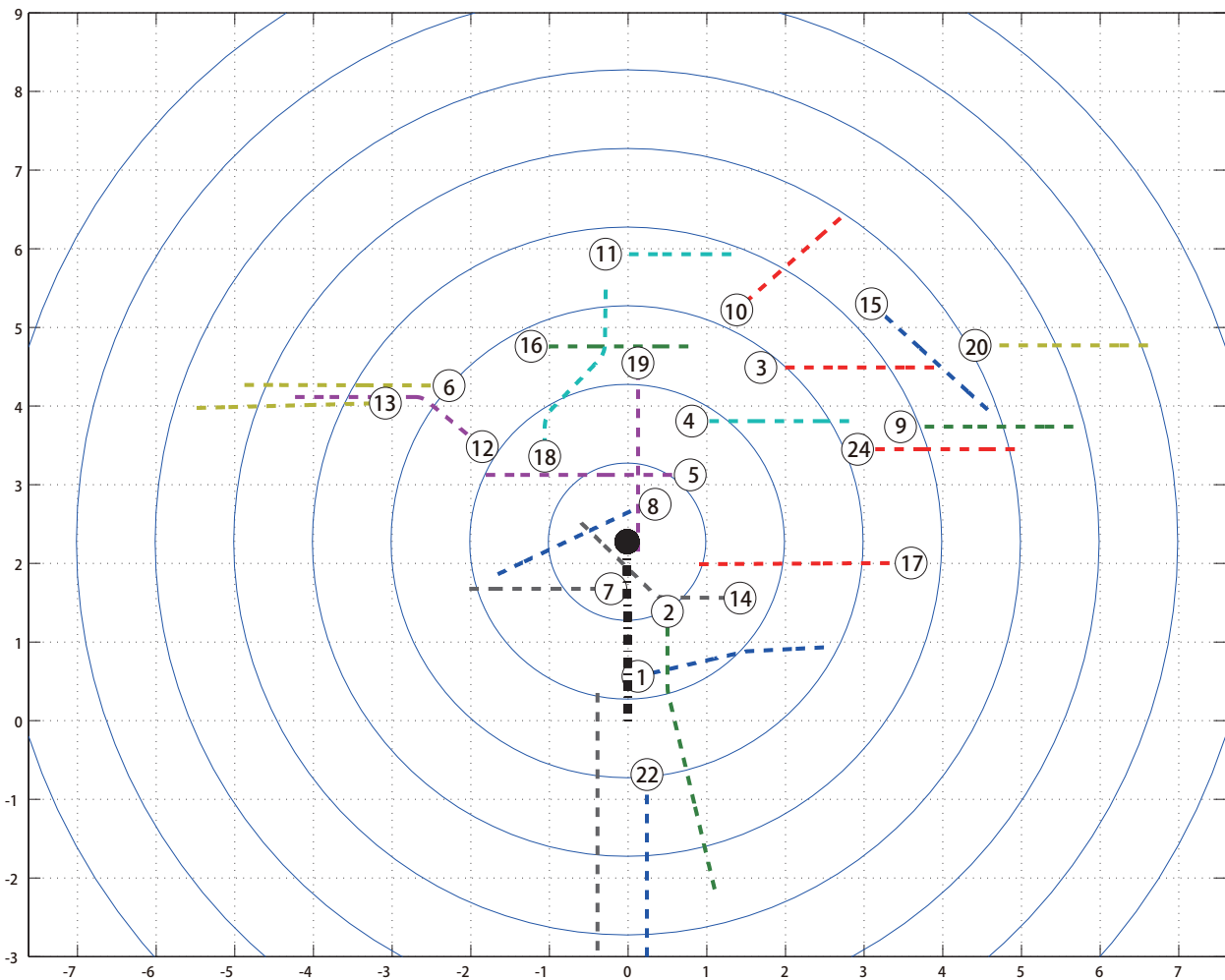


図 3.16: 他船との位置関係 (t=720(sec.))

計測 3 (t=1020(sec.)) における操船者の状況認識について図 3.17 に、その時の他船の位置関係について図 3.18 に示す。図 3.17 より、計測 3 では計測 2 に引き続き、全ての被験者が Ship3 を認識してい

る。また、計測 2 でも認識されていた Ship4, Ship9, Ship19, Ship24 は 2 名が認識している。計測 3 では、新たに Ship2, Ship6, Ship10, Ship23 が 2 名の被験者によって認識されている。Ship2 は自船より早く、徐々に右舷船尾から近づいてきた同航船, Ship6 は、今後船首を横切る可能性が高い左からの横切り船, Ship10 は、今後船首を横切る可能性が高い右からの横切り船であり、反航ぎみのため接近速度が速い特徴がある。また、Ship23 は約 5NM 先の反航船であり、反航船は距離が約 5NM 程度から認識が必要であると考えられる。Ship6 は、今までまったく認識されていなかったが、左舷からの横切り船にもかかわらず 2NM を切っても避航が始まっていないため、認識され始めたことが考えられる。計測 2 の結果からも分かるように、保持船及び義務船の立場により、認識のタイミングに違いがあると考えられる。

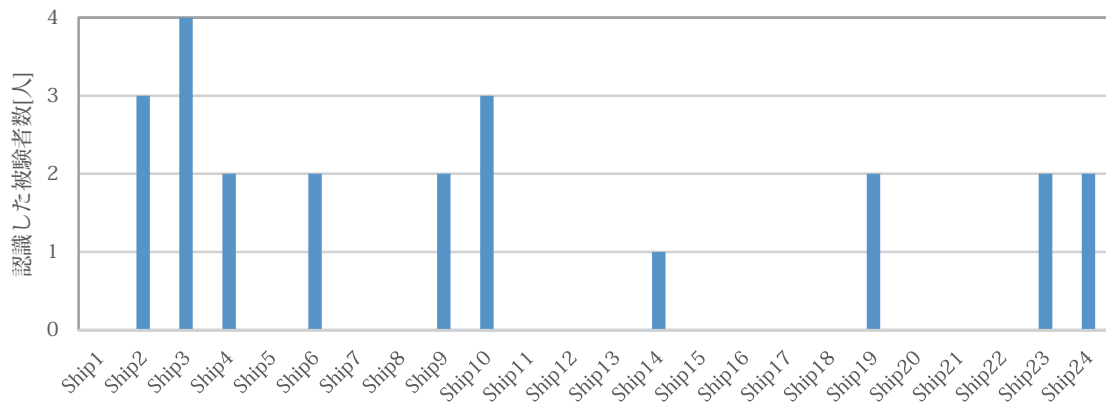


図 3.17: 認識されている船舶と認識人数 (t=1020(sec.))

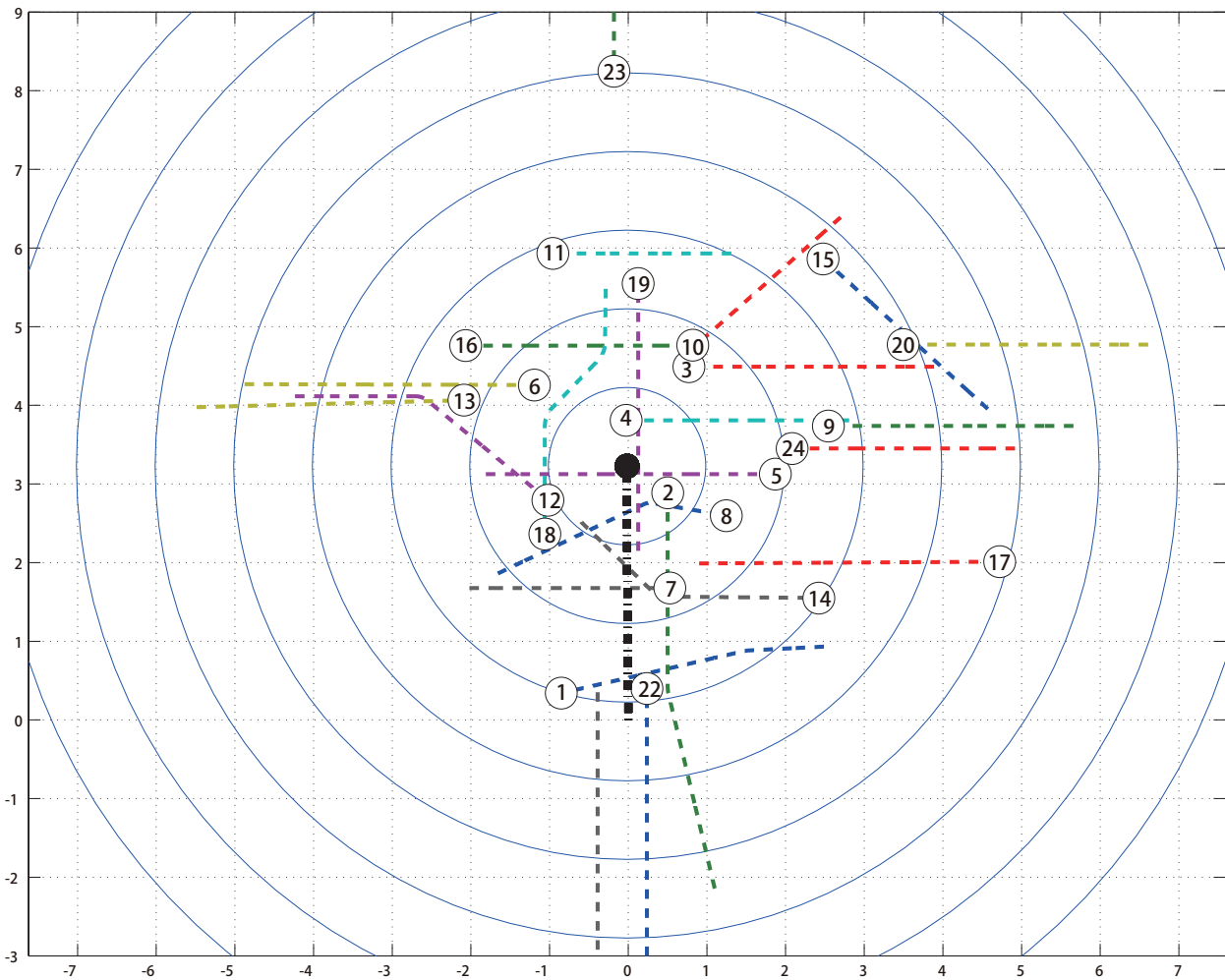


図 3.18: 他船との位置関係 (t=1020(sec.))

計測 4 (t=1320(sec.)) における操船者の状況認識について図 3.19 に、その時の他船の位置関係について図 3.20 に示す。図 3.19 より、計測 3 では計測 2 に引き続き、全ての被験者が Ship3 を認識している。また、計測 3 から複数の被験者によって認識され始めた Ship23 も、全ての被験者が認識しており、3NM を切った反航船は見張りを行うべき船舶であると考えることができる。1NM 以下の距離に着目すると、右舷から追越しを行った Ship2、直後に自船舶首を横切る Ship10 の 2 隻は 3 名の被験者によって認識されており、これから船尾を右から左へ横切ルカ脳性のある Ship20 についても 3 名の被験者が認識している。また、計測 1 から継続して複数の被験者に認識されている同航船 Ship19、及び 3NM を切った右舷からの同航ぎみの横切り船 Ship15 が、2 名の被験者によって認識されている。計測 4 では、大半の横切り船が船首尾を航過する目処が立った状況であったため、船尾航過が確実な Ship20 が認識された可能性があると考えられる。

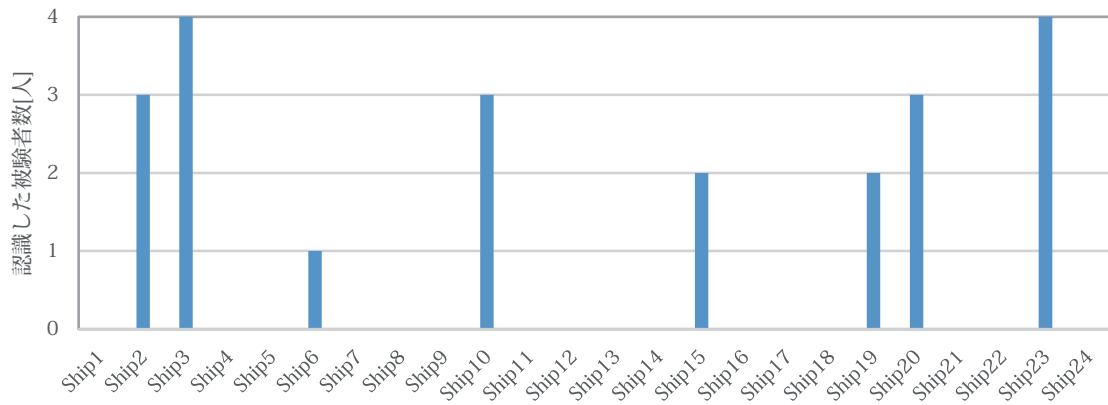


図 3.19: 認識されている船舶と認識人数 (t=1320(sec.))

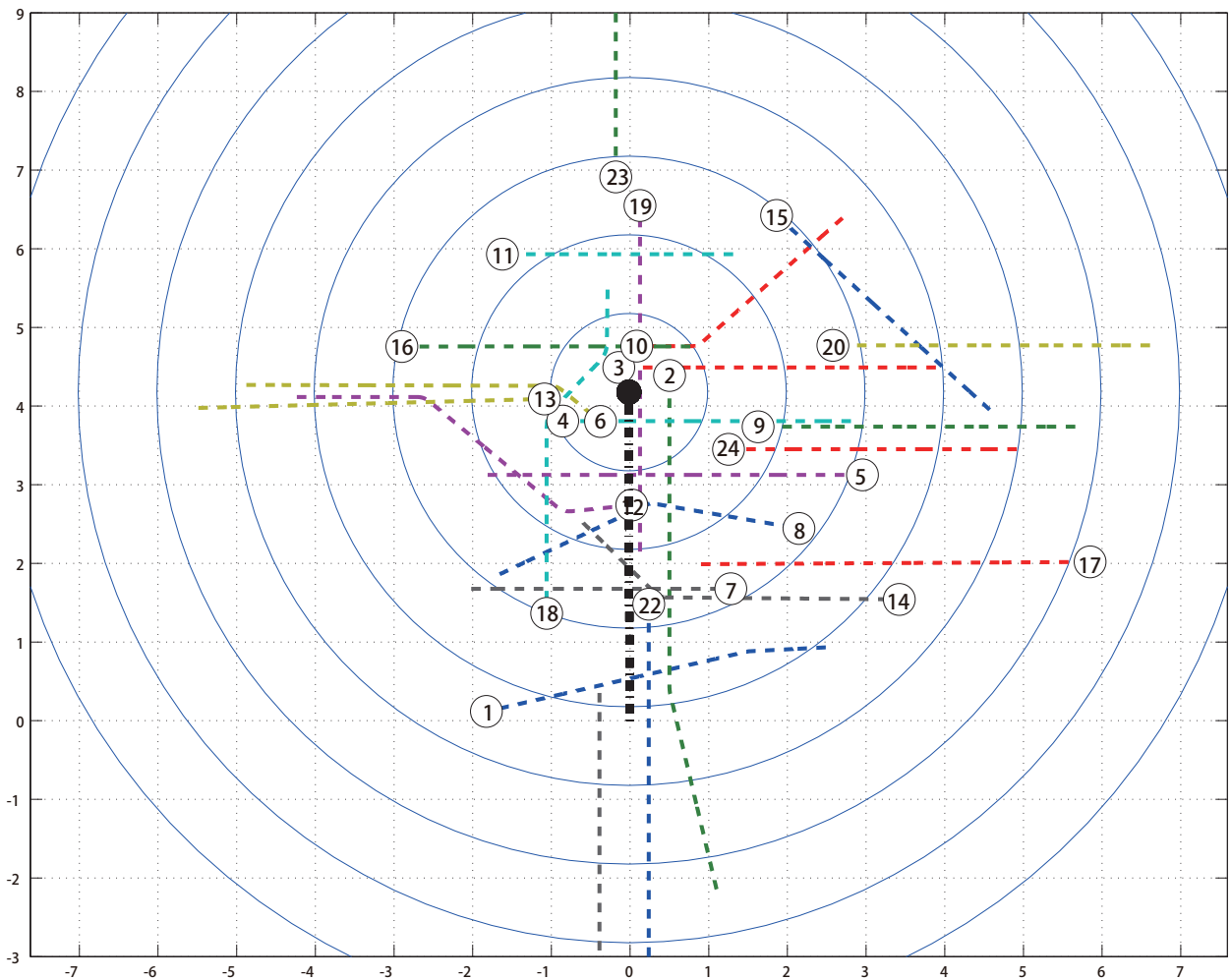


図 3.20: 他船との位置関係 (t=1320(sec.))

3.3.5 操船者の状況認識の特徴

計測 1～計測 4 で認識された船舶は、操船者の監視リストに入っていると考えることができ、複数の被験者に共通して認識された船舶は、一般的な見張り作業において必ず見張りが必要な船舶であると言える。本実験は全て船長経験のある被験者による実験である。そこで本論文では、被験者の内、1 名でも認識した船舶は、一般的な見張り作業において「継続した見張りが必要な船舶」として定義する。計測結果より、継続した見張りが必要な船舶は、見合い関係による特徴の違いがあることが明らかとなった。そこで、見合い関係別にそれらの特徴を示す。

(1) 反航船及び同航船の場合

表 3.8 に、各船の距離に着目した反航船及び同航船の認識結果を示す。空欄は今回の実験では結果を得られなかった部分である。表 3.8 より、反航船の場合、航過距離が 1.0NM で距離が 1.5NM 以下、また航過距離が 0.2NM で、距離が 5NM 以下の船舶は、継続した見張りが必要な船舶である。これから自船を追い越す同航船の場合、航過距離が 0.5NM で距離が 1.0NM 以下、また航過距離が 0.2NM で、距離が 2.3NM 以下の船舶は継続した見張りが必要な船舶である。

表 3.8: 各船の距離に着目した反航船及び同航船の認識結果

	反航船		同航船	
	航過距離 1.0NM	航過距離 0.2NM	航過距離 0.5NM	航過距離 0.2NM
認識した人数				
4		Dist=2.8NM		
3			Dist=1.0NM	Dist=2.3NM
2		Dist=5.0NM		
1	Dist=1.5NM			

(2) 右舷からの横切り船（自船が避航船）の場合

通常操船者は、衝突の可能性を判断する一つの重要な情報として方位変化率を用いている。一方、計測結果より、見合い関係と距離に応じて認識される横切りの船舶が異なることが明らかとなった。そこで、右舷からの横切り船と左舷からの横切り船で、その特徴を分け、かつ距離及び方位変化率に着目した分析を行うこととした。原らが提案し、本論文の第 3.2 章で見張りを行うべき船舶の指標として用いた衝突危険度評価式（式 3.1 及び式 3.2）をベースに、本実験で出現した横切り船について分析を行い、継続した見張りが必要な横切り船の特徴を示す。

図 3.21 は、右舷からの船首横切り船に対する状況認識の結果をプロットしたグラフである。横軸に距離、縦軸に方位変化率を示し、グラフの右半分は船首横切り前、グラフの左半分は船首横切り後を示す。ピンクの範囲は、原らが定義した「危険領域」を示し、水色の範囲は「注意領域」を示す。3.1 章では、これらの領域に入った船舶を「見張りを行うべき船舶」として定義していた。実験において、シナリオに含まれる右舷からの船首横切り船の、計 4 回の計測時間における距離及び方位変化率を丸でプロットしている。2 名以上の被験者が認識した場合を赤色、1 名の被験者が認識した場合を黄色、まったく認識されなかった場合を白色で示す。丸のプロットの中、もしくは隣に示されている数字は、その船舶を認識した被験者数である。

図 3.21 より、右舷からの船首横切り船の場合、距離に着目すると、「注意領域」はもちろん、「注意領域」や「危険領域」に入る前の、約 4.5NM から認識されることがあり、約 3.0NM を切った時点で、複数の被験者に着目されている。また、横切り後も横切り状況の経過を確認するために、約 0.3NM の距離になるまで、認識がされている。一方、方位変化率に着目すると、横切り前及び横切り後のどちらの場合においても「注意領域」よりも方位変化率が大きい船舶が、複数の被験者に認識されている。「注意領域」や「危険領域」は、あくまでレーダプロットによる被験者実験から得られたデータの最小二乗法による回帰曲線である。つまり、原らの提案する式だけでは、右舷からの船首横切り船の中で、本実験で被験者に認識された船舶、つまり継続的な見張りが必要な船舶を全て検知することは難しいと考えられる。第 3.2 章で指摘した「見落とし」「気づき遅れ」という操船者エラーを抑制するためには、これらの船舶を検知し、対策を行う必要がある。

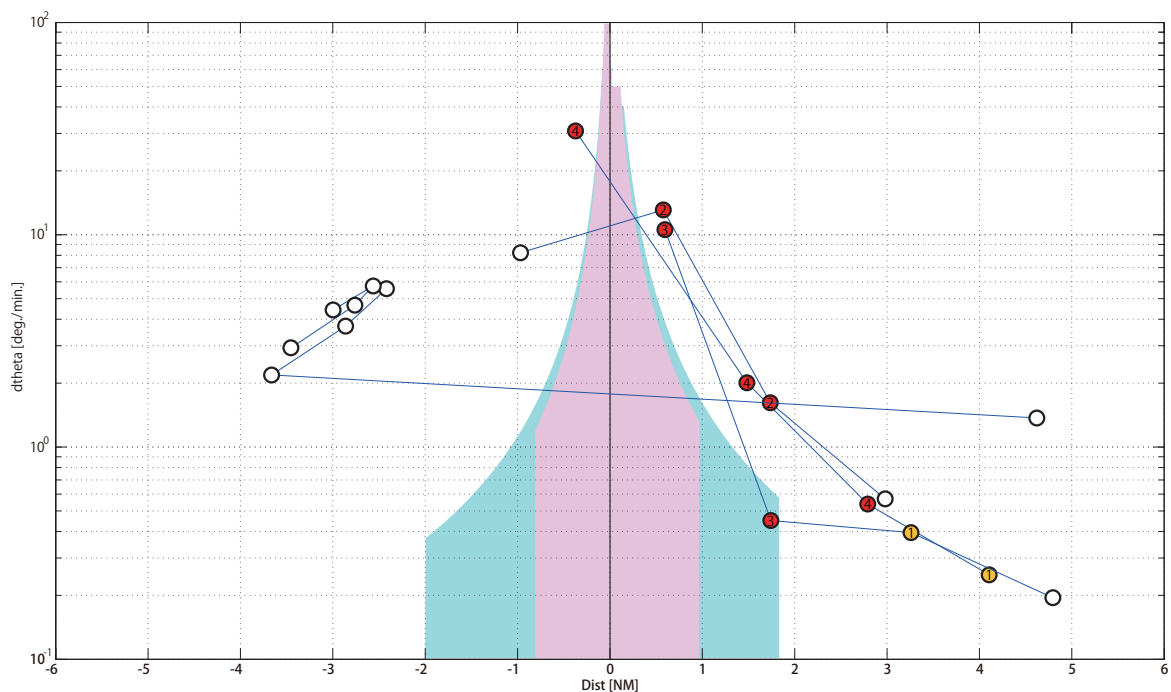


図 3.21: 右舷からの船首横切り船に対する状況認識の結果

図 3.22 は、右舷からの船尾横切り船に対する状況認識の結果をプロットしたグラフである。横軸に距離、縦軸に方位変化率を示し、グラフの右半分は船尾横切り前、グラフの左半分は船尾横切り後を示す。右舷からの船首横切り船とは異なり、船尾横切り船は、横切り後にまったく認識がされていないことが分かる。また、複数の被験者が共通して認識する船舶は、約 5.0NM から 2.0NM の間の船舶であり、2.0NM 以下ではほとんど認識がされていない。方位変化率は、右舷からの船首横切り船と同様、「注意領域」よりも方位変化率の大きい船舶が、複数の被験者に認識されている。右舷からの船尾横切り船が横切り前の場合でも、原らの提案する衝突危険度評価式だけでは、継続的な見張りが必要な船舶を全て検知することは難しいと考えられる。

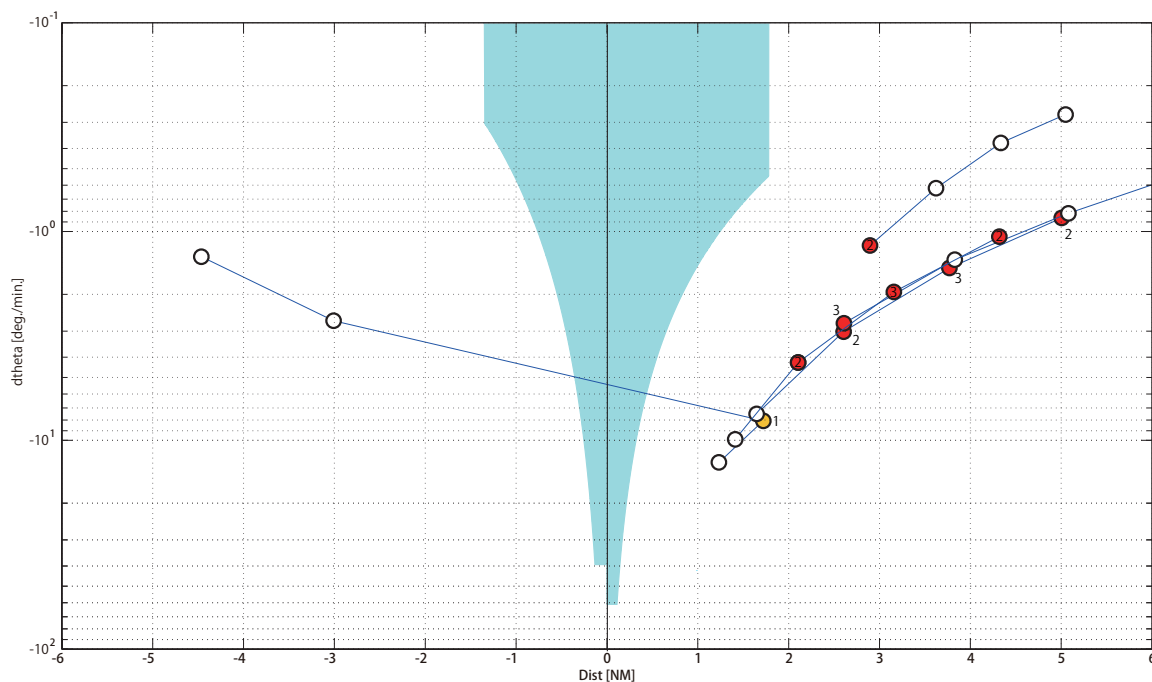


図 3.22: 右舷からの船尾横切り船に対する状況認識の結果

(3) 左舷からの横切り船（自船が保持船）の場合

図 3.23 は、左舷からの船首横切り船に対する状況認識の結果をプロットしたグラフである。横軸に距離、縦軸に方位変化率を示し、グラフの左半分は船首横切り前、グラフの右半分は船首横切り後を示す。船首横切り前は、右舷からの船首横切り船と、似通った傾向を示しているが、船首横切り後は、ほとんど認識がされていない。図 3.23 において、船首横切り後の距離 3.0NM 付近で 1 名の被験者が認識している船舶が存在するが、前後でまったく認識がされていないことから、偶然このタイミングで見た船舶であることが考えられるため、分析対象からは除外した。これらの分析から、左舷からの船首横切り船が横切り前の場合でも、原らの提案する式だけでは、継続的な見張りが必要な船舶を全て検知することは難しいと考えられる。

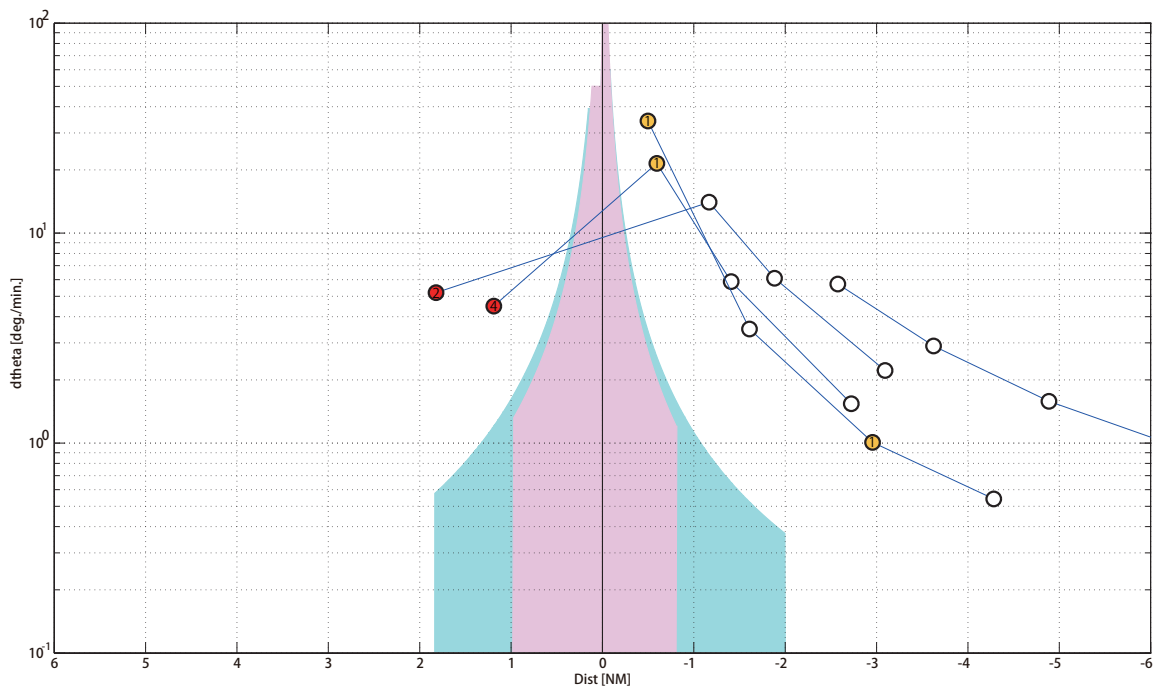


図 3.23: 左舷からの船首横切り船に対する状況認識の結果

図 3.24 は、左舷からの船尾横切り船に対する状況認識の結果をプロットしたグラフである。横軸に距離、縦軸に方位変化率を示し、グラフの左半分は船尾横切り前、グラフの右半分は船尾横切り後を示す。「注意領域」に入った船舶は、2名の被験者に認識されていることが分かり、「注意領域」の外側でも、1名の被験者に認識されている船舶が存在する。したがって、左舷からの船尾横切り船が横切り前の場合でも、他の横切り船のケースと同様に、原らが提案する式だけでは、継続的な見張りが必要な船舶を全て検知することは難しいと考えられる。

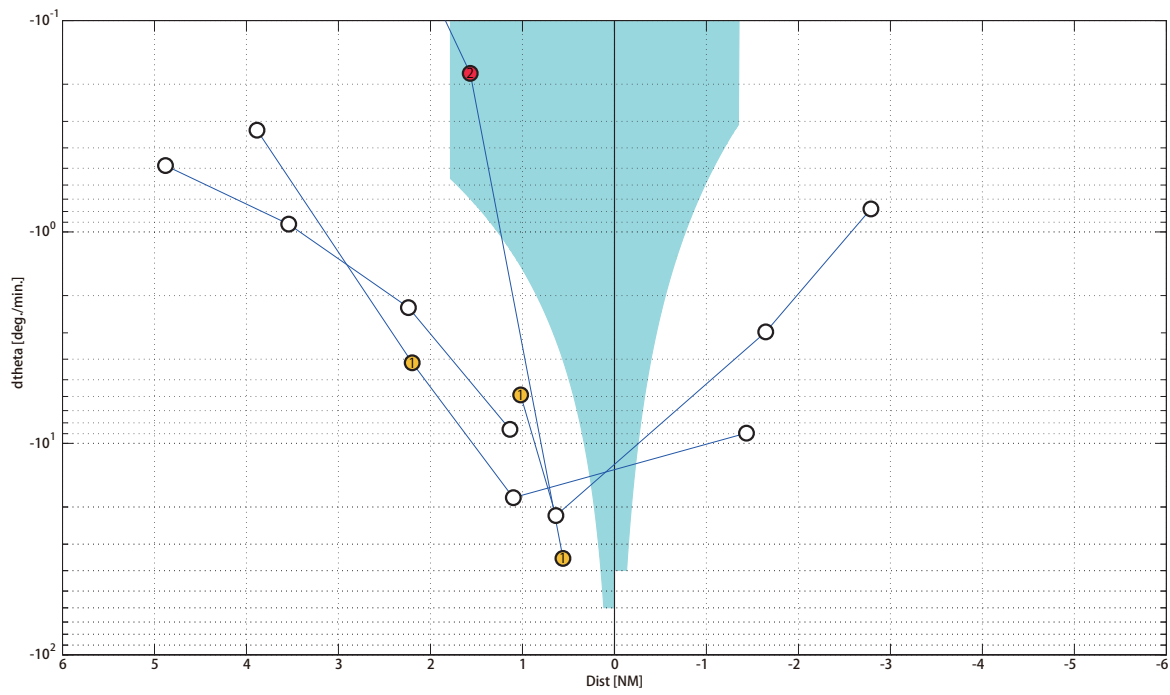


図 3.24: 左舷からの船尾横切り船に対する状況認識の結果

3.4 継続した見張りが必要な横切り船

分析結果より、原らが提案する衝突危険度評価式だけでは、継続した見張りが必要な横切り船を全て網羅することが難しいことが明らかとなった。そこで、衝突危険度評価式 (3.2) をベースに重み係数を変化させ、図 3.21 から図 3.24 に示す注意領域の外側に継続した見張りが必要な船舶を定義する新たな領域を検討した。

実験で被験者が 1 名でも認識している船舶を網羅できる領域を検討した結果、横切り前の船舶については、原らが注意領域として提案する式 (3.3) 及び式 (3.5) の γ を採用し、 δ のみを 0.8 倍とした値とすることで、被験者が認識している横切り船を網羅する領域を表現できることが明らかとなった。また船首横切りの場合、横切り後もしばらくの間横切り船を注視しており、船尾横切りの場合、船尾航過後には、全く横切り船を注視していないことが明らかとなった。そこで、横切り後の船舶については、船首横切り船のみ、1.0NM 以下は継続した見張りが必要な船舶として定義する必要があると考えられる。

したがって本論文では、継続した見張りが必要な船舶を定義する新たな重み係数として、表 3.9 に示す重み係数を提案する。ただし本実験は、シナリオに含まれる船舶数が少なく、計測データも少ないため、今後、これらの重み係数の検証と調整が必要である。

表 3.9: 注視すべき横切り船を検知するための重み係数

		右舷	左舷
船首	横切り前	$\alpha = 5.8 \times 10^5$ $\beta = -1.7$ $\gamma = \alpha = 5.8 \times 10^5$ $\delta = \beta \times 0.8 = -1.36$ (自船からの距離 4.5NM 以下) (自船からの距離 2.0NM 以下)	
	横切り後	自船からの距離 1NM 以下	
船尾	横切り前	$\alpha = 5.2 \times 10^5$ $\beta = -1.7$ $\gamma = \alpha = 5.2 \times 10^5$ $\delta = \beta \times 0.8 = -1.36$ (自船からの距離 5.0NM 以下) (自船からの距離 2.5NM 以下)	
	横切り後	注視の必要はない	

継続した見張りが必要な船舶を定義する領域は、衝突危険度評価式 (3.2) に表 3.9 の重み係数を代入し求めることができる。本論文で提案する「継続した見張りが必要な船舶」を定義する領域を図 3.25 から図 3.28 の黄色の領域で示す。これらの図より、黄色の領域で被験者が認識している横切り船を全て網羅していることが分かる。

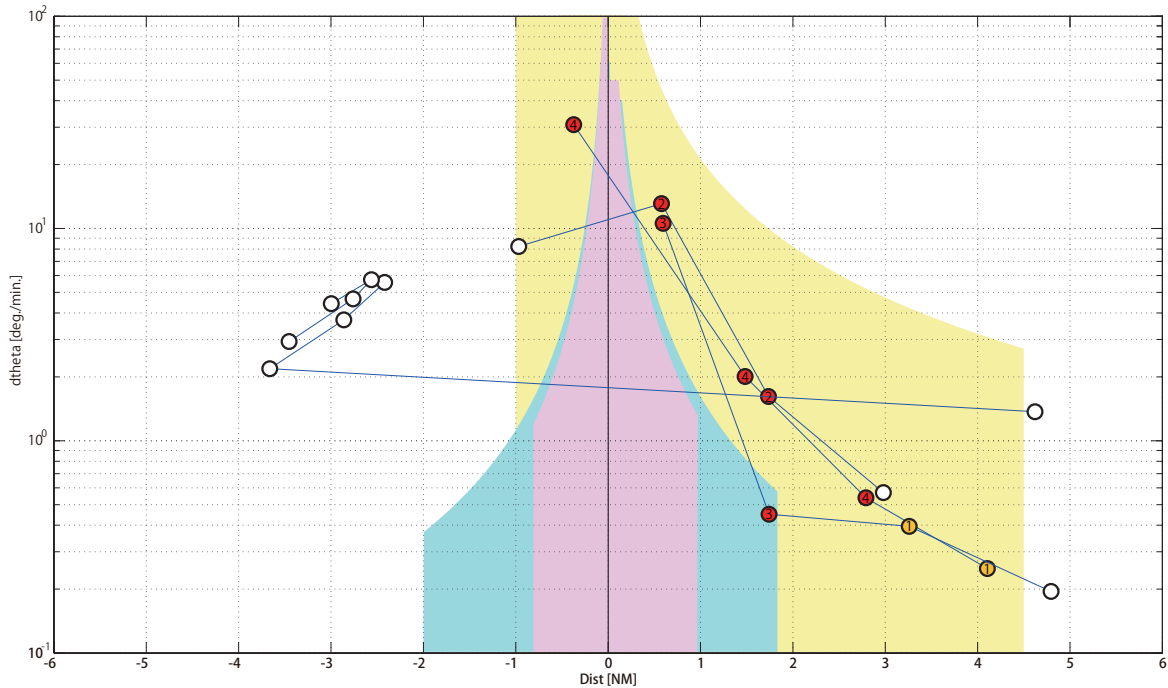


図 3.25: 右舷からの船首横切り船に対する状況認識の結果と継続した見張りが必要な船舶の定義領域

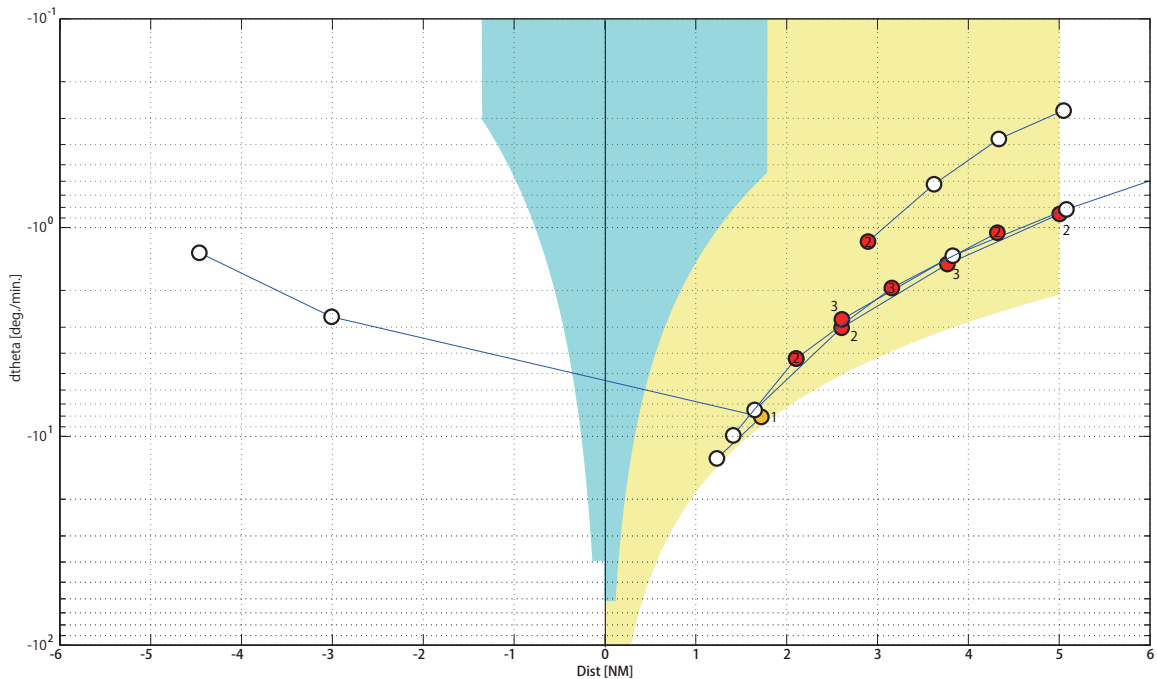


図 3.26: 右舷からの船尾横切り船に対する状況認識の結果と継続した見張りが必要な船舶の定義領域

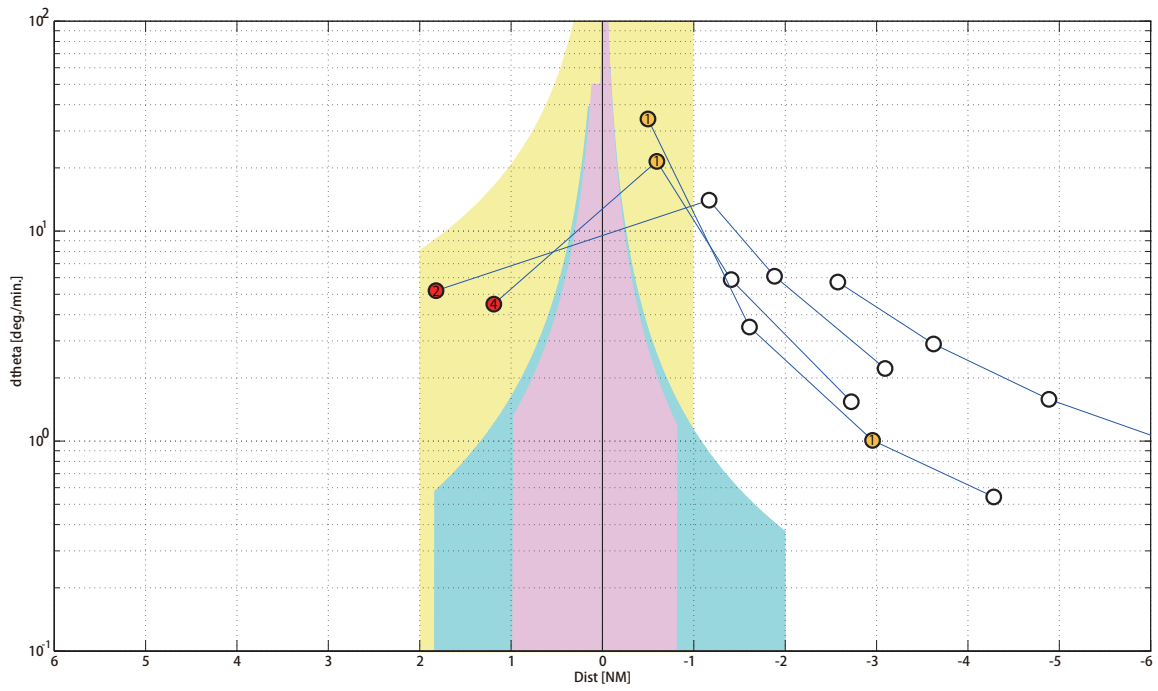


図 3.27: 左舷からの船首横切り船に対する状況認識の結果と継続した見張りが必要な船舶の定義領域

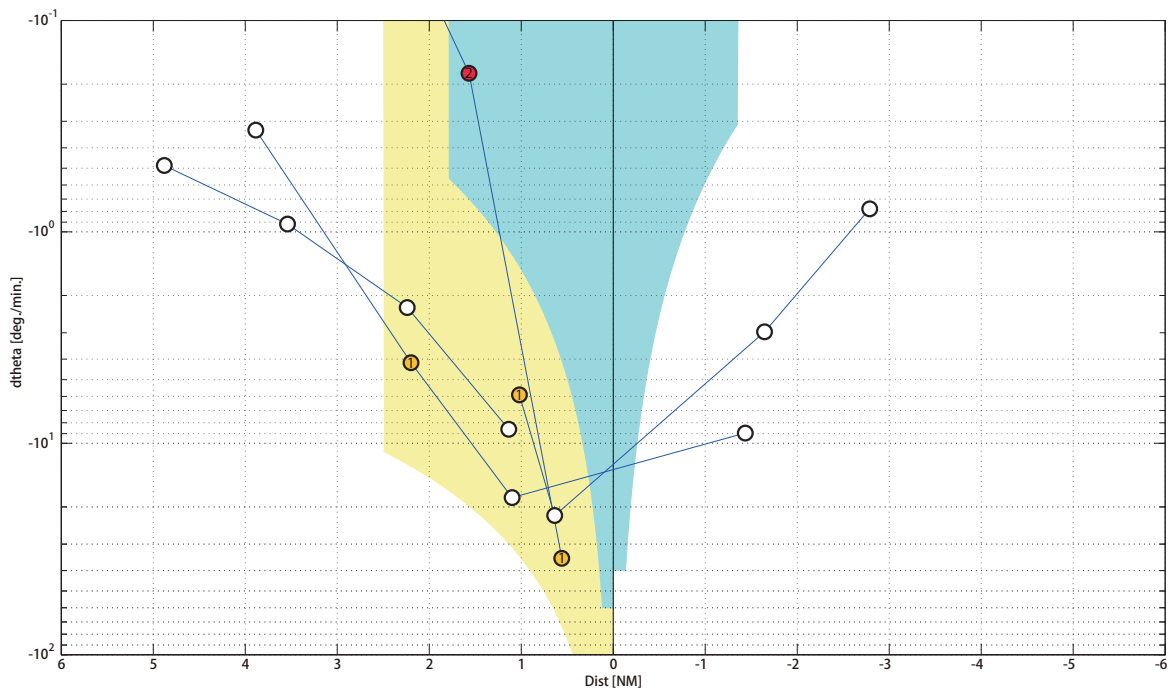


図 3.28: 左舷からの船尾横切り船に対する状況認識の結果と継続した見張りが必要な船舶の定義領域

3.5 結論

操船船シミュレータを用いて、操船実務経験者を被験者とした実験を行い、実験における操船者の行動分析やSAGATを用いた状況認識の計測から下記のことが明らかとなった。

- (1) 操船者の見張り作業における行動分析から、見張り不十分として指摘される「見落とし」や「気づき遅れ」という操船者エラーを抽出し、衝突海難を引き起こしていない場合でも、それらのエラーが複数発生していることを示した。
- (2) 本論文で用いた10種類のシミュレータ実験シナリオでは、選定した見張りを行うべき船舶に対し、「気づき遅れ」及び「見落とし」という操船者エラーの発生率は21%であった。
- (3) 操船者は自船の周囲に複数の船舶が存在する場合、それらの船舶に対し見張りの優先順位を付けており、見張り不十分として指摘される「見落とし」や「気づき遅れ」という操船者エラーは、何らかの背後要因によって操船者の見張りの優先順位が適切ではなくなった結果として生じる行動、つまりそれらの発生要因は操船者の見張りの優先順位が適切ではなかったことである。
- (4) 操船者の行動分析による操船者エラーの特定と操船者の状況認識モデルを用いた操船者エラーの背後要因の検討は、操船者エラーを把握・理解する上で有効な手法の一つである。
- (5) 操船者の一般的な見張り作業として、下記に示す船舶は、継続的な見張りが必要な船舶である。

(a) 反航船の場合

航過距離 1.0NM で、距離 1.5NM 以下、又は航過距離 0.2NM で、距離 5.0NM 以下

(b) 同航船の場合

航過距離 0.5NM で、距離 1.0NM 以下、又は航過距離 0.2NM で、距離 2.3NM 以下

(c) 右舷からの船首横切り船（横切り前）の場合

$$\alpha \cdot R^\beta < \dot{\omega} \leq \gamma \cdot R^\delta (\alpha = \gamma = 5.8 \times 10^5, \beta = -1.7, \delta = -1.36, R < 4.5NM (8, 334m))$$

(d) 右舷からの船尾横切り船（横切り前）の場合

$$\alpha \cdot R^\beta < \dot{\omega} \leq \gamma \cdot R^\delta (\alpha = \gamma = 5.2 \times 10^5, \beta = -1.7, \delta = -1.36, R < 5.0NM (9, 260m))$$

(e) 左舷からの船首横切り船（横切り前）の場合

$$\alpha \cdot R^\beta < \dot{\omega} \leq \gamma \cdot R^\delta (\alpha = \gamma = 5.8 \times 10^5, \beta = -1.7, \delta = -1.36, R < 2.0NM (3, 704m))$$

(f) 左舷からの船尾横切り船（横切り前）の場合

$$\alpha \cdot R^\beta < \dot{\omega} \leq \gamma \cdot R^\delta (\alpha = \gamma = 5.2 \times 10^5, \beta = -1.7, \delta = -1.36, R < 2.5NM (4, 630m))$$

(g) 右舷左舷に関わらず、船首横切り後の場合

自船からの距離が 1.0NM 以下

- (h) 右舷左舷に関わらず，船尾横切り後の場合
継続的な見張りは必要なし
- (6) 上記に示す特徴を持った船舶に対し，船上において継続的な情報収集が行われるよう見張り支援を行うことで，適切な見張りの優先順位を維持することができ，その結果として，見張り不十分という操船者のエラーを抑制できると考えられる。
- (7) 適切な見張りの優先順位を維持するためには，見張りの優先順位に影響を与える，一般的な操船者のエラーとその背後要因を事前に把握しておく必要がある。

第4章

CREAM を用いた衝突海難事例分析及び衝突海難の背後要因の検討

4.1 緒論

第3章において、操船者の見張り作業を分析した結果、操船者は自船周囲に複数の船舶が存在する場合、それらに見張りの優先順位を付けており、見張り不十分として指摘される操船者の行動は、何らかの背後要因によって操船者の見張りの優先順位が適切ではなくなった結果として生じるものであることが明らかとなった。さらに、操船者の状況認識モデルを用いて操船者エラーを分析した結果、情報収集や情報に基づく判断、情報に基づく将来予測において、複数の背後要因が考えられた。

見張り不十分が原因とされる衝突海難の抑制には、適切な見張りの優先順位を維持する対策が必要である。そのためには、見張りの優先順位に影響を与える、操船者エラーとその背後要因を把握しておく必要があると考えられる。

そこで第4章では、原子力分野のヒューマンエラー分析に用いられる人間信頼性解析手法の一つである CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method)⁴⁾ を衝突海難分析に用いることができるよう、Common Performance Condition (CPC) や原因-結果リンク (背後要因の分類) を修正・整理することで、発生する可能性のある操船者エラーの背後要因を把握した。また、CREAM による衝突海難事例の分析を行い、修正した CPC や原因-結果リンクの妥当性を検証した。

4.2 CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method)⁴⁾

4.2.1 概要

第2章で示した海難審判所や海上保安庁の統計結果のとおり、多くの海難が操船者エラーが原因として指摘がされ、第1章で述べたとおり、操船者エラーの防止を目的とした多くの研究が進められている。

一方、原子力の分野では、ヒューマンファクターそのものに着目した人間信頼性解析（HRA : Human Reliability Analysis）手法が複数提案されている。第一世代の人間信頼性解析手法は、人間のスキルやルールベースの行動に焦点を当て、人間の行動はあくまでブラックボックスで扱う手法であった。第二世代の人間信頼性解析手法は、第一世代で扱われていない人間が行動を決定するまでの文脈（Context）を考慮する手法である。また、人間信頼性解析手法には、一般的に利用可能なものと、ある特定の分野に特化し、その手順が公表されていないものがある。一般的に活用できる第二世代の代表的な人間信頼性解析手法として、ATHEANA（A Technique for Human Event Analysis）と CREAM（Cognitive Reliability and Error Analysis Method）の 2 種類がある。ATHEANA は、実際には不適切な行動を正しい行動であると判断させてしまうのは、文脈の影響であるという考えから、「過誤強制文脈（EFC : Error Forcing Context）」を導入し、EFC が発生する確率が高い事故シナリオを見つける手法である。一方、CREAM は事故の背後要因になる可能性のあるものを、表現型（目に見えるもの）と因子型（目に見えないもの）に分けて分類し、その分類に基づき、背後要因を分析する手法である。本論文では、発生し易い特定の衝突海難シナリオを見つけるのではなく、衝突海難における操船者エラーの背後要因となりえる事項を把握することを目的としているため、CREAM 手法を用いる。CREAM は、すでに原子力発電所や鉄道における事故分析に用いられているが、海難分析に用いられた事例は少ない。そこで本章では、CREAM 分析に用いる CPC や原因－結果リンクを海難に特化した表現や分類に修正を行った。

4.2.2 CREAM 分析の手順

CREAM の分析では、事故はあくまで最終的な結果として扱い、その背後には、エラーモード（事故に結びつく可能性のある行動の分類）が存在し、さらにその背後には、推測をするしかない背後要因があると考えられる。CPC とは、人間、組織、技術の 3 要素から構成される全体を Context（文脈）と捉える概念であり、CREAM では 9 種類の CPC が定義されている。また第 3.2 章でも述べたとおり、8 つのエラーモードが定義されており、それぞれのエラーモードに対し、想定できる背後要因がリストアップされた原因－結果リンク（原因と結果がリンクされた分類表）が用意されている。CREAM は、これら CPC、エラーモードと原因－結果リンクに基づいた分析手法であり、その分析手順と分析における留意点を表 4.1 に示す。また、エラーモード及び CPC と事故の関係及び、分析手順の関係を図 4.1 に示す。

表 4.1: CREAM 分析の手順と分析における留意点

	手順	分析における留意点
Step1	実際に発生した事柄を詳細に記述する	できる限り詳細に記述すべきであるが、推論を行ってはならない
Step2	CPC を特定する	イベント全体について行い、できれば主要な機能単位についても行う
Step3	大きな出来事の時間関係を記述する	図表形式でイベントを表現して、手早く参照できるようにする
Step4	興味のある行動を全て選出する	上手くいかなかった行動を全て選出する
Step5	各行動に関してエラーモードを特定する	原因について考えないようにして、エラーモードを探す
Step6	各エラーモードについて関連する原因-結果リンクを見つける	ここでは、複数の後ろ向きの連鎖が挙げられることもある
Step7	全体を記述して、結論を出す	共通して現れる原因や状況を見つけるようにして、特定したCPCと関連付ける

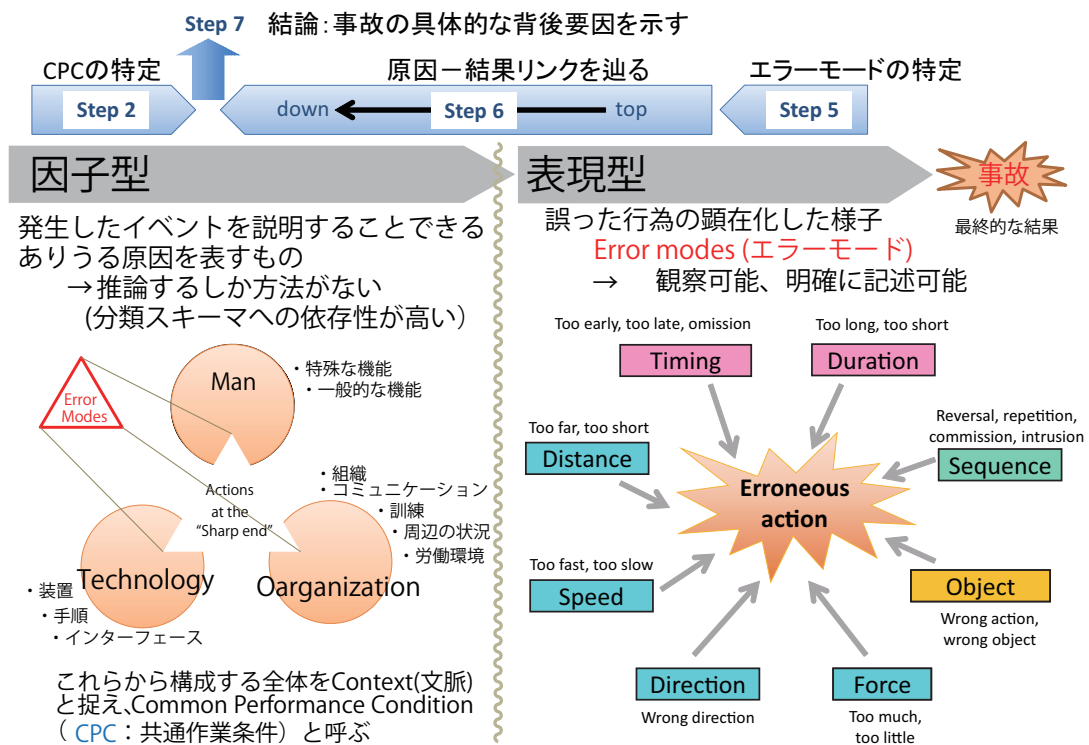


図 4.1: エラーモード及び CPC と事故の関係及び CREAM 分析手順

4.3 海難に特化した CPC

4.2.2 章に述べたとおり，CREAM では 9 種類の CPC が定義されている．定義される CPC を下記に示す．

- (1) Adequacy of organization (組織因子)
- (2) Working conditions (作業環境)
- (3) Adequacy of man machine interface nad operational support (マンマシンインターフェース)
- (4) Availability of procedures/plans (運転手順書)
- (5) Number of simultaneous goals (同時に達成する目標)
- (6) Available time (時間余裕)
- (7) Time of day (時間帯)
- (8) Adequacy of training and expreience (訓練・経験)
- (9) Crew collaboration quality (クルー協調)

CREAM は海難分析に用いられた事例は少なく CREAM を用いて海難分析を実施するためには，CPC や原因－結果リンクを海難に特化したものに修正する必要がある．また，CPC の評価項目をわかりやすく表現しておくことで，操船者の行動における CPC の影響を，人間信頼性解析の専門家でなくても評価が可能となる．

船舶の運航は，船舶の乗組員はもちろん，船舶運航会社や VTS，タグボート等の外部サポートがあることで成り立っている．つまり，CPC として定義される「(1) 組織因子」にはそれらを含める必要があるため，「安全管理体制」という表現に修正を行った．また，衝突海難の分析においてはコミュニケーションの重要性が指摘され，BRM 訓練が実施されている．そこで，CPC として定義される「(9) クルー協調」は，「コミュニケーションと情報の共有」という表現に修正を行った．その他の CPC についても，海難分析に特化した表現に修正を行うと共に，評価項目の具体的な内容を一覧表で整理した．海難に特化した CPC と評価項目の内容を，表 4.2 に示す．

表 4.2: 海難に特化した CPC の詳細

CPC		CPC の具体的な内容		詳細	
1	安全管理体制 の妥当性	1.1	教育訓練の内容 の妥当性	1.1.1	船種
				1.1.2	操縦性能
				1.1.3	航行海域
				1.1.4	航行環境
				1.1.5	搭載している航海計器
				1.1.6	HF
				1.1.7	特殊な操縦性能
		1.2	教育訓練体制 の妥当性	1.2.1	教育形態
				1.2.2	インストラクターの資格
				1.2.3	実施間隔
				1.2.4	実施時期
		1.3	当直管理体制 の妥当性	1.3.1	労務管理
				1.3.2	運航管理
				1.3.3	管理者の能力
		1.4	外部からの支援 連絡体制の妥当性	1.4.1	情報支援
				1.4.2	情報伝達・受取能力
				1.4.3	VTS
				1.4.4	エスコートボート
				1.4.5	タグボート
1.4.6	水先人				
2	航行・当直環境 (作業環境)	2.1	自船の操縦性能	2.1.1	全長
				2.1.2	全幅
				2.1.3	喫水
				2.1.4	トリム
				2.1.5	風圧面積
				2.1.6	針路安定性
				2.1.7	追従性能
				2.1.8	旋回性能
				2.1.9	停止性能
		2.2	他船の操縦性能	2.2.1	全長

CPC		CPC の具体的な内容		詳細	
				2.2.2	全幅
				2.2.3	喫水
				2.2.4	風圧面積
				2.2.5	旋回性能
				2.2.6	停止性能
		2.3	法廷機器の設置状況	2.3.1	双眼鏡
				2.3.2	コンパス
				2.3.3	レーダ
				2.3.4	ARPA
				2.3.5	ECDIS
				2.3.6	AIS
				2.3.7	VHF
				2.3.8	汽笛
				2.3.9	航海
				2.3.10	操舵装置
				2.3.11	オートパイロット
				2.3.12	舵角指示器
				2.3.13	エンジンテレグラフ
				2.3.14	速力計
		2.3.15	主機		
2.3.16	主機回転数計				
2.3.17	スラスタ				
2.3.18	船内電話				
2.3.19	ワイパー				
2.4	船橋の当直環境	2.4.1	照明		
		2.4.2	騒音		
		2.4.3	温度		
3	ヒューマンマシン インターフェース	3.1	航海当直に影響する 航海機器の故障	3.1.1	双眼鏡
				3.1.2	コンパス
				3.1.3	レーダ
				3.1.4	ARPA

CPC		CPC の具体的な内容		詳細			
				3.1.5	ECDIS		
				3.1.6	AIS		
				3.1.7	VHF		
				3.1.8	汽笛		
				3.1.9	航海灯		
				3.1.10	操舵装置		
				3.1.11	オートパイロット		
				3.1.12	舵角指示器		
				3.1.13	エンジンテレグラフ		
				3.1.14	速力計		
				3.1.15	主機		
				3.1.16	主機回転数計		
				3.1.17	スラスタ		
				3.1.18	船内電話		
				3.1.19	船内空調		
				3.1.20	船内照明		
				3.1.21	ワイパー		
				3.2	航海当直に影響する 航海機器の利便性 (アクセス性を含む)	3.2.1	コンパス
						3.2.2	レーダ
						3.2.3	ARPA
						3.1.4	ECDIS
		3.1.5	AIS				
		3.1.6	VHF				
		3.1.7	汽笛				
		3.1.8	航海灯制御盤				
		3.1.9	操舵装置				
		3.1.10	オートパイロット				
		3.1.11	舵角指示器				
		3.1.12	エンジンテレグラフ				
		3.1.13	速力計				
		3.1.14	主機回転数計				

CPC		CPC の具体的な内容		詳細	
				3.1.15	スラスター制御盤
				3.1.16	船内電話
4	操船マニュアルの 妥当性	4.1	指揮命令系統	4.1.1	指揮命令系統
		4.2	判断基準	4.2.1	避航基準
		4.3	航行環境	4.3.1	航行環境の変化への対応
		4.4	HF	4.4.1	ヒューマンエラー対策の考慮
		4.5	用語・表現	4.5.1	用語・表現の整合性
		4.6	マニュアルの構成	4.6.1	該当部分へのアクセス性
5	同時に達成する 目標数	5.1	安全航行に関わる 作業 (海域・輻輳度等)	5.1.1	航行海域
				5.1.2	河航水域の制限
				5.1.3	視界による制限
				5.1.4	船舶の輻輳度
				5.1.5	漁船群
				5.1.6	安全航行のための補助作業
		5.2	航行業務に関する 作業	5.2.1	船体の整備作業
				5.2.2	積荷関連作業
				5.2.3	出入港関連作業
6	時間余裕	6.1	タスク以外の作業に かけた時間	6.1.1	タスク以外の作業に かけた時間
7	時間帯	7.1	昼間	7.1.1	航行時間帯
				7.1.2	操船者のコンディション
		7.2	夜間	7.2.1	航行時間帯
				7.2.2	操船者のコンディション
8	操船者のリソース	8.1	教育訓練内容の理解	8.1.1	船種
				8.1.2	操縦性能
				8.1.3	航行海域
				8.1.4	航行環境
				8.1.5	搭載している航海計器
				8.1.6	HF
				8.1.7	特殊な操縦性能
		8.2	操船者の経験・能力	8.2.1	免許の種類・資格

CPC		CPC の具体的な内容		詳細			
				8.2.2	乗船経験		
				8.2.3	当直者数		
				8.2.4	当直者の体調		
				8.2.5	安全に対する意識レベル		
				8.2.6	航海当直のモラル		
				8.3	その他 リソースを減らす作業	8.3.1	操船者個人の 作業にかけた時間
				8.3.2	その他の 作業にかけた時間		
		9	コミュニケーション ケーションと 情報の共有	9.1	船内コミュニ ケーションと情報の共有	9.1.1	船橋内
						9.1.2	船長と当直者間
						9.1.3	船橋と機関室
						9.1.4	SMS マニュアル
9.1.5	船長命令簿						
9.1.6	引継ぎメモ（当直者間）						
9.1.7	口頭による伝達事項						
9.2	他船との コミュニケーションと 情報の共有			9.2.1	汽笛		
				9.2.2	VHF		
				9.2.3	AIS		
				9.2.4	灯火・形象物 (国際信号旗含む)		
9.3	その他	9.3.1	エスコートポート タグ				
		9.3.2	VTs				

4.4 海難に特化した CPC の依存関係

CREAM で定義されている CPC 間には、依存関係も定義されている（表 4.3）. 第 4.3 章で修正した海難に特化した CPC と同様、海難独特の CPC 間の依存関係が存在すると考えられ、海難分析に用いる前に、分析で重要視する CPC の依存関係を明らかにしておく必要がある。そこで、海難に特化した CPC の依存関係を明らかにするための、アンケート調査を実施した。

表 4.3: Hollnagel の定義する CPC の依存関係

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Adequacy of organization	Working conditions	Adequacy of MMI and operational support	Availability of procedures / plans	Number or simultaneous goals	Available time	Time of day	Adequacy of training and experience	Crew collaboration quality
1	Adequacy of organization									
2	Working conditions	+		+			+	+	+	
3	Adequacy of MMI and operational support	+								
4	Availability of procedures / plans	+								
5	Number or simultaneous goals		-	-	-					
6	Available time		+	+	+	-		+		+
7	Time of day									
8	Adequacy of training and experience	+								
9	Crew collaboration quality	+							+	

+ : Direct, - : Indirect

4.4.1 アンケート調査方法

アンケート調査は、航海訓練所^{*1}の協力を得て、練習船の航海士を中心に、実施した。調査票は、計 72 通りの CPC 間の依存関係を明らかにするため、設問にて各 CPC 間で影響があるかどうかを問い、図 4.2 に示すように、依存関係があると考えられる場合は、CPC 間を実線で結び、依存関係がないと考える場合には、CPC 間の破線に × 印をつける形式とした。調査員は、訪船もしくは訪問により、アンケー

^{*1} 独立行政法人 航海訓練所 : 帆船の日本丸, 海王丸, ディーゼル船の大成丸, 銀河丸, 青雲丸の 5 隻の練習船により、航海訓練及び船員教育を行っている。

ト調査表の趣旨と回答方法を説明し、インフォームドコンセントを得た上で調査票を配布し、解答用紙は郵送によって回収した。アンケート調査表の配布部数は、合計 58 部、このうち 57 件の回答が得られた。調査期間は、2012 年 12 月から 2013 年 2 月であった。

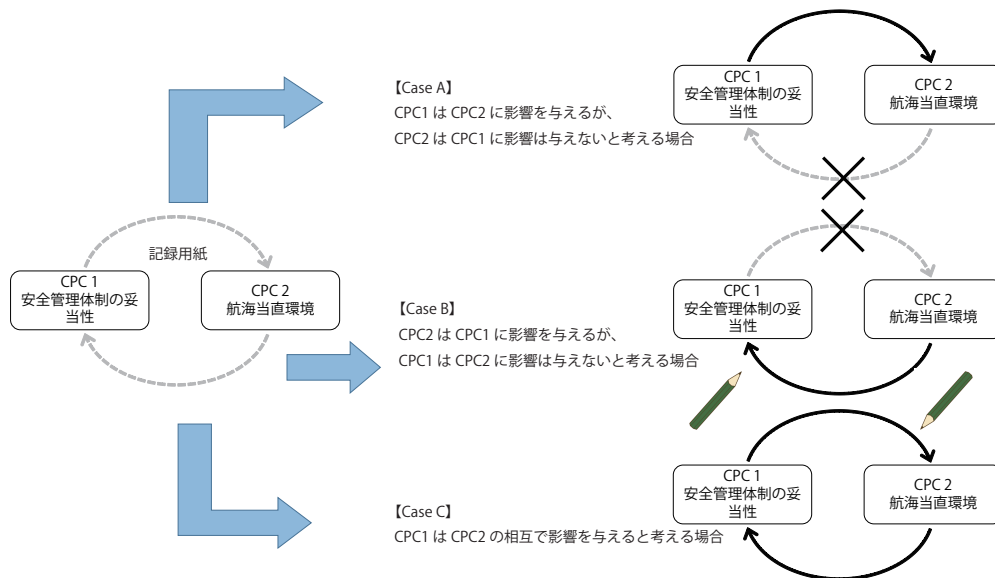


図 4.2: アンケート調査表の記入例

4.4.2 調査結果

アンケート回答者の乗船経験や船種、また乗船中の役職について、表 4.4 に示す。

CREAM では図 4.3 に示すように、19 通りの依存関係を定義している。そこで、アンケート調査の結果、依存関係があると回答された CPC の組み合わせを、回答が多い順番に並べ、上位から 19 位までの組み合わせ（計 23 通り）の依存関係を抽出した。図 4.5 は、すでに定義されている CPC の依存関係と、本調査で抽出した海難に特化した CPC の依存関係を比較した図であり、これらには、一部差があることが明らかとなった。図 4.5 より、すでに定義された CPC の依存関係と共通する依存関係は 11 通り抽出され、12 通りの新たな依存関係が追加され、かつ、9 通りの依存関係が失われた結果となった。

図 4.5 より、ヒューマンマシンインターフェースは、最も他の CPC へ影響を与える CPC である。ヒューマンマシンインターフェースには新たな依存関係が追加されており、例えばヒューマンマシンインターフェースが良くなることで、早く他船の情報を参照でき、周囲の状況を把握できる等、操船者のリソースが増えるケースや、コミュニケーションが取りやすくなるという影響が想定されたと考えられる。一方、航行当直環境や時間余裕、操船者のリソースは、他の CPC から多くの影響を受ける CPC である。時間余裕は、元々航海当直環境へ影響を与えると定義されており、アンケート調査でも同様の結果が得られている。しかし、海難の分析においては、時間余裕という CPC は、同時に達成する目標や操船者のリソース、コミュニケーションと情報の共有等、多くの CPC へ影響を与えるものであると言

える。つまり、操船者の見張り作業において、時間余裕は重要な条件の一つであると考えられる。

表 4.4: アンケート回答者の情報

No.	海技免状	乗船している船種	役職	No.	海技免状	乗船している船種	役職
1	二級	Cargo	C/O	29	一級	練習船	1/O
2	三級	Cargo	2/O	30	二級	練習船	3/O
3	四級	回答なし	2/O	31	三級	練習船	その他
4	三級	Cargo	C/O	32	一級	客船, 練習船	C/O
5	四級	Cargo	2/O	33	二級	練習船	B3/O
6	一級	練習船	C/O	34	三級	練習船	B3/O
7	一級	練習船	1/O	35	三級	練習船	その他
8	二級	練習船	その他	36	二級	練習船	3/O
9	一級	練習船	C/O	37	一級	Bulkер 練習船	C/O
10	一級	練習船	Capt.				
11	一級	練習船	1/O	38	一級	練習船	2/O
12	一級	練習船	C/O	39	三級	練習船	3/O
13	一級	練習船	C/O	40	一級	練習船	Capt.
14	一級	練習船	1/O	41	一級	練習船	1/O
15	一級	練習船	C/O	42	一級	練習船	Capt.
16	一級	練習船	1/O	43	一級	練習船	1/O
17	一級	練習船	1/O	44	三級	練習船	B3/O
18	一級	練習船	C/O	45	三級	練習船	3/O
19	一級	練習船	1/O	46	三級	練習船	B3/O
20	二級	Cargo 練習船	B2/O	47	一級	練習船	B2/O
				48	二級	練習船	2/O
21	一級	練習船	Capt.	49	一級	練習船	C/O
22	二級	コンテナ船 タンカー 練習船	B3/O	50	一級	練習船	Capt.
				51	一級	練習船	Capt.
				52	一級	練習船	2/O
23	三級	PCC* ² , LNG* ³ 練習船	C3/O	53	三級	練習船	B3/O
				54	三級	練習船	3/O
24	一級	練習船	C/O	55	三級	練習船	C3/O
25	一級	練習船	2/O	56	三級	練習船	C3/O
26	二級	練習船	3/O	57	二級	練習船	C3/O
27	二級	練習船	2/O				
28	一級	練習船	Capt.				

*² Pure Car Carrier

*³ Liquefied Natural Gas Carrier

表 4.5: CPC の依存関係と本調査で抽出した海難に特化した CPC の依存関係の比較

影響を与えるCPC 影響を受けるCPC		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		安全管理体制の妥当性	航行当直環境	ヒューマンマシンインターフェイス	操船マニュアルの妥当性	同時に達成する目標数	時間余裕	時間帯	操船者のリソース	コミュニケーションと情報共有
1	安全管理体制の妥当性									
2	航行当直環境	++		++		+	++	-	++	
3	ヒューマンマシンインターフェイス	-								
4	操船マニュアルの妥当性	-	-							
5	同時に達成する目標数	+	-	++	-		+		+	
6	時間余裕	+	-	++	-	++		++	+	++
7	時間帯									
8	操船者のリソース	++		+	+		+			+
9	コミュニケーションと情報共有	-		+			+		++	

++：共通項目、+：追加項目、-：削除項目

次に操船者のリソースに着目すると、船舶運航においては、同時に達成する目標と時間余裕に影響があると考えられている。操船者のリソースとは、表 4.2 にも示したとおり、操船者の経験や能力を含む。そのため、複数の船舶への見張り作業、通信をしながらの見張り作業の継続等、同時に達成する目標数や、時間余裕へ影響があると考えられる。操船者の見張り作業では、船橋内やエンジンルームとのやり取り、VTS やタグボートとの連絡等、コミュニケーションや情報の共有が重要視されており、オペレータ室で色々な作業が完結される原子力分野とは異なる部分と言える。コミュニケーションと情報の共有は、操船者のリソースに影響を与えられ、かつ、使用する無線通信機器等のヒューマンマシンインターフェイスに、コミュニケーションと情報の共有が影響を受けると考えられる。

4.5 海難分析に特化した原因－結果リンク

第 4.2 章の表 4.1 に示すとおり，CREAM 分析では，CPC の特定の後，Step5 でエラーモードを特定し，Step6 では，定義された原因－結果リンクに基づき，特定した各エラーモードが関連する先行条件を辿る必要がある．原因－結果リンクは，MTO(Man, Ttechnology, Organizaition) の観点から，いくつかのグループ（分類）が定義され，それぞれのグループで，一般的な結果，一般的な先行条件，特定の先行条件の 3 つが整理されている．原因－結果リンクと各グループ関係について，図 4.3 に示す．

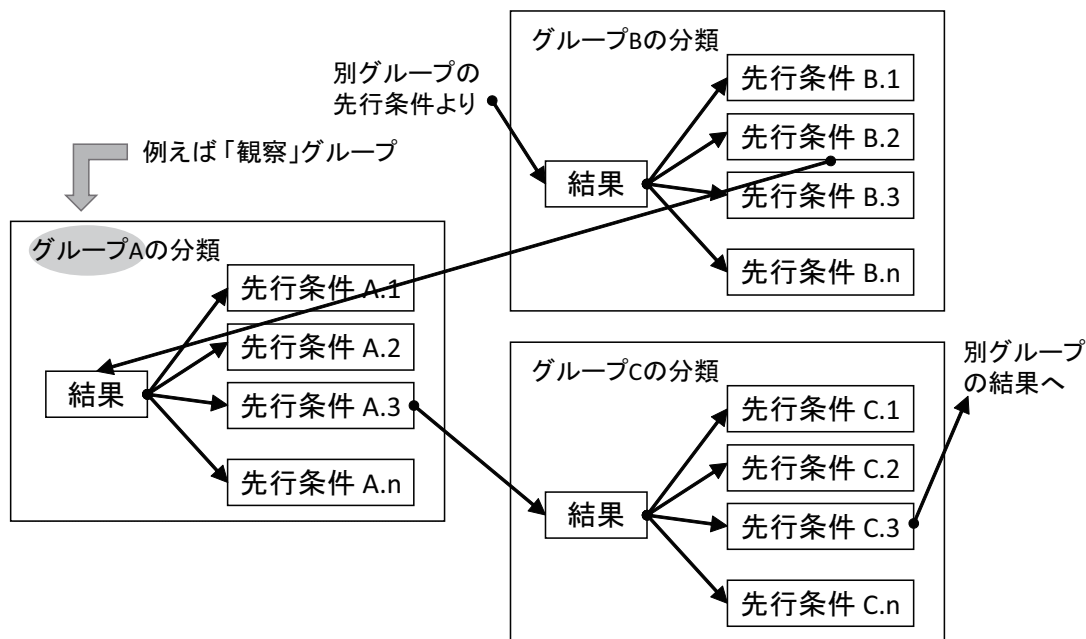


図 4.3: 原因－結果リンクとグループ間の関係

図 4.3 の矢印は，それぞれの先行条件が一般的な結果に結びつくリンクを示しており，グループ B の一般的な結果に入るリンクや，グループ A の先行条件 A.1 から出ているリンクは，この図には含まれない分類へのリンクを示す．一般的な先行条件は，別のグループの原因－結果リンクの結果に結びつけられている．すでに定義されている原因－結果リンクは，あくまで複数のグループで表現された一覧表であり，グループ間の関係を探し難いという欠点がある．また，海難に特化した先行条件があると考えられることから，原因－結果リンクを，分析に使いやすいよう，グループ間の関係が分かるよう，ラベルを付加した．また，海難に特化した先行条件として，7つのグループの特定の先行条件に，以下の条件を追加した．

- 「一時的な機能不全」グループ

管理の問題，個人の健康管理不足，習慣・日課，経験，他者への過信，上下関係

- 「永久的な機能不全」グループ

習慣・日課，経験

- 「永久的なインタフェースの問題」グループ
船内空間の限界，船舶ごとに異なる機器配置
- 「コミュニケーション」グループ
習慣，混乗船，上下関係
- 「組織」グループ
メンテナンス計画・期間，メンテナンス作業者の配置，不適切な管理計画，利益優先の管理方針，不適切な管理者の配置，利用者による意見の反映不足，コスト不足，減速運航，定時運航
- 「環境状況」グループ
屋外作業，長時間の作業，管理不足，機器の老朽化，機器の故障，開口部の閉め忘れ，逆光，薄明時等の時間帯，明るさ等のレベル調整不足
- 「作業環境」グループ
社会的な圧力，船内空間の限界，配線計画の問題，混乗船

4.6 CREAM を用いた衝突海難事例分析

CREAM を海難分析に用いるにあたり、修正を行った CPC や原因－結果リンクの妥当性を検証するため、海難審判裁決録及び運輸安全委員会の船舶事故調査報告書における衝突海難に関する情報を用いて、CREAM の手順に沿って海難事例分析を行った。分析の対象とした衝突海難と、その特徴について表 4.6 に示す。海難審判裁決録及び運輸安全委員会の船舶事故調査報告書（以下、報告書）では、調査官の考察や所見等の中で、調査機関が認めた内容が含まれている。そこで、報告書の「第 2 章 事実情報」のみに着目し、「第 3 章 分析」に記載されている事項を極力参照せず、衝突に至る事実の経過のみに基づく分析を行った。

表 4.6: CREAM による分析を行った衝突海難事例とその特徴

	衝突海難事例	海難の特徴
事例 1	貨物船 HARMONY WISH 貨物船しんかずりゅう 衝突	瀬戸内海（推薦航路：周防灘航路）， 視界制限状態
事例 2	貨物船 NORD POWERE 貨物船 HAI YING 衝突	狭い航路（出港から、関門航路へのアプローチ）， 複数の関係船，水先人が 2 名乗船
事例 3	自動車専用船 CYGNUS ACE 多目的船 ORCHID PIA 衝突	沿岸海域（伊豆大島東方沖）， 夜間，油流出

4.6.1 衝突海難事例の分析 1（貨物船 HARMONY WISH 貨物船しんかずりゅう）

(1) 衝突海難事例 1 の概要

衝突海難事例 1 は、視界制限状態の中、推薦航路である周防灘航路で発生した、貨物船同士の衝突海難である。本分析では、船舶事故報告書にしたがって、貨物船 HARMONY WISH を A 船、貨物船 しんかずりゅうを B 船と定義し、分析を実施する。両船とも、視界制限状態にも関わらず、霧中信号や減速航行等を行っておらず、お互いが相手船を初認したのは、衝突の 6～7 分前、距離にして 2NM 程度である。また両船とも、衝突の 2 分前まで、大きな避航動作を取っていない。両船の推定航跡と避航動作の概要を図 4.4 に示す。図 4.4 において、オレンジ色の線は A 船の航跡、青色の線は B 船の航跡、航跡上の数字は時刻を示す。また、赤色の × は衝突位置を示す。

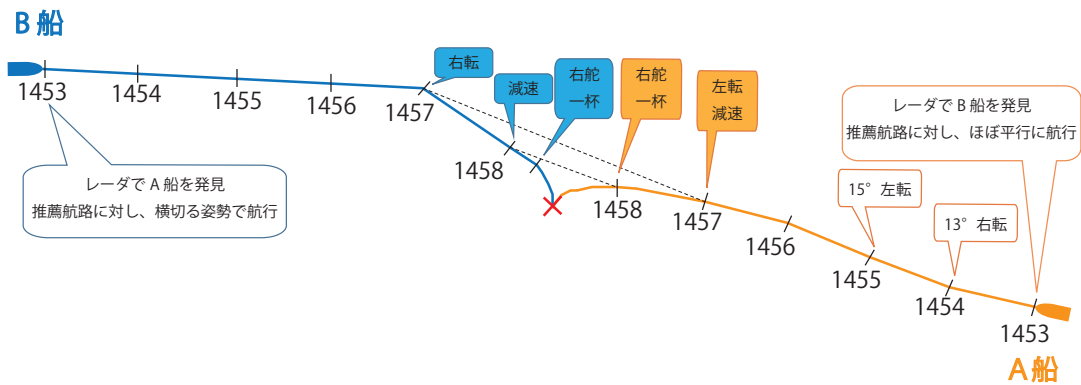


図 4.4: 推定航跡と避航動作（衝突海難事例 1）

(2) CPC 評価

表 4.7: CPC 評価結果（衝突海難事例 1, A 船）

	影響のある作業環境	影響のない作業環境		悪影響のある作業環境		CPC の評価理由
		許容未満	許容と同じ	許容を越える		
安全管理体制の妥当性	非常に効果的	効果的		効果的でない	非効果的	視界制限状態になった場合に、船長への報告を指示していたが、見張り員の増員はしていない。
航海・当直環境	好都合	合っている		合っていない		不適切な照明や雑音の存在はなかったと考えられる。
MMI の妥当性	有効	適切		我慢できる	不適切	レーダを適切に設定・使用できていなかったことが想定される
手順・計画の妥当性	適切	受容可能		効果的でない	非効果的	霧中航行中の作業（汽笛・灯火の使用、減速航行等）を一切行っていない。
同時に達成する目標		許容未満	許容と同じ	許容を越える		霧中航行は通常想定できる状況であり、周囲の船舶が多かったという記述もない
時間余裕	十分	一時的に不十分		常時不十分		情報収集に時間を取られ、霧中航行中に行うべき作業や船長への報告のタイミングを逃したことが想定できる。
時間帯		日中（適合）		夜間（不適合）		事故は日中（通常当直時間中）に起こっている。
操船者のリソース	非常に良い	良い		良くない		霧中航行中の作業を一切行っていない。 視界制限状態にも関わらず、左転を選択している。
コミュニケーションと情報の共有	非常に効果的	効果的		効果的でない	非効果的	Q/M とのコミュニケーションが取れていなかったことが想定される

表 4.8: CPC 評価結果（衝突海難事例 1, B 船）

	影響のある作業環境	影響のない作業環境	悪影響のある作業環境		CPC の評価理由
			効果的でない	非効果的	
安全管理体制の妥当性	非常に効果的	効果的	効果的でない	非効果的	視界制限状態になることが想定されたため、船長から Watch Level を上げる指示が出されていた。（機関長昇橋）
航海・当直環境	好都合	合っている	合っていない		不適切な照明や雑音の存在はなかったと考えられる。
MMI の妥当性	有効	適切	我慢できる	不適切	レーダを適切に設定・使用できていなかったことが想定される。
手順・計画の妥当性	適切	受容可能	効果的でない	非効果的	霧中航行中の作業を一切行っていなかった。 推薦航路にも関わらず斜航していた。
同時に達成する目標		許容未満	許容と同じ	許容を越える	霧中航行は通常ありえる状況であり、周囲の船舶が多かったという記述もない。
時間余裕	十分	一時的に不十分	常時不十分		情報収集に時間を取られ、霧中作業のタイミングを逃したと考えられる。
時間帯		日中（適合）	夜間（不適合）		事故は日中（通常当直作業中）に起こっている。
操船者のリソース	非常に良い	良い	良くない		霧中作業を一切行ってない。
コミュニケーションと情報の共有	非常に効果的	効果的	効果的でない	非効果的	機関長とのコミュニケーションの記述が一切なく、情報の共有がされていないことが想定できる。

船舶事故調査報告書 (MA2012-2) に記載されている事故の経緯を踏まえ、A 船と B 船それぞれについて、CPC の評価を行った。CPC の評価結果を、表 4.7 及び表 4.8 に示す。A 船、B 船共に同じ評価結果となり、悪影響のある作業環境として、MMI の妥当性や手順・計画の妥当性、操船者のリソース、またコミュニケーションと情報の共有の 4 つの CPC が抽出された。

(3) エラーモードの特定

悪影響のある作業環境として評価された CPC に着目して、エラーモード分析を行った。まず、衝突海難事例 1 における大きな出来事の時間的変化を理解するため、時系列に衝突海難事例 1 の関係者の行動等を整理した（表 4.9）。表 4.9 は、衝突海難事例 1 に関係者を列、時刻を行、ある時刻に関係者が取った行動等を示している。表 4.9 の中から、興味のある行動を選出し、エラーモードを特定した結果を、表 4.10 と表 4.11 に示す。本事例では、A 船 B 船それぞれで、4 つのエラーモードを特定した。

表 4.9: 各船におけるイベントの時間的变化 (衝突海難事例 1)

	A 船			B 船	
	Capt.	2/O	Q/M	Capt.	C/O
5/20	阪神港を出港, 瀬戸内経由, 中国寧波へ				
5/21 09:00	船橋当直				
12:00				福岡県苅田を出港, 福山港へ	
12:30	引継ぎ	昇橋, 引継ぎ		単独当直, 針路 093°, 対水 11knot	
13:00	視程が悪いので見張りを慎重に行うこと等を指示し, 当直交代. 自室で休息.	船橋当直, 霧中信号行わず, レーダ 3NM レンジ, 周防灘を西進(針路 282°), 対水 10knot	手動操舵		
14:25				時々視界が悪くなるので注意するようにと指示し, 当直交代. 降橋の際, 機関室にて機関長に見張りを手伝うよう指示した後, 自室で休息.	船橋当直. 周防灘航路の中央線を南側から北側へ向けて横切る姿勢で斜航. 針路 093° (進路 095), 自動操舵.
14:30 頃					周防灘航路の中央線の南側から北側に向けて横切りながら東進
14:49	霧のため視程が 100m になる				
					霧中信号行わず, 自動操舵
14:52		周防灘航路の中央線右側を, 針路 282° (進路 279°), 速力 10.1knot で航行. レーダで B 船を探知 (左舷船首 010, 2.5NM). AIS で B 船の動静を確認 (B 船の情報が表示されていなかった).			
14:53 頃					3NM レンジとしたレーダにより, A 船を探知 (右舷船首 008, 2.0NM). A 船は周防灘航路を北側から南側に斜航しているものと思込み, 針路保持.
14:54		A 船が周防灘航路の中央線右側, B 船が左側を航行しているのので, 両船が互いに左舷を対して通過することになると思い, 通過距離を広げるため, 約 13 度右転し, 針路 295° (進路 292) に変針.			
時間 不明		B 船と左舷を対して通過する状況であると思込み, B 船はレーダのみで探知していたが, B 船と著しく接近することとなるかどうか又は衝突するおそれがあるかどうかを適正に判断せず, 速力を保持.			

	A 船			B 船	
	Capt.	2/O	Q/M	Capt.	C/O
14:56 頃		B 船のレーダ映像が A 船の正船首 0.92NM を右方に横切り、互いに右舷を対して通過する姿勢となったので、通過距離を広げようと約 15 度左転し、針路 285° (進路 280°) に変針。B 船のレーダ映像が A 船に接近してくるのを認めた。			
14:57 頃		B 船と衝突の危険を感じ左転。微速力前進に減速。			A 船のレーダ映像が B 船に向けてまっすぐに接近してくるので、A 船と接近することになると思い、自ら手動操舵について、右転。(約 120~125°とした)
14:58 頃		針路 272° (進路 264°), 左舵一杯。			右転したのちも A 船のレーダ映像が B 船に向けてまっすぐに接近してくるので、汽笛:長音 1 回、微速力前進、右舵一杯、機関停止。
14:59 頃	減速時の機関音の変化に気付き昇橋。			機関長からの電話連絡を受け、昇橋。	A 船を左舷至近に視認した直後
衝突					

表 4.10: 特定したエラーモード（衝突海難事例 1, A 船）

	エラーモード	エラーモードの内容	選出した行動
A1-A1	順序 <省略>	必要な霧中信号を行わず	(13:00 より前) 視界制限状態となったが、霧中信号を行わず、約 10kn の対水速力で周防灘を西進
A1-A2	タイミング <遅すぎ>	遅すぎる他船の発見	(13:00) レーダを主に 3NM レンジとして見張りをを行い、(14:52) レーダで距離 2.5NM 付近に B 船を探知
A1-A3	方向 <間違った方向>	相手船の動静の思い込みによる右転	(14:54) B 船と左舷を対して通過する状況であると思い込んでいたので、通過距離を広げるため、右に変針
A1-A4	方向 <間違った方向>	予防法で禁止されている、視界制限状態における左転	(14:56) B 船のレーダ映像が自船の正船首を右方に横切ったのを認め、B 船と右舷を対して通過する姿勢となったと判断し、通過距離を広げようと左転

表 4.11: 特定したエラーモード（衝突海難事例 1, B 船）

	エラーモード	エラーモードの内容	選出した行動
A1-B1	方向 <間違った方向>	推薦航路における斜航	(14:25) 周防灘航路の中央線を南側から北側へ向けて横切る姿勢で斜航、(14:30 頃) 周防灘航路の中央線の南側から北側に向けて横切りながら東進
A1-B2	順序 <省略>	必要な霧中作業を行わず	(14:49) 霧中信号を行わず、約 11kn の速力を保持して（減速せず）
A1-B3	タイミング <遅すぎ>	遅すぎる他船の発見	(14:53 頃) 3NM レンジとしたレーダにより、A 船を探知
A1-B4	順序 <省略>	相手船の動静を思い込んだことにより、避航動作が行われず	(14:53 ごろ) A 船は周防灘航路を北側から南側に斜航しているものと思い込み、針路速力を保持

(4) 原因-結果リンクの抽出

特定したそれぞれのエラーモードについて、原因-結果リンクを辿った結果（エラーモード分析結果）を図 4.5 から図 4.12 に示す。図 4.5 から図 4.8 は A 船のエラーモード分析結果、図 4.9 から図 4.12 は B 船のエラーモード分析結果である。図 4.5 から図 4.12 において、グレーで塗りつぶされた部分は、選出した行動を分類したエラーモード、黒色の枠で囲われた部分は、報告書に明確に記載のある事項から原因-結果リンクを辿った結果、グレーの枠で囲われた部分は、報告書に明確な記載はないものの、想定できる原因-結果リンクを辿った結果を示す。枠で囲われていない文章は、それぞれの原因や結果の詳細である。A 船のエラーモード分析結果をまとめたものを図 4.13、B 船のエラーモード分析結果をまとめたものを図 4.14 に示す。

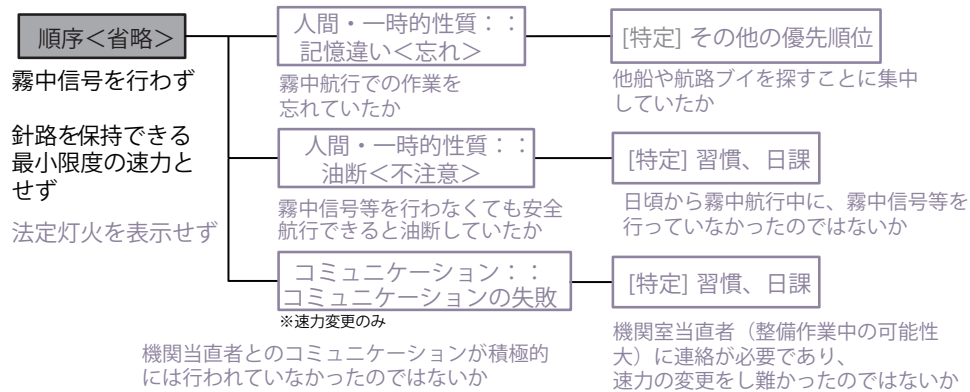


図 4.5: エラーモード分析結果（衝突海難事例 1, 船舶 A, A1-A1）

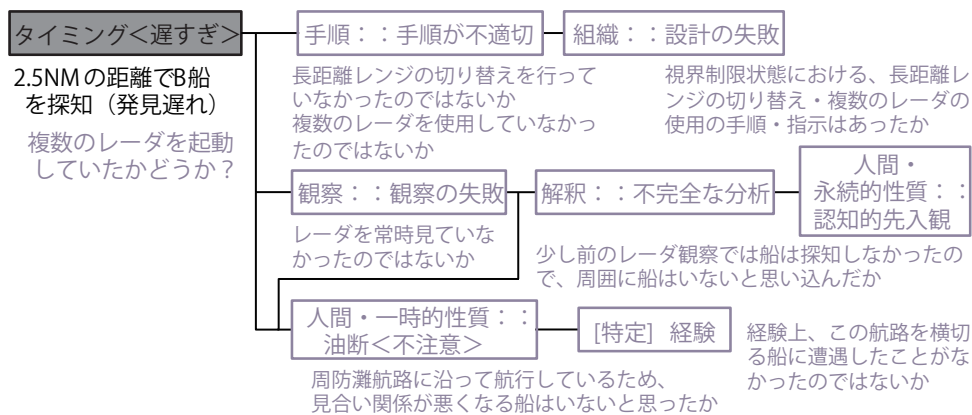


図 4.6: エラーモード分析結果（衝突海難事例 1, 船舶 A, A1-A2）

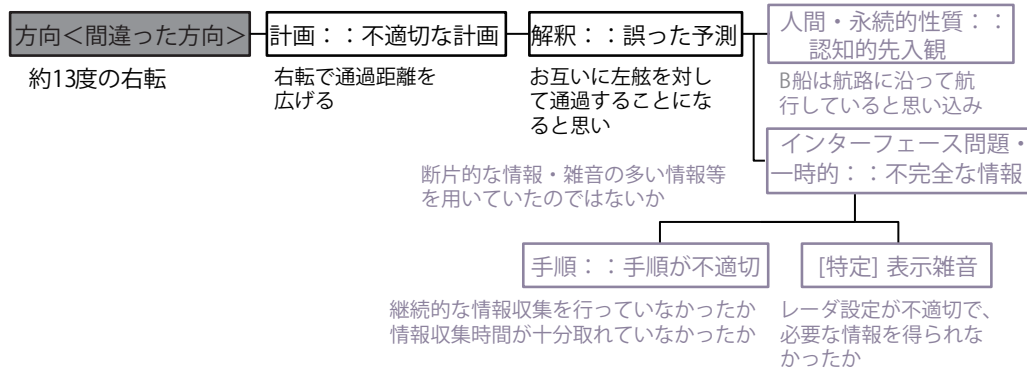


図 4.7: エラーモード分析結果（衝突海難事例 1, 船舶 A, A1-A3）

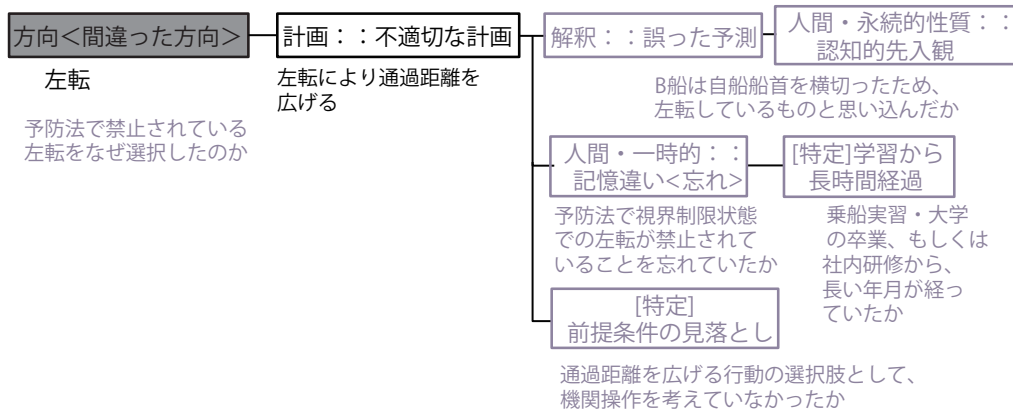


図 4.8: エラーモード分析結果（衝突海難事例 1, 船舶 A, A1-A4）

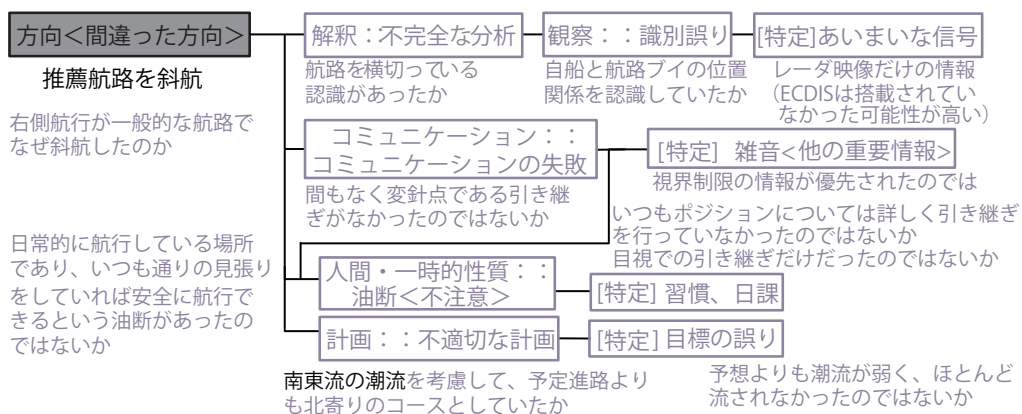


図 4.9: エラーモード分析結果（衝突海難事例 1, 船舶 B, A1-B1）

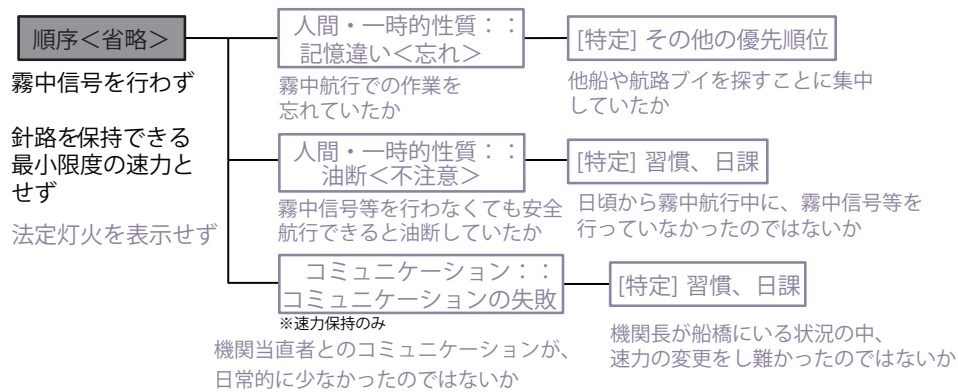


図 4.10: エラーモード分析結果 (衝突海難事例 1, 船舶 B, A1-B2)

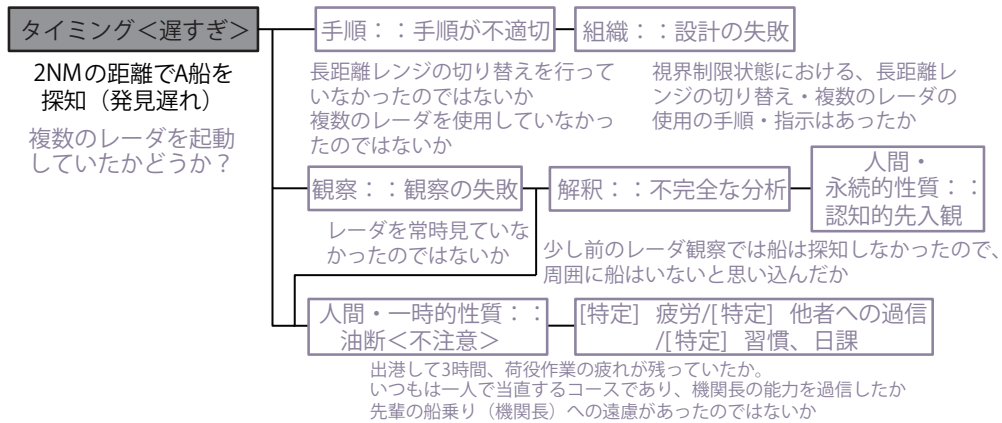


図 4.11: エラーモード分析結果 (衝突海難事例 1, 船舶 B, A1-B3)

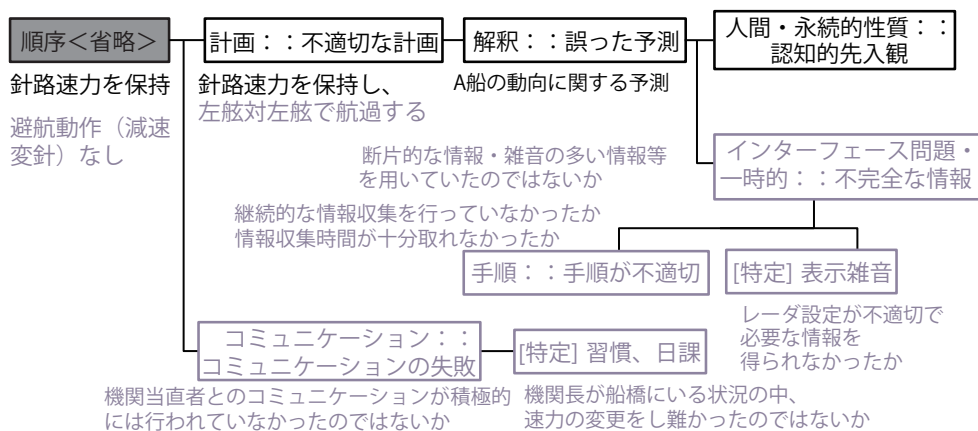


図 4.12: エラーモード分析結果 (衝突海難事例 1, 船舶 B, A1-B4)

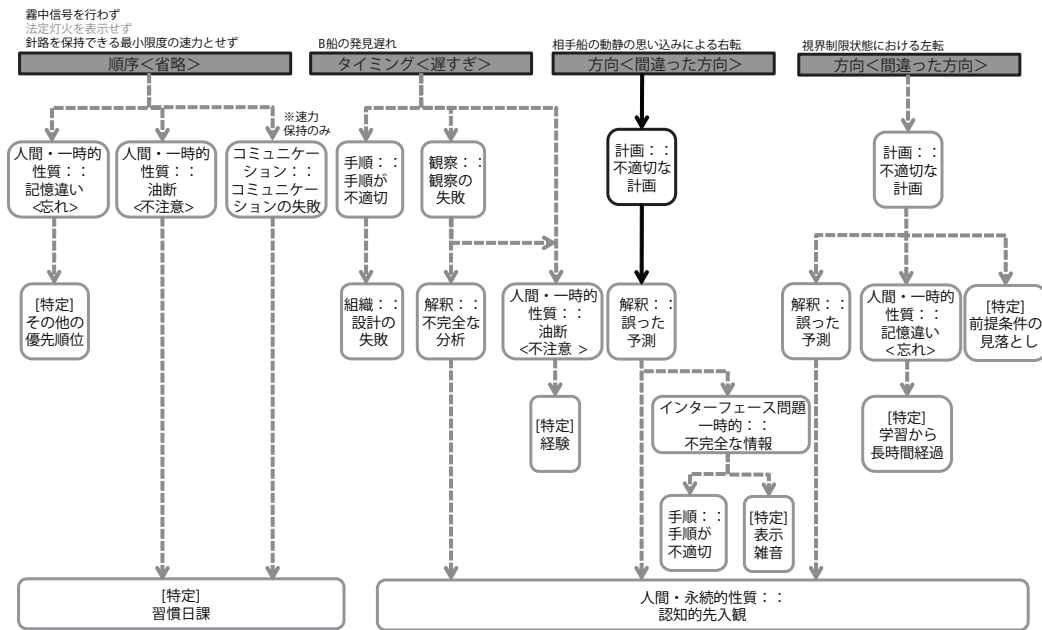


図 4.13: A 船のエラーモード分析結果 (衝突海難事例 1)

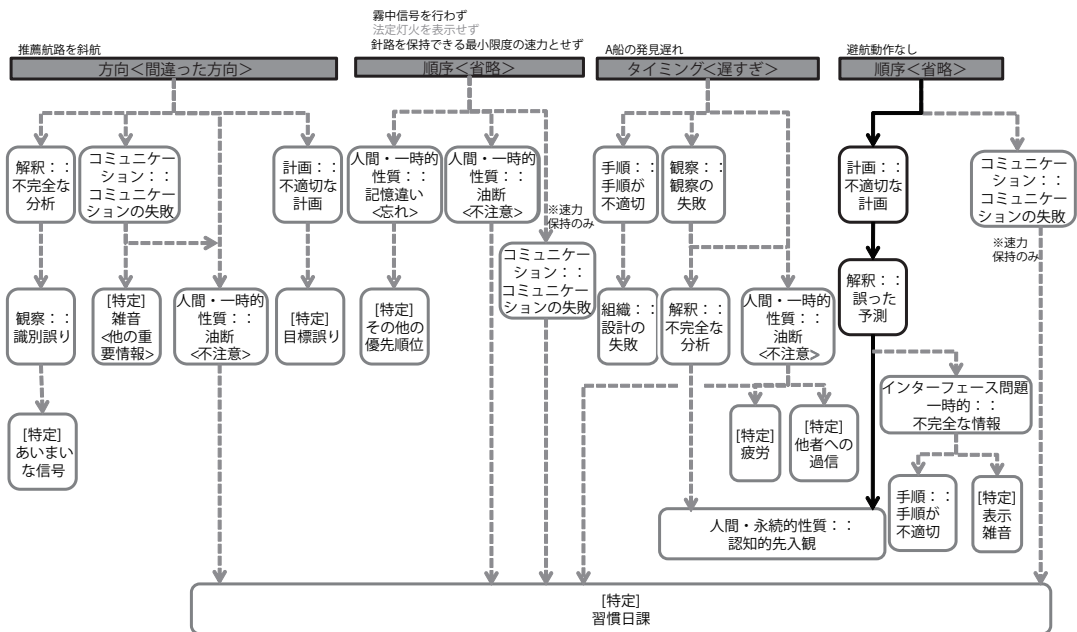


図 4.14: B 船のエラーモード分析結果 (衝突海難事例 1)

(5) CREAM 分析結果 (衝突海難事例 1)

CPC の評価、エラーモードの特定、それぞれのエラーモードに関する分析から、本事例の A 船における直接要因は、互いに左舷を対して航過するという B 船に対する誤った将来予測と、左転による航過距離の確保という行動決定の誤りであることが考えられる。さらに、A 船における背後要因は、認知的先入観（思い込み）や不完全な情報に基づく判断等が考えられる。報告書には、「航海士 A が B 船と著しく接近することになるかどうか又は衝突する恐れがあるかどうかを適正に判断しなかったため針路を交差させて左舷船首方向から接近する B 船の態勢に気付かず、衝突」と記載されており、衝突のおそれについて適正な判断をしなかった背後には、レーダで B 船を左舷船首方向に発見した際、B 船と左舷を対して降下する状況であると思いついたことによるものと考えられる。

また、B 船における直接要因は、A 船の発見遅れや、推薦航路を斜航したという行動決定の誤りであることが考えられ、背後要因として、日常的に航行している海域であり、油断があったことや、A 船は推薦航路を斜航しているという思い込みが考えられる。報告書においても、「A 船は周防灘航路の中央線を北側から南側に向けて横切りながら斜航しているものと思いついたこと」が原因として挙げられている。この様に、衝突海難事例 1 における CREAM 分析結果は、報告書で指摘された事故原因（結論）と、動揺の要因を指摘しており、報告書で指摘されていない、想定できる背後要因についても複数指摘することができた。

4.6.2 衝突海難事例の分析 2 (貨物船 NORD POWERE 貨物船 HAI YING)

(1) 衝突海難事例 2 の概要

衝突海難事例 2 は、関門航路で発生した貨物船同士の衝突海難である。本分析では、船舶事故報告書にしたがって、貨物船 NORD POWERE を A 船、貨物船 HAI YING を B 船と定義し、分析を実施する。A 船は、水先人を 2 名乗船させ、入り船右舷着けで着岸している状態から、衝突の約 24 分前に離岸し、関門航路へ入る際、関門航路を西から東へ航行中の B 船と衝突した。A 船には 4 隻のエスコートボートがあり、VHF を使わず、エスコートボートを経由した他船へのコンタクトが行われている事例である。両船の推定航跡と避航動作の概要を図 4.15 に示す。図 4.15 において、オレンジ色の線は A 船の航跡、青色の線は B 船の航跡、航跡上の数字は時刻を示す。また、赤色の × は衝突位置を示す。

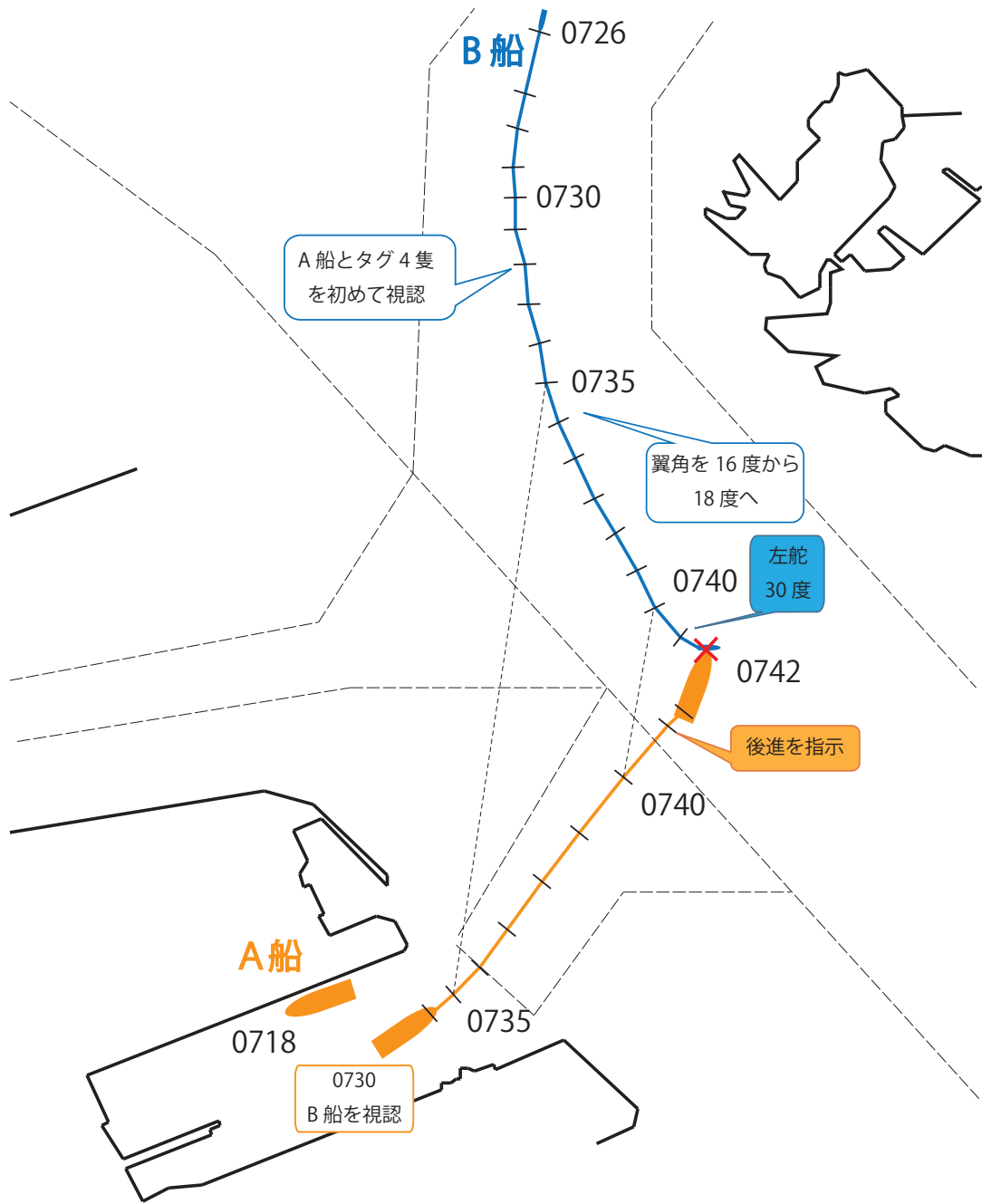


図 4.15: 推定航跡と避航動作 (衝突海難事例 2)

(2) CPC 評価

船舶事故調査報告書 (MA2010-5) に記載されている事故の経緯を踏まえ、A 船と B 船それぞれについて、CPC の評価を行った。CPC の評価結果を、表 4.12 及び表 4.13 に示す。A 船、B 船共に同じ評価結果となり、悪影響のある作業環境として、安全管理体制の妥当性、手順・計画の妥当性や同時に達成する目標、操船者のリソース、またコミュニケーションと情報の共有の 5 つの CPC が抽出された。

表 4.12: CPC 評価結果 (衝突海難事例 2, A 船)

	影響のある作業環境	影響のない作業環境		悪影響のある作業環境		CPC の評価理由
		効果的	効果的でない	非効果的	非効果的	
安全管理体制の妥当性	非常に効果的	効果的	効果的でない	非効果的	非効果的	船橋には必要な人員が配置されていたが、衝突危険が生じた際、船長が操船権を取らなかった。
航海・当直環境	好都合	合っている	合っていない			不適切な照明や雑音の存在は無かったと考えられる。
MMI の妥当性	有効	適切	我慢できる	不適切		B 船への指示は、主にタグボート経由で行い、VHF による意思疎通を行っていなかったが、装置の問題ではない。
手順・計画の妥当性	適切	受容可能	効果的でない	非効果的		B 船の行先信号が確認できなかった場合に、意思疎通を行わなかった。航路航行中の B 船を横切る計画を立てた。
同時に達成する目標		許容未満	許容と同じ	許容を越える		B 船だけでなく、関門航路を連なって西進する船舶や、関門航路への入航等、タスクが多かった。
時間余裕	十分	一時的に不十分	常時不十分			低速で航行していたため意思疎通の時間があったが、タスクが重複した際、時間余裕が少なくなったことが想定できる。
時間帯		日中 (適合)	夜間 (不適合)			事故は日中 (出港直後) に起こっている。
操船者のリソース	非常に良い	良い	良くない			船橋内全体のリソースは十分だが、B 船の意思を確認していない等、当直者間で補完できていない。
コミュニケーションと情報の共有	非常に効果的	効果的	効果的でない	非効果的		マーチス・航路西進船とは意思疎通が取られたが、B 船とはタグボートを介したこともあり、取れない部分があった。

表 4.13: CPC 評価結果（衝突海難事例 2, B 船）

	影響のある作業環境	影響のない作業環境	悪影響のある作業環境		CPC の評価理由
			効果的でない	非効果的	
安全管理体制の妥当性	非常に効果的	効果的	効果的でない	非効果的	操舵手を付けていたが、入港も近く、輻輳海域であるため、もう一人見張り要員を船橋に配置しても良い状況であった。
航海・当直環境	好都合	合っている	合っていない		不適切な照明や雑音の存在は無かったと考えられる。 A 船タグの指示も聞き取っている。
MMI の妥当性	有効	適切	我慢できる	不適切	直接 VHF で A 船の計画について意思疎通を行っていない。 航路中央を航行していたが、装置の問題ではない。
手順・計画の妥当性	適切	受容可能	効果的でない	非効果的	航路航行船優先と考え、自船より大型の A 船の前を横切る計画を立てた。翼角制御後に、実際のどの程度増速したかを確認していなかった可能性あり。
同時に達成する目標		許容未 満	許容と 同じ	許容を越える	A 船だけでなく、関門航路を連なって西進する船舶や、関門航路への入航、自船の入港も控え、タスクが多かった。
時間余裕	十分	一時的に 不十分	常時 不十分		A 船は低速で航行していたため意思疎通の時間があつたが、タスクが重複し、時間余裕が少なくなったことが想定できる。
時間帯		日中 (適合)	夜間 (不適合)		事故は日中（出港直後）に起こっている。
操船者のリソース	非常に良い	良い	良くない		操舵手は手動操舵についており、見張り要員は船長 B のみ、船橋内のリソースが不足し、A 船の意思を確認していない等実施されていないタスクがある。
コミュニケーションと情報の共有	非常に効果的	効果的	効果的でない	非効果的	マーチス・航路西進船とは一切意思疎通をしていない。 B 船はタグポートを介したことで、取れない部分があつた。

(3) エラーモードの特定

悪影響のある作業環境として評価された CPC に着目して、エラーモード分析を行った。まず、衝突海難事例 2 における大きな出来事の時間的変化を理解するため、時系列に衝突海難事例 2 の関係者の行動等を整理した（表 4.14）。表 4.14 は、衝突海難事例 2 に関係者を列、時刻を行、ある時刻に関係者が取った行動等を示している。表 4.14 の中から、興味のある行動を選出し、エラーモードを特定した結果を、表 4.15 と表 4.16 に示す。本事例では、A 船で 4 つ、B 船で 3 つのエラーモードを特定した。

表 4.14: 各船におけるイベントの時間的变化 (衝突海難事例 2)

	A 船							B 船	関門マ ーチス	
	船長 A	水先人 A1	水先人 A2	タグ 1	タグ 2	タグ 3	タグ 4	船長 B		
7/16	B 船：中国寧波港を出港し、関門港へ向かう									
7/19 22:46 頃	B 船：着岸時間調整のため、六連島東方に錨泊									
7/22 07:00 頃	B 船：抜錨し、国際信号旗を掲げ、関門港若松第 5 区堺川公共岸壁に向かった									
07:05 頃	乗船									
07:12 頃	お互いに情報交換				B 船 関門航路に入航 (速力約 5.4knot, Q/M による手動操舵)					
07:16 頃			マーチスに、VHF にて離岸通報。マーチスより、航路を西進している PCC (C 船) の存在について報告を受ける。管制信号が出航信号であることを確認。						水先人 A2 に、航路西進中の PCC (C 船) の存在を伝える	
07:18 頃	A 船：空倉状態でオーストラリアに向けて出港 (左回頭で離岸)									
	操舵装置の右側で操舵を指揮	tiny 右舷側ウイングでタグ配置指示	水先人 A1 の補佐		左舷船首、引く用意	右舷船首、押す用意	左舷船尾、引く用意			
07:22 頃	B 船：左転、航路の中央より少し右側を南進									
07:30 頃	水先人 2 より B 船の存在について報告を受け、B 船を視認。B 船とは衝突のおそれなく、A 船の前方を通過するものと思った。		B 船を視認 (左舷船首 30° 1.8NM)、双眼鏡で行先信号を確認しようとしたが、B 船の国際信号旗は確認できず、停留又は低速力で航行中であると思った。短音 2 回の汽笛信号 (左転信号)。							
	船首が航路へ向いたので、機関を微速力前進				タグライン放す	堺川水路沖の航路が異を西進中のえい航船の警戒へ	関門航路東進船の警戒のため、第 12 号灯浮標付近へ	タグライン放す		
07:31 頃	微速力前進のまま針路 045° を指示。タグ 1 タグ 2 に対し、左舷船尾を伴走を指示。		タグ 3 に対し、B 船の動静を確認するよう指示。その後、タグ 3 より、B 船がほとんど停止しているように見え、行き先が不明である旨の報告を受ける。			左舷船尾を伴走	左舷船尾を伴走	指示を受け、水先人 A2 に対し、B 船がほとんど停止しているように見え、行き先が不明である旨を報告		

	A 船							B 船	関門マ ーチス
	船長 A	水先人 A1	水先人 A2	タグ 1	タグ 2	タグ 3	タグ 4	船長 B	
07:32 頃			マーチスに、VHFにて戸畑航路への入航通報。マーチスより、第19号灯浮標付近を、C船を先頭に4隻が西進中である旨の報告を受ける。C船の水先人とトランシーバーで更新し、A船を先行させることで両船が合意(C船はA船を先行させるために減速)。					A船とタグボート4隻を初めて視認(右舷船首9°3.140m付近)。	A船水先人に対し、第19号灯浮標付近を、C船を先頭に4隻が西進中である旨、報告
07:32 頃								A船が関門航路に向けて低速力で航行しているの、関門航路を航行しているB船を避けてくれるものと判断。	
	水先の交代を許可	水先人 A1 から水先人 A2 へ水先を交代							
		船橋前面 右舷側で 補佐	船橋前面中央部で水先						
07:33 頃			針路 033°を指示。戸畑航路の潮流で右へ圧流されることを考慮し、前速力前進を指示し、航路中央より少し西側を関門航路へ向けて航行。						
07:35 頃			タグ3より、B船が堺川向けで、極低速力で航行中である旨の報告を受ける。A船が関門航路を横切った後、B船がA船の船尾側を通過するものと思っていた。(通常、関門航路を東進する小型の船舶は、第10号灯浮標寄りに南進し、大瀬戸第1号導灯を針路目標にして航行するため)その後、B船が航路の中央寄りを南進しているのを認め、B船と関門航路で出会うおそれがあったので、タグ3に対し、B船に増速してA船の前方を早く横切るように要請するよう指示。タグ3より、B船船長は増速を了承したものの、速力は変わらない旨の報告を受ける。B船が要請に応じ、増速してA船の前方を通過するものと思った。(通常、タグボートを介しての大型船からの要請に対しては、各船が要請に応じてくたいたので、今回も同様であると考えた)		水先人 A2 に、B船が堺川向けで、極低速力で航行中である旨を報告。水先人 A2 から、B船に増速してA船の前方を早く横切るように要請するよう指示を受ける。B船の左舷後方に接近し、スピーカーで英語により、急いで前速力前進してほしい旨の要請を3~4回行った。B船乗組員から手信号により、要請を了承した合図を確認。しかし、B船の速力が上がらなかったため、水先人 A2 へ、B船船長は増速を了承したものの、速力は変わらない旨を報告。		大瀬戸第1号導灯の示す方向線(141°)に乗せるために左転。その後、針路約153°で関門航路中央寄りを航行。接近してきたタグ3から増速を要請されたので、これを了承。	A船が戸畑航路から出航し、MNライン、六連島東に向かうことを、周囲の船舶に周知	
07:36 頃			B船の動静を監視していたところ、B船と衝突のおそれがあることに気づき、B船に対し増速を促すため、汽笛で短音5回の警告信号					翼角を16°から20°に上げた。積荷が満載だったことから、翼角を20°に上げた場合でも、約5.2kn(あまり速度が変わらず)	
07:36 頃			もう一度、B船に対し増速を促すため、汽笛で短音5回の警告信号。C船より先行することになっていたこともあり、直ちに大幅な減速を行わなかった。						
07:38 頃			タグ3に対し、B船と右舷対右舷で通過する旨の要請をするよう指示。その後、左舷対左舷での通過に指示を変更。						

	A 船							B 船	関門マ ーチス
	船長 A	水先人 A1	水先人 A2	タグ 1	タグ 2	タグ 3	タグ 4	船長 B	
07:39 頃					B 船に対し、左舷 対左舷での通過を 要請。しかし、依然 として B 船の針路 及び速力に変化がな かったため、水先人 A2 に対し、B 船が 増速してない旨を報 告。				
		タグ 3 に対し、 B 船が増速しな いのであれば、 停止又は後進一 杯などを要請す るよう指示。	微速力前進						
07:40 頃		水先人 A1 に、前 速力後進 の要否を 確認	B 船の動作に変化が見られなかったの で、衝突の危険を感じ、機関停止右舵一 杯、舵角指示器が右舵 20°を示したと き、舵中央に続いて左舵一杯。B 船の方 位が徐々に右方に変化していたので、す ぐには前速力後進としなかった。						
07:41 頃	前速力 後進を 指示		前速力後進を指示					タグ 3 から 前速力前進及 び右舵一杯の 要請を受けた が、衝突を避 けようと左舵 30 度をとっ た。	
07:41 頃	衝突 (A 船の船首と B 船の右側面が衝突)								

表 4.15: 特定したエラーモード（衝突海難事例 2, A 船）

	エラーモード	エラーモードの内容	選出した行動
A1-A1	順序 <省略>	B 船の行先・航海計画を確認せず	(07:30) 双眼鏡では B 船の国際信号機は確認できず、停留又は低速力で航行中であると思った
A1-A2	順序 <省略>	衝突のおそれがあることに気付いたのにも関わらず、B 船の動作を促すだけで、衝突を避けるための動作を行わず	(07:36) B 船の動静を監視していたところ、B 船と衝突のおそれがあることに気づき、B 船に対し増速を促すため、汽笛で短音 5 回の警告信号。C 船より先行することになっていたこともあり、直ちに大幅な減速を行わなかった。
A1-A3	タイミング <遅すぎ>	衝突のおそれがあることに気づきながら、なお B 船の増速を期待し、最終的な避航動作の遅れ	(07:39) 衝突の 3 分ほど前に、微速力前進（減速）
A1-A4	タイミング <遅すぎ>	水先人から操船権を取り戻すタイミングの遅れ	(07:41) 衝突直前に「前速力後進」を指示（※水先人の操船が始まってから衝突の直前まで、船長 A に関する記述は特になし）

表 4.16: 特定したエラーモード（衝突海難事例 2, B 船）

	エラーモード	エラーモードの内容	選出した行動
A1-B1	順序 <省略>	B 船の行先・航海計画を確認せず	(07:30) 双眼鏡では B 船の国際信号機は確認できず、停留又は低速力で航行中であると思った
A1-B2	方向 <間違った方向>	衝突のおそれがあることに気付いたのにも関わらず、B 船の動作を促すだけで、衝突を避けるための動作を行わず	(07:36) B 船の動静を監視していたところ、B 船と衝突のおそれがあることに気づき、B 船に対し増速を促すため汽笛で短音 5 回の警告信号 C 船より先行することになっていたこともあり、直ちに大幅な減速を行わなかった
A1-B3	力 <弱すぎ>	衝突のおそれがあることに気づきながら、なお B 船の増速を期待し最終的な避航動作の遅れ	(07:39) 衝突の 3 分ほど前に、微速力前進（減速）

(4) 原因-結果リンクの抽出

特定したそれぞれのエラーモードについて、原因-結果リンクを辿った結果（エラーモード分析結果）を図 4.16 から図 4.22 に示す。図 4.16 から図 4.19 は A 船のエラーモード分析結果，図 4.20 から図 4.22 は B 船のエラーモード分析結果である。図 4.16 から図 4.22 において、グレーで塗りつぶされた部分は、選出した行動を分類したエラーモード，黒色の枠で囲われた部分は、報告書に明確に記載のある事項から原因-結果リンクを辿った結果，グレーの枠で囲われた部分は、報告書に明確な記載はないものの、想定できる原因-結果リンクを辿った結果を示す。枠で囲われていない文章は、それぞれの原因や結果の詳細である。A 船のエラーモード分析結果をまとめたものを図 4.23，B 船のエラーモード分析結果をまとめたものを図 4.24 に示す。

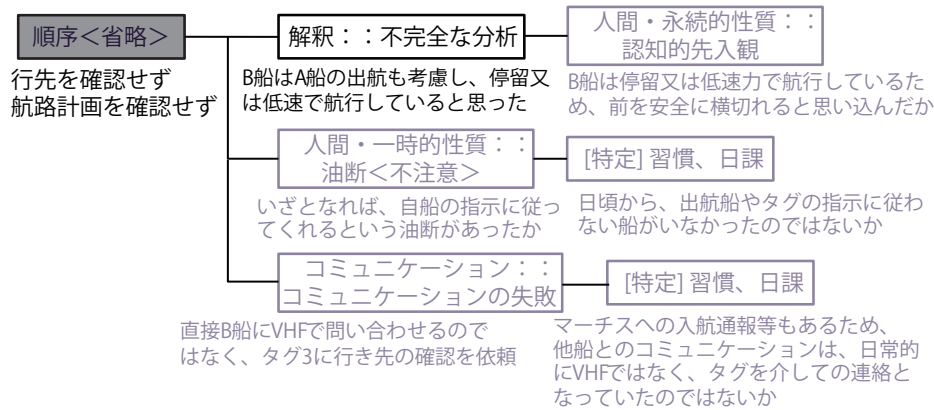


図 4.16: エラーモード分析結果（衝突海難事例 2，船舶 A，A2-A1）

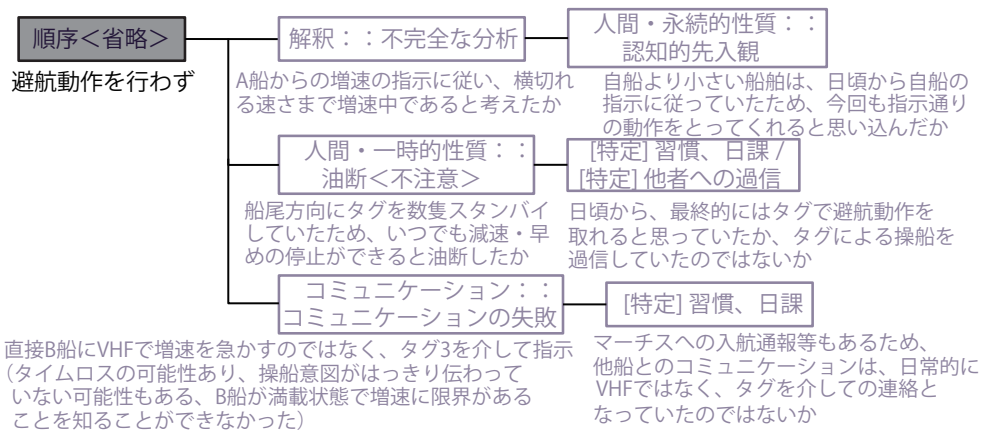


図 4.17: エラーモード分析結果（衝突海難事例 2，船舶 A，A2-A2）

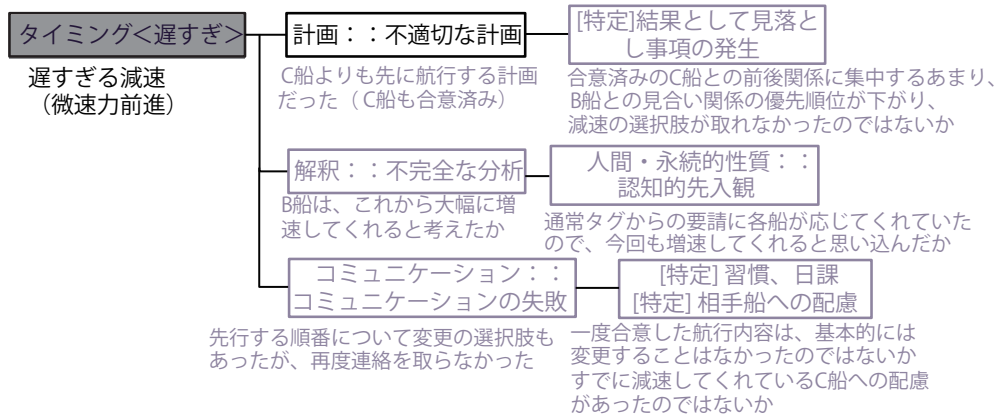


図 4.18: エラーモード分析結果 (衝突海難事例 2, 船舶 A, A2-A3)

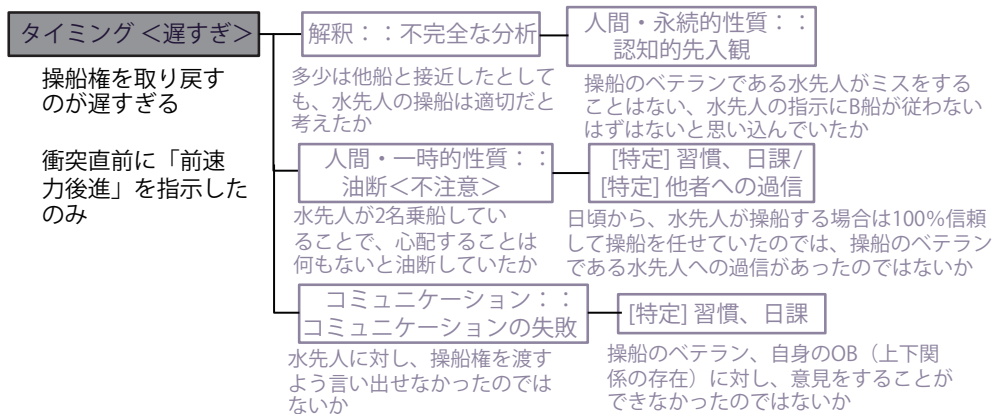


図 4.19: エラーモード分析結果 (衝突海難事例 2, 船舶 A, A2-A4)

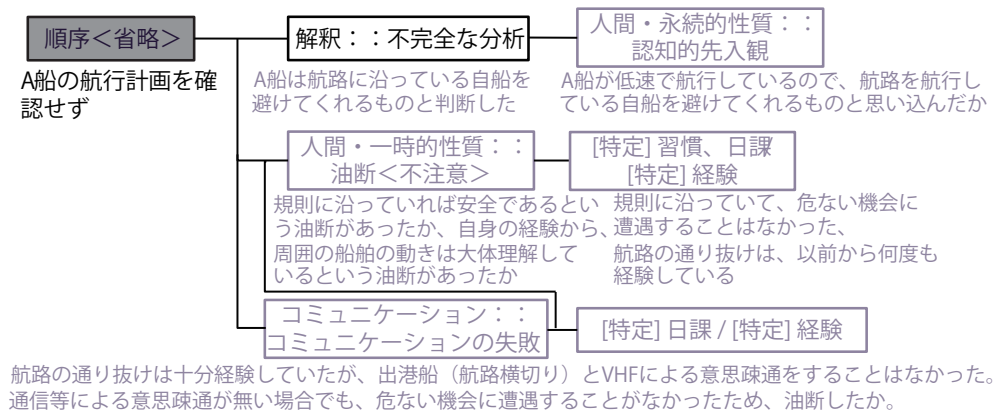


図 4.20: エラーモード分析結果 (衝突海難事例 2, 船舶 B, A2-B1)

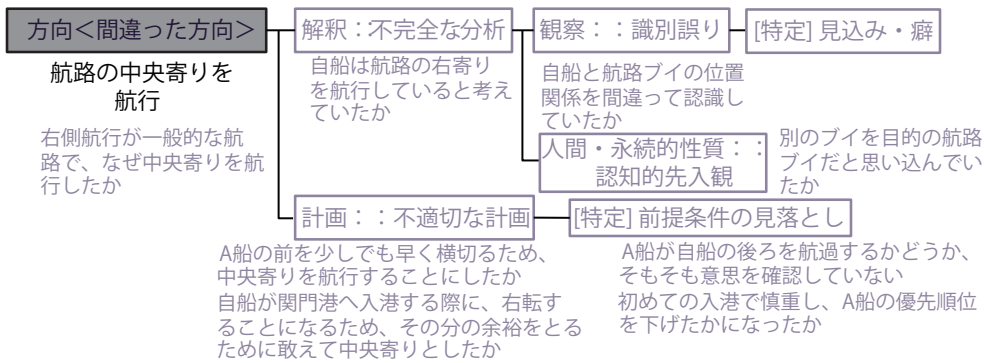


図 4.21: エラーモード分析結果 (衝突海難事例 2, 船舶 B, A2-B2)

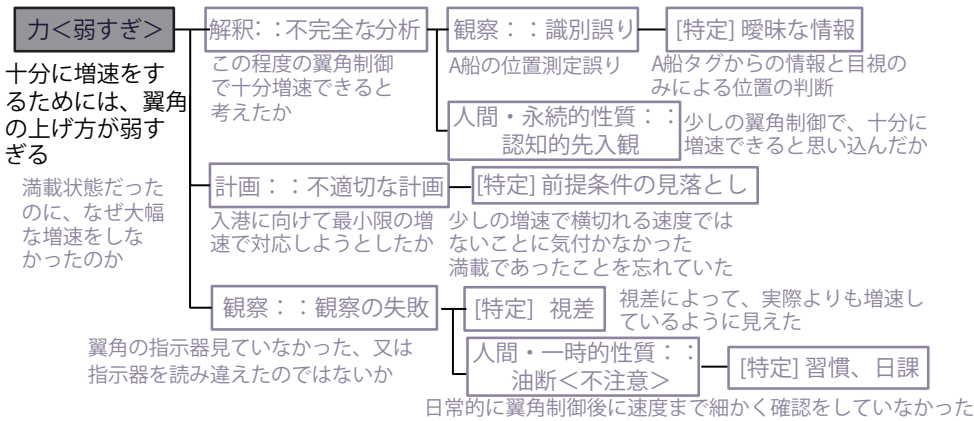


図 4.22: エラーモード分析結果 (衝突海難事例 2, 船舶 B, A2-B3)

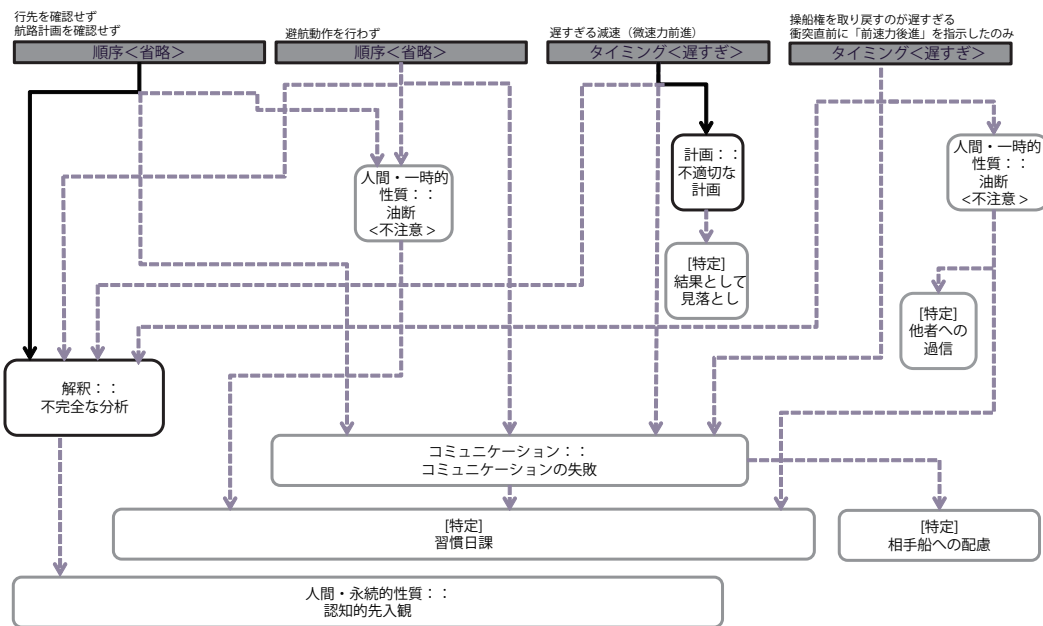


図 4.23: A 船のエラーモード分析結果 (衝突海難事例 2)

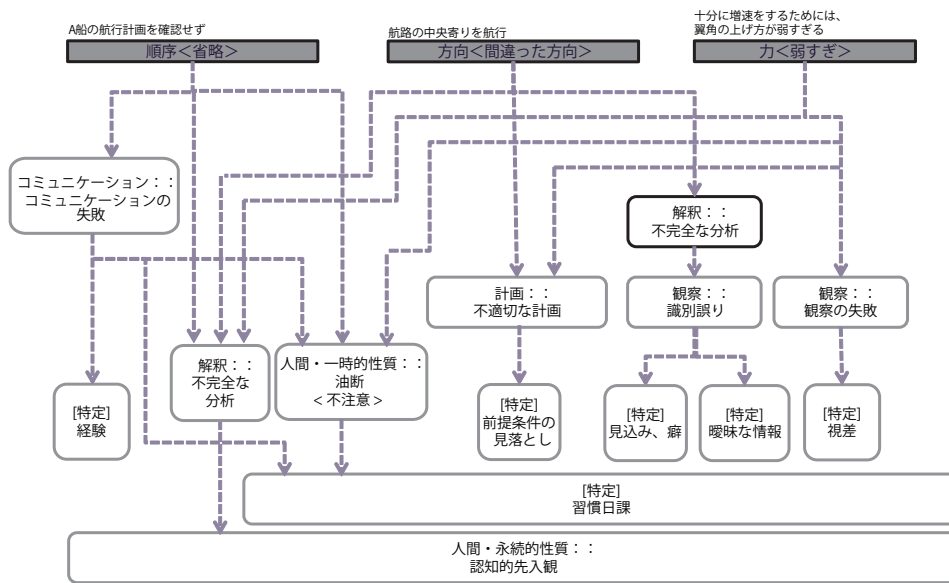


図 4.24: B 船のエラーモード分析結果 (衝突海難事例 2)

(5) CREAM 分析結果 (衝突海難事例 1)

CPC の評価, エラーモードの特定, それぞれのエラーモードに関する分析から, 本事例の A 船における直接要因は, 船長が沿う先見を取り戻し, 操船を行わなかったことと, 避航動作が遅かったことであると考えられる. また, A 船における背後要因は, 自船の増速要請に従ってくれるだろうという B 船に対する動静の思い込み, 大型船の指示で小型の船舶が避航してくれるだろうという思い込みや, 日常的なタグを介した意思疎通, 船長と水先人のコミュニケーションの失敗, さらに, 航路への進入に対し, 協力動作をとってくれている第 3 船への配慮があったものと考えられる. 報告書では, 「水先人 A2 が, B 船に増速要請を行うことで, B 船増速して A 船の前方を通過するものと思い込んでいたこと, 及び船長 A が適切な操船指導を行わなかったことによるものと考えられる.」と記載されており, やはり思い込みが原因として指摘されている.

一方, 本事例の B 船における直接要因は, A 船との意思疎通なしで, 自船を避けてくれると判断をしたことや, 航路中央よりを航行し, かつ, 十分な増速を行わなかったことである. B 船における背後要因は, まず A 船が自船を避けてくれると思い込んだことであると考えられる. その他にも, 航路航行船優先というルールに従っていれば安全であると考えていた可能性や, タグを介した意思疎通の失敗, 初めての港への入港作業に意識が集中していたこと, 満載による増速の限界があったことが考えられる. 報告書では, 「B 船が, A 船のみでは衝突を避けることができない状況となったことに気付かなかった」という原因が記載されており, その背後には B 船が航路を航行しているため, A 船が避けてくれると判断したと考えられる.

衝突海難事例 1 と同様に, 衝突海難事例 2 における CREAM 分析結果は, 報告書で指摘された

事故原因（結論）と、同様の要因を指摘しており、報告書で指摘されていない、想定できる背後要因についても複数指摘することができた。

4.6.3 衝突海難事例の分析 3（自動車専用船 CYGNUS ACE 多目的船 ORCHID PIA）

(1) 衝突海難事例 3 の概要

衝突海難事例 3 は、夜間、伊豆大島東方沖で発生した貨物船同士の衝突海難である。本分析では、船舶事故報告書にしたがって、貨物船 CYGNUS ACE を A 船、貨物船 ORCHID PIA を B 船と定義し、分析を実施する。A 船の目的地は京浜港横浜区であり、大島北方沖に到着後、時間調整のため大島東方沖を航行していた際、野島崎沖から竜王崎沖へ航行中の B 船と衝突した。B 船は衝突後に沈没し、乗組員全員（16 名）が行方不明となった。VDR の回収や乗組員への聴取ができなかったことから、報告書では、沈没した B 船に関する記述が少なく、そのため本事例では、A 船のみに絞って分析を行う。両船の推定航跡と避航動作の概要を図 4.25 に示す。図 4.25 において、オレンジ色の線は A 船の航跡、青色の線は B 船の航跡、航跡上の数字は時刻を示す。また、赤色の × は衝突位置を示す。

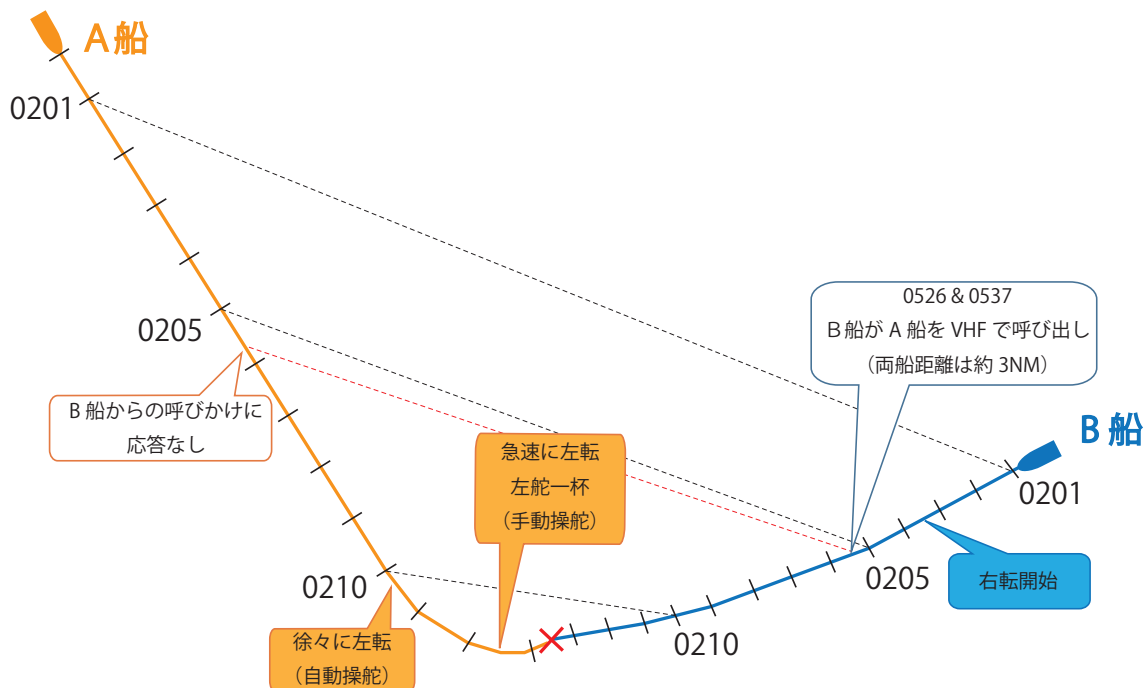


図 4.25: 推定航跡と避航動作（衝突海難事例 3）

(2) CPC 評価

船舶事故調査報告書 (MA2011-11) に記載されている事故の経緯を踏まえ、A 船の CPC の評価を行った。CPC の評価結果を、表 4.17 に示す。A 船における悪影響のある作業環境として、安全

管理体制の妥当性、手順・計画の妥当性や同時に達成する目標、時間帯操船者のリソース、またコミュニケーションと情報の共有の6つのCPCが抽出された。

表 4.17: CPC 評価結果（衝突海難事例 3, A 船）

	影響のある作業環境	影響のない作業環境		悪影響のある作業環境		CPC の評価理由
		効果的	効果的でない	効果的でない	非効果的	
安全管理体制の妥当性	非常に効果的	効果的	効果的でない	非効果的		会社の方針で甲板員はリー側ウィングで見張りをしていたため当直航海士との情報共有等が難しい状況であった。 航海士 A は ARPA・AIS を使いこなせていなかった。
航海・当直環境	好都合	合っている	合っていない			不適切な照明や雑音の存在は無かったと考えられる。
MMI の妥当性	有効	適切	我慢できる	不適切		VHF やレーダ等は、標準的な位置に 2 台確保され、レーダも S バンド x バンドを切り替えができるものであった。
手順・計画の妥当性	適切	受容可能	効果的でない	非効果的		警報が鳴っても B 船と意思疎通を行わなかった。かなり接近するまで、航法通り針路速力を保持する計画だった。
同時に達成する目標		許容未満	許容と同じ	許容を越える		B 船の前には C 船の横切り、また近距離の同航船 (D 船) の存在もあったが、輻輳海域や航路ではなかった。 途中で航海日誌へ記入する作業を同時に行っていた。
時間余裕	十分	一時的に不十分	常時不十分			B 船を認知したのが衝突の 13 分ほど前、距離は 4-5NM であり、避航時間に余裕があったと予想できるが、衝突直前は甲板員をウィング配置にしていたため、操舵も見張りも自分で行う必要があった。
時間帯		日中 (適合)	夜間 (不適合)			事故は深夜の時間帯に起こっている。
操船者のリソース	非常に良い	良い	良くない			2 名当直であったが甲板員がウィングに居たこと+コミュニケーション不足により、船橋内全体のリソースが不足していた可能性が高い。船長も通常よりは頻度は高いものの、頻繁に昇橋しているわけではなかった。
コミュニケーションと情報の共有	非常に効果的	効果的	効果的でない	非効果的		ウィングの甲板員 (内部)、また B 船 (外部) とのコミュニケーションが、どちらも上手く行われていなかった。

(3) エラーモードの特定

悪影響のある作業環境として評価された CPC に着目して、エラーモード分析を行った。まず、衝突海難事例 3 における大きな出来事の時間的変化を理解するため、時系列に衝突海難事例 2 の関係者の行動等を整理した (表 4.18)。表 4.18 は、衝突海難事例 2 に関係者を列、時刻を行、ある時刻に関係者が取った行動等を示している。表 4.18 の中から、興味のある行動を選出し、エラーモードを特定した結果を表 4.19 に示す。本事例では、A 船において 5 つのエラーモードを特定した。

表 4.18: 各船におけるイベントの時間的变化 (衝突海難事例 3)

	A 船			B 船
	船長 A	航海士 A	Q/M	航海士 B
3/9 15:18 頃	三河港を出港, 京浜港横浜区に向かう			
15:25 頃				鹿島港を出港 し, 麗水港(韓 国) へ向かう
3/10 10:00 頃		3/O から当直を引き継ぎ, 針路 041°速力 16knot で大島北方沖に向けて北東進		
3/11 01:00 頃	昇橋, 時間調整の ため, 大島東方 沖に向けて針路 147°に変更	大島北方沖に到着, 船長を船内電話にて呼ぶ		
01:45 頃	降橋	VHF16ch 聴守, Q/M を右ウィングに配置 (リー サイド, 双眼鏡なし), 右ウィングとの出入り口扉 を閉める. No1 レーダ (ARPA 付) を S バンド・ 6NM レンジ・3NM 後方へオフセンター, ARPA 接近リミット及び CPA リミットを約 2-3NM に設 定, 自動操舵.	右 ウィ ングに て見張 り(双眼 鏡なし)	
02:00 頃		レーダ ARPA で左舷船首約 4-5NM に 2 隻の横 切り船を認め, 各船の針路速力を調べる. C 船の CPA が約 7 分後に 0.85NM, B 船の CPA が約 10 分後に 0.6NM になり, C 船に引き続き B 船が自 船 (A 船) の船首方を通過する状況であることを確 認. レーダでは B と C 船の映像の大きさがほぼ同 じで, 双眼鏡を使用して両船のマスト灯及び右舷灯 を確認.		
02:05 頃		海図台に向かって船位を確認, 航海日誌に船位を記 入		A 船に対し VHF の呼出
02:08 頃		ARPA の接近警報が鳴る. レーダで B 船の動静を 見て, 2 時 14 分ごろに自船前方を問題なく通過す ると思った.		A 船に対し VHF の呼出 (2 回)
02:10 頃		右舷側 4-5M に大型の同航船が航行してため, 右 に変針することができず, 自動操舵としたまま左に 変針する針路変更ボタンを連続的に押して, 徐々に 左転を始めた. しかし, B 船がさらに接近して, 衝 突の危険が生じた.		
02:13 頃		手動操舵に切り替え, 左舷一杯		
	衝突 (左に回頭中, A 船の船首部と B 船の左舷中央部とが衝突)			右に回頭中, 衝突

表 4.19: 特定したエラーモード（衝突海難事例 3, A 船）

	エラーモード	エラーモードの内容	選出した行動
A3-A1	度合い <大きすぎ>	出入り口の扉を完全に閉める	(01:45 頃) 航海士 A は, 甲板手 A を風下舷であった右舷側のウィングに配置して見張りに当たらせ, 出入り口の扉を閉めた.
A3-A2	順序 <省略>	右ウィングにて見張りをして いる甲板員 A が, 双眼鏡を使用していない	(01:45 頃) 双眼鏡は手元に置いていなかった.
A3-A3	順序 <割り込み>	他船が連続して横切るタイミングにも関わらず, 海図台に向かって船位確認と航海日誌の作業を行った	(02:05 頃) 航海士 A は, 海図台に向かって船位を確認し, 航海日誌に船位を記入した.
A3-A4	順序 <省略>	レーダ情報のみで相手船 (B 船) の動静を予測	(02:08 頃) 航海士 A は, ARPA の接近警報が鳴ったとき, レーダで B 船の動静を見て, 02 時 14 分ごろに A 船の前方を問題なく通過すると思った.
A3-A5	順序 <省略>	VHF による意思疎通を行っていない, 汽笛等の警告信号も行っていない	航海士 B は 2 度にわたり VHF で A 船への呼び出しを行ったが, A 船から B 船へ応答する音声等は記録されておらず, また, A 船から B 船を呼び出す音声も記録されていなかった. 汽笛の吹鳴音は記録されていなかった.

(4) 原因-結果リンクの抽出

特定したそれぞれのエラーモードについて, 原因-結果リンクを辿った結果 (エラーモード分析結果) を図 4.26 から図 4.30 に示す. 図 4.26 から図 4.30 において, グレーで塗りつぶされた部分は, 選出した行動を分類したエラーモード, 黒色の枠で囲われた部分は, 報告書に明確に記載のある事項から原因-結果リンクを辿った結果, グレーの枠で囲われた部分は, 報告書に明確な記載はないものの, 想定できる原因-結果リンクを辿った結果を示す. 枠で囲われていない文章は, それぞれの原因や結果の詳細である. A 船のエラーモード分析結果をまとめたものを図 4.31 に示す.

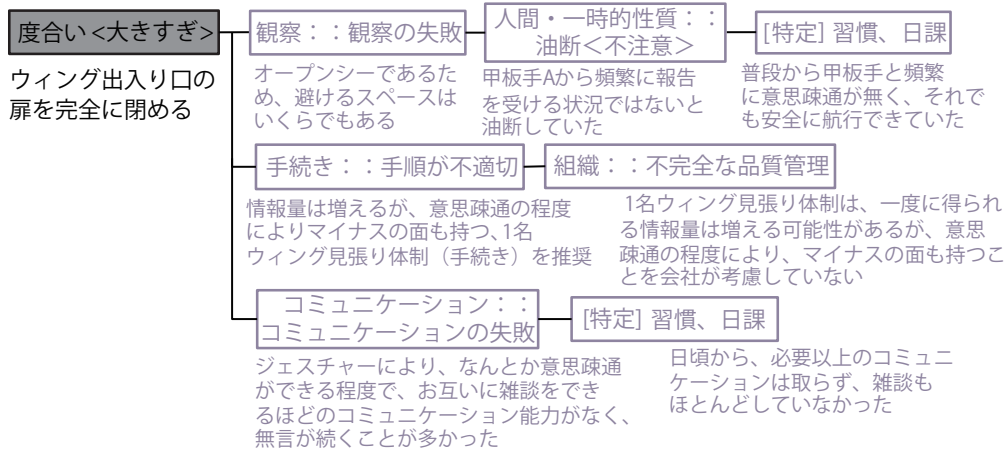


図 4.26: エラーモード分析結果（衝突海難事例 3, 船舶 A, A3-A1）

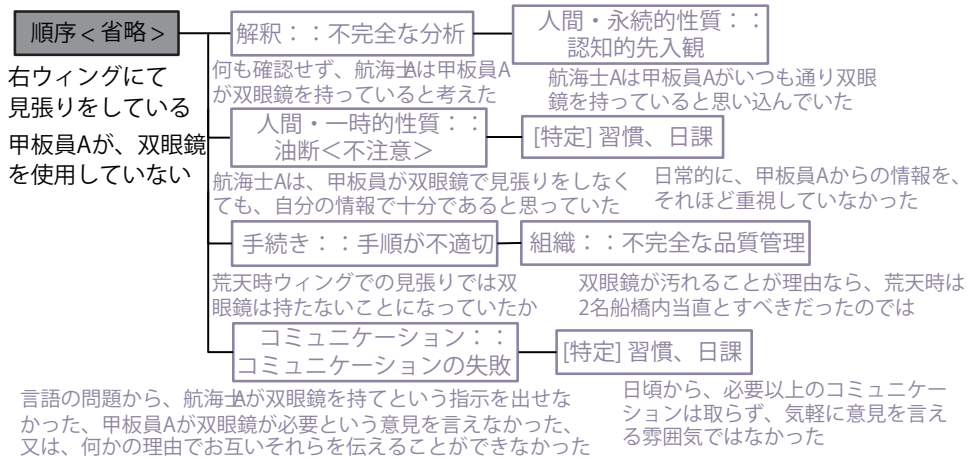


図 4.27: エラーモード分析結果（衝突海難事例 3, 船舶 A, A3-A2）

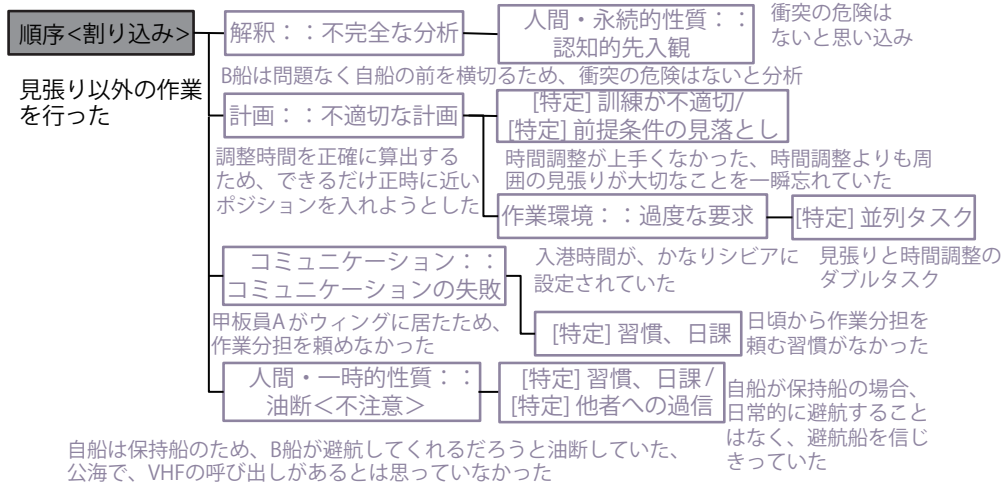


図 4.28: エラーモード分析結果（衝突海難事例 3, 船舶 A, A3-A3）

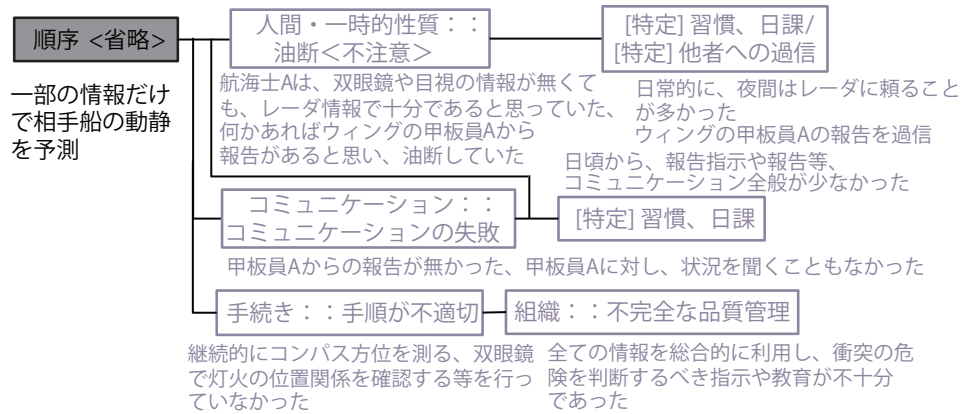


図 4.29: エラーモード分析結果 (衝突海難事例 3, 船舶 A, A3-A4)

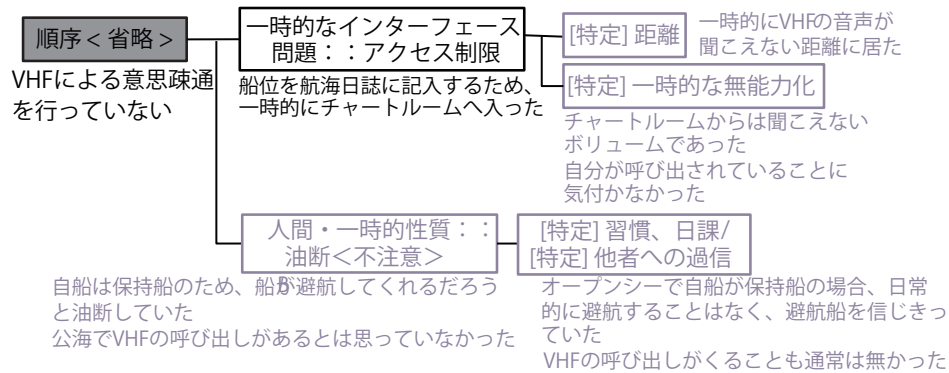


図 4.30: エラーモード分析結果 (衝突海難事例 3, 船舶 A, A3-A5)

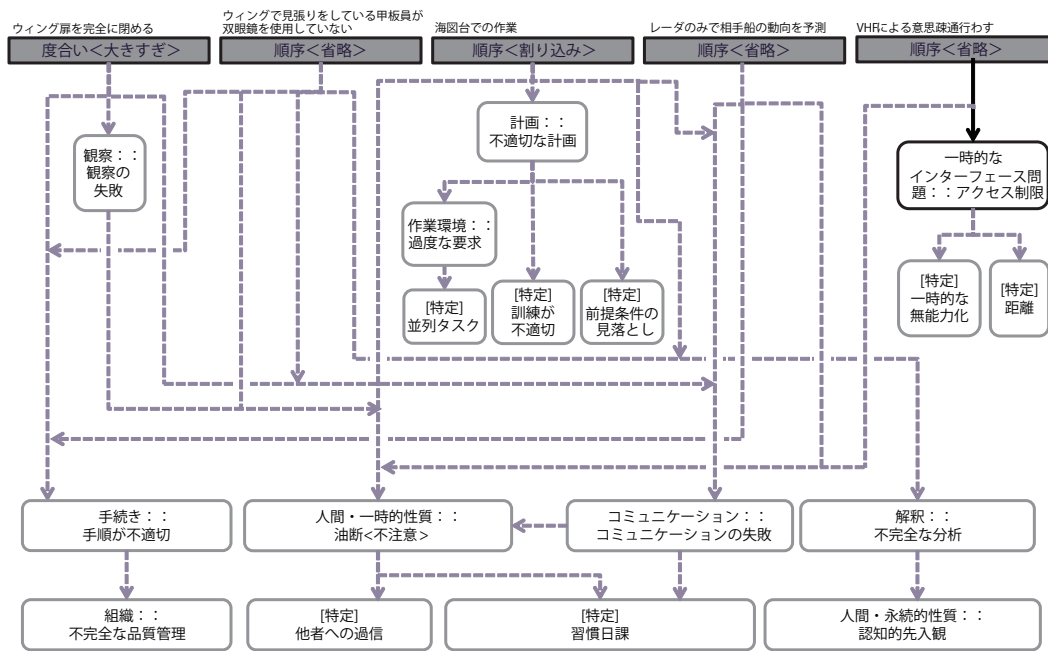


図 4.31: A 船のエラーモード分析結果（衝突海難事例 3）

(5) 分析結果

CPC の評価，エラーモードの特定，それぞれのエラーモードに関する分析から，本事例の A 船における直接要因は，船内外で適切な意思疎通がとられていなかったことと，情報収集をレーダに頼る等，適切な見張りや情報収集が行われていなかったことである．また，A 船における背後要因は，B 船は問題なく自船の前を横切るだろうという，もしくは B 船は保持船である自船を避けてくれるという思い込みや，航海士と甲板員とのコミュニケーション不足，自船の動きを制限する第 3 船の存在等が考えられる．報告書では，「左側から接近する B 船との衝突を避けようとして，自動操舵により左方へ小幅な変針の変更を行いながら航行」したことが原因として指摘されている．さらに自動操舵装置で左方へ小幅な変針を行った背後要因として，ARPA の取扱に熟知していなかったことや，B 船が自船の船首方を通過するものと思い込んだこと，B 船に対し適切な見張りを行っていなかったことが指摘されている．B 船の動静に対する思い込みや，適切な見張りを行っていなかったという事項は，CREAM 分析でも明らかになった事項であり，衝突海難事例 1 と衝突海難事例 2 と同様に，衝突海難事例 3 における CREAM 分析結果，報告書で指摘された事故原因（結論）と，同様の要因を指摘しており，報告書で指摘されていない，想定できる背後要因についても複数指摘することができた．

4.6.4 CREAM を用いた衝突海難事例分析の結果

海難審判裁決録及び運輸安全委員会の船舶事故調査報告書における衝突海難に関する情報を用いて、CREAM の手順に沿って 3 つの海難事例分析を行った結果、報告書に示された海難要因と、CREAM 分析で導き出した要因は、ほぼ一致した。したがって、修正を行った CPC や原因－結果リンクは妥当であり、これらを用いた CREAM による海難分析が可能であると言える。また、CREAM を用いた衝突海難分析では、報告書で指摘されていない複数の背後要因を指摘することが可能である。一方、本研究の様に、船舶事故報告書等、すでに事故調査が終了している事例を分析する際には、報告書に該当する項目が明確に記載されていない場合、一部の CPC や原因－結果リンクが評価できないという問題が発生する可能性があるため、注意が必要である。また、CREAM による分析では、想定できる複数の背後要因を把握することができるが、手順に忠実に乗っ取った分析では、多くの分析時間がかかるという問題点があり、CREAM を用いて定量的な評価を行う場合は、CPC や原因－結果リンクの評価の際の閾値を明確に示す必要がある。

4.7 結論

本章では、人間信頼性解析手法の一つである CREAM を海難分析に適用し、操船者エラーの背後要因を把握することを目的として、CPC 及び原因－結果リンクの修正と整理を行った。さらに、修正した CPC 及び原因－結果リンクを用いて衝突海難の事例分析を行った。その結果、以下の結論を得た。

- (1) CPC を海難に特化したものに修正することで、因子型の操船者エラーの背後要因について整理することができた。また、それらの CPC 間の依存関係についてアンケート調査を行った結果、船舶の運航特有の依存関係が明らかとなった。
- (2) 原因－結果リンクを海難に特化したものに修正することで、エラーモードとその背後要因の関係を海難特有の先行条件の追加も含め整理することができた。
- (3) 修正を行った CPC や原因－結果リンクを用いて、海難事例分析を行った結果、CPC や原因－結果リンクをまとめた分類表に基づき分析を行うことで、CREAM を海難分析に適用することが可能であることを示した。ただし、船舶事故報告書等、すでに事故調査が終了している事例を分析する際には、報告書に該当する項目が明確に記載されていない場合、一部の CPC や原因－結果リンクが評価できないという問題が発生する可能性がある。したがって、事故調査の段階で本章で整理したエラーモードや背後要因の発生の有無等を調査する必要がある。

第5章

操船者の状況認識に着目した衝突海難対策の検討手法^{5,6)}

5.1 緒論

第3章では、操船シミュレータ実験における操船実務経験者の行動分析と、SAGATを用いた状況認識の計測から、操船者の見張り特性について把握した。また、操船者の見張り作業におけるエラーの詳細を、操船者の状況認識モデルを用いて分析し、可能性のある背後要因の検討を行った。第4章では、操船者のエラーの背後にある一般的な要因をリストアップし、CREAM手法に基づく衝突海難分析を通し、それらの背後要因を整理した。シミュレータ実験における操船者の行動分析やCREAMを用いた事件事例分析から、操船者エラーの抽出やその背後要因をリストアップすることは可能である。一方、複数の操船者エラーが発生した場合や、操船者エラーの背後に複数の背後要因が存在する海難を防止するために、それら全てに対策を取ることが不可能である。第3章で行った操船者の状況認識モデルを用いた分析だけでは、効率的な衝突海難対策、つまり、まず最初に取り組むべき対策を提案することが難しい。そこで本章では、操船者の意思決定過程（状況認識、意思決定、行動）をイベントツリーで表現し、重要度評価手法を用いた衝突海難対策の検討手法について提案する。

5.2 操船者の意思決定過程のイベントツリー表現による衝突海難対策の検討手法

海難審判所裁決録（以降、裁決録）は実際の海難事例の記録であり、海難の詳しい状況を知るためには有効な資料である。しかし、裁決録の調査から得られるのは、あくまで事故を回避できなかった場合、言わば操船者の失敗の行動である。一方裁決録を参考にした実験シナリオによるシミュレータ実験では、衝突を回避するまで繰り返し実験を行うことにより、衝突を回避できた場合の行動を得ることが可

能である。この様にして得られる回避行動と、回避できなかった場合の行動（裁決録に記載の内容を含む）、またそれぞれの行動に至る操船者の意思決定過程を比較することで、操船者エラーを含む衝突海難の原因を抽出し、対策を検討することは可能と考えられる。

まず、衝突海難事例を実験シナリオとしたシミュレータ実験から、衝突を回避できた場合の行動と、それに至る操船者の意思決定過程を把握するための手順について、図 5.1 に示す。実験シナリオは、分析の対象とする衝突海難を裁決録等を用いた調査に基づき作成し、その再現性を検証する必要がある。またシミュレータ実験は、衝突を回避できた場合の操船者の行動が観測できるまで繰り返し行う。したがって、1 回目の実験で衝突を回避した場合は、1 回の実験で終了し、衝突を回避できなかった場合は複数回の実験を行う。実験後には、操船の意図や状況認識の詳細についてヒアリングを行う。

次に、裁決録の調査やシミュレータ実験から得られた操船者の行動を基に、衝突海難の対策を検討する手順を、図 5.2 に示す。赤外線カメラやマイクで記録した、シミュレータ実験中の操船者の行動は、ビデオ解析を行うことで、時系列に並べることができる。時系列に並べた行動は、操船上の意味付けによるグループ化、つまり基本的なタスクとして分類し、それらタスクを並べて簡易タスクモデルを作成する。簡易タスクモデルとは、操船者の意思決定過程をシンプルにモデル化したものである。簡易タスクモデルをヘッダーとして、イベントツリー表示することで、衝突を回避できた場合と回避できなかった場合の操船者の意思決定過程を比較することが可能である。さらに重要度評価手法を適用し、衝突を回避するために重要となるタスク、つまり最も対策を取るべきタスクを指摘することができる。

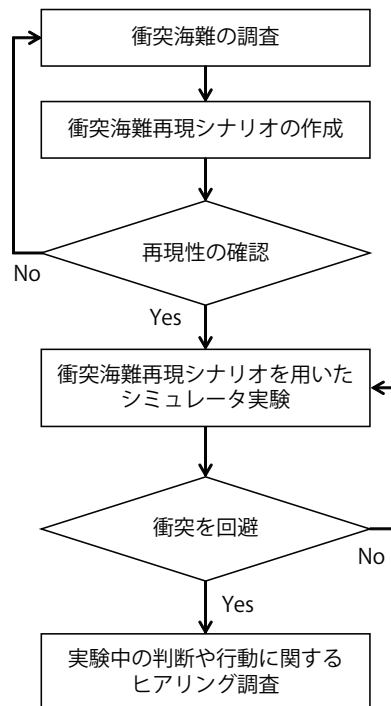


図 5.1: 操船者のエラーを含む海難原因の抽出と対策の検討手順

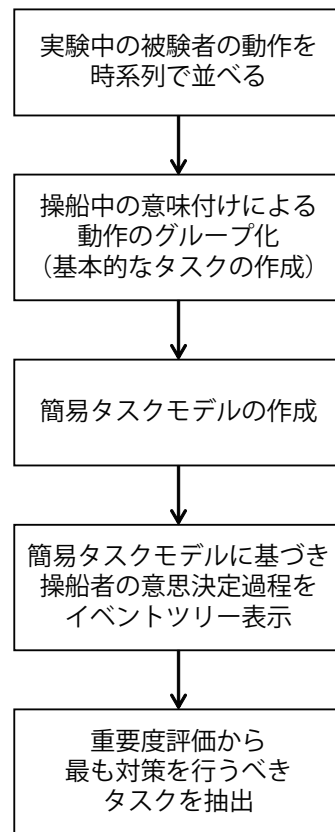


図 5.2: 行動分析による操船者エラーの抽出手順

行動を時系列に並べ、簡易タスクモデルを作成するまでの概念図を図 5.3 に示す。図 5.3 では、4 つのタスクが作成され、これら 4 つのタスクで簡易タスクモデルを構成している。

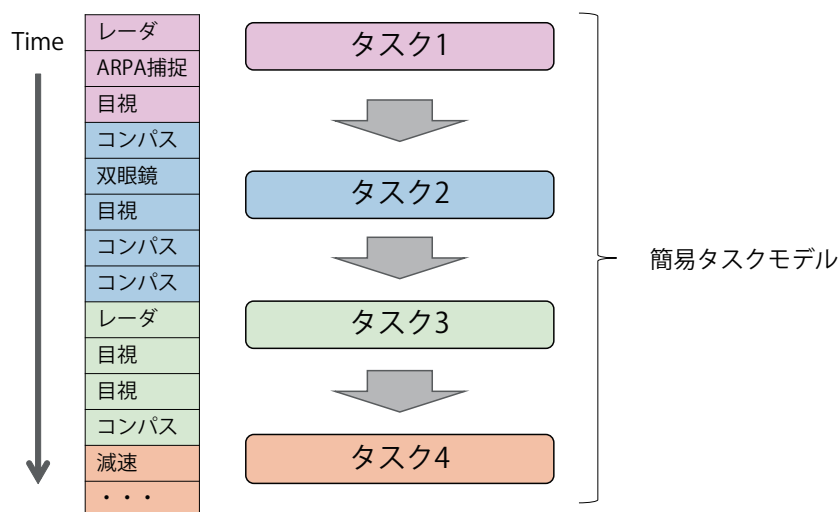


図 5.3: 操船中の意味付けによる行動のグループ化と簡易タスクモデルの作成

簡易タスクモデルのイベントツリー表示から重要度評価までの概念図を図 5.4 に示す。図 5.4 では、図 5.3 で作成した簡易タスクモデルをヘッダーとして、各タスクの成功と失敗で枝分かれをしたイベントツリーが表現されている。衝突を回避できた場合と、衝突を回避できなかった場合を比較し、衝突を回避するためには、タスク 2 が必ず成功する必要があることが分かる。つまり、タスク 2 が必ず成功する対策を取ることで、衝突海難の防止が可能である。この様に、図 5.1 及び図 5.2 に示した手順を踏むことで、衝突海難の効率的な検討が可能である。

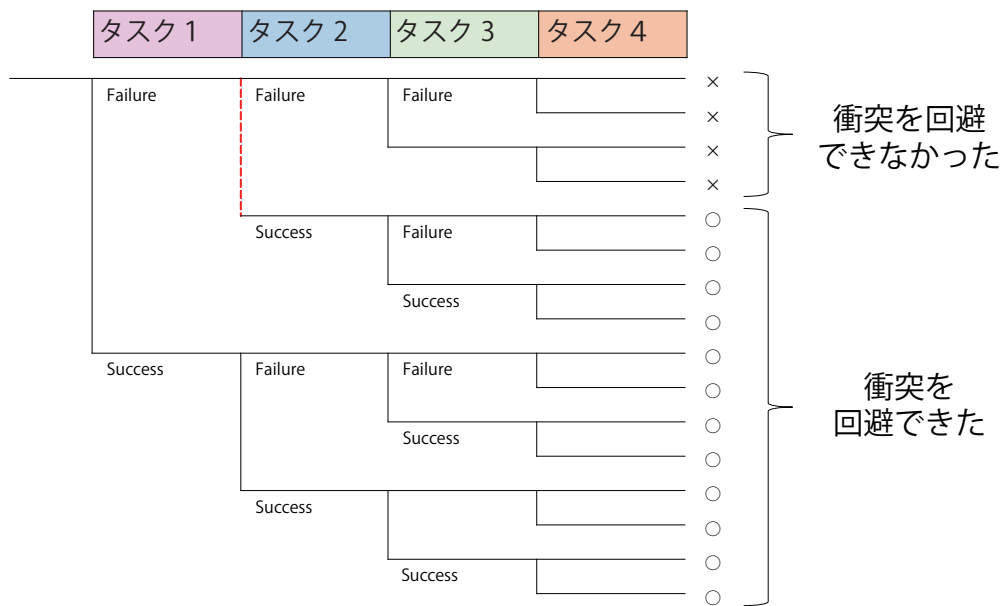


図 5.4: 簡易タスクモデルに基づく操船者の意思決定過程のイベントツリー表示と重要度評価

5.3 衝突海難対策の検討手法の有効性の検証

第 5.2 章に示した検討手法の有効性を示す目的で、実際の衝突海難事例に基づき、操船者の意思決定過程において対策を取るべきタスクの抽出を行った。

5.3.1 シミュレータ実験

(1) 実験シナリオ

分析の対象としたのは、航路入口付近で発生した 3 隻の衝突海難である。衝突発生時刻は昼間で、3 隻はほぼ同時刻に航路に進入し、衝突した事例である。操船者の意思決定過程を把握するため、裁決録の本文と参考図を基に、3 隻の航行状況を再現する実験シナリオを作成した。図 5.5 に、実験シナリオに再現した 3 隻及び航路の位置関係を示す。本シミュレータ実験は、衝突海難を回避できた場合の操船者の行動を得ることを目的としている。そのため実験シナリオには、衝突海難に関

係する 3 隻のみ存在し、自船から航路入口までの距離は約 2NM であり、航路中央に入るためには、5 度右へ変針する必要がある。作成した実験シナリオは、海上技術安全研究所の海難事故解析センターの関係者により、その妥当性が確認されている。

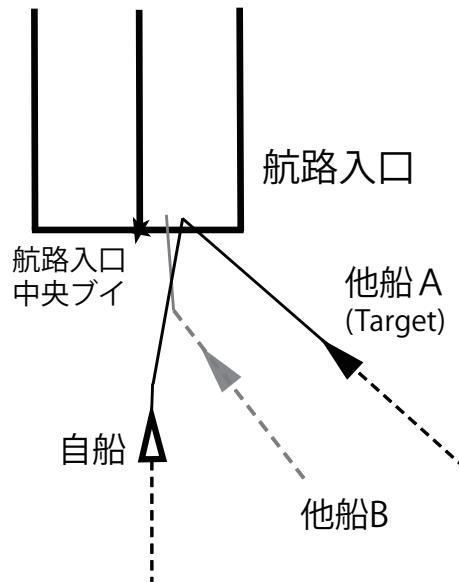


図 5.5: 操船者行動のグループ化と簡易タスクモデルの作成方法

(2) 実験方法

実験は、操船実務経験のある 10 名の被験者を対象に行った。10 名の被験者の乗船経験や通常航行している海域、乗船している船種等について表 5.1 に示す。これらの被験者は、第 3 章で行動分析を行った 16 名の被験者の中の 10 名であるが、第 3 章とは目的の異なる実験であるため、本章で新たに被験者番号を付け直している。実験前、全ての被験者に対し、国立研究開発法人海上技術安全研究所、人間を対象とする実験に関する倫理及び安全管理規定、並びに、人間工学実験取扱細則に則って、実験の内容や被験者の権利について説明を行い、インフォームドコンセントを得た上で、実験を実施した。

実験中、船橋内には被験者とは別に操舵手 1 名を配置した。自船は 3,000 トンの操縦性能の良いタンカーとし、被験者は一般的な航海計器として双眼鏡、レーダ、コンパス、海図、ECDIS、汽笛を使用し、見張り作業を行った。また、被験者は衝突の危険があり、避航が必要と判断した場合、操舵手への操舵号令及び自身のエンジンテレグラフの操作により、針路変更及び速力変更による避航動作をとることができた。シナリオとして再現した衝突海難では、VHF 等による通信を行っていないため、本実験においても通信機器は使用しない。裁決録の情報に基づき、視程、初期速度、初期針路は、衝突海難事例と同様の状態からスタートした。

衝突を回避できなかった場合の行動は、裁決録により得ることが可能であるため、本実験の目的

は事故が回避できた場合の行動を得ることである。従って、1 回目の実験で衝突を回避できた場合は、そこで実験を終了とし、回避できなかった場合は、衝突を回避できるまで繰り返し行った。なお、同一被験者が繰り返し実験を行う場合は、1 回目と同様の実験シナリオという教示は行わなかった。実験中の被験者の行動は、船橋内の赤外線カメラにより観察し、実験中の船橋内映像と音声、レーダ画像について、ビデオカメラ及び HDD/DVD レコーダによる記録を行った。

表 5.1: 衝突海難事例のシミュレータ実験における被験者の情報

Subject No.	海技免状	航行している 海域・航路	乗船している船種	役職
1	二級	PG ^{*1}	VLCC ^{*2} , LPG ^{*3}	-
2	一級	全海域	VLCC, LPG, Bulker, Conatiner	1/O
3	二級	PG	VLCC	2/O
4	一級	PG	VLCC, LPG	1/O
5	一級	全海域	VLCC, LPG, Bulker, PCC	Capt.
6	二級	PG	VLCC, AFLA Max ^{*4}	1/O
7	一級	PG, 豪州	VLCC, LPG	1/O
8	二級	PG, 豪州	VLCC, Bulker	1/O
9	一級	PG, 豪州	VLCC, LPG, Bulker	1/O
10	二級	PG, 豪州	VLCC, LPG, Bulker	1/O

5.3.2 実験結果

本実験では被験者 10 名中、1 回目の実験で衝突を回避したのは 2 名であり、残りの 8 名については 2 回目の実験で衝突を回避した。1 回目で衝突を回避した被験者と、2 回目で回避した被験者の情報収集の方法やタイミング、避航行動とそのタイミングには、大きな差は認められなかった。実験中の被験者の行動の集計には、「挙動映像観察解析支援プログラム」⁸⁴⁾を使用した。このプログラムは実験中の映像や音声を観察しながら、被験者の行動やそのタイミングについて簡単に集計することが可能であり、エクセルファイルとして出力することが可能である。実験シナリオのスタート時を基準とした行動のタイミング、目視や双眼鏡、レーダ等機器の操作状況や注目船舶等の見張りの状況、操船の状況、その他、実

^{*1} Persian Gulf

^{*2} Very Large Crude Carrier

^{*3} Liquefied Petroleum Gas carrier

^{*4} Average Freight Tate Assessment Max tanker

5.3.3 操船者の意思決定過程のイベントツリー表示による分析

表 5.2 に示した被験者の行動について、操船上の意味付けによるグループ化を行った。表 5.2 で示すように、被験者は実験中、レーダや ECDIS による情報確認、目視、双眼鏡、コンパスによる対象船舶の位置や動きの確認等、繰り返しの行動をとっている。そこで、図 5.6 は、この様な被験者の行動をグループ化した結果及び作成した簡易タスクモデルである。表の上段は衝突を回避できた場合、中段は衝突をした場合、下段は参考とした裁決録の内容について示す。

衝突を回避した場合 (成功)

Subjects No	発見	動作 a	確認+判断	動作 b	確認+判断	動作 c	確認+判断	動作①	確認+判断	動作②	確認+判断	動作③	確認+判断	動作④
1	○		○		○		○	右転 (Strd10)	○	当舵	○	Co.戻す		
2	○		○		○		○	減速 (小) Half	○	増速	○	増速		
3	○		○		○		○	減速 (小) Half	○	右転 (Strd10)	○	Co.戻す		
4	○		○		○		○	右転 (Strd10)	○	当舵	○	Co.戻す		
5	○	右転	○		○		○	減速 (小)	○	減速 (StopEng.)	○	増速		
6	○	右転	○		○		○	減速 (小)	○	減速 (小)	○	減速 (小)	○	増速
7	○		○	右転	○		○	右転 (HardStrd)	○	回頭速度を落とした後、再度HardStrd	○	Co.戻す		
8	○	減速 (小)	○		○		○	減速 (大)	○	減速 (StopEng.)	○	増速		
9	○		○		○		○	減速 (小)	○	減速 (小)	○	増速		
10	○		○		○		○	減速 (小) CPP	○	減速 (小) SlowAhead	○	減速 (小) DeadSlow		増速

衝突した場合 (失敗)

Subjects No	発見	動作 a	確認+判断	動作 b	確認+判断	動作 c	確認+判断	動作①	確認+判断	動作②	確認+判断	動作③	確認+判断	動作④	確認
2	○						○		○	減速 (小)	○	減速 (小)	○		
3	○						○		○						
4	○					右転			○	右転 (Strd20)	○	右転 (HardStrd)			
5	○								○						
6	○								○	左転 (Port5)	○	MidShip			
7	○								○	左転 (15deg)	○				
9	○								○	左転 (Port5)	○	MidShip	○	右転 (S10)	○
10	○					減速 (CPP)	○	減速 (CPP)	○	増速+左転 (P10)	○	MidShip	○	右転 (S20)	○

裁決録						右転			○	左転 (Port5)			左転 (HardPort)		StopEng
-----	--	--	--	--	--	----	--	--	---	------------	--	--	---------------	--	---------

簡易タスクモデル



図 5.6: 被験者の行動をグループ化した結果及び作成した簡易タスクモデル

実験では、実験開始時に 2 隻の他船を目視でき、かつレーダ画面で AIS シンボルを確認できる状況であった。つまり、他船の「発見」は実験開始時に必ず行われている。グループ化では、まず実験開始時から対象船舶を発見するまでの行動を「発見 (Detection)」, 発見してから継続した見張りの必要性を判断するまでの行動を「判断 (Judgment)」, この判断に基づき、成功の場合の被験者による最初の避航行動のタイミングまでに取った行動を「注視 (Attention)」というグループに分ける。さらに、成功の場合の避航行動に着目し、最初の避航行動と、それを修正するために取った 2 回目の避航行動までのタイミングで取られた行動を「避航行動 1 (Operation1)」とする。失敗の場合、「避航行動 1」のタイミングで避航行動が取られていないため、「避航行動 1」は行われていないものとする。2 回目以降の避航行動についても、成功の場合の避航行動のタイミングを基準とし、順番に「避航行動 2 (Operation2)」「避航行動 3 (Operation3)」「避航行動 4 (Operation4)」というグループに分ける。これら一つ一つをタスクとして整理することにより簡易タスクモデルを作成した。

簡易タスクモデル

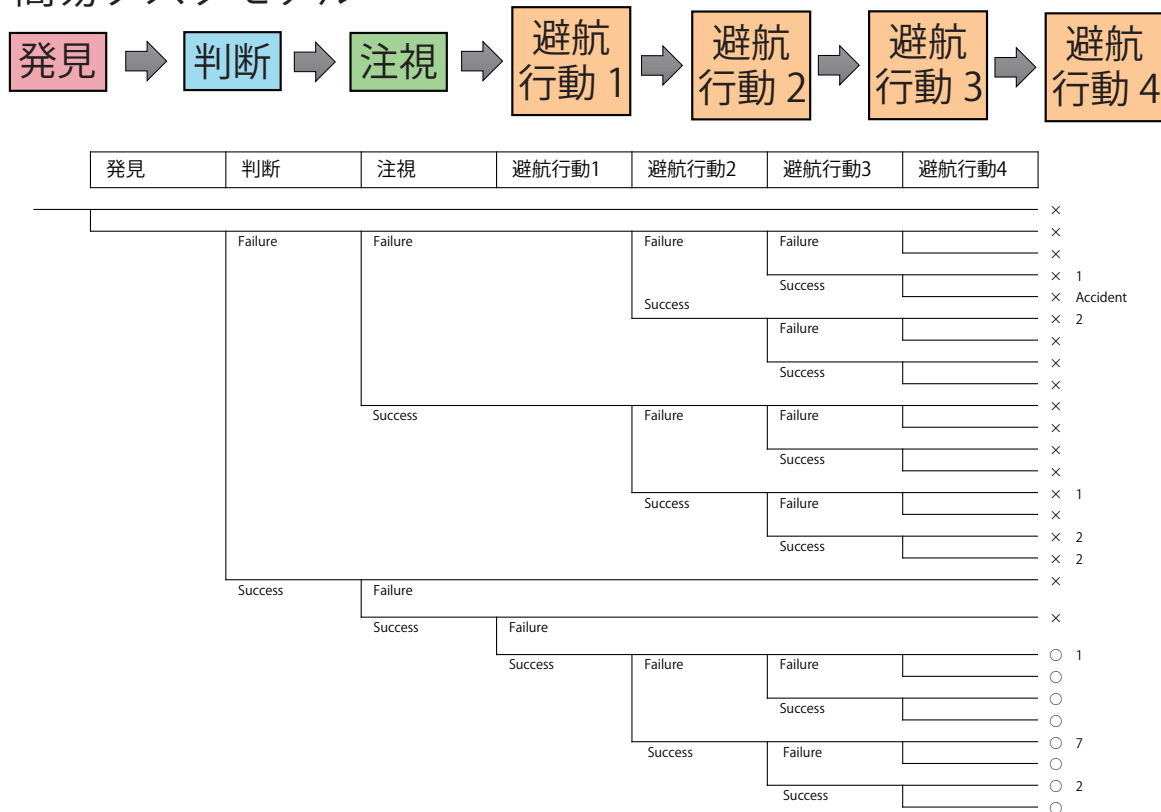


図 5.7: 操船者の簡易タスクモデルと意思決定過程のイベントツリー表現

図 5.7 の上部に、簡易タスクモデルを示す。簡易タスクモデルを、事故を回避できた場合と回避ができなかった場合の行動を比較するためにイベントツリー表示した結果は、図 5.7 の下部に示す。図 5.7 において、各タスクが失敗した場合は右へ、成功した場合は下のシーケンスに進むものである。

図 5.7 の中に、実験シナリオの参考とした裁決録の内容を、Accident として示す。また、最終的に衝突を回避できた、もしくは実験結果から回避できると推定できたシーケンスを ○、実験で回避できなかった、もしくは実験結果や、それぞれのタスクの成功失敗によるその後予想される影響を考慮し、分析者が回避できないと推定したシーケンスを × で示している。例えば一番上のシーケンスに示すように、対象船舶を発見できなかった場合、その後の「判断」や「注視」、「避航行動」を行うことは不可能であり、すべて失敗のシーケンスに入ることが推定できる。二番目のシーケンスでは、対象船舶を「発見」したものの、継続した見張りの必要性がないと「判断」した場合（「判断」を失敗した場合）、その後の「注視」や「避航行動」は行われなことが推定できる。○× 横の数字は、シミュレータ実験の結果として、対象のシーケンスに至った実験結果の数である。この結果から、被験者が衝突を回避できなかった場合、実際の海難と類似した行動をとったことが分かる。

図 5.7 の結果から、衝突を回避できるシーケンスと回避できないシーケンスをイベントツリー表示す

ることが可能となった。そこで、衝突を回避するために重要となるタスクを明確にするため、PSA（確率論的安全評価手法）で用いられている重要度評価手法⁸⁵⁾を適用する。この手法は特定のタスクで失敗することで、衝突回避に至るシーケンスへの影響が大きい、つまり、回避に至るシーケンスが減るタスクを抽出するものである。図 5.8 に、重要度評価結果を示す。図 5.8 より、「判断」というタスクが今回の衝突海難の発生に大きく影響を与えることが明らかとなった（図 5.8 の破線）。つまり、他船 A を発見した後、継続した注視が必要であるという正しい「判断」をすることが、衝突回避には必要であると言え、衝突を回避できなかったケースでは、操船者の判断エラーが発生したと言える。したがって、この「判断」というタスクに対策をとることが、衝突を抑制する効率的な対策である。一連の衝突海難事例分析を行った結果、第 5.2 章で提案した手法を用いることで、衝突までの時間が短く、操船者が判断や注視等のタスクを繰り返さない状況において、最も対策を取るべきタスクを指摘することができた。したがって、この手法は衝突海難の効率的な対策の検討に有効な手法の一つである。ただし、長時間の見張り作業においてイベントツリーのヘッダーとなるタスクは増え、シーケンスも複雑になることが予想される。例えば、1 度目の判断で失敗したとしても、情報収集を継続したことで、2 度目の判断で成功し、衝突を回避できる可能性もある。よって、操船者の状況認識におけるタスクが繰り返される状況において本手法を用いる際には、対策を取るべきタスクが複数選定される場合や、衝突を回避できるシーケンスが増える可能性もあることに留意すべきと考える。

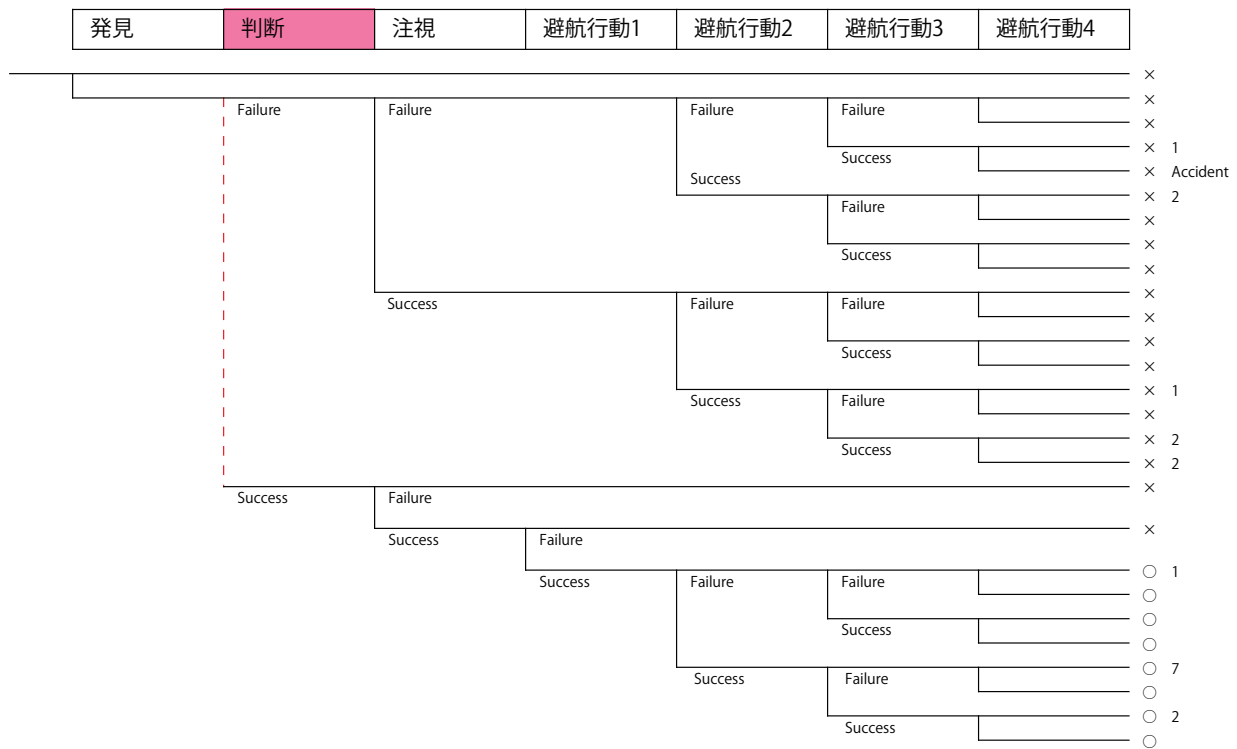


図 5.8: 重要度評価の結果（衝突回避に最も大きく影響を与えるタスク）

5.3.4 操船者の判断エラーの背後要因の検討

操船者の判断エラーの背後要因について、被験者の実験中の発話等について調査を行った。実験の比較的早い段階で、被験者からは、「嫌な角度.」「ベアリングが変わっているので自船の前に行くにちがいない。」等の発話が記録されていた。また、シナリオ終了後には他船 A に対し、「航路に入ると思った」という複数の被験者による意見が記録されていた。これら実験中の被験者の発話から、航路の入口付近という航行条件であり、かつ、右舷からの横切り船が同航船に見える角度で接近してきたことで、実際には危険な横切りの関係であるにも関わらず、実験の比較的早い段階で、他船 A が自船との位置関係を考慮した上で航路へ平行に入るという「憶断」や「思い込み」が発生したと考えられる。これは他船 A に対し「航路へ沿うように右転することを待ちつつも」という裁決録の内容とも一致する。

5.4 結論

本章では、効率的な衝突海難対策を検討する手法を提案し、海難事例に基づき、手法の有効性の評価を行った。その結果について、下記にまとめる。

- (1) 海難事例を再現したシナリオを用いたシミュレータ実験を行い、行動分析から操船者の意思決定過程をイベントツリー表示し、重要度評価を行うことで、衝突海難の効率的な対策の検討が可能である。ただし、効率的な対策を一つに絞ることができるのは、衝突までの時間が短く、操船者が判断や注視等のタスクを繰り返さない状況における衝突海難を対象とした場合である。
- (2) 提案した手法を用いて、航路入口で発生した衝突海難事例を分析した結果、操船者エラーとして衝突の危険があるかどうかの判断エラーを抽出することができ、衝突の回避には、この「判断」というタスクに対策をとる必要があることを示した。
- (3) 海難事例分析で抽出した判断エラーの背後には、操船者の思い込みという背後要因が存在する可能性が高いことが明らかとなった。

次章では、第 3 章で示した複数の操船者に共通する標準的な見張り作業と、第 4 章でリストアップした操船者エラーの背後要因を基に、本章で提案した事故対策の検討方法と背後要因検討の結果を用いて、具体的な衝突海難の対策の提案を行う。

第 6 章

見張り不十分が原因とされる衝突海難の 対策^{7,8)}

6.1 緒論

第 3 章では、見張り不十分として指摘される「見落とし」や「気付き遅れ」は、衝突海難を引き起こしていない場合でも、複数発生していることを示し、その背後要因として、見張りの優先順位が適切でなかったことを指摘した。さらに、複数の操船者に共通する標準的な見張り作業として、継続的に見張りが必要な船舶の条件を示した。第 4 章では、CREAM を衝突海難分析に用いることができるよう、Common Performance Condition (CPC) と原因-結果リンク (背後要因の分類) を修正・整理し、発生する可能性のある操船者エラーの背後要因を示した。さらに第 5 章では、衝突海難事例を用いて、対策の検討手法を提案した。本章では、第 3 章で示した操船者の見張りの優先順位と、継続的に見張りが必要な船舶の条件に着目し、第 4 章で示した操船者エラーの背後要因を踏まえ、第 5 章で提案した衝突海難対策の検討手法を応用し、見張り不十分が原因として指摘される衝突海難対策を提案する。

6.2 操船者の判断エラー発生過程の検討

第 5 章では、シミュレータ実験における操船者の行動分析結果から操船者の意思決定過程をイベントツリー表示し、重要度評価を行うことで、航路入口で発生した 3 隻の衝突海難では、他船 A が航路に自船と平行に入るという操船者の判断エラーが大きなボトルネックとなっており、対策を取る必要があることを示した。また、他船 A が航路に自船と平行に入るという操船者の判断エラーの背後要因として、航路の入り口という場所、他船 A の航路への進入角、また他船 A 以外の見張りの必要な船舶の存在を指摘した。一方、具体的な対策を検討するためには、他船 A が自船との位置関係を考慮した上で、自船と平行に航路へ入ると判断 (思い込み) した理由を理解する必要がある。

航路の入り口という場所、他船 A の航路への進入角、また他船 A 以外の見張りの必要な船舶の存在

という 3 つが、他船 A が自船と平行に航路へ入るといふ操船者の判断エラーの発生条件と考えた場合、航路に入る際の自船の操船パターンは大きく 2 つが想定できる (図 6.1, 図 6.2)。図 6.1 は、他船 A が変針し、自船は変針することなく航路へ入ることができるパターンであり、図 6.2 は、他船 A が変針せず、自船が変針する必要があるパターンである。この航路に入る際の操船パターンに結びつく操船者の避航するかどうかの判断にも、いくつかのパターンがあると考えられる。つまり、衝突を抑制するためには、他船 A が自船と平行に航路へ入るといふ避航判断パターンを抑制する必要がある。

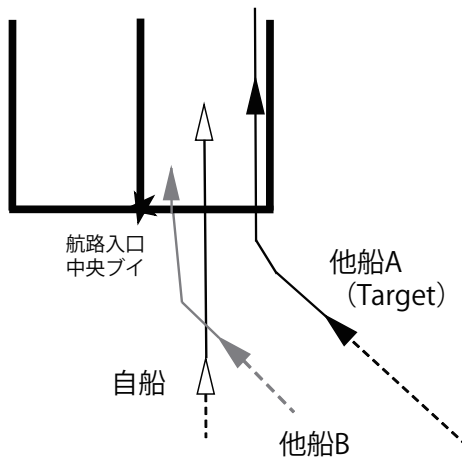


図 6.1: 自船の操船パターン 1

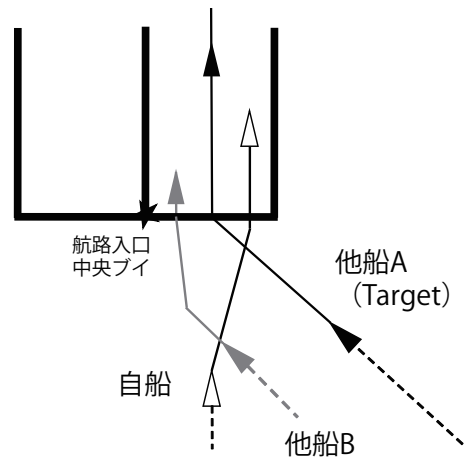


図 6.2: 自船の操船パターン 2

6.3 操船者の判断エラー（思い込み）を抑制するための対策の検討と評価

6.3.1 操船者の判断エラー（思い込み）を抑制するための対策の検討

事故対策の検討では、その導入コストや海域特有の制約等を考慮する必要がある。本章では、第 5 章で明らかとなった他船 A が自船と平行に航路へ入るといふ操船者の判断エラー（思い込み）の抑制を目的とし、導入コストに重点を置いた検討を行った。

まず、航路の入り口という場所に対策を取ることができない。また、複数の船舶を同時に見張る必要がある状況も避けることができない。一方、他船 A の航路への進入角に着目すると、航路標識の設置による交通流の整流等、判断エラーの発生条件として指摘した他船 A の航路への進入角を変更する対策が考えられる。しかし、対策を行う海域ごとに、海域特徴を考慮し、航路標識を新たに設置及び維持していく必要があり、航路ブイによる航法に強制力を持たせるには、関連法規の改正が必要となる。例えば、明石海峡航路出入口付近における航法として強制力を持たせるためには、明石海峡航路東方灯浮標と同様に、海上交通安全法の改正が必要となる。そこで、どの海域においても実施可能で、現実的にすぐに導入でき、導入コストが低い対策として、ポスターによる航路情報の事前提供を、一つの対策として採

用し、その効果を検証することとした。

ポスターを用いて航路情報を事前に与えることで、右からの横切りぎみの同航船は、自船と一緒に航路に入るといった思い込みを抑制する必要がある。そこで、航路の情報を提供する資料として、航路の入り口付近にて横切りの交通流の存在があることを示すと共に、衝突海難事例を紹介する A4 サイズのポスターを作成した。

次に、第 5 章で実施したシミュレータ実験の被験者とは、別の被験者によるシミュレータ実験及び実験直後のヒアリング調査を行い、ポスターを実験前に参照した被験者と、参照しなかった被験者の判断や行動を整理し、比較評価を行った。被験者の判断や行動を整理する際、第 5 章で提案した簡易タスクモデルを拡張し、操船者の航路入り口における避航判断パターンをモデル化した。

6.3.2 シミュレータ実験

(1) 実験シナリオ

本章で分析対象とした衝突海難は、第 5 章で分析を行った、同時刻に航路に進入することで発生した 3 隻の衝突海難である。本実験は、事故に関係する他船 A への見張り状況や判断、最終的な操船を把握し、事前情報の有無による違いを比較評価することを目的としている。そこで、見張り作業に集中させるため、実験シナリオには事故に関係する 3 隻のみ存在させる他、航路への変針作業等、見張り以外の作業が極力発生しない実験シナリオとした。第 5 章で用いた実験シナリオと、本章で作成した実験シナリオの違いを図 6.3 に示す。実験シナリオには、他船 A が航路に入るといった思い込みの発生原因として検討した、航路入り口という場所、他船 A 以外に見張りが必要な船舶の存在、大正船の航路への進入角という三条件を含む。

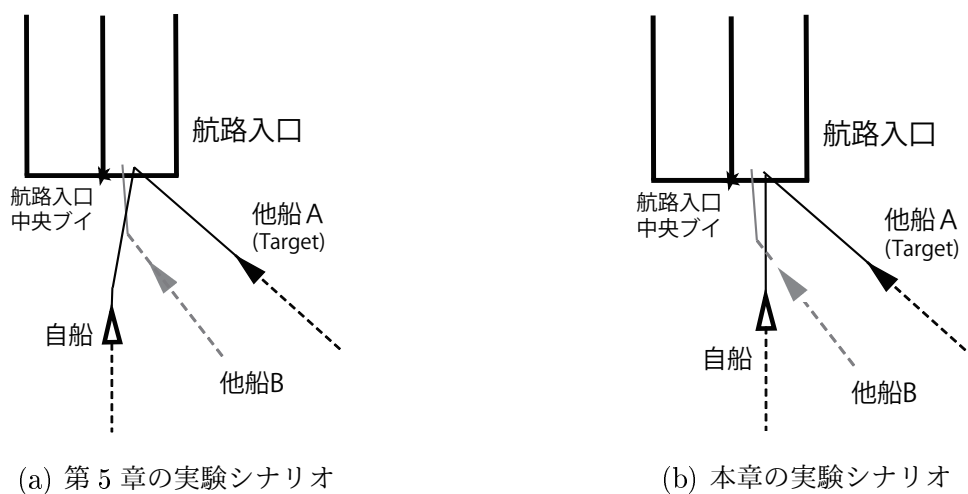


図 6.3: 第 5 章と本章における実験シナリオの違い

第 5 章では、事例において操船者が他船 A を初認した時間を参考に、実験シナリオ時間を 5 分に

設定し分析を行った。さらに衝突回避に成否と初認（発見）にかかる時間について t 検定を行った結果、相関がないことを確認し、これにより 5 分のシナリオであっても、衝突した場合と衝突を回避した場合の判断に使用する時間に差はないことを示した。本章では、避航動作に至る前の、操船の必要が生じていない時点において、他船が航路に対しどのように航行すると予測したのか、また自船が航路に対しどのように航行するつもりであったのかという意図を把握することを目的としているため、シナリオ時間を 10 分に延ばすこととした。

(2) 実験方法

実験は、第 5 章で実施したシミュレータ実験の被験者とは異なる操船実務経験者 16 名を対象に行った。16 名の被験者の乗船経験や通常航行している海域、乗船している船種等について表 6.1 に示す。実験前、全ての被験者に対し、国立研究開発法人海上技術安全研究所、人間を対象とする実験に関する倫理及び安全管理規定、並びに、人間工学実験取扱細則に則って、実験の内容や被験者の権利について説明を行い、インフォームドコンセントを得た上で、実験を実施した。

表 6.1: 情報の事前提供による思い込み抑制効果の評価実験における被験者の情報

Subject No.	海技免状	航行している海域・航路	乗船している船種	役職
1	二級	遠洋, 沿海	Bulker, Cargo	3/O
2	三級	国内全域	-	-
3	三級	沿海	RORO	C/O
4	二級	豪州, 北米, 南米	Bulker	2/O
5	一級	PG, 豪州, 北米, 南米	VLCC, LPG, Bulker, PCC	C/O
6	一級	PG, 沿海	VLCC, AFLA Max	Capt.
7	一級	PG, 沿海	VLCC, AFLA Max	Capt.
8	一級	沿海	油タンカー	Capt.
9	二級	近海, 沿海	油タンカー	Capt.
10	二級	遠洋, 沿海	Bulker, Cargo	2/O
11	四級	国内全域	-	-
12	四級	瀬戸内海	-	-
13	一級	北米, 豪州	Bulker, Container	Capt.
14	二級	遠洋	Bulker	2/O
15	二級	遠洋	Bulker, VLCC	2/O
16	二級	PG	VLCC	2/O

実験では、被験者 16 名の内、8 名 (Subject No.1~8) については、実験直前にポスターによる航路情報の提供を行い、残りの 8 名 (Subject No.9~16) については、特段の情報提供を行わなかった。実験

中、船橋内には操舵手2名を配置し、被験者は一般的な航海計器（双眼鏡、レーダ、コンパス、ECDIS、汽笛、海図）を使用し、見張り作業を行った。被験者は、避航が必要と判断した際、操舵手への指示による針路変更や自身でエンジンテレグラフを操作することによる減速を行った。また、分析対象とした衝突海難事例では、VHF等の通信を行っていないため、本実験においても第5章と同様に通信機器はしないこととし、視程や初期船速等は、事故事例と同様の状況から実験をスタートした。

実験中の被験者の行動は、船橋内の赤外線カメラにより観察し、実験中の船橋内映像と音声、レーダ画像について、ビデオカメラ及びHDD/DVDレコーダによる記録を行った。またシミュレータ実験直後、見張り状況や他船に対する予測、操船判断の状況等についてインタビュー調査を行った。

6.3.3 実験結果

(1) 行動分析の結果

他船の大きさや船種、航行海域や見合い関係等、様々な状況から決定される、最接近距離の許容値を定義することは難しい。本章のシミュレータ実験は、航路入り口における避航判断パターンのモデル化により衝突に至る避航判断パターンを指摘すると共に、情報の事前提供による効果を評価することであるため、衝突の有無という最終的な操船結果に着目した。実験では、被験者16名中4名(25%)が衝突に至り、残りの12名(75%)が衝突を回避した。実験の直前に、ポスターにより事前に航路情報を参照した被験者8名に着目すると、衝突に至ったのは1名のみであり、残りの7名は衝突を回避した。一方、ポスターにより事前に航路情報を参照しなかった被験者8名中、3名は衝突に至る結果となった。事前の情報提供の有無や、操船結果等の実験結果について表6.2に示す。

表6.2の左から1列目は、事前情報の提供の有無を示し、2列目は被験者の番号を示す。行動分析の結果として、表6.2の3列目には操船結果（衝突の有無）、4列目には避航方法、5列目には避航が開始されるまでの時間（秒）を示す。

(2) インタビュー調査結果

他船Aが航路に入るといふ思い込みの発生の有無を含む他船Aの動向予測及び自船の行動判断について、航路の中が仮想的に右レーン、中央レーン、左レーンの3レーンに分かれていると仮定し、実験直後にインタビュー調査を行った。

仮想的に定義した3レーンについて、図6.4に示す。表6.2の左から6列目以降にインタビュー調査結果を示す。6列目は、他船Aが航路に入るといふ思い込みの発生の有無、7列目は操船中に減速（エンジン操作）をすることに対する抵抗感を示す。また、8列目は他船Aが航路に入ると考えた場合、仮想的に定義した航行レーンのどこを走ると考えたかを示し、9列目及び10列目は、これから航行しようとしていた自船の航行レーンと他船との前後位置関係を示す。

表 6.2: 情報の事前提供による思い込み抑制効果の評価実験における被験者の情報

情報の 事前 提供	被験 者 番号	行動分析結果			インタビュー調査結果				
		操船 結果	避航 行動	避航 までの 時間	思い 込み の有無	減速に 対する 抵抗感	予測及び判断		
							他船 A	自船	
								航行レーン	航行レーン
あり	1	衝突回避	減速	456	あり	あり	中央	中央	他船 A の後方
	2	衝突回避	減速	97	あり	なし	中央	右	他船 A の後方
	3	衝突回避	減速	471	あり	なし	中央	中央	他船 A の後方
	4	衝突	避航行動なし		あり	あり	右	中央	他船 A の後方又は平行
	5	衝突回避	減速	433	あり	あり	中央	中央	他船 A の後方
	6	衝突回避	減速	166	あり	なし	中央	中央	他船 A の後方
	7	衝突回避	右転減速	216	あり	なし	中央	右	他船 A の後方
	8	衝突回避	減速	155	あり	なし	中央	中央	他船 A の後方
なし	9	衝突	左転	578	あり	あり	右	中央	他船 A の後方又は平行
	10	衝突回避	減速	410	なし	なし	-	中央	他船 A の後方
	11	衝突	左転	458	あり	あり	右	中央	他船 A の後方又は平行
	12	衝突回避	減速	305	あり	あり	中央又は右	中央	他船 A の後方
	13	衝突回避	減速	415	あり	あり	中央	右	他船 A の後方
	14	衝突回避	減速	249	なし	なし	-	中央	他船 A の後方
	15	衝突	減速	503	あり	あり	右	中央	他船 A の後方又は平行
	16	衝突回避	減速	351	あり	なし	中央	右	他船 A の後方

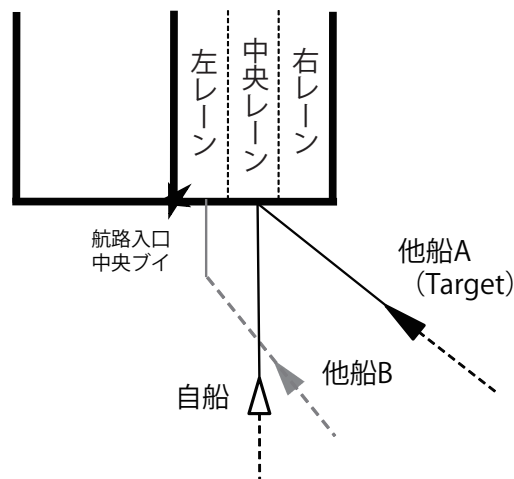


図 6.4: 仮想的に定義した航路内の 3 レーン

表 6.2 より、事故原因として検討した他船 A が航路に入るといった思い込みは、16 名中 14 名 (88%) で発生した。しかし、操船結果と合わせて思い込みの発生の有無に着目すると、思い込みが発生した場合でも、多くの被験者が衝突を回避していることが明らかとなった。つまり、衝突の原

因は、他船が航路に入るといった思い込みの発生に加え、別の要因が考えられる。

6.3.4 避航判断パターンのモデル化による背後要因の検討

衝突の原因は、他船 A が航路に入るといった思い込みの発生に加え、別の要因が考えられるため、他船 A の行動予測や自船の行動判断について、詳細に分析を行うこととした。そこで、仮想的に定義した 3 つの航行レーンを基にしたインタビュー結果を用いて、第 5 章で提案した簡易タスクモデルを拡張することで、操船者の避航行動パターンのモデル化を行った。避航判断パターンのモデルは、Endsley の動的意識決定における状況認識モデル⁷⁶⁾（以下、Endsley モデルと呼ぶ。）を基本として作成した。第 2 章で述べたとおり、Endsley モデルの状況認識は 3 つのレベルで構成されており、Level1 では現在の周囲の状況から認識すべき対象を認知することであり、本分析では、他船 A の発見と同等である。実験では、他船 A との距離が近く、視界も良好であったことから、目視及びレーダによる他船 A の発見は、全ての被験者において実験開始直後に済んでいると考えることができる。また Endsley モデルの Level2 は、現在の周囲の状況を理解であり、Level3 は理解した情報に基づく将来予測である。被験者は見張り作業において、他船 A を発見した後、収集した情報に基づき、他船 A が航路のどの位置に入り、航行するかという予測が行われていると考えられる。さらに、自船行動の決定は Endsley モデルの”Decision”に、自船の避航行動は”Performance of action”に相当する。この様に Endsley モデルを基本として、表 6.2 に示した行動分析とインタビュー調査結果を用いて作成した操船者の避航判断パターンのモデルを図 6.5 に示す。

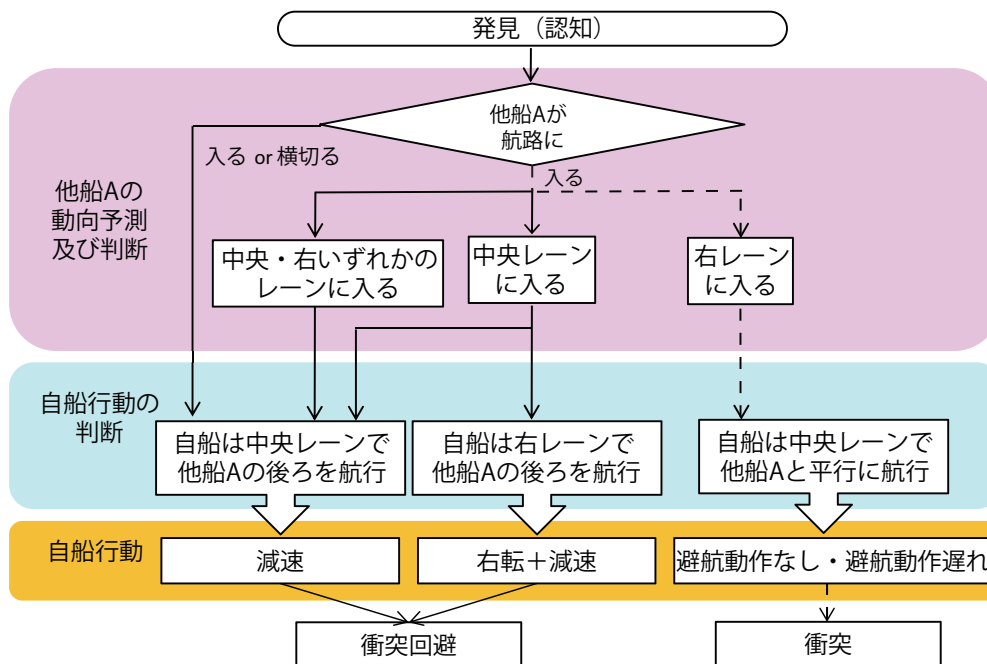


図 6.5: 操船者の避航判断パターンモデル

このモデルでは、他船 A の発見後、他船 A の動向予測及びそれに基づく自船行動の判断、さらに選択した自船の避航行動と操船結果を表している。図 6.5 の破線は、衝突に至った場合の避航判断パターンを示す。衝突に至るまでのシーケンスに着目すると、他船 A が航路に入るといふ思い込みの発生に加え、他船 A は航路の右レーンを航行すると予測及び判断がされている。実験では、他船 A が右レーンに入ると予測及び判断した 4 名全ての被験者が衝突に至っている。従って、衝突の原因は、他船 A が航路に入るといふ思い込み（判断エラー）に加え、他船 A が右のレーンを航行するという予測及び判断エラーの発生である。

6.3.5 情報の事前提供による衝突海難抑制効果の検証

航路情報の事前提供による衝突海難の抑制効果を検証するため、事前情報があった被験者（8 名）と事前情報がなかった被験者（8 名）の操船結果を比較した。その結果、事前情報がない場合は 8 名中 3 名（37.5%）が、事前情報があった場合でも 8 名中 1 名（12.5%）が衝突に至った。つまり、情報の事前提供の有無により、衝突海難を完全に防ぐことはできないものの、衝突の発生確率に差があることが明らかとなった。従って、航路情報の事前提供は、他船の動向に関する思い込みを抑制し、衝突海難の抑制に有効な方法の一つである。

6.4 レーダを用いた情報の事前提供

6.3 章では、情報の事前提供が衝突海難の抑制に有効な方法の一つであることを示したが、分析を行ったポスターを利用した方法は、どの海域においても実施可能で、現実的にすぐに導入ができ、導入コストも低いというメリットがあるが、効果を発揮するためには、ポスター（情報）を操船者に確実に参照してもらう必要がある。事前に衝突を抑制するために有効な情報を確実に参照してもらうためには、やはり自動的に提供する仕組みが必要がある。ただし、機器の導入コスト、船橋内にすでに設置されている航海計器や操船者が主に情報収集のために操作している航海計器の数を考慮すると、新しく情報提供するための機器を導入するよりも、すでに多くの船舶に搭載され、使用頻度の高い航海機器に情報の事前提供機能を追加することが、現実的かつ有効である。そこで、多くの船舶に搭載され、操船者の使用頻度も高い、レーダによる情報の事前提供方法を検討した。

6.4.1 レーダを用いた情報の事前提供方法

多くのレーダには ARPA(自動衝突予防援助装置：Automatic Radar Plotting Aids) 機能が付けられている。ARPA 機能は、連続してレーダアンテナから得られる他船からの反射電波情報を用いて、反射物標の動きを計算することができるもので、船舶の速度や進路、最接近距離、最接近時間、船首過航距離等を数値情報や他船のベクトルとして知ることができる。また、許容できる最接近距離をあらかじめ設定しておくことで、許容できる最接近距離の中に他船が入った場合、アラームを出すことができる。ARPA 機能を用いることで、第 2 章でも着目した他船の相対進路や距離等、操船者が継続した見張りを行う際に重要となる情報も、直感的に把握することができる。そこで、操船者の ARPA 機能による捕捉・追尾や情報の参照の有無に関わらず、ARPA 情報を事前に自動的に操船者へ提供する方法を検討した。

現在の ARPA 機能では、自動捕捉機能が備わっている。操船者は ARPA による情報が欲しいと考える範囲をあらかじめ設定しておくことで、その範囲に他船が入った際、自動で捕捉し、動静情報の計算をはじめめる。しかし、この自動捕捉機能は、航行する海域によって捕捉したい範囲を操船者自身が設定する手間がある他、自船から距離が近い船舶から捕捉される傾向がある。操船者は、他船の距離だけで、見張りの必要性を判断しているわけではないため、捕捉結果と操船者の感覚に差が生じている。さらに現在の ARPA の衝突の危険性を知らせるアラームでは、輻輳海域を航行する際、アラームが常に鳴っている状況となり、やはり実用的ではない。また、ARPA で捕捉してから、捕捉した物標の動静について計算結果が出るまでには、約 1 分前後の時間がかかる。つまり、操船者が情報を参照したいと考えたタイミングで捕捉をしていると、すぐに情報が参照できないという問題点がある。そこで本章では、操船者が見張りを必要と考える物標を事前に自動捕捉し、ARPA 情報を遅延なく参照できる仕組みを考え

た。操船者にとって見張りが必要と考えるのは、主に船舶や航路ブイ等である。したがって、まずはこれらの物標を自動で選定し捕捉する仕組みが重要である。

6.4.2 見張りが必要な物標の選定方法

レーダの雑音除去等を目的としたレーダ信号処理手法は、すでに多数提案されている⁸⁶⁻⁸⁸⁾が、まだ最適な手法は提案がされていない、また、操船者はレーダのアンテナ信号を見ているわけではなく、レーダ表示機に示される PPI(Plan Position Indicator) 表示^{*1}された画面を見て、見張り作業を行っており、見張りを行うべき物標か、見張りの必要がない物標かどうかを判断している。そこで、本論文ではレーダ信号処理ではなく、レーダ画面を 1 枚のラスタ画像として捉え、画像処理と、画像特徴をパラメータとしたクラスタ分析から見張りが必要な物標の選定を行う。レーダ画像の中で見張りが必要な物標とは、具体的には船舶画像、見張りの必要がない物標とは、海面反射や偽像のような雑音画像と定義する。レーダのラスタ画像から、船舶画像であるか雑音画像であるかを分類するためには、下記に示す 4 つのステップが必要である。

(1) 画像処理によるレーダエコー画像の抽出

レーダのラスタ画像には、自船の進路や速度の情報、レンジリングや、ARPA の数値情報及びシンボル、AIS の数値情報及びシンボル等、レーダエコーの画像以外の情報が多数含まれている。そこでまず、レーダのエコー画像（以後、ベース画像と呼ぶ）だけを抽出する必要がある。ベース画像だけを抽出するために、マスク処理によりレーダエコー画像が含まれるレンジ内の画像を抽出し、色相に着目したフィルタリング処理を行う。しかし、色相によるフィルタ処理では、レンジリングや捕捉のシンボルとの重なりによる画像の欠損が起こると同時に、多くの雑音画像が残るため、膨張縮小による雑音処理を加える。

(2) 画像処理による画像特徴点の抽出

(1) で抽出したレーダエコー画像は、あくまでピクセルの集合に過ぎない。繋がりのあるピクセルを判定し、同等の物標であるという認識をさせる必要があるため、ラベリング処理を行う。一般的なラベリング処理では、通常繋がりのあるピクセル全てに同じラベルを付ける。しかし本論文では、画像の特徴点の一つでもある輪郭情報に着目し、抽出した輪郭に同一ラベルを付けることとした。これにより、ラベリング処理時間の短縮と、輪郭情報及び輪郭情報から算出できる画像の重心情報という画像特徴点を、同時に算出することが可能となる。

レーダにおける陸上の画像は面積が大きいという特徴を持ち、海面反射の画像や偽像は反射強度が弱い場合が多く、連続して同じ位置に現れることが少ないという特徴がある。一方、船舶や浮標

^{*1} レーダの反射の有無を距離方位の座標で示す表示

の画像は、比較的円形に知覚、ある一定の面積を有し、比較的近い位置に連続して現れる特徴がある。そこで、ラベリング処理された個々の画像について、面積、輪郭長さ、自船から重心までの距離、円形度、円相当径、凹凸度、包形幅・高さ、凸包数、そして重ね合わせ明度という9つの画像特徴点を抽出した。ラスター画像からは、物標からの正確な反射強度を得ることが難しい。しかし反射強度と同等の情報として、重心明度を用いることとした。また、画像の連続性を考慮するため、重心座標の算出後、ベース画像の前後の画像を参照し、連続した3枚の画像について、重心座標上の明度を積み上げた重ねあわせ明度も特徴点の一つとして扱う。重ね合わせ明度の概念を図6.6に示す。

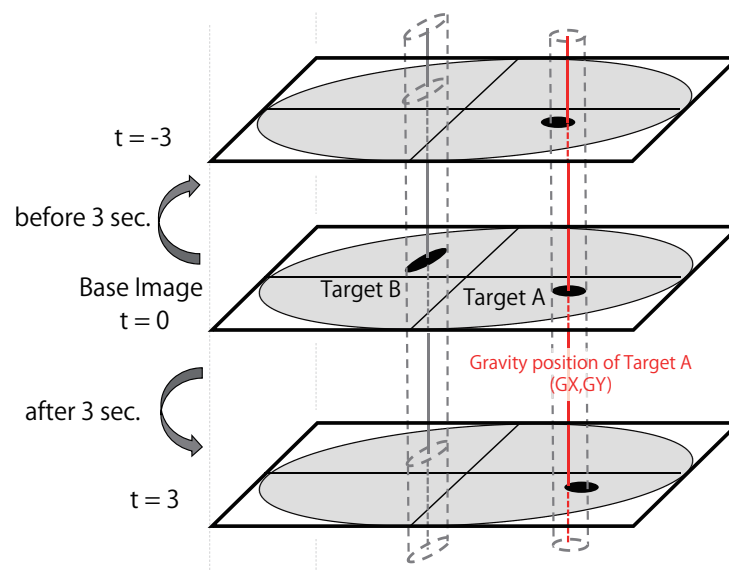


図 6.6: 重ねあわせ明度の概念

例えば、図 6.6 において、Target A の重ね合わせ明度 ($SCV(Target A)$) は式 6.1 で算出される。 GX 及び GY はベース画像における Target A の重心座標、 $CV(GX, GY, t)$ は時刻 t における座標 (GX, GY) の明度を示す。レーダアンテナは通常 2.5 秒に 1 回転するため、保険旧では 3 秒に 1 枚のレーダラスター画像を扱う。つまり連続した 3 枚のラスター画像を扱うためには、ベース画像の 3 秒前の画像と、3 秒後の画像を参照する必要がある。

$$SCV(Target A) = CV(GX, GY, t - 3) + CV(GX, GY, t) + CV(GX, GY, t + 3) \quad (6.1)$$

(3) 画像特徴点を用いたクラスタ分析による画像の分類

クラスタ分析を行う前に、画像の面積（大きさ）に着目し、極端に面積の大きい画像は、陸地の画像である可能性が高い。さらに、レーダは電波の反射時間から物標の距離を算出しているため、高い山がある場合等、陸地と判定された画像の背後にある画像は、信頼性が低い。そこで、陸地と判定された画像と、その背後にある画像は、今後のクラスタ分析の対象からは外すこととした。

クラスタ分析は、類似した性質を持つグループにデータを分類する手法で画像の検索技術にも用いられる手法である。抽出した 9 つの特徴点を特徴パラメータとし、クラスタ分析を行うことで、類似した特徴を持つ画像群を求め、船舶等の事前情報提供が必要となる画像群と海面反射等が多く含まれる画像群の 2 つのグループに分類を行った。

クラスタ分析には、階層的と非階層的の 2 つの方法が存在するが、本論文では分類するクラスタ数を最初から指定することが難しく、クラスタを形成する基準、例えばある範囲の面積を持つ画像は雑音画像であるという様な、具体的な基準ををクラスタ分析の初期段から決めることが難しかったため、階層的クラスタリング手法を選択し、クラスタ数を探索的に決定することとした。また、階層的クラスタリング手法にも、様々な方法が存在するが、クラスタ形成の過程で外れ値に強く、実用的に使用されることが多いウェード法を選択すると共に、クラスタ間距離には、最小二乗距離を採用した。本論文では、クラスタ数を段階的に増加させ、船舶等の事前情報提供が必要となる画像が網羅されるクラスタ、又は、海面反射等の雑音が多く含まれる画像群によるクラスタの探索を行い、最終的に船舶等の事前情報提供が必要となる画像群と海面反射等が多く含まれる画像群の 2 つのグループに分類した。

(4) 画像の分類結果の評価

事前に手動にて船舶の可能性が高い画像群と、雑音の可能性が高い画像群を用意し、それらとクラスタ分析で分類された画像群の結果の比較により、見張りが必要な物標の選定結果の評価と改善点の洗い出しを行った。

6.4.3 レーダ画像から見張りが必要な物標の選定結果

(1) 使用したレーダのラスタ画像及び画像処理ライブラリ

レーダのラスタ画像は、大島商船高等専門学校の練習船「大島丸」(全長: 41m, 総トン数: 228 トン) に搭載されている船舶用レーダ (X バンド 9GHz 帯) を用いて、瀬戸内海航行中に収集した。レーダアンテナの 1 回転には、3 秒程度の時間を有するため、全ての画像範囲が更新される 3 秒に 1 枚のラスタ画像を記録した。画像処理及びクラスタ分析による見張りが必要な物標の選定は、連続した 30 枚 (90 秒) 分のラスタ画像を対象に行った。また、本論文ではフィルタ処理やエッジ処理等の画像処理や、特徴点抽出等の画像の構造解析の機能を備え、かつ汎用性が高く、オープンソースライブラリである OpenCV (Open Source Computer Vision Library 2.4) を利用することとした。

(2) レーダのラスタ画像処理結果

船舶用レーダから収集したレーダのラスタ画像を図 6.7 に、マスク処理画像を図 6.8 に示す。

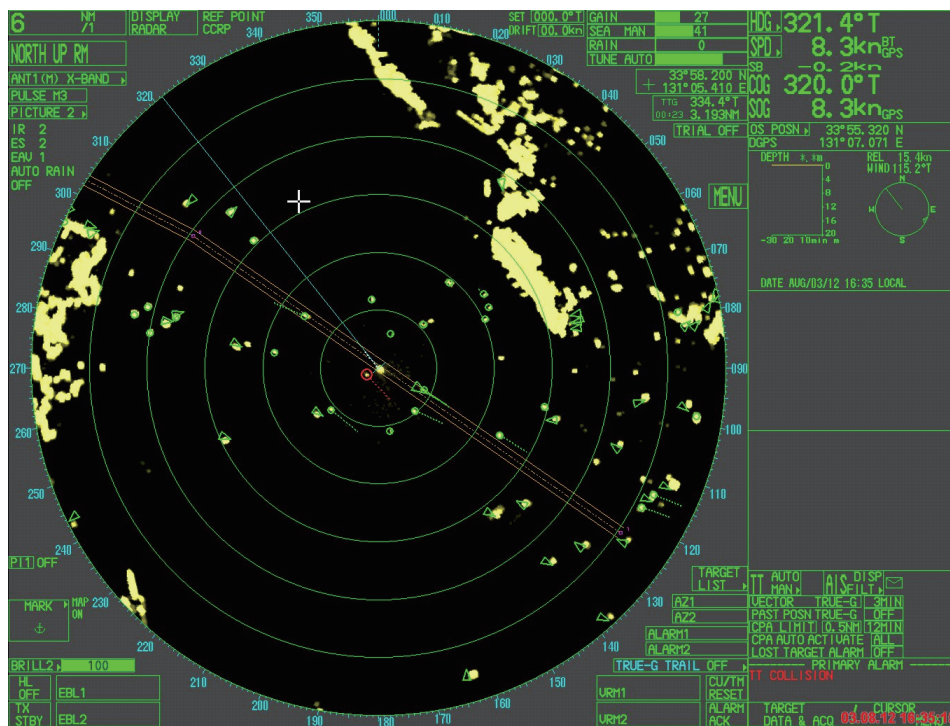


図 6.7: 船舶用レーダから収集したレーダのラスタ画像

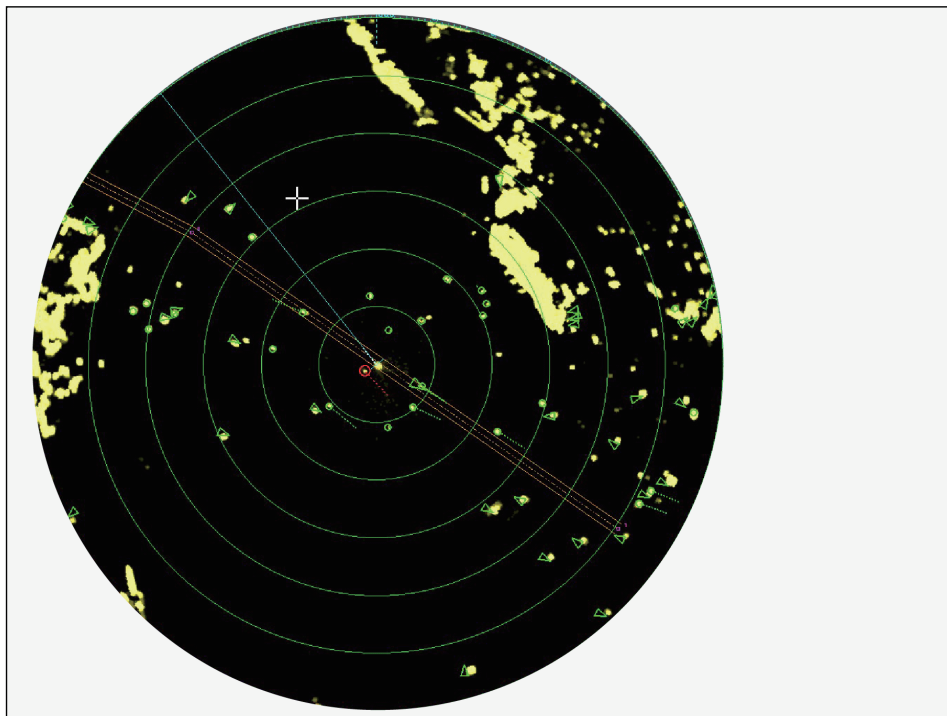


図 6.8: マスク処理によるレーダエコーが存在する領域の抽出結果

さらに、色相によるフィルタ処理を行った画像を図 6.9 に、膨張縮小による雑音処理を行った画像（ベース画像）を図 6.10 に示す。

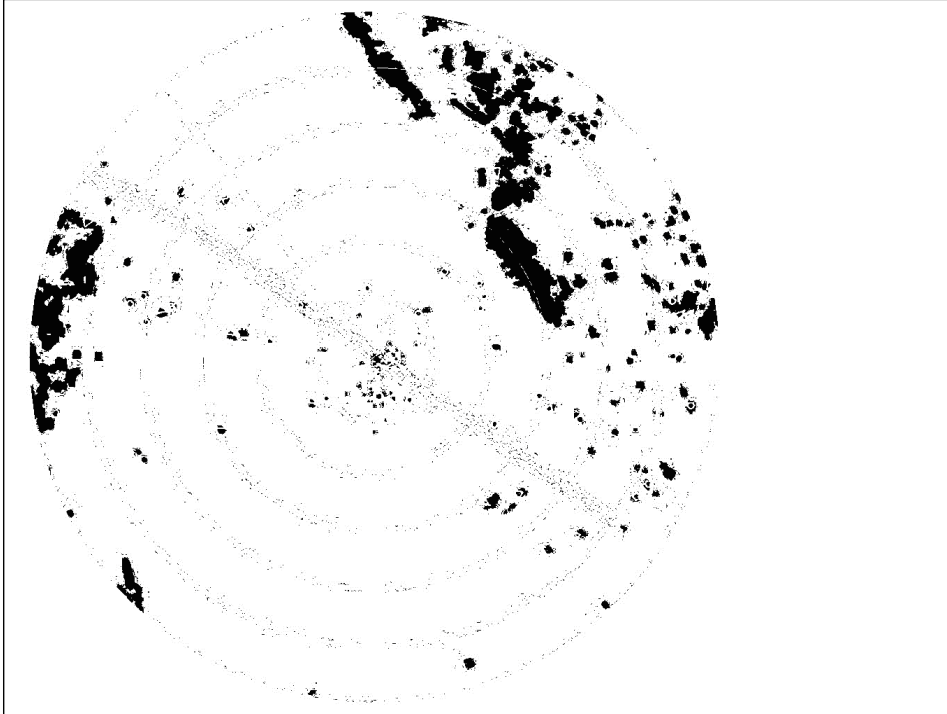


図 6.9: 色相フィルタによるレーダエコーの抽出結果

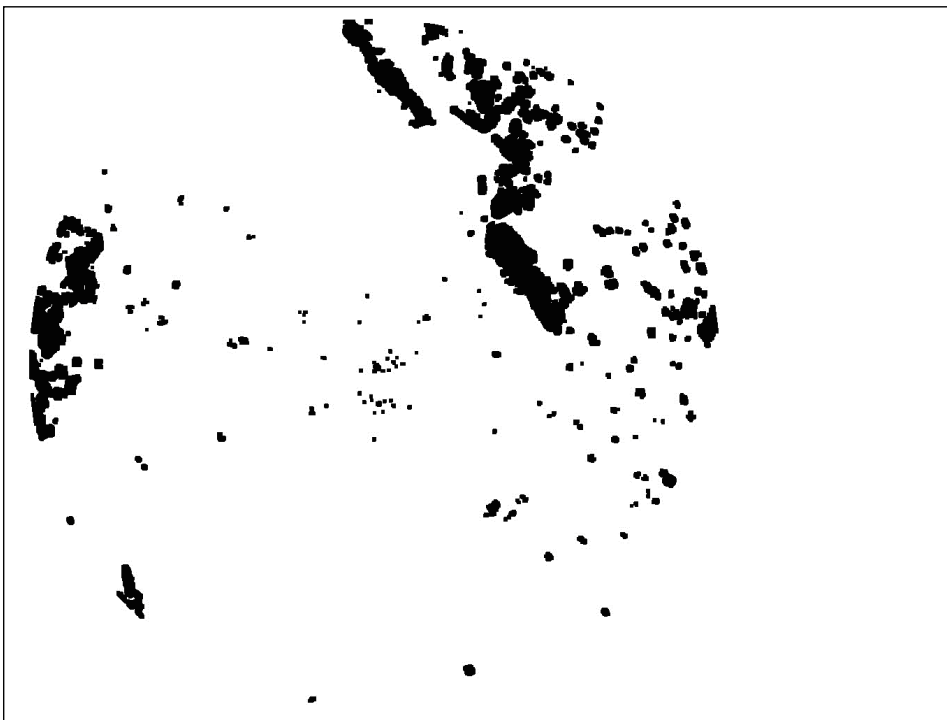


図 6.10: 画像特徴点の抽出に用いるベース画像

ここまでの画像処理で、収集したラスタ画像と比較し、レーダレンジや捕捉のシンボルに完全に重なる場合を除き、抽出すべき画像がのベース画像に残っていることを確認した。しかし、図 6.10 には、陸上の可能性がある大きな画像や、陸上の背後にある、何らかの画像等、雑音と考えられる画像が多数含まれていることが分かる。よって、クラスタ分析を行う前に、分析の対象となる画像を絞り込む必要がある。

ベース画像をラベリング処理した結果を図 6.11 に示す。本論文では同じ輪郭に同じラベルと付けるという処理を行った。図 6.11 の色の違いはラベルの違いを示す。さらに輪郭の情報から、個々の画像の面積を算出し、極端に面積のものを陸上と判定した。陸上を判定した結果を図 6.12 に示す。図 6.12 において、水色は陸上と判定した画像の輪郭、陸上の影となった画像については、輪郭ではなく重心位置だけを灰色のクロスシンボルで示す。また、青色はクラスタ分析の対象とした画像の輪郭を示す。クラスタ分析の対象とした 30 枚のレーダラスタ画像に一連の画像処理を行い、分析対象の絞り込みを行うと共に、図 6.12 に示した様なクラスタ分析の対象とした各画像について、面積、輪郭長さ、自船から重心までの距離、円形度、円相当径、凹凸度、包形幅・高さ、凸包数、そして重ね合わせ明度という 9 つの画像特徴点を抽出した。

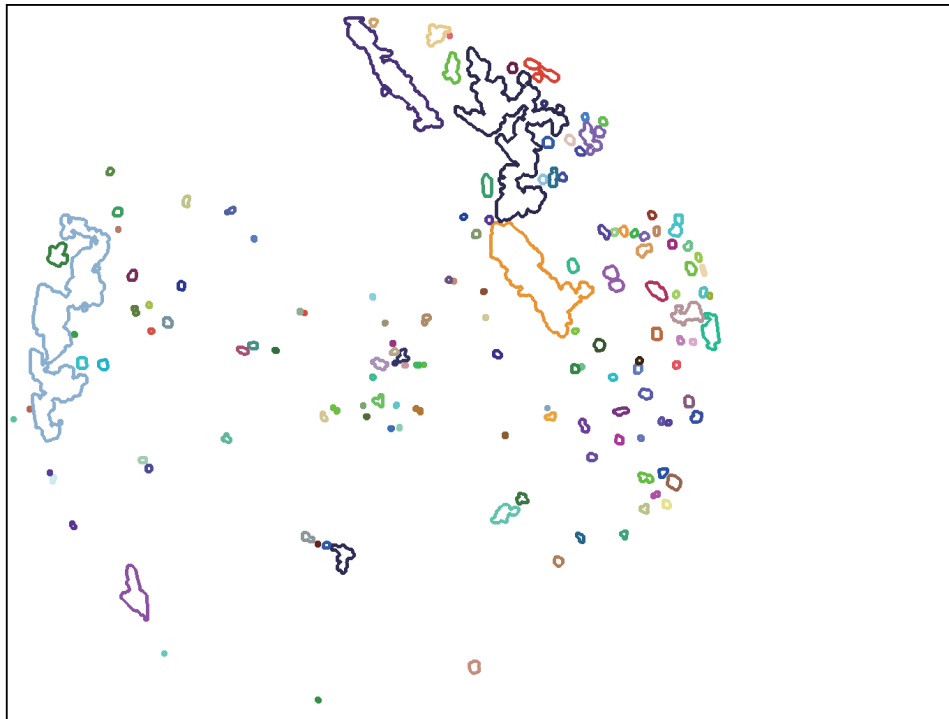


図 6.11: ラベリング処理の結果

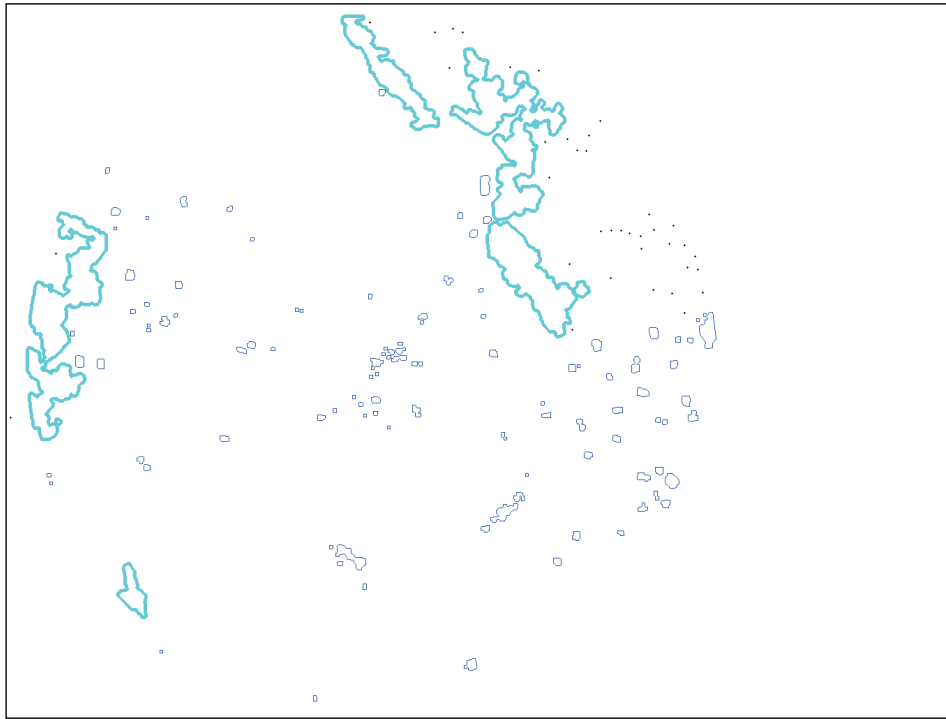


図 6.12: クラスタ分析の対象となる画像

(3) 見張りが必要な物標の選定結果と評価

抽出した 9 つの特徴点を特徴パラメータとし、クラスタ分析を行なった。クラスタ数は、最小の 2 つから分析を始めたが、分類するクラスタ数が少ない場合、例外的な特徴を強く反映したクラスタが生成され、クラスタ分析結果に大きな偏りが生じた。そこで、各クラスタに分類された画像群の特徴について分析を行いながら、クラス多数を段階的に増加させた結果、クラス多数を 6 つとした場合、雑音画像を多く含む特徴的な一つのクラスタが明らかとなった。図 6.13 に 6 つのクラスタに含まれる画像の自船からの距離、図 6.14 に面積の平均値と標準偏差を示す。また、図 6.15 に重ね合わせ距離の平均値と標準偏差を示す。図 6.13 より、クラスタ 6 は自船から比較的近距离の画像であり、図 6.14 より、クラスタ 6 は面積が 50 ピクセル以下と小さいことが分かる。また、図 6.15 よりクラスタ 6 は重ね合わせ明度が他のクラスタに比べ極端に小さいことが分かる。つまり、連続して同じ位置に現れることが少ない画像であると言える。これらの特徴は、自船の周囲に現れる海面反射による雑音画像の特徴と一致する。つまり、クラスタ分析でクラスタ 6 に分類された画像の大半が、海面反射による雑音画像である。

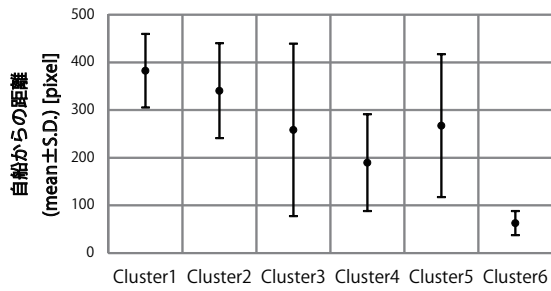


図 6.13: クラスタ別, 自船からの距離の特徴

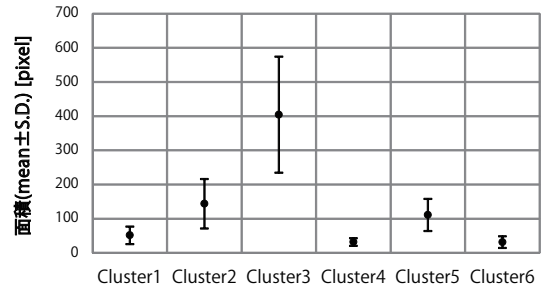


図 6.14: クラスタ別, 面積の特徴

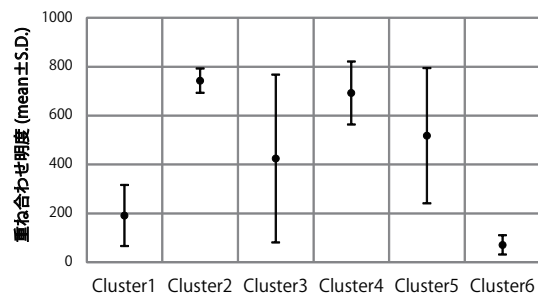


図 6.15: クラスタ別, 重ね合わせ明度の特徴

そこで, クラスタ 6 に含まれる画像を雑音画像, クラスタ 6 以外の 5 つのクラスタに含まれる画像は, 船舶等の情報提供が必要である物標の画像であるという判定を行った. 図 6.16 にクラスタ分析の結果を示す. 図 6.16 には, 船舶等の情報提供が必要である物標だけを黒色で示しており, レーダエコーが含まれる範囲を円で囲んでいる. 図 6.10 を図 6.16 と比較すると, 陸上や陸上の背後にある画像及び自船 (画像の中心) に近い, 海面反射等の雑音画像を中心に除去されていることが分かる.

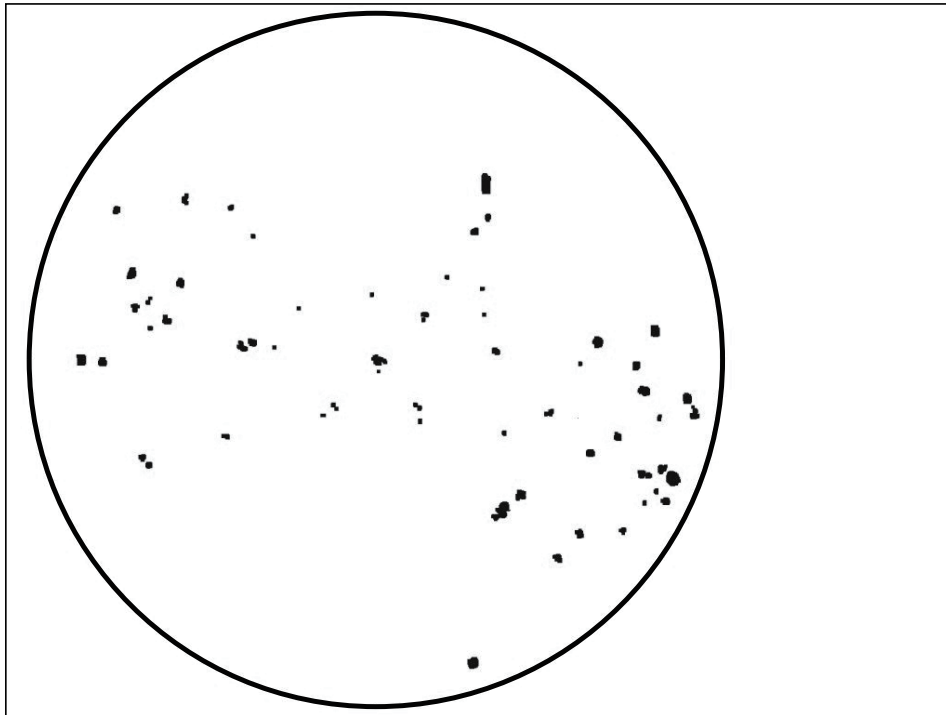


図 6.16: クラスタ分析から船舶等の情報提供が必要な物標を選定した結果

クラスタ分析の結果を評価するため、画像処理を行う前に、レーダのラスター画像の時間的変化を観察し、船舶等の情報提供が必要な画像と雑音画像の分類を手動で作成し、正しい画像の分類結果を用意した。クラスタ分析の結果と、手動で作成した分類結果を用いてクロス表を作成し、適合率、再現率、F 値、そして最も厳密は評価尺度である正当率の算出を行った。表 6.3 にクロス表を示す。表における Target とは、船舶等の情報の提供が必要な画像、Noise とは雑音画像を示す。

表 6.3: クラスタ分析結果と手動で作成した分類結果を比較するためのクロス表

	Target(手動)	Noise(手動)	計
Target(クラスタ分析)	2001(69.3%)	479(16.6%)	2480
Noise(クラスタ分析)	3(0.1%)	405(14.0%)	4.8
計	2004	884	2888

表 6.3 より、クラスタ分析において船舶等の情報提供が必要な画像と判定されかつ、答えの分類でも、同様に判定されたものは 2001 個である。一方、どちらも雑音画像として判定されたものは 405 個存在する。また、クラスタ分析で間違った判定がされてものは、合計で 482 個の画像である。評価の結果、適合率は約 99%、再現率は約 80%、F 値は 0.89、正当率は 83% となった。本論文で構築した画像処理及びクラスタ分析による画像の分類方法では、雑音画像を、船舶等の情報収集が

必要な画像として判定したケースは多数含まれているが、船舶等の情報収集が必要となる画像は落とさずに判定することができた。

6.4.4 現実的なレーダによる情報の事前提供方法の提案

2.4.3 章では、レーダのラスター画像を用いた画像処理及びクラスタ分析から、見張りが必要な船舶等の画像を絞り込むことが可能であることを示した。そこで、本論文では、現実的なレーダによる情報の事前提供方法として、第3章で示した継続的な見張りが必要な船舶に該当する画像を ARPA 機能により自動捕捉・追尾することで、操船者の要求がない場合でも、連続してそれらの船舶の情報を表示させる方法を提案する。

連続して継続的な見張りが必要な船舶を表示させる機能をレーダに組み込む際には、本章で処理したレーダ画像処理アルゴリズム及びクラスタ分析結果において、誤判定した画像についてその傾向を分析し、船舶画像の抽出精度を高める工夫が必要である、また、現在の輻輳海域における ARPA のアラーム機能のように、操船者が機能の使用をためらう要素を、あらかじめ防ぐための工夫が必要である。これら今後改良すべき点はある一方、本論文で提案するレーダによる情報の事前提供を実現するための、レーダの自動捕捉・追尾機能の導入は十分可能であると考えられる。

6.5 結論

本章では、見張り不十分が原因として指摘される衝突海難対策を検討・提案し、その効果を検証した。また、レーダの機能に着目した衝突海難対策を提案した。その結果について、下記に示す。

- (1) 衝突海難対策を導入コストや導入の現実性を考慮して検討した結果、「情報の事前提供」が見張り不十分が原因として指摘される衝突海難の抑制に有効な対策の一つである。
- (2) 「情報の事前提供」は、他船にまったく気付いてないという見張り不十分を抑制するために有効な対策の一つであるだけでなく、適切なタイミングで定期的実施することで動静監視不十分を抑制するためにも有効な対策の一つとなると考えられる。
- (3) シミュレータ実験によりポスターによる情報の事前提供の有効性を検証した。事前に事故事例や海域に特徴的な交通流の情報をポスターにより参照した場合、衝突又は衝突に近い状況を避けることができる割合が高いことが明らかとなった。つまり、「情報の事前提供」は衝突海難の抑制に有効な対策の一つである。
- (4) レーダを用いた「情報の事前提供」の具体的な方法として、操船者の要求の有無に関わらず、第3章で示した継続的に見張りの必要がある船舶を自動捕捉・追尾し、連続してそれらの船舶の ARPA 情報等を提供する方法を提案した。

- (5) レーダのラスター画像による画像処理とクラスタ分析から、今後、レーダにおける船舶画像の捕捉・追尾精度の向上により、(3) で提案した情報の事前提供を実現するためのレーダの自動捕捉・追尾機能の導入は十分可能であると考えられる。

第7章

結論

本論文では、衝突海難の原因として指摘される「見張り不十分」とは操船者の状況認識におけるエラーと考えることができ、操船者エラーには様々な背後要因があるという視点から、操船シミュレータ実験による操船者の行動分析と、SAGATを用いた状況認識の計測を実施し、船舶運航における操船者の状況認識の特徴を示した。それらの結果を用いて、見張り不十分が原因とされる衝突海難の対策の検討方法を提案し、かつ、情報の事前提供による効果とレーダ画像処理による実用化に向けた対策を提案した。

本論文の第2章では、衝突海難事例の分析と、船舶運航における人間の関わり方や自動化の程度について調査した。その結果、以下の大きく3つが明らかとなった。

1. 船舶は他の交通分野と比較し、操船者の予測や判断、操作がより多く必要とされる分野であり、衝突海難の原因の9割は操船者の見張りに関連するものであることから、衝突海難の対策を検討するにあたり、操船者の見張り作業に着目する必要がある。
2. 見張り不十分が原因とされる衝突海難の対策を検討するためには、操船者の状況認識を明らかにする必要がある。

そこで第3章では、操船シミュレータ実験による操船者の行動分析とSAGATを用いた状況認識の計測を行い、下記に示す操船者の状況認識の特徴を示した。

1. 衝突海難を引き起こしていない場合でも、見張りを行うべき船舶をまったく監視していない「見落とし」や見張りを行うべき船舶に気付くのが遅れる「気付き遅れ」という操船者エラーは発生している。
2. 操船者は自船の周囲に複数の船舶が存在する場合、それらの船舶に対し見張りの優先順位を付けており、見張りの優先順位が適切ではなかったことが、「見落とし」や「気付き遅れ」という操船者エラーの最も大きい発生要因である、
3. 操船者の見張りの優先順位が適切ではなくなる背後要因について操船者の状況認識モデルに基づき

検討した結果、情報収集が不十分であった可能性や他船の今後の動静に対し予測を誤った可能性、継続監視の必要性の判断誤った可能性等、複数の背後要因があることが明らかとなった。

4. 自船の周囲に複数の船舶が存在する場合の操船者の一般的な見張り作業として、下記に示す船舶は、継続的な見張りが必要な船舶、つまり見張りの優先順位が高い船舶である。((c)~(f)において、 $\dot{\omega}$ は方位変化率 (deg./min.)、 R は相対距離 (m) を示す。)

(a) 反航船の場合

航過距離 1.0NM で、距離 1.5NM 以下、又は航過距離 0.2NM で、距離 5.0NM 以下

(b) 同航船の場合

航過距離 0.5NM で、距離 1.0NM 以下、又は航過距離 0.2NM で、距離 2.3NM 以下

(c) 右舷からの船首横切り船（横切り前）の場合

$$\alpha \cdot R^\beta < \dot{\omega} \leq \gamma \cdot R^\delta (\alpha = \gamma = 5.8 \times 10^5, \beta = -1.7, \delta = -1.36, R < 4.5NM (8, 334m))$$

(d) 右舷からの船尾横切り船（横切り前）の場合

$$\alpha \cdot R^\beta < \dot{\omega} \leq \gamma \cdot R^\delta (\alpha = \gamma = 5.2 \times 10^5, \beta = -1.7, \delta = -1.36, R < 5.0NM (9, 260m))$$

(e) 左舷からの船首横切り船（横切り前）の場合

$$\alpha \cdot R^\beta < \dot{\omega} \leq \gamma \cdot R^\delta (\alpha = \gamma = 5.8 \times 10^5, \beta = -1.7, \delta = -1.36, R < 2.0NM (3, 704m))$$

(f) 左舷からの船尾横切り船（横切り前）の場合

$$\alpha \cdot R^\beta < \dot{\omega} \leq \gamma \cdot R^\delta (\alpha = \gamma = 5.2 \times 10^5, \beta = -1.7, \delta = -1.36, R < 2.5NM (4, 630m))$$

(g) 右舷左舷に関わらず、船首横切り後の場合

自船からの距離が 1.0NM 以下

(h) 右舷左舷に関わらず、船尾横切り後の場合

継続的な見張りは必要なし

第3章で示した様な、見張りの優先順位が高く、継続的な見張りが必要な船舶を検出し、操船者へ適切な見張りの優先順位を維持できるような見張り支援をすることで、「見落とし」や「気付き遅れ」という操船者エラーを抑制することができると考えられる。一方、操船者エラーの背後要因は複数発生しており、衝突海難対策を検討する前に、操船者の見張りの優先順位に影響がある背後要因を把握しておく必要がある。そこで第4章では、CREAMにおけるCPC及び原因-結果リンク（背後要因の分類）を衝突海難に特化した形で修正・整理することで、操船者の見張りの優先順位に影響がある背後要因を把握した。その結果、操船者の見張りの優先順位に影響がある船舶の運航特有のCPC間の依存関係や衝突海難特有のエラーモードと背後要因の関係が明らかとなった。

第4章では操船者の見張りの優先順位に影響がある背後要因を整理したが、一方、それらの背後要因全てに対策とすることは難しい。そこで、第5章では操船者の状況認識を含む意思決定過程をイベントツ

リー表示し重要度評価手法を適用する，衝突海難対策の検討手法について提案し，衝突海難事例の分析から，衝突までの時間が短く，操船者が判断や注視等のタスクを繰り返さない状況において，提案した手法の有効性を示した．また，航路入口における衝突海難事例分析から，衝突の背後要因として他船が自船と一緒に航路に入るだろうという操船者の「思い込み」がある可能性を示した．

第6章では，第3章で示した操船者の見張りの優先順位と継続的に見張りが必要な船舶の条件，また第4章で示した操船者エラーの背後要因を念頭に，第5章で提案した衝突海難対策の検討手法を応用し，見張り不十分が原因とされる衝突海難対策を検討した．その結果を下記に示す．

1. 導入コストやその船橋内で導入の可能性を考慮すると，「情報の事前提供」が見張り不十分が原因とされる衝突海難の抑制に現実的な対策の一つである．
2. 「情報の事前提供」は，他船にまったく気付いてないという見張り不十分を抑制するために有効な対策の一つであるだけでなく，適切なタイミングで定期的を実施することで動静監視不十分を抑制するためにも有効な対策の一つとなると考えられる．
3. シミュレータ実験においてポスターによる情報の事前提供による衝突海難抑制効果を検証した結果，ポスターにより事前に情報を参照した場合，衝突又は衝突に近い状況を避ける割合が高くなることを証明した．したがって，「情報の事前提供」が見張り不十分が原因とされる衝突海難の抑制に有効な対策の一つである．
4. 本論文では，レーダを用いた「情報の事前提供」方法として，操船者の要求の有無に関わらず，見張りの必要がある船舶をレーダで自動捕捉・追尾し，継続的にそれらの船舶の ARPA 情報等を提供する方法を提案する．

以上，本論文では，操船者の状況認識の特徴と，操船者が共通して見張りを行っている，継続した見張りが必要な船舶の条件を明らかにした．さらに，操船者エラーの背後要因について整理するとともに，レーダを用いた衝突海難対策の検討手法及び具体的な対策を提案した．レーダにより継続的に見張りが必要な船舶の自動捕捉・追尾を行い，操船者の意思に関わらず，それらの船舶の情報を連続して事前提供する仕組みが，見張り不十分が原因とされる衝突海難の抑制するために有効な対策の一つである．レーダによる継続的に見張りが必要な船舶の自動捕捉・追尾による情報の事前提供は，レーダにおける船舶画像の捕捉・追尾精度の向上や，AISをはじめとする他の航海機器とからの情報統合技術の進歩により，十分に実現可能な対策であると考えられる．

謝辞

本論文は、国立研究開発法人海上技術安全研究所における先導研究及び重点研究，及び東京海洋大学海洋科学技術研究科博士後期課程在学中に，同大海洋科学技術研究科，竹本孝弘教授のもとで行った研究をまとめたものである。また，本論文に含まれる研究の一部は、JSPS 科研費 若手研究 (B) (No.24760681 & No.15K16304) の助成を受けたものである。

本研究にご理解をいただき，細部に亘るご指導と操船者の立場からの専門的なご助言を賜りました竹本孝弘教授に，心より感謝の意を表します。

また，東京海洋大学海洋科学技術研究科，岡崎忠胤教授には，研究の進め方や本論文の作成に対し貴重なご助言とご指導をいただき，庄司り教授，田丸人意教授には，本論文の作成に際しご指導をいただきました。ここに謝意を表します。

海上技術安全研究所海洋リスク評価系リスク解析研究 (元) グループ長 (現在，日本大学教授)，三友信夫氏，同研究所海洋リスク評価系リスク解析研究グループ長，伊藤博子氏には，操船者の状況認識を分析する研究全般に亘るご助言とご指導を賜りました。また，シミュレータ実験及び CREAM 分析の実施にあたり，同研究所運航・物流系運航解析研究グループ主任研究員，吉村健志氏にご協力をいただきました。ここに心より感謝申し上げます。

SAGAT によるシミュレータ実験の実施にあたりご協力をいただきました，東京海洋大学海洋科学技術研究科，井上一規教授，逸見真教授，國枝佳明教授，東京海洋大学実習船汐路丸船長，鹿島英之船長に，心より感謝の意を表します。

東京海洋大学名誉教授，今津隼馬教授，及び，東京海洋大学海洋科学技術研究科，藤坂貴彦准教授には，レーダにおける船舶画像の自動捕捉アルゴリズム構築にあたり貴重なご助言と，研究活動に対し激励をいただきました。厚く御礼申し上げます。

最後に，大学及び大学院への進学や研究活動全般に亘り，常に応援をしてくれた両親へ，心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 西崎ちひろ, 伊藤博子, 竹本孝弘. 操船者の見張り作業におけるエラーモードの検討. 日本航海学会論文集, Vol. 132, pp. 105–113, 2015.
- 2) Chihiro NISHIZAKI and Takahiro TAKEMOTO. Error detection in the navigational watch based on the behavior analysis of navigators. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav)*, Vol. 9, No. 2, pp. 163–168, 2015.
- 3) Tadatsugi OKAZAKI and Chihiro NISHIZAKI. A study on situation awareness of ship maneuvering simulator training. *International Journal on Emerging Trends in Engineering and Technology (IJETET)*, Vol. 3, No. 1, pp. 21–31, 2015.
- 4) E. Hollnagel. *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)*. Elsevier Science, 1998.
- 5) 西崎ちひろ, 吉村健志, 田村兼吉, 三友信夫. 操船シミュレータを用いた操船行動に関する解析手法. 日本航海学会論文集, Vol. 123, pp. 95–102, 2010.
- 6) Chihiro NISHIZAKI and Hiroko ITOH. Development of a method for ship collision analysis with bridge simulator. *International Journal on Emerging Trends in Engineering and Technology (IJETET)*, Vol. 3, No. 1, pp. 11–20, 2015.
- 7) 西崎ちひろ, 今津隼馬, 藤坂貴彦. レーダ画像処理による船舶映像の抽出に関する研究. 日本航海学会論文集, Vol. 121, pp. 13–18, 2009.
- 8) 西崎ちひろ, 伊藤博子, 吉村健志, 三友信夫. 操船者の避航判断パターンのモデル化による判断エラー発生過程の検討. 日本航海学会論文集, Vol. 125, pp. 55–61, 2011.
- 9) 海難審判庁. 海難審判の現状 (平成 11 年～平成 13 年版), 平成 11 年 9 月～平成 13 年 9 月.
- 10) 海難審判庁. 海難レポート (2002～2008), 平成 14 年 7 月～平成 20 年 7 月.
- 11) 海難審判庁. 海難レポート (平成 21 年度～平成 26 年), 平成 21 年 12 月～平成 26 年 12 月.
- 12) 海上保安庁. 海難の現状と対策について (平成 20 年度～平成 25 年), 平成 21 年 3 月～平成 26 年 3 月.

- 13) H. C. Burmeister, W. Bruhn, and L. Walther. Interaction of harsh weather operation and collision avoidance in autonomous navigation. *International Journal of Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 9, No. 1, pp. 31–40, 2015.
- 14) O. J. Rodseth and H. C. Burmeister. Risk assessment for an unmanned merchant ship. *International Journal of Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 9, No. 3, pp. 357–364, 2015.
- 15) B. J. Vartdal. Revolt - the unmanned, zero emission short sea ship of the future. In *Proceedings of International Seminar of Practical Use of Marine Big Data - for creating new business opportunities* -, pp. 55–72. Japan Ship Technology Research Association, 2015. presentation No.3.
- 16) 今津隼馬, 浦環. 船舶運航時におけるニアミス事例について. 日本航海学会論文集, Vol. 100, pp. 67–73, 1999.
- 17) 今津隼馬, 浦環. 船橋運航作業におけるニアミス原因. 日本航海学会論文集, pp. 119–126, 2000.
- 18) 村山義夫, 山崎祐介, 遠藤真. 未然事故調査試行結果について. 日本航海学会論文集, Vol. 98, pp. 257–264, 1998.
- 19) 山崎祐介, 村山義夫, 遠藤真. 未然事故調査試行結果と事故との比較. 日本航海学会論文集, Vol. 100, pp. 245–251, 1999.
- 20) 山崎祐介, 村山義夫, 遠藤真. 海難に係る要因の関連について. 日本航海学会論文集, Vol. 101, pp. 55–63, 2000.
- 21) Y. Murayama, Y. Yamazaki, and M. Endo. Investigation system for safety management applying multivariate contingency analysis on human errors of maritime casualties. *Proc. Int. TQM and Human Factors*, Vol. 2, pp. 259–264, 1999.
- 22) 村山義夫, 山崎祐介, 遠藤真, 小林弘明. 操船事故の人的要因調査について. 日本航海学会論文集, Vol. 102, pp. 173–181, 2001.
- 23) 乾宣行, 西村知久, 小林弘明. 避航操船における操船情報と操船者行動の関係. 日本航海学会論文集, Vol. 113, pp. 9–15, 2005.
- 24) 遠藤真, 山崎祐介. 避航操船における操船者の取得する視覚情報について : 昼, 夜の影響. 日本航海学会論文集, Vol. 86, pp. 29–37, 1992.
- 25) 久保田崇, 清水谷龍, 芋生秀作, 河口信義. 航海者の避航意志決定過程に関する研究 : シミュレーターを用いた認知実験 (<特集>アジア航海学会). *Navigation : 日本航海学会誌*, Vol. 159, pp. 95–99, 2004.

- 26) 小林弘明, 濱田俊秀, 片岡高志. 操船シミュレータによる海難の事故分析に関する研究: 第拾雄洋丸とパシフィック・アレス衝突事件について. 日本航海学会論文集, Vol. 98, pp. 151-159, 1998.
- 27) 西村知久, 小林弘明. 避航操船における見張り特性に関する研究-i. 日本航海学会論文集, Vol. 118, pp. 299-305, 2008.
- 28) F. Kaneko. Effectiveness of separation scheme for prevention of collision by diminishing ships. *Proc. Int. Conf. on Collision and Grounding of ships*, 2004.
- 29) 西村知久, 小林弘明. 避航操船における見張り特性に関する研究-ii. 日本航海学会論文集, Vol. 120, pp. 81-88, 2009.
- 30) 西村知久, 弘明小林. 船舶交通流中を航行する船舶に対する避航操船特性. 日本航海学会論文集, Vol. 126, pp. 31-37, 2012.
- 31) Mica R. Endsley. Situation awareness global assessment technique (sagat). *Proceedings of the National Aerospace and Electronics Conference 1988 (NAECON 1988)*, Vol. 3, pp. 789-795, 1988.
- 32) 井上一規, 岡崎忠胤, 村井康二, 林祐司. 操船シミュレータ訓練時の状況認識計測についての基礎研究. 日本航海学会論文集, Vol. 126, pp. 11-18, 2015.
- 33) 安藤英幸, 大和裕幸, 角田領. 操船作業における船員のワークロード評価シミュレーション. 日本造船学会講演会論文集, Vol. 4, pp. 113-114, 2004.
- 34) 内野明子, 小林弘明. 船舶操縦におけるワークロードとヒューマンエラーの発生. 日本航海学会論文集, Vol. 126, No. 126, pp. 65-72, 2012.
- 35) 小林弘明, 高山正道. 移動体制御における人間の操縦特性の研究. 日本航海学会論文集, Vol. 85, pp. 63-69, 1991.
- 36) 小林弘明. 操船情報と操船能力について. 日本航海学会論文集, Vol. 88, pp. 41-48, 1993.
- 37) 長畑司. 避航の判断と操船者の特性. 日本航海学会論文集, Vol. 48, pp. 77-85, 1972.
- 38) 八田一郎. 避航開始時機に関する研究. 航海訓練所調査研究諸報, pp. 83-93, 2002.
- 39) 渚真輝, 古莊雅生, 藤本昌志, 白井伸之介. 操船方略の経験による違い. 日本航海学会論文集, Vol. 117, pp. 199-206, 2007.
- 40) 渚真輝, 藤本昌志, 白井伸之介, 岩崎裕行. 保持船の動作判断時機について. 日本航海学会論文集, Vol. 119, pp. 137-143, 2008.
- 41) 山崎祐介. 見張り不十分に因る船舶間衝突の実態について: 海難構造の分析. 日本航海学会論文集, Vol. 90, pp. 321-330, 1994.
- 42) 井上欣三, 原潔, 金子光浩, 増田憲司. 操船者の危険感に基づく操船環境の評価: 評価指標としての

- 環境ストレス値の定義. 日本航海学会論文集, Vol. 95, pp. 147-153, 1996.
- 43) 福地信義, 篠田岳思, 小野隆弘. 緊張ストレス環境における海洋事故の状態遷移と安全性評価:(その1) 緊張ストレスと心拍変動. 日本造船学会論文集, Vol. 188, pp. 465-478, 2000.
- 44) 福地信義, 篠田岳思, 小野隆弘, 田村由佳. 緊張ストレス環境における海洋事故の状態遷移と安全性評価:(その2) 事故までの推移と安全対策. 日本造船学会論文集, pp. 671-683, 2001.
- 45) IMO. *MSC83INF2*. 2007.
- 46) 篠田岳思, 由佳田村. 人的要因を考慮した衝突海難のリスク解析に関する研究: 漁船と大型船の衝突事故への適用. 日本航海学会論文集, Vol. 124, pp. 11-19, 2011.
- 47) 篠田岳思, 下川和宏, 田村由佳. ベイジアンネットワークを適用した漁船と大型船の衝突海難のリスク解析に関する研究. 日本航海学会論文集, Vol. 127, pp. 165-174, 2012.
- 48) 林喜男. ヒューマンエラー研究の動向. 電気学会論文誌D (産業応用部門誌), Vol. 112, No. 4, pp. 327-332, 1992.
- 49) 竹本孝弘, 阪本義治, 嶋田博行, 古荘雅生. 衝突海難事故における人的エラーの分類について. 日本航海学会論文集, Vol. 106, pp. 39-46, 2002.
- 50) 竹本孝弘, 阪本義治, 古荘雅生, 嶋田博行. 衝突海難事故における人的エラーの発生形態. 日本航海学会論文集, Vol. 110, pp. 109-116, 2004.
- 51) 竹本孝弘, 阪本義治, 古荘雅生, 嶋田博行. 衝突海難事故における人的エラーの数量化. 日本航海学会論文集, Vol. 113, pp. 85-91, 2005.
- 52) 芳賀繁. ヒューマンエラーの基礎知識: ヒューマンエラーとは何か. 労働安全衛生広報, 2012.
- 53) A. D. Swain and H. E. Guttman. *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*. NUREGCR-1278, 1983.
- 54) J.Reason(著者), 林喜男(翻訳). ヒューマンエラー 認知科学的アプローチ. 海文堂出版, 1994.
- 55) 小松原明哲. ヒューマンエラー Human Error 第2版. 丸善株式会社, 平成22年.
- 56) Frank H. Hawkins, 石川好美. ヒューマン・ファクター: 航空の分野を中心として. 成山堂書店, 1992.
- 57) 黒田勲. ヒューマン・ファクターを探る: 災害ゼロへの道を求めて. 安全衛生新書. 中央労働災害防止協会, 第2版, 1988.
- 58) ICAO. Circular 241-an/145, 1975.
- 59) 河野龍太郎. 原子力発電所におけるヒューマンファクター. 高圧ガス, pp. 36-43.
- 60) 伊藤博子, 三友信夫, 松岡猛, 室原陽二. m-shel モデルを用いた船舶運航のヒューマンファクター分析. 日本航海学会論文集, Vol. 110, pp. 83-91, 2004.

- 61) 古田一雄, 日本原子力学会ヒューマン・マシン・システム研究部会. ヒューマンファクター 10 の原則 : ヒューマンエラーを防ぐ基礎知識と手法. 日科技連出版社, 2008.
- 62) 警視庁交通局. 平成 26 年度中の交通事故の発生状況, 平成 27 年.
- 63) 大津山卓哉, 小瀬木滋, 伊東恵理. 飛行実験による航空機監視応用システム (asas) の一検討, 2014.
- 64) 衣川仁, 中住真也. 新交通ゆりかもめ豊洲延伸における運行管理システム更新, 2004.
- 65) 人間と工学研究連絡委員会. 安全工学専門委員会報告. 交通事故調査のあり方に関する提言—安全工学の視点から—. 日本学術会議, 平成 12 年.
- 66) 国土交通省海事局監修. 最新 海事法規の解説 (24 訂版). 成山堂書店, 平成 16 年.
- 67) 運輸安全委員会 hp. <http://www.mlit.go.jp/jtsb/>, 2015.10.14.
- 68) 海上保安庁. 海上保安統計年報 平成 26 年 第 65 巻.
- 69) みずほ情報総研株式会社. 国内における事故調査等の実施に関する調査報告書. 平成 22 年度.
- 70) 国土交通省. 平成 26 年度海事レポート, 2014 年 7 月. 第 2 部 第 1 章 海上交通分野 内航船舶の推移.
- 71) 農林水産省. 水産の動向に関する年次報告 (平成 15 年度~平成 16 年度), 平成 16 年~平成 17 年.
- 72) 農林水産省. 「平成 17 年度 水産の動向」及び「平成 18 年度 水産施策」, 平成 18 年. 第 1 部 参考付表 IV 漁村.
- 73) 農林水産省. 「平成 18 年度 水産の動向」及び「平成 19 年度 水産施策」, 平成 19 年.
- 74) 農林水産省. 水産白書 (平成 19 年度~平成年度), 平成 20 年~平成 27 年.
- 75) 稲垣敏之. リスクの認知と意思決定. 知能と情報 : 日本知能情報フuzzy学会誌 : journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics, Vol. 15, No. 1, pp. 20-28, 2003.
- 76) Mica R. Endsley. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, Vol. 37, No. 1, pp. 32-64, 1995.
- 77) 石谷清幹, 中西重康, 加治増夫. 安全技術における確率的法則. 安全工学, 1980.
- 78) 小林弘明, 遠藤真. 船舶避航操縦の解析 : 人間・機械系解析の観点より. 日本航海学会論文集, Vol. 56, pp. 101-109, 1976.
- 79) 原潔. 輻輳海域における避航操船基準の有効性. 日本航海学会論文集, Vol. 85, pp. 33-40, 1991.
- 80) 原潔, 長澤明, 中村紳也. 海上交通状況に関する操船者の主観的危険度評価. 日本航海学会論文集, Vol. 83, pp. 71-80, 1990.
- 81) 国立研究開発法人海上技術安全研究所人間を対象とする実験に関する倫理及び安全管理規定. <http://www.nmri.go.jp/disclosure/>, 2016.2.29.
- 82) 国立研究開発法人海上技術安全研究所 人間工学実験取扱細則.

<http://www.nmri.go.jp/disclosure/>, 2016.2.29.

- 83) Jun KAYANO, Chihiro NISHIZAKI, Hayama IMAZU, and Koji MURAI. *A Study on Analysis of Characteristics of Ships Navigators' Look-out by Using OZT*, pp. 274–279. Proceedings of 10th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE2015), 2015.
- 84) 吉村健志, 伊藤博子, 丹羽康之, 福戸淳司. 長距離トラック運転における不安全運転行動の検出技術に関する研究. 産業保健人間工学研究, Vol. 7, pp. 146–149, 2005.
- 85) 村松健. 軽水炉の確率論的安全評価 (psa) 入門、第 3 回内的事象レベル 1psa. 日本原子力学会誌, Vol. 48, pp. 409–416, 2006.
- 86) 村井康二, 河口信義, 三好雄一. ウェーブレット変換によるレーダ受信信号の処理: 海面反射の除去. 日本航海学会論文集, Vol. 90, pp. 33–42, 1994.
- 87) 小塚孝徳, 林尚吾, 外岡幸吉, 竹内毅. Arpa の性能を向上させるレーダ信号処理について. 日本航海学会論文集, Vol. 95, pp. 35–43, 1996.
- 88) 中嶋鮎子, 庄司るり, 大島正毅. レーダ画像を用いたフロー解析による船舶の自動追跡. 日本航海学会論文集, Vol. 113, pp. 43–51, 2005.