操船者の見張り作業におけるエラーモードの検討

西崎 ちひろ¹・伊藤 博子²・竹本 孝弘³

A Study on Error Modes in Officers' Watch Keeping Based on the Behavior Analysis

Chihiro NISHIZAKI, Hiroko ITOH and Takahiro TAKEMOTO

Abstract

Navigator error is estimated to cause about 79% of all ship collisions in Japan. It is highly possible that there are many navigators' errors not leading to serious ship collisions. To understand navigator errors, an experimental study on navigator erroneous behavior in navigational watch-keeping was conducted. By use of a cognition and activity model for watch-keeping task, which is developed based on Endsley's situation awareness model, we analyzed navigators' skills to focus attention on a ship with collision hazard.

Two types of errors that may cause ship collisions were identified, and their causing factors were discussed. One of identified errors was delay of perception, and this error meant that navigators detected a ship with collision hazard late. Another error was oversight, and this error meant that navigators did not pay attention to proper ship.

Keywords : *accident, marine accidents, watch keeping, situation awareness, error modes*

キーワード: 事故、海難、見張り、状況認識、エラーモード

1. 緒論

見張り不十分をはじめとする人的要因が原因とされる衝突海難は多数発生しており、その防止のために様々な研究が進められている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。また、事故には至らないまでも、事故に結びつく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おり、村山らは、操船者における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、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⁽⁴⁾。

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おり、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。筆者らは、操船者の見張り行動分析から、衝突海難を引き起こす可能性のある操船者の行動（以下、エラーと呼ぶ）を特定する手法を提案

した⁽⁵⁾。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、重大な衝突海難を抑制するための対策を検討できると考えられ、特定したエラーの発生率は、対策の順番を決める際に有効な情報と考えられる。提案した手法では、操船シミュレータ実験において操船者の見張り行動を観察し、あらかじめ選定した見張りを行うべき船舶が監視されているかどうかを評価する。エラーの特定で重要なことは、操船者が継続的な見張りが必要と考える船舶が、見張りを行うべき船舶として適切に選定されていることである。しかし、これまでの研究では、エラーの特定という目的に即した船舶が、見張りを行うべき船舶として選定されているという保障がないという問題があった。

そこで本研究では、衝突の危険度を評価する指標

¹ 正会員 (独)海上技術安全研究所 運航・物流系 (〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1) chihiro@nmri.go.jp

² 正会員 (独)海上技術安全研究所 海洋リスク評価系

³ 正会員 東京海洋大学 海洋工学部

の中から、この目的に即した見張りを行うべき船舶を選定できる指標を導入したため、これについて述べる。本研究は、その指標を用いて、操船シミュレータ実験における操船者の見張り行動が適切かどうかの再評価を行い、複数の船舶に遭遇する状況における操船者のエラーの特定とその発生率を示すことを目的とする。エラー対策の検討には、その発生過程と発生条件を明らかにする必要がある。筆者らは、エラーの発生過程を説明する目的で、操船者の状況認識モデルを作成した⁽⁵⁾⁽⁶⁾。本研究で特定するエラーの発生過程は、このモデルを用いて説明する。

2. 操船者が見張りを行うべき船舶及び分析対象とする操船者のエラー

2.1 見張りを行うべき船舶の選定

衝突の危険度を評価する指標は、各種提案がされている。小林らが提案する CJ 値は、1 対 1 の見合い関係における衝突危険度を示す指標であり、自船からの距離・相対方位を用いて計算される⁽⁷⁾。原らが提案する SJ 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示す指標である。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⁽⁸⁾。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⁽⁹⁾。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⁽⁹⁾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、本研究での「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(1)、注意領域に含まれる船舶は式(2)で選定される。

$$\dot{\omega} \leq \alpha \cdot R^{\beta} \quad (1)$$

$$\alpha \cdot R^{\beta} < \dot{\omega} \leq \gamma \cdot R^{\delta} \quad (2)$$

ここで、

$\dot{\omega}$: 相対方位変化率 (deg./min.)

R : 自船からの距離 (m)

また、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ は重み係数で、他船の通航状態により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 1800m 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 3400m 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定義される。

$$\begin{aligned} \alpha &= 4.5 \times 10^5, & \beta &= -1.7 \\ \gamma &= 5.8 \times 10^5, & \delta &= -1.7 \end{aligned} \quad (3)$$

他船が自船の船首を通過した後では、危険領域に含まれる船舶は、自船からの距離が 1500m 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 3700m 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定義される。

$$\begin{aligned} \alpha &= 3.0 \times 10^5, & \beta &= -1.7 \\ \gamma &= 1.9 \times 10^5, & \delta &= -1.6 \end{aligned} \quad (4)$$

2.2 操船者の状況認識モデル及び分析対象とする操船者のエラー

図 1 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 4 章と 5 章で詳しく述べる。図 1 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 1 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、

図1 操船者の見張り状況の一例

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1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。

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2に示す⁽⁵⁾⁽⁶⁾。これは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）⁽¹⁰⁾を基に作成したもので、図2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2(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2(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2(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2(3)～(6)）。

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2(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2(11)(12)）。継続した見張りが

図2 操船者の状況認識モデル

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2(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2(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、本研究では「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。

3. 操船者エラーの特定及び発生過程の検討手順

複数の船舶に遭遇する状況における操船者のエラーを特定し、その発生過程を検討するための手順を、以下に示す。

- (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における、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変化（監視リスト内部の時間的変化）、避航時刻を明らかにする。
- (4) 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。
- (5) 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。

4. 実験

4.1 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

図3 実験シナリオI及びIIIの相対的な航跡

図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)

が分かる。図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。

4.2 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。実験中、被験者は下記の3点のタスクを行うこととした。

- (ア) 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
- (イ) 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

- (ウ) 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された赤外線カメラにより撮影し、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レコーダにより記録した。

5. 結果

5.1 エラーの特定結果

図5、図6、図7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(黒色のクロスシンボル)、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(破線)、目視による発見以外の報告時刻(黒色の丸)である。四角と直線を組み合わせたシンボルは、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(イ)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5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6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7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変化と、見張りを行うべき船舶の発生時刻を比較したところ、見張り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、見張りを行うべき時間帯となってから、1分以上、見張りを行うべき船舶の監視をはじめる時刻が遅れることを「①気づき遅

図5 被験者 A の他船に対する見張り行動の時間推移 (実験シナリオ III)

図6 被験者 B の他船に対する見張り行動の時間推移 (実験シナリオ III)

図7 被験者 C の他船に対する見張り行動の時間推移 (実験シナリオ I)

れ」、見張りを行うべき船舶をまったく監視しないことを「②見落とし」と定義し、これらを操船者のエラーとした。図6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7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5及び図7において、S1は被験者が避航行動をとるまで、継続して見張りを行うべき船舶として選

図8 見張りを行うべき船舶の評価領域と被験者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評価結果

定されている。一方、図6では、S1は840秒前後で見張り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8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は距離が近づくにつれ、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8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。参考文献(9)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8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。そこで本研究では、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

表1 見張り作業におけるエラー
(気づき遅れ及び見落とし)の発生件数

		実験実施回数 (回)	分析を行った船舶数 (実験回数×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)
シナリオ 番号	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

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1に示す。表1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。本研究で用いた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、衝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。

5.2 エラーの発生要因の検討

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7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。

5.3 エラーの発生過程の検討

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2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⁽¹¹⁾。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、見張りをを行うべき船

船が監視されなかった要因は、下記に示す2つが考えられる。

- ① 監視リストの全体の更新がされず、見張りを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7では、見張りをを行うべき船舶(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7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。

- ② 見張りをを行うべき船舶が、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6では、見張りをを行うべき船舶(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。

5.4 エラーの発生条件の検討

見張りを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2は、見張りを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

表2 エラー発生時に見張りが集中する船舶の特徴

	見張りをを行うべき船舶		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

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、本研究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。

6. 考察

見張りの優先順位は、操船者のエラーの背後要因を検討する上で、一つの重要なテーマであると考えられる。操船シミュレータ実験による操船者の行動分析では、見張りを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るが、複数の船舶が監視リストに入っている場合、正確な見張りの優先順位の把握は難しいと考えられる。操船者の状況認識モデルを用いることで、見張りの優先順位や、優先順位を決めた際の判断について予測は可能であり、エラー対策の検討にも利用できると考えられる。また、見落とし・気づき遅れの様な特定のエラーについて対策をとることで、新たに別のエラーが発生する可能性もあるが、それらのエラーの影響や対策についても、操船者の行動分析による評価やこのモデルを用いた検討が可能と考えられる。

7. 結論

本研究では、操船シミュレータ実験における操船者の行動分析から、見張りをを行うべき船舶が適切な時刻に継続的に監視されているかどうかの評価を行った。見張りをを行うべき船舶の選定には、衝突危険度評価式を用いた。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 「気づき遅れ」と「見落とし」という2つの、事故に結びつく可能性のある操船者の行動(エラー)を特定し、実際に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) 本研究で用いた 10 種類の実験シナリオでは、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の発生率は、約 21%であった。
- (3) 本研究における、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。

操船者の行動分析によるエラーの特定と操船者の状況認識モデルを用いたエラーの背後要因の検討は、衝突海難の抑制に繋がるエラー対策の検討に有効な手法の一つと考えられる。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費若手研究 (B) (15K16304) の助成を受けたものである。

参考文献

- (1) 山崎祐介：見張り不十分に因る船舶衝突の実態について，日本航海学会論文集，Vol.90，pp.321-330，1993.
- (2) 竹本孝弘・阪本義治・嶋田博行・古莊雅生：衝突海難事故における人的エラー分類について，日本航海学会論文集，Vol.106，pp.39-46，2001.
- (3) 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「第十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.
- (4) 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.
- (5) 西崎ちひろ・伊藤博子・吉村健志・疋田賢次郎・三友信夫：見張り作業におけるエラーモードの抽出及び発生原因の検討，日本船舶海洋工学会講演会論文集，Vol.11，pp.353-356，2010.
- (6) Kenji YOSHIMURA, Kenjiro HIKIDA, Hiroko ITOH, Chihiro NISHIZAKI and Nobuo MITOMO: A Method for Quantifying the Risks of Human Error from Experiments with the ship Bridge Simulator, Proceedings of Fifth International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, pp.86-92, 2012.
- (7) 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.
- (8) 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.
- (9) 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.
- (10) Endsley, M.R. : Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems, The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, Vol.37, Issue 1, pp.32-64, 1995.
- (11) 安藤英幸他・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.113-11，2004.