制限水域航行時の異常事態発生に対する操船者の行動

内野 明子*・小林 弘明**

Human Behaviour toward Extraordinary Situation for Navigation in Restricted Water Area

Akiko UCHINO and Hiroaki KOBAYASHI

Abstract

The success of maneuvering at sea does not only heavily depend on an environment but also human navigators, especially in extraordinary situations. That is, unsafe maneuvering occurs in the situations where navigators have not fulfilled their tasks sufficiently. In this paper, we studied human behaviour leading up to specific situations, where rudder trouble makes human navigators lose their maneuvering ability in the fairway; this fairway has some traffic consisting of other ships. The situation disturbs the ability of the navigators to navigate successfully and causes a potential for unsafe situations to develop. We analyzed some factors consisting of human navigators' behaviour and various situations by using the data of 26 Bridge Team Management training teams. Then we obtained some correlations between some factors and human behaviour on maneuvering before and after the trouble, and clarified structure of the changing maneuvering process using Fault Tree Analysis. As a result, we obtained the primary factors of human behaviour in extraordinary situations and countermeasures based on it.

Keywords : Human behaviour, Extraordinary situations, Bridge Team Management(BTM), Fault Tree Analysis

キーワード : 行動特性, 異常事態, ブリッジチームマネジメント (BTM), Fault Tree Analysis

1. はじめに

異常事態の発生は、システムが本来の機能を果たす通常状態の正常な進行を妨げ、これを回避するための対処はその後の状況の安全性を左右することになる。船舶運航で、周囲に複数の航行船舶が存在する制限水域の航行には、本船の船位を適切に制御できる操船機能の確保が不可欠である。操船機能を喪失させる異常事態の発生は、操船機能の復帰だけでなく、本船を取巻く全ての操船状況を包含した対処を必要とし、操船者の対処行動は非常に重要となる。

そこで、本論では制限水域航行時の舵故障発生に対する操船者の行動特性を検討する。故障の発生前から発生後へ到る操船者の行動と操船状況との対応から、操船者の行動の要因と推移過程を、Fault Tree Analysis を用いて分析し、異常事態の適切な対処に必要な要件を明らかにする。

2. 操船者の行動

操船者の行動特性を求めるために、設定の状態に対して操船者がどのように行動するのかを調査する。

2.1 操船技術の要素技術展開と操船行動

操船者は、操船の状況に応じて遂行すべき仕事を課される。これに対応する技術が操船技術である。操船技術は、操船者の行動として操船の場で機能することになる。操船技術は、Table 1 のような操船の基軸となる 9 種類の要素技術に展開できる⁽¹⁾とされている。ゆえに、操船者は必要に応じて要素技術を組み合わせて操船していることになる。本論では、9 種類の要素技術から、Table 2 に示す、制限水域航行で重要な 6 種類を操船行動として取上げることにした。ただし、Table 1 の Emergency Treatment は、通常状態の行動との区別をより明確にするために、Table 2 のとおり Extraordinary reaction とした。

* 正会員 東京都立工業高等専門学校 (〒140-0011 東京都品川区東大井 1-10-40) uchino@tokyo-tmct.ac.jp

** 正会員 東京海洋大学海洋工学部 kobayashi@e.kaiyodai.ac.jp

Table 1. Elemental Technique for Safe Navigation

1	Positioning	The technique to fix the position of own ship by selecting and recognizing proper obstacles by visual observation, radar, etc.
2	Lookout	The technique to identify and recognize the moving targets and the fixed targets and to gather information of direction, distance and speed and to estimate the future situation of the targets
3	Maneuvering	The technique to control course, speed and position of own ship by steering rudder and controlling main engine, etc.
4	Instrumental Manipulation	The technique to properly utilize instruments for lookout, positioning, maneuvering, etc.
5	Communication	The technique to exchange information among members in bridge and inside and/or outside of the ship
6	Rule of Road	The technique to navigate according to the regulations for preventing collision at sea, etc.
7	Planning	The technique to gather information concerning the navigational environment conditions and to make an operational plan and a navigational plan
8	Emergency Treatment	The technique to repair malfunction of main engine and steering system, etc. and react to activity properly
9	Management	The technique to make good use of members' ability and raise the bridge team's performance, etc.

Table 2. Categories of Behaviour

	Categories	Aim
1	Positioning	to obtain information to estimate the position of own ship to ascertain the position of own ship
2	Lookout	to ascertain the situation of surrounding area
3	Maneuvering	to utilize the steering rudder and main engine
4	Communication	to exchange information with each other to estimate the future situation to instruct the specific procedure of other ship to keep a safe distance
5	Planning	to make and decide an operational and a navigational plan
6	Extraordinary reaction	to react toward extraordinary situations

2.2 ブリッジチームによる操船行動

ブリッジチームによる操船では、操船者が遂行すべき仕事を複数の航海士が分担して行う。これは、航海士間で状況に対する認識を共有して操船する必要があることを示している。したがって、必要な情報は航海士の口頭によって伝達され、操船行動に反映されることになる。

単一の航海士による操船では操船行動の意図が推定しにくいのに対し、複数の航海士による操船では、伝達される情報の内容が表面に現れて、操船行動の意図を推定し易くなる。ゆえに、ブリッジチームによる操船行動を検討対象とする。航海士の口頭による情報伝達一回を操船行動一回と数えることにした。そして、操船局面から推定される操船行動の意図と Table 2 に示した目的との対応から、いずれの

操船行動に属するのかを判断する。

2.3 検討対象の操船行動

操船行動を取得するにあたり、検討対象とした操船者は、現役の船長および航海士である。現役の操船者による操船行動であることから操船技術のレベルは一定の域に達している。したがって、行動特性を求める上で、技術レベルの影響を最小限に抑えて、異常事態に対する操船行動を一定の特性として求めることができる。検討に用いたデータは、BTM 訓練の一環で行った 26 ブリッジチームが同一の状態に対して行った操船で、ブリッジの状況を撮影した音声入りのビデオをはじめ、操作量、本船運動の時系列データ、BTM 訓練結果等である。

3. 異常事態

3.1 異常事態の定義

一般に、異常事態とは、「システムが何らかの原因によって通常ではない状態となり、通常状態に復帰させるためには何らかの対処が必要な状態」と定義されている。

3.2 異常事態の設定

3.2.1 予期せぬ事態としての異常事態の発生

本論では、異常事態として、操船シミュレータによる BTM 訓練のシナリオのひとつを取上げた。本船の周囲に複数の航行船舶が存在する制限水域航行時に舵故障が発生するシナリオである。BTM 訓練において、操船者は操船中に発生する具体的なイベントについて、一切知らされてはいない。したがって、操船者は異常事態の発生に対する準備をしてはいない。現実の異常事態の発生時と同様に、予期せぬ事態に対処することになる。

3.2.2 異常事態の発生状態

Fig.1 は、異常事態の発生状態である。「本船は中ノ瀬航路を北上して木更津沖錨地へ向う」とだけ操船者は認識している。初期状態は、針路 20 度、速力 12 ノット、スタンバイ Full Ahead エンジンで、海潮流はなく、風力は穏やかで、視界は良好である。

Fig.1 Extraordinary situation in this paper

▲は本船で、△は周囲の航行船舶である。実線の実線は中ノ瀬航路で、四角形の角に付した●は航路出口のブイである。航路中央を通過して右へ折れる実線は、本船の計画航路線である。

本船の後方数ケーブルには同航船が航行中で、本船の前方数ケーブルの計画航路線近傍には複数の漁船から成る漁船群が操業中である。計画航路線の更

に前方には、近い将来に考慮すべき見合い関係を生じる恐れのある横切り船が、木更津方面より出港して接近しつつある。

本船は漁船群を右舷側に見て、航路出口手前から錨地に向けて大きく右転を開始する。この時に、舵故障が発生する。操船者は異常事態発生を知らせるアラームと No.1 Steering Gear No Voltage のランプ点灯によって舵故障の発生を知る。本船は Non Follow Up モードでの使用のみ操舵可能という状態である。錨地へ向けて大きく右転しようと舵角を取っている時点での舵故障のため、何らかの対処をしないと舵角を大きく取ったまま本船は進出することになる。これは、漁船群との衝突や航路を逸脱して航路近傍に点在する浅瀬への座礁に繋がる。

4. 操船行動の分析

異常事態の発生に対する操船者の行動特性を求めるために、26 ブリッジチームのデータについて、6 種類の操船行動に基づく分析を行った。

4.1 故障発生後に優先される操船行動

制限水域航行中の船位制御を妨げる舵故障の発生は、可航域が制限されることから危険な状態に到るまでに残された時間は限定される。したがって、舵故障発生後、操船者は緊急性が高いと判断した行動から実行すると考えられる。

Fig.2 Comparison between each passing time from the trouble to the first behaviour after the trouble

Fig.2 は、26 ブリッジチームの操船行動について、各操船行動の故障発生時点から故障発生後最初の実行時点までの経過時間を比較したものである。横軸は操船行動で、縦軸は経過時間について平均値とメ

ディアンそして標準偏差を示している。経過時間が短く故障発生後早い時点で実行される操船行動は、チーム間のばらつきが小さい。逆に、経過時間が長く故障発生後早い時点では実行されない操船行動は、チーム間のばらつきが大きい。これらの比較から、故障発生時点から故障発生後最初に操船行動が実行されるまでの経過時間には、操船行動間で明確な差のあることがわかる。更に、この差から、故障発生後必ず行なわれる **Extraordinary reaction** に次いで優先して実行される操船行動は、多くのチームで共通に **Maneuvering** であることがわかる。

4.2 故障発生後に優先される Maneuvering

故障発生後に優先される **Maneuvering** は、航行方向を制御する **Rudder** 操作と、航行速度を制御する **Engine** 操作とに大別することができる。Fig.3 は、横軸に並べた各チームがとった操船行動の故障発生

時から故障発生後最初の実行時点までの経過時間を縦軸で示している。■印は **Rudder** 操作で、●印は **Engine** 操作である。

Rudder 操作は、ほぼ全てのチームで共通に故障発生後早い時点で実行されていることがわかる。

Rudder は故障発生箇所であり、その影響を早い時点から修正しようとしていると考えられる。

これに対して **Engine** 操作は、故障発生後早い時点で実行するチーム群のある一方、すぐには **Engine** 操作を必要としなかったチーム群のあることがわかる。すなわち、同様の異常事態の発生に対して、**Engine** 操作の実行時期がチームによって大きく異なることになる。**Engine** 操作は、本船の進出距離を左右し、故障発生後の制限された時間において特に重要な選択である。したがって、異常事態発生に対する操船者の行動特性として、故障発生後の **Engine** 操作に着目することにした。

Fig.3 Comparison between Maneuvering for Rudder and Maneuvering for Engine

4.3 故障発生前の操船行動と故障発生後の Engine 操作との関係

故障発生後の操船行動の中で特に顕著な傾向を示した **Engine** 操作について、その実行時期を左右する要因を検討する。一般に、行動は行動前の状況に対して必要であると判断した機能を達成するために実行される。このことから、故障発生前の行動と **Engine** 操作との関係を検討する。

4.3.1 故障発生前最後の Positioning による本船の船位・運動把握時点との関係

周囲に複数の航行船舶の存在する制限水域の航行には、本船の船位を適切に制御できる操船機能の確保が不可欠である。この操船機能を達成する操船行

動のひとつは **Positioning** である。操船者は、**Positioning** によって本船の船位・運動を把握する。この点から、舵故障発生前の **Positioning** の遂行状況に着目した。

故障発生前において最後に実行された **Positioning** の実行時点から故障発生時までの経過時間は、故障発生時に本船についてどの程度最新の船位・運動を十分に把握していたかを示す尺度になると考えられる。この経過時間で示す故障発生前最後の **Positioning** 実行時点と、故障発生後最初の **Engine** 操作時点との関係を Fig.4 に示す。

Fig.4 は、26 チームのデータ全体の傾向を把握するために、横軸 1 分間隔毎に縦軸の平均値を算出してプロットし、傾向を示している。縦軸は故障発生

前最後の Positioning 実行時点を、横軸は故障発生後最初の Engine 操作時点を示している。故障発生後早い時点で Engine 操作が実行される時は、故障発生前最後の Positioning 実行時点からの経過時間が長い。逆に、故障発生後早い時点では Engine 操作が実行されない時は、故障発生前最後の Positioning 実行時点からの経過時間が短いことがわかる。最小二乗法により、この傾向を表す近似線を定義すると直線のようになる。

Fig.4 Correlation between Positioning before the trouble and Maneuvering for Engine after the trouble

したがって、故障発生後の Engine 操作の実行時期は、故障発生前の Positioning による故障発生時の本船の船位・運動把握状況に依存すると考えられる。

4.3.2 故障発生前最後の Lookout または Communication による周囲船舶の動静把握時点との関係

Positioning と同様に、制限水域の航行に必要な操船機能を達成する操船行動に Communication および Lookout がある。操船者は、VHF 等を用いて周囲船舶等と情報交換を行う Communication と Lookout とを必要に応じて組み合わせて、周囲船舶の動静を把握する。したがって、故障発生前最後の周囲船舶の動静把握時点を Fig.5 のように考えることにした。

Fig.5 は、左から右へと時間が進行することを示している。 $t_{\text{Communication}}$ は、故障発生前最後に実行された Communication の実行時点から故障発生時点までの経過時間を示している。同様に、 t_{Lookout} は、故障発生前最後に実行された Lookout の実行時点から故障発生時点までの経過時間を示している。操船者は、Communication と Lookout とを組み合わせて周囲の航行船舶の動静を把握することから、 t_{Lookout}

と $t_{\text{Communication}}$ のうち、より故障発生時点までの経過時間の短い一方を故障発生前最後の周囲船舶の動静把握時点として、故障発生時に周囲船舶の動静をどの程度十分に把握していたかを示す尺度になると考えられる。これを両者のうちで最小値をとる意味から $\min(t_{\text{Lookout}}, t_{\text{Communication}})$ と示す。

Fig.5 the meaning of each point of time to carry out each behaviour

$\min(t_{\text{Lookout}}, t_{\text{Communication}})$ で示す故障発生前最後の周囲船舶の動静把握時点と、故障発生後最初の Engine 操作時点との関係を Fig.6 に示す。

Fig.6 Correlation between Lookout or Communication before the trouble and Maneuvering for Engine after the trouble

縦軸は故障発生前最後の Communication および Lookout による周囲船舶の動静把握時点を示し、横軸は故障発生後最初の Engine 操作時点を示している。故障発生後早い時点で Engine 操作が実行される時は、故障発生前最後の周囲船舶の動静把握時点からの経過時間が長い。逆に、故障発生後早い時点

に Engine 操作が実行されない時は、故障発生前最後の周囲船舶の動静把握時点からの経過時間が短いことがわかる。最小二乗法により、この傾向を示す近似線を定義すると直線ようになる。

したがって、故障発生後の Engine 操作の実行時点は、Positioning と同様に、故障発生前の Communication および Lookout による故障発生時の周囲船舶の動静把握状況に依存すると考えられる。

4.3.3 故障発生前最後の本船舶位・運動および周囲船舶の動静把握時点との関係

前項より、故障発生後最初の Engine 操作時点は、故障発生前において制限水域航行に必要な Positioning による本船の船位・運動把握と、Communication および Lookout による周囲船舶の動静把握の遂行状況に依存すると考えられることから、これらを併せて検討することにした。

故障発生前最後に実行された Positioning の実行時点から故障発生時点までの経過時間を $t_{\text{Positioning}}$ とし、 $\min(t_{\text{Lookout}}, t_{\text{Communication}})$ と併せて、故障発生前に必要な操船機能である、本船の船位・運動把握と周囲船舶の動静把握機能の遂行状況を示す尺度とする。この故障発生前の操船機能の遂行状況と故障発生後の Engine 操作時点との関係を Fig.7 に示す。横軸は $t_{\text{Positioning}} + \min(t_{\text{Lookout}}, t_{\text{Communication}})$ で示す故障発生前に必要な操船機能の遂行状況で、縦軸は故障発生後最初の Engine 操作時点である。

Fig.7 Correlation between how much officer achieves necessary functions before the trouble and Maneuvering for Engine after the trouble

故障発生時において、故障発生前に必要な操船機能を遂行する操船行動を実行してから経過時間が長いと、故障発生後早い時点で Engine 操作が実行される。逆に、経過時間が短いと早い時点には Engine 操作は実行されない。最小二乗法により、こ

の傾向を示す近似線を定義すると直線ようになる。すなわち、異常事態発生に対する操船者の顕著な行動特性として抽出した故障発生後の Engine 操作の実行時期は、故障発生前の Positioning と Lookout および Communication といった操船行動の遂行状況に依存していることがわかる。

4.4 故障発生前の操船行動と航跡との関係

故障発生前に Positioning と Lookout および Communication を十分に遂行していたチームと十分行わなかったチームとの操船を航跡から比較する。

Fig.8(a)および Fig.8(b)は、故障発生前 10 分間と発生後 3 分間の合計 13 分間における航跡を代表的なチームの航跡を取上げて比較したものである。◇印は後続の同航船で、△印は漁船、○印は本船の航跡を示している。各印の塗潰し点は 10 分前、5 分前、故障発生時の各時点を示している。Fig.8(a)の示す故障発生前に必要な行動を十分に遂行していた場合は、漁船群と後続の同航船との間を安全に航過している。一方、Fig.8(b)の示す故障前に必要な行動を十分には遂行していなかった場合は、2 船の間を至近距離で航過している。

Fig.8(a) case of sufficient behaviour

Fig.8(b) case of insufficient behaviour

5. Fault Tree Analysis

Fig.9 Fault Tree about unsafe situation in extraordinary situation

ここまで得た制限水域航行時の異常事態発生に対する操船者の行動を更に **Fault Tree Analysis** を用いて検討する。**Fault Tree** により推移過程を段階的に示して分析することで、異常事態発生時の不安全航行を生じる重要な要因がどの段階にあり、その事象は何なのかを構造的に抽出することができる。

5.1 異常事態発生時の不安全航行の発生過程

Fig.9 は、4. で行った操船行動の分析結果と一般的操船に基づき、異常事態発生時の不安全航行へ到るまでの推移を **Fault Tree** を用いて表したものである。上層の事象は直結する下層の事象を要因にして発生し、発生条件を **AND** ゲートまたは **OR** ゲートで示している。最上層の異常事態発生時の不安全航

行は、最下層の事象を根本的要因として段階的に発達し、必然的に生じることを示している。

5.2 構造重要度

Fig.9 の **Fault Tree** の最下層を構成する事象は、最上層の事象発生の根本的要因を示す基本事象と考えることができる。これらは以下のとおりである。

- ①故障発生
- ②異常事態への対処不十分
- ③故障発生前本船の船位・運動把握不十分
- ④本船の船位計測手段不十分
- ⑤故障発生前周囲船舶の動静把握不十分
- ⑥他船の見張り手段不十分
- ⑦業務多発

⑧ブリッジチーム機能せず

⑨ブリッジチーム形成せず

FTA では、Fault Tree の構造から各基本事象が最

上層の事象発生にどの程度寄与するのかを算出することができる。この重要性を示す尺度に構造重要度がある。

Fig.10 Comparison between fundamental phenomena with Fault Tree Structural Importance

Fig.10 は基本事象間で構造重要度を比較したものである。「故障発生前本船の船位・運動把握不十分」と「故障発生前周囲船舶の動静把握不十分」といった故障発生前に必要な操船機能の遂行状況が示す構造重要度が最も高く、異常事態発生時の不安全航行の発生に大きく寄与していることがわかる。操船行動の分析に加えて FTA による構造重要度から、故障発生前からの Positioning と Communication および Lookout の重要性が高いことが明らかとなった。

6. 結論

この研究から次のことが明らかとなった。

- 1) 6 種類の操船行動に基づいて、操船者の行動特性を示すことができる。
- 2) 制限水域航行時の舵故障の発生に対し操船者は、故障発生前に必要な操船行動の遂行状況に依存した操船行動をとる。
- 3) 特に、故障発生前の本船の船位・運動把握と他船の動静把握の遂行状況は、故障発生後の Engine 操作による減速の有無を左右する。
- 4) FTA を用いることで、異常事態発生時の不安全航行発生過程の構造から、発生前の本船の船位・運動および他船の動静把握の重要性が高いことが抽出された。
- 5) 一般論としても、異常事態発生前に必要な機能の遂行が維持されているかどうかが発生後の行動を左右し、遂行の不十分な機能の補填が目的の達成につながる。

- 6) 本船の船位・運動および他船の動静の把握は通常時から重要な機能であり、通常からこれらを十分に遂行していれば、必然的に異常事態にも短い時間で対処できる。

参考文献

- (1) 小林弘明ほか：操船技術の要素技術展開について，日本航海学会論文集，No.96，1997.3
- (2) 内野明子：異常事態発生時の人間行動の研究－制限水域航行時における操船機能喪失事態の発生に対する操船者の行動－，東京商船大学学位論文，2004.3
- (3) Akiko UCHINO and Hiroaki KOBAYASHI : An Analysis of Human Behaviour in Extraordinary situations and Countermeasures to Lead the Suitable Behaviour, Proceedings of MARSIM 2003, 2003.8
- (4) Akiko UCHINO and Hiroaki KOBAYASHI : Human Behaviour in Extraordinary situations, Proceedings of INSLC12th, 2002.7