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—

小林 弘明*・濱田 俊秀**・片岡 高志***

A Study on the Causes of Marine Casualty Utilizing Ship Maneuvering Simulator —In the Case of the Marine Casualty of YUYO MARU No.10 and PACIFIC ARES—

Hiroaki KOBAYASHI, Toshihide HAMADA and Takashi KATAOKA

Abstract

A lot of studies have been carried out to analyze the causes of marine casualties. But it is not enough studies from view point of the research that investigate the relation between the physical factor and marine casualty.

Ship maneuvering simulators are very effective for clarifying the factors and analyzing the causes of the marine casualties.

In this paper, firstly it was examined how physical factors influence the causes of the marine casualties using the ship maneuvering simulator in Tokyo University of Mercantile Marine.

The marine casualty of YUYO MARU No.10 and PACIFIC ARES in Nov. 1974 was studied.

Finally we got the basic characteristics that are often causes of the marine casualty, as follows.

- (1) Ship's operator going through the fairway passage are liable to delaying start to avoiding actions.
- (2) Avoiding actions which is operated in fairway passing maneuver are mainly speed control instead of course changing which is more effective to avoid collision.

1. はじめに

海難の事故原因の究明は数多く実施されているが、海難事故と物理的な関係因子との関係を研究した事例は非常に少なく、関係因子と事故との関係の究明も不十分である。

最近の操船シミュレータの視界再現と操縦性能の再現に関する性能及び技術面での向上を踏まえ、操船シミュレータを用いた海難の事故分析の研究を実施した。海難事故の関係因子としては、環境特性、船舶特性、操船内容があるが、操船シミュレータによる操船ではこれら関係因子を変化させることが可能であり、事故分析に大変有効である。

研究の第 1 歩として、東京商船大学の操船シミュレータを使用し、昭和 49 年 11 月に発生した第拾雄洋丸

* 正会員 東京商船大学 (〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6)

** 正会員 ナビックスライン (株) (〒100-8151 東京都千代田区一ツ橋1-1-1)

*** 正会員 鳥羽商船高等専門学校 (〒517-8501 三重県鳥羽市池上町1-1)

とパシフィック・アレス衝突事件に関し、事故分析を試みた。

2. 研究目的と解析方法

2.1 研究目的

海難事故の関係因子である環境特性(交通環境、自然環境等)、船舶特性(操縦性能、船種、船型等)及び操船内容(操作内容、操作タイミング等)について、これら関係因子が事故発生に与える影響度を調査することが研究の目的である。

2.2 研究方針

海難事故の従来の解析方法では、事故の直接原因である人的要因(ヒューマンエラー)に重点を置いて議論している。今回は、人的要因の背景にあって、ヒューマンエラーを誘起している事故の間接原因である環境特性、船舶特性及び操船内容について調査することとする。

海難事故の物理的な関係因子との関係を十分に究明するためには、操船シミュレータの持つ再現性、反復性の特徴が必須条件である。最近の操船シミュレータの性能及び技術の発展は、この条件に十分耐えられると考えられることから、操船シミュレータを活用した操船実験により調査を実施した。

2.3 第拾雄洋丸とパシフィック・アレス衝突事件に対する解析方法

本海難事故は、雄洋丸が巨大船でLPGタンカーという危険物積載の特殊船舶であったこと、また海上交通安全法第3条及び旧海上衝突予防法第19条の定型的航法規定が適用されない特殊な航法関係にあったこと、さらには当該事故が、東京湾内で発生し社会的に大きな反響を呼んだこと、そして海難審判資料が他の事件に比較してかなり充実していたことから、本海難事故を今回実験のケーススタディとして選択した。

本海難事故に関する研究では、環境特性としては視程、航路設定、船舶特性としては操縦性能を考慮し解析を実施した。操船内容としては、操作内容及び操作タイミングについて、複数の船長による操船実験を実施することにより、一般的な操船内容を抽出し、次に操作内容及び操作タイミングと事故との関係に重点を置いて解析を実施した。

3. 海難事故の再現

第拾雄洋丸とパシフィック・アレス衝突事件の再現は、以下のような項目を反映した。

3.1 供試船の再現

今回の実験には、雄洋丸及びパシフィック・アレスを再現して使用することとし、以下のような資料を参考に船舶の操縦特性を推定した。

(1) 雄洋丸の再現

- ① 雄洋丸の要目表
- ② 雄洋丸の操縦性能に関する資料
 - イ) 試運転成績書
 - ロ) 推定速力計算書
 - ハ) 雄洋丸を建造した造船所による満載時の速力推定データ

(2) パシフィック・アレスの再現

- ① パシフィック・アレスの要目表
- ② パシフィック・アレスの操縦性能に関する資料
 - イ) 試運転成績書

3.2 衝突海域の再現

今回の実験では、事故当時の視程が2マイルであったことから衝突海域付近の地形の再現は必要なく、以下の項目についてのみ再現した。

(1) 事故時のブイ配置

衝突海域を含む海図及び海上保安庁水路部への事故当時のブイ位置の確認により、主に中ノ瀬航路及び木更津航路を示す事故時のブイ配置を再現した。

(2) 事故当時の視程

海難審判庁裁決録(以下裁決録とする)によると事故当時の視程は2マイルとなっているので、今回実験の視程の設定は2マイルとした。

3.3 衝突過程の再現

裁決録を基本に本衝突事件に関する研究資料等も併せて、衝突の過程を推定し再現した。図1に衝突に至るまでの状況を示す。

(1) 第拾雄洋丸の再現

第拾雄洋丸の速力は、主要な中ノ瀬航路ブイの通過時間により、衝突の4分前までは港内全速前進13ノットとし衝突時の速力を9.4ノットとした。

雄洋丸の針路は、中ノ瀬航路の航路法線と同じ基準針路21度とした。

また、裁決録によると、雄洋丸は航路の中央から150m程度左側を航行しており、今回実験の初期位置も航路の中央から150m左側に設定した位置から実験を開始することにした。

(2) パシフィック・アレスの再現

パシフィック・アレスの速力は、木更津航路ブイの通過時間及び雄洋丸からの方位により、衝突の4分前までの速力を9.2ノットとし衝突4分前から衝突時までの速力を8.0ノットとした。

パシフィック・アレスの針路は、290度で航進させることとした。

図1 衝突に至るまでの状況概略図

4. 操船シミュレータによる実験

今回の実験では、特に雄洋丸の避航動作内容に着目して議論することから、避航動作内容に関する用語を以下のように定義する。

- ① 避航操作の種類：機関操作、舵操作及び機関・舵操作のこと。
- ② 操作内容：各避航操作の具体的な操作内容のこと。例えば機関操作であればFA(全速後進)、HH(半速前進)、SE(機関停止)、舵操作であればS10度(右舵10度)、S35度(右舵一杯)等を指す。
- ③ 操作タイミング：各操作を実施した時の衝突予想地点までの距離(m)で示す。
- ④ DCPA：本船と他船の2船間の最接近距離(m)。但し、数値計算データについては、船体重心間の距離(m)で示す。

4.1 解析の方針

裁決録によると、「衝突の主たる原因は、中ノ瀬航路北口に著しく接近する針路のまま雄洋丸の前路に進出したパシフィック・アレスの不当運航であるが、また雄洋丸の船長に対しても他船の来航に気づくのが遅れたばかりでなく、臨機避讓の処置が緩慢であった」との指摘がある。本海難事故の事故分析を実施する上で、この雄洋丸船長の臨機避讓の処置が緩慢であったとの指摘に着目し、ここでの臨機避讓の処置と事故との関係について、環境特性、船舶特性及び操船内容を変化させることで事故分析を実施した。

4.2 実験実施時の注意事項

実験は、以下のような項目を遵守しながら実施した。

- ① 本船は航路航行義務船(航路設定のない場合を除く)とする。
- ② 右から横切りの他船がある。
- ③ レーダは使用できない。
- ④ 実験毎に付加される操船内容に関する条件の中で操船する。

4.3 実験実施前のブリーフィング

実験の供試船に対する習熟訓練前に、以下の資料を使って操縦性能を把握するためのブリーフィングを実施した。

① 操縦性能に関するデータ

② 主要目表

4.4 供試船に対する実験実施前の習熟訓練

実験前に、本船となる雄洋丸及びコンテナ船のそれぞれの船舶を自由に操船し、操縦性能を実感するための習熟訓練を実施した。

4.5 実験終了時のヒアリング調査

操船実験の内容を補完するために、簡単なヒアリング調査を各実験終了時に実施した。

5. 操船実験と解析

5.1 雄洋丸とパシフィック・アレス衝突事故時の避航動作内容の検証

裁決録によると、事故時の雄洋丸船長の実施した避航措置は機関操作のみであり、その操作内容及び操作タイミングは表1に示すとおりである。

今回の操船シミュレータ実験においても、事故に至らせた原因を明確にするために、この避航動作内容を検証する必要がある。

実験は、本船を雄洋丸、他船をパシフィック・アレスとし、航路設定有り、視程2マイルのシナリオを使用して実施した。避航操作の種類は事故時と同様に機関操作のみとし、避航動作の開始時期を事故時に雄洋丸の船長が避航動作を開始した時点(衝突予想地点までの距離1,389m)とした。以下この時点をA. T(Action Timing)と呼ぶ。操船実験は、4名の船長により実施した。

図2に操船者全員の機関操作の内容及び操作タイミングを時系列で示す。衝突予想地点までの距離(操作タイミング)を横軸にとり、縦軸に機関操作内容を時系列で示したものである。避航開始時期A. Tから直ちに機関を停止(SE)し、その後全速力後進(FA)を実施している操船者もいるが、操船者全員が衝突を回避できていない。つまり、雄洋丸の船長が避航動作を開始した時点A. Tでは、どのような機関操作を実施しても衝突を回避できないことがわかった。

以上のことから、事故の発生は避航動作の操作内容及び操作タイミングに密接に関係していることが明らかとなった。そして、この避航動作内容と操船結果は、航路航行義務と雄洋丸の操縦性能に大きく影響されることが、実験の設定条件から推察することができる。

従って、以下の項目について詳細な分析を実施した。

- ① 避航操作のタイミングと事故との関係
- ② 避航操作の種類と事故との関係
- ③ 航路航行義務と事故との関係
- ④ 操縦性能と事故との関係

5.2 避航操作のタイミングと事故との関係

避航開始時期A. Tからの操作タイミングでは、

表1 雄洋丸の事故時の避航動作内容

経過時間	機関操作内容
衝突4.0分前まで	FULL AHEAD ; 13ノット
4.0分前	STOP ENGINE
3.5分前	HALF AHEAD
3.0分前	DEAD SLOW AHEAD
2.5分前	STOP ENGINE
1.0分前	FULL ASTERN
衝突時	速力9ノット強

図2 避航開始時期A.Tからの操作内容及操作タイミング

機関操作のみの避航動作による衝突回避はできないことがわかった。避航開始時期A. T以前の操作タイミングで避航動作を実施し、避航操作タイミングと事故との関係を調査した。

実験は、事故発生に対する操作タイミングの影響を調査するために、避航動作を開始するのを他船を視認した時点(衝突予想地点までの距離約2,700m)からとし、それ以後操船者は自由に避航動作を実施できることとした。以下この時点をとR. T(Recognition Timing)と呼ぶ。機関操作のみにより、4名の船長による操船実験を実施した。

図3に機関操作の操作内容と操作タイミングを時系列で示す。操作はR. Tから開始可能であるが、操船者により操作開始時期は異なり、また全操船者が段階的な機関操作を実施していることがわかる。

段階的な機関操作による避航動作は、他船を視認後一定の観測時間を経てから行われ、避航動作の操作タイミングに、航路外航行船の行動を期待するため生じる行動遅れが発生することは明らかである。このような段階的な機関操作を実施することは、航路航行における避航時の機関操作としては一般的な操作形態であることが確認された。

よって、この段階的な機関操作を数値計算データを基に分析し、段階的な機関操作が操船結果にどのような効果を及ぼすのか分析することとする。

図4は、衝突予想地点までの距離(操作タイミング)を横軸にとり、縦軸に雄洋丸が横軸で示す操作タイミングで各機関操作を実施したときの、二船の船体重心間の最接近距離をDCPAで表したものである。

図中のDCPA250mの線は、限界値を示し衝突を回避するための最小のDCPAの値である。480mの線は、離隔距離1L(雄洋丸の船長(227m)を1Lとする)を確保するためのDCPAの値である。

まず、図4によると、全速後進(FA)を使用する場合、操作タイミングが衝突予想地点の2,000m手前で全速後進を実施すると、約560mのDCPAが確保でき、操作タイミングが1,000mまで遅れると、130mまでDCPAが小さくなる。また、操作タイミングが避航開始時期A. Tでは、全速後進で250m、半速後進(HA)で190m、機関停止(SE)で150mのDCPAとなることが判る。

図5(a)及び(b)の操船者A、Bの例は、段階的な機関操作による操船結果を示している。

操船者Aの場合(図5(a))は、初期動作の機関停止のタイミング、全速後進を実施するタイミングのどちらも比較的早いので、離隔距離1L以上のDCPAを確保した例である。

操船者Bの場合(図5(b))は、全速後進を実施する操作タイミングは、避航開始時期A. Tより遅く、決して早い操作タイミングではないが、それ以前の半速後進及び機関停止の操作タイミングが適切で、衝突を

図3 避航開始時期R. Tからの操作内容と操作タイミング

図4 機関操作による操作タイミングとDCPAとの関係

(a) 操船者Aの場合

(b) 操船者Bの場合

図5 段階的な機関操作による操船結果

回避した例である。

以上のことから、機関操作内容及び操作タイミングの組み合わせは、自船の操縦性能と航路航行義務等の避航動作に対する制約条件により決定され、DCPAの確保に非常に重要であることが明らかとなった。

5.3 避航操作の種類と事故との関係

事故時の避航操作の種類は、機関操作のみであるが、一般にこの事故の状況での避航操作の種類としては、機関操作のみ、舵操作のみ、機関・舵操作の3とおりが考えられる。機関操作以外の避航操作を実施し、避航操作の種類と事故との関係を調査した。

実験は、避航操作の種類の違いによる影響を調査するため、避航操作の種類を舵操作のみ及び機関・舵操作とし、避航開始時期をA、Tからに限定して4名の船長による操船実験を実施した。

それぞれの避航操作について、4名の船長の操船結果を示したのが表2である。

機関操作による避航操船では、操船者全員が衝突を回避できないことは、先に述べたとおりであるが、舵操作及び機関・舵操作による避航操船では、操船者全員が衝突を回避できた。

図6(a)に、舵操作の限界であるS35度(右舵一杯)で避航し、航路航行を維持するように操船した場合の、操作タイミングとDCPAとの関係を数値計算データにより求めた結果を示す。衝突予想地点までの距離を横軸にとり、縦軸に他船との船体重心間の最接近距離をDCPAとして表している。図6(a)を求めるための数値計算の方法を図6(b)に示す。最も速やかに最大のDCPAを確保するために、S35度で避航し、航路航行を維持するためにP35度の戻し舵を取り、原針路と同じ針路で航路の右側端に沿って航行させる。この避航動作の開始の操作タイミングを変化させ、他船とのDCPAの関係を求めたのが図6(a)である。例えば、操作タイミングが衝突予想地点までの距離2,000mの場合、DCPAは430mとなり、操作タイミングが1,000mでは、DCPAは180mと小さくなることから判る。

約800mが衝突を回避するための操作タイミングの限界値(DCPA100mで他船と接触しない時の値)で、雄洋丸の1L以上の離隔距離(DCPA320mで離隔距離1Lを確保できる)を確保しようとすると、1,400m以上前から避航することが必要となる。

表2 避航開始時期A.Tからの操船によるDCPA

操船者	D C P A (m)		
	機関操作のみ	舵操作のみ	機関・舵操作
A	0.0 (衝突)	340.9	356.0
B	0.0	174.3	154.5
C	0.0	172.2	188.5
D	0.0	164.0	129.0

(a) 舵操作による操作タイミングとDCPAとの関係

(b) 舵操作による避航動作の数値計算法

図6 舵操作による避航動作

また、航路内での舵操作による避航では航路幅で制約されるが、最大で雄洋丸の1.7Lまでは離隔距離を確保できることがわかる。

機関操作の限界である全速後進の場合と、舵操作の限界であるS35度(右舵一杯)の場合を比較した結果を表3に示す。

衝突を回避するための限界値(接触しないための値)と、雄洋丸の1Lの離隔距離を確保するのに、約500mから600m、機関操作より舵操作の方に余裕があることがわかる。

以上のことから、舵操作による避航動作は、機関操作に比較して有効な避航動作であることが判った。本事故例は、航路航行義務により避航水域に制約はあるが、変針動作により十分避航可能であり、本海難事故のような切迫した状況では、特に舵操作による避航が有効である。

5.4 航路航行義務と事故との関係

裁決録によると「雄洋丸の船長は、相手船の避航を期待しながら、その動静を見守っていて、自船が避譲の処置をとる時機を失した。」との記述がある。ここでの相手船の避航を期待させたものが、自船の航路航行義務であることが推察できる。よって、航路航行義務という環境特性が、避航操作の種類及び操作タイミングに与える影響を調査した。

実験は、航路航行義務の影響を調査するために、航路ブイを配置し航路設定をしたシナリオとブイを配置せず航路設定をしないシナリオで視程は2マイルとし、本船を雄洋丸、他船をパシフィック・アレスとして実施した。避航操作の種類は、機関・舵操作とし、避航開始時期をR、Tとして4名の船長により操船実験を実施した。

航路航行義務のある場合の避航操作の種類をみると、2名の操船者については、舵操作のみでなく機関操作も併用している。航路航行義務のない場合は、操船者全員が舵操作のみで避航しており、航路航行義務による影響が、機関操作を利用する避航動作を導いていることが判る。

積極的に避航動作を実施した操作タイミングについて、航路航行義務がある場合と義務がない場合とで比較したのが図7である。全操船者について航路航行義務のある場合の方が、避航のための操作が遅れて

表3 操作タイミングとDCPAの関係

避航動作	限界値	離隔距離 1 L
機関操作	1,400m	1,900m
舵操作	800m	1,400m

いることがわかる。よって、航路航行義務が、操作タイミングの遅れを導いていることが判る。

以上のことから、航路航行義務は、舵操作が使用可能であるにも拘らず、機関操作を使用させるような傾向を操船者に与えるとともに、操作タイミングの遅れも導くことがわかった。

5.5 操縦性能と事故との関係

以上の議論から、操作タイミングの重要性が指摘された。運動は操作タイミングと操縦性能によって変化する。そこで停止性能の優れているコンテナ船と雄洋丸の性能の違いが、避航動作の操作タイミングに与える影響を調査した。

実験は、操縦性能の違いによる影響を調査するために、本船に停止性能の異なる雄洋丸とコンテナ船を設定し、他船をパシフィック・アレス、航路設定有り、視程2マイルのシナリオで実施した。コンテナ船の再現は、①昭和58年建造のコンテナ船の要目表、②コンテナ船の操縦性能に関する資料を参考に操縦特性を推定した。

避航操作の種類は機関操作のみとし、避航開始時期をR、Tとして4名の船長により操船実験を実施した。

停止性能とDCPAならびに操作タイミングの関係を示しているのが図8である。操作タイミング(衝突予想地点までの距離)を横軸に、DCPAを縦軸にとり、各操船者毎に雄洋丸とコンテナ船で比較している。図8によると、コンテナ船の方が雄洋丸より操作タイミングが遅れているにも拘らず、DCPAはより大きく確保できていることがわかる。

図9は、雄洋丸とコンテナ船の減速特性から、機関操作のみの場合のDCPAを求めたものである。雄洋丸とコンテナ船のデータを比較すると、カーブの立ち上がりの違い、つまり停止性能の違いが明瞭である。雄洋丸は避航開始時期A、Tからは機関操作のみでは避航できないが、コンテナ船であれば、A、Tからでも十分避航でき、全速後進以外の半速後進あるいは微速後進でも避航できることがわかる。

以上のことから、雄洋丸とコンテナ船の停止性能の差は、限界値(衝突回避のための操作タイミング)で

図7 航路航行義務が操作タイミングに与える影響

図8 停止性能とDCPAならびに操作タイミングの関係

図9 操作性能の異なる二船のDCPAの比較

見ると、約500m(雄洋丸の約2L)コンテナ船に余裕があり、事故の発生に雄洋丸の停止性能が大きく影響していることがわかった。

6. まとめ

本研究を実施した結果、以下のようなことが明らかとなった。

- (1) 航路航行義務の影響は、避航動作の操作タイミングを遅らせ、切迫した状況を発生させる。更に、避航動作としては、より有効である舵操作よりも機関操作を操船者に導く傾向がある。
- (2) 操作タイミングは、切迫した状況では非常に重要であり、特に操縦性能の劣る船舶については、わずかな操作タイミングの遅れが事故発生へつながる。

以上のことから、次のことが言える。

- (1) 本海難事故の直接原因は、ヒューマンエラーであるが、そのヒューマンエラーを誘起した背景として、環境特性である航路航行義務と雄洋丸の操縦性能が、間接原因として大きく影響している。
よって、航路設定する場合、航路航行船の操船者の特性を考慮し、周辺環境への十分な配慮が必要である。また、操船者側は、航路航行が避航操船へ及ぼす影響として、機関操作を使用する傾向と操作タイミングの遅れが生じることを認識し、本船の操縦性能を十分に考慮しながら効果的な避航手段を選択する必要がある。
- (2) 海難防止のためには、海難事故の間接原因である関係因子への対策が重要である。関係因子の抽出及び事故と関係因子との関係の解明には、操船シミュレータによる調査、検討が非常に有効である。

7. おわりに

今後の課題として、以下のことが重要である。

7.1 海難事故防止のために

今回選択した海難事故例は、航路航行に関係する特殊な航行環境での事故であった。今後多くの海難事故例について、このような操船シミュレータによるケーススタディーを実施し、データを積み重ねることにより、海難事故の予防対策として有益な指針を与えられたい。

7.2 操船シミュレータを海難防止に活用するために

事故原因の分析と事故の未然防止のための研究手段として、操船シミュレータをより有効に活用するためには、次の各項の充実が望まれる。

- (1) 供試船を再現するための、操縦性能に関する詳細な資料。
- (2) 衝突海域を再現するための、地形、航行環境及び自然環境に関する詳細な資料。
- (3) 衝突過程を再現するための、レーダ映像データ等の詳細な資料。

参 考 文 献

- (1) 海難審判庁裁決録と証拠資料。
- (2) 國司彰男：第拾雄洋丸・パシフィック号衝突事故とその処理，海上保安と海難 第10節。
- (3) (社)日本造船研究協会：「SR175研究部会 加減速時における操船性能に関する研究」報告書 昭和55年3月。

質 疑 応 答

斎藤和夫(鳥羽商船高等専門学校)：海難要因と人間の過誤についてどのようにお考えか。

濱田俊秀：本文でも述べたとおり、海難の直接原因は人的要因、つまりは人間の過誤であると処理されることが多くあります。しかし、人的要因を誘起した背景として間接原因としての環境特性あるいは船舶特性があります。海難防止のためには、人的要因にのみ限定せず、間接原因も非常に重要な要因であることから、間接原因の究明は、事故防止対策のため大変重要であると考えます。