事故調査記録に基づく衝突海難発生機構の同定法

喜多 秀行*

A Method to Identify the Collision Occurrence Structure Based on Ship Accident Survey Reports

Hideyuki KITA

Abstract

Many factors in ship traffic conditions, weather conditions, and navigators' characteristics give various influence to an occurrence of ship collision in a complex manner. Applying FTA(Fault Tree Analysis), a technique to analyze system failures, to the ship collision can be expected to give us much useful information. However, it is an art-like difficult work to identify the FT(Fault Tree) of a complex system. This paper proposes a method to identify the occurrence structure of ship-to-ship collision by using survey reports of a past collision. The identified FT of ship collision which consists of human errors and factors surrounding ship operation is presented. The possibility to collect data for further safety analysis on ship collisions by introducing FT-type accident survey sheets is also discussed.

1. はじめに

衝突海難の発生は、船舶を取り巻く航行環境（航行水域の状態、周辺航行船舶の動静、気象・海象といった自然条件等）および操船行動（操船者の情報収集・判断、船舶の操船特性等）と密接に関連している。しかし、航行環境と操船行動の内容が極めて多岐にわたることもあって、これら相互の関係、すなわち衝突海難の発生機構が十分明らかとなっているわけではない。航行環境の一部の要因については、かなり研究も蓄積されてきたため、要因の変化が航行危険度の変化にどのように影響するかを知ることがある程度可能となっているが、操船行動の面における定量的な分析はあまり見られないのが実状である。そのため、操船支援機器の改良や輻輳水域における情報提供・航行管制システムの整備をはじめとする種々の安全性向上方策が要請されているにもかかわらず、それを実施することにより衝突危険度をどの程度低減させることが可能なのか、あるいは、ある施策の効果の発揮を阻む可能性のある要因は何であるのかを十分知ることが困難な状況にある。

そこで、本研究では、衝突海難の発生構造分析の枠組みを、危険度解析手法の一つである FTA (Fault Tree Analysis) に求め、まず2.で衝突海難を FTA によって分析することの利点と分析上の問題点を整理する。3.では問題点の一つである FT (Fault Tree) 構築の困難性を克服する一つの方法として、FTを過去の事故記録からシステムティックに構築する方法を提案し、これを用いて最近の事故調査記録から作成したFTを提示する。さらに、4.ではFTAのいま一つの問題である原因事象の発生確率を得る方法の一つとして、FT形式の調査票を用いる事故調査法を展望する。

2. 衝突海難の分析とFTA

「完璧な操船」は、理念あるいは操船者の努力目標としては有用であっても、これを期待し海上交通計画の前提とすることは適切でない。したがって、航行安全性確保のためには、不適切な操船あるいは操船ミスの発生を

* 正会員 鳥取大学工学部社会開発システム工学科（〒680 鳥取市湖山町南4-101）

念頭におき、操船ミス誘うことが少ない航行環境を整備すること、ならびに万一操船ミスが生じたとしてもそれがただちに事故に結びつかない航行環境を実現することが、海上交通計画に要請されている。

衝突事故の発生が航行環境と操船の両者に密接に関連していることは既に述べたが、これは、

- ① 航行環境によって操船行動は異なり、発生する操船ミスの種類とその頻度が異なること
- ② 航行環境によって操船ミスの結果の波及が異なり、衝突事故に至る可能性が異なること

の2つの点でとりわけ重要な意味をもつ。このことは、従来の多くの衝突事故分析に見られる2つのアプローチ、

- ① 航行環境を前提条件とし、操船者の過失に焦点を絞ってその責任を追求するといった海難審判の立場からの分析

- ② 平均的な操船行動を仮定し、航行環境の変化と事故危険度の変化との関係に主眼をおいた分析

では、必ずしも十分でないことを示唆している。すなわち、ある操船ミスが発生した場合、そのミスが当該航行環境と一連の操船行動の下でどのような結果をもたらすか、言い替えると、そのミスが単なるミスで終わるか、リカバーされずにさらに重大な結果をもたらす衝突事故に至るプロセスを辿るか否かを区別して記述しうる手法が必要とされる。したがって、事故分析を行うにあたっては、この点に意を払って事故のパターンを整理し、事故の発生構造に占める種々の要因の位置づけと、それらの事故発生に対する関わり方を明らかにしておくことが、事故防止対策を検討する際に有用な情報となる。

このような要件を備えた危険度解析手法の一つが FTA である。この手法は、

- ① システムの欠陥構造を F T という視覚的表現で記述することにより、システムに対する理解を容易なものとする。
- ② 定性的解析にとどまらず定量的解析までを行うことができ、どこからどのように手をつければよいかという形でシステム改善の示唆を得ることができる。

などの特長を有し、これらの特長からこれまでもいくつかの分析⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾が試みられてきた。しかしその一方で、FTA には以下のような問題点がなお残されている。

- ① 分析の基礎となる F T を構築すること自体が容易でない。
- ② 技術の進歩や環境の変化に伴って新たな事故発生パターンが出現する可能性があり、将来においても完全無欠な F T を得ることが困難である。
- ③ F T を構成する事象の発生確率に関する情報が今のところあまり蓄積されていない。

しかしながら、幸いなことに、衝突海難には、

- ① 原子力発電所などと比べて事故発生件数が多いため、相対的に“十分な”数の事故データを手に入れることができる。
- ② わが国では基本的に同一の調査票を用いて事故調査が行われている。

という特徴がある。これらの特徴が、本研究で既往の事故調査記録を用いて船舶の衝突事故が発生するプロセスを抽出し、衝突海難の発生機構を F T として同定することを可能とする。また、海難調査の機会を活用することにより F T の改訂と原因事象の発生確率に関する情報収集を図ることも可能であり、上述の問題点はかなりの程度改善される。

3. 事故調査記録を用いた衝突海難 F T の同定法

3.1 大規模システムにおける F T 同定の困難さ

F T は、一般に次のようにして構築される⁽⁴⁾。まず、解析しようとする望ましくない事象（頂上事象：ここでは衝突海難である）を選定する。次いで、この事象を構築しようとする F T の頂上に置き、頂上事象が生ずるための直接的な原因事象（第1レベルの原因事象）を列挙する。そして、これらの事象の発生と頂上事象の発生の因果関係が、いくつか設定されている論理関係のうちのどれに相当するかを調べ、対応するゲートで両者を結ぶ。ついで、第1レベルの原因事象について、それらが生じるための直接的な原因事象（第2レベルの原因事象）をさがし、第1レベルの原因事象とゲートで結ぶ。このような手順を繰り返し、原因事象がそれ以上展開できなくなる（基本事象）まで続ける。

しかし、衝突海難の発生構造という複雑かつ未解明な部分の多いシステムの F T を一気に構築することはなか

なか簡単でない。上述の構築手順からも理解されるように、FTを構築するためには対象とするシステムの挙動全般をよく把握していることが要請される。つまり、事故発生構造を把握するための解析を実施する段階で、すでに事故の発生構造を理解していることが必要なのである。“FTの構築は一種の芸術である⁽⁵⁾”といわれる理由の一つがここにある。このような状況にあるにもかかわらず、既往のFTA解説文献は構築手順を概念的に示すに留まり、Fussell⁽⁶⁾が電気回路を対象システムとして提案しているFTを“自動的”に構築する方法も、対象となる電気回路の構成要素とその並び方が明確に与えられる場合を想定したものである。システムの構造そのものがよくわかっていない人間行動を内包した大規模システムを対象として、FT構築のための知識をいかに獲得し整理すべきかという具体的な構築技法を提示する文献は、著者の知る限り見当たらない。

3.2 衝突海難FTの同定手順

事故発生構造の全体像を把握する一つの方法は、異なる部分構造を把握している複数の人間の知識を統合することである。また、個々の事故やニアミスの発生過程は、全体的な事故発生構造の部分的な発露であるともみなせる。そこで、ここでは、まず過去に発生した事故の調査記録に記述されている個々の衝突海難発生過程を「事象系列」という観点から眺めて整理し、これを基にして衝突海難のFTを同定する方法を提案する。

本手順は、プロセスチャートの構築－部分FTの構築－統合FTの構築、という3つのステップからなる。

まず、衝突海難の事故調査記録を収集する。この事故調査記録は、衝突海難をとりまく当時の航行環境や関係船舶の船舶属性等と共に衝突事故が発生するまでの経緯－時々刻々の操船者の行動を操船者の認識・判断や関係する航行環境要素とともに述べたものが－記述されているものであることが要請される。そして、そこに記述されている事故発生プロセスを「事象系列」という観点から眺めて整理し、これをもとにまずFTの前段階とでもいうべきものを作成する。すなわち、事故記録に収載されている衝突事故を構成する船舶1隻1隻に着目し、まず1隻ごとに時刻の経過に沿って文章中から事象を書き出す。ついで、なぜ前の時点の事象から後の時点の事象が生じたかを、操船者の状況、相手船の状況、自船の船体の状況、航行水域の状況などに関する事象との関連性に注意しながら系列として配置し直す。この際、後の事象の生起に大きく関連し一連の事象系列の構成に欠かすことのできない事象と、特に他の事象に影響を及ぼすこともなくしたがってその事象が起らない場合でも事態は変わらなかったであろうと考えられる事象とを判別し、事象系列が前者のような事象のみから構成されるよう取捨選択を行う。このようにして得られた事象相互の単純な関連図を、ここでは“プロセスチャート”と呼ぶ。この作業では、現在の標準的な操船法や技術水準に照らしてミスと判断される不適切な判断・操作のみでなく、将来的に達成される可能性のある望ましい状態からみて不十分であった状況をも、原因事象として抽出すべきである。というのは、このような箇所が海上交通システムの整備や情報収集機器の改良をはじめとする各種安全対策の長期的な方向を示唆することが多い、と考えられるためである。

以上の要領で作成したプロセスチャートを、構成する事象間の因果関係に即した論理記号（ゲート）で記述し、FTへと書き改めていく。その際、ある中間事象の原因事象が1事象しかない場合には両者の間の関係を特定することが困難な場合があるが、このような箇所は、次に述べるようにFTを統合することによって複数の原因事象が揃い、解決されることが多い。このようにして得られた個々の船舶ごとのFT（の断片）を、1件の衝突事故を構成する2隻に関して対にし、「衝突」という頂上事象の下に併置すると、衝突事故事例から1つのFTを作り上げることができる。

ただ、ここにはたまたま現れたパス上のごく一部の事象しか含まれていないため、このようにして作成した数多くのFTの断片を、衝突事故を頂上事象とする全体的なFTの“部分FT”とみなし、次にこれらを重ね合わせて“統合FT”を作り上げる。このとき、事象間の関係がほぼ同じ内容を有しているにもかかわらず、部分FTごとに記述レベルの詳細さが異なるなどして重ね合わせがうまくいかない箇所が生じることがある。このような場合はいずれの記述法がより適切であるかを検討し、納まりのよいように部分FTを一部修正することとなる。このような修正を通して、部分FT間で記述の整合性を欠いている箇所が吟味される。既往の事故事例には限りがあるため漏れ落ちている事故発生パターンについてはこれを補っておく必要があるが、この段階では事故発生構造の全体像がかなりの程度明らかになっているため、個々の操船者が持っているニアミスの経験や思考実験等をもとに他の事故発生パターンをつけ加えることは、さほど困難な作業ではない。このようにして、FTを可能な限り完全なものとしていく。

図1 衝突海難発生機構の同定手順

以上の手順を図示したものが図1である。

3.3 事故調査記録に基づく衝突海難FTの同定結果

以上の手順に沿って、これまでに発生した衝突海難の調査記録からFTを同定した。用いた資料は、

- ① 海難審判裁決録先例調査報告書⁽⁷⁾ 20隻分
- ② 海難審判裁決録⁽⁸⁾ 12隻分（昭和61年言い渡し分の一部）
- ③ 海難審判裁決録⁽⁹⁾ 233隻分（昭和50, 51年言い渡し分のうちの500GT以上の船舶衝突に係わるもの）
- ④ 東京湾海難調査事例資料⁽¹⁰⁾ 139隻分（昭和53～57年に発生した衝突海難）

の約400隻分である。

同定にあたっては、まず資料①と②の全ての船舶について部分FTを作成し、これを統合して一次的な統合FTを構築した。そして、資料③と④の事例のうち、この統合FTに含まれないものをチェックし、統合FTに対応するパスが無い箇所の部分FTを作成し、つけ加えて行くという方法をとった。

得られた統合FTを図2に示す。

今回用いた資料は、そのほとんどが海難審判関係資料であったため、衝突海難の発生過程の記述にあたって人的過失の有無、すなわち航法に重きが置かれている傾向がある。したがって、双方の船舶が互いに避航して衝突を回避すべきところであったにもかかわらず、なぜそれが十分に行えなかったかという部分が比較的詳細に記述されている。それゆえ、結果的に、「出会い」の発生に至る事象系列に比べ、これまでの分類でいう「避航不十分」の下位事象にあたる部分について比較的多様なFTが得られている。

ここには、これまで海難調査で用いられてきた「見張り不十分」、「操船不適切」といった原因項目は見当たらない。前者は「動静監視不十分」と、後者は「状況に応じた衝突回避措置なし」とほぼ対応しているといってもよいが、下位事象から理解されるように全く同じ意味内容を持っているのではない。また、これまで「航法違反」として一括して扱われてきた原因項目は、「自船を保持船と誤認」、「協力動作の開始時期判断不十分」など細分して取り扱われている。このように、これまで特に意識せずに同列に論じられてきたような事象が、さまざまな意味内容を合わせた概念であり、また、それらが必ずしも同一レベルにないことが本図から指摘される。従来、海難の原因を論ずる際に存在する困難の一つに、要因間の概念レベルの違いや相互の関係の不明確さがあり、ともすれば議論に混乱の生じることも少なくなかったが、本FTからは、それぞれの概念の包含関係や相互関係をかなり明確に見てとることができる。

4. 衝突海難の発生構造と海難調査

4.1 調査票による衝突海難調査

海難調査は、海難を起こした船舶ごとに個別に調査票を作成し、事故とそれを取り巻く状況の概要を記録する形で行われることが通例である。この方式は、海難の発生を支配するような単独の事故原因が存在するような場合には比較的好くなじむと思われるが、輻輳水域における衝突や乗揚げといったいわゆる海上交通事故の場合は、主たる原因がいずれかの船舶に単独で存在するというものでは必ずしもなく、自船と相手船さらには周辺を航行

図 2(a) 同定された衝突海難発生機構

していた船舶との相互作用の時間的推移が、重要な役割を演じていることが少なくない。そのため、この種の海上交通事故を対象とする海難調査に際しては、1 件の事故を構成する全ての船舶と航行環境を包括的に捉えて記録することが何より重要であると考えられる。しかし、これまでの調査では個々の船舶ごとにほぼ独立に調査票が作成されていた。また、事故の発生状況や原因についても、項目が並列的に並べられているため、相互の関連を記述することがさほど容易ではない。船舶の属性や装備、操船者の属性、入出港地、当時の平均的な気象・海象、事故発生地点、義務関係、救助状況などのいわば静的な事実関係についてはある程度まで記録できるものの、

図2(b) 同定された衝突海難発生機構(続き)

相手船の挙動に対する認識の推移, 第3船の介入状況, それに対する操船者の対応といった, 相互的かつ動的な情報は記録が困難である。したがって, 衝突に至った状況を逆に調査票から読み取ることも容易でない。それぞれの原因項目が当該衝突に及ぼした影響を極めて限定的にしか把握することができず, 原因の波及構造(例えば, 海難の原因が見張り不十分であった場合, 見張りを不十分なものにさせた一段階前の原因)についてはほとんど把握することができない。

4.2 FT形式による海難調査

このように, 現行の海難調査票形式の調査では, 衝突に至った動的・相互的な経緯が十分記録できないことが指摘できる。衝突海難の分析では他の海難と比べ, この種の経緯が一層重要な役割を演じていることも既に述べたが, 海難調査が「原因」を調べあげることによって事故という「結果」がなぜ生じたのかを知るために行われるものであるならば, 調査の内容はその事故に内在する「因果関係」を記録するものでなければならないはずで

ある。そうではなく、この種の因果関係はある程度わかっているがそれを構成する諸要因の発生確率が分からないために調査をするのであれば、調査に先立って調査の基本となる海難の発生構造が提示されていなければならない。いずれにせよ、衝突に至った経緯は、衝突海難の発生構造と無関係には記録できない。しかし、海難調査票は現場で記入する性格のものであるため、あまり調査項目の数を増やしたり複雑な記入方法を必要とするものとするは適当でない。そこで、衝突海難については、海難調査のうち衝突に至った経緯に関する部分を調査票から切り離し、衝突海難F T上のどの事象が生起し、どのパスが生じたのかを記録する方式に改めることが一つの改善になるものと考えられる。

この方法による調査を継続的に行うとすると、各基本事象の発生確率およびパス別にみた事故発生確率に関する情報の蓄積を図ることが可能となり、1.で述べたFTAの問題点の1つを解消することが期待される。また、調査した衝突海難の発生構造が従来のもと同じであるか否かを容易に識別することができ、既往の事故発生構造と異なるものについては、3.で提案した方法をそのまま援用して同定することができる。このようにして、新たに得られる事故発生構造を既往のF Tに付け加えて逐次改訂・充実していくことができ、技術の進歩や環境の変化に伴う新たな事故パターンの出現にも対応していくことが可能となる。

5. お わ り に

本研究では、衝突海難の分析に有効な道具と考えられるFTAがもつ問題点を整理し、そのいずれもが衝突海難の調査が有する特徴によって解決されることを示した。すなわち、

- (1) 事故事例が比較的豊富に得られることに着目し、衝突海難の調査記録を用いてF Tを同定する簡便な方法を提案した。
- (2) 提案した同定法を用いて最近の衝突海難調査記録を分析し、衝突海難F Tを得た。
- (3) 同定した衝突海難F Tを基礎とするF T形式の海難調査法を提案した。
- (4) F T形式の衝突海難調査を継続的に行うことにより、海難F Tの改訂と事象の生起確率に関する情報の集積が、同時に可能となることを指摘した。

などである。

しかし、十分でない点もいくつか残っており、

- (1) 衝突海難F Tについては、ゲートならびに事象の記法に関して、より適切な表記のものとすること。
- (2) 「出会い」の発生に関する事象系列をさらに充実させること。
- (3) 部分F Tを多数統合して構築する統合F Tは大規模なものとなりがちであるため、適宜分割・整理すること。

などがそれである。なお、衝突海難F Tを同定する過程で得られたさまざまな知見や、衝突海難F Tを用いての衝突防止対策の定量分析等については、別の機会に発表したい。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、京都大学工学部の黒田勝彦助教授（現熊本大学教授）から研究の方針に関して有益なご示唆を賜った。また、京都大学工学部学生であった上野修一氏（現兵庫県土木部）、（社）日本海難防止協会の畑瀬崇順氏（現㈱マリンリサーチ）には、事故調査記録の整理の面で一方ならぬご協力をいただき、海上保安庁警備救難部航行安全課からは資料の一部を提供していただいた。なお、本研究の一部は（社）日本海難防止協会内に設置された「海難調査及び海難統計の充実強化のための調査研究委員会（委員長 原潔神戸商船大学教授）の一環として行われたものであり、委員ならびに関係諸氏との討議が有益であった。併せて感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) Rabien U.: Transportation Risk Modeling of Tanker Ship Operation, IABSE Report, vol.42, pp.127-135, 1983.
- (2) 上野修一: FTA を用いた船舶衝突事故の発生構造に関する基礎分析, 京都大学卒業論文, 1985
- (3) 竹本孝弘・久々宮 久: Fault Tree を用いた橋に対する船舶の衝突事故解析, 日本航海学会論文集,

- vol. 83, pp. 81-89, 1990.
- (4) たとえば, Ireson, W. G. and Coombs, C. F. (eds.) : Handbook of Reliability Engineering and Management, pp.18.17-18.27, McGraw-Hill Inc.,1988, 鈴木・牧野・石坂 : FMEA・FTA 実施法, pp.117-184, 日科技連, 1982. など。
- (5) Chatterjee, P. : Fault Tree Analysis : reliability theory and systems safety analysis, Operation Research Center Report ORC 75-3, p.4, University of California, Berkeley, 1974.
- (6) Fussell, J. B. : Computer Aided Fault Tree Construction for Electrical Systems, in Barlow, R. E., Fussell, J. B., and Singpurwalla, N. D. (eds.) : Reliability and Fault Tree Analysis, pp.37-56, SIAM, 1975.
- (7) 海難審判協会 : 海難審判裁決録先例調査報告書, 明石海峡航路付近の衝突事件に関する調査研究, 1985 ; 同 港内および港の入り口付近における衝突事件に関する調査研究, 1986 ; 同 互いに他の船舶の視野にある船舶間の衝突事件に関する調査研究, 1987.
- (8) 海難審判裁決録, 1979.
- (9) 海難審判裁決録, 1987.
- (10) 日本海難防止協会 : 東京湾海難調査事例資料, 1983.