

座礁・衝突における人間信頼性に関する研究

正員の場 正明*

Human Reliability in Grounding and Collision

by Masaaki Matoba, *Member*

Summary

Human elements in marine affairs have been discussed in IMO MSC/MEPC,¹⁾ and IMO have intended to introduce the human elements into FSA (Formal Safety Assessment) of future probabilistic rules assessment.

The human in marine is a complex multi-dimensional issue that is affected by three complex systems of human activities, ship apparatuses and mysterious marine environments.

To get the solution of the human in marine seems far away from knowledges now. This is out of the range of ergonomics or man-machine interface problems.

The aim of this paper is to get a clue of the solution of the problem. The author investigated human actions in grounding and collision accidents based on the materials of marine accidents inquiry.²⁾ By the investigation, probabilities of human actions affecting the accidents are summarized in a part of reliability data sets.³⁾

To get a more theoretical assessment of human actions, the author figured out a way to introduce the human elements to probabilistic safety assessments of grounding and collision accidents. In the assessments, human actions are treated by clausal form logic equations to introduce human actions, that is described by words in the inquiry materials,²⁾ into reliability analyses for structures and environments. By this, human elements can be treated in a same ring as structure and environment problems.

The reliability assessments in this paper are based on simple normal distributions with a certain measure of a proof.

1. 緒言

従来の海事に関する規則は事故後の対策として制定されたものの蓄積である。これらはそれぞれ意味のあるものではあるが、必ずしも合理的ではなく、その安全性に対する寄与の度合いと厳しさの度合いのバランスが良いとはい

いきれない。このような事情に鑑み、国際海事機構 (IMO) の安全および環境に関する委員会 (MSC/MEPC) では、確率的安全評価を主とした FSA (Formal Safety Assessment) を規則に導入していくことを決議し、ガイドラインを発行した。¹⁾ この FSA には構造や機関の機能的なものに加えて人的要因 (Human Elements) を考慮することになった。実用的工学への人間の加味は 1930 年代のフォードの自動車生産に対するものを初めとし古い歴史を有している。テキストも数多く発行されているが、^{4) 5)} などその多くは人間と機械操作の関係として人間工学を捕らえている。海事における人間の要因は、船体、

* 日本海事協会

原稿受理 平成 10 年 6 月 18 日
秋季講演会において講演 平成 10 年 11 月 12, 13 日

機関や航海機器などの機能要因と海洋の気象や地形などの自然環境要因と他の船との関係が絡む多次元的なものである。このような事象の取扱は標準的には、事故の発生についてはFTA (Fault Tree Analysis)、事故後の災害の拡大についてはETA (Event Tree Analysis) を用いるのが普通である。^{1)・3)} F, ETA解析に必要な確率のデータは、海難審判の資料²⁾などを基に信頼性データシートとして纏めてある。³⁾ 機能システムに人間行動を配慮した複雑系の信頼性解析の方法として、ファジィを活用した方法なども提案されているが、⁶⁾ 数少ない。

本論文では座礁・衝突を事例として信頼性解析への人的要因の導入方法を検討する。事故における人間行動は審判記録などでは述語形式で記録されている。これを関連する構造信頼性⁷⁾などと同じ土俵で議論するためには、算式化する必要がある。ここでは第五世代計算機の核となるprolog⁸⁾の基礎である節形論理式で表現することにする。信頼性解析に用いる統計分布は、安定分布であり、演算によりその分布型が変化しない正規分布を採用する。事故の原因となるいくつかの人間行動は正規分布に近いことを示している。

2. 座礁・衝突の信頼性データベース

2.1 衝突の事例

座礁・衝突の事故原因には航海機器などの機能と狭水道・霧などの自然環境に人間行動が絡み、多くの原因が重なる。人間要因だけを見ても幾つかのミスが重なって事故を誘発している。衝突のよくある事例を以下に示す。²⁾

「A船とB船の衝突」：場所：島間の水道入口近傍

「事故までのA, B船の行動」

A船： 前路に濃霧を認め、前方の瀬の浮標を見ておこうと、基準航路を左にそれ、その後本来の右寄りに変針した。レーダーで相手船Bを確認していたが、全速力であった。

B船： 規則の右側通行に反し、左側に偏した針路で霧中を航行していた。レーダーでA船を確認していたが、レーダーの判断ではA船の左にそれた航路を認識し、実際のA船の行動と一致していなかった。全速力であった。霧中信号は発した。

「衝突」

近づいてから、お互いに目視で相手船を認め、機関減速し舵を取ったが、舵効ない段階で衝突した。

「法規などの問題点」

1. 法規では、「相手船をレーダーのみで探知した船舶や前方に霧中信号を聞いた船舶は保針可能な最小の速度に減じ——、無線などにより相手船と連絡をとり——」とあるが、両船減速せず、無線連絡もしなかった。

2. 法規では、「右側通行」であるが、B船は左側通行、A船はかろうじて右側航路に入っていた。

3. 該当する水道は、事故を起こしやすく、現在は島を挟んだ別々の対抗航路としている。

2.2 データの統計的性質

事故の件数、原因や被害などは通常年度毎に纏められ発表されている。これらは年度毎に異なった件数、比率である。信頼性データシート作成に当たり、データの統計的性質を調べたが、⁹⁾ 以下にその例を示す。

座礁・衝突は油流出の80%、重大事故の30%、人命損失の40%を占めるが、¹⁰⁾ 事例としてタンカーの年度毎の件数の分布を調べる。

希に発生する件数、例えば兵士が馬に蹴られて死ぬような場合は、ポアソン分布で表現できることがBortokiewiczにより確かめられている。¹¹⁾ Fig. 1 2 & 3にタンカーの重大事故、油流出事故と人命損失の年間件数・人数の分布を示す。図中には、離散的ポアソン分布を点線で、正規分布を実線で示す。図から各件数の分布は正規分布で表現できることが分かる。

Fig. 1 Distribution of Annual Casualties of Tankers

Fig. 2 Distribution of Annual Oil Pollution of Tankers

Fig. 3 Distribution of Annual Lives Lost of Tankers

近い部分もあるが、全体としては正規分布で表される。ポアソン分布から外れた部分は、一回の事故で多数の人命損失があった年であるか、荷動きが不活発で稼働が少なく母数が減少した年かである。ポアソン分布は稼働環境などが一定の場合に有効であると考えられる。

これらの事例と、いくつかの検討から⁹⁾ 座礁・衝突に関係する各事象は正規分布であるとして検討する。また各事象の推定確率の分散は、母数を配慮して、 χ^2 推定と乱数発生によるシミュレーションおよび年度毎に異なる実際

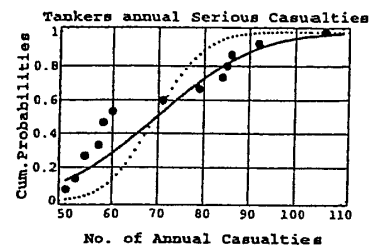


Fig. 1 Distribution of Annual Casualties of Tankers

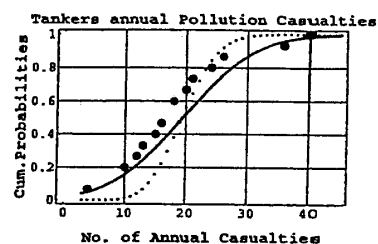


Fig. 2 Distribution of Annual Oil Pollution of Tankers

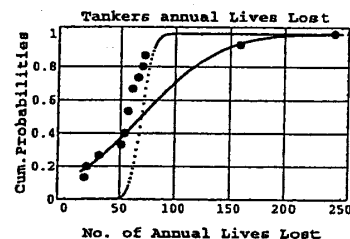


Fig. 3 Distribution of Annual Lives Lost of Tankers

のデータを基にして定めた。Fig. 1~3の事例は、母数約8万隻のロイド統計を基にしている。

2.3 座礁・衝突事故の人的原因

海難審判資料²⁾では事故は人間の要因が関係する。以下に座礁・衝突の原因の分類と原因の分岐確率を示す。

「座礁事故の分類」

- 1. 船位不確認・針路選定不良 0.554
 - 1.1 船位不確認 0.337
 - 針路選定不良 0.217
 - 1.2 居眠り 0.188
 - 普段の慣れから確認を怠り漫然と運転した 0.108
 - レーダーによる確認を怠った 0.052
 - 他の船舶に気を取られた 0.049
 - 風・潮の影響を考慮せず 0.039
 - レーダー・ルランなどの計器の使用不適切 0.022
 - 危険と知りつつ無理な針路を取った 0.015
 - 海図に当たらず針路決定 0.009
 - その他 0.072
- 2. 水路調査不十分 0.183
- 3. 当直など服務に関する指導・監督の不適切 0.136
- 4. 気象・海象に対する配慮不十分 0.041
- 5. 操舵装置・航海機器の整備・取扱不良 0.018
- 6. 発航準備不良 0.018
- 7. 操船技術拙劣 0.018
- 8. 錨泊・係留の不適切 0.018
- 9. 船舶運航管理の不適切 0.006
- 10. 荒天に対する措置不適切 0.006
- 11. 報告引き継ぎの不適切 0.006
- 12. 船体・機関・設備の構造・材質・修理など不良 0.006

「衝突事故の分類」

- 1. 海上衝突予防法の航法不順守 0.707
 - 1.1 横切り船の航法 0.236
 - 視界制限時の航法 0.232
 - 各種船間の航法 0.107
 - 追い越し船の航法 0.079
 - 行き合い船の航法 0.029
 - 狭水道などの航法 0.024
 - 1.2 居眠り 0.139
 - 相手船の速度・方向誤認 0.124

- 夜間・きりなどでの船尾灯不確認 0.103
- 他船に気を取られる 0.087
- 潮・風に流される 0.071
- 波などによる相手船不確認 0.055
- 無理な操縦 0.047
- 監督・指導の不行き届き 0.046
- レーダー監視不十分 0.033
- 2. 灯火・形象物・信号の不表示 0.150
- 3. 海上交通安全法・港則法不順守 0.055
- 4. 操船技術拙劣 0.049
- 5. 気象・海象に対する配慮不十分 0.016
- 6. 錨泊・係留の不適切 0.010
- 7. 補機などの整備・点検取扱不良 0.007
- 8. 発航準備不良 0.003
- 9. 水路調査不十分 0.003

注) $\sum i = 1.0$, $\sum 1.1 = \sum 1.2 = 1$ (0.554/0.707)
 ここで示した原因は事故の主要なもので、大部分は2.1で例示したように多くの人的要因が重なり合っている。解析に当たっては要因の重なりを配慮しなければならない。これは、人的要因のみではない。例えば居眠りをして、外洋の他船のいない場所では事故とならないから、事故の可能性は航路の自然環境も配慮しなければならない。

3. 信頼性データシート

事故の発生件数、人的や環境原因、火災などへの進展、などの信頼性評価のためのデータをシートに纏めた。³⁾シートの総数は126であるが、その一例をFig. 4に示す。図中/Y-Sは一年一隻当たりである。

座礁・衝突に関する信頼性データシート シート No. 39			
分類番号 題目: II 居眠りし航法不順守で運航支障以上の衝突事故確率			
確率値			
per Year-Ship (一般一年当たり)		分岐確率 (ある頂上事象に対して)	
/Year-Ship	0.35E-3 ±0.045E-3	分岐確率	0.139
対象船種	シートNo. 10 に同じ	84.1%信頼区間 =平均±σ (調査で零の確率)	0.139 ±0.018 (0)
母集団 (種類・数)	シートNo. 10 に同じ	頂上事象 とその上位の 頂上事象	シートNo. 6 の運航に支障ある 衝突事故を頂上事象とする
備考 (他の文献での値・現象詳細)			
シートNo. 39~47の原因は、それによりシートNo. 33~38の何れかの航法不順守により運航支障以上の衝突事故を起こしたものである。分岐確率はシートNo. 6の運航支障以上の衝突事故を頂上としたものである。航法不順守を頂上とする場合は1.0/0.707=1.41倍する。Treeでは39~47の何れかと33~38の何れかとAnd Bで合計でシートNo. 32の確率となる。シートNo. 12の座礁での居眠りとはほぼ同じ割合で衝突の原因となる。			

Fig. 4 A Sample of Reliability Data Sheet

図中に示した σ は標準偏差であり、示した確率値のゆらぎの可能性の範囲を表している。

4. 人間信頼性の理論

4.1 従来の研究

人間に関する研究が医学や神学などから派生し、仕事との関連としての人間工学が始まったのは19世紀末である。⁶⁾ 身体能力、生理や心理と作業の関係が研究され、実用的にはフォードの自動車の量産ラインに研究成果が適用された。^{4) 5)} 確率統計を導入した人間信頼性解析(HRA: Human Reliability Analysis)は航空機の世界を発祥とし、⁵⁾ 原子力、化学プラントの世界で発展し実用化されている。^{12) 13)} これら方法は、各種の事象により事故の発生と進展を樹木状に確率値を伴って表すF, ETAに人間要因を確率を伴って導入する方法である。

F, ETAは Fig. 5にFTAの例を示すように、ANDおよびORで構成されるので、確率演算は乗加算となる。図において事象Aもしくは(OR) Bが生じると、事象Cが生じ、事象Cの確率は $P_C = P_A + P_B$ となる。事象Eの生

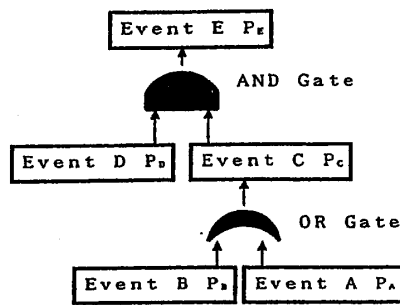


Fig. 5 A Sample of FTA

じる確率は $P_E = P_C \cdot P_D$ (AND) となる。

船の世界においても、緒言で述べたIMOのFSAへの人間要因導入と呼応するように、いくつかの研究が発表されている。^{6) 14) 15)}

座礁・衝突と関係の深い構造信頼性では、各要因、外力と強度などは、それぞれを確率変数として取り扱っている。⁷⁾ 人間要因も2章で述べたように、分布型を持った確率変数であり、また海難審判記録²⁾に十分なデータがある。人間要因をファジイ関数で取扱う試みもあるが、⁶⁾ ここでは、2章で述べたように正規分布とする。従って、比較的簡単な式で、構造信頼性や自然環境で従来検討されてきたのと同様な手法で、同じ土俵上で、人間要因を取扱うことにする。

4.2 事故の原因・結果の表現論理

事故の原因と結果を表現する論理式は、Prologシステムの基本となるホーン節で表現できる。素論理式であるホーン節は(1-1)式に示すように頭部の和結論述語であ

るB、と節条件述語である一群の項Aと、含意(～ならば)を表す<-よりなる。例えば、2. 3の衝突予防法の不順守事象Bは、横切り船航法など6種の事象(項)Aの何れかならば、そうなる事象である。B_iは項A_iの幾つかの論理和(or ∨)か論理積(and ∧)で表現できる。また、A_iは下の階層を持ち得て、(1-2)式にしめすように、論理和か積で表現できる。また、確率で用いる条件付(1)は、andと同様である。(1-3)式に示すようにBは集まってさらに上層のCを作り得る。

$$B_i \leftarrow A_1, A_2, A_3, \dots, A_n \quad (1-1)$$

$$A_i = A_{i1} \wedge A_{i2} \wedge A_{i3} \dots, \\ \text{or } A_{i1} \vee A_{i2} \vee A_{i3} \dots, \\ \text{or } A_{i1} | A_{i2} | A_{i3} \dots \quad (1-2)$$

$$C_i \leftarrow B_1, B_2, B_3, \dots, B_n \quad (1-3)$$

このホーン節の表現で、4. 1で述べたF, ETAを論理式で表現することが可能となる。また、すでに多くの研究のある論理式で述語を表現しコンピュータプログラム化できる。^{8) 16)}

Prolog型論理式とF, ETAの相似性は、ボトムアップ型とトップダウン型がその構成の基本になっていることである。居眠りを中心として考えた場合、ボトムアップ文である「長時間運転し、明け方に居眠りする。」のような場合かトップダウン文である「居眠りし、運転を誤り座礁した。」のような文である。これらの文は論理式でもF, ETAでも表現できるし、ボトムアップからトップダウンへの、また逆への変換が可能である。

述語である項A, B, C...は述語であると同時に確率変数であることが多く、今回対象とした座礁・衝突を対象とした各事象(論理式では項)は2. 2で述べたように、特に正規分布で表される確率変数である。

4.3 確率変数の和と積の性質

確率変数が正規分布である場合、F, ETAや論理式での確率変数の和と積は、また正規分布となる。正規分布は、確率変数をxとして(2-1)式で、その確率密度関数が表される。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2-1)$$

正規分布をする確率変数 x_A と x_B の和の確率変数を x_{ad} 、積の確率変数を x_{mp} とする。確率変数 x_{ad} 、 x_{mp} はともに正規分布をし、その分布の平均 μ と標準偏差 σ は、それぞれ (2-2) ~ (2-5) 式となる。¹⁷⁾

For Probabilistic Variable $x_{ad} = x_A + x_B$

$$\mu_{ad} = \mu_A + \mu_B \quad (2-2)$$

$$\sigma_{ad} = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2} \quad (2-3)$$

For Probabilistic Variable $x_{mp} = x_A \times x_B$

$$\mu_{mp} = \mu_A \times \mu_B \quad (2-4)$$

$$\sigma_{mp} = \mu_{mp} \sqrt{\left(\frac{\sigma_A}{\mu_A}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_B}{\mu_B}\right)^2} \quad (2-5)$$

4.4 人間信頼性評価の基礎式

以上の検討を基に、構造信頼性などで用いられている信頼性の手法¹⁷⁾に、4-2で示した人間要素で用いられる論理式を組合せて、以下のように基礎式を構成する。

確率変数 x_i を、それぞれ独立な変数とし、ある頂上事象に対し、同一の階層にあるとする。

各種の演算に際し、確率変数 x_i を標準正規分布の集まりである空間 U に変換するのが便利である。標準化は正規分布 $N(\mu, \sigma)$ を $N(0, 1)$ にすることであり、(3-1) 式の変数変換を行う。

$$u_i = \frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i} \quad (3-1)$$

where; μ_i, σ_i are mean and standard deviation of x_i

この変換により、標準正規分布の確率密度関数 $\phi(u)$ は (3-2) 式となり、分布関数 $\Phi(u)$ は (3-3) 式となる。

$$\phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}u^2} \quad -\infty < u < \infty \quad (3-2)$$

$$\Phi(u) = \int_{-\infty}^u \phi(u) du = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} du \quad (3-3)$$

次元 n の確率変数の基本ベクトル X は (3-4) 式で表される。

$$X = (u_1, u_2, u_3, \dots, u_n)^T \quad (3-4)$$

事故などの事象の生起の限界となる限界関数 $g(x)$ は (3-5) 式である。

$$g(u_1, u_2, u_3, \dots, u_n) = \begin{cases} > 0; \text{safe} \\ \leq 0; \text{accident} \end{cases} \quad (3-5)$$

基本確率ベクトル X の結合確率関数を f_x を (3-6) 式と置けば、事象の生起確率 p_f は (3-7) 式となる。

$$f_x(u_1, u_2, \dots, u_n) \quad (3-6)$$

$$p_f = \int \int \dots \int_{g(u) \leq 0} f_x(u_1, \dots, u_n) du_1 \dots du_n \quad (3-7)$$

u_1, u_2, \dots, u_i を航海機器や航路の天候・地形などの航海条件とし、 $u_{i+1}, u_{i+2}, \dots, u_n$ を人間要因とすれば、(3-5) 式の $g(x)$ は (3-8) 式となる。

確率変数 u_i は、さらに下層のいくつかの変数 u_{ij} の和もしくは積で表される。

$$\begin{aligned} g(u) &= u_i \vee \dots \vee u_i - u_{i+1} \vee \dots \vee u_n = 0 \\ u_i &= u_{i1} \vee \dots \vee u_{ij} \quad \text{OR} \quad = u_{i1} \wedge \dots \wedge u_{ij} \end{aligned} \quad (3-8)$$

限界関数 $g(x)$ が (3-8) 式のように線形ならば、事故の確率は (3-9) 式となる。ここで "dis" は原点と $g(x) = 0$ 面との距離である。 k, l を事故を起こすに可能な組合せの数であるとする、"dis" は (3-10) 式となる。

$$p_f = \int_{-\infty}^{-dis} \phi(u) du = \Phi(dis) \quad (3-9)$$

$$dis_{kl} = \frac{\mu_k - \mu_l}{\sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_l^2}} \quad (3-10)$$

where; $1 \leq k \leq i, (i+1) \leq l \leq n$ k, l are possible accident combination

この場合事故確率 p_f は (3-11) 式となる。

$$p_f = \sum \Phi(dis_{kl}) \quad (3-11)$$

5. 座礁・衝突事故の解析

5.1 座礁・衝突に影響する因子

座礁・衝突の安全性評価を行うため、多くの事故例を整理し、要因因子を分析した。³⁾ その概要の衝突における例を Fig. 6 に示す。衝突は、人間のエラー、天候・潮の流れ・見通しの悪さ、船の操縦性能欠如や航海機器・機関・舵・プロペラ故障などが原因となる。また、衝突角度、船の速度・大きさ、機器性能、乗員の訓練度などが事故の有無に対するパラメータとなる。いったん事故が起ると、積荷が可燃物かどうか、消火・避難設備、転覆に

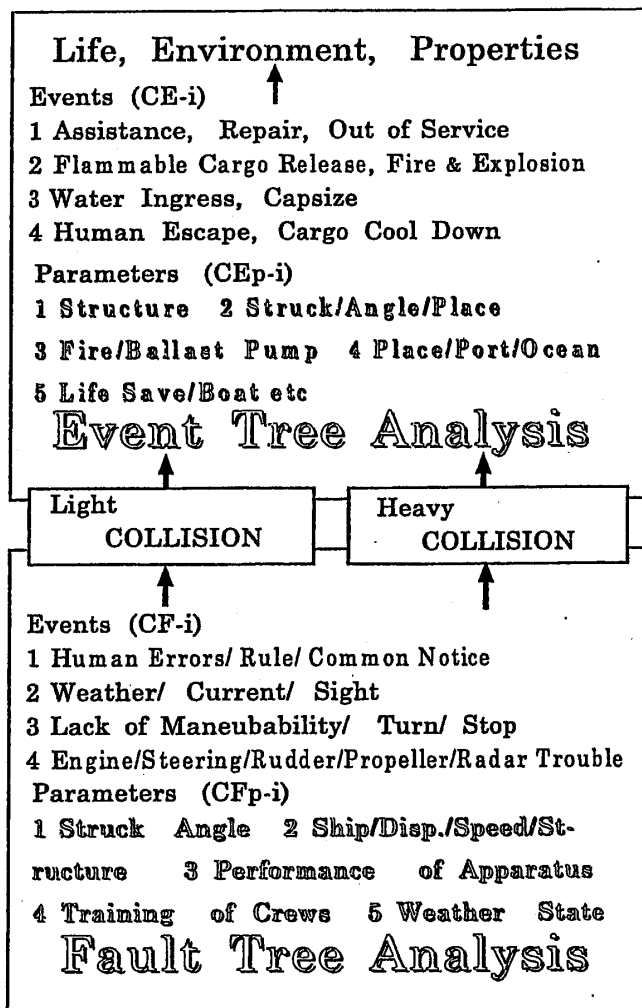


Fig. 6 Events and Parameters for Collision

影響する隔壁の水密性などで事故の影響程度が異なる。座礁もこの図とほぼ同じである。

実際の事故のストーリーと、前述した信頼性データシートから座礁・衝突のF, ETAを各種作成したが、³⁾ 衝突におけるFTAの例をFig. 7に示す。

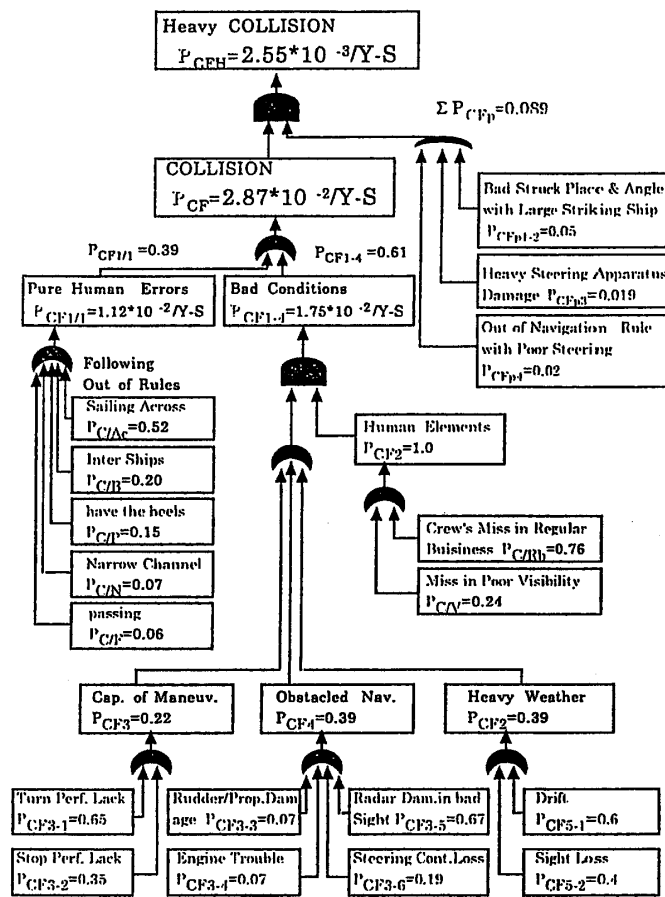


Fig. 7 FTA of Collision

図から判るように、事故の約40%は、悪条件もなく純粹の人間のエラーによっている。また、重なる悪条件は旋回性能などの操縦性能欠如、レーダー・舵などの航海機器の故障と悪天候の三つに分けられるが、いずれも人間要因が関係している。

5.2 事故事例の信頼性解析

事故事例として2.1で述べた架空事故を取上げる。解析のために、仮定を追加する。両船ともに旅客船であり、船長Lは70m、衝突時速度Vはともに12kt、衝突後多数の死者をだした。

衝突の危険のある領域として「限界閉塞領域」が定義されている。¹⁸⁾ その領域には、船の船長 L_m 、旋回縦距 D_A 、旋回径 D_T と船速 V_{knot} が関係する。本事故のような反航で同形船どうしの場合の閉塞領域の距離 r_r は(4

一1)式で、限界閉塞領域の距離 r_L は(4-2)式で表される。¹⁸⁾

衝突の確率 p_c と、視覚で確認した時の両船の距離 r との関係を(4-3)式と置くことにする。

$$r_F = L + 2 \cdot T \cdot V \quad (\text{m}) \quad (4-1)$$

where;

$$T = 0.67 \cdot [D_A^2 + (D_T/2)^2]^{0.5} / V \quad (\text{sec})$$

$$\log(D_A/L) = 0.359 \cdot \log V + 0.095 \pm \sigma_A$$

$$\log(D_T/L) = 0.544 \cdot \log V - 0.08 \pm \sigma_T$$

where; $\sigma_A = 0.0825$ and $\sigma_T = 0.0963$ are Standard Deviation

units; D(m), L(m), V(knot)

$$r_L = L + 0.2 \cdot (r_F - L) \quad (\text{m}) \quad (4-2)$$

$$p_c = 1.0 - \sqrt{r/r_L} \quad ; \quad r \leq r_L \quad (4-3)$$

where; r is a inter ships distance at a observation of a opponent

旋回径などを変数とし「べき」 n で含む算式で得られる値の標準偏差は、変数の標準偏差/平均(σ/μ)の n 倍となる。¹⁹⁾これより例題の、 $V=12\text{kt}$ の速度で、70m先に相手船を確認した時点に(4-1~3)式を当てはめると、 r_L の平均 μ と標準偏差 σ は $134 \pm 37(\text{m})$ 、 $p_c=0.28 \pm 0.1$ となる。

もし、両船が 5kt に減速していたとすると、 $r_L=116 \pm 25$ 、 $p_c=0.22 \pm 0.09$ となる。減速によっても旋回径は $2/3$ 程度にしかならず、近距離確認なので衝突の確率はさほど小さくならない。両船が、もし無線確認を行っていたとすれば、操作のミスは 0.37 倍と考えられる。³⁾¹²⁾無線確認は減速よりはるかに効果的であるが、それでも衝突を起さなかったとは言えぬ。対策として、人間の操縦行動管理より、島を介しての対面交通とする、水路管理・人間行動規制が有効である。霧のように、航海中見通しの悪い確率は 0.1 である。³⁾また、見通しの悪い条件での衝突の確率はFig.7より全衝突の $0.61 \pm 0.39=0.238$ で、その他の条件の 2.38 倍となる。瀬戸内海のように、霧の多い所では、特に衝突対策が重要である。衝突事故は、全件数の内、沿岸が 0.68 、外洋が 0.2 、港付近が 0.12 であり、³⁾沿岸での事故が多い。沿岸航行の多い旅客船では、人命への影響も大きいことから、当然衝突対策は他船より重要である。

6. 結言

確率的安全評価に人間要因を加味することに対し、従来

、他機種ではF, E T Aにある特定の事象確率を与えて導入していた。本論は、それを座礁・衝突に応用した上で、人間によるミスの確率も変動するとの観点で、検討したものである。

1) 座礁・衝突事故に関し、人間の行動要因を整理したデータ³⁾を参考に、座礁・衝突に関係が深い構造信頼性の手法に人間信頼性を導入する理論算式を提案した。

2) サンプル事例について、本検討手法で解析し、事故の防止対策として水路管理が有効であることを示した。

謝辞

本研究実施に当たり、有益なご意見を頂いた、日本造船研究協会RR42部会の委員各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) IMO MSC/MEPC JWG: Formal Safety Assessment- Interim Guidelines-, MEPC40/16, June (1997)
- 2) 海難審判協会: 海難と審判、1~124 (1956~1997)
- 3) 日本造船研究協会: 船舶の確率的安全評価方法に関する研究、RR42平成8&9年度報告
- 4) 林 嘉男: 人間信頼性工学、海文堂(1984)
- 5) ホーキンス著、黒田他訳: ヒューマンファクタ、成山堂、(1992)
- 6) 篠田 岳思、福地 信義: ヒューマンエラーを考慮した機能システムの信頼性評価、SNAJ, Vol. 176 (1994)
- 7) 室津 義定: 構造信頼性工学、東大特別講義、(1992)
- 8) コワルスキ著、浦 訳・監修: 論理問題の解法、倍風館、(1987)
- 9) 的場 正明: データより推定する確率値の確かさ、RR42-WG-9-1-2 (1997)
- 10) 的場 正明: 事故発生確率解析のための諸データ、RR42-8-8-3 (1996)
- 11) 中山 伊知郎 編: 統計学事典、東洋経済新報 (1951)
- 12) AEA UK: The Guide to Reducing Human Error in Process Operation, SRDA-R3 (1991)
- 13) AICE: Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis (1989)
- 14) D. E. Boniface et. al.: Assessing the Risk and Countermeasures for Human Error, SNAME, Vol. 104 (1996)
- 15) K. Mitchell et. al.: Minimizing the Potential for Human Errors in Ship Operation, IMAS95 (1995)
- 16) 市川 新: Prologシステム、啓学出版 (1986)
- 17) A. Freudental: Reliability, Colum. Univ. Note (1963)
- 18) 有村 信夫他: 衝突予防航行支援装置の開発、日本航海学会論文集、Vol. 91 (1994)
- 19) 的場 正明: 各種関数の確率推定誤差、RR42WG-9-2-5 (1997)