

46 イベントツリー手法による座礁・乗り揚げ事故発生頻度の評価

海上安全研究領域
総合安全評価研究グループ
旅客安全・バリアフリー研究グループ
企画部研究統括主幹

* 松岡 猛
三友信夫
金湖富士夫
宮本 武

1. まえがき

船舶の安全性を確保するための基準適正化等の検討に必要な安全性評価手法についての研究を進めている。今回は海難事故で衝突事故に次いで発生頻度が高い座礁・乗り揚げ事故等を取り上げ、イベントツリー(ET)手法を用いて事故発生頻度の評価を行った。

イベントツリーの定量的評価に必要な人間行動の過誤率等については、衝突事故発生頻度の評価⁽¹⁾の時実施したと同様のアンケート調査を船長、航海士に対して実施し、船舶航行時の操船誤りに関連する貴重なデータを得た。さらに、座礁・乗り揚げ事故等低減のための対策(リスクコントロールオプション:RCO)の評価を行い、安全対策の効果の定量的評価を行った。

2. 解析手順

解析は以下の手順に沿って実施した。

まず、乗り揚げ事故の発生状況を平成 11 年 3 月 海難審判庁発行の「乗揚海難の実態」⁽²⁾を基に代表的なパターンについて分析を行った。事故事象の内容を調べて見ると、座礁事故、乗り揚げ事故、単衝突事故はほぼ同様な原因により発生すると考えられるが、結果が異なったため別名の事故として分類されている。そこで、これらをまとめて今回の検討対象とした。

検討の結果をもとに乗り揚げ事故発生に至る筋道を一般化してモデル化し、イベント・ツリー(ET)形式で表現した。ET 中に現れる事象の発生確率(ET のヘディング)を算定するため、ヘディングについてフォールト・ツリー(FT)を作成し、基本事象(ベイシックイベント)の発生確率を与えFT 頂上事象発生確率を求めた。ヒューマンファクターに関する事象発生確率は適切なデータがないため、作

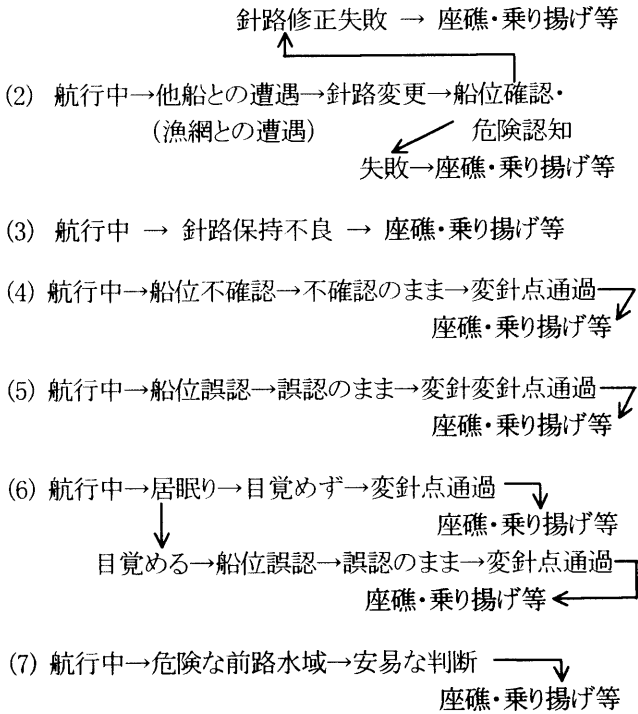
成した ET に現れる人間行動確率について船長等の航行経験者に平成 12 年度と同様にアンケート調査を実施し推定した。

最後に、得られた事象発生確率値をもとにET の定量解析を実施し、船舶の座礁・乗り揚げ事故等の発生確率を算定し、RCO の定量的評価を実施した。

3. イベントツリーの作成

前年度の衝突事故シーケンスとしては、一般化した一つのシーケンスを作成したが、今回は事故の発生の様態毎に別々のシーケンスを考え、以下の7種類にまとめた。

(1) 停泊中 → 漂流開始 → 座礁・乗り揚げ等



上記の諸要因の連なりをもとにイベント・ツリーを作成した。環境条件(霧、島陰等)、航行条件については一般的な状況を想定しヘディングからは除外し、比較的簡略化されたイベントツリーとした。

また、イベント・ツリーにおいて検討している時間間隔は一航海とした。ここで、一航海とは「相隣り合う二港間の航海」である。一例として(6)のシーケンスをET形式に表示したものを図-1に示す。

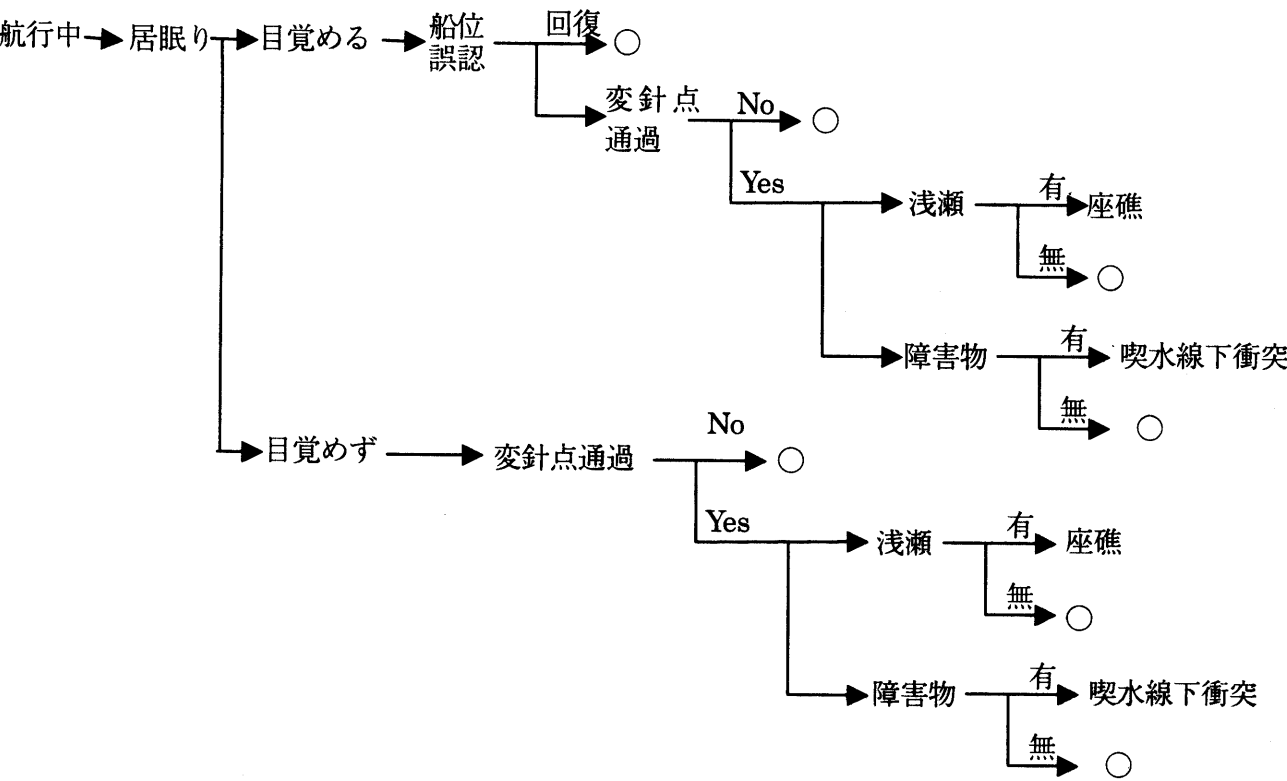


図-1 座礁・乗り揚げ等に至るイベント・ツリーの一例(シーケンス6)

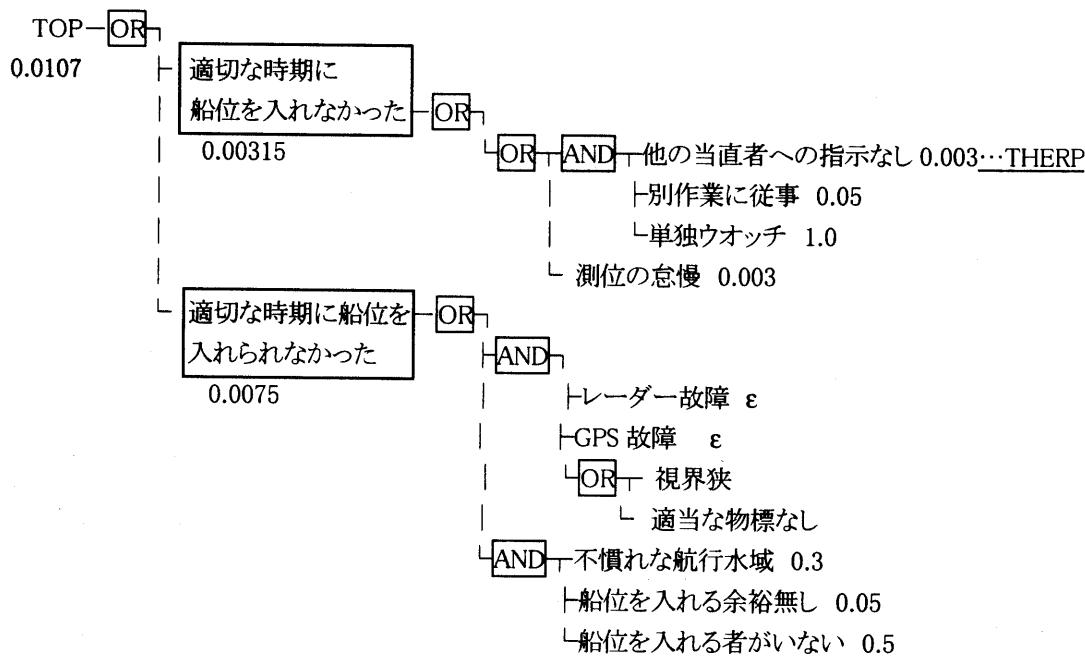


図-2 フォールト・ツリーの一例(「船位不確認」のFT)

4. イベント・ツリー(ET)の定量解析

4. 1. フォールト・ツリー(FT)による分岐確率の検討

これらの ET の各事象はやや概略的な項目となっており、ET の定量的評価のためには各事象について、より詳細・具体的な要因から構成されているフォールト・ツリーを作成する必要がある。まず、ET 中に現れる各事象を構成する要因を調べあげ、それを基に FT を作成した。それらの FT の各基本事象の発生確率を各種データ、工学的判断により推定し積み上げることにより各 FT の頂上事象発生確率が求まる。この頂上事象発生確率値がすなわち ET 中における分岐確率となる。ただし、ET 中に現れる事象でも FT で表現することになじまない事象については FT の作成は行わなかった。一例として、「船位不確認」の FT を図-2 に示す。

4. 2. 専門家判断による分岐確率の推定

航行環境に関する項目及び人間が関わる項目について、既存のデータベースから統計的にその発生確率を求めることが困難な場合が多い。漂流開始、他船との遭遇隻数といった航行に関する頻度は、統計的に議論するだけの観測記録は採られていない。一方、人間に関わる項目であるヒューマンエラーの生起確率についても、原子力プラント等で検討されデータベース化が進められているもの

の、プラントの運転に特化しており、直接操船判断の評価には使えない。そのため、操船状況に対応した事象発生確率、人間誤操作確率を求める必要がある。

平成 13 年度においても、前年度と同様専門家へのアンケートにより、人間の判断、誤操作等に関する確率を求めた。作成した ET のヘディング中ヒューマンファクターに関係する項目について定量的な値を答えてもらう形式のアンケートを作成した。

アンケートは以下の関係会社等へ依頼した。日本旅客船協会、全国内航タンカー海運組合、日本航海海運組合総連合会、航海訓練所、(財)日本海事協会。現在までに約 400 件の回答を得た。各質問項目毎に回答者の答えを確率値に変換し、横軸を確率値、縦軸を回答数の累積確率値としたグラフに表現した。各回答者が全ての質問に答えているわけではないので、質問項目毎に回答数は異なっている。

図-3 に集計結果の一例を示す。回答数の累積が 50% に対応する確率値を図中に示してある。この値が専門家意見による事象の発生確率(ヒューマンエラー率等)の判断値と言える。また、回答者による答えの散らばり具合から、5% 下限、95% 上限値も推定できる。

アンケート集計結果の一部を示したのが表-1 で

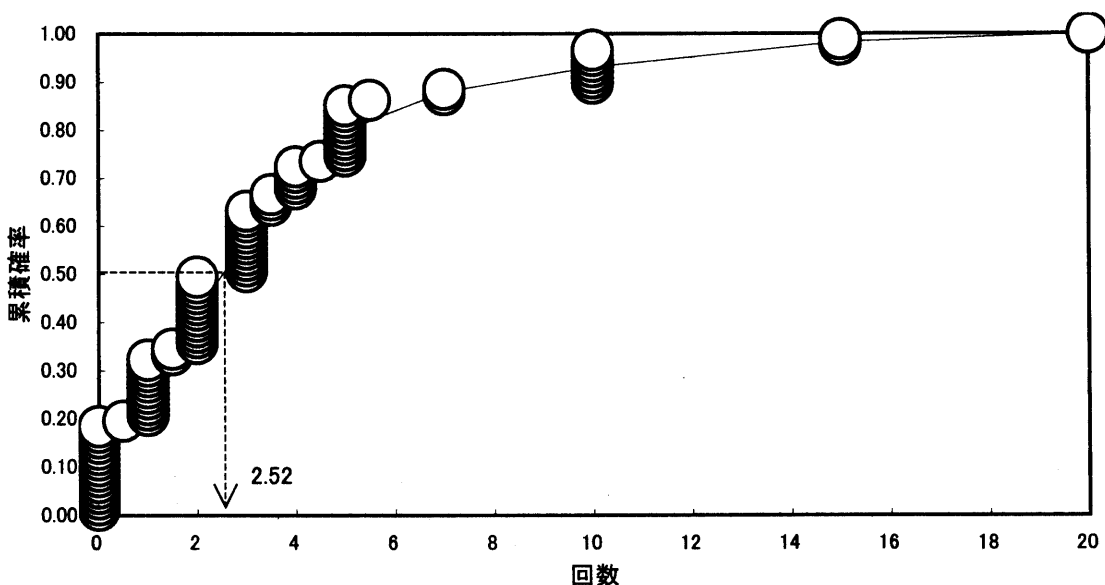


図-3 アンケート集計結果の一例 (航行中進路を変更する状況の発生する回数、湾内)

表-1 各事象発生頻度及び確率

項目番号	事象	FT による評価結果	アンケート結果
a-①	何らかの理由で流されたことのある回数	—	0.623 回(過去における経験数)
b-①	航行中針路を変更する状況の発生する回数(湾内)	—	2.52 回/航海
b-②	針路変更後、危険状態にあることに気がつかない確率(湾内)	—	0.0076/航海
b-③	思い通りの修正ができない確率(湾内)	—	0.093/航海
d-①	船位不確認となる状態の発生頻度(湾内)	0.017	0.006
d-②	船位不確認後、再度確認できる確率(湾内)	—	0.732
e-①	船位を誤認してしまう状態の発生頻度(湾内)	0.0000156/航海	0.0011/航海
e-②	誤認後、船位を再確認できる確率(湾内)	0.988	0.906
f-①	居眠りもしくはそれに近い状態になってしまう確率	—	0.001/航海
f-②	居眠りもしくはそれに近い状態になってしまったが目覚める確率	—	0.68
f-③	目覚めたものの船位を誤認してしまう確率	—	0.5
g-①	危険を感じても迂回せず無理をしてしまう状態の発生頻度(湾内)	—	0.0014/航海

ある。表中、項目番号はアンケートの質問票で使用した番号に対応している。

4. 3. 浅瀬、障害物の存在確率

図-1 のイベントツリーにも示されているように、座礁・乗り揚げ等に至るシーケンスをたどって行った場合に事故が発生するか否かは、本来の針路以外の針路を進んでいることに気がつかず前方の浅瀬、障害物にぶつかってしまう事にかかっている。この不正な針路を進んでしまう時間の長さを“船位誤認”、“船位不確認”、“漂流”等の場合は 3 分間、居眠りをしている場合は 10 分間とし、その間に進む距離において障害物が存在する確率を算出して定量評価に使用した。この算出方法についての詳細な報告⁽³⁾は金湖によって本研究発表会でなされる。予定針路を逸脱し、3分間放置しておくで東京湾内では、0.012、0.024 の確率でそれぞれ浅瀬、海岸線に出会う。10 分間放置しておくで、0.045、0.178 の確率となる。

5. 座礁・乗り揚げ等事故 ET の定量化

以上の検討の結果、ET の各ヘディング事象の発生確率が得られる。これらの数値を用い ET 定量化解析を実施した。人間行動に関する項目はアンケート結果の値を用い、FT の評価値は参考とした。

解析結果をまとめると表-2 の様になる。

海上保安庁は、毎年内部資料として、海難調査表の統計解析を出版しており、平成2年～平成6年の5年間の海難事故の実態によると海難事故の種類では、衝突(23%)、乗り揚げ(22%)となっており、座礁・乗り揚げ事故はほぼ、衝突事故と同じ件数発生していることがわかる。

衝突事故発生確率は、平成 12 年度造研 RR49 報告書分冊 63 ページでの統計値等からの検討を基に、1航海あたりに換算すると約 6×10^{-4} /航海 $\sim 4.4 \times 10^{-3}$ /航海と推定される。

一方、要求助海難統計によると平成元年から平成8年までの期間における平均乗り揚げ回数は 9.14 回/年であった。東京湾内の船舶航行数は

100～500GT の船舶が二日間で 3662 隻という調査結果がある。これから、 $9.14 \div (3662 \times 365 / 2) = 1.36 \times 10^{-5} / \text{航海}$ という数値が出てくる。これは救助に要した乗揚げ事故数ということで、実際に発生した件数の下限を与えていると考えられる。

さらに、海難審判庁の報告書によると内航タンカーの事故確率は 0.042 / 隻・年、内航貨物船の事故確率は 0.03 / 隻・年というデータがあり、それぞれの座礁事故割合は 18.6%、25.6%となっている。内航船の一年当たりの航海数を 200 航海とすると、座礁事故発生確率はどちらも $3.9 \times 10^{-5} / \text{航海}$ となる。

表-2 に示した ET 解析結果からは、座礁・乗揚げ、喫水線下衝突の合計で、 $3.09 \times 10^{-3} \text{ 回} / \text{航海}$

という値となる。

この表から、他船・漁船との遭遇、針路保持不良に起因する座礁・乗揚げ事故の発生確率が高いという事がわかる。他船・漁船との遭遇時の ET 中の要因を見ると危険認知後の針路修正がうまくいっていない(0.093 の失敗確率)事が主原因になっている。

居眠りが原因となる事故は比較的小である。アンケートの回答で居眠りをしてしまう確率が小と出ることと、万一の居眠り時にも目覚めると答えているためである。

船位不確認が原因の事故も無視できない事がこの解析からわかった。

表-2 座礁・乗揚げ、喫水線下衝突事故発生頻度(ET による解析値)

ET の種類	座礁・乗揚げ	喫水線下衝突
(1) 停泊中漂流	2.10x10-6	4.20x10-6
(2) 他船・漁船との遭遇	2.83x10-3	
(3) 針路保持不良	1.09x10-4	
(4) 船位不確認	1.95x10-5	3.79x10-5
(5) 船位誤認	1.19x10-6	7.12x10-6
(6) 居眠り	1.51x10-5	5.84x10-5
(7) 危険な前路水域	3.36x10-7	
合計	2.98x10-3 回／航海	1.07x10-4 回／航海

6. RCO(リスク・コントロール・オプション)の検討

座礁防止については、操船者を正常な状況に保つ方策と不適切な航路を取った場合に警報を出し対応を要請するという、2つの方法が考えられる。

操船者を正常な状況に保つ方策としては、居眠り防止装置があり、現在は、定期的にボタン等を押す方式と、操船者の頭の動きを検出すると言った方式の機器が販売されている。また、IMO では居眠り防止装置について審議中である。

不適切な航路を取った場合の警報は、GPS による高精度な位置の特定と電子海図による詳細な地形データをつきあわせる事で可能になっている。この方法では、2種類の方法が考えられる。第一は、自分の設定した計画航路に状況に応じた幅を設け、その幅からの逸脱を検出する方法で、第二の方法は、電子海図の等深線データから危険領域を判断する方法で、いずれも自船の位置と速度ベクトルから計画航路あるいは等深線からの逸脱を検出して

警報を出す事になる。

これらが RCO の候補となるが、どれだけ座礁・乗揚げ事故、喫水線下衝突事故の低減に効果があるか ET を用い定量的に評価した。各々の RCO を実施したときの効果として、対応する ET の事象の発生確率がどれだけ低減できるかを評価し、それに基づいて ET の定量的評価を再実行することにより、全体としての事故発生確率の減少割合が算出できる。

座礁・乗揚げ事故確率の減少効果からみると水深警報、航路逸脱警報、居眠り防止装置の順に効果が大である。喫水線下衝突事故発生確率の減少効果からは、航路逸脱警報、居眠り防止装置の順に効果が大きいが、水深警報は効果が認められなかった。しかし喫水線下衝突事故発生確率は座礁・乗揚げに比較して一桁以上発生確率が小であるので、事故全体から見ると水深警報がもつとも効果的であると言える。

7. まとめ

今回、座礁・乗り揚げ等の事故を取り上げイベントツリーを用いた確率論的評価を実施した。前年度において、既に衝突事故の発生頻度評価は実施済みであり、今後浸水・沈没等他の事故についての解析も実施していき、船舶分野における標準的な確率論的安全評価方法実施手順としてまとめていく予定である。

参考文献

1. 松岡 猛他、「イベントツリー手法による船舶衝突事故発生頻度の評価」、第1回海上技術安全研究所研究発表会講演予稿集 pp.209-213 (平成 13 年 6 月)
2. 海難審判庁、「乗り揚げ海難の実態」(平成 11 年 3 月)
3. 金湖富士夫、「海底地形モデルによる東京湾の乗揚危険率推定方法について」、第2回海上技術安全研究所研究発表会講演予稿集(平成 14 年 6 月)