

海事分野におけるリスクアセスメントについて

— リスクとうまく付き合う —

田村 兼吉*

1. はじめに

「リスク」という言葉は、「リスクヘッジ」や「カントリーリスク」等、日常でも頻繁に使われる様になってきた。ただ日本では、一般的に「リスク」は「危険そのもの」と考えられているのに対し、欧米では「悪い事象が起こる可能性」として、あくまで「可能性」と考えられており、捉え方はかなり異なる。

「リスク」の語源は、イタリア語のrisicare（勇気を持って試みる）やrisico（災い）、スペイン語のrisco（切り立った険しい岩礁）など諸説あつてはつきりしないが、「リスク」概念の発展に、航海・貿易等、海事分野が大きく関わってきたことは確かだろう。例えば、17世紀の終わり頃、英国ロンドンでEdward Lloydによって経営されていたロイズ・コーヒーハウスが、船乗りや商人たちからもたらされる情報を集めて新聞を作り、それらを元にリスクを分散させるためのシンジケートを組織する等、海難保険制度の礎を作ったというのは、広く知られた話である。

本稿では、最近のリスクアセスメント、特に海事分野で利用されているリスクアセスメントに関わる概念や実際の手法を紹介すると共に、将来的な適用分野の拡大についても言及したい。

なお、Risk Assessmentを、日本では「リスク評価」と訳す場合が多いが、Risk Evaluationも「リスク評価」と訳される。evaluationは評価する行為そのものであるのに対し、assessmentは評価した結果に基づいて考察を加え、判断することまでを含める概念であり、若干の相違点がある。本稿での「リスク評価」には判断までを含めることから、混同を避けるためリスクアセスメントの表記を用いることとした。

2. 安全について

2.1 安全とは何か

「安全第一」という標語は街中でもよく見かける。これは、1901年に当時世界一の製鋼会社であった

USスチールの社長、Elbert Henry Garyが、なかなか事故が減らないことに心を痛め、当時業界一般の経営方針であった「生産第一・品質第二・安全第三」を改め、「安全第一・品質第二・生産第三」としたことに由来する。この経営方針により、大戦時の労働者不足においても、USスチールは、事故が少なく、品質も優れ、生産性も高い会社となった。「安全第一」のスローガンは全米に浸透していった。

「安全第一」を実現することは人類の課題であるが、「安全」とは何かということ、それ自体はあやふやなもので、これを明確に定義することは難しい。逆に、「安全」の反対の概念である「危険」は人身事故や疾病等、はっきりと目で見ることができ、取り扱いも実地的である。従って、「危険」側から「安全」を定義するのが妥当と考えられる。

ISO/IECガイド31によれば、安全とは「許容できないリスクがないこと」と定義されている。注記として「この規格において、受容可能なリスクおよび許容可能なリスクは同義語の場合がある。」としている。また、JIS規格²⁾では、「人への危害または損傷の危険性が、許容可能な水準に抑えられている状態」としている。つまり、「安全」は「リスク」や「危険性」を介して定義されている。同時に、安全だとしても、ある程度のリスクは残っており、安全とはこれらが受容または許容できるレベルまで低く抑えられている状態であることを意味している。絶対安全（ゼロリスク）は初めから放棄されており、これが世界の共通認識である。

2.2 安心と安全

「国民の安心・安全に貢献する」といった標語の様に、最近「安心」と「安全」がペアにして使われることが多いが、安心と安全は何が違うのだろうか。英語では、安全はsafetyであるが、安心に対応した訳語は難しい。強いて言えばpeace of mindだろうが、主観に依存するものである。豊洲市場への移転問題が紛糾したとき、小池東京都知事は「豊洲は安全だが安心ではない」と発言した。客観的には安全だと分かっている、まだ不安を感じるという、日本人的な考えを代表する言葉かもしれない。

また、風評被害という言葉は、根拠のない噂やデ

* 運輸安全委員会委員

マにより、悪い影響、特に経済的な被害が発生したときに使われるが、これも「安全だが、安心ではない」ことから発生すると考えられる。なぜ安全と言われても安心できないのだろうか。利用者側の知識の偏りや不足、無関心による知ることの放棄が原因の一つであり、自ら学ぶ姿勢が必要である。しかし、利用者が安全を実現・保証している組織や人間を信頼できて、初めて安心に結びつく。こうした組織や人間側の利用者への積極的な情報発信や相互のコミュニケーションも、安心の醸成には不可欠だ。

2.3 安全目標

絶対安全が存在しない状態では、どこまでリスクを低減したら安全と言って良いかという問題が出てくる。安全の定義には、受容できる (acceptable)、許容できる (tolerable) という言葉が出てくるが、ISO/IECガイド²⁾では許容可能なリスクは「その時代の社会の価値観に基づく所与の状況下で、受け入れられるリスク」となっている。どこまで対策をとったら安全かの明確な判断基準は無く、リスクの大きさ、利便性、コスト等との兼ね合いで決められる。以下に代表的な判断基準を列举しておく³⁾。

・危険効用基準

製品から受ける効用、メリット、利便性とそれが有しているリスクとを比較して、受け入れるか否かを判断する考え方。

・費用便益基準

リスク削減策を実施するのに必要なコストと実施によって得られる便益や効用とを比較して、どこまでリスクを下げるべきかを判断する考え方。

・消費者期待基準

通常の消費者が合理的に期待する安全性の基準であり、常識として最低限守らなければならないリスクのレベルとする考え方。

・標準逸脱基準

規格や規制・法律がある場合に、その基準を満たしていれば良いとする考え方。

2.4 ALARP

多くの場合、実際の安全目標は、ALARP (As Low As Reasonably Practicable) の原則を用いて判断される。ALARPとは、リスクは合理的に実行可能な限りできるだけ低くしなければならないという考え方であり、危険効用基準や費用便益基準等に従って、できる限りリスクを低減していく。実際には、ある程度以上のリスクは許容不可能 (intolerable)、ある程度以下のリスクは広く許容可能 (negligible) で、その間を合理的に実行可能な範囲であるALARP領域とする。リスクがALARP領域に留まることができるのは、リスク低減に要する費用が、得

られる利益に対して極度に大きいことを示せる場合のみとされる。図1はALARP領域を示した概念図で、人参のように見えるためキャロットダイアグラムとよばれる。ALARPの原則を用いた安全目標は、原子力、化学工学、交通 (自動車、航空機、鉄道、船舶)、計算機、通信と、対象分野によって取り扱いがかなり異なる。様々な分野に適用できる安全目標は、日本学術会議においても模索中である。

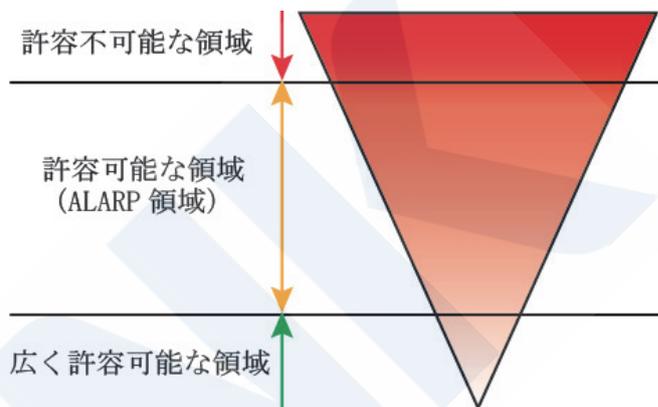


図1 ALARPの概念 (キャロットダイアグラム)

3. リスクについて

3.1 様々なリスク

リスクには様々なものがある。例えば、環境リスクは、化学物質などが環境を經由して人の健康や生物の生息に悪影響を及ぼす可能性を表す。カントリーリスクは、海外投融资や貿易を行う際、対象国の政治・経済・社会環境の変化による、個別事業相手が持つ商業リスクとは無関係に収益を損なう危険の度合いを言い、ロシアのウクライナ侵攻に起因するリスクはその典型的なものである。こうした様々なリスクのうち、概念が比較的定まっている経済でのリスクと安全工学でのリスクについて解説する。

3.2 経済でのリスク

この分野ではリスクとは一般的に「ある事象の変動に関する不確実性」、つまり、リスク＝不確実性と考える。従って、結果の重要性は含まれない。

この定義に従うと、断崖絶壁の端に人が立っている状態は、転落するか無事であるかは分からないので、不確実性、つまりリスクが高い。しかし、一旦その人が崖から足を踏み外して落ちていくとき、十中八九命がないとすれば、足を踏み外した直後にリスクは低下することになる。

3.3 安全工学でのリスク

安全工学でのリスク⁴⁾は、人間の生命や経済活動にとって望ましくない事象の不確実さの程度およびその結果の大きさ、と定義される。つまり、リスクは

発生頻度（frequency）と結果の重大性（consequence）との組み合わせとして考えることができる。この場合、リスクを減らすには発生頻度を減らすか、結果の重大性を減らすかしなければならない。

例えば、最も単純に考えると、式(1)の様に、結果の重大性と発生頻度の両者をかけ合わせた値をリスクの値として定義することができるが、実際にこの式はよく利用されている。

$$\text{リスク} = (\text{consequence}) \times (\text{frequency}) \quad (1)$$

ただ、この式を用いた場合、consequenceが高くてfrequencyが低いものと、consequenceが低くてfrequencyが高いものの2つが同じリスクの値となることがある。飛行機事故と自動車事故との比較でも分かるように、consequenceが高くてfrequencyが低いものの方が、圧倒的に注目度が高い。そういう意味で、consequenceとfrequencyをどのように組み合わせてリスクの値を決めるかには、まだまだ考慮の余地がある。

3.4 事故シナリオに関する用語⁴⁾

安全工学において、事故シナリオを取り扱う場合に用いられる用語には、以下の様なものがある。

ハザード（hazard）は、最近ハザードマップ等で聞くことも多い言葉であるが、人命等に対する脅威を表す。事故発生をもたらす事情や条件のことで、いわゆる危険事情である。例として、雪で凍結した道路、河川近くにある住宅、ノートパソコンの近くのコーヒー等があげられる。なお、リスクとハザードは同じ意味に使われることもあるが、リスクアセスメントの観点から見ると異なる用語である。ハザードが自然災害、停電、劣化などによる危険性又は有害性を表すのに対し、リスクはハザードが悪影響をもたらす可能性の度合を表す。つまりハザードがなければリスクは存在しない。

ペリル（peril）は、損失の直接的原因を表す。危険をもたらす、あらゆる原因を指し、火災、爆発、交通事故など損失を生む事故、またはその原因となる事故のことである。例として、落雷、台風、衝突、洪水等があげられる。

コンシークエンス（consequence）は、前述のように事故の深刻度を表す。人の死傷数（人）や被害額（円またはドル）を用いる場合が多い。

「ハリケーンにより石油プラットフォームが破壊して3人が死亡した」という事故シナリオの場合、ハザードはハリケーン、ペリルは石油プラットフォームの破壊、コンシークエンスは3人死亡という

ことになる。

3.5 発生頻度のイメージ

発生頻度は確率であり、[0, 1] の範囲の値をもつ無次元量である。確率を求めるには、まず、1時間当り、1年当り、1航海当りなど、参照する期間を特定する必要がある。対象が船舶の場合、年・隻当り（per ship-year）、稼働時間当り（per working-hour）など特定の参照期間を用いる場合がある。

確率であるから通常小さな値となるが、ゼロにはならない。従って、その値の意味を理解し、具体的なイメージをもって使わないと、現実離れした議論になる。年確率 10^{-2} は一生に一度、年確率 10^{-10} は宇宙が誕生してから1度だけ起こる確率である。例えば、雷に打たれる確率は年確率 10^{-6} 程度とのデータがあるが、宝くじの1等当選確率は 10^{-7} である。憂慮すべき確率ではないが、全く無視しても良いとは言えない確率だろう。

4. リスクアセスメント

4.1 リスクアセスメントとは何か

ISO規格では、リスクアセスメントとはリスク同定、リスク解析、リスク評価を網羅するプロセス全体を指す。

リスク同定（またはハザード同定）は、リスクを発見し、認識し、記述するプロセスである。

リスク解析は、リスクの特質を理解し、リスクレベルを決定するプロセスである。

リスク評価は、リスク（とその大きさ）が受容可能か（許容可能か）を決定するために、リスク解析の結果をリスク基準と比較するプロセスである。

リスクアセスメントとは、もともとリスクマネジメントプロセス内のサブプロセスである。通常は、リスクアセスメントの後で、予測されるリスクの値（予測値）と、許容されるリスクの大きさ（許容値）を比較し、予測値が許容値を上回ったときには、リスク軽減またはリスク回避の施策をとるという意思決定を行い、より安全な状態を実現するプロセスをとることになる。

4.2 リスクアセスメントの実際

4.2.1 FSAの概要⁵⁾

実際に海事分野のリスクアセスメント手法として広く利用されているFSA（Formal Safety Assessment）を例として示す。FSAは図2に示す様に、その手続きはStep 1～Step 5の5段階に分かれている。各段階での作業を解説する。

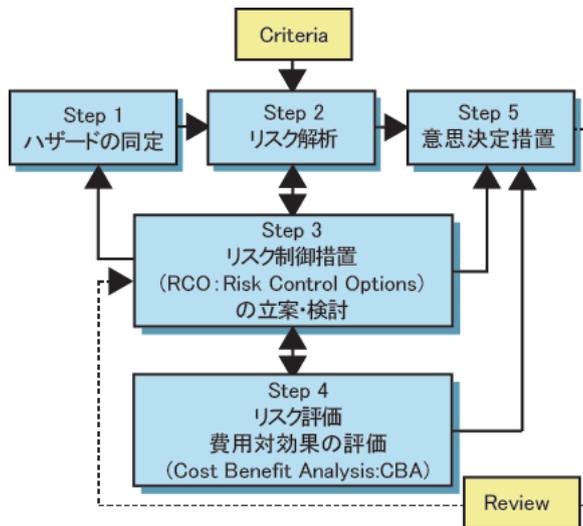


図2 FSAの手続き

4.2.2 Step 1：ハザードの同定

Step 1では、最初に事故に至る種々のハザードを同定する。同定には、HAZID会議および分析的方法を組み合わされて用いる。

HAZID会議は、異なる分野からの複数の専門家で構成され、スケジュールに沿ったミーティングを通して、被害程度と発生頻度の数値化を行う。また、分析的方法では全てのシナリオに対して、利用可能なデータを用い、リスクレベルで順位付けを行う。

Step 1では、ハザードリスト、リスクレベルで順位付けされた関連シナリオおよび事故原因とその影響の記述の3種の出力を得ることができる。

4.2.3 Step 2：リスク解析

Step 2では、Step 1で得られた事故シナリオの詳細なリスク解析を行い、事故確率、事故後の災害拡大が生じる確率とその重大性を求めることにより、対象全体のリスクを個々の事故シナリオのリスクの総和として求める。

この場合のリスクとは安全の指標であり、FSAでは式(1)の様に、事故の発生頻度と被害程度との積によってリスクを定義しており、想定する被害は、人命損失、環境影響、財産の喪失である。リスク評価指標には、個人リスクおよび社会リスク等がある。例えば、個人リスクとは個人が交通機関を利用している期間中のその個人の死傷頻度を示す指標、社会リスクとは、交通機関を利用している集団の、考慮対象期間中の死傷頻度を示す指標である。集団の社会リスクはその集団に属する個人リスクに集団の大きさをかけたものである。社会リスクの指標としてPLL (Potential Loss of Lives) があり、船舶の場合は1隻1年当りの死者数である。PLLの値が同じであっても、1回で多数の死者が出た事故ほど許容し難くなるという観点を反映するものとして、FN

(Frequency - Number of Fatality) 線図 (人命損失数とある数以上の人命損失が発生する事故の発生頻度をグラフ化したもの) を用いて分析を行う。

FSAでは、リスク許容基準としてALARP領域の上下限を定めている。個人リスクでは、ALARP領域の下限值はすべて 10^{-6} であるが、上限値は乗員では 10^{-3} 、乗客や公衆に対してはより厳しく値を1桁下げて 10^{-4} としている。なお、このリスク許容基準については暫定的なものであり、反対意見も多いため、見直しが検討されている。

4.2.4 Step 3：リスク制御措置の立案・検討

Step 3では、リスクがALARP領域にある場合に高リスクをもたらすハザードそのものや、あるいは事故シナリオの発生を抑制するための安全対策であるリスク制御措置RCO (Risk Control Options) を検討し、それらを導入した場合のリスクの減少を推定する。FSAでは個別の対策のことをリスク制御手段RCM (Risk Control Measure)、RCMの集合をRCOとよぶ。RCOには事象の発生頻度を減らす予防措置と、結果の重大度を減らす緩和措置がある。

4.2.5 Step 4：リスク評価

Step 4では、Step 3で考案された種々のRCOを実現するためのコストを評価し、費用対効果の評価を行い、RCOの優先順位付けを行う。FSAにはその指標値としてGross Cost of Averting a Fatality (GCAF) と Net Cost of Averting a Fatality (NCAF) の2つがあり、式(2)で表される。

$$\begin{aligned} \text{GCAF} &= \Delta C / \Delta R \\ \text{NCAF} &= (\Delta C - \Delta B) / \Delta R \end{aligned} \quad (2)$$

ΔC : RCOの導入による追加コスト (US\$)

RCOの価格、訓練費用、逸失利益等を含む

ΔR : RCOの導入により削減されるリスク

ΔB : RCOの導入による経済的利益

GCAFは、1単位のリスクを削減する場合に必要なとされるコストを意味するのに対し、NCAFは、RCO導入により利益が得られる場合の正味のコストを意味し、利益としてRCOの導入により防止される被害の金銭的な価値が含まれる。

GCAFまたはNCAFの値が評価基準の閾値より小さければ、費用対効果の観点から有効なRCOとなり、そのRCOの導入が図られる。現在のFSAガイドラインでの評価基準の閾値は、OECD加盟国のGCAFの現状に基づいて、死亡および障害の場合300万US\$を使用しているが、この値ももっと高くすべきとの意見も多く、現在、見直しの動きがある。

4.2.6 Step 5：意思決定措置

Step 5では、Step 4の結果を判断し、導入すべきRCOを提案する。

5. 海洋開発分野におけるリスク

5.1 海洋開発の安全管理体制

船舶については、世界統一規格であるSOLAS条約（The International Convention for the Safety of Life at Sea）が存在するが、石油・ガス開発における海洋構造物については、生産国自らが安全管理の体系および規則を定めることになる。代表的な安全監督機関としては、ノルウェー石油監督局NPD（Norwegian Petroleum Directorate）、英国健康安全庁HSE（Health and Safety Executive）、米国安全・環境執行局BSEE（Bureau of Safety and Environmental Enforcement）と海洋エネルギー管理局BOEM（Bureau of Ocean Energy Management）等がよく知られている。

表1 海事分野へのリスクアセスメント導入の歴史

| 年 | 主な出来事 | 概要 |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1977 | 北海ノルウェーセクター、エコフィスク油田爆発事故 | 1週間で約15万バレルの油が流出。制御不能に近い状態で、大規模な環境破壊。 |
| 1970年代後半 | Offshore IndustryへのQuantified Risk Assessment (QRA)の適用に関するプロジェクトの開始 | 研究レベル。原子力産業のアプローチの導入。 |
| 1980 | 海洋石油掘削リグ Alexander L. Kielland 号事故 | 疲労による1ブレース破断後の構造冗長性欠如により全損・沈没。 |
| 1981 | NPD regulations | 全ての新設構造物について、概念設計段階でのQRAの適用を義務付け。Accidental damage Limit State (ALS)あるいは同義のProgressive Collapse Limit State (PLS)の照査。 |
| 1984 | NPD regulations | ALSの定量的評価基準の導入。 |
| 1988 | 北海UKセクター、Piper Alphaの爆発炎上事故 | 当直引き継ぎ時の連絡不備。圧力安定弁の保守等に対する作業許可。責任、権限といった組織の問題。 |
| 1990 | 英国安全衛生庁のSafety Case | Prescriptive regulationからGoal-setting regulationへ。特定の施設/システムを対象とする。 |
| 1997 | Guidelines on the Application of Fomal Safety Assessment (FSA) to the IMO rule making process | IMOにおける船舶のRule Makingのための安全性評価手順。一般化された船舶を対象とする。 |

リスクアセスメントの海事分野への導入の歴史を表1に示す。海洋開発分野では原子力分野とほとんど同時期の1970年代後半から導入され、後述のSafety Case対応のFPSO Ruleが英国、オーストラリアなどでは既にデファクトスタンダードになっている。船舶分野では1990年代後半になってIMO（国際海事機関）での規準策定手続きにFSAが採用され、近年になってFSAを用いた基準提案も増加しつつある。

5.2 海洋構造物でなぜリスクの概念が必要か

なぜ、リスクアセスメントの海洋開発分野への導入が全産業の中でも早かったのだろうか。第一の理由は、海底油田・ガス田の開発段階において巨大な資金が必要なことにある。試掘によって海底油田を発見する確率は、物理探査等の技術革新で昔より格段に上昇したが、それでも20%弱、その内、商業的採算がとれる100万bbl以上の海底油田を発見できるのは、100本の試掘のうち2本程度と言われている。このため、海底油田の開発費用は掘削地域や掘削の規模によって差があるものの、最低でも総投資額は数千万\$（数十億円）程度必要とされており、投資家を募るにはリスク評価が必須となってくる。

第二の理由は、稼働状態になってもハリケーンの襲来等、設置されている自然環境が過酷であり、しばしばリグが破壊されることにある。海底からの石油や天然ガスの生産にとって人命や設備の損害の見積もりは必須である。

第三の理由は、海底油田・ガス田の開発ではこれまでも人的ミスから多くの大事故が発生しており、事故発生時の人命、自然環境への被害が甚大であったことにある。このため、リスク評価に基づく合理的な安全管理の重要性が広く認識され、原子力分野で研究されていたQRA（Quantified Risk Assessment）を海洋構造物へと適用するプロジェクトは、1970年代と比較的早くから開始された。とりわけPiper Alphaの事故が大きな影響を与えている。事故の概要とその後の原因追及について紹介する。

5.3 Piper Alphaの事故

1988年7月6日、北海油田の英国の固定式石油・ガス生産プラットフォームPiper Alphaにおいて大量のガスリークが発生して引火、爆発崩壊した。乗員229人中167人が死亡し、救助隊員2名も死亡した。

事故の原因究明のためLoad Cullen委員長の下、事故調査委員会が組織され、1990年に事故に関するレポート（Cullen Report⁶⁾が公表された。

レポートは2部構成で、第1部では事故の根本原因の追究・解明の結果として、①運用が悪い、②権限と責任が不明確、③設計変更が悪い、④緊急事態訓練を軽視していた、という4つの偶然が一度に重なり大事故に繋がったとした。第2部では今後の対策として106の勧告を行っているが、そのポイントは、①オペレータによる自律的安全管理体制の要求、②客観的安全性評価、の2点である。

Piper Alphaの事故は、「合理的で実行可能な安全投資は積極的に行うことが正しい経営方針である」ということを世界に示した。Cullen Reportは、そ

の後のHSE (Health, Safety and Environment) 活動の在り方とロジックに決定的な影響を与えた。

5.4 スイスチーズモデル

スイスチーズモデルとは、イギリスの心理学者 James Reasonが提唱したヒューマンエラーから事故・トラブルに至るモデルのことである。事故が想定される事象に対しては、いくつかの「防護壁(エラーを防ぐ要素)」を設け、通常、この防護壁を何枚も重ねて立てることによって事故を防止する。しかし、図3に示すように、これらの防護壁にはそれぞれ脆弱な部分や連鎖的なエラーといった「穴」があいており、この穴が不幸にして一直線上に重なって次々に通過してしまうと、事故に至る。この様に防護壁に穴があいていることをスライスしたスイスチーズの姿にたとえて提唱された。Piper Alphaの事故は4つの偶然が一度に重なるということから、典型的なスイスチーズモデルと考えられている。

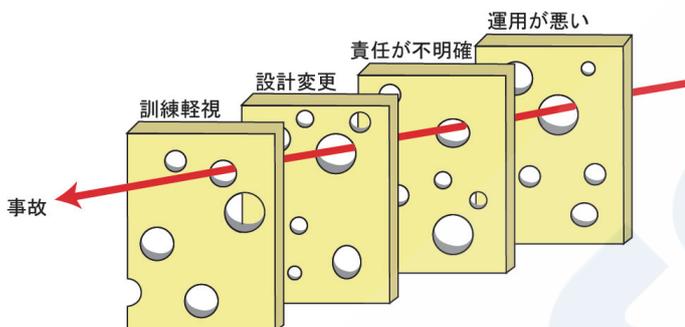


図3 スイスチーズモデルの概念

6. 労働安全とリスク

6.1 英国における労働安全法⁷⁾

産業革命の発祥の地である英国では、1802年、世界で最も早く労働者保護のための法律である工場法が整備された。しかし、時代の変化により産業技術の進歩に規制がついて行くのが困難になってきたため、Lord Robensが座長を務める委員会が安全衛生問題(主として行政面)について討議を重ね、1972年にRobens Report⁸⁾が発表された。Robens Reportは19章からなる膨大なものであるが、その主張のいくつかを紹介する。

①法律や監督による安全衛生向上への疑問を提示した。安全衛生向上のための法律がたくさんあり過ぎ、本来の目的達成にとって逆効果とさえ言える。社会の進歩につれて次々に新しい法律をつくり、時代遅れとなった法律を改訂していかなければならない。
②労働安全衛生行政が細分化(当時の英国では関係する機関が5省庁、7監督機関に分かれていた)され過ぎている。責任が明確で無く、迅速な施策がと

れなくなっている。

③これらの問題意識により、法律・監督中心から自主対応への移行および行政機関の統一を提言した。

Robens Reportに基づき、英国では1974年に新しい労働安全衛生法 Health and Safety at Work, etc. Act (1974 HSW法)が制定され、英国健康安全庁 HSEが設立された。安全衛生庁はその後数十年をかけて労働安全衛生に関する法律の近代化を推し進めた。

6.2 Safety Case法の基本的考え方

1990年のCullen Reportの106の勧告を受け、英国安全衛生庁は石油ガス生産を行うオペレータに対し、Safety Caseとよばれる文書の作成、提出を義務付けた。これが元となってSafety Case法が制定され、その実践がHSE活動へと繋がった。HSE活動では、産業技術の複雑化から、法令だけでなすべき事項を全て網羅することは不可能であり、各々の企業における重要課題を自ら発見・解決できる自律思考型経営を要求されている。

6.3 Safety Case法

Safety Case法は、英国領海・大陸棚で操業する海洋構造物での重大事故・災害のリスクを低減させることを狙いとするOffshore Installations Regulationsで、「客観的な安全性評価」と「自律的な安全管理体制」を要求している。英国安全衛生庁が書類審査を行い、3年毎の更新が必要である。

Safety Case法は、従来の規則遵守型の法律ではなく、自ら安全目標を定めそれが満たされることを証明する目標設定型の法律である。費用対効果を考慮して実現可能なレベルで可能な限りリスクを低減させるというALARPの概念を土台としている。

Safety Caseとは、テスト結果や検証結果をエビデンスとして、各企業がシステムの安全性を自ら議論し、それをシステム認証者や利用者などに保証する、あるいは確信させるためのドキュメントと言える。

実際のSafety Caseの記述は大きく3段階からなる。

- ① FD (Facility Description) システムの記述
- ② FSA (Formal Safety Assessment) 本体
- ③ SMS (Safety Management System)

また、Safety Caseは設計・操業・廃棄のLife Cycleを通して必要であり、それぞれの段階のSafety Caseが必要となる。

6.4 拡大するHSE活動

オイルメジャーによる自主的な組織 OCIMF (The Oil Companies International Marine Forum) は、Safety Case法を全面的かつ協力的に受け入れ、その後世界中で海洋構造物を対象にHSE活動を実

践し、その考えを普及していった。

Safety Case法の成立を踏まえて旧E&P Forum（現OGP International Association of Oil and Gas Producers：国際石油及びガス生産者協会）は世界初のオフショアHSEマネジメントシステムのガイドラインであるGuideline for the development and application of Health, Safety and Environment Systemを発表した。このガイドラインの骨子は次の通りである。リスクアセスメントを基にしたPDCAサイクルを回す。合理的かつ実行可能なリスク低減策は全て採用する。英国安全衛生庁の取り組みを側面から支援するように、オフショア分野でのHSE活動の確立・実践・普及に協力する。また、オイルメジャーは海洋構造物だけでなく、LNGタンカーや石油タンカーといった関係する商船の運航・建造に対してもHSE活動の実践を求めている。

こうしたオイルメジャーによる全面的な後押しを受けて、Safety Case法とその実践としてのHSE活動は単なる英国内のローカルな制度から、デファクトスタンダードとして世界中で実践される活動へと大きく飛躍したのである。

7. 船舶分野におけるリスク

7.1 FSA (Formal Safety Assessment)

船舶については、1912年のタイタニック号沈没事故を契機に世界統一規格であるSOLAS条約が締結され、その後30回以上にわたる改正を経て、現在に至っている。従って、国際航路を航行する船舶の安全管理の基本的枠組みは、IMOで議論され、船級協会規則や各種標準に反映される。

しかし、IMOでの規則改正の議論は重大事故が発生したことを受けて行われることが多く、事故直後の状況から不必要に過剰なものとなりがちである。また、自国を有利にしようという多分に政治的な提案も横行したことから、より合理的なルール制定方法としてリスク評価の考え方に基づいたFSA (Formal Safety Assessment) が導入されている。

FSAは、1993年のIMO/MSC62（第62回海上安全委員会）において英国が提案したもので、その後の議論および試験的な適用の積み重ねに基づき、暫定ガイドラインが修正され、2001年のMSC74において最終的なFSAガイドラインが承認された。FSAは構造化され、客観性とトレーサビリティを有する、包括的で合理的な安全性評価手法である。IMOにおける規則制定をより合理的なものとするために、特殊な提案や施行を少なくし、極端に政治的な議論を抑えることを目的としている。IMOで

は、全ての提案にFSAの適用を義務づけているわけではないが、最近は多くの安全基準の改正がFSAを適用して提案され審議されている。FSAは手順や検証の複雑さに難があるものの、FSAを用いた提案は年々増加している。

7.2 GBS (Goal-Based Standards)

1997年のナホトカ号の事故では、重油約6,200トンが日本海に流出し、沿岸域に大きな被害をもたらした。これ以後も、老朽化したタンカーの重大事故が相次ぎ、1999年のエリカ号事故ではフランス沖に重油約10,000トン以上が流出、2002年のプレステイジ号事故ではスペイン沖に積荷油約77,000トンが流出した。

これらの事故は、直接的にはシングルハルトンカーのフェーズアウト促進（2010年まで）、シングルハルトンカーによる重質油の輸送禁止、特別敏感海域（PSSA）の設定等の施策に繋がったが、間接的には、被害国である欧州委員会（EU諸国）の主張が強くなり、これまでの規則を策定してきたIMOや老朽船を承認した船級協会とその団体であるIACS（International Association of Classification Society）への信頼性が揺らぐこととなった。IMO/IACSは信頼と主体性を回復するために、事故後の対応から事前リスク回避に力点を移した。IMOは規則の目的・安全レベル・機能要件を明示するため目標指向型基準GBS（Goal-Based Standards）体系を導入し、IACSは合理的で透明性のある船舶構造の統一規則としてCSR（Common Structural Rules）の導入を図ることとなった。

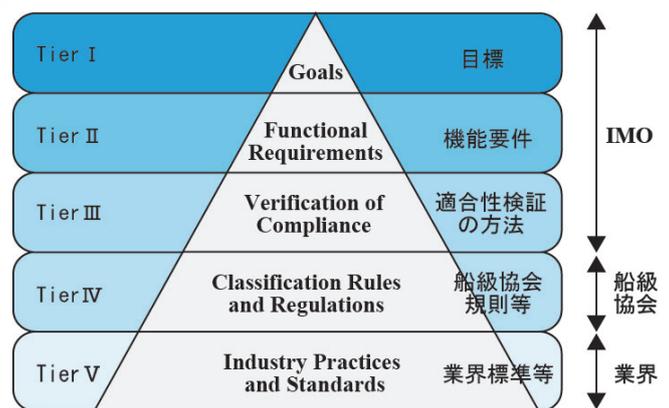


図4 GBSの構成

この内、GBSは図4に示す様なTier I～Tier Vのピラミッド型をしており、許容できるリスクレベルを目標として先に定めて、ピラミッドの下に向かって順番に、それに対する機能要件から規則等を定めていくという点で、FSAとは異なる安全評価体型となっている。

8. 海事分野でのリスクアセスメントの展開

8.1 環境FSA

安全に比べると、環境は加害者も被害額も明確でないため、リスクアセスメントは導入しにくいと考えられてきた。しかし、安全に関するFSAが成果を上げてきたことで、海洋環境保全に関する新基準導入に際してもFSAの考え方を活用し、EREC (Environmental Risk Evaluation Criteria) をFSAガイドラインに盛り込むことが検討された。EUの共同研究プロジェクトSAFEDORは、油流出を対象として、CATS (Cost of Averting a Tonne of Oil Spilt), つまり、「1トンの油流出を防ぐために実施するRCOとして拠出する金額」という項目を導入し、式(3)の様な評価基準を提案した。

$$\Delta C/\Delta R = \text{CATS} < \text{CATS}_{\text{thr}} \quad (3)$$

ΔC : RCOに導入による追加コスト (US\$)

ΔR : RCOによる油濁リスク減少効果

CATS_{thr} : 任意のRCOの費用対効果を判定するための閾値

当初、SAFEDORでは閾値 CATS_{thr} として6万米ドル/トンの一定値を提案した。それに対して、日本等が国際油濁補償基金 (IOPCF) の1970~2005年までの油濁事故データに基づき、油濁量 (W) と油濁損害金 (C) に関する回帰分析を実施し、 C/W は一定値ではなく、Wの関数であり、Wが大きくなると C/W が小さくなることを示し、回帰分析に基づく関数型 CATS_{thr} を提案して、IMOで採用された。海洋環境保全にFSAを導入しようとする動きは、今のところ油流出のみに留まっているが、影響が大きいだけに今後の動きが注目される。

8.2 RBM (Risk Based Maintenance)

RBMは、設備の老朽化や異常、故障のリスクを評価して、評価結果に基づいてメンテナンス・検査計画を作成する考え方である。「故障が起こったときの影響の大きさ」と「故障の起こりやすさ」から算出した「リスク」を評価し、メンテナンスの合理的判断とする手法であり、近年、米国でメンテナンス対象施設が増加して対処不可能になってきたことから、インフラ整備等に導入されている。メジャー系石油プラントでも利用が開始されており、API (米国石油協会) やASME (米国機械学会) が普及を推進している。我が国でも洋上石油備蓄基地のメンテナンス等にこの考え方を利用するのは有意義であると考えられるが、まだ導入は予定されていない。

9. おわりに

本稿では、リスクを明確にし、安全を実現するための手段として、リスクアセスメントを取り上げてきた。しかし、安全を脅かす一番の要因はヒューマンファクターである。人間にはエラーを起こす特性が備わっているということである。ヒューマンファクター事故を防ぐ方法としては、フルプルーフやフェールセーフ、未然防止や深層防護が研究されているが、その1つの解が安全文化の醸成と考えられる。安全文化とは、組織のトップから現場の一人一人まで安全最優先の意識をもち、組織として安全確保に向けて取り組んでいる状態であるが、これもまた数値化が難しい。リスクアセスメントをヒューマンファクター事故の防止に活用することが、未来への大きい課題である。

参考文献

- 1) 2014年版ISO/IECガイド51
- 2) JIS Z 8115 ディペンダビリティ (信頼性) 用語
- 3) 向殿政男, 安全の理念, 学術の動向 (2009)
- 4) 日本リスク研究学会編, リスク学辞典, 丸善出版 (2019)
- 5) Consolidated text of the Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process (MSC/Circ. 1023-MEPC/Circ.392), MSC 83/INF.2 (2007).
- 6) Lord Cullen, The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster (1990).
- 7) ClassNK, HSEマネジメントシステム導入のためのガイドライン (2015).
- 8) Lord Robens, Safety and Health at Work (1972).