



スイスチーズモデルを発展させた船舶事故のモデル化と体系的事故防止策の提言

福岡, 幸二

(Degree)

博士 (海事科学)

(Date of Degree)

2016-09-25

(Date of Publication)

2017-09-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第6760号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1006760>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博 士 論 文

スイスチーズモデルを発展させた船舶事故のモデル化と
体系的事故防止策の提言

(Model of marine accidents developed by the Swiss cheese model and
recommendations for systematic accident prevention)

平成 2 8 年 8 月

神戸大学大学院海事科学研究科

福岡 幸二

目次

第 1 章 序論.....	1
1 研究の背景	1
2 研究の目的と論文の構成	4
第 2 章 事故モデル研究の背景とスイスチーズモデル	7
2.1 はじめに	7
2.2 事故モデルの歴史的背景	7
2.3 疫学的事故モデルの先行研究	9
2.4 スイスチーズモデルと事故調査過程の関係	14
2.5 スイスチーズモデルの問題点	15
2.6 研究の意義と方針.....	15
2.7 本章のまとめ	16
第 3 章 ホールの可視化及びホールを閉じる体系的方策	17
3.1 はじめに	17
3.2 調査手法	18
3.2.1 船舶事故の調査及び調査手法	18
3.2.2 調査で用いた装置など.....	19
3.3 解析手法	19
3.3.1 ホールの定義	19
3.3.2 局所的作業現場におけるホール	20
3.3.3 組織におけるホール	21
3.3.4 ホールの発生場所及び移動の解析手法	21
3.3.5 ホールを閉じる体系的方策	25
3.4 結果	26
3.4.1 実例 1：貨物船 MEDEA 漁船孝盛丸衝突事故	26
3.4.2 実例 2：貨物船 LANA 乗揚げ事故	31
3.4.3 実例 3：ケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡事故	32
3.4.4 実例 4：コンテナ船 ANNA MAERSK 乗組員死傷事故	34
3.5 考察	36
3.6 本章のまとめ	38
第 4 章 事故種類別のホール発生場所の特定	40
4.1 はじめに	40

4.2	調査手法	40
4.2.1	本研究における標本の選択	40
4.2.2	調査対象とした船舶の船種及び事故種類	42
4.2.3	調査対象とした SMS 防護層とリスクマネジメント防護層	42
4.2.4	本研究の調査・分析の範囲	43
4.3	解析手法	43
4.3.1	組織及び局所的作業現場の定義	43
4.3.2	ホールの定義	43
4.3.3	組織及び局所的作業現場におけるホール発生場所	44
4.4	結果	44
4.4.1	船舶事故 89 件における防護層の数	44
4.4.2	組織におけるホール発生場所	45
4.4.3	局所的作業現場におけるホール発生場所	46
4.5	考察	48
4.5.1	組織の SMS 防護層に生じたホール	48
4.5.2	局所的作業現場のリスクマネジメント防護層に生じたホール	49
4.6	本章のまとめ	50
第 5 章	ホール発生場所とホール発生数の関係	52
5.1	はじめに	52
5.2	解析手法	52
5.3	結果	53
5.4	考察	57
5.4.1	船舶事故全体	57
5.4.2	衝突事故	57
5.4.3	死傷事故	58
5.4.4	衝突事故と死傷事故との共通点	58
5.4.5	単独衝突事故	58
5.4.6	乗揚げ事故	59
5.5	本章のまとめ	59
第 6 章	潜在的状況要因の特定	60
6.1	はじめに	60
6.2	解析手法	61
6.2.1	SHEL モデルの評価	61
6.2.2	船舶事故に適用できる潜在的状況要因の定義	61

6.2.3	ホールが生じる状況のパターンの解析手法	65
6.3	結果	65
6.3.1	SHELモデルによる分類	65
6.3.2	事故種類別の潜在的状況要因の特定	69
6.3.3	環境及びオペレータの状況の細目	78
6.4	考察	81
6.4.1	SHELモデルの評価	81
6.4.2	潜在的状況要因の特定及びホールが生じる状況のパターン	81
6.5	本章のまとめ	86
第7章	潜在的状況要因が事故に及ぼす影響	88
7.1	はじめに	88
7.2	解析手法	88
7.3	結果	89
7.4	考察	90
7.4.1	ソフトウェア及び周辺に位置するライブウェア	91
7.4.2	ハードウェア、環境及び中心に位置するライブウェア	92
7.5	本章のまとめ	93
第8章	事故モデルの構築及び事故防止策	94
8.1	はじめに	94
8.2	解析手法	94
8.2.1	船舶事故4件を用いた事故モデルの構築	94
8.2.2	防護層の数、ホール発生場所、潜在的状況要因など	94
8.2.3	事故モデルの構築	94
8.3	結果	95
8.3.1	船舶事故4件を用いた事故モデルの構築	95
8.3.2	深層防護を構成する防護層の数	100
8.3.3	防護層の配列が並列になる事例	101
8.3.4	事故モデル及び数量化事故モデル	101
8.4	考察	103
8.4.1	事故モデル	103
8.4.2	スイスチーズモデルが適用できる点	104
8.4.3	スイスチーズモデルが適用できない点	106
8.4.4	スイスチーズモデルの問題点に関する研究結果	107
8.4.5	事故モデルなどを用いた体系的事故防止策	109

8.4.6 本研究の制限	113
8.5 本章のまとめ	115
第9章 結論	118
9.1 成果の要約	118
9.2 今後の課題	125
9.3 おわりに	125
謝辞	127
資 料	128
資料1 IMO/ILO ヒューマンファクター調査のプロセス	128
資料2 航海計画のガイドライン(仮訳)	132
資料3 調査対象とした船舶事故89件のリスト	134
用語の定義	139
参考文献	144

図目次

図 1-1	スイスチーズモデルの理論	4
図 1-2	本研究の構成	6
図 2-1	前期 SCM	12
図 2-2	HFACS	12
図 2-3	シェル・リーズン・ハイブリッドモデル	12
図 2-4	中期 SCM	13
図 2-5	ATSB モデル	13
図 2-6	後期 1SCM	13
図 2-7	後期 2SCM (組織事故の進展と事故調査の過程)	14
図 3-1	ALARP の原則	21
図 3-2	PDCA サイクル	21
図 3-3	リスクマネジメントプロセス	22
図 3-4	ホールを閉じる体系的方策	26
図 3-5	水先人会のホール発生場所及び移動	27
図 3-6	水先人のホール発生場所及び移動	27
図 3-7	船舶管理会社のホール発生場所及び移動	29
図 3-8	MEDEA 船長のホール発生場所及び移動	30
図 3-9	孝盛丸船長のホール発生場所及び移動	30
図 3-10	LANA 船長のホール発生場所及び移動	32
図 3-11	船舶所有者のホール発生場所及び移動	34
図 3-12	一等航海士のホール発生場所及び移動	34
図 3-13	船舶管理会社のホール発生場所及び移動	35
図 4-1	事故種類別の組織におけるホール発生場所	46
図 4-2	事故種類別の局所的作業現場におけるホール発生場所	48
図 5-1	船舶事故全体のホール発生場所とホール発生数 (組織)	54
図 5-2	船舶事故全体のホール発生場所とホール発生数 (局所的作業現場)	54
図 5-3	衝突事故のホール発生場所とホール発生数 (組織)	55
図 5-4	衝突事故のホール発生場所とホール発生数 (局所的作業現場)	55
図 5-5	単独衝突事故のホール発生場所とホール発生数 (局所的作業現場)	55
図 5-6	乗揚げ事故のホール発生場所とホール発生数 (局所的作業現場)	56
図 5-7	死傷事故のホール発生場所とホール発生数 (組織)	56
図 5-8	死傷事故のホール発生場所とホール発生数 (局所的作業現場)	56

図 6-1	船舶事故全体及び事故種類別の潜在的状況要因	71
図 6-2	船舶事故全体における潜在的状況要因の実数のパレート図	71
図 6-3	衝突事故における潜在的状況要因の実数のパレート図	72
図 6-4	単独衝突事故における潜在的状況要因の実数のパレート図	73
図 6-5	乗揚げ事故における潜在的状況要因の実数のパレート図	74
図 6-6	死傷事故における潜在的状況要因の実数のパレート図	75
図 6-7	船舶事故全体及び事故種類別の環境	79
図 6-8	船舶事故全体及び事故種類別のオペレータの状況	80
図 8-1	貨物船 MEDEA にかかる事故モデル	96
図 8-2	貨物船 LANA にかかる事故モデル	98
図 8-3	ケミカルタンカー第二旭豊丸にかかる事故モデル	99
図 8-4	コンテナ船 ANNA MAERSK にかかる事故モデル	100
図 8-5	事故モデル	102
図 8-6	数量化事故モデル	102
図 8-7	体系的事故防止策	112

表目次

表 1-1	船舶事故隻数及び死者・行方不明者数（海上保安庁）	2
表 1-2	船舶事故及びインシデント調査件数（運輸安全委員会）	2
表 2-1	事故モデルの分類	9
表 4-1	運輸安全委員会の調査対象船舶事故件数	42
表 4-2	本研究の調査対象船舶の船種及び事故種類	42
表 4-3	船舶事故 89 件における防護層の数	44
表 4-4	SMS 防護層におけるホール発生場所	46
表 4-5	リスクマネジメント防護層におけるホール発生場所	47
表 5-1	PDCA サイクルとホール発生数	53
表 5-2	リスクマネジメントプロセスとホール発生数	53
表 5-3	ホール発生場所とホール発生数との相関係数等	54
表 6-1	Hawkins の SHEL モデル	61
表 6-2	SHEL モデルの要素と潜在的状況要因	65
表 6-3	船舶事故 4 件に対する SHEL モデルの適用	66
表 6-4	船舶事故 89 件の潜在的状況要因の実数	70
表 6-5	船舶事故全体における潜在的状況要因の実数及び割合	70
表 6-6	衝突事故における潜在的状況要因の実数及び割合	72
表 6-7	単独衝突事故における潜在的状況要因の実数及び割合	73
表 6-8	乗揚げ事故における潜在的状況要因の実数及び割合	74
表 6-9	死傷事故における潜在的状況要因の実数及び割合	75
表 6-10	火災事故における潜在的状況要因の実数及び割合	76
表 6-11	爆発事故における潜在的状況要因の実数及び割合	76
表 6-12	沈没事故における潜在的状況要因の実数及び割合	76
表 6-13	転覆事故における潜在的状況要因の実数及び割合	77
表 6-14	環境及びオペレータの状況の細目	78
表 7-1	潜在的状況要因の実数と事故発生隻数	90
表 7-2	重回帰分析の結果	90

第 1 章 序論

1 研究の背景

海上保安庁（2015）によれば、日本の領海及び周辺海域では、毎年 2,000 隻以上の船舶事故が発生し、約 80～140 人の人命が失われている（表 1-1 参照）⁽¹⁾。運輸安全委員会（2015）が事故調査の対象とした船舶事故及びインシデントは、2008 年（平成 20 年）10 月（国土交通省運輸安全委員会の設置年月）～2014 年（平成 26 年）までの間、毎年約 900～1,500 件発生している（表 1-2 参照）⁽²⁾。

日本船主責任相互保険組合（2015）によれば、保険対象とする事故種類を、船員クレーム、積荷損害、衝突、座礁、火災、沈没、港湾設備・漁業施設損傷、油濁、その他に分類し、2007 年～2013 年の間、外航船の衝突、座礁、火災、沈没に占める事故の件数は全体の 10%、保険金額は全体の 46%、内航船の衝突、座礁、沈没に占める件数は全体の 12%、保険額は全体の 38%であり⁽³⁾、船舶事故の 1 件当たりの損害額が大きいことを示している。

船舶事故は、世界のいたるところで発生し、1967 年にドーバー海峡で発生したトリーキャニオン号座礁事故（約 119,000 トンの原油流出）、1989 年に米国アラスカ沖で発生したエクソンバルデズ号座礁事故（約 40,882 トンの原油流出）などのように積載していた油等が付近海域に流出した場合には多大な環境汚染をもたらす、事故船舶に関連する会社の社会的評価に大きな影響を及ぼしている。

このように船舶事故が発生した場合には、多くの人命、財産が失われ、大きな損害をもたらすことから、船舶事故発生数を削減することが重要な課題となっている。

これらの船舶事故に対し、日本では、国土交通省（2015）が商船（外航船及び内航船）の海難発生隻数を 2006 年（平成 18 年）～2010 年（平成 22 年）の年平均が 497 隻であることから 2015 年（平成 27 年）に 447 隻以下に削減する目標を掲げ⁽⁴⁾、また 2012 年（平成 24 年）に IMO（国際海事機関：International Maritime Organization）が IALA（国際航路標識協会：International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities）と合同で「船舶事故ゼロキャンペーン」を提唱し、同キャンペーンの対象が VTS（船舶交通サービス：Vessel Traffic Services）による事故削減に限定されるものの⁽⁵⁾、事故防止のための努力が世界中で行われている。

事故の再発防止及び被害の軽減を目的として設置された日本の運輸安全委員会、英国の船舶事故調査局（MAIB: Marine Accident Investigation Branch）、米国の国家運輸安全委員会（NTSB: National Transportation Safety Board）等、世界の船舶事故調査機関は、事故調査の結果明らかになった事故要因及び再発防止策をウェブサイトで公表することに加え、重大事故については IMO に船舶事故調査報告書を提出し、IMO が、これらの船舶事故調査報告書に記載された事故の教訓をウェブサイトで公表して事故の防止に寄与している。

表 1-1 船舶事故隻数及び死者・行方不明者数（海上保安庁）

発生年	船舶事故隻数	死者・行方不明者数
2005	2,482	121
2006	2,544	108
2007	2,579	87
2008	2,414	124
2009	2,549	143
2010	2,400	99
2011	2,533	108
2012	2,261	78
2013	2,306	84
2014	2,158	100

表 1-2 船舶事故及びインシデント調査件数（運輸安全委員会）

発生年	事故	インシデント	総数
2008	690	183	873
2009	1,325	197	1,522
2010	1,197	137	1,334
2011	977	149	1,126
2012	958	157	1,115
2013	942	142	1,084
2014	885	124	1,009

事故調査機関は、事故発生に至る経緯及び事故要因を理解する際の理論的背景として事故モデルを用いている。Hollnagel（2004）によれば、事故モデルとは、事故がどのように発生したかを考える定型的な方法であり、連続的事故モデル（sequential accident model）、システミック事故モデル（systemic accident model）及び疫学的事故モデル（epidemiological accident model）に分

類される⁽⁶⁾。連続的事故モデルは、ドミノ理論が代表的であり、機関故障など因果関係が明確な事故分析に適している。

システミック事故モデルは、事故原因の概念をモデルから除外し、社会技術システムの構成要素が変動した際に事故が起こるとし、Functional resonance analysis method (FRAM)⁽⁷⁾、Systems-theoretic accident model and processes (STAMP)などが代表的である。Underwoodら(2013)は、システミック事故モデルが、事故発生時の状況に加え、社会技術システムの通常の状態を詳細に調査することが要求されることから船舶事故調査報告書の作成には時間的な制約があるため、実際の事故調査での使用は広がっていないと評価している⁽⁸⁾。

疫学的事故モデルは、船舶、航空機、鉄道、医療などの組織事故の分析⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾に多く用いられ、ジェームズ・リーズン (James Reason) が提唱するスイスチーズモデルのほか、同モデルとシェルモデル (SHEL model) を統合したシェル・リーズン・ハイブリッドモデル (SHEL and Reason hybrid model)⁽¹⁴⁾、SHEL モデルから発展した社会技術システムモデル (The sociotechnical system model)⁽¹⁵⁾、スイスチーズモデルから発展したヒューマンファクター分析分類システム (HFACS: Human factors analysis and classification system)⁽¹⁶⁾などの事故モデルが存在する。特に、スイスチーズモデルは、船舶、航空機、鉄道の分野を問わず、日本をはじめ、多くの事故調査機関によって、事故調査・分析の理論的背景として用いられている。

リーズン(1997)は、スイスチーズモデルで組織事故の発生及びホール (hole) について次のように述べている。事故は、危険と事故との間に存在する深層防護に生じたホールが一直線になったとき、事故の軌跡 (accident trajectory) がホールを突き抜けて起きる。ホールは潜在的状況要因 (latent conditions) 又は即発的エラー (active failures) によって生じる。潜在的状況要因は、長期間悪影響を及ぼすこともなく潜んでおり、設計者、管理職、作業員などが起こる可能性のある事故のシナリオをすべて予測できないことによって生じる。即発的エラーは、システムの安全に直接悪影響を及ぼす可能性があり、その悪影響はすぐに顕在化する⁽¹⁷⁾。

スイスチーズモデルの理論によれば、深層防護のホールが一直線になって事故の軌跡がホールを突き抜けないように任意の防護層のホールを閉じれば事故は起こらないことになる。ホールは、潜在的状況又は即発的エラーによって生じ、潜在的状況要因は、即発的エラーの発生を促進し、かつ、防護層のメカニズムを弱体化することから⁽¹⁸⁾、ホール発生場所を特定して潜在的状況要因との関係を明らかにすればホールを閉じること、つまり事故を防止することができる (図 1-1 参照)。

しかし、リーズンが提唱するスイスチーズモデル及び同モデルから発展した

シェル・リーズン・ハイブリッドモデル、HFACSなどの疫学的事故モデルは、ホール発生場所、ホールと潜在的状況要因の関係が示されていない。これらの問題点は、本研究者が、主管調査官として船舶事故調査を行う際、スイスチーズモデルを利用するとき常に疑問に思っていたことであり、また、Dekker (2006)、Wiegmann、Shappell (2003)、リーズン、Hollnagel、Paries (2006)が、スイスチーズモデルの問題点として指摘している⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾。したがって、事故を防止するためには、ホールがどこでどのような状況のときに発生し、ホールと潜在的状況要因との関係はどのようになっているかについて明確にする必要がある。

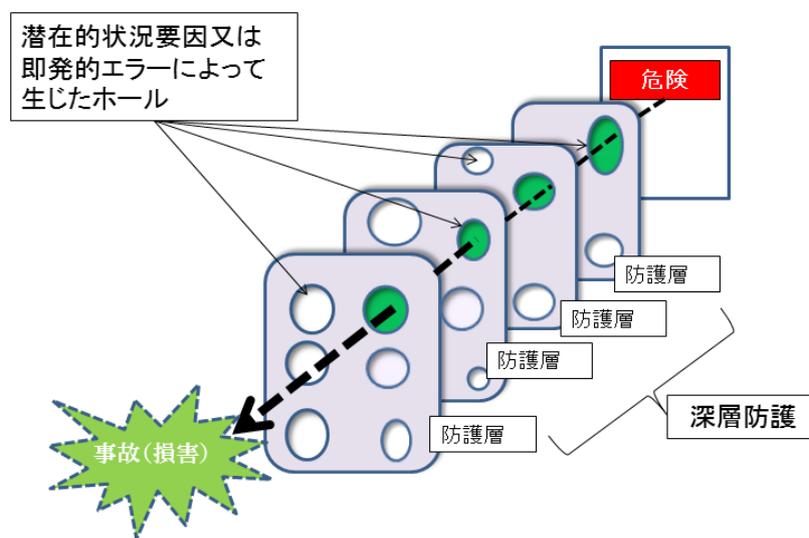


図 1-1 スイスチーズモデルの理論 (リーズン, 1997 年)

2 研究の目的と論文の構成

以上の背景を踏まえ、本研究の目的は、船舶事故発生数を削減するため、スイスチーズモデルのホール発生場所及び移動並びにホールと潜在的状況要因との関係を明らかにし、ホール発生場所、ホールと潜在的状況要因との関係を示した事故モデルを構築し、体系的な事故の再発防止策及び未然防止策を提案することである。

このため、本論文は、本章(第1章)を含む9つの章で構成する(図1-2参照)。

第2章では、事故モデルの歴史的な背景、疫学的事故モデルの先行研究、本研究の背景となるスイスチーズモデルに関する問題点を整理する。その上で、本研究で扱う問題点・基本方針を示し、本研究の位置づけを明確にする。

第3章から第5章までは、リスクマネジメント、PDCAサイクル及びプロセスアプローチの手法を用いて船舶事故のホール発生場所などを特定するとともに、ホール発生場所とホール発生数について数量分析を行う。

第3章では、ホールを定義するとともに、ホール発生場所を特定する手法を示し、ホール発生場所、移動及びホールを閉じる体系的な方策に関し、本研究が主管調査官として調査した船舶事故（衝突事故、乗揚げ事故、死傷事故）4件を分析し、考察を行う。

第4章では、8つの事故種類別（衝突事故、単独衝突事故、乗揚げ事故、死傷事故、火災事故、爆発事故、沈没事故、転覆事故）のホール発生場所の特性を明らかにするため、第3章で示した船舶事故4件及び運輸安全委員会が2008年（平成20年）～2015年（平成27年）までに公表した重大船舶事故85件の合計89件の船舶事故を第3章と同じ手法で分析し、考察を行う。

第5章では、第4章で得られたホール発生場所とホール発生数のデータを用い、ホール発生場所とホール発生数との相関関係を事故種類別に明らかにし、ホール発生場所の傾向について分析し、考察を行う。

第6章及び第7章では、ホールを生じさせた潜在的状況要因を事故種類別に特定するとともに、潜在的状況要因が船舶事故に及ぼす影響について数量分析を行う。

第6章では、航空分野などでヒューマンファクターの分類に用いられているSHELモデルが船舶事故に適用できるかについて第3章の船舶事故4件に同モデルを適用し、考察を行う。その結果を踏まえ、SHELモデルなどを応用して船舶事故に適用できる潜在的状況要因を10に分類し、調査対象とした船舶事故89件の潜在的状況要因を特定して事故種類別にホールと潜在的状況要因との関係について分析し、考察を行う。さらに、これらの結果に基づき、事故種類別にホールが生じる状況のパターン、つまり、どのような状況のときに第3章で定義されたホールが生じるのかについて明らかにする。

第7章では、潜在的状況要因と船舶事故との関係を明確にするため、第6章で得られた潜在的状況要因のデータを用い、潜在的状況要因の実数と事故発生隻数との関係について重回帰分析を行う。そして重回帰分析で得られた結果から、潜在的状況要因が船舶事故に及ぼす影響について考察を行う。

第8章では、第3章で示した船舶事故4件を用いてホール及び潜在的状況要因を描いた事故モデルを構築するとともに、第3章～第7章までの知見に基づき、船舶事故89件に適用できる事故モデルを示すとともに、スイスチーズモデルの問題点について考察を行う。これらの研究結果を踏まえ、事故モデル並びにホール発生場所及び潜在的状況要因のデータなどを用いた体系的な事故防止策について提案する。

第9章では、本研究によって得られた成果を総括する。

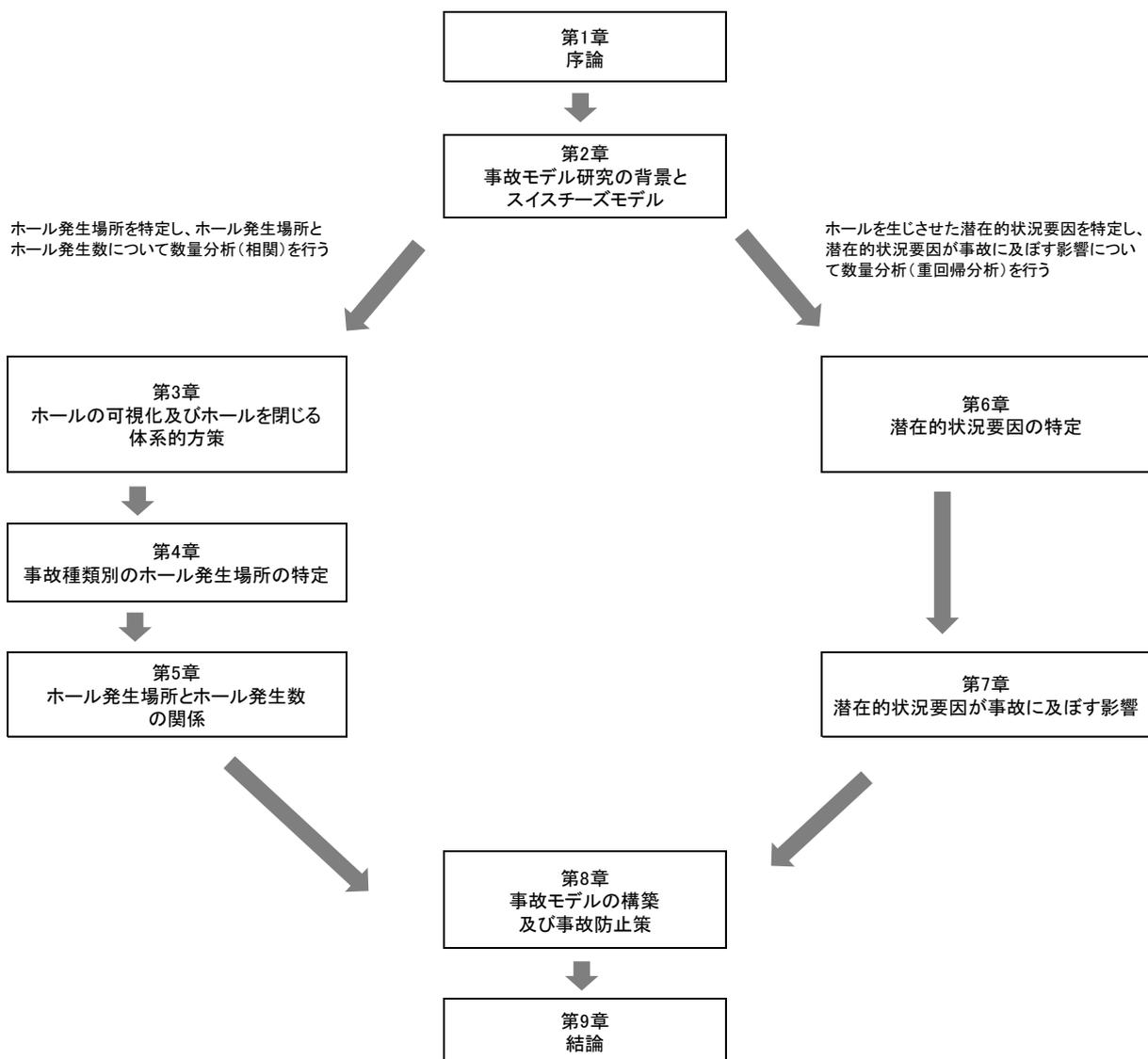


図 1-2 本研究の構成

第 2 章 事故モデル研究の背景とスイスチーズモデル

2.1 はじめに

本章では、時代と共に変化する事故モデルの発展を概説するとともに、本研究の背景となるスイスチーズモデルに関する研究の問題点を整理する。その上で、本研究で扱う問題点・基本方針について示し、本研究の位置づけを明確にする。

2.2 事故モデルの歴史的背景

事故モデルは、第 1 章で述べたように連続的事故モデル、疫学的事故モデル及びシステミック事故モデルに分類される。各事故モデルの原理、分析の目標、特徴、事故分析のプロセス、代表的な事故モデルの例は表 2-1 に示した⁽²²⁾⁽²³⁾。

連続的事故モデルは、Heinrich の提唱するドミノ理論で代表されるのでドミノモデルとも称され、原因から結果に至る経緯が線的に描写されているため、これらの途中にある事象の発生を阻止すれば、事故を防止できるとされている⁽²⁴⁾。フォルト・ツリー解析、Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) などはドミノ理論と同じ視点で事故を解析する手法である。

しかし、1970～1980 年代のフリックスポローの化学プラント爆発事故（1974 年発生：Flizborough）、スリーマイル島原子力発電所事故（1979 年発生）、日本航空御巢鷹山墜落事故（1985 年発生）、スペースシャトル・チャレンジャー号爆発事故（1986 年発生）、ヘラルド・オブ・フリーエンタプライズ号転覆事故（1987 年発生：Herald of Free Enterprise）などの社会技術システムが関与した複雑な事故が多数発生した⁽²⁵⁾。これらの事故を詳細に調査分析した結果、ヒューマンエラーは、局所的な作業現場の状況や組織の要因など、エラーを生じさせた人を取り巻く環境を考慮しなければ説明できないことが明らかになり、連続的事故モデルとは異なるタイプの事故モデルが要求されるようになった。1990 年に開発されたスイスチーズモデルは、事故発生の過程を人の健康と病原体との関係に類似させ、組織事故に至る経緯及び事故の背景理論を説明できることから、航空、船舶、自動車などの交通機関、医療分野で起きた組織事故を解析し、防止する手法として用いられるようになった⁽²⁶⁾。疫学的事故モデルは、事故発生の問題点とされる貧弱なデザイン、不十分な監督、役に立たない手順などの潜在的状況要因とヒューマンエラーに焦点を置き、これらの問題点を改善すれば事故を防止できることになる。

システミック事故モデルは、疫学的事故モデルが、通常の人がふだんと同じ作業を行っているときに発生する事故を説明することができないことを理由に発展したものであり、事故が起きる原因と結果のリンク（link）を排除して社会技術システムを構成する要素すべてに焦点を当て、各要素の相互関係に問題が生じたときに事故が起きるとしている。Dekker（2006）は、システミック事故モデルの必要性について、2003年2月1日に米国で発生したスペースシャトル・コロンビア号空中分解事故の事故調査結果を指摘し、物理的な原因は連続的事故モデル及び疫学的事故モデルで説明できるものの、組織的な背後要因については説明できないことによると述べている。つまり、なぜ技術者達が、通常から離脱した行動又はシステム性能を、通常のこと又は受容できるものと考えられるようになってきたかについて、疫学的事故モデルでは説明できないと主張している。システミック事故モデルには次の2つの特徴がある。一つは、安全について、システムの構成要素が他の構成要素とうまく適合して全体が機能している状態であることを示す創発特性（emergent property）であるとしていること、もう一つは、構成要素間の相互関係は、手順書や設計要件などのコントロール（control）で行われているが、社会技術システムは変動するので、設定したコントロールが最新の状況に適合しなくなるとしていることである。したがって、システミック事故モデルは、連続的事故モデル及び疫学的事故モデルとは異なり、事故の発生が、正常な機能の副産物であるとし、社会技術システムの構成要素を常時監視してコントロールが機能しているかについて評価することを重要視している⁽²⁷⁾。

Hollnagel と Speziali（2008）は、事故モデルが変遷する理由について、人の働く環境が、産業革命から現代の社会技術システムに至るまでの間、単純な機械での生産活動からコンピュータ技術を駆使した複雑なシステムによる生産活動へと変化したことにより、事故発生の形態も、その変化に合わせて原因と結果が明確で背後要因が少ない単純なものから多くの背後要因が関与して原因と結果が明確でない複雑なものへと変貌し、これらの変化に適合できるようにするために開発されていると分析している。

また、Hollnagel と Speziali は、Perrow（1984）の研究⁽²⁸⁾を応用し、システムと各構成要素との結合（coupling）の緊密度を縦軸、システム又はプロセスの扱いやすさ（tractability）を横軸にして、各事故モデルが適用できる産業分野を示した。その分類によれば、連続的事故モデルは、製造業、鉱山業などに、疫学的事故モデルは、海上輸送、鉄道輸送などに、システミック事故モデルは、原子力発電所、化学製品工場などの産業分野に適合する。航空会社と空港は、疫学的事故モデルとシステミック事故モデルが適用できる中間に位置している⁽²⁹⁾。

事故モデルの一つの要件として、前記事故モデルの発展並びに後記 2.3 のスイスチーズモデルの推移及び同モデルから発展した事故モデルを考慮すれば、時代とともに進化する人が働く周囲の環境の変化に対応できることが要求されているものと考えられる。さらに、船舶事故について、機関故障は、製造業で発生した事故に類似しており、連続的事故モデルでの分析に適するが、船舶の衝突、乗揚げ、火災、転覆、死傷事故などは複雑な社会技術システムの中で起きており、疫学的事故モデルでの分析に適するので、同じ産業分野でも、事故の形態によって、事故モデルを適切に選択し、分析する必要があるものと考えられる。

表 2-1 事故モデルの分類

	連続的事故モデル	疫学的事故モデル	システミック事故モデル
探索の原理	原因・結果の明確なリンク	キャリア、バリア及び潜在的状況要因	密接な結合と複雑な相互作用
分析の目標	原因の排除と封じ込め	防護層とバリアの強化	パフォーマンスの変動性の監視と制御
特徴(長所・短所・適用分野など)	線的であり、船舶の機関故障などの分析、又はフォルトツリーのリスク分析など原因・結果が明確な事故分析に適する。同モデルは、組織と事故発生のかかわりを説明できず、その適用範囲に限界があり、船舶、航空機、原子力などの事故のように線的ではない複雑な社会技術システムの要因が絡んだ事故分析には適用できないとされている。	直近の原因のみならず、事故を導いた背後要因をとらえ、事故が発生した理由を包括的に知ることができる。船舶、航空、自動車、医療などの分野の事故分析に用いられている。同モデルは、原因・結果のリンクが明確であることを要件としていることから、ある特定の複雑な社会技術システムの事故分析には適用できないとされている。	事故の発生を、原因・結果及び疫学的要因としてではなく、システム全体でとらえ、原因・結果のリンクを排除し、システムの構成要素の複雑なバランスで事故が起きると述べ、事故は結果ではなく創発特性であるとしている。同モデルの適用には専門的な知識と多くの労力と時間を要することから学術的分野で使用されている。
事故分析のプロセス	事故が発生した場所から始めて、事象の進展を後ろ向きにたどる。	同左	同左
代表的な事故モデルの例(提唱者)	ドミノモデル(Heinrich)、フォルトツリー分析、イベントツリー分析、フィッシュボーン分析、なぜなぜ分析、Failure mode and effect analysis、Sequentially timed events plottingなど	スイスチーズモデル(リーズン)、シェル・リーズン・ハイブリッドモデル、Human factors analysis and classification system (Wiegmann、Shappell)、ATSBモデルなど	Functional resonance accident model (Hollnagel)、Systems-theoretic accident model and processes (Leveson) など

2.3 疫学的事故モデルの先行研究

疫学的事故モデルには、代表的な事故モデルとして、リーズンが提唱するスイスチーズモデルを基礎にした HFACS、シェル・リーズン・ハイブリッドモデル、豪州運輸安全局(ATSB: Australian Transport Safety Bureau)が開発した ATSBモデル⁽³⁰⁾がある。なお、本章でスイスチーズモデルという場合は、後述の「前期 SCM」、「中期 SCM」、「後期 1SCM」及び「後期 2SCM」を含んだモデルのことをいい、特定の時期のモデルを指すときには、前期、中期、後期などの用語をスイスチーズモデルの略称である SCM の前に付する。

HFACS は、Wiegmann と Shappell が、航空分野において、多くの軍用機及び民間航空機に関する事故調査報告書を分析して事故の背後要因を特定したもの

であり、航空分野以外に船舶、鉄道などの分野に適用され、事故の統計及び事故再発防止策を決定する際に用いられている⁽³¹⁾⁽³²⁾⁽³³⁾。

HFACS は、リーズンが 1990 年に発表した図 2-1 の前期のスイスチーズモデル⁽³⁴⁾（以下「前期 SCM」という。）を応用し、事故発生の要因を図 2-2 のように組織の影響、不安全な監督、不安全行為（ヒューマンエラー及び違反）の前提条件及び不安全行為に分類している⁽³⁵⁾。しかし、HFACS は、航空機事故に適合する背後要因を用い、図 2-2 には多くのホールが描かれているものの、ホールが生じる理由及びホールの移動などのホールの特性、ホールと事故要因との関係については明確にされていない。Wiegmann と Shappell（2003）は、スイスチーズモデルが実際の航空機事故分析に用いる際に限界があることを認め、同モデルが体系的に使用されるためにはホールを明確にする必要があると主張している。リーズン、Hollnagel、Paries（2006）は、組織事故発生の進展が、誤った決定、ライン管理者の欠陥、不安全行為の心理的兆候、不安全行為、不適切な防護の順に線的に描かれていることから、前期 SCM は、複雑な組織事故の分析には適用できないと評価している⁽³⁶⁾。

シェル・リーズン・ハイブリッドモデルは、主に前期 SCM と SHELL モデルを組み合わせた事故モデルであり、2014 年まで IMO が船舶事故調査のガイドラインとして採用していた⁽³⁷⁾。同ガイドラインは、事故調査官が、事故現場で事故発生に至る経緯、オペレータの不安全行為及び背後要因などについて、事故現場に残された証拠を SHELL モデルを用いて網羅的に収集し、オペレータの不安全行為に影響を及ぼした背後要因、つまり、潜在的状況要因を特定し、安全上の問題点に対して事故防止策を講じるように指示している。しかし、ホール発生場所、移動などのホールの特性、ホールと潜在的状況要因との関係は説明されていない。

ATSB モデルは、リーズンが 1995 年に示した図 2-4 のモデル⁽³⁸⁾（以下「中期 SCM」という。）に基づいて作成したものである。ATSB モデルは、中期 SCM に描かれた組織を、組織の影響とリスクコントロールに分け、作業現場の状況、人の行為、事象の発生の合計 5 つの要素で構成されており、人の行為が最後の防護層を通り抜けて事故が起きることを示している（図 2-5）⁽³⁹⁾。ATSB モデルは、スイスチーズモデルを基礎としているものの、ホールが描かれておらず、ホール発生場所などのホールの特性、ホールと潜在的状況要因との関係は示されていない。また、ATSB モデルは、中期 SCM を基礎としたものであり、中期 SCM は前期 SCM と同じように、複雑な組織事故の分析に適用できないと評価されているが⁽⁴⁰⁾、一方で、Underwood、Waterson（2013）は、ATSB モデルが、システミック事故モデルの要件とされるシステムの構造、システムの構成要素

間の相互関係、システムの機能を網羅していることから、システミック事故モデルとして用いることができると評価している⁽⁴¹⁾。

図 2-6 及び図 2-7 は、1997 年にリーズンが公表したスイスチーズモデル（以下それぞれ「後期 1SCM」及び「後期 2SCM」という。）である。リーズンは、1997 年の著書で、後期 2SCM をおもに組織事故の進展と事故調査の過程を説明する際に用いており、2008 年の著書では、スイスチーズモデルの一連の発展のなかでは後期 2SCM を引用していないことから、ここでは、「後期 1SCM」について述べ、「後期 2SCM」は事故調査の過程で説明する。

リーズンによれば、後期 1SCM は、前期 SCM、中期 SCM に 2 つの大きな変更を行って開発したものである。一つは、以前のモデルでは、5 つあった防護層の名称は、意思決定者の誤った決定、ライン管理者の欠陥、不安全行為の心理的兆候、不安全行為、不適切な防護とそれぞれ称して区別していたが、後期 1SCM では、これらの名称を示さず、一括して複数の防護層から成る深層防護と表現している。もう一つは、潜在的失敗（latent failure）又は潜在的な不安全条件（latent unsafe conditions）を、潜在的状況要因（latent conditions）と言い換えている。リーズンは、この用語変更について、不安全又は失敗が、人の行為の結果であり、適切な表現でないとして説明している。リーズンの用語変更は、結果（事故など）が確定した後用いるものであり、オペレータが作業を行っている最中、自らの行為を不安全又は失敗と知りながら行うことはないことと関連しているものと考えられる。

リーズンは、後期 1SCM で、ホールは、即発的エラー又は潜在的状況要因によって生じると説明し、潜在的状況要因が、貧弱なデザイン、不適切な監視、検知されなかった製造過程の欠陥、保守の失敗、機能しない手順などであると述べている。後期 1SCM は、各防護層に名称を付けないことによって、前期及び中期 SCM を事故分析及び予防対策に適用する際に制限とされていた事故発生線の線的な過程が排除されることになり、社会技術システムで発生した事故に適用できるものと考えられる。しかし、前期 SCM 及び中期 SCM と同様、ホール発生場所、ホールと潜在的状況要因との関係について詳細に示されていない。

これらの問題点は、リーズンら（2008）が述べているように、スイスチーズモデルが、組織事故に共通する一般的な原理を説明するために開発されたものである⁽⁴²⁾ことから生じる制限であると考えられる。

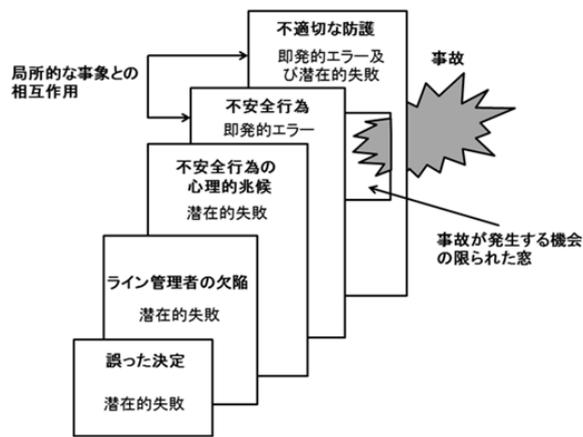


図 2-1 前期 SCM (リーズン,1990 年)

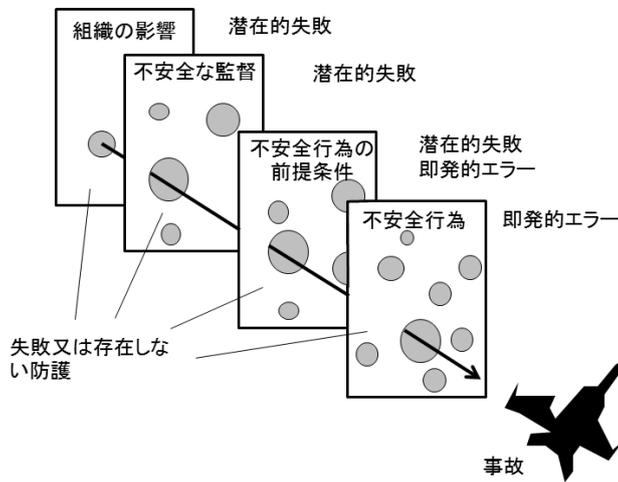


図 2-2 HFACS (Wiegmann、Shappell,2003 年)

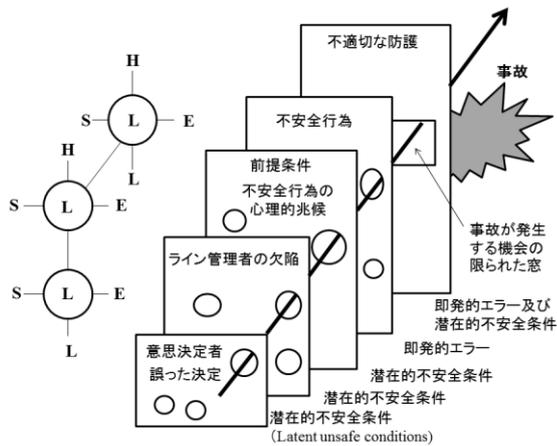


図 2-3 シェル・リーズン・ハイブリッドモデル (IMO,2000 年)

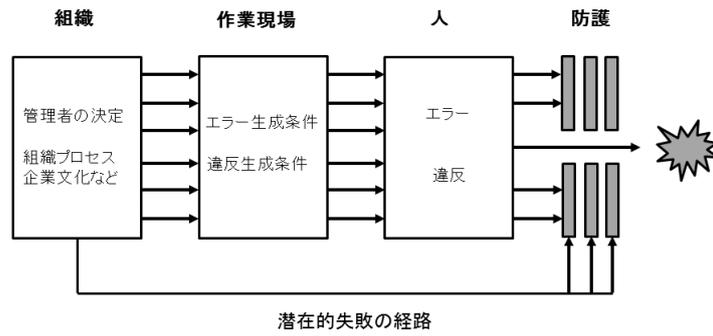


図 2-4 中期 SCM (リーズン,1995 年)



図 2-5 ATSB モデル (ATSB,2008 年)

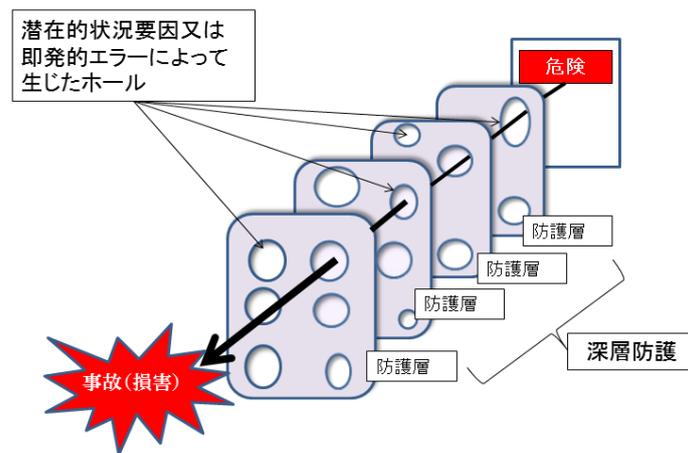


図 2-6 後期 1SCM (リーズン,1997 年)

2.4 スイスチーズモデルと事故調査過程の関係

図 2-7 は、リーズンが 1997 年に示した後期 2SCM であり、組織事故が発生する過程と事故調査の過程を表している⁽⁴³⁾。組織事故は、組織要因が局所的作業現場に作用して局所的作業現場要因を醸成し、この局所的作業現場要因が、そこで作業を行う人のパフォーマンスに影響を及ぼすことによって起きる。組織事故は、事故発生過程で、組織要因が局所的作業現場に影響を及ぼすが、局所的作業現場要因が人のパフォーマンスには直接作用せずに起きることがある。つまり、ヒューマンエラーや違反がなくても組織事故が起きることがある。リーズンは、このような事故発生過程を、潜在的状況要因の抜け道（latent condition pathways）と称し、1986 年のスペースシャトル・チャレンジャー号爆発事故や 1987 年のロンドン地下鉄の主要駅で発生したキングス・クロス火災事故（King's Cross fire）の発生過程を潜在的状況要因の抜け道で説明している。

一方、組織事故の事故調査は、事故の進展とは全く逆の方向から着手する。つまり、事故発生の現場で人のパフォーマンスを最初に調査し、さらに局所的作業現場で事故発生の要因となったすべての証拠を収集し、最後に組織で局所的作業現場要因に影響を及ぼしたと考えられる組織要因の証拠を収集する。

世界の事故調査機関は、IMO（2000）のガイドラインに基づいて、事故発生現場で、SHEL モデルを適用して、人の不安全行為、局所的作業現場要因及び組織要因の証拠を収集することになっている（資料 1 参照）。このプロセスは、航空機事故の調査も同じである⁽⁴⁴⁾。なお、前記 IMO（2000）のガイドラインは、2014 年に新しいガイドラインに改正され⁽⁴⁵⁾、シェル・リーズン・ハイブリッドモデルが削除されたものの、事故調査機関は、船舶事故調査官国際フォーラム調査マニュアル（Marine Accident Investigators' International Forum investigation manual）に基づき、船舶事故の初動調査で証拠を網羅的に収集するために SHEL モデルを用いている⁽⁴⁶⁾⁽⁴⁷⁾。

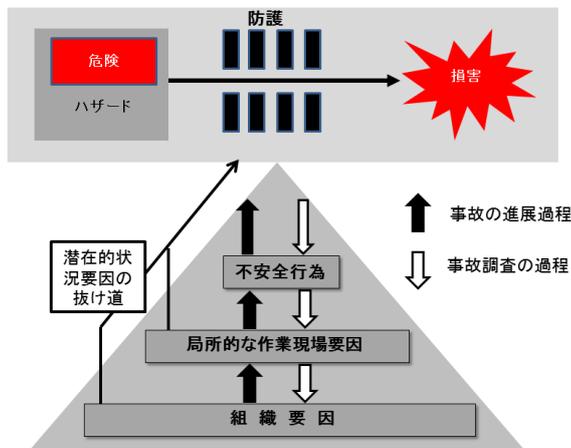


図 2-7 後期 2SCM(組織事故の進展と事故調査の過程)(リーズン,1997 年)

2.5 スイスチーズモデルの問題点

スイスチーズモデルは、1990年～1997年までの間、型を変えているものの、第1章に記載したとおり、組織事故について人の行為の背後に局所的作業現場要因及び組織要因が存在することを明らかにし、組織事故の分析及び防止対策を考える上で有用なモデルとして確立している。

スイスチーズモデルの問題点は、ホールを構成するもの、ホールが発生する理由、ホールの発生場所とその移動、ホールの開閉、事故が起きるためにホールが一行に並ぶことの理由について明確にされていないことである（Wiegmann, Shappell 2003、Dekker 2006、リーズン、Hollnagel、Paries 2006）。これらの指摘は、同モデルから発展したHFACS、シェル・リーズン・ハイブリッドモデル及びATSBモデルに対しても同じである。

リーズン、Hollnagel、Paries（2006）は、スイスチーズモデルが、標準的な科学的方法として確立しており、現在も多くの分野の事故分析に使用されていることを認め、同モデルを否定するような重要な実験が行われていないと述べている。さらに、システムに潜む潜在的状況要因を事前に特定できれば、事故を未然に防止する措置を講じることができると述べている⁽⁴⁸⁾。

Dekker（2006）は、スイスチーズモデルの問題点をどのようにとらえるかは、事故調査担当者の想像に任されているとし、これらの問題点は未解決であることを強調している⁽⁴⁹⁾。

2.6 研究の意義と方針

前記 2.5 で示したように、スイスチーズモデルを用いて組織事故の事故防止策を講じるためには、同モデルの問題点とされるホール発生場所、ホールと潜在的状況要因との関係を明確にしなければならない。つまり、ホールを構成するものが示され、ホール発生場所、ホールを生じさせる潜在的状況要因が明確になれば、おのずと事故防止策が導き出されることになる。

スイスチーズモデルから発展した HFACS 及び ATSB モデルもこれらの問題点を解決しておらず、HFACS の開発者 Wiegmann と Shappell は、スイスチーズモデルが体系的に使用されるためにはホールを明確にする必要があると述べている。したがって、本研究では、船舶事故発生数を削減するために解決すべき重要な課題として、リスクの概念を応用してホールを定義するとともに、スイスチーズモデルを実際の船舶事故に適用し、ホール発生場所を特定してホールの特性を明らかにすることに取り組んだ。

本研究は、事故発生線の過程が排除され、社会技術システムで発生した事故に適用できるとされる後期 1SCM を基礎とし、ホールの発生場所及び移動並びにホールと潜在的状況要因との関係について明らかにし、ホール発生場所、

ホールと潜在的状況要因との関係を示した事故モデルへの展開を図りつつ、体系的な事故の再発防止策及び未然防止策を提案する。

このような現状を踏まえ、以下の6項目を目的として、本研究を遂行することとした。

- (1) スイスチーズモデルを実際の船舶事故に適用してホールの発生場所及び移動を明らかにするとともに、ホールを閉じる体系的方策を示す。
- (2) ホール発生場所、ホールと潜在的状況要因との関係を事故種類別に特定する。
- (3) ホール発生場所とホール発生数の一般的な傾向、及び潜在的状況要因が船舶事故に及ぼす影響を知るため、(2)で得られたデータを用いて数量分析を行う。
- (4) ホール発生場所、ホールと潜在的状況要因との関係にかかる本研究の結果に基づいて事故モデルを構築する。
- (5) スイスチーズモデルの問題点とされた項目について、本研究で得られた結果に基づいて考察を行う。
- (6) (1)～(5)で得られた結果を活用した体系的な事故防止策を提案する。

2.7 本章のまとめ

船舶事故発生数を削減することを目的とし、事故モデルの歴史的な背景、疫学的事故モデルの先行研究、本研究の背景となるスイスチーズモデルに関する問題点を整理し、本研究の意義と基本方針を明確にした。その結果は次のとおりである。

- (1) 社会技術システムで発生した組織事故の分析には疫学的事故モデルとシステミック事故モデルが適しており、疫学的事故モデルを代表するスイスチーズモデルは、海事分野をはじめ多くの分野の事故分析に使用されている。
- (2) スイスチーズモデルには、ホールを構成するもの、ホール発生の理由、ホール発生場所とその移動、ホールの開閉、事故が起きるためにホールが一列に並ぶ理由などについて未解決の問題点がある。
- (3) スイスチーズモデルは、ホールを明確にし、潜在的状況要因を事前に特定できれば、体系的に事故を未然に防止する措置を講じることができる。
- (4) 前記(1)～(3)を踏まえ、本研究では、スイスチーズモデル（後期ISCM）を基礎とし、ホールの発生場所及び移動並びにホールと潜在的状況要因との関係を明らかにしてスイスチーズモデルを発展させた事故モデルを構築するとともに、体系的な事故防止策を提案する。

第 3 章 ホールの可視化及びホールを閉じる

体系的方策

3.1 はじめに

スイスチーズモデルにおいて、深層防護に生じたホールが一直線になって事故の軌跡がホールを突き抜けないように任意の防護層のホールが閉じれば事故は起こらないことになる。ホールは、潜在的状況又は即発的エラーによって生じ、潜在的状況要因は、即発的エラーの発生を促進し、かつ、防護層のメカニズムを弱体化することから、ホール発生場所を特定して潜在的状況要因との関係を明らかにすればホールを閉じること、つまり事故の発生を防止することができる。

第 2 章で述べたように、スイスチーズモデルの問題点は、ホールを構成するもの、ホール発生場所、ホールと潜在的状況要因との関係などが明確にされていないことであり、先行研究では、これらを未解決の課題としている。スイスチーズモデルが事故分析及び事故防止で体系的に用いられるようになるためには、これらの問題点を解決する必要がある。

Heinrich (1959) は、人が、工場で生産される製品の質と量をコントロールすることと、事故の頻度とひどさをコントロールすることには多くの類似性が見られ、不良品の製造と事故の発生は、多くの場合、同じような失敗で生じ、これら失敗の原因も類似していると述べ⁽⁵⁰⁾、安全の管理が、製品の品質管理と類似していることを指摘している。Rasmussen (1997) は、安全について、人の働く周囲の環境が静的ではなく動的であることから、全ての階層でリスクマネジメントを実施する必要があると主張し⁽⁵¹⁾、また、Manuel (2011) は、自社及び他社の事故、ニアミスなどから得られた教訓の活用及び組織の安全に関する調査分析を行い、組織の幹部が安全について深く関与すること及び作業現場で働いているオペレータがリスクを認識することが、組織及び作業現場の高度の安全基準とパフォーマンスの達成に大きく関与していると述べている⁽⁵²⁾。

これらの先行研究を踏まえ、ホール発生場所を特定する場合、品質管理が各プロセスの調査・分析に重点を置いていること、及び本研究者が、主管調査官として船舶事故調査を行っている際、組織は安全管理システム (SMS: Safety Management System) に基づいて安全を確保し、局所的作業現場のオペレータはリスクマネジメントが組み込まれた「1972 年の海上における衝突の予防のための国際規則に関する条約」(以下「国際海上衝突予防規則」という。)、手順

書に基づいて操船又は荷役作業などを実施していることから、事故発生時に組織及び局所的作業現場が用いていた SMS（以下「SMS 防護層」という。）及びリスクマネジメント（以下「リスクマネジメント防護層」という。）をスイスチーズモデルで描かれた深層防護とし、SMS 防護層とリスクマネジメント防護層の各々プロセスに焦点を当て、衝突事故、乗揚げ事故、死傷事故の実例 3 種類 4 件の船舶事故（2 件は重大船舶事故）でホールの特性を調査・分析する。

本章では、リスクの概念を応用してホールを定義し、実際の船舶事故でホールが生じた場所を明確にし、ホールの移動について明らかにするとともに、ホールを閉じる体系的方策を示す。

3.2 調査手法

3.2.1 船舶事故の調査及び調査手法

運輸安全委員会が公表した 2012 年の統計によれば、日本における船舶事故は衝突、乗揚、死傷等の 3 種類の事故が主な事故種類⁽⁵³⁾であることから、本研究者が事故現場に行き調査・分析した実例 1：2010 年（平成 22 年）3 月 18 日 20 時 30 分ごろ愛知県名古屋港東航路南口沖で発生した貨物船 MEDEA 漁船孝盛丸衝突⁽⁵⁴⁾、実例 2：2009 年（平成 21 年）12 月 15 日 20 時 39 分ごろ静岡県下田市神子元島北方沖で発生した貨物船 LANA 乗揚⁽⁵⁵⁾、実例 3：2010 年（平成 22 年）3 月 10 日 13 時 55 分ごろ神奈川県京浜港川崎区旭化成ケミカルズ 2 号栈橋で発生したケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡（荷役中）⁽⁵⁶⁾、実例 4：2012 年（平成 24 年）3 月 27 日 11 時 15 分ごろ兵庫県阪神港神戸区六甲アイランドコンテナふ頭岸壁で発生したコンテナ船 ANNA MAERSK 乗組員死傷（救助艇訓練中）⁽⁵⁷⁾の 3 種類 4 件の船舶事故について研究を行った。

船舶事故の調査は、次のとおり IMO の海上事故調査コードに基づいて行った。

事故が発生した船舶及び事故発生場所に行き、事故の状況及び防護層が崩壊するに至った要因を明らかにするため、証拠を収集した。証拠とは、実例 1～実例 4 の場合、船舶の位置及び船橋内の会話内容を記録する VDR（航海情報記録装置：Voyage Data Recorder）及び AIS（船舶自動識別装置：Automatic Identification System）のデータ、航海計器などの使用状況、船舶の損傷写真、貨物タンク内の酸素濃度測定値、船舶、設備及び安全管理システムなどに関する図面及び証書類、船長、当直航海士などのオペレータ及び目撃者を含む原因関係者からの証言などをいう。次に局所的作業現場でオペレータがとった即発的エラー及び潜在的状況要因を特定し、事故発生に至る経緯を明らかにした後、オペレータの即発的エラーを導いた組織の潜在的状況要因を明らかにするため、組織が構築した安全管理システムの運用の実態を示す書類、組織の安全担当者を含む関係者からの証言などを収集した。そして収集したこれらの証拠を分析

し、即発的エラー又は事故を導いた潜在的状況要因に対して事故防止策を提案した。

なお、事例 1 は、水先人会が設けた安全管理マニュアルで運航の安全を確保するための計画に関する調査、事例 2 は船舶管理会社（国外に所在）が設けた安全管理マニュアルに関する調査を実施できなかった。

3.2.2 調査で用いた装置など

潜在的状況要因によって生じたホールの発生及び移動並びに即発的エラーの発生の事実は、事例 1～事例 4 について次の装置で調べた。

事例 1 は VDR、AIS、船舶及び航海計器などの状況、安全管理マニュアル、水先人、船長を含む船橋チーム、水先人会及び船舶管理会社の安全担当者の証言、事例 2 は AIS、船舶及び航海計器などの状況、水路誌、使用海図並びに船長、甲板員及び船舶管理会社の安全担当者の証言、事例 3 は船舶及び陸上施設の状況、貨物タンク内の酸素濃度測定値、荷役に関する手順、積荷及び出入港地に関する書類、製品安全データシート及び乗組員、船舶所有者、荷受会社の安全担当者などの証言、事例 4 は船舶及び救助艇揚降装置の状況、無負荷離脱装置（Off-load release hook）の設計図及び損傷に関する解析調査、救助艇降下に関する手順、乗組員が実施した救助艇降下に関するリスクアセスメントの記録、日本の造船所 40 社及び救助艇製造者 3 社に対して実施した救助艇降下で用いられる無負荷離脱装置の設計に関する調査、船級協会及び船舶管理会社が実施した監査記録、乗組員及び船舶管理会社の安全担当者の証言。

3.3 解析手法

船舶事故は船舶の運航中又は荷役などの作業中に発生し、船舶の運航は国際海上衝突予防規則及び航海計画に基づいて、荷役を含む各種作業は手順に基づいて実施されていることから、国際海上衝突予防規則、航海計画及び手順の内容並びにこれらの実施状況が安全に影響を及ぼすと考えられる。本研究では、潜在的状況要因によって生じたホール発生場所及び移動、ホールを閉じる方策並びに即発的エラーの発生の解析について、リスクマネジメント、PDCA サイクル及びプロセスアプローチの手法を用いた。

3.3.1 ホールの定義

リーズンによれば、ホールは潜在的状況要因又は即発的エラーによって生じる。潜在的状況要因によって生じる防護層のホールは、人がすべての事故のシナリオを予測できないのでシステムを立ち上げた時に既に存在し、又はシステムを運用中、人がホールの存在に気付かず、あるいは気付いても修正を行わないことから、発展する。即発的エラーによって生じるホールは、オペレータの

不安全行為が原因である。不安全行為（unsafe acts）とは、危険状態（hazardous situation）のときに人が犯すエラー又は違反である⁽⁵⁸⁾。リーズン（2008）は、危険状態のときに人が犯す行為を不安全行為又は即発的エラー（active failures）と定義し、即発的エラーは潜在的状況要因と対比する際に用いている⁽⁵⁹⁾。ISO/IEC ガイド 51 によれば、危険状態とは、人、財産、環境が一つ又は複数の危険源（hazard）にさらされる状態をいう⁽⁶⁰⁾。

リーズンは、潜在的状況要因が、即発的エラーの発生を促進し、かつ、防護層のメカニズムを弱体化すると述べていることから、本研究では、ホールは、潜在的状況要因によって生じるとした。

ホールの定義について、ISO/IEC ガイド 51 における安全の定義⁽⁶¹⁾を参照し、リスクが受容できない状況のときに潜在的状況要因によってホールが生じると定義した。図 3-1 の ALARP（合理的に実行可能な範囲でできるだけ低くする：As Low As Reasonably Practicable）の原則⁽⁶²⁾⁽⁶³⁾で説明すれば、ホールは、いかなる理由があってもリスクは正当化されないことを示す「リスクが受容できない領域」にあるときに生じることになる。

3.3.2 局所的作業現場におけるホール

3 種類 4 件の船舶事故について、前記の一般的な「ホールの定義」に基づき、次のとおり潜在的状況要因によって生じるホールを各々定義した。

実例 1 は、両船が避航船の最大縦距内に接近すること。本事故における貨物船 MEDEA の最大縦距は不詳であったことから、概略の値を知るために本田（2008）の自動車運搬船における最大縦距の統計⁽⁶⁴⁾を用いて約 630m とした（全長に 3.2 を乗した）。なお、他船との衝突を緊急に回避する際、低速で航行している場合を除き、舵一杯をとって変針避航することが全速後進をかけて急速停止などの操船よりも短い距離で回避できる⁽⁶⁵⁾ことから衝突事故における許容できない領域を最大縦距とした。

実例 2 は、船舶がノーゴーエリア（No-go エリア）に進入し、危険物に向けて航行すること。本事故における No-go エリアは、水路誌が推薦していない神子元島北方沖の海域であり、危険物は横根（水上岩）である。

実例 3 は、荷役中、貨物タンクの雰囲気（酸素濃度、ガス濃度など）を測定せずに人が貨物タンクに入ること。

実例 4 は、救助艇に乗艇して訓練中、装置に不具合が生じ、救助艇が海面に落下すること。

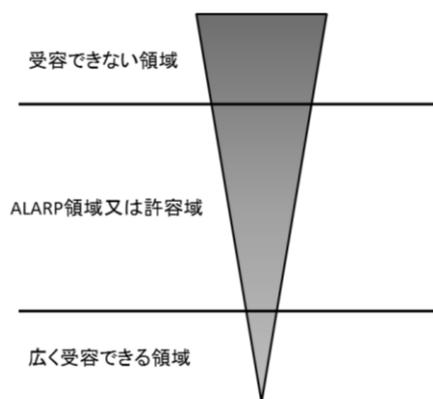


図 3-1 ALARP の原則 (IEC/ISO 31010)

3.3.3 組織におけるホール

海事分野において、組織は、ISM コード（国際安全管理規則：International Safety Management Code）に基づいて SMS を設け、安全に対する施策を講じている。ISM コードは、ISO 9001 の品質マネジメントに準拠している。ISO 9001 は、目標を決めてそれを確実に達成する活動である管理に関し、組織が、図 3-2 のとおり PDCA（Plan-Do-Check-Act:計画－実施－確認－処置）サイクルを用いて目標を実現する活動を行うことと定めている⁽⁶⁶⁾⁽⁶⁷⁾⁽⁶⁸⁾。ISM コードは、SMS の機能的要件を定めている⁽⁶⁹⁾。本研究では、組織の SMS 防護層に関し、組織が、事故に関連した ISM コードの機能的要件を満たしていない状態の時にホールが生じると定義した。

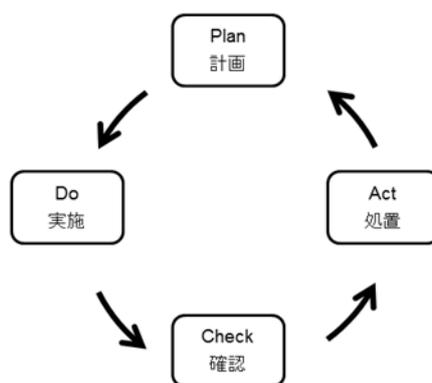


図 3-2 PDCA サイクル (ISO 2008)

3.3.4 ホールの発生場所及び移動の解析手法

ホールの発生場所及び移動は、事故発生時に組織及び局所的作業現場が用いていた SMS、衝突回避動作、航海計画、荷役などの手順について、SMS に組み

込まれた PDCA サイクル及び衝突回避動作、航海計画、荷役などの手順に組み込まれたリスクマネジメントの各プロセスに焦点を当てて調べた。

船舶、荷役設備などのシステムは、当該システムに関するリスクアセスメントのプロセスを経て、リスクが許容可能な程度まで低減されたのち、局所的作業現場で運用される。許容可能なリスクとは、その時代の社会の価値観に基づいて受け入れられるリスクであり⁽⁷⁰⁾、組織は利用できるリソースを用いて、リスクを合理的で実行可能な範囲でできるだけ低く（ALARP）しなければならない。システムを運用するには、リスクが図 3-1 の ALARP 領域又は広く受容できる領域内でなければならない。全てのシステムは、図 3-2 の PDCA サイクル及び図 3-3 のリスクマネジメントプロセスにおいて、リスクが許容可能な程度に低減されたのちに運用されるのが理想的であるが、リーズンが述べているように、人は起こる可能性のある事故のシナリオをすべて予測できない。したがって、ホールは、システムを立ち上げた時にすでに潜在的状況要因によって生じ又はシステムを運用している際、気付かれずあるいは少なくとも修正されずに発展する⁽⁷¹⁾。

局所的作業現場では、リスクが、許容可能な程度まで低減されていない状態、すなわち受容できない領域のときにリスクマネジメント防護層にホールが生じ、事故発生までの間、ホールはリスクマネジメントプロセスを移動する。衝突回避動作の手順、航海計画の手順、閉鎖区域立ち入りの手順とリスクマネジメントプロセスとの関係は次項に示した。これら以外の手順については、当該手順と IEC/ISO 31010 が定めるリスクマネジメントプロセス⁽⁷²⁾を対比し、ホールがどのプロセスで生じたかを調査した。

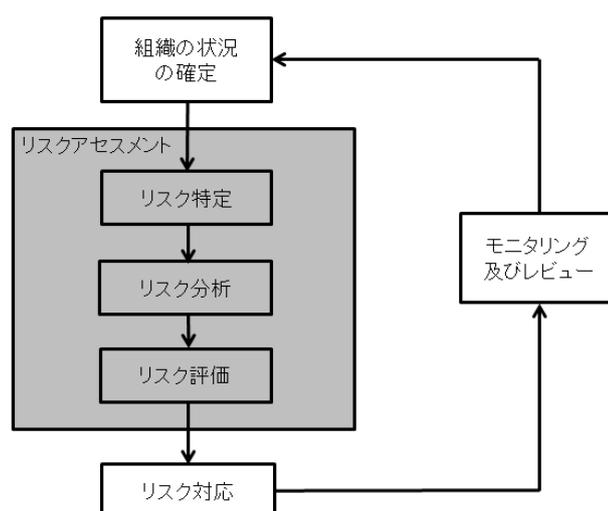


図 3-3 リスクマネジメントプロセス（IEC/ISO 31010）

(1) 衝突回避動作の手順とリスクマネジメントとの関係

衝突回避動作の手順は、国際海上衝突予防規則（COLREG：Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972, as amended）を用いた。本研究では、規則 5 がリスク特定、規則 7(a)、(b)及び(c)がリスク分析、規則 7(d)がリスク評価、規則 8(a)及び(b)がリスク対応、規則 8(d)がモニタリング及びレビューに当たるとした。なお、視界制限状態では、リスク分析とリスク対応について、規則 19(d)がリスク分析、規則 19(d)(i)、(ii)及び規則 19(e)をリスク対応に当たるとした。

国際海上衝突予防規則の関連する部分は次のとおりである。(1) 規則 5 によれば、すべての船舶は、衝突のおそれを十分判断することができるように、常時、適切な見張りを行うこと。(2) 規則 7(a)、(b)及び(c)によれば、すべての船舶は、他船と衝突するおそれがあるかどうかを判断するため、利用できるすべての手段を用いること。他船との衝突のおそれを早期に知るため、レーダーは、長距離レンジによる探査を含め、探知した船舶を系統的に観察すること。不十分な情報に基づいて他船との衝突のおそれを憶測しないこと。(3) 規則 7(d)によれば、接近する船舶のコンパス方位に明確な変化が認められないときは衝突のおそれがあると判断すること。(4) 規則 8(a)及び(b)によれば、衝突回避動作は、十分に余裕のある時期に、運用上の適切な慣行に従ってためらわずにとること。針路又は速力の変更を行う場合は、他船が容易に認めることができるように大幅に行うこと。(5) 規則 8(d)によれば、他船との衝突を避ける動作をとる場合は、他船との間に安全な距離を保って通過できるようにすること。船舶は、その動作の効果を他船が通過して十分遠ざかるまで慎重に確かめること。視界制限状態に関連する部分は次のとおりである。(6) 規則 19(d)によれば、他の船舶の存在をレーダーのみで探知した船舶は、他船と著しく接近することになるか又は衝突するおそれがあるかを判断すること。(7) 規則 19(d)(i)、(ii)及び規則 19(e)によれば、他船が自船の正横より前方にある場合に針路を左に転じてはならず、また、他船が自船の正横又は正横よりも後方にある場合に他船の方向に針路を転じてはならない。霧中信号を自船の正横より前方に聞いた場合又は自船の正横より前方にある他船と著しく接近することが避けられない場合は、速力を針路を保つことができる最小限度に減じること又は停止すること。

(2) 航海計画の手順とリスクマネジメントとの関係

航海計画は、評価、計画、実行及び監視の段階から成り、Swift (1993) ⁽⁷³⁾ 及び IMO (2000) ⁽⁷⁴⁾ (資料 2 参照) が示す航海計画を用いた。本研究では、

評価がリスク特定、計画がリスク分析及びリスク評価、実行がリスク対応、監視がモニタリング及びレビューに当たるとした。

航海計画の関連する部分は次のとおりである。(1) 評価段階では、予定航路に含まれるリスクは、海図、水路誌、気象情報、自船の喫水、乗組員の経験など、関連するすべての情報を収集して調査すること。(2) 計画段階では、航海計画は、評価に基づいて準備すること。計画は離岸するバースから着岸するバースまでを含むこと。危険物に接近する必要がある場合、機関故障又は操船エラーが生じた際、乗揚の可能性を最小限にするため、危険物から十分遠ざかり、船舶は常に安全水域に存在するという最低限のルールを守ること。本研究では、Swift が計画段階で示したこの部分はリスク分析とした。リスク評価は次のとおりとした。No-go エリア及び安全水域の境界線を海図に記載し、安全水域内に予定航路を書き込むこと。潮汐のある場所では、自船が喫水との関係で航行可能な時刻帯、計画中断位置、緊急対応を海図に記入すること。(3) 実行段階では、航海は航海計画に従って実行されること。(4) 監視段階では、自船の航行は、航海計画に従って進行しているか、綿密かつ継続的に確認すること。航海計画の変更は、評価、計画、実行、監視の段階を経て行われ、明瞭に記録すること。

(3) 閉鎖区域立ち入りの手順とリスクマネジメントとの関係

閉鎖区域立ち入りの手順は、IMO (2011) の「船上における閉鎖区域立ち入り改訂勧告」を用いた⁽⁷⁵⁾。本研究では、4.1 項及び 4.2 項がリスク特定及びリスク分析、4.3 項がリスク評価、4.4 項及び 4.5 項がリスク対応、8.1 項がモニタリング及びレビューに当たるとした。

「船上における閉鎖区域立ち入り改訂勧告」の関連する部分は、次のとおりである。(1) 4.1 項及び 4.2 項によれば、組織は、船上のすべての閉鎖区域を特定するため、予備アセスメントを確実に実施すること。予備アセスメントは、閉鎖区域内の雰囲気、酸素欠乏、酸素富化、可燃性、有毒である可能性を決定すること。本研究では、閉鎖区域内の雰囲気が、酸素欠乏、酸素富化、可燃性、有毒である可能性を認識することをリスク特定とし、適切に校正された酸素濃度測定器又はガス検知器などで、閉鎖区域内の雰囲気を計測することをリスク分析とした。(2) 4.3 項によれば、雰囲気の計測及び閉鎖区域の立ち入りは、予備アセスメントに基づいて実施されること。リスクは次の 3 つの領域に分類される。健康又は生命に差し迫ったリスクは生じない。健康又は生命に最小限度のリスクが生じる。健康又は生命にリスクが生じる。(3) 4.4 項及び 4.5 項によれば、予備アセスメントの結果、健康又は生命に最小限度のリスクが生じると判断された場合、次の 5 項～8 項に規定さ

れた予防措置を講じること。予備アセスメントの結果、健康又は生命にリスクが生じると判断された場合、前記措置に追加して 9 項に規定された予防措置を講じること。5 項は閉鎖区域立ち入りの許可、6 項は一般的な予防措置、7 項は雰囲気計測、8 項は閉鎖区域に入っているときの予防措置、9 項は雰囲気が不安全と判断した場合又は安全が疑わしいとされた閉鎖区域に入るときの追加予防措置である。(4) 8.1 項によれば、閉鎖区域で作業をしているとき、雰囲気は一定の間隔で計測し、区域内の状況が悪化した場合には、作業者を直ちに区域外に退避するよう指示すること。

3.3.5 ホールを閉じる体系的方策

防護層に生じたホールを閉じる体系的方策は、リスクを低減する方策を定めた ISO/IEC ガイド 51 を用い⁽⁷⁶⁾、OHSAS 18001 労働安全衛生マネジメントシステムを参考にした。

図 3-4 は、リスク低減を行う際の優先順位と残留リスクとの関係を示している。図中の括弧書きは、機械安全の分野に相当する OHSAS 18001 労働安全衛生マネジメントシステムで使用されている用語を示した⁽⁷⁷⁾。

リスク低減方策は、ステップ 1 から順にステップ 3 までを行い、最後に使用者によるリスク低減方策の措置を講じる。つまり、組織又はオペレータは、最初、ステップ 1 で本質的にリスクを除去することを目的とする本質安全設計を行う。本質安全設計又はリスクの除去は、船舶事故で実例をあげれば、救助艇を降下中に無負荷離脱装置の不具合で救助艇が海面に落下しないように無負荷離脱装置のデザインを変更すること、航海計画を策定する際、岩礁など危険物が多い海域を避け、水路誌が推薦する安全な海域を航行することなどがある。

次にステップ 2 で保護装置を施す。保護装置には、船舶が着岸して貨物を陸上施設に揚荷役中、貨物を搬送するベルトコンベアに作業員が挟まれる事故を防止するためにベルト付近に防護柵(ガード)を設けて人が立ち入らないようにすることが含まれる。

ステップ 2 を終了した後にステップ 3 で安全のための情報を提供して安全対策を施す。この安全のための情報は、荷役装置、救命艇の離脱装置などに使用上の警告文を添付してリスクに関する情報を乗組員に提供することが含まれる。

使用者によるリスク低減方策には、作業手順、船内で火気を使用する際の許可制度、リスクアセスメントなどの教育・訓練、ヘルメット、ガスマスクなどの保護具の装着などが含まれる。

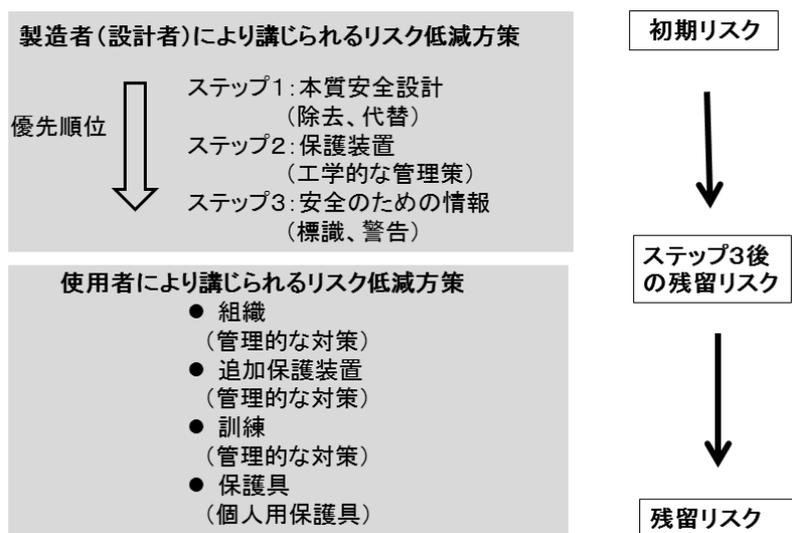


図 3-4 ホールを閉じる体系的方策 (ISO/IEC ガイド 51, OHSAS 18001)

3.4 結果

3.4.1 実例 1：貨物船 MEDEA 漁船孝盛丸衝突事故

本実例は、水先人の水先により愛知県名古屋港の東航路南西沖を伊良湖水道北口付近に向けて航行中の貨物船 MEDEA と伊勢湾灯標西方沖を伊勢湾北部の漁場へ向けて西進中の漁船孝盛丸が、2010年（平成22年）3月18日20時30分ごろ名古屋港東航路南口沖で衝突し、孝盛丸は転覆して船長及び乗組員が負傷し、MEDEA は船首部に擦過傷を生じた事故である。

潜在的状況要因で生じたホールの発生場所及び移動、ホールを閉じるリスク低減方策は、次のとおりであった。

- (1) 水先人会は、本事故発生約1年前、2009年（平成21年）3月13日同水先人会所属の水先人が、船橋チームとの間における接近する船舶の情報を共有していなかったことで貨物船同士の衝突事故に関与していた。

本事故発生の一つの要因は、約1年前の事故と同様に水先人と船橋チームとの間における接近する船舶の情報が共有されなかったことであり、情報を共有していれば、船橋チームが漁船孝盛丸の動静を監視し、貨物船 MEDEA の最大縦距内に孝盛丸が接近することはなく、衝突を回避できた可能性がある。

したがって、水先人会が運用する SMS 防護層において、水先人と船橋チームとの間における情報共有に関する確認が行われておらず、すでに約1年前からホールが生じていた。このことは、図 3-5 の水先人会の SMS 防護層の確認で生じたホールが、本事故発生までの間、SMS の PDCA サイクルを移動したことを示した。

水先人会に対するリスク低減方策は、次の管理的な対策がある。

- ① 水先人会は、所属する水先人に、水先人が船橋チームと接近する船舶の情報を共有することによって衝突事故を防止できることを教育・訓練すること。
- ② 水先人会は、所属する水先人が船橋チームと接近する船舶の情報の共有を行っているかについて内部監査などで確認し、情報の共有を徹底させること。

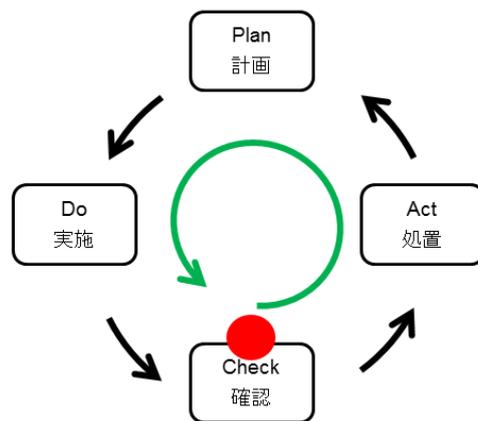


図 3-5 水先人会のホール発生場所及び移動

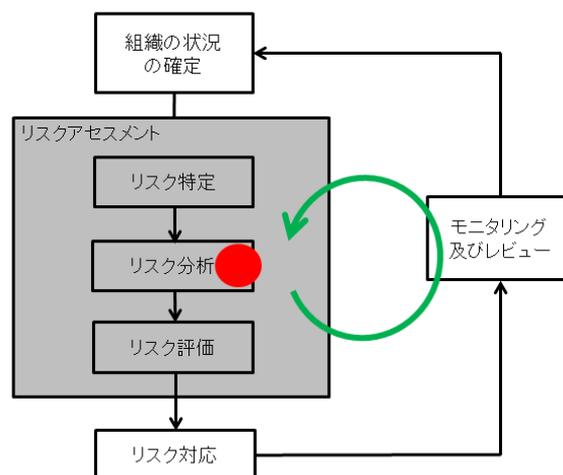


図 3-6 水先人のホール発生場所及び移動

- (2) 水先人は、20時20分ごろ、衝突回避動作の手順に組み込まれたリスクマネジメント防護層のプロセスにおいてレーダーで孝盛丸を探知し、リスク特定を行った。しかし、水先人は、リスク分析が不適切であり、ARPA（自動衝突防止援助機能：Automatic Radar Plotting Aid）が示した針路及び速力を

見て、孝盛丸が本船の予定航路から離れると判断した。水先人は、孝盛丸の存在を船橋チームに知らせなかった。水先人は、船橋チームと接近する船舶の情報を共有する必要性について認識しておらず、接近する孝盛丸の存在及び動静について情報を共有しなかった。このことは、水先人会の SMS 防護層に生じたホールが、水先人の衝突回避動作の手順に影響を及ぼしたことを示した。

水先人は、名古屋西航路を南西進して接近する貨物船（以下「C 船」という。）と VHF で交信し、C 船が第 6 号灯浮標の西側を通航することを知り、MEDEA が予定を変更して同灯浮標の東側を通過する旨を伝えた。この間、水先人は、孝盛丸の動静を考慮しつつ、C 船に対するリスクマネジメント防護層において、リスク特定、リスク分析、リスク評価、リスク対応を行ったことを示した。水先人は、一方、孝盛丸に対するリスクマネジメント防護層で、20 時 20 分ごろのリスク分析で MEDEA の最大縦距内に孝盛丸が接近することを予測できず、ホールが生じ、ホールは、本事故発生までの間、リスクマネジメントプロセスを移動したことを示した（図 3-6）。

水先人が、船橋チームと孝盛丸の存在及び動静について情報を共有していれば、MEDEA の最大縦距内に孝盛丸が接近する前に船橋チームが孝盛丸は漂泊している船舶だと認識して動静を監視し、正しいリスク分析ができた可能性がある。

水先人は、20 時 26 分～27 分ごろにかけ、針路を 218°、216°、次いで 212°に変え、MEDEA と孝盛丸との距離が 630m 以内に接近した。このことから、水先人の即発的エラーは、同漁船が MEDEA の最大縦距内に接近する状況において、針路を 218°、216°、次いで 212°に変えたことである。

水先人に対するリスク低減方策は、次の管理的な対策がある。

- ① 水先人は、漁船の動静に関するリスク評価を十分な情報に基づいて行うこと。
 - ② 水先人は、船橋チームと接近する船舶の情報を共有すること。
- (3) MEDEA の船舶管理会社は、SMS で、船橋チームは水先人が安全な航海を行うように監視しなければならないと定めていたが、水先人と船橋チームが接近する船舶の情報を共有することについて明確に定めていなかった。つまり、船舶管理会社の SMS は、船橋チームが水先人と接近する船舶の情報を共有していないことにより、他船が MEDEA の最大縦距内に接近することを予測していなかった。したがって、船舶管理会社の SMS 防護層は、計画プロセスでホールが生じ、ホールは、本事故発生までの間、PDCA サイクルを移動したことを示した(図 3-7)。

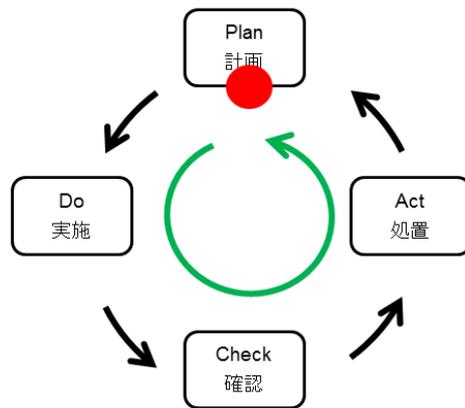


図 3-7 船舶管理会社のホール発生場所及び移動

船舶管理会社に対するリスク低減方策は、次の管理的な対策がある。

- ① 船舶管理会社は、水先人乗船時の手順に、水先人と接近する船舶の情報を共有することを定めること。
 - ② 船舶管理会社は、船長に BRM(ブリッジ・リソース・マネジメント: Bridge Resource Management) 訓練を受講させ、船橋チームが水先人と接近する船舶の情報を共有することによって衝突事故を防止できることを教育・訓練すること(後記(4)参照)。
 - ③ 船舶管理会社は、船長に対し、乗船時、汽笛の押しボタンなどの場所を確認し、緊急時にいつでも使用できるように慣熟させること(後記(4)参照)。
- (4) 局所的作業現場では、水先人と船橋チームとの間で接近する孝盛丸の存在及び動静について情報が共有されず、MEDEA 船長は衝突直前まで孝盛丸の存在及び動静に気付かなかった。MEDEA 船長が水先人と孝盛丸の存在及び動静に情報を共有しなかったのは、船舶管理会社が SMS で水先人と船橋チームが接近する船舶の情報を共有することについて明確に定めていなかったこと、及び MEDEA 船長が BRM の訓練を受けていなかったことに影響された。MEDEA 船長のリスクマネジメント防護層において、MEDEA 船長は、衝突直前まで孝盛丸の存在及び動静に気付かず、リスク特定のプロセスでホールが生じ、ホールは、本事故発生までの間、衝突回避動作の手順のリスクマネジメントプロセスを移動したことを示した(図 3-8)。

MEDEA 船長は、20 時 28 分ごろ、水先人が、MEDEA と孝盛丸との距離が 426m～519m に接近したことにより孝盛丸に対して注意を喚起するために「whistle, whistle」と指示したが、汽笛を吹鳴できなかった。MEDEA 船長の即発的エラーは、孝盛丸が MEDEA の最大縦距内に接近した状況下、水先

人が汽笛の吹鳴を指示したとき、押しボタンの場所が分からず、汽笛を吹鳴できなかったことである。

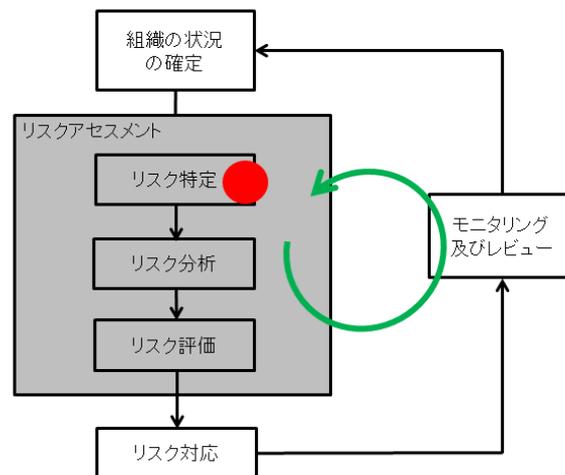


図 3-8 MEDEA 船長のホール発生場所及び移動

- (5) 孝盛丸船長は、水先人が ARPA で孝盛丸の針路及び速力を観察している間、孝盛丸を漂泊させ、作業灯を点灯して前部甲板で作業の準備をしていた。孝盛丸船長は、作業準備を終え、漁場に向けて航走するために操舵室に入ったあと、レーダーを用いて適切な見張りを行っておらず、MEDEA が接近していることに気付かなかった。したがって、孝盛丸船長は、衝突回避動作の手順に組み込まれたリスクマネジメント防護層において、リスク特定が行われず、ホールが生じ、ホールは、本事故発生ままでの間、リスクマネジメントプロセスを移動したことを示した（図 3-9）。孝盛丸に同乗していた乗組員 1 人は、同船の左舷側で外を見ていたので右舷方から接近する MEDEA の存在に気付かなかった。

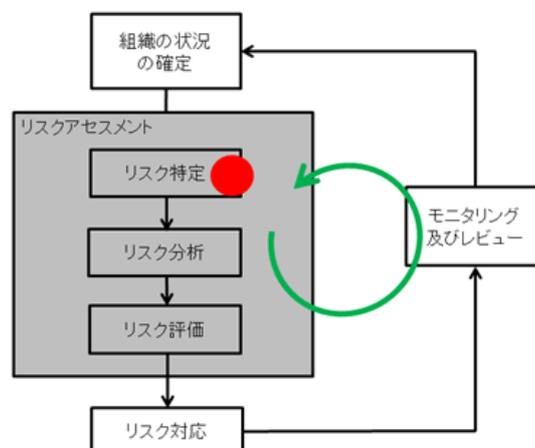


図 3-9 孝盛丸船長のホール発生場所及び移動

孝盛丸船長の即発的エラーは、MEDEAの最大縦距内において、MEDEAの接近に気付かずにMEDEAの前路に向けて航行したことであった。

孝盛丸船長に対するリスク低減方策は、次の管理的な対策がある。

- ① 船長は、レーダーの機能を活用し、接近する船舶を警報音によって認識できるようにするなど、全ての手段を用いて適切な見張りを行うこと。
- ② 船長は、作業灯の点灯及び暗順応によって肉眼で接近している船舶を視認できないことがあることを考慮し、レーダーによる見張りを励行すること。

3.4.2 実例 2：貨物船 LANA 乗揚げ事故

本実例は、貨物船 LANA が神子元島北方沖を航行中、2009 年（平成 21 年）12 月 15 日 20 時 39 分ごろ、横根（水上岩）に乗り揚げ、同船は船首船底に破口、擦過傷等を生じた事故である。

潜在的状況要因によって生じたホールの発生場所及び移動、ホールを閉じるリスク低減方策は、次のとおりであった。

船長は、12 月 15 日、千葉港で、同港から大韓民国馬山港までの航海計画を策定するとき、水路誌が推薦していない神子元島北方海域に予定航路を設定した。船長は、予定航路を設定するとき、機関故障又は操船エラーが生じた際、乗揚げの可能性を最小限にするため、危険物から十分遠ざかり、船舶は常に安全水域に存在するという最低限のルールを守る必要があったものの、このルールを考慮しなかった。LANA は、12 月 15 日 10 時 00 分に千葉港を出港した。このことは航海計画に組み込まれたリスクマネジメント防護層において、船長が、航海計画におけるリスク分析のプロセスが不適切であり、ホールが生じ、ホールは、本事故発生までの間、リスクマネジメントプロセスを移動したことを示した。また船長は、同日 19 時 30 分ごろ、見張りについていた甲板員が GPS 受信器を見て使用海図に記入した船位が予定航路付近であったことから、LANA が予定航路を航行していると思い込み、神子元島北方海域を航行中、自ら測位して本船の位置を確認しなかった。LANA は、レーダーを 2 台装備していたが、1 台は故障し、他の 1 台はジャイロコンパスが接続されていない状況であったものの、危険物までの距離は測定できる状態であった。甲板員は、STCW 条約の支援レベルの資格を受有していたが、同資格には船位測定が要求されていなかった。このことは航海計画に組み込まれたリスクマネジメント防護層において、船長が、自ら測位して船位を確認しなかったことから、モニタリング及びレビューのプロセスでホールが生じ、ホールは、本事故発生までの間、リスク

マネジメントプロセスを移動したことを示した（図 3-10）。本事例では、リスクマネジメント防護層にホールが 2 個生じたことが認められた。

船長の即発的エラーは、航海計画で水路誌が推薦しない海域に予定航路を設定した状況において、自ら船位を確認しなかったため、LANA が横根に向かっていていることに気付かず、針路及び速力を保持して航行したことである。

船舶管理会社及び LANA 船長に対するリスク低減方策は、次の本質的安全設計(リスクの除去)及び管理的な対策がある。

- ① 船長は、航海計画の策定で、水路誌が推薦する神子元島南方海域を航行する予定航路を選択すること。
- ② 船長は、航行中、本船が航海計画に従って航行していることを測位して監視すること。
- ③ 船舶管理会社は、レーダーの保守を行い使用できる状態にすること。

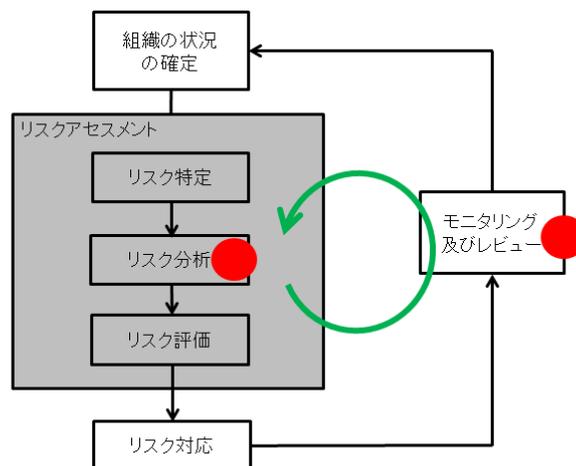


図 3-10 LANA 船長のホール発生場所及び移動

3.4.3 事例 3：ケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡事故（荷役中）

本事例は、ケミカルタンカー第二旭豊丸が京浜港川崎区旭化成ケミカルズ 2 号栈橋で約 380 t の TBA（ターシャリーブチルアルコール、取扱いの際は防毒マスク等の保護具の使用が要求されていた）を揚荷役中、2010 年（平成 22 年）3 月 10 日 13 時 55 分ごろ、揚荷役作業に従事していた一等航海士が、左舷 2 番貨物タンク内に入り、酸素欠乏による窒息で死亡した事故である。

潜在的状況要因によって生じたホールの発生場及び移動、ホールを閉じるリスク低減方策は、次のとおりであった。

- (1) 船舶所有者（安全統括管理者）は、荷役中にハッチを開放してはならないことはケミカルタンカーの乗組員の常識だと思っており、また、本事故時、

第二旭豊丸が TBA の揚荷役中、貨物タンクに窒素ガスを注入していることを知らなかった。貨物タンク内の酸素濃度は、本事故発生から 28 分後の 14 時 23 分に 16% であり、荷役中に窒素ガスを注入したことによって許容範囲の 21% よりも小さい値であった。船舶所有者は、乗組員が貨物タンクの雰囲気測定せずに入ることを見逃し、荷役手順書に閉鎖区域立ち入りの手順を記載していなかった。第二旭豊丸は、少なくとも平成 22 年 1 月から本事故が発生した同年 3 月 10 日までの間、9 回の揚荷役で貨物タンクに窒素ガスが注入されたことが確認された。したがって、船舶所有者の SMS 防護層は SMS を作成した時から計画プロセスでホールが生じ、ホールは、本事故発生までの間、PDCA サイクルを移動したことを示した(図 3-11)。

- (2) 局所的作業現場である第二旭豊丸では、閉鎖区域立ち入りの手順が明記されていない揚荷役の手順に基づいて作業が行われた。このことは、組織の SMS 防護層で生じたホールが局所的作業現場に影響を及ぼしたことを示した。一等航海士は、旭化成ケミカルズ 2 号棧橋に着岸する前の 3 月 10 日 08 時 30 分～50 分ごろの間、京浜港川崎区の荷送会社の専用棧橋で、TBA の積荷役に備え、貨物タンクの清掃状態について船積前検査を受け、その際にパイプから取り外したドレンプラグを復旧せずに TBA を積み込んだ。第二旭豊丸は、積荷終了後、本事故が発生した棧橋で揚荷を行ったが、途中で TBA の揚荷ができなくなった。一等航海士は、ハッチ上面から貨物タンク内を点検したところ、ドレンプラグが取り付けられていないことに気づき、貨物タンクの雰囲気を計測せず、防毒マスクを装着して貨物タンクに入った。このことは、一等航海士が、閉鎖区域内の雰囲気が酸素欠乏であることを認識しておらず、酸素濃度測定器で酸素濃度を計測せずに貨物タンクに入ったことを示した。したがって、一等航海士は、閉鎖区域立ち入りに組み込まれたリスクマネジメント防護層のリスク特定のプロセスでホールが生じ、ホールは、本事故発生までの間、リスクマネジメントプロセスを移動したことを示した(図 3-12)。

一等航海士の即発的エラーは、荷役中、貨物タンクの雰囲気を測定せずに防毒マスクを装着して貨物タンクに入ったことである。

船舶所有者に対するリスク低減方策は、次の管理的な対策がある。

- ① 船舶所有者は、荷役中、ハッチを開けると警報が鳴る装置を設けること。
- ② 船舶所有者は、船長に対し、ハッチに荷役中は開放しない旨の標識、警告文を添付するよう指導すること。
- ③ 船舶所有者は、乗組員に、荷役を開始する前、荷役に伴う危険予知活動を行い、情報を共有するよう指導すること。

④ 船舶所有者は、貨物タンクに入る前に雰囲気計測を必ず行って安全を確認する手順を設け、乗組員に教育・訓練を行うこと。また、教育・訓練の結果が組織にフィードバックされ、組織が作業現場の状況を共有できる体制を設けること。

⑤ 船舶所有者は、貨物タンク清掃状態などの船積前検査の受検を行う際には、乗組員が複数人で立会い、取り外したドレンプラグの復旧を確認するよう指導すること。

荷受会社に対するリスク低減方策は、次の管理的な対策がある。

荷受会社の担当者は、有害物質を貨物タンクに注入する場合、荷役開始前にその旨を乗組員に対して文書及び口頭で周知徹底し、情報の共有を図ること。

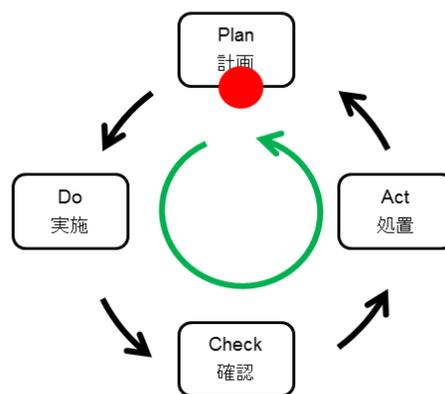


図 3-11 船舶所有者のホール発生場所及び移動

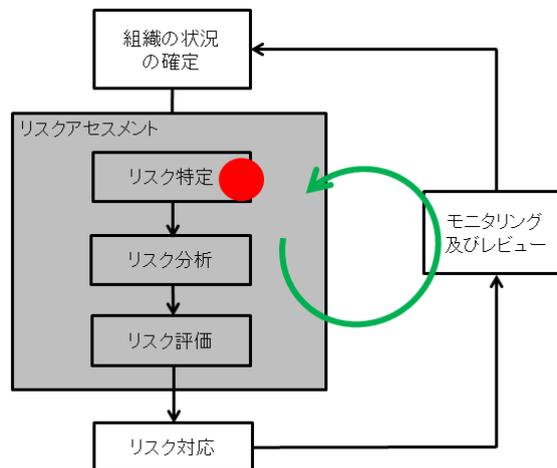


図 3-12 一等航海士のホール発生場所及び移動

3.4.4 実例 4：コンテナ船 ANNA MAERSK 乗組員死傷事故（救助艇訓練中）

本実例は、コンテナ船 ANNA MAERSK が阪神港神戸区六甲アイランドコンテナふ頭岸壁に着岸し、救助艇の訓練中、2012 年（平成 24 年）3 月 27 日 11 時

15分ごろ、一等航海士及び甲板手がボート甲板まで降下された救助艇に乗船したとき、救助艇が18m下の海面に落下し、救助艇に乗船していた一等航海士が重傷を負い、甲板手が死亡した事故である。

潜在的状況要因によって生じたホールの発生場所及び移動、ホールを閉じるリスク低減方策は、次のとおりであった。

2014年（平成26年）1月に本事故調査の結果、ANNA MAERSKが装備していた救助艇の無負荷離脱装置（Off-load release hook）はスイベルのシャックルピンの離脱を防止する安全対策を行っていないことが明らかになった。救助艇の無負荷離脱装置の安全性については、2008年（平成20年）3月25日に造船所が実施した荷重試験に合格し、2011年（平成23年）1月6日に船級協会の貨物船安全設備証書が発行されていた。船舶管理会社は、2011年12月13日に内部監査を実施したものの、無負荷離脱装置に関する指摘はなかった。ANNA MAERSKの乗組員は、2011年に救助艇降下の安全性についてリスクアセスメントを行ったが無負荷離脱装置が破損した際の安全対策については考慮しなかった。本事故発生前、乗組員による無負荷離脱装置のスイベルの点検は行われておらず、組織及び局所的作業現場では、救助艇に乗艇して訓練中、無負荷離脱装置が破損することを予測していなかった。

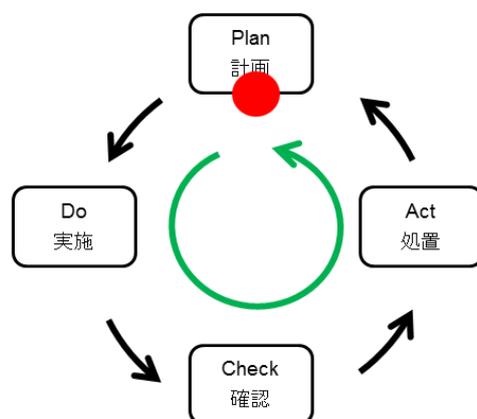


図 3-13 船舶管理会社のホール発生場所及び移動

したがって、船舶管理会社のSMS防護層は無負荷離脱装置を設置したときから計画プロセスでホールが生じ、ホールは、本事故発生までの間、PDCAサイクルを移動したことを示した（図3-13）。救助艇訓練を行う時期及び間隔は、SOLAS条約（1974年の海上における人命の安全のための国際条約：International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended）で定められており、その間、SMS防護層のホールは局所的作業現場に影響を与え、リス

クマネジメント防護層のプロセスを移動したことを示した。本事故時、ANNA MAERSK の乗組員が用いた救助艇降下の手順はリスクアセスメントが反映されており、安全に関して不適切なところはなかった。また、一等航海士は、事故発生時、救助艇降下訓練を手順どおりに実施しており、即発的エラーは発生していなかった。したがって、本事故では、リスクマネジメント防護層は機能し各プロセスに不適切なところがなかったことから、リスクマネジメント防護層のホールを描くことができなかった。

船舶管理会社に対するリスク低減方策は、次の本質的安全設計（リスクの除去）及び管理的な対策がある。

- ① 船舶管理会社は、無負荷離脱装置のスイベルの設計を、ボルト、ナット、割ピンで構成されたものに変更すること。
- ② 船舶管理会社は、無負荷離脱装置の点検項目を指定し、乗組員は指定された項目の目視点検を実行すること。

3.5 考察

本研究では、ホールを SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層で「リスクが受容できない領域」にあるときに生じるとして事故毎にホールを定義したのち、ホールの発生場所と移動を明確にするとともにホールを閉じる方策を検討することを目的とし、3 種類 4 件の実際の船舶事故を調べた。その結果、調査対象とした船舶事故について、次のとおり明らかにすることができた。本章ではホールの特性についてリーズンのスイスチーズモデルと対比して議論する。

- (1) 事例 1 の MEDEA 船舶管理会社、事例 3 の第二旭豊丸の船舶所有者及び事例 4 の ANNA MAERSK 船舶管理会社では、ホールが、組織の SMS 防護層の計画プロセスで生じ、ホールは、事故発生までの間に PDCA サイクルを移動したことが確認された。
- (2) 事例 1 の水先人会では、ホールが、組織の SMS 防護層の確認プロセスで生じ、ホールは、事故発生までの間に PDCA サイクルを移動したことが確認された。
- (3) 事例 1 の MEDEA 船長、孝盛丸船長及び事例 3 の第二旭豊丸一等航海士では、ホールが、局所的作業現場の衝突回避動作の手順及び閉鎖区域立ち入りの手順に組み込まれたリスクマネジメント防護層のリスク特定のプロセスで生じ、ホールは、事故発生までの間にリスクマネジメントプロセスを移動したことが確認された。
- (4) 事例 1 の水先人では、ホールが、局所的作業現場の衝突回避動作の手順に組み込まれたリスクマネジメント防護層のリスク分析のプロセスで生じ、ホ

ールは、事故発生までの間にリスクマネジメントプロセスを移動したことが確認された。

- (5) 実例 2 の LANA 船長では、ホールが、局所的作業現場の航海計画に組み込まれたリスクマネジメント防護層のリスク分析並びにモニタリング及びレビューのプロセスで生じ、ホールは、事故発生までの間にリスクマネジメントプロセスを移動したことが確認された。また、本実例では、一つの防護層にホールが 2 個生じたことが確認された。
- (6) リーズンは、人が起こる可能性のある事故のシナリオをすべて予測できないことから、ホールがシステムを立ち上げた時にすでに潜在的状況要因によって生じ、又はシステムを運用している際に気付かれず、あるいは少なくとも修正されずに発展すると述べている。(1)～(5)の結果は、リーズンの主張を確認したものであると考えられる。
- (7) 実例 1 の水先人及び MEDEA 船長並びに実例 3 の第二旭豊丸一等航海士のリスクマネジメント防護層に生じたホールは、組織の SMS 防護層に生じたホールに影響されたことが確認された。また、水先人、MEDEA 船長及び第二旭豊丸一等航海士の即発的エラーは、組織の SMS 防護層に生じたホールに影響を受けて起きたことが確認された。
- (8) (7)の結果は、組織要因が局所的作業現場に影響を及ぼし、即発的エラーを助長する要因となる場合があるとするリーズンの主張を確認したものであると考えられる。
- (9) 実例 1～4 の船舶事故では、リスクマネジメントのリスク低減方策に基づいてホールを閉じる対策を講じれば、潜在的状況要因によって生じたホールを体系的に閉じる方策を導き出せることが確認された。
- (10) 実例 1～3 の船舶事故は、即発的エラーが確認された。この結果は、ほとんどの組織事故は即発的エラーが含まれるとするリーズンの主張を確認したものであると考えられる。
- (11) 実例 4 の船舶事故は、組織の SMS 防護層のホールが生じた状況において、局所的作業現場でオペレータが即発的エラーを起こさなくても事故が発生したことが確認された。この事故発生の経緯は、リーズンが、スペースシャトル・チャレンジャー事故やロンドンの地下鉄火災事故の組織事故発生の経緯について説明した局所的作業現場で即発的エラーが生じなくても事故が発生する潜在的状況要因の抜け道に該当し、船舶事故でも潜在的状況要因の抜け道で事故が起こることを確認した。実例 4 は、無負荷離脱装置に取り付けられたスイベルのシャックルピンが離脱するのを防止する安全対策が考慮されていなかったことが明らかになっており、無負荷離脱装置の設計に起因する事故であった。局所的作業現場で用いられた救助艇降下の手順は、リ

スクマネジメントを反映したものであり、安全について欠陥はなかったことから、本事故は、救助艇降下の手順に組み込まれたリスクマネジメントのいかなるプロセスでも起こる可能性があったものと考えられる。この結果は、たとえ局所的作業現場でオペレータがリスクマネジメントプロセスを適切に運用していたとしても、設計に起因するホールは、ホールがリスクマネジメントプロセスで生じるのと同じ効果があることを示すものと考えられる。

(12) 実例 1、実例 3 及び実例 4 の船舶事故は、ホールが SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層に各々 1 個生じ、リーズンが主張するようにホールが一行に並び、事故の軌跡がこれらのホールを突き抜けるときに事故が起こることを示唆するものと考えられる。しかし、実例 2 の船舶事故は、組織要因の事故調査が実施できず、SMS 防護層のホールを明らかにすることができなかったものの、局所的作業現場のリスクマネジメント防護層にホールが 2 個生じたことが確認された。リスクマネジメント防護層にホールが 2 個生じたことは、ホールを突き抜ける事故の軌跡が一直線ではないことを示唆するものと考えられるが、本章の研究結果では、すべての船舶事故で、ホールが一行に並び、事故の軌跡が突き抜けるときに事故が起こるとするリーズンの主張が実際の船舶事故に適用できるかについて確認することができなかった。

(13) 本章では、SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層のプロセスに焦点を当てることによって、ホールの発生場所及び移動が可視化された。ホールの可視化は、組織及びオペレータが、事故防止策を講じる際、努力を集中すべき場所が明らかになり、効果的かつ効率的な安全対策の実施に寄与するものと考えられる。

3.6 本章のまとめ

本章では、ホールをリスクの概念を応用して「リスクが受容できない領域」にあるときにホールが生じると定義し、3 種類 4 件の実際の船舶事故において、リスクマネジメント、PDCA サイクル及びプロセスアプローチの手法を用いてホールの発生場所及び移動、ホールを閉じる体系的方策を調査した。その結果は次のとおりである⁽⁷⁸⁾。

- (1) ホールの発生場所及び移動について、調査対象の船舶事故で、組織のホールは、SMS 防護層の計画又は確認のプロセスで生じ、ホールは、事故発生までの間に SMS 防護層の PDCA サイクルを移動したことが確認された。
- (2) 局所的作業現場のホールは、リスクマネジメント防護層のリスク特定、リスク分析又はモニタリング及びレビューのプロセスで生じ、ホールは、事故発生までの間にリスクマネジメントプロセスを移動したことが確認された。

- (3) (1)及び(2)の結果は、ホールはシステムを立ち上げた時にすでに潜在的状況要因によって生じ、又はシステムを運用している際に気付かれず、あるいは少なくとも修正されずに発展するというリーズンの主張を確認したものであると考えられる。
- (4) 実例1の貨物船 MEDEA 漁船孝盛丸衝突事故及び実例3のケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡事故では、組織で生じたホールが局所的作業現場に影響を及ぼしたことが認められ、組織要因が局所的作業現場に影響を及ぼし、即発的エラーを助長する要因となる場合があるとするリーズンの主張を確認したものと考えられる。
- (5) 実例4のコンテナ船 ANNA MAERSK 乗組員死傷事故では、事故は、組織の SMS 防護層にホールが生じた状況において、局所的作業現場でオペレータが即発的エラーを起こさなくても発生したことが認められ、リーズンが主張する潜在的状況要因の抜け道を確認したものであると考えられる。
- (6) 本章の調査対象とした船舶事故では、1つの防護層にホールが2個生じた実例があり、全ての船舶事故で、ホールが一行に並び事故の軌跡が突き抜けるときに事故が起こるとするリーズンの主張を確認することはできなかった。
- (7) ホールが閉じることは、事故を防止することであり、リスク低減方策に基づいてホールを閉じる対策を講じれば、潜在的状況要因によって生じたホールを体系的に閉じる方策を導き出せることが確認された。

第4章 事故種類別のホール発生場所の特定

4.1 はじめに

船舶事故の種類は、国土交通省運輸安全委員会の分類によれば、衝突、乗揚、死傷のほかに、船舶が防波堤、岸壁などに衝突する単独衝突、火災、爆発、沈没、浸水、転覆、施設等損傷⁽⁷⁹⁾があり、事故の要因はそれぞれ異なる。船舶事故の防止を図るためには、これらの事故について事故種類別にホール発生場所を特定する必要がある。

本章では、第3章で示した4件の船舶事故及び運輸安全委員会が発足した2008年（平成20年）10月～2015年（平成27年）4月に調査した85件の重大船舶事故の合計89件について、船舶事故調査報告書（資料3参照）に記載された内容に基づき、第3章3.3記載の解析手法を用いてSMS防護層とリスクマネジメント防護層に生じたホール発生場所を事故種類別に調べ、ホール発生場所を明らかにする。

4.2 調査手法

4.2.1 本研究における標本の選択

本研究は、次のとおり、組織事故を対象とし、また、スイスチーズモデルの理論では深層防護に生じたホールが一行に並んだときに事故の軌跡がホールを突き抜けて事故が起こることから事故を対象とした。

- (1) リーズン（1997）によれば、スイスチーズモデルは、組織事故全般に通じる一般性を理解するために構築されたものである⁽⁸⁰⁾ことから、本研究の調査対象の事故は、組織事故とした。リーズンは、組織事故が、複数の原因が存在し、その原因が組織の様々な階層で働く人に関連して事故の影響が組織全体に及ぶ事故であり、個人事故が、特定の人又はグループが、事故を起こし、かつ、自らが被害をこうむる事故であると定義している⁽⁸¹⁾。

海事分野において、衝突事故、乗揚げ事故、荷役中の死傷事故など多くの事故は、船舶管理会社、船舶所有者、操船者、船舶管理会社の安全担当者など、同事故に多くの組織と人が関係していることから、リーズンが定義する組織事故に該当する。組織事故は、運輸安全委員会が定めた船舶の種類で区分すれば、貨物船、旅客船、タンカー、引船・押船、作業船、非自航船、公用船が関与した事故であり、個人事故は、漁船、遊漁船、瀬渡船、プレジャーボート、水上オートバイ、その他が関与した事故である。本研究の調査対象とした船舶事故89件は、事故要因の関与が、局所的作業現場のオペレータ

以外に船舶管理会社、水先人会、荷役会社などの組織にあることから、すべて組織事故である。

ただし、貨物船と衝突した漁船は、漁船が個人事故の分類に含まれるものの、貨物船が船舶管理会社などに安全を管理されていることから、本研究の調査対象とした。

- (2) 本研究の調査対象は、本研究が主管調査官として調査した4件中2件の船舶事故を除き、組織事故である重大船舶事故のみとした。本研究が定義する重大船舶事故は、IMO(2008)の事故調査コード(Casualty Investigation Code) 2.22が定義する「非常に重大な船舶事故」と同じであり、全損又は死傷者が1人以上の事故のことをいう。運輸安全委員会は、前記に加え、再発防止又は被害軽減の観点から、教訓が得られる船舶事故も重大船舶事故としている。

重大船舶事故は、事故調査コード2.12に則って、機械的、人的、組織の背後要因を調査し、船舶事故調査報告書に記載することになっている⁽⁸²⁾。すなわち、重大船舶事故は、組織要因及び局所的作業現場要因が船舶事故調査報告書に記載されることになる。本研究でホール発生場所及び潜在的状況要因を特定するためには、船舶事故調査報告書に組織要因及び局所的作業現場要因が記載されていることを要件とすることから、運輸安全委員会が定義する重大船舶事故を調査対象とした。

Hollnagel(2004)は、人の死傷を伴う重大な事故と物損のみの軽微な事故について、事故の結果生じたひどさの程度は異なるものの、事故発生のメカニズムは同じであり、事故発生の過程で防護層が機能していないと説明している⁽⁸³⁾。

- (3) 本研究の調査対象には、インシデントを含んでいない。事故調査コード2.10によれば、インシデントは、船舶、乗組員、乗客、その他の者の安全が、危険にさらされ、又はもし改善されなければ危険にさらされたと思われる事故以外の事象である。インシデントは防護層が機能したために事故に至らなかったものであり、事象の発生のメカニズムが事故とは異なる⁽⁸⁴⁾⁽⁸⁵⁾。
- (4) 運輸安全委員会の統計によれば、2008年～2014年までの間、6,974件の船舶事故及び1,089件のインシデントが発生し、10,759隻の船舶がこれらの船舶事故及びインシデントに関与した。10,759隻のうち、個人事故の対象となる漁船、遊漁船、瀬渡船、プレジャーボート、水上オートバイ、その他の隻数を差し引いた5,083隻は、組織事故に関与した船舶事故及びインシデントと考えられる⁽⁸⁶⁾。

2011年～2014年の統計(2008年～2010年までの船種別の事故・インシデント調査隻数の統計は存在しない)によれば、組織事故の約10%がインシデ

ントであったことから、5,083 隻の約 10%をインシデント調査隻数とした場合、組織事故に関与した船舶の隻数は、約 4,575 隻であると考えられる。

したがって、本研究の調査対象とした船舶事故 89 件は、事故発生のメカニズムに関し、約 4,575 隻の船舶事故を代表する標本であると考えられる。なお、2015 年の統計は執筆時に公表されていなかったため、2014 年までの統計を用いた。

4.2.2 調査対象とした船舶の船種及び事故種類

表 4-1 は、2008 年 10 月～2014 年までの間、運輸安全委員会が調査したインシデントを除く船舶事故件数を示している。

表 4-2 は本研究の調査対象とした船舶事故 89 件の船種及び事故種類を示している。船舶事故 89 件の事故種類は、衝突事故 35 件、単独衝突事故 7 件、乗揚げ事故 9 件、死傷事故 26 件、火災事故 5 件、爆発事故 2 件、沈没事故 3 件、転覆事故 2 件であり、合計 124 隻であった。

表 4-1 運輸安全委員会の調査対象船舶事故件数

年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
事故調査件数	690	1,325	1,197	977	958	941	899

表 4-2 本研究の調査対象船舶の船種及び事故種類

船種	衝突	単独衝突	乗揚げ	死傷	火災	爆発	沈没	転覆	合計
貨物船	52	7	7	23	2	1	2	0	94
漁船	12	0	0	0	0	0	0	0	12
遊漁船	2	0	0	0	0	0	0	0	2
旅客船	2	0	2	2	3	0	0	0	9
引船・押船・作業船	0	0	0	1	0	0	0	2	3
非自航船	1	0	0	0	0	1	1	0	3
公用船	1	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	70	7	9	26	5	2	3	2	124

4.2.3 調査対象とした SMS 防護層とリスクマネジメント防護層

衝突事故は、2 隻の船舶が事故に関与していることから、各々船舶の SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層を調べ、ホール発生場所を解析した。

衝突事故以外の事故種類は、1 隻の船舶が事故に関与していることから、同船舶の SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層を調査した。

水先人又はバースマスターが乗船中に事故が発生した場合、同水先人などが乗船した船舶は 1 隻であり、局所的作業現場は 1 つ存在するが、リスクマネジメント防護層は水先人又はバースマスター及び船長の各々について調べた。組

織については、水先人会又はバースマスターの所属する会社及び船舶管理会社の各々SMS防護層を調べた。水先人又はバースマスターが乗船中に発生した事故は、衝突事故5件（6隻）、単独衝突事故2件（2隻）、乗揚げ事故2件（2隻）であった。

死傷事故では、船舶管理会社及び水先人会以外の組織が事故に関与するケースが多く、これらの組織（たとえば荷役会社）のSMS防護層及び同組織の作業員のリスクマネジメント防護層を調べた。

4.2.4 本研究の調査・分析の範囲

本研究は、船舶事故調査報告書に記載された事実情報及び分析の内容に基づいて、ホール発生場所の調査・分析を行った。組織要因又は局所的作業現場要因が記載されていない場合、これらの調査・分析はできなかった。

4.3 解析手法

4.3.1 組織及び局所的作業現場の定義

衝突事故以外の事故種類は、事故が発生した船舶が1隻であることから、同船舶を局所的作業現場とし、同船舶の船舶管理会社又は同船舶で荷役などの作業を行っていた会社を組織とした。衝突事故の場合には、事故に2隻が関与していることから、2隻の船舶を各々局所的作業現場とし、これらの船舶の安全管理会社若しくは運航会社又は船舶所有者を組織とした。

水先人が水先中、又はバースマスターが操船中に起きた船舶事故の場合は、船舶の安全管理会社及び同水先人が所属する水先人会又はバースマスターが所属する会社をそれぞれ組織とした。

4.3.2 ホールの定義

組織及び局所的作業現場における一般的なホールの定義は、第3章3.3.1と同じである。

事故種類別の局所的作業現場におけるホールは、一般的なホールの定義に基づき、次のとおり定義した。

- (1) 衝突事故では、両船が避航船の最大縦距内又は旋回径内（追越しで衝突した場合）に接近すること。
- (2) 単独衝突事故では、危険物（防波堤、養殖施設など）に旋回径内で接近すること。
- (3) 乗揚げ事故では、船舶が、No-goエリアに進入し、危険物（暗岩、浅瀬など）に向けて航行すること。

- (4) 死傷事故では、荷役中、人が貨物タンクの雰囲気(酸素濃度、ガス濃度など)を測定せずに貨物タンク、ポンプ室などの閉鎖区域に入ること。
- (5) 火災事故では、危険物（燃料油、潤滑油などの可燃物）が容器から出ること。
- (6) 爆発事故では、可燃性ガスが存在する場所で、火気を使用すること。
- (7) 沈没事故及び転覆事故では、航行中、復原力が低下して船舶の安定性が劣る状況に至ること。

死傷事故は、事故の形態が多様であり、前記事故種別のホールの定義に適合しない事故が存在した。その際には、リーズンが危険状態（hazardous situation）の時に不安全行為が生じると述べていることを応用し、船舶事故調査報告書の事故発生の事実情報に記載された内容から危険状態を明らかにして事故ごとにリスクが受容できない状況を特定したのち、ホール発生場所を調べた。

なお、単独衝突事故、乗揚げ事故、死傷事故、火災事故に関するホールの定義は、事故によって異なり、複数存在することから、これらの事故種類におけるホールの定義は「用語の定義」の「ホール」に記載した。

4.3.3 組織及び局所的作業現場におけるホール発生場所

89 件の船舶事故調査報告書について、ホール発生場所は、第 3 章 3.3.4 に記載したホール発生場所及び移動の解析手法に従い、組織では SMS 防護層の PDCA サイクル、局所的作業現場ではリスクマネジメント防護層の各々プロセスに焦点を当てて、事故種類別に調査した。

4.4 結果

4.4.1 船舶事故 89 件における防護層の数

調査対象とした船舶事故 89 件における防護層の数は表 4-3 のとおりであった。

表 4-3 船舶事故 89 件における防護層の数

	衝突	単独衝突	乗揚げ	死傷	火災	爆発	沈没	転覆	合計
船舶事故調査件数	35	7	9	26	5	2	3	2	89
船舶事故調査隻数	70	7	9	26	5	2	3	2	124
防護層0の隻数	8	0	0	0	1	0	0	0	9
どちらか防護層1の隻数	35	3	6	8	3	1	3	2	61
SMSとRMの防護層2の隻数	23	3	3	15	1	1	0	0	46
防護層が3つの隻数	1	0	0	2	0	0	0	0	3
防護層が4つの隻数	3	1	0	1	0	0	0	0	5
水先人等が乗船した隻数	6	2	2	0	0	0	0	0	10

89 件 124 隻の船舶事故において、局所的作業現場である 1 隻の船舶に、SMS 防護層又はリスクマネジメント防護層のいずれかが存在した（防護層が 1 つ存在した）のが 61 隻、SMS 防護層が 1 つ及びリスクマネジメント防護層が 1 つ存在した（防護層が 2 つ存在した）のが 46 隻、防護層が 3 つ存在したのが 3 隻、防護層が 4 つ存在したのが 5 隻であり、防護層が全く存在しなかったのが 9 隻であった。

SMS 防護層又はリスクマネジメント防護層のいずれかが存在した主な理由は、船舶事故調査報告書に組織要因又は局所的作業現場要因が記載されていなかったことによるものであった。防護層が 3 つ存在したのは、衝突事故 1 隻、死傷事故 1 隻であり、主な理由は、衝突事故の場合、船舶管理会社の組織要因並びに水先人及び船長の局所的作業現場要因は記載されていたものの、水先人会の組織要因が記載されていなかったこと、死傷事故の場合、船舶管理会社及び荷役会社の組織要因並びに荷役会社作業員の局所的作業現場要因は記載されていたものの、船舶乗組員の局所的作業現場要因が記載されていなかったことによるものであった。防護層が 4 つ存在したのは、衝突事故 3 隻、単独衝突事故 1 隻及び死傷事故 2 隻であり、これらの事故に関与した組織及びオペレータの組織要因及び局所的作業現場要因がすべて船舶事故調査報告書に記載されていたことによるものであった。防護層が全く存在しなかった主な理由は、衝突事故の場合、漁船に組織要因が存在しないこと、及び同漁船の船長が死亡したために局所的作業現場要因が明らかでなかったことによるものであった。

4.4.2 組織におけるホール発生場所

本研究では、65 の組織を解析した。組織の数の内訳は、衝突事故が 28 組織、単独衝突事故が 5 組織、乗揚げ事故が 3 組織、死傷事故が 24 組織、火災事故が 3 組織、爆発事故が 1 組織、沈没事故が 1 組織であった。65 の組織のうち、57 組織で SMS 防護層に 1 個のホールが生じ、8 組織で SMS 防護層に 2 個のホールが生じていた（衝突事故 1 組織、乗揚げ事故 1 組織、死傷事故 6 組織）。SMS 防護層に 2 個のホールが生じた 8 組織は、局所的作業現場のリスクマネジメント防護層も存在していた。

SMS 防護層において、ホールは、PDCA サイクルの計画プロセスで最も多く生じ、73 個のうちの 33 個を占めており組織で生じたホール全体の 45% であった。ホールは、PDCA サイクルの実施プロセスで 2 番目に多く生じ、32 個を占めており全体の 44% であった。これらの計画と実施のプロセスで生じたホールは、組織で生じたホール全体の 89% であった（表 4-4）。

SMS 防護層において、ホールが最も多く生じる場所は、事故種類によって異なり、必ずしも同じではなかった（図 4-1）。

表 4-4 SMS 防護層におけるホール発生場所

PDCAサイクルのプロセス	衝突	単独 衝突	乗揚げ	死傷	火災	爆発	沈没	転覆	各プロセス でホールが 生じた総数
計画(Plan)	12	1	1	17	2	0	0	0	33
実施(Do)	13	3	2	12	1	1	0	0	32
確認(Check)	4	1	1	1	0	0	1	0	8
処置(Act)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
事故種類別のホール 発生総数	29	5	4	30	3	1	1	0	73

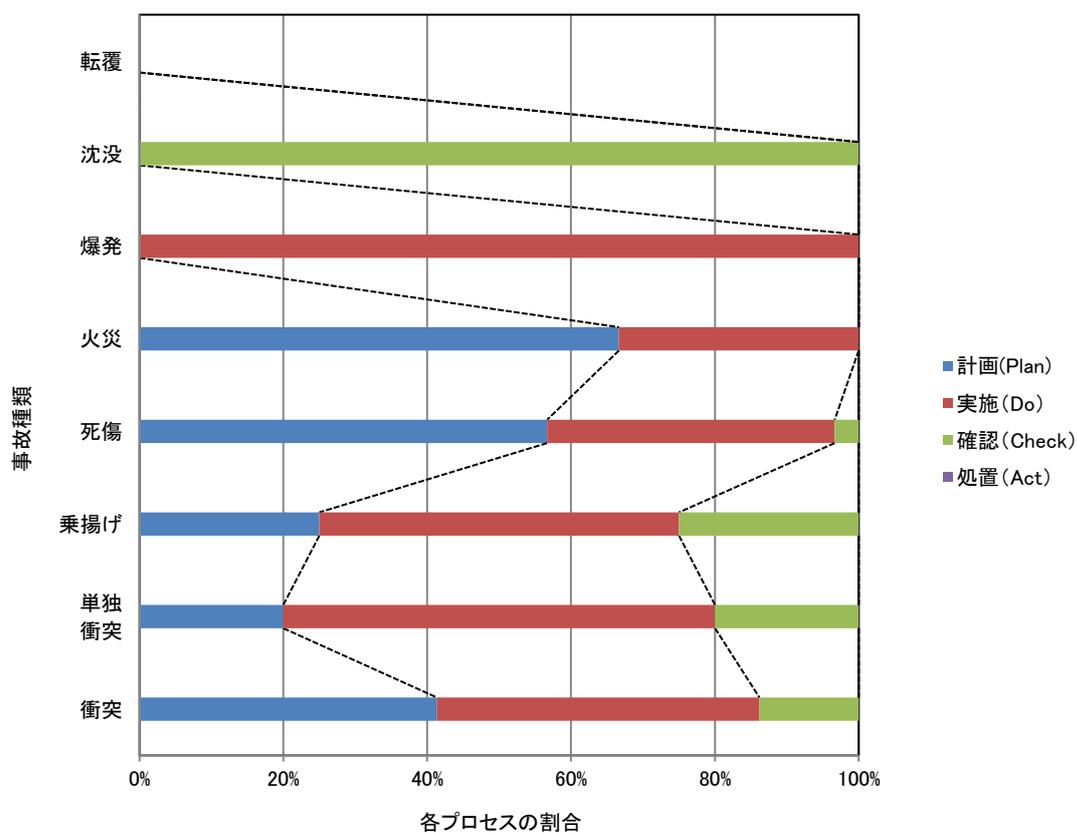


図 4-1 事故種類別の組織におけるホール発生場所

4.4.3 局所的作業現場におけるホール発生場所

本研究では、121 の局所的作業現場を解析した。局所的作業現場の数の内訳は、衝突事故 70、単独衝突事故 7、乗揚げ事故 9、死傷事故 25、火災事故 4、爆発事故 2、沈没事故 2、転覆事故 2 であった。121 の局所的作業現場において、117 のリスクマネジメント防護層を解析した。リスクマネジメント防護層の数の内訳は、衝突事故 67、単独衝突事故 8、乗揚げ事故 10、死傷事故 24、火災事故 2、爆発事故 2、沈没事故 2、転覆事故 2 であった。

117のうち112のリスクマネジメント防護層は、ホールが1個のみ生じていた。5つのリスクマネジメント防護層は、ホールが2個以上生じ、その内訳は、1つのリスクマネジメント防護層で、ホールが4個（乗揚げ事故）、4つのリスクマネジメント防護層でホールが2個（単独衝突事故1件、乗揚げ事故3件）生じていた。

7つのリスクマネジメント防護層は、ホールが生じていなかったことから、117のリスクマネジメント防護層には含まれていない。ホールが生じていなかった7つのリスクマネジメント防護層の事故種類は死傷事故3件、火災事故3件、沈没事故1件であり、これらの事故では、リスクマネジメント防護層は機能し、オペレータが即発的エラーを起こしていないにもかかわらず事故が起きていた。

これらのほかオペレータ（操船者）が操縦免許を取得していなかったことから、衝突回避動作の手順に組み込まれたリスクマネジメントプロセスが適用できない衝突事故1件1隻があり、同オペレータのリスクマネジメント防護層は117に含まれていない。

リスクマネジメント防護層において、ホールは、リスク分析のプロセスで最も多く生じ、ホールの総数124個のうち61個を占めており局所的作業現場で生じたホール全体の49%であった。ホールは、リスク特定のプロセスで2番目に多く生じ、38個を占めており全体の31%であった。リスク分析とリスク特定のプロセスで生じたホールは、局所的作業現場で生じたホール全体の80%であった（表4-5）。

リスクマネジメント防護層において、ホールが最も多く生じる場所は、事故種類によって異なり、必ずしも同じではなかった（図4-2）。

表 4-5 リスクマネジメント防護層におけるホール発生場所

リスクマネジメントのプロセス	衝突	単独 衝突	乗揚げ	死傷	火災	爆発	沈没	転覆	各プロセス でホールが 生じた総数
リスク特定	12	0	3	17	1	2	2	1	38
リスク分析	48	0	4	7	1	0	0	1	61
リスク評価	1	1	1	0	0	0	0	0	3
リスク対応	6	2	2	0	0	0	0	0	10
モニタリング及びレビュー	0	6	6	0	0	0	0	0	12
事故種類別のホール 発生総数	67	9	16	24	2	2	2	2	124

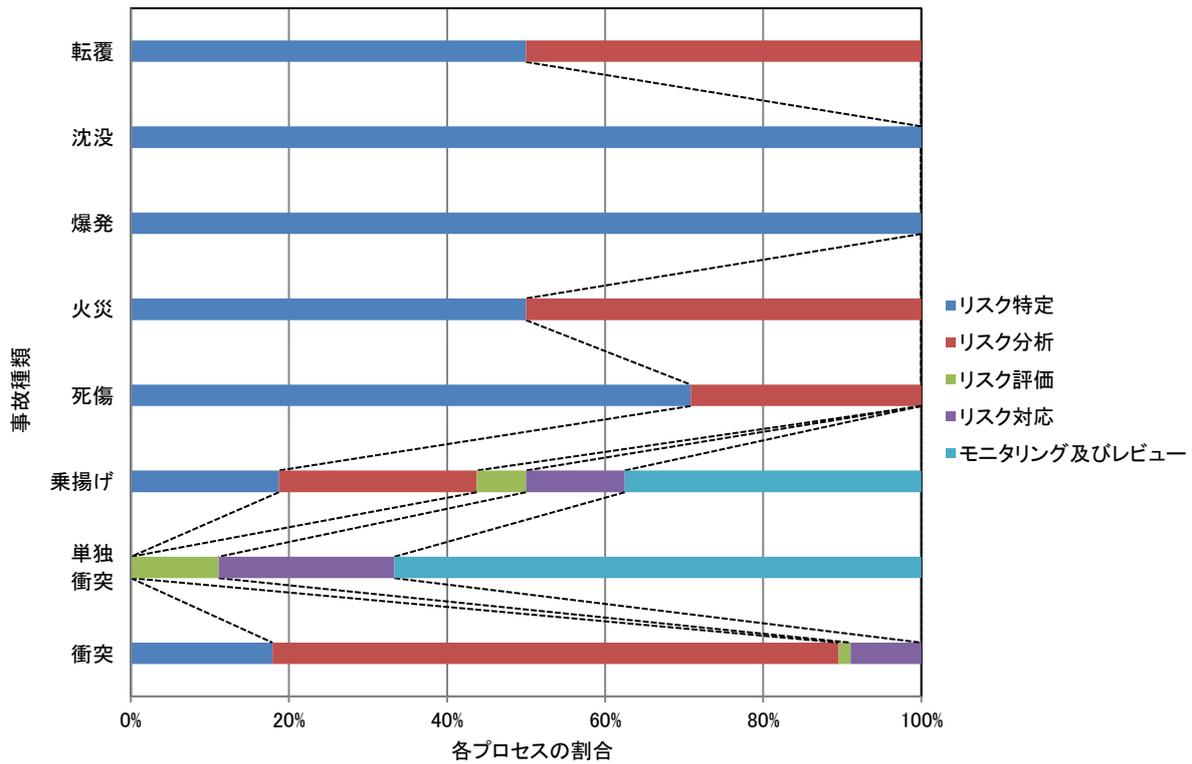


図 4-2 事故種類別の局所的作業現場におけるホール発生場所

4.5 考察

船舶事故 89 件の調査・分析によって、SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層における事故種類別のホール発生場所が明らかになった。89 件のホール発生場所の結果は、第 3 章 3.5(6)で示したリーゼンの主張を確認することとなった。以下、事故種類別のホール発生場所及びホールと各防護層のプロセスとの関係について議論する。

4.5.1 組織の SMS 防護層に生じたホール

- (1) 船舶事故全体では、ホールが、PDCA サイクルの計画プロセスで最も多く生じたことが確認された(表 4-4)。ホールが計画プロセスで生じたことは、発生した事故に関連した手順が、組織で策定されなかったことを示すものである。ホールは、次に実施プロセスで多く生じ、発生した事故に関連した手順が、局所的作業現場で実施されなかったことを示すものである。
- (2) ホールが最も多く生じる場所は、事故種類によって異なり、必ずしも同じではないことが確認された。ホールは、衝突事故では実施プロセスで最も多く、次に計画プロセスで多く生じており、両方のプロセスで生じたホール発生数は全体の 86%を占めていた。単独衝突事故及び乗揚げ事故では実施プロセスで最も多く生じた。死傷事故では計画プロセスで最も多く生じており全体の 57%、次に実施プロセスで多く生じ、両方のプロセスで生じたホー

ル発生数は全体の 97%を占めていた。事例が少なかったが、ホールは、火災では計画プロセス及び実施プロセスで生じ、爆発では実施プロセスで生じた。沈没では確認プロセスで生じており、このことは、組織が実施することになっている監査が行われず、また局所的作業現場で起きたインシデント又は事故などの事象が組織へ報告されなかったことを示すものである。

4.5.2 局所的作業現場のリスクマネジメント防護層に生じたホール

- (1) 船舶事故全体では、ホールが、リスク分析のプロセスで最も多く生じ、次にリスク特定のプロセスで多く生じたことが確認された（表 4-5）。
- (2) ホールが最も多く生じる場所は、事故種類によって異なり、必ずしも同じではないことが確認された。事故種類別のホール発生場所は、次のとおりであった。
- (3) 衝突事故では、ホールは、リスク分析のプロセスで最も多く生じ、ホール発生数は全体の 72%であることが確認された。この結果は、多くのオペレータが、他船と衝突するおそれがあるかどうかを判断する際、利用できるすべての手段を用いること、他船との衝突のおそれを早期に知るためにレーダーで長距離レンジによる探査を含め、探知した船舶を系統的に観察すること、不十分な情報に基づいて他船との衝突のおそれを憶測しないことと定めた国際海上衝突予防規則 7(a)、(b)及び(c)を順守していなかったことを示すものである（第 3 章 3.3.4(1)参照）。

ホールは、次にリスク特定のプロセスで多く生じ、全体の 18%であった。この結果は、多くのオペレータが、衝突のおそれを十分判断することができるよう常時適切な見張りを行うことと定めた国際海上衝突予防規則 5 を順守しておらず、衝突事故が発生するまでの間、衝突のおそれがある他船の接近に気付かなかったことを示すものである。

これらの結果は、竹本（2009）が、海難審判裁決例集に記載された 1986 年～2004 年に発生した衝突事故 145 件、288 隻について操船者の衝突回避動作を調査した研究結果とほぼ一致するものであった。竹本によれば、他船を認識したが衝突のおそれを確認しなかった船舶が 227 隻（約 79%）、他船に気付かずに衝突した船舶が 60 隻（約 21%）であった⁽⁸⁷⁾。他船を認識したが衝突のおそれを確認しなかったことは、本研究でホールがリスク分析のプロセスで生じたことを意味し、他船に気付かずに衝突したことは、ホールがリスク特定のプロセスで生じたことを意味している。

- (4) 単独衝突事故では、ホールは、モニタリング及びレビューのプロセスで最も多く生じ、ホール発生数は全体の 67%であることが確認された。この結果は、多くのオペレータが、船舶があらかじめ決められた航海計画に従って

進行しているかについて、綿密かつ継続的に確認することと定めた Swift (1993) が示す航海計画のプロセスを順守しなかったことを示すものである (第 3 章 3.3.4(2)参照)。

- (5) 乗揚げ事故では、ホールは、モニタリング及びレビューのプロセス、次にリスク分析で多く生じ、両方のプロセスで生じたホール発生数は全体の 63% であることが確認された。この結果は、多くのオペレータが、あらかじめ決められた航海計画に従って進行しているかについて、綿密かつ継続的に確認せずに航行したことを示すものである。また、多くのオペレータが、危険物に接近する必要がある場合、機関故障又は操船エラーが生じた際、乗揚げの可能性を最小限にするため、危険物から十分遠ざかり、船舶は常に安全水域に存在するという最低限のルールを定めた Swift (1993) が示す航海計画のプロセスを順守しなかったことを示すものである。
- (6) 死傷事故では、ホールは、リスク特定のプロセスで最も多く生じ、ホール発生数は全体の 71% であることが確認された。この結果は、多くのオペレータが、局所的作業現場で、危害をもたらすおそれのあるハザードを認識せずに作業を実施したことを示すものである (荷役中、人が貨物タンクに入って死傷する事故については第 3 章 3.3.4(3)参照)。
- (7) 事例は少ないが、火災事故及び転覆事故では、ホールは、リスク特定とリスク分析のプロセスで生じ、爆発事故及び沈没事故では、リスク特定で生じることが確認された。これらの結果は、多くのオペレータが、局所的作業現場で、危害をもたらすおそれのあるハザードを認識せず、又はハザードを認識してもハザードが人に及ぼす危害を分析せずに作業又は運航を行ったことを示すものである。

4.6 本章のまとめ

本章では、船舶事故 89 件について、SMS 防護層とリスクマネジメント防護層に生じたホール発生場所を事故種類別に調査した。その結果は次のとおりである。

- (1) 船舶事故全体の組織の SMS 防護層に関し、ホールは、PDCA サイクルの計画プロセスで最も多く生じることが確認された。この結果は、発生した事故に関連した手順が、組織で策定されていなかったことを示すものである。
- (2) SMS 防護層で最も多くのホールが生じる場所は、事故種類によって異なり、必ずしも同じではないことが確認された。ホールは、衝突事故、単独衝突事故及び乗揚げ事故では実施プロセス、死傷事故では計画プロセスで最も多く生じ、事例が少なかったものの、火災事故では計画プロセス及び実施プロセス、爆発事故は実施プロセス、沈没事故は確認プロセスで生じたことが認め

られた。

- (3) 船舶事故全体の局所的作業現場のリスクマネジメント防護層に関し、ホールは、リスク分析のプロセスで最も多く生じ、次にリスク特定のプロセスで多く生じることが確認された。リスクマネジメント防護層で最も多くのホールが生じる場所は、事故種類によって異なり、必ずしも同じではないことが確認された。
- (4) 衝突事故では、ホールは、リスク分析のプロセスで最も多く生じ、ホール発生数は全体の 72%であることが確認された。この結果は、多くのオペレータが、レーダーで探知した船舶を系統的に観察せず、不十分な情報に基づいて他船との衝突のおそれを憶測していたことを示すものである。
- (5) 単独衝突事故では、ホールは、モニタリング及びレビューのプロセスで最も多く生じ、ホール発生数は全体の 67%であることが確認された。この結果は、多くのオペレータが、船舶があらかじめ決められた航海計画に従って進行しているかについて確認していなかったことを示すものである。
- (6) 乗揚げ事故では、ホールは、モニタリング及びレビューのプロセス、次にリスク分析で多く生じ、両方のプロセスで生じたホール発生数は全体の 63%であることが確認された。この結果は、多くのオペレータが、船舶があらかじめ決められた航海計画に従って進行しているかについて確認しておらず、また、航海計画の計画段階で、機関故障又は操船エラーが生じた際、乗揚げの可能性を最小限にするため、危険物から十分遠ざかり、船舶は常に安全水域に存在するという最低限のルールを順守していなかったことを示すものである。
- (7) 死傷事故では、ホールは、リスク特定のプロセスで最も多く生じ、ホール発生数は全体の 71%であることが確認された。この結果は、多くのオペレータが、危害をもたらすおそれのあるハザードを認識せずに作業を実施したことを示すものである。

第 5 章 ホール発生場所とホール発生数の関係

5.1 はじめに

スイスチーズモデルでホール発生場所の一般的な傾向が事故種類別に明らかになれば、組織及びオペレータが、運航又は作業の前、安全を確保するために注意と努力を向けるべきところを知ることができ、事故の未然防止に活用できる。

本章では、ホール発生場所とホール発生数との関係が因果関係のない相関関係（correlation）であることから、第 4 章 4.4.2 及び 4.4.3 で得られたデータを用い、ホール発生場所を x 、ホール発生数を y とし、これらの 2 変数の関係をピアソンの積率相関係数（以下「相関係数」という。）で算出し、事故種類別にホール発生場所の一般的な傾向を明らかにする。

5.2 解析手法

ホール発生場所を数量化するため、組織のホール発生場所は、SMS 防護層の PDCA サイクルの計画プロセスを 1、実施プロセスを 2、確認プロセスを 3、処置プロセスを 4 とした。局所的作業現場のホール発生場所は、リスクマネジメント防護層のリスクマネジメントプロセスのリスク特定を 1、リスク分析を 2、リスク評価を 3、リスク対応を 4、モニタリング及びレビューを 5 とした。

事故種類別のホール発生場所の傾向を分析する方法として、相関の強さを表す相関係数 r を用いた。 x の値の平均を \bar{x} 、 y の値の平均を \bar{y} とすれば、 r は、次式で求められる⁽⁸⁸⁾。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

相関の強さは、相関係数 r が、 ± 0.7 以上で「とても強い」、 ± 0.4 程度で「強い」、 ± 0.2 程度で「弱い」正又は負の相関があるとし、 ± 0.2 以下は相関がないとした⁽⁸⁹⁾。

相関係数に関し、回帰方程式を算出できる条件が、変数 x の数を p 、標本の数を n とした場合、 $n - p - 1 > 0$ であることから、これらの条件に満たない単独衝突事故、乗揚げ事故、火災事故、爆発事故、沈没事故、転覆事故にかかる組織のホール発生場所とホール発生数の関係、火災事故、爆発事故、沈没事故、転覆事故にかかる局所的作業現場のホール発生場所とホール発生数の関係は算出できなかった。

散布図（図 5-1～図 5-8）、相関係数、回帰方程式は分析ソフト（エクセル統計 2015 for Microsoft）を使用して作成及び算出した。

5.3 結果

船舶事故全体に関し、組織は第 4 章 4.4.2 表 4-4、局所的作業現場は第 4 章 4.4.3 表 4-5 のデータを x、y に変換すれば、それぞれ次の表 5-1、表 5-2 が得られた。

表 5-1 PDCA サイクルとホール発生数

PDCAサイクルの プロセス番号(x)	ホール発生数 (y)
1	33
2	32
3	8
4	0

表 5-2 リスクマネジメントプロセスとホール発生数

リスクマネジメントの プロセス番号(x)	ホール発生数 (y)
1	38
2	61
3	3
4	10
5	12

表 5-1 及び表 5-2 のデータを、分析ソフトで解析すれば、PDCA サイクルのプロセス番号（ホール発生場所）とホール発生数との関係を示す相関係数及び回帰方程式は次のとおりであり、図 5-1 が得られた。図中の線は回帰直線を示す（以下同じ）。

$$r = -0.9 \quad y = -12.3x + 49$$

リスクマネジメントプロセス（ホール発生場所）とホール発生数との関係を示す相関係数及び回帰方程式は次のとおりであり、図 5-2 が得られた。

$$r = -0.6 \quad y = -10.3x + 55.7$$

事故種類別の PDCA サイクル及びリスクマネジメントプロセスの各プロセス（ホール発生場所）とホール発生数との関係は、表 5-3 のとおりであり、図 5-3～図 5-8 が得られた。

表 5-3 ホール発生場所とホール発生数との相関係数等

事故種類	PDCAサイクルとホール発生数		リスクマネジメントとホール発生数	
	r	回帰方程式	r	回帰方程式
船舶事故全体	-0.9	$y = -12.3x + 49$	-0.6	$y = -10.3x + 55.7$
衝突	-0.9	$y = -4.5x + 18.5$	-0.5	$y = -6.6x + 33.2$
単独衝突	—	—	+0.8	$y = 1.4x - 2.4$
乗揚げ	—	—	+0.3	$y = 0.4x + 2$
死傷	-0.9	$y = -6.2x + 23$	-0.8	$y = -4.1x + 17.1$
火災	—	—	—	—
爆発	—	—	—	—
沈没	—	—	—	—
転覆	—	—	—	—

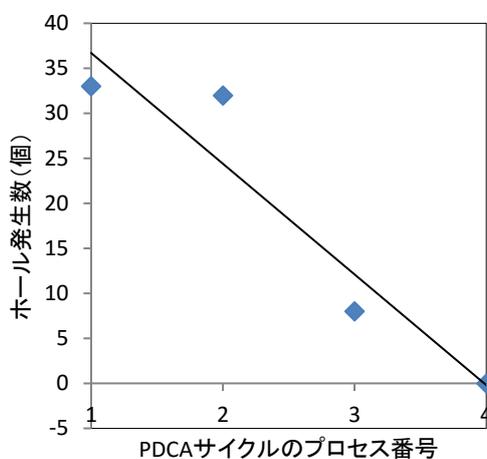


図 5-1 船舶事故全体のホール発生場所とホール発生数（組織）

PDCA サイクルのプロセス番号は、1 が計画、2 が実施、3 が確認、4 が処置（以下同じ）

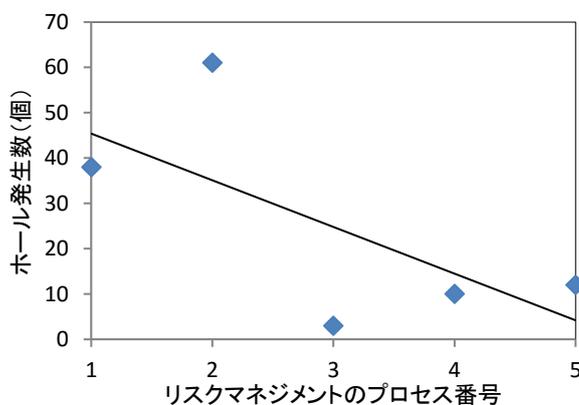


図 5-2 船舶事故全体のホール発生場所とホール発生数（局所的作業現場）

リスクマネジメントのプロセス番号は、1 がリスク特定、2 がリスク分析、3 がリスク評価、4 がリスク対応、5 がモニタリング及びレビュー（以下同じ）

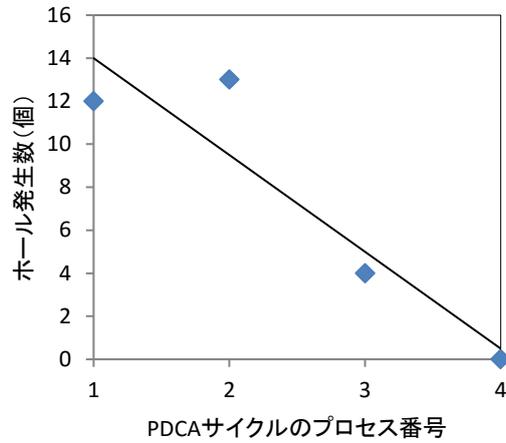


図 5-3 衝突事故のホール発生場所とホール発生数（組織）

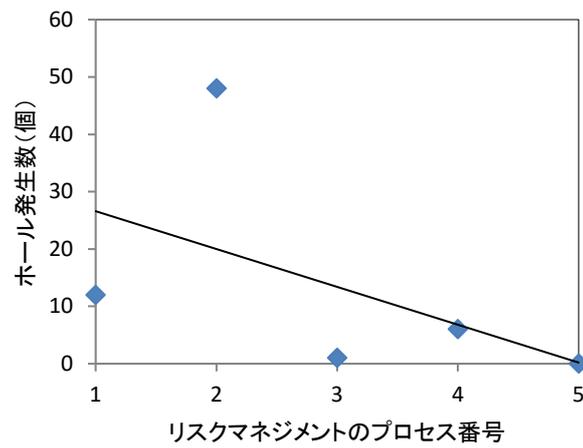


図 5-4 衝突事故のホール発生場所とホール発生数（局所的作業現場）

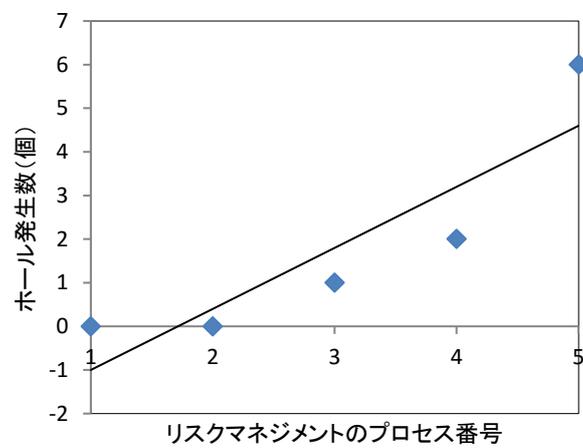


図 5-5 単独衝突事故のホール発生場所とホール発生数（局所的作業現場）

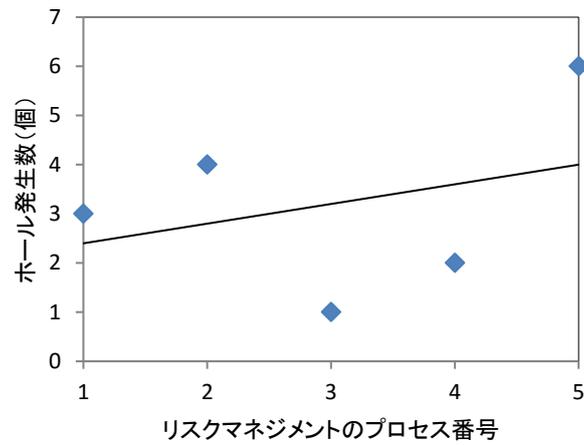


図 5-6 乗揚げ事故のホール発生場所とホール発生数（局所的作業現場）

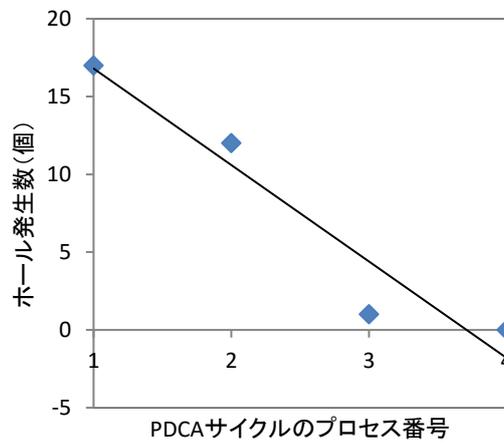


図 5-7 死傷事故のホール発生場所とホール発生数（組織）

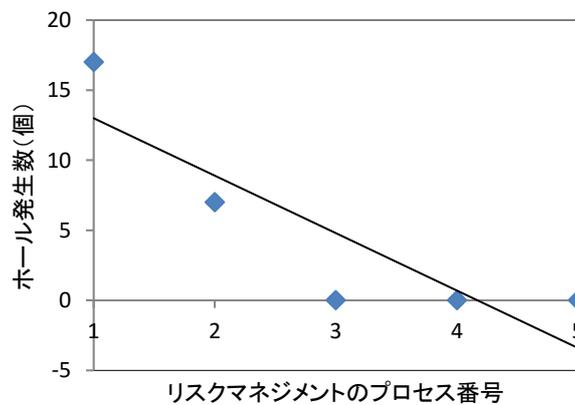


図 5-8 死傷事故のホール発生場所とホール発生数（局所的作業現場）

5.4 考察

船舶事故 89 件の調査で、船舶事故全体及び事故種類別の SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層におけるホール発生場所とホール発生数に関する相関関係が明らかになった。以下、船舶事故全体及び事故種類別に、ホール発生場所とホール発生数との相関関係を解析し、組織及びオペレータが、事故防止策を講じる際、各プロセスで留意すべき点について議論する。

5.4.1 船舶事故全体

- (1) 組織では、PDCA サイクルのプロセスの順番とホール発生数の相関係数が -0.9 で、とても強い負の相関が確認され、ホール発生数が、PDCA サイクルのプロセスの前期で多く、後期になれば少なくなり、この傾向が顕著であることが認められた（表 5-3 及び図 5-1）。この結果は、組織が事故防止策を講じる際、PDCA サイクルの前期のプロセス、特に、計画と実施が重要であり、これらのプロセスに多くの努力を向ける必要があることを示すものである。
- (2) 局所的作業現場では、リスクマネジメントプロセスの順番とホール発生数の相関係数が -0.6 で、強い負の相関があることが確認され、ホール発生数が、リスクマネジメントプロセスの前期で多く、後期になれば少なくなることが認められた（表 5-3 及び図 5-2）。この結果は、オペレータが事故防止策を講じる際、リスクマネジメントの前期のプロセス、特に、リスク特定とリスク分析に多くの努力を向ける必要があることを示すものである。

5.4.2 衝突事故

衝突事故では、PDCA サイクルのプロセスの順番とホール発生数の相関係数が -0.9 で、とても強い負の相関があることが確認され、ホール発生数が、PDCA サイクルのプロセスの前期で多く、後期になれば少なくなり、この傾向が顕著であることが認められた（表 5-3 及び図 5-3）。この結果は、組織が衝突事故の防止策を講じる際、PDCA サイクルの前期のプロセス、特に、計画と実施に多くの努力を向ける必要があることを示すものである。

局所的作業現場では、リスクマネジメントプロセスの順番とホール発生数の相関係数が -0.5 で、強い負の相関があることが確認され、ホール発生数が、リスクマネジメントプロセスの前期で多く、後期になれば少なくなる傾向があることが認められた（表 5-3 及び図 5-4）。この結果は、オペレータが衝突事故の防止策を講じる際、リスクマネジメントの前期のプロセス、特に、リスク特定とリスク分析に多くの努力を向ける必要があることを示すものである。

5.4.3 死傷事故

死傷事故では、PDCA サイクルのプロセスの順番とホール発生数の相関係数が -0.9 で、とても強い負の相関があることが確認され、ホール発生数が、PDCA サイクルのプロセスの前期で多く、後期になれば少なくなり、この傾向が顕著であることが認められた（表 5-3 及び図 5-7）。この結果は、組織が死傷事故の防止策を講じる際、PDCA サイクルの前期のプロセス、特に、計画と実施に多くの努力を向ける必要があることを示すものである。

局所的作業現場では、リスクマネジメントプロセスの順番とホール発生数の相関係数が -0.8 で、とても強い負の相関があることが確認され、ホール発生数が、リスクマネジメントプロセスの前期で多く、後期になれば少なくなり、この傾向が顕著であることが認められた（表 5-3 及び図 5-8）。この結果は、オペレータが死傷事故の防止策を講じる際、リスクマネジメントプロセスでホールがリスク特定とリスク分析のみに生じている結果を踏まえ、リスク特定とリスク分析に多くの努力を向ける必要があることを示すものである。

5.4.4 衝突事故と死傷事故との共通点

衝突事故と死傷事故の形態は、衝突事故が船舶同士の衝突、死傷事故が作業中の乗組員、作業員などの死傷と異なるものの、次の共通する点が明らかになった。衝突事故及び死傷事故は、PDCA サイクルのプロセスの順番とホール発生数の関係がとても強い負の相関が確認された。また、リスクマネジメントプロセスの順番とホール発生数の関係は、それぞれ強い負の相関及びとても強い負の相関が認められた。これらの結果は、衝突事故及び死傷事故は、事故の形態が異なるものの、事故防止策を講じる際、多くの努力を向ける箇所が、PDCA サイクル及びリスクマネジメントの前期のプロセスである点で共通していることを示すものである。

5.4.5 単独衝突事故

局所的作業現場では、リスクマネジメントプロセスの順番とホール発生数の相関係数は $+0.8$ で、他の事故種類とは異なり、とても強い正の相関が確認され、ホール発生数が、リスクマネジメントプロセスの前期で少なく、後期になれば多くなり、この傾向が顕著であることが認められた（表 5-3 及び図 5-5）。

この結果は、オペレータが単独衝突事故の防止策を講じる際、リスクマネジメントの後期のプロセス、特に、モニタリング及びレビューに多くの努力を向ける必要があることを示すものである。

5.4.6 乗揚げ事故

局所的作業現場では、リスクマネジメントプロセスの順番とホール発生数の相関係数が+0.3であり、相関がない、あるいはあったとしても弱い正の相関があることが確認された（表 5-3 及び図 5-6）。この結果は、オペレータが乗揚げ事故の防止策を講じる際、衝突事故、単独衝突事故及び死傷事故とは異なり、リスクマネジメントの各々プロセスに努力を向ける必要があることを示すものである。

5.5 本章のまとめ

船舶事故全体及び事故種類別に、ホール発生場所とホール発生数との相関関係を解析した。その結果は次のとおりである。

- (1) ホール発生場所(PDCA サイクル及びリスクマネジメントプロセスの順番)とホール発生数の相関関係は、事故種類で必ずしも同じではないことが確認された。
- (2) 衝突事故及び死傷事故では、PDCA サイクルのプロセスの順番とホール発生数は、とても強い負の相関であることが確認された。また、リスクマネジメントプロセスの順番とホール発生数は、それぞれ強い負の相関及びとても強い負の相関であることが認められた。衝突事故と死傷事故とでは事故発生の形態が異なっているものの、ホール発生場所とホール発生数の一般的な傾向に共通点が認められ、この結果は、組織及びオペレータがこれらの事故防止策を講じる際、PDCA サイクル及びリスクマネジメントの前期のプロセスに多くの努力を向ける必要があることを示すものである。
- (3) 単独衝突事故の局所的作業現場では、リスクマネジメントプロセスの順番とホール発生数は、とても強い正の相関であることが確認された。この結果は、オペレータが単独衝突事故の防止策を講じる際、リスクマネジメントの後期のプロセス、特に、モニタリング及びレビューが重要であり、このプロセスに多くの努力を向ける必要があることを示すものである。
- (4) 乗揚げ事故の局所的作業現場では、リスクマネジメントプロセスの順番とホール発生数は、相関がない、あるいはあったとしても弱い正の相関であることが確認された。この結果は、オペレータが乗揚げ事故の防止策を講じる際、リスクマネジメントの各々プロセスに努力を向ける必要があることを示すものである。

第 6 章 潜在的状況要因の特定

6.1 はじめに

海事分野では、Grech ら(2008)が、Hawkins の SHEL モデルを用いて社会技術システムモデルを構築し⁽⁹⁰⁾、伊藤ら (2004) は、SHEL モデルに m (マネジメント) を付加した m-SHEL モデルを用いて船舶運航のヒューマンファクター分析を行い、m-SHEL モデルの有用性を述べている⁽⁹¹⁾。また、世界の船舶事故調査機関は、船舶事故調査官国際フォーラム調査マニュアル (Marine Accident Investigators' International Forum investigation manual) に基づき、船舶事故の調査で SHEL モデルを用いて証拠を網羅的に収集している。しかし、航空分野に適合するように開発された SHEL モデルが、船舶事故に適用できるかについての評価は行われていなかった。

そこで本章では、まず第 3 章で示した実例 1：貨物船 MEDEA 漁船孝盛丸衝突事故、実例 2：貨物船 LANA 乗揚げ事故、実例 3：ケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡事故 (荷役中) 及び実例 4：コンテナ船 ANNA MAERSK 乗組員死傷事故 (救助艇訓練中) の船舶事故 4 件について、事故要因の分析を SHEL モデルを用いて行い、SHEL モデルが船舶事故に適用できるかについて評価を行う。

次に、前記 SHEL モデルの評価を踏まえ、船舶事故に適用できる潜在的状況要因を 10 に分類する。そして第 4 章で用いた 89 件の船舶事故調査報告書に記載された事故要因を、潜在的状況要因の定義に則って 10 に分類し、事故種類別に特定する。

最後に、これらの結果に基づき、第 3 章で定義したホールが生じる状況のパターン (型) を事故種類別に示し、ホールと潜在的状況要因との関係を明らかにする。

Wiegmann と Shappell は、スイスチーズモデルが体系的に使用されるためにはホールを明確にする必要があると述べている。また、リーズン、Hollnagel、Paries は、システムに潜む潜在的状況要因を事前に特定できれば、事故を未然に防止する措置を講じることができると述べている。つまり、ホールと潜在的状況要因との関係が明らかになれば、第 3 章 3.3.5 のホールを閉じる方策を統合し、事故分析及び事故防止策を体系的に行うことが可能となる。

6.2 解析手法

6.2.1 SHEL モデルの評価

Hawkins(1987)が提唱する SHEL モデルの各要素は表 6-1 のとおりである⁽⁹²⁾。

SHEL モデルの評価は、前記 6.1 の船舶事故 4 件の事故要因が SHEL モデルの各要素で分類できる場合に SHEL モデルが船舶事故に適用できるとした。

SHEL モデルの各要素の定義は、航空分野に特化していることにより、用語をそのまま船舶事故に適用することができない項目があるため、つぎのとおり定義を変更した。表 6-1 記載のハードウェアは、船舶の航海計器、設備、機関の状況及びこれらの機器と人との相互関係、環境は、気象海象、貨物タンク内の雰囲気などの人が働く環境又は船舶が航行する海域の輻輳の状況とした。周辺に位置するライブウェアは、海事分野が ISM コードに則って運航の安全を図っていることから、組織の安全運航に関するマネジメントを追加した。

表 6-1 Hawkins の SHEL モデル

SHELモデルの要素	内容
ソフトウェア	手順、マニュアル及びチェックリストのレイアウト、記号による表示、コンピュータプログラムなど
ハードウェア	座席の設計、表示のデザイン、制御装置のデザインなど
環境	騒音、寒さ、高度などの人が働く、又は飛行機が運航する場所の環境など
中心に位置するライブウェア	気温、気圧、光、暗闇などの作業環境と人の許容範囲、人の体格、栄養補給、人の情報処理能力の特性など
周辺に位置するライブウェア	リーダーシップ、乗務員の協力、チームワーク、個性と個性との相互関係、スタッフと管理職者との関係など

6.2.2 船舶事故に適用できる潜在的状況要因の定義

(1) 本研究で用いる潜在的状況要因の定義についての背景

前記 6.1 記載のとおり、世界の船舶事故調査機関は、事故調査過程において事故要因の証拠を網羅的に収集する手法として SHEL モデルを用いている。SHEL モデルを用いて網羅的に収集した証拠は、スイスチーズモデルを背景理論とした事故要因分析の過程で、事故に関連する証拠に絞られる。したがって、スイスチーズモデルの潜在的状況要因は、SHEL モデルから導き出されている。

リーズンは、潜在的状況要因として、貧弱なデザイン、不十分な監督、役に立たない手順、訓練の欠如などを挙げている。シェル・インターナショナル石油会社及びリーズンを含む英国マンチェスター大学などが開発したトライポッド・デルタ (Tripod-Delta) は、潜在的状況要因として一般的故障タイプ (General Failure Types) と称する次の 11 項目を提唱している。ハー

ドウェア、設計、保守管理、手順書、エラー誘発条件、日常業務、相容れない矛盾する目標、コミュニケーション、組織、訓練及び防護⁽⁹³⁾。

本研究では、トライポッド・デルタの一般故障タイプが、もっぱら石油探査事業で利用されるように定義されていること、及び安全管理システムの弱点を特定するのに適していることから⁽⁹⁴⁾、一般故障タイプを潜在的状況要因の定義として用いなかった。

本研究では、SHELモデルの評価を踏まえ、船舶事故に適用できる潜在的状況要因を分類するため、運輸安全委員会が2008年～2015年までの間に公表した船舶事故調査報告書の事故要因に加え、スイスチーズモデルを航空分野に応用したHFACS（Wiegmann、Shappell 2003）⁽⁹⁵⁾を参考にし、IMO/ILOヒューマンファクター調査のプロセス（IMO 2000）及び社会技術システムモデル（Grechほか2008）の概念、並びにSwift（2000）、Adams（2006）、Parrott（2011）が提唱する分類を応用した。なお、IMOのガイドラインであるIMO/ILOヒューマンファクター調査のプロセス（2000）は、2014年にGUIDELINES TO ASSIST INVESTIGATORS IN THE IMPLEMENTATION OF THE CASUALTY INVESTIGATION CODE, Resolution A.1075(28)に変更されたが、潜在的状況要因の分類について変更前のガイドラインの定義を応用した。

(2) 10の潜在的状況要因

ホールを生じさせる潜在的状況要因を、SHELモデルの概念を基礎とし、次のとおり定義した（表6-2）。(1)航海計画、(2)手順、(3)規則、(4)ヒューマン・マシンインタフェース、(5)設備の状況、(6)環境、(7)オペレータの状況、(8)コミュニケーション、(9)チームワーク、(10)マネジメント。

(1)、(2)及び(3)はSHELモデルの中心に位置するライブウェアとソフトウェアの相互関係、(4)及び(5)は中心に位置するライブウェアとハードウェアの相互関係、(6)は中心に位置するライブウェアと環境の相互関係、(7)は中心に位置するライブウェア、(8)、(9)及び(10)は中心に位置するライブウェアと周辺に位置するライブウェアの相互関係を示している。

IMO/ILOヒューマンファクター調査のプロセスによれば、ソフトウェアは、組織の方針、手順、マニュアル、チェックリストのレイアウト、海図を含む。ハードウェアは、仕事場、表示部、制御装置の設計を含む。環境は、気候、温度、視程、規制環境及び人が働く場所の環境要因を含む。中心に位置するライブウェアは、オペレータの能力と限界を含む。周辺に位置するライブウェアは、マネジメント、監督、乗組員の相互関係、コミュニケーションを含む。

(3) ソフトウェア

「ソフトウェア」の定義に関し、次のとおり Adams 及び Parrott の分類を応用した。Adams は、標準化手順が、政府の規則、チェックリスト、当直表、航海計画、船長の命令簿、会社の規程などを含むと述べている⁽⁹⁶⁾。本研究で船舶事故の調査を実施している際、局所的作業現場のオペレータは、事故発生時、事故の種類によって異なる手順を用いていることが明らかになった。衝突事故では国際海上衝突予防規則に定められた衝突回避動作の手順を用い、乗揚げ事故では航海計画の手順を用い、荷役中の死傷事故では荷役の手順を用いていた。また、Adams 及び Parrott は、乗揚げ事故の要因を航海計画の手順を用いて解析している⁽⁹⁷⁾。

本研究では、Adams の標準化手順を、航海計画、手順及び規則の 3 つに区分した。したがって、「手順」の定義は、Adams が定義する標準化手順の中から政府の規則と航海計画を除いたものであり、手順が事故要因である場合に潜在的状況要因とした。

「航海計画」の定義は、Swift (1993) と IMO (2000) の概念を用い、評価、計画、実行及び監視の段階から成り、これらの段階が事故要因である場合に潜在的状況要因とした。

「規則」の定義は、国際海上衝突予防規則 (CORLEG)、STCW 条約 (1978 年の船員の訓練及び資格証明並びに当直の基準に関する国際条約: International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978, as amended)、SOLAS 条約、海上交通安全法、港則法などを含む。オペレータが、国際海上衝突予防規則から乖離するなどして規則を順守していないことが事故要因となった場合に潜在的状況要因とした。

(4) ハードウェア

「ハードウェア」の定義は、「ヒューマン・マシンインタフェース」と「設備の状況」を区別した。「ヒューマン・マシンインタフェース」は、IMO/ILO ヒューマンファクター調査のプロセスが定義する仕事場、表示部、制御装置の設計を含む。「設備の状況」は、事故に関連した船舶及び設備の保守・点検の欠如、船舶の安定性を含む。これらが事故要因となった場合に潜在的状況要因とした。

(5) 環境

「環境」の定義は、IMO/ILO ヒューマンファクター調査のプロセスが定義する環境のうち、規制環境を除く他の要因であり、船舶交通の輻輳の状況、

閉鎖区域の酸素濃度、有毒ガス濃度などの人が働く場所の環境要因、狭い水道などの地理的特徴、港湾施設などを含み、これらが事故要因となった場合に潜在的状況要因とした。

(6) 中心に位置するライブウェア

中心に位置するライブウェアはオペレータであることから「オペレータの状況」とし、その定義は、Grechら（2008）の社会技術システムモデルの概念を応用した。同システムモデルは、個人的要因として、身体的限界、生理的要因）、心理的限界、個人の作業負荷管理、経験、スキル及び知識を掲げている。本研究では、スキルと知識が、教育及び訓練と密接に関連していることから⁽⁹⁸⁾、「オペレータの状況」は、身体的限界、生理的要因、心理的限界、個人の作業負荷管理、経験、スキル、知識、並びに教育及び訓練を含み、これらが事故要因となった場合に潜在的状況要因とした。

(7) 周辺に位置するライブウェア

周辺に位置するライブウェアの定義は、Adams 及び Parrott の分類を適用した⁽⁹⁹⁾⁽¹⁰⁰⁾。「コミュニケーション」は、本船の乗組員同士、船長と水先人との間などの内部のコミュニケーション、本船と他船との間、本船と船舶交通サービスとの間などの外部とのコミュニケーションを含み、これらが事故要因となった場合に潜在的状況要因とした。

「チームワーク」は、乗組員、水先人、作業員（荷役会社などの作業員のことをいう）などが、役割が明確でないこと又は役割を果たさないことなどを含み、これらが事故要因となった場合に潜在的状況要因とした。

「マネジメント」は、組織が、ISM コード規定 1.4 を含む機能要件を満足していないこと、人的資源及び物的資源の最適な配分、作業環境の確保などのリソースマネジメントを行っていないこと、リーズンが定義する安全文化（報告する文化、正義の文化、柔軟な文化、学習する文化、情報に立脚した文化）が欠如していることを含み⁽¹⁰¹⁾、これらが事故要因となった場合に潜在的状況要因とした。

表 6-2 SHEL モデルの要素と潜在的状況要因

SHELモデルの要素	番号	10の潜在的状況要因	内容
ソフトウェア	1	航海計画	航海計画の評価、計画、実行及び監視のプロセスが事故要因であること
	2	手順	手順書、マニュアル、チェックリスト、当直表、船長の命令簿、会社の規程などが事故要因であること
	3	規則	国際海上衝突予防規則、STCW条約、SOLAS条約、海上交通安全法、港則法などから乖離すること、又はこれらの規則が事故要因であること
ハードウェア	4	ヒューマン・マシンインタフェース	仕事場、表示部、制御装置の設計などと人との相互関係が事故要因であること
	5	設備の状況	船舶及び設備の保守・点検、船舶の安定性などが事故要因であること
環境	6	環境	オペレータの安全運航及び作業などに影響を及ぼす温度、視程などの気象・海象、閉鎖区域の酸素濃度及び有毒ガス濃度などの人が働く場所の環境要因、船舶交通の輻輳の状況、狭い水道などの地理的特徴、港湾施設などが事故要因であること
中心に位置するライブウェア	7	オペレータの状況	オペレータの身体的限界、生理的要因、心理的限界、個人の作業負荷管理、経験、スキル、知識、並びに教育及び訓練などが事故要因であること
周辺に位置するライブウェア	8	コミュニケーション	本船の乗組員同士、船長と水先人との間などの内部のコミュニケーション、本船と他船との間、本船と船舶交通サービスとの間などの外部とのコミュニケーションが事故要因であること
	9	チームワーク	乗組員、水先人、事故に関連した他の作業員などの役割が不明確であること、又は決められた役割が遂行されないことが事故要因であること
	10	マネジメント	組織においてISMコードに規程された機能要件が満たされていないこと、人的資源及び物的資源の最適な配分、作業環境の確保などのリソースマネジメントが行われていないこと、並びにリーゼンが定義する安全文化が醸成されていないことが事故要因であること

6.2.3 ホールが生じる状況のパターンの解析手法

事故の未然防止策を講じる際、事故が起きるパターンを知ることは重要である。前記 6.1 のとおり、組織及びオペレータが、事故種類別に第 3 章で定義したホールが生じるパターンを知ることは、システムに潜む潜在的状況要因を事前に知ることであり、また、事故を未然に防止する措置を講じることができる。

ISM コードの基礎となっている品質管理における管理とは、目的を継続的に効率よく達成するための全ての活動であり、管理のための目的を明確にするためにパレートの法則を用いて重要な項目を選定している⁽¹⁰²⁾。

第 3 章 3.1 のとおり Heinrich が、安全の管理が製品の品質管理と類似していると指摘していることを踏まえ、本章では、パレートの法則に則り、事故種類別の調査・分析で得られた各潜在的状況要因の実数が全体の累積比で約 80%以内を「主な潜在的状況要因」と定義し、第 4 章のホール発生場所の研究結果と統合して、「主な潜在的状況要因」に基づいてホールが生じる状況のパターンを事故種類別に導き出した。

6.3 結果

6.3.1 SHEL モデルによる分類

船舶事故 4 件を SHEL モデルで分類した結果は表 6-3 のとおりであった。各

船舶事故に関与したオペレータについて、SHEL モデルの各要素に該当した事故要因の個数を記入し、該当する事故要因がない場合には 0 を記入した。各船舶事故における事故要因の詳細は、次の実例 1：貨物船 MEDEA 漁船孝盛丸衝突事故～実例 4：コンテナ船 ANNA MAERSK 乗組員死傷事故（救助艇訓練中）のとおりであった。

表 6-3 船舶事故 4 件に対する SHEL モデルの適用

船舶事故名		貨物船MEDEA漁船孝盛丸衝突			貨物船LANA乗揚げ	ケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡	コンテナ船ANNA MAERSK乗組員死傷
オペレータの職名		MEDEA水先人	MEDEA船長	孝盛丸船長	LANA船長	一等航海士	一等航海士
SHELモデルの要素	ソフトウェア	3	2	1	1	2	0
	ハードウェア	1	1	0	1	0	1
	環境	1	1	1	1	1	0
	中心に位置するライブウェア	1	1	1	1	0	0
	周辺に位置するライブウェア	3	3	0	1	2	1

実例 1：貨物船 MEDEA 漁船孝盛丸衝突事故

2010 年（平成 22 年）3 月 18 日 20 時 30 分ごろ名古屋港東航路南口沖で発生した貨物船 MEDEA 漁船孝盛丸衝突事故にかかる事故要因を、次のとおり SHEL モデルで分類した。

(1) MEDEA 水先人にかかる事故要因は、次のとおりであった。

- ① 「ソフトウェア」では、(イ) 水先人の航海計画は、第 6 号灯浮標の西側を航行することとしていたものの、西航路を航行していた貨物船（C 船）が接近する状況になり、同浮標の東側を航行することに変更されたが、東側を航行すれば、孝盛丸に接近することとなり、航海計画の変更が適切な評価に基づいて行なわれたものではなかった。(ロ) 水先人が所属する水先人会では、水先人と船橋チームとの間で接近する船舶の情報を共有することが定められていなかった。(ハ) 水先人は、ARPA が表示した針路及び速力を見て、孝盛丸が本船の予定航路から離れると判断し、その後、孝盛丸の動静を系統的に観察しておらず、国際海上衝突予防規則から乖離していた。
- ② 「ハードウェア」では、汽笛の押しボタンが、レーダーの操作盤に設置され、夜間、水先人が押しボタンの位置を確認しにくい状況であった。
- ③ 「環境」では、本事故発生海域は、伊勢湾内であり船舶の輻輳する海域であった。
- ④ 「中心に位置するライブウェア」では、水先人は、孝盛丸が、20 時 23 分 11 秒～28 分 26 秒までの間、対地針路 168.0°～192.2°、速力 1.1～1.7

ノット（kn）で漂泊していたが、孝盛丸が南進する船であり、本船の航路から離れると思いついでいた。

- ⑤ 「周辺に位置するライブウェア」では、(イ) 水先人と MEDEA 船長とのコミュニケーションが欠如していた。(ロ) 水先人は MEDEA 船長に接近する船舶の情報を提供せず、水先人と MEDEA 船長との役割が遂行されていなかった。(ハ) 水先人の所属する水先人会は、漁船に関する注意喚起を所属する水先人に行っていたものの、水先人が船橋チームと接近する船舶の情報を共有する必要があることについて指導しておらず、マネジメントが不適切であった。

(2) MEDEA 船長にかかる事故要因は、次のとおりであった。

- ① 「ソフトウェア」では、(イ) 安全管理マニュアルは、船橋チームが接近する船舶の情報を水先人と共有することについて定めていなかった。(ロ) MEDEA 船長は、適切な見張りを行っていなかったことから衝突直前まで孝盛丸に気付かず、国際海上衝突予防規則から乖離していた。

- ② 「ハードウェア」では、汽笛の押しボタンが、レーダーの操作盤に設置され、夜間、押しボタンの位置を確認しにくい状況であり、MEDEA 船長は、水先人が衝突直前に汽笛の吹鳴を指示したとき、汽笛の押しボタンが分からず、汽笛を吹鳴できなかった。

- ③ 「環境」では、本事故発生海域は、伊勢湾内であり船舶の輻輳する海域であった。

- ④ 「中心に位置するライブウェア」では、MEDEA 船長は、BRM の研修を受講しておらず、また汽笛の押しボタンの場所を慣熟していなかった。

- ⑤ 「周辺に位置するライブウェア」では、(イ) 船橋チームと水先人との間のコミュニケーションが欠如していた。また、水先人が汽笛の吹鳴を指示した際、三等航海士は、水先人の意図が理解できず、言語による障害が生じていた。(ロ) MEDEA 船長は、水先人に操船を任せ、船長の役目を果たしていなかった。(ハ) 船舶管理会社は、船橋チームは接近する船舶の情報を水先人と共有することについて安全管理マニュアルで定めておらず、マネジメントが不適切であった。

(3) 孝盛丸船長にかかる事故要因は、次のとおりであった。

- ① 「ソフトウェア」では、孝盛丸船長は、前部甲板で漁具の準備を終えて操舵室に入ったあと、肉眼のみで周囲の船舶の状況を観察した。したがって、孝盛丸船長は、全ての利用可能な手段で常時適切な見張りを行わず、国際海上衝突予防規則から乖離していた。

- ② 「環境」では、孝盛丸が漂泊し、漁具の準備をしていた海域は、船舶の輻輳する海域であった。

- ③ 「中心に位置するライブウェア」では、孝盛丸船長は、操舵室に入って、周囲の船舶の状況を見た際、暗順応しておらず、肉眼で他船を視認することが困難であった。

実例 2：貨物船 LANA 乗揚げ事故

2009 年（平成 21 年）12 月 15 日 20 時 39 分ごろ静岡県下田市神子元島北方沖で発生した貨物船 LANA 乗揚げ事故について、LANA 船長にかかる事故要因を、次のとおり SHEL モデルで分類した。

- ① 「ソフトウェア」では、LANA 船長は、水路誌が推薦する航路を採用せず、航海計画の計画段階が適切でなく、また、自ら測位せず、航海計画の監視段階が行われていなかった。
- ② 「ハードウェア」では、本船が、レーダーを 2 台装備していたものの、1 台が故障し、他の 1 台もジャイロコンパスに接続されておらず、LANA 船長がパラレルインデックスなどを活用して測位ができる状況ではなかった。
- ③ 「環境」では、本船が航行した神子元島と伊豆半島南岸との間には岩群が多く存在していた。
- ④ 「中心に位置するライブウェア」では、LANA 船長が、神子元島北方沖を夜間航行するのは初めてであり、今まで経験がなかった。
- ⑤ 「周辺に位置するライブウェア」では、LANA 船長は、測位について学んでいない甲板員に本船の測位を任せ、船長の責任を果たしていなかった。

実例 3：ケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡事故（荷役中）

2010 年（平成 22 年）3 月 10 日 13 時 55 分ごろ京浜港川崎区旭化成ケミカルズ 2 号栈橋で発生したケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡事故にかかる事故要因を、次のとおり SHEL モデルで分類した。

- ① 「ソフトウェア」では、(イ) 手順書は、荷役中、ハッチを開放してはならないことを定めていなかった。(ロ) 船員労働安全衛生規則第 50 条（有害気体等が発生するおそれのある場所等で行う作業）によれば、船舶所有者は、酸素が欠乏するおそれのある場所で作業を行わせる場合、作業を開始する前に酸素量を検知すること、作業従事者に呼吸具等を使用させることと定められていたが、これらの項目が本船で実施されていなかった。
- ② 「環境」では、本事故発生後の 14 時 23 分ごろの事故が発生した貨物タンク内の酸素濃度は 16% であり、酸素欠乏状態であった。
- ③ 「周辺に位置するライブウェア」では、(イ) 本船は本件栈橋で TBA（ターシャリーブチルアルコール）の荷役を 9 回行っていたが、一等航海士及び一等機関士を除く乗組員及び安全統括管理者は、防爆防止及び負圧防止のため、

揚荷中、貨物タンクに窒素ガスを注入することを知らなかった。したがって、乗組員間で安全に関する情報が共有されず、コミュニケーションが行われていなかった。(ロ) 船舶所有者は、TBA 揚荷中の安全対策について、手順書の策定及び教育・訓練の実施などの措置を講じておらず、マネジメントが不適切であった。

実例 4：コンテナ船 ANNA MAERSK 乗組員死傷事故（救助艇訓練中）

2012 年（平成 24 年）3 月 27 日 11 時 15 分ごろ阪神港神戸区六甲アイランドコンテナふ頭岸壁に着岸して救助艇の訓練中に発生したコンテナ船 ANNA MAERSK 乗組員死傷事故にかかる事故要因を、次のとおり SHEL モデルで分類した。

- ① 「ハードウェア」では、救助艇を吊り下げるクレーンの無負荷離脱装置のスイベルは、シャックルピンの離脱防止が割ピンに依存しており、割ピンのせん断破壊によるシャックルピンの離脱防止について安全対策が考慮されておらず、設計に問題点が生じていた。
- ② 「周辺に位置するライブウェア」では、船舶管理会社は、スイベルのシャックルピンの離脱防止について安全対策を講じておらず、マネジメントが不適切であった。

6.3.2 事故種類別の潜在的状況要因の特定

(1) 事故種類別の潜在的状況要因の特定の解析結果

本章では、船舶事故 89 件でホールを生じさせた 518 の潜在的状況要因を解析し、定義に則って 10 に分類した。表 6-4 は事故種類別の潜在的状況要因の実数を表し、表右端の各潜在的状況要因の総数は調査対象とした船舶事故全体の各々潜在的状況要因の実数を示す。表左端に付された各々潜在的状況要因の番号は、SHEL モデルの各要素で示せば、次のとおりである。

番号 1～3 が「ソフトウェア」、番号 4 及び 5 が「ハードウェア」、番号 6 が「環境」、番号 7 が「中心に位置するライブウェア」、番号 8～10 が「周辺に位置するライブウェア」である。

図 6-1 は、表 6-4 で得られた結果を船舶事故全体及び事故種類別にグラフで示した。

10 の潜在的状況要因の中で、全体の占める累積比が約 80% を構成するものを「主な潜在的状況要因」と定義し、潜在的状況要因の累積比を船舶事故全体及び事故種類別に表 6-5～表 6-13 で示し、パレート図を図 6-2～図 6-6 で示した。なお、火災、爆発、沈没、転覆は事例が少なかったことから、パレート図は作成しなかった。

表 6-4 船舶事故 89 件の潜在的状況要因の実数

番号	潜在的状況要因	衝突	単独衝突	乗揚げ	死傷	火災	爆発	沈没	転覆	各潜在的状況 要因の総数
1	航海計画	15	8	9	4	0	0	1	2	39
2	手順	13	1	0	26	5	2	2	0	49
3	規則	64	0	1	4	1	1	0	0	71
4	ヒューマン・マシンインタフェース	7	0	0	1	0	0	0	0	8
5	設備の状況	3	1	4	7	3	1	3	0	22
6	環境	46	7	10	15	1	2	2	2	85
7	オペレータの状況	64	6	8	13	2	2	1	1	97
8	コミュニケーション	28	3	7	7	1	0	0	1	47
9	チームワーク	19	2	4	10	0	0	0	0	35
10	マネジメント	28	5	3	24	3	1	1	0	65
	事故種類別の潜在的状況要因の総数	287	33	46	111	16	9	10	6	518

表 6-5 船舶事故全体における潜在的状況要因の実数及び割合

番号	潜在的状況要因	実数	構成比(%)	累積比(%)
7	オペレータの状況	97	19	19
6	環境	85	16	35
3	規則	71	14	49
10	マネジメント	65	13	62
2	手順	49	9	71
8	コミュニケーション	47	9	80
1	航海計画	39	7	87
9	チームワーク	35	7	94
5	設備の状況	22	4	98
4	ヒューマン・マシンインタフェース	8	2	100

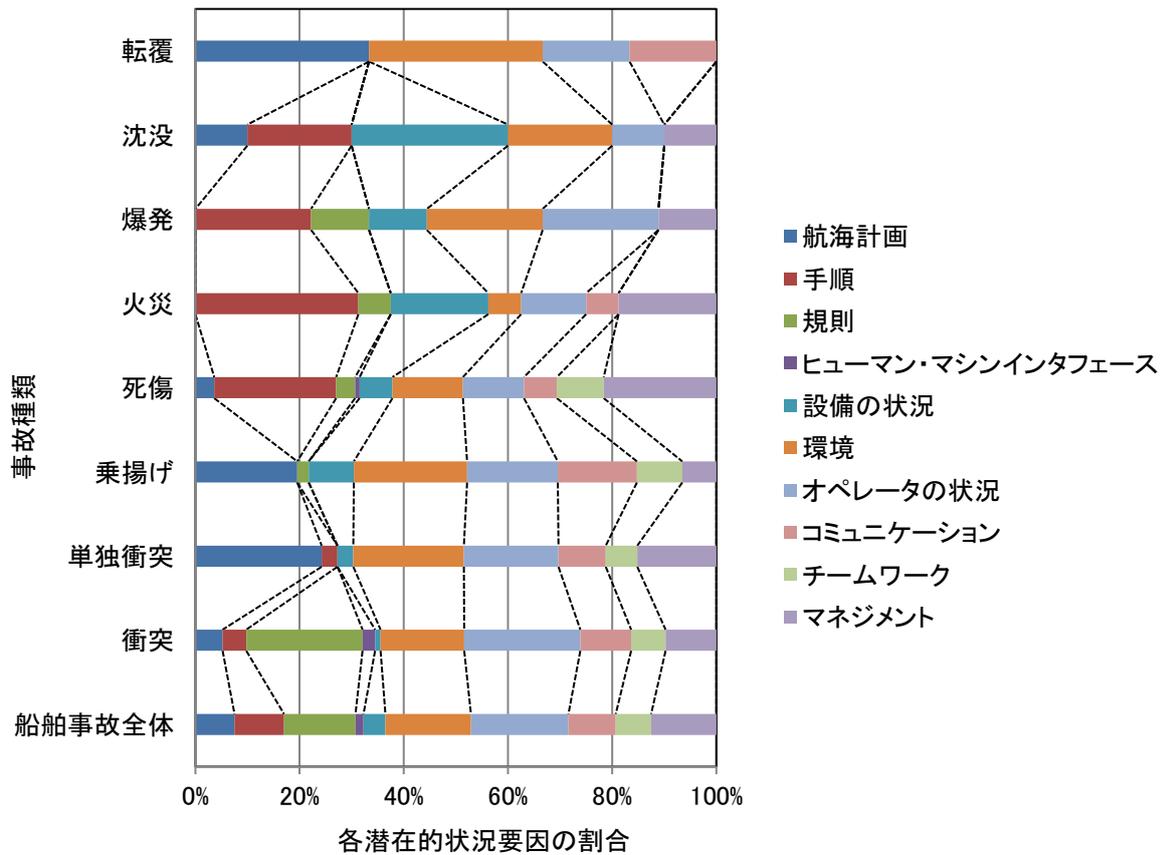


図 6-1 船舶事故全体及び事故種類別の潜在的状況要因

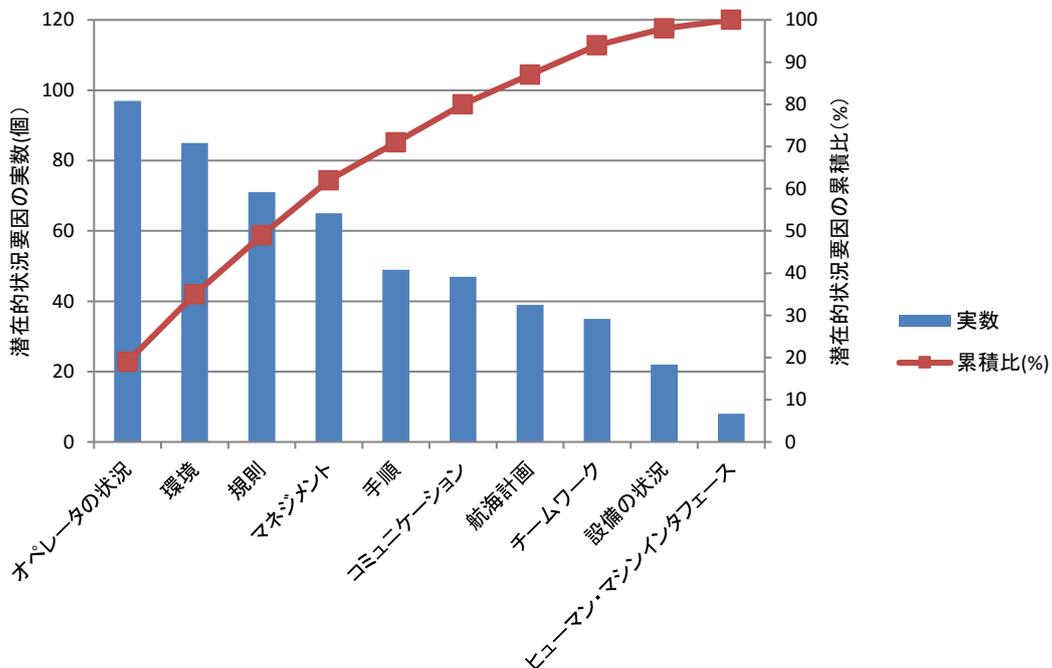


図 6-2 船舶事故全体における潜在的状況要因の実数のパレート図

表 6-6 衝突事故における潜在的状況要因の実数及び割合

番号	潜在的状況要因	実数	構成比(%)	累積比(%)
3	規則	64	22	22
7	オペレータの状況	64	22	44
6	環境	46	16	60
8	コミュニケーション	28	10	70
10	マネジメント	28	10	80
9	チームワーク	19	7	87
1	航海計画	15	5	92
2	手順	13	5	96
4	ヒューマン・マシンインタフェース	7	2	99
5	設備の状況	3	1	100

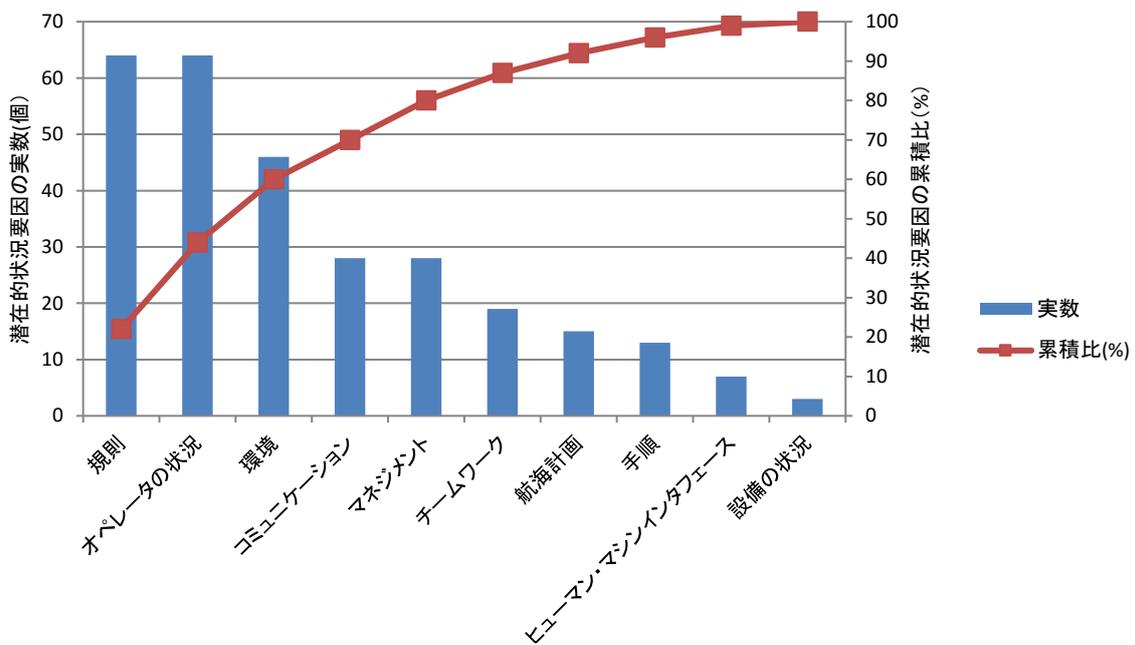


図 6-3 衝突事故における潜在的状況要因の実数のパレート図

表 6-7 単独衝突事故における潜在的状況要因の実数及び割合

番号	潜在的状況要因	実数	構成比(%)	累積比(%)
1	航海計画	8	25	25
6	環境	7	21	46
7	オペレータの状況	6	18	64
10	マネジメント	5	15	79
8	コミュニケーション	3	9	88
9	チームワーク	2	6	94
2	手順	1	3	97
5	設備の状況	1	3	100
3	規則	0	0	100
4	ヒューマン・マシンインタフェース	0	0	100

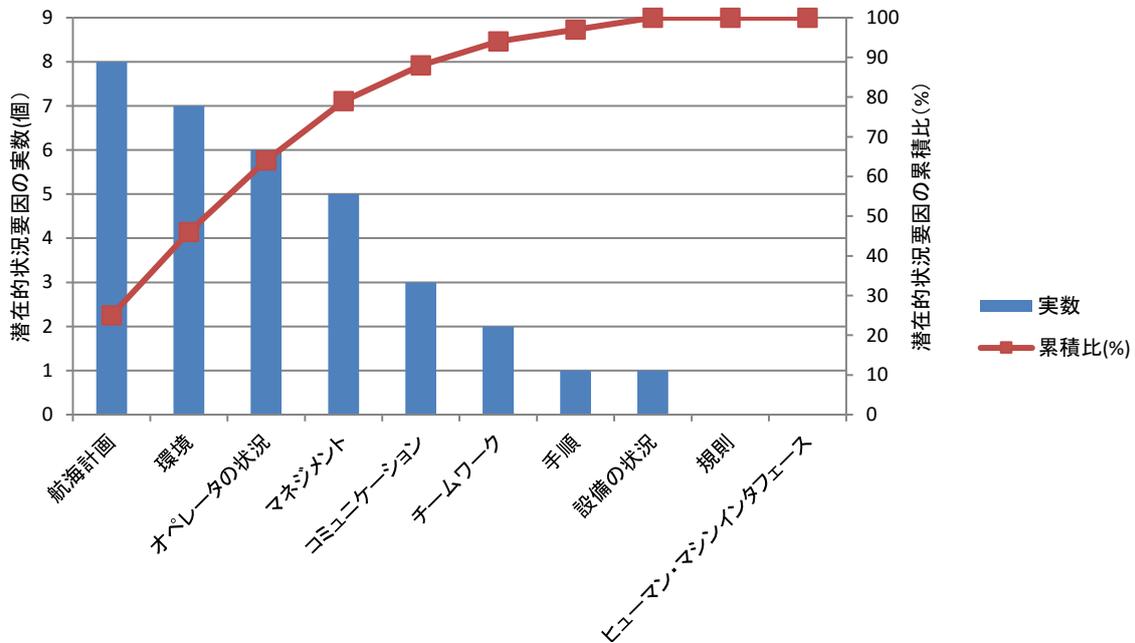


図 6-4 単独衝突事故における潜在的状況要因の実数のパレート図

表 6-8 乗揚げ事故における潜在的状況要因の実数及び割合

番号	潜在的状況要因	実数	構成比(%)	累積比(%)
6	環境	10	22	22
1	航海計画	9	20	42
7	オペレータの状況	8	17	59
8	コミュニケーション	7	15	74
5	設備の状況	4	9	83
9	チームワーク	4	9	92
10	マネジメント	3	6	98
3	規則	1	2	100
2	手順	0	0	100
4	ヒューマン・マシンインタフェース	0	0	100

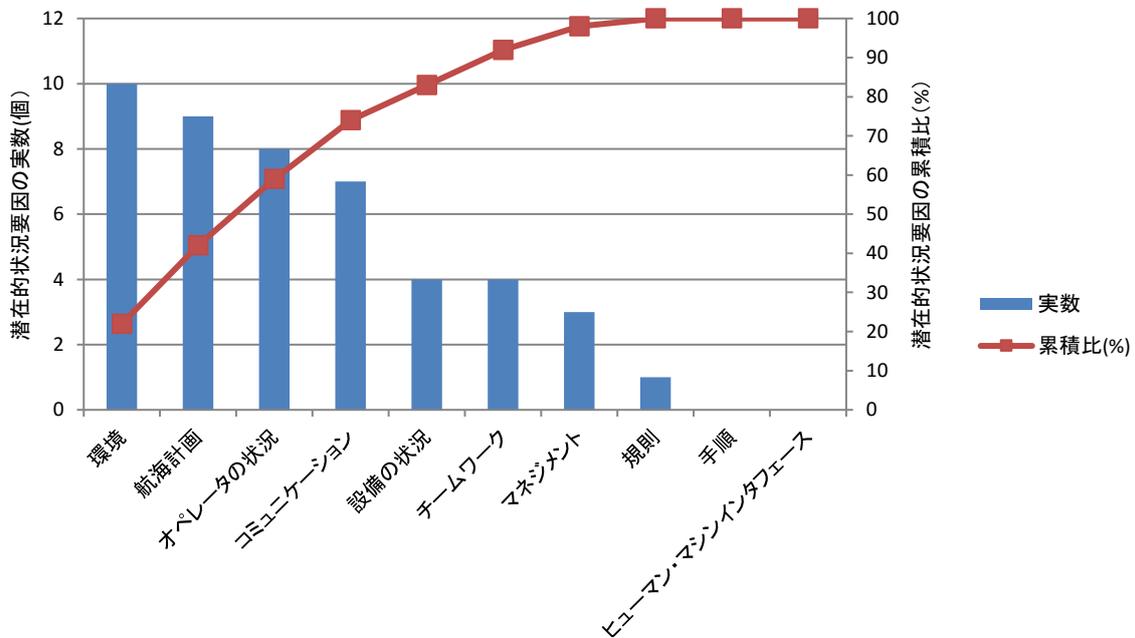


図 6-5 乗揚げ事故における潜在的状況要因の実数のパレート図

表 6-9 死傷事故における潜在的状況要因の実数及び割合

番号	潜在的状況要因	実数	構成比(%)	累積比(%)
2	手順	26	23	23
10	マネジメント	24	22	45
6	環境	15	13	58
7	オペレータの状況	13	12	70
9	チームワーク	10	9	79
5	設備の状況	7	6	85
8	コミュニケーション	7	6	91
1	航海計画	4	4	95
3	規則	4	4	99
4	ヒューマン・マシンインタフェース	1	1	100

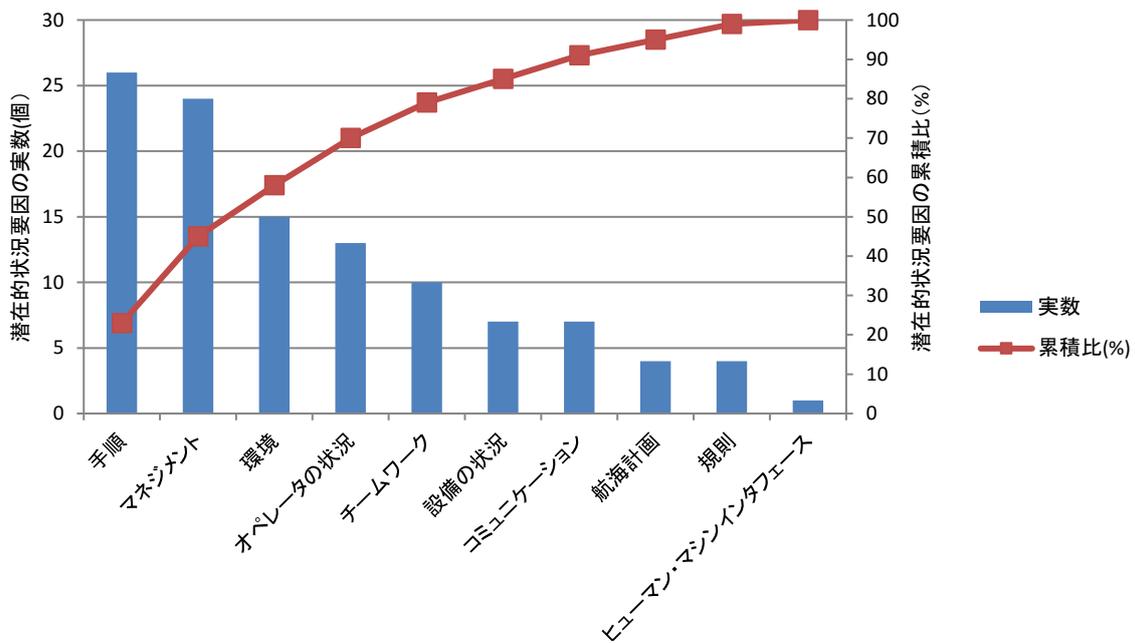


図 6-6 死傷事故における潜在的状況要因の実数のパレート図

表 6-10 火災事故における潜在的状況要因の実数及び割合

番号	潜在的状況要因	実数	構成比(%)	累積比(%)
2	手順	5	31	31
5	設備の状況	3	19	50
10	マネジメント	3	19	69
7	オペレータの状況	2	13	82
3	規則	1	6	88
6	環境	1	6	94
8	コミュニケーション	1	6	100
1	航海計画	0	0	100
4	ヒューマン・マシンインタフェース	0	0	100
9	チームワーク	0	0	100

表 6-11 爆発事故における潜在的状況要因の実数及び割合

潜在的状況要因	実数	構成比(%)	累積比(%)
手順	2	23	23
環境	2	22	45
オペレータの状況	2	22	67
規則	1	11	78
設備の状況	1	11	89
マネジメント	1	11	100
航海計画	0	0	100
ヒューマン・マシンインタフェース	0	0	100
コミュニケーション	0	0	100
チームワーク	0	0	100

(全体を 100%にするために手順の構成比を 23%にした。)

表 6-12 沈没事故における潜在的状況要因の実数及び割合

番号	潜在的状況要因	実数	構成比(%)	累積比(%)
5	設備の状況	3	30	30
2	手順	2	20	50
6	環境	2	20	70
1	航海計画	1	10	80
7	オペレータの状況	1	10	90
10	マネジメント	1	10	100
3	規則	0	0	100
4	ヒューマン・マシンインタフェース	0	0	100
8	コミュニケーション	0	0	100
9	チームワーク	0	0	100

表 6-13 転覆事故における潜在的状況要因の実数及び割合

番号	潜在的状況要因	実数	構成比(%)	累積比(%)
1	航海計画	2	33	33
6	環境	2	33	66
7	オペレータの状況	1	17	83
8	コミュニケーション	1	17	100
2	手順	0	0	100
3	規則	0	0	100
4	ヒューマン・マシンインタフェース	0	0	100
5	設備の状況	0	0	100
9	チームワーク	0	0	100
10	マネジメント	0	0	100

(2) 事故種類別の潜在的状況要因の特定の解析結果のまとめ

船舶事故全体及び事故種類別にかかる潜在的状況要因の特定の解析結果をまとめると、次のとおりであった。

- ① 船舶事故全体では、潜在的状況要因の実数の多い順に「オペレータの状況」、「環境」、「規則」、「マネジメント」、「手順」、「コミュニケーション」であり、これら6つの潜在的状況要因で全体の80%を占めた(表6-5及び図6-2)。潜在的状況要因は、事故種類によって異なり、ホールと潜在的状況要因との関係は、必ずしも同じではないことが確認された。
- ② 衝突事故では、実数の多い順に「規則」、「オペレータの状況」、「環境」、「コミュニケーション」、「マネジメント」であり、これら5つの潜在的状況要因で全体の80%を占めた(表6-6及び図6-3)。
- ③ 単独衝突事故では、実数の多い順に「航海計画」、「環境」、「オペレータの状況」、「マネジメント」であり、これら4つの潜在的状況要因で全体の79%を占めた(表6-7及び図6-4)。
- ④ 乗揚げ事故では、実数の多い順に「環境」、「航海計画」、「オペレータの状況」、「コミュニケーション」、「設備の状況」、「チームワーク」であり、これら6つの潜在的状況要因で全体の92%を占めた(表6-8及び図6-5)。「設備の状況」は、レーダーの故障、舵の整流箱に設けられた仕切板の欠損などが生じていた。
- ⑤ 死傷事故では、実数の多い順に「手順」、「マネジメント」、「環境」、「オペレータの状況」、「チームワーク」であり、これら5つの潜在的状況要因で全体の79%を占めた(表6-9及び図6-6)。
- ⑥ 火災事故では、「手順」、「設備の状況」、「マネジメント」、「オペレータの状況」が多く、これら4つの潜在的状況要因で全体の82%を占

めた（表 6-10）。「設備の状況」は、主機のミスト管、エア抜きボルトの脱落などが生じていた。火災事故は 5 件発生しているが発生場所は、居住区、機関室、自動車運搬船の貨物倉であった。

⑦ 爆発事故では、「手順」、「環境」、「オペレータの状況」が多く、これら 3 つの潜在的状況要因が全体の 67% を占めた。これらのほか「規則」、「設備の状況」、「マネジメント」で全体の 100% であった（表 6-11）。

爆発事故は 2 件発生しており、1 件について「設備の状況」は、プロパンガスのコンロに欠陥が生じていた。爆発事故の発生場所は、貨物倉、貨物タンクであった。

⑧ 沈没事故では、「設備の状況」、「手順」、「環境」が多く、これら 3 つの潜在的状況要因が全体の 70% を占めた。これらのほか「航海計画」、「オペレータの状況」、「マネジメント」で全体の 100% であった（表 6-12）。

沈没事故は 3 件発生しており、2 件について「設備の状況」は、空気の不良、バラストタンクの老朽が生じていた。

⑨ 転覆事故では、「航海計画」、「環境」が多く、これら 2 つの潜在的状況要因が全体の 66% を占めた。これらのほか「オペレータの状況」、「コミュニケーション」で全体の 100% であった（表 6-13）。

6.3.3 環境及びオペレータの状況の細目

(1) 環境及びオペレータの状況の解析結果

表 6-14 は、「環境」及び「オペレータの状況」について事故種類別に分析した結果を示す。「環境」と「オペレータの状況」の細目は、事故要因として複数選択されたものがあり、表 6-4 記載の各潜在的状況要因の総数よりも大きな値となった。図 6-7 及び図 6-8 は、表 6-14 で得られた結果を船舶事故全体及び事故種類別にグラフで示した。

表 6-14 環境及びオペレータの状況の細目

SHELモデルの要素	番号	細目	衝突	単独衝突	乗揚げ	死傷	火災	爆発	沈没	転覆	船舶事故全体
環境	6	気象・海象	7	1	2	4	0	0	2	2	18
		閉鎖区域などの環境要因	0	0	0	7	1	2	0	0	10
		船舶交通の輻輳	25	4	0	0	0	0	0	0	29
		狭い水道などの地理的特徴 港湾施設・その他	17	1	9	0	0	0	0	0	27
オペレータの状況	7	身体的限界	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		生理的要因	3	1	1	2	0	0	0	0	7
		心理的限界	60	5	7	4	1	2	0	1	80
		個人の作業負荷管理	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		経験、スキル、知識、教育・訓練	5	2	3	10	2	0	1	0	23

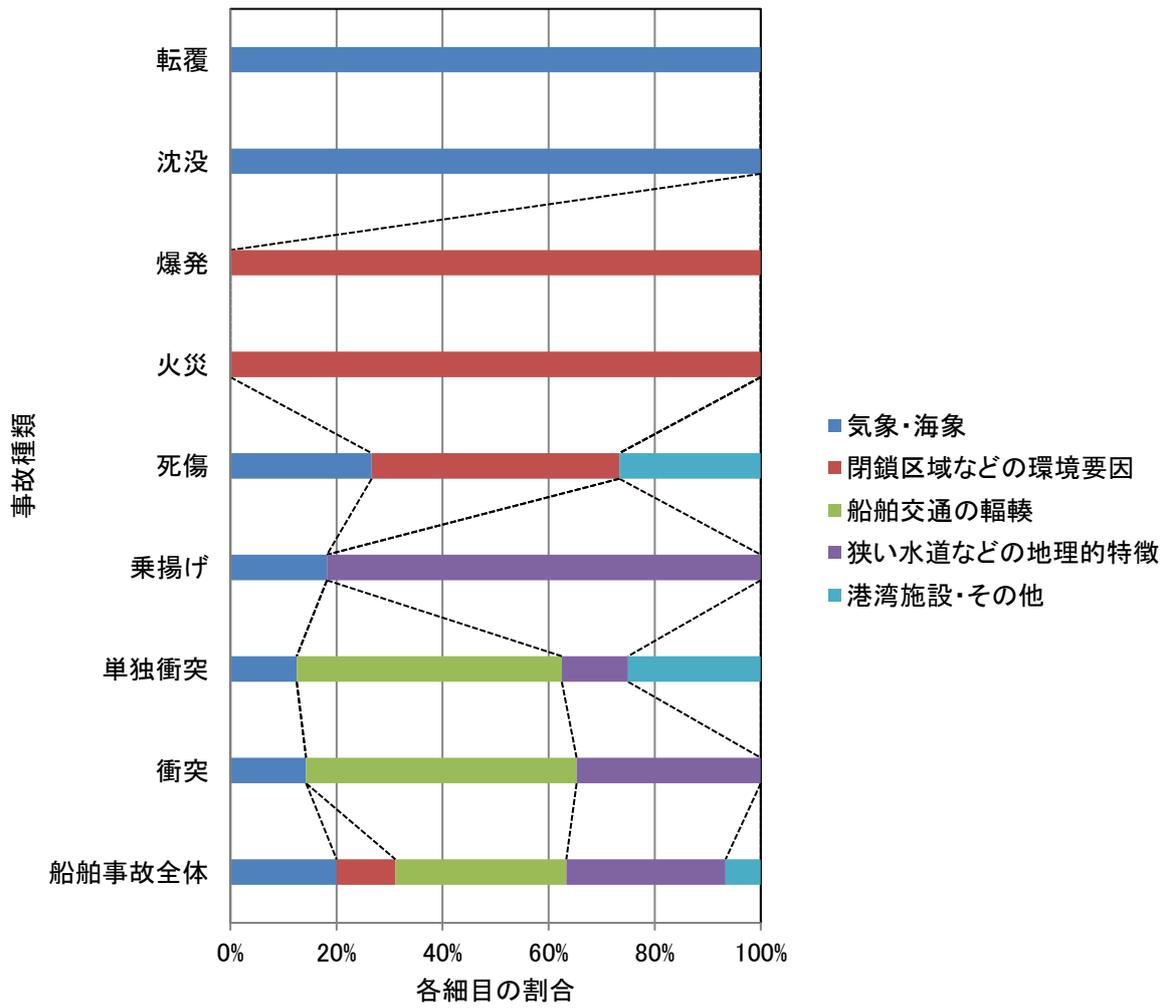


図 6-7 船舶事故全体及び事故種類別の環境

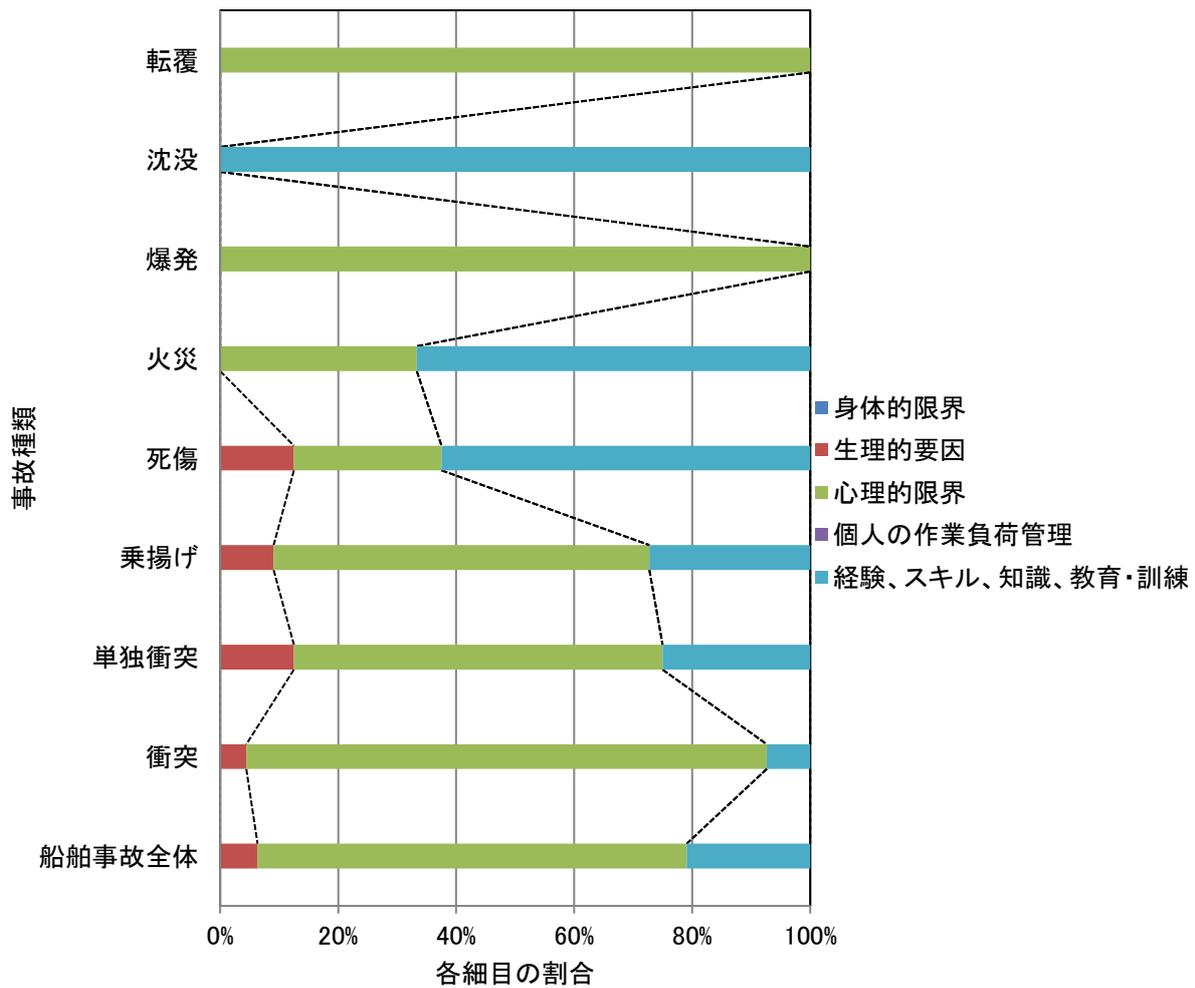


図 6-8 船舶事故全体及び事故種類別のオペレータの状況

(2) 環境及びオペレータの状況の解析結果のまとめ

船舶事故全体及び事故種類別の「環境」及び「オペレータの状況」の解析結果をまとめると、次のとおりであった。

- ① 「環境」に関しては、船舶事故全体、衝突事故、単独衝突事故では船舶交通の輻輳の状況が、乗揚げ事故では狭い水道などの地理的特徴が、死傷事故、火災事故、爆発事故では閉鎖区域などの環境要因が、沈没事故、転覆事故では気象・海象が最も多い要因であった。
- ② 「オペレータの状況」に関しては、船舶事故全体、衝突事故、単独衝突事故、乗揚げ事故、爆発事故、転覆事故では心理的限界が、死傷事故、火災事故、沈没事故では経験、スキル、知識、教育・訓練が最も多い要因であった。

6.4 考察

6.4.1 SHEL モデルの評価

実例 4 件について事故要因を SHEL モデルで分類し、船舶事故における SHEL モデルの適用について、次のとおり考察を行った。

- (1) 実例 1 の貨物船 MEDEA 漁船孝盛丸衝突事故及び実例 2 の貨物船 LANA 乗揚げ事故では、実例 1 の漁船孝盛丸船長を除き、事故要因が全ての SHEL モデルの要素に該当することが確認された。この結果は、衝突事故及び乗揚げ事故について、SHEL モデルは船舶事故に適用でき、かつ、事故の要因を網羅的に分類するのに有用なモデルであること示したものと考えられる。
- (2) 実例 1 の漁船孝盛丸船長では、事故要因が SHEL モデルの一部の要素に該当することが確認された。その理由として、小型漁船は、船長が単独で操船を行っている場合が多く、貨物船などと同じ構成の船橋チームが存在しないので「周辺に位置するライブウェア」に該当するものがなかったこと、また、レーダーを含む「ハードウェア」は、事故調査の結果、設備の不良が生じていなかったことによるものであった。
- (3) 実例 3 のケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡事故及び実例 4 のコンテナ船 ANNA MAERSK 乗組員死傷事故では、事故要因が SHEL モデルの一部の要素に該当することが確認された。その理由として、実例 3 では、オペレータである一等航海士が事故で死亡したために「中心に位置するライブウェア」を調査できなかったことであり、また、実例 4 では、スイベルを含む無負荷離脱装置 (Off-load release hook) のデザインに欠陥があり、マネジメントが不適切であったために「ハードウェア」及び「周辺に位置するライブウェア」が事故要因であり、他の要因は該当しなかったことによる。
- (4) 実例 1 の MEDEA 水先人及び MEDEA 船長並びに実例 3 の一等航海士にかかる「ソフトウェア」及び「周辺に位置するライブウェア」は、複数の事故要因が明らかになっており、SHEL モデルの分類をさらに細分化する必要があることを示したものと考えられる。
- (5) 前記(1)～(4)の結果から、SHEL モデルは、船舶事故において事故要因を網羅的に分類する際には有用であるが、船舶事故の事故要因を詳細に調査・分析するためには、SHEL モデルの各要素を説明する用語を船舶事故に適用できるように修正するとともに、「ソフトウェア」、「周辺に位置するライブウェア」をさらに細分化する必要があるものと考えられる。

6.4.2 潜在的状況要因の特定及びホールが生じる状況のパターン

前記 6.4.1 の研究結果を踏まえ、SHEL モデルを基礎とし、船舶事故に適用できる潜在的状況要因を 10 に分類し、調査対象とした船舶事故 89 件について、

前記 6.3.2(2)の主な潜在的状況要因及び 6.3.3 の環境及びオペレータの状況の細目に焦点を当て、次のとおりホールが生じる状況のパターンを事故種類別に示した。

本研究の結果は、衝突事故と乗揚げ事故に関する Macrae (2009) の一般的な事故パターン(型)と類似していた。Macrae は、豪州運輸安全局が公表した 30 件の衝突事故と乗揚げ事故を分析し、衝突事故は、漁船と貨物船との間で生じることが多く、他船の存在又は速力を特定することに問題が生じたときに発生し、乗揚げ事故は、航海計画が不十分であり、船位を特定すること、又は船橋チームとのコミュニケーションに問題が生じたときに発生すると述べている⁽¹⁰³⁾。

(1) 衝突事故

衝突事故では、「規則」、「オペレータの状況」、「環境」、「コミュニケーション」及び「マネジメント」が主な潜在的状況要因であり、「オペレータの状況」は心理的限界が、「環境」は、船舶交通の輻輳、狭い水道などの地理的な特徴の環境要因がホールを生じさせる主な要因であることが確認された。第 4 章で、ホールは、SMS 防護層では計画と実施プロセスで多く生じ、これらは全ホールの 86%を占め、リスクマネジメント防護層ではリスク分析で多く生じ、全ホールの 72%であることが確認された。本研究者の先行研究(2015)から、「オペレータの状況」は、思い込みが全体の 82%を占めていた⁽¹⁰⁴⁾。

したがって、ホールは、船舶が輻輳海域又は狭い水道など地理的特徴のある海域を航行中、オペレータ(操船者)が、思い込みなどの心理的限界によって、他船と衝突するおそれがあるかどうかを判断する際、利用できるすべての手段を用いること、他船との衝突のおそれを早期に知るためにレーダーは長距離レンジによる探査を含めて探知した船舶を系統的に観察すること、不十分な情報に基づいて他船との衝突のおそれを憶測しないことと定めた国際海上衝突予防規則から乖離しているときに生じるものと考えられる。ホールは、また、オペレータが、他船の動静について船橋チームなどとコミュニケーションを行っていないこと、組織が、これらの海域における安全な運航に関する手順書を設けていないこと、又は設けてもオペレータが順守しないことによって生じるものと考えられる。

(2) 単独衝突事故

単独衝突事故では、「航海計画」、「環境」、「オペレータの状況」及び「マネジメント」が主な潜在的状況要因であり、「環境」は船舶交通の輻輳

が、「オペレータの状況」は心理的限界がホールを生じさせる主な要因であることが確認された。第4章で、ホールは、SMS防護層では実施プロセスで多く生じ、全ホールの60%を占め、リスクマネジメント防護層ではモニタリング及びレビューで多く生じ、全ホールの67%であることが確認された。

したがって、ホールは、船舶が輻輳海域を航行中、オペレータ（操船者）が、心理的限界によって、あらかじめ決められた航海計画に従って進行しているかについて、綿密かつ継続的に確認しないことによって生じ、また、これらの海域における安全な運航に関する手順が順守されないことによって生じるものと考えられる。

(3) 乗揚げ事故

乗揚げ事故では、「環境」、「航海計画」、「オペレータの状況」、「コミュニケーション」、「設備の状況」及び「チームワーク」が主な潜在的状況要因であり、「環境」は狭い水道などの地理的特徴が、「オペレータの状況」では心理的限界がホールを生じさせる主な要因であることが確認された。第4章で、ホールは、SMS防護層では実施プロセスで多く生じ、全ホールの50%を占め、リスクマネジメント防護層ではモニタリング及びレビュー、リスク分析の順に多く生じ、これらは全ホールの63%であることが確認された。

したがって、ホールは、船舶が狭い水道など地理的特徴のある海域を航行中、オペレータ（操船者）が、心理的限界によって、あらかじめ決められた航海計画に従って進行しているかについて綿密かつ継続的に確認しないこと、船位について船橋チームなどとのコミュニケーションが行われないこと、乗組員の役割が明確でないこと又は役割を果たしていないこと、及びこれらの海域における安全な運航に関する手順が順守されないことによって生じるものと考えられる。ホールは、また、設備については、レーダーの故障などの欠陥が生じている状況下、船長が、航海計画における計画段階で、危険物に接近する必要がある場合、機関故障又は操船エラーが生じた際に乗揚げの可能性を最小限にするために危険物から十分遠ざかり、船舶が常に安全水域に存在するという最低限のルールを順守しないことによって生じるものと考えられる。

(4) 死傷事故

死傷事故では、「手順」、「マネジメント」、「環境」、「オペレータの状況」及び「チームワーク」が主な潜在的状況要因であり、「環境」は閉鎖

区域などの環境要因が、「オペレータの状況」は経験、スキル、知識、教育・訓練がホールを生じさせる主な要因であることが確認された。第4章で、ホールは、SMS 防護層では計画と実施のプロセスで多く生じ、これらは全ホールの97%を占め、リスクマネジメント防護層ではリスク特定で多く生じ、全ホールの71%であることが確認された。

したがって、ホールは、オペレータ（罹災者）が、荷役中、例えば、カーゴタンク内の酸素濃度などの雰囲気が悪化している状況下、酸素濃度検知器などの装置で雰囲気を計測しないことにより同タンク内のハザードを認識できないこと、乗組員、作業員などの役割が明確でないこと又は役割を果たしていないことによって生じるものと考えられる。ホールは、また、オペレータが、荷役中の安全について、経験、スキル、知識、教育・訓練が欠如していること、組織が荷役における安全な作業又は閉鎖区域に入る際の手順書を設けておらず、又は手順書を設けた場合でもオペレータが順守しないことによって生じるものと考えられる。

(5) 火災事故

火災事故では、「手順」、「設備の状況」、「マネジメント」及び「オペレータの状況」が主な潜在的状況要因であり、「オペレータの状況」は経験、スキル、知識、教育・訓練の欠如がホールを生じさせる主な要因であることが確認された。ホールは、SMS 防護層で計画及び実施のプロセス、リスクマネジメント防護層でリスク特定及びリスク分析で生じたことが確認された。火災事故は事例が5件と少ないことから、これらの事故内容の一部を記載した。

ホールは、オペレータが、火災発生時の消火活動、脱出経路などの教育訓練が欠如し、保守点検時の主機のミスト管の取り付け、エア抜きボルトの締め付けがチェックリストなどを用いて確実に行われていない状況で、本船が航行したことによって生じたものと考えられる。ホールは、また、組織がこれらの手順を設けていなかったことにより生じたものと考えられる。

火災事故は5件発生しているが発生場所は、居住区、機関室、自動車運搬船の貨物倉であった。

(6) 爆発事故

爆発事故では、「手順」、「環境」及び「オペレータの状況」が多くのホールを生じさせる主な要因であり、そのほかに「規則」、「設備の状況」及び「マネジメント」が要因であることが確認された。「環境」は閉鎖区域などの要因が、「オペレータの状況」は心理的限界がホールを生じさせる主な

要因であることが確認された。ホールは、SMS 防護層では実施プロセス、リスクマネジメント防護層ではリスク特定で生じたことが確認された。爆発事故は事例が2件と少ないことから、これらの事故内容の一部を記載した。

ホールは、可燃性ガスが倉庫区画又は貨物タンクなどの閉鎖区域に存在する状況で、オペレータ（罹災者）が、爆発に至ることはないだろうと思いつく心理的限界によって、手順に定められたプロパンガスのバルブの閉鎖又は火気作業前のガス検知などを行わなかったことによって生じたものと考えられる。ホールは、また、組織で実施した安全教育が局所的作業現場での作業能率に優先されて活用されなかったこと又は組織が危険物の設置にかかる規則を順守していなかったことによって生じたものと考えられる。設備についてはプロパンガスのコンロのバーナー部に欠陥が生じていた。

爆発事故の発生場所は、倉庫区画、貨物タンクであった。

(7) 沈没事故

沈没事故では、「設備の状況」、「手順」及び「環境」が多くのホールを生じさせる要因であり、これらのほか「航海計画」、「オペレータの状況」及び「マネジメント」が要因であることが確認された。「環境」は気象・海象が、「オペレータの状況」は経験、スキル、知識、教育・訓練の欠如が主な要因であった。ホールは、SMS 防護層では確認プロセス、リスクマネジメント防護層ではリスク特定で生じたことが確認された。沈没事故は事例が3件と少ないことから、これらの事故内容の一部を記載した。

ホールは、本船の上甲板に設けられた空気管に不良が生じ又はバラスタタンクに老朽が生じた状況において、オペレータ（操船者）が、復原性に関する経験、スキル、知識、教育・訓練が欠如していること、航海計画の評価段階で気象海象が本船の操船に与える影響を考慮しなかったこと又は本船の傾斜角を修正する際に貨物倉への海水の流入を検査する手順を守らずに実施したことによって生じたものと考えられる。ホールは、また、事故発生以前から本船に浸水をもたらす設備の異常が発生していたものの、この情報が組織に報告されず SMS の確認プロセスが機能しなかったことによって生じたものと考えられる。

(8) 転覆事故

転覆事故では、「航海計画」、「環境」が多くのホールを生じさせる要因であり、これらのほか「オペレータの状況」、「コミュニケーション」が要因であることが確認された。「環境」は気象・海象が、「オペレータの状況」は心理的限界が主な要因であった。ホールは、リスクマネジメント防護層で

はリスク特定とリスク分析で生じたことが確認された。転覆事故は事例が2件と少ないことから、これらの事故内容の一部を記載した。

ホールは、オペレータ（操船者）が、航海計画の評価段階で復原性の小さい船舶の運航に影響を及ぼす最新の気象情報入手せず又は計画段階で離岸操船におけるタグボートの使用に関して岸壁から平行に十分離れてから港口に本船の針路を向ける計画が策定されていない状況で、強風注意報発表中などに航行したことによって生じたものと考えられる。転覆事故1件は、本船がタグボート使用中にタグボートが転覆した事故であり、本船のオペレータは、本船が着岸中の他船への圧流を避けることに意識を向け、タグボートの動静を認識していなかった。

6.5 本章のまとめ

本章では、船舶事故におけるSHELモデルの適用について評価を行ったのち、船舶事故に適用できる潜在的状況要因を定義し、事故種類別の潜在的状況要因を特定するとともに、ホールが生じる状況のパターンを調査した。その結果は次のとおりである。

- (1) SHELモデルは、船舶事故において事故要因を網羅的に分類する際には有用であるが、船舶事故の事故要因を詳細に調査・分析するためには、SHELモデルの各要素を説明する用語を船舶事故に適用するように修正するとともに、「ソフトウェア」、「周辺に位置するライブウェア」をさらに細分化する必要があることが明らかになった。
- (2) 前記(1)のSHELモデルの評価を踏まえ、船舶事故に適用できる潜在的状況要因を、「航海計画」、「手順」、「規則」、「ヒューマン・マシンインタフェース」、「設備の状況」、「環境」、「オペレータの状況」、「コミュニケーション」、「チームワーク」、「マネジメント」の10に分類した。
- (3) 本研究の調査対象とした船舶事故89件について、衝突事故、乗揚げ事故、死傷事故の主な潜在的状況要因は、全体に占める割合が大きい順に次のとおりであった。
 - ① 衝突事故は、「規則」、「オペレータの状況」、「環境」、「コミュニケーション」、「マネジメント」であった。
 - ② 乗揚げ事故は、「環境」、「航海計画」、「オペレータの状況」、「コミュニケーション」、「設備の状況」、「チームワーク」であった。
 - ③ 死傷事故は、「手順」、「マネジメント」、「環境」、「オペレータの状況」、「チームワーク」であった。
- (4) 前記(3)の主な潜在的状況要因と第4章のホール発生場所の研究結果を統合して、第3章で定義したホールが生じる状況のパターンを次のとおり事故

種類別に導き出した。

- ① 衝突事故のホールは、船舶が輻輳海域又は狭い水道など地理的特徴のある海域を航行中、オペレータが、思い込みなどの心理的限界によって、他船と衝突するおそれがあるかどうかを判断する際、不十分な情報に基づいて他船との衝突のおそれを憶測しないことと定めた国際海上衝突予防規則から乖離しているときに生じるものと考えられる。ホールは、また、オペレータが、他船の動静について船橋チームなどとコミュニケーションを行っていないこと、組織が、これらの海域における安全な運航に関する手順書を設けていないこと、又は設けてもオペレータが順守しないことによって生じるものと考えられる。
 - ② 乗揚げ事故のホールは、船舶が狭い水道など地理的特徴のある海域を航行中、オペレータが、心理的限界によって、あらかじめ決められた航海計画に従って進行しているかについて綿密かつ継続的に確認しないこと、船位について船橋チームなどとのコミュニケーションが行われないこと、乗組員の役割が明確でないこと又は役割を果たしていないこと、及びこれらの海域における安全な運航に関する手順が順守されないことによって生じるものと考えられる。ホールは、また、設備に欠陥が生じている状況下、船長が、航海計画の計画段階で、危険物に接近する必要がある場合、機関故障又は操船エラーが生じた際に乗揚げの可能性を最小限にするために危険物から十分遠ざかり、船舶が常に安全水域に存在するという最低限のルールを順守しないことによって生じるものと考えられる。
 - ③ 死傷事故のホールは、オペレータが、荷役中、例えば、カーゴタンク内の酸素濃度などの雰囲気が悪化している状況下、酸素濃度検知器などの装置で雰囲気を計測しないことにより同タンク内のハザードを認識できないこと、乗組員、作業員などの役割が明確でないこと又は役割を果たしていないことによって生じるものと考えられる。ホールは、また、オペレータが、荷役中の安全について、経験、スキル、知識、教育・訓練が欠如していること、組織が荷役における安全な作業又は閉鎖区域に入る際の手順書を設けておらず、又は手順書を設けた場合でもオペレータが順守しないことによって生じるものと考えられる。
- (5) 組織及びオペレータは、事故種類別に示されたホールが生じる状況のパターンを知ることによって、システムに潜む潜在的状況要因を事前に特定することとなり、事故を未然に防止する措置を講じることができるものと考えられる。

第 7 章 潜在的状況要因が事故に及ぼす影響

7.1 はじめに

ヒューマンファクターが事故要因に占める割合について、竹本（2007）は、海難審判所が裁決した船舶事故の 90%以上⁽¹⁰⁵⁾、黒田（1988）は、航空機事故の約 70%である⁽¹⁰⁶⁾と述べている。ICAO（1993）は、ヒューマンファクターが、1940 年代から航空機事故及びインシデントの事故要因として重要性を増していることを踏まえ、事故調査・分析手法に SHEL モデルを用いることを定めた⁽¹⁰⁷⁾。IMO（2000）も同様の措置を講じ、事故の再発防止及び被害の軽減を目的として設置された日本の運輸安全委員会、英国の船舶事故調査局（MAIB）等、世界の船舶事故調査機関は、事故調査過程において事故要因の証拠を網羅的に収集する手法として SHEL モデルを用いている。

前記のとおり事故要因の多くがヒューマンファクターに起因するとされているが、ヒューマンファクターのどの要素が事故発生に大きな影響を及ぼしているかについて先行研究がない。本章では、第 6 章で得られた事故種類別の潜在的状況要因のデータを用い、潜在的状況要因が船舶事故発生に及ぼす影響について数量分析を行う。

数量分析を行う際、事故発生と潜在的状況要因との関係は因果関係であることから、SHEL モデルの 5 つの要素を説明変数 x 、船舶事故を起こした隻数（以下「事故発生隻数」という。）を被説明変数 y とし、変数が 3 以上の因果関係の分析に適した重回帰分析⁽¹⁰⁸⁾を行う。

船舶事故調査報告書に組織要因が記載されていたのは、船舶事故 89 件 124 隻中、65 組織であり（第 4 章 4.4.2 参照）、SMS 防護層が調査できなかった事故が多く存在したことから、ホール発生数を被説明変数にしなかった。

潜在的状況要因と事故発生との関係が数量的に明らかになれば、注意及び努力を向けるべきところが数値で示されるとともに、潜在的状況要因が事前に特定された場合には事故発生の予測に活用できる可能性があり、事故の再発防止及び未然防止の対策を効果的に講じることができる。

7.2 解析手法

本章では、SHEL モデルの各要素が事故発生に及ぼす影響度を算出することを目的としているため、SHEL モデルの 5 つの要素が説明変数に含まれることを条件とし、分析ソフト（エクセル統計 2015 for Microsoft）で偏回帰係数、決定係数、自由度調整済決定係数などを算出し、重回帰式の検定を行った。

説明変数を x 、被説明変数を y 、説明変数の数を p 、定数項を a_0 、偏回帰係数を $a_1, a_2 \dots a_p$ とすれば、重回帰式は次式(1)で表わされる⁽¹⁰⁹⁾。

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p \quad (1)$$

7.3 結果

(1) 重回帰式

表 7-1 は、潜在的状況要因と事故発生隻数の関係を数量化する際、重回帰分析に必要な第 6 章表 6.4 のデータを SHEL モデルの各要素に変換した値を示している。 x_1 はソフトウェアの「航海計画」、「手順」、「規則」、 x_2 はハードウェアの「ヒューマン・マシンインタフェース」、「設備の状況」、 x_3 は「環境」、 x_4 は中心に位置するライブウェアの「オペレータの状況」、 x_5 は周辺に位置するライブウェアの「コミュニケーション」、「チームワーク」、「マネジメント」である。 y は事故種類別の事故発生隻数を示している。

表 7-2 は、説明変数 $x_1 \sim x_5$ 、被説明変数 y として重回帰分析で得られた偏回帰係数、標準誤差、標準偏回帰係数を示す。

重回帰式（重回帰モデル）は、表 7-2 の各説明変数の偏回帰係数を用いれば、

$$y = 0.428 + 0.514x_1 + 0.250x_2 + 0.051x_3 + 0.014x_4 + 0.125x_5 \quad (2)$$

が得られた。

前記 (2) 式について、分析の精度、又はデータの当てはまりの程度を表す決定係数 R^2 は、0.9 であり、説明変数の数を考慮した自由度調整済決定係数は、0.9 であった。1 に近いほど分析の精度は高いとされることから、重回帰式の分析の精度は高いことを示した。

(2) 重回帰式の検定

前記 (2) 式の p 値は 0.001 よりも小さく、0.1 %水準で有意差があった。したがって、重回帰式は有意であることが確認できた⁽¹¹⁰⁾。

(3) 各説明変数が被説明変数に及ぼす影響

各説明変数が被説明変数に及ぼす影響を示す指標として標準偏回帰係数 β を用いた。影響度が大きい順番に x_1 ($\beta_1=0.755$)、 x_5 ($\beta_5=0.158$)、 x_2 ($\beta_2=0.042$)、 x_3 ($\beta_3=0.036$)、 x_4 ($\beta_4=0.015$) であった（表 7-2）。

表 7-1 潜在的状況要因の実数と事故発生隻数

事故種類	y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
衝突	63	92	10	46	64	75
単独衝突	7	9	1	7	6	10
乗揚げ	9	10	4	10	8	14
死傷	26	34	8	15	13	41
火災	5	6	3	1	2	4
爆発	2	3	1	2	2	1
沈没	3	3	3	2	1	1
転覆	2	2	0	2	1	1

表 7-2 重回帰分析の結果

変数及び定数項	偏回帰係数(a)	標準誤差	標準偏回帰係数(β)
X ₁	0.514	0.196	0.755
X ₂	0.250	0.140	0.042
X ₃	0.051	0.325	0.036
X ₄	0.014	0.301	0.015
X ₅	0.125	0.173	0.158
定数項(a ₀)	0.428	0.556	

7.4 考察

SHEL モデルの各要素が事故に及ぼす影響に関する先行研究はないが、第 6 章で得られた各潜在的状況要因の構成比と対比するとともに、本研究で潜在的状況要因を分類する際に参考とした Swift 及び Adams の研究並びに Chauvin ら (2013) の衝突事故の事故要因の研究と対比し、潜在的状況要因が事故発生隻数に及ぼす影響について議論する。Chauvin らの研究⁽¹¹¹⁾は、調査手法及び分類内容が本研究と異なるが、スイスチーズモデルを基礎とした HFACS を用いていることから対比の対象として選んだ。

なお、重回帰式の決定係数及び自由度調整済決定係数が大きい値であったのは、説明変数の数を増やすと決定係数の値が大きくなるとされており⁽¹¹²⁾、本研究では、全ての SHEL モデルの要素が重要であったことから、全変数を選択することを条件とし、標本の数を事故種類の数 8、説明変数の数を SHEL モデルの要素の数 5 として重回帰分析を行ったことに関係しているものと考えられる。

7.4.1 ソフトウェア及び周辺に位置するライブウェア

潜在的状況要因が事故発生隻数に及ぼす影響度は、ソフトウェアである「航海計画」、「手順」及び「規則」が最も大きいことが確認された。標準偏回帰係数は、他の説明変数の値を一定にした条件下、当該説明変数を1単位動かした時の被説明変数の平均的な変化を表している⁽¹¹³⁾。

標準偏回帰係数の値を%で表わし⁽¹¹⁴⁾、この値をSHELモデルの各要素が単独で事故発生隻数に及ぼす影響度とすれば、ソフトウェアは75.5%の影響度があることが認められた。この結果は、ソフトウェアは、影響度が、第6章表6-5の船舶事故全体に占める構成比30%よりも大きいことを示した。

周辺に位置するライブウェアは、「コミュニケーション」、「チームワーク」及び「マネジメント」であり、周辺に位置するライブウェアが単独で事故発生隻数に及ぼす影響度は15.8%であることが認められた。周辺に位置するライブウェアは、影響度が、第6章表6-5の船舶事故全体に占める構成比29%よりも小さいことを示した。

Swift (2000) は、多くの海難に共通する問題点として船橋の組織構造が弱い点 (weakness in bridge organization) を挙げ、船舶交通の輻輳の状況によって当直者を増員する必要性などを指摘し、また乗揚げ事故の防止については、航海計画における航路の事前計画、計画航路に沿った船舶の進行の監視及び偏位の修正などの重要性を指摘している⁽¹¹⁵⁾。Adams (2006) は、BRM (ブリッジ・リソース・マネジメント) が、人の行動パターンを認識することによって望ましくない行動を回避し、又は事故に導く連鎖を断ち切ることであり、エクソンバルデズ (Exxon Valdez) 号乗揚げ事故など12件を分析した結果、事故防止策にはBRM及び非常事態対応計画を含めた航海計画立案などが重要であることを指摘している⁽¹¹⁶⁾。

Swift 及び Adams は、衝突事故及び乗揚げ事故の事故要因として、ソフトウェアと周辺に位置するライブウェアの重要性を指摘し、本研究結果と一致しているものの、これらの要素が事故発生に及ぼす影響度について明確でなかった。本研究では、各要素が単独で事故発生隻数に及ぼす影響度が、ソフトウェアで75.5%、周辺に位置するライブウェアで15.8%であることが認められ、これらの要素の重要性を客観的に示したものと考えられる。

Chauvin らは、39隻が関与する衝突事故27件の事故要因をHFACSで分類し、不安全行為は、決定エラー (decision error) と知覚エラー (perceptual error) が全体の97%を占め、多くの事故要因が、相手船との間のコミュニケーション、本船内でのBRMの欠如、SMSが実行されていないこと、又は監査が行われていないことによるものであると述べている。Chauvin らの研究は、決定エラー及び知覚エラーが、本研究の「規則」からの乖離 (国際海上衝突予防規則から

の乖離)に該当するのか明らかにできなかったが、相手船とのコミュニケーション、本船内での BRM、SMS 及び監査は、本研究の「コミュニケーション」、「チームワーク」、「マネジメント」に含まれており、周辺に位置するライブウェアの重要性を示した本研究結果と一致するものと考えられる。

7.4.2 ハードウェア、環境及び中心に位置するライブウェア

重回帰分析の結果、ハードウェア（「ヒューマン・マシンインタフェース」と「設備の状況」の合計）、環境、中心に位置するライブウェアが単独で事故発生隻数に及ぼす影響度は、それぞれ 4.2%、3.6%、1.5%であった。第 6 章表 6-5 のハードウェア、環境、中心に位置するライブウェアの構成比は、それぞれ 6%、16%、19%であり、影響度は、すべてが構成比よりも小さいことを示した。

中心に位置するライブウェアは、船舶事故全体の潜在的状況要因に占める構成比が 19%であるにもかかわらず、事故発生隻数に及ぼす影響度が 1.5%であったことは、事故発生隻数を削減するため、心理的限界などのオペレータの状況を改善しても、影響が小さいことを示唆したものと考えられる。

ハードウェア及び環境が、中心に位置するライブウェアよりも事故発生隻数に大きな影響度を及ぼしている理由として、衝突事故以外の事故種類で、ハードウェア又は環境の船舶事故に占める構成比の値(%)が、中心に位置するライブウェアの値と同じ又はそれ以上であったことによる可能性があると考えられる。つまり、第 6 章の表 6-6～表 6-13 で、単独衝突事故ではハードウェア 3%、環境 21%、オペレータの状況 18%、乗揚げ事故ではハードウェア 9%、環境 22%、オペレータの状況 17%、死傷事故ではハードウェア 7%、環境 13%、オペレータの状況 12%、火災事故ではハードウェア 19%、環境 6%、オペレータの状況 13%、爆発事故ではハードウェア 11%、環境 22%、オペレータの状況 22%、沈没事故ではハードウェア 30%、環境 20%、オペレータの状況 10%、転覆事故ではハードウェア 0%、環境 33%、オペレータの状況 17%であった。

Swift 及び Adams は、注意散漫(distraction)、ストレス、自己満足(complacency)、疲労などのオペレータの状況に含まれる項目を重視している。また、Chauvin らの研究は、衝突事故が起きるパターン(型)で、不適切な操船及び不十分な SMS とともに、オペレータの注意欠如(attention deficit)及び視界制限状態を挙げている。

本研究の結果は、これらの先行研究とは異なり、事故発生隻数に与える影響度は、オペレータの状況が最も小さいことが明らかになった。

7.5 本章のまとめ

潜在的状況要因が事故発生隻数に及ぼす影響度について数量分析を行って解析した。その結果は次のとおりである。

- (1) 潜在的状況要因でソフトウェア（「航海計画」、「手順」、「規則」）を x_1 、ハードウェア（「ヒューマン・マシンインタフェース」、「設備の状況」）を x_2 、環境（「環境」）を x_3 、中心に位置するライブウェア（「オペレータの状況」）を x_4 、周辺に位置するライブウェア（「コミュニケーション」、「チームワーク」、「マネジメント」）を x_5 、事故発生隻数を y として、重回帰分析を行えば、次式が得られた。

$$y = 0.428 + 0.514x_1 + 0.250x_2 + 0.051x_3 + 0.014x_4 + 0.125x_5$$

- (2) 標準偏回帰係数 β の値を%で表わし、この値を各 SHEL 要素が単独で事故発生隻数に及ぼす影響度とすれば、影響度が大きい順番にソフトウェア（75.5%）、周辺に位置するライブウェア（15.8%）、ハードウェア（4.2%）、環境（3.6%）、中心に位置するライブウェア（1.5%）であることが明らかになった。
- (3) 本研究結果は、組織及びオペレータ（操船者など）が注意及び努力を向けるべき SHEL モデルの各要素が数値で示され、事故の再発防止及び未然防止の対策に活用できるものと考えられる。

第 8 章 事故モデルの構築及び事故防止策

8.1 はじめに

本章では、第 3 章～第 7 章までの研究成果を踏まえ、SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層を統合し、事故モデルを構築するとともに、スイスチーズモデルの問題点について本研究で得られた結果に基づいて考察を行う。最後に事故モデル及びホール発生場所と潜在的状況要因のデータなどを活用した体系的な事故防止策を提案する。

8.2 解析手法

事故モデルの構築は、次の順番で行った。

8.2.1 船舶事故 4 件を用いた事故モデルの構築

事故モデルを構築するため、第 3 章で取り上げた衝突事故、乗揚げ事故、死傷事故の 4 件について、分離して示された SMS 防護層とリスクマネジメント防護層を結合した。その際、後期 1SCM の特徴とされる次の 5 項目を考慮した。(1) 深層防護が存在すること、(2) 組織要因は局所的作業現場要因に影響を及ぼすこと、(3) ホールは潜在的状況要因又は即発的エラーによって生じ、潜在的状況要因は即発的エラーの発生を促進すること、(4) 事故は、ホールが一行に並び、事故の軌跡がこれらのホールを突き抜けたときに起きること、(5) 潜在的状況要因の抜け道が存在すること。

また、防護層の配列の順番を判断する基準として、ホールが発生した時期を考慮した。

8.2.2 防護層の数、ホール発生場所、潜在的状況要因など

船舶事故に適用できる事故モデルを作成するため、深層防護を構成する防護層の数、ホール発生場所、各潜在的状況要因の実数が全体の潜在的状況要因の実数に占める割合を、それぞれ第 4 章 4.4.1、第 4 章 4.4.2 及び 4.4.3、第 6 章 6.3.2 の研究結果に基づいて決定した。

8.2.3 事故モデルの構築

8.2.1 及び 8.2.2 の研究結果を踏まえ、深層防護のホール発生場所、ホールと潜在的状況要因との関係を示すとともに船舶事故 89 件で最も多くのホールが生じた場所を突き抜ける事故の軌跡を描いた事故モデルを構築した。

8.3 結果

8.3.1 船舶事故 4 件を用いた事故モデルの構築

実例 1：貨物船 MEDEA 漁船孝盛丸衝突事故

2010 年（平成 22 年）3 月 18 日 20 時 30 分ごろ名古屋港東航路南口沖で発生した貨物船 MEDEA 漁船孝盛丸衝突事故にかかる事故モデルは図 8-1 のとおりであった。

(1) 防護層の配列

本事故は、水先人会と MEDEA の船舶管理会社の 2 つの組織が事故に関与していた。水先人会の SMS 防護層にホールが生じたのは少なくとも本事故発生の前 1 年前であること、及び SMS 防護層のホールが水先人のリスクマネジメント防護層に影響を与えていたことから、水先人会の SMS 防護層と水先人のリスクマネジメント防護層は直近に配置した。一方、MEDEA の船舶管理会社の SMS 防護層にホールが生じた時期は調査できなかったものの、同船舶管理会社は、SMS に水先人と船橋チームが接近する船舶の情報を共有することについて定めていなかったことにより、MEDEA 船長のリスクマネジメント防護層のホール発生に影響を及ぼしたことから、同船舶管理会社の SMS 防護層と MEDEA 船長のリスクマネジメント防護層は直近に配置した。水先人会の SMS 防護層及び MEDEA の船舶管理会社の SMS 防護層は、それぞれ水先人及び MEDEA 船長のリスクマネジメント防護層に影響を及ぼしていることから、各組織の SMS 防護層及び水先人と船長のリスクマネジメント防護層は並列に描かれ、スイスチーズモデルのように防護層 4 つを直列に描くことができなかった。

(2) 事故の軌跡

本事故は、水先人会と MEDEA の船舶管理会社の 2 つの組織が関与し、並列に配置された防護層にホールが生じていることから、事故の軌跡が 2 方向に分かれて並列に配置された防護層のホールを突き抜け、その後合流して事故が起きたことを示した。

(3) 即発的エラーが起きた場所

本事故におけるホールの定義（リスクが受容できない領域）は、両船が避航船の最大縦距内に接近することであった（第 3 章 3.3.2 参照）。水先人は、20 時 20 分ごろ、ARPA が表示した孝盛丸の針路及び速力から、孝盛丸が南進して本船の予定航路から離れると判断し、リスク分析のプロセスで孝盛丸が MEDEA の最大縦距内に接近することを予測できなかった。水先人は、20 時 26 分～27 分ごろの間、針路を 218°、216°、次いで 212°に変え、MEDEA と孝盛丸との距離が 630m 以内に接近した。水先人の即発的エラーは、孝盛丸が MEDEA の最大縦距内に接近する状況において、針路を 218°、216°、次いで

212°に変えたことである。したがって、図 8-1 のとおり、水先人の即発的エラーは、リスク分析のプロセスに関連し、リスクが受容できない領域である MEDEA の最大縦距内で起きたことを示した。

MEDEA 船長は、衝突直前まで孝盛丸の存在及び動静に気付いていなかった。MEDEA 船長は、20 時 28 分ごろ、水先人が、MEDEA と孝盛丸との距離が 426m～519m で孝盛丸に対して注意を喚起するために「whistle, whistle」と指示したが、汽笛を吹鳴できなかった。MEDEA 船長の即発的エラーは、孝盛丸が MEDEA の最大縦距内に接近した状況下、水先人が汽笛の吹鳴を指示したとき、押しボタンの場所が分からず、汽笛を吹鳴できなかったことである。MEDEA 船長の即発的エラーは、リスクが受容できない領域である MEDEA の最大縦距内で起きたが、リスク特定のプロセスに関連して起きたかについては明らかにできなかった。したがって、MEDEA 船長の即発的エラーは、図 8-1 に示すことができなかった。

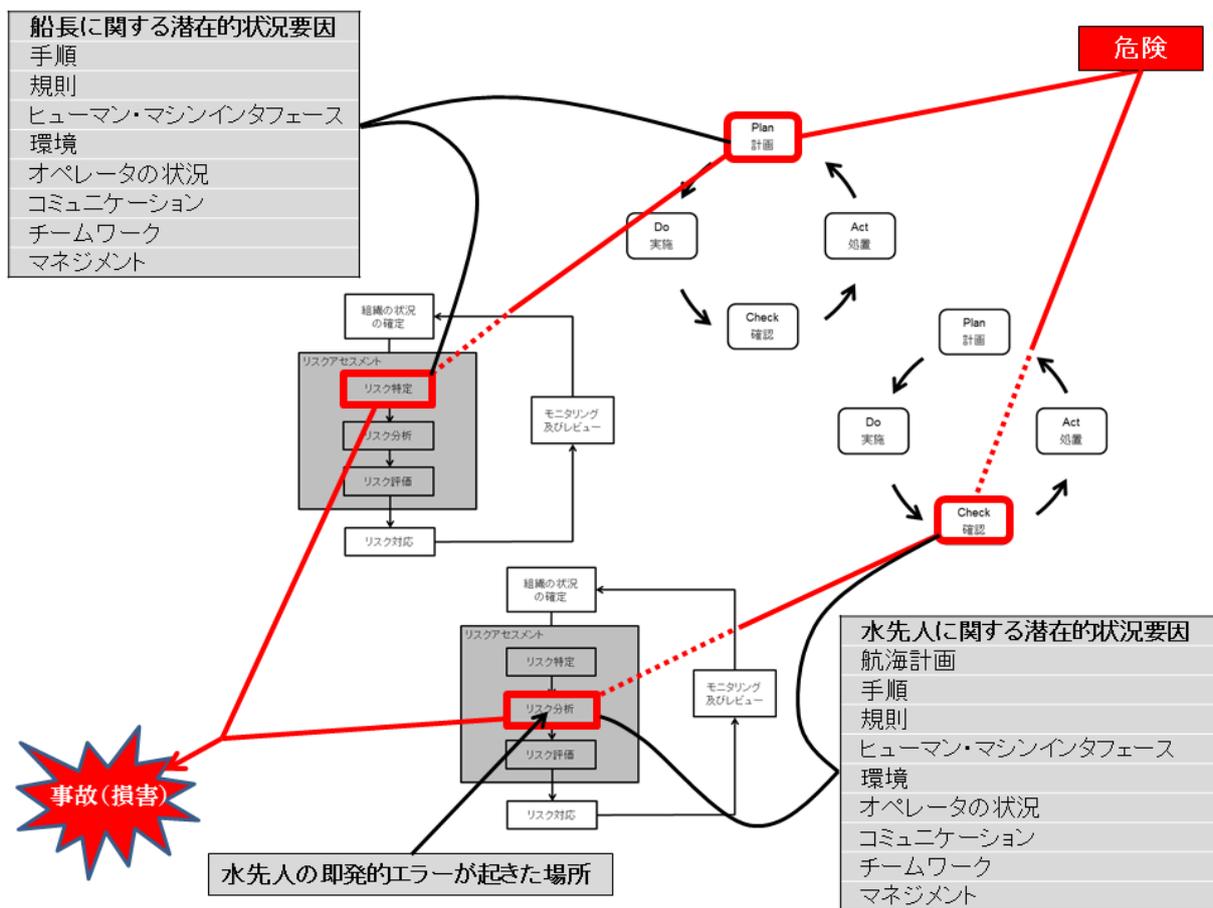


図 8-1 貨物船 MEDEA にかかる事故モデル

実例 2：貨物船 LANA 乗揚げ事故

2009 年（平成 21 年）12 月 15 日 20 時 39 分ごろ静岡県下田市神子元島北方沖で発生した貨物船 LANA 乗揚げ事故にかかる事故モデルは図 8-2 のとおりであった。

(1) 防護層の配列

本事故では組織要因の調査を行うことができなかった。しかし、組織要因の調査を行った場合、組織は、ISM コードに則って安全管理マニュアルを作成し、運用することになっていることから SMS 防護層が存在し、かつ、同マニュアルの作成は本事故の LANA 船長にかかるリスクマネジメント防護層よりも先行していると考えられる。したがって、事故モデルは、SMS 防護層を破線で描きリスクマネジメント防護層を事故の直近に配置した。

(2) 事故の軌跡

本事故は、リスクマネジメント防護層に生じた 2 個のホールによって起きたことから、事故の軌跡が 2 個のホールを突き抜け、その後合流して事故が起きたことを示した。SMS 防護層のホールは、組織要因の調査を行うことができなかったので描けなかった。

(3) 即発的エラーが起きた場所

船長は、LANA が神子元島北方海域を航行中、12 月 15 日 19 時 30 分ごろ、見張りについていた甲板員が使用海図に記入した船位が予定航路付近だったことから本船が予定航路を航行していると思い込み、針路及び速力を保持し、No-go エリア内の危険物（横根）へ向けて航行した。船長は、危険物の存在は認識していたものの、自ら測位を行わなかった。ホールの定義は、No-go エリアに進入し、危険物に向けて航行することであり、本事故の場合、No-go エリアは、水路誌が推薦していない神子元島北方沖の海域であり、危険物は横根（水上岩）であった（3.3.2 参照）。船長の即発的エラーは、航海計画で水路誌が推薦しない海域に予定航路を設定した状況において、LANA が横根に向かっていることに気付かず、船位を確認せずに針路及び速力を保持して航行したことである。したがって、図 8-2 のとおり、船長の即発的エラーは、モニタリング及びレビューのプロセスに関連し、リスクが受容できない領域で起きたことを示した。

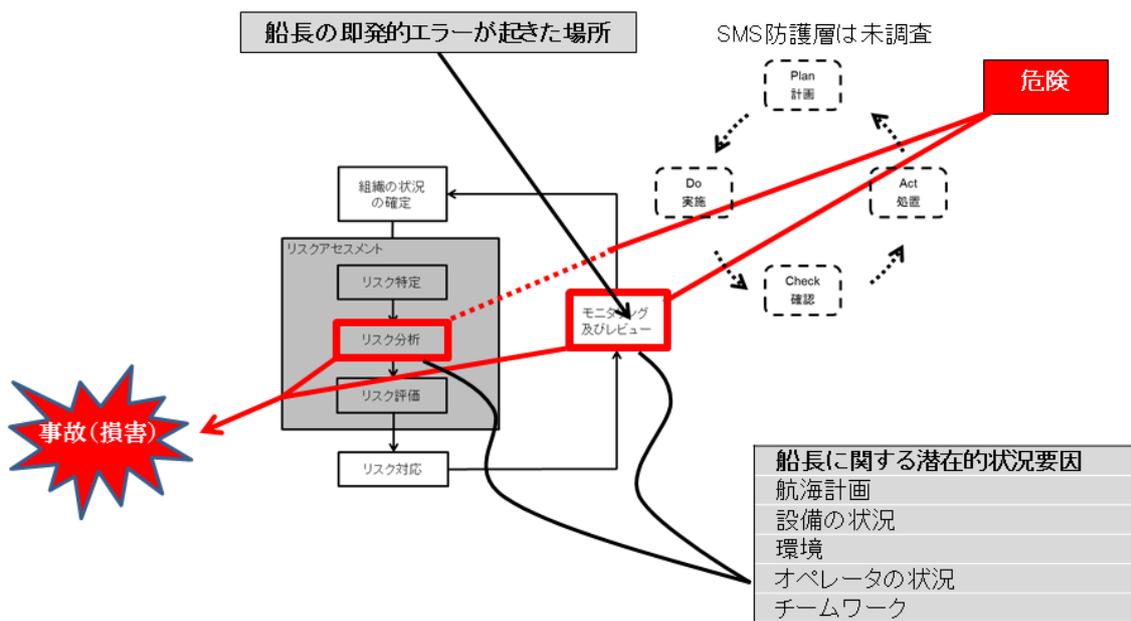


図 8-2 貨物船 LANA にかかる事故モデル

実例 3：ケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡事故

2010年（平成22年）3月10日13時55分ごろ京浜港川崎区旭化成ケミカルズ2号栈橋で発生したケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡事故にかかる事故モデルは図8-3のとおりであった。

(1) 防護層の配列

船舶所有者（安全統括管理者）が、荷役中にハッチを開放してはならないことはケミカルタンカーの乗組員の常識だと思っていたので手順書にその旨を記載していなかったこと、及び第二旭豊丸が、平成22年1月から本事故が発生した同年3月10日までの間、本事故が発生した栈橋で揚荷役を9回行っていったことから、SMS防護層のホールは、本事故時の一等航海士にかかるリスクマネジメント防護層にホールが生じた時期よりも早いことが確認された。したがって、深層防護は、リスクマネジメント防護層を事故の直前に配置した。

(2) 事故の軌跡

本事故は、SMS防護層及びリスクマネジメント防護層に生じた2つのホールによって起きたことから、事故の軌跡が2つのホールを突き抜けて事故が起きたことを示した。

(3) 即発的エラーが起きた場所

一等航海士は、閉鎖区域内の雰囲気酸素欠乏であることを認識しておらず、リスクマネジメント防護層のリスク特定のプロセスでホールが生じた。

一等航海士の即発的エラーは、荷役中、貨物タンクの雰囲気測定せずに防毒マスクを装着して貨物タンクに入ったことである。ホールの定義は、荷役中、貨物タンクの雰囲気(酸素濃度、ガス濃度など)を測定せずに人が貨物タンクに入ることであった(第3章 3.3.2 参照)。したがって、図 8-3 のとおり、一等航海士の即発的エラーは、リスク特定のプロセスに関連し、リスクが受容できない領域で起きたことを示した。

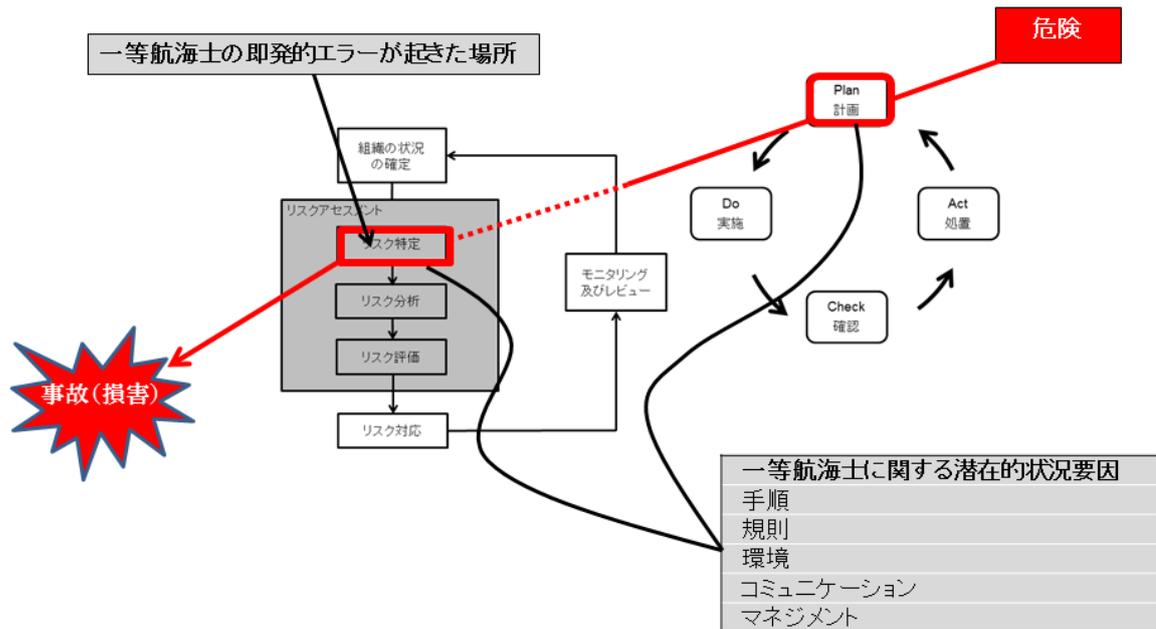


図 8-3 ケミカルタンカー第二旭豊丸にかかる事故モデル

実例 4：コンテナ船 ANNA MAERSK 乗組員死傷事故

2012 年（平成 24 年）3 月 27 日 11 時 15 分ごろ阪神港神戸区六甲アイランドコンテナふ頭岸壁に着岸し、救助艇の訓練中に発生したコンテナ船 ANNA MAERSK 乗組員死傷にかかる事故モデルは図 8-4 のとおりであった。

(1) 防護層の配列

本事故では、SMS 防護層のホールは、船舶管理会社が、2011 年（平成 23 年）1 月 6 日に船級協会から貨物船安全設備証書の発行を受けたこと、同年 12 月 13 日に同管理会社が内部監査を実施したものの無負荷離脱装置（Off-load release hook）に関する指摘はなかったことから、本事故時の一等航海士にかかるリスクマネジメント防護層よりも先行していることが確認された。したがって、深層防護は、リスクマネジメント防護層を事故の直前に配置した。

(2) 事故の軌跡

事故調査の結果、ANNA MAERSK が装備していた救助艇の無負荷離脱装置

はスイベルのシャックルピンの離脱を防止する安全対策が考慮されていないことが明らかになり、また、局所的作業現場で、一等航海士は、救助艇降下時の手順を規程どおりに行っており、リスクマネジメント防護層は機能し、即発的エラーは起きていなかったことが確認された。したがって、本事故は、SMS 防護層に生じたホールによって起きたことから、事故の軌跡が 1 個のホールを突き抜けて事故が起きたことを示した。

(3) 即発的エラーが起きた場所

ホールの定義は、救助艇に乗艇して訓練中、装置に不具合が生じ、救助艇が海面に落下することであった（第 3 章 3.3.2 参照）。前記(2)のとおり一等航海士にかかるリスクマネジメント防護層は機能しており、即発的エラーが起きていなかったことから、リスクマネジメント防護層のホール及び即発的エラーは描かなかった。

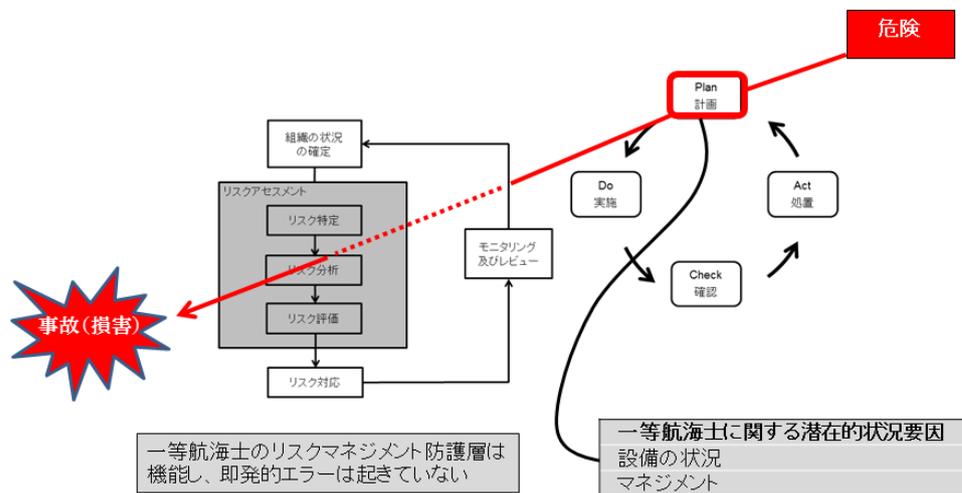


図 8-4 コンテナ船 ANNA MAERSK にかかる事故モデル

8.3.2 深層防護を構成する防護層の数

第 4 章 4.4.1 から、調査対象とした船舶事故 89 件 124 隻において、局所的作業現場である 1 隻の船舶に、SMS 防護層又はリスクマネジメント防護層のいずれかが存在したのが 61 隻、SMS 防護層が 1 つ及びリスクマネジメント防護層が 1 つ存在したのが 46 隻であった。SMS 防護層又はリスクマネジメント防護層のどちらか 1 つ存在した主な理由は、船舶事故調査報告書に組織要因又は局所的作業現場要因が記載されていないことによるものであった。

したがって、組織が関与した船舶事故の事故モデルの防護層の数は、組織要因が存在しない漁船を除き、全ての船舶で、組織要因及び局所的作業現場要因が存在し、SMS 防護層とリスクマネジメント防護層で構成されていると考えられる。

8.3.3 防護層の配列が並列になる事例

調査対象とした船舶事故 89 件で防護層が並列に描かれた事例は、衝突事故 5 件（5 隻）、単独衝突事故 1 件、乗揚げ事故 1 件、死傷事故 3 件の合計 10 件であった。これらの船舶事故 10 件は、2 つの組織が事故に関与していた。衝突事故及び乗揚げ事故は水先人が水先業務を、単独衝突事故は石油会社のバースマスターが着岸操船をそれぞれ行っている際に起きていた。死傷事故は、荷役会社又は係離船会社の作業員が、荷役、綱取り作業などを行っている際に起きていた。

8.3.4 事故モデル及び数量化事故モデル

船舶事故 89 件に適用できるモデルは、図 8-5 及び図 8-6 に示した。図 8-5 は事故モデルであり、深層防護が SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層で構成され、各防護層のホールは計画とリスク分析のプロセスで最も多く生じ、事故の軌跡がこれらのホールを突き抜けていることを示した。潜在的状況要因は、ホールを生じさせることから、各防護層に生じたホールと連結するとともに、各潜在的状況要因が全体に占める割合を記載した。

図 8-6 は数量化事故モデルであり、図 8-5 の事故モデルに、第 5 章 5.3 のホール発生場所とホール発生数の関係、第 7 章 7.3 の潜在的状況要因の実数と事故発生隻数との関係を示す重回帰式を統合した。重回帰式には、各潜在的状況要因が事故発生隻数に及ぼす影響度を表す標準偏回帰係数を括弧書きで付し、「航海計画」、「手順」、「規則」のソフトウェア及び「コミュニケーション」、「チームワーク」、「マネジメント」の周辺に位置するライブウェアが、影響度が大きいことを示した。

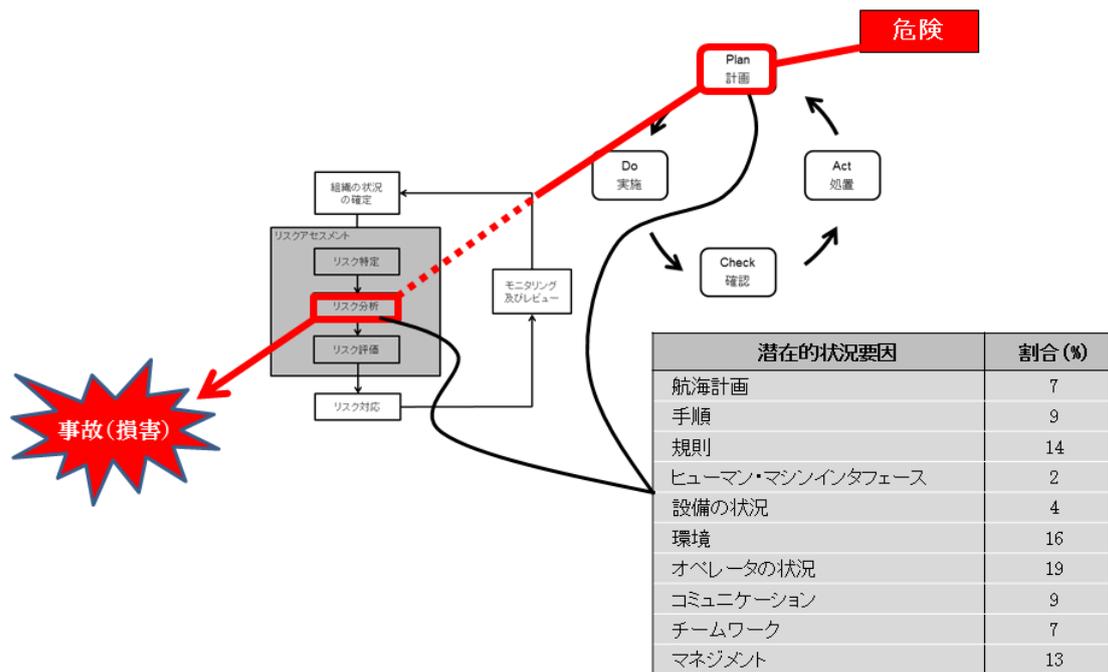


図 8-5 事故モデル

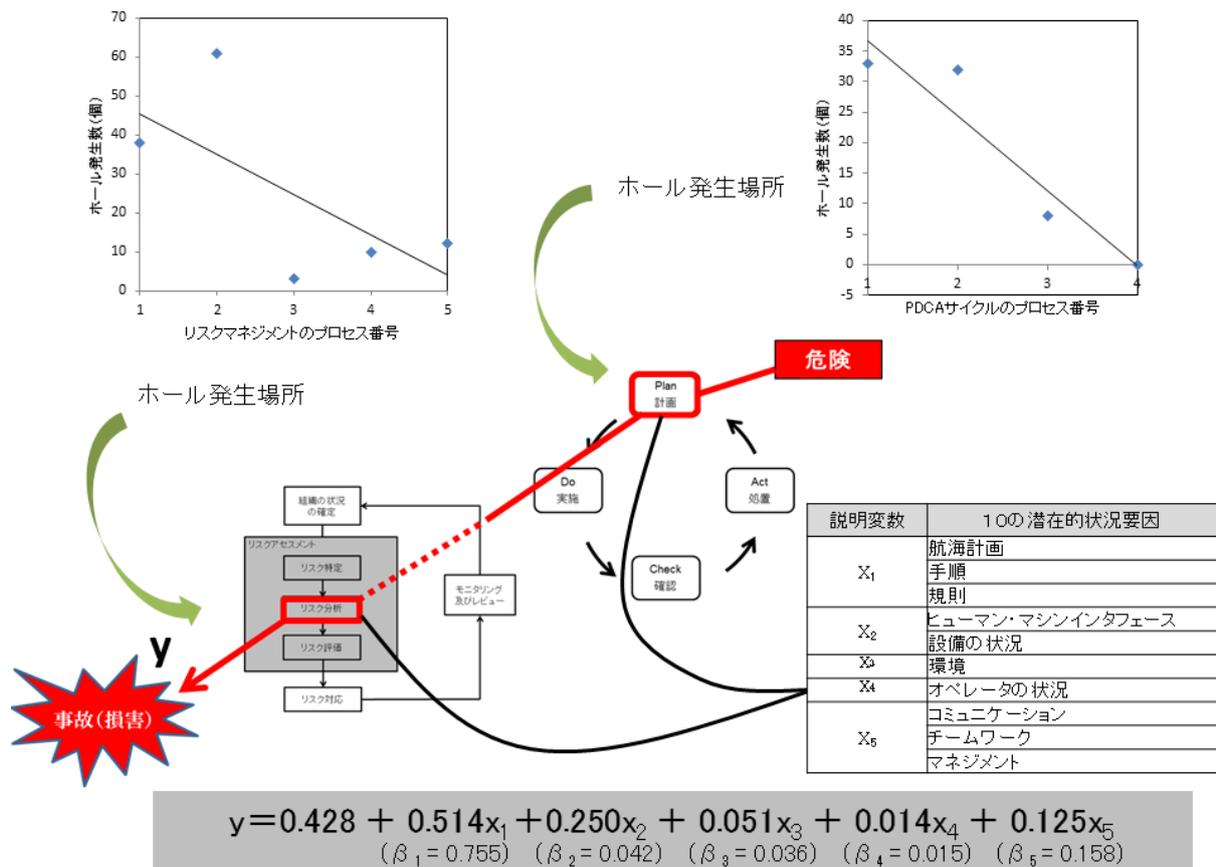


図 8-6 数量化事故モデル

8.4 考 察

SMS 防護層とリスクマネジメント防護層を統合した事故モデルをスイスチーズモデルと対比して議論したあと、スイスチーズモデルが船舶事故に適用できる点とできない点を明らかにするとともに、第 2 章 2.4 で示したスイスチーズモデルの問題点について本件研究で得られた結果に基づいて考察を行い⁽¹¹⁷⁾、体系的な事故防止策を提案した。

8.4.1 事故モデル

(1) 各防護層の配列

実例 1 の貨物船 MEDEA 漁船孝盛丸衝突事故のように 2 つの組織が事故に関与した場合、時系列に基づいて防護層を直列に配置しようとするれば、水先人会の SMS 防護層が最も事故に遠く配置され、次に MEDEA の船舶管理会社の SMS 防護、そして水先人のリスクマネジメント防護層、事故の直近に MEDEA 船長のリスクマネジメント防護層が位置するものと考えられる。この配列の場合、水先人会の SMS 防護層で生じたホールが、水先人の衝突回避動作の手順に影響を及ぼしたとことが確認されたものの、組織がオペレータに及ぼした影響を表すことができないという不都合が生じる。また、同様に MEDEA 船長が水先人と他船の存在及び動静について情報を共有しなかったのは、MEDEA の船舶管理会社が SMS で水先人と船橋チームが接近する船舶の情報を共有することについて定めていなかったこと、及び MEDEA 船長が BRM の訓練を受けていなかったことによるものであり、組織がオペレータに及ぼした影響を表すことができない。実例 1 は、複数の組織に属するオペレータが局所的作業現場に同時に存在した場合、スイスチーズモデルに描かれたように各防護層を直列に配置することができないことを明らかにした。

実例 1 を含め防護層が並列に描かれた事例は 10 件であった。

したがって、第 2 章で示した後期 1SCM の理論は、単独の組織又は製造業のように複数の組織に属するオペレータが局所的作業現場に同時に存在しない組織事故を説明することを想定しており、水先人又はバースマスターが乗船中の船舶事故のように複数の組織に属するオペレータが局所的作業現場に同時に存在して起きた組織事故は考慮していなかった可能性があると考えられる。

(2) 事故の軌跡

リーズンは、ホールが一行に並び、事故の軌跡が全てのホールを突き抜けるときに事故が起きると述べている。しかし、第 4 章 4.4.2 では、8 組織の SMS 防護層に 2 個のホールが生じ、4.4.3 では 5 つのリスクマネジメント防

護層に2個以上のホールが生じたことが確認された。この研究結果は、本研究の調査対象が全て事故であること、及び2個以上のホールが防護層に生じたときには深層防護のホールが一行に並ぶことができないことから、SMS防護層とリスクマネジメント防護層がスイスチーズモデルの防護層であると仮定した場合、事故は事故の軌跡が防護層を突き抜けたときに発生するが、事故の軌跡は事故に関連するホールを突き抜けるときに一直線ではないことが認められた。したがって、事故の軌跡は、図8-5のように各ホールを突き抜ける屈曲した線を用いて、事故発生の状況を表すことができるものと考えられる。

(3) 潜在的状況要因の抜け道

リーズンは、スペースシャトル・チャレンジャー号爆発事故の発生を、局所的作業現場で即発的エラーが生じなくても事故が起きる潜在的状況要因の抜け道に該当すると説明した。潜在的状況要因の抜け道は、第2章2.4の組織事故の進展と事故調査の過程を示す後期2SCMでは描かれているが、後期1SCMでは明確でなかった。

実例4のコンテナ船ANNA MAERSK乗組員死傷事故は、無負荷離脱装置に取り付けられたスイベルのシャックルピンが離脱するのを防止する安全対策を考慮していないことが明らかになっており、無負荷離脱装置の設計に起因する事故であった。また、局所的作業現場ではリスクマネジメント防護層が機能していたことが確認された。設計に起因するSMS防護層のホールは、たとえ局所的作業現場でオペレータがリスクマネジメントプロセスを適切に運用していても、ホールがリスクマネジメントの各々プロセスで生じると同じ効果があると考えられる。したがって、潜在的状況要因の抜け道は、図8-4のとおりリスクマネジメント防護層が機能していても、事故が起きることを明確にするため、事故の軌跡をホールが生起していないリスクマネジメント防護層を突き抜ける線を用いることによって、事故発生の状況を表すことができるものと考えられる。

第4章4.4.3で、実例4と同じように潜在的状況要因の抜け道が生じた事故が、実例4を含めて死傷事故3件、火災事故3件及び沈没事故1件の合計7件で確認された。

8.4.2 スイスチーズモデルが適用できる点

(1) 深層防護

スイスチーズモデルは複数の防護層から成る深層防護が描かれており、調査対象とした89件124隻の船舶事故では、54隻に2つ以上の防護層が存在

したことが確認された（第4章4.4.1参照）。また、前記8.3.2から、本研究の調査対象とした船舶事故89件では、組織要因が存在しない漁船を除く、全ての船舶に、組織要因及び局所的作業現場要因が存在し、SMS防護層とリスクマネジメント防護層の2種類の防護層で構成されていると考えられる。これらの結果は、複数の防護層から成る深層防護の存在を実証し、リーズンの主張を確認したものと考えられる。

(2) ホールの移動

リーズンは、人は起こる可能性のある事故のシナリオをすべて予測できないことから、ホールが、システムを立ち上げた時にすでに潜在的状況要因によって生じ、又はシステムを運用している際、気付かれずあるいは少なくとも修正されずに発展すると述べ、ホールが常に場所を移動し、閉じたり、開いたりしていると主張している⁽¹¹⁸⁾。第3章3.4の結果から、SMS防護層及びリスクマネジメント防護層で生じたホールが、事故発生までの間、これらの防護層を移動することが確認された。また、第4章4.4.2及び4.4.3の結果から、ホールは、必ずしも同じ場所に発生しないことが認められた。これらの結果は、ホールが常に場所を移動することを実証し、リーズンの主張を確認したものと考えられる。

(3) 組織要因の局所的作業現場への影響

第3章の実例1の貨物船MEDEA漁船孝盛丸衝突事故及び実例3のケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡事故では、組織で生じたホールが局所的作業現場に影響を及ぼし、即発的エラーが生じたことが確認された。これらの結果は、組織要因が局所的作業現場に影響を及ぼし、即発的エラーを助長する要因となることを実証し、リーズンの主張を確認したものと考えられる。

(4) 事故の軌跡が突き抜けないホールの存在

スイスチーズモデルは、事故の軌跡が突き抜けるホール以外に多くのホールが防護層に描かれているが、これらのホールの存在について、次のとおりである。

- ① 事故の軌跡が突き抜けないホールは、事故モデルのSMS防護層及びリスクマネジメント防護層でホールが生じていないプロセスを示した可能性がある。
- ② 運輸安全委員会が行った船舶事故調査は、事故の原因及びその背後要因を明らかにすることであり、当該事故に関与しない不安全行動（即発的エラー及び違反）及び潜在的状況要因を調査対象にしておらず、これらを船

舶事故調査報告書に記載していない。したがって、事故の軌跡が突き抜けないホールは、これらの潜在的状況要因によって SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層に生じたホールを描いた可能性がある。

(5) 潜在的状況要因の抜け道

前記 8.4.1(3)のとおり、事例 4 のコンテナ船 ANNA MAERSK 乗組員死傷事故は、局所的作業現場で即発的エラーが生じなくても、無負荷離脱装置の設計に起因する SMS 防護層に生じたホールによって、事故が起きたことを実証し、リーズンが主張する潜在的状況要因の抜け道を確認したものと考えられる。事例 4 を含む死傷事故 3 件、火災事故 3 件、沈没事故 1 件の合計 7 件で局所的作業現場の即発的エラーが生じなくても事故が起きたことが認められた。

8.4.3 スイスチーズモデルが適用できない点

(1) 直列に描かれた深層防護

スイスチーズモデルは深層防護が直列に描かれている。しかし、前記 8.4.1(1)記載のとおり、事例 1 の貨物船 MEDEA 漁船孝盛丸衝突事故では、防護層を直列に描くことができなかった。したがって、後期 1SCM で描かれた防護層は、水先人が乗船中の船舶事故のように複数の組織に属するオペレータが局所的作業現場に同時に存在して起きた組織事故を想定していなかった可能性があると考えられる。

(2) 1つの防護層に生じたホール発生数と事故の軌跡

リーズンは、事故は、各防護層に生じたホールが一行に並び、事故の軌跡がこれらのホールを突き抜けるときに起きると述べている。しかし、前記 8.4.1(2)記載のとおり、8 組織の SMS 防護層に 2 個のホールが生じ、5 つのリスクマネジメント防護層に 2 個以上のホールが生じたことが確認されたことから、実際の船舶事故では、事故の軌跡が突き抜けるホールは、1 つの防護層に 2 個以上生じる場合があることが明らかになり、事故の軌跡は屈曲していることが認められた。

スイスチーズモデルの理論では、事故の軌跡が突き抜けるための各防護層に生じるホールは 1 個であると仮定しているが、実際の事故では、事故の軌跡が突き抜けるホールが 2 個以上生じることを想定していなかった可能性があると考えられる。

(3) 事故を防止するために閉じるべきホール

スイスチーズモデルの理論では、事故の軌跡が防護層を突き抜けないように防護層に生じた1個のホールを閉じれば事故を防止できる。しかし、前記(2)は、複数のホールが1つの防護層に生じた場合、これら複数のホールをすべて閉じなければ、事故は防止できないことを示していると考えられる。

8.4.4 スイスチーズモデルの問題点に関する研究結果

Dekker (2006)、Wiegmann と Shappell (2003)、リーズン、Hollnagel、Paries (2006)の先行研究におけるスイスチーズモデルの問題点は次のとおりである。

- (1) ホールを構成するもの
- (2) ホールが発生する理由
- (3) ホールの発生場所及び移動
- (4) ホールの開閉
- (5) 事故が起きるためにホールが一行に並ぶ理由

各問題点を、第3章から本章までの研究結果に基づいて考察すれば、次のとおりであった。

(1) ホールを構成するもの

ホールを構成するものについては、第3章3.3.1で、ホールは、いかなる理由があってもリスクが正当化されないことを示す「リスクが受容できない領域」にあるときに生じると定義し、さらに次のとおり船舶事故の事故種別にホールを具体的に定義して示した。

衝突事故では、両船が避航船の最大縦距内又は旋回径内（追越しで衝突した場合）に接近すること。単独衝突事故では、危険物（防波堤、養殖施設など）に旋回径内で接近すること。乗揚げ事故では、船舶が No-go エリアに進入し、危険物（暗岩、浅瀬など）に向けて航行すること。死傷事故（人が閉鎖区域に立ち入って事故が発生した場合）では、荷役中、人が貨物タンクの雰囲気（酸素濃度、ガス濃度など）を測定せずに貨物タンク、ポンプ室などの閉鎖区域に入ること。火災事故では、危険物（燃料油、潤滑油などの可燃物）が容器から出ること。爆発事故では、可燃性ガスが存在する場所で、人が火気を使用すること。沈没事故及び転覆事故では、船舶が航行中、復原力が低下し船舶の安定性が劣る状況に至ること。これらの事故種別の定義がホールを構成するものに該当すると考えられる。なお、これらの定義は一部であり、詳細は、「用語の定義」の「ホール」を参照。

(2) ホールが発生する理由

スイスチーズモデルでホールが発生する理由は、ホールと潜在的状況要因との関係を明らかにすることによって示した。

ホールを生じさせる潜在的状況要因は、第 6 章 6.2.2 で船舶事故に適用できる潜在的状況要因を 10 に分類し、6.3.2 で事故種類別に潜在的状況要因を特定するとともに、6.4.2 で事故種類別にホールが生じる状況のパターンについて明らかにした。つまり、第 3 章で定義したホールが発生するのは、事故種類別に示されたホールが生じる状況のパターンによるものと考えられる。

例えば衝突事故の場合、ホールは、両船が避航船の最大縦距内又は旋回径内（追越しで衝突した場合）に接近することであり、このホールは、6.4.2(1) のとおり、船舶が輻輳海域又は狭い水道など地理的特徴のある海域を航行中、オペレータ（操船者）が、思い込みなどの心理的限界によって、不十分な情報に基づいて他船との衝突のおそれを憶測しないことなどと定めた国際海上衝突予防規則から乖離しているときに生じる。ホールは、また、オペレータが、他船の動静について船橋チームなどとコミュニケーションを行っていないこと、組織が、これらの海域における安全な運航に関する手順書を設けていないこと、又は設けてもオペレータが順守しないことによって生じる。

(3) ホールの発生場所及び移動

ホールの発生場所及び移動は、リーズンの次の主張を実証することによって示した。

前記 8.4.2(2) のとおり、リーズンは、人は起こる可能性のある事故のシナリオをすべて予測できないことから、ホールが、システムを立ち上げた時にすでに潜在的状況要因によって生じ、又はシステムを運用している際、気付かれずあるいは少なくとも修正されずに発展すると述べ、ホールが発生し、移動することを主張している。第 3 章 3.4、第 4 章 4.4.2 及び 4.4.3 の結果は、ホールの発生場所は事故種類によって異なり、必ずしも同じではないことが確認されるとともに、ホールが SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層のプロセスを移動することが認められ、リーズンの主張を確認したものと考えられる。

(4) ホールの開閉

ホールの開閉については、リスクの概念を応用して示した。

第 3 章で SMS 防護層とリスクマネジメント防護層の各プロセスで「リスクが受容できない領域」にあるときにホールが生じると定義し、各プロセスに焦点を当てて実際の船舶事故 4 件を調査・分析した結果、ホールが防護層のプロセスで生じることが確認された。ホールを閉じることについても、前記船舶事故 4 件で、ISO/IEC ガイド 51 のリスク低減方策を用いれば、防護

層に生じたホールを閉じる方策を導き出せることが確認された。

(5) 事故が起きるためにホールが一行に並ぶ理由

事故が起きるためにホールが一行に並ぶことについては、前記 8.4.4(2)のとおり、本研究の調査対象とした船舶事故 89 件では、事故の軌跡が突き抜けるホールが、1つの防護層に 2 個以上生じる場合があり、ホールが一行に並ぶことができないことが明らかになったことから、事故の軌跡は屈曲していることが認められた。この結果は、防護層のホールが一行に並んだときに事故の軌跡が突き抜けて事故が起こるとするスイスチーズモデルの理論とは異なるとともに、事故を防止するには防護層に生じたすべてのホールを閉じる必要があることを示したものである。

8.4.5 事故モデルなどを用いた体系的事故防止策

Wiegmann と Shappell は、スイスチーズモデルが体系的に事故分析及び事故防止に使用されるためにはホールを明確にする必要があると述べている。本研究で、スイスチーズモデルの未解決の問題点が前記 8.4.4 のとおり明らかになったことから、次の事故防止策を体系的に講じることができるものと考えられる（図 8-7 参照）。

(1) 再発防止策

事故の再発防止策には、次の手順で措置を講じる必要がある。

- ① 自社で発生した船舶事故の調査を行う際、SHEL モデルを用いて事故に関連する証拠を網羅的に収集する。
- ② 第 3 章 3.3.1～3.3.4 の解析手法を用いてホール発生場所を明確にし、第 6 章 6.2.2 表 6-2 の船舶事故に適用できる潜在的状況要因の分類に従って当該船舶事故に関与した潜在的状況要因を特定する。
- ③ ②から、本章 8.3.4 図 8-5 の事故モデルを作成する。
- ④ 再発防止のため、ホールを生じさせた全ての潜在的状況要因を是正するが、その際には、第 3 章 3.3.5 図 3-4 のリスク低減方策を用いなければならない。
- ⑤ 組織及びオペレータは、事故発生後に運航及び作業を行う際には、③で作成した当該船舶事故に適用される事故モデルを活用することに加え、第 6 章 6.4.2 で示されたホールが生じる状況のパターン、本章 8.3.4 図 8-6 の数量化事故モデルで潜在的状況要因が事故発生に及ぼす影響に注意しなければならない。
- ⑥ 組織は、前記⑤の措置が組織及び局所的作業現場で実施されていることを定期的に確認し、PDCA サイクルを実行して安全を確保する。

(2) 未然防止策

Heinrich (1959) は、安全管理が、製品の品質管理と類似していることを指摘している。飯塚 (2009)、山田 (2006) によれば、品質管理では管理する課題又は製品の不具合項目を選定する際にパレート図を活用している(119)(120)。

事故の未然防止策には、組織が利用できるリソースが限られていることを前提条件とすれば、パレート図の活用を含め、次の手順で措置を講じる必要がある。

- ① 自社で多く発生している事故種類を明らかにする。
- ② ①の事故種類について、事故発生後に自社で調査した海難報告書、事故調査報告書などから、ホール発生場所は第 3 章 3.3.1～3.3.4 の解析手法、潜在的状況要因は第 6 章 6.2.2 表 6-2 を用いて特定する。
- ③ ②で特定されたホール発生場所及び潜在的状況要因を、第 4 章 4.4.2 表 4-4 の組織におけるホール発生場所及び 4.4.3 表 4-5 の局所的作業現場におけるホール発生場所並びに第 6 章 6.3.2 表 6-4 の事故種類別の潜在的状況要因と対比する。そして、自社の事故調査で特定されていなかったホール発生場所及び潜在的状況要因が存在していた場合、ホール発生場所及び潜在的状況要因を再調査し、追加する。
- ④ ③で特定されたホール発生場所及び潜在的状況要因から、本章 8.3.4 図 8-5 の事故モデルを作成する。
- ⑤ ③で特定された潜在的状況要因は、第 3 章 3.3.5 図 3-4 のリスク低減方策を用いて是正しなければならない。
- ⑥ 組織及びオペレータは、船舶の運航及び作業を行う際には、第 6 章 6.4.2 で示されたホールが生じる状況のパターン、本章 8.3.4 図 8-6 の数量化事故モデルで潜在的状況要因が事故発生に及ぼす影響に注意しなければならない。
- ⑦ 組織は、前記⑥の措置が組織及び局所的作業現場で実施されていることを定期的に確認し、PDCA サイクルを実行して安全を確保する。
- ⑧ ①～⑦までは、本研究のデータに基づいた未然防止策であるが、自社のデータが蓄積した段階では、次の手順で、独自の数量化事故モデルなどを作成し、措置を講じる必要がある。
 - (イ) 組織は、前記(1)再発防止策で調査したデータも含め、ホール発生場所、潜在的状況要因、事故発生数のデータを蓄積し、第 5 章のホール発生場所とホール発生数の散布図、第 6 章の潜在的状況要因のパレート図を作成して自社が事故防止策で努力を集中すべき場所を明確にすることに加え、ホールが生じる状況のパターンを明らかにする。

- (ロ) (イ)で得られた潜在的状況要因と事故発生数のデータから、第7章 7.2の解析手法を用いて重回帰式を求め、自社に適用される本章 8.3.4 図 8-6 の数量化事故モデルを作成する。
- (ハ) 組織及びオペレータは、(ロ)の数量化事故モデルを参考にして前記⑥及び⑦を実施する。

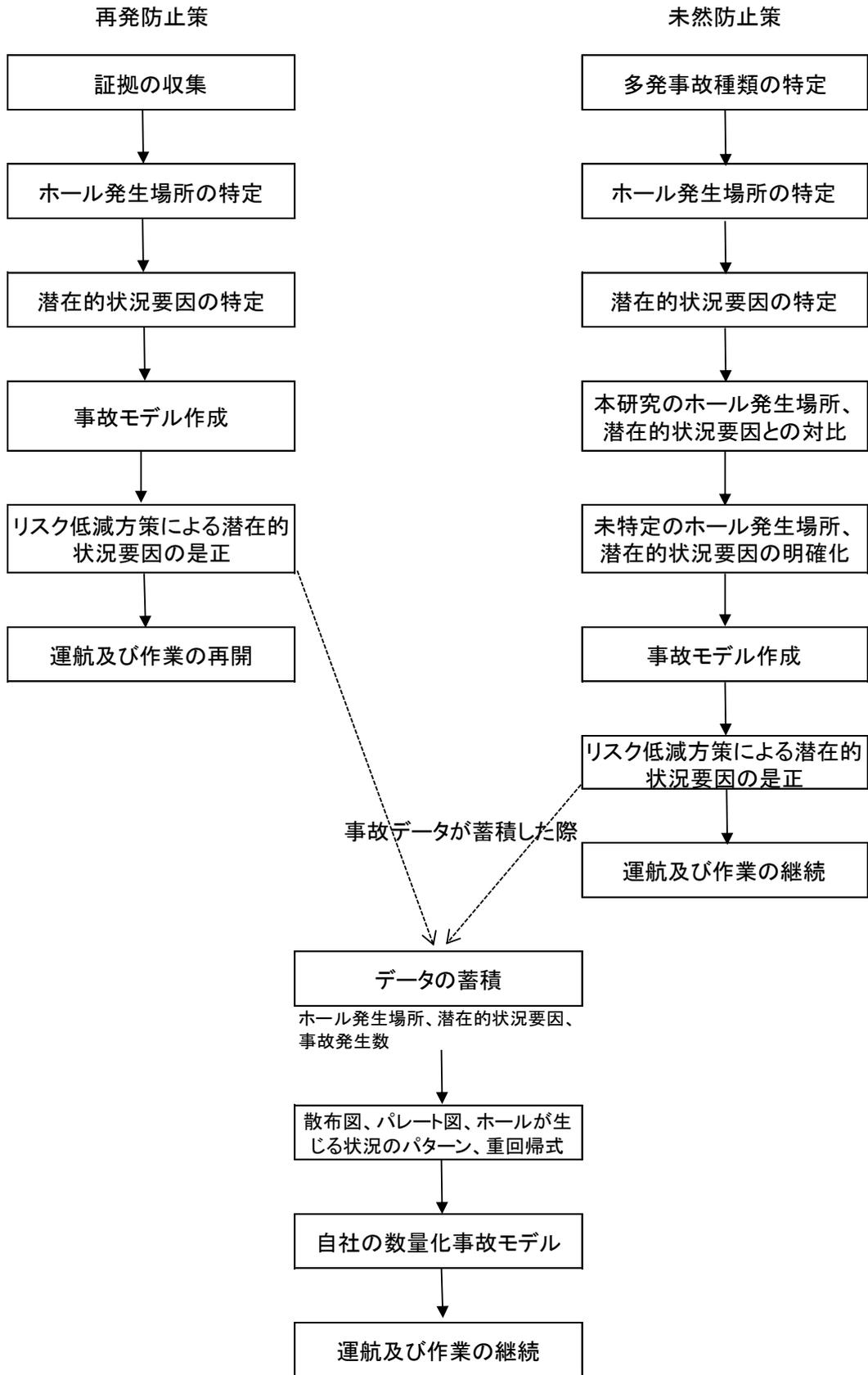


図 8-7 体系的事故防止策

(3) 他分野での適用

スイスチーズモデルは、海事分野に限定されたものではなく航空機、鉄道などの運輸及び医療分野の組織事故の分析に多く用いられている。

図 8-5 及び図 8-6 に描かれた事故モデルは、本研究の調査対象となった船舶事故 89 件の一般的な事故モデルであり、SMS 防護層とリスクマネジメント防護層が直列に並んでいる状態を基本的な防護層の配列とするものの、水先人が乗船中の船舶事故のように複数の組織に属するオペレータが局所的作業現場に同時に存在して事故が起きた場合には、防護層が図 8-1 で示したように並列になることがある。

一つの組織が、生産活動の目的を達成するために他の組織と関係する態様、並びにこれらの組織及び局所的作業現場でホールを生じさせる潜在的状況要因の内容は各分野で異なることから、本研究で定義した 10 の潜在的状況要因を適用することはできない。しかし、潜在的状況要因を各分野に適合するように修正すれば、本研究で用いた解析手法及び事故モデルは、リスクマネジメントと SMS が運用されている分野で起きた組織事故に利用でき、事故の再発防止及び未然防止に寄与できるものと考えられる。

8.4.6 本研究の制限

第 4 章の事故種類別のホール発生場所の特定から本章の事故モデルの構築及び事故防止策までの研究結果について、次のとおり 5 つの制限がある。

- (1) 本研究は、船舶事故調査報告書の記載内容に基づいてホールの発生場所及び移動、潜在的状況要因の特定を行ったが、同報告書に組織要因が記載されていないものがあつた。このことは、本研究結果の組織の防護層の数、組織のホール発生場所の正確さに影響を与えるとともに、潜在的状況要因の 1 つであるマネジメントが過小評価されたものと考えられる。
- (2) 船舶事故調査報告書の組織要因の記載内容は、手順書と安全管理の実施の有無に関するものが多く、ISM コードに規定された機能要件、人的資源の適切な配分などのリソースマネジメント、安全文化などが記載されていないものが多かった。このことから、潜在的状況要因のマネジメントの内容は細分化できなかつた。事故調査機関が公表した船舶事故調査報告書に安全文化、企業風土などの組織要因が記載されていないことについては、Chauvin(2013)⁽¹²¹⁾、Schroder-Hinrichs (2011) ら⁽¹²²⁾が指摘しており、世界の事故調査機関に共通する課題である。その一つの要因は、船舶の安全管理を行っている組織の多くが国外に所在しているため、事故調査機関が直接組織に立ち入って安全文化などの調査を行ういことができないことによるものと考えられる。
- (3) 本研究の調査対象とした事故種類では、火災、爆発、転覆、沈没の重大船

船事故の標本が少なかった。したがって、これらの事故種類のホール発生場所及び潜在的状況要因の結果の正確さ、並びにホールが生じる状況のパターンの結果に影響を与えたものと考えられる。

- (4) 本研究は、SMS 防護層とリスクマネジメント防護層を、スイスチーズモデルの深層防護として展開した。これらの防護層はソフトであり、ハードの防護層は扱っていない。リーズンによれば、防護層はハード (hard defense) とソフト (soft defense) で構成されており、ハードには技術機器 (technical devices) が含まれると述べている⁽¹²³⁾。技術機器には電子海図表示情報システム (ECDIS : electronic chart display and information system) が含まれ、この機器の製造者は、ISO9001 (品質マネジメントの国際規格) によって品質管理が義務付けられ、PDCA サイクルを実行している⁽¹²⁴⁾。つまり、ハードについてもホール発生場所及び潜在的状況要因を知ることができる。

しかし、これらの技術機器は外国で生産されている場合、専ら自国の領海内で発生した事故を調査する船舶事故調査機関は、技術機器の製造者にかかるホール発生場所及び潜在的状況要因について調査を行うことに限界が生じている。航空分野では、機器の製造者が国際民間航空条約附属書 13 (Annex13 to the Convention on International Civil Aviation) に基づき事故調査に参加できる。IMO が同様な条約を採択し、ECDIS の製造者が重大船舶事故調査に参加できるようになれば、この問題は解決できるものと考えられる。

- (5) 事故モデルは、複数の評価者を用い、調査対象とした船舶事故 89 件の船舶事故調査報告書を分析してホール発生場所と発生数及び潜在的状況要因を特定するなど、事故モデルの信頼性に関する実験を行っていない。信頼性を高めるには、評価者の判断に主観的要素が入らないように工夫する必要がある。Manuel (2011) は、オペレータのリスク認識は主観的であると述べている⁽¹²⁵⁾。第 3 章のホールの発生場所及び移動の解析手法で、衝突事故、乗揚げ事故、死傷事故については、リスクマネジメントの各プロセスと国際海上衝突予防規則、Swift 及び IMO が示す航海計画、IMO の「船上における閉鎖区域立ち入り改訂勧告」をそれぞれ対比し、手順とリスクマネジメントプロセスとの関係を明確にして主観的要素を排除しようと試みた。

死傷事故は、荷役作業、救命艇又は救助艇の降下訓練などを行っている最中に起きているが、船舶事故調査報告書には作業の手順が記載されていないものが多く、手順をリスクマネジメントの各プロセスと対比できないことから、ホール発生場所の特定に評価者の主観的要素が入る余地がある。したがって、オペレータが用いた手順が、船舶事故調査報告書に記載されれば、リスクマネジメントの各プロセスと対比でき、この問題を解決できるものと考えられる。

8.5 本章のまとめ

本章では、事故モデルを構築するとともに、スイスチーズモデルで未解決であった問題点を明らかにし、体系的な事故防止策を提案した。その結果は次のとおりである。

- (1) 図 8-5 の事故モデルは、SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層に生じたホール発生場所及びホールを生じさせた潜在的状況要因を明確にし、事故の軌跡は、これらのホールを突き抜ける屈曲した線で示した。また、潜在的状況要因の抜け道は、局所的作業現場でリスクマネジメント防護層が機能していても事故が起きることから、事故の軌跡がホールの生じていないリスクマネジメント防護層を突き抜ける線を用いて事故発生の状況を表した。同事故モデルは、SMS 防護層とリスクマネジメント防護層が直列に配置されることを基本的な深層防護としているが、各組織の SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層を並列に配置することによって、複数の組織に属するオペレータが局所的作業現場に同時に存在して事故が起きた状況を表すことができる。
- (2) スイスチーズモデルで未解決の問題点とされた、ホールを構成するもの、ホールが発生する理由、ホールの発生場所及び移動、ホールの開閉、事故が起きるためにホールが一行に並ぶ理由について、次のとおり明らかになった。
 - ① ホールを構成するものについては、第 3 章 3.3.1 で、ホールは、いかなる理由があってもリスクが正当化されないことを示す「リスクが受容できない領域」にあるときに生じると定義し、さらに船舶事故の事故種類別にホールを具体的に定義して示した。
 - ② ホールが発生する理由は、ホールと潜在的状況要因との関係を明らかにすることによって示した。ホールを生じさせる潜在的状況要因は、第 6 章 6.2.2 で船舶事故に適用できる潜在的状況要因を 10 に分類し、6.3.2 で事故種類別に潜在的状況要因を特定するとともに、6.4.2 で事故種類別にホールが生じる状況のパターンについて明らかにした。つまり、第 3 章で定義したホールが発生するのは、事故種類別に示されたホールが生じる状況のパターンによるものと考えられる。
 - ③ ホールの発生場所及び移動は、リーズンの次の主張を実証することによって示した。リーズンは、人は起こる可能性のある事故のシナリオをすべて予測できないことから、ホールが、システムを立ち上げた時にすでに潜在的状況要因によって生じ、又はシステムを運用している際、気付かれずあるいは少なくとも修正されずに発展すると述べ、ホールが発生し、移動することを主張している。第 3 章 3.4、第 4 章 4.4.2 及び 4.4.3 の結果は、ホールの発生場所は事故種類によって異なり、必ずしも同じではないこと

が確認されるとともに、ホールが SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層のプロセスを移動することが認められ、リーズンの主張を確認したものと考えられる。

- ④ ホールの開閉については、リスクの概念を応用して示した。第 3 章で SMS 防護層とリスクマネジメント防護層の各プロセスで「リスクが受容できない領域」にあるときにホールが生じると定義し、各プロセスに焦点を当てて実際の船舶事故 4 件を調査・分析した結果、ホールが防護層のプロセスで生じることが確認された。ホールを閉じることについても、前記船舶事故 4 件で、ISO/IEC ガイド 51 のリスク低減方策を用いれば、防護層に生じたホールを閉じる方策を導き出せることが確認された。
 - ⑤ 事故が起きるためにホールが一行に並ぶことについては、本研究の調査対象とした船舶事故 89 件では、事故の軌跡が突き抜けるホールが、1 つの防護層に 2 個以上生じる場合があり、ホールが一行に並ぶことができないことが明らかになったことから、事故の軌跡は屈曲していることが認められた。この結果は、防護層のホールが一行に並んだときに事故の軌跡が突き抜けて事故が起こるとするスイスチーズモデルの理論とは異なるとともに、事故を防止するには防護層に生じたすべてのホールを閉じる必要があることを示したものである。
- (3) 事故の再発防止策を講じる際、組織は、事故調査で SHEL モデルを用いて自社で発生した船舶事故に関連する証拠を網羅的に収集し、第 3 章 3.3 の解析手法でホール発生場所、第 6 章 6.2.2 の定義に従って潜在的状況要因を特定するとともに、当該船舶事故に適用される事故モデルを作成して事故発生の状況を明確にする。特定された潜在的状況要因は、第 3 章 3.3.5 のリスク低減方策を用いてすべて是正する。組織及びオペレータは、運航及び作業を再開する際には、ホールが生じる状況のパターン、潜在的状況要因が事故発生に及ぼす影響に注意し、潜在的状況要因の是正を定期的に確認する。
 - (4) 事故の未然防止策を講じる際、組織は、まず自社で多く発生している事故種類を調べ、自社で調査した当該事故種類のホール発生場所及び潜在的状況要因を、第 4 章 4.4.2 及び 4.4.3 記載の組織及び局所的作業現場におけるホール発生場所、並びに第 6 章 6.3.2 記載の潜在的状況要因と対比し、自社の事故調査で特定されていなかったホール発生場所及び潜在的状況要因が存在していた場合、それらのホール発生場所及び潜在的状況要因を追加する。次に明確にされた潜在的状況要因を、第 3 章 3.3.5 のリスク低減方策を用いて是正する。そして組織及びオペレータは、運航及び作業を継続する際には、ホールが生じる状況のパターン、潜在的状況要因が事故発生に及ぼす影響に注意し、潜在的状況要因の是正を定期的に確認する。組織は、また、ホール

発生場所、潜在的状況要因、事故発生数のデータが蓄積した際には、散布図、パレート図を作成して自社が事故防止策で努力を集中すべき場所、ホールが生じる状況のパターンを明確にするとともに自社の数量化事故モデルを作成し、これらのデータを事故の未然防止に活用する。

第9章 結論

本研究では、スイスチーズモデルの未解決の問題点を整理したのち、リスクマネジメント、PDCA サイクル及びプロセスアプローチの手法を用い、実際の船舶事故 4 件でホールの発生場所及び移動を解明するとともにホールを閉じる方策を示した。これらの船舶事故 4 件を含む 89 件の船舶事故について、船舶事故調査報告書に記載された内容に基づき、前記の手法を用いてホール発生場所を事故種類別に特定したのち、ホール発生場所とホール発生数のデータを数量分析してホール発生場所の傾向を解明した。次に船舶事故に適用できる潜在的状況要因について SHEL モデルなどを応用して 10 に分類したのち、89 件の船舶事故調査報告書に記載された事故要因を分析して潜在的状況要因を事故種類別に特定し、ホールが生じる状況のパターンを示した。さらに潜在的状況要因と事故発生隻数のデータを数量分析して潜在的状況要因が事故に及ぼす影響を解明した。最後にこれらの知見を踏まえ、事故モデルを構築し、スイスチーズモデルの未解決の問題点について本研究で得られた結果に基づいて考察を行うとともに、体系的な事故防止策について提案した。

本章では、次のとおり、本研究で得られた成果の要約、今後取り組むべき課題について述べる。

9.1 成果の要約

第1章は、船舶事故が発生した場合、多くの人命、財産が失われ、大きな損害をもたらすことから船舶事故発生数を削減することが重要な課題であること、事故の再発防止及び被害の軽減を目的として世界の船舶事故調査機関では、SHEL モデルを用いて事故に関連する証拠を収集し、疫学的事故モデルであるスイスチーズモデルを背景理論として事故の分析を行っていることを紹介した。

第2章は、船舶事故発生数を削減することを目的とし、事故モデルの歴史的背景、疫学的事故モデルの先行研究、本研究の背景となるスイスチーズモデルに関する問題点を整理し、本研究の意義と基本方針を明確にした。その結論は次のとおりである。

- (1) 社会技術システムで発生した組織事故の分析には疫学的事故モデルとシステムミック事故モデルが適しており、疫学的事故モデルを代表するスイスチーズモデルは、海事分野をはじめ多くの分野の事故分析に使用されている。
- (2) スイスチーズモデルには、ホールを構成するもの、ホール発生の理由、ホー

ル発生場所とその移動、ホールの開閉、事故が起きるためにホールが一行に並ぶ理由などについて未解決の問題点がある。

- (3) スイスチーズモデルは、ホールを明確にし、潜在的状況要因を事前に特定できれば、体系的に事故を未然に防止する措置を講じることができる。
- (4) 前記(1)～(3)を踏まえ、本研究では、スイスチーズモデル（後期1SCM）を基礎とし、ホールの発生場所及び移動並びにホールと潜在的状況要因との関係を明らかにしてスイスチーズモデルを発展させた事故モデルを構築するとともに、体系的な事故防止策を提案する。

第3章は、ホールをSMS防護層及びリスクマネジメント防護層で「リスクが受容できない領域」にあるときに生じるとして事故毎にホールを定義したのち、ホール発生場所を特定する手法を示し、ホールの発生場所及び移動、ホールを閉じる体系的方策に関し、実際の船舶事故（衝突事故、乗揚げ事故、死傷事故）4件を調査・分析し、次の結果を得た。

- (1) ホールの発生場所及び移動について、調査対象の船舶事故で、組織のホールは、SMS防護層の計画又は確認のプロセスで生じ、ホールは、事故発生までの間にSMS防護層のPDCAサイクルを移動したことが確認された。
- (2) 局所的作業現場のホールは、リスクマネジメント防護層のリスク特定、リスク分析又はモニタリング及びレビューのプロセスで生じ、ホールは、事故発生までの間にリスクマネジメントプロセスを移動したことが確認された。
- (3) (1)及び(2)の結果は、ホールはシステムを立ち上げた時にすでに潜在的状況要因によって生じ、又はシステムを運用している際に気付かれず、あるいは少なくとも修正されずに発展するというリーズンの主張を確認したものであると考えられる。
- (4) 事例1の貨物船MEDEA 漁船孝盛丸衝突事故及び事例3のケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡事故では、組織で生じたホールが局所的作業現場に影響を及ぼしたことが認められ、組織要因が局所的作業現場に影響を及ぼし、即発的エラーを助長する要因となる場合があるとするリーズンの主張を確認したものと考えられる。
- (5) 事例4のコンテナ船ANNA MAERSK乗組員死傷事故では、事故は、組織のSMS防護層にホールが生じた状況において、局所的作業現場でオペレータが即発的エラーを起こさなくても発生したことが認められ、リーズンが主張する潜在的状況要因の抜け道を確認したものであると考えられる。
- (6) ホールが閉じることは、事故を防止することであり、リスク低減方策に基づいてホールを閉じる対策を講じれば、潜在的状況要因によって生じたホールを体系的に閉じる方策を導き出せることが確認された。

第4章は、8つの事故種類別（衝突事故、単独衝突事故、乗揚げ事故、死傷事故、火災事故、爆発事故、沈没事故、転覆事故）のホール発生場所を明らかにするため、第3章で用いた船舶事故4件及び運輸安全委員会が2008年（平成20年）～2015年（平成27年）までに公表した重大船舶事故85件の合計89件の船舶事故を第3章と同じ解析手法で分析し、次の結果を得た。

- (1) 船舶事故全体の組織のSMS防護層に関し、ホールは、PDCAサイクルの計画プロセスで最も多く生じることが確認された。
- (2) SMS防護層で最も多くのホールが生じる場所は、事故種類によって異なり、必ずしも同じではないことが確認された。ホールは、衝突事故、単独衝突事故及び乗揚げ事故では実施プロセス、死傷事故では計画プロセスで最も多く生じ、事例が少なかったものの、火災事故では計画プロセス及び実施プロセス、爆発事故は実施プロセス、沈没事故は確認プロセスで生じたことが認められた。
- (3) 船舶事故全体の局所的作業現場のリスクマネジメント防護層に関し、ホールは、リスク分析のプロセスで最も多く生じ、次にリスク特定のプロセスで多く生じることが確認された。リスクマネジメント防護層で最も多くのホールが生じる場所は、事故種類によって異なり、必ずしも同じではないことが確認された。
- (4) 衝突事故では、ホールは、リスク分析のプロセスで最も多く生じ、ホール発生数は全体の72%であることが確認された。
- (5) 単独衝突事故では、ホールは、モニタリング及びレビューのプロセスで最も多く生じ、ホール発生数は全体の67%であることが確認された。
- (6) 乗揚げ事故では、ホールは、モニタリング及びレビューのプロセス、次にリスク分析で多く生じ、両方のプロセスで生じたホール発生数は全体の63%であることが確認された。
- (7) 死傷事故では、ホールは、リスク特定のプロセスで最も多く生じ、ホール発生数は全体の71%であることが確認された。

第5章は、第4章で得られたホール発生場所とホール発生数のデータを用い、ホール発生場所とホール発生数との相関関係を事故種類別に明らかにしてホール発生場所の傾向について分析し、次の結論を得た。

- (1) ホール発生場所（PDCAサイクル及びリスクマネジメントプロセスの順番）とホール発生数の相関関係は、事故種類で必ずしも同じではないことが確認された。
- (2) 衝突事故と死傷事故とでは事故発生形態が異なっているものの、ホール発生場所とホール発生数の一般的な傾向に共通点が認められ、この結果は、

組織及びオペレータがこれらの事故防止策を講じる際、PDCA サイクル及びリスクマネジメントの前期のプロセスに多くの努力を向ける必要があることを示したものである。

- (3) 単独衝突事故の局所的作業現場では、リスクマネジメントプロセスの順番とホール発生数は、とても強い正の相関であることが確認された。この結果は、オペレータが単独衝突事故の防止策を講じる際、リスクマネジメントの後期のプロセス、特に、モニタリング及びレビューが重要であり、このプロセスに多くの努力を向ける必要があることを示したものである。
- (4) 乗揚げ事故の局所的作業現場では、リスクマネジメントプロセスの順番とホール発生数は、相関がない、あるいはあったとしても弱い正の相関であることが確認された。この結果は、オペレータが乗揚げ事故の防止策を講じる際、リスクマネジメントの各々プロセスに努力を向ける必要があることを示したものである。

第6章は、航空分野などでヒューマンファクターの分類に用いられているSHELモデルが船舶事故に適用できるかについて第3章の船舶事故4件に同モデルを適用し、考察を行った。その結果を踏まえ、SHELモデルなどを応用して船舶事故に適用できる潜在的状況要因を10に分類し、調査対象とした船舶事故89件の潜在的状況要因を特定したのち、事故種類別にホールが生じる状況のパターン、つまり、どのような状況のときに第3章で定義されたホールが生じるのかについて分析し、次の結論を得た。

- (1) SHELモデルは、船舶事故において事故要因を網羅的に分類する際には有用であるが、船舶事故の事故要因を詳細に調査・分析するためには、SHELモデルの各要素を説明する用語を船舶事故に適用するように修正するとともに、「ソフトウェア」、「周辺に位置するライブウェア」をさらに細分化する必要があることが明らかになった。
- (2) 前記(1)のSHELモデルの評価を踏まえ、船舶事故に適用できる潜在的状況要因を、「航海計画」、「手順」、「規則」、「ヒューマン・マシンインタフェース」、「設備の状況」、「環境」、「オペレータの状況」、「コミュニケーション」、「チームワーク」、「マネジメント」の10に分類した。
- (3) 本研究の調査対象とした船舶事故89件について、衝突事故、乗揚げ事故、死傷事故の主な潜在的状況要因は、全体に占める割合が大きい順に次のとおりであった。
 - ① 衝突事故は、「規則」、「オペレータの状況」、「環境」、「コミュニケーション」、「マネジメント」であった。
 - ② 乗揚げ事故は、「環境」、「航海計画」、「オペレータの状況」、「コ

コミュニケーション」、「設備の状況」、「チームワーク」であった。

③ 死傷事故は、「手順」、「マネジメント」、「環境」、「オペレータの状況」、「チームワーク」であった。

(4) 前記(3)の主な潜在的状況要因と第4章のホール発生場所の研究結果を統合して、第3章で定義したホールが生じる状況のパターンを次のとおり事故種類別に導き出した。

① 衝突事故のホールは、船舶が輻輳海域又は狭い水道など地理的特徴のある海域を航行中、オペレータが、思い込みなどの心理的限界によって、他船と衝突するおそれがあるかどうかを判断する際、不十分な情報に基づいて他船との衝突のおそれを憶測しないことと定めた国際海上衝突予防規則から乖離しているときに生じるものと考えられる。ホールは、また、オペレータが、他船の動静について船橋チームなどとコミュニケーションを行っていないこと、組織が、これらの海域における安全な運航に関する手順書を設けていないこと、又は設けてもオペレータが順守しないことによって生じるものと考えられる。

② 乗揚げ事故のホールは、船舶が狭い水道など地理的特徴のある海域を航行中、オペレータが、心理的限界によって、あらかじめ決められた航海計画に従って進行しているかについて綿密かつ継続的に確認しないこと、船位について船橋チームなどとのコミュニケーションが行われないこと、乗組員の役割が明確でないこと又は役割を果たしていないこと、及びこれらの海域における安全な運航に関する手順が順守されないことによって生じるものと考えられる。ホールは、また、設備に欠陥が生じている状況下、船長が、航海計画の計画段階で、危険物に接近する必要がある場合、機関故障又は操船エラーが生じた際に乗揚げの可能性を最小限にするために危険物から十分遠ざかり、船舶が常に安全水域に存在するという最低限のルールを順守しないことによって生じるものと考えられる。

③ 死傷事故のホールは、オペレータが、荷役中、例えば、カーゴタンク内の酸素濃度などの雰囲気が悪化している状況下、酸素濃度検知器などの装置で雰囲気を計測しないことにより同タンク内のハザードを認識できないこと、乗組員、作業員などの役割が明確でないこと又は役割を果たしていないことによって生じるものと考えられる。ホールは、また、オペレータが、荷役中の安全について、経験、スキル、知識、教育・訓練が欠如していること、組織が荷役における安全な作業又は閉鎖区域に入る際の手順書を設けておらず又は手順書を設けた場合でもオペレータが順守しないことによって生じるものと考えられる。

第7章は、潜在的状況要因が事故に及ぼす影響を明らかにするため、第6章で得られた潜在的状況要因と事故発生隻数のデータを用いて数量分析を行い、次の結論を得た。

- (1) 潜在的状況要因でソフトウェア（「航海計画」、「手順」、「規則」）を x_1 、ハードウェア（「ヒューマン・マシンインタフェース」、「設備の状況」）を x_2 、環境（「環境」）を x_3 、中心に位置するライブウェア（「オペレータの状況」）を x_4 、周辺に位置するライブウェア（「コミュニケーション」、「チームワーク」、「マネジメント」）を x_5 、事故発生隻数を y として、重回帰分析を行えば、次式が得られた。

$$y = 0.428 + 0.514x_1 + 0.250x_2 + 0.051x_3 + 0.014x_4 + 0.125x_5$$

- (2) 標準偏回帰係数 β の値を%で表わし、この値を各 SHEL 要素が単独で事故発生隻数に及ぼす影響度とすれば、影響度が大きい順番にソフトウェア（75.5%）、周辺に位置するライブウェア（15.8%）、ハードウェア（4.2%）、環境（3.6%）、中心に位置するライブウェア（1.5%）であることが明らかになった。

第8章は、第3章～第7章までの研究結果に基づき、第3章の船舶事故4件を用いてホール及び潜在的状況要因を描いた事故モデルを構築し、スイスチーズモデルの未解決の問題点について本研究で得られた結果に従って考察を行ったのち、体系的な事故防止策について調べ、次の結論を得た。

- (1) 図 8-5 の事故モデルは、SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層に生じたホール発生場所及びホールを生じさせた潜在的状況要因を明確にし、事故の軌跡は、これらのホールを突き抜ける屈曲した線で示した。また、潜在的状況要因の抜け道は、局所的作業現場でリスクマネジメント防護層が機能していても事故が起きることから、事故の軌跡がホールの生じていないリスクマネジメント防護層を突き抜ける線を用いて事故発生の状況を表した。同事故モデルは、SMS 防護層とリスクマネジメント防護層が直列に配置されることを基本的な深層防護としているが、各組織の SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層を並列に配置することによって複数の組織に属するオペレータが局所的作業現場に同時に存在して事故が起きた状況を表すことができる。
- (2) スイスチーズモデルで未解決の問題点とされた、ホールを構成するもの、ホールが発生する理由、ホールの発生場所及び移動、ホールの開閉、事故が起きるためにホールが並ぶ理由について、次のとおり明らかになった。
 - ① ホールを構成するものについては、第3章 3.3.1 で、ホールは、いかなる理由があってもリスクが正当化されないことを示す「リスクが受容できない領域」にあるときに生じると定義し、さらに、船舶事故の事故種類別

にホールを具体的に示した。

- ② ホールが発生する理由は、ホールと潜在的状況要因との関係を示すことによって明確にした。ホールを生じさせる潜在的状況要因は、第 6 章 6.2.2 で船舶事故に適用できる潜在的状況要因を 10 に分類し、6.3.2 で事故種類別に潜在的状況要因を特定するとともに、6.4.2 で事故種類別にホールが生じる状況のパターンについて明らかにした。つまり、ホールは、事故種類別に示されたホールが生じる状況のパターンで発生することを示した。
 - ③ ホールの発生場所及び移動は、リーズンの次の主張を実証することによって示した。リーズンは、人は起こる可能性のある事故のシナリオをすべて予測できないことから、ホールが、システムを立ち上げた時にすでに潜在的状況要因によって生じ、又はシステムを運用している際、気付かれずあるいは少なくとも修正されずに発展すると述べ、ホールが発生し、移動することを主張している。第 3 章 3.4、第 4 章 4.4.2 及び 4.4.3 の結果は、ホールの発生場所は事故種類によって異なり、必ずしも同じではないことが確認されるとともに、ホールが SMS 防護層及びリスクマネジメント防護層のプロセスを移動することが認められ、リーズンの主張を確認したものと考えられる。
 - ④ ホールの開閉については、リスクの概念を応用して示した。第 3 章で SMS 防護層とリスクマネジメント防護層の各プロセスで「リスクが受容できない領域」にあるときにホールが生じると定義し、各プロセスに焦点を当てて実際の船舶事故 4 件を調査・分析した結果、ホールが防護層のプロセスで生じることが確認された。ホールを閉じることについても、前記船舶事故 4 件で、ISO/IEC ガイド 51 に示されたリスク低減方策を用いれば、防護層に生じたホールを閉じる方策を導き出せることが確認された。
 - ⑤ 事故が起きるためにホールが一系列に並ぶことについては、本研究の調査対象とした船舶事故 89 件では、事故の軌跡が突き抜けるホールが、1 つの防護層に 2 個以上生じる場合があり、ホールが一系列に並ぶことができないことが明らかになったことから、事故の軌跡は屈曲していることが認められた。この結果は、防護層のホールが一系列に並んだときに事故の軌跡が突き抜けて事故が起こるとするスイスチーズモデルの理論とは異なるとともに、事故を防止するには防護層に生じたすべてのホールを閉じる必要があることを示したものである。
- (3) 事故の再発防止策を講じる際、組織は、事故調査で SHELL モデルを用いて自社で発生した船舶事故に関連する証拠を網羅的に収集し、第 3 章 3.3 の解析手法でホール発生場所、第 6 章 6.2.2 の定義に従って潜在的状況要因を特定するとともに、当該船舶事故に適用される事故モデルを作成して事故の経

緯及び背後要因を明確にする。特定された潜在的状況要因は、第3章3.3.5のリスク低減方策を用いてすべて是正する。組織及びオペレータは、運航及び作業を再開する際には、ホールが生じる状況のパターン、潜在的状況要因が事故発生に及ぼす影響に注意し、潜在的状況要因の是正を定期的に確認する。

- (4) 事故の未然防止策を講じる際、組織は、まず自社で多く発生している事故種類を調べ、自社で調査した当該事故種類のホール発生場所及び潜在的状況要因を、第4章4.4.2及び4.4.3記載の組織及び局所的作業現場におけるホール発生場所、並びに第6章6.3.2記載の潜在的状況要因と対比し、自社の事故調査で特定されていなかったホール発生場所及び潜在的状況要因が存在していた場合、それらのホール発生場所及び潜在的状況要因を追加する。次に明確にされた潜在的状況要因を、第3章3.3.5のリスク低減方策を用いて是正する。そして組織及びオペレータは、運航及び作業を継続する際には、ホールが生じる状況のパターン、潜在的状況要因が事故発生に及ぼす影響に注意し、潜在的状況要因の是正を定期的に確認する。組織は、また、ホール発生場所、潜在的状況要因、事故発生数のデータが蓄積した際には、散布図、パレート図を作成して自社が事故防止策で努力を集中すべき場所、ホールが生じる状況のパターンを明確にするとともに自社の数量化事故モデルを作成し、これらのデータを事故の未然防止に活用する。

9.2 今後の課題

本研究は、船舶事故を対象としているが、ニアミス、インシデントについて、本研究と同じ手法を用いて調査・分析を行えば、これらの事象が発生する状況及び潜在的状況要因が明らかになり、事故との違いが明確になるものと考えられる。さらに事故とニアミス、インシデントの潜在的状況要因が明確に区別されれば、船舶事故発生数の削減のみならず、ニアミス、インシデント発生数の削減に寄与できるものと考えられる。

9.3 おわりに

日本の領海及び周辺海域では、毎年2,000隻以上の船舶が事故を起こし、多くの人命及び財産が失われている。船舶事故発生数を削減することは、日本のみならず全世界の重要な課題である。

WiegmannとShappellは、スイスチーズモデルが体系的に事故分析及び事故防止に使用されるためにはホールを明確する必要があると主張し、また、リーズン、Hollnagel、Pariesは、スイスチーズモデルが、システムに潜む潜在的状況要因を

事前に特定できれば、事故を未然に防止する措置を講じることができると述べている。

本研究では、調査対象とした船舶事故 89 件を、リスクマネジメント、PDCA サイクル及びプロセスアプローチを活用してホール発生場所、ホールと潜在的状況要因との関係などの調査・分析を行った。本研究によって、スイスチーズモデルのホールが明確になるとともに、船舶事故にかかる潜在的状況要因が事前に特定されたことに伴い、本研究で用いた解析手法でホール及び潜在的状況要因を特定し、事故モデル及びホールと潜在的状況要因に関するデータを活用すれば、船舶事故の再発防止及び未然防止の対策を体系的に講じることが可能となり、船舶事故発生数の削減に貢献できる。本研究で用いた潜在的状況要因は船舶事故に限定されているが、潜在的状況要因を各分野に適合するように修正すれば、本研究で用いた解析手法及び事故モデルは、リスクマネジメントと SMS が運用されている分野で起きた組織事故に利用でき、事故の再発防止及び未然防止に寄与できるものと考えられる。

謝 辞

本論文は、2013年（平成25年）度から2016年（平成28年）度に在学した神戸大学大学院海事科学研究科博士課程（後期）の研究成果を博士論文としてとりまとめたものです。本論文をまとめるにあたり、多くの方々からご指導と励ましを頂いたことに感謝を申し上げます。

指導教員である神戸大学大学院海事科学研究科古莊雅生教授には、在学期間中、ご指導と激励を賜りました。特に、運輸安全委員会事務局に勤務していたために頻繁に神戸大学に通学できない本研究者に対し、特別のご配慮を頂きました。ここに謝意を表します。

神戸大学大学院海事科学研究科嶋田博行教授、村井康二准教授には副査としてご指導とご助言を頂きました。深く御礼申し上げます。

大須賀英郎元運輸安全委員会事務局長には、英国クランフィールド大学で事故調査について深く学ぶ機会及び事故調査についてのご指導を賜りました。心より感謝申し上げます。

本研究は、本研究者が主管調査官として調査・分析した船舶事故の実例及び経験が多く含まれています。船舶事故の初動調査を共にした船舶事故調査官及び協力して下さった運輸安全委員会事務局の職員の方々に心よりお礼を申し上げます。

英国クランフィールド大学 Graham Braithwaite 教授、同大学 Nicholas Beer 講師には、本研究者にスイスチーズモデル、HFACS などの船舶、航空、鉄道分野の事故モデルの理論の詳細を知る機会を与えてくださったことを深く感謝します。

最後に妻、娘たちに心から感謝の気持ちを捧げます。この3年間、東京と神戸間の通学、海外での論文発表会などを陰で支援してくれた家族の協力と理解がなければ本研究をまとめることができませんでした。

資 料

資料 1 IMO/ILO ヒューマンファクター調査のプロセス*1

AMENDMENTS TO THE CODE FOR THE INVESTIGATION OF MARINE CASUALTIES AND INCIDENTS: THE IMO/ILO PROCESS FOR INVESTIGATING HUMAN FACTORS

IMO Assembly Resolution A. 884(21)

以下に示すものは、ヒューマンファクター調査の際に用いられるシステマチック・アプローチの段階的な手法である。これは SHEL (Hawkins 1987)、リーズン (1990) の事故原因及び一般的エラーモデルシステム (GEMS: generic error-modelling system) の枠組み、そして Rasmussen のエラー分類学 (1987) 等のヒューマンファクターの枠組みを統合し、すり合わせたものである。

このプロセスは、事故とインシデントの双方に適用することができ、次のようなステップから構成される。

- 1 事故についての情報を収集する。
- 2 事故が起こった時系列を確定する。
- 3 「不安全行動又は意思決定」及び「不安全条件」を特定する。

さらに、それぞれの「不安全行動又は意思決定」ごとに、

- 4 エラーの種類又は規則の違反を特定する。
- 5 背後要因を特定する。
- 6 潜在的な安全上の問題点を指摘し、安全対策を策定する。

ステップ 3～ステップ 5 は、潜在的な「不安全条件」の特定を容易にするので、調査にとって有益である。ステップ 6 は、潜在的な安全上の問題点の特定であるが、背後要因として特定されたものに大きく依存している。「不安全条件」が自然現象の結果として生じる場合があり、そのようなときには、調査官が直接ステップ 3 からステップ 6 に進めることができる。それ以外の場合には、誤った意思決定により「不安全条件」が確立され、その「不安全条件」から「不安全行動又は意思決定」が発生する。このような場合には、調査官はステップ 3～ステップ 6 までの順を踏んで調査を行わなければならない。

*1 IMO/ILO ヒューマンファクター調査のプロセスは、2014 年に GUIDELINES TO ASSIST INVESTIGATORS IN THE IMPLEMENTATION OF THE CASUALTY INVESTIGATION CODE, Resolution A.1075(28)に変更されたが、シェル・リーズン・ハイブリッドモデルを説明しているので資料として記載した。

ステップ 1ー事故についての情報を収集する

ヒューマンファクター調査の手順の第一歩は、事故に関与する人員、任務、機器、環境条件といった業務に関連する情報を収集することである。このステップでシステマチック・アプローチをとることは非常に重要で、包括的な分析が確実に実施されるようにし、関連事故のデータベースを収集し、関連付け、維持するという後方支援の要件が満たされるべきである。

複雑なシステムでは、構成要素間に多くの相互作用があり、調査の過程で重要な情報が見逃され、逸失する危険が絶えず存在する。

調査官が収集した作業現場の情報に対し、情報を相互に関連付けるツールとして SHEL モデルを使用すると、後で問題が発生するのを回避することができる。その理由として、SHEL モデルに、次の特性がある。

- 1 重要な全ての作業システムの要素を考慮に入れるものであること
- 2 作業システムの要素間の相互関係に対する検討を促すものであること
- 3 周辺に位置するすべての要素を、中心に位置する人間の要素に関連付けることによって、ヒューマン・パフォーマンスに影響を与える要素に焦点を当てるものであること

(中略)

ステップ 2ー事故が起こった時系列を確定する

調査官が「どのように、なぜ」という疑問を投げかけるような段階になると、プロセスの最初のステップで明確にしたデータの関連付けが必要になる。リーズン (1990) のモデル (本研究注: リーズン (1990) のモデルとは、本研究の「図 2-1 前期 SCM」のことをいう。) は、生産の枠組みを活用しており、調査官が事故の時系列を展開するときの手引きとして使用できる。リーズンのモデルは、SHEL モデルを使用して収集した作業システムのデータを更に相互に関連付け、そのデータがヒューマン・パフォーマンスに与える影響をより深く理解する助けとなる。事故の時系列は、5つの生産要素、すなわち、意思決定者、ラインの管理、前提条件、生産活動及び安全装置について、事故の事象と状況に関する情報を整理することによって展開される。

(中略)

実際には、ステップ 1 と 2 は必ずしも同時に実施できないわけではない。調査官がデータ収集のステップを開始するとき、調査の初期段階で、たとえ断片的な情報であっても、この情報を事故の時系列の中に置こうとするのはごく自然なことである。このような同時並行的な活動を容易にするために SHEL とリーズンのモデルは、図 2 のように組み合わせることができる。(本研究注:

図 2 とは、本研究の「図 2-3 シェル・リーズン・ハイブリッドモデル」のことをいう。)

ステップ 3ー「不安全行動又は意思決定」及び「不安全条件」を特定する

ステップ 3 では、SHEL 及びリーズンのモデルの枠組みを用いて収集し、相互に関連付けた情報が、事故の原因となる要因、すなわち「不安全行動又は意思決定」及び「不安全条件」の特定に用いられる。「不安全行動」とは、「危険又は潜在的な不安全条件が存在する中で発現したエラー又は規則違反」と定義される。明らかな行為にはならなくても、安全性に負の影響を与える意思決定も「不安全行動」と考えるべきである。前述のように「不安全条件」又は危険とは、災害をもたらす可能性のある事象又は状況である。潜在的に「不安全行動」、「不安全意思決定」及び/又は「不安全条件」の候補となるものはいくつもあり、事故の事実を反復して評価しなければならない。シェル・リーズン・ハイブリッドモデルは、このような反復評価を行うための有用な基礎となる。

(中略)

ステップ 4ーエラーの種類又は規則違反を特定する

プロセスのこの部分では、「不安全行動又は意思決定」のそれぞれに対し、「行為又は意思決定が結局安全でないものになったのは、何が誤りだったのか、又はよくなかったのか」という単純な疑問を提起するところから始まる。

(中略)

1) 意図した行為又は意図したものではない行為

まず、エラー又は規則違反が「意図した行為」であったのか、「意図したものではない行為」であったのかを判別する必要がある。「当事者はその行為を意図的に行ったのか」との質問に対する答えが「いいえ」である場合、「意図したものではない行為」である。「意図したものでない行為」とは、計画通りには行かない行為であり、実行段階でのエラーである。

「当事者はその行為を意図的に行ったのか」との質問に対する答えが「はい」である場合、その行為は「意図した行為」となる。「意図した行為」とは、計画通りに実行される行為であるが、行為が不適切であり、これらは計画段階でのエラーとなる。

2) エラーの種類又は規則違反

第二のサブステップは、意図性についての判断に留意しながら、不具合を最も適切に説明するエラーの種類又は規則違反を選び出すことである。「エラー又は規則違反」となるもののカテゴリーには、次の 4 種類がある。スリップ、ラプス、ミステイク、及び違反行為である。

(中略)

ステップ 5ー背後要因を特定する

調査官が事故の「エラー又は規則違反」とそれに導いた行為との関係を明らかにしようとする際、実際に何が起こったかという観点から、ステップ 4 とステップ 5 を別の作業として分けた意味がはっきりしなくなることがある。行為は、意思決定と行動又は動作に分けて考える必要がある。ステップ 3 では、行動又は意思決定、すなわち「不安全行動又は意思決定」が特定された。ステップ 4 では、その「行動又は意思決定」に関して何が誤っていたのかが明らかにされた。ステップ 5 では、個人又はグループの「行動又は意思決定」の背後に隠れている原因のベールを剥ぐことに焦点が当てられる。そのためには、特定の不具合モード（結果的には「エラー又は規則違反」と「不安全行動」）の発生を招く何らかの要因が、作業システムの中にあっただどうかを突き止めることが重要である。これらの要因は、「背後要因」と呼ばれている。背後要因は、ステップ 1 とステップ 2 で収集され、SHEL 又はリーズンの枠組み（本研究注：シェル・リーズン・ハイブリッドモデルの枠組みのこと）を用いて相互に関連付けられた作業システムの情報を検討することによって発見できる。事故についてさらなる調査を行う必要が認められることがあるかもしれないという観点で、これらのデータの再検討は、調査のプロセスの反復的な性質をよく現している。

ステップ 6ー潜在的な安全上の問題点を指摘し、安全対策を策定する

潜在的な安全上の問題点の特定は、どのような要因が背後要因として特定されたかに大きく依存している。分析ステップの基礎となる、ステップ 1 及びステップ 2 でシステマチック・アプローチを適用することの重要性を再度強調したい。必要があれば、潜在的な安全上の問題をさらに分析して、システムに関連する危険を特定し、安全のための措置を策定することができる。

資料 2 航海計画のガイドライン(仮訳)

GUIDELINES FOR VOYAGE PLANNING

IMO Assembly Resolution A.893 (21)

1 目的

- 1.1 航海計画の策定は、航海計画を実行している際に行う航海の進捗及び船位を綿密かつ継続的な「監視」と同じように、海上における人命の安全、運航の安全及び効率性、並びに環境保護の観点から、非常に重要な意味を持つ。
- 1.2 航海計画の策定は、全ての船舶に適用する。(中略)
- 1.3 航海計画は、予定航路に関連するすべての情報を収集する「評価」、水先区域を含むバースからバースに至るまでの全航海における詳細な「計画」、計画の「実行」、及びあらかじめ決められた航海計画の実施状況の「監視」の4段階で構成されている。

2 評価

- 2.1 予定航路に関連するすべての情報を考慮すること。
(中略)

3 計画

- 3.1 可能な限りの評価に基づき、水先区域を含むバースからバースに至るまでの全ての航程を網羅する詳細な航海計画を用意すること。
(中略)
- 3.3 航海計画の詳細な項目は、適切な場合、海図及び航海計画ノート又はコンピュータに、明確に示され、かつ記録されること。
- 3.4 航海計画及び計画の詳細事項は、航海計画の実行前に船長の承認を得ること。

4 実行

- 4.1 航海計画の策定が終了し、出港時刻、到着予定時刻が合理的範囲で正確に決定したとき、航海計画は計画に基づいて実行されること。
(中略)

5 監視

- 5.1 航海計画は、航海当直者が、航海計画の詳細をいつでもアクセスでき、かつ参照できるように船橋で常時利用できる状態にしておくこと。
- 5.2 自船の航行が、航海計画に従って進行しているか、綿密かつ継続的に確認すること。航海計画の変更は、このガイドラインに沿って行われ、明瞭に記録すること。

資料 3 調査対象とした船舶事故 89 件のリスト

1. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2010-3-1:台船 H2500 爆発; 30p (2010).
2. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2010-4-2: 貨物船しゅり漁船航平丸衝突; 32p (2010).
3. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2010-5-1: 貨物船 NORD POWER 貨物船 HAI YING 衝突; 58p (2010).
4. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2010-7-1: 貨物船 SUN GRACE 貨物船盛進丸衝突; 20p (2010).
5. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2010-7-3:旅客船セブンアイランド虹火災; 27p (2010).
6. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2010-8-1:旅客船えれがんと 1 号火災; 21p (2010).
7. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2010-8-3:ばら積船 HANJIN BRISBANE 乗揚; 19p (2010).
8. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2010-10-1:貨物船 MAY STAR 漁船明神丸衝突; 48p (2010).
9. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2010-10-1: 貨物船 MAY STAR 乗揚; 48p (2010).
10. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2010-10-4: 貨物船第七住力丸漁船大業丸衝突; 20p (2010) .
11. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2010-10-5: 油送船第八豊栄丸乗組員死亡; 23p (2010).
12. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2010-11-1: コンテナ船 SONG CHENG 乗揚; 19p (2010).
13. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-1-1:旅客フェリーおれんじ 8 漁船豊勢丸衝突; 21p (2011) .
14. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-2-1: ケミカルタンカー三春丸貨物船新吉祥衝突; 26p (2011).
15. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-3-1:セメントタンカー第三芙蓉丸漁船第十八勝福丸衝突; 21p (2011).
16. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-4-3: コンテナ専用船 KUO CHANG 作業員死亡; 55p (2011).
17. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-5-7: 貨物船 DAIO DISCOVERY 貨物船 AURORA SAPPHIRE 衝突; 41p (2011).

18. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-6-1: 貨物船 RICKMERS JAKARTA はしけ 18 新栄丸作業員死傷; 58p (2011).
19. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-6-2: コンテナ船 CARINA STAR 護衛艦くらま衝突; 91p (2011).
20. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-6-3: コンテナ船 SKY LOVE 貨物船 HAEJIN 衝突; 18p (2011).
21. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-6-17: 貨物船 LANA 乗揚; 18p (2011).
22. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-7-2: 油送船第十七永進丸ケミカルタンカーCOSMO BUSAN 衝突; 27p (2011).
23. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-7-3: ケミカルタンカー錦陽丸引船かいりゅう台船千2 衝突; 26p (2011).
24. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-7-11: ケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡; 20p (2011).
25. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-9-1: 旅客船龍宮城乗組員死亡; 17p (2011).
26. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-10-2: 自動車運搬船 PYXIS 火災; 77p (2011).
27. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-10-3: 貨物船 MARINE STAR コンテナ専用船たかさご衝突; 48p (2011).
28. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-10-4: 貨物船 DONG PHONG 乗揚; 24p (2011).
29. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-10-5: 油タンカー第三十二大洋丸砂利運搬船第三十八勝丸衝突; 21p (2011).
30. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-11-4: 自動車運搬船 CYGNUS ACE 多目的貨物船 ORCHID PIA 衝突; 72p (2011).
31. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2011-12-1: 貨物船 OCEAN SEAGULL セメント運搬船第二すみせ丸衝突; 24p (2011).
32. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-1-1: 貨物船美晴丸乗揚; 14p (2012).
33. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-1-2: 貨物フェリー第三南海丸衝突（防波堤）; 21p (2012).
34. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-1-5: 貨物船 TY EVER 貨物船 LOFTY HOPE 衝突; 26p (2012).
35. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-1-6: 貨物船 WIEBKE 貨物船 MARINE PEACE 衝突; 28p (2012).

36. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-2-1: 貨物船 HARMONY WISH 貨物船しんかずりゅう衝突; 26p (2012).
37. 運輸安全委員会:船舶事故調査報告書 MA2012-2-3: 貨物船 STAR KVARVEN 作業員死亡; 10p (2012).
38. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-4-1: 貨物船 SINGAPORE GRACE 作業員死亡; 78p (2012).
39. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-5-1: 旅客フェリーフェリーきたきゅうしゅうケミカルタンカー第七十八光輝丸衝突; 36p (2012).
40. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-5-2: 貨物船大船山丸遊漁船ひさ丸衝突; 14p (2012).
41. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-6-3: 貨物船新賢和丸貨物船第八昭和丸衝突; 19p (2012).
42. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-6-4: 貨物船大航丸乗揚; 13p (2012).
43. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-7-2: 貨物船第三鶴吉丸乗組員負傷; 20p (2012).
44. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-7-3: 貨物船晴麗丸貨物船ぎょれん 1 衝突; 21p (2012).
45. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-7-4: 貨物船 EN KAI 乗組員死亡; 7p (2012).
46. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-8-2: 液化ガスばら積船菱安丸衝突（灯標）; 20p (2012).
47. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-8-3: 自動車運搬船 VEGA LEADER 作業員負傷; 48p (2012).
48. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-9-3: ケミカルタンカー日祥丸乗組員死傷; 62p (2012).
49. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-9-1: ケミカルタンカー豊徳丸乗組員負傷; 25p (2012).
50. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-9-2: 貨物船 MEDEA 漁船孝盛丸衝突; 33p (2012).
51. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2010-12-10: 引船広栄丸バージ神 - 5500 乗組員死亡; 16p (2010).
52. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-11-3: 貨物船りゅうなんⅡ遊漁船光洋丸衝突; 43p (2012).
53. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-12-1: ケミカルタンカー青鷹沈没; 42p (2012).

54. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2012-12-2: 油タンカー PACIFIC POLARIS 衝突（栈橋）；57p (2012).
55. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2013-1-2: 貨物船 AQUAMARINE 漁船平新丸衝突；28p (2013).
56. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2013-2-3: 貨物船 MARUKA 漁船第18海漁丸衝突；26p (2013).
57. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2013-4-1: 貨物船 BEAGLE VII 衝突（護岸）；23p (2013).
58. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2013-4-2: ケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡；54p (2013).
59. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2013-5-1: コンテナ船 EVER UNISON 衝突（岸壁）；21p (2013).
60. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2013-7-2: 貨物船 JUNIPER PIA 乗組員死亡；6p (2013).
61. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2013-9-1: 貨物船 SAGE SAGITTARIUS 作業員（工務監督）死亡；6p (2013).
62. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2013-11-1: 油タンカー第十二松丸衝突（かき養殖施設）；21p (2013).
63. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2013-11-2: コンテナ船 TIAN FU(TIANJIN)ケミカルタンカー扇泰丸衝突；33p (2013).
64. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2014-1-2: コンテナ船 FLEVODIJK 衝突（護岸）；19p (2014).
65. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2014-1-3: 貨物船 GUANG DA 乗組員死亡；41p (2014).
66. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2014-1-4: コンテナ船 YONG CAI 漁船第二新洋丸衝突；40p (2014).
67. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2014-1-5: 砂利運搬船成和丸爆発；49p (2014).
68. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2014-2-1: コンテナ船 ANNA MAERSK 乗組員死傷；8p (2014).
69. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2014-2-2: 旅客フェリーフェリーあまくさ旅客負傷；23p (2014).
70. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2014-2-3: 旅客船銀河乗揚；37p (2014).
71. 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書 MA2014-4-1: 貨物船 SCSC WEALTH 作業員死亡；35p (2014).

72. 運輸安全委員会:船舶事故調査報告書 MA2014-5-1: コンテナ船 KOTA DUTA 貨物船 TANYA KARPINSKAYA 衝突; 71p (2014).
73. 運輸安全委員会 : 船舶事故調査報告書 MA2014-6-2: ケミカルタンカー CHEM HANA 乗組員死亡; 8p (2014).
74. 運輸安全委員会 : 船舶事故調査報告書 MA2014-6-3: 貨物船 TAIGAN 火災; 36p (2014).
75. 運輸安全委員会:船舶事故調査報告書 MA2014-6-5: ばら積み貨物船 NIKKEI TIGER 漁船堀栄丸衝突; 44p (2014).
76. 運輸安全委員会 : 船舶事故調査報告書 MA2014-8-3: 貨物船 WELLINGTON STAR 作業員死亡; 10p (2014).
77. 運輸安全委員会 : 船舶事故調査報告書 MA2014-8-4: 貨物船 YUSHO SEVEN 作業員死亡; 33p (2014).
78. 運輸安全委員会 : 船舶事故調査報告書 MA2014-8-5: コンテナ船 BAI CHAY BRIDGE 漁船第十八盛豊丸衝突; 34p (2014).
79. 運輸安全委員会:船舶事故調査報告書 MA2014-9-1: 貨物船 JURONG 作業員死傷; 10p (2014).
80. 運輸安全委員会 : 船舶事故調査報告書 MA2014-10-1: コンテナ船 PANCON SUCCESS 乗組員死亡; 23p (2014).
81. 運輸安全委員会 : 船舶事故調査報告書 MA2014-11-1: 貨物船 FAVOR SAILING 沈没; 13p (2014).
82. 運輸安全委員会 : 船舶事故調査報告書 MA2011-11-6: 油タンカー第八新水丸漁船第8住吉丸衝突; 42p (2011) .
83. 運輸安全委員会:船舶事故調査報告書 MA2014-12-1: LNG 船 PUTERI NILAM SATU LPG 船 SAKURA HARMONY 衝突; 51p (2014).
84. 運輸安全委員会 : 船舶事故調査報告書 MA2014-12-2: コンテナ船 MERRY STAR 作業船第五十八港運丸転覆; 10p (2014).
85. 運輸安全委員会 : 船舶事故調査報告書 MA2010-3-3: 引船第八きさ丸台船 No.503 沈没; 34p (2010).
86. 運輸安全委員会 : 船舶事故調査報告書 MA2014-3-4: 押船 38 三協丸転覆; 21p (2010).
87. 運輸安全委員会 : 船舶事故調査報告書 MA2015-1-2: 旅客船 フェニックス 火災; 39p (2014).
88. 運輸安全委員会 : 船舶事故調査報告書 MA2015-4-1: 貨物船 GREEN HOPE 操縦者負傷; 10p (2015).
89. 運輸安全委員会 : 船舶事故調査報告書 MA2015-4-2: 旅客船あおぼと乗揚; 25p (2015).

用語の定義

船舶事故（第 1 章）

（出典：運輸安全委員会のホームページ(参照2015-12-13)）

船舶事故とは、(1) 船舶の運用に関連した船舶又は船舶以外の施設の損傷、(2) 船舶の構造、設備又は運用に関連した人の死傷のことをいう。

インシデント（第 1 章）

（出典：運輸安全委員会年報 2015）

インシデントとは、船舶事故が発生するおそれがあると認められる国土交通省令（運輸安全委員会設置法施行規則）で定める、次の事態のことをいう。

(1) 次に掲げる事由により、船舶が運航不能となった事態

- ① 航行に必要な設備の故障
- ② 船体の傾斜
- ③ 機関の運転に必要な燃料又は清水の不足

(2) 船舶が乗り揚げたもののその船体に損傷を生じなかった事態

(3) 前 2 号に掲げるもののほか、船舶の安全又は運航が阻害された事態

事故モデル（第 1 章、第 2 章）

Hollnagel（2004）によれば、事故がどのように発生したかを考える定型的な方法であり、連続的事故モデル、疫学的事故モデル及びシステミック事故モデルに分類される。

スイスチーズモデル（第 1 章、第 2 章）

リーズンが 1990～1997 年までの間に提唱した事故モデルのことであり、組織事故の分析及び防止の理論として、おもに船舶、航空機、鉄道などの運輸及び医療分野で用いられている。本研究では、1997 年に発表されたスイスチーズモデルを基礎として研究を行った。

潜在的状況要因（第 1 章、第 2 章、第 6 章、第 8 章）

リーズン（1990, 1997）は、潜在的状況要因（latent conditions）とは、長期間システムに潜在し、他の要因と組み合わせさせてシステムの防護層を破壊した時に明らかになる要因のことであると定義している。具体例として貧弱なデザイン、不十分な監督、役に立たない手順、訓練の欠如などを挙げている。本研

究では、潜在的状況要因を SHEL モデル、IMO で採択された条約などを応用して 10 に分類した。

ホール（第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 8 章）

リーズン（1997）によれば、ホール（hole）は潜在的状況要因又は即発的エラーによって防護層に生じると述べているものの、詳細に定義されていない。本研究では、リスクが受容できない状況のときに潜在的状況要因によって防護層にホールが生じると定義した。本研究で調査対象とした船舶事故 89 件の事故種類別のホールの定義は次のとおりである。

(1) 衝突事故

両船が避航船の最大縦距内又は旋回径内（追越しで衝突した場合）に接近すること。

(2) 単独衝突事故

- ① 5 万トン上の船舶は、着岸予定位置の前面付近において離隔距離が本船の幅の 2 倍以内の海域で前進速力があること。
- ② 危険物（防波堤、養殖施設など）に旋回径内で接近すること。

(3) 乗揚げ事故

- ① No-go エリアに進出し、危険物（暗岩、浅瀬など）に向けて航行すること。
- ② 危険物に向かって走錨すること。

(4) 死傷事故

- ① 荷役中、人が貨物タンクの雰囲気(酸素濃度、ガス濃度など)を測定せずに貨物タンク、ポンプ室などの閉鎖区域に入ること。
- ② 係船作業中、スナップバックゾーンに人が立ち入ること。
- ③ 荷役中、人が重量物の移動する方向又は下に立ち入ること。
- ④ 荷役中、人が貨物と構造物とに挟まれなどのおそれがある危険区域に立ち入ること。
- ⑤ 人が指定された通行経路を用いずに甲板上を移動し、又は貨物倉に入ること。
- ⑥ 救助艇・救命艇に乗艇して訓練中、救助艇・救命艇を吊り下げるワイヤ又は装置が破断すること。
- ⑦ 波が船内に打ち込み、落水のおそれがある状況において、人が船外で作業を行うこと。
- ⑧ 落水のおそれがある場所で、人が救命胴衣を着用せずに作業を行うこと。
- ⑨ 体勢を崩しやすい状況下、稼働中の機械に巻き込まれるおそれがある場所に人が立ち入ること。

- ⑩ 高所作業を実施する際の転落防止の措置が講じられていない状況下、人が高所で作業を行うこと。

(5) 火災事故

- ① 危険物（燃料油、潤滑油などの可燃物）が容器から出ること。
- ② 人が指定区域外の居室で喫煙すること。

(6) 爆発事故では、可燃性ガスが存在する場所で、人が火気を使用すること。

(7) 沈没事故及び転覆事故では、船舶が航行中、復原力が低下し船舶の安定性が劣る状況に至ること。

即発的エラー（第1章、第2章、第3章、第8章）

リーズン（2008）によれば、即発的エラー（active failures）は、不安全行為（unsafe acts）と同義であるが、潜在的状況要因と区別するために用いる。不安全行為とは、危険状態（hazardous situation）のときに人が犯すエラー又は違反である。

重大船舶事故（第1章、第4章）

（出典：運輸安全委員会のホームページ(参照2015-12-13)）

船舶事故で次に該当するもの

- ① 旅客のうちに、死亡者若しくは行方不明者又は2人以上の重傷者が発生
- ② 5人以上の死亡者又は行方不明者が発生
- ③ 国際航海に従事する船舶に係る事故であって、当該船舶が全損又は死亡者若しくは行方不明者が発生
- ④ 油等の流出により環境に重大な影響を及ぼしたもの
- ⑤ 船舶事故等に伴い発生した被害に先例がないもの
- ⑥ 特に重大な社会的影響を及ぼしたもの
- ⑦ その原因を明らかにすることが著しく困難なもの
- ⑧ 被害の軽減のための重要な教訓が得られたもの

船舶事故の種類（第1章、第4章）

運輸安全委員会はホームページで事故種類を定義していなかったので海難審判所のホームページから引用した(参照2015-12-13)。

- (1) 衝突：船舶が、航行中又は停泊中の他の船舶と衝突又は接触し、いずれかの船舶に損傷を生じた場合をいう。
- (2) 単独衝突：船舶が、岸壁、栈橋、灯浮標等の施設に衝突又は接触し、船舶又は船舶と施設の双方に損傷を生じた場合をいう。

- (3) 乗揚げ：船舶が、水面下の浅瀬、岩礁、沈船等に乗り揚げ又は底触し、喫水線下の船体に損傷を生じた場合をいう。
- (4) 沈没：船舶が海水等の浸入によって浮力を失い、船体が水面下に没した場合をいう。
- (5) 転覆：荷崩れ、浸水、転舵等のため、船舶が復原力を失い、転覆又は横転して浮遊状態のままとなった場合をいう。
- (6) 火災：船舶で火災が発生し、船舶に損傷を生じた場合をいう。ただし、他に分類する海難の種類に起因する場合は除く。
- (7) 爆発：積荷等が引火、化学反応等によって爆発し、船舶に損傷を生じた場合をいう。
- (8) 死傷等：船舶の構造、設備又は運用に関連し、乗組員、旅客等に死傷又は行方不明を生じた場合をいう。ただし、他に分類する海難の種類に起因する場合は除く。

船舶の種類（第 2 章、第 4 章）

運輸安全委員会はホームページで船舶の種類を定義していなかったので海難審判所のホームページから引用した(参照 2015-12-13)。なお、運輸安全委員会は、下記記載のほかに引船・押船、遊漁船、瀬渡船、作業船、非自航船、公用船、プレジャーボート、水上オートバイ、その他に分類している。

- (1) 貨物船：コンテナ船、自動車運搬船、砂利運搬船等、主として貨物の輸送に従事する船舶をいう（油送船を除く）。
- (2) タンカー：原油タンカー、ナフサタンカー、LPG 船等、油類（原油、石油精製品及び LPG 等）の輸送に従事する船をいう。
- (3) 漁船：漁ろう船、さけ・ます母船、漁獲物運搬船等、漁船法第 2 条第 1 項第 1 号～第 3 号までに定める船舶をいう。

ヒューマンエラー（第 2 章）

石橋（2008）によれば、「ヒューマンエラーとは、達成しようとした目的から意図せずに逸脱することとなった、期待に反した人間の行動である」と定義している。本研究で、同じ定義を用いた。

プロセスアプローチ（第 3 章）

ISO 9001:2008 によれば、「プロセスアプローチとは、組織内において望まれる成果を生み出すために、プロセスを明確にし、その相互関係を把握し、運営管理することを併せて、一連のプロセスをシステムとして適用すること」と定義している。本研究では、プロセスアプローチを、ホール発生場所を特定する

ために用い、組織の安全管理システム及び局所的作業現場のリスクマネジメントの各プロセスに焦点を当てた。

PDCA サイクル（第 3 章）

飯塚（2009）及び ISO 9001:2008 によれば、プロセスを基礎とした品質マネジメントシステムのモデルであり、P（計画）は、管理対象の目標を明確にし、実行手順（作業標準）を定めること、D（実施）は、実施者に実行手順の教育・訓練を行い、実施者が P で定めた実行手順通りに実施すること、C（確認）は、目標の実施状況を事実に基づいて確認すること、A（処置）は、C の結果、目標にずれが生じた場合、継続的に改善するための処置をとることである。本研究では、ISM コードに基づく組織の安全管理システムが機能するシステムとして PDCA サイクルを用いた。

リスクマネジメントプロセス（第 3 章）

IEC/ISO31010:2009 によれば、組織のあらゆる活動には、運用管理すべきリスクが伴う。リスクマネジメントプロセスは、不確かさ及び将来の事象又は状況、及び合意した目的に及ぼす影響の可能性を考慮することによって意思決定を支援すると述べている。本研究では、他船との衝突などを避けるために則る国際海上衝突予防規則、安全に荷役作業などを行うために従う手順は、リスクマネジメントプロセスが組み込まれているとした。

ヒューマンファクター（第 6 章）

石橋（2008）によれば、「ヒューマンファクターとは、機械やシステムを安全にしかも効率的に機能させるために必要とされる人間の能力やその限界、基本的特性などに関する知見や手法の総称である」と定義している。本研究では、ヒューマンファクターを構成する要素として Hawkins（1987）の SHEL モデルの各要素を用いた。

参考文献

第 1 章

- (1) 海上保安庁：平成 26 年における海難の現状と対策について；p.11 (2015).
<http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/h27/k20150318/k150318-2.pdf>(参照 2015-12-13).
- (2) 運輸安全委員会：運輸安全委員会年報 2015；資料編,資料-33 (2015).
- (3) 日本船主責任相互保険組合：P&I ロス・プリベンション・ガイド 大型事故分析と傾向，大型事故を減らすには；33, pp.7-10 (2015)
https://www.piclub.or.jp/jodffo80b-367/?action=common_download_main&upload_id=5368(参照 2015-12-13).
- (4) 国土交通省：海上輸送の安全にかかわる情報（平成 25 年度）；p.6 (2015)
<http://www.mlit.go.jp/common/001066321.pdf>(参照 2015-12-13).
- (5) IMO: IMO Secretary-General launches ‘Accident Zero’ initiative with IALA;(2012)
<http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/36-accident-zero.aspx#.VIN3zaKCjIU>(参照 2015-12-13).
- (6) Hollnagel, E.: Barriers and Accident Prevention; Ashgate Publishing Limited, pp.47-67 (2004).
- (7) Hollnagel, E.: 社会技術システムの安全分析 FRAM ガイドブック；小松原明哲監訳，海文堂，pp.25-118 (2013).
- (8) Underwood, P., Waterson, P.: Systems thinking, the Swiss Cheese Model and accident analysis: a comparative systemic analysis of the Grayrigg train derailment using the ATSB, AcciMap and STAMP models; *Accident Analysis & Prevention*, Doi: dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.07.027 (2013).
- (9) McNair, D.: Unsafe or Safety-Significant Act? Anca, J. (ed) Multimodal Safety Management and Human Factors; Ashgate Publishing Limited, pp.17-30 (2007).
- (10) Davis, J., Davies, J.M., Flemons, W.: The Calgary Health Region: Transforming the Management of Safety, Anca, J. (ed) Multimodal Safety Management and Human Factors; Ashgate Publishing Limited, pp.31-40 (2007).
- (11) Dell, G.: Aerial Agriculture Accidents 2000-2005: The Human Factors and System Safety Lessons, Anca, J. (ed) Multimodal Safety Management and Human Factors; Ashgate Publishing Limited, pp.113-129 (2007).
- (12) Landre, J.D.: Learning from Accidents and Incidents, Anca, J. (ed) Multimodal Safety Management and Human Factors; Ashgate Publishing Limited, pp.131-142 (2007).

-
- (13) Salmon, P.M., Regan, M., Johnston, I.: Managing Road User Error in Australia, Anca, J. (ed) Multimodal Safety Management and Human Factors; Ashgate Publishing Limited, pp.143-156 (2007).
- (14) IMO: AMENDMENTS TO THE CODE FOR THE INVESTIGATION OF MARINE CASUALITIES AND INCIDENTS: THE IMO/ILO PROCESS FOR INVESTIGATING HUMAN FACTORS; Resolution A. 884(21), (2000). IMO 海難調査官マニュアル(英和対訳); 高等海難審判庁監訳, 海文堂, pp.130-147 (2008).
- (15) Grech, M., Horberry, T., Koester, T.: HUMAN FACTORS in the MARITIME DOMAIN; Taylor & Francis Group, pp.19-55 (2008).
- (16) Wiegmann, D.A., Shappell, S.A.: A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis; Ashgate Publishing Limited, pp.45-71 (2003).
- (17) Reason, J.: Managing the Risks of Organizational Accidents; Ashgate Publishing Limited, pp.9-13(1997).
- (18) Reason, J.: Human Error; Cambridge University Press, p.197 (1990).
- (19) Dekker, S.: The Field Guide to Understanding Human Error; Ashgate Publishing Limited, p.89 (2006).
- (20) Wiegmann, D.A., Shappell, S.A.: A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis; Ashgate Publishing Limited, pp.49-50 (2003).
- (21) Reason, J., Hollnagel, E., Paries, J.: Revisiting the Swiss Cheese Model of Accidents; EUROCONTROL agency, p.12 (2006).

第 2 章

- (22) Hollnagel, E.: Barriers and Accident Prevention; Ashgate Publishing Limited, pp.47-67 (2004).
- (23) Hollnagel, E., Speziali, J.: Study on Developments in Accident Investigation Methods: A Survey of the “State-of-the-Art”; SKI Report 2008:50, pp.29-30,33-36 (2008).
- (24) Dekker, S.: The Field Guide to Understanding Human Error; Ashgate Publishing Limited, pp.83-87 (2006).
- (25) Reason, J., Hollnagel, E., Paries, J.: Revisiting the Swiss Cheese Model; EUROCONTROL Agency, p.4 (2006).
- (26) Reason, J.: Managing the Risks of Organizational Accidents; Ashgate Publishing Limited, pp.87-89 (1997).
- (27) Dekker, S.: The Field Guide to Understanding Human Error; Ashgate Publishing Limited, pp.90-92 (2006).
- (28) Perrow, C.: Normal Accidents; Princeton University Press, p.97 (1984).

-
- (29) Hollnagel, E., Speziali, J.: Study on Developments in Accident Investigation Methods: A Survey of the “State-of-the-Art”; SKI Report 2008:50, pp.23-24, 36 (2008).
- (30) Australian Transport Safety Bureau: ATSB TRANSPORT SAFETY RESEARCH REPORT: Aviation Research and Analysis Report-AR-2007-053, Analysis, Casualty and Proof in Safety Investigations; Australian Transport Safety Bureau, p.109 (2008).
- (31) Wiegmann, D.A., Shappell, S.A.: A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis; Ashgate Publishing Limited, p.165 (2003).
- (32) Wiegmann, D.A., Shappell, S.A.: A human Error Analysis of Commercial Aviation Accidents Using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS); DOT/FAA/AM-01/3, Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation, p.13 (2001).
- (33) Schroder-Hinrichs, J.U., Baldauf, M., Ghirxi, K.T.: Accident investigation reporting deficiencies related to organizational factors in machinery space fires and explosions; *Accident Analysis and Prevention*, Vol.43, pp.1187-1196 (2011).
- (34) Reason, J.: Human Error; Cambridge University Press, p.202 (1990).
- (35) Wiegmann, D.A., Shappell, S.A.: A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis; Ashgate Publishing Limited, pp.47, 76 (2003).
- (36) Reason, J., Hollnagel, E., Paries, J.: Revisiting the Swiss Cheese Model of Accidents; EUROCONTROL Agency, p.19 (2006).
- (37) IMO: AMENDMENTS TO THE CODE FOR THE INVESTIGATION OF MARINE CASUALTIES AND INCIDENTS: THE IMO/ILO PROCESS FOR INVESTIGATING HUMAN FACTORS; Resolution A. 884(21), (2000).
- (38) Reason, J.: A systems approach to organizational error, *Ergonomics*, Vol.38, No.8, pp.1708-1721 (1995).
- (39) Australian Transport Safety Bureau: ATSB TRANSPORT SAFETY RESEARCH REPORT: Aviation Research and Analysis Report-AR-2007-053, Analysis, Casualty and Proof in Safety Investigations; Australian Transport Safety Bureau, pp.35-38 (2008).
- (40) Reason J, Hollnagel E, Paries J: Revisiting the Swiss Cheese Model of Accidents; EUROCONTROL Agency, p.19 (2006).
- (41) Underwood, P., Waterson, P.: System thinking, the Swiss Cheese Model and accident analysis: a comparative systemic analysis of the Grayrigg train derailment using the ATSB, AcciMap and STAMP models; *Accident Analysis & Prevention*, doi: dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.07.027 (2013).
- (42) Reason, J., Hollnagel, E., Paries, J.: Revisiting the Swiss Cheese Model of Accidents; EUROCONTROL Agency, p.9 (2006).

-
- (43) Reason, J.: *Managing the Risks of Organizational Accidents*; Ashgate Publishing Limited, pp.16-18 (1997).
- (44) ICAO: HUMAN FACTORS DIGEST No.7: INVESTIGATION OF HUMAN FACTORS IN ACCIDENTS AND INCIDENTS; Circular 240-AN/144, pp.8, 16 (1993).
- (45) IMO: GUIDELINES TO ASSIST INVESTIGATORS IN THE IMPLEMENTATION OF THE CASUALTY INVESTIGATION CODE; Resolution A.1075(28), (2014)
- (46) Marine Accident Investigators' International Forum: MAIIF Investigation Manual; MAIIF, p.66 (2014).
<http://www.maiif.org/images/MAIIF%20Manual%202014.pdf>(参照 2015-12-13)
- (47) IMO: MARINE CASUALTY INVESTIGATION INVESTIGATORS'S IN-THE-FIELD JOB AID MAIIF/IMO; Sub-Committee on Implementation of IMO Instruments (III), Annex 4, (2015).
- (48) Reason, J., Hollnagel, E., Paries, J.: *Revisiting the Swiss Cheese Model of Accidents*; EUROCONTROL Agency, pp.13, 20 (2006).
- (49) Dekker, S.: *The Field Guide to Understanding Human Error*; Ashgate Publishing Limited, pp.89-90 (2006).

第 3 章

- (50) Heinrich, H.W.: *Industrial Accident Prevention*; 4th ed, McGraw-Hill Book Company, Inc., pp.39-40 (1959).
- (51) Rasmussen, J.: RISK MANAGEMENT IN A DYNAMIC SOCIETY: A MODELLING PROBLEM; *Safety Science*, Vol.27, pp.183-213 (1997).
- (52) Manuel, M.E.: *Maritime Risk and Organizational Learning*; Ashgate Publishing Limited, p.231 (2011).
- (53) 国土交通省運輸安全委員会: 運輸安全委員会年報 2013; 52p (2013).
- (54) 国土交通省運輸安全委員会: 船舶事故調査報告書 MA2012-9-2:貨物船 MEDEA 漁船孝盛丸衝突; 33p (2012).
- (55) 国土交通省運輸安全委員会: 船舶事故調査報告書 MA2011-6-17:貨物船 LANA 乗揚; 18p (2011).
- (56) 国土交通省運輸安全委員会: 船舶事故調査報告書 MA2011-7-11:ケミカルタンカー第二旭豊丸乗組員死亡; 20p (2011).
- (57) 国土交通省運輸安全委員会: 船舶事故調査報告書 MA2014-2-1:コンテナ船 ANNA MAERSK 乗組員死傷; 8p (2014).
- (58) Reason, J.: *Human Error*; Cambridge University Press, p.206 (1990).
- (59) Reason, J.: *The Human Contribution*; Ashgate Publishing Limited, p.69 (2008).

-
- (60) ISO: ISO/IEC 1999: 英和対訳版 ISO/IEC Guide 51, Safety aspects-Guidelines for their inclusion in standards 安全面－規格に安全に関する面を導入するためのガイドライン; 日本規格協会, p.5 (2001).
- (61) ISO: ISO/IEC 1999: 英和対訳版 ISO/IEC Guide 51, Safety aspects-Guidelines for their inclusion in standards 安全面－規格に安全に関する面を導入するためのガイドライン; 日本規格協会, p.3 (2001).
- (62) 向殿政男: よくわかるリスクアセスメント:事故未然防止の技術; 中央労働災害防止協会, pp.162-165 (2006).
- (63) International Electrotechnical Commission: IEC/ISO 31010:2009 英和対訳版 Risk management-Risk assessment techniques リスクマネジメントーリスクアセスメント技法; 日本規格協会, p.79 (2009).
- (64) 本田啓之輔: 操船通論, 成山堂書店, p.17 (2011).
- (65) 本田啓之輔: 操船通論, 成山堂書店, pp.62-63 (2011).
- (66) ISO: ISO 9000 Introduction and Support Package: Guidance on the Concept and Use of the Process Approach for management systems, ISO/TC 176/SC 2/N 544R3; (2008).
- (67) 品質マネジメントシステム規格国内委員会: 対訳 ISO9001 : 2008(JIS Q 9001:2008) 品質マネジメントの国際規格ポケット版; 日本規格協会, pp.26-35 (2009).
- (68) 飯塚悦功: 現代品質管理総論; 朝倉書店, pp.33-35 (2009).
- (69) IMO: THE INTERNATIONAL MANAGEMENT CODE FOR THE SAFETY OPERATION OF SHIPS AND FOR POLLUTION PREVENTION (INTERNATIONAL SAFETY MANAGEMENT (ISM) CODE); Resolution A.741(18), (1993)
- (70) ISO: ISO/IEC 1999: 英和対訳版 ISO/IEC Guide 51, Safety aspects-Guidelines for their inclusion in standards 安全面－規格に安全に関する面を導入するためのガイドライン; 日本規格協会, p.2 (2001).
- (71) Reason, J.: Managing the Risks of Organizational Accidents; Ashgate Publishing Limited, p.12 (1997).
- (72) International Electrotechnical Commission: IEC/ISO 31010:2009 英和対訳版 Risk Management-Risk Assessment Techniques リスクマネジメントーリスクアセスメント技法; pp.11-17 (2009).
- (73) Swift, A.J.: BRIDGE TEAM MANAGEMENT: A Practical Guide; O'Sullivan Printing Corporation, pp.15-50 (1993).
- (74) IMO: GUIDELINES FOR VOYAGE PLANNING; Resolution A.893 (21), (2000).
- (75) IMO: REVISED RECOMMENDATIONS FOR ENTERING ENCLOSED SPACES ABOARD SHIPS; Resolution A.1050 (27), (2011).

-
- (76) ISO: ISO/IEC 1999: 英和対訳版 ISO/IEC Guide 51, Safety aspects-Guidelines for their inclusion in standards 安全面－規格に安全に関する面を導入するためのガイドライン; 日本規格協会, p.5 (2001).
- (77) OHSAS Project Group 2007: OHSAS 18001:2007: 英和対訳版(改訂版) Occupational health and safety management systems-Requirements 労働安全衛生マネジメントシステム－要求事項; 日本規格協会, p.7 (2008).
- (78) Fukuoka, K.: Visualization of a hole and accident preventive measures based on the Swiss cheese model developed by risk management and process approach; *WMU Journal of Maritime Affairs*, Springer-Verlag GmbH, Vol.15(1), pp.127-142 (2016).

第 4 章

- (79) 運輸安全委員会: 運輸安全委員会年報 2014; 運輸安全委員会, p.75 (2014).
- (80) Reason, J.: *Managing the Risks of Organizational Accidents*; Ashgate Publishing Limited, p.20 (1997).
- (81) Reason, J.: *Managing the Risks of Organizational Accidents*; Ashgate Publishing Limited, p.1 (1997).
- (82) IMO: CODE OF THE INTERNATIONAL STANDARDS AND RECOMMENDED PRACTICES FOR A SAFETY INVESTIGATION INTO A MARINE CASUALTY OR MARINE INCIDENT (CASUALTY INVESTIGATION CODE); Resolution MSC.255 (84), (2008).
- (83) Hollnagel, E.: *Barriers and Accident Prevention*; Ashgate Publishing Limited, p.20 (2004).
- (84) Underwood, P., Waterson, P.: System thinking, the Swiss Cheese Model and accident analysis: a comparative systemic analysis of the Grayrigg train derailment using the ATSB, AcciMap and STAMP models; *Accident Analysis & Prevention*, doi: dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.07.027(2013).
- (85) Australian Transport Safety Bureau: ATSB TRANSPORT SAFETY RESEARCH REPORT: Aviation Research and Analysis Report-AR-2007-053, Analysis, Casualty and Proof in Safety Investigations; Australian Transport Safety Bureau, p.36 (2008).
- (86) 運輸安全委員会: 運輸安全委員会年報 2015; 資料編,運輸安全委員会,資料-32-資料-34 (2015).
- (87) 竹本孝弘: ヒューマンエラーの特徴に基づく衝突海難防止に関する研究; 博士論文, 神戸大学, pp.104-105 (2009).

第 5 章

- (88) 松原望, 縄田和満, 中井検裕: 統計学入門; 東京大学出版会, pp.48-49 (2010).

(89) 豊田秀樹: 回帰分析入門; 東京図書株式会社, p.13 (2014).

第 6 章

- (90) Grech, M., Horberry, T., Koester, T.: HUMAN FACTORS in the MARITIME DOMAIN; Taylor & Francis Group, pp.20-23 (2008).
- (91) 伊藤博子, 三友信夫, 松岡猛, 室原陽二: m-SHEL モデルを用いた船舶運航のヒューマンファクター分析; 日本航海学会論文集, Vol.110, pp.83-91 (2004).
- (92) Hawkins, F.H.: Human Factors in Flight; Gower Technical Press Ltd, pp.20-24 (1987).
- (93) Reason, J.: Managing the Risks of Organizational Accidents; Ashgate Publishing Limited, pp.132-138 (1997).
- (94) Mearns, K., Whitaker, S., Flin, R., Gordon, R., O'Connor, P.: Factoring the human into safety: Translating research into practice: The development and evaluation of a human factors accident and near miss reporting form for the offshore oil industry; HSE books, pp.8-13(2003).
- (95) Wiegmann, D.A., Shappell, S.A.: A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis; Ashgate Publishing Limited, pp.45-71 (2003).
- (96) Adams, M.R.: SHIPBOARD BRIDGE RESOURCE MANAGEMENT; Nor'easter Press, pp.15-34, 83-97 (2006).
- (97) Parrott,D.S.: Bridge Resource Management for Small Ships: The Watchkeeper's Manual for Limited-Tonnage Vessels; The McGraw-Hill Companies, pp.7-40 (2011).
- (98) Hawkins,F.H.: Human Factors in Flight; Gower Technical Press Ltd, pp.179-180 (1987).
- (99) Adams, M.R.: SHIPBOARD BRIDGE RESOURCE MANAGEMENT; Nor'easter Press, pp.139-149 (2006).
- (100)Parrott,D.S.:Bridge Resource Management for Small Ships: The Watchkeeper's Manual for Limited-Tonnage Vessels; The McGraw-Hill Companies, pp.111-136 (2011).
- (101) Reason, J.: Managing the Risks of Organizational Accidents; Ashgate Publishing Limited, pp.195-196 (1997).
- (102) 飯塚悦功: 現代品質管理総論; 朝倉書店, pp.32-33 (2009).
- (103) Macrae, C.: Human factors at sea: common patterns of error in groundings and collisions; *Maritime Policy Management*, Vol.36, No.1, pp.21-38 (2009).
- (104) Fukuoka, K.: Visualization of Holes and Relationships Between Holes and Latent Conditions, Weintrit, A. (ed) *Activities in Navigation: Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*; CRC Press/Balkema, pp.215-221 (2015).

第 7 章

- (105) 竹本孝弘: ヒューマンエラーの特徴に基づく衝突海難防止に関する研究; 博士論文, 神戸大学, pp.16-17 (2009).
- (106) 黒田勲: ヒューマンファクターを探る; 中央労働災害防止協会, p.3 (1988).
- (107) ICAO: HUMAN FACTORS DIGEST No.7: INVESTIGATION OF HUMAN FACTORS IN ACCIDENTS AND INCIDENTS; Circular 240-AN/144, pp.3, 16-21 (1993).
- (108) 松原望, 縄田和満, 中井検裕: 統計学入門; 東京大学出版会, pp.41, 43, 58-63 (2010).
- (109) 長谷川勝也: これならわかる Excel で楽に学ぶ多変量解析; 技術評論社, p.2 (2002).
- (110) 豊田秀樹: 回帰分析入門; 東京図書, p.135 (2014).
- (111) Chauvin, C., Lardjane, S., Morel, G., Clostermann, J.P., Langard, B.: Human and organisational factors in maritime accidents: Analysis of collisions at sea using the HFACS; *Accident Analysis and Prevention*, Vol.59, pp.26-37 (2013).
- (112) 豊田秀樹: 検定力分析入門; 東京図書, p.162 (2009).
- (113) 豊田秀樹: 回帰分析入門; 東京図書, p.95 (2014).
- (114) Manuel, M.E.: *Maritime Risk and Organizational Learning*; Ashgate Publishing Limited, p.98 (2011).
- (115) Swift, A.J.: *BRIDGE TEAM MANAGEMENT: A practical guide*; O'Sullivan Printing Corporation, pp.13-15 (2000).
- (116) Adams, M.R.: *SHIPBOARD BRIDGE RESOURCE MANAGEMENT*; Nor'easter Press, pp.4-5 (2006).

第 8 章

- (117) Fukuoka, K., Furusho, M.: Relationship between latent conditions and the characteristics of holes in marine accidents based on the Swiss cheese model; *WMU Journal of Maritime Affairs*, Springer-Verlag GmbH, Vol.15(2), pp.267-292 (2016).
- (118) Reason, J.: *The Human Contribution*; Ashgate Publishing Limited, p.101 (2008).
- (119) 飯塚悦功: 現代品質管理総論; 朝倉書店, p.32 (2009).
- (120) 山田秀: 品質管理のためのカイゼン入門; 日本経済新聞社, pp.52-55 (2006).

-
- (121) Chauvin, C., Lardjane, S., Morel, G., Clostermann, J.P., Langard, B.: Human and organizational factors in maritime accidents: Analysis of collisions at sea using the HFACS; *Accident Analysis and Prevention*, Vol.59, pp.26-37 (2013).
- (122) Schroder-Hinrichs, J.U., Baldauf, M., Ghirxi, K.T.: Accident investigation reporting deficiencies related to organizational factors in machinery space fires and explosions; *Accident Analysis and Prevention*, Vol.43, pp.1187-1196 (2011).
- (123) Reason, J.: *Managing the Risks of Organizational Accidents*; Ashgate Publishing Limited, p.8 (1997).
- (124) 品質マネジメントシステム規格国内委員会：対訳 ISO9001：2008(JIS Q 9001:2008) 品質マネジメントの国際規格ポケット版；日本規格協会，pp.23-125 (2008).
- (125) Manuel, M.E.: *Maritime Risk and Organizational Learning*; Ashgate Publishing Limited, p.230 (2011).