

博士学位論文

航空機整備分野における
人的過誤事例情報の活用法に関する研究
—教訓抽出のための大規模データベースの新たな分析手法の提案—

2021年3月

慶応義塾大学大学院

システムデザイン・マネジメント研究科

小嶋二郎

要旨

航空会社にとって安全は経営の基盤であり、社会にとっては当たり前の要求事項である。安全の追求は航空業界全体で取り込まれ、現在では人が死亡する事故は限りなくゼロに近い。さらに、ゼロに近づけるためには日々の安全にかかわる情報の収集、分析、改善する活動が重要となる。航空機整備業務においても、事故を撲滅するために人的過誤事例の収集が会社レベルでも国レベルでも行われている。個々の人的過誤については、分析、改善の活動が行われる一方で、航空機整備の大量の人的過誤事例を統計的に分析する研究は数少なく、逆に、要因分析を行った事例を全体として分析する手法を見出せないことの議論があることが分かってきた。

そこで、本研究ではこれらの現状を踏まえ、航空機の整備業務に係る人的過誤事例において、大量の事例を統計的に分析し、人的過誤発生に係る要因を明らかにし、それら要因間の構造などから人的過誤に至るシナリオを見出し、実践的な防止法を導くことのできる分析手法の提案を行うことを目的として設定し、航空機の運航の安全に貢献することとした。

研究のプロセスとして、まず、人的過誤は人間の特性により起きるのではなく、むしろシステムの上流に潜む背後要因によると考えるシステムアプローチの視点を持ち、大量の人的過誤事例を統計的に分析する手法を提案した。次に、どんなに背後要因を改善しても人的過誤は起こり得る、人間を潜在的な危険性として捉えるパーソンアプローチの視点で、大量の人的過誤事例を分析する手法を提案した。

はじめに、システムアプローチの視点から、人的過誤事例が大量に収集され、専門家により要因分析が行われている、米国航空業界の自発報告制度である Aviation Safety Reporting System を利用し、航空機整備業務に係る人的過誤事例の統計的な分析に取り組んだ。まず、ベイジアンネットワークを用いて、要因間の構造のモデルを構築し、人的過誤に至るシナリオとそれを引き起こす危険な要因を示した。この要因間の構造のモデルが静的な状態であるのに対し、時系列分析を利用することで、マネジメント上の問題が、時間的な遅れを伴い、人的過誤発生に間接的な影響を及ぼす状態が示唆された。また、大量の事例に含まれる文字情報のテキストマイニングにて特徴的な単語を抽出し、単語の意味を推察することから、マネジメント上の問題が人的過誤に影響を及ぼす仮説が得られた。このように、大量の人的過誤

事例の統計的分析から、人間の背後に潜む要因に係る新たな教訓を抽出する手法を提案した。

パーソンアプローチの視点では、人的過誤が起きた時の、作業者の年齢、勤務、作業経験等の条件を収集しやすい航空会社自社レベルでの人的過誤事例を利用し、人的過誤に陥る可能性がある状況を、自己組織化マップで可視化する手法を提案した。

本研究では、要因分析が的確に行われている人的過誤事例を用いることで、教訓を導くことができる統計的な分析手法を提案した。適切な要因分析は個別事例の適切な再発防止策につながるだけでなく、蓄積後の大量の事例の統計的な分析でも新たな教訓を得ると考える。

Study on the Usage of Human Error Events to Aircraft Maintenance Work

-Proposal of New Analysis Method for Extracting Lesson Learned from Large-Scale Database-

Abstract

Safety is the foundation of business of airlines and a natural requirement for society. The increase of safety has been achieved throughout the aviation industry, and decreased aircraft accident closely to the lowest level. Furthermore, in order to approach zero level, it is important to collect monitoring daily safety related information and evaluate the risk of elements and use of results for safety improvement. In aircraft maintenance work, reports about human error are collected at both company level and national level in order to avoid accidents. Analysis and improvement activities are carried out for individual human errors, but the utilization of a large number of collected cases is limited to disseminating cases for improving awareness. However, even in the preceding studies about human error in aircraft maintenance, there is few researches that analyzes a large number of human error cases statistically. Furthermore, there is a discussion that it is not possible to find a method for comprehensively analyzing a large number of incident reports for which contribution factor analysis has been performed.

Therefore, based on investigation of preceding studies, the purpose of this research is set as the proposal of statistical analytical methods that can find lessons learned such as clarifying the contribution factors of human error and structure model of them, scenario led to human errors. And it can find practical prevention methods to prevent human error and to improve aviation safety.

As a research process, first, methods of analysis from the perspective of system approach are proposed. System approach means that human error is not caused by human characteristics but rather by the contribution factors hidden upstream of the system. Then, from the perspective of a person approach that regards human beings as a potential danger, in which human error can occur no matter how much the underlying factors are improved, another method of analysis is proposed.

First, from the perspective of the system approach, using Aviation Safety Reporting System, a voluntary reporting system for the US aviation industry, which is being analyzed by experts, statistically analyzation methods has proposed as bellow.

Bayesian network could be used to model the structure between contribution factors, showing scenarios leading to human errors and risk factors that cause human error.

Though the model of the structure between contribution factors is in a static state, using time series analysis shows the dynamic relationship. And it is suggested that deterioration or recovery of the management would indirectly affects the occurrence of human error with time delay.

Also, by extracting characteristic words by text mining of the textual information contained in a large number of reports and inferring the meaning of the words, a hypothesis was obtained that problem in management affect human error.

Thus, analysis from the perspective of the system approach has shown that new lessons can be found.

Next, from the perspective of the person approach, this paper shows a self-organizing map method for visualizing the state in which human error can be occasionally occurred under what conditions humans, utilizing reports about human error of an airline company which have data such as worker age, working day, work experience, etc.

This study has shown some statistical analysis methods in which lessons learned can be found using human error cases where contribution factors analysis is performed appropriately. Appropriate analysis of contribution factors would not only lead to appropriate recurrence preventive action for individual human error case, but also provide invisible lessons from statistical analysis of a large number of post-accumulation human error cases.

第3章 マネジメントが人的過誤発生に与える影響とその動的变化 36

3.1 章の概要	36
3.2 はじめに	36
3.3 ASRS から抽出する人的過誤データについて	36
3.4 人的過誤データの動的検証	37
3.5 Management Data が Other Data に影響を及ぼす期間の検証	40
3.6 考察	42
3.7 章のまとめ	43

第4章 マネジメントが及ぼす影響の内容..... 44

4.1 章の概要	44
4.2 マネジメント上の問題が人的過誤発生に影響を及ぼしている期間	44
4.3 人的過誤データのテキストマイニングと検証	45
4.3.1 Management Data と Other Data の特徴の検証	45
4.3.2 Other Data の検証 (Phase 1 と Phase 2 の違い)	48
4.4 考察	49
4.4.1 Management Data にある人的過誤の特徴の考察 (Phase 1)	49
4.4.2 Other Data にある人的過誤の特徴の考察 (作業内容)	50
4.4.3 Other Data にある人的過誤の特徴の考察 (マニュアル関連)	51
4.4.4 Other Data にある人的過誤の特徴の考察 (再発防止意識)	53
4.5 章のまとめ	54

第5章 会社レベルでの大量の人的過誤事例を活用する手法の提案 56

5.1 章の概要	56
5.2 はじめに	56
5.3 大量の人的過誤事例の発生状況の俯瞰的な可視化	58
5.3.1 パーソンアプローチに基づく可視化	58

5.3.2	人的過誤発発生状況を俯瞰的に可視化する手法	58
5.3.3	自己組織化マップ	60
5.3.4	自己組織化マップの検証	61
5.4	自己組織化マップを活用した学習方法の提案	61
5.4.1	個人学習	61
5.4.2	組織学習	64
5.5	考察	68
5.6	章のまとめ	69

第6章 総括的視点からの考察 70

6.1	要因分析されたデータを統計的に分析する前提条件	70
6.2	報告の内容自体の重要性	71
6.3	要因間の構造の変化	72
6.4	システムアプローチとパーソンアプローチ	73
6.5	分析手法	74
6.6	示唆された教訓	75

第7章 結論 76

7.1	本研究の成果	76
7.2	今後の展望	78
7.2.1	社内での分析手法の共有	78
7.2.2	社外から学ぶ	78

謝辞.....	80
研究業績.....	82
参考文献.....	83
付録1 ASRS 背後要因「Company Policy」を主要因とする内容の種類と該当する ASRS 番号.....	88

〈図目次〉

図 1-1	世界の民間航空機の全損事故率（件数/100 万飛行回数）の推移.....	2
図 1-2	世界の民間航空機の全損事故の主たる原因（1996 年から 2005 年までの期間） ...	4
図 1-3	安全文化の因果ループモデル（宇野、高野 2014）	7
図 1-4	本研究の全体のフローチャート.....	17
図 2-1	人的要因関連図のグラフ構造：Wide.....	26
図 2-2	人的要因関連図のグラフ構造：Narrow	26
図 2-3	人的要因関連図のグラフ構造：Regional.....	27
図 2-4	人的要因関連図に背後要因を加えたグラフ構造：Wide.....	28
図 2-5	人的要因関連図に背後要因を加えたグラフ構造：Narrow.....	28
図 2-6	人的要因関連図に背後要因を加えたグラフ構造：Regional.....	29
図 3-1	Management Data の月次件数.....	37
図 3-2	Other Data の月次件数.....	38
図 3-3	Management Data と Other Data の Trend.....	38
図 3-4	相関係数（Other Data を 1 ヶ月毎にシフト）	39
図 3-5	Management Data と Other Data（15 ヶ月シフト）の Trend.....	39
図 3-6	グレンジャー因果性検定結果 p-Value = Management Data	42
図 3-7	グレンジャー因果性検定結果 p-Value = Other Data	42
図 3-8	Management Data と Other Data（15 ヶ月シフト）の Trend Rev.1	43
図 4-1	期間 Phase 1 と期間 Phase 2.....	45
図 4-2	Other Data 件数、単語「recommend」と単語「suggest」の使用事例件数の月次推移	54
図 4-3	マネジメント上の問題が人的過誤に影響を及ぼす仮説モデル(増加時).....	55
図 4-4	マネジメント上の問題が人的過誤に影響を及ぼす仮説モデル(減少時).....	55
図 5-1	Management Data と Other Data の月次推移（2014 年 3 月から 2020 年 1 月まで）	57
図 5-2	人的過誤発生状況を俯瞰的に可視化する手法の概念図	59
図 5-3	自己組織化マップの概念図.....	60
図 5-4	自己組織化マップの出力（271 件の事例）	61
図 5-5	作業員 A の自己組織化マップ.....	62
図 5-6	作業員 B の自己組織化マップ.....	62
図 5-7	自己組織化マップ（271 件）	65
図 5-8	自己組織化マップ（271 件から 25 件の事例を削除）	65

図 5-9	自己組織化マップ(271 件から 50 歳以上と 22 歳以上の年齢差がある事例を削除)	65
図 5-10	自己組織化マップ (図 5-9 から 56 歳以上の作業員で 3 歳以下の年齢差がある作業員と組んだ事例を削除)	66
図 5-11	自己組織化マップ (日時の古い事例 180 件)	67
図 5-12	対策を講じた時点と直近 180 件の事例群の概念図	67
図 5-13	自己組織化マップ (対策後の直近 180 件)	68
図 6-1	要因間の構成グラフ	72

〈表目次〉

表 2-1	背後要因の名称と出現率.....	22
表 2-2	背後要因「Company Policy」を主要因とする事例内容の種類と概要、および件数	22
表 2-3	人的要因の名称と出現率.....	24
表 2-4	図 2-4, 図 2-5, 図 2-6 における各リンクの有意値.....	29
表 2-5	全事例に対する DT、SA、DT と SA が同時に発生する割合	31
表 2-6	人的要因の発生確率減少値.....	34
表 4-1	単語「carrier」の出現回数.....	46
表 4-2	Management Data の特徴的な単語.....	47
表 4-3	Other Data の特徴的な単語.....	47
表 4-4	Other Data にある単語の P 値 (Phase 1 と Phase2)	48
表 4-5	Other Data の特徴的な単語 (Phase 1)	49
表 4-6	出現回数と使用事例件数 (MEL, graveyard)	51
表 5-1	人的過誤事例から得られる作業者に係るデータ	59
表 5-2	作業員 A と作業員 B によるデータ入力例.....	62
表 5-3	作業員 A に紹介された事例概略.....	62
表 5-4	作業員 B に紹介された事例概略.....	63
表 6-1	共通するリンクの有意値.....	72

〈用語の略語一覧表〉

【A】

AMM : Aircraft Maintenance Manual

ASIAS : Aviation Safety Information Analysis and Sharing

ASRS : Aviation Safety Reporting System

【C】

CB : Circuit Breaker

CB : Communication Breakdown (Contributed factor of ASRS)

CF : Confusion (Contributed factor of ASRS)

CH : Chart or Publication (Contributed factor of ASRS)

CP : Company Policy (Contributed factor of ASRS)

【D】

DT : Distraction (Contributed factor of ASRS)

【E】

ET : Equipment / Tooling (Contributed factor of ASRS)

EV : Environment – Non Weather Related (Contributed factor of ASRS)

【F】

FA : Fatigue (Contributed factor of ASRS)

FAA : Federal Aviation Association

FOQA : Flight Operational Quality Assurance

FRAM: Functional Resonance Accident Model

【H】

HFACS: Human Factors Analysis and Classification System

【I】

IATA : International Air Traffic Association

ICAO: : International Civil Aviation Organization

IPC : Illustrate Parts Catalogue

【M】

J-HPES : Japanese version – Human Performance Enhancement System

【M】

MEL : Minimum Equipment List

ML : Manuals (Contribution Factor of ASRS)

[N]

Narrow : Narrow Body Jet

NASA : National Aeronautics and Space Administration

NTSB : National Transportation Safety Board

[P]

PEC-SAFER : Petroleum Center – Safety Assist For Engineer in Refinery

[R]

Regional : Regional Jet

RISCAD : Relational Information System for Chemical Accidents Database

[S]

SA : Situational Awareness (Contributed factor of ASRS)

SMS : Safety Management System

ST : Staffing (Contributed factor of ASRS)

[T]

TP : Time Pressure (Contributed factor of ASRS)

TQ : Training / Qualification (Contributed factor of ASRS)

TS : Troubleshooting (Contributed factor of ASRS)

[V]

VASIP : Voluntary Aviation Safety Information Process

VTA: Variation Tree Analysis

[W]

Wide : Wide Body Jet

WL : Workload (Contributed factor of ASRS)

第1章 序論

1.1 本研究の背景

安全に 100%はない。しかし、100%に限りなく近づけていくことはできる。図 1-1 は、それを示している。このグラフは世界の航空会社で構成される業界団体である IATA (International Air Traffic Association) が web の Home Page で公開している 2000 年から 2018 年までの Annual Review¹⁾から航空会社の百万飛行回数当たりの全損事故発生率を抽出し、その推移をまとめたものである。2018 年の全損事故発生率は 0.19 件で、5.26 百万飛行回数で 1 件の全損事故が発生するという水準まで安全性を高めている。ただし、全損事故は減少傾向をたどるもののゼロには至っていない。国連の専門機関である国際民間航空機関 (ICAO: International Civil Aviation Organization)²⁾は、航空機の運航の安全は次の 3 つの側面の改善により、進歩してきたと報告している。

- ・技術の改善

1960 年代後半までは、安全対策の中心は技術的要因の調査と改善であり、それにより事故の発生頻度は大幅に減少した。

- ・人的要因の改善

1970 年代初頭から、安全の問題はマン-マシン・インターフェースを含む人的要因も取り扱われるようになってきた。ただし、人的要因を個人の問題としてとらえる傾向にあった。

- ・組織要因の改善

1990 年代半ばから、技術および人的要因に組織要因を加え、システム的な視点で安全をとらえるようになった。その結果、組織事故という概念が導入され、組織の文化も考慮されるようになった。あわせて、事故の予防的な観点からは、従来の事故 (注 1) や重大インシデント (注 2) に限定する情報の収集や分析だけでなく、日常的な安全情報の収集と分析が行われるようになった。

^{注1}ICAO 条約 Annex13 では、航空機の運航に係わる「人の致命傷、重症」、「航空機の性能・強度に大きな影響のある損傷」、「航空機の失踪、完全な隔絶」と定義している。我が国では、航空法第 76 条にて「航空機の墜落、衝突または火災」、「航空機による人の死傷または物件の損傷」、「航空機内にあるものの死亡 (自然死等は除く) または行方不明」、「他の航空機との接触」等と定義している。

^{注2}ICAO 条約 Annex13 の”Serious Incident” に相当する事態、または航空法第 76 条の二および航空法施行規則第 166 条の四に定められた、航空事故が発生するおそれがあると認められる事態をいう。

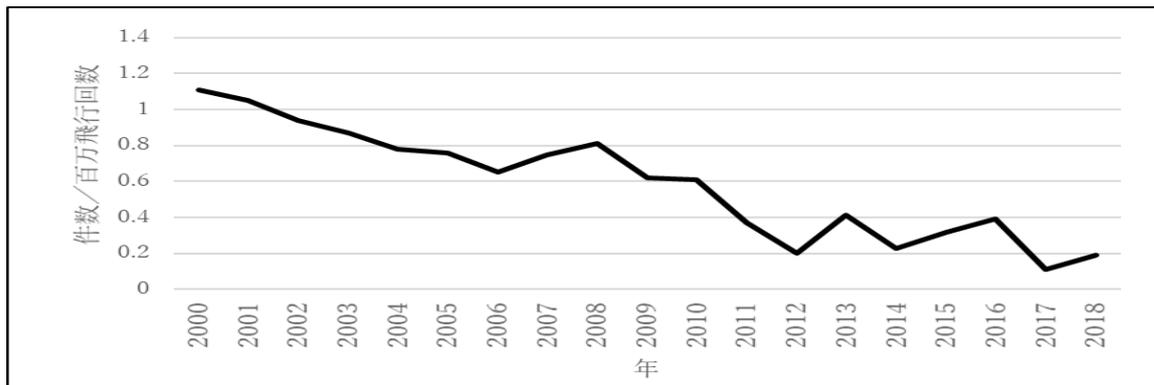


図 1-1 世界の民間航空機の全損事故率（件数/100 万飛行回数）の推移

日常的に収集する安全情報としては、日々の運航で蓄積されるデータ（例えば、航空機運航中の飛行姿勢、速度、加速度、動翼の作動状況、エンジンの各パラメーター等の大量のデータ）を解析していくデータ駆動型システムに活用される情報と不安全事象の報告の 2 つに大別されるが、運航データ駆動型は運航に係る主にデジタルデータが収集される関係から、地上で行われる航空機整備業務との関連性は薄い。また、国家レベルで収集される大規模な航空機整備業務での人的過誤事例の自発報告の活用は、現状では事例の紹介にとどまっている。以下に運航データ駆動型システムと不安全事象の自発報告についての概要を記述する。

先ず、運航データ駆動型システムとしての活用例について記述する³⁾。米国では 1990 年代に入り、航空機事故の撲滅をかかげ、FOQA (Flight Operational Quality Assurance) の構想を掲げた。FOQA とは、航空機の運航に係わるフライトデータを解析して、日常の運航の中から事故に至るおそれのあるリスクを特定し、未然防止に役立てるというものである。運航乗務員の立場からみれば違反の取り締まりに見られがちであるのを、米国連邦航空局 (FAA: Federal Aviation Association) は各航空会社の理解のもと 1995 年に制度化した。FAA は 2004 年に、航空会社から自発的に提供される FOQA 情報を共有する Voluntary Aviation Safety Information Process (VASIP) を構築し、その後 2007 年に FAA および業界団体が中心となって、データ収集を国家レベルに広げる Aviation Safety Information Analysis and Sharing (ASIAS) Program へと発展的に継承した。ASIAS においては、FOQA や FAA のデータ（航空業務提供者および航空安全当局の両方として）、および航空機メーカーをはじめとする製造会社から集まる膨大なデータを管理、分析、監視する運航データ駆動型システムのアプローチを採用している。この ASIAS の膨大な数のデータの継続的な分析活動の結果として、1998 年から 2008 年までの死亡事故は 83%削減され、現在の目標は 2010 年から 2025 年の間で死亡事故リスクを 50%削減することを掲げている。航空機が運航中のデータを記録する装置は、容量、速度、機能の面で技術の進歩と共に発展を続けており、個々の航空会社で行っていた運航のモニタリングを、国際レベルで運航データの分析を行い、航空の

安全に活かす活動が一つの潮流となっている。ただし、航空機整備作業関連業務に係る安全向上は、直接運航に関与していないことからデータ駆動型によるアプローチは適していない。

次に、国家レベルでの不安全事象の自発報告制度について記述する。米国では1976年に自発報告制度であるASRS (Aviation Safety Reporting System)⁴⁾が、FAAとNASA (National Aeronautics and Space Administration)の覚書を通じて設立された。ASRSの目的は米国航空業界の事故防止にあるが、規制や監理を担うFAAは、NASAが中立の立場で機密性と匿名性を保証する運営を行うことで航空関係者の信頼を得られるとの考えのもと、資金面での支援を行っている。そしてNASAはFAAへ匿名性を厳守しながらASRSの報告を行うと共に人的要因の研究の機会としても活用している。ASRSは匿名性と非懲罰の方針を有することから、現場第一線で従事する運航乗務員、管制官、整備士等から直接、安全にかかわる人的要因の情報を収集することに成功しており、2018年の報告数は月次平均で8251件となっている。一方、法的制度として、ICAOは2001年に航空会社等にSMS (Safety Management System)の導入を義務付けた。以下にICAO²⁾の安全とSMSおよび人的過誤の定義を示す。なお、本研究では人的過誤の定義は、ICAOの定義を準用することとし、航空機整備に係わる人的過誤を例にすれば、定められた手順や規則等からの逸脱等のもとになる判断や行為と位置付ける。

- ・安全：危険な要因の特定及びリスク管理を継続して行うことによって、人への危害あるいは財産への損害のリスクが受容レベルまで低減され、かつ受容レベル以下に維持されている状態
- ・SMS：安全に対する方針及び目標を明確にし、目標達成のための管理計画を立案・実施しその状況を監視し、必要な措置を講じていく系統だった包括的な管理手法
- ・人的過誤：組織または当事者の意図しない結果や期待された範囲を逸脱する結果を生じさせた行為 (注3)

SMSの活動の中核は、安全に係る事象報告等を収集し、そこから危険な要因の特定とリスク評価を行い、未然防止を講じることである。我が国でも2006年に法の改正により、運輸安全管理マネジメント制度という名称でSMSを導入した。それにより、航空会社等は安全管理規程の制定等が義務付けられ、事故、インシデント、各種トラブルなどの不具合情報の収集により潜在するリスクを吸い上げ、事故の未然防止活動を制度化した。事故やインシデントという顕在化した情報だけでなく、業務中に経験したあるいは発見した人的過誤に係る潜在化した情報を積極的に収集することが重要となる。

^{注3}An action or inaction by an operational person that leads to deviations from organizational or the operational person's intentions or expectations. 【原文】

更に ICAO は、2010 年に不安全事象の自発的な報告を国レベルで吸い上げる制度を国際標準として義務付け、我が国は、2014 年に VOICES⁵⁾ という名称の航空安全情報自発報告制度を立ち上げた。これにより、航空機整備業務に係るインシデントや事故の減少につながる事が期待されるが、航空機整備業務に係る自発報告事例は、ASRS および VOICES においても情報共有ニュースでの個別事例の紹介にとどまっているのが現状である。

国レベルでの航空機整備業務に係る人的過誤事例の自発報告が個別事例の紹介にとどまる背景について、航空機事故の原因から推察する。ボーイング社が調査⁶⁾した、1996 年から 2005 年までの期間に発生した世界の民間航空機全損事故の主原因の分類を図 1-2 に示す。

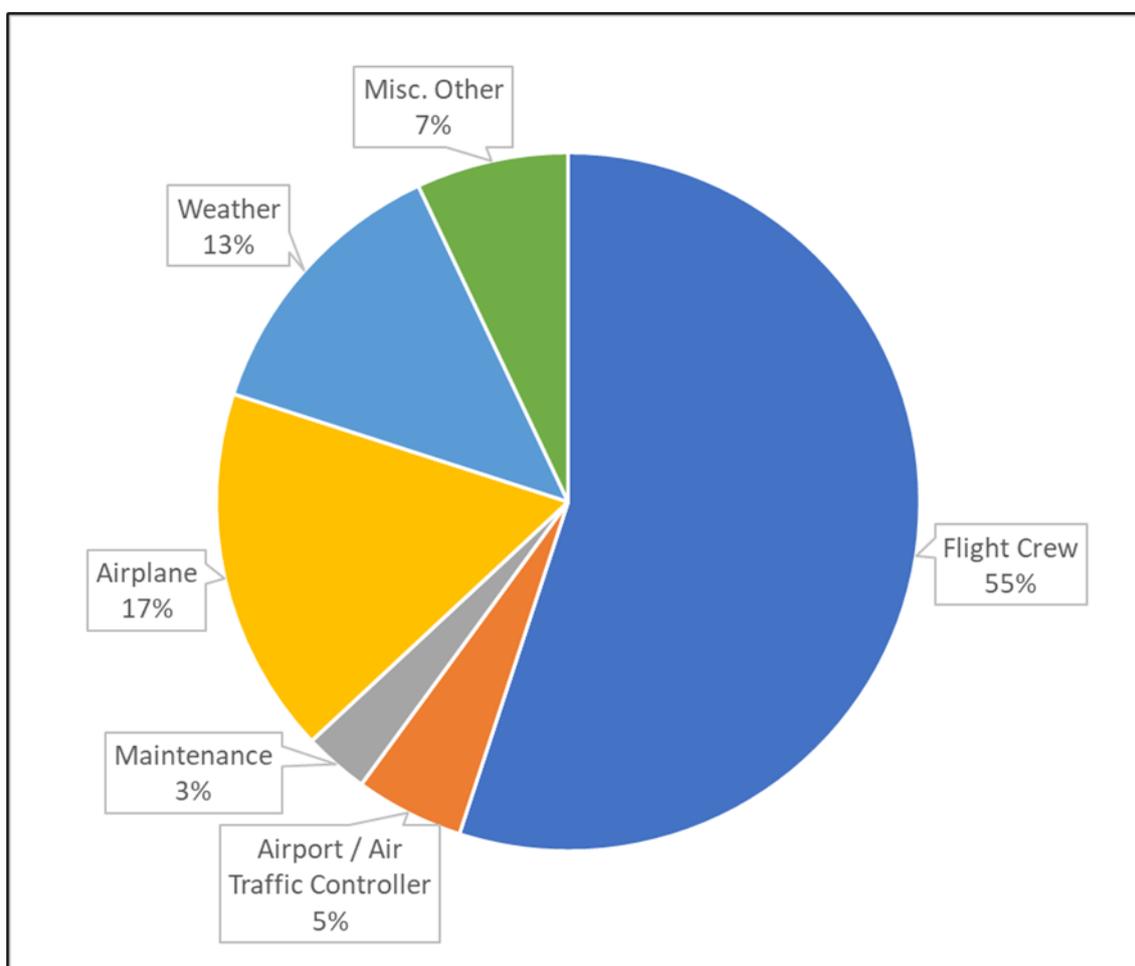


図 1-2 世界の民間航空機全損事故の主たる原因（1996 年から 2005 年までの期間）

Flight Crew は運航乗務員の人的過誤を意味し、Airplane は航空機の構造関連や発動機またはシステムの欠陥や故障、Weather は悪天候や火山灰など、Airport/Air Traffic Controller は運航計画や管制指示の過誤や空港の施設、滑走路等が含まれ、Maintenance は不適切な整備作業や整備計画の不備等が含まれる。最も多い主原因は、Flight Crew で全体の 55%を占め

ている。続いて、Airplane が 17%、Weather が 13%、Misc. Other（その他の原因）が 7%、Airport/Air Traffic Controller が 5%、Maintenance が 3%と続く。Flight Crew、Airplane、Weather、Airport/Air Traffic Controller は、直接運航に係る原因であり、それらが占める割合は 90%であるのに対し整備業務関連は 3%である。また、Flight Crew、Air Traffic Controller および Maintenance の主要原因のすべてが人的要因と仮定すれば、人的要因のうち運航乗務員にかかわる人的要因が 87%を占めるのに対して、整備業務関連の人的要因は 5%である。2006 年以降、Boeing 社は全損事故の主たる原因の公表をしていないが、航空機事故を専門に追跡している Plane Crash Information⁷⁾ の報告でも、民間航空機の死亡事故のうち、運航乗務員の人的過誤の原因は、2000 年代が 50%、2010 年代が 57%と Boeing 社と同等な数値を報告している。航空機事故の主要原因の報告から、航空機事故の防止には運航乗務員の人的過誤防止が効果的であることが示され、自発報告制度を受けての改善策も運航乗務員の人的過誤抑制が優先事項となり、航空機整備業務の事例は紹介にとどまっていると推察する。我が国の自発報告制度である VOICES が国に提言した案は 2020 年 10 月時点で 11 件あるが、内 10 件は運航乗務員の人的過誤抑制を目的としている。（他の 1 件は、航空機内での電子タバコを禁止する制度化の提言である）

1.2 本研究の目的

1.1 節で、航空機整備業が主たる原因で発生した全損事故は全体の 3%と記述をしたが、以下に航空機整備業が原因で事故になる場合のリスクの大きさについて記述する。K. B. Marais ら⁸⁾ は米国安全運輸委員会（NTSB: National Transportation Safety Board）が公表した 1999 年から 2008 年までの全ての事故調査報告書を分析した。その結果、整備業務を原因とする死亡事故の発生率は、全事故に対する死亡事故発生率と比較して 6.5 倍になること、また死亡者の数も整備業務に関連する事故の発生では、全事故と比して 3.6 倍になると報告している。また、1999 年から 2008 年の間に FAA に報告されたインシデント 3242 件を分析し、整備業務に関連するインシデントの件数が期間平均で 6.8%を占めていること、そしてその比率は減少している状況ではないことを報告している。インシデントの調査結果から航空機整備業務関連の危険な要因は潜在化していると考えられ、仮にそれが事故として顕在化すると死亡事故へのリスクが大きい事を示している。

運航乗務員や管制官の人的要因と組織要因の改善が、データ駆動型の分析と報告される人的過誤事例の分析の 2 つのアプローチを有するのに対し、整備作業関連業務の改善は人的過誤事例の分析に依存している。整備業務に関連する事故、インシデントを未然に防止するには、人的過誤事例の分析から危険な要因を特定し、そのリスクを減少させていく継続的な活動が重要となる。このことに注目して、航空機の整備業務の人的過誤事例を本研究の対象とする。

事故やインシデントの要因を分析する手法として、SHEL Model (Software, Hardware, Environment, Liveware)⁹⁾、4M 分析¹⁰⁾、VTA (Variation Tree Analysis)¹¹⁾、HFACS (Human Factors

Analysis and Classification System)¹²⁾, FRAM (Functional Resonance Accident Model)¹³⁾, J-HPES (Japanese version – Human Performance Enhancement System)¹⁴⁾, Bow-Tie Model¹⁵⁾等が提唱されてきているが、いずれも個々の事例の根本原因分析の究明には有効な手法だが、大量に収集した人的過誤事例データベースとして定量的な分析への適応は困難である。前述のように事故減少のトレンドの中、個々の事故から学ぶ機会は減少し続けている。そして、事故の未然防止にはインシデントや人的過誤事例の収集と分析の重要性は逆にますます重要となってきている。できるだけ多くの人的過誤事例の分析に基づき、人間の過誤と人間を過誤に陥らせる共通の要因を見出し、包括的に把握することで、事故に結び付く頻度の高い要因を明らかにして、改善していくことができると考える。過去から現在に至るまで膨大な数の報告を収集している ASRS も整備業務に係る改善への示唆は、定期的な個別事例や共通事例周知に限られている。また、我が国の自発報告制度の VOICES も同様である。航空機の安全運航の向上に貢献するため、本研究の目的を次のように定める。

「航空機の整備業務に係る人的過誤事例情報において、大量の事例全体を統計的に分析し、人的過誤発生に係る要因を明らかにし、それら要因間の構造などから人的過誤、ひいては航空機事故に至るシナリオを見出し、実践的な防止法を導くことのできる分析手法の提案を行うことを本研究の目的とする。」

上記の目的において、人的過誤事例情報とは、報告者が発生させた、あるいは、発見した人的過誤に係る情報である。これらには、自らの意図しない結果を生じさせた行為だけでなく、報告者を取り巻く他者における行為が結果として組織や報告者の期待される範囲を逸脱した事例も対象とする。航空機整備業務の多くは個人での作業でなく、チームとして作業を行う。業務に潜在する人的過誤情報を、「発生」させた当該者の事例だけでなく、他者の行為にも対象を広げることで、航空機の墜落、人身事故や機体損傷等の事故にとどまらず、緊急着陸や緊急脱出等の不安全事象の顕在化を防止するために、人的過誤を抑制する分析として有効と考える。

なお、本研究で究明された要因間の構造等の分析結果を把握することにより、安全文化醸成に貢献することができると考える。J. Reason¹⁶⁾は、安全文化の構成要素として、報告する文化、公正な文化、学習する文化、柔軟な文化を提唱している。報告する文化（自らの人的過誤やニアミスがしやすい雰囲気（信頼感）が向上しても学習する文化（観察すること、考えること、想像すること、行動すること）が醸成できなければ、報告する文化は実効性を失う。このことを宇野と高野¹⁷⁾は、安全文化を構成する「安全の8軸」を用いて、化学産業における安全文化の因果関係ループを説明している。その因果関係ループを図 1-3 に示す。宇野らは、統率ループ、相互理解ループおよび学習ループの3つのループを正しく機能させることが安全文化の向上に繋がると提唱している。学習伝承 (Learning)

が向上することで、危険認識（Awareness）が向上し、さらに動機付け（Motivation）も向上するという学習ループが存在し、学習ループが正しく機能すれば、動機付けが向上することで、統率ループおよび相互理解ループが働くことに繋がる。このような因果がプラスに作用しながら、安全文化の諸要因が良い方向に向上していく。

一方で、高野¹⁸⁾は、学習伝承を「安全重視を実践する組織として必要な知識（失敗経験の知識化）、そして、背景情報を理解し実践する能力を獲得し、これを伝承していくために、自発的に適切なマネジメントに基づく組織学習を継続すること。また、そのために教育訓練を行う。」と定義している。宇野らの提唱する学習ループは個々の事例のフィードバックや他者の経験を気づきとして動機付けを向上させるものだが、大量の事例の得られる要因間の構造等の知識化は、学習伝承（Learning）から作業管理（Work Management）や資源管理（Resource Management）に結び付くような新たな組織学習のループを見出すことで、航空機整備業務における安全文化の健全な醸成を進めていけると考える。

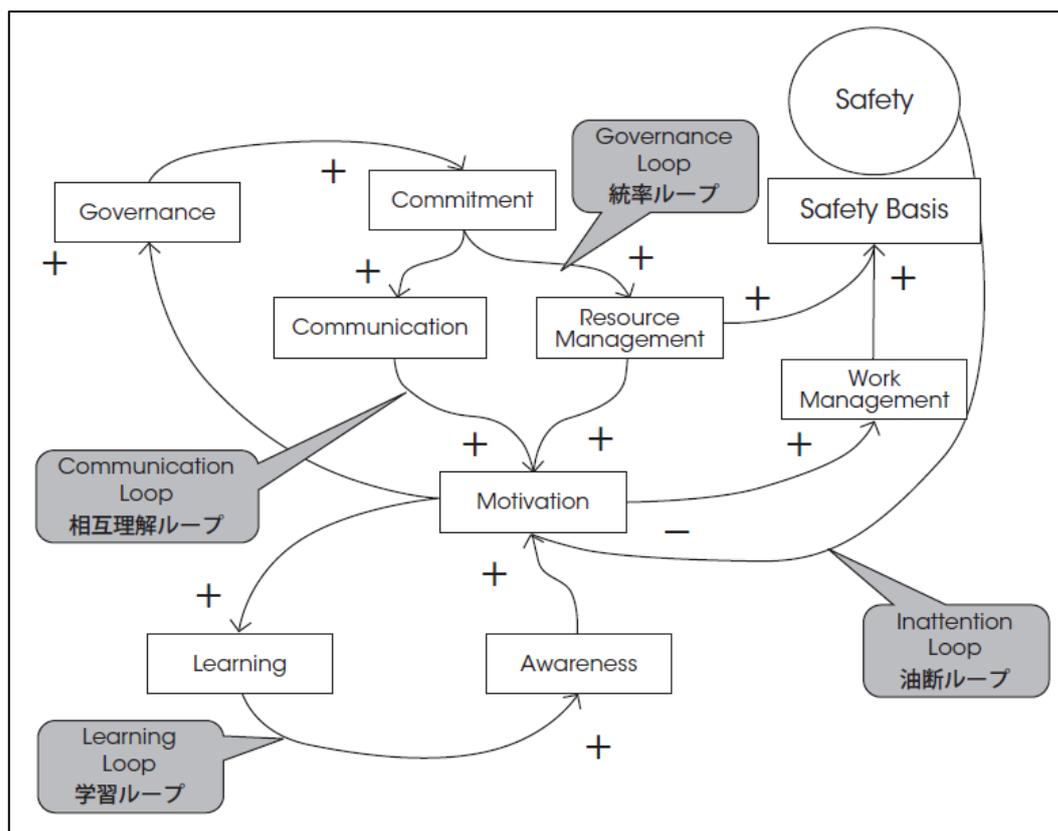


図 1-3 安全文化の因果ループモデル（宇野、高野 2014）

1.3 既往の研究

1.3.1 航空機整備業務における人的過誤に関する研究

本節では、航空機整備の人的過誤に係る研究の現状とその特徴について紹介する。本研究の目的とする大量の人的過誤事例を統計的に分析する研究は少なく、アンケート調査、インタビュー調査、非参与観察から危険な要因や安全向上に寄与する要因などを見出す研究が多いのが現状である。以下に航空機整備の人的過誤に関連する研究を紹介する。

先ず、大量の人的過誤事例を統計的に分析した研究について下記に2つを紹介する。いずれも過誤のタイプと要因との関連の報告に留まり、要因間の構造や実践的な人的過誤を防止する方法までは示していない。

- A. Hobbs ら¹⁹⁾はアンケート調査で収集した619件の整備業務に起因する人的過誤事例をもとに、人的過誤のタイプ、および人的過誤を誘発する労働環境や要因を調査した。人的過誤のタイプを、J. Rasmussen²⁰⁾の提唱する **skill-based error** (スリップ (目的は正しかったが、行為段階での誤り)、ラプス (短期的な記憶の喪失による誤り))、**rule-based error** (よく慣れた作業における計画段階での誤り)、**knowledge-based error** (不慣れた作業における計画段階の誤り)、**violation** で分類を行い、コレスポンデンス分析にて人的過誤のタイプと人的過誤を誘発する労働環境や要因との結びつきを示した。例えば、**skill-based error** が疲労と関連している等の示唆があり、**rule-based error** は手順書および、不十分なチームワークや作業員間のコミュニケーションの問題と関連があり、**knowledge-based error** は訓練の問題との関連があると報告している。
- 宮城²¹⁾は、独自に収集した250件の航空機整備業務における人的過誤事例の過誤の種別と潜在的要因を、数量化Ⅲ類の手法で分析し、個人的要因群とシステムの要因群の2大特性があることを報告している。個人的要因群の中にみられる過誤の種別は「一点集中」、「見ず、聞かず」、「(判断) 忘れ」、「(作業・指示) 忘れ」、「見間違い・聞き違い」であり、この影響要因は「疲労」、「睡眠不足」、「あせり・あわて」、「気のゆるみ」、「途中交代・作業中断」、「ワークロード大」である。システム要因群の中に見られる過誤の種別は「(判断) 無理」、「(作業指示) 無謀」、「安易」などがありこの影響要因は「機材・工具不足」、「部品不良」、「足場不良」、「作業経験・不慣れ」、「誤遠慮・誤配慮」などと報告している。

次に整備業務の人的要因にかかわるアンケート調査、インタビュー調査、非参与観察調査を用いた研究を以下に紹介する。

- N. McDonald ら²²⁾は欧州の航空会社でのアンケート調査とインタビュー結果から、整備業務に携わる者の安全意識は高いが、各会社の安全文化のレベルの違いに関係なくいずれの会社においても、手順違反の経験がある整備士が3割を超えていることを報告し、理由として分かりづらい手順書などの問題を提起している。
- D. Virovac ら²³⁾は欧州の航空会社の整備部門の整備作業記録から人的過誤事例の調査を

行い、人的過誤を助長する作業員個人の要因の 42%が、過去の経験に基づいた作業であることを報告している。

- Y. Chang ら²⁴⁾は台湾の航空会社の整備士を対象にアンケート調査を実施し、危険な要因になりうる 9 つの要因（個人の安全意識、マニュアルのリビジョン管理、職場の規範、適切な工具の配置、毒性のある材料、整備士間のコミュニケーション、人員配置、安全文化、報酬）を示した。
- J.C. Taylor ら²⁵⁾は米国の 5 つの航空会社に所属する整備士へのアンケート調査の分析から、安全を向上させる要因として、職場内の信頼関係、ストレス管理、アサーティブな態度を報告している。
- G.J. Fogarty ら²⁶⁾は、豪州の整備士を対象にアンケートを実施し、マネジメントの姿勢が職場の規範に影響を与えていること、それが悪影響になれば、手順の違反を招くと説明している。
- K.A Pettersen ら²⁷⁾は、ノルウェーの某地方空港にある運航間整備の職場において、6 週間の非参与観察を行い、整備士が常に自らのスキルと知識に謙虚であり、同僚からのサポートにも素直に受け止める態度、職場全体で問題解決するチームワーク、整備作業に起因して出発時刻に影響がある場面に直面する場合でも定時性より安全性を優先する姿勢など、目に見えない職場の規範が、安全を創りだすリソースであることを報告している。

以上を踏まえ、航空機整備業務に係る人的過誤の研究の現状のまとめを以下に記述する。

A. Hobbs¹⁹⁾ の 619 件の人的過誤事例の分析は、人的過誤のタイプと誘発する要因の関連を定量的に説明しており、アンケート調査や非参与観察による研究は、その一部を詳細に説明しているととらえることができる。例えば、A. Hobbs が rule-based error は手順書や作業員間のコミュニケーションの問題があるという分析結果に対しては、D. Virovac ら²³⁾ が論じる過去の経験に基づいた作業が人的過誤を助長する要因の意味は、経験ある作業では作業員間で作業内容を確認するコミュニケーションの不足が生じるとも解釈でき、Y. Chang²⁴⁾ らが論じるマニュアルのリビジョン管理を危険な要因とする意味は、慣れた作業でも、手順が変更されている可能性があるため、マニュアルは常に確認することが過誤を防ぐというようにも解釈できる。一方で、J.C. Taylor²⁵⁾、G.J. Fogarty²⁶⁾、K. A Pettersen²⁷⁾ らが示唆している、マネジメントの姿勢、職場の規範といった組織にかかわる要因については、A. Hobbs の 619 件の人的過誤事例の分析からは説明されていない。

大量の人的過誤事例を定量的に分析する研究の現状は、全体を捉える視点では有効な手法と考えられるが、人的要因と組織要因の構造などの説明には至っていない。宮城は前述した研究を通じて、起きた事故から学ぶのではなく、日常に起こる人的過誤のデータから学ぶことの重要性を主張しているが、我が国における航空機整備業務に係る人的要因の研究は芳しいとは言えず、本邦航空会社（全日本空輸(株)や日本航空(株)等）が実践している人

的過誤の防止対策や安全文化の醸成の取り組みの紹介等の啓発的な活動にとどまっている。

1.3.2 ASRS を活用した研究

1.3.1 節では、航空機整備業務の人的過誤に係る研究の現状を記述したが、本節では自発報告制度として成功している ASRS が組織として発行している研究について紹介する。ASRS が公式ホームページで公開している ASRS Research Paper は 2020 年 9 月時点で、33 件あり、下記にその表題と発行年を記す。

- Meteorological and Aeronautical Information Services Data Link Services and Application Study (2012)
- ASRS General Aviation Weather Encounter Report (2007)
- Cross-Industry Applications of a Confidential Reporting Model (2004)
- Runway Transgressions at Non-Towered and Tower Closed Airports (2003)
- ASRS: The Case for Confidential Incident Reporting Systems (2001)
- Cabin Crew Safety Information Article (2001)
- Crossing Restriction Altitude Deviation on SID's and STARs (1997)
- Communication-Related Incidents in General Aviation Dual Flight Training (1997)
- What ASRS Data Tell About Inadequate Flight Crew Monitoring (1997)
- Measuring Safety with Flight Data (1995)
- The Use of ASRS Incident Reports in AQP Training (1995)
- Airport Ramp safety and Crew Performance Issues (1995)
- What ASRS Incident Data Tell About Flight Crew Performance During Aircraft Malfunction (1995)
- The Acquisition and Use of Incident Data (1995)
- One Zero Ways to Bust an Altitude (1993)
- Emergency Medical Service Helicopter Incidents Reported to ASRS (1993)
- An Approach to Modeling Pilot Memory and Development a Taxonomy of Memory Errors
- Behavioral Impact of TCAS II on the National Air Traffic Control System (1993)
- General Aviation Landing Incidents & Accidents: A Review of ASRS & AOPA Research Findings (1993)
- Delayed Pilot Recognition in Lost Communication Events (1993)
- Confusion on Flight Deck (1993)
- Time Pressure as a Causal Factor in Aviation Safety Incidents: The Hurry-Up Syndrome (1993)
- Air Carrier Ground Deicing/Anti-Icing Problems (1993)
- Who or What Saved the Day: A Comparison of Traditional & Glass Cockpit (1991)
- Rejected Takeoff: Causes, Problem, and Consequences (1991)
- Human Factors in ATC Operations: Anticipatory Clearances (1989)
- Training for Advanced Cockpit Technology Aircraft (1989)

- ・ ATC Control & Communications Problems: An Overview of Recent ASRS Data (1989)
- ・ Pilot Judgement in TCA Released Flight Planning (1989)
- ・ Human Factors in Aviation: Terminal Control Area Boundary Conflicts (1989)
- ・ The Development of the NASA Aviation Safety Reporting System (1986)
- ・ Human Factors in Aviation Operations: The Hearback Problem (1986)
- ・ Human Factors Associated with Runway Transgressions (1985)

上記の Research Paper はいずれも、直接運航に係る運航乗務員あるいは管制官の人的過誤防止の視点で記載されている。それでも、次の2点の Research Paper は、直接運航にかかわる運航乗務員や航空管制官のみならず、整備士をはじめとする他職種にも充分参考になる内容であるので紹介する。

一つ目は「Time Pressure as a Causal Factor in Aviation Safety Incidents: The Hurry-Up Syndrome²⁸⁾」である。ASRS の分析の結果、運航乗務員の人的過誤の90%は Pre-Flight Check および Taxi-Out 時に起きており、それが結果として顕在化するの Takeoff、Departure の時であることが報告された。Pre-Flight Check および Taxi-Out 時、運航乗務員は Flight Plan の確認、ルート上の天候の確認、燃料搭載の確認、機体の重量重心位置の確認、整備状況の確認、客室状況の確認、管制との交信等の複数業務を並行して行っており、また時には運航便の遅延回復への対応も求められる。このような時間圧を受けている状況下で人的過誤が多く発生している。NASA はこの現象を Hurry-Up Syndrome と称し、運航乗務員の訓練への反映等を推奨している。我が国でもハリーアップ症候群として広く知られている。このような用語がその意味を含め、日常的な会話で使用されることは、人的過誤を防止する一つの手段といえる。

2つ目は「Human Factors in Aviation Operations: The Hearback Problem²⁹⁾」である。この Research Paper は、運航乗務員と管制官のコミュニケーションの過誤が多いことに注目している。運航乗務員は管制官の指示を復唱することがエアマンシップとして習慣化されているが、何故コミュニケーションの過誤が起きるのかを説明している。運航乗務員は復唱したことに満足し、管制官は復唱を聞く行為より航空機の監視に注意が傾いている時もあり、聞いたつもりになっている可能性を説明している。我が国でも2009年に大阪国際空港で(株)JAL エクスプレスの航空機(A機)が着陸予定の滑走路上に、全日本空輸(株)の航空機(B機)が誤侵入したため、A機が着陸履行するという重大インシデントが発生している。この事例でもB機の運航乗務員は、管制官に対して滑走路侵入の旨を2回復唱しているが、管制官からは訂正の応答はなかった(航空重大インシデント報告書 AI2010-7-1, 2010)。2005年に日本航空安全アドバイザリーグループが発行した提言書³⁰⁾のなかに「確認会話」という言葉を使用している。これは自分と相手の言動を互いに会話で確認し、正確を期するコミュニケーションの手法を意味し、医療業界での人的過誤防止として活用されていたものであるが、この提言書を機に本邦航空業界でも広く知られるようになった。

ASRS を活用した人的要因の研究の現状は、時間圧やコミュニケーションという繰り返される問題について分析結果が説明され、注意喚起が行われるが、複数の要因の構造化や人的過誤発生の予兆を監視する分析等の研究は行われていない。

1.3.3 他産業の事故事例報告、インシデント報告の活用に関する既往の研究

本節では、我が国における他産業での大量の事故事例報告やインシデント報告の活用方法およびそれらを用いて分析する既往の研究について記述し、本研究の目的と同様な研究の有無について記述する。大量の不具合事例情報として、業界レベルで事故事例やインシデント事例をデータベース化している「失敗知識データベース³¹⁾」、「リレーショナル化学災害データベース (RISCAD: Relational Information System for Chemical Accidents Database)³²⁾」、「PEC-SAFER: Petroleum Center – Safety Assist For Engineer in Refinery ヒヤリハット事例データベース³³⁾」の活用方法、分析する研究について調査した。次に、医療業界で実施されているインシデント報告の活用に係る研究を把握した。その結果、3つのデータベースの活用方法は、利用者が知りたい情報への検索の容易性が主であり、大量の不具合事例を分析する研究では、分類項目毎（事象のタイプ等）の集計、テキストマイニング手法³⁴⁾で事象と行動の構造化の研究が行われている。ただし、テキストマイニングでは、抽出される単語の同義化処理の課題、共起分析³⁵⁾の利用は部分的な構造にとどまる課題が報告されている。以下に3つのデータベースと医療業界の研究の概要を記載する。

・「失敗知識データベース」について

「失敗知識データベース」は、機械・材料・科学・建設等の技術分野に加え、原子力・金融・保険などの分野で、過去に生じた過誤事例を収集したもので、2005年3月よりwebで公開している。利用者へ検索したい情報を提供するため、原因まんだら、行動まんだら、結果まんだらと称する構造に割り当てられるキーワードの選択と、過誤の原因から行動、結果に至る時間的進行に伴う脈絡を言葉の連鎖（シナリオ）との組み合わせで、適合事例がデータベースから抽出できる。また、利用者が抽出された事例から学びを得られるよう、事例を簡潔に表現するイラストを配置するとともに、事象・経過・原因・対処の他にも、背景・後日談・四方山話・対策などの項を設けている。さらに過誤事例の当事者の話などを盛り込み事例を自分事としてとらえられるような工夫を施している。

・「RISCAD」について

「RISCAD」は（独）産業技術総合研究所の公開データベースとして、化学物質に関連する火災、爆発、漏洩などの事故事例を2002年から公開している、利用者は調べたい対象や特定の工程、特定の装置等について検索できるようにキーワード検索を行う。より多くの事象が抽出できる事を目的に、最終事象、工程、装置、推定原因、被害事象を階層化し、各階層にキーワードを設定している。また複数ページの事故調査報告書を、一目で事故が理解できるように整理した事故進展フロー図の作成など利用者の学びを重要視

している。あわせて、事故の教訓から学び、安全技術の伝承や組織の安全意識の向上を目指すために、独自で開発した事故分析手法を用いて恒久的対応策や教訓の作成を行っている事も特徴である

・「SFC - SAFER ヒヤリハット事例データベース」について

「SFC - SAFER ヒヤリハット事例データベース」は、石油精製各社がそれぞれ自社で収集していたヒヤリハットおよび事故事例を、(財)石油活性化センターが一元的に管理して、石油業界各社の安全情報の共有化として 2007 年に web で公開されている。このデータベースの特徴は、大量の情報の解析を見据えて安全の専門家の協力も得て、ヒヤリハットの事象、作業状況、関連した機器、発生時期、発見方法、発生要因、拡大防止策、想定拡大事象等のコード化等の設計がされていることである。

3つのデータベースを対象とした研究の概要を以下に記す

- ・伊藤ら³⁶⁾は、「失敗知識データベース」の事例本文をテキストマイニングによる共起分析を行い、潜在的に類似している失敗事例を見つける研究を行っている。
- ・栗納ら³⁷⁾は「失敗事例データベース」にある事例名称と原因まんだらにあるキーワードの関係を表現するネットワークを構築し、新規の事象の名称を入力したときにテキストマイニングで類似する事例名称を抽出し、構築したネットワークから該当する原因を返す手法の研究を行っている。
- ・箕輪ら³⁸⁾は「SFC - SAFER ヒヤリハットデータベース」を用いて、原因の文章のテキストマイニングから、出現頻度の高い単語から類似事例を学ぶ手法の研究を行っている。そして、単語から類似事例を引き出すためには、同義語の単語の取り扱いを課題として上げている。
- ・牧野ら³⁹⁾は、「失敗知識データベース」「RISCAD」「SFC - SAFER ヒヤリハット事例データベース」から人的過誤に起因する事故を抽出し、人的過誤のタイプの分類結果を報告している。
- ・箕輪ら⁴⁰⁾は「SFC - SAFER ヒヤリハット事例データベース」をもとに、事故へ至る事象のつながりの経路と、各事象発生のリスクを導く研究を行っている。対象となる事故(例えばタンクの損傷、腐食等による事故)を特定してリスク計算を行っている。

次に、我が国での医療業界でのインシデント報告の活用に関する研究について記述する。医療業界でも人的過誤を抑制する取り組みとして、厚生労働省の主導のもと医療安全にかかわる組織やマニュアルの整備、インシデント・アクシデントレポートの自発的報告制度の導入が全国の医療施設で進められている。インシデント・アクシデントレポートは、ほぼすべての病院で取り組まれているためその裾野は広い。

- ・岡部ら⁴¹⁾は自由記述欄やメタデータのテキストマイニング手法を用いてインシデントの内容と要因の結びつきを提案している。

- ・竹田ら⁴²⁾はテキストマイニングで事象を分類化しそれに時間軸を加味することで、不具合事象発生の傾向を把握する手法を提案している。
- ・天野ら⁴³⁾はエコグラムや POMS という心理検査とインシデントレポートを組み合わせ、インシデントを起こし易い群と起こしにくい群の比較を行っている。結果、自己主張ができる性格の者は起こしにくい群に属する等を報告している。

以上に記述した既往の研究では、大量の報告事例から事象と要因の関係性や、類似事象の抽出等が行われているが、本研究の目的で示した、「大量の事例全体を統計的に分析し、人的過誤発生に係る要因を明らかにし、それら要因間の構造などから人的過誤、ひいては事故に至るシナリオを見出し、実践的な防止法を導くことのできる分析手法の提案」に該当する研究は見いだせなかった。

1.3.4 インシデント報告制度の限界を示唆する議論

航空業界では、整備業務に係る人的過誤の研究が行われているが、アンケート調査等による部分的な要因の構造化にとどまっている。我が国では、宮城²¹⁾が1995年に航空業界におけるインシデントレポートの分析の必要性を論じたが、収集した事例の事象の分類や、それをもとにした周知等の対応、航空会社個社の安全の取組紹介等に留まっており、事例を全体として分析する研究は見当たらない。

さらに、S. Dekker⁴⁴⁾は、安全なシステムにおいて、インシデント報告制度はもはや有効に機能しないことを議論している。ASRS を例にあげ「成功したインシデント報告」では、受け取ることになる膨大な数の報告の活用は極めて困難であるとの問題提起をしている。

1.3.5 本研究の新規性

大量の人的過誤事例を収集したデータベースを活用し、人的過誤や事故発生の実践的な防止法を見出すことが必要と考えるが、航空機整備業務における既存の研究では人的過誤の事象とそれを誘発する要因との関連性を示す程度に留まっている。

そして、1.3.4 節で「S. Dekker はインシデント報告が有効に活用できないと指摘している。」と記述したが、彼はその理由として下記の3つの問題を提起している。

- ・膨大な数の報告は、危険な要因の効果的な抽出や、それらがどのように組み合わせられるかの予見を極めて困難にする。そのため、インシデントデータベース中の意味のある要因の組み合わせを分析できるだけの十分な処理能力、あるいはインシデントデータから知識を引き出す他の処理手法を見出せない。
- ・事故はドミノ倒しのような線形のシステムではない(注4)。またスイスチーズモデル(注5)も実証的な支持を得ていない。そのため、インシデント報告制度において用いられている要因を深堀する手法、そしてインシデント報告制度の基礎をなすスイスチーズモデルのような事故モデルでは、各要因が重なり合い事故を引き起こす道筋と何らかの関係

があるという分析は見いだせない。

- ・安全なシステムにおける事故は、通常の組織の中で通常業務を行っている普通の人々から創発すると思われる。そのため、要因分析は創発する事故の分析に適応できない。

上記の問題提起を踏まえ、本研究の新規性として下記3点の分析手法の提案を目標とする。

- ・人的過誤の要因を構造化し、危険な要因を見出す手法の提案。
- ・人的過誤発生に係わる要因間のつながりを、要因の構造化以外から分析し、人的過誤に至るシナリオを見出す手法の提案。
- ・通常の組織の中で通常業務を行っている普通の人々から創発する人的過誤の特徴を分析し、その特徴から未然防止に資する対策を導く手法の提案。

1.4 本研究で使用する統計分析ツールについて

本研究で統計解析として使用するソフトは、R⁴⁵⁾を用いる。Rはニュージーランド・オークランド大学の R. Ihaka と米国ハーバード大学の R. Gentleman により開発が始められ、1997年から多くの賛同者が加わり、開発が続けられているオープンソース方式のデータ解析・処理の専用ソフトである。Rは <https://www.r-project.org/> のサイトから無料で自由にダウンロードすることができる。

注4 特定の順序で発生した事象の連続として事故を説明する事故のモデル。連続的事故モデルと称される。【Heinrich H. W., 1931】

注5 不安全行動と潜在的状況要因が組み合わさり、事故を防止するための防御壁や安全措置をすり抜けていくことを説明する組織事故モデル。【Reason J., 1997】

1.5 本論文の構成

本論文は以下の7章で構成される。

「第1章 序論」では、前述まで記述した通り、民間航空業界の最も重要なテーマである運航の安全は進化を進めているが、航空機整備業務では国レベルでの大規模な人的過誤事例のデータ活用が事例報告に留まっている背景がある。航空機整備業務の不備が顕在化すると、死亡事故に至るリスクが大きいことが報告されており、事故を未然に防止するために、大量の人的過誤事例全体の統計的な分析から、人的過誤発生に係る要因を明らかにしその要因間の構造などから、人的過誤に至るシナリオを見出し、実践的な防止法を導くことのできる分析等の提案を行うことを本研究の目的として設定した。そして、危険な要因の抽出、要因間の構造の説明など既存の研究で行われてない新規性のある手法の提案を目標とした。

「第2章 ベイジアンネットワークを用いた人的過誤要因の構造化」では、ASRSで収集した航空機整備の大量の人的過誤事例の分析結果を整理して、人的過誤発生に至るシナリオを明らかにするため、ベイジアンネットワークを活用し、人的過誤に係る要因の構造をモデル化する手法を提案する。

「第3章 マネジメントが人的過誤発生に与える影響とその動的変化」では、第2章で議論した要因を構造化したモデルにおいて、マネジメント上の問題が最も上流側にあること、その改善が人的過誤抑制の効果が高いことに着目し、マネジメント上の問題が人的過誤発生に影響を与えることの動的関係について時系列分析を用いて示し、その関係が時間的遅れを伴い影響することを説明する。

「第4章 マネジメントが及ぼす影響の内容」では、第3章で議論したマネジメント上の問題が時間的遅れを伴い人的過誤に影響を及ぼしている期間で、人的過誤事例情報にテキストマイニング手法を適用することで、人的過誤に至りやすい整備作業を推察した。また、その整備作業が人的過誤に至る理由について考察し、第3章の内容を加味して、マネジメント上の問題が人的過誤に影響を及ぼすことについて得られた仮説を述べる。

「第5章 会社レベルでの大量の人的過誤事例を活用する手法の提案」では、第2章から第4章までの議論が、人間に過誤を起こさせる背後要因の究明から教訓を得たのに対し、第5章では人間のメンタルプロセスが人的過誤につながるという視点から、大量の人的過誤事例を統計的に分析する手法を提案する。

「第6章 総括的視点からの考察」では、前章までの結果を総合的に踏まえ、人的過誤事例を統計的に分析する際の前提条件としての的確な要因分析の重要性、第2章で構築した要因間の構造化のモデルの更なる検証、分析手法についての課題、得られた教訓の総括等を行う。

「第7章 結論」では、前章までの結果を踏まえて、本研究の成果と今後の展望について述べる。

以下に、本研究の全体のフローチャートを図 1-4 に示す。

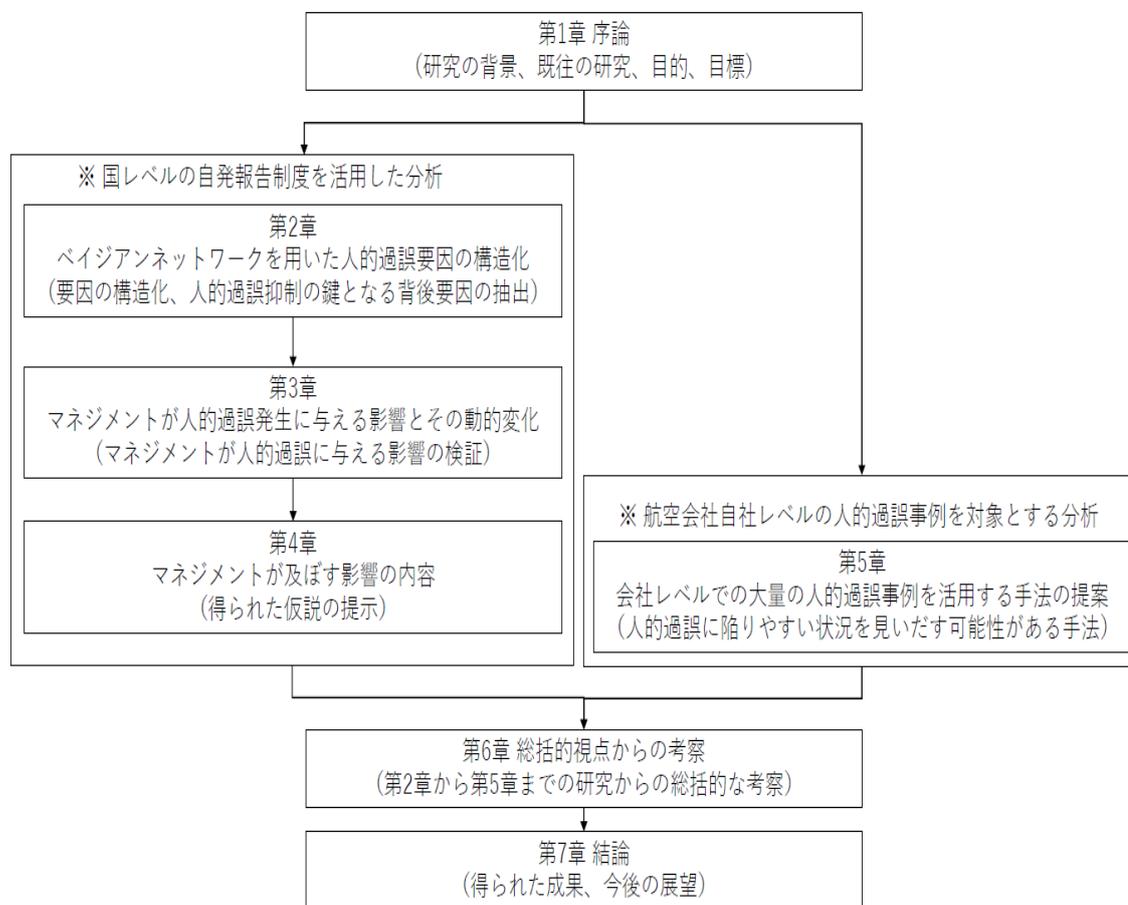


図 1-4 本研究の全体のフローチャート

なお、各章と研究業績に記した原著論文との関係は以下の通りである。

第1章

論文 1 小嶋二郎・高野研一. ベイジアンネットワークを用いた人的過誤要因の構造化について-米国航空業界の自発報告制度を利用した航空機整備作業に係る人的過誤要因の構造化について-. (2018). 人間工学、Vol.54, No.1, p24-32

第2章 第4章

論文 2 小嶋二郎・高野研一. 会社方針が人的過誤発生に与える影響とその動的変化. (2020). 安全工学、Vol.59 No.5, p286-295

第5章

論文 3 小嶋二郎・高野研一. 人的過誤事例の新たな学習モデルの提案 -自己組織化マップを用いた航空機整備への適用-. (2017). 人間工学、Vol.53, No.3, p85-92

1.6 本章の最後に

事故は主原因だけで起きるわけでない、その背景に潜む様々な要因が複合して起きることを考えれば、整備業務の人的過誤の抑制が求められる。本章の記述の最後に整備業務が主原因である事故、および整備業務が要因として潜在していた事故を以下に紹介する。

・高知空港胴体着陸事故⁴⁶⁾

2007年3月13日エアセントラル(株)のボンバルディア式DHC-8-402型機はNH1603便として目的地である高知空港に着陸の際、運航乗務員による通常操作及び代替操作にもかかわらず、前脚ドアが閉じたままであったために前脚が下りず、前脚が下りない状態で着陸し、前方胴体下部を損傷した。前脚ドアが開かなかったことは、前脚ドア開閉リンク機構の一部を構成するトルク・リンクのヒンジ部からスペーサーが抜け出して、サポートフィッティングと干渉し、トルク・リンクの動きが阻害され、かつ、前脚ドア開閉リンク機構全体の動きが拘束されたことによるものであった。調査の結果、スペーサーが抜け出したのは当該部に取り付けられるべきボルトとナットが装着されていなかったことによるものであった。ボルト、ナットが装着されていなかったことは、航空機製造過程の不具合修理にて、それらの部品の再取り付けが行われなかったことによるものであった。幸いにもこの事故では、乗客乗務員に負傷者が出なくてすんだが、たった1本のボルトの取り付け忘れが、事故につながることを教えてくれる。

・インドネシア エアアジア(QZ8501 便) A320 墜落事故⁴⁷⁾

2014年12月28日、インドネシア エアアジアのA320-216型機はQZ8501便としてインドネシア・スラバヤのユアンダ国際空港からシンガポール・チャンギ国際空港に向け運航中、インドネシア沖のジャワ海に墜落し、乗員・乗客162名が死亡した。墜落原因はAuto Pilot機能の一部の故障を意味するRudder Travel Limiter System Failの警告(Cockpit内の警告メッセージとサウンド)に対する処置として運航乗務員がFAC (Flight Augmentation Computer) のCB (Circuit Breaker) をリセットしたことにより自動操縦が解除され、それに伴う機体の失速・傾きに運航乗務員が対応しきれなかったとことである。なお、この警告は15分30秒の時間軸の中で4回の故障が発生し、運航乗務員は最初の3回の故障への対応は手順に従ってCockpit内のFAC SwitchのON、OFF操作で警告メッセージは解除された。そして4回目の故障の警告発生時にCBをリセットしている。事故調査の結果、当該故障に関連する装備品RTL (Rudder Travel Limiter Unit) 内の電子カード上にある電子回路のハンダ結合部の亀裂が故障の原因であることが判明した。電子回路のON/OFFおよび航空機のAIR/GROUND状況による熱応力のサイクルは、ハンダ接合部に疲労現象を起こして亀裂を生じることがある。この亀裂がRudder Travel Limiter System Failの警告を発生させたが、当該機の1年間の整備記録には、23件のRTLに関連する不具合が記録されており、事故が起きた12月には9件、前月の11月は5件

と、是正されていなかった不具合が短い期間で反復的な故障につながったことを示している。RTLUの不具合発生後の整備処置は、FAC2 (Flight Augment Computer 2) の交換が1回あるが、それ以外は関連するCBのリセットまたはFACスイッチのリサイクルによるコンピュータのリセットであった。そして事故の当該便においては同じ故障が4回起こり、それが事故につながった。事故が起きる前に、RTLUが交換されていればこの不幸な出来事は起きなかったであろう。

第2章 ベイジアンネットワークを用いた人的過誤要因の構造化

2.1 章の概要

本章では、第1章の1.2節で目的として記述した、航空機整備に係る人的過誤に至るシナリオを見出すため、ASRSに報告された大量の人的過誤事例に対して、ベイジアンネットワーク⁴⁸⁾を活用して人的過誤に係る要因の構造をモデル化する手法を提案する。この要因間の構造の可視化と要因間の定量的な分析から実践的な人的過誤防止法を紹介する。また人的過誤発生に大きく影響する危険な要因を抽出し、第3章、4章ではその要因の詳細な分析につなげる。

2.2 はじめに

J. Reason⁴⁹⁾は人的過誤に対して、パーソンアプローチとシステムアプローチの2つの視点があると論じている。パーソンアプローチは、人的過誤や違反といった不安全な行動は、失念、不注意、低い動機付け、知識不足、無謀な行為などの人的要因が、通常とは異なるメンタルプロセスによって生じるとする考え方で、よくない事は好ましくない人間により引き起こされる、つまり人間を潜在的な危険性として捉えるアプローチである。一方、システムアプローチは、人間は誤りを犯しやすく、どんなに優れた人物でも最高の組織でも過誤は起きうるとの前提に立ち、よくない事は人間の特性により起きるのではなく、むしろシステムの上流に潜む背後要因によると考えるアプローチである。

筆者ら⁵⁰⁾は、パーソンアプローチの視点から、航空機整備業務に係る人的過誤事例に対し、事例毎に過誤を起こした作業者の年齢、共同して作業した者の年齢、作業した時間帯、作業の難易度、作業の経験回数、勤務、天候という多次元情報データを作成し、大量の事例の多次元データに対して自己組織化マップ⁵¹⁾を用いて分析する手法を提案した。自己組織化マップは、多次元の情報を圧縮して、年齢や経験等の何らかの条件が類似した事例を2次元のマップ上に出力する。この手法により、人的過誤に陥る可能性がある年齢や経験等の状況を見出していく。この研究も大量な人的過誤事例全体を統計的にとらえる手法であるが、人間として過誤に陥らせる要因を見出すシステムアプローチの考えに基づく研究があって、パーソンアプローチの視点の研究が活かされると考え、本章ではシステムアプローチの最初のステップとして、航空機の整備業務に係る人的過誤の人的要因とその上流に潜む背後要因の構造化を行う分析手法の提案から本研究を進めることとする。

2.3 分析に使用する人的過誤事例について

大量の整備作業の人的過誤事例の要因の構造化を行うに際し、人的要因と背後要因の知識と実務に精通した専門家により要因分析が事例毎に実施される、国レベルの大規模データベースであるASRSのデータを使用する。ASRSのデータはWeb上で公開されており、

ASRS ホームページ⁴⁾から”Search ASRS Database”にアクセスし、航空会社勤務の整備作業者の人的過誤に関連する事例を抽出するため、下記の条件を適用した。

- 1) Mission (運航の目的) :
Passenger (有償旅客飛行) , Ferry (無償飛行) , Cargo / Freight (貨物輸送飛行)
- 2) Reporter Organization (報告者所属) :
Air Carrier (航空会社)
- 3) Reporter Function (報告者職務) :
整備関連の全項目 (Technician (整備士) , Inspector (検査員) 等)
- 4) Human Factor (人的要因) :
要因の全項目 (Confusion (混乱) , Distraction (注意散漫) , Time Pressure (時間圧) 等)
なお、Human Factor (人的要因) の分析は2009年6月以降から開始されている。

上記の結果、2009年6月から2016年3月までの期間で、1376件のデータを収集した。

航空会社で運航に供する航空機は、機体の大きさにより Wide body Jet (以降 Wide と称す) , Narrow body Jet (以降 Narrow と称す) , Regional Jet (以降 Regional と称す) と大別される。搭乗可能旅客数は Regional より Narrow が、Narrow より Wide の順に多くの乗客を運ぶことができ、航続距離も同様の順で長くなる。太平洋路線や大西洋路線などの国際路線では Wide が、国内路線や近距離国際路線では Narrow が主に使用される。Regional は国内路線のうち州内などの近距離路線で運航する。Wide が運航する空港は、概して、規模が大きく人員配置や部品や設備の配備等の整備運用体制は整っている。就航する空港の規模等を考慮すれば、整備運用体制は、一般的に言って、Wide は Narrow よりも、Narrow は Regional よりも整っていると考えられる。また、着陸から出発までの地上停泊時間も一般的に同順で長く、地上の整備作業者が受ける時間圧等にも差があると考えられる。このような運用体制に相違が考えられる3つの群の要因構造を比較することで、運用体制の不足面と人的過誤の関係についての知見を得ることを目的として、ASRS のデータを Wide、Narrow、そして Regional の3群に分けての要因の構造化を行う。データの欠損値処理後、Wide で438件、Narrow で477件、Regional で306件のデータを使用する。

ASRS は、人的要因、背後要因の分析が事例毎に行われており、使用する事例データの背後要因とその出現率を表 2-1 に示す。表 2-1 で、航空機の整備作業は屋外で行われることもあり風雨等の影響も受けるが、夜間での照明や高所作業での足場等の作業環境も大切であり、この環境が整っていない場合は背後要因「Environment – Non Weather Related」となる。「Company Policy」という要因を含む事例には、安全より定時性、生産性、経済性等を優先するマネジメントの姿勢、マニュアル等に定められた基準から逸脱していると思われる不具合処置、現業部門での作業実施管理や整備管理業務の運用に起因する人的過誤発生の事例報告等の内容が見受けられる。抽出した人的過誤事例のなかで、「Company Policy」

を主要因とした 129 件の事例のうち、報告内容と ASRS の分析者が記載した概要から、筆者が分類した種類の名称（マネジメントの姿勢、不具合処置方針、作業実施管理、整備管理業務等）とその概要、およびその件数を表 2-2 に記載する。

表 2-1 背後要因の名称と出現率

背後要因、【】内は略称	Wide	Narrow	Regional
Environment – Non Weather Related (天候以外の外部環境の問題) 【EV】	19%	18%	22%
Manuals (マニュアルの不備) 【ML】	32%	30%	35%
Chart or Publication (作業指示書、図面等の不備) 【CH】	41%	41%	38%
Company Policy (マネジメント上の問題) 【CP】	37%	33%	33%
Staffing (人員配置) 【ST】	4%	5%	8%
Equipment / Tooling (設備器材) 【ET】	11%	9%	11%

表 2-2 背後要因「Company Policy」を主要因とする事例内容の種類と概要、および件数

分類した種別の名称	概要	件数
マネジメントの姿勢	管理監督者が手順や規則の遵守よりも定時性を優先し、作業者に心理的圧力をかける姿勢	19 件
不具合処置方針	マニュアル等に定められた不具合処置基準や不具合の持越し判断に係る不具合等	18 件
作業実施管理	作業者に過度な負荷を与える作業の実施計画	14 件
整備管理業務	機体整備作業委託先の作業に係る人的過誤事例等	12 件
	部品修理作業委託先の作業に係る人的過誤事例等	8 件
	作業指示書等の内容に係わる不具合や疑義	7 件
	検査制度の運用に係る不具合や疑義	6 件
	機内清掃業務等委託管理の運用に係る不具合や疑義	6 件
	部品・資材管理の運用に係る不具合や疑義	5 件
	作業の安全管理の運用に係る不具合や疑義	4 件
	マニュアルの閲覧等に係る不具合や疑義	4 件
	技術指示の運用に係る不具合や疑義	3 件
	設備管理の運用に係る不具合や疑義	3 件
	訓練の運用に係る不具合や疑義	3 件
整備記録管理の運用に係る不具合や疑義	1 件	
環境	天候以外の環境に係る不具合や疑義	3 件
不明	報告内容から読み取れなかった事例	13 件

表 2-2 に記載されている分類した種別のうち、「マネジメントの姿勢」、「不具合処置方針」、「作業実施管理」の具体的事例を以下に紹介する。なお、ASRS の報告番号をカッコ内に記載する。

「マネジメントの姿勢」に係る事例としては、次のような内容がある。

- ・ 部品交換作業後の点検項目を行うのに、マニュアルで定められた設備が配置されていなかった。マネージャから代替方法での点検で飛行可能との技術的根拠があるので、就航のために作業完了の署名を求められた。しかし、それが口頭のみ説明であったため、署名を拒否するとマネージャは激怒した。しばらくして、技術的根拠の書類が入手されたので作業完了の書類に署名をした。(879732)
- ・ 翼前縁内にある電線の修理で、電線を覆うスプライスのシール処理に使用する熱電工具が準備されていなかった。不具合管理部門にその旨を報告すると、不具合管理部門のコントローラーからライターで熱での処置を行うように圧力をかけられ続け、私はそれを拒否し続けた。(1079698)

「不具合処置方針」に係る事例として、次のような内容がある。

- ・ 客室内側壁下方にあるパネル 1 枚が所定の位置に装着されていなかった。メンテナンスコントローラーとキャビンコーディネーターはそのことを認識していたが、整備処置がされない状態で航空機を出発させた。このことはマニュアルに違反する内容である。(843264)
- ・ 昇降舵の操作感覚が重いとの不具合が慢性化しており、運航乗務員からの報告の度に、「作動点検問題なし」等の整備処置が続いていた。7 回目の運航乗務員からの報告では「昇降舵が応答しない」になってしまった。当該不具合は 3 年前から継続して発生していたが、現業部門での整備士は直近 30 日間の不具合履歴のみが参照できる。整備不具合管理部門はこのような不具合に対しては、当該航空機を運航の用から外して深度の深い整備処置を優先すべきではないか。なお、この機体は引退が予定されている航空機である。(881756)

「作業実施管理」に係る事例として、次のような内容がある。

- ・ 人員が少ないため、勤務の合間にほとんど休む間もない 24 時間の業務がアサインされている。疲労のため過誤が起り始めている。(1072746)
- ・ 深夜で気温が -6°C 、強風という屋外作業のなかでの部品交換作業を実施した。部品取り付け後の機能点検で、クランプの閉め忘れを原因とする機体の損傷を発生させた。その夜は、整備作業を優先させるため食事休憩もとらず、屋外作業を続けていたため疲れも感じていた。(865621)

「整備管理業務」に係る内容は、会社で定めている検査制度、部品・資材管理制度、整備記録管理制度の運用上の問題、作業の安全管理体制の変更に伴う新たな安全懸念事項の報告等がある。また、委託した航空機の整備作業での人的過誤に係る不具合の発見、修理された部品受領時の不具合発見等が散見されている。「環境」に係る内容としては、空港の駐機場の施設面等の不具合が報告されている。報告文書の内容だけではマネジメント上の問題が具体的に読み取れない事例は「不明」とした。なお、表 2-2 の各種別に該当する ASRS の報告番号を論文末尾に付録 1 として添付した。

航空会社にとって安全は重要な経営方針であるが、その具現化には現業部門で安全運航優先、規定遵守という規範を実践するマネジメントが重要となる。この役割が他の目標（生産性、定時性等）との関係から不足が生じると背後要因になり得る。「Company Policy」と言う背後要因は、安全運航優先、規定遵守という規範を現業部門で実践するマネジメント上に問題が生じている状態であり、本研究においては背後要因「Company Policy」を「Company Policy（マネジメント上の問題）」と称することとする。

次に、人的要因とその出現率を表 2-3 に示す。「Troubleshooting（故障探究）」は、航空機が故障した時、どの構成部品が不良か原因を探究するが、システムの複雑化等に伴いそれが順調に進まない場合もあり、作業員へ心理的圧力が加かる。これに関する人的要因である。なお、出現率が 5%未満であった「Human-Machine Interface（ヒューマンマシンインタフェース）」、「Other/Unknown(その他・不明)」および「Physiological-Other(生理状態など)」の人的要因は対象外とした。また、本章では以降、背後要因と人的要因の名称を表 2-1 と表 2-3 にある【】内の略称で記載する。

表 2-3 人的要因の名称と出現率

人的要因、【】内は略称	Wide	Narrow	Regional
Communication Breakdown(コミュニケーション失敗) 【CB】	80%	79%	76%
Confusion (混乱) 【CF】	57%	51%	52%
Distraction(注意散漫) 【DT】	19%	25%	30%
Fatigue(疲労) 【FA】	3%	6%	8%
Situational Awareness(状況認識喪失) 【SA】	82%	84%	84%
Time Pressure(時間圧) 【TP】	16%	22%	31%
Training / Qualification (訓練資格) 【TQ】	19%	19%	24%
Troubleshooting (故障探究) 【TS】	21%	18%	16%
Workload(作業負荷) 【WL】	10%	16%	21%

2.4 ベイジアンネットワークによる構造化

2.4.1 ベイジアンネットワークについて

人的過誤に至る要因間の構造化を、ベイジアンネットワークの手法を使用して構築する。ベイジアンネットワークは、複数の確率変数の間の定性的な依存関係をグラフ構造化し、個々の変数間の定量的な関係を、条件付確率で表す確率モデルで、本章で使用する理由は次の2点である。

- ・ 人的過誤に至る要因の因果関係を構造化できる。
- ・ 問題解決の鍵となる要因を定量的に見出すことができる。

ベイジアンネットワークの適用例として、Ockie J. H. Bosch ら⁵²⁾ は、事故・虐待による子供死亡者数の増加という社会問題に対し、小児科医育成、学校予算増加、育児カウンセラー増加等の政策が、交通事故、虐待事件、病気等に及ぼす影響に至る因果関係をベイジアンネットワークで構造化し、育児カウンセラーの増加が問題解決の鍵であると提案している。なお、ベイジアンネットワークは、R^{53),54),55)} の、「bnlearn」Package を使用した。「bnlearn」は、大量のデータを自動的にグラフ構造に変換するグラフ構造学習アルゴリズムと、使用者がグラフ構造を自由に作成できる2つの機能を有している。

2.4.2 人的要因の構造化

本節では、人的過誤や違反といった不安全な行動が通常とは異なるメンタルプロセスによって生じるとするパーソンアプローチに基づき、CB（コミュニケーション失敗）やCF（混乱）等の人的要因間の構造を明らかにしていく。構造化の手法は、ベイジアンネットワークのグラフ構造学習アルゴリズムを用いる。そして、Wide, Narrow, Regional それぞれの人的要因のグラフ構造化を行った。各グラフ構造には、要因間のリンクが存在する。明確な因果関係があるリンクは矢印で示されるが、因果関係が不明なリンクは無向線で結ばれる。無向線のリンクについては、作用方向矢印を与え各グラフが有向グラフとなる修正を行った。無向線の各リンクに与えた方向づけの理由を下記に述べる。

- 1) WL（作業負荷）→TP（時間圧）：業務量の負荷増加により、時間圧が生じたと仮定した。（Wide、Narrow および Regional に該当）
- 2) WL（作業負荷）→DT（注意散漫）：業務量の負荷増加により、注意散漫に至ったと仮定した。（Wide、Narrow および Regional に該当）
- 3) TP（時間圧）→DT（注意散漫）：時間圧の増加により、注意散漫に至ったと仮定した。（Wide、Narrow および Regional に該当）
- 4) TS（故障探究）→TP（時間圧）：故障探究が順調でなく、時間圧が生じたと仮定した。（Wide に該当）
- 5) WL（作業負荷）→FA（疲労）：業務量の負荷増加により、疲労が蓄積したと仮定した。（Narrow と Regional に該当）

- 6) TQ (訓練資格) → CF (混乱) : Wide のグラフ構造と同じ向きにした。(Narrow と Regional に該当)
- 7) CF (混乱) → CB (コミュニケーション失敗) : Wide のグラフ構造と同じ向きにした。(Narrow と Regional に該当)
- 8) DT (注意散漫) → SA (状況認識喪失) : 注意散漫により、状況認識喪失につながると仮定した。(Narrow に該当)
- 9) TP (時間圧) → SA (状況認識喪失) : 時間圧の増加が、状況認識喪失につながると仮定した。(Narrow に該当)
- 10) TS (故障探究) → DT (注意散漫) : 故障探究が順調でなく、注意散漫に至ったと仮定した。(Regional に該当)

作成した Wide、Narrow、Regional の各人的要因関連図のグラフ構造を図 2-1、図 2-2、図 2-3 に示す。

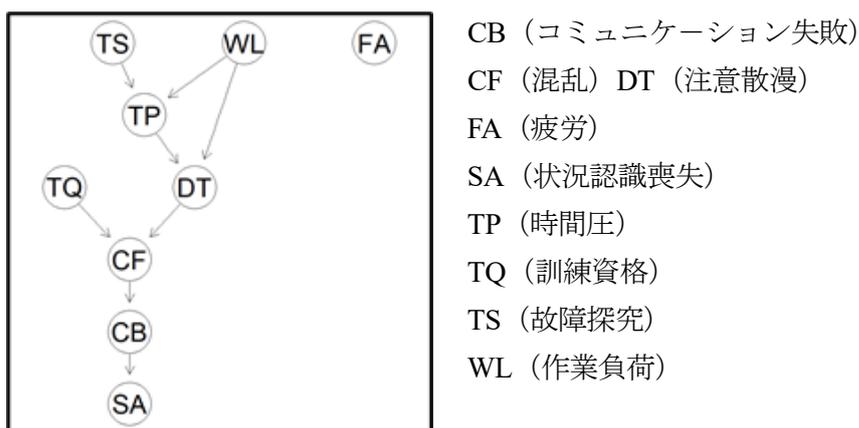


図 2-1 人的要因関連図のグラフ構造 : Wide

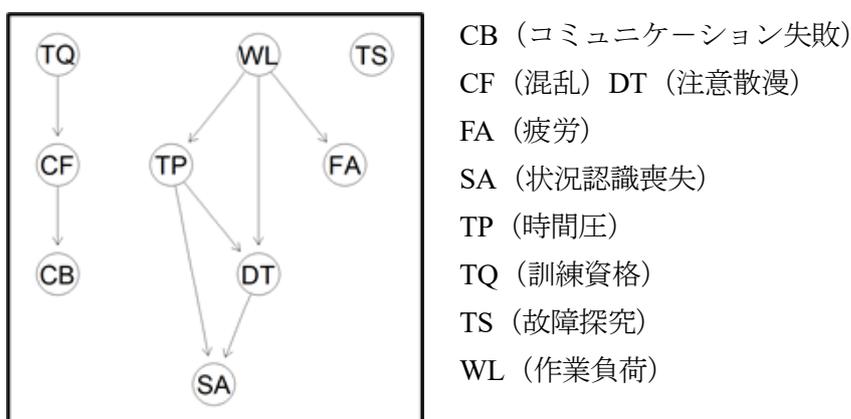
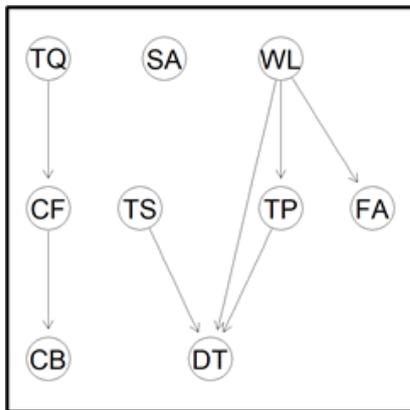


図 2-2 人的要因関連図のグラフ構造 : Narrow



- CB (コミュニケーション失敗)
- CF (混乱) DT (注意散漫)
- FA (疲労)
- SA (状況認識喪失)
- TP (時間圧)
- TQ (訓練資格)
- TS (故障探究)
- WL (作業負荷)

図 2-3 人的要因関連図のグラフ構造：Regional

2.4.3 要因全体の構造化

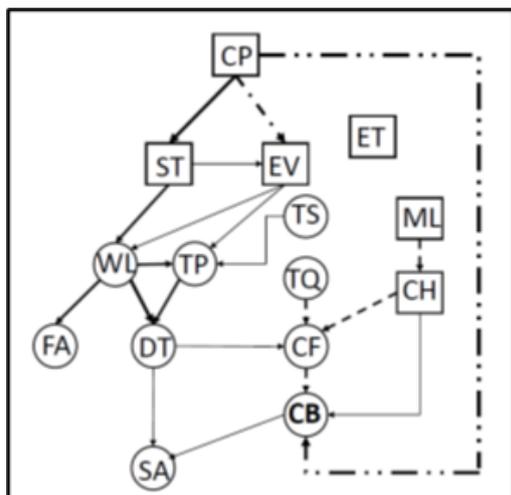
2.4.2 節では、人的過誤に至るメンタルプロセスを人的要因間の構造化で示したが、本節ではメンタルプロセスの上流に潜む背後要因が、人間に人的過誤を誘発すると考えるシステムアプローチの考えに基づき、背後要因も含めた要因間の構造化を行う。構造化の手順として、人的要因関連図のグラフ構造に対し、表 2-1 の背後要因をリンクする操作を行い、結んだリンクの帰無仮説が有意に棄却されるかどうかの検証を繰り返した。例えば CP (マネジメント上の問題) という背後要因を、CF (混乱) 等の人的要因に逐次結び、リンクの有意値が 0.05 未満となるリンクを追加した。

また、人的要因間のリンクで有意値が 0.05 未満のリンクの抜けがないかを検証した。結果、Wide で WL (作業負荷) →FA (疲労) と DT (注意散漫) →SA (状況認識喪失) のリンクを追加した。

さらに、2.4.2 節で仮説とした作用方向矢印について条件付確率の数値から検証を行った。その結果、Narrow における SA (状況認識喪失) の発生確率は、DT (注意散漫) と TP (時間圧) の両方の条件とも無ければ 82%だが、TP (時間圧) のみある場合では SA (状況認識喪失) の発生確率は 27%と下がる状況であった。注意散漫な状態を生じさせる程の時間圧が、状況認識喪失を誘発させると考えれば、注意散漫に至らない時間圧では、注意力は維持され状況認識喪失には至りづらいと考えられる。TP (時間圧) →SA (状況認識喪失) のリンクは、人的過誤を引き起こす関係ではないため削除した。同様に Regional での TS (故障探究) →DT (注意散漫) の条件付確率も仮定と反し、負の相関を持っていた。故障探究が不調でも注意力は維持されていると考えるが、これは故障探究の行為が集中力を必要とすること、Regional の機体システムが Wide, Narrow と比して複雑化、高度化されていない等が起因していると推定する。このリンクも人的過誤を引き起こす関係ではないため削除した。その他の作用方向矢印は仮定の考えと合致した。

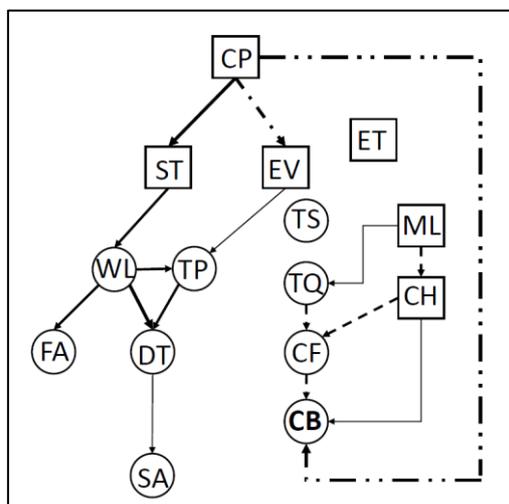
最終的に作成した Wide, Narrow, Regional のグラフ構造を図 2-4、図 2-5、図 2-6 に示し、

図 2-4、図 2-5、図 2-6 内の全リンクの有意値を表 2-4 に示す。なお図 2-4、図 2-5、図 2-6 にて、人的要因を○で、背後要因を□で表示した。そして、作成したグラフ構造全体の信頼性を R 関数 `arc.strength` を用いて検定し、結果、表 2-4 に示すように構成する全ての矢印の P 値が 0.05 未満を確認した。



CB (コミュニケーション失敗)
 CF (混乱)、DT (注意散漫)
 FA (疲労)、SA (状況認識喪失)
 TP (時間圧)、TQ (訓練資格)
 TS (故障探究)、WL (作業負荷)
 EV (天候以外の外部環境の問題)
 ML (マニュアルの不備)
 CH (作業指示書、図面等の不備)
 CP (マネジメント上の問題)
 ST (人員配置)、ET (設備器材)

図 2-4 人的要因関連図に背後要因を加えたグラフ構造：Wide



CB (コミュニケーション失敗)
 CF (混乱)、DT (注意散漫)
 FA (疲労)、SA (状況認識喪失)
 TP (時間圧)、TQ (訓練資格)
 TS (故障探究)、WL (作業負荷)
 EV (天候以外の外部環境の問題)
 ML (マニュアルの不備)
 CH (作業指示書、図面等の不備)
 CP (マネジメント上の問題)
 ST (人員配置)、ET (設備器材)

図 2-5 人的要因関連図に背後要因を加えたグラフ構造：Narrow

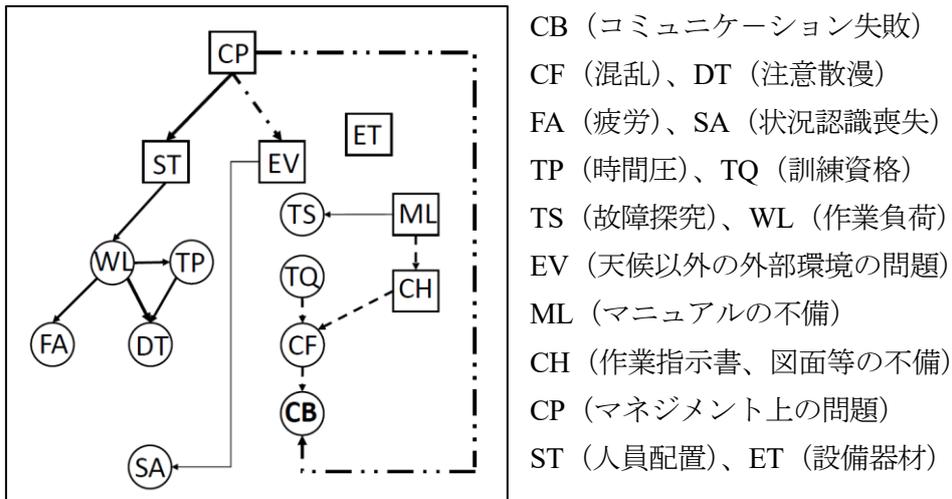


図 2-6 人的要因関連図に背後要因を加えたグラフ構造：Regional

表 2-4 図 2-4、図 2-5、図 2-6 における各リンクの有意値

	図 2-4	図 2-5	図 2-6
CP→ST	1.8e-02	2.7e-04	1.9e-04
CP→EV	6.9e-07	3.3e-08	5.5e-07
ST→WL	1.4e-19	2.5e-04	5.0e-13
WL→FA	2.2e-04	1.1e-06	1.4e-04
WL→TP	4.4e-18	2.8e-12	2.8e-13
TP→DT	2.4e-04	1.8e-09	3.1e-04
WL→DT	3.8e-12	3.1e-03	5.9e-07
DT→SA	2.0e-02	5.4e-03	N/A
DT→CF	7.0e-04	N/A	N/A
ST→EV	3.0e-02	N/A	N/A
EV→WL	1.9e-02	N/A	N/A
EV→TP	3.5e-03	7.7e-05	N/A
ML→CH	3.7e-21	7.5e-18	3.0e-12
CH→CF	7.3e-06	3.2e-07	3.4e-02
TQ→CF	4.4e-02	3.4e-03	1.9e-02
CF→CB	3.6e-03	1.4e-02	5.9e-04
CB→SA	7.3e-04	N/A	N/A
EV→SA	N/A	N/A	2.1e-02
CP→CB	2.3e-06	1.3e-03	5.1e-05
CH→CB	3.8e-04	7.7e-03	N/A

ML→TQ	N/A	7.7e-04	N/A
ML→TS	N/A	N/A	2.1e-03
TS→TP	1.4e-02	N/A	N/A

※ eは指数を意味し、1.8e-02=1.8×10⁻²

CB (コミュニケーション失敗)、CF (混乱)、DT (注意散漫)、FA (疲労)、SA (状況認識喪失)、TP (時間圧)、TQ (訓練資格)、TS (故障探求)、WL (作業負荷)、EV (天候以外の外部環境の問題)、ML (マニュアルの不備)、CH (作業指示書、図面等の不備)、CP (マネジメント上の問題)、ST (人員配置)

図 2-4、図 2-5、図 2-6 で共通する内容を下記に記載する。

- 1) CP (マネジメント上の問題) →ST (人員配置) →WL (作業負荷) →TP (時間圧) →DT (注意散漫) の連結と、WL (作業負荷) →DT (注意散漫)、WL (作業負荷) →FA (疲労) のリンクの集合体が共通する。この集合体を以降「共通グループ 1」と称す。(図 2-4、図 2-5、図 2-6 の太線で示すリンク)
- 2) ML (マニュアルの不備) →CH (作業指示書、図面等の不備) →CF (混乱) →CB (コミュニケーション失敗) の連結と、TQ (訓練資格) →CF (混乱) のリンクの集合体が共通する。この集合体を以降、「共通グループ 2」と称す。(図 2-4、図 2-5、図 2-6 の破線で示すリンク)
- 3) CP (マネジメント上の問題) →EV (天候以外の外部環境の問題) のリンクが共通する。これを以降「共通リンク 1」と称す。(図 2-4、図 2-5、図 2-6 の一点鎖線で示すリンク)
- 4) CP (マネジメント上の問題) →CB (コミュニケーション失敗) のリンクが共通する。これを以降「共通リンク 2」と称す。(図 2-4、図 2-5、図 2-6 の二点鎖線で示すリンク)

2.5 考察

2.5.1 DT (注意散漫) と SA (状況認識喪失) について

本節では、DT (注意散漫) →SA (状況認識喪失) のリンクが Wide と Narrow ではあるが、Regional ではないことについて検証を行い、その結果 DT (注意散漫) →SA (状況認識喪失) のリンクは、Wide, Narrow, Regional 間で本質的違いはないことが示唆された。以下にその検証内容を記述する。

M.R. Endsley⁵⁶⁾は、状況認識の形成には3段階のレベルがあることを提唱している。1段階目は、目や耳で様々な情報を外部環境から取得して認識するレベル、2段階目は、様々な情報を統合して何が起きているかを解釈するレベル、3段階目は今後どのように対処すべきかを予測するレベルである。また、注意と作業記憶の2つの要素は、人間が環境から情報を取得して、解釈し、今後を予測する状況認識の形成を制限することを議論して

いる。これは人間が前述の3つのレベル（認識、解釈、予測）に対して、人間は限られた注意を配分しながら状況認識を形成しているという意味である。この議論にもとづけば、DT（注意散漫）→SA（状況認識喪失）のリンクはRegionalでもあると考えられる。

DT（注意散漫）→SA（状況認識喪失）のリンクの有意値は、表2-4に示すようにWideは0.02、Narrowは0.0054である。一方、Regionalは0.09であるためリンクされていない。表2-5に、事例全体に対する「SA（状況認識喪失）の出現率」、「DT（注意散漫）の出現率」、「SA（状況認識喪失）とDT（注意散漫）が同時に出現する率」、および「DT（注意散漫）出現率に対するSA（状況認識喪失）とDT（注意散漫）の同時出現率の比率」を示す。なお、「SA（状況認識喪失）の出現率」、「DT（注意散漫）の出現率」の値は、表2-3で示した数値を少数点1桁で表示したものである。表2-5の「SAとDTの同時出現率÷DT出現率」は、「DT（注意散漫）出現率に対する、SA（状況認識喪失）とDT（注意散漫）の同時出現率の比率」を意味する。「DT（注意散漫）出現率に対する、SA（状況認識喪失）とDT（注意散漫）の同時出現率の比率」はNarrowが95.7%で、WideとRegionalでは90%前後である。DT（注意散漫）がSA（状況認識喪失）に至ることに対する、Wide, Narrow, Regional間で本質的違いはないと考える。ただ、SA（状況認識喪失）がWideより若干多く出現するにも係わらず、「DT（注意散漫）出現率に対する、SA（状況認識喪失）とDT（注意散漫）の同時出現率の比率」が少し低いことからRegionalのDT（注意散漫）→SA（状況認識喪失）のリンクの有意性が失われた一つの理由と考える。

表2-5 全事例に対するDT、SA、DTとSAが同時に発生する割合

	Wide	Narrow	Regional
SA 出現率	81.7%	83.6%	84.3%
DT 出現率	18.7%	24.5%	30.1%
SA と DT の同時出現率	16.9%	23.5%	26.5%
SA と DT の同時出現率÷DT 出現率	90.2%	95.7%	88.0%

* DT（注意散漫）、SA（状況認識喪失）

2.5.2 共通グループ1の要因構造から得られる人的過誤に至るシナリオ

本節では、共通グループ1の持つ内容の解釈から人的過誤に至るシナリオを考察する。

共通グループ1は、マネジメント上の問題から人的過誤に至るシナリオとして考える。現業部門でのマネジメントが安全運航より生産性を優先する方に傾けば、整備作業にかかる人的リソースに不足を招き、時間圧や作業負荷が作業者に過度に加わる。その結果、適切な状況認識形成に支障をおよぼす注意力散漫な状態となり、人的過誤が生じるというようなシナリオが考えられる。従って、実践的な事故防止方法として、安全運航優先の規範を現業部門に浸透させるマネジメントの役割をしっかりと機能させることが大前提となる。

ただし、マネジメントの役割が機能していたとしても、運航の現場では、航空機に不具合が生じた場合、整備部門は確実な整備と定刻出発の両面を追い求められる。このことを、A. Hobbs⁵⁷⁾は豪州航空局発行の報告書の中で、次のように述べている。

「整備士は手順の遵守が期待されていると同時に、迅速かつ効率良く作業を完了することも期待されている。このことは、航空業界が直面する最も困難な人的要因の一つである。」

この最も困難な問題に対する実践的な事故防止方法の例を、共通グループ1にある、DT（注意散漫）がTP（時間圧）とWL（作業負荷）の2つから影響を受けることから考察する。

WideでDT（注意散漫）が発生する確率は、TP（時間圧）もWL（作業負荷）もない条件では11%、TP（時間圧）はあるがWL（作業負荷）がない条件で33%、WL（作業負荷）はあるがTP（時間圧）がない条件で69%となる。Wideでは、DT（注意散漫）へ及ぼす影響はTP（時間圧）よりWL（作業負荷）の方が大きい。一方、NarrowでのDT（注意散漫）が発生する確率は、TP（時間圧）、WL（作業負荷）ともない条件で14%、TP（時間圧）のみがある条件で48%、WL（作業負荷）のみがある条件では35%となり、DT（注意散漫）へ及ぼす影響はTP（時間圧）の方がWL（作業負荷）より大きい。これは着陸から出発までの地上停泊時間がNarrowの方がWideより短いことに起因していると推定される。

上記の状況を鑑みれば、地上停泊中の航空機で不具合が発生した場合、人的過誤防止のための実践的なリソース提供の考え方として、Wideでは作業修復の人員が適切かを優先的に考慮する人的リソースの提供が作業者を落ち着かせることになる。また、Narrowでは作業完了予測時間を考慮した出発時刻の変更を優先的に行うような時間のリソース提供が作業者を落ち着かせると考える。

一方、RegionalでのDT（注意散漫）が発生する確率は、TP（時間圧）、WL（作業負荷）ともない条件で15%、TP（時間圧）のみがある条件で40%、WL（作業負荷）のみがある条件では58%である。Narrowよりも着陸から出発までの地上停泊時間は短いものの、DT（注意散漫）はTP（時間圧）よりもWL（作業負荷）の影響が強い。地上停泊時間の短さだけでなく、配置人員規模等の問題も推定されるため、実践的な防止方法はより複雑で、人的及び時間のリソースの両面が同時に求められると考える。

2.5.3 共通グループ 2 及びその他の要因間の構造から得られる人的過誤に至るシナリオ

本節では、共通グループ 2 の持つ内容を解釈し、人的過誤に至るシナリオを考察する。またその他として、Regional の SA（状況認識喪失）が EV（天候以外の外部環境の問題）に関係することについて考察する。

共通グループ 2 は CF（混乱）が CB（コミュニケーションの失敗）を招き人的過誤に至っていると考えられる。その背後には ML（マニュアル）と CH（作業指示書、図面等の不備）という作業内容にかかわる要因と、TQ（訓練資格）という作業員自身の知識技量に係る要因がある。人的過誤に至るシナリオの一例として、部品の取り卸し、取り付け、作動点検等の整備作業の工程で、実施すべき作業において、作業員がマニュアルや作業指示書等に疑義が生じ他者と相談・確認するも間違った判断で人的過誤に至ることが考えられる。実践的な防止方法として、作業員の知識技量向上、分かりやすいマニュアル・作業指示書等の改善、作業員間や職場内でのコミュニケーション能力向上が人的過誤を防ぐものと考えられるが、改善が求められるマニュアル・作業指示書等とは具体的に何か、コミュニケーションの失敗が起きる理由についてはさらに探求する必要がある。

次に、Regional のみ EV（天候以外の外部環境の問題）→ SA（状況認識喪失）のリンクがあることについて、その意味するシナリオについて考察する。Regional の SA（状況認識喪失）と EV（天候以外の外部環境の問題）を有する事例の内容には、不十分な照明下での夜間作業、作業場所の足元の悪さ、機体自体の整備性の悪さ（狭隘性、視認性等）などが報告されている。作業環境の不足面が、見るべき箇所を見落とし、気づかなかつた等の状況認識の過誤を招いていると考えられる。実践的な防止方法として、組織としても作業環境に係わる運用体制の点検と改善が必要と考える。

2.5.4 潜在する危険要因の推定

本節では、Wide, Narrow, Regional で共通して潜在する危険要因を推定していく。危険要因とは、人的過誤に直接的な影響を及ぼすと考えられる人的要因 SA（状況認識喪失）、CB（コミュニケーション失敗）、CF（混乱）、DT（注意散漫）に大きな影響を及ぼすと推定される背後要因を危険要因と位置付ける。

ベイジアンネットワークは、グラフ構造による可視化以外に、確率伝搬法により背後要因が 100%改善されたと仮定した場合、人的要因がどの程度の改善がされるかを定量的に知ることができる。例えば、Wide のグラフ構造全体としての CB（コミュニケーション失敗）が発生率は 80.4%と算出された。そして、グラフ構造の CP（マネジメント上の問題）の発生率をゼロとした場合に算出される CB（コミュニケーション失敗）の発生率は 72.7%である。これにより、CP（マネジメント上の問題）を改善することで CB（コミュニケー

ション失敗)は7.7%改善されると言える。

表 2-6 は、各背後要因が仮になくなったと仮定した場合の、SA (状況認識喪失)、CB (コミュニケーション失敗)、CF (混乱)、DT (注意散漫) の発生確率減少値を示したものである。例えば、CH (作業指示書、図面等の不備) の背後要因が改善結果として消滅したと仮定した場合、Wide では CF (混乱) の発生確率は 10%減少する。(表 2-6 の網掛けの部分)

表 2-6 人的要因の発生確率減少値

		SA	CB	CF	DT	合計
Wide	CP	2%	8%	0%	1%	11%
	EV	0%	0%	0%	0%	0%
	ST	0%	0%	0%	2%	2%
	ML	1%	3%	4%	0%	8%
	CH	2%	8%	10%	0%	20%
Narrow	CP	0%	5%	0%	1%	6%
	EV	0%	0%	0%	0%	0%
	ST	0%	0%	0%	1%	1%
	ML	0%	2%	4%	0%	6%
	CH	0%	6%	11%	0%	17%
Regional	CP	1%	7%	0%	2%	10%
	EV	0%	0%	0%	0%	0%
	ST	0%	2%	0%	3%	5%
	ML	0%	0%	2%	0%	2%
	CH	0%	1%	6%	0%	7%

※ SA (状況認識喪失)、CB (コミュニケーション失敗)、CF (混乱)、DT (注意散漫)、CP (マネジメント上の問題)、EV (天候以外の外部環境の問題)、ST (人員配置)、ML (マニュアルの不備)、CH (作業指示書、図面等の不備)

表 2-6 から、Wide, Narrow, Regional で共通する人的要因に大きく影響する背後要因は、ML (マニュアルの不備) と CH (作業指示書、図面等の不備) の組み合わせである。ML (マニュアルの不備) と CH (作業指示書、図面等の不備) をなくすことで、Wide での人的要因は合計で 28%減少、Narrow は 23%、Regional で 9%減少する。特徴としては、CF (混乱) については Wide で 14%、Narrow で 15%、Regional で 8%の改善効果が確認でき、まずは作業者に混乱を与えないマニュアル・作業指示書等の改善および維持する運用体制が重要と考えるが、2.5.3 節で記述したように、どのような作業や使用するマニュアル・作業指示書等の種類が分かれば実践的な防止方法に結び付けれるが、要因の構造化では明確に

できていない。また、CB（コミュニケーション失敗）については Wide で 11%、Narrow で 8%と高い効果が得れるが Regional では 1%と影響はあまりない。ML（マニュアルの不備）と CH（作業指示書、図面等の不備）という背後要因が CB（コミュニケーション失敗）に影響するシナリオについても、要因の構造化からは明らかにはできていない。

人的要因に影響を与えるもう一つの背後要因として CP（マネジメント上の問題）がある。CP（マネジメント上の問題）は DT（注意散漫）に影響を及ぼすのは、共通グループ 1 の要因構造によるものであると考えられる。一方、CP（マネジメント上の問題）が CB（コミュニケーション失敗）に影響を及ぼすのは共通リンク 2 に起因するものとするが、このリンクから得られるシナリオについても要因間の構造からは説明ができない。

航空機整備業務においては、マネジメント上の問題、マニュアルや作業指示書等の不具合が、潜在する危険要因となることが推定できた。しかしながら、これらの危険要因が作業者のコミュニケーションへ悪い影響を及ぼすシナリオなどについては明らかにされなかった。

2.6 章のまとめ

本章では、国レベルの大規模な自発報告制度である ASRS を用いて、航空機整備業務に係る大量の人的過誤事例をベイジアンネットワークの手法を用いることで、事例全体を統計的にとらえ、要因間の構造を明らかにすることができた。この要因構造から現業部門でマネジメントの役割が機能しなければ、時間圧や作業負荷が作業者に注意散漫に陥るまでの負荷となり、過誤に至らせるシナリオが描ける。このシナリオに対し、ベイジアンネットワークの定量的分析の利点を活かし、Wide, Narrow, Regional 別に作業者の負荷を軽減するための実践的な方法も考察した。また、人的過誤に影響を及ぼす危険要因として、マネジメント上の問題とマニュアル・作業指示書等の不具合を定量的に同定した。以上は、本研究の新規性として掲げた「人的過誤の要因の構造化し、危険な要因を見出す手法の提案」を示す成果である。

一方で、マネジメント上の問題がコミュニケーションの失敗を招くシナリオ、マニュアル・作業指示書等の不具合がコミュニケーションの失敗を招くシナリオ、また、不具合の対象となる具体的なマニュアル・作業指示書等の名称・種類やそれが影響する作業内容など、実践的な防止方法に適用できる具体的な事項までは把握できていない。

第3章 マネジメントが人的過誤発生に与える影響とその動的变化

3.1 章の概要

本章では、第1章、1.3.5節で本研究の新規性として目標に掲げた、「人的過誤発生に係わる要因間のつながりを、要因の構造化以外から分析し、人的過誤に至るシナリオを見出す手法の提案」について記述する。第2章で提示した要因間の構造化では、原因と結果の静的な状態を示した。本章では、事故はドミノ倒しのような線形なモデルではないことの検証を行うために、時系列分析を用いて時間経過を伴う動的な検証を行った。結果、マネジメント上の問題は、時間的な遅れを伴い人的過誤発生に影響を及ぼすという動的な状態を見出した。

3.2 はじめに

第2章では、航空機整備に係る人的過誤の潜在する危険要因として、CP（マネジメント上の問題）を抽出した。この危険要因は、時間圧や作業負荷による注意散漫に影響を及ぼすと共に、コミュニケーションの失敗にも大きく影響を及ぼす。先の第1章の1.3.1節で記述した K.A.Pettersen ら²⁷⁾の運航間整備の職場の非参与観察から、同僚からのサポートにも素直に受け止める態度、職場全体で問題解決するチームワークなどの目に見えない職場の規範が、安全を創りだすリソースであると報告している。第2章の要因間の構造で示された CP（マネジメント上の問題）という背後要因が、コミュニケーションの失敗に影響を与えていることから、チームワークを大切にす職場の規範にも悪い影響を及ぼすと推察する。また、J.Rasmussen⁵⁸⁾は、効率性を求めるマネジメント圧の増加、悪い慣行、または作業者の安全意識の低下傾向等が、人的過誤に対する Error margin を徐々に狭めていき、その結果として人的過誤が起きやすくなっていく過程を論じている。このように Error Margin が狭くなっている状況では、人的過誤が起きやすい状態にあると考えれば、マネジメント上の問題は背後要因として対人間の意思疎通や相互理解の不足といったコミュニケーションを低下させるだけでなく、間接的に職場が有するチームワークにも悪い影響を及ぼし、人的過誤発生に影響する可能性がある。本章では、マネジメント上の問題が間接的に人的過誤に及ぼす影響について時系列分析を用いて検証することとする。検証に使用するソフトは、Rにて時系列分析⁵⁹⁾⁶⁰⁾⁶¹⁾を行うことができるパッケージ tseries と vars を使用した。

3.3 ASRS から抽出する人的過誤データについて

本章で使用する人的過誤事例は、先の第2章と同様の理由で ASRS の事例を用いる。なお、抽出条件は2.3節で記述したものと期限を除いて同様とした。抽出期限を2009年6月から2017年11月までとして、1486件の事例を分析に使用した。1486件の事例中で、背後

要因「Company Policy (マネジメント上の問題)」が付与された事例は 523 件であった。以降、背後要因「Company Policy (マネジメント上の問題)」が付与された事例を、Management Data と称することとする。そして、1486 件の事例から 523 件の Management Data を除いた 963 件が「Company Policy (マネジメント上の問題)」という背後要因を有しない事例である。以降、これを Other Data と称することとする。

3.4 人的過誤データの動的検証

本節では、Management Data と Other Data の時間軸を伴う動的な状態について検証した結果、両者の動的状態には相似的な関係があることが示唆された。以下にその内容について記述する。

523 件の Management Data の月次の推移を図 3-1 に、963 件の Other Data の月次の推移を図 3-2 に示す。このような時間軸を伴うものは時系列データと呼ばれ、長期的な傾向を表す Trend、周期的な変動を表す周期成分、そして予測が困難なランダムな変動のランダム成分に分解⁵⁹⁾することができる。R 関数 `decompose()`にて得た Management Data と Other Data の Trend を図 3-3 に示す。なお、長期的傾向として算出された Trend の起点は 2009 年 12 月で、終点は 2017 年 5 月である。

図 3-3 から Management Data (実線) と Other Data (破線) の Trend を比較すると、Management Data の変動に対し、Other Data が何ヶ月かの時間遅れで追従しているように見える。Other Data が何ヶ月の遅れで追従しているかを推定するために、Other Data の起点となる月を 1 ヶ月毎に遅らせて Management Data と Other Data の相関係数を求めた。その結果を図 3-4 に示す。Management Data と Other Data の相関係数は、時間ずれがなくても 0.883 と高位な水準にある。そして時間の遅れとともに相関係数は徐々に大きくなり、2 つの Data の相関係数の最大値は 15 ヶ月シフトした時の 0.964 である。相関係数が時間のずれにより徐々に大きくなるのは、マネジメントの役割の劣化あるいは修復による人的過誤への間接的な影響の時間経過と捉え、相関係数が最大となる時点である 15 ヶ月の遅れに焦点をあてた分析を進める。

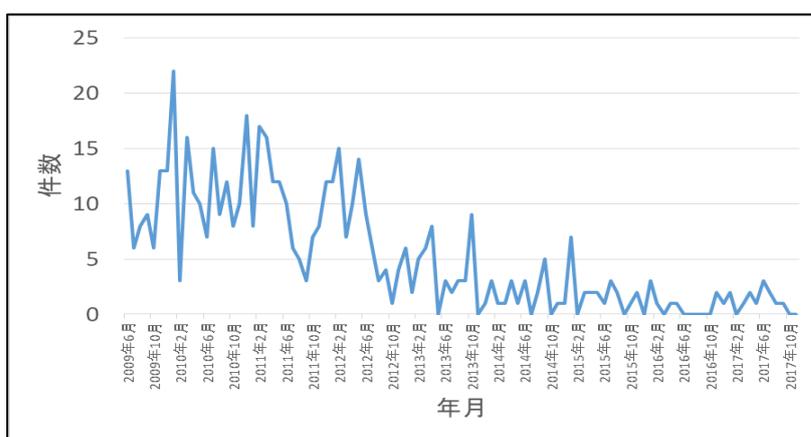


図 3-1 Management Data の月次件数

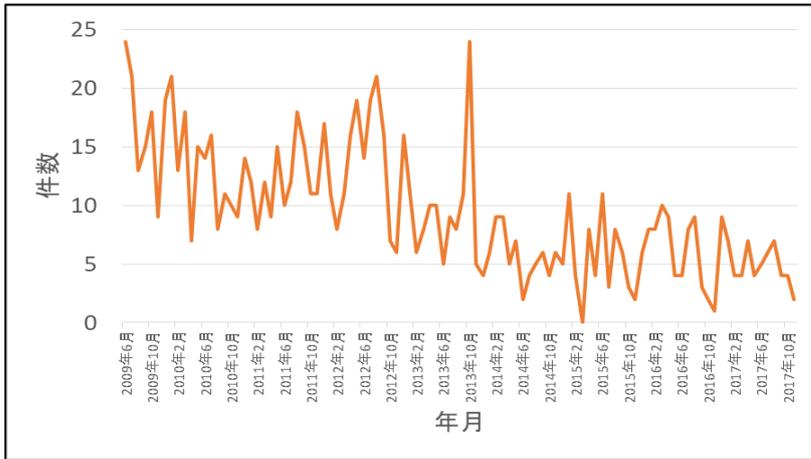


図 3-2 Other Data の月次件数

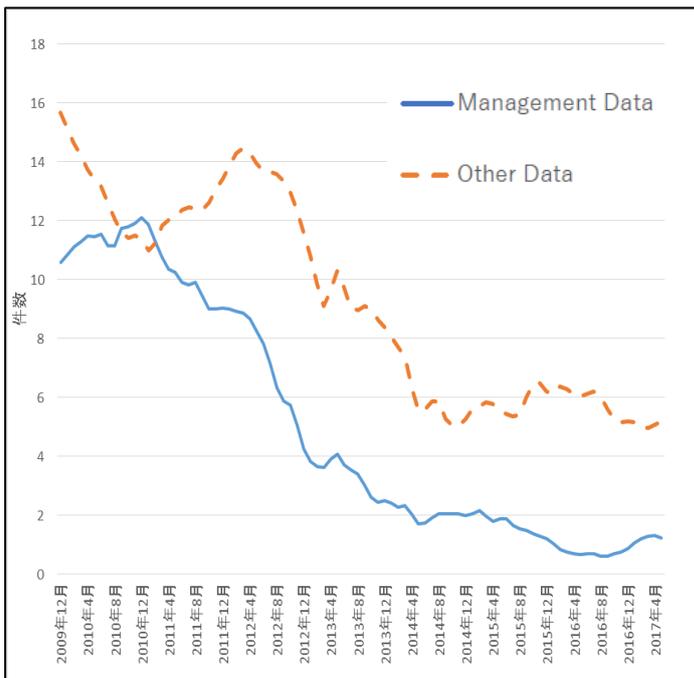


図 3-3 Management Data と Other Data の Trend

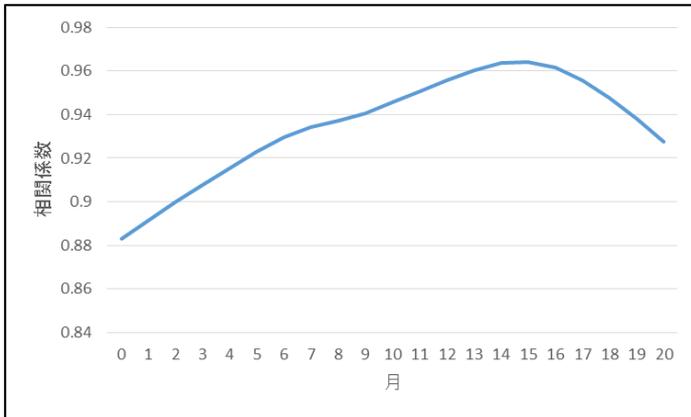


図 3-4 相関係数 (Other Data を 1 ヶ月毎にシフト)

相関係数が最大となる 15 ヶ月シフトした Other Data の Trend (破線) と Management Data の Trend (実線) の組み合わせを図 3-5 に示す。なお Other Data は 15 ヶ月遅らせているため起点は 2011 年 3 月であり終点は 2017 年 5 月である。一方、Management Data の起点は 2009 年 12 月で終点は 2016 年 2 月となる。図 3-5 の横軸の目盛は便宜上 Management Data の年月を記している。

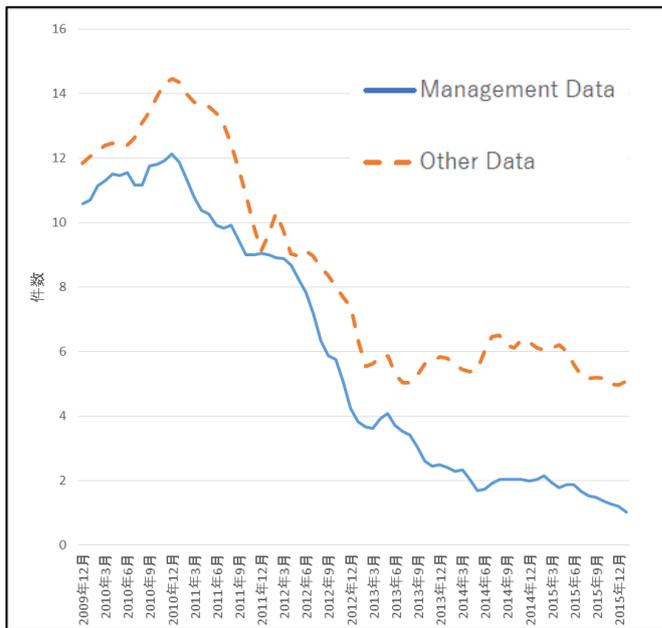


図 3-5 Management Data と Other Data (15 ヶ月シフト) の Trend

3.5 Management Data が Other Data に影響を及ぼす期間の検証

本節では、Management Data と Other Data の動的関係には、2つの期間があると考え、時系列分析を用いて2つの期間が切り替わる時期について検証する。第1の期間は、Management Data の変動が Other Data に影響を及ぼすと推察する期間で、第2の期間は、Management Data は減少するも Other Data には影響を及ぼさない期間である。図3-5のTrendの推移からは、第1の期間は2009年12月から2013年ぐらゐまで、第2の期間はそれ以降の期間と推察される。検証の結果、2012年12月から第2の期間が始まることが推定された。以下に時系列分析を用いての検証方法について記述する。

時系列データのモデル化として、「現在の値は過去の値によって記述できる」という概念のモデルをAR(p) (Auto-regression(p)) Model⁵⁹⁾と言う。このモデルは、式(3-1)に示すように、現在の値 y_t は、p期前までのそれぞれの y_t の値を α_t で重みづけした値にc(定数)と w_t のノイズを加えたものである。ここでのノイズは平均と分散が時間によって変化しない定常過程を仮定している。

$$y_t = c + \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \dots + \alpha_p y_{t-p} + w_t \quad (3-1)$$

AR(p) Model を多変量の時系列データに拡張したものを、VAR(p) (Vector Auto-regressive (p)) Model⁶⁰⁾と言い、例えば、2変量のVAR(1) Model は式(3-2)のように記述される。

$$\begin{bmatrix} y_{1(t)} \\ y_{2(t)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} \\ a_{2,1} & a_{2,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1(t-1)} \\ y_{2(t-1)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{1(t)} \\ w_{2(t)} \end{bmatrix} \quad (3-2)$$

VAR(p) Model は、時系列データ間どうしの関係を示すので、ある時系列データの変化が別の時系列データに与える変化の予測に活用できる。グレンジャー因果性検定⁶²⁾は、このVAR(p) Model を活用して2つの時系列データ間の変化の因果関係を検定する。グレンジャー因果性検定では、ある変数yの過去の値が他の変数xの予測に役立たない場合、yからxの因果性はないとし、帰無仮説を「因果性がない」、対立仮説を「因果性がある」とする。式(3-2)を例にすると、 $\alpha_{1,2} = 0$ であれば、変数 y_2 の過去の値は変数 y_1 の予測に関し過去の y_1 の値以上の情報を有していないため、 y_2 から y_1 の因果性は存在しない。変数 y_2 から変数 y_1 へのグレンジャー因果性がない場合とは、VAR(p)の y_1 の式において y_2 に関する係数がすべて0になるということを意味する。「因果性がない」とする帰無仮説を、F検定を用いて検定を行う。ただし、グレンジャー因果性検定では、使用する時系列データが定常過程であることが前提となる。

R関数causality()を利用してこの検定ができ、下記の要領で2つの期間の切り替わりの時期を検証した。まず、「2011年11月から2017年11月までの間」のManagement Dataと

Other Data が定常過程であることを確かめるために単位根検定⁶¹⁾⁶²⁾を行った。単位根検定とは、過程が単位根を持つ AR(p)過程、つまり非定常過程であるという帰無仮説を、過程が定常 AR(p)過程であるという対立仮説に対して検定を行うものである。検定結果で Management Data は有意水準 5%で、Other Data は有意水準 1%で定常過程を確認した。そして、「2011年11月から2017年11月までの間」における両 Data での VAR(p) Model を構築した。この際、赤池情報量規準およびベイズ情報量規準で、次数 p が 1 であると最適な Model であると推定され、VAR(1)を選択した。これを基にグレンジャー因果性検定を行った。検定では、Management Data が Other Data に影響を与えるかの検定結果は P 値が 0.004951 と有意水準 1%で帰無仮説が棄却され、グレンジャーの因果性があるとの結果を得た。一方で、Other Data が Management Data に影響を与えるかの検定では、P 値が 0.9627 と有意水準 5%で帰無仮説が棄却できず、グレンジャーの因果性はない結果を得た。この一連の検証を「2011年12月から2017年11月までの間」の Data でも行い、続いて「2012年1月から2017年11月までの間」の Data で行った。このように Data の開始時期を 1 ヶ月ずつ遅らせての検証を、「2013年12月から2017年11月までの間」の Data まで合計 26 回繰り返して行った。上記の全期間で Management Data は有意水準 5%で、Other Data は有意水準 1%で定常過程が確認でき、グレンジャー因果性検定を行った。Management Data から Other Data への因果性に関する P 値を図 3-6 に示す。同様に Other Data から Management Data への因果性に関する P 値を図 3-7 に示す。また、図 3-6 には有意水準 0.05 を破線で追加している。図 3-6 で P 値が有意水準 0.05 を連続して超え始めるのは 2012 年 12 月以降であり、図 3-7 では全期間で P 値は有意水準 0.05 を上回った。なお、起点が 2011 年 10 月以前の全ての Other Data の定常過程は有意水準 1%で確認できたが、2011 年 10 月を起点とする Management Data は有意水準 5%で非定常過程と検定された。また 2011 年 9 月以前を起点とする Management Data においては、有意水準 5%で定常過程と非定常過程が混在する。有意水準 5%で定常過程と検定される最も起点の古い期間は「2009 年 12 月から 2017 年 11 月までの間」の Data であり、この期間でもグレンジャー因果性検定で Management Data が Other Data に影響を与えるかの P 値は 0.01712 であり、有意水準 5%で Management Data から Other Data への因果性を有することを確認した。

グレンジャー因果性の考え方に基づけば、2012 年 11 月から 2017 年 11 月までの Management Data は、Other Data の将来の予測に影響を与える情報を持っているが、2012 年 12 月から 2017 年 11 月までの Management Data は Other Data の将来の予測に影響を与える情報を有していないと表現でき、第 1 の期間と第 2 の期間の切り替わり時期は、2012 年 12 月と考える。

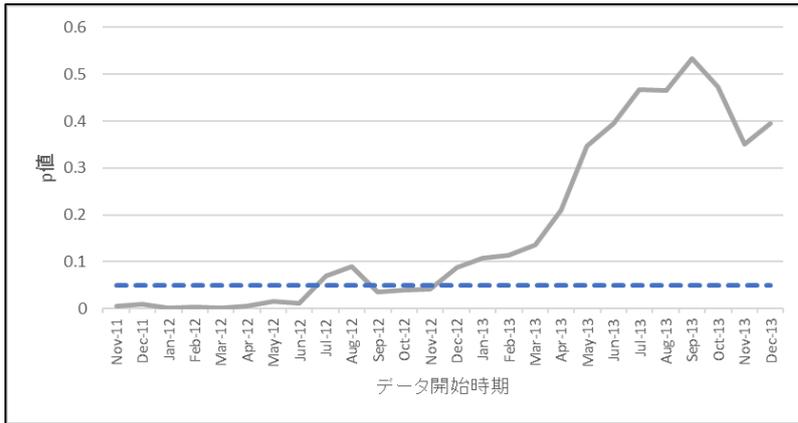


図 3-6 グレンジャー因果性検定結果 p-Value: = Management Data

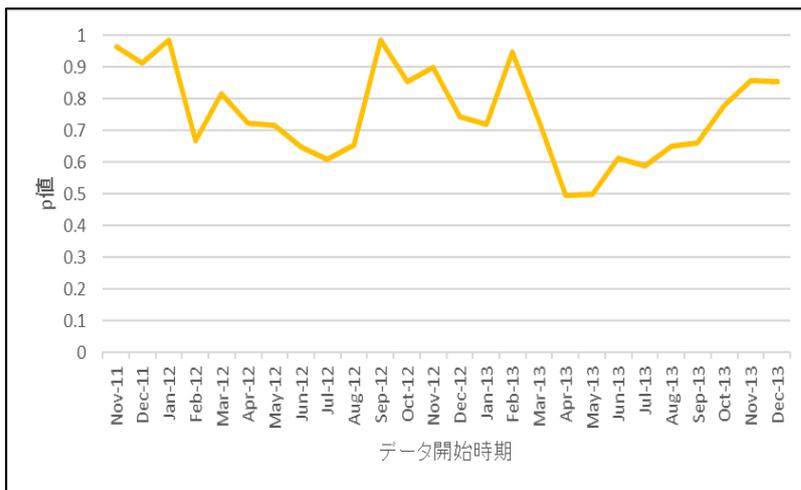


図 3-7 グレンジャー因果性検定結果 p-Value: = Other Data

3.6 考察

グレンジャー因果性検定では因果関係の有無という定性的な概念は得られるが、その影響の大きさや時間的な遅れ等の定量的な分析はできない。ただし前述の式 (3-2) を考慮すれば、2012年12月以降の Management Data は1ヶ月後、2ヶ月後、そしてそれ以降にわたって Other Data へ影響を及ぼすことはないが、2012年11月以前の Management Data は1ヶ月後、2ヶ月後、それ以降の Other Data に何らかの影響を及ぼすと考えられる。本研究の Management Data と Other Data の15ヶ月差に注目するため、Management Data と15ヶ月の時間遅れがある Other Data の組み合わせである図3-5に2012年12月時点を縦線で表した。それが図3-8である。図3-8からは、Management Data (実線) と Other Data (破線) がともに減少傾向が続くなかで、2012年12月以降は Other Data の減少傾向が停滞し始めるように見られる。これは、2012年12月から15ヶ月以上経過した Other Data では、2012年11

月以前も含めた Management Data から受ける影響が極めて小さくなっている状態と推察する。

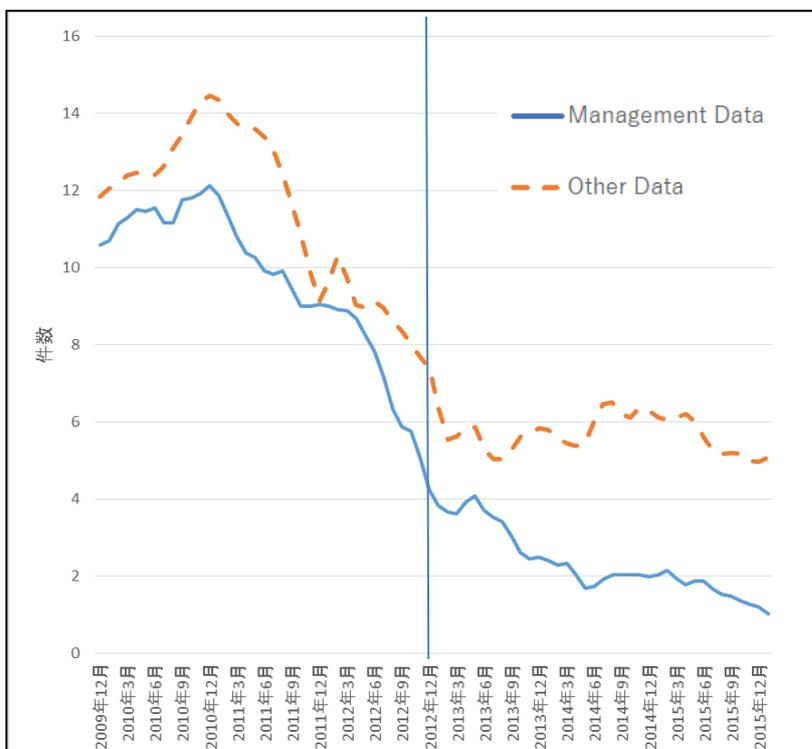


図 3-8 Management Data と Other Data (15 ヶ月シフト) の Trend Rev.1

3.7 章のまとめ

マネジメント上の問題は、作業者の人的要因である DT (注意散漫) と CB (コミュニケーション失敗) に悪い影響を与えている背後要因であることを第 2 章で述べたが、本章では時系列分析から、マネジメント上の問題が時間遅れを伴いながら間接的に人的過誤 (Other Data) に影響を及ぼしていることが示唆された。

ただし、マネジメント上の問題が間接的に人的過誤 (Other Data) に影響を及ぼす理由については説明できていない。次章にて、マネジメント上の問題がどのようにして間接的に人的過誤 (Other Data) に影響を及ぼしているかのシナリオについての推察を行うこととする。

第4章 マネジメントが及ぼす影響の内容

4.1 章の概要

本章では、第3章で示唆されたマネジメント上の問題が時間遅れを伴いながら間接的に人的過誤に影響を及ぼすことのシナリオを推察していく。そして、マネジメント上の問題が人的過誤に及ぼす影響についての仮説を述べる。シナリオの推定は、マネジメント上の問題が間接的に影響を及ぼしている期間での人的過誤事例の報告内容から、テキストマイニング手法を用いて統計的に多く使用される単語の抽出を行った。結果、マネジメント上の問題が間接的に影響を及ぼした人的過誤の作業内容が、作業負荷に起因していること、職場内の連携を必要とする作業であることが示唆された。同時に、マネジメント上の問題の減少により、間接的な影響による人的過誤の発生件数が減少し始めた時期から、作業には自らが発生させた人的過誤の再発防止の提案意識が強くなっていることが示唆された。

また、第2章で記述したマニュアル・作業指示書等の危険要因について、具体的なマニュアルを推定した。

4.2 マネジメント上の問題が人的過誤発生に影響を及ぼしている期間

本節では、第3章でマネジメント上の問題が時間遅れを伴って間接的に人的過誤発生に影響を及ぼすと記述したが、その人的過誤に影響を及ぼしている期間を改めて記述する。

第3章の3.4節から Management Data が Other Data に対してグレンジャーの因果性が確認できた最も古い期間は2009年12月から2017年11月で、因果性がなくなるのは2012年12月から2017年11月の期間であった。図3-8の2012年12月の縦線より左の期間を Phase 1、右の期間を Phase 2 と称することとし、その期間を図4-1に示す。なお、Management Data (実線) と比して Other Data (破線) の起点は15ヶ月遅れがあり、Phase 1 および Phase 2 の具体的期間を下記に示す。Phase 1 の期間は Management Data が Other Data に影響を及ぼしている期間であり、Phase 2 は Management Data が Other Data に影響を与えていない期間である。言い換えれば、マネジメント上の問題が影響している期間が Phase 1、マネジメント上の問題が影響を及ぼしていない期間が Phase 2 である。

- Management Data :

- Phase 1 : 2009年12月から2012年11月まで

- Phase 2 : 2012年12月から2017年11月まで

- Other Data :

- Phase 1 : 2011年3月から2014年2月まで

- Phase 2 : 2014年3月から2017年11月まで

なお、本章では、次節にて Management Data と Other Data の特徴を見出していくために、

ASRS の報告内容をテキストマイニング手法で使用されている単語を抽出していく。その分析には、R のテキストマイニング用⁶³⁾の R パッケージ **tm** を使用した。



図 4-1 期間 Phase 1 と期間 Phase 2

4.3 人的過誤データのテキストマイニングと検証

4.3.1 Management Data と Other Data の特徴の検証

本節では、マネジメント上の問題が影響している期間 (Phase 1) での、Management Data の報告内容で統計的に多く使用されている単語の抽出と、同期間における Other Data の報告内容で統計的に多く使用されている単語の抽出方法について説明し、その結果について記述する。

まず Phase 1 での Management Data および Other Data の個々の報告文書に記載されている単語の出現回数を R 関数 `getwd()` によりテキストマイニングを実施し、その結果 474 個の単語を抽出した。全単語の出現回数の総和は Management Data で 35012、Other Data では 40196 であった。次に、個々の単語で独立性のカイ 2 乗検定⁶⁴⁾ (以降、カイ 2 乗検定と称す。) を実施した。例えば、単語「carrier」は Management Data での出現回数は 92、Other Data では 47 で、表 4-1 のように整理される。単語「carrier」の出現回数に対するカイ 2 乗検定で P 値は 0.000003 を得た。帰無仮説の「単語「carrier」の出現は、Management Data と Other Data

間の違いに関連性はない。」が棄却され、単語「carrier」の出現は Management Data と Other Data の違いに関連性があると言え、表 4-1 の数値を考慮すれば、単語「carrier」は Management Data の方が Other Data に比して統計的に多く用いられる単語と考えられる。この検定を 474 個の各単語で行った。さらに、ある単語を使用する報告事例が何件あるかを調べるため、1つの人的過誤事例で同一単語が複数回用いられる単語は、1事例につき1とカウントした。例えばある事例（報告文章）で、同一単語の抽出回数が10でも、1とカウントする（これを以降、使用事例件数と称する。）。474 個の単語の使用事例件数の総和は Management Data で 19162、Other Data では 22480 であった。そして、この 474 個の単語全てについてもカイ 2 乗検定を実施した。2 回のカイ 2 乗検定の P 値がともに 1%未満の単語で、Management Data の方が Other Data に比して統計的に多く用いていると考えられる単語、およびその出現回数と使用事例件数を表 4-2 に示す。同様に Other Data の方が Management Data に比して多いと考えられる単語等を表 4-3 に示す。なお、表 4-2 の「carrier」は航空会社を意味し、air carrier として用いる事例もある。「faa」は Federal Aviation Administration の略語でアメリカ連邦航空局である。次に表 4-3 にある「amm」は Aircraft Maintenance Manual の略語で航空機整備に係わるマニュアルである。「graveyard」は graveyard shift として用いる事例が多い。これは深夜から早朝にかけての勤務帯を意味する。「mel」は Minimum Equipment List の略語で、その意味については後述する。

表 4-1 単語「carrier」の出現回数

	単語「carrier」の出現回数	「carrier」以外の単語の出現回数	総数
Management Data	92	34920	35012
Other Data	47	40149	40196

表 4-2 Management Data の特徴的な単語

	Management Data の件数 / Other Data の件数	
	出現回数での比較	使用事例件数での比較
抽出全単語の総和	35012 / 40196	19162 / 22480
carrier	92 / 47	51 / 30
contract	57 / 26	36 / 15
faa	44 / 12	29 / 11
feel	57 / 25	39 / 20
get	141 / 91	104 / 68
many	46 / 19	33 / 17
order	143 / 84	77 / 54
paperwork	141 / 64	70 / 46
quality	55 / 16	33 / 15
receive	92 / 61	64 / 39
tape	64 / 21	23 / 9
vendor	49 / 21	27 / 11

表 4-3 Other Data の特徴的な単語

	Management Data の件数 / Other Data の件数	
	出現回数での比較	使用事例件数での比較
抽出全単語の総和	35012 / 40196	19162 / 22480
amm	80 / 176	40 / 79
flight	225 / 368	101 / 168
graveyard	3 / 30	3 / 23
mel	126 / 415	31 / 92
recommend	10 / 62	9 / 54
reset	9 / 40	4 / 23
top	6 / 36	4 / 24
verify	64 / 132	41 / 80

4.3.2 Other Data の検証 (Phase 1 と Phase 2 の違い)

本節では、マネジメント上の問題が影響している期間 (Phase 1) での Other Data の報告内容と、マネジメント上の問題が影響を及ぼしていない期間 (Phase 2) の Other Data の報告内容を比較して、マネジメント上の問題が影響している期間 (Phase 1) での Other Data において統計的に多く使用されている単語の抽出方法について説明し、その結果について述べる。

まず、4.3.1 節で得た、Phase 1 での Other data の方が Management Data と比して多いと考えられる単語 (表 4-3) が、Management Data の減少に伴い、Phase 1 と Phase 2 の比較で件数に特徴があるかを、4.3.1 節と同様な手法で検証した。Phase 1 と Phase 2 のそれぞれの Other Data を対象にテキストマイニングした結果 507 個の単語を抽出した。その出現回数の総和は Phase 1 の Other Data で 40938、Phase 2 では 28791 であった。そして、507 個の各単語でカイ 2 乗検定を実施した。さらに 1 つの事例で同一単語が複数回用いられる単語を 1 事例につき 1 とカウントした使用事例件数の総和は、Phase 1 で 22861、Phase 2 では 15504 であった。そして使用事例件数においてもカイ 2 乗検定を行った。表 4-3 に記載されている単語のカイ 2 乗検定の P 値を表 4-4 に示す。

表 4-4 Other Data にある単語の P 値 (Phase 1 と Phase 2)

	P 値	
	出現回数のカイ 2 乗検定	使用事例件数のカイ 2 乗検定
amm	0.78	0.72
flight	0.43	0.15
graveyard	0.002	0.02
mel	0.000004	0.02
recommend	0.61	0.83
reset	0.17	0.45
top	0.80	0.45
verify	0.003	0.08

あわせて、Phase 1 と Phase 2 での Other Data の出現回数と使用事例件数でカイ 2 乗検定での P 値が 1%未満で Phase 1 の Other Data の方が多く使用される特徴的な単語を表 4-5 に示す。なお、表 4-5 の「ipc」は Illustrated Parts Catalog の略語で、航空機の装備品の部品番号を調べるときに使用するマニュアルであり、詳細については後述する。

表 4-5 Other Data の特徴的な単語 (Phase 1)

	Phase 1 の件数 / Phase 2 の件数	
	出現回数での比較	使用事例件数での比較
抽出全単語の総和	40938 / 28791	22861 / 15504
catalog	33 / 2	29 / 2
chapter	46 / 11	35 / 5
check	532 / 261	221 / 106
illustrate	34 / 3	30 / 3
inspection	94 / 28	58 / 19
install	572 / 242	180 / 84
ipc	79 / 6	31 / 5
number	253 / 74	112 / 41
operate	80 / 24	55 / 17
part	471 / 155	134 / 58
problem	135 / 97	114 / 47
reinstall	60 / 14	44 / 10
signedoff	33 / 4	27 / 5
writeup	78 / 14	53 / 9

4.4 考察

4.4.1 Management Data にある人的過誤の特徴の考察 (Phase 1)

本節では、マネジメント上の問題が影響している期間 (Phase 1) における、Management Data で統計的に多く使用される単語から、マネジメント上の問題が直接的に影響する人的過誤 (Management Data) の特徴について考察した。結果、先の第 2 章の人的過誤に係る要因の構造化で示された作業負荷や時間圧に起因した過誤以外に、整備に係る管理上の不具合や受委託に係る過誤があることが示された。しかしながら、コミュニケーションの失敗に該当すると考えられる単語の抽出はできなかった。

表 4-2 の Management Data に多く用いられる単語から、マネジメント上の問題が直接的に人的過誤に及ぼす特徴を下記に記す。

- ・作業負荷や時間圧という要因を有する

単語「many」を用いる事例の半数以上は、業務量の多さによる繁忙感に係わる内容である。また「busy」という単語は、使用事例件数での P 値が 0.02% のため表 4-2 にはないが 5% で有意で、出現回数では P 値が 0.003% と 1% で有意である。この単語は、作業者が時間に追われる繁忙感を表していると考えられる。そして「feel」も繁忙感を補足する単語

と推察する。また、単語「paperwork」を用いる事例には、書類確認のための時間に余裕がない、あるいは確認すべき書類が多すぎる点を要因とする人的過誤事例も散見される。

- ・整備に係わる管理の不具合

単語「paperwork」を用いる事例には、整備に係る管理の不具合が見られる。前述した作業負荷や時間圧に関連する報告以外に、検査に係わる曖昧な運用の報告、設備や資材管理の不具合や疑義、間違いやすい作業指示書等の改善要望、航空機の不具合に対する曖昧な修復方針に対する不信感等の事例がある。また、単語「many」でも繁忙感に係わる以外は、多すぎる作業上のチェック項目や、不要あるいは煩雑な検査項目など管理上の疑義に係わる内容がある。

- ・委託作業における人的過誤の発見

「contract (契約)」、「receive (受領)」、「vendor (修理会社)」は受委託に関係する単語である。「order (指示)」も受委託の関係で用いることがある。具体的事例として、「FAA」という単語を用いる事例の半数近くが、「FAA (アメリカ連邦航空局) から部品修理の認可を受けている会社であるのに不具合が多い。」等の報告である。また「tape」という単語を用いる事例には、貼ってはいけない箇所に tape が貼られていることの発見と、それが航空機の整備委託会社で実施されたという報告が見受けられる。

4.4.2 Other Data にある人的過誤の特徴の考察 (作業内容)

本節では、マネジメント上の問題が影響している期間 (Phase 1) における、Other Data で統計的に多く使用される単語から、マネジメント上の問題が時間遅れを伴って間接的に影響する人的過誤 (Other Data) の作業内容等に係る特徴について考察した。結果、マネジメント上の問題が間接的に影響する場合は、作業負荷や職場内の連携に関する人的過誤が発生していることが示唆された。以下にその内容について記述する。

表 4-4 で示した、Phase 1 の Other Data の方が Management Data と比して多いと考えられる単語のうち、Phase 2 と Phase 1 で件数に変化があると考えられるのは、P 値 5%未満の単語の「MEL」と「graveyard」である。この2単語の各 Phase の出現回数と使用事例件数を表 4-6 に示す。表 4-4 と表 4-6 からこの2単語は Phase 1 から Phase 2 にかけて減少していると考えられる。これは、マネジメント上の問題が減少するに従い、「作業負荷」と「職場内の連携不足」が減少した結果と考える。その理由を下記に記す。

「MEL」は Minimum Equipment List の略語で、航空機の装備品に係わる運用許容基準である。航空機には航行の安全を確保するために必要な装置等を装備しなければならないが、一定の条件を満たせば、装備品等が不作動の状態での運航が承認されている。例えば客室の天井の蛍光灯 1 本が点灯していない (不作動) 状態でも、運航可能な条件を満たしていなければ、不作動のまま就航させられない。逆に、運航可能な条件を満たせば不作動でも就航ができる。航空機に不具合が生じた場合は修復が基本だが、修復時間が出発時刻に大

大きく影響する、あるいは必要な部品が入手できない等の理由から、不具合の状態での就航可否の判断が求められる。この判断はマニュアルに明記されており、サーキットブレーカーの処置やバルブの固定処置などの整備作業が条件となることもある。このように MEL 適用は遵守すべき就航の可否の判断であり、それは整備以外の複数の部門との調整のうえで適用されるため、MEL の適用判断を曲解するようなマネジメント上の問題は許されるものでないため、Management Data では Other Data と比較して統計的に少なくなっていると考える。

しかしながら、MEL 適用時は、出発時刻までに就航可否の確認、MEL 適用の承認、必要な整備処置作業、運航乗務員への適用に係わる説明、書類への適切な記載等が求められ、作業者は関連部署への連絡や調整、確実な整備処置作業により、作業負荷や時間圧がかかる。また、MEL 適用に際し疑問が生じた場合は、関係部署との連携が求められる。マネジメント上の問題による作業員への時間圧や作業負荷の悪慣行が慢性化すれば、焦りや関係部署との連携不足、職場内でのコミュニケーションの不足等、人的過誤が起きやすい状況になると考える。Phase 1 から Phase 2 にかけてマネジメント上の問題が減少するに従い、作業員には作業負荷や時間圧の軽減あるいは MEL 適用に係る関係部署との連携、職場内での連携がよくなり、作業員のコミュニケーションも良好となり、MEL に係わる人的過誤事例が減少したと推察する。

次に、graveyard という単語は、報告内容では graveyard shift という表現で使用され、これは深夜から早朝にかけての勤務帯を意味する。この単語を用いる事例には、作業量の負担等による疲労が人的過誤の要因とする報告が見受けられる。この単語が Phase 2 にかけて減少していることも、作業員の作業負荷が軽減していることを示唆していると考えられる。

表 4-6 出現回数と使用事例件数 (MEL, graveyard)

	Phase 1 の件数 / Phase 2 の件数	
	出現回数での比較	使用事例件数での比較
抽出全単語の総和	40938 / 28791	22861 / 15504
MEL	415 / 200	92 / 40
graveyard	30 / 6	23 / 5

4.4.3 Other Data にある人的過誤の特徴の考察 (マニュアル関連)

本節では、マネジメント上の問題が影響している期間 (Phase 1) における、Other Data で統計的に多く使用される単語から、マネジメント上の問題が時間遅れを伴って間接的に影響する人的過誤のうちマニュアルに関連することについて考察した。結果、部品の交換作業で使用するマニュアル「IPC」に関する単語が特徴として抽出された。そして、この単語「IPC」に係る人的過誤は、職場内の連携の不足にも係っていることを推察した。このマニ

マニュアルの運用面も含めた改善は、人的過誤の実践的な防止法にもつながると考えられる。以下にその内容について記述する。

表 4-3 から、単語「amm」は Other Data における Phase 1 での特徴的な単語として抽出された。4.3.1 節で前述したとおり「AMM」は Aircraft Maintenance Manual の略語で航空機整備に係わるマニュアルである。「AMM」は Boeing 社や Airbus 社といった航空機製造会社が航空会社に提供するマニュアルであり、読み手が解釈しやすいように限定した英単語を使用する Simplified Technical English⁶⁵が導入されている。また、単語「amm」は表 4-4 で示すように Phase 1 と Phase 2 の間で関連性はない。マネジメント上の問題が影響を及ぼしていない状況でも人的過誤事例の報告書に一般的に使用される単語と考える。ASRS に報告する者は、実施した整備作業の内容を「AMM」で引用して記載する事例が多い。マネジメント上の問題の影響を直接受ける人的過誤事例では、「AMM」を引用する個別の作業を問題視するわけではないため、「AMM」を使用する事例が少ないと推定する。即ち、「AMM」を使用する人的過誤事例は、過誤となった整備作業を読み手に伝えるために「AMM」を引用で使用していると考えられ、「AMM」そのものに問題があるとは考え難い。

航空機製造会社が用意するマニュアルの一つに IPC (Illustrated Parts Catalogue) がある。これは航空機に使用している装備品やそれに付属する Bolt, Nut, Washer, O-Ring 等の部品番号 (Part Number) を、装備品等の図面とともに説明しているマニュアルである。装備品を交換する場合は、航空機に適合した部品番号のものを取り付けるために、整備士は IPC で部品番号を確認する。この IPC に関連する単語が、Other Data では Phase 1 の方が Phase 2 に比して統計的に多い単語となっている。Other Data の Phase 1 と Phase 2 での出現回数と使用事例件数でカイ 2 乗検定での P 値が 1%未満で Phase 1 の特徴的な単語として考えられる単語を示す表 4-5 には、部品の取付作業を意味する単語「install」、「reinstall」、「part」があり、単語「ipc」、「illustrate」、「catalog」、「part」、「number」はマニュアルである IPC と装備品等の部品番号を意味すると考えられる。航空機は性能向上のための改修が行われる、機体の改修にあわせて装備品の改修も行われる場合もあり、また装備品の改修にあわせて機体の改修が行われることもある。これにより、同じ名称の装備品でも、機体の改修状況により取付可能と取付不可のものが混在する。この場合は、装備品の部品番号の末尾まで確認すること等による、部品と機体との適合性の確認が必要となる。この機体との適合性の確認は、航空会社の整備記録管理システム等を用いて、機体の改修の実施状況の確認も求められる場合もある。部品番号の異なる装備品の取付作業は報告書の中でも見受けられ、その内容は事前に準備された部品が取付可能であるものと信用して、部品番号を確認せずに間違った部品番号の装備品を取り付けた等の職場内の連携不足による人的過誤もみられる。

この「IPC」に係る単語は、マネジメント上の問題が影響している期間 (Phase 1) では、Management Data と Other Data の間の違いに関連性はなく、Management Data でも IPC の確

認不足による装備品の取り付け作業の人的過誤は少なからず発生していると思われる（単語「ipc」の使用事例件数は21件）。第2章でモデル化した要因間の構造にある、CP（マネジメント上の問題）→CB（コミュニケーションの失敗）のリンクの具体的事例の一例と推察する。また、第2章で、マニュアル・作業指示書等を潜在する危険要因として抽出したが、「IPC」がその代表的なマニュアルとも考えられる。この人的過誤の実践的な防止法として、装備品と機体の適合性の確認は間違いを起こし易いとの認識に立ち、機体に適合する部品番号を誰もが容易に確認できるプログラムの開発等の仕組みづくりが、人的過誤の減少につながると考える。

4.4.4 Other Data にある人的過誤の特徴の考察（再発防止意識）

本節では、マネジメント上の問題が影響している期間（Phase 1）における、Other Data で統計的に多く使用される単語から、人的過誤を発生させた者が有する再発防止意識について考察した。結果、マネジメント上の問題の減少により、その間接的な影響による人的過誤発生件数が減少し始めた時期から、作業者には自らが発生させた人的過誤の再発防止を提案する意識が向上している状況が示唆された。以下にその内容について記述する。

表 4-3 に示すように、Phase 1 の Other Data の方が Management Data と比して多いと考えられる単語に「recommend」がある。ASRS の報告記載欄には、事実の内容以外にも問題を引き起こしたと思われる原因や、再発を防ぐためにできる事も念頭に置いて記載をお願いする手引きがあり、発生した人的過誤を繰り返さないための改善策や教訓等を報告文書の末尾部分で記載している事例が多く、単語「recommend」は再発防止についての提案を表していると考えられる。また、再発防止の提案として報告文書の末尾で使用されている他の単語として「suggest」がある。この単語「suggest」を対象に Phase 1 の Management Data と Other Data の出現回数でのカイ 2 乗検定を行った P 値は 0.41 であり、使用事例件数でのカイ 2 乗検定の P 値は 0.47 となり、単語「suggest」は特徴的な単語とは認められなかった。単語「recommend」が Phase 1 の Other Data の方が Management Data と比して多いと考えられる理由は、この単語が多く用いられ始める時期にあると考える。図 4-2 は、Other Data の報告件数（棒グラフ）、単語「recommend」の使用事例件数（実線）、および単語「suggest」の使用事例件数（破線）の月次推移を示したグラフである。

図 4-2 から、単語「recommend」が継続的に用いられ始めた時期は 2012 年 5 月からである。再発防止についての対応についての表現が、「suggest」から「recommend」へと変化がみられる。提案から推奨へと再発を防止する提案意識が強くなっていると推察するが、この変化が起き始めた 2012 年 5 月は、Other Data の Trend で人的過誤事例件数が最も多かった月（2012 年 3 月）の 2 ヶ月後であり、以降 Phase 1 での Other Data は減少傾向となっている。

マネジメント上の問題という間接的な影響を最も強く受けていた時期の 2 ヶ月後から、

個人の再発防止の提案意識が「suggest」から「recommend」へと強化している。これは防止策の積極的提案であり、職場への提案にもつながっていると推察する。

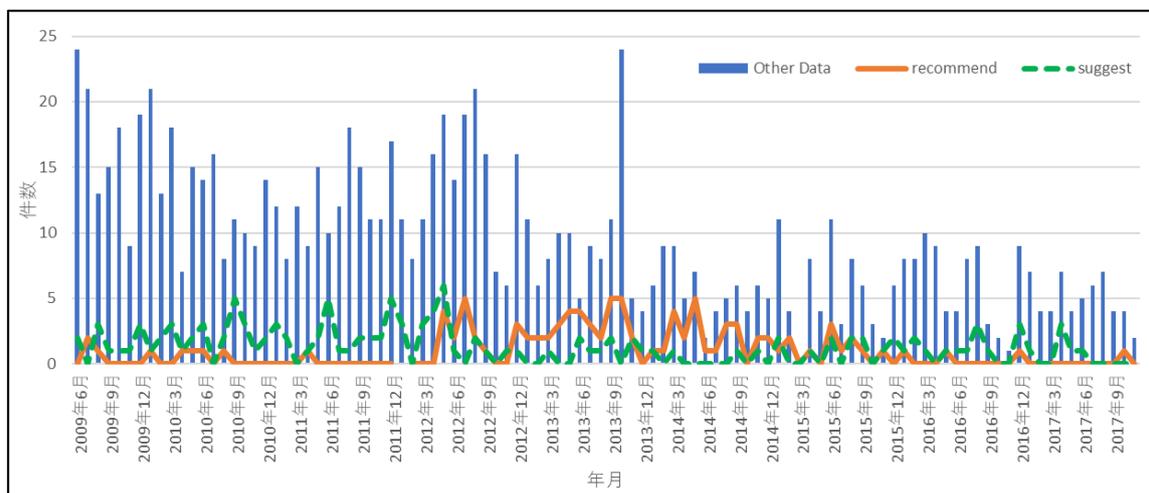


図 4-2 Other Data 件数、単語「recommend」と単語「suggest」の使用事例件数の月次推移

4.5 章のまとめ

本章では、国レベルの大規模な自発報告制度である ASRS を用いて、航空機整備業務に係る大量の人的過誤事例を時系列分析とテキストマイニング手法を組み合わせることで、マネジメント上の問題が間接的に影響している時期において発生する人的過誤の特徴を、作業内容等を表す単語から推察した。

あわせて、第 2 章で、危険要因として抽出したマニュアル・作業指示書等の具体的種類についても推定した。

本章の結果を踏まえ、米国における航空機整備業務において、マネジメント上の問題が人的過誤発生に及ぼすシナリオについて、以下のような仮説が得られたと考える。

「マネジメント上の問題は過度の作業負荷等による作業者の注意力低下やコミュニケーションに悪影響を及ぼす。その悪影響が継続すると、マネジメント上の問題は間接的な背後要因として時間遅れを伴い職場内の連携を劣化させる。職場内の連携の劣化は人的過誤の背後要因となり人的過誤を誘発する可能性がある（例えば、MEL 適用時や IPC による部品の確認時等）。一方で、マネジメント上の問題の影響が減少に転じれば、職場内の連携は時間遅れを伴って回復していき、作業者間のコミュニケーション等が良好な職場へと変えていく。また、作業者自身にも人的過誤の再発防止に係る提案の積極的な発信が起き、人的過誤の抑制を推進させる。」

この仮説のモデルを、図 4-3 と図 4-4 に示す。

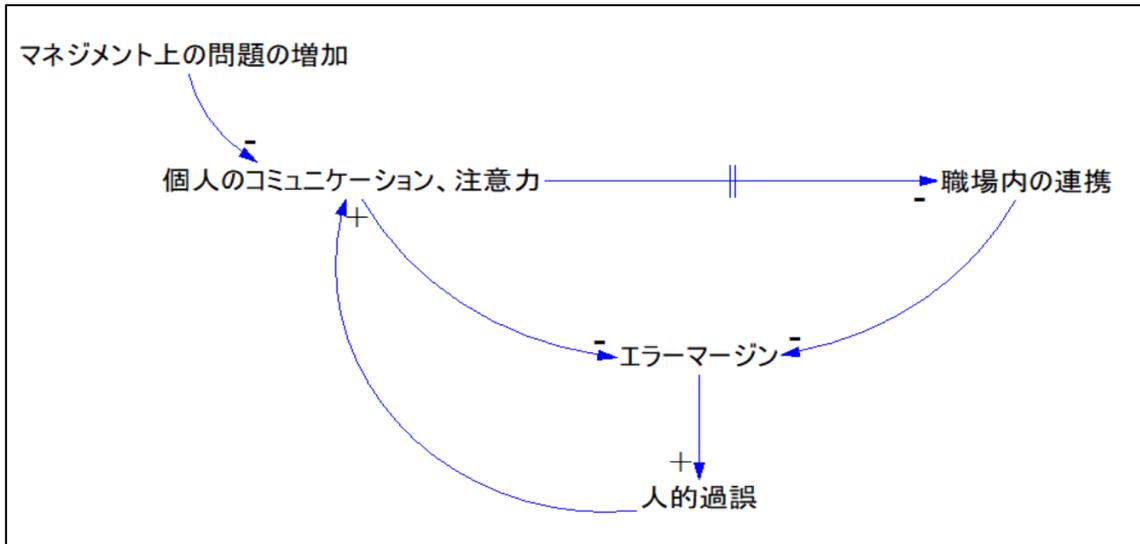


図 4-3 マネジメント上の問題が人的過誤に影響を及ぼす仮説モデル（増加時）

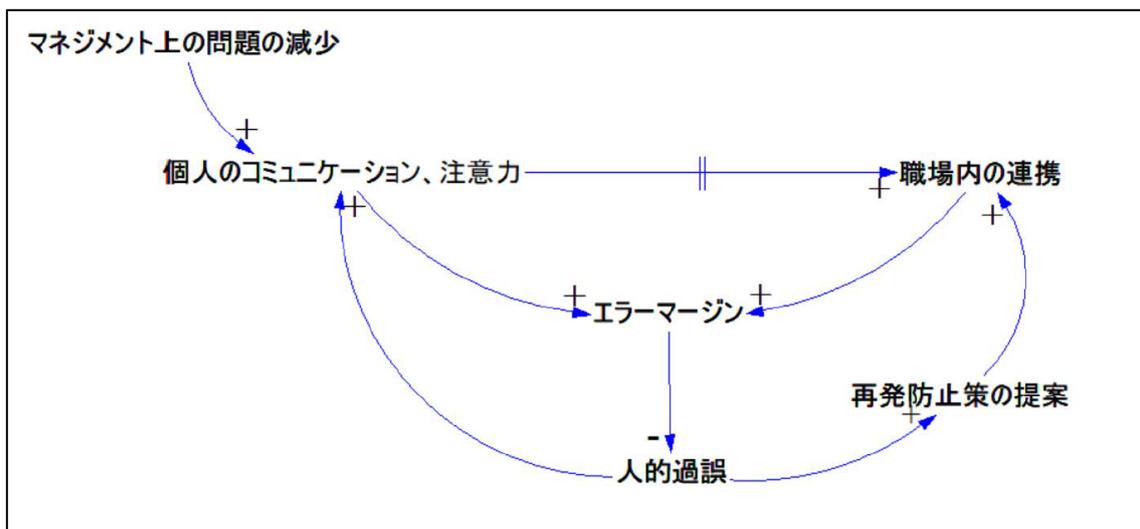


図 4-4 マネジメントの問題が人的過誤に影響を及ぼす仮説モデル（減少時）

国レベルで収集される大規模な人的過誤情報には、報告者が記載する膨大な文字情報が含まれている。情報が膨大であるからこそ、テキストマイニング手法は人的過誤の特徴等に係るキーワードを抽出し、実践的な事故防止法につなげられる有効な手段となる可能性を有している。

第5章 会社レベルでの大量の人的過誤事例を活用する手法の提案

5.1 章の概要

本章では、本研究の新規性として掲げた、「通常の組織の中で通常業務を行っている普通の人々から創発する人的過誤の特徴を分析し、その特徴から未然防止に資する対策を導く手法の提案」として、航空会社にて整備業務を担う人々が人的過誤に陥る可能性がある状況を見出す分析手法を提案する。第2章から第4章までは、国レベルでの自発報告制度の事例分析から要因間の構造化や動的な検証等の分析手法を提案し、人的過誤を減少させる策について考察した。非懲罰と匿名性の方針を持つ ASRS は、現場の最前線の者から、自らが発生させた人的過誤だけでなく発見した人的過誤も含めて大量の事例の収集に成功しており、国レベルの自発報告制度が民間航空業界全体の安全の底上げに有効に機能している。免責下の方針が米国の自発報告制度を成功させてきたが、我が国での自発報告制度が米国のように有効に機能しているとは言い難い。一方で、航空会社の自社レベルにおいては些細な人的過誤を含めて大量の事例を収集しやすい。人的過誤を減らすには、航空会社自社レベルが有する大量の人的過誤事例を分析し、作業レベルでの改善を目指すのが現実的である。

本章では航空会社で収集した人的過誤事例から、作業者本人の年齢あるいは共同に作業する者との年齢差、作業経験、勤務、天候、作業内容等の各事例にある多次元の情報を抽出し、自己組織化マップ⁵¹⁾にて人的過誤に陥りやすい状況を見出す可能性を有する手法を提案する。

5.2 はじめに

第3章、第4章で、マネジメント上の問題が人的過誤に影響を及ぼしている時期を推定したが、この時期は2008年に起きたリーマンショックによる世界的な景気後退という市場の影響を航空業界全体が受けていたと推定される。国際労働機関 (International Labour Organization) は2009年にリーマンショックが航空会社での人員削減やコスト削減への影響を調査し、航空業界全体で数百万人の雇用を失う深刻な状況を招いており、また、航空会社の経営者もリーマンショック当時、その影響が何年にもわたって続くと考えていたと報告⁶⁶⁾している。報告内容には2008年5月から2009年5月までの期間で各航空会社が行ったレイオフ者の数も示されており、例えば、United Airlines は6,600名の従業員を解雇している。また、IATA は、リーマンショック以前の旅客数の伸び率に戻るのには2012年以降になると、2008年12月時点予測していた。実際に、IATA は2011年まで、Annual Report において民間航空業界の市場と経営状況の厳しさを報告していたが、2012年の総括からは明るい展望のメッセージへと変化している。この時期は、第3章の3.5節で述べたマネジメント上の問題が人的過誤に間接的な影響を及ぼさなくなった2012年12月と重なる。

次に、マネジメント上の問題が人的過誤に間接的な影響を及ぼしていないと推定する状況での Management Data（実線）と Other Data（破線）の月次の推移を図 5-1 に示す。推移の起点を 2014 年 3 月としたのは、第 3 章、3.5 節で Other Data が Management Data の影響を受けなくなった時期を 2014 年 3 月としたことを考慮した。なお終点は 2020 年 1 月である。2014 年 3 月から 2018 年 10 月までの期間での Management Data の報告件数は平均で月に 1.4 件で、Other Data は平均で月に 5.8 件である。このようにマネジメントの役割が機能していても人的過誤は発生している。なお、2018 年 11 月以降は Management Data と Other Data の報告件数に変化がみられる。これは Boeing 737MAX 型機（以降、B737MAX と称する。）の墜落事故による影響と推察する。2018 年 10 月 27 日にライアンエアーの B737 MAX の墜落事故が起き、2019 年 3 月はエチオピア航空の B737MAX 墜落事故が起きている。B737MAX は機体の姿勢を制御する新機能の誤作動が 2 度の墜落事故を引き起こし、2019 年 3 月から全世界で運航停止に至っている。米議会下院の運輸・インフラ委員会がまとめた 2019 年 9 月の調査報告書では、Boeing 社が開発段階で新機能の危険性を認知していたにもかかわらず、FAA に報告していなかったことや、Boeing 社内の現場部門からは新機能のリスクについて複数の報告が上がっていたが、投入を急ぐ幹部らは耳を貸さなかったこと等を報告している⁶⁷⁾。米国航空業界に起きた安全軽視の姿勢が、現場の最前線で従事する者の不具合事例を積極的に報告する意識を向上させたと推察する。

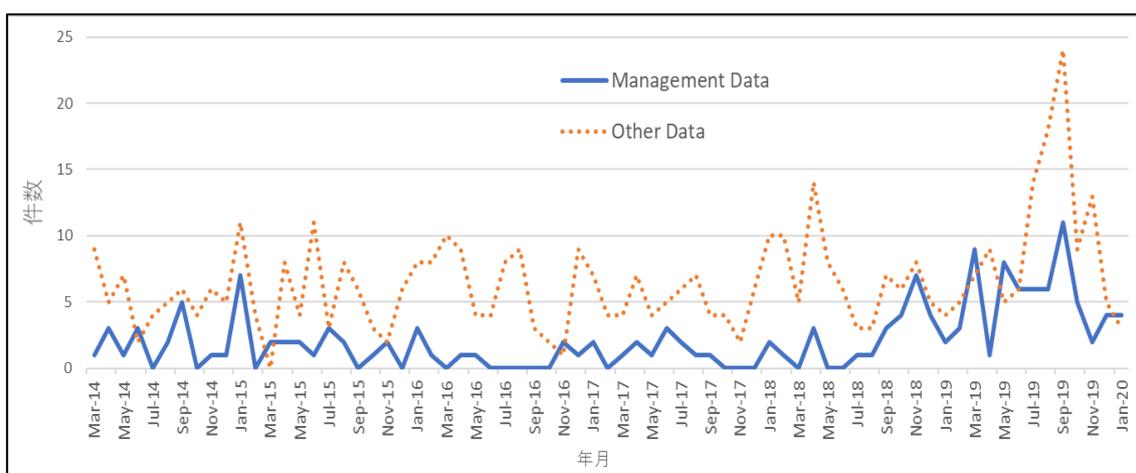


図 5-1 Management Data と Other Data の月次件数（2014 年 3 月から 2020 年 1 月まで）

ASRS のような、国レベルの大規模な自発報告制度は、人的過誤に至るシナリオの分析だけでなく人的過誤に影響を与える航空会社外部の要因についても監視できるため、航空業界全体の安全に対する役割は大きいと考えられる。一方で、マネジメントの役割が機能していても人的過誤をゼロにはならないことを図 5-1 は示している。

航空会社自社レベルでは、社内で起きる人的過誤事例を収集しやすい利点がある。個々の人的過誤事例の要因分析、改善に加え、大量の人的過誤事例を活用して過誤を減らす方

法を模索し続けることが大事である。本章では、我が国の大手航空会社で収集された 271 件の人的過誤事例を利用し、自己組織化マップを用い、人的過誤に陥りやすい状況を可視化し、個人や組織の気づきの向上につなげる可能性を有する学習モデルを提案する。

5.3 大量の人的過誤事例の発生状況の俯瞰的な可視化

5.3.1 パーソンアプローチに基づく可視化

本章で提案するモデルの目的は、大量の人的過誤事例を使用して、人間自身が原因で起こす人的過誤はどのような状況下で起きているかを可視化し、個人と組織の学習に結び付けることである。第 2 章で行った要因の構造化が、J. Reason⁴⁹⁾ が提唱するよくない事は人間の特性により起きるのではなくむしろシステムの上流に潜む背後要因によると考える、システムアプローチに基づく可視化であったのに対し、本章では、人的過誤は通常とは異なるメンタルプロセスによって生じるとの考えで、よくない事は好ましくない人間により引き起こされるとして捉えるパーソンアプローチに基づく可視化を提案する。

5.3.2 人的過誤発生状況を俯瞰的に可視化する手法

パーソンアプローチに基づく人的過誤発生状況を可視化する手法として、自己組織化マップを活用した概念図を図 5-2 に示す。図中の「事例のデータベース」には、過去の人的過誤事例から、時間帯、勤務、天候、作業内容、年齢、共同作業者との年齢差等の作業者に係る状況がデータベース化されている。このデータベースに作業者が作業開始時に上記の状況データを入力すると、類似の状況下で起きた過去事例を出力し、作業者は過去事例の内容と出力された事例件数を知ることができるというものである。そして、作業者は単に出力された事例の内容と個数だけでなく、他の状況下で起きた事例数との比較を視覚的に俯瞰することもできる。過去事例の出力のためのアルゴリズムとして、自己組織化マップを活用する。使用するソフトは、R⁶⁸⁾のパッケージ som である。

表 5-1 に、過去の人的過誤事例から得られる作業者に係るデータの項目（個人が入力するデータも同様）、ならびに各項目の変数等の詳細を示す。なお、作業者年齢の入力に対し、より近似値を出力させることの検証をした結果、年齢カテゴリを追加することが自己組織化マップに有効と判断した。

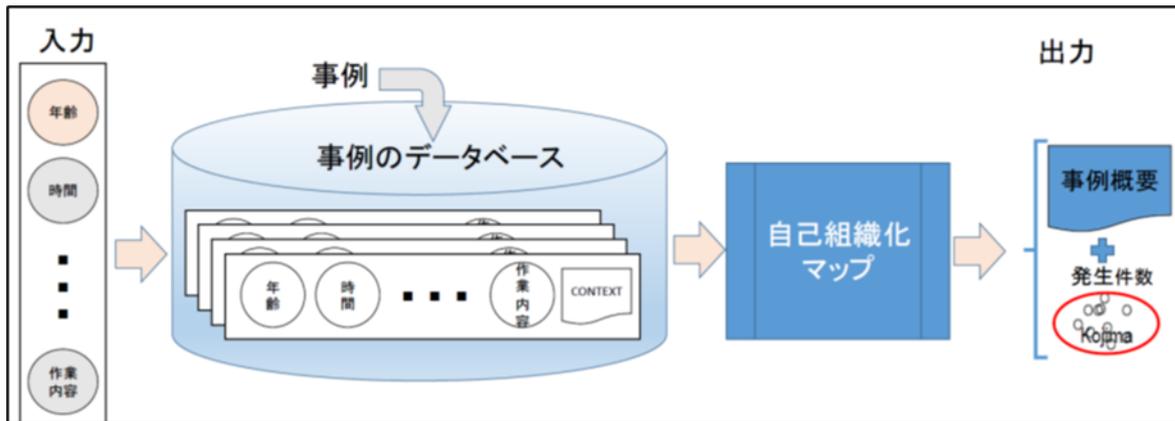


図 5-2 人的過誤発生状況を俯瞰的に可視化する手法の概念図

表 5-1 人的過誤事例から得られる作業者に係るデータ

入力項目	データタイプ	(上段) 名義尺度のカテゴリ数 / そのデータ内容 (下段) 設定理由
勤務 (休日後何日目の勤務か)	名義尺度	カテゴリ数: 3 / 内容: 休み明け初日、2 日目 3 日目以降 ・ 休み明け初日が失敗への注意深さに与える影響を考慮する
作業実施時間帯	名義尺度	カテゴリ数: 2 / 内容: 昼間帯、夜間帯 ・ サークadianリズムが失敗への注意深さに与える影響を考慮する
天候	名義尺度	カテゴリ数: 3 / 内容: 晴れ、曇り、雨 ・ 天候の違いが失敗への注意深さに与える影響を考慮する
作業者の年齢	比例尺度 (実年齢)	比例尺度のため非該当 ・ 熟練度、役割、体力・気力等が失敗への注意深さに与える影響を考慮する
作業者の年齢カテゴリ	名義尺度	カテゴリ数: 4 / 内容: 27 歳以下、28 から 49 歳、50～56 歳、57 歳以上 ・ 決定木 ⁽⁸⁾ にて設定したが、入社から退職までのライフサイクルともいえる
共同作業との年齢差	比例尺度 (年齢差)	比例尺度のため非該当 ・ 経験の違いが失敗への注意深さに与える影響を考慮する
共同作業との年齢差カテゴリ	名義尺度	カテゴリ数: 4 / 内容: 2 歳以下、3 から 11 歳、12～21 歳、22 歳以上 ・ 決定木にて設定したが、年齢差が 3 年以上だと約 10 年という差で区切られた
実施する作業の経験回数	名義尺度	カテゴリ数: 3 / 内容: 初めて (0 回)、数回 (1～3 回)、多数 (4 回以上) ・ 経験の違いが失敗への注意深さに与える影響を考慮する
実施する作業の難易度	名義尺度	カテゴリ数: 2 / 内容: 簡単、簡単でない ・ 作業の難易度の違いが失敗への注意深さに与える影響を考慮する
実施する作業の種類	名義尺度	カテゴリ数: 5 / 内容: 部品交換、修理、作動点検、準備作業等、運航間作業 ・ 作業の種類が失敗への注意深さに与える影響を考慮する

5.3.3 自己組織化マップ

自己組織化マップは、競合学習ネットワークを基礎とした教師なし人工ニューラルネットワークである⁵¹⁾⁶⁸⁾⁶⁹⁾。それは、図 5-3 に示すように 2 層のモデルで、第 1 層は教師信号を使用しない入力層、第 2 層は出力層である。入力層のニューロンは、データを受け取り、出力層の全てのニューロンに伝える。出力層では、入力情報が互いにどれだけ似ているかをニューロン間で競合学習し、ある一つのニューロンが完全な活性化状態で「勝者」になる。そして、負帰還によって他の全てのニューロンの活性化を抑える。異なった入力情報に対しては「勝者」は交代する。また「勝者」の近傍にあるニューロンもある規則に従いその中身を変化させていく。そして、出力層のニューロンは一つひとつ明確な位置(座標)をもち、空間的な描写を行う。

自己組織化マップは、多次元の情報を圧縮し低次元のマップを描いて可視化するという特徴を持っている。例えば、図 5-3 では多次元の情報を、 3×3 で配列された 9 つの 2 次元の格子上に分類し出力することで、マップとして可視化している。

本節では 271 件の人的過誤事例データを学習した 10×10 で配列された自己組織化マップを図 5-4 に示す。ここでは、自己組織化マップの見方をわかりやすくするため、あえて破線を格子状に追加している。図 5-4 には縦 10 個、横 10 個に区切られた計 100 個の格子がある。これらの格子の配列が出力層のニューロンの配列であり、100 個のニューロンの競合学習の結果、各格子内に打点された小さな丸が過去事例である。つまり同一格子内にある小さな丸が多いほど、年齢や経験等の何らかで類似した事例が多いということを意味する。

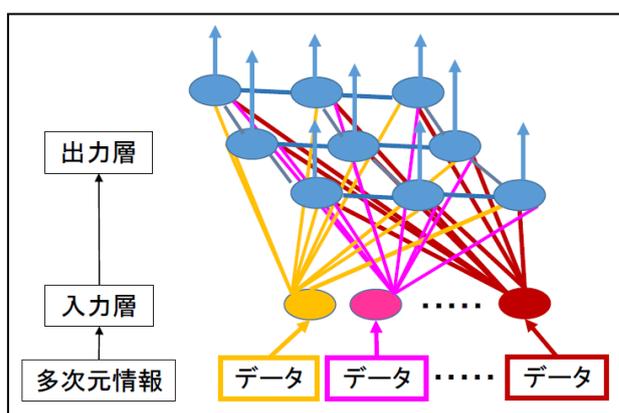


図 5-3 自己組織化マップの概念図

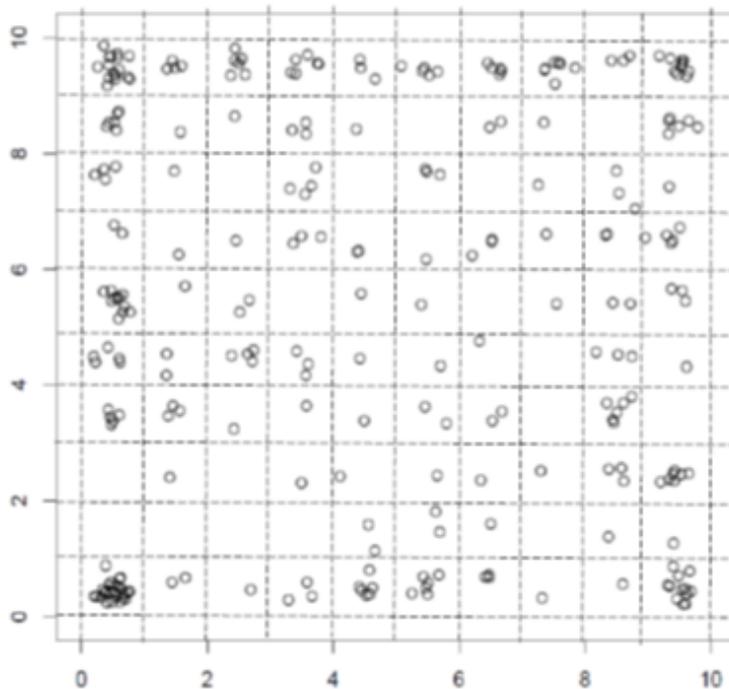


図 5-4 自己組織化マップの出力（271 件の事例）

5.3.4 自己組織化マップの検証

過去事例に対しどの程度の安定性があるかの交差検証⁷⁰⁾を行った。検証方法は、200 件の過去事例を訓練事例として学習させた自己組織化マップに、残り 71 件をテスト事例としてモデルの検証を行った。あわせて、同一格子内の事例の類似性についての検証も、テスト事例の数だけ 71 回入力して行った。

結果、入力したテスト事例の 80%以上が、同一格子内に過去事例を出力した。それらの事例は、勤務、時間帯、天候、年齢、作業の経験、共同作業者との年齢差、作業の種類、作業の難易度のいずれかの変数が、他の過去事例といずれかの組み合わせで一致していることが確認でき、この自己組織化マップの妥当性を検証した。

5.4 自己組織化マップを活用した学習方法の提案

5.4.1 個人学習

大量の人的過誤事例データを自己組織化マップによる可視化の活用として、先ず、作業者が作業前に使用する危険予知活動としての方法を提案する。

先ず、作業者は作業前に年齢、勤務、作業経験等のデータを入力する。これにより、作業者が入力したデータが 271 件の過去事例に追加され、計 272 件のデータを自己組織化マップが学習し、そのマップを出力する。

例として、作業員 A と作業員 B が共同で作業する場合のデータの入力例を表 5-2 に示す。その結果として、図 5-5 が作業員 A 用に出力されたマップで、図 5-6 が作業員 B 用のマップである。それぞれのマップ上には、作業員の位置が名前が表示される（丸で囲った部分）。作業員と同じ格子内にある小さな丸が、類似状況下での過去事例であり、表 5-3 および表 5-4 は、作業員 A および作業員 B へ紹介される事例概要である。

表 5-2 作業員 A と作業員 B によるデータ入力例

	作業員 A	作業員 B
勤務（休日後何日目の勤務か）	3 日目	3 日目
作業実施時間帯	夜間帯	夜間帯
天候	晴れ	晴れ
作業員の年齢	50 歳	45 歳
実施する作業の経験回数	2 回	6 回
実施する作業の難易度	簡単でない	簡単でない
実施する作業の種類	部品交換	部品交換

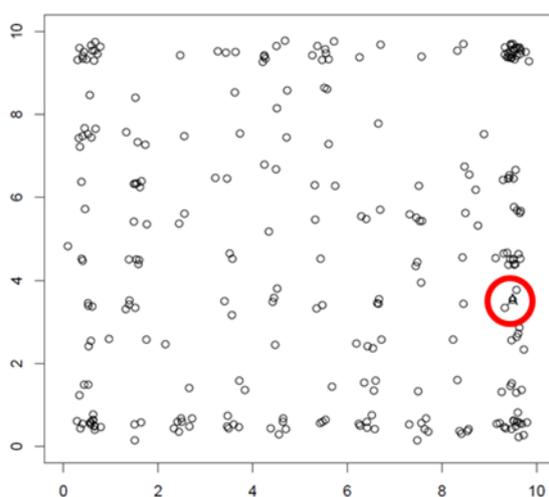


図 5-5 作業員 A の自己組織化マップ

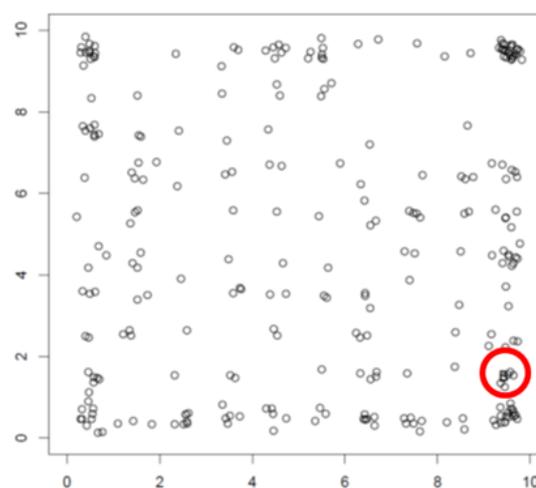


図 5-6 作業員 B の自己組織化マップ

表 5-3 作業員 A に紹介された事例概略

1	参照する手順書の選択間違い
2	車両運転の不注意による機体との接触（機体離脱時）

表 5-4 作業員 B に紹介された事例概略

1	部品組み換え時の取り付け不備 (Bushing)
2	部品組み換え時の取り付け不備 (Union)
3	監視不足による取り付け時の部品損傷
4	車両運転の不注意による機体との接触 (機体接近時)
5	マニュアルの読み間違い

紹介された事例は、作業員 A および作業員 B とも、勤務・時間帯・作業の種類・作業の難易度について、作業員の入力データと合致し、天候・共同作業員との年齢差・作業の経験回数ではばらつきが見られた。そして、作業員の年齢では、作業員 A では実年齢とほぼ同じ数値であり、作業員 B は年齢カテゴリ内で合致した。

作業員 B に紹介された事例に、部品組み換え時の取り付け不備がある。これは取り外し部品の一部を、新しい部品に組み入れる段階での過誤を意味している。作業員がこれを意識することで、部品取り付け作業を開始する前に、作業の節目として再確認する等の行動につながる。一方で、手順書参照時、車両運転時の人的過誤など、基本行動に係わる内容も含まれている。

作業員は、共同作業員と共に、作業開始前にマニュアルや手順書を確認し、作業の注意ポイントを相互に確認する。また、過去の過誤事例を事例集から検索する。しかしながら航空機整備においては、その作業の種類は膨大であるため、過誤事例の検索はこれから行う作業に特化した検索が主となる。一方で、自己組織化マップによる検索は、作業員が作業手順書で確認できる注意事項や作業に特化した過誤事例以外にも、スキルとして身につけているはずの基本事項にまで、作業開始前に意識を向けることができる。これは、危険予知活動として有効に活用できると言える。

また、自己組織化マップは、作業員 A と作業員 B それぞれに異なる事例内容を出力することで作業員は互いの情報を共有できる。この共有が、以下に示すような持続可能な危険予知活動を作業員にもたらす可能性がある。

- ・作業員間で相互に出力された事例の紹介をすることで、コミュニケーションの促進とチームワークを高めることにつながる。
- ・作業員はいつも同じ共同作業員と作業をするのではなく、様々な年代の作業員と組む。また、慣れた作業もあれば、初めての作業もある。このように、作業員が様々な状況下で作業を行うため、自己組織化マップが出力する事例の内容や事例数は変化する。本手法の提案は危険予知活動のマンネリ化を防止できると考える。
- ・多くの人的過誤の内容を繰り返し学ぶと共に、紹介される事例の数の大小を繰り返し経験することにつながる。どのような状況下で人的過誤が多く発生しているか、何故そうなるのかの気づきと考える力を作業員が持つことが期待できる。
- ・作業員の気づきが、職場のなかで暗黙知として共有化していくことが期待される。

自己組織化マップを活用した、大量の人的過誤事例を俯瞰的に可視化する手法は、作業実施中における失敗に対する注意深さの低下を防ぐだけでなく、コミュニケーションの促進、作業者に気づきと考える力の促進が期待でき、人的過誤を減少させる努力につながる可能性を有する手法と考える。

5.4.2 組織学習

本節では、組織としての、大量の人的過誤事例データの自己組織化マップによる可視化の活用方法を提案する。

自己組織化マップによる俯瞰的な可視化は、人的過誤が集中している座標マスを示してくれる。例えば、271 件の事例を学習したモデルで事例が最も集中しているところは左下である（図 5-7 の丸で示す）。この丸で囲まれた座標マスには 25 件の事例があり、この事例の群で類似する条件は、作業者の年齢が 50 歳以上、共同作業者との年齢差が 22 歳以上、勤務日は 3 日目以降、時間帯は夜間、作業の種類は部品交換である。

この 25 件の事例を 271 件の学習モデルから削除した 246 件の事例で作成した自己組織化マップを図 5-8 に示す。図 5-8 の丸で囲んだ座標マスが最も集中しており、その事例数は 15 件である。この群で類似する条件は、作業者の年齢が 50 歳以上、共同作業者との年齢差が 22 歳以上、勤務日は初日、時間帯は昼間帯である。またこの 15 件の事例は、271 件の自己組織化マップ（図 5-7）では、すべてが違う座標マスに配置されていたものであり、25 件の事例群を削除したことにより群として構成されている。

人的過誤を減らす努力につなげる現実的な方法として、仮に 271 件の事例が起きた以前に「50 歳代と 20 歳代の共同作業で人的過誤が起きやすいので、お互いに気を付けよう。」といったキャンペーンを組織の活動として取り組んだと仮定し、そして、このキャンペーンが功を奏して 50 歳代と 20 歳代の共同作業での人的過誤が撲滅できた場合、違う特徴を持つ事例の群が構成されることも考えられる。271 件の事例から 50 歳以上の作業者と 22 歳以上の年齢差のある共同作業者の組み合わせによる人的過誤事例を削除して作成した自己組織化マップを図 5-9 に示す。図 5-9 で事例が集中する座標マス（丸で囲んだ部分）には 10 件の事例があり、この事例群で類似する条件は、作業者の年齢が 56 歳以上、共同作業者との年齢差が 3 歳以下、作業の難易度は簡単、作業経験あり、天候が晴れである。さらに、この 10 件の事例を図 5-9 の自己組織化マップから削除した場合の自己組織化マップが図 5-10 であり、事例が集中している丸で囲んだ座標マスには 9 件の事例があり、この群で類似する条件は、作業者の年齢が 20 歳代、共同作業者の年齢が 20 歳代、作業の難易度は簡単である。

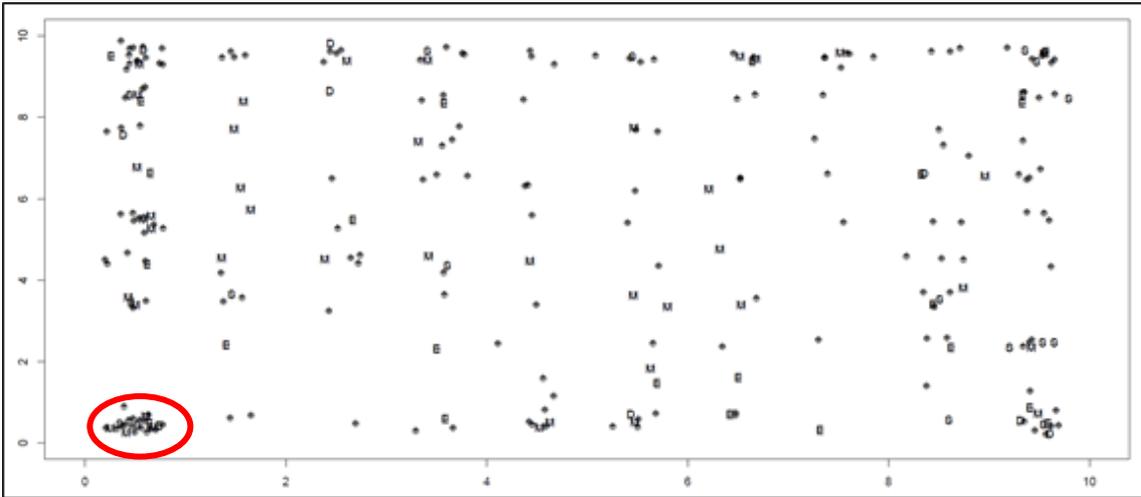


図 5-7 自己組織化マップ (271 件)

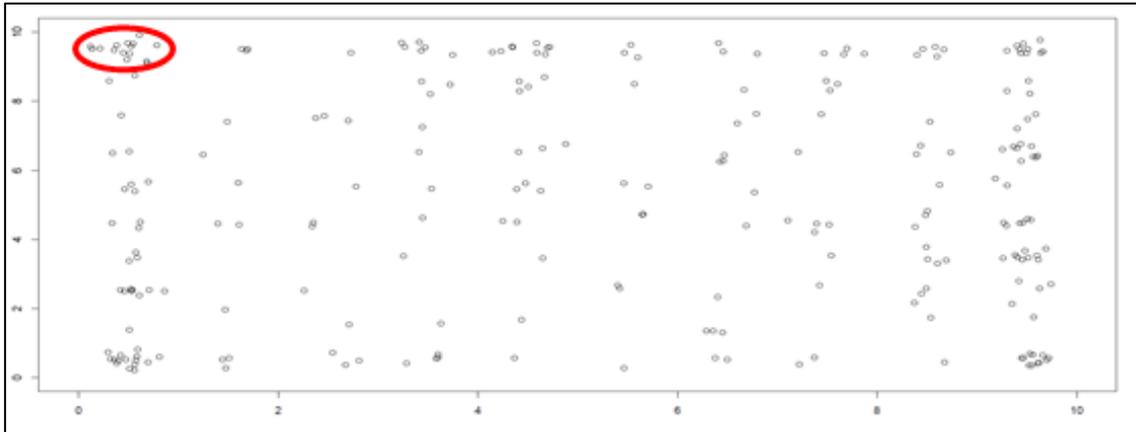


図 5-8 自己組織化マップ (271 件から 25 件の事例を削除)

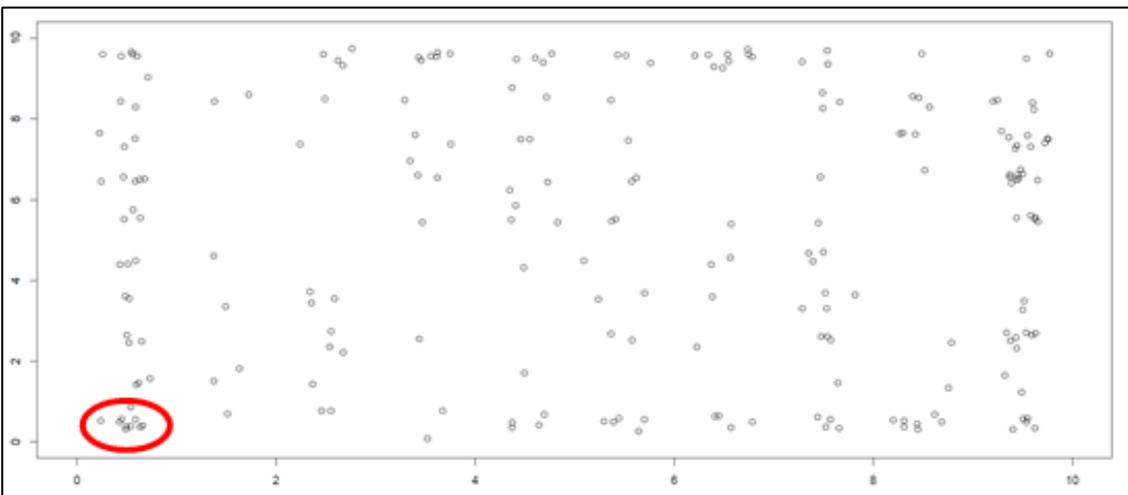


図 5-9 自己組織化マップ (271 件から 50 歳以上と 22 歳以上の年齢差がある事例を削除)

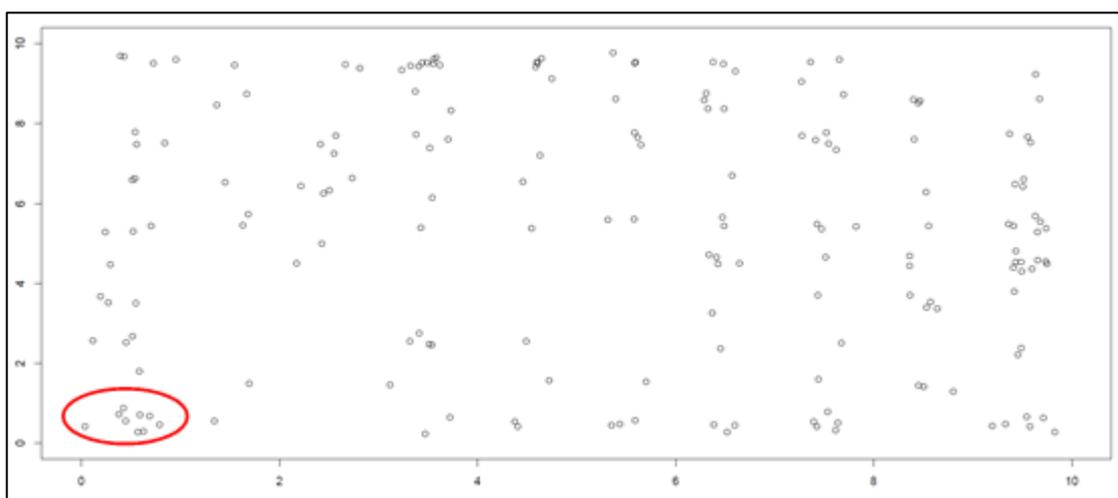


図 5-10 自己組織化マップ(図 5-9 から 56 歳以上の作業員で 3 歳以下の年齢差の作業員と組んだ事例を削除)

このように、自己組織化マップで可視化するモデルは、人的過誤に陥りやすい状況が把握できるため、その状況下での人的過誤を減らす努力につなげられる。例えば、一定期間に発生した人的過誤事例で自己組織化マップを作成し、集中している事例の群の状況を監視することで、人的過誤を減らす取り組みの成果が確認できるとともに、新たに人的過誤が起きやすい事例の群の発見から、次の取り組みにつなげられる。

例として、271 件の内、発生日時の古い方から 180 件の事例で出力した自己組織化マップを図 5-11 に示す。図 5-11 の丸で囲んだ座標マスは、50 歳以上の作業員が 22 歳以上の年齢差のある共同作業員と勤務 3 日目の夜に部品交換の作業をした時に人的過誤を起こしたという群である。仮に、発生日時の古い 180 件の自己組織化マップから、組織がこの現象に気づき、事前の危険の周知およびグループディスカッション（例えば、この現象が現れる理由をテーマとして対話する）等の対策を講じ、以降、50 歳代と 20 歳代の作業員の組み合わせでの人的過誤が発生しなかったと仮定する（図 5-12 を参照）。この場合の直近 180 件の事例で出力した自己組織化マップを図 5-13 に示す。対策を講じる前に発生していた 50 歳以上の作業員が 22 歳以上の年齢差のある作業員の組み合わせの事例は、実線の丸で囲んだ座標マスに分散されており、この特徴が消滅したと言える。一方で左上の破線の丸で囲んだ座標マスに事例が集中してきている。これは、同年代同士の作業員組んで 3 日目の夜に部品交換作業で人的過誤が起きている事例の群である。この群は 9 件あり 20 歳代の組み合わせが 6 件で、50 歳代の組み合わせが 3 件である。組織は新たに現れてきたこの現象を監視し、必要な対策を準備することができる。

このように、大量の人的過誤による自己組織化マップでの俯瞰的な視覚化により、人的過誤を減らす努力が組織的に続けられると考える。

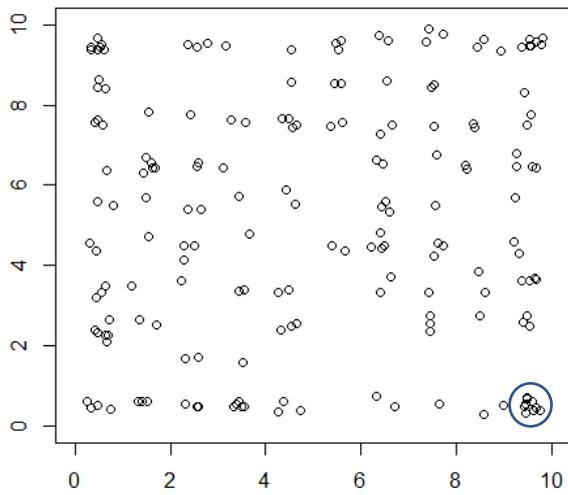


図 5-11 事故組織化マップ（日時の古い事例 180 件）

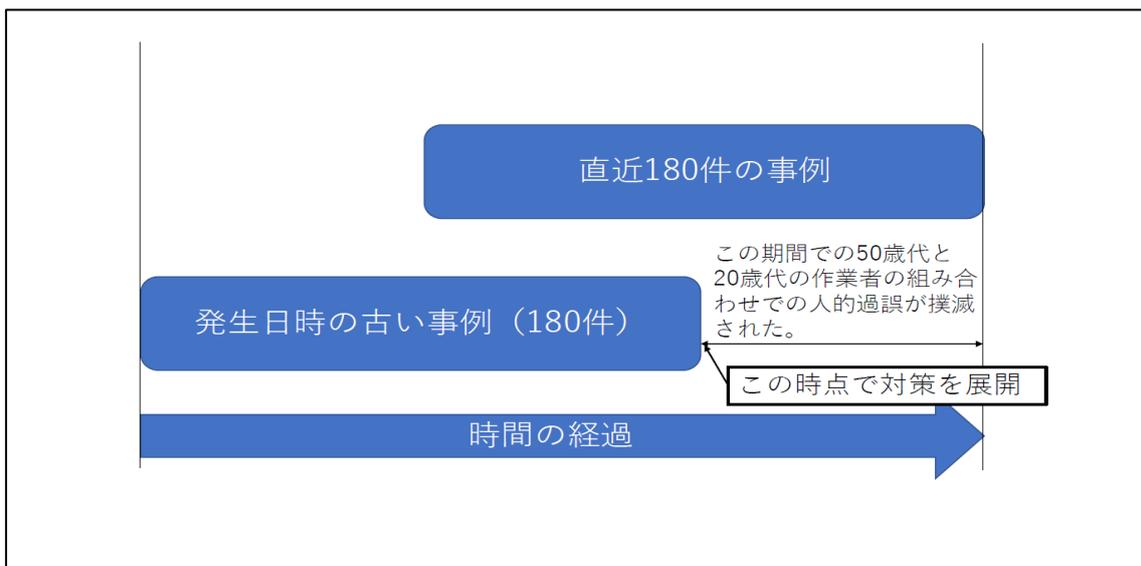


図 5-12 対策を講じた時点と直近 180 件の事例群の概念図

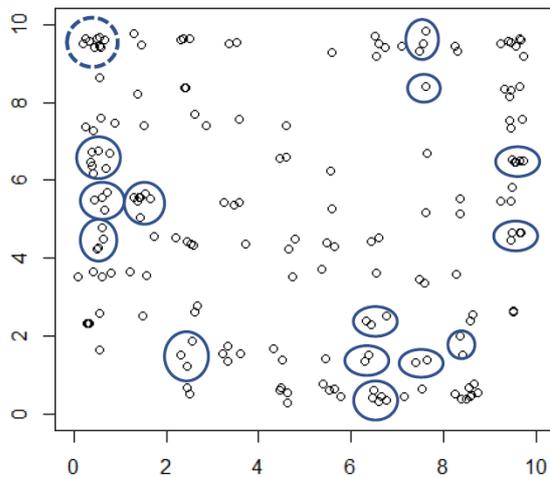


図 5-13 自己組織化マップ (対策後の直近 180 件)

5.5 考察

本章では、よくない事は好ましくない人間により引き起こされるとして捉えるパーソンアプローチの考えに基づく分析を試みたが、提案した手法の成果と課題、ならびに人的過誤を抑制する可能性について考察する。

パーソンアプローチの考えに基づく本研究の手法の成果は、人的過誤に陥りやすい状況を発見する可能性であり、課題は人的過誤が多く集まる状態は表層的でありその深層部分は示し得ないことである。

今回の事例で発見した人的過誤に陥りやすい状況、例えば 50 歳代と 20 歳代の作業者の組み合わせで行う作業で、常に過誤が起きているわけではなく、この組み合わせでは過誤に陥る可能性があることの示唆と考える。この人的過誤に陥る可能性の示唆が成果と考える。一方、その組み合わせで過誤に陥る理由については示していないことが課題である。この課題に対する策として、Safety II の考え方が適用できる可能性がある。E. hollnagel⁷¹⁾ は、人間をシステムに柔軟に対応する資源とみなし、数少ない過誤に着目するのではなく、成功している多くの事例に目を向ける必要があると主張し、この考え方を Safety-II の名称で提唱している。この Safety-II では、人間は成功に向けて行動するが、意図した結果の許容範囲を超えるのが過誤であり、それは創発的に起きると議論している。本研究で示した人的過誤に陥りやすい状況は可能性であり、その状況で成功している事例の方が多いと考える。

人的過誤に陥りやすい可能性がある状況下で、成功に向けて柔軟な対応を行っていることは何か、どのようなことが有効なのかという実態や知恵を多く集める組織的な取り組みから始めて、そして組織は個人の成功に向けた行動意欲の向上を促すことで、Safety II の活動が具現化していく可能性が期待できる。

5.6 章のまとめ

本章では、航空会社自社レベルでの大量の人的過誤事例を活用し、個人や組織が気づきを促進する手法として、人的過誤に陥りやすい状態を発見する可能性をもつ自己組織化マップでの可視化を提案した。

国レベルの自発報告制度は専門家による要因分析が行われており、第2章から第4章では、よくない事は人間の特性により起きるのではなく、むしろシステムの上流に潜む背後要因によると考えるシステムアプローチの分析からいくつかの教訓が示唆された。本章では、会社レベルの事例が年齢、勤務、時間、天候、作業経験等の情報が充実していることに注目し、人間を潜在的な危険性として捉えるパーソンアプローチによる分析を行った。

結果、要因分析が行われていない人的過誤事例を用いた統計的分析で、人的過誤に陥る可能性のある作業者の組み合わせの示唆を得ることができた。K. E. Weick⁷²⁾ は、事故や人的過誤を起こさない信頼性は「Dynamic Non-Event」の特徴があると論じている。結果が何も起きていなくても、その過程では変化に対処しながらことが進んでいることから動的で非事象であり、またその過程で人間は実際には起きなかったが起こす可能性があった人的過誤の数は分かっていない意味で、信頼性は目には見えないものであると議論している。本研究で見出した人的過誤に陥りやすい状況は、多くの場合は人的過誤が起きていないものの、創発的に人的過誤に陥る可能性を有する状況と考えれば、Weick が論じる「目に見えない人的過誤を起こす可能性」の可視化を示唆していると推察する。

第1章の1.3.5節にて、S, Decker がインシデント報告制度の有効に活用できないと論じる理由の一つに、「安全なシステムにおける事故は、通常の組織の中で通常業務を行っている普通の人々から創発すると思われる。そのため、要因分析は創発する事故の分析に適応できない。」ことを紹介した。本章で提案した分析手法は、普通の人々が創発的に人的過誤に陥りやすい状態を見出す可能性を持つ手法の一例と考える。

第6章 総括的視点からの考察

本章では、第5章までに述べてきた研究での総括的な考察を述べる。

6.1 要因分析されたデータを統計的に分析する前提条件

航空機整備業務の人的過誤に係る要因を分析し教訓を抽出することは、個別の事例であれば有効であり様々な手法が提案されている。しかしながら、大量の事例の統計的な分析から教訓を抽出することに対して、以下のような限界を主張する議論もなされていることが分かった。

「膨大な数の報告は、危険な要因の効果的な抽出や、それらがどのように組み合わせられるかの予見を極めて困難にする。そのため、人的過誤事例データベース中の意味のある要因の組み合わせを分析できるだけの十分な処理能力、あるいは人的過誤事例データから知識を引き出す他の処理手法を見出せない。」

「事故はドミノ倒しのような線形のシステムではない。またスイスチーズモデルも実証的な支持を得ていない。そのため、インシデント報告制度において用いられている要因を深掘する手法、そしてインシデント報告制度の基礎をなすスイスチーズモデルのような失敗モデルでは、各要因が重なり合い事故を引き起こす道筋と何らかの関係があるという分析は見いだせない。」

上記の問題に対しての解を見出す前提として、2つのことが考えられる。1つは、個々の人的過誤事例に対しの確な要因分析が行われていることである。ASRSのように人的要因および背後要因の知識と実務に精通した専門家により要因分析されたデータベースを活用することで、第2章ではベイジアンネットワークを用いて大量の人的過誤事例の要因を構造化でき、第3章では時系列分析を用いてマネジメント上の問題が、時間的な遅れを伴う間接的な影響を人的過誤発生に及ぼすことを示しえたと考える。

2つ目は、事例件数である。統計的な分析は事例数が多いほど、信頼性の高い結果が得られると考える。第2章のベイジアンネットワークの分析では人的要因の詳細な分析を開始した2009年6月から2014年3月までの事例を使用した。事例数は1221件である。一方、FAA（米国連邦航空局）の統計データ⁷³⁾によれば、FAA認可の航空機整備士資格の保持者は、2014年で341409名である。この資格保有者の全てが米国航空会社の整備業務に従事しているわけではないが、資格者数を考慮すれば、本研究で使用した事例数よりも多くの人的過誤事例が存在すると考えられる。ASRSに報告されていない人的過誤事例も多くあると考えれば、本研究で行ったベイジアンネットワークの条件付き確率はASRSに

報告された事例件数のみを対象にした結果であり、報告数に対する頻度と考える。

航空機事故の撲滅を目的として、専門家による要因分析を行い、大量の事例を統計的な分析から教訓の抽出が得られるのは、国レベルの自発報告制度が持つ優位性である。一方で、どれだけ多くの報告が収集できるかが人的過誤の統計的分析の信頼性を高めるための課題であると考ええる。

6.2 報告の内容自体の重要性

D.D. Woods ら⁷⁴⁾ は、人的過誤から学ぶためには第1の物語より第2の物語を追求することの重要性を論じている。第1の物語とは、安全上の問題が発生したとき、分かった結果から表面上の限られた人的過誤の原因のみが伝えられる内容を言う。第1の物語では多くの文脈が省略されているため、人的過誤を起こした者が直面したジレンマや困難が単純化され、背後に潜む複数の要因を見えなくなっている。従って、安全を向上させるために、人的過誤の背後に潜む要因を発見する第2の物語を追求することが重要と論じている。

ASRS の自発報告は、現場第一線で従事する者が直接、何が起きたのか、何が問題を引き起こしたのか、再発を防ぐには何ができるかを考えながら、記載するような手引きになっている。そのため、記載された報告は、報告者の思考や報告者を取り巻く関係者を含めた背後要因も含まれた文字情報になりえる。この文字情報は本研究での大量の人的過誤事例の統計的な分析として次の点で有効に活用できた。

- ・テキストマイニングの活用で特徴的な単語を抽出でき、マネジメント上の問題が影響する内容を推察した。
- ・ベイジアンネットワークで構築した要因間の構造モデル、および設定した仮説（マネジメント上の問題が人的過誤に影響を及ぼす仮説モデル）を補足説明する単語を抽出した。

上記の2点以外にも、報告者の思考や報告者を取り巻く関係者を含めた背後要因が記載された文字情報が有する利点について考察する。

ASRS が自発報告の収集に成功している理由は、非懲罰と匿名性のポリシーを有していることを第1章、1.1節で述べたが、報告者の思考や報告者を取り巻く関係者を含めた背後要因も記載された文字情報も理由の一つであると考ええる。報告者が多いということは、読者も多いのではないだろうか。そして、現場第一線の読者は、人的過誤事例の結果だけでなく、その背後にある問題に関心を持ち自分事して捉えているのではないかと推察する。2012年5月から、人的過誤の再発を防ぐために何ができるかの記述に、単語「recommend」が多く使用されていることを第4章、4.4.4節で述べたが、これは読者がこの単語に共感した結果、使用頻度が上がったのではないかと推察する。

国レベルであれ、航空会社自社レベルであれ、人的過誤事例の内容は、起きた事実、背後に潜む要因、再発を防ぐには何ができるかを、報告者自らが記載したもの（物語）あるいは近似した内容が、読者の学びにつながる可能性を有している。

6.3 要因間の構造の変化

第2章では、ベイジアンネットワークを用いて要因間の構造を構築したが、本節ではこの構造の検証を行い、得られた結果からの考察を行う。

第2章で検証した期間が2009年6月から2016年3月までであるため、それ以降の期間として2016年4月から2020年11月までの期間を対象に、第2章と同様な条件で、Wide (Wide Body Jet)、Narrow (Narrow Body Jet)、Regional (Regional Jet) の合計336件の事例を抽出した。この事例を用いて、第2章で作成した要因間の構造のあてはまり具合の検証を行った。検証方法は、第2章で述べたWide、Narrow、Regionalの共通した要因間のリンクのみで構築したグラフ構造の信頼性の検定を行った。表6-1にWide、Narrow、Regionalで共通した各リンクの検定結果のp値を示す。また、図6-1に、第2章で述べたWide、Narrow、Regionalの共通した要因間のリンクのうち、有意なリンクを実線で、有意でなくなったリンクを破線で示す。

表6-1 共通するリンクの有意値

	P 値
CP→ST	4.7e-02
CP→EV	3.5e-01
ST→WL	2.5e-05
WL→FA	1.6e-01
WL→TP	1.1e-08
TP→DT	3.7e-01
WL→DT	3.2e-01
ML→CH	3.4e-03
CH→CF	4.3e-02
TQ→CF	4.5e-02
CF→CB	5.0e-01
CP→CB	6.8e-03

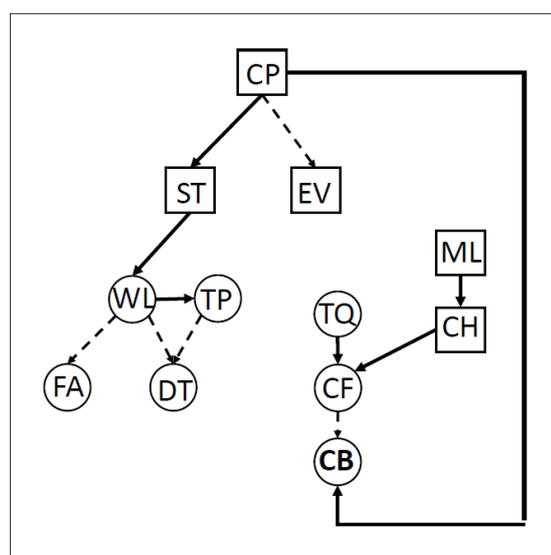


図6-1 要因間の構成グラフ

*eは指数を意味し、1.8e-02=1.8×10⁻²

CB (コミュニケーション失敗)、CF (混乱)、DT (注意散漫)、FA (疲労)、TP (時間圧)、TQ (訓練資格)、WL (作業負荷)、EV (天候以外の外部環境の問題)、ML (マニュアルの不備)、CH (作業指示書、図面等の不備)、CP (マネジメント上の問題)、ST (人員配置)

2016年4月から2020年11月の期間の事例を用いた要因間の構造で、有意でなくなったリンクは次の5つである。

- ① CP (マネジメント上の問題) → EV (天候以外の外部環境の問題)
- ② WL (作業負荷) → FA (疲労)
- ③ WL (作業負荷) → DT (注意散漫)
ただし、TP (時間圧) → DT (注意散漫) のリンクがないときは有意となる。
- ④ TP (時間圧) → DT (注意散漫)
ただし、WL (作業負荷) → DT (注意散漫) のリンクがないときは有意となる。
- ⑤ CF (混乱) → CB (コミュニケーションの失敗)

第3章と第4章の議論から、「マネジメント上の問題の影響が減少に転じれば、職場内の連携は時間遅れを伴って回復していき、作業者間のコミュニケーションが良好な職場へと変えていく。」という仮説が得られた。また、2014年2月までの人的過誤 (Other Data) はマネジメント上の問題から間接的に影響を受けていることを推定した。このことから第2章で、2009年6月から2016年3月までの事例にて構築した要因間の構造は、マネジメント上の問題が間接的に人的過誤に影響を及ぼしていた期間を含んだ状況の構造と推定する。

本節の要因間の構造の検証の結果、および第4章で得られた仮説を考慮すれば、2016年4月から2020年11月までの期間は、2009年6月から2016年3月までの期間と比較して、マネジメント上の問題が間接的な影響を及ぼしておらず、職場内の連携が正常な状況へと推移していると推定する。

マネジメント上の問題の減少と職場内の連携が良好な状況に推移したことで、疲労に陥るほどの作業負荷でなくなっていること、混乱があったとしてもコミュニケーションの失敗に至るような状況にはなりづらくなっていること、作業負荷と時間圧の影響を同時にうけての注意散漫になるような場面が少なくなっている状況が示唆された。

要因間の構造は変化し、その変化から教訓が得られる可能性が示唆された。

6.4 システムアプローチとパーソンアプローチ

第5章では、航空会社自社レベルでの人的過誤事例を活用して、人間を潜在的な危険性として捉えるパーソンアプローチの視点での分析手法を提案した。提案した分析手法は、人的過誤に陥りやすい状況 (例えば作業者の組み合わせ等) を見出す可能性はあるが、それは表層的であり人的過誤に陥る理由は示さない課題を示した。

航空会社自社レベルでは、発生した人的過誤事例は社内の仕組みにより報告される。報告される人的過誤事例は個の単位で分析が行われ、人間の背後に潜む要因を改善する再発防止の取り組みが行われる。例えば、設備・機材の改善、手順書の改善などの防止策⁷⁵⁾が講じられる。航空会社自社レベルにおいては、よくない事は人間の特性により起きるのではなくむしろシステムの上流に潜む背後要因によるというシステムアプローチに基づき、発生した人的過誤事例を個々に分析し、防止策を講じることが、人的過誤を減少させる活動の基本と考える。

しかしながら、共同作業者が確認したはずだとの思い込み、コミュニケーションの不足、うっかりミス等は、個別事例の対策としては再発を防止する具体的な改善がとりづらい内容であり、注意喚起の事例周知等に留まる事例も多いと思われる。具体的改善が取りづらい事例でも、蓄積した人的過誤事例をパーソンアプローチの視点で統計的分析することで、人的過誤に陥る可能性のある状況を見出すことができれば、そこから人的過誤を抑制する努力につながる可能性がある。ただし、人的過誤に陥る可能性のある状態は表層的であるため、チーム内で起きる人的過誤を誘発していく要因⁷⁶⁾ (例えば過度な権威勾配や自信過剰⁷⁷⁾ によるコミュニケーションの不足等) についての検討を組織が率先して取り組み、職場や個人の成功行動へ向けた動機づけを図るステップを踏むことで、組織・職場・個人の成功に向けた努力が継続的に機能する可能性があると考え。そして、そのためには組織・職場・個人が、人間は過誤を起こし得るとの前提を理解し、人的過誤に対する非懲罰の方針を共有していることが重要と考える。

システムアプローチに基づき、システムの上流に潜む背後要因の改善から人的過誤の再発を防止する活動の基盤があって、パーソンアプローチの視点での分析から得られる人間が人的過誤に陥る可能性に対する抑制活動が有効になると考える。

6.5 分析手法

よくない事は人間の特性により起きるのではなく、むしろシステムの上流に潜む背後要因によると考えるシステムアプローチであれ、人間を潜在的な危険性として捉えるパーソンアプローチであれ、人間がシステムを中心にあることが複雑性を有し、非線形を有することになる。そのため、非線形なシステムに対応する分析手法をとして、ベイジアンネットワーク、時系列分析、自己組織化マップを活用した。その結果、第1章の1.3.5節で記述した次の3つの新規性の目標に対応できたと考える。

- ・ 人的過誤の要因を構造化し、危険な要因を見出す手法の提案
- ・ 人的過誤発生に係わる要因間のつながりを、要因の構造化以外から分析し、人的過誤に至るシナリオを見出す手法の提案
- ・ 通常の組織の中で通常業務を行っている普通の人々が起こす人的過誤の特徴を分析し、その特徴から未然防止に資する対策を導く手法の提案

新規性は示したが、以下の課題があると考えている。それを以下に記載する。

- ・ 要因間の構造化モデルを活用した動的検証
本研究では、背後要因であるマネジメント上の問題を有する事例群と、それを有しない事例群の比較により、マネジメント上の問題が人的過誤に及ぼす動的な関係を示した。第2章で行った要因間の構造モデルは静的ではあるものの、モデル全体の動的なふるまいのシミュレーションは可能と考える。システムダイナミクス⁷⁸⁾等の手法を用いて、新たな知見を見出すこととしたい。

- ・自己組織化マップの実践的な活用

自己組織化マップに入力する多次元情報を変更することで新たな知見を得る可能性がある。例えば、本研究では天候を一つの情報としたが、それが人的過誤発生を起こす可能性が低いと考えれば、入力情報から削除し、新たに作業の標準工数や作業のステップ（例えば、準備、取り外し、取付、調整、検査、作動点検、確認、片付け等）の情報を入力する等の試行錯誤で、新たな知見を見出す可能性がある。本研究で示した自己組織化マップの手法はプロトタイプであり、入力する多次元情報の入力事例数や変数の数に応じて、出力層のニューロンの配置数等の再設計は都度検討する必要がある。

6.6 示唆された教訓

ASRS の人的過誤事例の統計的分析から示唆された教訓を下記に総括する。

- ・現業部門で安全運航優先、規定遵守という規範を実践させるマネジメントの役割が機能しないと、作業者に過度な負担を強いるのみならず、職場内のコミュニケーションにも悪い影響を及ぼし、職場内の連携を劣化させるおそれがある。
現業部門でのマネジメントがいかなる時も、安全運航優先の姿勢を堅持し続けることが、人的過誤を防止することにつながり、ひいては航空機事故の撲滅に寄与すると考える。
- ・職場内の連携が劣化した場合は、その回復には時間を要する可能性がある。
現業部門でのマネジメントは、人的過誤が起きている場合は、職場内の円滑なコミュニケーションが行われているかを点検することが重要と考える。
- ・現業部門でのマネジメントは、職場内の円滑なコミュニケーション以外にも、作業者に過度な負担とならない、人的リソース、時間的リソースの提供に関心を持つことが人的過誤を防止することにつながると考える。

これらの教訓は、第1章 1.3.1 節（航空機整備業務における既往の研究）で述べた、J.C. Taylor²⁵⁾、G.J. Fogarty²⁶⁾、K. A. Petterson²⁷⁾らが、アンケート調査、非参与観察から見出した、マネジメントの姿勢、職場の規範といった組織にかかわる要因が安全に寄与するという報告を支持する内容であると考ええる。

第7章 結論

本章では第6章までに述べてきた、航空機整備分野における大量の人的過誤事例情報の活用法に関する研究の結論を記述する。

7.1節では、本研究の成果として2章から6章までの研究結果を振り返る。そして、7.2節で今後の展望について述べる。

7.1 本研究の成果

本研究は、航空機の整備業務において現場の最前線の者から日常的に報告される人的過誤事例が個々の単位では分析されても、蓄積され続ける事例の統計的分析が既往の研究では少ない現状を踏まえ、大量の事例全体を統計的にとらえて人的過誤発生に係る要因を明らかにし、それら要因間の構造などから人的過誤、ひいては事故に至るシナリオを見出し、実践的な防止法を導くことのできる分析手法の提案を行うことを本研究の目的とした。

以下に記述するとおり、第2章から第4章までは、人間の背後に潜む人的過誤発生に係る要因を統計的に分析する手法を提案した。第5章では人間自身が過誤発生の原因であるとの視点での分析を行い、人的過誤に陥りやすい状況を発見する可能性を有する手法を提案した。そして、最後に第6章で総括的な考察を行った。

第2章では、ベイジアンネットワークを用いて、要因間の構造をモデル化した。これにより大量の人的過誤事例の要因の構造の全体感を直感的に把握することができ、人的過誤に至るシナリオを推察した。また、人的過誤発生に係る危険要因が定量的に探求でき、マネジメント上の問題とマニュアル・作業指示書等が危険要因であることを推定した。

一方で、マニュアル・作業指示書等が何故危険要因となっているのか等の具体性を見出すには至らなかった。

第3章では、第2章で危険要因としたマネジメント上の問題が人的過誤発生に及ぼす影響についてついでに深堀りを行った。深堀りに際して、第2章の要因間の構造が静的な状態を表していたので、動的な関係を分析するため時系列分析の手法を用いた。

結果、マネジメント上の問題が、時間的遅れを伴いながら間接的に人的過誤に影響を及ぼす状態が示唆された。

第4章では、第3章の時系列分析からマネジメント上の問題が間接的に影響を及ぼす時期も推定したので、その時期に起きている人的過誤の事象を把握する分析を行った。分析手法はテキストマイニングを利用した。大量の人的過誤事例であるが故に、報告される文字情報は大量である。この大量の文字情報には、マネジメント上の問題が間接的な背後要

因として人的過誤に影響を及ぼす時期において、高い頻度で使用される単語が含まれており、この単語を抽出することで人的過誤の発生事象の内容を推察することができた。

抽出した単語から、マネジメント上の問題が間接的な背後要因として人的過誤に影響を及ぼす時期では、MEL 適用作業や、時に煩雑な確認を有する部品番号の確認に係る人的過誤事象が示唆された。これらは職場内での連携が求められる作業と推察し、「マネジメント上の問題は間接的な背後要因として時間遅れを伴い職場内の連携を劣化させる。職場内の連携の劣化は人的過誤の背後要因となり人的過誤を誘発する可能性がある。」との仮説を得た。また、「マネジメント上の問題の影響が減少に転じれば、職場内の連携は時間遅れを伴って回復していき、作業員自身にも人的過誤の再発防止に係る提案の積極的な発信が起き、人的過誤の抑制を推進させる。」という仮説も得られた。

第5章では、第2章から第4章までが人間の背後に潜む要因に関する分析手法の提案を行ったのに対し、人間自身に潜む要因に関する分析手法を提案した。分析手法は、年齢、勤務日、作業経験といった多次元情報を自己組織化マップで出力し、人的過誤に陥る可能性がある状況を見出す手法である。この手法の活用により、個人および組織の気づきの能力向上につながる可能性を持つ手法として提案した。

第6章では、第2章から第5章までの研究を総括的に考察した。

先ず、ASRS のような人的要因と背後要因の知識と実務に精通した専門家による要因分析が、大量の人的過誤事例の統計的な分析に質すること、また、ASRS の分析を通じて自発報告制度では、結果のみでなく背後要因を考えさせる内容が、分析者だけでなく読み手の気づきの能力を向上させる可能性を考察した。

また、第2章で得た人的過誤の要因間の構造の変化について第3章と第4章の内容を含めた総括的な考察を行った。第2章での要因間の構造化が、第3章で推定したマネジメント上の問題が間接的に人的過誤に影響を及ぼす時期を含む期間であることから、マネジメント上の問題が間接的に人的過誤に影響を及ぼしていないと推定される期間での人的過誤の要因間の構造との対比を行った。その結果、要因間の構造は変化し、第4章で得られた仮説を裏付ける知見が示唆された。

続いて、分析手法についての考察を行った。分析の視点としてはシステムの上流に潜む要因を追求するシステムアプローチに基づく分析と活動を基盤としたうえで、人間を潜在的な危険性として捉えるパーソンアプローチによる分析が有効に活用できることを考察した。そして本研究で提案した手法は目標として持った新規性に対応できたが、要因間の構造化モデルのシステムダイナミックス等を用いた動的検証、自己組織化マップの実運用面で今後の課題があることを述べた。

最後に、示唆された教訓を改めて整理した。

7.2 今後の展望

7.2.1 社内での分析手法の共有

筆者がこの節を執筆しているのは2021年1月で、COVID-19の影響により航空業界全体で巨額の損失が計上している時期である。筆者は、これまで39年間にわたり本邦航空会社で勤務してきたが、航空業界が現在直面している状況は、筆者が知る限り最も困難で厳しいものである。COVID-19以前の状況まで回復するには2024年までかかると予想されているが、最も暗い時代だからこそ、いつかは回復する 때가来ること、そして今、安全重視、社内の強い信頼関係、一人ひとりの創造力等、正しく対応する姿勢こそが回復期には最もメリットを享受し易いことであると考えます。

K. E. Weick⁷⁹⁾ は、つねに過酷な条件下で活動しながらも事故発生件数を標準以下に押さえ込んでいる組織を高信頼性組織^{79),80)} と称し、その組織が有する特徴的なプロセスとして、「失敗から学ぶ」、「単純化を許さない」、「オペレーションを重視する」をあげている。これらは不測の事態を予測し認識するプロセスの特徴で、「失敗から学ぶ」は些細な出来事から学ぶ姿勢で、「単純化を許さない」は物事を単純化してみると盲点が出やすいため、状況の意味合いに注意を払うことで考え方が多様化し、危険の芽に気づこうとする姿勢である。そして、「オペレーションを重視する」とは、経営や組織では「現場の最前線で何が起きているかに敏感になり、変化する現場の情報を把握し、オペレーションに携わる最前線の現場の「全体像」を描く」こと、そしてオペレーションに携わる最前線の現場そのものは「現場の最前線で起きていることに敏感で、問題の芽を早期に摘み取る」ことが特徴と論じている。

人的過誤事例一つひとつが、「失敗から学ぶ」貴重な材料である。そして、統計的な分析は、事例件数の推移や要因の分類とその割合という表層的な内容から、要因間の構造化、危険要因の推定、人的過誤に陥りやすい状況を見出す可能性等、人的過誤発生状況の全体像を可視化する可能性を有している。組織・職場・個人が、要因間の構造化や人的過誤に陥りやすい可能性がある状態等の全体像を共有し、成功のために工夫したこと等を意識し、行動し、議論を重ねることで、「オペレーションを重視する」、「単純化を許さない」というプロセスの体現化につながることを期待される。

まずは、このプロセスの体現化を追求するために、本研究の分析手法を社内でも共有していく。

7.2.2 社外から学ぶ

R. Westrum⁸¹⁾ は、組織文化を、病原体的組織、官僚的組織、創造的組織の3つの型に分類し、各組織が情報を活用する特徴を論じている。そのなかで、創造的組織は、より良い成果を得られるために、情報の提供に協力的で、情報を積極的に活用し、得られた知見やリスクを共有する。そして情報の分析等には新規性を積極的に受け入れようとする論じている。

非線形システムに対応できる手法は、本研究で示した以外にも機会学習をはじめ多く存在する。また、原子力発電や化学プラント等の保守業務のように、航空機整備業務より複雑で大規模な業界は数多ある。複雑で大規模なシステムでは、高信頼性組織や創造的組織として安全の追求の研究が日進月歩で進化していると考えられる。本研究は航空機整備業務に係る領域のみであるため、他業界等で行われている人的過誤を抑制する様々な取り組みから学ぶ機会を得て、人的過誤を抑制する研究をさらに深めていくことを今後の展望とする。

謝辞

本論文を提出するにあたってお世話になった方々に、この場を借りて厚くお礼申し上げます。

本論文は筆者が慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科前期博士課程に在籍した2013年4月から2015年3月、引き続き慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科後期博士課程2015年9月から2021年3月の7年半の研究に基づいて執筆したものです。本当に長きにわたり多くの方々から多大なるご支援をいただきました皆様に改めて、深く感謝申し上げます。

主査であり指導教授のシステムデザイン・マネジメント研究科 高野研一教授には、前期博士課程における研究の入門的な指導から7年半にわたりご指導をいただきました。研究の進め方に行き詰まる都度、その研究で何が分かるのか、何に役立つのか等、研究に対する姿勢から、ニューラルネットワーク、ベイジアンネットワーク手法の紹介までご指導を賜りました。長きにわたり研究の達成へと導いていただいたことに深く感謝申し上げます。

副査をご担当いただきましたシステムデザイン・マネジメント研究科 中野冠教授には、構築したモデルの妥当性検証について2度にわたりご指導をいただきました。一度目は、筆者の修士論文にてニューラルネットワークの汎化能力について、そして2度目は本論文の要因間の構造化についての妥当性検証についてご指導をいただきました。妥当性検証が重要な意味を持つことの実現を体現することができました。ご指導いただきましたことに深く感謝いたします。

同じく副査をご担当いただきました慶應義塾大学理工学部管理工学科 岡田有策教授には、人的過誤の研究の立ち位置をはじめ、管理工学の視点からの数々の貴重なご指導をいただきました。また、学術論文のロバスト性についても真摯なご意見をいただきました。ご指導いただきましたことに深く感謝いたします。

第5章では、航空機整備の職場での人的過誤事例の使用を認めていただいた関係者の方々に深く感謝いたします。また、時に触れ、筆者の研究の進捗にも関心をもっていた会社の上司の方々に深く感謝いたします。

また、7年半の間には、前期博士課程・後期博士課程を通じて多くのことを学びなおしました。システムデザイン・マネジメント研究科の全ての教員の皆様、共に学んだ修士課程の皆様、博士課程の皆様に、深く感謝いたします。特に私よりも年上で博士学

位を取得された宇野研一氏からは多大な刺激と勇気をいただきました。重ねてですが、深く感謝いたします。

最後に、いつも明るく、いつもそばで、応援してくれた妻のゆみをはじめ、家族には心より感謝しています。皆々様のご指導・ご鞭撻のおかげをもちまして本論文を仕上げることができました。

研究業績

1. 定期刊行誌掲載論文（主論文に関する原著論文）

- ② 小嶋二郎・高野研一「ベイジアンネットワークを用いた人的過誤要因の構造化について -米国航空業界の自発報告制度を利用した航空機整備作業に係る人的過誤要因の構造化について-」 日本人間工学会誌 2018年2月15日 Vol. 54 No. 1, p24-32 掲載
- ③ 小嶋二郎・高野研一「会社方針が人的過誤発生に与える影響とその動的変化」安全工学会誌 2020年10月15日 Vol. 59 No. 5, p286-295 掲載
- ④ 小嶋二郎・高野研一「人的過誤事例の新たな学習モデルの提案 -自己組織化マップを用いた航空機整備への適用-」 日本人間工学会誌 2017年6月15日 Vol. 53, No. 3, p85-92 掲載

2. 国内学会発表

- ① 小嶋二郎、高野研一「会社方針が人的過誤発生に与える影響とその動的変化（米国航空業界自発報告制度からの考察）」第53回安全工学研究発表会、2020年12月3日

3. その他の講演

- ① 「新しいヒヤリハット事例活用の方法論」一般社団法人主催 日本能率協会主催第41回 2019 産業安全対策シンポジウム

参考文献

1. IATA's Annual Review, Retrieved from <https://www.iata.org/en/publications/annual-review/>
2. ICAO Safety Management Manual 3rd Edition
3. 国際連携による安全情報の収集・分析ならびに共有に係る調査・研究報告書、公益財団法人 航空輸送技術研究センター、2015
4. ASRS: The Case for Confidential Incident Reporting System, NASA ASRS (Pub60), 2001
5. 航空安全情報自発報告制度 VOICES ホームページ, Retrieved from <http://jihatsu.jp/>
6. Statical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide operations 1996-2005, Boeing Company, 2006
7. Plane Crash Information, Retrieved from <http://www.planecrashinfo.com/>
8. Marais K.B., Robichaud M.R.: Analysis of trends in aviation maintenance risk: An empirical approach, Reliability Engineering and System Safety 106, p104-118, 2012
9. F. H, Hawkins、黒田勲監修・石川好美監訳：ヒューマンファクター - 航空分野を中心として - , 成山堂書店, 1992
10. 岡田有策：ヒューマンファクターズ概論 人間と機械の調和を目指して p164-165, 慶応義塾大学出版会, 2005
11. Leplat J & Rasmussen J: Analysis of Human errors in industrial incidents and accidents for improvement of Work Safety. Accid Anal Prev., 16(2), p77-88, 1984
12. Wiegmann D. & Shappell S: Human Error Analysis of commercial Aviation Accidents; Application of the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS), Proceedings of the Eleventh Sympoium for Aviation Psychology, Ohio State University, 2001
13. Hollnagel E 著、小松原明哲監訳：社会技術システムの安全分析 FRAM ガイドブック、海文堂出版、2013
14. J-HPES 実施手順書、(財)電力中央研究所 ヒューマンファクター研究センター, 1990
15. Lijie C, BO R, et al: Research on the Aviation Accident Importance Analysis Based on the Boe-tie model, Equipment Management and Safety Engineering College, Air Force University
16. Reason J 著、塩見弘監訳：組織事故、p276-314、日化技連、1999
17. 宇野研一、高野研一：安全文化から見た最近の科学産業事故の原因. 安全工学, Vol.53 No.2、2014
18. 高野研一：よくわかる「安全文化」、労働安全衛生広報 No.234, 2008
19. Hobbs A, Williamson A: Associations between Errors and Contributing Factors in Aviation Maintenance, HUMAN FACTORS, Vol.45 No.2, 2003
20. Reason J 著、林義男監訳：ヒューマンエラー -認知科学的アプローチ, p23-35, 海文堂出版、2005

21. 宮城雅子：大事故の予兆を探る, p265-297, 講談社, 1998
22. McDonald N, Corrigan S, et al: Safety management systems and safety culture in aircraft maintenance organization, *Safety Science* 34, p151-176, 2000。
23. Virovac D, Domittrovic A, et al: The Influence of Human Factor In Aircraft Maintenance, *Traffic & Transportation*, Vol.29, No.3, p257-166, 2017
24. Chang YH, Wang YC: Significant human risk factors in aircraft maintenance technicians, *Safety Science* 48, p54-62, 2009
25. Taylor J.C, Thomas III R.L: Toward Measuring Safety Culture in Aviation Maintenance: The Structure of Trust and Professionalism, *The International Journal of Aviation Psychology*, 13(4), p321-343, 2003
26. Fogarty G.J, Shaw A: Safety climate and the Theory of planned Behavior: Towards the prediction of unsafe behavior, *Accid. Anal.* 42, p1455-1459, 2009
27. Petterson K.A., Aase K: Explaining safe work practices in aviation line maintenance, *Safety Science*, 46, p510-519, 2008
28. McElhatton j, Drew C.R: Time Pressure as a Causal Factor in Aviation Safety Incidents: The Hurry-Up Syndrome, 7th International Symposium on Aviation Psychology, 1993
29. Monan W.P: Human Factors In Aviation Operations: The Hearback Problem, NASA CONTRACTOR REPORT 177398, 1986
30. 日本 航空アドバイザーグループ: 高い安全水準をもった企業としての再生に向けた提言書 ～安全を確保する企業風土の創造～, 2005
31. 畑中洋太郎、中尾正之、他：失敗知識データベース構築の試み、*IPJS Magazine Vol.44 No.7*, 2003
32. 和田有司：産業保安と事件事例データベースの活用 -リレーショナル化学災害データベース (RICCAD)と自己分析手法 PFA-, *Synthesiology Vol6 No.4* p219-227, 2013
33. 中野義之、西尾芳男：PFC-SAFER ヒヤリハット事例データベースの概要、*安全工学 Vol.46 No.5* 2007
34. 石田基広、金明哲：コーパスとテキストマイニング、共立出版、2012
35. 松村真宏、三浦麻子：人文・社会科学のためのテキストマイニング、p28-29, 誠信書房、2014
36. 伊藤公一、堀口由紀男、他：失敗事例へのテキストマイニング手法に基づく過誤の潜在的構造分析、23rd Fuzzy System Symposium, 2007
37. 栗納裕貴、馬強、他：失敗知識データベースを用いた失敗事象の原因分析、*DEIM Forum* 2012
38. 箕輪弘嗣、宗澤良臣、他：単語の共起や頻度に注目した注意要因及び類似事例の抽出、*安全工学 Vol.51 No.5*, 2012

39. 牧野良次、熊崎美恵子、他：事故データに基づくヒューマンエラー発生状況の調査、安全工学 Vol.51 No.2, 2012
40. 箕輪弘嗣、宗澤良臣：事象の主体と振舞に注目した進展事象の統合解析法、安全工学 Vol.53 No.5, 2014
41. 岡部貴博、吉川大弘、他：メタデータと語句の共起情報を利用したインシデントレポート解析システムの提案、知識と情報 Vol.18 No.5 p689-700, 2006
42. 竹田百合恵、長尾能雅、他：TRENDREADER(TR)を用いた京都大学附属病院インシデントレポート解析方法の開発、地域安全学会論文集 No.13, 2010
43. 天野寛、酒井俊彰、他：医療事故防止におけるヒューマンファクターによるインシデントと個人特性の関係分析、パーソナリティ研究、第16巻、第1号、p92-99, 2007
44. Holnagel E, Woods D,D, et al 編著、北村正晴監訳：レジリエンスエンジニアリング 概念と指針 p79-80, 日科技連、2012
45. 金明哲：Rによるデータサイエンス、森北出版、2014（第8刷）
46. 航空事故調査報告書 AA2008-5, 2008
47. 事故調査報告書 KNKT.14.12.29.04, 2015
48. 木村 陽一、他：ベイジアンネットワーク技術 - ユーザ・顧客のモデル化と不確実性理論、p9-27、東京電機大学出版局、東京、2006
49. Reason J: Human error: models and management, BMJ 2000;320, p768-770, 2006
50. 小嶋二郎、高野研一：人的過誤事例の新たな学習モデルの提案 -自己組織化マップを用いた航空機整備への適用-, 人間工学, Vol.53, No.3, p85-92, 2016
51. Kohonen T (著)、徳高平蔵、大藪茂、他（監修）：自己組織化マップ改訂版,p85-182、シュプリンガーフェアラーク東京, 2005
52. Bosch OJH, Nguen NC, et al: Managing Complex Issues through Evolutionary Learning Laboratories, Systems Research and Behavior Science Syst.,2013
53. Nagarajan R, Scutari M et al.: Bayesian Networks in R with Application in System Biology, p4-58, Springer, New York, 2013
54. Scutari M, Denis JB: Bayesian Networks With Examples in R, p1-35, CPC Press, Boca Raton, 2015
55. Scutari M: Learning Bayesian Networks with the bnlearn R Package, Journal of Statistical Software, .35(3), p1-22, 2010
56. Endsley M.A.: Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems, HUMAN FACTORS 37(1), p32-64, 1995
57. Hobbs A: An Overview of Human Factors in Aviation Maintenance, Australian Transport Safety Bureau, 2008

58. Rasumussen J: Risk Management in a Dynamic Society: Modelling Problem, Safety Science, Vol.27 No.2/3 p183-213, 1997
59. Cowpertwait PSP, Metcalfe AV: Introductory Time Series with R, Springer Science + Business Media, doi:10.1007/978-0-387-88698-5, 2009
60. Pfaff B: Analysis of Integrated and Cointegrated Time Series with R, Springer, 2009
61. Tsay RS: Multivariate Time Series Analysis with R and Financial Applications, John Wiley & Sons, Inc., 2014
62. 沖本竜義：経済・ファイナンスデータの計量時系列分析, p74-p123, (株朝倉書店, 東京, 2010
63. Pathak MA: Beginning Data Science with R, p137-157, Springer, doi:10.1007/978-3-319-12066-9, 2014
64. 石田基広：改訂3版 R 言語逆引きハンドブック, p456-457, C&R 研究所, 2016
65. Knezevic J: Improving quality of maintenance through Simplified Technical English, Journal of Quality in Maintenance Engineering Vol.21 No.3 p250-257, 2015
66. Harvey G, P. Turnbull: The impact of the financial crisis on labour in the civil aviation industry, 2009
67. 日本経済新聞 2020年11月20日朝刊3 「2度墜落教訓残す」
68. 豊田秀樹：データマイニング入門 (R で学ぶ最新データ解析) . 国武豊彦監修, 東京図書 (株) , 2008
69. 徳高平蔵 他 編：自己組織化マップとその応用, シュプリンガー・ジャパン(株). 2007
70. 山口和範 他 著：図解入門 よくわかる多変量解析の基本と仕組み, (株)秀和システム, 2004
71. Hollnagel E: Safety- I and Safety- II The Past and Future of Safety Management, p145-p164 ASHGATE, 2014
72. Weick K E.: Organizational Culture as a Source of High Reliability, CALIFORNIA MANAGEMENT REVIEW, Vol. XXIX, NO.2 p112-127, 1987
73. Federal Aviation Administration Data & Research, Retrieved from [U.S. Civil Airmen Statistics \(faa.gov\)](https://www.faa.gov)
74. Woods D.D: Nine Steps to Move Forward from Error, Cognition, Technology & Work, Vol.4, p137-144, 2002
75. 小堀 寿亮: 整備作業におけるヒューマンエラーの防止対策、安全工学会、Vol. 48 No.1、p29-35、2009
76. Sasou A, Reason J: Team errors: definition and taxonomy, Reliability Engineering and System Safety, 65, p1-9, 1999

77. CALLBACK from NASA's Aviation Safety Reporting System "No Place for Complacency", Issue 446, 2017
78. 中野 冠、湊 宜明：経営工学のためのシステムズアプローチ - ビジネスを体系化する考え方・技法、p79-80、講談社、2014
79. Weick E.K.：不確実性のマネジメント-危機を事前に事前に防ぐマインドとシステムを構築する、ダイヤモンド社、2002
80. 中西 昌：高信頼性組織の条件 不測の事態を招くマネジメント、p29-79, 生産性出版, 2007
81. Westrum R: A typology of organisation culture, Qual Saf Health Care p13 22-27, 2004

付録1 背後要因「Company Policy」を主要因とする内容の種類と該当する ASRS 番号

分類した種別の名称	概要と ASRS 番号
マネジメントの姿勢	<p>【概要】 管理監督者が手順や規則の遵守よりも定時性を優先し、作業者に心理的圧力をかける姿勢</p> <p>【ASRS 番号】 850064、850261、853165、879732、889938、914242、942925、962162、989409、993708、1004031、1014165、1016943、1034159、1053644、1079698、1258369、1311735、1326169</p>
不具合処置方針	<p>【概要】 マニュアル等に定められた不具合処置基準や不具合の持越し判断に係る不具合等</p> <p>【ASRS 番号】 843264、871429、871798、872380、881756、885038、888990、891984、898506、933118、933819、948697、955254、980587、1062796、1068348、1073340、1122132</p>
作業実施管理	<p>【概要】 作業者に過度な負荷を与える作業の実施計画</p> <p>【ASRS 番号】 844488、865621、879875、883936、886885、928726、941448、941679、951142、979963、1010625、1053059、1072746、1180727</p>
整備管理業務	<p>【概要】 機体整備作業委託先の作業に係る人的過誤事例等</p> <p>【ASRS 番号】 838110、840033、864863、867740、895990、928736、929334、929693、942670、953407、955823、958124</p>
	<p>【概要】 部品修理作業委託先の作業に係る人的過誤事例等</p> <p>【ASRS 番号】 854311、860110、862785、881695、905841、912367、935037、936143</p>

	<p>【概要】 作業指示書等の内容に係わる不具合や疑義</p> <p>【ASRS 番号】 863903、880632、924556、956306、1012753、1079737、1203774</p>
	<p>【概要】 検査制度の運用に係る不具合や疑義</p> <p>【ASRS 番号】 872460、879466、883225、887546、923226、1049200、</p>
	<p>【概要】 機内清掃業務等委託管理の運用に係る不具合や疑義</p> <p>【ASRS 番号】 866223、887417、930567、946630、950115、1310361</p>
	<p>【概要】 部品・資材管理の運用に係る不具合や疑義</p> <p>【ASRS 番号】 891983、899080、912520、934664、939442</p>
	<p>【概要】 作業の安全管理の運用に係る不具合や疑義</p> <p>【ASRS 番号】 854232、944332、945938、1301789</p>
	<p>【概要】 マニュアルの閲覧等に係る不具合や疑義</p> <p>【ASRS 番号】 867743、875824、875895、1157180</p>
	<p>【概要】 技術指示の運用に係る不具合や疑義</p> <p>【ASRS 番号】 890208、909773、938960</p>

	<p>【概要】 設備管理の運用に係る不具合や疑義</p> <p>【ASRS 番号】 905840、960706、1235587</p>
	<p>【概要】 訓練の運用に係る不具合や疑義</p> <p>【ASRS 番号】 863220、902137、1255553</p>
	<p>【概要】 整備記録管理の運用に係る不具合や疑義</p> <p>【ASRS 番号】 1142275</p>
環境	<p>【概要】 天候以外の環境に係る不具合や疑義</p> <p>【ASRS 番号】 936002、952200、1265846</p>
不明	<p>【概要】 報告内容から読み取れなかった事例</p> <p>【ASRS 番号】 840341、850877、854946、872474、898240、905263、907676、934659、 962056、982483、1066342、1075498、1142276</p>