

原子力発電所の安全風土が事故件数に与える影響： 一般化線形混合モデルによる検討

The Effect of Safety Climate on the Number of Accidents at Nuclear Power Plants:
Analysis with Generalized Linear Mixed Model

寺口 司 (Tsukasa Teraguchi)*¹

要約 本研究では原子力発電所における安全風土によって将来の事故件数が減少するのかを検討することを目的とした。これまでの研究においても、原子力発電所内の安全風土の高まりによって発電所内の安全性が高まる可能性は示唆されてきた。しかし先行研究の多くはデータの分布の形状や階層性を考慮してこなかった。そこで本研究では日本国内の電力会社 9 社が有する原子力発電所計 15 事業所に従事する従業員約 7500 人を対象とし、2012 年度から 2021 年度までの安全風土調査に関する回答データと各発電所における事故件数との関連を一般化線形混合モデル (GLMM) により検討した。その結果、各発電所のある年度の各安全風土の要因をそれぞれ説明変数とし、その 1~3 年後の事故件数を目的変数としたところ、「安全の職場内啓発」、「精神衛生」が高いほど有意に事故件数が少ないことが示された。以上より、より妥当性の高い分析を持って、原子力発電所内の安全風土によって将来の事故件数が変わる可能性が示唆された。

キーワード 安全風土, 安全文化, 一般化線形混合モデル

Abstract The purpose of this study was to examine whether establishing a good safety climate in nuclear power plants would reduce the number of future accidents. Previous studies have suggested that the safety climate in nuclear power plants may increase the overall safety of nuclear power plants. However, most of the previous studies did not consider the shape and hierarchy of the data distribution. In this study, a Generalized Linear Mixed Model (GLMM) was used to examine the relationship between the number of accidents at each nuclear power plant and the safety climate survey results obtained in FY 2012 to FY 2021 that targeted approximately 7,500 employees at 15 nuclear power plants owned by nine electric power companies in Japan. The relationship showed that the higher the level of “safety education in the workplace” and the higher the level of “mental health”, the fewer the number of accidents. The findings suggested that with a more valid analysis the number of accidents in the future would change depending on the safety climate in the nuclear power plants.

Keywords safety climate, safety culture, Generalized Linear Mixed Model

1. はじめに

2011 年の福島第一原子力発電所の事故以来、日本国内の多くの原子力発電所が運転停止していたものの、各所で再稼働に向けた手続きが進んでいる。2022 年 5 月時点において、全国 60 基の原子炉のうち 24 基が廃炉となった一方で、新規規制基準の中で 10 基がすでに再稼働しており、10 基が審査中、7 基が設置変更許可済みである（資源エネルギー庁、2022）。着実に再稼働が進む現代の原子力発電事業においては、安全

性の確保は喫緊の課題となっている。

安全性向上のためには様々な検討が行われており、中でも組織心理学分野においては安全風土 (safety climate) や安全文化 (safety culture) から検討されている。しかし、原子力産業での安全風土の重要性は認識されながらも、それらが実際の事故に及ぼす影響についての実証的検討はいまだ十分であるとは言いがたい。そこで本稿では原子力発電所内の従業員の安全風土により、将来的な事故件数が実際に減少するのかを検討し、安全風土の重要性について議論する。

*1 (株)原子力安全システム研究所 社会システム研究所

2. 問題

2.1 安全風土と安全性

原子力産業における職場の安全風土は安全性維持の上で重要な要因である。安全風土とは組織成員を安全の配慮や安全行動に導く組織環境であり、従業員間で共有するその知覚を集約し測定可能にした特性を指す (e. g., 福井, 2012; Zohar, 1980) 。Zohar (1980) の安全に関する組織風土研究を皮切りに、各分野において尺度の開発 (e. g., Williamson, Feyer, Cairns, & Biancotti, 1997; Zohar, 2000) や介入研究 (e. g., Lee, Huang, Cheung, & Chen, 2019; Zohar, 2002), 安全行動との関係の検討 (e. g., Neal, Griffin, & Hart, 2000) など、安全風土に関する多くの研究が行われてきた。安全風土の重要性はこれまで指摘されてきており、良好な安全風土が職場の安全性の上で重要であることはある程度のコンセンサスが得られているという主張もある (Mearns, Whitaker, & Flin, 2003) 。

なお、安全風土と同様の概念で安全文化がある。これは国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency; IAEA) が提唱した概念 (INSAG, 1991) で、「原子力の安全の問題には、その重要性にふさわしい注意が最優先で払われなければならない。安全文化とは、そうした組織や個人の特性と姿勢の総体である。」としており、安全文化が顕在化したものが安全風土であるとされる (西田, 2017) 。本稿で紹介する先行研究には安全風土もしくは安全文化を検討した研究が混在しているが、本稿内では同等のものとして扱う。

さて、このように安全風土については多くの検討がなされているものの、原子力産業における安全風土によって実際にどの程度、原子力発電所が「安全」になるかを実証的に検証した研究は必ずしも多くはない。例えば Lee (1998) ではイギリスのある原子力関係事業に従事する従業員に過去の事故・怪我の件数と 19 要因で構成された安全風土について尋ね、事故・怪我の経験がある従業員はそうでない従業員に比べて安全風土をより低く回答していることを示している。また Morrow, Koves, & Barnes (2014) は米国内の 97%にあたる原子力発電所を対象に質問紙調査を実施し、安全文化と 1 年後の事故発生数との相関を検証した。その結果、相関分析、重回帰分析

により安全文化が高い原子力発電所ほど、事故発生数が低いことが示された。日本国内においても、福井 (2012) ではある電力会社が有する複数の原子力発電所における安全風土の回答と事故発生数との関係を相関分析、回帰分析で検討しており、安全風土得点が高い発電所ほど事故件数が少ないことを示している。そのほか、安全風土の醸成と仕事の満足度 (藤田, 2018) や安全確認行動 (福井・吉田・山浦, 2000) などの主観的指標との関連などが検討されている。

これらに関連して Clarke (2006) では、安全風土と安全指標との関連に関する 32 の研究についてメタ分析を行っている。メタ分析とは主に心理学分野などで使用されている手法で、既存の複数の研究の統計量を収集・統合し解析することにより研究間で一般化可能な知見を得ることができる。このメタ分析で用いられた 32 の研究の中には原子力関連事業のみならず工業や軍隊など各種職業を対象とした研究が含まれており、研究手法についても過去の事故・怪我を振り返ってもらう方法から、数か月にわたって追跡調査を行い事故・怪我の件数を測定する方法まで様々であった。これらを用いて Clarke (2006) では安全風土の高低が、個人・職場での事故・怪我の発生頻度、安全行動の遵守、安全向上の推進にどのように係わるのか検討している。その結果、安全風土と実際の事故・怪我との関連は強くはないものの、将来の予測 (i. e., ある時点での安全風土得点によってその時点以降の事故・怪我の件数を予測する) においては安全風土得点が高いほど、事故・怪我がより少ないことが示された。

しかし、Clarke (2006) では将来の予測を行う研究は 32 研究中 6 研究しか扱っておらず、安全風土によって将来の安全性が変わると主張するにはより多くの研究が必要であると言えるだろう。そこで本研究では 2012 年度から 2021 年度まで各発電所において継続して測定されてきた安全風土得点と、日本国内の各原子力発電所における各年度の事故件数が関連するのかを検討した。

2.2 分析上の問題と解決

本研究で安全の指標とする事故件数を取り扱う上で注意しなければならない点が 2 つある。1 つは客観指標の多くは正規分布に従わないという点である。特に

今回扱う各原子力発電所の年間での事故件数は必ず0以上になる整数であり、また頻繁に発生するものでもないために0付近にデータの分布が集中する偏った分布となる。重回帰分析やt検定、Pearsonの相関係数など一般によく用いられる統計分析の多くは従属変数が正規分布であることを仮定しており、正規分布でないデータに対して使用すると線形関係を過剰もしくは過少に評価してしまい、結果の歪みが発生しうる。そのため、従属変数に正規分布以外を仮定した分析を用いる必要がある。先行研究の多くは事故件数等の客観指標に対して正規分布を仮定した分析を用いているため (e.g., 福井, 2012; Morrow et al, 2014), 正確な分析となっていない可能性があり、再検討が必要であると言える。

もう1点は年度を超えて同じ発電所等で繰り返し計測されたデータであるという点である。本研究では各年度の安全風土によって各発電所における事故件数を予測することを目的とした。しかし、この事故件数には各年度の安全風土のみならず個体差、つまり各発電所の特徴が影響しうる。例えば2022年5月時点において日本国内の原子炉全60基のうち、24基は廃炉となっており、稼働しているのは10基のみである (資源エネルギー庁, 2022)。原子炉の稼働率の高低によって事故の発生件数が異なることは自明であろう。また、発電所に原子炉が何基存在するのか、原子炉の種類は何か、何年稼働しているものであるのかなどでも事故件数が異なる可能性は推測される。こういった各発電所の特徴は年度間で共通し、事故が発生しやすい発電所ではそうでない発電所に比べて、安全風土の高低に関わらず一貫して事故件数が増えることが予測される。

このように複数のデータ (i.e., 各年度の事故件数) が1つのグループ変数 (i.e., 各発電所) によってまとめられ、グループ変数内で相互に似通ったデータになるという特徴を持つ階層性のあるデータを分析する際にはサンプルの独立性の問題、個人とグループの分散の違いの問題などからグループ変数を考慮するマルチレベルアプローチを用いる必要がある (清水, 2014)。階層性のあるデータに対して従来の回帰分析等を用いた場合、説明変数と目的変数との関係性を過剰に評価し、またグループレベルでの違いによって結果の解釈が困難になる危険性がある。特に本研究では事故件数のみならず、安全風土についても事業所レベルでの階層性が指摘されている (藤田, 2018) ため、

階層性を考慮した分析は必要と言えるだろう。

以上の点から、本研究では分析に一般化線形混合モデル (Generalized Linear Mixed Model; 以下、「GLMM」) を用いた。GLMMはマルチレベルアプローチの一種で、データが入れ子構造になっている際に使用できる (e.g., 同じ参加者が繰り返し調査に参加する、複数の会社の社員が調査に参加する)。GLMMは回帰分析を行う際に、グループごとに回帰直線の傾斜や切片が変わる可能性を考慮に入れることが可能である。例えば本研究で扱う事故件数であれば、本来安全風土が高まれば事故件数が減るという関係性になっていたとしても、各発電所の元々の事故件数の差異によって、全発電所を対象に分析した際に安全風土の変化ではなく発電所の違いによって回帰される危険性がある。GLMMではこの発電所間でのそもそもの事故の起きやすさの影響を調整することが可能である。

加えてGLMMでは正規分布以外の従属変数を扱うことが可能である。例えばMcGonagle, Walsh, Kath, & Morrow (2014) では食料雑貨店従業員の安全風土と怪我の件数との関係を検討するうえで、GLMMと同じく正規分布以外の従属変数を扱うことが可能である一般化線形モデル (Generalized Linear Model) を用いた分析を行っている。この分析では、1店舗内かつ部署間の違いを考慮しない分析ではあるものの、安全と仕事の優先度が競合する状態 (work - safety tension) が怪我の件数を増加させることを示した。本研究で扱う事故件数に対しても有効な分析手法となり得るだろう。

以上より、本研究では福井 (2012) をベースに、安全風土得点が事故件数にどのように影響するのかをGLMMで検討することを目的とした。

3. 方法

3.1 調査概要・対象

本研究では日本国内の原子力関連事業に従事する従業員の意識調査データを使用した。この調査は2003年度から3年ごとに継続的に実施されている調査であり、例えば2021年度の調査では日本国内の原子力関連事業に従事する従業員約25,000人を対象に、自身の職場の安全風土について計80項目の設問で回答を求めている。調査回答者は事業所間で差異はあるものの、原則として課長職相当以下は従業員全員が回答対象

となっており、有効回答率は総計で9割を超えている。

本研究では以上の調査データのうち、2012年度、2015年度、2018年度、2021年度の電力会社9社が有する原子力発電所15事業所に勤める従業員の回答を使用した。なお、本研究では「設問の半数以上が欠損値となっている」もしくは「回答のすべてに同一得点もしくは同一の選択肢の回答をしている」場合、分析対象からは除外した。分析の対象となった回答者数は2012年度で7288人、2015年度で7823人、2018年度で7753人、2021年度で7528人であった。

なお、本調査の結果は各実施年度において調査対象各社に対して、その事業所の各調査項目の記述統計量や調査対象全体との比較結果をフィードバックしている。

3.2 安全風土得点

本調査では各年度において安全風土に関する様々な設問を尋ねている。設問内容は調査年度によって異なり、約80項目で構成されている。ただし、これらのうち、福井（2012）、河合（2021）で使用している安全風土尺度の「組織の安全姿勢」、「直属上司の姿勢」、「安全の職場内啓発」、「安全配慮行動」、「モラル」、「仲間意識」、「意思疎通」、「精神衛生」の計8要因32項目（Table 1）については各調査を通して継続的に計測されている。これらの設問への回答はすべて1（そう思わない）～5（そう思う）の5件法であった。

本研究では2012年度から2021年度までの各発電所の安全風土の指標として以上の8要因の得点を使用した。得点は回答者ごとにまず各要因4項目での平均値を算出して回答者個人の安全風土得点を算出し、そして発電所単位で個々人の安全風土得点の平均値を算出して各発電所の安全風土得点とした。回答者の各項目に欠損値が含まれる場合はその項目を無視し、残りの項目で平均値を算出している。なお、2015年度、2018年度、2021年度については上記の手法を用いたものの、2012年度のデータについては各発電所への報告書内に記載された合計得点の数値を用いた。そのため、Table 1には2015年度から2021年度までの信頼性係数（Chronbachのアルファ）の最大値・最小値を掲載している。

Table 1 使用した安全風土項目一覧

要因名	項目例	信頼性係数
組織の安全姿勢	安全の取り組みに対する発電所幹部の熱意・意気込みが伝わってくる 安全に対する姿勢や取り組みを発電所の幹部は認めてくれる	.81 ~ .84
直属上司の姿勢	あなたの職場では、直属上司から仕事(業務)の内容について納得のいく説明がなされている あなたの直属上司は、部下の能力や状況を十分把握した上で、業務の責任分担を決めている	.83 ~ .84
安全の職場内啓発	あなたの職場では、安全について難しいことも話し合うという雰囲気がある あなたの職場では、安全確保のための意見やアイデアが活かされている	.86 ~ .86
安全配慮行動	職場の仲間、能率の良い作業方法を思いついた場合でも実行する前に安全性を確認している 職場の仲間は、仕事量の多い時期でも安全性の確保を優先している	.84 ~ .86
モラル	あなたの職場では、組織の常識に捉われず、一般市民の視点も重視して仕事をする人が大切と思っている人が多い あなたの職場では、手間のかかる規則・ルールよりも容易な方法を選択する場面がある(逆転項目)	.58 ~ .62
仲間意識	あなたの職場の仲間はチームワークがとれている あなたは今の職場の仲間の一員でいたい	.85 ~ .90
意思疎通	あなたの直属上司は、その直属上司と連絡をうまくとっている あなたの意見やアイデアが途中で打ち消えてしまったり、上の方まで届いていないと思われるような場面がある(逆転項目)	.69 ~ .75
精神衛生	あなたは今の会社をやめてしまいたいと思うことがある(逆転項目) 一般的に、あなたには直属上司から無理な圧力を感じる場面がある(逆転項目)	.67 ~ .70

3.3 事故件数

各原子力発電所の安全のパフォーマンス指標として原子力安全推進協会の提供するサイト「原子力施設情報公開ライブラリー ニューシア（以下、「ニューシア」；原子力安全推進協会、2010）」の各発電所におけるトラブル情報等件数のデータベースを使用した。ニューシアでは1966年から現在までの、各発電所におけるトラブル情報等の報告を集積している。このトラブル情報等の報告について、ニューシアでは法令に基づき国への報告が必要となる情報である「トラブル情報」、国へ報告する必要のない軽微な事象であるが、保安活動の向上の観点から電力各社で共有化するだけでなく、産官学でも情報共有化することが有益な情報である「保全品質情報」、トラブル情報、保全品質情報以外の情報で、原子力発電所運営の透明性向上の観点から電力会社がプレス発表やホームページへの掲載などにより公表している情報である「その他情報」の3つに分けて情報公開を行っている（原子力安全推進協会、2010）。

本研究ではニューシアと同じく各発電所のトラブ

ル情報、保全品質情報、その他情報の件数を年度ごとにカウントした。なお、対象となったデータは2012年度から2021年度までの件数であった。

4. 結果

分析は主にR 4.1.2を用いて行い、GLMMにはlme4パッケージ (ver. 1.1-29) を使用した。また、マルチレベル相関分析についてのみ、HAD 17.204 (清水, 2016) を用いて分析を行った。

分析の際に全てのデータについて、欠損値を除いて年度ならびに発電所ごとに集約した。つまり、事故件数については各年度の各発電所における総数をそれぞれの事故件数とし、安全風土得点については各年度の各発電所における回答者の平均値を得点とした。

4.1 記述統計量

まず、各年度における安全風土得点と事故件数の平均値と標準偏差を示す (Table 2)。事故件数についてはトラブル情報件数、保全品質情報件数、その他情報件数の順に大きくなり、発電所単位での平均値でいえばトラブル情報件数は年間0.5件未満、その他情報

件数では年間13.33件未満であった。また、安全風土得点については3年ごとのデータのみではあるが、年度間での差異が0.20点未満に納まっている。

続いて安全風土得点の要因間での相関関係について検討を行う。今回のデータは発電所単位のデータであり、同じ発電所に対して繰り返し調査を行っている。そのためこのデータは階層性を持つデータであるといえるだろう。そこで、発電所をグループ変数とするマルチレベル相関分析を行った。その結果、各要因は調査ごとのレベルにおいても発電所レベルにおいても相互に正の相関関係が認められた (Table 3)。調査単位のレベルでは「組織の安全姿勢」と「仲間意識」、「仲間意識」と「精神衛生」との間以外ですべて有意な正の相関関係が認められた ($.326 < rs < .880$, $ps < .05$)。一方、発電所単位のレベルではすべての因子間で強い正の相関関係が有意に認められている ($.644 < rs < 1.040$, $ps < .05$)。

4.2 安全風土が翌年度以降の事故発生件数に与える影響

続いて、安全風土の醸成が事故件数の増減につながるかを検討するため、ある年度の安全風土得点を説明

Table 2 2012年度から2021年度の事故件数および安全風土得点

	2012		2013		2014		2015		2016	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
トラブル情報件数	0.333	0.724	0.333	1.291	0.400	1.549	0.267	0.594	0.200	0.414
保全品質情報件数	4.067	5.298	4.000	6.761	2.867	3.796	3.267	3.535	3.000	2.803
その他情報件数	5.467	8.017	13.333	29.053	8.800	16.288	9.200	15.803	10.067	21.472
組織の安全姿勢	4.114	0.232	-	-	-	-	4.103	0.157	-	-
直属上司の姿勢	3.970	0.188	-	-	-	-	3.952	0.137	-	-
安全の職場内啓発	4.083	0.154	-	-	-	-	4.057	0.111	-	-
安全配慮行動	4.237	0.140	-	-	-	-	4.202	0.103	-	-
モラル	3.846	0.160	-	-	-	-	3.773	0.131	-	-
仲間意識	4.129	0.124	-	-	-	-	4.101	0.111	-	-
意思疎通	3.905	0.204	-	-	-	-	3.839	0.151	-	-
精神衛生	3.336	0.301	-	-	-	-	3.287	0.189	-	-
	2017		2018		2019		2020		2021	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
トラブル情報件数	0.200	0.561	0.267	0.594	0.333	0.724	0.200	0.561	0.200	0.414
保全品質情報件数	2.733	2.314	2.667	3.016	2.867	2.386	2.667	2.320	4.333	3.994
その他情報件数	6.067	9.067	6.133	8.991	6.733	9.706	6.800	8.922	8.200	12.249
組織の安全姿勢	-	-	4.131	0.175	-	-	-	-	4.291	0.207
直属上司の姿勢	-	-	3.964	0.140	-	-	-	-	4.120	0.143
安全の職場内啓発	-	-	4.072	0.124	-	-	-	-	4.185	0.133
安全配慮行動	-	-	4.211	0.119	-	-	-	-	4.228	0.116
モラル	-	-	3.852	0.144	-	-	-	-	3.851	0.124
仲間意識	-	-	4.078	0.124	-	-	-	-	4.120	0.126
意思疎通	-	-	3.982	0.159	-	-	-	-	3.941	0.192
精神衛生	-	-	3.453	0.175	-	-	-	-	3.415	0.184

Table 3 安全風土間の相関関係

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
①	.563 *	.851 ***	.803 ***	.432 **	.393 *	.240	.492 **	.343 *
②	.959 *	.615 *	.880 ***	.518 **	.508 **	.499 **	.554 **	.479 **
③	.894 *	.860 *	.618 *	.622 ***	.495 **	.505 **	.525 **	.359 *
④	.831 *	.769 *	.946 *	.735 *	.558 **	.766 ***	.463 **	.352 *
⑤	1.040 *	1.029 *	.916 *	.750 *	.667 *	.458 **	.841 ***	.732 ***
⑥	.923 *	.886 *	.962 *	.741 *	.927 *	.696 *	.326 *	.274 †
⑦	1.004 *	.996 *	.851 *	.644 †	.957 *	.902 *	.666 *	.775 ***
⑧	.966 *	.904 *	.796 *	.587 †	.890 *	.847 *	.974 *	.639 *

†: $p < .01$; *: $p < .05$; **: $p < .01$; ***: $p < .001$

註1) ①組織の安全姿勢 ②直属上司の姿勢 ③安全の職場内啓発 ④安全配慮行動 ⑤モラル ⑥仲間意識 ⑦意思疎通 ⑧精神衛生

註2) 対角行列(太字)は級内相関係数, 対角線上三角行列は個人レベル(年度レベル)相関係数, 下三角行列は集団レベル(発電所レベル)相関係数を表す

変数, その年度から1~3年後それぞれの事故件数を目的変数, 各発電所をランダム効果(ランダム切片)とするGLMMを検討した。目的変数はそれぞれ0付近にデータが集中し, かつ分散が過大であるため, 過分散を避けるべくポアソン分布ではなく負の二項分布を使用した。また, 安全風土得点の各要因は相互に強い相関関係にあるため, 多重共線性を避けるべく, 説明変数

には1要因ずつ投入し繰り返しGLMMを検証した。

その結果, トラブル情報件数, 保全品質情報件数, その他情報件数に対して安全の職場内啓発, もしくは精神衛生を説明変数とした際に一貫して有意, もしくは有意傾向が認められ, 安全風土得点が高いほど報告件数が低い傾向が示された (Table 4)。個別に確認すると, トラブル情報件数を目的変数とした際は「安全の職場内啓発 ($B = -7.243, Z = -2.102, p < .05$)」, 「精神衛生 ($B = -2.505, Z = -2.340, p < .05$)」が有意となった。また, 保全品質情報件数を目的変数とした場合は「組織の安全姿勢 ($B = -1.797, Z = -2.510, p < .05$)」が有意となり, 「安全の職場内啓発 ($B = -1.946, Z = -1.779, p < .10$)」, 「精神衛生 ($B = -0.854, Z = -1.884, p < .10$)」で有意傾向が認められた。さらに, その他情報件数を目的変数とした場合には, 「安全の職場内啓発 ($B = -3.356, Z = -2.721, p < .01$)」, 「精神衛生 ($B = -0.878, Z = -2.124, p < .05$)」の影響が有意となり, 「直属上司の姿勢 ($B = -1.682, Z = -1.668, p < .10$)」の影響で有意傾向が認められた。ただし,

Table 4 各安全風土要因が翌年度以降の事故発生件数に与える影響

	トラブル情報件数				保全品質情報件数				その他情報件数			
	B	SE	Z	p	B	SE	Z	p	B	SE	Z	p
(切片)	7.907	8.806	0.898	.369	8.225	2.945	2.793	.005 **	4.130	3.079	1.341	.180
組織の安全姿勢	-2.614	2.129	-1.228	.220	-1.797	0.716	-2.510	.012 *	-0.726	0.743	-0.978	.328
AIC (nullモデル)	137.364 (136.778)				561.673 (565.594)				650.535 (649.466)			
BIC (nullモデル)	148.985 (145.494)				573.294 (574.310)				662.156 (658.182)			
(切片)	4.769	12.266	0.389	.697	5.913	3.869	1.528	.126	7.806	4.010	1.946	.052 †
直属上司の姿勢	-1.928	3.064	-0.629	.529	-1.281	0.976	-1.313	.189	-1.682	1.008	-1.668	.095 †
AIC (nullモデル)	138.416 (136.778)				565.964 (565.594)				648.775 (649.466)			
BIC (nullモデル)	150.038 (145.494)				577.585 (574.310)				660.397 (658.182)			
(切片)	26.642	13.958	1.909	.056 †	8.754	4.451	1.967	.049 *	14.793	5.024	2.944	.003 **
安全の職場内啓発	-7.243	3.445	-2.102	.036 *	-1.946	1.094	-1.779	.075 †	-3.356	1.233	-2.721	.007 **
AIC (nullモデル)	134.716 (136.778)				564.548 (565.594)				644.236 (649.466)			
BIC (nullモデル)	146.337 (145.494)				576.169 (574.310)				655.857 (658.182)			
(切片)	-4.513	15.156	-0.298	.766	5.655	4.794	1.179	.238	2.070	5.046	0.410	.682
安全配慮行動	0.361	3.544	0.102	.919	-1.143	1.136	-1.006	.315	-0.221	1.193	-0.185	.853
AIC (nullモデル)	138.771 (136.778)				566.612 (565.594)				651.434 (649.466)			
BIC (nullモデル)	150.392 (145.494)				578.233 (574.310)				663.055 (658.182)			
(切片)	-5.459	8.616	-0.634	.526	1.819	3.228	0.563	.573	0.905	3.128	0.289	.772
モラル	0.639	2.203	0.290	.772	-0.257	0.842	-0.305	.760	0.061	0.811	0.075	.940
AIC (nullモデル)	138.706 (136.778)				567.504 (565.594)				651.461 (649.466)			
BIC (nullモデル)	150.327 (145.494)				579.125 (574.310)				663.082 (658.182)			
(切片)	-7.530	16.026	-0.470	.638	2.186	4.490	0.487	.626	4.007	4.165	0.962	.336
仲間意識	1.093	3.835	0.285	.776	-0.329	1.093	-0.301	.764	-0.699	1.011	-0.691	.489
AIC (nullモデル)	138.708 (136.778)				567.507 (565.594)				651.003 (649.466)			
BIC (nullモデル)	150.329 (145.494)				579.128 (574.310)				662.625 (658.182)			
(切片)	3.646	7.910	0.461	.645	2.663	2.787	0.956	.339	3.671	2.437	1.506	.132
意思疎通	-1.668	1.998	-0.835	.404	-0.467	0.710	-0.657	.511	-0.648	0.617	-1.050	.294
AIC (nullモデル)	138.126 (136.778)				567.172 (565.594)				650.368 (649.466)			
BIC (nullモデル)	149.747 (145.494)				578.793 (574.310)				661.989 (658.182)			
(切片)	5.598	3.656	1.531	.126	3.707	1.534	2.416	.016 *	4.084	1.429	2.857	.004 **
精神衛生	-2.495	1.066	-2.340	.019 *	-0.854	0.453	-1.884	.060 †	-0.878	0.413	-2.124	.034 *
AIC (nullモデル)	133.519 (136.778)				564.180 (565.594)				647.115 (649.466)			
BIC (nullモデル)	145.140 (145.494)				575.801 (574.310)				658.736 (658.182)			

†: $p < .01$; *: $p < .05$; **: $p < .01$; ***: $p < .001$

註) AIC・BICの()内はnullモデル, つまり切片とランダム効果のみのモデルのAIC・BICを記載している

Table 5 事故件数が翌年度以降の安全風土に与える影響

組織の安全姿勢	B	SE	DF	t	p	モラル	B	SE	DF	t	p
(切片)	4.198	0.041	16.201	102.142	.000 ***	(切片)	3.840	0.030	15.369	127.004	.000 ***
トラブル情報件数	-0.006	0.019	124.133	-0.322	.748	トラブル情報件数	-0.009	0.011	121.264	-0.834	.406
保全品質情報件数	-0.004	0.005	130.349	-0.874	.384	保全品質情報件数	-0.002	0.003	126.594	-0.950	.344
その他情報件数	-0.001	0.001	130.981	-0.872	.385	その他情報件数	-0.001	0.001	128.060	-0.711	.478
AIC (nullモデル)	-111.102 (-140.757)					AIC (nullモデル)	-252.795 (-284.297)				
BIC (nullモデル)	-93.670 (-132.041)					BIC (nullモデル)	-235.363 (-275.581)				
直属上司の姿勢	B	SE	DF	t	p	仲間意識	B	SE	DF	t	p
(切片)	4.041	0.032	16.328	125.527	.000 ***	(切片)	4.105	0.028	15.310	147.981	.000 ***
トラブル情報件数	0.006	0.014	123.979	0.405	.686	トラブル情報件数	0.002	0.009	120.807	0.268	.789
保全品質情報件数	-0.004	0.003	130.157	-1.216	.226	保全品質情報件数	0.001	0.002	125.660	0.232	.817
その他情報件数	-0.002	0.001	130.922	-2.157	.033 *	その他情報件数	-0.001	0.001	127.085	-1.487	.139
AIC (nullモデル)	-179.420 (-140.757)					AIC (nullモデル)	-290.813 (-325.613)				
BIC (nullモデル)	-161.988 (-132.041)					BIC (nullモデル)	-273.382 (-316.897)				
安全の職場内啓発	B	SE	DF	t	p	意思疎通	B	SE	DF	t	p
(切片)	4.116	0.029	16.143	139.522	.000 ***	(切片)	3.943	0.038	15.422	103.012	.000 ***
トラブル情報件数	0.006	0.012	123.187	0.475	.636	トラブル情報件数	-0.010	0.014	121.527	-0.724	.471
保全品質情報件数	0.000	0.003	129.308	-0.147	.884	保全品質情報件数	-0.004	0.003	127.075	-1.188	.237
その他情報件数	-0.001	0.001	130.446	-1.696	.092 †	その他情報件数	-0.001	0.001	128.539	-0.933	.352
AIC (nullモデル)	-217.815 (-249.859)					AIC (nullモデル)	-183.466 (-211.971)				
BIC (nullモデル)	-200.383 (-241.144)					BIC (nullモデル)	-166.034 (-203.255)				
安全配慮行動	B	SE	DF	t	p	精神衛生	B	SE	DF	t	p
(切片)	4.205	0.028	14.901	151.700	.000 ***	(切片)	3.413	0.041	15.721	82.822	.000 ***
トラブル情報件数	0.000	0.008	119.641	-0.041	.968	トラブル情報件数	-0.023	0.016	122.057	-1.457	.148
保全品質情報件数	0.004	0.002	123.333	2.295	.023 *	保全品質情報件数	-0.007	0.004	127.805	-1.719	.088 †
その他情報件数	-0.001	0.001	124.536	-1.182	.239	その他情報件数	0.000	0.001	129.215	-0.137	.891
AIC (nullモデル)	-332.805 (-365.427)					AIC (nullモデル)	-153.647 (-178.715)				
BIC (nullモデル)	-315.373 (-356.711)					BIC (nullモデル)	-136.215 (-169.999)				

註) AIC・BICの()内はnullモデル、つまり切片とランダム効果のみのモデルのAIC・BICを記載している

†: $p < .01$; *: $p < .05$; **: $p < .01$; ***: $p < .001$

これらのモデルはすべて、同一の目的変数で切片とランダム効果のみを投入したモデルよりもAIC・BICの両方が大きくなり、事故件数を変数に投入することでモデルが悪くなっていることが示されている。

4.3 事故件数が翌年度以降の安全風土に与える影響

また、安全風土が事故件数の増減につながるのではなく、逆に事故減数の増減によって安全風土の認知が変化する可能性を検証するため、GLMMを検証した。説明変数はある年度のトラブル情報件数、保全品質情報件数、その他情報件数、目的変数はその年度から1~3年後の安全風土得点の各要因、ランダム効果(ランダム切片)は各発電所であった。なお、安全風土得点の各要因は正規分布に近い場合、ガウシアン分布を用いた一般線形混合モデル (General Linear Mixed Model) を検討している。

結果、事故件数が有意な説明力を示したのは目的変数が「直属上司の姿勢」、「安全配慮行動」の場合のみで、「安全の職場内啓発」、「精神衛生」を目的変数にした場合は有意傾向に留まった (Table 5)。個別に確認すると、「直属上司の姿勢」に対してはその他情報件数が有意な負の影響 ($B = -0.002$, $t(130.922) = -2.157$, $p < .05$) を示し、「安全の職

場内啓発」ではその他情報件数の負の影響 ($B = -0.001$, $t(130.446) = -1.696$, $p < .10$) の傾向が見られた。また、「安全配慮行動」に対しては保全品質情報件数の有意な正の影響 ($B = 0.004$, $t(123.333) = 2.295$, $p < .05$) が認められ、「精神衛生」に対しては保全品質情報件数の負の影響 ($B = -0.007$, $t(127.805) = -1.719$, $p < .10$) の傾向が見られた。

5. 議論

本研究では原子力発電所内の安全風土の醸成によって事故件数が影響を受けるのかを検討すべく、2012年度から2021年度までの意識調査データと事故件数データを用いてGLMMによる分析を行った。その結果、ある年度の「安全の職場内啓発」と「精神衛生」が高いほどその1~3年後の年度内で実際に事故件数が低くなることが示された。

5.1 安全風土が安全性に与える影響

これまでの研究 (e. g., 福井, 2012; Lee, 1998; Morrow et al, 2014) においても安全風土によって原子力発電所内の安全性が高まる可能性は指摘されてきた。しかしこれまでの研究では主観指標・自己報告

同士の関連の検討(e.g., 藤田, 2018; 福井他, 2000; Lee, 1998; Lee & Harrison, 2000)や一時点, 一企業を対象とした検討(e.g., 福井, 2012; Lee, 1998)が中心であり, 得られた結果の一般化が困難であった. これに対し, 本研究ではある時点での安全風土を用いて時系列的に後に起きる事故件数を予測することを試みている. これにより, 事故発生によって安全風土が高まっているという逆の因果の可能性を排除しつつ, かつ客観的に評価可能な指標を持って職場の安全風土により原子力発電所の安全性が変わることを示した. Clarke (2006) でもメタ分析の結果から安全風土が将来的な事故件数を予測する可能性を指摘しており, 本研究はその結果を支持するものとなっている. またClarke (2006) で用いられた研究のうち, 原子力発電所に関連する研究は2件(Lee, 1998; Lee & Harrison, 2000)のみであり, かつ事故件数については双方とも客観的・将来的な指標を用いずに自己報告の回顧法を用いている. そのため先行研究(e.g., Clarke, 2006; Lee, 1998; Lee & Harrison, 2000)の結果の信頼性をより補強する形となったといえるだろう.

加えて, 本研究では国内の原子力発電所15か所を対象としたGLMMを実施している. これまでの研究(e.g., Lee & Harrison, 2000; Morrow et al., 2014)では原子力発電所の安全風土と事故発生の関連を検討する際に各原子力発電所の特徴やデータの階層性が考慮されておらず, 各発電所元々の事故率の高低などの影響を受けるモデルとなっていた. これに対して本研究では発電所の違いをランダム効果に投入することで, 発電所間での事故の起きやすさの違いの影響を取り除いた分析を行っている. これに加えて正規分布よりもよりデータに即した分布を分析に用いた. これらにより, 影響を過剰に高く評価することなくより妥当な結果となったといえるだろう. 以上より, 本研究の結果は先行研究に比べてより妥当性の高い分析結果をもって, 各職場の安全風土の高まりが事故を減少させる可能性を示唆している.

一方, 本研究の分析では安全風土得点が要因間で強い相関関係を持っていたため, 説明変数に同時にすべての要因を投入するのではなく1つずつ説明変数を入れ替えて繰り返しGLMMを実施した. 検定を繰り返し実施することは第一種の過誤(偽陽性)の可能性を高める(e.g., 大久保, 2016)ため, 解釈は慎重になる必要があるだろう. ただし, 本研究ではトラブル情報

件数, 保全品質情報件数, その他情報件数それぞれを目的変数とした場合にも, 関連の強さに強弱はあるものの, 一貫して「安全の職場内啓発」, 「精神衛生」が関連することが示された. この一貫した傾向から第一種の過誤の可能性は比較的低いとは考えられる. しかし, 本研究では安全風土得点各1要因のみを説明変数としている. そのため, 安全風土と共変する他の変数が事故件数に関わっているという偽相関の可能性は視野に入れなければならない. この点については今後より幅広い変数を測定し分析モデルに組み込むことで解決する必要があるだろう.

なお, 今回の研究では安全風土のすべての要因が事故件数と関連するのではなく安全風土の一部である「安全の職場内啓発」と「精神衛生」のみの関連を認めることができた. 福井(2012)においても本研究と同一の項目が含まれる, 「組織の安全姿勢」, 「直属上司の姿勢」, 「安全の職場内啓発」, 「安全配慮行動」, 「モラル」と事故件数との相関関係を検討しており, 「安全の職場内啓発」との間で最も相関関係が強いことを示している. この点に関連して, 安全風土が安全行動に影響を与える過程に主観的規範(Ajzen, 1988)があるのではないかと指摘がある(e.g., Fogarty & Shaw, 2010; Lee et al., 2019). 主観的規範とはある行動を取った場合に周りかどのように反応するかという推測で, 行動を行うかどうかを左右する社会的圧力の認知を指す. ある行動を取ろうとする際に周囲がポジティブな反応(e.g., 褒める, 喜ぶ)をすると予測されるのならばその行動を起こそうという意図が高まり, 逆にネガティブな反応(e.g., 叱る, 嫌がる)をすると予測されるのならばその行動への意図は下がる. 「安全の職場内啓発」の項目内容は「あなたの職場では, 安全について難しいことも話し合うという雰囲気がある」, 「あなたの職場では, 安全確保のための意見やアイデアが活かされている」などで, この得点が高いほど職場内で安全行動についての意識のすり合わせが行われており, 主観的規範の影響を受けやすくなっている可能性がある. そのためこの「安全の職場内啓発」が他に比べて事故件数と強く関連しているのではないだろうか.

ただし, 本研究で使用した安全風土の要因は互いに強い正の相関関係を示している. 関連して福井他(2000)においても, 本研究での「安全の職場内啓発」に近い, 安全や事故についての話し合いに関する「安全の話題」要因に対して, 安全問題に対する上層部の

態度を指す「組織の姿勢」や業務の適切な分担を指す「監督行動」などが正の影響を持つことが示されている。そのため、「安全の職場内啓発」のみを高めれば事故件数が減るという単純な関係性ではなく、他の安全風土要因の複合的な高まりによって「安全の職場内啓発」が進み、結果として事故件数が減っていくということは予測されるだろう。

一方で、Clarke (2006) では逆の因果の可能性、つまり事故の発生によって安全風土が影響を受ける可能性を指摘している。この点について、本研究では逆の因果での回帰分析、つまりある年度における事故件数によって1~3年後の安全風土得点の変化を検討した。結果、多少の関連は認められたものの、安全風土が事故件数に与える影響の方が強く、またAIC・BICから見てもモデル自体も良いと言えない。そのため、この点においても安全風土が事故件数と関連する結果が逆の因果 (i. e., 事故件数が安全風土に影響する関係性) による偽相関である可能性は低いといえよう。ただし、事故の多少によって安全風土に影響を与える部分も指摘される。特に、本研究の結果でいえば事故の件数が多い年度以降に「安全配慮行動」は増加する傾向が示された。事故を経験することによってリスク認知が高まることは示されており (e. g., 木下, 2002; Rutter, Quine, & Albery, 1998), 安全風土が事故を減らすという一方向だけの関係性でないことは十分に考えられるだろう。

5.2 限界と展望

本研究にはいくつかの限界が存在する。まず、本研究は2012年度から2021年度を対象に安全風土と事故件数についての検討を行った。しかし、この期間は2011年度以前に比べると多くの原子力発電所が廃炉、もしくは検査による運転休止の状態となっている。例えばニューシア (原子力安全推進協会, 2010) に登録されているすべての原子力発電所の保全品質情報の件数でいえば、今回使用した2012年度から2021年度の各年度での合計件数は平均して51.80件 ($SD = 10.32$) であるものの、2004年度から2011年度にかけての件数は平均143.75件 ($SD = 21.29$) である。その他情報の件数でも2012年度から2021年度の各年度での合計件数は平均122.20件 ($SD = 35.21$) だが2004年度から2011年度での件数は平均220.88件 ($SD = 46.47$) となっている。このように、本研究では多

くの原子力発電所が運転していないためにそもそも事故が起きにくい期間における検討となった。これは極めて限定的な状況下での結果と言えるものの、一方で全体的に事故件数の分散が小さくなった状況下においてでもなお安全風土での説明が可能であるとも言えるだろう。今後各発電所が再稼働し、全体的な稼働率が高まった際に同様の結果が得られるのかは検討の余地がある。

また、本研究では原子力発電所間の違いはランダム効果に投入し、実際にどの特徴の差異が事故件数の違いや安全風土に関わってくるのかは検討していない。前述の通り、発電所の稼働状況 (設備利用率) は事故件数と関連すると考えられ、他にもユニット数、従業員数、原子炉の種類なども関連することが予測されるだろう。本研究のデータ数ではモデルが複雑になりすぎるために検討は困難であるものの、今後より多くのデータが収集されれば検討の余地はあり得ると考えられる。今後の展開が待たれる。

謝辞

本研究は一般社団法人原子力安全推進協会 (JANSI) と各事業所のご協力のもとに実施できたものである。厚く感謝申し上げます。

引用文献

- Ajzen, I. (1988). *Attitudes, personality, and behaviour*. Milton Keynes: Open University.
- Clarke, S. (2006). The relationship between safety climate and safety performance: A meta-analytic review. *Journal of Occupational Health Psychology, 11*, 315-327.
- Fogarty, G. J., & Shaw, A. (2010). Safety climate and the theory of planned behavior: Towards the prediction of unsafe behavior. *Accident Analysis and Prevention, 42*, 1455-1459.
- 藤田 智博 (2018). 原子力産業の安全風土調査へのマルチレベル分析の適用 INSS Journal, 25, 17-24.
- 福井 宏和 (2012). 原子力発電所の安全風土に関する質問紙調査 集団力学, 29, 71-88.
- 福井 宏和・吉田 道雄・山浦 一保 (2000). 原子力発電所職員の安全確認行動と組織風土の因果モデ

- ル INSS Journal, 7, 2-15.
- 原子力安全推進協会 (2010). 原子力施設情報公開ライブラリー ニューシア Retrieved from <http://www.nucia.jp/index.html> (2022年6月2日)
- International Nuclear Safety Advisory Group. (1991). *Safety culture*. (International Atomic Energy Agency, Series Ed.) *Safety Series*. No 75 - INSAG-4. Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA).
- 河合 学 (2021). 安全志向的モチベーションと安全風土の関連についての考察 INSS Journal, 28, 11-16.
- 木下 富雄 (2002). リスク評価とリスク対策特集 リスク認知の構造とその国際比較 安全工学, 41, 356-363.
- Lee, T. (1998). Assessment of safety culture at a nuclear reprocessing plant. *Work and Stress*, 12, 217-237.
- Lee, T. & Harrison, K. (2000). Assessing safety culture in nuclear power stations. *Safety Science*, 34, 61-97.
- Lee, J., Huang, Y. H., Cheung, J. H., Chen, Z., & Shaw, W. S. (2019). A systematic review of the safety climate intervention literature: Past trends and future directions. *Journal of Occupational Health Psychology*, 24, 66-91.
- McGonagle, A. K., Walsh, B. M., Kath, L. M., & Morrow, S. L. (2014). Civility norms, safety climate, and safety outcomes: A preliminary investigation. *Journal of Occupational Health Psychology*, 19, 437-452.
- Mearns, K., Whitaker, S., & Flin, R. (2003). Safety climate, safety management practice and safety performance in offshore environments. *Safety Science*, 41, 641-680.
- Morrow, S.L., Koves, G.K., & Barnes, V.E. (2014). Exploring the relationship between safety culture and safety performance in U.S. nuclear power operations. *Safety Science*, 69, 37-47.
- Neal, A., Griffin, M. A., & Hart, P. M. (2000). The impact of organizational climate on safety climate and individual behavior. *Safety Science*, 34, 99-109.
- 西田 豊 (2017). 安全風土と安全文化 - 概念, 測定と理論, 醸成について - INSS Journal, 24, 21-31.
- 大久保 街亜 (2016). 帰無仮説検定と再現可能性 心理学評論, 59, 57-67.
- Rutter, D. R., Quine, L., & Albery, L. P. (1998). Perceptions of risk in motorcyclists: Unrealistic optimism, relative realism and predictions of behavior. *British Journal of Psychology*, 89, 681-696.
- 資源エネルギー庁 (2022). 日本の原子力発電所の状況 (2022年5月16日時点) Retrieved from https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/001/pdf/001_02_001.pdf (2022年6月7日)
- 清水 裕士 (2014). 個人と集団のマルチレベル分析 ナカニシヤ出版.
- 清水 裕士 (2016). フリーの統計分析ソフトHAD: 機能の紹介と統計学習・教育, 研究実践における利用方法の提案 メディア・情報・コミュニケーション研究, 1, 59-73.
- Williamson, A. M., Feyer, A. M., Cairns, D., & Biancotti, D. (1997). The development of a measure of safety climate: The role of safety perceptions and attitudes. *Safety Science*, 25, 15-27.
- Zohar, D. (1980). Safety climate in industrial organizations: Theoretical and applied implications. *Journal of Applied Psychology*, 65, 96-102.
- Zohar, D. (2000). A group-level model of safety climate: Testing the effect of group climate on microaccidents in manufacturing jobs. *Journal of Applied Psychology*, 85, 587-596.
- Zohar, D. (2002). Modifying supervisory practices to improve subunit safety: A leadership-based intervention model. *Journal of Applied Psychology*, 87, 156-163.