

労働災害統計分析研究の歴史的変遷に関する調査研究

花安繁郎*

Historical Review on the Statistical Analysis of Occupational Accidents

by Shigeo HANAYASU*

Abstract; Statistical analysis of occupational accidents plays an important role in establishing measures against accidents and for evaluating safety performance in work places. The first statistical/probabilistic analysis of occupational accidents was carried out by Greenwood, Wood and Yule during the World War I. Since this research work, numerous numbers of research work have been conducted, which attempted to verify the existence of the concept of "accident proneness". Also researches have been developed in the fields of systems safety analysis and risk analysis to analyze the characteristics of occupational accidents.

This paper presents a brief historical review of these research activities with particular emphasis on the statistical/probabilistic analysis of occupational accidents. Based on this review, further development needs in relation to the statistical/probabilistic research on occupational accidents in the near future are discussed.

Keywords; Occupational accident, Historical review, Statistical/probabilistic analysis

1. ま え が き

労働安全の研究分野では、労働災害の発生特性を解明しその防止を図るために、生理学的分析や心理学的分析に関する今日で言う行動科学的分析研究をはじめとして、社会・経済学的分析、あるいは安全のための教育・管理論など広範な領域にわたる研究が行われてきた。

これらの広範な労働安全研究の中で、災害統計分析に関する研究は、種々の災害に関する基礎的情報を提供し、これにより問題点の把握や安全対策の設定など、安全管理における意志決定や研究全般の方向性を示す指針として重要な役割を果たしてきている。

労働災害の統計分析研究には多くの目的と役割が

考えられるが、その代表的な項目を挙げると以下のとおりである。

- ① 労働災害の発生特性とその原因に関する情報を提供し、災害発生防止のために、関係行政機関における法律・規則の立案、行政指導、あるいは研究課題策定等の参考資料として用いること。
- ② 同様に、個々の企業における安全対策の立案、実施ならびにその評価に利用すること。
- ③ 労働災害発生危険率などを評価して、労働災害保険・労働災害補償制度の健全な運用を図ること。

これらの目的を踏まえ、今後の災害統計の分析研究が進むべき方向性とそこでの課題を明らかにすることは重要なことである。そのために、これまで行われてきた災害に関する統計学的分析研究について、その歴史的変遷を概括することは一助になると考え

られる。本報ではこの考えのもとに、労働災害の統計分析研究の歴史の変遷に関する調査を試みた。

2. 労働災害統計分析研究の歴史の変遷

洋の東西を問わず古来からさまざまな災害が発生しており、それらのうちの大規模な災害については、その発生状況や被害の模様を記述した記録を多くの文献・資料等に見出すことが出来る。

しかし、災害に関する多くの資料を収集し、それらを用いて災害の統計学的特性を明らかにする研究が行われるようになったのは、いくつかの例外を除くと近代自然科学が成立した18世紀以降である。

特に労働災害のように、18世紀イギリスで始まった産業革命によって大量の労働者が出現し、彼らが労働者階級という新たな社会階級を形成する過程で顕在化した一種の社会(階級的)災害については、当初からその定義、資料収集法、評価法等について国ごとに差があり、資料収集が可能となり本格的な統計学的分析研究が行われるまでにはかなりの時間を要した。

ここでは、筆者がこれまでに調査した災害統計分析に関する研究のうちで、特に確率論的研究を中心にその変遷について述べることにする。

2.1 災害統計分析研究の発端

事故や災害の発生状況を統計的に調査・記述した事例は、古くは記述統計学研究の嚆矢としてつとに有名な J. Graunt による「死亡表に関する自然的および政治的諸観察」にも見出すことができる¹⁾。同書によれば、17世紀中葉のロンドン市において、1629~1636年および1647~1658年の20年間に疾病や事故によって229,250人の埋葬者があったことが記録されており、そのうち、慢性疾患による病死や溺死あるいは自殺などと並んで、「種々の事故」による死者数が毎年の埋葬者の総数に対して恒常的比率を保っていたことが記されている。

また、Von-Bortkiewicz がプロシャ軍団内で馬に蹴られて死亡した兵士の数を20年間にわたって調べ、その分布がポアソン分布であったこと(1899年)も、事故統計分析の古典的な例としてよく引き合いに出されている。

しかしながら、Grauntの事故に関する分析は、大量の死亡表を用いてさまざまな社会学的観点から観察を行った分析結果の一つであって、「種々の事故」そ

のものを分析の対象としていた訳ではない。同様に、Bortkiewiczの分析事例も、馬に蹴られて死んだという災害事象自体を分析の目的としていたか否かは不明である。

災害、特に工場等で発生する労働災害の発生特性を解明することを目的とした統計的研究が行われたのは20世紀に入ってからであり、Greenwood-Wood、およびGreenwood-Yuleらによる統計学的研究に始まると言われている。M. Greenwood, H. Wood、およびG. Yuleら²⁾³⁾は、第一次世界大戦下の英国の軍需工場で作業した女子労働者に発生した労働災害を調査し、その発生特性、特に作業者の災害発生の蓋然性(Accident liability)に関して、以下の3つの仮説的統計分布モデルを導入し考察を加えた。

i) 偶然分布(Simple chance distribution)

作業員の災害蓋然性は一様であり、災害は偶然によって生起すると考え、その理論分布はポアソン分布になるとした。もし災害発生数分布がこの分布であれば、発生数を減らすには、個々の作業員の心理的、生理的な条件を改善するばかりでなく、職場の物的環境や作業条件などの作業全般状況(General condition)を改善することが主な対策となるとしている。

ii) 偏奇分布(Biased distribution)

作業員の災害蓋然性は当初は一様であるが、災害を起こした者は、そのことが原因となって臆病あるいは神経過敏になり、災害蓋然性が以前に比べて変化し、増加または減少するという仮定のもとで標記の分布が導出された。もしbiasが増加(災害を起こしやすくなる)する方向であれば、対策としては、災害発生後は暫く仕事を休ませる、あるいは短期間別の仕事に従事させることなどで蓋然性を減少させる必要があるとした。

iii) 非均等分布(Unequal liabilities distribution)

作業員の災害に対する蓋然性は一様ではなく、むしろ作業員ごとに異なった大きさの蓋然性によって構成されるという考えのもとに導出された。災害全体の分布は、作業員ごとの発生数分布であるポアソン分布と、同分布のパラメータである蓋然性の分布とを混合した分布となる。当初は蓋然性の分布として正規分布を仮定し、ポアソン分布との複合化の手続きを経てエルミート分布と呼ばれる分布を導出したが、災害の起こり易さ(蓋然性)が $(-\infty \sim 0]$ までの負の値をとるのは不合理であるとして、 $[0 \sim +\infty)$ までの範囲で分布する確率分布のうちで計算上便利な Pearson

III type 分布 (ガンマ分布) を新たに採用し、ポアソン分布との複合化を行った結果、Greenwood-Yule 分布と呼ばれる負の二項分布に到達した。そして、この仮定のもとでの災害防止には、災害蓋然性の少ない作業員を選ぶことや、災害を多く起こした者を早期に除去することが有効な対策であると想定した。

Greenwood らは、前記軍需工場における 14 グループの作業員が起こした労働災害の発生数分布を調べた結果、ポアソン分布は適合せず、偏奇分布あるいは非均等分布 (負の二項分布) が良く適合することを示した。さらに、観測期間を二分割して前期および後期の災害発生数の相関係数を求めた結果、0.4~0.7 の間で比較的高い値であること、および、前期で無災害だった作業員を除外して求めた相関係数が、全作業員を含めて計算した相関係数よりも小さいことから、非均等分布の方が偏奇分布よりも事実をうまく説明していると考え、最終的に、これらの調査事実をもとに、災害発生数分布を規定する際には、個々の作業員の災害性向の変動がきわめて重要な因子であると結論づけた。

この研究に続いて、E. Newbold⁴⁾⁵⁾によって多くの工場での労働災害の調査、分析が行われた。Newbold は、電気機器工場、織物機械工場、自動車工場、菓子工場、弾薬工場など 22 種もの広範囲な製造工場を選び、そこで働く 25 の男子作業員グループ 6,938 人、14 の女子グループ 2,024 人が 3 カ月~3 年の調査期間内に起こした労働災害 16,188 件についてさまざまな角度から調査し、その結果、

- ① どのグループの災害も、少数の作業員によって大多数の災害が占められており、災害が作業員間で偶然に生起しているとは考えられない。
- ② Greenwood らが提案した偶然分布以外の 2 つの分布のうち、偏奇分布は適合せず、非均等分布が良く適合した。
- ③ 異なる調査期間における災害発生数の相関係数が安定していること (12 グループのうち 9 グループまでの災害が 0.2~0.6 の値を示した)、また異なる種類の災害との間にも相関関係がみられること、更に工場での災害と家庭での災害との間にも相関関係がみられること、などの多くの調査結果から、作業員個々人に対する詳細な調査や心理学的調査研究を行う必要があると述べた。

この Newbold の研究ののち、E. Farmer および E.G. Chamber⁶⁾は、心理学的試験や生理学的試験の

結果と災害発生との関連をいくつかの業種について調査、分析を行い、運動感覚能力が劣っている者に災害が多いという統計的関係が存在することを見だし、この統計的因果特性を表現するために災害頻発性向 (Accident proneness) という用語を提唱した。

(Accident Proneness の訳語として我国では、災害傾向、災害頻発性、災害累発などさまざまな言葉が用いられているが、ここでは災害頻発性向と訳した。)

この災害頻発性向とは、“災害蓋然性よりは狭い内容を意味し、それを有することによって異常に高い災害発生率となる傾向を助長する個人的な特異性”と定義され、災害蓋然性が災害発生率を決定づけるすべての要因を含むのに対して、災害頻発性向は作業員個々人に関連した事柄であるとされた。

また、Farmer および Chamber⁷⁾は、自動車事故がランダムに分布していないことを踏まえて、自動車運転手を心理・生理学試験の結果を基にいくつかのグループに分けて、災害と個人の心理・生理学的特性との関係を明確にする研究を行った。その結果、一部のグループでの運動感覚機能の劣る者が高い災害発生率を示すことや、観測期間が長いほどその傾向が顕著であること、また、多数の事故を起こした者は、その後も高い発生率を示す傾向があることなどから、災害頻発性向は災害発生原因として重要な因子であり、また、災害の種類や作業条件の如何に拘らず、災害頻発性向は恒常的に存在すると主張した。

Farmer および Chamber によって提唱された Accident proneness は多くの心理学者や生理学者によって受け入れられ、その後の研究は作業員の身体的機能や心理的・精神的特性と災害との関連を探求することや、災害頻発者を診断するテスト法の開発に力点が置かれた。

例えば、C.S. Slocombe と E.E. Brakeman⁸⁾は、ボストンで鉄道運輸の運転操作に従事した作業員 86 人を、災害多発者グループと稀発者グループの 2 群に分けて 11 種類の心理学テストを行った。このうち信頼性の高かった 7 種類のテストについて、個々のテストの結果と災害との相関は低かったが、それらを合計した値との相関は高く、頻発者診断に有効な結果を得たと述べている。同様に我国においても、災害発生原因に心理学的側面から検討を加えて、作業員の災害頻発性向をさまざまな心理学テストなどを通して特定する試みが行われた⁹⁾¹⁰⁾。

2.2 災害頻発性向研究の見直し

これらの研究の多くが、災害頻発性向の存在そのものを認めた上で、各種の心理・生理学的テストの結果と災害の相関をみるものや、被験者を災害多発者グループと稀発者グループとに分けてテストを行い、その結果の差を検定するものであった。しかしながら、全体として確定的な結論が得られなかったこともあって、やがて災害頻発性向研究に対する再検討が行われるようになった。

A. Mintz および M.L. Blum¹¹⁾は、心理学研究者の多くが、ポアソン分布との適合度検定を行わないままに、少数の労働者によって大部分の災害が占められていることを根拠に災害頻発性向の存在を主張していると指摘した。また、災害の分布が非均等分布に適合しても、データの全変動の20~40%が災害蓋然性の変動によるものであり、残りの60~80%は予知できない偶然変動であることを分散分析によって示し、災害発生要因分析研究のなかで災害頻発性向が過度に強調されていると主張した。

さらに、確率分布導出の点からも、災害頻発性向の存在が拠り所としている非均等分布（負の二項分布）が、Greenwood-Yuleらによる、ポアソン分布のパラメータをPearson III type 分布（ガンマ分布）で複合化して得る方法以外にも、

- ① 出現率が一定である事象のベルヌーイ試行において、複数個の事象が生ずるまでの全試行回数の分布として負の二項分布が得られる。（この場合の分布は、別名パスカル分布と呼ばれている。）
 - ② いくつかの個体がまとまった集団（集落）の発生数分布がポアソン分布に従う一方で、各集落内での個体数が対数分布に従うとき、個体総数の分布は負の二項分布となる。（クヌーイユモデル）
 - ③ ある一定の割合で出生したり死滅したりする確率過程特性を有する個体総数の分布が負の二項分布となる。（出生死滅過程）
 - ④ ポリヤの壺と呼ばれるモデルから導出されるポリヤーエッケンベルガー分布の極限分布として負の二項分布が得られる。
- など、負の二項分布は多くの成因を有していることが明らかにされた¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾。とくに労働災害統計分析研究の分野では、J.O. Irwin¹⁵⁾によって、作業員の災害蓋然性が過去に起こした災害数に一次比例して増えるという仮定のもとで、災害発生数の分布が負の二項

分布となることが導かれた。すなわち、Greenwood-Woodらが提案した、作業員の蓋然性が災害によって変化するという第2のモデルからでも、条件が整えば負の二項分布となることが示された。つまり、発生数の分布が仮りに非均等分布と呼ばれている負の二項分布にうまく適合しても、そのことで作業員間の災害蓋然性が非一様性であること、更には災害頻発性向が存在することを証明したことにならないことが明らかにされた。

これらの結果から、災害頻発性向分析の統計的手法としては、従来の1変数の分析に加えて、観測期間を前後に分割してその相関係数を調べることや、前期、後期での災害数の分布を2変数分布によって分析する方法が導入・検討されるようになった。

J.M. Maritz¹⁶⁾は、相関を有する2変数ポアソン分布を用いて災害の分析を行った結果、前期、後期それぞれの期間での災害発生数が共にポアソン分布であっても、2つの期間での災害発生に相関関係が存在すること、すなわち、単一期間での発生数分布がポアソン分布であっても災害蓋然性は一様でない場合もあることから、連続した2つの期間での相関関係を調べるのが重要であると主張した。Maritzはまた、前期と後期との災害発生数の相関関係が無相関であっても、各期の災害発生数がそれぞれ負の二項分布となる場合もあることも示した。

またA.G. ArbousとJ.E. Kerrich¹⁷⁾は、観測期間を2分割して災害発生数の変化を調べたところ、前期で災害が多い作業員が後期でも多いとは限らないことや、あるいはその逆の場合もあり、これら前期、後期の災害発生数を同時に分析するためには二次元分布による分析が必要であることを述べた。彼らはまず、ポアソン分布とPearson III type 分布とを複合化して負の二項分布を得る手法を2変数に拡張して2変数負の二項分布を導出したのち、実際に発生した災害（1937~47年の11年間に南アフリカ共和国の鉄道会社の鉄道操車係112人が起こした災害274件）を、前期（1937~42年の6年間）と後期（1943~47年の5年間）とに分けて分析を行った。その結果、2変数負の二項分布がこれらの災害データにうまく適合していることや、同分布式のパラメータを用いて、ある特定件数の災害を引き起こした作業員の災害蓋然性の信頼区間を χ^2 分布によって推定する方法を示した。

また彼らは、Irwinによって示された、災害蓋然性

が災害発生数に一次比例するという仮定（伝播性モデル）のもとで、災害発生数が負の二項分布となる過程を2変数の場合にも適用し、同じく2変数負の二項分布に到達することを示した。そして、伝播モデルにおける仮定（作業員が職場に長くいて災害を起こせば起こすほど、益々蓋然性が増え、次の災害を起こしやすくなるという仮定）が、実際面では不合理であるにもかかわらずデータにはうまく適合していることから、単に確率分布への適合結果のみでよとの仮定を主張するのは危険であると指摘した。

Kerrichらは更に、Greenwoodらが提唱した第2のモデル、すなわち作業員の災害蓋然性が災害履歴によって変化するモデルについても検討を加え、作業員が一度災害を起こすと、そのことによって作業などを慎重に行う結果、以降の災害蓋然性が減少するという、通称“アツモノ熱物懲りモデル (burnt finger model)”と呼ばれる仮設的なモデルを提案し、同仮説のもとで災害発生数の分布式を導出し、いくつかの災害事例に適用して比較的良い適合結果を得ている。

またA.G. ArbousとH.S. Sichel¹⁸⁾は、労働者の欠勤データを分析する手法として、2変数負の二項分布を利用し、観測期間が同じ長さの連続した2つの期間での欠勤者数の分析を行った。分析では二次元分布の評価に加えて、前期と後期との欠勤者数の相関係数、および2変数負の二項分布のパラメータを用いて、前期の欠勤者数に対する後期の欠勤者数の回帰式を求め、前期の欠勤者数を説明変数として後期の欠勤者数を推定する試みを行った。

一方、異なった期間での災害発生数や、質や内容の異なった災害との間の相関関係などを調べて、災害頻発性向を分析した研究の代表的なものとしては、A.M. Adelsteinによる南アフリカ共和国の鉄道会社での操車係作業員が起こした労働災害を分析した研究事例がある¹⁹⁾。(前述のArbous, Kerrichらによる2変数負の二項分布を用いた分析でのデータにはAdelsteinが収集した災害データの一部が用いられた。)

Adelsteinは、1943~47年の5年間に1,442人の作業員が起こした1,452件の労働災害に加えて、上記作業員が仕事を終え家庭に戻ってから起こした家庭内災害 (Home injuries, 同じ5年間で315人, 173件)、および、業務中に発生した事故で作業員は負傷はしなかったが脱線事故や車軸破損などの物的損害を生じた災害の、3種類の質の異なった災害データを

収集して分析を行った。分析では、さまざまな集団の災害発生数の分布と、ポアソン分布あるいは負の二項分布との適合性を検討したほか、同一作業員による異なった期間での災害発生数の相関関係、同一作業員の業務上での災害と業務外災害 (家庭災害) との関連、業務上の負傷災害と物損事故との関連など、さまざまな相関関係について検討を加えた。これらの分析結果より、

① まず、災害発生数の分布適合性に関しては、多くの作業員グループの災害発生数が、単独にポアソン分布と、あるいはポアソン分布と負の二項分布とに同時に適合し、負の二項分布 (非均等分布) のみに適合した例は、1937~47年まで11年間の長期間にわたって発生した災害や、物的損害を生じた災害に限られた。

② 一方、相関関係での分析でも、重傷災害 (休業7日以上) の労働災害と軽傷災害 (休業6日以下の災害) との相関 ($\gamma = 0.102$)、家庭災害と労働災害との相関 ($\gamma = 0.18, -0.03$)、負傷災害と物損災害との相関 ($\gamma = 0.03$) など、質や種類の異なった災害の間では明確な相関関係を見出すことが出来ず、また、同じ災害について観測期間を分割し、前期と後期の間での相関関係を調べても有意な関係を検出することが出来なかった。(比較的明確な相関関係がみられた例としては、負傷災害と病気との関連、および物損災害が時系列的に安定した相関関係を有していることなどをあげている。)

③ 更に、最初の年に高い災害発生率を示した作業員を除いて、翌年以降の災害発生数の変化を調べたところ、ハイ・リスクグループの作業員を含めた全体の災害発生率とほとんど差がないことも明らかにした。

これらの広範な分析結果より、Adelsteinは、従来からの災害頻発性向に対する解釈、すなわち各個人は作業環境条件の如何に拘らず一定で、かつ安定した災害頻発性向を有していると言う考え方に対して、新たに、労働者の災害頻発性向は普遍的で一貫性を有した因子 (General and consistent factor) ではなく、仮りにそれが存在するにせよ、偶然性が災害発生 of 支配的要因であり、災害頻発性向は実際的には重要な因子ではなく、かつ特定環境のもとで作用し、作業員の日々の活動に伴って変動するものであると主張した。

P. FroggattとJ.A. Smiley²⁰⁾は、災害頻発性向

に関する研究についてレビューを行い、それまでの Mintz, Arous, あるいは Adelstein ら多くの研究者による古典的な災害頻発性向の考え方への批判と、それに基づく修正的な考え方がおおよそ次の3点にまとめられると述べている。

- ① 災害データによって観測される災害頻発性向は、労働者が職場で作業に従事した時間の経過に応じて変動する。
- ② 災害頻発性向は、災害を多発するほんの僅かな限られた人によって構成され、観測する時期や期間には依存しない。
- ③ 災害頻発性向は固定的・安定的な実体ではなく、作業員ごとに異なり、かつ時間の経過とともに変動する。

W.L. Cresswell と P.Froggatt²¹⁾は、これらの修正的な考えを勧告し、古典的災害頻発性向説に代わるモデルとして、新たに“Spell model”と呼ばれる仮説を提唱し、同仮説のもとでの確率分布と実際の災害との比較を試みた。

この spell model とは、災害はまず各作業員が災害を起こしやすい状態となる特定の作業時間帯 (Spell: periods of time) の中で発生し、その作業時間帯の中で災害は一定規則に従って起こるという考え方で、spell 自体の分布も、また spell の中で発生する災害も共に稀な事象であり、かつ、それぞれが偶然によって生じると仮定している。更に、spell の起こり易さはどの作業員も等しく、また spell が起こった作業員の spell 内での災害発生に対する蓋然性も、同じくどの作業員についても等しいと仮定した。このモデルにおける災害発生数分布は、ランダムにポアソン分布に従って生起する spell のもとで、各 spell 内でこれまたポアソン分布に従って発生する災害数の分布を考えれば良く、確率分布としては、J. Neyman が 1939 年に導出した Neyman type A 分布となるが²²⁾、spell model のもとでは、同式は“Long”分布と呼ばれている。

また彼らはこの spell model を更に拡張して、災害が前述の spell 期間以外にも (ランダムに) 発生する場合を考え、Long 分布とポアソン分布とをたまたみ込んだ 3 パラメータを有する“Short”分布と呼ばれる新たな確率分布を導出した。C.D. Kemp²³⁾は、この Long および Short 分布についての確率分布特性と、分布式の計算を容易にするための漸化式 (Recurrence relationship) や、パラメータ推定のた

めの連立最尤方程式などを導出した。

Froggatt ら²⁴⁾²⁵⁾は、spell model による Long および Short 分布を、ポアソン分布や負の二項分布などとともに、事故統計以外にも、例えば会社での欠勤者数やアイルランド、ベルファストでの病院来訪者数 (1962~64 年での 2,810 名の女性患者を調査) などの分析にも適用した。そして、事故を含めたこれらの事象が、単一の分布式によって説明されることは余りなく、仮りにうまく適合してもきわめて限られたデータであることから、災害頻発性向が限られた作業員に作用するにしても、一般には固定的なものではないと結論づけた。

ところで J.O. Irwin²⁶⁾は、Froggatt らによる spell model による Long (Neman type A) 分布が、spell model に基づかずとも、作業員の災害蓋然性がポアソン分布に従うと仮定して、災害発生数分布のポアソン分布と災害蓋然性の分布とを複合化することによっても得られることを示した。つまり、spell model が災害頻発性向モデルと本質的には差がないこと、および、頻発性向モデルが有する困難性 (同一分布がいくつもの成因によって導出されること) を克服するものではないことを明らかにした。

C.D. Kemp²⁷⁾は、Greenwood から Froggatt に至るまでの災害頻発性向に関連した研究を概括して、それまでの研究が

- ① 災害防止という実用的観点からは、災害頻発性向と言う概念はほとんど役に立つことはなかった。
- ② しかし一方で、確率統計理論という観点からは、興味のある、かつ他の分野にも有用な多くの成果を生み出すことが出来た、とまとめている。

また、災害分析研究について人間工学観点から広範なレビューを行った J. Surry は、災害頻発性向分析の研究について次のように述べている²⁸⁾。

- ① 通常の統計分析によって災害頻発性向を特定することは極めて困難であり、
- ② 災害頻発性向が仮りに存在するとしても、それは個人ごとに時間と状況とに応じて変動し、かつその変動は、若年層と老年層、未経験層、あるいは薬中毒者や酔っぱらいなどの災害蓋然性が高いことによる変動とは別個のものであること、従ってその予測は困難であり、また予測しても信憑性の少ないものであること、そして、
- ③ 災害頻発性向が仮りに存在するにせよ、せいぜい限られた僅かな数の災害多発者を示すものであり、

災害発生者数の大多数の要因は偶然によるものであり、次いで危険作業環境によるもの、そして少数の者が未経験とか高齢化などによる災害蓋然性の差によって災害を起こし、残りのほんの少しが災害頻発性向による者であろうと述べている。そして、Accident proneness（災害頻発性向）のように誤用・乱用されがちなキャッチフレーズを災害分析の分野では用いないことが賢明であると結んでいる。

また、ヒューマン・エラーの発生率を予測する手法（THERP）の開発で著名な A.D. Swain²⁹⁾は、災害防止のための手法として2つの対照的なアプローチ法について検討を加えた。一つは、労働者を安全に作業するように動機づけたり、あるいは災害蓋然性の高い作業員を見つけ出して排除する方法（作業員の動機づけによるアプローチ）であり、他は、災害防止の義務を個々の作業員に負わせるのではなく、むしろ、災害蓋然性の高い作業状態を検出し、それを除去することによってより安全な作業状態（Safety-prone work situation）に改善させる方法（作業状態改善によるアプローチ）である。Swain は、この2方法を比較して、作業員への安全に対する動機づけは重要であるが、そのことによる作業の改善の度合は過大評価されているきらいがあり、また災害頻発性向者を特定する方法も多くが不適切であることなどから、災害防止のための努力の主力は、災害発生への蓋然性が高い状態（Accident-prone situation）を同定し、その改善を図る手法の方がより合理的かつ有効であると述べている。

以上述べたように、Greenwood, Wood および Yule に始まる労働災害の統計学的分析研究は、災害頻発性向という人工的な統計上の概念を機軸にしてさまざまな発展がみられたが、災害頻発性向そのものについては、その実体の不明確さ、各種統計的分析法による弁別の困難性、災害発生への寄与の不明確さ（仮りに存在するものとしても）などから、災害要因として大きく取り上げるのは得策ではなく、また取り上げる場合には細心の注意が必要であること、などが多くの研究者の一致した見解として今日に至っている。

2.3 災害頻発性向研究以外の研究

これまで述べてきた、災害頻発性向という、いわば作業員個々人に関する心理的、生理的特性を確率統計理論を基調にして調査、分析を行う研究の流れ

とは別に、労働災害に関する広範な災害データの分析を行い、そこでの共通の、普遍的な統計特性を解明する研究も行われていた。

我国では、若命³⁰⁾が労働災害に係る医学的、心理的要因以外の社会的契機（医学的、心理的契機が主観的与件であるのに反し、災害に対する客観的与件を指す：若命による定義）に関する災害統計分析研究の必要性を述べ、この分野での先駆的研究を行った。若命は、経営の立場から災害統計を構成するに当たり、災害という一種の社会科学的集団の特性を把握するために、社会的契機の標識を以下のように分類した。

- 1) 人間そのものの固有の標識（男女別年齢別など）
- 2) 労働者として社会関係におかれた人間としての標識（勤続年数別、職種別など）
- 3) 作業、作業環境、産業および産業環境の標識（産業別分類、工種別分類など）
- 4) 災害の時間特性を表す標識（時間別、曜日別、月別、季節別、年別など）
- 5) 災害の契機を示す標識（原因別分類）

これらの分類に従い、例えば、年齢別に分類した工場での工員在籍者数と災害数に強い相関があることを明らかにするなど、さまざまな分析を行っている。時あたかも戦時統制下にあり、安全衛生に関する活動には多くの困難が伴い、また工場監督年報など公的な災害統計に関する刊行物も次々と廃刊に追い込まれていった状況下でありながら、いくつかの工場の助力のもとに得られた災害統計データを頼りに粘り強い研究を行った努力には感嘆する他はない。

なお、我国において、統一化された様式の災害報告のもとで全国的に労働災害（工場災害）が取りまとめられ、かつ災害原因分類が行われるようになったのは改正工場法が施行された大正 15 年（昭和元年）以降のことである³¹⁾。

また米国においても、大量の労働災害データの分析により共通・普遍的な統計特性を解明する研究が行われ、その代表的な研究が保険会社技師 H.W. Heinrich によってなされた。

Heinrich は、その著書“Industrial Accident Prevention”において、産業安全に関する一連の原理・法則を提唱した³²⁾。この中でとりわけ有名なものは、災害発生に関するドミノ連鎖モデルと、災害による被害の程度を分析し、重傷災害と軽傷災害との発生比率の関係を明らかにした 1 : 29 : 300 の法則である。

ドミノ連鎖モデルとは (1) 労働災害 (Industrial injuries) は事故 (Accidents) によって生じ, (2) 事故は, (a) 人間の不安全行動または (b) 不安全な状態への曝露によって引き起こされ, (3) 不安全な行動または状態は人間の誤り (Faults) によって発生し, (4) 人間の誤りは家系的な性質や社会的環境によって生ずるといふ, 一連の因果関係を有した災害要因が連鎖 (Chain of event) となって災害が生ずるといふ考え方である。この因果律要因連鎖モデルは, 災害分析手法に関する方法論として先駆的な役割を果たし, その後さまざまな修正が加えられたのち多くの災害事象記述モデルを産み出している。

また, 当初は軍事産業に始まり, その後航空宇宙産業, 原子力産業などの大規模システムにおける事故解析手法として開発され, 今日では化学装置産業を始め一般産業にも普及, 展開している FTA (Fault Tree Analysis), ETA (Event Tree Analysis), CTA (Causal Tree Analysis), MORT (Management Oversight Risk Tree Analysis), あるいは GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) などによるシミュレーション分析など, いわゆるシステム安全解析手法³³⁾⁻³⁸⁾も, ドミノ連鎖モデルをその源流とみなすことができる。

また 1 : 29 : 300 の法則とは, 同一人物が起こした同じ種類の 330 件の災害のうち, 300 件は無傷で 29 件は軽い傷害を伴い, 1 件が重傷災害であるという, 人的被害の大きさとその発生頻度の関係を示した法則である。同様に 1 : 10 : 30 : 600 の発生比率が, Heinrich の弟子である Bird Jr. により 175 万件の災害データ分析から得られている³⁹⁾これは 1 件の重傷または疾病を伴う災害に対して, 10 件の軽傷災害, 30 件の物損災害, 及び 600 件の傷害あるいは物損の無い災害が起こっているという統計的法則性である。

これらの法則の意味するところは, 一つの重傷災害が発生する裏には, その数十倍, 数百倍もの小さな災害があるので, 災害防止という観点からは, それら軽微な災害や, 背後でそれらの発生の源になっている不安全行動や不安全状態の発生を予防することが重要であるということにある。

これらの法則は, 労働災害という限られた災害分野についてであるが, 災害による損傷 (被害) の度合と, その発生比率との関係を実証的・定量的に明らかにした初めての分析事例であり, 今日広まりをみ

せつつあるリスクアナリシス⁴⁰⁾⁴¹⁾のききがけとみなすことができる。

この Heinrich の法則に関して, Briscoe⁴²⁾および中村⁴³⁾は, 災害による被害規模分布をべき関数で表現することを提案し, とくに中村は, 被害規模をべき関数で表したとき, 被害規模—発生頻度の関係が両対数紙上の直線として表現できること, およびその傾きが大規模災害発生の潜在的危険性を表す指標として利用できることを述べている。同様に, 関根ら⁴⁴⁾は, 災害の発生件数とその被害の大きさとの関係, すなわち災害の階層構造についてフラクタル理論の立場から分析を加えた。そして, ハイブリッドの法則で示される災害事象生起則には, フラクタル理論で取り扱われる自己相似性およびスケールリング則と共通した特性を有していることを示すとともに, 災害規模と発生数の両対数紙上でのグラフの傾きがフラクタル次元であることを示した。さらに, このフラクタル次元は大規模災害生起の難易を示すことから, 対象システムの安全性を定量的に示す統計的指標として利用できることと述べ, 火災保険データを用いて指標と安全管理機能との関係の分析を試みている。

また花安⁴⁵⁾⁴⁶⁾⁴⁷⁾は, 我国の建設工事で発生した労働災害の分析を行い, 発生数分布の多くがポアソン分布に従い, また被害規模分布はパレート分布であるので, 労働災害についてもフラクタル理論が適用できることを示した。そして近年の建設工事労働災害は, その頻度, 被害強度ともに一定の統計則に従い, 統計的にはほぼランダムに近い状態で発生していることを明らかにし, これらの分析結果から, 災害防止のためには, 単独で大きな効果を期待できる対策は存在せず, 建設工事に係る企画, 設計, 施工, 運用の建設事業全般を通じた広範な建設マネジメントとしての安全対策を実施することが必要であると述べている。

このほか, 例えば ILO (国際労働機関) によって採択され, 昭和 48 年より労働省の災害分析法として利用されている。不安全行動—不安全状態による分析法や, 川崎・田坂・安井による土木工事災害分析例⁴⁸⁾など, いくつかの代表的な災害分析法については文献⁴⁹⁾にコンパクトにまとめられている。

ところで, 災害頻発性向という特殊で限定的な人的要因の災害への関与については, 多くの研究者が否定的見解に達したことは既に述べたが, 人間と災害の関連そのものが否定された訳ではない。むしろ,

産業施設や構造物のように、計画、設計、製造（施工）、運用など多くのシステムが存在し、それらに人間の要因が重畳されて影響を与える結果、構造物等の破壊や機能不全の原因には、人間挙動に関する要因、とくにヒューマンエラーが支配的な役割を果たしていると報告されている⁵⁰⁾。

山本⁵¹⁾は、構造物の安全性を評価するためには、上記の各段階でのヒューマンエラーの影響を考慮する必要があることを述べ、ヒューマンエラーを考慮した構造物の破壊確率を求めるモデルを提案している。分析モデルでは、ヒューマンエラーを考慮した構造物の破壊確率を求めるために、ヒューマンエラーを考慮しない破壊確率を修正する係数（ヒューマンエラー係数）を導入し、土留め支保工に関する事例分析の結果、ヒューマンエラーを考慮した破壊確率は、考慮しないその2~5倍になることを示している。

また鈴木ら⁵²⁾は、RC構造物の施工における人為的誤認が構造物の安全性に及ぼす影響を検討するために、人為的過誤の起こり易さは構造物建設の品質管理と相関があると仮定し、構造物の破壊確率モデルを提案している。モデルによる分析から、構造物の破壊確率は作用荷重の変動係数が小さいほど人為的誤認の影響を強く受け安全性が損なわれ易いことや、所定の安全水準を確保するために必要な安全率は、人為的過誤を考慮したモデルでは品質管理の差の影響を受けることなどを明らかにしている。これらの研究は、構造物に対して設計段階から安全性を考慮する際に参考になるとと思われる。

3. むすび

以上、労働災害の統計分析研究に関する流れを、確率論的立場から災害頻発性向を分析した研究を中心に述べ、また、Heinrich以降の分析研究の流れについても簡単に触れた。これまでの調査で明らかにしたように、労働災害の統計分析研究の流れは主として、

- ① 作業員の心理的・生理的要因が災害発生 of 主要因と考える研究（行動規範型モデル）
- ② 災害は人間、機械および周辺環境の要素で構成されているシステム内で生ずる一つの状態であり、これらの要素とその結びつきを変えることにより災害発生確率も変動すると考える研究（状況規範型モデル）という2つの考え方を基調に展開してきている。

今後の研究の方向性は、①での作業員固有の心理的、生理的要因と災害との関わりの研究よりも、人

間を含めた多くの要因と災害の相互関係（時間の変動も考慮した）を明らかにし、その知見を災害防止や被害抑制に結び付けてゆく②の考え方の災害分析研究に力点をおくべきと考える。

また、これまでの災害統計分析、とりわけ災害頻発性向に関する研究が災害防止には役立たなかったことが少なからず指摘されているが、これは統計学に対する認識の差による処が大きいと考えられる。まえがきにも述べたとおり、確率統計分析研究の役割は、事業所における災害実態とその構造を明らかにし、安全管理等における意志決定のための情報を提供することにある。従って、災害統計分析研究そのものが、例えば安全ヘルメットや安全ネットに関する構造特性研究のように、災害防止に直接寄与する訳ではない。統計分析研究は、あくまでも災害のように不確定要素を含んだ未知の事象に対して合理的な意志決定を行うための論理的枠組みと思考形成を支援するための方法論であることを指摘しておきたい。ともすれば災害防止の目的とその手段が混同されることがある。

本調査結果を踏まえ、労働災害統計分析研究における今後の課題としては以下の内容が考えられる。

(1) 災害情報の収集・整理の高度化に関する研究

各種災害に関する情報を収集したのち、これをデータベース化し、必要とする災害情報を効率的に探索・抽出できるシステムの開発と充実。

安全・災害・事故等に関するデータベースは既にいくつか構築され供用に付されているものもある⁵³⁾⁵⁴⁾。しかし、労働災害について全国規模でまとめたデータベースは試行的なものを除き未だ存在しない。プライバシーや企業秘密など多くの制限事項があるにせよ、これらの問題を克服し、大規模労働災害データベース構築の努力が望まれる処である。鈴木⁵⁵⁾は、データベース構築に当たっては、データベースがトップマネジメントレベル、本支店・事業所レベル、作業単位レベル、作業員個人レベルに階層化され、かつ、各レベルでの安全活動におけるPDS (Plan- Do-See) サイクルの各々のステップで要求される情報を手際よく提供するとともに、活動サイクルを効率的に回転させるものであることが必要であると述べ、そのための開発プロセス手順を示している。

(2) 災害情報解析に関する研究

データベース化された災害情報を利用して、災害の統計的特性、構造分析、災害発生プロセス等の分析

を行い、災害発生の予測および安全性の評価を行う。

例えば鈴木⁵⁶⁾は、ある年の建設工事死亡災害(807件)の発生状況を記述したテキスト資料をデータベース化したのち、記録資料に用いられているキーワードを分析した結果、1) キーワードの出現頻度がジップの法則(またはブラッドフォードの法則)に従うこと、2) 少数の高頻度キーワード(上位3%, 293種類)が約半数の事例に用いられ、これらのキーワードで災害種別を高い確率で弁別できることなどを明らかにしている。

これらの知見は、効率的に災害事例検索を行う際や、限られたスペースでいかに効率よく災害情報を記述すべきかに当たって有益な示唆を与えている。

(3) 安全管理システムの高度化に関する研究

災害情報解析で得られた結果をもとに、災害防止および被害抑制のための安全教育支援プログラムや安全管理支援エキスパートシステムの開発を図る。

例えば、災害の要因、原因(Cause)が、どのような過程を経て結果(Accident consequence)に至ったかを記述する災害シナリオをいくつかパターン化することにより、FMEA分析やFTA分析の基礎資料としたり、あるいは、災害シナリオのどの部分を制御、管理すれば発生防止や被害防止に効果的につながるかを明らかにすることなどが考えられる。これらの災害データベースや分析システムを個々の事業所で保有することは困難と思われるので、本社、支店あるいは第三者機関などのシステムとコンピュータネットワークで結び、適宜必要とする情報を入力できるシステムの構築が期待される。

(平成6年5月9日受理)

参考文献

- 1) ジョン・グラント, 死亡表に関する自然的及び政治的諸観察, (久留間鮫造訳, 高野岩三郎校閲, 大原社会問題研究所編, 統計学古典選集 第三巻), (1941), 109~114, 栗田書店.
- 2) M. Greenwood and H.M. Wood, The Incidence of Industrial Accidents upon Individuals with Special Reference to Multiple Accidents, In: W. Haddon Jr., E.A. Suchman and D.A. Klein, Accident Research, (1964), 389~396, Harper and Row, New York, (Reprinted from Report No. 4 1919, Industrial Fatigue Research Board, Medical Research Committee, Great Britain).
- 3) M. Greenwood and G.U. Yule, An Inquiry into the Nature of Frequency Distributions Representative of Multiple Happenings with Particular References to the Occurrence of Multiple Attacks of Disease or of Repeated Accidents, J. of Roy. Statis. Soc., Vol. 83, (1920), 255~279.
- 4) E.M. Newbold, A Contribution to the Study of the Human Factor in the Causation of Accident, In: W. Haddon Jr., et al, Accident Research, (1964), 398~410, Harper and Row, New York, (Reprinted from Report No. 34, 1926, Industrial Fatigue Research Board, Medical Research Committee, Great Britain).
- 5) E.M. Newbold, Practical Applications of the Statistics of Repeated Events Particularly to Industrial Accidents, J. Roy. Stat. Soc., Vol. 90, (1927), 487~547.
- 6) E. Farmer and E.G. Chamber, A Psychological Study of Individual Differences in Accident Rates, Medical Research Council, Industrial Fatigue Research Board, Report No. 38, (1926).
- 7) E. Farmer and E.G. Chamber, A Study of Accident Proneness among Motor Drivers, In: W. Haddon Jr., et al, Accident Research, (1964), 411~417, Harper and Row New York, (Reprinted from Report No. 84, 1939, Industrial Health Research Board, Medical Research Council, Great Britain).
- 8) C.S. Slocombe and E.E. Brakeman, Psychological Tests and Accident Proneness, Brit. J. of Psychol., Vol. 21, (1930), 29~38.
- 9) 桐原葆見, 上野義雄, 産業安全, 労働基準全書 第3巻, (1948), 301~310, 東洋書館.
- 10) 青島賢司: 安全管理者のための安全管理学, (1973), 68~76, オーム社.
- 11) A. Mintz and M.L. Blum, A Re-examination of the Accident Proneness Concept, J. of Applied Psychology, Vol. 33, No. 3, (1949), 195~211.
- 12) F.J. Anscombe, Sampling Theory of the

- Negative Binomial and Logarithmic Series Distributions, *Biometrika*, Vol. 37, (1950), 358~382.
- 13) 増山元三郎, 少数例のまとめ方 II, (1976), 590~595, 竹内書店新社.
- 14) 印東太郎, 確率および統計, (1967), 104~113, コロナ社.
- 15) J.O. Irwin, Discussion on Chamber and Yule's Paper, *J. Roy. Statis. Soc.*, Vol. 7, (1941), 101~109.
- 16) J.S. Maritz, On the Validity of Inferences drawn from the Fitting of Poisson and Negative Binomial Distributions to Observed Accident Data, *Psych. Bull.*, Vol. 47, (1950), 434~443.
- 17) A.G. Arbous and J.E. Kerrich, Accident Statistics and the Concept of Accident Prone-ness, *Biometrics*, Vol. 7, (1951), 340~432.
- 18) A.G. Arbous and H.S. Sichel, New Techniques for the Analysis of Absenteeism Data, *Biometrika*, Vol. 41, (1954), 77~90.
- 19) A.M. Adelstein, Accident Prone-ness, A Criticism of the Concept Based upon an Analysis of Shunters' Accidents, *J. of Roy. Statis. Soc.*, Series A, Vol. 115, (1952), 354~410.
- 20) P. Froggatt and J.A. Smiley, The Concept of Accident Prone-ness, A Review, *Brit. J. Industr. Med.*, Vol. 21, (1964), 1~12.
- 21) W.L. Cresswell and P. Froggatt, Accident Prone-ness, or Variable Accident Tendency ?, *J. Stat. Soc. Inq. Soc. Ireland*, Vol. 20, No. 5, (1962), 152~171.
- 22) J. Neyman, On a New Class of "Contagious" Distributions Applicable in Entomology and Bacteriology, *Ann. Math. Statist.*, Vol. 10, (1939), 35~57.
- 23) C.D. Kemp, On a Contagious Distribution Suggested for Accident Data, *Biometrics*, Vol. 23, (1967), 241~255.
- 24) P. Froggatt, One-day Absence in Industry, *J. Stat. Soc. Inq. Soc. Ireland*, Vol. 21, (1965), 166~178.
- 25) P. Froggatt, M.Y. Dudgeon and J.D. Merrett, Consultations in General Practice Analysis of Individual Frequencies, *Brit. J. Prev. Soc. Med.*, Vol. 23, (1969), 1~11.
- 26) J.O. Irwin, The Personal Factor in Accidents, *J. of Roy. Statis. Soc.*, Vol. 127, (1964), 438~451.
- 27) C.D. Kemp, "Accident Prone-ness" and Discrete Distribution Theory, *Random Counts in Scientific Work*, Vol. 2, (1970), 41~64, Penn. State Univ. Press.
- 28) J. Surry, Industrial Accident Research, A Human Engineering Appraisal, (1971), 154~169, Labour Safety Council, Ontario Ministry of Labour.
- 29) A.D. Swain, The Human Element in Systems Safety, (1976), Industrial and Commercial Techniques LTD.
- 30) 若命鋭一, 産業災害の統計的研究, (1944), 東洋書館.
- 31) 花安繁郎, 我国における労働災害統計資料整備の変遷と災害指標の国際比較に関する調査研究, 労働省産業安全研究所研究報告, RIIS-RR-90-10, (1990), 101~113.
- 32) H.W. Heinrich, D. Peterson and N. Roos, Industrial Accident Prevention, (1980), 20~28, 60~66, McGraw-Hill.
- 33) 井上威恭監修, FTA 安全工学, 総合安全工学研究所編, (1981), 1~57, 日刊工業社.
- 34) 近藤太二, 災害分析における欠陥関連樹法の適用, 安全, No. 1, (1972), 22~27.
- 35) W.P. ロジャーズ (新田勝通訳), システム安全性工学入門, (1974), 1~5, 鹿島出版会.
- 36) 鈴木芳美, CTA を用いた災害分析法について, 労働省産業安全研究所技術資料, RIIS-TN-83-5, (1984).
- 37) W.G. Johnson, MORT Safety Assurance Systems, National Safety Council (USA), (1980), 23, Marcel Dekker, Inc.
- 38) R.J. Smillie and M.A. Ayoub, Accident Causation Theories: A Simulation Approach, *J. of Occupational Accidents*, Vol. 1, No. 1, (1976), 47~68.
- 39) Bird, Jr. F.E. and Germain, G.L., Damage Control, (1966), 11~66, American Management Association.

- 40) W.E. Vesely, Engineering Risk Analysis, In: P.F. Riccio, L.A. Sagan and C.G. Whipple, Technological Risk Assessment, (1984), 49~84, Martinus Nijhoff Publishers.
- 41) 泉太一郎, リスク評価に関する一考察(その1~その7), 損保企画, No. 331~339, (1987).
- 42) Briscoe, G.J., Risk Management Guide, SSDC-11, Energy Research and Development Administration, 76-45/11, (1977).
- 43) 中村林二郎, 安全性の一考察(I)(危険性), 安全工学, Vol. 20, No. 3, (1981), 120~126.
- 44) 斉藤玄人・大石邦雄・関根和喜, 災害事象生起のフラクタル的特性, 第19回安全工学シンポジウム講演予稿集, (1989), 75~78.
- 45) 花安繁郎, 災害発生時間による安全水準の評価について, 土木学会論文報告集, 第301号, (1980), 105~113.
- 46) 花安繁郎, 建設工事労働災害の被害強度・規模特性に関する統計分析, 土木学会論文集, 第462号/IV-18, (1993), 131~140.
- 47) 花安繁郎, 建設工事における労働安全問題, 日経コンストラクション, 第90号, (1993), 95~101.
- 48) 川崎健次・田坂隆一郎・安井英二, 土木工事における労働災害資料の統計的分析, 第8回安全工学シンポジウム講演予稿集, (1978), 5~8.
- 49) 花安繁郎・鈴木芳美・西本徳生, 工事中の労働安全性評価と対策, 労働災害(構造物のライフタイムリスクの評価, 第5章), (1988), 144~180, 土木学会.
- 50) 前田幸雄, 構造信頼性とヒューマン・エラー, 第14回安全工学シンポジウム講演集, (1984), 43~48.
- 51) 山本正明, 構造物の安全性とヒューマンエラー, 土木学会論文集, 第355/VI-2, (1985), 134~139.
- 52) 鈴木基行・高橋美昭・尾坂芳夫, RC構造の安全性に及ぼす人為的過誤の影響, 土木学会論文集, No 451/V-17, (1992), 159~168.
- 53) 産業安全研究所, 産業災害情報データベースに関する調査研究報告書, 産業安全技術情報データベース委員会, (1986).
- 54) 鈴木芳美・前田豊, 労働災害調査資料のデータベース化, 安全工学, Vol. 28, No. 4, (1989), 239~243.
- 55) 鈴木芳美:安全のためのデータベース(安全活動に役立つデータベースを), 安全, Vol. 41, No. 5, (1990), 8~13.
- 56) 鈴木芳美, 建設工事労働災害に関するテキスト情報の解析, 労働省産業安全研究所研究報告, RIIS-RR-92-10, (1993), 103~116.