

災害リスクの発生頻度・被害規模の同時解析に関する研究

独立行政法人 産業安全研究所 正会員 花安 繁郎
横浜国立大学大学院工学研究院 関根 和喜, 笠井 尚哉

1. はじめに

本稿は、生産活動に伴って生ずるさまざまな産業災害（労働災害を含む）について、それらの発生頻度と被害規模・強度に着目し、リスク分析の立場から発生頻度・被害規模の同時分析を行い、そこでの特徴を明らかにするとともに、今後の産業災害（労働災害）リスクマネジメントのあり方について考察を試みたものである。

2. 被害規模を考慮した発生時間数分布

産業（労働）災害の発生頻度に関しては、これまでの多くの災害統計調査・分析結果から、ある期間での災害発生数の確率分布は近似的にポアソン分布で表現でき、また、発生した災害による被災者の人数や労働損失日数などの被害の大きさはパレート分布で記述できることが明らかにされている。そこで、これらの知見をもとに、災害による被害規模を考慮した発生頻度分布を以下の手順によって求めた。

一定期間中の災害発生数の確率分布がポアソン分布であることは、個々の労働災害事象が発生するまでの時間分布が指数分布であることと同じである。また、個々の災害事象が発生するまでの時間（間隔）分布が指数分布であるならば、複数件の災害が発生するまでの時間分布は、指数分布の和の分布であるガンマ分布に従うことが示される。指数及びガンマ分布の確率密度関数は以下の式で与えられる。

$$f_1(t) = \lambda \cdot \exp\{-\lambda t\} \quad (1)$$

$$f_k(T) = \frac{(\lambda T)^{k-1}}{(k-1)!} \lambda \cdot \exp\{-\lambda T\} \quad (2)$$

一方、ひとつの労働災害における被害規模（被災者数）の分布はパレート分布に従う。すると、ある労働災害が起こり、その（基準化した）被害が h 以上である確率は（上側確率分布関数）次式で与えられる。式中の n は分布のパラメータである。

$$R(h) = h^{-n} \quad (3)$$

従って、モデルとしては図1に示すように、時間軸上において、平均発生間隔が $1/\lambda$ （又は単位時間当たり平均発生数が λ の割合）で災害が発生し、かつ各災害の被害強度 n （被害分布のパラメータ）のパレート分布に従って被災者が発生している事象を考えればよいことになる。同図において、ある時点で k 人の負傷者を有した災害（以降 k 人災害と略称する）が発生し、次の k 人災害までの時間数を t_k と記すと、災害規模を考慮した発生時間数を求めることは、この t_k の分布を考えることと同じである。解析的には t_k の分布を以下の手順で求めることが出来る。

まず、ある災害が発生して、それが k 人災害である確率を r とする。また、同図に示される、災害が発生するそれぞれの事象を統計的試行と見なせば、ある k 人災害が起こったあと次の k 人災害が起こるまでの試行回数 x は、それぞれの試行が独立であることから、次の幾何分布に従うことが導かれる。

$$P(x) = r \cdot (1-r)^{x-1} \quad x = 1, 2, \dots \quad (4)$$

さらに、事象が発生するまでの時間分布は $x=1$ のときは(1)式の指数分布により、また $x \geq 2$ のときは(2)式のガンマ分布で与えられる。よって、 t_k の分布は、 k 人災害が起こるまでの試行回数 x の確率 $P(x)$ と、そのときの災害発生時間数分布の確率密度との積を求め、これを x について $1 \sim \infty$ まで合計すれば求めることが出来る。

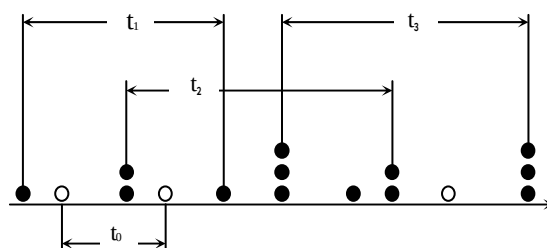


図1 被害規模を考慮した災害発生時間分布

Keywords：産業災害，リスク分析，発生頻度分布，被害規模分布

連絡先：〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6 TEL. 0424-91-4512, FAX 0424-91-784

$$\begin{aligned}
 g_k(t) &= \sum_{x=1}^{\infty} r(1-r)^{x-1} \times \frac{(\lambda t)^{x-1}}{(x-1)!} \lambda \cdot \exp\{-\lambda t\} \\
 &= \lambda r \exp(-\lambda t) \sum_{x=1}^{\infty} \frac{\{(1-r)\lambda t\}^{x-1}}{(x-1)!} \\
 &= \lambda r \exp(-\lambda t) \cdot \exp\{(1-r)\lambda t\} \\
 &= \lambda r \exp\{-\lambda r t\}
 \end{aligned} \quad (5)$$

$$E_k(t) = 1/(\lambda r), \quad V_k(t) = 1/(\lambda r)^2 \quad (6)$$

かくして、被害規模を考慮した災害発生時間数の分布は、事象全体の発生パラメータと被害規模の確率との積を新たなパラメータとした指数分布となることが示される。(5)式において全被害を対象とすれば、 $r=1$ となるので同式は(1)式と一致する。

同様に、災害の被害規模を考慮した発生頻度分布も、災害事象全体の発生パラメータと被害規模の確率との積を新たなパラメータとしたポアソン分布となることが示される。

3. 労働災害リスクの発生頻度・被害規模同時分析

前節の知見より、ポアソン分布の発生頻度パラメータを λ とし、また、基準化した被害規模 h の分布のパラメータを n とすると、一定期間(t)内における特定被害規模 h 以上の災害発生頻度分布は次のポアソン分布式となることが示される。

$$P(x) = \frac{(\lambda h^{-n} t)^x}{x!} \cdot \exp\{-\lambda h^{-n} t\} \quad (7)$$

$$E(X) = \lambda h^{-n} t \quad (8)$$

ここで重要なことは、災害そのものの発生頻度パラメータ λ と被害規模 h 以上の確率との積 λh^{-n} が、リスク分析の基礎である期待値 $E(X)$ を構成していると同時に、分布式全体のパラメータを構成していることである。すなわち、同式を用いて発生数(頻度)とその被害規模を考慮した災害分析を行い、災害対策の効果の評価するとき、災害そのものの発生防止に関する効果は発生頻度パラメータ λ で評価され、また被害低減の効果は被害規模パラメータ n で評価される。被害規模パラメータ n は大きくなるほど大規模災害となる確率が小さくなるので、 n が増加すれば被害低減効果があったことを示し、一方、発生頻度パラメータ λ は小さくなるほど災害の発生確率が少なくなるので、 λ が減少すれば発生防止に効果があ

ったことを示す。かくして、両パラメータの同時分析が、発生防止ならびに被害拡大防止に関する全体の効果を評価することとなる。

災害発生頻度とその被害規模との関係を調べるために、ここでは、例えば、 $t=1.0$ (単位期間)、 $\lambda h^{-n}=1.0$ 、 $h=2.0$ とする。すなわち、単位期間内に $h=2.0$ 以上の災害が平均して1回発生するポアソン過程を有するシステムを考える。同システムで単位期間内に災害が発生しない確率は $P(0)=0.368$ 、逆に1回以上発生する確率は0.632である。さてこのとき、当該システムの被害規模パラメータ n が3.0から4.0へ変化したとき、 $\lambda = h^n$ であるので λ は8.0から16.0となる。つまり、 n が3.0から4.0へ変化(改善)した場合には、仮に災害発生率が2倍になったとしても、 $h=2.0$ 以上の災害の起こり方はこれまでと同じになる。この逆もまた成立する。すなわち、災害発生率が16.0から8.0と1/2に改善された場合、被害規模パラメータが4.0から3.0へと変化しても全体としては同一リスク状態にある。

この関係は被害規模が大きい災害でも同様である。例えば $h=5.0$ 以上の災害について、 n を3.0から4.0へ改善することは、災害発生率 λ を625.0から125.0へと1/5減少させることと同値である。この関係を図2に示した。このように被害パラメータ n の変動と、発生頻度パラメータ λ の変化によって当該システムのリスクレベルが定まることとなる。

このように、災害に対するリスク低減方策として、災害発生防止の対策と被害低減の対策をどのようにバランスさせるかについて、発生頻度・被害規模同時分析は有効な情報を与える。

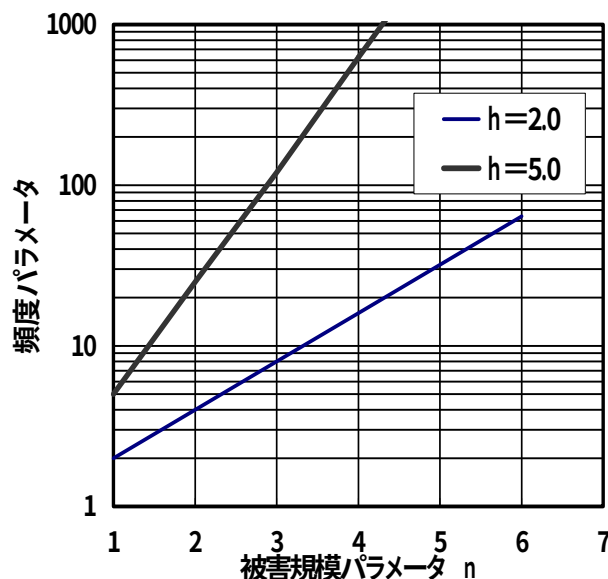


図2 頻度及び被害規模パラメータの関係