土木学会第44回年次学術講演会（平成元年10月）

Ⅵ-127　被害規模を考慮した労働災害の発生時間数の分布について

労働省産業安全研究所　正員　花安繁郎

1．まえがき

労働災害の発生状況を統計的に記述する指標には発生頻度に関する指標と，損失日数や被害規模などの災害強度に関する指標とに大別される。

筆者はこれまで，労働災害が発生する迄の時間数を用いて，災害頻度率が時間の経過と共に変動する過程を評価する方法について考察を加えてきた。

ところで，ひとつの労働災害といっても，そこで被災する労働者は１人のこともあれば，２人以上のこともある。ひとつの災害で３人以上が被災する災害は重大災害と呼ばれ，建設業ではこの重大災害が多いことや，また，技術の進歩とともに１件当りの被災者数が増大しつつあることが知られている。

筆者のこれまでの分析は，災害発生頻度率で示されるいわば量的な問題に注目したものであって，上述した災害強度などの災害の質に関する分析は行ってこなかった。

そこで，本研究では，労働災害における被害の規模（負傷者人数）を考慮した上での災害発生時間を求め，同時間数を用いた安全性評価法について考察を加えることとした。

2．労働災害被害規模を考慮した発生時間数分布

労働災害事象そのものの発生時間分布は，これまでの多くの災害事例の調査結果から，個々の労働災害が発生するまでの時間分布は指数分布に従い，また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明らかにされている。ガンマ分布の確率密度関数を以下に示す。

$$f_K(T)=\frac{(\lambda T)^{k-1}}{(k-1)!}\lambda\cdot\exp\{-\lambda T\} \qquad (1)$$

$$E_K(T)=k/\lambda,\quad V_K(T)=k/\lambda^2$$

また，ひとつの労働災害における被害規模（負傷者数）の分布は，ここでは簡単のためにポアソン分布に従うと仮定する。

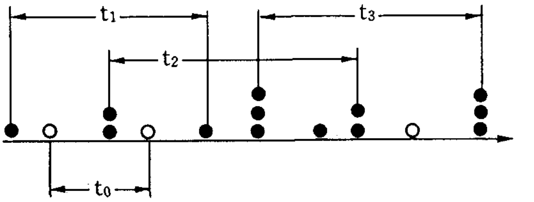
すると，モデルとしては，図－１に示すように，時間軸上において，平均発生間隔が $1/\lambda$（ or 単位時間当りの平均発生数が λ）の割合で災害が発生し，かつ各災害ごとに強度m（Magnitudeの意，分布のパラメータを与える）のポアソン分布に従って被災者が発生している事象を考えればよいこととなる。

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 と書くと，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。

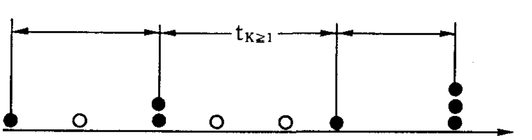
まず，ある災害が発生して，それがＫ人災害である確率を h_K とする。また，災害が発生することを統計的試行と見なせば，あるＫ人災害が起こった後次のＫ人災害が起こるまでの試行回数ｘは，それぞれの試行が独立であるから，

$$P_K(x)=h_K(1-h_K)^{x-1}\quad x=1,2,\cdots \qquad (2)$$

の幾何分布に従うことが導かれる。更に，事象が発生するまでの時間分布は，ｘ＝１のときは指数分布により，また $x\geqq 2$ のときは(1)式のガンマ分布で与えられる。従って，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 $P_K(x)$ と，そのときの時間数分布 $f_x(T)$ との積を求め，これをｘについて１～∞まで合計すれば求めることが出来る。



図－１　災害規模を考慮した発生時間の分布



図－２　負傷者１名以上の発生時間の分布

$$g_K(t)=\sum_{x=1}^{\infty} h_K(1-h_K)^{x-1} \times \frac{(\lambda t)^{x-1}}{(x-1)!}\lambda\cdot\exp\{-\lambda t\}$$

$$=\lambda h_K\exp\{-\lambda t\}\sum_{x=1}^{\infty}\frac{\{(1-h_K)\lambda t\}^{x-1}}{(x-1)!}$$

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

$$=\lambda h_K\exp\{-\lambda h_K t\} \qquad (3)$$

$$E_K(T)=1/(\lambda h_K),\quad V_K(T)=1/(\lambda h_K)^2$$

上式より，被害規模を考慮した災害発生時間数の分布は，基本的には指数分布となっていることがわかる。またK人災害である確率 h_Kは強度mのポアソン分布から$h_K=m^K/K!\cdot\exp\{-m\}$となるので，これを (3)式に代入すると，K人災害発生時間数分布の確率密度関数が次式で求められる。

$$g_K(t)=\lambda\frac{m^K}{K!}e^{-m}\cdot\exp\{-\frac{m^K}{K!}\lambda t e^{-m}\} \qquad (4)$$

従って，上式の対数分布関数（より正確には上側分布関数の逆数の対数）を求めると次式となる。

$$\ln\{1/G_K(t)\}=\frac{m^K}{K!}\lambda t\cdot\exp\{-m\} \qquad (5)$$

図－3には，災害の平均発生間隔$1/\lambda=5.0$，被害強度パラメータ$m=2.0$として，K人災害の発生時間数の対数分布関数を求めた結果（図中の実線）を示した。図中のK値は災害の被害規模を示す負傷者数を示している。

ところで，図－3にK＝0の直線が示されているが，これは被災者がなかった災害をさしている（図－1における○印）。つまり物損だけですんだ災害や，労働者の負傷には至らなかった軽微な災害などを対応づけて考えればよい。

しかし，一般に労働災害とは，”業務に起因して労働者が死傷し，疾病にかかり，または死亡すること”と定義されているので，ここでは，少なくとも1人以上の被災者があった災害の時間数$t_{K\geq1}$の分布を求め，これを一般でいう災害発生時間分布と考えることとする。（図－2参照）そのためには，被害規模が強度mのポアソン分布において，負傷者数が少なくとも1人以上である確率は $1-\exp\{-m\}$なのでこの値を(3)式に代入すると，$t_{K\geq1}$ の確率密度関数として次式が得られる。

$$g_{K\geq1}(t)=\lambda\{1-e^{-m}\}\cdot\exp\{-\lambda t(1-e^{-m})\} \qquad (6)$$

よって，同式の上側分布関数，対数上側分布関数は以下の式となる。

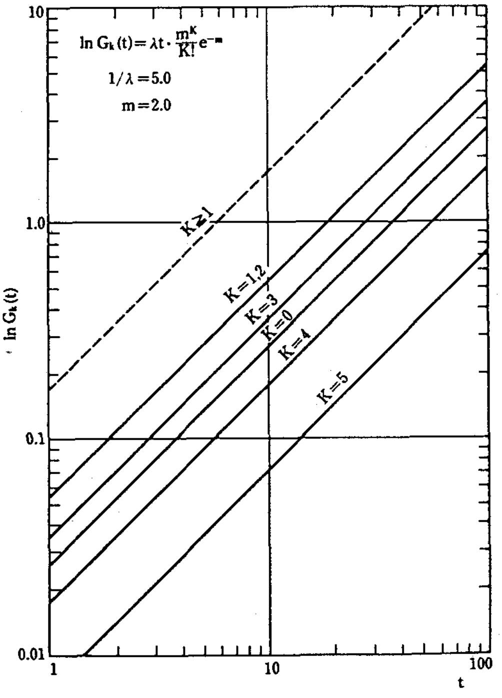
$$G_{K\geq1}(t)=\exp\{-\lambda t(1-e^{-m})\} \qquad (7)$$

$$\ln\{1/G_{K\geq1}(t)\}=\lambda t\{1-e^{-m}\} \qquad (8)$$

図－3において，$\lambda=1/5.0$，$m=2.0$ のときの$t_{K\geq1}$の分布の対数分布式を破線によって示した。

3．むすび

以上の考察から，災害事象そのものがランダムに発生していれば，災害規模を考慮した発生時間分布は，分布のパラメータ値が災害規模の発生確率に応じて変動はするものの，基本的には指数分布に従うことが明らかにされた。また，災害規模をここではポアソン分布としたが，他の非負の連続分布関数を仮定しても，この性質は失われない。これらのことより，これまで行ってきた発生時間数による安全性の評価法を，災害規模を含めた分析にも利用でき，災害発生頻度と災害強度とを同時に分析することが可能であることを明らかにすることが出来た。



図－3　災害規模を考慮した発生時間の分布