Ⅳ－203　　災害発生間隔による安全水準の評価法

労働省産業安全研究所　正会員　○花安　繁郎
〃　　　〃　　堀井　宣幸

1・はしがき

建設業が、毎年全労働災害の3割、特に死亡災害では4割もの多くを発生しており、また度数率，強度率など、災害に関するどの指標も高い値を示しており、災害危険性の高い産業であることは良く知られている通りである。これは建設業が他の産業に較べて、その生産様式、作業環境、雇用形態などが大きく異なっている他、安全管理に就いても、それぞれの工事における現場環境の独自性に依存せざるを得ない部分が多く、統一的な安全管理を行なうことが困難であることも影響している為と思われる。従って、安全管理の効果の評価に就いても、現在の所、災害度数率、災害強度率による評価以外有効な方法は確立されていない。本報は、災害発生間隔（時間）の分布を用いて、安全水準乃至は災害危険性の評価を行なうことと、その利点に就いて論じたものである。

2・災害発生間隔の分布式

実際に発生した災害に就いて、その発生間隔の分布が多数調査、報告された例は余り見当らない。そこで何らかの形でこれを推定しなければならないが、ここでは問題を簡単にする為に、災害はその発生確率がどの時間帯も等しく、かつ相互に独立して発生するランダムな事象であると仮定する。この仮定の下では、災害のように比較的稀に生起する事象の一定期間中の発生数の分布はポアソン分布に従い、また発生間隔の分布は指数分布となることが知られている。またポアソン分布と指数分布は、同一事象を発生数から見た場合と、発生間隔から見た場合とに観点を変えて記述したものであるから、或る事象が一方を満足しておれば、他方の分布式も同様に満足していることも知られている。　そこで、実際の災害がポアソン分布、或いは指数分布を満足しているかどうかを調べる訳であるが、ここでは一例として、昭和48年中に東京労働基準局管内で発生した死亡災害（343件）の、一日当りの発生数の分布を調べてみると図-1（棒グラフは実測値、実線はポアソン分布式によるあてはめ）の通りであった。同図より、建設業、非建設業、或いは全産業のいずれの場合もポアソン分布が旨く適合していることが示されている。従って、死亡災害と云う少数例ではあるが、災害の発生がランダムである仮定は、一応妥当な仮定であると考えて差し支えないと思われ、以降災害発生間隔の分布を指数分布として取扱うこととする。扨て、個々の災害が発生する迄の時間（発生間隔）の分布である指数分布の確率密度関数の一般式は(1)式で示されるが、これをもとに更に複数個の災害が発生する迄の時間の分布を考える。或る時点を基準にしてk番目の災害が発生する時間の分布は、k番目迄の災害のそれぞれの発生間隔を$t_1, t_2, \cdots t_k$とすると、これらの和である

$f_1(t)=\lambda e^{-\lambda t}$ ……(1)　　$E(t)=\frac{1}{\lambda}$

T_k（$T_k=t_1+t_2+\cdots+t_k$）の分布、即ちk個の指数分布の和の分布を考えればよい。そこで(1)式を$(k-1)$回たたみ込みを行なうと、

$$f_k(T)=\frac{(\lambda T)^{k-1}}{(k-1)!}\lambda e^{-\lambda T} \cdots\cdots (2)$$

がk番目災害発生時間分布の確率密度関数として得られる。同分布式は、一般にガンマ分布と呼ばれており、$k=1$とおくと指数分布である(1)式となることが分かる。

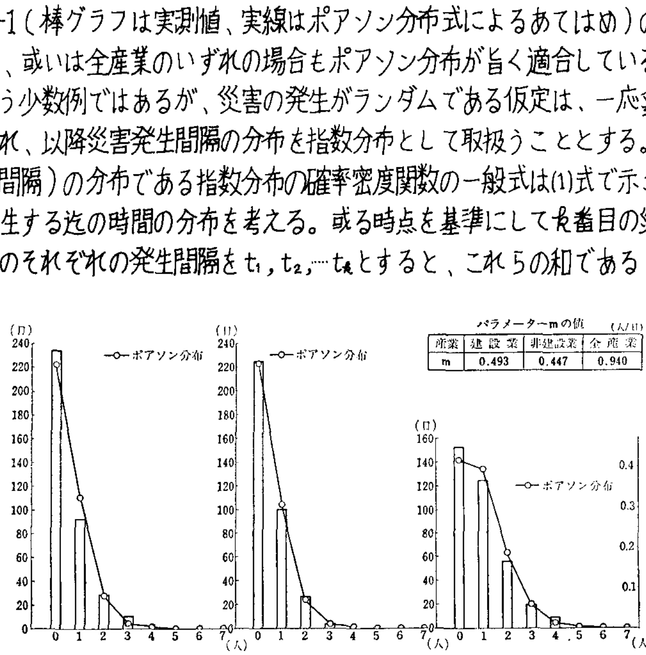

図1-a　建設業死亡災害　　図1-b　非建設業死亡災害　　図1-c　全産業死亡災害

図-1　昭和48年東京都死亡災害　1日当りの発生数の分布

3・災害発生時間による安全水準の評価

個々の災害、或いは複数個の災害が発生する時間の分布が(1),(2)式で与えられているので、これらの式を積分すれば、任意の時間内で災害が発生する、或いは発生しない確率を求めることが出来る。ところで、(1),(2)式は災害率λの関数となっているが、この値をいかに推定するかが、確率分布を計算する上で重要となってくる。ここでは、災害度数率を用いてλを次のように推定した。まず度数率とは、100万労働時間当りの災害発生数で示される災害発生頻度指標であり、一方(1)式よりλは平均災害発生（間隔）時間の逆数であるので、λと度数率(A)とは(3)式の如く関係づけられる。

$$\lambda=\frac{A}{100} \quad \cdots\cdots (3)$$

A：災害度数率（単位：1/万時間）

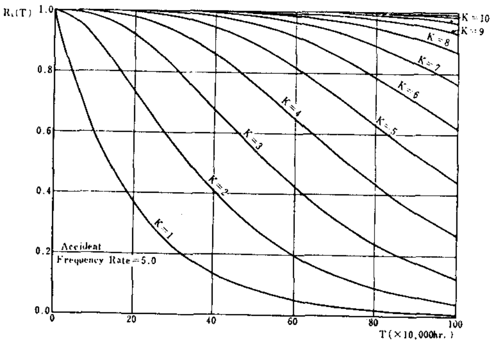

図-2　ガンマ分布（上側）分布関数

同式を(1),(2)式に代入し積分すると以下の式を得る。

$$F_1(t)=\int_0^t f_1(t)dt=1-e^{-\frac{A}{100}t} \cdots\cdots (4) \quad R_1(t)=1-F_1(t)=e^{-\frac{A}{100}t} \cdots\cdots (5)$$

$$F_k(t)=\int_0^T f_k(T)dT=1-\sum_{i=0}^{k-1}\frac{\left(\frac{A\cdot T}{100}\right)^i}{i!}e^{-\frac{A\cdot T}{100}} \cdots (6) \quad R_k(T)=1-F_k(T)=\sum_{i=0}^{k-1}\frac{\left(\frac{A\cdot T}{100}\right)^i}{i!}e^{-\frac{A\cdot T}{100}} \cdots\cdots (7)$$

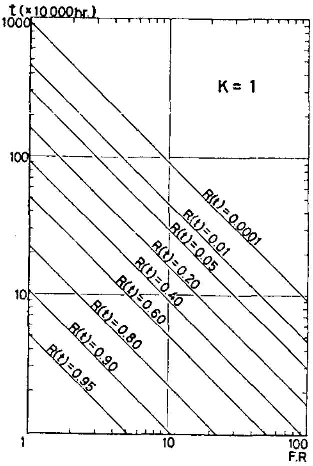

図-3　$R_1(t)$~AFR~tの関係

従って、事業所などの度数率が分かれば、(4),(6)式により任意の災害件数が或る時間迄に発生する確率を、或いは(5),(7)式により発生時間が或る時間以上である確率を、それぞれ求めることが出来る。特に、（任意の）災害が或る特定時間内で発生しなかったことの評価には、(5),(7)式が有効と思われる。図-2には度数率A=5.0，災害件数K=1~10 の時の(7)式による計算結果を示した。また図-3は、或る時間災害発生の無い、いわゆる無災害である確率$R_1(t)$の具体的数値に対するAとtの関係を示したもので、同図より度数率に応じた無災害目標時間の設定が出来る。また災害件数，度数率，発生時間，およびその時の確率値の関係を求めることにより、元の度数率の変化の有意差検定を行なうことが出来る。例えば危険率10%として、度数率と発生時間との関係をK=1~10迄調べたのが図-4（下側5%），図-5（上側5%）である。同図より、災害件数毎の発生時間が図-4の直線よりも下側、或いは図-5の直線より上側であるかを知ることにより、度数率の変動が有意であるかどうか検証出来る。

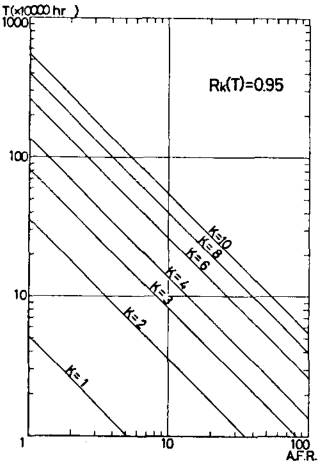

図-4 AFR~T曲線（下側5%）

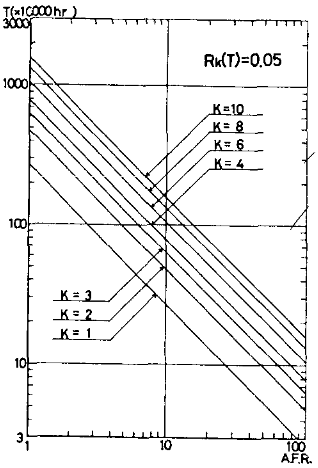

図-5 AFR~T曲線（上側5%）

4・むすび

以上、災害発生時間の分布とその評価法に就いて述べたが、従来の度数率による安全水準の評価が、或る期間の災害数を集計して基準労働量に換算しなければならないのに対し、発生時間数による評価は、どの時点でもその評価が可能である他、特に災害発生時間数とその確率値によって、度数率の変化の有意差検定が行なえるなど、日常的な安全管理の指標として有効と思われる。尚度数率の変動に関する推定問題は次の機会に発表したい。