土木学会第45回年次学術講演会（平成２年９月）

Ⅵ-45 災害発生頻度率の変動を考慮した労働災害発生数の分布について

労働省産業安全研究所　正員　花安繁郎

１．まえがき

事業所での労働災害発生危険性を評価する方法のひとつとして，ある期間で発生した災害数を分析する方法がある。そしてこの分析では，一定期間中の労働災害発生数の確率分布式としてポアソン分布が用いられることが多い。

周知のように，ポアソン分布では，災害は相互に独立に発生し，かつ単位時間当りの発生数（災害発生頻度率）は一定であると仮定している。

ところが，災害発生頻度率は時間的，空間的に一定した値であるよりも，むしろ常に変動し，ばらつきを有して出現する値と考えた方が，合理的なことが多い。例えば，建設工事では，一般に，作業環境や作業形態のそれぞれ異なった工程の連続的な過程を通してひとつの製品が完成されてゆく。従って，工事の進捗に応じて，労働災害発生危険性も同時に変動してゆくことは十分予想されることである。

そこで本研究では，災害発生頻度率がある確率分布に従って変動する場合を想定して，そのときの労働災害発生数の確率分布式を求め，実際の災害事例を用いて同分布式を検証することを試みた。本稿はそれらの検討結果をまとめたものである。

２．災害発生率の変動を考慮した災害発生数分布

単位期間での災害発生数を災害発生頻度率λと定義すると，期間 t における災害発生数の確率分布式ポアソン分布は次式で示される。

$$P(x) = \frac{(\lambda t)^x}{x!} \cdot \exp\{-\lambda t\} \qquad (1)$$

上式でのλは一定値であることを仮定しているが，実際には前述した通り，さまざまな要因によって変動を伴って出現する値と考えた方が合理的と思われることが多い。そこでこのλ自身も確率変数と見なし，ある確率分布のもとで変動することを想定して発生数の確率分布を求め，同式を用いて確率・統計的な評価を行うこととした。

この災害発生頻度率の分布にどの様な確率分布を想定すべきかについては，現在のところ定まった説はないが，これまでの研究ではガンマ分布を利用することが多いようである。従って，ここでも，災害発生頻度率の分布にはガンマ分布を仮定して以降の論議を進めることとした。

まず，災害発生率λの分布を次式と仮定する。

$$h(\lambda) = \frac{(c\lambda)^{k-1}}{\Gamma(k)} c \cdot \exp\{-c\lambda\} \qquad (2)$$

するとλを固定したときの災害発生数の分布は (1)式で与えられているので，同式と (2)式を複合化すれば災害発生数分布の確率関数および分布の期待値 E(X)，分散 V(X)がそれぞれ次式で得られる。

$$P(x) = \int_0^\infty \frac{(\lambda t)^x}{x!} \cdot \exp\{-\lambda t\} \cdot h(\lambda) d\lambda$$

$$= \frac{c^k t^x}{x!} \cdot \int_0^\infty \frac{\lambda^{x+k-1}}{\Gamma(k)} \cdot \exp\{-(c+t)\lambda\} d\lambda$$

$$= \frac{\Gamma(x+K)}{\Gamma(k)} \frac{1}{x!} \left(\frac{c}{c+t}\right)^k \left(\frac{t}{c+t}\right)^x$$

$$= \binom{x+K-1}{x} \left(\frac{c}{c+t}\right)^k \left(\frac{t}{c+t}\right)^x \qquad (3)$$

$$E(X) = \frac{Kt}{c}, \quad V(X) = \frac{Kt}{c}\left(\frac{c+t}{c}\right) \qquad (4)$$

上式は一般に負の二項分布と呼ばれる確率分布式である。かくして，分布のパラメーター c，k を得ることが出来れば，同式を用いて任意の発生件数の確率分布を求めることが出来る。

また(3)式のパラメーター c，k を推定するには，モーメント法によれば，データ平均をM，データ分散をSとすると，(4)式を用いて c，k が以下のように推定できる。

$$c = \frac{M}{S-M}, \quad k = \frac{M^2}{S-M} \qquad (5)$$

以上の分析結果を実際に発生した労働災害の事例

に適用した例として，図－１には，山陽新幹線トンネル建設工事（広島・山口県内）で発生した労働災害について，１カ月当りの災害発生件数の分布を調べた結果を示した。同図には(3)式による負の二項分布(N.B.と略記)に加えて,(1)式によるポアソン分布(Poisson)も併せて記した。同様に,山陽新幹線工事に引き続いて行れた上越新幹線建設工事でのトンネル建設工事における労働災害発生数の分布を図－２に示した。これらの図より，両トンネル建設工事での災害発生数の分布は，ポアソン分布よりも負の二項分布の方がうまく適合していることがわかる。

また，これらのトンネル建設工事災害を負の二項分布で表現した場合の分布のパラメーターｃ，ｋは(5)式によって求められるが，この値を用いて(2)式によって各プロジェクトによる労働災害の発生頻度率の確率分布式を求めた結果が図－３である。同図から，それぞれのプロジェクトにおける労働災害発生率は，その平均値が上越新幹線トンネル工事災害＝0.47人／月，山陽新幹線トンネル工事災害＝0.84人／月となっているが，全体では図に示されたような分布となっていると考えた方が実情に近いようである。例えば山陽新幹線トンネル建設（広島・山口県内）工事は，1970年～1974年の５年間，延べ月数2157カ月もの長期間にわたって施工され，総数1812件の労働災害が発生したが，その間の各月の災害発生率は一定ではなく，工事の進行に応じて変動し，全体としては図に示された分布のもとで災害が発生したと考えられる。

また重大災害を初めとする他の災害事例でも，発生数分布の多くが，ポアソン分布や負の二項分布に適合することが示された。（図略）

３．まとめ

以上本報告では，労働災害発生頻度率が確率分布に従って変動する場合を想定し，災害発生数の分布と災害発生率の分布とを複合化することにより労働災害発生数の確率分布式を求め，実際の災害事例を用いてこれらの式の妥当性について検討を加えた。それらの結果をまとめると以下のようである。

（１） 一定期間中における災害発生数の分析結果から，多くの災害が，単独に負の二項分布に，あるいは負の二項分布とポアソン分布とに同時に適合していることを示した。とくに単独の分布としては，ポアソン分布よりも，むしろ負の二項分布の方が災害事例をうまく表現している場合が多いことを明らかにした。

（２） このことより，多くの災害現象は，災害事象そのものはランダムに発生するが，その単位時間当りの災害発生数（災害発生頻度率）はある確率分布（具体的にはガンマ分布）に従って生ずる，いわゆる複合過程のもとで災害が起こっていることを明らかにした。

（３） 災害事例が数多くあれば，災害データを利用して，負の二項分布やポアソン分布のパラメーターである災害発生頻度率の分布を推定し，これらを用いて災害発生数の確率分布式を規定することが出来ることを示した。

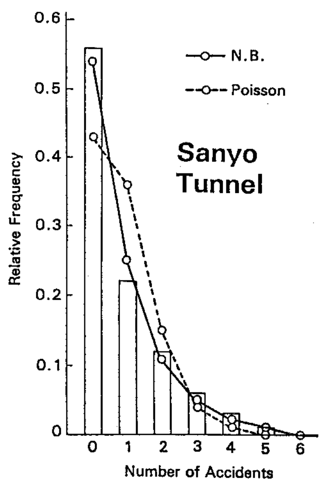

図１　山陽トンネル災害分布

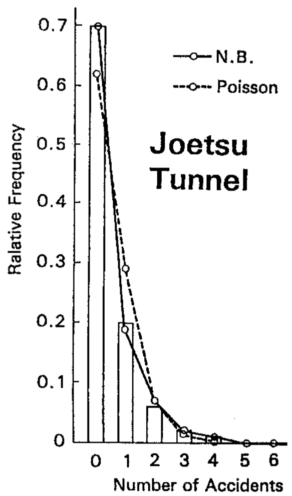

図２　上越トンネル災害分布

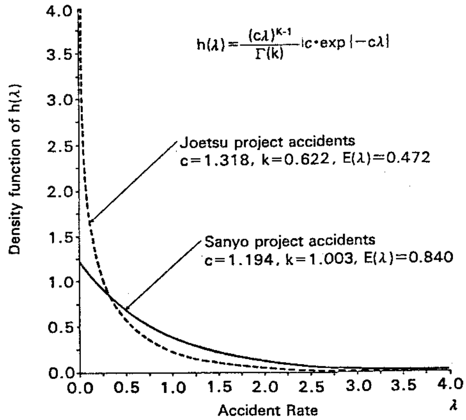

図３　災害発生率確率分布