土木学会第51回年次学術講演会（平成８年９月）

Ⅵ-16　労働災害による被害規模の予測分布について

労働省産業安全研究所　正会員　花安繁郎

１．まえがき

両対数紙上において，災害による被害規模を横軸にとり，ある被害規模を越える災害の頻度または超過確率を縦軸に描いた曲線を被害規模曲線あるいはリスクカーブと呼んでいる。リスクカーブは，災害による被害の確率分布を求めたり，特定被害規模災害の平均発生間隔を求めたりするなど，リスク分析を行ううえで重要な役割を果たしている。リスクカーブは，また，被害規模とその被害をもたらす災害の発生頻度との関係を示しており，とくにその傾きの絶対値はフラクタル理論におけるフラクタル次元を表わし，この値が大きいほど大規模災害が起こりにくいことから，リスクカーブの傾き（フラクタル次元）をシステムの安全性を一元的に評価する尺度として利用できると言われている。

労働災害，とくに一度に３人以上が被災する重大災害の被害規模（災害による被災者数）についてリスクカーブを求めてみると，両対数紙上でほぼ直線となることがこれまでの分析から明らかにされている。このことより，労働災害による被害規模の確率分布は，べき乗関数の分布（統計学上ではパレート分布と呼ばれる）で表現される。前述のフラクタル次元であるリスクカーブの傾きは，パレート分布のパラメータとして記述される。

被害規模がパレート分布に従うならば，若干の計算によって，単位期間（例えば年）に平均１回発生する災害による被害の大きさを１とすると，分布のパラメータ n=1.5 を有するシステムでは，3.3 年に１回被害規模が 10 倍の災害が起こり，10 年に１回 100 倍の災害，33 年に１回 1000 倍の災害が起こることが被害予測として示される。もし同システムのパラメータが n=2.0 に変化したとき，10 年に１回 10 倍，50 年に１回 50 倍の被害規模の災害の発生が予測される。このように n の値の変化が，災害発生および被害予測並びにシステムの安全性の構造変化に関する評価に大きく影響するので，被害規模分布のパラメータを正確に推定することは極めて重要な問題である。

本研究は，リスクカーブを用いて災害による被害規模分布のパラメータを推定する方法について検討を加え，最終的にはパラメータの推定を必要とせず，データのみで被害規模分布を求める，いわゆる被害予測分布を導出することを試みたものである。

２．被害規模分布のパラメータ推定と被害予測分布の導出

災害による被害規模分布は次のパレート分布で示される。

$$P(r) = r^{1-n} \qquad P(r)：\text{基準化した被害規模}\ r\ \text{の超過確率} \qquad n：\text{分布のパラメータ}$$

データを用いて上記確率分布式のパラメータ n を推定する方法には，最小自乗法，モーメント法，最尤法，ベイズ方式などさまざまな手法がある。ここではベイズ方式による推定を行った。ベイズ方式とは，ベイズの定理を用いてパラメータを推定する方法であり，パラメータが分布で与えられることおよびデータの数が増えるに従って推定の確信度が増す（分布の分散が小さくなる）ことに特徴がある。

ベイズの定理を用いて，被害規模がパレート分布のときのパラメータを求めてみると，N 個の観測値が得られたとき，事後分布として次式で与えられる。

$$g(n) = \frac{(n-1)^N}{N!}\{\ln(\prod_{i=1}^{N} r_i)\}^{N+1} \cdot (\prod_{i=1}^{N} r_i)^{1-n} \qquad r_i：i\ \text{番目災害の基準化被害規模} \qquad i = 1,\cdots,N$$

このようにベイズの定理によってパラメータが確率分布として与えられるので，元のパレート分布による被害規模分布（確率密度関数）とベイズの定理より求めたパラメータの分布とを掛け，nの全領域にわたって積分すれば，パラメータを含まない，データ（観測値）のみで被害規模分布が表現されるいわゆる予測分布を求めることができる。予測分布の確率密度関数は次式で与えられる。かくして，観測値のみで被害規模の分布および特定被害規模の確率を求めることができる。

$$f(r)=\int_1^{\infty}(n-1)r^{-n}\cdot g(n)dn=\frac{(N+1)}{r}\cdot\frac{\{\ln(\prod_{i=1}^{N}r_i)\}^{N+1}}{\{\ln(r\cdot\prod_{i=1}^{N}r_i)\}^{N+2}}\qquad 1\le r<\infty$$

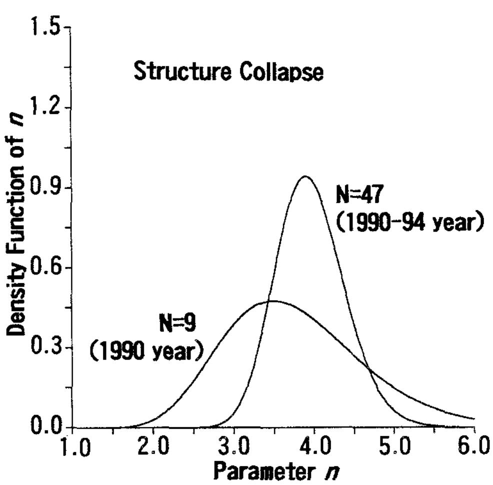
上式は確率密度関数なので，確率値を計算するためには確率分布関数を求めなければならないが，確率分布関数を陽な関数式として求めることは難しく，実際には数値積分によらなければならない。被害規模のデータ $r_i(i=1,\cdots,N)$ が与えられたとき，予測分布による被害の確率値は次式で与えられる。

$$P(R\ge r)=\int_r^{\infty}\frac{(N+1)}{r}\cdot\frac{\{\ln(\prod_{i=1}^{N}r_i)\}^{N+1}}{\{\ln(r\cdot\prod_{i=1}^{N}r_i)\}^{N+2}}dr$$

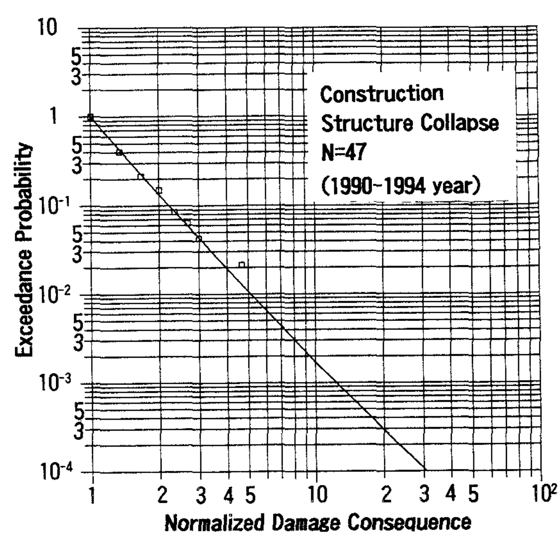
$P(r)$：予測分布による被害規模rの超過確率

実際に発生した労働災害のデータを用いて計算を行った事例として，図－１には，建設工事で発生した構造物倒壊災害について，1990年（1年，N=9件）と1990~1994年（5年，N=47件）の場合についてパラメータnの分布を示した。同図より，1年だけのデータを用いて推定した分布よりも，5年間のデータを用いて推定した分布の方が分散は小さくなっており，観測値の数が多くなるに従って推定の精度が上がっていることが了解される。

また5年間のデータによるパラメータの分布を用いて，元の分布と複合化して予測分布を求め，導出した分布式を用いてリスクカーブを描き，実際の災害による被害規模をプロットしたのが図－2である。同図より，実際のデータと良い適合結果となっていることが分かる。従って，同図や導出した予測分布を用いて，特定の被害規模の確率値を求めたり，特定被害規模災害の平均災害発生間隔を計算することが可能であり，被害規模に応じた災害予測，推定を行うことができる。



図－１　パラメータの確率分布の推定



図－２　予測分布によるリスクカーブ