

予測分布に基づく災害危険性の評価に関する研究

横浜国立大学 安心・安全の科学研究教育センター 正会員 花安 繁郎, 関根 和喜
独立行政法人 労働安全衛生総合研究所 正会員 大嶋 勝利

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について、その被害規模に関する実データを基に被害規模を考慮した災害の危険性を評価する確率分布を導出し、同分布を用いて産業災害リスク評価を行う手法について考察を加えたものである。

2. 被災規模の分布

産業災害による被害規模の大きさの発生分布に関して、ここでは基準化した被害規模を r と記し、その確率密度関数および上側確率分布関数が次式のパレート分布で示されると仮定する。

$$p(r) = n \cdot r^{-n-1} \quad (1)$$

$$R(r) = r^{-n} \quad (2)$$

式中の n は上記確率分布式のパラメータである。

被害規模が上式で記述できるならば、特定被害規模の大きさとその値を超える災害発生数の確率（超過確率）との関係は両対数紙上の直線として示される。被害規模と超過発生頻度との関係をグラフ化して示された直線はしばしばリスク曲線と呼ばれる。

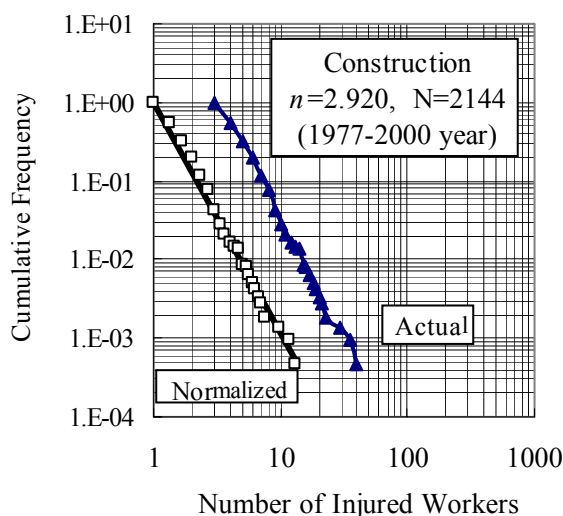


図1 被害規模と超過発生頻度との関係

図1は、1977年～2000年の24年間に我が国の建設工事で発生した重大災害（一度に三人以上の受傷者を含んだ労働災害）について、災害による被害規模（一件の重大災害による受傷者数）とその被害規模以上の災害発生数との関係を両対数紙上で整理したいわゆるリスク曲線を示したものである。同図から建設工事における労働災害による被災者数の規模分布が両対数紙上の直線として示されており、被害規模がパレート分布で記述されることが分かる。同図は建設工事による労働災害の分析事例であるが、他の業種の労働災害や労働災害以外のさまざまな災害についても、被害規模とその超過発生頻度との関係が両対数紙上の直線として示されることが明らかにされている。

3. 被害規模分布のパラメータ推定

産業災害による個々の被害規模の分布がパレート分布としてその確率密度関数が(1)式で示され、また同分布のパラメータが n で与えられている。同分布パラメータ n はリスク曲線の傾きを表しており、被害規模の推定や特定被害規模の災害の平均発生間隔（再現期間）の推定に重要な役割を果たしている。また、異なったシステムや災害間での災害被害規模特性の比較を行うことが可能であり、システムの安全性の評価の指標として応用も可能である。

このように災害危険性評価で重要な役割を果たしているパラメータを推定することは重要である。データからパラメータを推定する統計的手法には、モーメント法、最尤法、最小自乗法、ベイズ法等がある。ここでは被害規模データが $r_i (i=1, \dots, N)$ として得られたとき、ベイズ法によりパラメータ n を事後分布として求めると以下の分布式となる。

$$f(n|r_1, \dots, r_N) = \frac{n^N}{N!} \left\{ \ln \left(\prod_{i=1}^N r_i \right) \right\}^{N+1} \left(\prod_{i=1}^N r_i \right)^{-n} \quad (3)$$

Keywords：産業災害，リスク分析，被害規模分布，予測分布

連絡先：〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 TEL. 045-339-3778, FAX. 045-339-4294

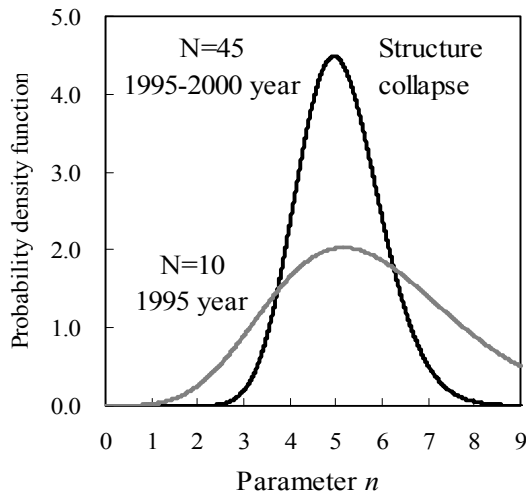


図2 被害規模分布パラメータの分布

図2は構造物の倒壊による重大災害の被災者数規模分布のパラメータ n の事後分布を求めたものである。同図より1995年の単年度データによる分布よりも1995年～2000年の6年間の多くのデータによる分布の分散が小さくなっていることが諒解される。

4. 予測分布に基づく災害危険性の評価

産業災害による被害規模分布と、その分布を規定している分布パラメータ n が事後確率分布（密度関数）として得られた。従って、被害規模分布の確率密度関数と同分布のパラメータ事後分布との積をパラメータの分布領域にわたって積分すればデータのみに依存する予測分布を得ることができる。

$$f(r) = \int_0^\infty n \cdot r^{-n-1} \cdot f(n|r_1, \dots, r_N) \, dn$$

$$= \frac{(N+1)}{r} \cdot \frac{[\ln(\prod_{i=1}^N r_i)]^{N+1}}{[\ln(r \cdot \prod_{i=1}^N r_i)]^{N+2}} \quad (4)$$

上式は確率密度関数であるので、得られた被害規模を確率値として評価するためには確率分布関数を求める必要がある。上側確率は次式で得られる。

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

$$= \left[\frac{\ln(\prod_{i=1}^N r_i)}{\ln(r \cdot \prod_{i=1}^N r_i)} \right]^{N+1} \quad (5)$$

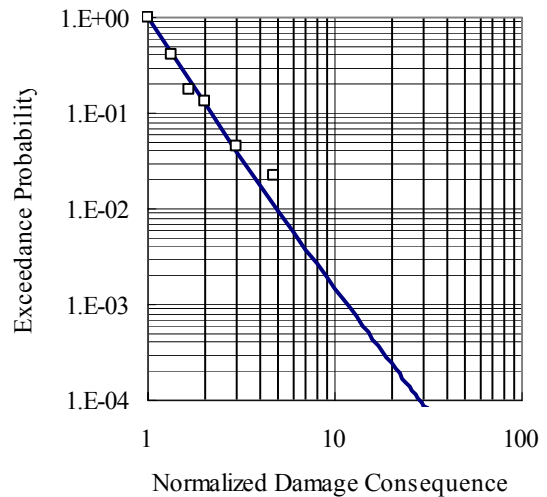


図3 予測分布による被害規模分布

図3は、構造物の倒壊による重大災害の被災者数規模分布について、先に得られた1995年～2000年の6年間のデータから推定された被害規模パラメータ事後分布を用いて予測分布（上側確率分布）を計算した結果と、実被害データによるリスク曲線とを示したものである。同図より予測分布から得られるリスク曲線と実データによるそれとがきわめて一致していることが示されている。

このように、予測分布を用いれば被害規模に関するデータのみを用いて確率値を求めることができるので、その値を用いて特定被害規模を有する災害とその平均的再現期間（逆に特定期間と同期間での期待被害規模）との関係を次式で求めることができる。

$$T_r = \frac{1}{R(r) \cdot (N/L)} = \left[\frac{\ln(r \cdot \prod_{i=1}^N r_i)}{\ln(\prod_{i=1}^N r_i)} \right]^{N+1} \cdot \left(\frac{L}{N} \right) \quad (6)$$

ここに、 T_r :被害規模が r 以上の災害の再現期間、 L :観測期間、 N :災害発生数

まとめ

産業災害による被害規模の確率分布と同分布のパラメータの確率分布を複合化して、最終的には、分布のパラメータの推定などを必要とせず単に被害規模の実データのみで評価を行うことができる予測確率分布を導出した。同分布を用いて重大労働災害の分析を行った結果、良好な適用結果を得ることができた。確率的評価以外にも期待被害規模や再現期間の推定など、予測分布による分析法はリスク分析法として今後の応用が期待される。