リスク表現法としてのリスク曲線の特性に関する考察

独立行政法人 産業安全研究所　正会員　花安 繁郎
横浜国立大学大学院工学研究院　　関根 和喜

1. はじめに

災害・事故解析手法の一つとして，災害による被害規模を変数として，被害規模とその被害を越える災害発生件数との関係を両対数紙上で表した曲線（リスク曲線）による分析法がある。

ここでは，リスク曲線による解析法がリスクの表現法としてどのような特性を有しているかを考察した結果を以下に述べる。

2. リスク曲線のリスク表現法としての意味

工学分野におけるリスクとは，危険事象（hazard）による災害の規模（magnitude of consequence）とそれが発生する頻度または確率との結合体として定義されており，その最も簡便な表現形式として“被害期待値”が多く使われている。より一般的な定義として Kalpan と Garrick によるリスク表現法があり，それによれば，リスク R とは以下の式に示される 3 個の要素の集合（set of triplets）として書き下せる。

$$R = \langle s_i , p_i , x_i \rangle, \qquad i=1,2,...,N \tag{1}$$

但し，s_i は想定される事故シナリオでその総数を N とする。また，p_i と x_i は各々 s_i というシナリオを持つ災害事象の生起頻度または発生確率とその被害の規模を表す。

ここで，ある観測期間 T 内に発生した災害データを用いて統計分析を行う場合には，リスクの表現として，式(1)を敷衍すると次の様に定義される。

$$R = \langle s_i, t_i, x_i \rangle, \qquad 0 \le t_i \le T, \qquad i=1,2,\ldots,N \tag{2}$$

但し，t_i は s_i なるシナリオの事故が発生した時刻。

式(2)の表現には頻度や確率の概念は直接含まれていないが，観測期間 T とそこでの災害発生件数 N を付与することによってそれらの概念が具備されるものとみなしてよい。式(2) の表現を具体的に図式化したものを図 1 に示した。

図 1 の横軸は観測期間 T 内での事故発生時間(t_i)を表し，縦軸は観測された災害の規模（被害の大きさ，x_i ） を意味する。つまり，図 1 は発生した事故の大きさをパルスの高さとし，それらを離散的時系列データとして図化したものである。同図は式(2)そのものであり，これを“リスク・チャート”と呼ぶことにして，災害事象群に対する“図示によるリスクの統計的表現”と考える。

一方，リスク曲線は災害の規模（被害の大きさ）X を変数としたとき，災害事象発生に関する超過頻度，すなわち上側累積頻度分布関数 C（h）$=CF$（$X \ge h$）として定義されるが，これは災害の規模と発生時刻について，図 1 に示される確率離散的時系列データの 1 つの整理方法であると解釈される。

ここで，ある一定期間 T 内（例えば，ある年度の一年間）で発生した同一種類の事故データを整理して図 1 のようなリスク･チャートをつくる。災害規模 X について適当な域値 h を決め，X が h より大きい値を取るパルスの列を考え，それらのパルス数の総和値を求める。そして，これを CF（$X \ge h$）とす

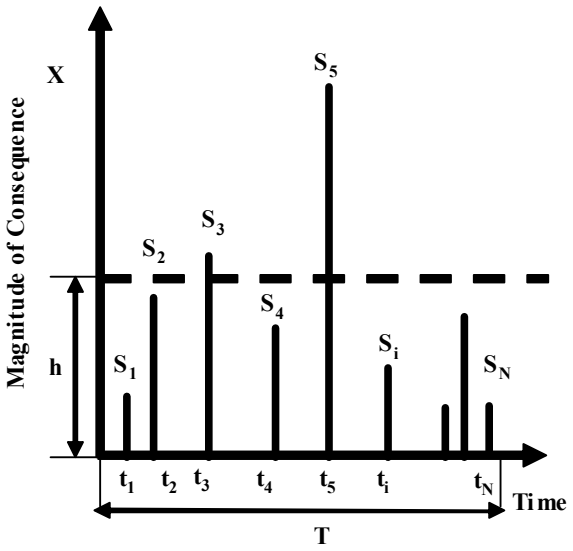

図 1 リスクチャートの概念図

Keywords：リスク定義，リスク曲線，フーリエ解析
連絡先：　〒204-0024　東京都清瀬市梅園 1-4-6　TEL. 0424-91-4512，FAX 0424-91-7846

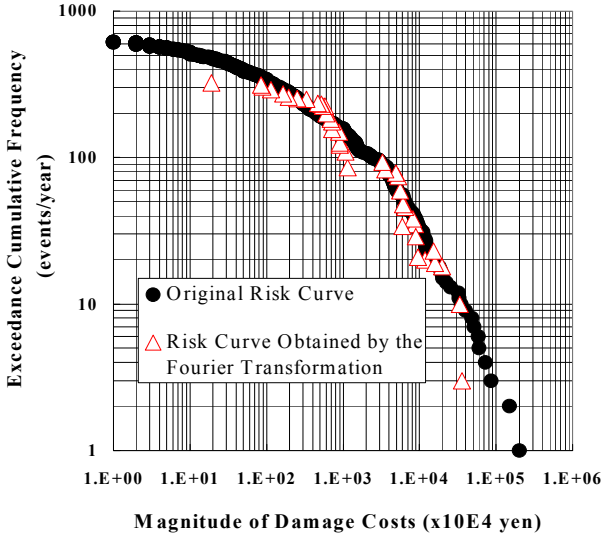

図 2 オリジナルリスク曲線とフーリエ変換によるリスク曲線（産業火災：1989－1993 年）

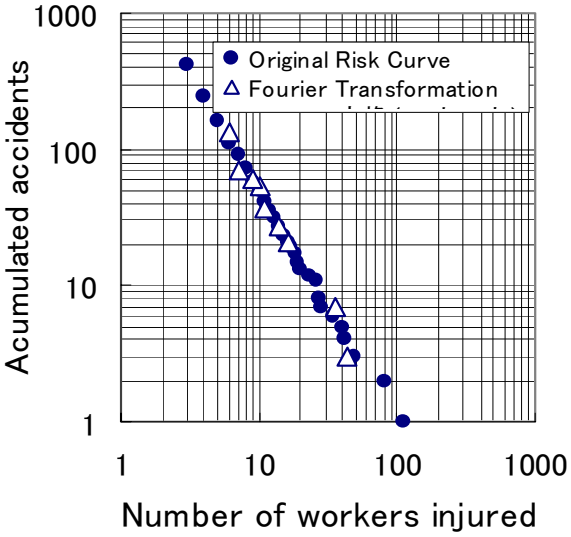

図 3 オリジナルリスク曲線とフーリエ変換によるリスク曲線（労働災害：1977－1994 年）

る。CF（$X \geqq h$）を観測期間 T で除した式（CF/T）が上側累積頻度 $F(h)$で，$F(h)$と設定した域値 h との log-log 関係がいわゆるリスク曲線に対応する。

以上の考察をもとに，実際にわが国で 1989 年から 1993 年までの 5 年間に発生した産業活動に伴う火災事故データ（消防庁発行の火災年報と消防白書よりデータを採取）を，域値 h で整理して作成したリスク曲線の例を図 2 に示した。図中の●印で示される曲線がそれである。分析のための被害の大きさの単位には損害額（$\times 10^4$ 円）を採用した。

同図に示した両対数グラフ上に整理されたオリジナルなリスク曲線は，多種･多様な災害事故データについても同様に図 2 の●印で示される曲線と同様な形状を示すことが既に分かっている。

一方，見方を変えると，リスク曲線は図 1 のような離散的時系列パルス信号を周波数（頻度）と振幅（災害の規模）の関係に変換したものとみなせる。すなわち，図 1 で示されるリスク･チャート上の N 個の有限パルス信号列を離散的フーリエ変換によって，それらを振幅（すなわち被害規模 X）と頻度の関係に変換し，次いでそれらの関係を振幅－累積頻度の形で整理・表現したものがリスク曲線である。つまり，リスク R の図式表現であるリスク･チャートとリスク曲線は本質的に等価のものであるとみなせる。この推論の検証のため，前述のわが国の産業火災事故に関する 1989 年～1993 年の 5 年間分の災害統計データを用いて，これらのデータ群の離散的フーリエ変換を行った。その結果を累積頻度の形で整理したものを図 2 中に重ねて示した。

図 2 では，通常の方法で構成したオリジナルなリスク曲線と離散的フーリエ変換で得られるスペクトル図から構成したリスク曲線とがほぼ一致した概形を示すことが見て取れる。すなわち，式(2)で定義されるリスクとリスクチャートは同値であり，リスクチャートから構成されるリスク曲線の全体像は式(2)で示されるリスクそのものを明確に表現しているといえる。

同じく，図 3 は 1977 年～1994 年の 18 年間のわが国での製造業における重大労働災害（一度に 3 人以上の被災者を含む労働災害）について，被災者数を被害の大きさとして分析した結果を示したものである。図 2 と同様に，オリジナルなリスク曲線とフーリエ展開から得られるリスク曲線とがほぼ一致していることが了解される。

3. まとめ

Kalpan らによる一般的なリスク表現法を発展させ，観測された被害規模のデータをリスクチャートとして構成し，それらにフーリエ解析を行うことによって，被害規模とその被害を越える災害発生件数との関係を両対数紙上で表したリスク曲線がリスクそのものを表現していることを示した。