

2003 11.59

厚生労働科学研究研究費補助金

労働安全衛生総合研究事業

確率・統計的手法を用いた労働災害のリスク同定・評価と

その事故防止施策の意思決定への応用

平成15年度「総括・分担研究報告書

主任研究者 関根 和喜

平成16(2004)年3月

## 目 次

### I 総括研究報告書

確率・統計的手法を用いた労働災害のリスク同定・評価とその事故防止施策の意思決定への応用	1
関根 和喜	

### II 分担研究報告 19

1 確率・統計的手法を用いた労働災害のリスク同定・評価とその事故防止施策の意思決定への応用 I	19
花安 繁郎	
2 確率・統計的手法を用いた労働災害のリスク同定・評価とその事故防止施策の意思決定への応用 II	
花安 繁郎	29
3 確率・統計的手法を用いた労働災害のリスク同定・評価とその事故防止施策の意思決定への応用ーパーコレイトンミュレーションを用いた大規模災害の予測手法ー	
岡崎 慎司	39

### III 研究成果の刊行に関する一覧表 61

### IV 研究成果の刊行物・別刷

厚生労働省科学研究費補助金(労働安全衛生総合研究事業)

総括研究報告書

確率・統計的手法を用いた労働災害のリスク同定・評価と  
その事故防止施策の意思決定への応用

主任研究者 関根 和喜 横浜国立大学大学院工学研究院教授

研究要旨

本研究では、産業現場での危険事象の発生頻度とその被害規模との関係、すなわち災害統計データの“リスク曲線 (risk curve)”に基づいた、労働災害リスクの同定・評価の新しい考え方を示すとともに、安全施策立案の意思決定と打たれた安全施策の評価を行う際の有効なツールを提供する。

本年度は、正規化リスク曲線から求まる安全性指数と最大災害データに従う Frechet 分布の形状パラメータが等しくなることを理論及び各種災害データを用いて明らかにした。また、再現期間を用いた大規模災害の平均発生期間、期待被害値の予測法を導き、労働災害統計データを用いて大規模災害の予測を行った。再現期間を用いた最大災害被害規模の予測が実情と合致していること、予測やリスク評価の目安となることを示した。このことは、パーコレイトシミュレーションによって労働災害のリスク曲線を模擬することにより確認した。さらに、産業活動に伴って生ずるさまざまな産業災害のうちで労働災害について焦点をあて、その発生状況をいくつかの災害データによって示したのち、リスク分析の立場から労働災害の分析を行った。その結果より、各種労働災害の特徴を明らかにするとともに、今後の産業災害・労働災害リスクマネージメントのあり方について考察を加えた。

以上より、異なる産業分野間又は質や種類の異なる労働災害間のリスクや安全管理レベルを統一的に評価・比較し得ることか可能となる。従って、災害防止のための関連行政機関での法規立案、効率的行政指導の目標課題等に関する重要情報の提供や、産業分野における安全対策の有効性やその定量的評価に利用でき、企業の安全対策の方向づけ等に関する意思決定への有効な手段となりうることを提示した。

分担研究者

花安 繁郎 (独)産業安全研究所研究部長

岡崎 慎司 横浜国立大学大学院工学研究院助手

## A 研究目的

国や地方自治体等の行政機関において災害発生防止や被害低減を図るための安全施策を立案していく際、産業災害リスクの構造的変化を的確に把握するとともに、災害リスクの同定、分析並びにその定量的評価を行うことが強く求められている。そのための災害統計分析手法として筆者らは“リスク曲線”の活用を提案してきた<sup>1) 2)</sup>。リスク曲線は両対数グラフ上に、災害規模とそれ以上の規模をもつ災害の発生頻度の累積値の関係を示したもので、大規模災害の領域すなわち、リスク曲線のテイル部では、両者の関係は直線で表現できることか分かっている。さらに、災害の種類に固有な位置パラメータを導入すると、高頻度低被害の事故から低頻度高被害の事故の全データを一つの関数形で示すことが可能であり、これを“正規化リスク曲線”と呼ぶことにした<sup>1)</sup>。ここでは、特にその統計的不確実性が存在する大規模な重大災害に注目し、以下の手順に従って大規模災害の発生予測と評価を行なうためのリスク曲線をベースとする新しい統計学的手法を本研究グループで提案した。

- (1) 被害規模に関する災害生起の統計則は正規化リスク曲線に従うが、その最大値の漸近分布を具体的な関数形として導出し、その最大値漸近分布関数のパラメータと、もとの分布である正規化リスク曲線のパラメータとの関係を明らかにした。
- (2) 各種災害のデータを用いて、大規模災害発生特性は導出した最大値分布関数

形に従うことを検証し、さらに、(1)に示される正規化リスク曲線のパラメータと最大値分布のパラメータの関連性を実データによって検証した。

- (3) 災害データによって求まる最大値分布から、再現期間を設定し大規模災害の被害規模の予測を試み、その予測手法の妥当性を明らかにした。
- (4) パーコレイトシミュレーションを用いて災害の生起特性のモデル化し、大規模労働災害の予測シミュレーションを試みた。
- (5) 産業活動に伴って生ずるさまざまな産業災害のうち労働災害について焦点をあて、その発生状況をいくつかの災害データによって示したのち、リスク分析の立場から労働災害の分析を行った。次に、その特徴を明らかにするとともに、今後の産業災害・労働災害リスクマネジメントのあり方について考察を加えた。

## B 災害データを用いた最大値漸近分布に関する検討

### B1 災害の被害規模が従う最大値漸近分布の導出

前年度の研究において示したように、ある一定の確率分布に従うような母集団において、一定個数( $n$ 個)の任意抽出された標本の最大値、すなわち極値は、抽出回数を増すごとに変わるか、その最大値の分布は  $n$  を増していくと、いわゆる最大値漸近分布

と呼ばれるある種の分布関数に漸近していくことか知られている。

そこで、本研究では森口による逆関数表示法(森口はこれを確率表現関数と呼んでいる)を用いて、以下、正規化リスク曲線  $P(x)$  に従う災害の被害規模の最大値分布の具体的な漸近関数形の導出を試みる。

前年度の研究において、正規化リスク曲線の分布関数  $P(x)$  は

$$P(x) = Pr(X' < x) = 1 - (1+x)^{-D'} \quad (1)$$

のように与えられたが、これを基本分布とする母集団から、確率変数  $x$  に関し  $n$  個観測して値  $x_1, x_2, \dots, x_n$  を得たとする。これを小さい順に整列した値を  $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$  で表すと最大値は  $x_{(n)}$  である。そこで  $x_{(n)}$  を確率変数とするとその分布関数  $P_n(x)$  は前項にも示したように以下のように書き下せる。

$$\begin{aligned} P_n(x) &= Pr\{x_{(n)} \leq x\} \\ &= Pr\{x_1 \leq x \cap x_2 \leq x \cap \dots \cap x_n \leq x\} \\ &= Pr\{x_1 \leq x\} Pr\{x_2 \leq x\} \dots Pr\{x_n \leq x\} \\ &= P(x)^n = \left\{1 - \frac{1}{(x+1)^{D'}}\right\}^n \end{aligned} \quad (2)$$

ここで  $P(x)=u$  とすると、その逆関数は  $P^{-1}(u)$  と書ける。従って  $u=P_n(x)$  として、その  $x$  について解けば、

$$x = P^{-1}\left(u^{\frac{1}{n}}\right) \quad (3)$$

となる。大きさ  $n$  の標本の逆関数  $P^{-1}_n(u)$  は以下となる。

$$P^{-1}_n(u) = P^{-1}\left(u^{\frac{1}{n}}\right) \quad (4)$$

また、正規化リスク曲線の分布関数  $P(x)$  の逆関数は、

$$P^{-1}(u) = x = (1-u)^{-\frac{1}{D'}} - 1 \quad (5)$$

となるのでその逆関数に従う最大値の分布は以下のように与えられることか直ちにわかる。

$$\begin{aligned} P^{-1}_n(u) &= (1-u^{\frac{1}{n}})^{-\frac{1}{D'}} - 1 \\ &= \left\{1 - \exp\left(-\frac{1}{n} \ln u\right)\right\}^{-\frac{1}{D'}} - 1 \\ &= \left[1 - \left\{1 + \frac{1}{1!} \frac{1}{n} \ln u + \frac{1}{2!} \frac{1}{n^2} (\ln u)^2 + \dots\right\}\right]^{-\frac{1}{D'}} - 1 \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、大規模災害領域、つまり  $P(x)$  が 1 に近いところを考え、その時の漸近分布を求める。 $n$  が十分大きければ式(6)の級数展開の第 2 項までの近似で十分であるため

$$x = P^{-1}_n(u) = \left(-\frac{1}{n} \ln u\right)^{-\frac{1}{D'}} - 1 \quad (7)$$

となる。式(7)を  $u$ 、つまり最大値の分布関数である  $P_n(x)$  について解くと次式が得られ

る。

$$u = P_n(x) = \exp[-n(x+1)^{-D'}] \quad (8)$$

よって

$$(P_n(x))^{\frac{1}{n}} = \exp[-(x+1)^{-D'}] \quad (9)$$

さらに、式(9)の左辺に対し級数展開を行うと、 $P_n(x)$ が1に近い領域では第2項までの近似で十分であるため、左辺は次のように書き換えられる

$$\begin{aligned} (P_n(x))^{\frac{1}{n}} &= \exp\left\{\frac{1}{n} \ln(P_n(x))\right\} \\ &= 1 + \frac{1}{1} \frac{1}{n} \ln(P_n(x)) + \frac{1}{2!} \frac{1}{n^2} \{\ln(P_n(x))\}^2 \\ &= 1 + \frac{1}{n} \ln(P_n(x)) \end{aligned} \quad (10)$$

ところで、 $-1 < x \leq 1$  ならば、

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \quad (11)$$

と展開されるから  $|x|$  が小さく、したがって、 $1+x$  が1に近ければ、 $\ln(1+x) \approx x$  とすることかてきる。そこで、分布関数  $P_n(x)$  の値が1に近い範囲では、上式の  $1+x$  を  $P_n(x)$  で置き換えれば

$$\ln(P_n(x)) = P_n(x) - 1 \quad (12)$$

式(12)を式(10)に代入すれば、式(9)は、

$$\left(\frac{P_n(x) + n - 1}{n}\right) = \exp[-(x+1)^{-D'}] \quad (13)$$

$n$  が大きい範囲では  $n-1 \approx n$  とし、

$$\left(\frac{P_n(x)}{n} + 1\right) = P'_n(x) = \exp[-(x+1)^{-D'}] \quad (14)$$

ここで  $n$  が大きくなるにつれて分布の位置はより低頻度領域へ移動する。そのため  $n$  は正規化リスク曲線における位置パラメータ  $\gamma$  と同等の役割、つまり最大値分布  $P_n(x)$  におけるスケーリングの役割を持っていると考えられ、式(14)の左辺を  $P'_n(x)$  として置き換えても本質的には変わらない。 $X' = (X/\gamma)$  として式(14)を表すと

$$P'_n(h) = \Pr(X \leq h) = \exp\left[-\left(\frac{h+\gamma}{\gamma}\right)^{-D'}\right] \quad (15)$$

よって式(15)、つまりもとの統計則がパラメータ  $D'$  及び  $\gamma$  で規定される母集団の被害規模の最大値漸近分布  $P'_n(h)$  は、極値統計において適用される第2種最大値漸近分布 (Frechet 分布) そのもので、かつ、これは正規化リスク曲線のパラメータ  $D'$ 、 $\gamma$  で規定される関数となっている。すなわち、 $D'$  は Frechet 分布における形状パラメータを表し、また  $\gamma$  は Frechet 分布における位置パラメータと尺度パラメータの両者を兼ねていることになる。従ってこれを利用すれば、例えば1年分の災害データを基に作成された正規化リスク曲線のみから Frechet 分布の具

体的な分布関数を求めることができる。また、再現期間の概念を導入することによって今後同ような安全管理の状態が続いた時に起こる大規模災害の被害規模、発生頻度をも推定することも可能であると考えられる。

## B2 本研究で用いた災害データの詳細

前節において災害事故統計に適用される正規化リスク曲線に従う災害被害規模データの最大値の漸近分布は Frechet 分布となり、その分布を規定する形状、位置及び尺度パラメータは、正規化リスク曲線の  $D'$  及び  $\gamma$  に一致することが数学的に示された。本節では、実際の災害データを用いて両者のパラメータが一致することの検証を行った。本研究で用いた災害データの詳細は以下の通りである。なお事故の種類、年度、引用の順で記載した。

### ・本研究で用いた災害データ

「危険物施設における火災事故」、1967-2001, 危険物保安技術協会

「危険物施設における漏洩事故」、1982-2001, 危険物保安技術協会

「世界で起きた航空機事故」、1989-1999, 運輸省, 航空事故調査委員会事務局報

「建設業における重大労働災害(1度に3人以上の被災者を含む災害)」, 1977-1984, (独)産業安全研究所より提供

またこれらのデータの中における近年の災害を用いて構成した正規化リスク曲線を Fig 1 に示す。データの全ては正規化リスク曲線に乗ることか理解できる。

(倫理面への配慮)

本研究では各種の労働災害に関するデータを収集・整理し、それらをリスク分析、評価、検証のために用いている。労働災害等のデータには個人のプライバシーや人権に関する情報が含まれている可能性は排除できないか、それらの一次データをそのまま公開することはなく、また、データの遺漏がないように、その取り扱いには十分な配慮を払った。

## B3 最大値の Frechet プロット<sup>3 4)</sup>

本節では先に述べた災害を用いてその最大値分布を作成する。

前述したが、本研究における Frechet 分布の上側累積分布関数は

$$R'_n(h) = Pr(X > h) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{h+\gamma}{\gamma}\right)^{-D}\right] \quad (15)$$

となり、傾きの正負は異なるがいわゆるワイブル分布の分布関数と同一形になる。

一方、第3種の最小値漸近分布はワイブル分布と呼ばれ、下側累積表示として

$$F_{(3)}(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma_{(3)}}{\beta}\right)^m\right], \quad (-\infty < \gamma_{(3)} < \infty, \beta > 0) \quad (16)$$

で与えられる。ワイブル分布の式(16)における位置パラメータ  $\gamma_{(3)}$  を負と考えれば、式(15)、(16)より、通常ワイブル確率紙でデータを打点して右下がりの直線になるか

を調べれば、式(15)の Frechet 分布に乗るか  
 どうかの確認が出来る。このような整理方  
 法を“Frechet プロット”と呼ぶ<sup>3)</sup>。また、  
 Frechet プロットの具体的な方法については  
 平均ランク法により上側累積確率  $R'_n(h)$ を  
 計算することとした。すなわち、最大値デ  
 ータ群を昇順にソートし、それに対する  $i$   
 番目のデータの累積頻度  $R'_n(h_i)$ を次式によ  
 り求める。

$$R'_n(h_i) = \frac{N-i+1}{N+1} \quad (17)$$

ただし、 $N$ は最大値の総データ数である。

Fig 2 は 1989 年から 2001 年までの我が国  
 の危険物施設での火災事故について各年度  
 における災害の最大被害規模として損害額  
 (万円)をとってワイブル確率紙上に Frechet  
 プロットしたものである。火災事故の各年  
 度の最大値の分布は右下かりの直線で近似  
 でき、式(15)の上側累積分布関数に従うこ  
 とがわかる。つまり、最大値データは Frechet  
 分布に従うことが示された。危険物施設の  
 漏洩事故についても Fig 3 に示すように損  
 害額(万円)で整理し Frechet プロットしても、  
 火災事故と同様の結果が得られた。また異  
 なる災害についても同様な検証を行なった。  
 Fig 4, Fig 5 はそれぞれ民間の航空機事故(世  
 界)、日本の建設業における労働災害につい  
 て同様にプロットしたものである。ここで、  
 最大被害規模は死亡者数(人)である。これら  
 より、両データについても Frechet 分布が適  
 用できることが分かった。

各種災害に対し Fig 1 の正規化リスク曲  
 線及び Fig 2～Fig 5 より算出された各統計  
 パラメータを Table 1 に示す。ここでは、

Fig 1 に示されている災害データより求めた  
 正規化リスク曲線の傾き(安全性指数)を  $D'_R$ 、  
 位置パラメータを  $\gamma_R$  とし、Frechet プロット  
 によって求めた分布の傾き(形状パラメー  
 タ)を  $D'_F$ 、直線化させるため用いた位置パ  
 ラメータを  $\gamma_F$  と表記している。

この表から、正規化リスク曲線の安全性  
 指数  $D'_R$  と形状パラメータ  $D'_F$  は災害毎にほ  
 ぼ同一であることがわかる。位置パラメー  
 タについては、大規模災害の被害規模に比  
 べ十分小さなものであるため、表に示した  
 程度の相違はリスク曲線及び Frechet の分  
 布形状に影響を与えない。また、 $D'_F$  も  $D'_R$   
 と同様に災害の種類ごとに固有の値を有す  
 るため、そのパラメータの大きさによって  
 異種災害間において災害リスクの比較・評  
 価ができるものと考えられる。

#### B 4 安全性指数と形状パラメータの関係

分布関数の傾きは災害を特性化し、定量的  
 なリスク評価を行なう上で特に重要なパ  
 ラメータである。従って、さらにその詳しい  
 検証を行ない、その Frechet 分布の傾きで  
 ある形状パラメータも安全性を示す指数と  
 なりうるかを検証した。

前年度の研究において正規化リスク曲線  
 の分布関数  $P(x)$ における安全性指数  $D'_R$  と  
 Frechet 分布の形状パラメータ  $D'_F$  は等しい  
 ことを数学的に明らかにした。そこで火災  
 事故年次データを用いて、Fig 6, Fig 7 に  
 それぞれ火災事故、漏洩事故における安全  
 性指数と形状パラメータを算出しそれらの  
 経年変化を示した。観測期間は 5 年間とし、  
 その期間内に起きた損害額 1 万円以上のデ  
 ータにより正規化リスク曲線を構成し  $D'_R$   
 を求めた。また、 $D'_F$  については期間内にお



ける各年度の最大被害損害額(万円)のデータを用い同様に求めた。Fig 6, Fig 7 から分かるように火災事故, 漏洩事故においてそれぞれ両パラメータは類似した増減傾向を示した。

さらに, Fig 6, Fig 7 における災害データに対し回帰分析を行った。その結果を Fig 8 に示す。これにより, 両パラメータは線形回帰できることが分かった。従って, 形状パラメータ  $D_F$  は安全性指数  $D_R$  と同様に対象災害の安全管理の程度を定量化し得るパラメータであるといえる。すなわち, 正規化リスク曲線から直接最大値分布である Frechet 分布を推定することが可能となり, より簡便な災害リスク分析ができると考えられる。

## C 大規模災害の予測 —災害データを用いた予測—

### C 1 再現期間について<sup>5)</sup>

前章までに各種災害における災害被害規模の最大値は Frechet 分布に従うことを示した。本章では Frechet 分布について極値統計で用いられている再現期間の概念を用い, Frechet 分布に従うような大規模災害の最大被害規模の予測を試みた。

#### 再現期間 (return period)<sup>5)</sup>

再現期間  $T(x)$  とは, ある確率変数  $X$  についてその観測値  $x$  を超える事象が生起してから次にまたその  $x$  を超える事象が生起するまでの期間を表し, ある上側累積分布関数  $R(x)$  については次式のように示される。

$$T(x) = \frac{1}{R(x)} \quad (18)$$

### C 2 再現期間を用いた大規模災害の予測<sup>4)</sup>

#### C 2 1 再現期間を用いた大規模災害の予測手法

本研究では, 危険物施設における火災事故(1967-2001), 漏洩事故(1982-2001)及び労働災害(1981-2000)について各種災害データを用い, それぞれ観測期間 5 年, 10 年における最大値分布を作成した。次に, 再現期間を 5 年, 10 年に設定した際の推定最大被害規模を算出した。予測結果をそれぞれ Table 2~Table 4 に示す。ここで, 災害の被害規模は火災事故, 漏洩事故については, 事故によって直接生じた損害額, 労働災害については, 死亡者数で整理した。

#### C 2 2 予測結果についての考察

まず各種災害における推定被害規模について考察する。Table 2~Table 4 より, 観測期間を 5 年あるいは 10 年と設定しても 1970, 1980 年代に比べ 1990 年代の推定被害規模は, ほぼ減少していることが分かった。これは各種災害における大規模な施設, 産業労働現場における安全管理の状況が年々改善されていったことと対応していると考えられる。また, 火災事故の 5 年間(1987-1991)における予測に対しその後 5 年間(1992-1996)での実際の最大被害損害額は予測を大きく越えているが, これは 1995 年の阪神大震災における急激な災害発生状況(367 件の火災・漏洩事故が発生)の変化によるところが大きい。次に, その後再現期間と同じ期間経過した時に起きた実際の災害の最大被害規模を示した。火災事故につい

ては実際の被害規模と比べ6割程度大きく予測されていることが分かった。これは、実際は時間経過につれて安全管理の状態が改善されているためであり、これによって安全側に予測される。つまり、再現期間による予測は、安全管理状態に大きな変化のないまま続いた時の将来の安全水準を計る指標にはなりうると考えられる。

### C3 1年間のリスク曲線による大規模災害の予測

#### C3.1 1年間のリスク曲線による予測手順

正規化リスク曲線における傾き  $D'$ 、位置パラメータ  $\gamma$  は Frechet 分布における形状パラメータ、位置と尺度を示すパラメータと成ることを数学的に導出し、再現期間を用いた大規模災害被害規模予測の有効性を示した。

例えば1年間などある一定期間における対象災害の正規化リスク曲線が作成できれば、パラメータの関係を利用し、傾き、位置パラメータより Frechet 分布の具体的な関数形が求まる。この Frechet 分布より、その後5年、10年経った時の大規模災害の予測が可能である。従来のような10年などの長い観測期間によるデータが無くても、この提案する予測手法によって、短期間の災害データのための簡易的な予測が期待できる。そこで、本節ではその1年間のリスク曲線による大規模災害被害規模予測を試み、その有効性について考察した。

解析に用いたデータは危険物施設における火災事故(1989-2001)である。まず13年間の各年度における最大被害損害額  $h_{\max}$  を抽出し、最大値分布を作成、再現期間4年、5年または10年における予測最大被害損害

額を算出する。これが予測に対する理論値になる。次に、各年度における正規化リスク曲線を作成し、傾き  $D'$ 、位置パラメータ  $\gamma$  を求める。各年度の最大被害損害額  $h_{\max}$  に  $\gamma$  を加えた  $h_{\max} + \gamma$  を、ワイブルチャート上に平均ランク法により上側累積確率50%の点に打点、その点を通り傾き  $D'$  の線を引き。これが1年間のリスク曲線によって得られた Frechet 分布である。これを用い予測を行った。Table 5 に火災事故における予測結果を示す。

#### C3.2 1年間のリスク曲線による大規模災害予測についての考察

Table 5 より、リスク曲線の傾き  $D'$  が小さい、つまり大規模な災害がより起こりやすい災害においては特に推定結果がばらついていた。また、1995年においては阪神大震災によって突出した推定結果となった。そこで、それを除いた推定結果の平均値も示した。再現期間4年、5年についてはある程度理論値(13年間のデータによる推定結果)と一致しているが、再現期間10年の推定については特にばらつきが大きいため推定は難しいと考えられる。従って、本年度の研究分担報告書書(岡崎担当)において災害リスク曲線をシミュレートし、本手法の妥当性、有用性について考察した。

### D まとめ

本研究ではリスク曲線による災害統計解析法を基礎とし、特に大規模災害発生特性について極値統計論を導入することによって、簡便かつ定量的な新しい災害統計解析手法を提案した。この新手法により、異な

る産業分野間又は質や種類の異なる労働災害間のリスクや安全管理レベルを統一的に評価・比較し得ることか可能となる。従って、災害防止のための関連行政機関での法規立案、効率的行政指導の目標課題等に関する重要情報の提供や、産業分野における安全対策の有効性やその定量的評価に利用でき、企業の安全対策の方向づけ等に関する意思決定への有効な手段となりうることを提示した。本研究グループにより本年度に得られた知見を以下に示す。

- 1 正規化リスク曲線の最大値分布における正規化リスク曲線の傾き(安全性指数)が最大値漸近分布(Frechet 分布)の傾き(形状パラメータ)に等しく、またその位置パラメータが位置と尺度を示すパラメータになることを明らかにした。
- 2 各種災害データを用いてその被害規模の最大値分布は Frechet 分布に従うことを検証した。安全性指数  $D_R$  と形状パラメータ  $D_F$  は等しく、共に安全管理の程度を表す定量的指数となることか検証された。これにより、1 年分の災害データで正規化リスク曲線が構成し、そこで得られる  $D_R$ 、 $\mu_R$  からその最大値漸近分布も推定できることを示した。
- 3 極値統計の再現期間の考え方を最大災害被害規模の推定について応用し、大規模災害の最大被害規模を求めた。それか実情と合致していること及び予測の目安となることを示した。さらに、正規化リスク曲線と Frechet 分布のパラメータの関係を利用し、1 年分のリスク曲線からの大規模災害の被害規模予測を試み、再現期間 5 年以下の予測であれば、

可能であることを明らかにした。

- 4 パーコレイションシミュレーションによって、3 に示した大規模災害予測手法の実験的検証を行い、その予測手法が有効な手法であることを明らかにした。また、2 次元ポントモデルを用いて 1986 年以降の労働災害をモデル化することかできた。さらに、そのモデルによる労働災害の予測シミュレーションが有効な手法であることも明らかにした。
- 5 労働災害の発生数そのものは減少しているものの、死亡災害に代表される重傷災害は大幅な減少は見られず、これか労災保険給付額、とりわけ各種労災年金給付額の増大を招いていることか分かった。また、産業災害のリスク解析手法として、災害の発生頻度と災害による被害規模の同時分析法を採用し、発生頻度分布および被害規模分布のそれぞれのパラメータの変動を調べることにより、災害発生対策の効果と被害防止対策の効果の評価できることが分かった。

#### 参考文献

- 1) 関根和喜, 花安繁郎, 泉太一郎, 梶山正朗, 米田哲郎 定量的リスク評価を指向した新しい災害統計分析手法, JCOSSAR 2000 論文集, pp 95-100 (2000)
- 2) 関根和喜, 泉太一郎, 斎藤玄人, 吉川郷生 災害事象生起のフラクタル的特性とその事故統計分析への応用, 圧力技術, Vol 32, No 5, pp 240-248 (1994)
- 3) 関根和喜, 泉太一郎, 吉川郷生 リスク曲線に基づく大規模災害事故発生特性の極値統計論による分析, 圧力技術, Vol 33, No 3, pp 147-153 (1995)
- 4) 大淵泰知, 福田隆文, 関根和喜, 花

安繁郎 リスク曲線を用いた大規模災害の発生予測とリスク評価, JCOSSAR 2003 論文集, pp 265-270 (2003)

- 5) E. Castillo, *Extreme Value Theory in Engineering*, pp 5-19 (1988)

## E 健康危険情報

なし

## F 研究発表

### 1 論文発表

- 1) 統計学的アプローチによる産業災害のリスクマネージメントに関する研究, 花安繁郎, 関根和喜, vol 5, 構造物の安全性 信頼性, p 255, (2003)
- 2) リスク曲線を用いた大規模災害の発生予測と評価, 大淵泰知, 福田隆文, 関根和喜, 花安繁郎, vol 5, 構造物の安全性・信頼性, p 265, (2003)

### 2 学会発表

- 1) 花安繁郎, 関根和喜 Basic Understanding and Interpretation of Risk and its Application to Risk Analysis Methodology, 第 10 回信頼性設計技術ワークショップ ノブ報告書, in print, 2003
- 2) 花安繁郎, 関根和喜 リスク表現法としてのリスク曲線の特性に関する研究, 第 58 回土木学会年次学術講演会, pp 353-358, 2003
- 3) S Hanayasu, K Sekine Statistical Damage Modeling and Analysis of Industrial Accidents and its Application to Industrial Safety Problems Proceedings of the 9th International Conference on Applications of Statistics and Probabilistic in Civil Engineering (ICASP9), pp 353-358,

2003

- 4) 花安繁郎 統計学的アプローチによる産業災害のリスクマネージメント, 機械学会関西支部第 79 回定期総会基調講演, 2003
- 5) 大淵 泰知, 笠井 尚哉, 福田 隆文, 関根 和喜, 花安 繁郎, リスク曲線を用いた大規模災害発生予測とそのリスク評価, 第36回安全工学研究発表会講演予稿集, (2003), pp 107-110

## G 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む。)

### 1 特許取得

なし

### 2 実用新案登録

なし

### 3 その他

なし

Table 1 Comparison of  $D'_R$ ,  $\gamma_R$  in normalized risk curve and  $D'_I$ ,  $\gamma_I$  in Frechet distribution calculated each type of accident data

Type of accident	Scale unit for magnitude of consequence	Duration (years)	Normalized risk curve		Frechet distribution	
			Safety index $D'_R$	Location parameter $\gamma_R$	Shape parameter $D'_I$	Location parameter $\gamma_I$
Fire accident	Damage costs (yen)	13 (1989-2001)	1.25	3000 ( $10^4$ yen)	1.20	10000 ( $10^4$ yen)
Leakage accident	Damage costs (yen)	13 (1989-2001)	1.08	300 ( $10^4$ yen)	0.93	600 ( $10^4$ yen)
Aircraft accident	Fatalities (person)	11 (1989-1999)	3.17	100 (person)	3.56	70 (person)
Labor accident	Fatalities (person)	8 (1977-1984)	2.33	3 (person)	1.55	3 (person)

Table 2 Expected damage loss corresponding to return period of each observed period (fire accident)

Observed period (year)	Shape parameter	Return period	Expected maximum damage loss ( $10^8$ yen)	Actual maximum damage loss for the next years ( $10^8$ yen)
1967-1976 (10years)	0.545	10	65	42 (1977-1986)
1977-1986 (10years)	1.527	10	63	44 (1987-1996)
1987-1996 (10years)	1.826	10	45	-
1977-1981 (5years)	1.480	5	54	30 (1982-1986)
1982-1986 (5years)	0.647	5	31	22 (1987-1991)
1987-1991 (5years)	1.676	5	23	44 (1992-1996)
1992-1996 (5years)	1.334	5	36	15 (1997-2001)
1997-2001 (5years)	1.686	5	20	-

Table 3 Expected damage loss corresponding to return period of each observed period (leakage accident)

Observed period (year)	Shape parameter	Return period	Expected maximum damage loss (10 <sup>8</sup> yen)	Actual maximum damage loss for the next years (10 <sup>8</sup> yen)
1982-1991 (10years)	0 880	10	8 53	3 16 (1992-2001)
1992-2001 (10years)	1 175	10	3 74	-
1977-1981 (5years)	0 657	5	13 85	2 24 (1982-1986)
1982-1986 (5years)	1 154	5	3 03	8 72 (1987-1991)
1987-1991 (5years)	0 465	5	6 95	1 84 (1992-1996)
1992-1996 (5years)	0 916	5	2 20	1 54 (1997-2001)
1997-2001 (5years)	1 197	5	2 87	-

Table 4 Expected fatalities corresponding to return period of each observed period (labor accident)

Observed period (year)	Shape parameter	Return period	Expected maximum fatalities (person)	Actual maximum fatalities for the next years(person)
1981-1990 (10years)	1 091	10	172	20 (1991-2000)
1991-2000 (10years)	2 550	10	17	-
1981-1985 (5years)	1 025	5	172	12 (1986-1990)
1986-1990 (5years)	2 345	5	13	19 (1991-1995)
1991-1995 (5years)	1 695	5	17	13 (1996-2000)
1996-2000 (5years)	2 706	5	12	-

Table 5 Expected damage loss corresponding return period of each observed period using risk curve for 1 year (fire accident)

Observed period	Expected maximum damage loss for return period 4 years	Expected maximum damage loss for return period 5 years	Expected maximum damage loss for return period 10 years
1989-2001 (13years)	20	25	45
1989	16	21	42
1990	5	6	12
1991	27	37	100
1992	58	80	200
1993	58	87	280
1994	30	41	106
1995	189	286	983
1996	22	29	65
1997	47	65	174
1998	40	54	131
1999	42	57	141
2000	21	30	78
2001	3	4	6
Average	43	61	178
Average (Except 1995)	31	42	111

※ 1995 年は阪神大震災により推定結果が突出したものと考えられる。

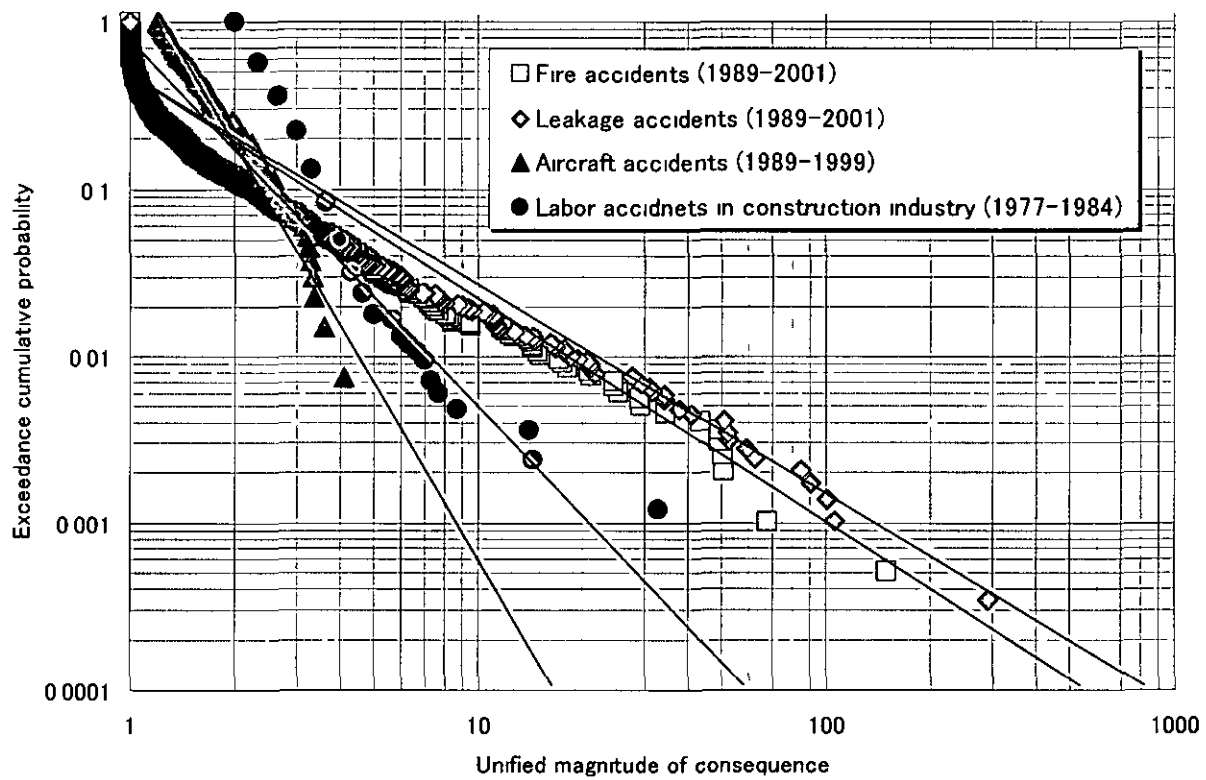


Fig.1 Normalized risk curve for various accident's data used analysis in this study



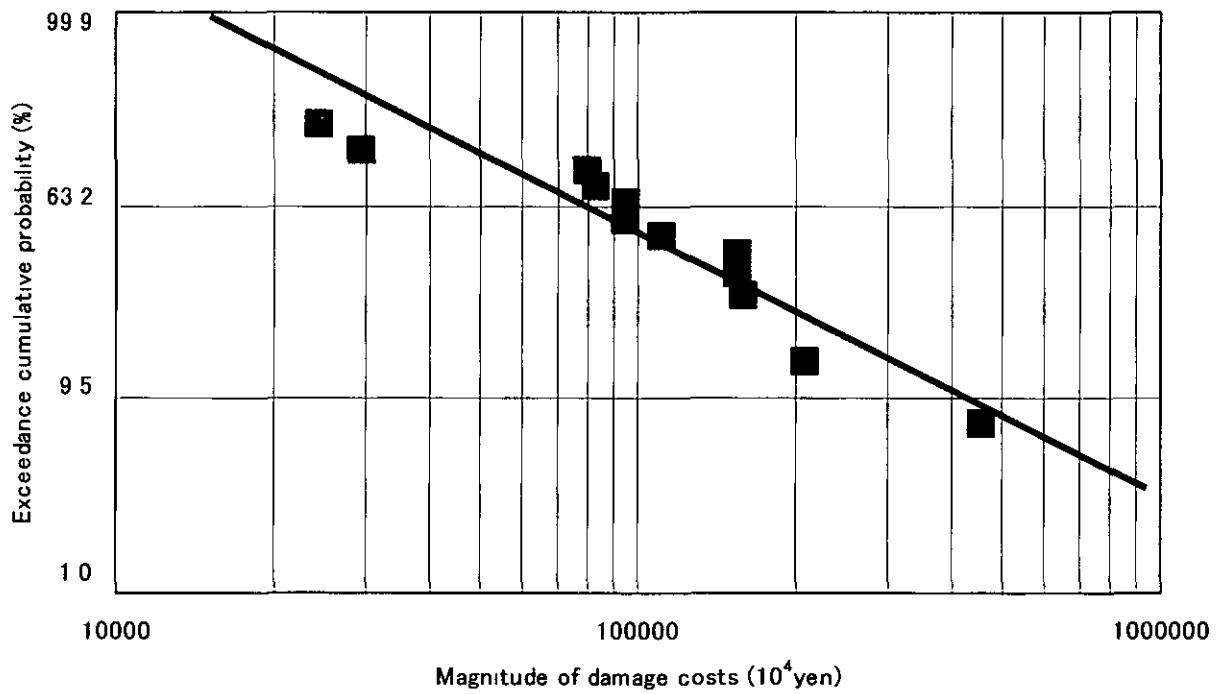


Fig.2 Frechet plot on a Weibull probability paper for the extreme events of fire accidents (1989-2001)

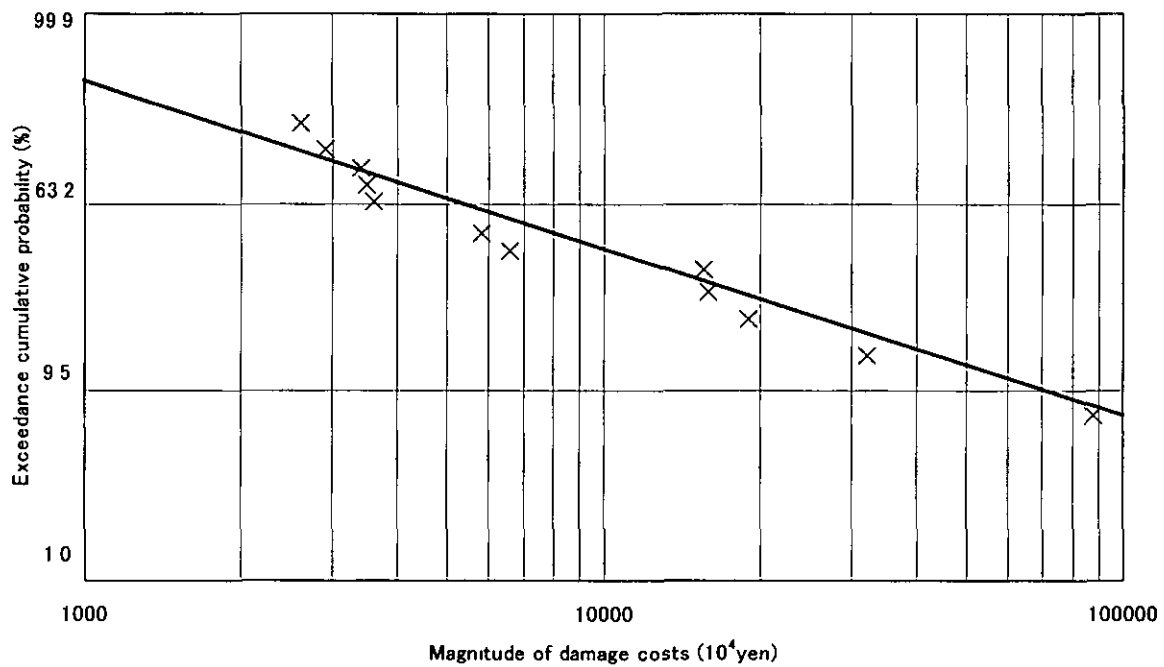


Fig.3 Frechet plot for the extreme events of leakage accidents (1989-2001)

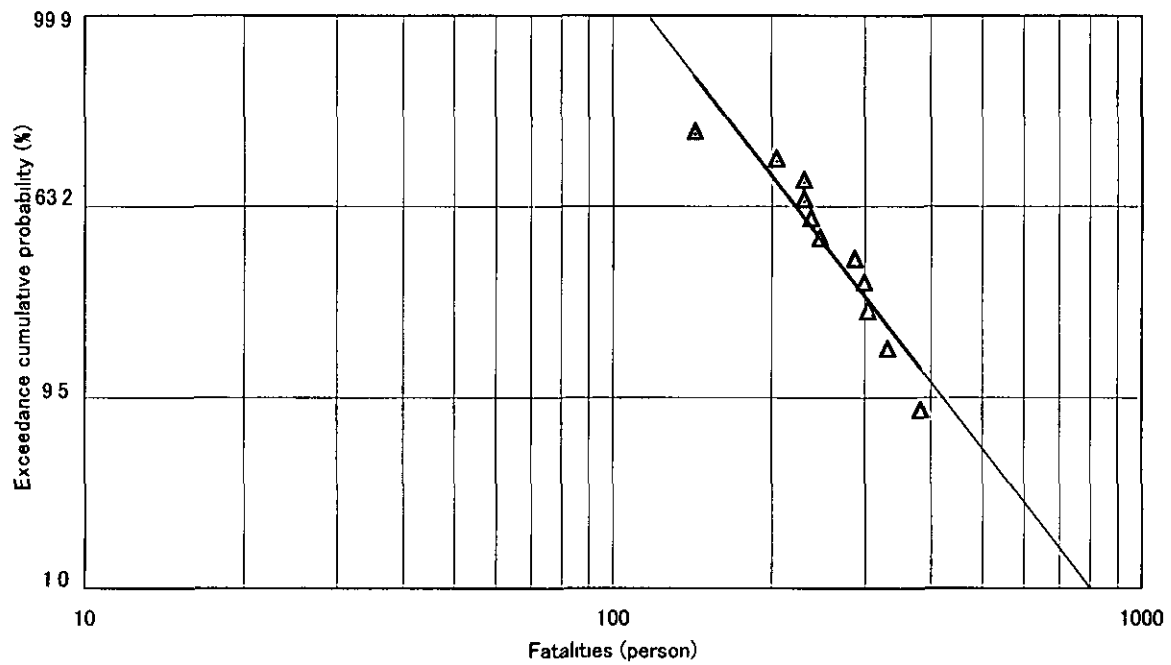


Fig 4 Frechet plot for the extreme events of aircraft accidents in the world wide range (1989-1999)

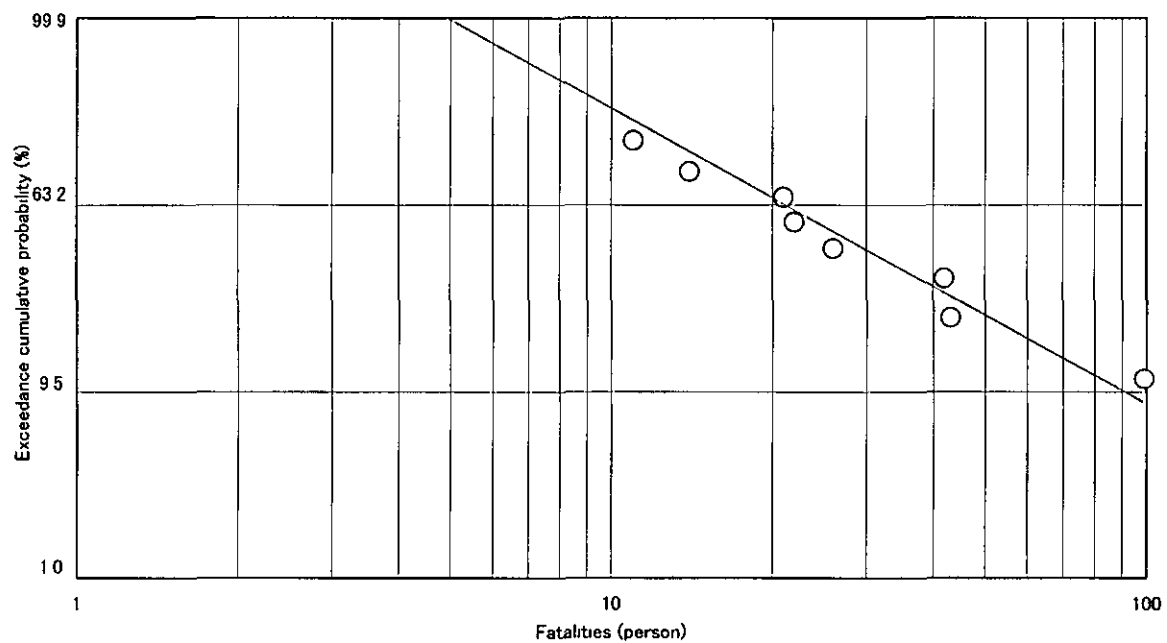


Fig 5 Frechet plot for the extreme events of labor accidents (1977-1984)

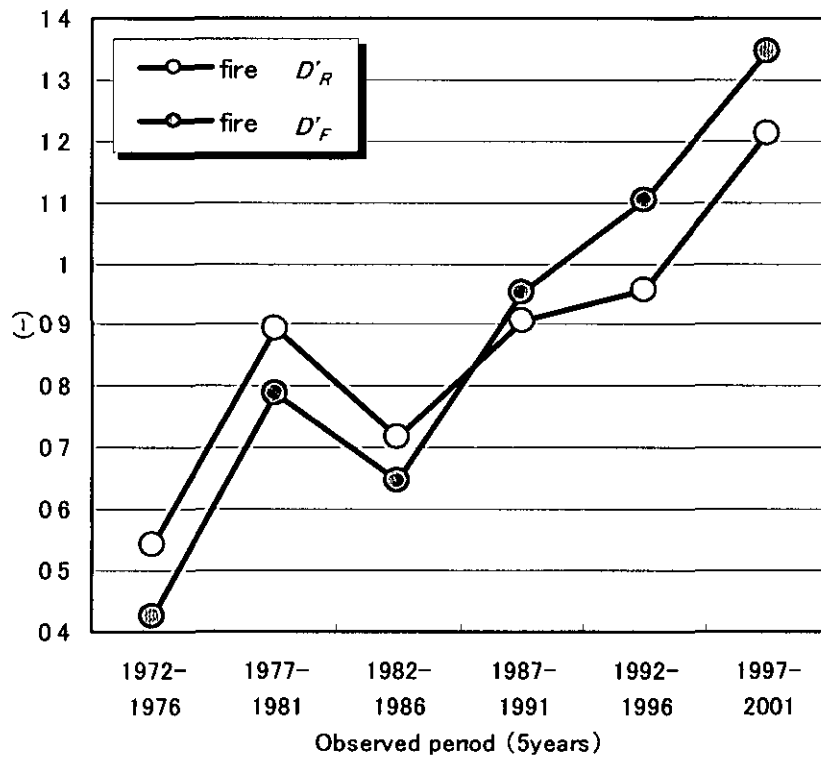


Fig.6 Comparison with  $D'_R$  and  $D'_F$  for each observed period  
(Fire accidents)

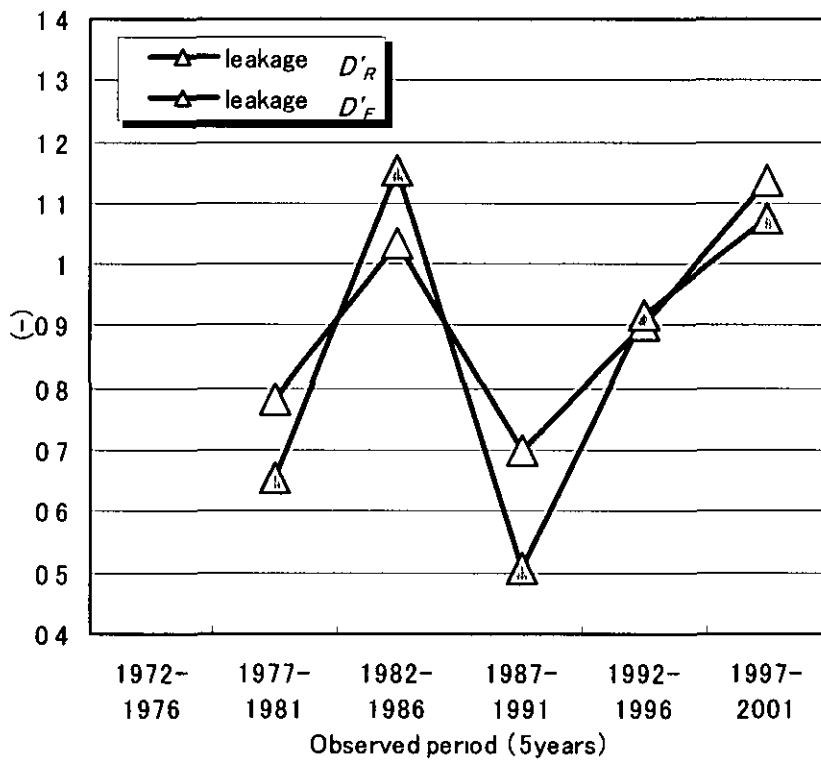


Fig.7 Comparison with  $D'_R$  and  $D'_F$  for each observed period  
(Leakage accidents)

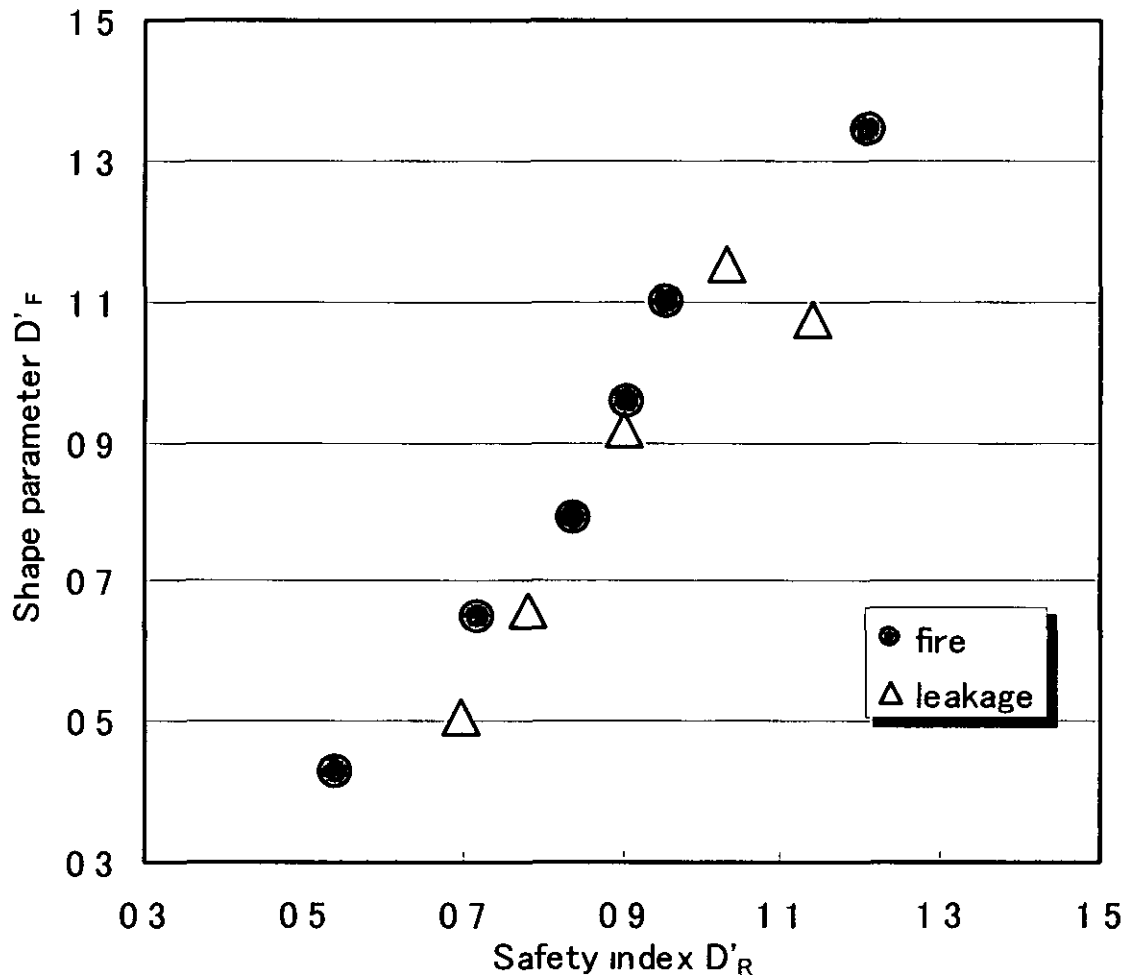


Fig.8 Correlation of safety index  $D'_R$  and shape parameter  $D'_F$  by regression analysis (Fire accidents, Leakage accidents)