

MAR. 1984

RIIS-RR-32-3

UDC 519.2 : 614.8-02

産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-32-3

災害発生時間の分布に関する研究(第2報)

花 安 繁 郎

労働省産業安全研究所
MINISTRY OF LABOUR
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

災害発生時間の分布に関する研究（第2報）

花 安 繁 郎

A Study on Time Intervals between Occupational Accidents (II)

by Shigeo HANAYASU*

The accident frequency rate has been widely used as one of the measurement of safety performance over a long period of time. The accident frequency rate is defined as the number of occurrence of occupational accidents for a certain unit of man-power or employee hour exposure. Since the accident frequency rate, which implies the potential of accident risk in a working place, is closely related to the number of occurrence of accidents, its statistical evaluation depends mainly upon the analysis of the frequency of occurrence of accidents in a fixed interval of time, e. g., poisson distribution.

This study, in the meanwhile, takes into consideration the fluctuating time intervals between occupational accidents, regarding them as a useful measurement of safety performance in working places having a certain accident risk. In particular, emphasis was placed upon the statistical treatment for the extreme values of the time intervals between accidents, i. e., the smallest and the largest value among the observed time intervals between occupational accidents.

The frequency distributions of so called extreme values as the smallest and the largest value in a random sample size (n) with a continuous density can be easily derived from the probability density function of order statistics as shown in Eqs. from (1) to (6).

According to the result of the several observational investigation of accidents to date, it is recognized that occupational accidents are taking place at random, so that the time intervals between successive accidents can be represented by exponential distribution given by Equation (7), to at least a rough approximation. Also parameter of exponential distribution can be connected to the accident frequency rate as given in Equation (10).

Hence, in order to verify whether the smallest or the largest time period among the observed time intervals between accidents is significantly short or long period of time, statistical evaluation of the extreme values of the time intervals between accidents such as the calculation of the probability of the extreme value corresponding to a certain accident frequency rate or estimation of the extreme values with reference to a probability, can be easily achieved by making use of the extreme value distribution functions represented by Eqs. (8), (9) and (14), (15).

Extreme value analysis can also be applied to a problem of discovering the collective time periods between accidents of a work place having many independent industrial groups simultaneously. Namely,

* Civil Engineering & Architecture Research Division

the collective time intervals between successive accidents of the whole groups can be solved by way of the smallest value of the time intervals, and it finally becomes another type of exponential distribution whose parameter is to total all groups' accident frequency rates together as shown in Eqs. (12) and (13). Similarly, time distribution of the period in which accidents have taken place in all groups, can be treated as the largest value of the time intervals and eventually expressed by the product of each group's distribution function exhibited as Eqs. (17) and (18).

The estimation of the parameter of exponential distribution is sometimes difficult in dealing with the maximum and minimum values of the time periods between accidents. Hence, in this study, in order to avoid the disadvantage of estimation of the parameters of distribution function in the process of statistical evaluation, the extreme value ratios (the ratio of the smallest/largest value of the time intervals to the total summed-up hour of time periods between accidents) were derived as Equations (19), (20) and (22), (23). These distribution functions can be used for calculation of the extreme value ratio with reference to a probability without knowing the parameters of exponential distribution. An example using actual accident data is given to illustrate how to examine whether or not the smallest and the largest time intervals between accidents are significant values, by means of the distribution function of the maximum and minimum time ratio derived here.

In conclusion, the author proposes that maximum and minimum time intervals between accidents can be utilized as a useful yardstick to express the safety performance in working places. They can be especially used for the analysis of homogeneity of the time series of accidents as well as the characteristics of the time intervals in a work place where many individual groups exist. Another advantage in relation to the use of the maximum and minimum values of periods is the simplification of the calculation in conducting the statistical evaluation of the time intervals. Particularly, maximum and minimum time ratio distribution can be employed in the analysis of the extreme values of the time periods without knowing the parameter or the accident frequency rate in working places.

1. 緒 言

事業所等における労働災害の発生危険性の評価には、100 万労働時間当りの災害発生数で示される、いわゆる災害度数率（以下たんに度数率と言う）や、延労働者数 1,000 人当りの災害発生数である災害千人率など、いずれも災害発生数を基本とした算定方式が、現在広く用いられている。

ところで、災害発生の危険性、あるいは逆に安全性の評価には、上記の単位時間、単位労働力当りの災害発生数による算定法ばかりでなく、災害が発生する迄の時間数を用いても行えることが、いくつかの研究で明らかにされている^{1)~3)}。とくに、災害発生時間は、災害に関するさまざまな情報の中でも比較的入手しやすい情報であることや、また災害発生時間数による評価内容も、たとえば、度数率の有意差検定によって災害要因の変化（作業環境・条件、労働力の移動、その他）を早く検出出来ることや、あるいは度数率の信頼区間が求められることなど、災害発生時間数は、事業所で日常的に行なう安全性評価に適した尺度であると思われる。

この災害発生時間数を利用した安全水準の評価に関連して、今回、いくつかの災害が発生したときの、災害に至るまでの時間数が最も短い時間数と、最も長い時間数のいわゆる極値の分布について検討を加え、安全性評価へ応用することを試みたので、以下にその結果を報告したい。

2. 最小、最大災害発生時間分布

2.1 順序統計量の分布

最小、最大値を論ずる準備として、順序統計量の分布を考えてみる。互いに独立で同じ分布に従う n 個の確率変数 $X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(n)}$ を小さい順に並び変え、 $X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_n$ としたものを順序統計量と言う。

$$X_1 = \min_i X_{(i)}, \quad X_n = \max_i X_{(i)}$$

$X_{(i)}$ の分布が連続であるとし、その密度関数を $f(x)$ 、分布関数を $F(x)$ として、 i 番目の順序統計量 X_i の分布を求める。 n 個の変数の並び方は $n!$ 通りあることに注意して、

$$\begin{aligned} P_r \{X_i < x\} &= F_i(x) \\ &= n! \int_{-\infty}^x f(x_1) \int_{x_1}^x f(x_2) \int_{x_2}^x f(x_3) \cdots \int_{x_{i-1}}^x f(x_i) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\times \int_{x_i}^{\infty} f(x_{i+1}) \int_{x_{i+1}}^{\infty} f(x_{i+2}) \cdots \\ &\times \int_{x_{n-1}}^{\infty} f(x_n) dx_n dx_{n-1} \cdots dx_2 dx_1 \\ &= n! \int_{-\infty}^x f(x_1) \int_{x_1}^x f(x_2) \int_{x_2}^x f(x_3) \cdots \\ &\times \int_{x_{i-1}}^x f(x_i) \cdot \frac{1}{(n-i)!} [1-F(x_i)]^{n-i} dx_i dx_{i-1} \\ &\quad \cdots dx_2 dx_1 \\ &= n! \left\{ \int_{-\infty}^x f(x_1) \int_{x_1}^x f(x_2) \cdots \int_{x_{i-2}}^x f(x_{i-1}) \right. \\ &\quad \times \frac{1}{(n-i+1)!} [1-F(x_{i-1})]^{n-i+1} dx_{i-1} dx_{i-2} \\ &\quad \cdots dx_2 dx_1 \\ &\quad \left. - \frac{[F(x)]^{i-1} [1-F(x)]^{n-i+1}}{(i-1)!(n-i+1)!} \right\} \\ &= n! \left\{ \int_{-\infty}^x f(x_1) \int_{x_1}^x f(x_2) \cdots \int_{x_{i-3}}^x f(x_{i-2}) \frac{1}{(n-i+2)!} \right. \\ &\quad \times [1-F(x_{i-2})]^{n-i+2} dx_{i-2} dx_{i-3} \cdots dx_2 dx_1 \\ &\quad - \frac{[F(x)]^{i-2} [1-F(x)]^{n-i+2}}{(i-2)!(n-i+2)!} \\ &\quad \left. - \frac{[F(x)]^{i-1} [1-F(x)]^{n-i+1}}{(i-1)!(n-i+1)!} \right\} \\ &\quad \vdots \\ &= n! \left\{ \int_{-\infty}^x f(x_1) \frac{1}{(n-1)!} [1-F(x_1)]^{n-1} dx_1 \right. \\ &\quad - \frac{[1-F(x)]^{n-1}}{(n-1)!} \int_{-\infty}^x f(x_1) dx_1 \\ &\quad - \frac{[F(x)]^2 [1-F(x)]^{n-2}}{2!(n-2)!} \cdots \\ &\quad \left. - \frac{[F(x)]^{i-1} [1-F(x)]^{n-i+1}}{(i-1)!(n-i+1)!} \right\} \\ &= n! \left\{ \frac{1}{n!} \frac{[1-F(x)]^n}{n!} - \frac{[F(x)] [1-F(x)]^{n-1}}{1 \cdot (n-1)!} \right. \\ &\quad - \frac{[F(x)]^2 [1-F(x)]^{n-2}}{2!(n-2)!} \cdots \\ &\quad \cdots - \frac{[F(x)]^{i-2} [1-F(x)]^{n-i+2}}{(i-2)!(n-i+2)!} \\ &\quad \left. - \frac{[F(x)]^{i-1} [1-F(x)]^{n-i+1}}{(i-1)!(n-i+1)!} \right\} \\ &= 1 - \sum_{k=0}^{i-1} \binom{n}{k} [F(x)]^k \cdot [1-F(x)]^{n-k} \\ &= \sum_{k=i}^n \binom{n}{k} [F(x)]^k \cdot [1-F(x)]^{n-k} \quad (1) \end{aligned}$$

これは P_r {少なくとも i 個の変数は x 以下である} と同等である。 X_i の密度関数は上式より、

$$\begin{aligned} \frac{dF_i(x)}{dx} &= f_i(x) = \frac{n!}{(i-1)!(n-i)!} \\ &\quad \times [F(x)]^{i-1} [1-F(x)]^{n-i} \cdot f(x) \quad (2) \end{aligned}$$

上式において $i=1$ とすると、最小値の分布として、

$$F_n(x) = \sum_{k=1}^n \binom{n}{k} [F(x)]^k [1-F(x)]^{n-k} \\ = 1 - [1-F(x)]^n \quad (3)$$

$$f_1(x) = n f(x) [1-F(x)]^{n-1} \quad (4)$$

また $i=n$ とおくと最大値の分布として、

$$F_n(x) = [F(x)]^n \quad (5)$$

$$f_n(x) = n f(x) [F(x)]^{n-1} \quad (6)$$

が得られる。

2.2 最小災害発生時間の分布

本節では、事業所等でいくつか災害が発生した際に、そのうちに災害発生時間間隔がもっとも短いもの（最小災害発生時間）の分布について検討を加える。

まず、事業所で n 件の災害が発生したとして、それぞれの災害発生時間（間隔）を $t_1, t_2, \dots, t_n$ とする。このとき $T_{\min} = \min(t_1, t_2, \dots, t_n)$ の分布の一般式は(3), (4)式で与えられることは前節で既に述べた。

ここで、これまでのいくつかの労働災害の事例調査から、災害の発生はほぼランダムであり、その発生時間分布には指数分布を仮定することが出来ることが分かっている³⁾、次式の指数分布の密度関数を

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (7)$$

$$E(t) = \frac{1}{\lambda}, \quad V(t) = \frac{1}{\lambda^2}$$

(3), (4)式に代入すれば、 $T_{\min}$ の分布として以下の式を得る。

$$F_{\min}(t) = 1 - e^{-n\lambda t} \quad (8)$$

$$f_{\min}(t) = n\lambda e^{-n\lambda t} \quad (9)$$

$$E(T_{\min}) = \frac{1}{n\lambda}, \quad V(T_{\min}) = \frac{1}{n^2\lambda^2}$$

また、式中の λ は最尤法によって、度数率と次式の如く関係づけられる。^{*}

$$\lambda = \frac{A}{100} \quad (10)$$

ただし、 A : 災害度数率 (単位 1/万時間)
したがって、上の関係式によって度数率に対応した $T_{\min}$ の確率分布を求めることが出来、たとえば、Fig. 1 には

^{*} 災害発生時間分布を

$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ とすると尤度関数は、

$$\mathcal{L}(\lambda) = \lambda^n e^{-\lambda T} \quad \left(T = \sum_{i=1}^n t_i \right)$$

$$\frac{\partial \ln \mathcal{L}(\lambda)}{\partial \lambda} = 0 \quad \text{より}$$

$$\lambda = \frac{n}{T} = \frac{A}{100}$$

度数率 $A=1.0$ のときの、災害件数 $K=1 \sim 10$ までの $T_{\min}$ 分布の確率密度関数を示した。また、分布の確率値については(8)式で計算すれば良いが、特定の確率値に対応した度数率と最小災害発生時間数との関係を求めるには、次式による方が便利である。

$$T_{\min} = -\frac{100}{K \cdot A} \ln(1-P) \quad (11)$$

P : 最小発生時間数が $T_{\min}$ 以下である確率

たとえば、災害件数 $K=10$ のときの、各種 P 値に対応した A と $T_{\min}$ との関係を調べたのが Fig. 2 であり、また、 $P=0.05$ として、 $A=1.0 \sim 100.0$, $K=1 \sim 12$ の範囲で $T_{\min}$ を求めたのが Fig. 3 である。

事業所でいくつか災害が発生したときに、もっとも災害危険性の高い時期は、災害発生時間（間隔）がもっとも短い期間であると考えられるが、その時間の長さを統計的に評価するには、式(11)あるいはこれらの図を用いればよい。すなわち、もし実際の最小災害発生時間間隔が $T_{\min}$ よりも短ければ、つまり、各災害件数に応じた最小災害発生時間が、Fig. 3 に示される時間数よりも短かければ(図中の直線よりも下側の場合)、集団全体は均質と言えずその最小災害発生時間の時期は、事業所内で災害が起きやすくなる要因が強く作用した期間であると判断することが出来る。

次に、最小値に関する別の形式の問題として、Fig. 4 に示すとおり、複数の独立した生産活動を行なう集団があり、それぞれの集団ごとに労働災害がランダムに発生しているとき、集団全体としての災害発生時間(間隔)の分布を考えてみる。この問題は、各集団から1個ずつ抽出されたデーターの最小値 $T'_{\min} = \min(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n)$ の分布を求める問題として解くことが出来、最終的には、個々の集団の度数率を合計した値 S をパラメーターとした指数分布式で示される³⁾。

$$F'_{\min}(t) = 1 - e^{-st} \quad (12)$$

$$f'_{\min}(t) = s e^{-st} \quad (13)$$

ここに、 $s = \sum_{i=1}^n A_i / 100$ (A_i : 集団 i の度数率)

この問題で、各集団の λ (または A) が総て等しいときは ($\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n = \lambda$)、ひとつの集団から n 個のデーターを抽出したときの最小値の分布を求めることと同等になり、(12), (13)式は(8), (9)式と一致する。

また個々の災害が発生する迄の時間が指数分布であれば、集団全体で複数件の災害が発生する迄の時間の分布は、同じく S をパラメーターとしたガンマ分布で示されることは良く知られているとおりである。

Fig.-1 Probability density function of $f_{\min}$ distribution
 $f_{\min}$ 分布の密度関数

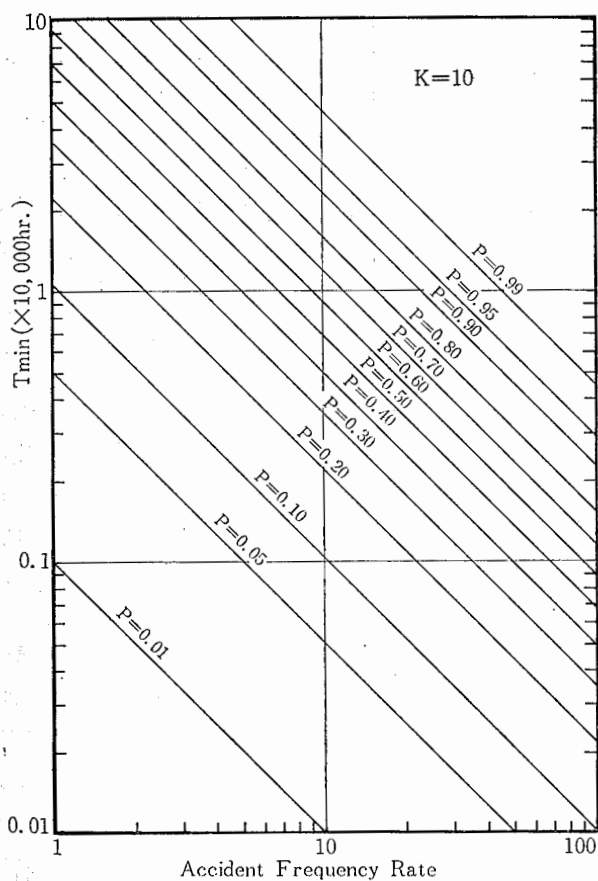
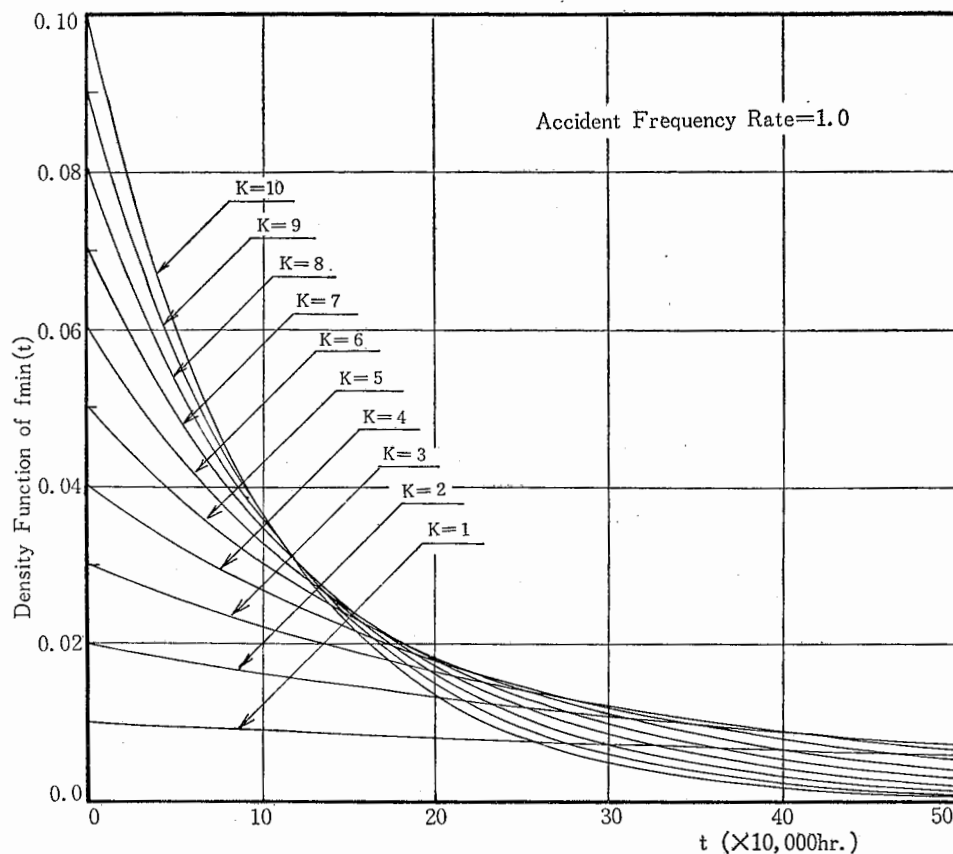


Fig.-2 Relation between $T_{\min}$, P and Accident rate.

$T_{\min}$, P 及び A との関係

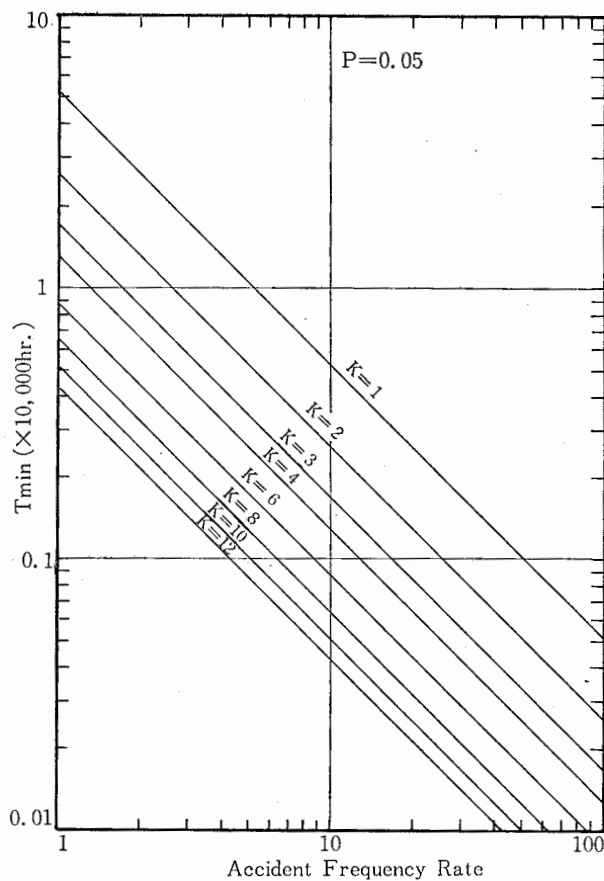


Fig.-3 Relation between $T_{\min}$ and Accident rate ($p=0.05$)

$T_{\min}$ と Accident rate との関係

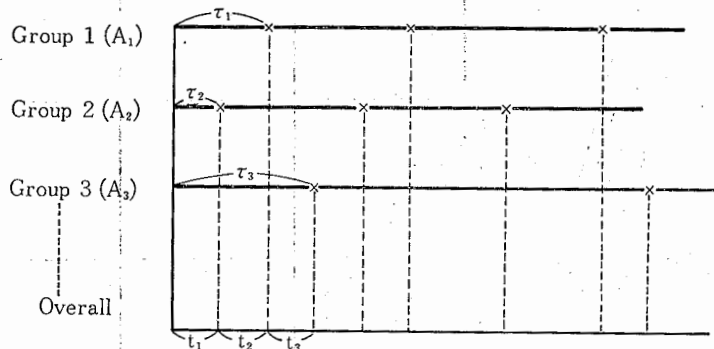


Fig. -4 Time intervals of accidents of collective groups.
集団全体の災害発生間隔の分布

2.3 最大災害発生時間の分布

本節では、事業所でいくつか災害が発生した際に、そのうちで災害発生時間がもっとも長い時間（最大災害発生時間）の分布について考察を加える。

最小値の分布と同様に、 n 件の災害が起こったとき、それぞれの災害発生時間を $t_1, t_2, \dots, t_n$ とすると、その最大値 $T_{\max} = \max(t_1, t_2, \dots, t_n)$ の分布の一般式は (5), (6) 式で示されており、同式に指数分布 (7) 式を代入すると、災害の発生がランダムなときの、最大災害発生時間の分布として以下の式を得る。

$$F_{\max}(t) = (1 - e^{-\lambda t})^n \quad (14)$$

$$f_{\max}(t) = n\lambda e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^{n-1} \quad (15)$$

$$E(T_{\max}) = \sum_{k=0}^{n-1} (-1)^k \binom{n-1}{k} \frac{n}{(k+1)^2 \lambda} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i}$$

$$V(T_{\max}) = \sum_{k=0}^{n-1} (-1)^k \binom{n-1}{k} \frac{2n}{(k+1)^3 \lambda^2}$$

$$- \{E(T_{\max})\}^2 = \frac{1}{\lambda^2} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i^2}$$

Table 1 には、 λ の関数としての上記の分布の期待値 ($E(T_{\max})$) と分散 ($V(T_{\max})$) を調べた結果を示した。表中の ∞ は、極値分布より求めた結果である。*

また、(10) 式によって度数率と λ が関係づけられるので、 $A=5.0$ として (15) 式による $T_{\max}$ 分布の確率密度関数を、災害件数 $K=1 \sim 10$ まで計算した結果を Fig.

** n を大きくすると、(14), (15) 式は次の極値分布となる⁴⁾。

$$F_{\max}(y) = \exp\{-e^{-y}\}$$

$$f_{\max}(y) = \exp\{-y - e^{-y}\}$$

$$y = \lambda(t - t_0), \quad t_0 = \frac{1}{\lambda} \ln n$$

$$E(y) = \gamma \text{ (Euler 定数)}, \quad V(y) = \frac{\pi^2}{6}$$

Table 1 Expectations and Variances of $T_{\max}$ distribution.

$T_{\max}$ 分布の平均値および分散

Number of Accidents	$E(T_{\max})$	$V(T_{\max})$
$n=1$	$1.000/\lambda$	$1.000/\lambda^2$
$n=2$	$1.500/\lambda$	$1.250/\lambda^2$
$n=3$	$1.833/\lambda$	$1.361/\lambda^2$
$n=4$	$2.083/\lambda$	$1.424/\lambda^2$
$n=5$	$2.283/\lambda$	$1.464/\lambda^2$
$n=6$	$2.450/\lambda$	$1.491/\lambda^2$
$n=7$	$2.593/\lambda$	$1.512/\lambda^2$
$n=8$	$2.718/\lambda$	$1.527/\lambda^2$
$n=9$	$2.829/\lambda$	$1.540/\lambda^2$
$n=10$	$2.929/\lambda$	$1.550/\lambda^2$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$n \gg C$	$(\gamma + \ln n)/\lambda$	$\pi^2/6 \lambda^2$

γ : Euler const. = 0.5772...

5 に示した。分布の形状としては、ガンマ分布に良く似ていることがわかる。

最大災害発生時間数の確率的な評価は、(14) 式の分布関数によって行なえるが、最小値のときと同様に、特定の確率値に対応した、最大災害発生時間数、度数率、および災害件数との関係を求めておいた方が、実際の評価には便利である。

そこで、最大災害発生時間がある時間数以上である確率（上側確率値）を P 、度数率を A 、災害件数を K とすると、 $T_{\max}$ は、

$$T_{\max} = -\frac{100}{A} \ln \{1 - (1 - P)^{1/K}\} \quad (16)$$

P : 最大災害発生時間数が $T_{\max}$ 以上である確率
たとえば、 $K=5$ のときのさまざまな P 値に対する $T_{\max}$

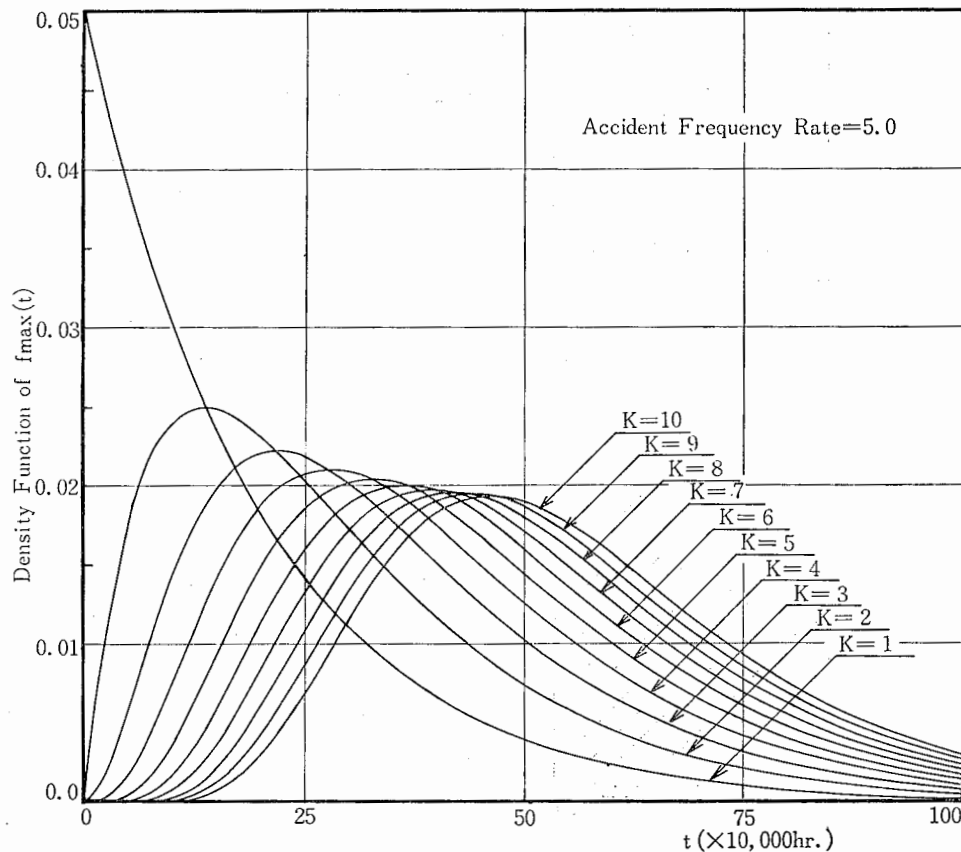


Fig.-5 Probability density function of $f_{\max}$ distribution.
 $f_{\max}$ 分布の確率密度関数

と A との関係求めたのが Fig. 6 であり、また、最小値と同じく $P=0.05$ のときの、 $K=1\sim 12$ までの $T_{\max}$ と A との関係求めたのが Fig. 7 である。

事業所でいくつか災害が起こったときに、全体を通して一番安全であった時間は、災害発生時間間隔がもっとも長い時期であると考えられるが、その最大災害発生時間間隔が、統計的に有意に長い時間数であるか否かを判断するには、これらの図、とくに Fig. 7 は有効である。すなわち、各災害件数に対応した最大災害発生時間数が、同図に示された時間数よりも長ければ（図中の直線よりも上側の場合）、その最大災害発生時間は統計的に有意に長い時間数であると言え、結果として期間全体は均質とは言い難くその最大時間の時期は災害が起きにくい要因が強く作用していた時期であると判断することが出来る。

次に、Fig. 4 に示される n 個の独立した集団での災害発生時間の最大値 $T'_{\max} = \max(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n)$ の分布を考える。最小値同様、各集団での災害はランダムであるとし、度数率を A_i とすると、最大値の分布は、以下の式で示される。

$$F'_{\max}(t) = \prod_{i=1}^n (1 - e^{-(A_i/100)t}) \quad (17)$$

$$f'_{\max}(t) = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{100} e^{-(A_i/100)t} \cdot \prod_{\substack{k=1 \\ (k \neq i)}}^n (1 - e^{-(A_k/100)t}) \quad (18)$$

集団全体での最大値の確率値（分布関数）は、各集団の分布関数の積となっており、各集団の A_i (または λ_i) が等しいときに、上記の各式は(14)、(15)式と一致する。つまり、生産活動集団がいくつかあったときの集団全体の災害発生時間分布に関して、前節での最小災害発生時間の分布が、集団全体としての個々の災害が発生する時間の分布を与えているのに対して、最大災害発生時間の分布は、すべての集団で災害が発生するまでの時間の分布を与えていることがわかる。

3. 災害発生時間比の分布

前章での最小、最大災害発生時間数による評価を行なうためには、分布のパラメーター λ または度数率 A を事前に知ることが必要であった。本章では、より簡便な、

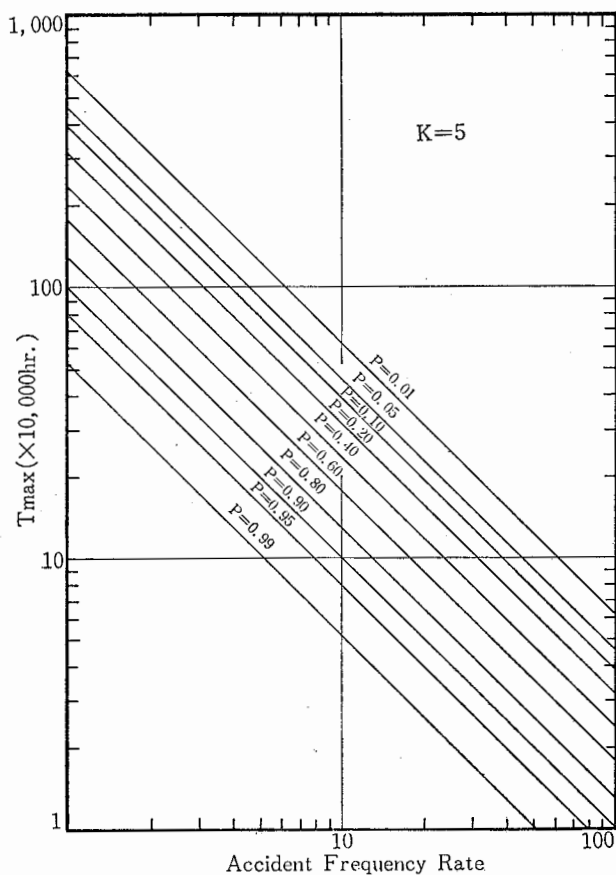


Fig. -6 Relation between $T_{\max}$ P and Accident rate.

$T_{\max}$, P 及び Accident Rate との関係

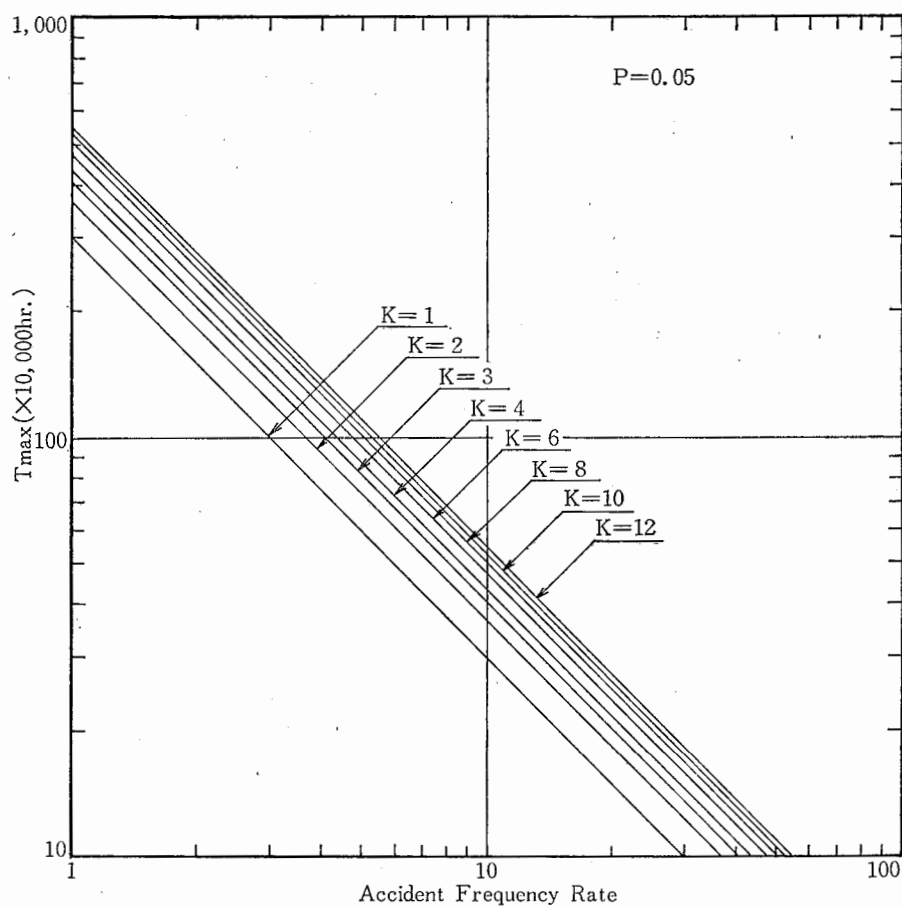


Fig. -7 Relation between $T_{\max}$ and Accident rate ($p=0.05$).

$T_{\max}$ と Accident rate との関係

もとの母集団確率分布のパラメーターの規定を必要としない分布によって、最小、最大災害時間数を評価することを試みる。ただし、災害の発生はこれまでと同じくランダムであるとする。

3.2 最小時間比の分布

まず、Fig. 8 に示すとおり、ある基準の点から n 件の災害が発生するまでの時間数を T とし、 n 件の災害発生間隔のうちの最小値を $t_{\min}$ とすると、 $t_{\min}$ の T に対する比（最小時間比） $Y=t_{\min}/T$ は次の分布に従うことが示される。

$$\text{Pr.}(Y < y) = G_{\min}(y) = 1 - (1 - ny)^{n-1} \quad (19)$$

$$g_{\min}(y) = n(n-1)(1-ny)^{n-2} \quad (20)$$

ただし、 $0 \leq y \leq 1/n$

$$E(Y) = \frac{1}{n^2}, \quad V(Y) = \frac{(n-1)}{n^4(n+1)}$$

また(19)式の下側分布関数が α である点は、

$$y_{\alpha} = \frac{1}{n} - \frac{1}{n} (1-\alpha)^{1/(n-1)} \quad (21)$$

Fig. 9 には最小時間比分布の密度関数を示し、更に(21)式での n と $y_{\alpha}(t_{\min}/T)$ の関係を α とパラメーターとして調べた結果を Fig. 10 に示した。また、Table 2 には、1977（昭和 52 年）、1.14～1982（昭和 57 年）、1.22 までの 5 年間 1834 日の間に、東京都内で発生した重大災害（一度に 3 人以上の被災者を含む労働災害）全 40 件の発生間隔を日数で示したものである。同表より、最小間隔は 1 日であり、 $y=1/1834=5.45 \times 10^{-4}$ となる。

Fig. 10 から明らかなとおり、この値は有意に短い値ではない。

3.1 最大時間比の分布

最小時間比と同様に、総時間数 T に対する最大災害発

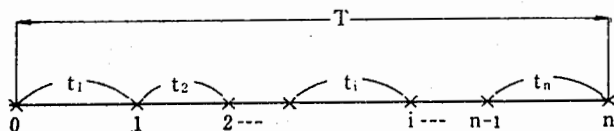


Fig. -8 Descriptive model of time intervals between accidents.

災害発生間隔の記述モデル

Table 2 Time Intervals between serious Accidents involving more than 3 men injured in Tokyo. (from 1977.1.14 to 1982.1.22)

東京都における重大災害の発生間隔(日数)

47	1	12	23
22	6	273	25
13	19	6	24
16	3	9	18
6	61	227	92
15	1	5	119
3	79	79	85
1	53	76	204
21	17	15	56
22	19	27	31

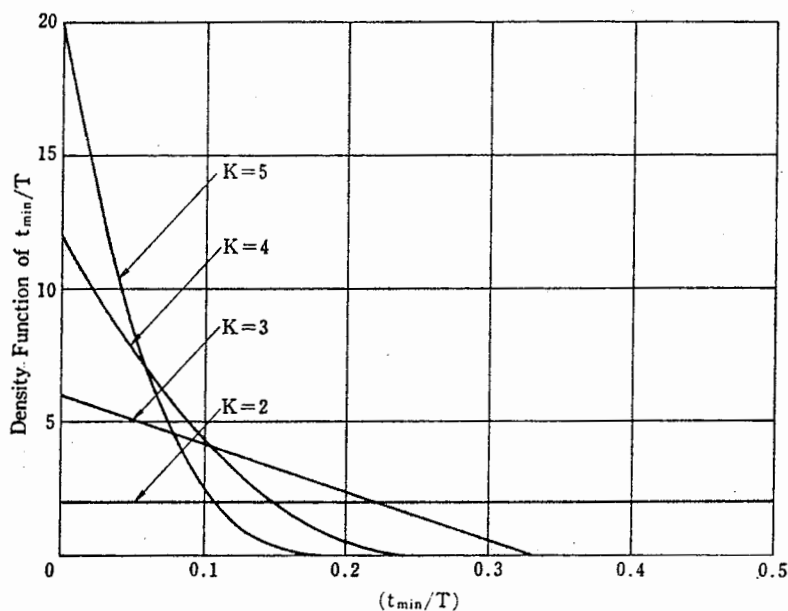


Fig. -9 Probability density function of $t_{\min}/T$ distribution
 $t_{\min}/T$ 分布の確率密度関数

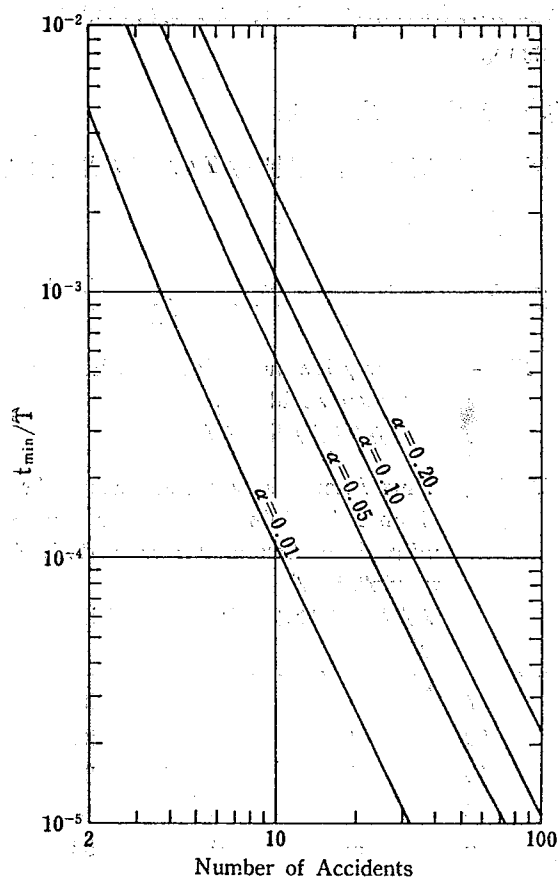


Fig.-10 Relation between $t_{\min}/T$ and the number of accidents.
 $t_{\min}/T$ と災害数との関係

生時間数 $t_{\max}$ の比 (最大時間比) $X=t_{\max}/T$ についての分布を考える。 X の分布については、その厳密解が R. A. Fisher によって次式の如く得られており、1%、5% 値については数表化されている⁵⁾。

$$\text{Pr.}(X>x)=G_{\max}(x)=\sum_{1 \leq j \leq 1/x} \binom{n}{j} (-1)^{j-1} (1-jx)^{n-1} \quad (22)$$

ただし、 $1/n \leq x \leq 1$

上式での数値計算は、 n が大きくなると大変面倒なので、次の近似式を用いることとする。

$$G_{\max}'(x)=1-[1-(1-x)^{n-1}]^n \quad (23)$$

上側分布関数値が α となる点を近似式より求めると、

$$x_{\alpha}=1-[1-(1-\alpha)^{1/n}]^{1/(n-1)} \quad (24)$$

上記近似式による x_{α} 点と厳密解とでは、約 0.3% 程度の誤差しかみられず、近似式として十分な精度を有していると思われる。厳密解による最大時間比分布の密度関数を Fig. 11 に示し、また、 x_{α} と n との関係 α をパラメーターとして近似式より求めた結果が Fig. 12 である。Table 2 より、273 日が最長の発生間隔であるが、この値を最大時間比によって評価してみると、まず $x=273/1834=0.1489$ であり、一方 (24) 式より $\alpha=0.05$ の時は $x_{0.05}=0.1570$ 、 $\alpha=0.10$ のときは $x_{0.10}=0.1413$ が得られるので、上記の日数は 10% 有意であると言える。5% 有意であるためには、 $t_{\max}$ が 288 日以上でなければならないことがわかる。

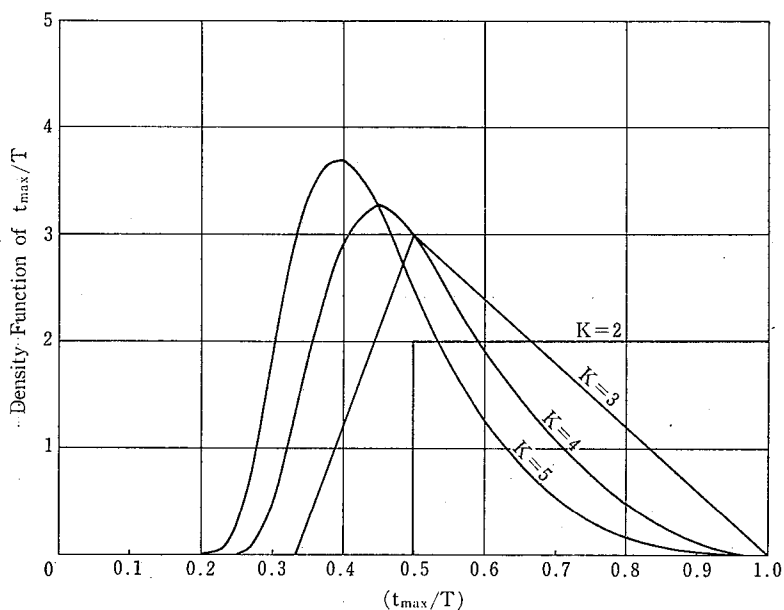


Fig.-11 Probability density function of $t_{\max}/T$ distribution.
 $t_{\max}/T$ 分布の確率密度関数

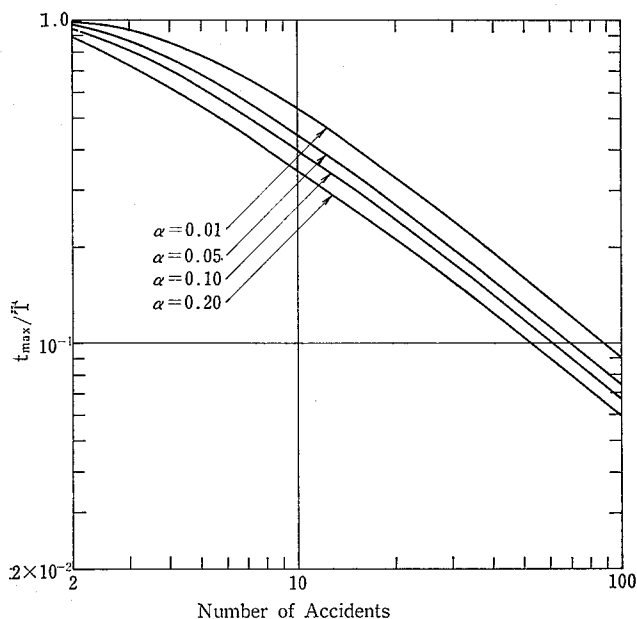


Fig. -12 Relation between $t_{\max}/T$ and the number of accidents.
 $t_{\max}/T$ と災害数との関数

4. 結 論

以上本論では、事業所で労働災害が何件か発生した場合の、最小と最大の災害発生時間数および時間比に関する確率分布とその応用について検討を加えてきたが、ここでその要点を記すと、

(1) 最小値、最大値に関する一般式は順序統計量より求められる。 n 件の災害が起こった時に、災害発生間隔の最小値の分布は、災害の発生がランダムな場合には、元の指数分布のパラメーターを n 倍した値をパラメーターとする指数分布となる。また最大値については、元の分布の分布関数を n 乗したものが、その分布関数となる。分布のパラメーターを度数率と結びつけることによって、任意の度数率と災害件数に対応した最小、最大災害時間数の確率値を求めることや、特定確率値に対応した時間数を求めることによって、最小、最大時間数の評価を行なうことが出来る。

(2) いくつかの集団があり、各集団ごとにランダムに災害が発生しているとき、集団全体として個々の災害

が発生する時間分布は、各集団から1個ずつデータ（災害）を抽出したときの、最小災害発生時間分布を求める問題として取扱うことが出来、分布形としては、各集団の度数率を合計した値をパラメーターとする指数分布となっている。一方、すべての集団で災害が発生する迄の時間の分布は、各集団より抽出されたデータの最大値の分布として取扱え、各分布関数の積が最大値分布の分布関数となる。

(3) 最小災害発生時間（間隔）と総時間数との比（最小災害時間比）、あるいは最大災害時間と総時間との比（最大時間比）とを用いれば、元の分布のパラメーターの規定を必要とせずに、簡便に最小および最大災害発生時間数を評価することが出来る。

以上、災害発生時間の極値（最小値、最大値）について検討したが、これらの最小、最大災害時間による分析は、たとえば集団全体の災害特性を知るのに便利なことや、あるいは数値的取扱いも簡単であることなど、評価法としての利点をいくつか有しており、災害発生時間数による安全性評価の利用範囲を広げるものと思われる。

また、災害発生時間数による評価法は、これを実際に行なわれているさまざまな安全管理手法と結びつけることによって、安全水準ばかりでなく安全管理手法の効果を測定することも可能と思われ、有効な安全管理法開発への応用が期待される。

(昭和 58 年 11 月 9 日受付)

参 考 文 献

- 1) B. A. Maguire, E. S. Pearson, and A. H. A. Wynn: Biometrika, 39, pp. 168~180, 1952
- 2) 花安繁郎: 労働省産業安全研究所技術資料, RIIS-TN-76-2, 1976
- 3) 花安繁郎: 労働省産業安全研究所研究報告, RIIS-RR-26-3, 1977
- 4) E. J. Gumble: 極値統計学 (河田, 岩井, 加瀬訳), 広川書店, p.136, 1963
- 5) R. A. Fisher: Contributions to Mathematical Statistics, 16. 53 a~59 a, John Wiley & Sons, 1950

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-32-3

昭和 59 年 3 月 20 日 発行

発行所 労働省産業安全研究所
〒 108 東京都港区芝 5 丁目 35 番 1 号
電話 (03) 453-8441(代)

印刷所 新日本印刷株式会社

UDC 519.2 : 614.8-02

災害発生間隔の分布に関する研究 (第2報)

花安 繁郎

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-32-3 (1984)

事業所で日常的に行なう安全水準の評価尺度として、災害発生時間はいくつかの利点を有している。本論は、災害発生時間を用いた評価法の適用範囲を広げるため、災害が発生する迄の時間が最も短い時間 (最小災害発生時間) と、最も長い時間 (最大災害発生時間)、およびそれらの総時間に対する比の分布について検討を加えた。

最小および最大値の確率分布の一般式を導いたのち、災害の発生がランダムな場合の、最小、最大災害発生時間数あるいは、最小、最大時間比の分布を求め、これらの分布を利用した評価法について考察を加えた。(図 12, 表 2, 参 5)



UDC 519.2 : 614.8-02

A Study on Time Intervals between Occupational Accidents (II).

by Shigeo HANAYASU

Research Report of the Research Institute of Industrial Safety, Ministry of Labour
RIIR-RR-32-3, (1984)

This study takes the fluctuating time intervals between occupational accidents into consideration, regarding them as a useful measurement of safety performance in working places having a certain accident risk.

In particular, emphasis is placed on the statistical analysis for the extreme values of the time intervals between accidents. The distributions of the smallest and largest values among the observed time intervals are derived from order statistics. Statistical evaluation using these extreme distribution functions are proposed. Extreme value analysis is also applied to discover the collective time intervals between accidents of a working place with many independent groups. Distributions of the extreme value ratio is derived to simplify the treatment of parameters of population, and an example is given to demonstrate the usefulness of these distributions. (12 Figures, 2 Tables, 5 References)

