

桜島爆発の時間的分布*

久本 壮一**

Time Distribution of the Occurrence of
Sakurajima-Explosions

S. Hisamoto

(Seismological Division, J. M. A.)

The time distribution of the occurrence of the Sakurajima-explosions during period 1973 to 1982 is statistically discussed.

It is found that the frequency distribution of time interval (τ) between two successive explosions does not fit a exponential distribution, or frequency distribution of numbers (n) of explosions per unit time interval does not fit a Poisson distribution.

This means the occurrence of the explosions during the whole period is not random, but sequential.

For the data during shorter periods of the sequent explosions, however, frequency distributions of τ fit a exponential distribution, and frequency distributions of n fit a Poisson distribution. This means the occurrence of the explosions during the shorter explosive period is random in time.

§ 1 はしがき

よく知られているように、地震の発生が時間的に定常で、かつランダムならば、時間間隔の分布は指数分布となり、回数の分布はポアソン分布になる。宇津(1969)は、この逆が必ずしも成立しないことに注意を促している。ここに、時間間隔とは相次ぐ2つの地震の時間間隔のことであり、回数とは一定の期間当りの地震回数のことである。

桜島の爆発について、その時間間隔および発生回数
の調査を試みたので報告する。

調査の対象とした期間は1973年から1982年までの10年間、資料は鹿児島地方気象台の観測によるもので、1973~1978年間は気象要覧掲載の表を用い、1979年以降は気象庁火山報告および同台からの火山観測報
りによった。

§ 2 時間間隔

この10年間における桜島の爆発総回数は2227回、したがって、相次ぐ2つの爆発の時間間隔は2226回ある。この2226回はFig.1のように分布する。Fig.1の縦軸は度数、横軸の単位は時間である。

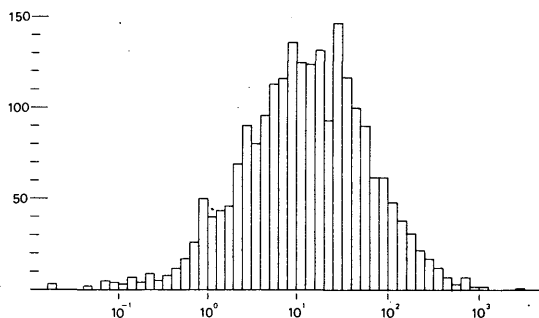


Fig.1 Frequency distribution of time intervals between two successive explosions. (abscissa in logarithmic time scale)

時間間隔を τ で表すことにする。もし、 $\tau=100.00$ 時間というものがあれば、Fig.1では、横軸 $10^{1.9} \sim 10^{2.0}$ の幅に数えこんである。

τ の最短は1分、最長は2650.8時間である。最短のものから最長のものまでを図示しようとしてFig.1を画いたが、横軸の対数による等間隔は、度数分布としては、必ずしも直感的でない。

例えば、横軸 $10^{2.0} \sim 10^{2.1}$ の実時間幅は25.89時間で、この時間幅にはいる度数は48回であるから、この時間幅の間では、どの1時間にも48/25.89回ずつ度数が分布しているものと見做して、Fig.1を、1時間当

* Received Feb 15, 1983

** 気象庁地震課

りの度数に書き改めると Fig.2 が得られる。

Fig.2 に示されるように、分布は、明らかに指数分布ではない。

Fig.1 の書きなおしではなく、直接1時間ごとの度数を数えると、Fig.3 となる。Fig.3 をみると、 τ が約20時間より長いところでは、長くなるにつれて度数は徐々に減少していくが、約20時間より短いところでは、短くなるにつれて度数の急増が目立つ。

τ の小さい範囲で、度数が大きくなることについて、宇津(1969)は次のように指摘している。宇津の指摘は火山爆発についてではなく、地震についてである。すなわち、「 τ の小さい範囲で、 τ の度数が指数分布から期待されるものよりも大きくなる傾向がみえる。これを地震の統発性のためと解すよりも、比較的少数の大きな地震が余震を伴っていることが原因と考えたほうがよい場合が多い」と述べ、余震を取除いたデータに対しては指数分布がよくあてはまるという例を挙げている。もっとも、宇津も注意を促しているように、指数分布にならないということから言い得ることは、地震の発生が定常的でないか、またはランダムでないということだけであって、指数分布にならないということが、ただちに、余震や群発地震を含むか否かを意

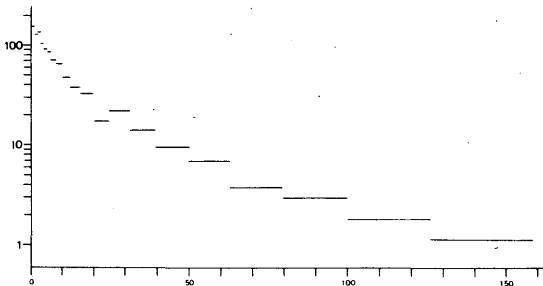


Fig.2 Averaged frequency distribution of time intervals between two successive explosions. (per 1 hour)

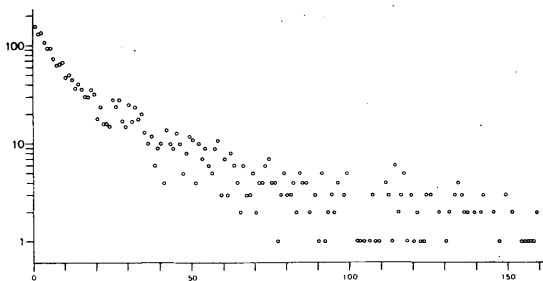


Fig.3 Frequency distribution of time intervals between two successive explosions (per 1 hour)

味するものではない。

時間的にランダムでない活動を、仮に集中性(統発性)を含む活動と呼ぶことにすれば、桜島の爆発に、地震の本震・余震に相当する本爆発・余爆発と称すべき現象があるか否か必ずしも明らかではないが、少なくとも爆発現象について、本爆発・余爆発による集中性という立場での議論はあまりなされていない。

Fig.3 における、 τ の小さい範囲での度数の著しい増大は、いずれにしても、統発性を含む活動であることを示すものであろう。

そこで、時間間隔の系列

$$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{2226}$$

を、20時間より長い、短いによって分け、 >20 時間のものには○を、 ≤ 20 時間のものには●を付して、連を作ると Fig.4 が得られる。Fig.4 は横につながる連で、上から2段目の左端が、最上段の右端につながり、以下同様である。Fig.4 に示されるように、合計2226個のうち、○が854個、●が1372個で、連は全部で826となる。無規則性の検定*を行うと、「配列は無規則也」という仮説は、有意水準0.001で棄却される。すなわち、偶然にしては連の数が少なすぎ、●印($\tau_i \leq 20$ 時間)が続けて現われすぎている。●の連の長さの最長は45である。

いま、このような連続的爆発期間として、1974年5月27日~6月16日(期間I)および1974年6月21

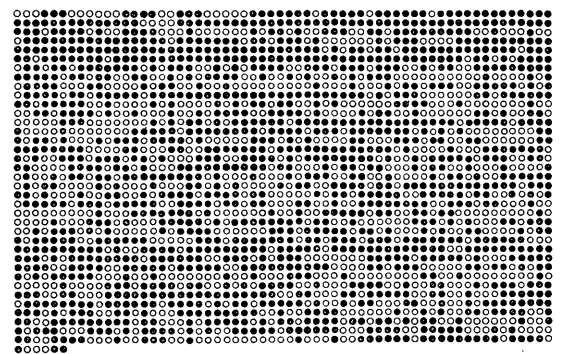


Fig.4 Runs of ○ and ●, where ○: $\tau_i > 20$ hours, ●: $\tau_i \leq 20$ hours, τ_i represents time interval between two successive explosions.

* 一般に、○が m 個、●が n 個、連が全部で U 個あるとき、 $m > 10, n > 10$ ならば、 $t = (U - 2Na\beta) / 2\alpha\beta\sqrt{N}$ は正規分布 $N(0, 1)$ に近づくことが知られている。ここに、 $m + n = N, m = Na, n = N\beta$ である。

日～7月7日(期間Ⅱ)という2つの期間に着目して
みる。

期間Ⅰは21日間で、この間の爆発回数68回、したがって時間間隔は67(上記の長さ45の連はこの中に含まれる)、期間Ⅱは17日間で、この間の爆発回数53回、したがって時間間隔は52である。

それぞれの期間について、時間間隔の度数を数えると、Fig.5となる。Fig.5(I)が期間Ⅰのもの、Fig.5(Ⅱ)が期間Ⅱのものである。図中の白丸は4時間ごとの度数、黒丸はその累積度数である。いずれもほぼ指数分布を示している。

さらに、期間Ⅰにおける τ の現れ方と、期間Ⅱにおける τ の現れ方が、同一母集団からのサンプル也といえることを確かめて*、両期間における τ のデータをまぜ合わせ、度数を数えると、Fig.6が得られる。ただし、期間Ⅰ、期間Ⅱを別々にみるとデータ数が少ないので、データ数を増やすために、まぜ合わせたわけである。Fig.5は4時間ごとの度数を示したが、Fig.

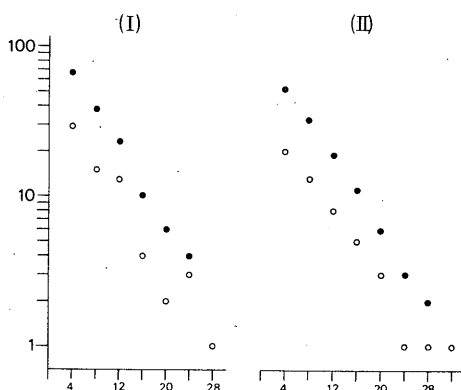


Fig. 5 Frequency distribution of time intervals. (per 4 hours)
(I) : during period May 27 to June 16, 1974.
(II) : during period June 21 to July 7, 1974.

* この確めに、例えば次のような方法がある。
期間Ⅰ : $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$
期間Ⅱ : $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k$
上のデータをまぜ ($n+k$) 個のものを考え、小さい順に1から $n+k$ までの番号を付し、期間Ⅱに属する番号の総和を T とする。

$$U = nk + \frac{k(k+1)}{2} - T \quad \text{を作ると、}$$

$n, k \geq 8$ ならば、 U は近似的に

$$N \left(\frac{nk}{2}, \frac{nk(n+k+1)}{12} \right)$$

に従うことが知られている。結果は、有意水準を0.1としても、仮説は棄却されない。

6中の白丸は2時間ごとの度数、黒丸はその累積度数である。黒丸はかなりきれいに直線状を画いて(指数分布を示して)いる。

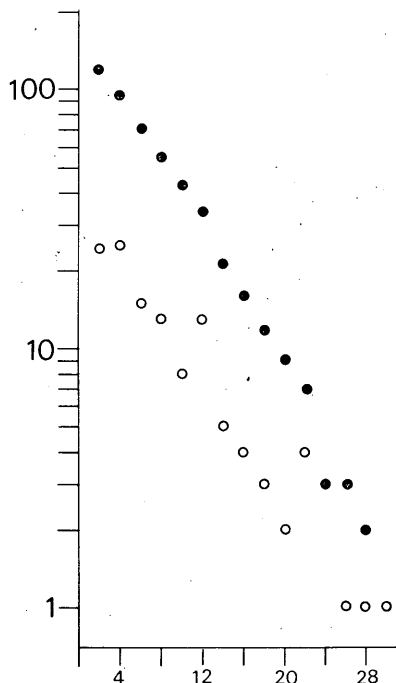


Fig. 6 Frequency distribution of the time intervals for mixed data of the two periods. (per 2 hours)

§ 3 爆発回数

Fig.7は、10年間の月別爆発回数である。月別回数には、明らかに周期性が認められる。

10年間の総日数は3652日、このうち爆発のなかつ

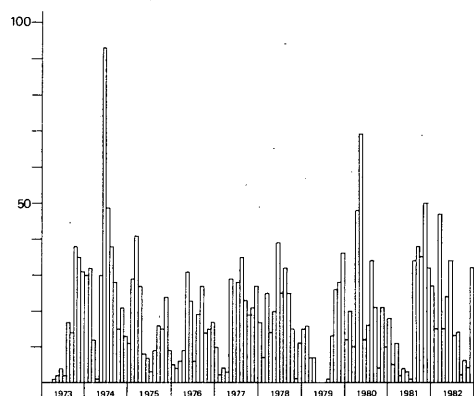


Fig. 7 Monthly numbers of Sakurajima-explosions. (1973-1982)

た日が2393日、1回でも爆発のあった日が1259日である。

いま、3652日を一列に並べたカレンダーを作り、爆発のなかった日には○を、1回でも爆発のあった日には●を付すと、Fig.8が得られる(つながり方はFig.4に同じ)。Fig.8における○印、●印の配列は、は

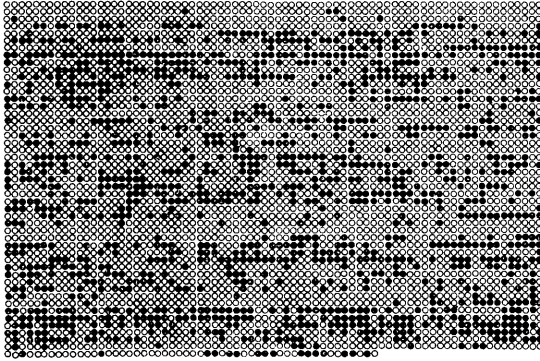


Fig.8 Runs of ○ and ●, where ○:no explosion day, ●:explosion day.

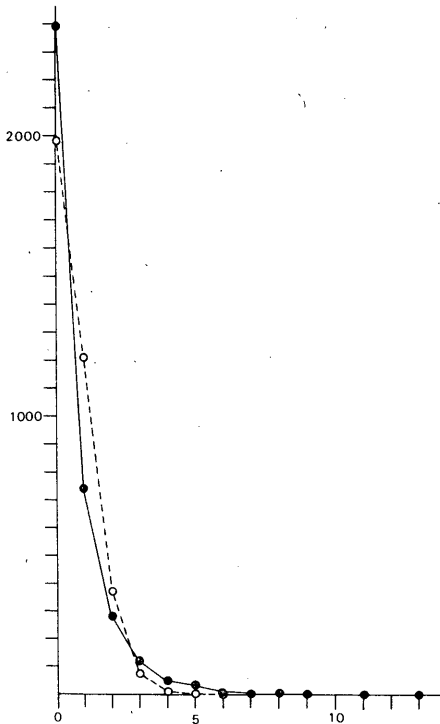


Fig.9 Frequency distribution of numbers of explosions per one day. ○ represent the corresponding Poisson distribution.

たして無規則であると言えるかどうかを調べてみる。連の総数は1163個となり、「配列は無規則也」という仮説は、有意水準0.001で棄却される。

すなわち、偶然にしては連の数が少なすぎ、爆発日、無爆発日が続けて現われすぎている。●の連の長さの最長は17日、爆発日連続10日以上が13回ある。

10年間全体における、1日ごとの爆発回数度数分布は、Fig.9中の黒丸に示されるとおりである。図中の白丸は備想的に加算した対応するポアソン分布である。当然ながら、黒丸分布はポアソン分布に適合しない。

いま、§2において着目した期間I、期間IIについて、ふたたび調べることにする。上記した最長の連(長さ17日)は期間IIである。

それぞれの期間について、1日ごとの爆発回数の分布を調べると、Fig.10(I),(II)となる。Fig.10(I)が期間I、Fig.10(II)が期間IIのものである。いずれも図中の黒丸が実際の爆発回数の分布、白丸がそれぞれに対応するポアソン分布である。

黒丸分布のポアソン分布に対する適合度を調べてみる*と、「爆発回数の分布はポアソン分布に適合する」という仮説は、有意水準を0.1としても、棄却されない。

なお、期間Iおよび期間II中、爆発は「はたして一様に分布していたのか」ということを確かめてみる。すなわち、日別爆発回数の時系列の一樣分布への適合度を調べてみる**と、期間I、期間II、いずれの場合も、「一樣分布に適合する」という仮説は、有意水準を

* 一般に、この種の検定は、 χ^2 検定によってなされる。しかし、今の場合、Fig.10に示されるとおり、実際の度数 n_i も、理論頻度 np_i も、 ≤ 5 のものが多く、形式的に χ^2 分布表を用いることができないので、

$$E(\chi^2) = R - 1$$

$$D^2(\chi^2) = 2(R-1) - \frac{1}{n}(R^2 + 2R - 2) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^R \frac{1}{p_i}$$

$$(ここに n = \sum_{i=1}^R n_i)$$

として、チェビシエフの不等式を用いる。

** 一般には、爆発回数の時系列を $n_i (i=1, 2, \dots, R)$ とし、 n_i の平均値を \bar{n} とすれば

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^R \frac{(n_i - \bar{n})^2}{\bar{n}}$$

が自由度 $R-1$ の χ^2 分布に従うことを用いればよい。しかし、今の場合、 $\bar{n} < 5$ で、 $n_i < 5$ のものが多く、形式的に χ^2 分布表を用いることができないので、ポアソン分布への適合を調べたときと同様にして、チェビシエフの不等式を用いる。

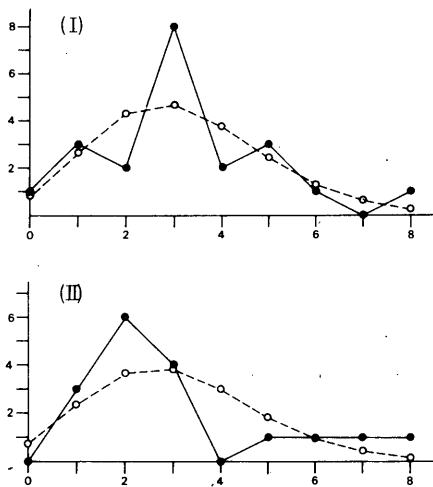


Fig. 10 Frequency distribution of numbers of explosions per one day.

(I) : during period May 27 to June 16, 1974.

(II) : during period June 21 to July 7, 1974.

○ represent the corresponding Poisson distribution.

0.1としても棄却されない。

§ 4 むすび

桜島爆発の時間的分布を、1973～1982年(10年間)のデータを用いて調査し、次の結果を得た。

(1) 10年間全体についてみると、時間間隔の分布

は指数分布とはならないし、もちろん、回数分布もポアソン分布とはならない。

(2) 時間間隔の分布は、約20時間よりも短い間隔のところ、度数が急増する。

(3) 時間間隔について、連による検定を試みると、連の数が少なすぎ、20時間以短のものが続けて現われすぎる。

(4) 爆発のなかった日と、1回でも爆発のあった日とに分けて、連による検定を試みると、連の数が少なすぎ、爆発日、無爆発日が続けて現われすぎる。

(5) これらのことから、「桜島の爆発には統発性あり」が容認できよう。

(6) 10年間全体ではなく、統発性による連続的爆発活動期に着目すると、日別爆発回数は一様に分布し、時間間隔の分布はほぼ指数分布をなし、回数分布はポアソン分布に適合する。

謝 辞

素稿を読んでいただき、有益な御助言をいただいた地震課長 山川博士に御礼申し上げます。

参考文献

- 宇津徳治(1969) : 地震の時間的分布に関連する諸問題, 北海道大学地球物理学研究報告, **22**, 73-93
- Yamakawa, N. (1968) : Foreshocks, Aftershocks and Earthquake Swarms (V), Pap. Met. Geophys., **19**, 437-445
- Yamakawa, N. (1968) : Space and Time Distributions of Aftershocks, Journal of Physics of the Earth, **16**, 63-80