

# 桜島火山に於ける地震観測について（第5報）

吉川 圭三・西 潔

## SEISMIC OBSERVATION AT VOLCANO SAKURAJIMA (5)

by *keizo* YOSHIKAWA and *kiyoshi* NISHI

### Synopsis

In order to predict a volcanic explosion one day before, the vulnerability rates of explosion, which are done at Asama by Dr. Minakami, are calculated using data of volcanic micro-earthquakes at Sakurajima.

Vulnerability rates do not increase with the number of earthquakes. This means that the vulnerability rates method is not effective for Sakurajima volcano at the present time.

Since September 1963, the number of observed earthquakes rose  $3 \times 10^4$ , and Ishimoto-Iida's relation was examined. At the nearest station from the active crater, the maximum amplitude and frequency relation is not expressed by a linear line in both logarithmic scale, but by an upward concave. On the other hand, at the other 2 stations, which are away from the active crater, the max. amplitude and frequency relation is expressed by a line. This implies that, the maximum amplitude and frequency relation at the origin, is not expressed by a linear line in both logarithmic scale.

### 1. 緒 言

1955年10月13日から始まった桜島の南岳頂上に於ける噴火活動は、10年を経過した今日も、尚活動を続けている。この火山の爆発予知の研究を行うために、1962年に防災研究所附属火山観測所が設立せられ、種々な地球物理学的観測が行われてきた。その結果既に報告<sup>(1) (2) (3) (4)</sup>したような種々な噴火の前兆現象が観測された。しかし火山爆発による災害を最小限度に食い止めるためには、出来る丈時間的余裕をもって且正確に予測する事が望ましい。そこで火口附近に発生する火山性地震の頻度から、浅間での水上の方法を用いて桜島火山の場合には、どの程度爆発が予測出来るかを検討してみた。

次に観測された火口附近の火山性地震の回数が3万回以上にも達したので、火口附近の非常に限られた領域内に於いて発生する地震の規模別頻度分布を調べるために、所謂石本—飯田の関係式について若干の考察を行なった。

### 2. 危 険 率

現在行なっている観測網は **Fig 1** の通りである。

まず表面現象の推移を見るために、爆発の回数及び爆発地震の最大振巾の月毎の合計を **Fig 2** に示す。縦軸は回数と振巾で、それぞれ点線と実線で示してある。1962年6月以前の振巾は東桜島観測室に於けるS—50型地震計による記録であり、それ以後は本所に於けるS—1000型400倍水平動地震計の記録によるもので、S—1000型の振巾は東桜島観測室に於いてS—50型で観測した場合の振巾に換算して記入してある。

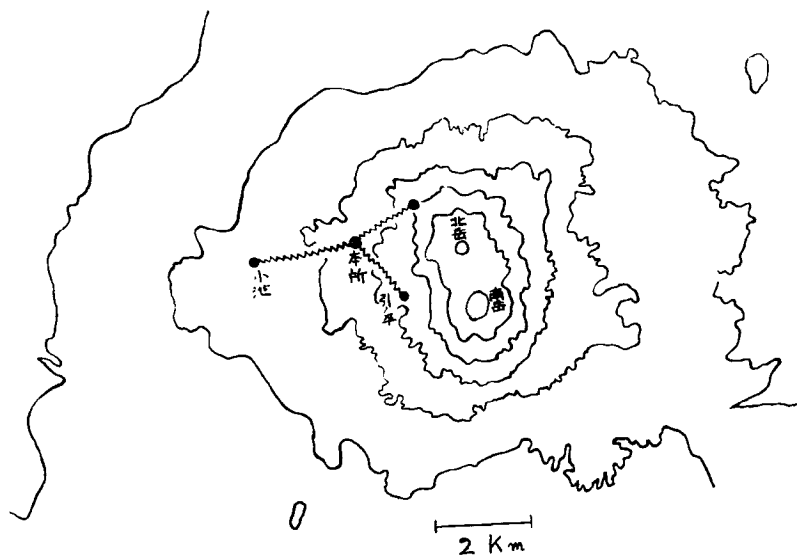


Fig. 1 The location of seismographs.

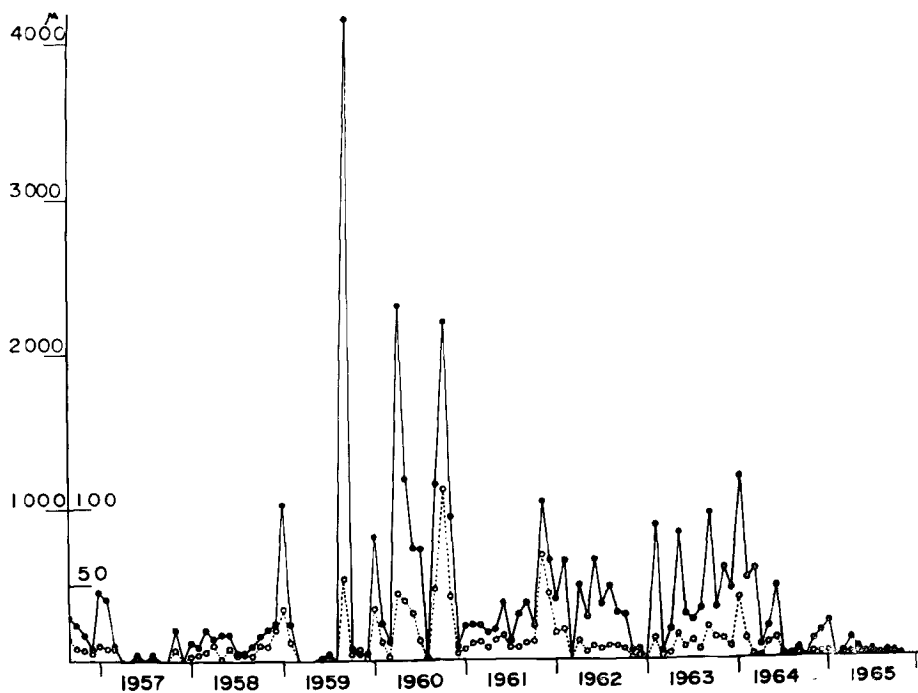


Fig. 2 Monthly total amplitude (solid line) and monthly total number (broken line) of explosion earthquakes.

Fig 2 からわかるように1964年7月頃から爆発の回数は減少しており現在のところ表面的には活動が静かになっていくように見える。

Fig 3 にB型及びD'型の日毎の頻度と爆発を対応させて示す。B型D'型については既に報告<sup>(5)</sup>してあるのでくわしくは省略するが、最大振巾の減衰から考えて共に火口周辺のごく浅い所で発生しているものと考えられる。爆発地震のうち実線で記入してあるのは爆発の直前の顕著な地震群を伴うもので<sup>(6)</sup>そうでないものは点線で示してある。爆発の直前に顕著な地震群を伴ったものは147回の爆発のうち66回で全体の約44%である。

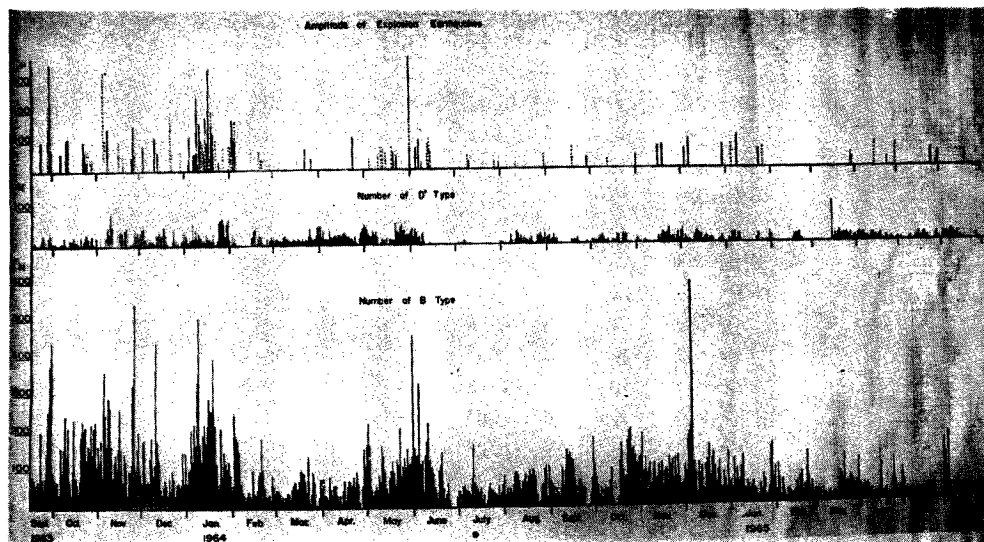


Fig. 3 Daily total amplitude of explosion earthquakes (solid line indicates the explosion with earthquake Swarm) and daily total number of D' type and B type volcanic micro-earthquakes.

Fig. 3 からわかるように、B型、D'型共に爆発がさかんな時には頻度が増加していることがわかるが、地震の増加から前日にどの程度爆発を予測することが出来るか、すなわち次の日の爆発の危険率がどの程度であるかを知るために次のような計算を行なった。<sup>(7)</sup>

まず一口の地震の発生回数を $n_1, n_2, \dots$ として5日毎の和 $N_5, N_6, \dots$ をつくる。

$$n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 = N_5$$

$$n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6 = N_6$$

次に $N_5, N_6$ を0~49, 50~99……の区間に分け頻度分布 $F$ をつくる。次に爆発のあった日の地震の発生回数を $n_i$ とすると、その前日までの5日間の合計 $N'_{i-1}$ をつくり同じ区間に分け頻度分布 $F'$ をつくり $\frac{F'}{F}$ を決める。

$$n_{i-5} + n_{i-4} + n_{i-3} + n_{i-2} + n_{i-1} = N'_{i-1} \quad (n_i \text{ 爆発})$$

このようにして計算した結果をTable 1 に示す。

Table 1 からわかるように5日間の地震の合計が大体100回以下であれば、次の日に爆発が起ることはまずない。又5日間の合計が500回を超えると大体30%以上の危険率で次の日に爆発があったことがわかる。しかしながら右側の浅間の例と比べると地震の数が増加しても危険率はそれ程高くない。これは桜島の場合、爆発の直前に顕著な地震群が発生することがあるためと思われる。

Table 1 は全地震について行なったものであるが、地震の最大振巾が $4.5\mu$ 以上のものと、それ以下のもの

Table 1 Vulnerability rates of total earthquakes of volcano Sakurajima and volcano Asama.  
(Vulnerability rates of volcano Asama are calculated by Dr. Minakami.)

Number of Micro Earthquake	Sakurajima			Asama (after Minakami)		
	F	F'	F'/F	F	F'	F'/F
0~ 49	17	0	0.00	350	0	0.00
50~ 99	16	0	0.00	580	9	0.01
100~149	18	5	0.28	340	44	0.13
150~199	31	4	0.13	116	25	0.21
200~249	30	5	0.17	87	23	0.26
250~299	42	1	0.02	70	17	0.24
300~349	42	4	0.10	45	22	0.48
350~399	45	5	0.11	48	26	0.54
400~449	43	6	0.14	18	7	0.38
450~499	20	3	0.15	18	13	0.72
500~549	24	8	0.33	10	8	0.80
550~599	21	8	0.38	6	3	0.50
600~649	11	4	0.36	10	9	0.90
650~699	10	3	0.33	4	2	0.50
700~749	10	6	0.60	3	3	1.00
750~799	12	3	0.25	2	2	1.00
800~	61	24	0.39			

に分けそれぞれについて同様のことを行なったものをTable 2に示す。

このようにしても爆発予測と云う点からはあまり効果があるとは思えない。そこで次にB型D'型に分けそれぞれについて同様のことを行なってみた。Table 3にその結果を示す。

Table 3もTable 1, Table 2の場合と大差はない。このことから桜島に於いては、以上のような方法で危険率を計算して爆発を予測することは現在の所必ずしも効果的とは云えないと思われる。

しかし5日間に発生した地震の合計が大体100回以下であれば次の日に爆発していないと云う事は、爆発の際噴石の飛来する範囲内に立入らなければならない場合に非常に有効な情報であろう。

### 3. 地震の規模別頻度

所謂、石本-飯田の式は次のようなものである。  $N(A) = CA^{-m}$

ここでN(A)は最大振幅がAである地震の頻度、c, m は定数である。

従って両軸共に対数目盛のグラフ用紙に最大振幅とその頻度を記入すれば、

$$\log N(A) = \log c - m \log A$$

よりN(A)を縦軸にとれば-mの勾配をもつ直線になる筈である。

Fig 4とFig 5はそれぞれ南岳火口から4.7km2.7kmの地点にある小池観測室、北岳観測室の地震計によって記録された地震についてその最大振幅と頻度を両軸共に対数目盛のグラフに記入したものである。

グラフ中0.5μ以下の頻度を表わす点は、記録の読み取りの際の読み落とし或いは地震計の倍率の変化等によってかなり変動する可能性があるため、最小2乗法によって勾配を求める際には除外した。

図中±の次の数字は95%の信頼限界値である。Fig 4, Fig 5共に一応直線上にあり石本-飯田の関係式

Table 2 Vulnerability rates of small amplitude earthquakes and large amplitude earthquakes.

0.5 < A < 4.5				4.5 < A			
Number of Earthquake	F	F'	F'/F	Number of Earthquake	F	F'	F'/F
0~ 49	17	0	0.00	0~ 19	211	20	0.09
50~ 99	16	0	0.00	20~ 39	70	4	0.06
100~149	26	5	0.19	40~ 59	37	10	0.27
150~199	30	5	0.17	60~ 79	21	10	0.44
200~249	37	7	0.19	80~ 99	36	15	0.44
250~299	54	3	0.06	100~119	23	9	0.39
300~349	40	5	0.13	120~139	14	5	0.36
350~399	55	4	0.07	140~159	8	4	0.50
400~449	43	11	0.26	160~179	10	5	0.50
450~499	23	5	0.22	180~199	7	5	0.83
500~549	15	6	0.40	200~219	4	1	0.25
550~599	10	2	0.20	220~	12	1	0.08
600~649	12	5	0.42				
650~699	10	5	0.50				
700~749	12	4	0.33				
750~799	7	4	0.57				
800~	46	18	0.39				

Table 3 Vulnerability rates of B type and D' type earthquakes.

B				D'			
Number of Earthquake	F	F'	F'/F	Number of Earthquake	F	F'	F'/F
0~ 49	17	0	0.00	0~ 19	89	8	0.09
50~ 99	17	2	0.12	20~ 39	55	9	0.16
100~149	22	1	0.05	40~ 59	43	10	0.23
150~199	27	3	0.11	60~ 79	77	10	0.13
200~249	42	5	0.12	80~ 99	53	13	0.25
250~299	26	3	0.12	100~119	47	13	0.28
300~349	36	8	0.22	120~139	30	7	0.23
350~399	35	3	0.09	140~159	21	9	0.43
400~449	35	4	0.11	160~179	17	6	0.35
450~499	31	4	0.13	180~199	6	0	0.00
500~549	21	3	0.14	200~219	5	1	0.20
550~599	19	7	0.37	220~	10	3	0.30
600~649	23	5	0.22				
650~699	12	4	0.33				
700~749	8	5	0.63				
750~799	10	5	0.50				
800~	72	27	0.38				

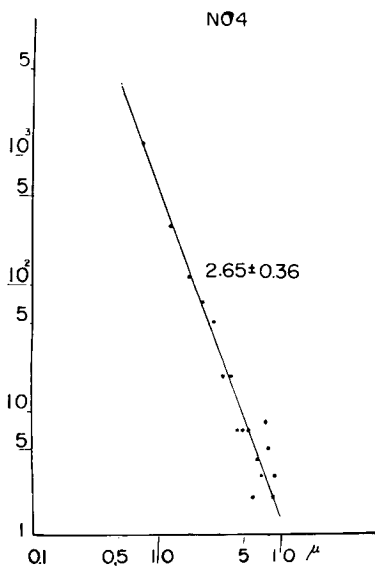


Fig. 4 Amplitude and frequency relation of volcanic micro-earthquakes at Kitadake station.

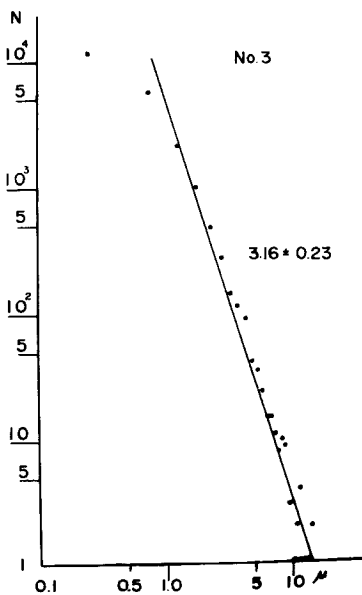


Fig. 5 Amplitude and frequency relation of volcanic micro-earthquakes at Koike station.

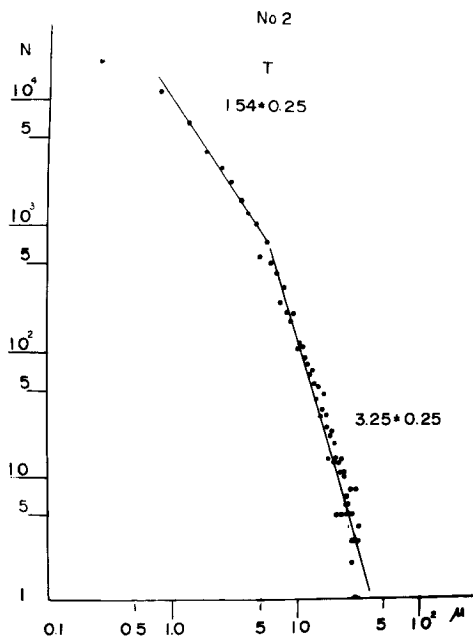


Fig. 6 Amplitude and frequency relation of volcanic micro-earthquakes at Hikinohira station.

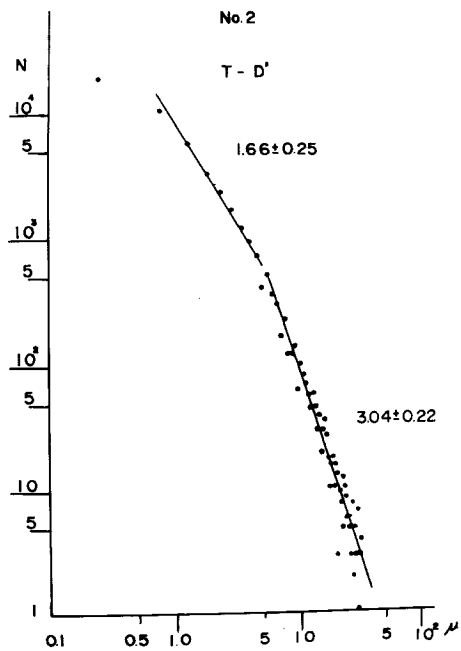


Fig. 7 Amplitude and frequency relation of volcanic micro-earthquakes of B type at Hikinohira station.

が成立していることがわかる。 $m$ の値もそれぞれ $2.65 \pm 0.36$ ,  $3.16 \pm 0.23$ で火山性の微小地震の値としては普通である。(8)

次にFig 6, Fig 7, Fig 8に火口から1.7kmの地点にある引ノ平観測室に於いて観測した地震について、振巾と頻度をFig 4, Fig 5と同様に記入した。まずFig 6は引ノ平に於いて観測された火口附近に発生した全部の地震について行なったもので、振巾と頻度を一本の直線で表わすことはできず上に凸の曲線になるようである。そこでFig 4, Fig 5と同様 $0.5\mu$ 以下の点は除外して $4.5\mu$ で2分し、 $4.5\mu$ 以上と $4.5\mu$ 以下の点についてそれぞれ最小2乗法によって勾配を決めた。 $3.04 \pm 0.22$ の値は火山性の微小地震としてはもっともらしい値であるが、 $1.66 \pm 0.25$ の値は火山性の地震としては小さく火山性ではない自然地震の値に近い。しかしこの場合 $4.5\mu$ で2分したのはそれ程根拠のあることでもない。上に凸の曲線であればどの振巾から分けるかによってそれぞれの勾配の値は変り得る。

Fig 7は全部の地震からD'型を除いたものについて行なったものでありほとんどB型についてのもので考えられるが、これもFig 6と同様に振巾と頻度の関係は線型ではない。

Fig 8はD'型について行なったもので、これもFig 6, Fig 7と同様一本の直線で振巾と頻度の関係を表わすことはできない。

これ迄、石本一飯田のグラフに於いて小振巾での折れ曲りは記録の読み落しがあるためであると云うような解釈がされてきたが、この場合数へ落しがあるのは $0.5\mu$ 以下の点だけであり、たとえ $0.5\mu$ 以上に数へ落しが若干あるとしても、現在の記録読取りの精度から考えて、数へ落しただけで説明するのは定量的に無理である。

又地殻の構造或いは強度の異なった領域で発生した地震を含んでいるために見掛け上石本一飯田の関係が成立しないと考えることもこの場合地震の発生している領域が火口近傍に限られているから無理である。

従ってすくなくとも火口近傍に於いて発生する地震の規模別頻度分布はFig 6 ~ Fig 8に示されるように一本の直線では表わせないものと考えられる。尚、Fig 4, Fig 5は一応直線上にあるが、これは観測室が震源から離れているため小規模の地震は減衰して記録されず、Fig 6に於いて比較的曲率の大きい規模の地震の部分のみが記録されていたためと考えられる。

#### 4. 結 言

浅間山に於ける水上の方法によって危険率を算出した結果、桜島に於いては5日間に発生した地震の合計が約100回以下であれば、翌日爆発はない。又5日間の合計が500回を超えると30%以上の危険率である。しかし合計した地震の回数が増加しても浅間山に於ける程には危険率は高くない。これは爆発直前に地震群が発生することがあるためと思われる。

次に地震の規模別頻度を調べたところ火口近傍の限られた領域内に発生する地震の規模別頻度分布は両軸

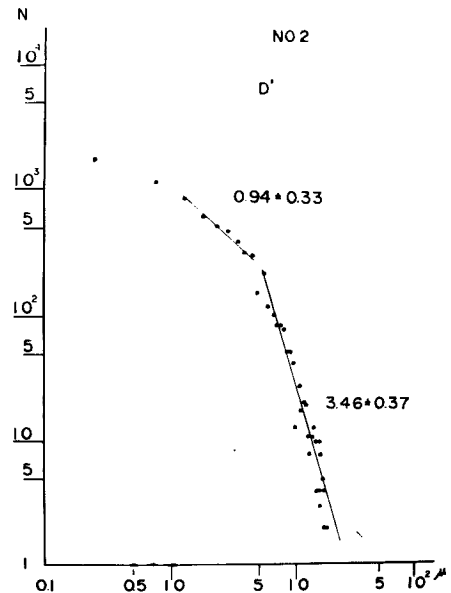


Fig. 8 Amplitude and frequency relation of volcanic micro-earthquakes of D' type at Hikino-hira station.

共に対数目盛をとると、上に凸の曲線になるようである。

終りに観測に従事された中村俊造、園田忠惟の両君および記録整理をしていただいた村山小夜子、久米治子の両嬢にお礼申し上げる。

#### 参 考 文 献

- 1) 吉川圭三, 西 潔: 桜島火山に於ける地震観測について(第1報)  
京都大学防災研究所年報第6号, 昭和38年7月
- 2) 吉川圭三, 西 潔: 桜島火山に於ける地震観測について(第2報)  
京都大学防災研究所年報第7号, 昭和39年3月
- 3) 吉川圭三, 西 潔: 桜島火山に於ける地震観測について(第3報)  
京都大学防災研究所年報第8号, 昭和40年3月
- 4) 吉川圭三 西 潔: 桜島火山に於ける地震観測について(第4報)  
京都大学防災研究所年報第9号, 昭和40年3月
- 5) 4)と同じ
- 6) 3)と同じ
- 7) 水上武, 地球の構成, IX火山, 1961. 岩波
- 8) たとえば, T. Minakami, Bull. Earthq. Res. Inst., 38 (1960)