

爆発に先行する火山性 B 型地震の群発

西

潔

VOLCANIC B-TYPE EARTHQUAKE SWARM PRECEDING VOLCANIC EXPLOSION

By Kiyoshi NISHI

Synopsis

This paper is concerned with some characteristics of B-type volcanic earthquake swarms in relation to the volcanic explosions in Sakurajima volcano.

- 1) When B-type volcanic earthquake swarm precedes volcanic explosions, seismic waveforms become simpler or some peculiar frequencies become dominant in Fourier spectra.
- 2) Accumulated seismic energy of B-type volcanic earthquakes in a swarm is on a log scale approximately propotional to that of earthquakes of volcanic explosions which followed the earthquake swarm.

1. は じ め に

桜島火山では震源の浅い火山性地震（いわゆる火山性 B 型地震）が一時間に数十回以上の頻度で群発する

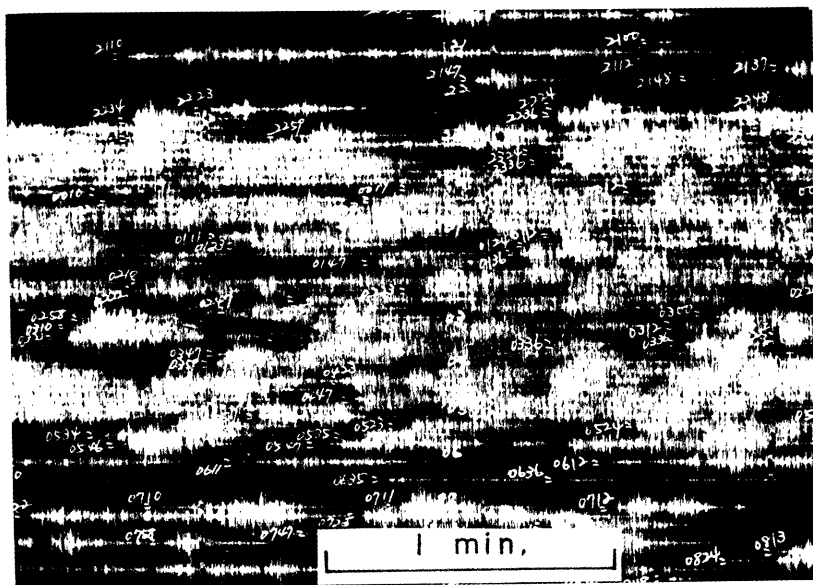


Photo 1 An example of seismogram of B-type volcanic earthquake swarm

ことがある。Photo 1 に煤書き記録の例を示した。このような現象が発生したとき次にどのような表面現象が発生するかが問題となる。即ち火山爆発が発生するか否か、発生するとすればどの程度の規模か等である。この種の群発地震は地震の発生様式の違い（即ち群発地震発生原因の違いを反映しているが）により現在次のように第一種と第二種に大別されている^{1),2)}。

第一種群発地震は火山爆発の数時間前から始まり、時間当りの地震発生回数及び個々の地震の最大振幅が次第に増大して爆発に至る地震群である。これに対して第二種群発地震は地震回数や最大振幅が爆発に向けて増大する傾向は全くなく、爆発は群発地震が収まった後で発生する。爆発発生回数は第一種が1回、第二種は多くの場合2～3回以上である。

第二種群発地震は最近しばしば発生しているが、群発地震が発生しても爆発につながらない場合もある（この場合は厳密には第二種群発地震とは云えない）ことがわかってきたので、先ず地震波形の時間的变化に着目して爆発に先行する群発地震か否かの識別を試みた。次に爆発に先行する群発地震の場合、爆発の大きさを表わすものとして爆発地震をとり、群発地震と爆発地震の放出エネルギーを比較した。これは群発地震が発生した際、波形の変化から爆発に先行する群発地震か否かの識別を行い、先行する群発地震と判定された際には群発地震の放出エネルギーから来るべき爆発地震の放出エネルギーを推定し爆発の規模を知るためである。

2. 解析方法と結果

2.1 爆発に先行する群発地震の波形

上述したように爆発につながらない群発地震もある。爆発に先行する爆発地震か否かの識別を地震波形の相違に着目して試みた。Fig. 1 に爆発に先行した群発地震と爆発との時間的な関係を示す。1983年8月20日に発生した群発地震の例で図中折れ線は群発地震の時間的な変化を示す。火口から西へ1.7kmの観測点における地動の速度振幅の自乗を積算し一時間毎の値をcount数で示してあり、1countは波動の主要部分を速度1km/secの表面波とすると0.5erg/cm²の振動エネルギーに相当する。棒線グラフは火口から北西2.7kmにおける爆発地震の最大振幅を示す。図からわかるように群発地震の終了後60時間内に5回の爆発が発生している。Fig. 1 に示した群発地震の図中①, ②, ③における地震波形とそのフーリエ・スペクトルをそれぞれFig. 2, Fig. 3, Fig. 4 に示す。波形は火口の東2.5km地点のものである。図からわかるように、この場合は波形が次第に単純化していわゆるC型微動となっている。これに対応してスペクトルも特定の周波数が卓越する傾向が強まっていく。

次に爆発が発生しなかった群発地震の例をFig. 5 に示す。1981年4月28日の例でFig. 1 に示したような爆発は発生していない。Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8 にFig. 5 の①, ②, ③における波形とフーリエ・スペクトルを示した。図からわかるように、Fig. 3, Fig. 4 に見られた波形の単純化、スペクトルにおける特定の周波数の卓越化の傾向は見られない。

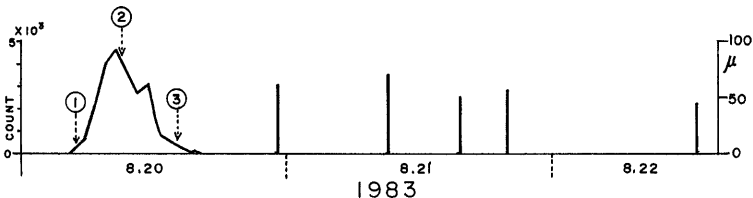


Fig. 1 Time sequence of volcanic earthquake swarm and volcanic explosion. In this case, five volcanic explosions followed after the volcanic earthquake swarm. In the figure, the marks of ①, ② and ③ indicate the time of occurrence of earthquakes whose waveform are shown in Fig. 2, Fig. 3 and Fig. 4 respectively.

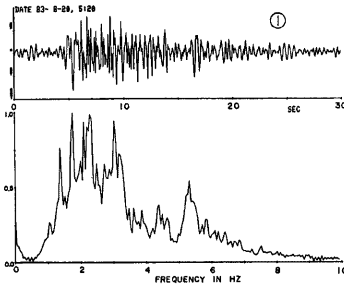


Fig. 2 Waveform and its Fourier spectrum of the earthquake whose time of occurrence is shown in Fig. 1 with the mark of ①

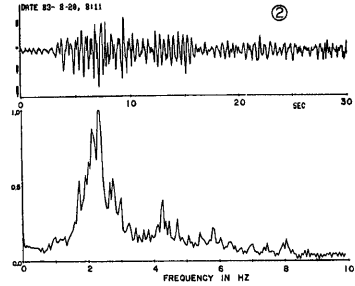


Fig. 3 Same as Fig. 2 except for time of occurrence

Fig. 2～Fig. 4 に示した例は典型的な例であるが、爆発に先行する群発地震の波形の単純化、ないしは特定の周波数が卓越する傾向は、1981年～1983年に発生したある程度以上の規模 (Fig. 1, Fig. 5 に示すような群発地震の total count が 3,000 程度) の場合に全て認められた。即ち、1981年～1983年に発生した 61 例の群発地震中 total count が 3,000 以上のものは 33 例あり、このうち爆発に先行したものは 28 例で全てに上記の現象が認められた。爆発が発生しなかった残りの 5 例にはこのような現象は見られない。

規模の小さい群発地震の場合 (total count が 3,000 以下) の 28 例中、爆発に先行した 19 例全てに上述した波形の単純化又は特定の周波数の卓越化が認められた。しかし爆発が発生しなかった 9 例中の 3 例にも上記の現象が認められた。即ち、群発地震の規模が小さい場合には、上記の現象が認められても爆発が発生しない場合もある。

2.2 群発地震とその後に発生する爆発地震

群発地震の規模からその後に発生する爆発の規模を知るために群発地震と爆発地震の放出エネルギーを比

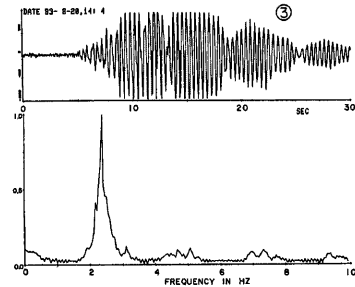


Fig. 4 Same as Fig. 2 except for time of occurrence



Fig. 5 Time sequence of volcanic earthquake swarm and volcanic explosion. In this case, no volcanic explosion followed after the volcanic earthquake swarm. In the figure, the marks ①, ② and ③ indicate the time of occurrence of earthquakes whose waveforms are shown in Fig. 6, Fig. 7 and Fig. 8 respectively.

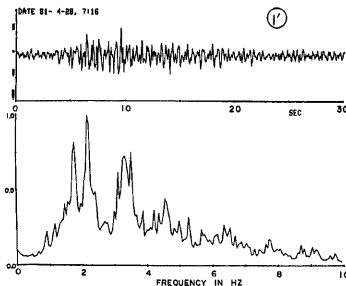


Fig. 6 Waveform and its Fourier spectrum of the earthquake whose time of occurrence is shown in Fig. 5 with the mark of ①

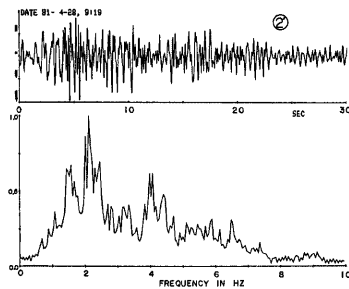


Fig. 7 Same as Fig. 6 except for time of occurrence

較した。既にそれぞれの最大振巾の自乗積算値に
関係があることは判っているが²⁾、物理的意味の
より明確な放出エネルギーで比較した。放出エネ
ルギーは個々の地震の M (Magnitude) を求め、
Gutenberg-Richter の関係式 $\log E = 1.5 M + 11.8$
によってエネルギーに変換し積算した。個々の地
震の M は坪井の式 $M = \log A + 1.73 \log \Delta - 0.83$
を用いて求めた。水平動成分の最大振巾 A の代
りにあらかじめ上下動成分の最大振巾と水平動成
分の最大振巾の比を求めておいて上下動成分の値
を用いた。震央距離 Δ は震源を火口として求め
た。用いたデータは最大振巾が scale out しない
ように火口からやや離れた地点の黒神観測室 (火

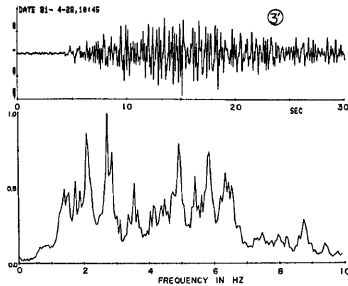


Fig. 8 Same as Fig. 8 except for time of occurrence

口の東方 4km) に設置した S-300 型機械式地震計 ($T_0 = 0.7 \text{ sec}$, $V_{\max} = 300$) による。爆発地震による放出
エネルギーが 10^{14} erg 以上でデータの利用できる 14 例について結果を Fig. 9 (b) に示した。横軸と縦軸にそ
れぞれ、群発地震毎に B 型地震の放出エネルギーと、群発地震後に発生する爆発の爆発地震による放出エ
ネルギーの積算値を示した。又、群発地震と火山の表面活動との対応を知るために群発地震の発生を月別の
爆発回数の変化と対応させて Fig. 9 (a) に示した。図中「印が第二種群発地震の発生を示す。Fig. 9 (a) と
Fig. 9 (b) の図中にある数字 1 ~ 14 はそれぞれ対応させてある。

Fig. 9 (b) からわかるように、点のバラツキは大きい、群発地震の放出エネルギーが大きい場合は爆発
地震による放出エネルギーも大きくほぼ同じ桁である。群発地震、爆発地震によって放出されるエネルギー
をそれぞれ $B \text{ erg}$, $E \text{ erg}$ とすると Fig. 9 (b) より $\log E = (\log B + 0.2) \pm 0.4$ が得られる。Fig. 9 (b) において
実線は $\log E = \log B + 0.2$ を、破線は $\log E = (\log B + 0.2) \pm 0.4$ を示している。

Fig. 9 (a) に示した群発地震の発生順を考慮して Fig. 9 (b) を見ると時間的に近い群発地震は同一の直線に
近い傾向がある。即ち、3 と 4, 5 と 6, 7 と 8, 9 と 10, そして 13 と 14 である。又、時間的に離れていても
同一直線に乗るものもある。これ等は、第二種群発地震の原因を後述するようにマグマの火口底への急激な
上昇によるものとすれば、マグマと火道の状態が互に類似している case なのであろう。

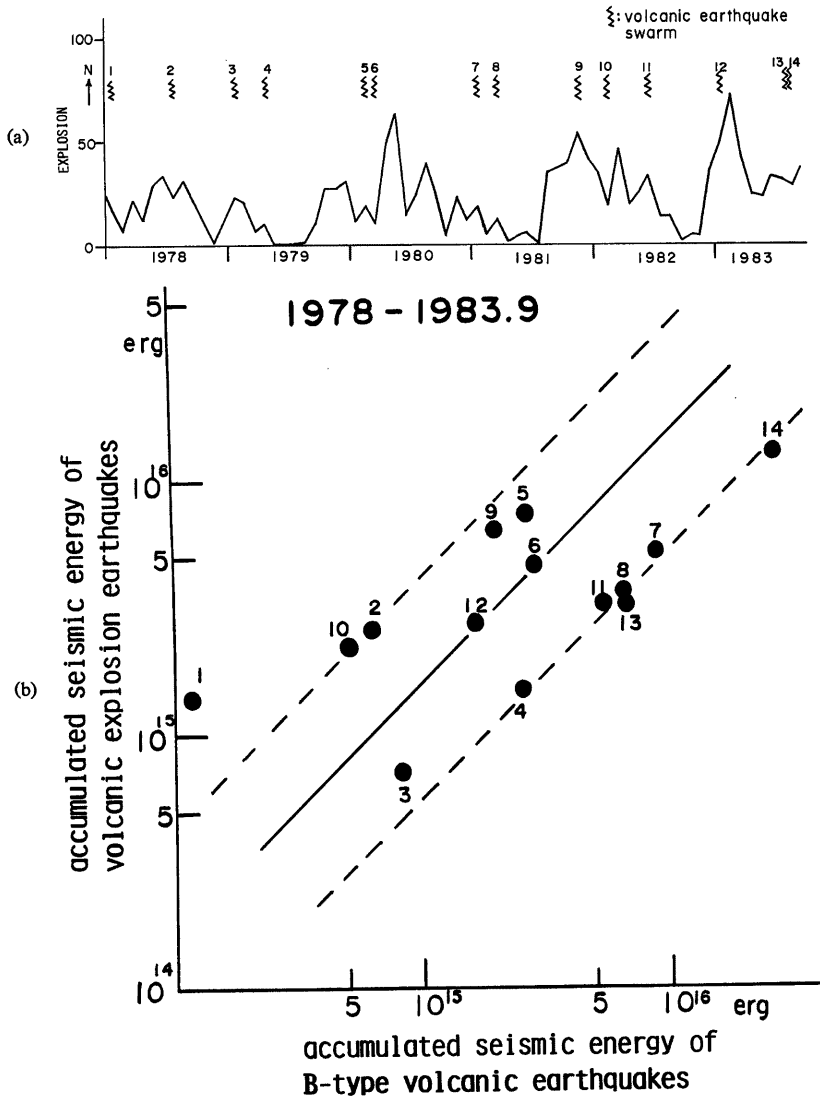


Fig. 9 (a) Time sequence of volcanic earthquake swarm and monthly number of volcanic explosions. Numerals near the mark of { mean the order of the occurrence of volcanic earthquake swarm and numerals correspond with those in Fig. 9(b).

(b) Relation between accumulated seismic energy of B-type volcanic earthquakes in swarm and accumulated seismic energy of volcanic explosion earthquakes which occurred after the volcanic earthquake swarm

3. 考察とまとめ

第二種群発地震発生後に撮影された航空写真によって火口底に溶岩池が見い出されて以来、この群発地震は火口底へのマグマ上昇に伴うものと考えられている。今回得られた群発地震と爆発地震の放出エネルギーの関係もこのマグマ上昇説で説明可能である。即ち、第二種群発地震はマグマが火口底へ急激に上昇する際に発生するものとするれば、群発地震による放出エネルギーが多い事は上昇したマグマの量が多い事を意味し、従って群発地震後に発生する爆発は火口底にある多量の溶岩を破壊して火山ガス等を放出する必要があるため爆発地震による放出エネルギーが増大することになる。

次に、爆発に先行する群発地震に波形の単純化又は特定の周波数の卓越化がみられるが、これは conduit その他の領域がマグマや火山ガス等の流体で充たされその領域の固有振動による振動が卓越してくることを示唆している。この領域が conduit 中にあり火山ガスを含んだマグマによって充たされているとしておよその dimension を見積ると次のようになる。Fig. 4 に示した振動が vent 内の長さ L の火山ガスを含んだマグマ柱によるものとするときスペクトルのピークが整数倍であることから (Fig. 4 から認められるが C 型微動のスペクトルが整数倍のピークを持つことは既に知られている³⁾)、両端固定又は両端開放の境界条件となり、 $V/f=2L$ (V : マグマ柱内の弾性波速度, f : 基本周波数) となる。Fig. 4 の場合 $f=2.4\text{ Hz}$ であるから例えば $V=1000\text{ m/sec}^{(4)}$ となると $L\approx 210\text{ m}$ が得られる。桜島火山の爆発地震の震源の上限 (海拔 0 m 程度) を考慮すると conduit の長さはすくなくとも 1 km 以上はあると考えられるので得られた値は十分現実的である。

以上をまとめて次の結論を得る。

桜島火山では火山性 B 型地震が群発することがあり、規模の大きい群発で地震波形が単純化又は特定の周波数が卓越してくると群発地震後に爆発が発生する。波形が単純化した際は火山ガスを含んだマグマによって充たされた conduit 中の長さ 200 m 程度の部分の固有振動が卓越しているものと考えられる。

群発地震による放出エネルギーと群発地震後の爆発地震による放出エネルギーは log scale でほぼ直線上に乗り B 型地震群発による放出エネルギーを B_{erg} 、爆発地震による放出エネルギーを E_{erg} とすると $\log E=(\log B+0.2)\pm 0.4$ で表わせる。従って群発地震の放出エネルギーから、来るべき爆発地震による放出エネルギーを推定することが半桁程度の精度で可能となる。

観測に従事されている桜島火山観測所の職員にお礼申し上げます。本研究の一部は文部省科学研究費自然災害特別研究 No. 58020001 によって行われた。

参 考 文 献

- 1) 西 深: 桜島における 微小地震の群発と爆発との関係, 第 11 回災害科学総合シンポジウム講演論文集, 1974, pp. 345-346.
- 2) 西 深: 桜島火山の爆発 (DIII', DIV' 型) とそれに伴う地震群の性質について, 火山, 第 2 集, 17, 1972, pp. 101-102.
- 3) 加茂幸介・古沢 保・赤松純平: 桜島の火山性微動の性質について, 火山, 第 2 集, 22, 1977, pp. 41-58.
- 4) SCHICK, R., G. LOMBARDÓ and G. PATANE: Volcanic Tremors and Shocks Associated with Eruptions at Etna (Sicily), September 1980, Jour. Volcanology and Geothermal. Res., 14, 1982, pp. 261-279.