

桜島火山の爆発に伴う群発微小地震について*

清水 邦 夫**

551. 21

A Study of Volcanic Micro-earthquake Swarm accompany with Explosion of the Volcano Sakurajima

K. Shimizu

(Kagoshima L. M. O.)

Abstract

The explosive activity of the Minami-dake Summit Crater of the Volcano Sakurajima is lasting still now, since the great explosive eruption on the 13 th of October in 1955.

Writer investigated the types of occurrence of the volcanic earthquakes in the year 1965. In this year, volcanic activity was rather weak and explosions occurred intermittently.

A great number of volcanic earthquakes occurred at this volcano, and most of them were the so called B-type earthquake. At the explosion time, a swarm of volcanic earthquakes appeared during several hours as it is shown in the next P, A, R-groups. (Fig. 6).

P-group: The swarm of B-type volcanic earthquakes occurred before the explosion.

A-group: The swarm of B-type volcanic earthquakes occurred about the explosion.

R-group: The swarm of B-type volcanic earthquakes occurred after the explosion.

If put a number of volcanic earthquakes in the P-group and that of the A-group, their occurrence were divided into 4 types of I, M₁, M₂ and L as follows:

I-typ: The A-group appears but the P-group is not found.

M₁-type: The number of volcanic earthquakes in the P-group is less than that of the A-group.

M₂-type: The number of volcanic earthquakes in the P-group is nearly the same as that of the A-group.

L-type: The number of volcanic earthquakes in the P-group is more than that of the A-group. And sometimes the P-group appears but the A-group is not found.

Relation between magnitude of explosion and frequency of the P- or A-group has a some correlation as shown in Fig. 7.

§ 1. まえがき

桜島火山は1955年10月13日の南岳山頂火口の爆発的噴火以来、現在もなお爆発活動 (Photo. 1) を続けている。Fig. 1は月別の爆発回数および爆発日数である。

火山活動に伴い火山性震動が発生することは、よく知られている。

火口に最も近い観測点 (B点) の記録によれば、B型地震が時間的に集中してひん発することがあり、それが爆発および噴煙活動にきわめて密接な関係がある。地震と爆発の起こり方にはいくつかの型がありそうなので調査した。

B型地震数の極大が爆発に先行することは、いく

* Received April 22, 1967.

** 鹿児島地方気象台

つかの調査研究^{1)~3)}によって報告されている。なかでも安井ら¹⁾(水上²⁾は浅間山について)は、爆発に伴うB型地震の発現の仕方を日単位で三・四の型に分けている。

しかし、観測点が遠距離、地震計が低倍率、あるいはその調査が活動の盛んな時期であったため、はっきりした関係づけはできなかった。

活動源つまり火口に接近して観測点を設置し、より精密に火山現象をはあくするために、1963年12月、無線による遠隔記録方式の62C型電磁式地震計が作動し始めた。

なお、1965年10月下旬からB点北西約800メートルの谷川における治山工事の雑微動が入り始めたので、この調査期間はおもに1965年1月~10月である。

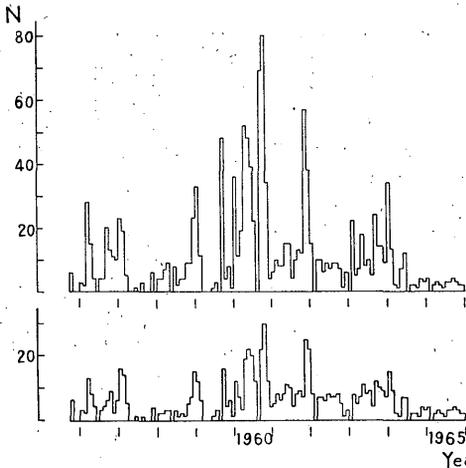


Fig. 1. Monthly number of Explosion (upper figure) and monthly number of explosion days (lower figure) at the Volcano Sakurajima.

§ 2. 1964年・1965年の活動経過

1964年6月の連続爆発以後、爆発回数は少なくなりましたが、噴煙活動は盛んで、それに伴いB型地震も多かった。1965年にはいって活動は弱まり、ほとんど静穏でときどき間欠的に爆発する典型的な間欠爆発期となり、一年を通してこの状態が続いた。

Table 1 は 1965 年における爆発を示す。表中、Interval は前の爆発からの経過時間を表わす。連続爆発の例を Table 2 に示す。

§ 3. 無線式火山性震動観測装置

B点、C点の島内2個所の観測点に変換器3成分を置き、感知した火山性震動を有線で無線送信所まで導き、400Mc帯の電波にのせて観測基地A点に送ってス書き記録する。Fig. 2およびTable 3に桜島における観測点の位置と地震計の常数値を示す。(Photo. 2~5)

なお、爆発の際の電報による報告や報道関係に発表される爆発地震(最大全振幅)は、A点の56型高倍率地震計(水平動2成分)による。

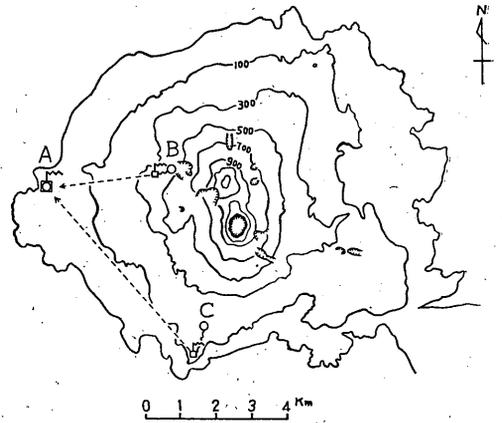


Fig. 2. Seismic observation points in the island of Sakurajima.

point	Distance from Minamidake crater km	Above sea level m	Type of Seismograph
A	5.3	70	62A, 56
B	2.3	400	62C
C	2.8	110	62C

§ 4. 記象型の分類と発生ひん度

桜島火山に発生する火山性震動は、記象型によって分類している。56型高倍率地震計の記象型は、先に中村ら³⁾⁴⁾⁵⁾により報告されている。62C型電磁式地震計(B点)の記象型をPhoto. 6~12に示す。

A型: 比較的深いところに震源を有する地震で、P・Sともにきわめて明りょうで、0.1秒あるいはそれ以下のごく短周期の振動が卓越している。(Photo. 6)

B型: 孤立した小さな浅い地震で、S相が明りょう

Table 1. Explosion of the Volcano Sakurajima in the year 1965.

No.	Time			Max. amp.	Air vibration	Explosive sound	Quantity of cinder	Interval		
	d	h	m					d	h	
1	Jan.	5	12	16	25			6	14	
2		9	02	12	32			3	14	
3		24	23	20	23			15	21	
4		27	21	11	23	medium	small	a little	2	22
5	Feb.	25	09	15	12			29	12	
6	Mar.	29	10	42	23			32	2	
7		30	07	45	13	small		—	21	
8	Apr.	15	01	53	32	small	small	a little	16	18
9		24	03	06	13				9	1
10		30	21	40	40			medium	6	19
11	May	26	04	53	39				26	7
12		31	21	26	23	medium	medium	medium	5	16
13	Jun.	20	06	57	28				20	9
14	Jul.	5	13	51	12				15	7
15		11	00	40	21				5	11
16		22	23	12	8				11	22
17	Aug.	5	14	47	8			medium	14	16
18		18	08	12	16		small		12	17
19		20	16	20	10	medium	medium	a litte	2	8
20	Sept.	1	17	01	25				12	1
21		19	23	51	8	medium			18	7
22		23	09	10	16				3	9
23		29	09	29	37	medium	medium	medium	6	0
24	Oct.	9	23	21	9	medium			10	14
25		20	02	52	27				10	4
26		21	06	26	22	medium			1	3
27	Nov.	6	18	05	42				16	12
28		19	00	33	30	large	large	medium	12	6
29	Dec.	9	06	14	38				20	6
30		28	04	35	49	small			18	22

Max. amp.: Maximum amplitude of explosion earthquake by the 56 type seismograph at the observation point A.

Interval : Time lag of the 2 successive explosions.

うでないことや、比較的短周期のものから表面波が卓越しているものまで含まれているなどの特徴がある。(Photo. 7)

C型: 単純な紡錘形の定常波的振動である。一群だけのときもあり、数群、数分にわたって継続していることもある。(Photo. 8)

D型: 爆発地震。(Photo. 9)

D'型: 噴煙にともなって発生する震動。(Photo.

10・11)

E型: 同程度の振幅で連続した震動。(Photo. 12)

なお、Photo. 13は8月5日14時47分の爆発の現象で、D'型を大きくしたような型である。この爆発の規模は比較的小さかったが、きわめて多量の噴煙を伴った。9月19日23時51分の爆発も型が似ている。

次に、型別の発生ひん度をA点の56型高倍率地震計(1964年)とB点の62C型電磁式地震計(1965年)

Table 2. Time interval of 2 successive explosions.

Time			Max. amp.	Interval		Time			Max. amp.	Interval	
d	h	m	μ	d	h	d	h	m	μ	d	h
5	20	33	50	6	16				84		21
	20	37	25		0				58		8
8	23	44	32	3	3				22		5
9	11	54	39		12				73		6
10	04	26	47		16				51		1
	05	38	30		1				69		6
	15	11	24		10			19	14	28	20
	21	36	24		6				11		2
	23	08	47		2			20	03	02	11
12	01	02	40	1	2				08	50	6
	13	13	43		12				14	23	6
13	01	49	21		13			21	07	57	18
	15	04	27		13				20	22	12
14	10	59	17		20				22	04	2
	15	24	26		4			23	12	00	14
16	03	57	60	1	13				25	22	11
	11	26	28		7				28	07	8
	19	30	26		8				29	12	6

Table 3. Constants of seismographs, used at the volcano Sakurajima.

Seismograph	V	T ₁	r	v or h
56 type Seismograph	300	sec 1.0	mm <0.3	v=8
62 A, 62 C type Electromagnetic Seismograph	2000	1.0 T ₂ =0.07	—	h ₁ =0.5 h ₂ =0.2

V: magnification T₁: period of seismometer T₂: period of galvanometer
 r: friction v: damping ratio h₁: damping constant of seismometer
 h₂: damping constant of galvanometer
 62 A: wire telemeter type 62 C: wireless telemeter type

でみる。Fig. 3に百分率で示すが、それぞれB型が全体の63.2%、69.3%を占めている。両方を比較してみると、1965年の方がD'型が減り、E型がふえているのが目につくが、これは1965年の活動が弱かったこともあるが、やはり観測点が火口に近く、かつ高性能になり、きわめて小さいB型およびE型まで記録したためであろう。

§ 5. 火山活動とB型地震との関係

1963年、1964年にA点の56型高倍率地震計で観測したB型・D'型・D型の旬別回数の推移を Fig. 4

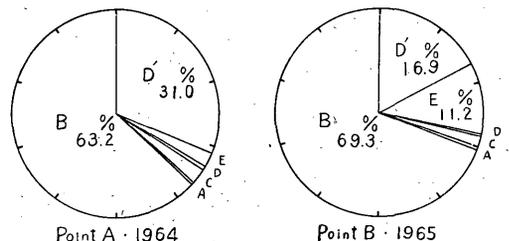


Fig. 3. Frequency percentage of volcanic earthquakes and tremors, divided by the types of them.

Left: 56 type Seismograph (point A, 1964)
 Right: 62 c type Electro-magnetic seismograph (point B, 1965)

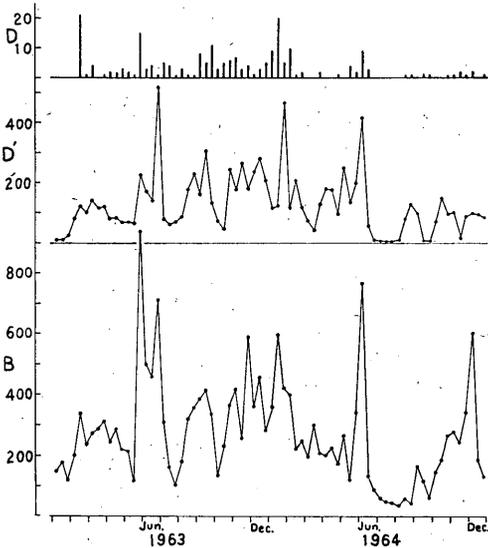


Fig. 4. Frequency of D, D', B-type Volcanic earthquakes at the Volcano Sakurajima, observed by the 56 type seismograph at the observation point A.

に示す。

B型地震発生回数の変動が、火山活動の表面現象である噴煙(D'型)および爆発(D型)の消長によく合っているのがわかる。

§ 6. 爆発とB型地震の日別ひん度

B型地震の日回数がどのように変化して爆発にいたるかを調べた。調査期間の爆発についてB型地震の出現の仕方を型別に分類した。その代表例をFig. 5に示す。次の()内の数字はTable 1の資料番号、ゴシックは代表例である。

- 1) 爆発日の前日、または当日急に増加する。(8・9・10・15)
- 2) 爆発日より数日前に先行して極大が出るが、爆発日の方が多。(20・23・24)
- 3) 爆発日より数日前に先行して極大が出るが、爆発日は特に目立たない。(5・17)
- 4) ジグザグ型。爆発一回のときと、二回重なったものがある。(14・16, 1—2・3—4・18—19・25—26)
- 5) 前記3)の型が二つ重なったもの。(6—7)
- 6) 前記2)の型が二つずれて重なったもの。(11—

12)

7) 前記3)の型が二つずれて重なったもの。(21—22)

以上のように、爆発するときのB型地震の日別ひん度は1・2・3・4の4種の型に分けることができた。

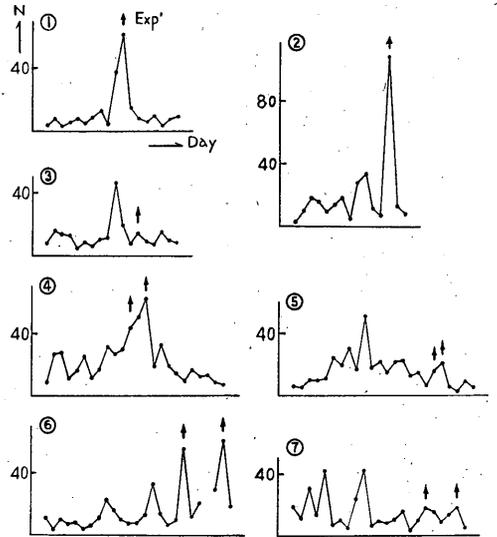


Fig. 5. Daily number of B-type volcanic earthquakes before and after the explosion of the Volcano Sakurajima.

§ 7. 爆発に伴うB型地震群

爆発とB型地震の関係をより詳しくするために、爆発に対するB型地震の時間別ひん度(正時から正時までの1時間に出現した回数)の推移をみると、数時間にわたって集中してB型地震群がひん発するようとき爆発が起こる。

爆発に伴うB型地震群は爆発との時間的ずれによって、次のP・A・R(便宜上、仮りに名付けた。Precede・Accompany・Repeat; Residual)の3つの群に分けられる。

Fig. 6の1)~6)は、爆発活動に関連したB型地震の時間別ひん度例である。なお、Fig. 6の4)にP・A・R群の位置関係を示す。

P群: 爆発に離れて先行するB型地震群。

A群: 爆発の前後に伴うB型地震群。

R群: 爆発に離れて後に起こるB型地震群。

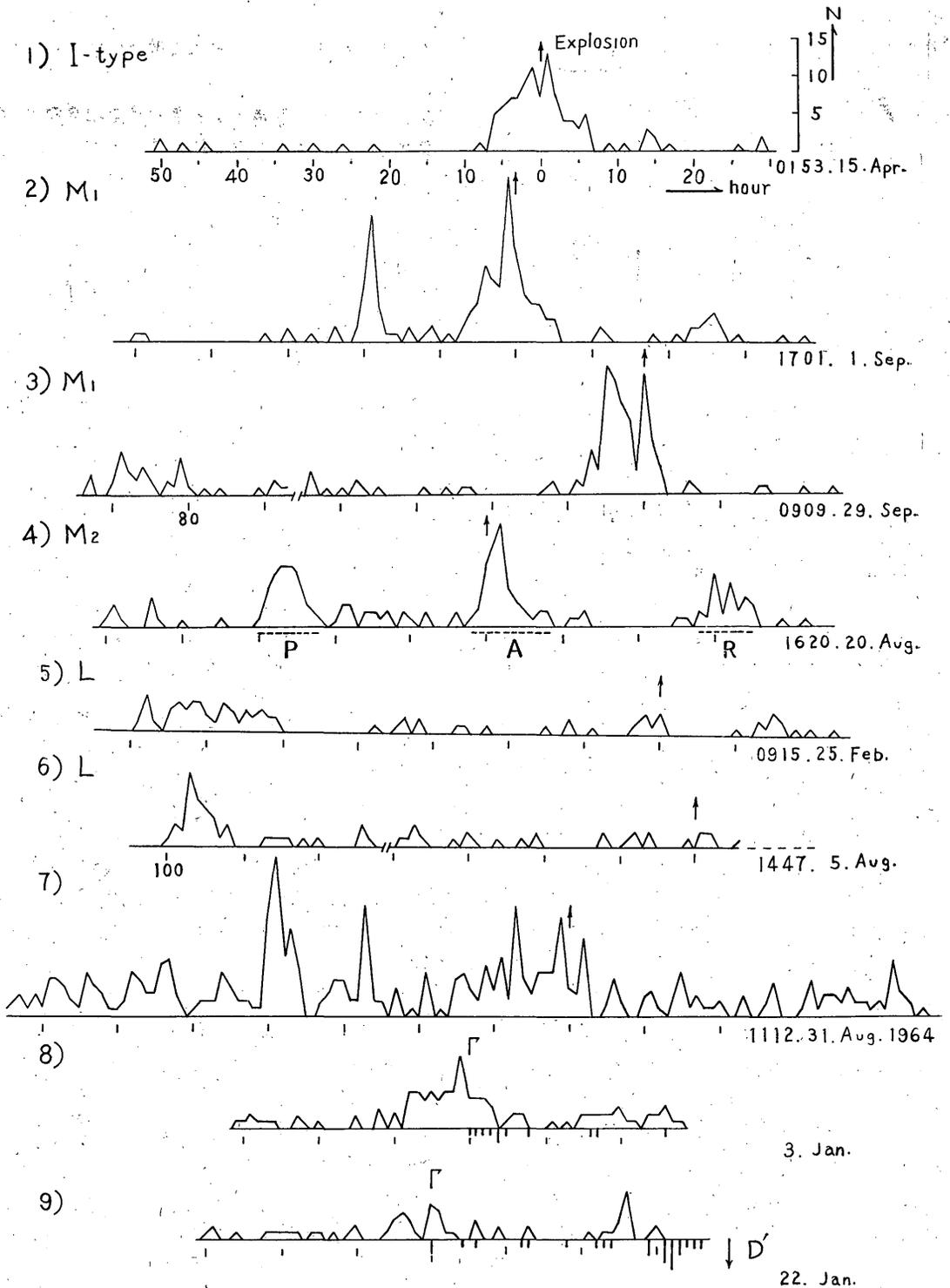


Fig. 6. Hourly number of B-type volcanic earthquakes before and after an explosion of the Volcano Sakurajima.

爆発に伴ったP・A・R群の個数と時間、各群の間の時間差を Table 4 に示す。なお、表中 No. 13 (6月20日6時57分の爆発)は停帯前線活動のため、脈動が大きくて不明。

P群とA群の出現の仕方によって、次のI・M₁・M₂・L (日別ひん度からみた出現の仕方と似た文字によって名付けた。)の4つの型に分類できた。

I型：P群がなくA群のみ。

M₁型：P群がA群に比べて少ない。

M₂型：P群とA群が同程度。

L型：P群が多くA群は少ない、あるいは群としてみられない。

§ 8. B型地震群と爆発との関係

P・A・R群の個数と時間を中心にして、相互関係の有無をみたが、次にあげる2, 3の関連が得られた。

1) P・A群の発生ひん度は爆発の大きさと量的関連があった。

地震計に記録される爆発地震の最大振幅は爆発の規模の大きさに相関すると考えられている。P・A群のそれぞれの発生個数と爆発地震の最大振幅(A点・56型高倍率地震計)との関係をみると、ある幅をもってP群は負の相関を、A群は正の相関を示した。(Fig. 7)

また、それらを型別にみると、A群についてはおおよそ次の傾向がある。

I型：規模の小さいものから大きいものまで幅がある。

M₁型：規模が中程度以上。

M₂型：規模が中程度以下。

L型：規模が小さい。

2) 同じ型の爆発が続く。

同じ型が続いて出現しやすく、しかもP群とA群の間の時間がほぼ同程度である。

(次の数字は Table 4 の資料番号。)

I型：8—9—10, 14—15

M₁型：11—12, 25—26

M₂型：3—4, 18—19

L型：6—7, 21—22

3) A群の中の爆発の時間的位置について。

A群が始まってから爆発するまでの個数と時間を Table 4 (A—D) に示す。A群が始まってすぐ爆発するものから、A群の終わり近くで爆発するものまであり、その時間は一定でない。

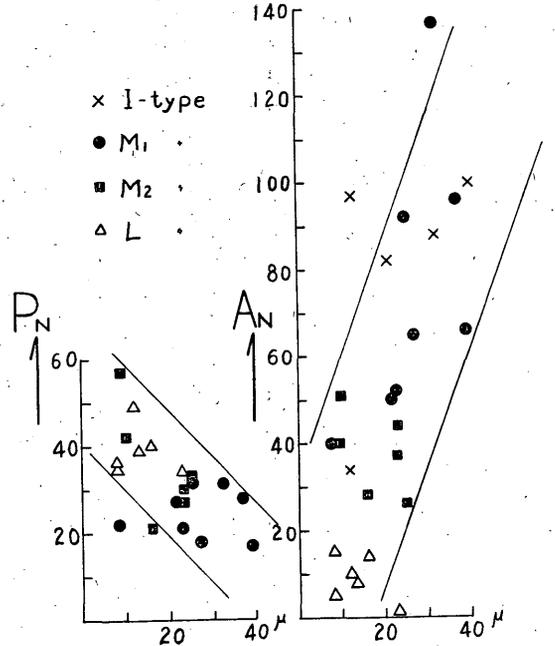


Fig. 7. Correlation between number of P or A group and maximum amplitude of explosion earthquake.

§ 9. B型地震群と噴煙との関係

D'型が急に出現し連続するとき、つまり噴煙活動が盛んになる際、B型地震群が最初のD'型に相前後して出現する場合がある。この代表例を Fig. 6の8) 9) に示す。また、D'型と関連して

B型地震群が明確に現われたものには

1月3日, 1月22日, 1月29日, 1月30日

B型地震群がわずかに認められるものには

2月16日, 3月16日

爆発後のR群と区別できなかったものには

6月2日, 10月22日

などの例があげられる。

§ 10. 11月6日と12月9日の例外的記象

11月, 12月は治山工事による雑微動のため、この調査から一応はずしたが、爆発とB型地震群との関係をみると11月19日と12月28日の爆発はI型と推察

Table 4. B-type volcanic earthquake swarm accompanied with explosion at the Volcano Sakurajima.

No.	Max. amp.	Type	P		P-A	A		A-R	R		A-D	
			N	h		N	h		N	h	N	h
1	25	M ₂	33	11	3	26	7				20	5
2	32	M ₁	31	13	37	137	7	14	19	5	136	7
3	23	M ₂	30	7	19	37	5				23	3
4	23	M ₂	27	11	11	44	5		not clear		44	5
5	12	L	49	19	46	10	5				10	5
6	23	L	34	11	245	1	1		not clear		—	
7	13	L	39	15	220	8	3				8	3
8	32	I				88	13				52	7
9	13	I				97	13				28	6
10	40	I				100	12				38	3
11	39	M ₁	17	9	216	66	13				6	4
12	23	M ₁	21	10	232	52	6		not clear		48	6
13	28											
14	12	I				34	11				14	4
15	21	I				82	14				41	7
16	8	M ₁	22	7	18	40	6		a few		14	4
17	8	L	35	9	150	5	4				1	2
18	16	M ₂	21	7	22	28	6				2	2
19	10	M ₂	42	9	19	51	11	19			5	3
20	25	M ₁	32	6	8	92	13		26	8	59	8
21	8	L	35	10	314	15	8		a few		12	7
22	16	L	40	15	269	14	5				2	2
23	37	M ₁	28	11	70	96	12				78	10
24	9	M ₂	57	11	12	40	13	7	60	12	33	10
25	27	M ₁	18	8	36	65	18		not clear		37	12
26	22	M ₁	27	11	38	50	17	5	39	12	40	14

N: number of earthquake h: duration time in hour

P, A, R: name of type of earthquake swarm and it's appearance time

D: time of explosion earthquake

される。また、11月6日と12月9日の爆発(?)は、比較的振幅が大きい割りにその前後にB型地震群が見当たらない。この2つは、B点の記象でははっきりしないが、B点より低い位置にあるC点の記象で見ると、記象型において他の爆発地震と著しい違いがあった。それは振幅の減衰が大きく、初めから終わりまで比較的長い同一周期で続いている点である。C点における爆発の一般的記象と例外的記象をPhoto. 14・15 (12月28日・12月9日) に示す。

爆発は火口に近い浅い所や、やや深い所で起こるので、爆発の起こる火道の位置によって地震波が違

ってくると思われるが、この例は少ないので今後の調査に待ちたい。

§ 11. むすび

観測点が火口により近く、地震計がより高性能となり、そして比較的活動の静かな間欠爆発期にあたり、この調査をなした。

この調査期間においてB型地震群と爆発活動は、ある程度一定した量的関係にあった。また同じ出現の仕方が続くことが多いことから、それは火道内の位置や爆発機構によって変わってくるものと思われ

る。

P群の発生は爆発の最初の過程、つまり火道内の magma の一部に爆発を起こすべく応力が加わる過程を暗示する。I型はP群を伴わないが、I型にもP群の発生と同じ過程があり、ただP群とA群が区別できないほど、近接あるいは混合して出現するのではないだろうか。爆発によって誘起された噴煙活動のため、R群の有無が不明なものもあるが、R群を伴った爆発に共通した点は、次の爆発では爆発の型が変わっているということである。つまりR群の発生は、火道の状態が変わる過程のものだろう。

連続爆発あるいは噴煙活動が盛んな活動期は、P・A・R群および噴煙に伴うB型地震群が重なり複雑になってくるものと思われる。Fig. 6の7)は1964年8月31日11時12分の爆発の前後のB型地震のひん度推移を示す。噴煙活動が盛んで、全体的に地震数が多く、火山活動の強さがうかがわれる。

噴火形式がVulcano式の浅間山・桜島はおもに火山性地震、Stromboli式の三原山・阿蘇山はおもに火山性微動が現われる。1965年10月31日阿蘇山が爆発した。12日前の19日からやや大きい微動が連続し始め、6日前の25日にこの微動は止まり、31日の爆発にいたった。爆発に離れて先行した点が似ている。

B点におけるB型地震の発生個数だけでなく、他の観測点(将来、B点と同程度の火口からの距離、そして多方向に設置されると理想的だが)とのP波

発現の時間差や振幅比等により、火道内の震源の位置をとらえ、火山活動との関係をつかむべきだろう。それは今後より多くの資料が蓄積されるにつれて明確にされると思われる。

終わりにこの調査について有益な助言と批判とをいただいた気象庁地震課諏訪調査官、鹿児島地方気象台田畑観測課長ならびに志賀調査官、終始協力をいただいた火山係の諸氏に感謝の意を表する。

(1966年7月19日 鹿児島・宮崎地区気象研究会で発表)

参 考 文 献

- 1) 安井豊・野田義男：桜島火山爆発予測の現在までの経過，測候時報，26(1959)，227～235.
- 2) 水上武：噴火と火山に発生する地震との研究(1)，火山2集，4(1959)，104～114.
- 3) 中村理祐：桜島の火山性微動について，福岡管区気象台要報，13(1957)，54～62.
- 4) 安井豊：1955年からの桜島火山活動とそれに伴う火山性地震および微動の一調査，験震時報，23(1958)，35～45.
- 5) 今里能・安井豊・野田義男・山形英雄・中村理祐：桜島火山活動の推移と火山性微動の発現特性について，研究時報，10(1958)，397～403.
- 6) 鹿児島地方気象台：桜島爆発速報，7(1958)，14～15.
- 7) 水上武・茂木清夫・平賀土郎・宮崎務：桜島の爆発的噴火と同火に発生する地震の研究(1)，火山2集，2(1957)，77～90.
- 8) 吉川圭三・西 潔：桜島火山に於ける地震観測について(1)，京都大学防災研究所年報，6(1963)，6～12.

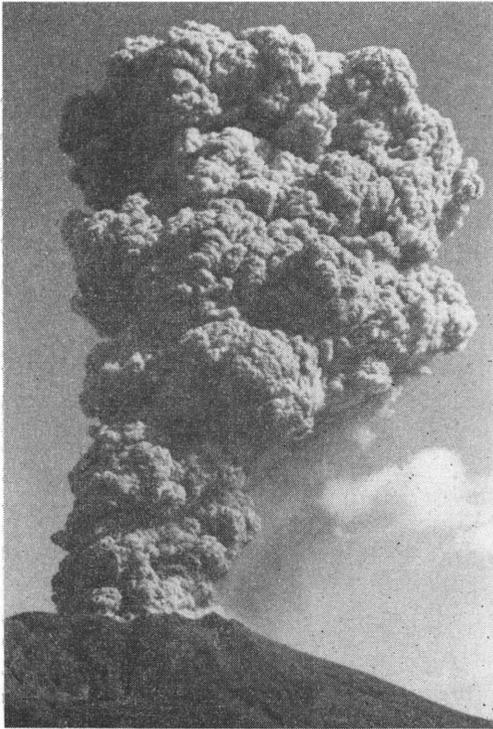


Photo. 1. Explosion of the Volcano Sakurajima at 14^h 23^m 20^d Jan. 1964.

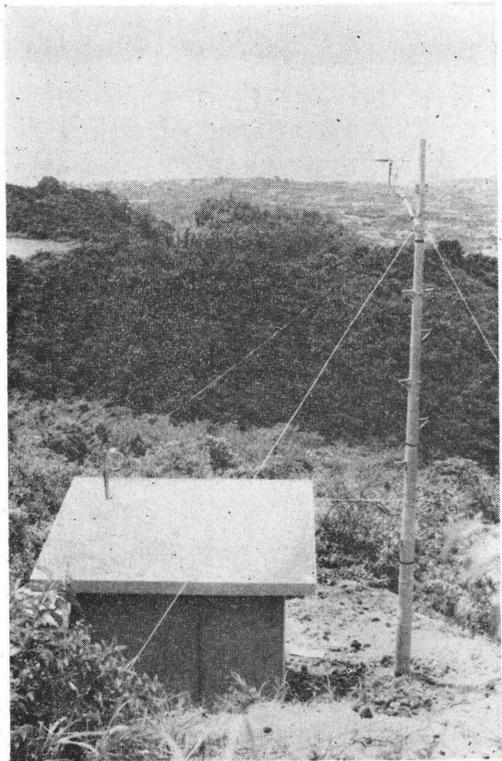


Photo. 3. Wireless transmit station

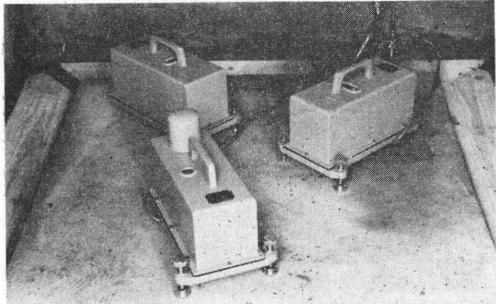


Photo. 2. Transducers at the Seismic observation point.

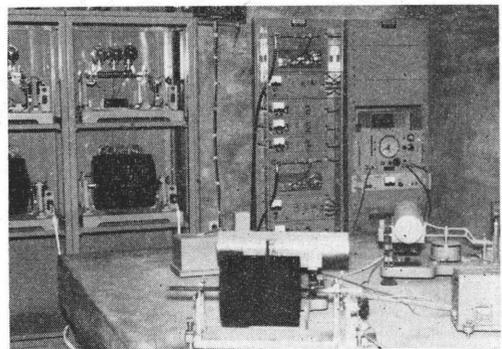


Photo. 5. Inside of seismic observation room in the volcano observatory.
Right: Receiving set,
Left : Recording device,
This side: 56 type Seismograph.



Photo. 4. Volcano observatory of the Kagoshima L.M.O. at the Sakurajima. (seismic observation point A)

Types of volcanic earthquake by a 62 C type electro-magnetic seismograph, observed at the point B.

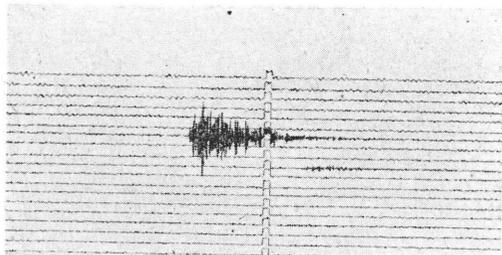


Photo. 6. A-type

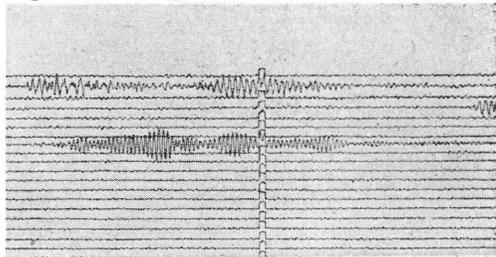


Photo. 8. C-type

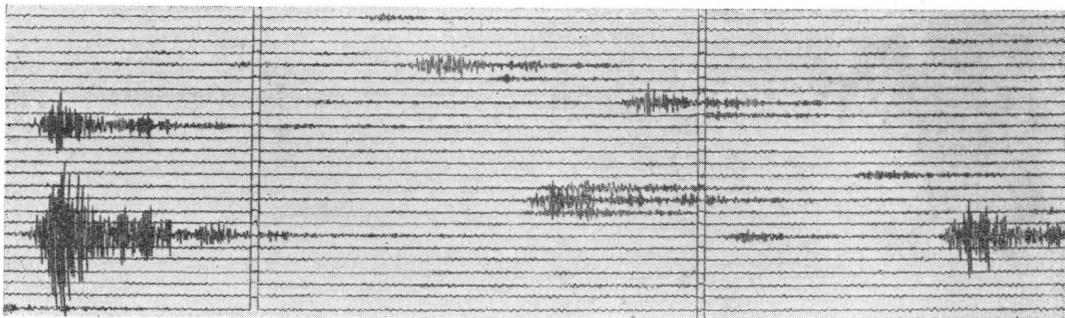


Photo. 7. B-type

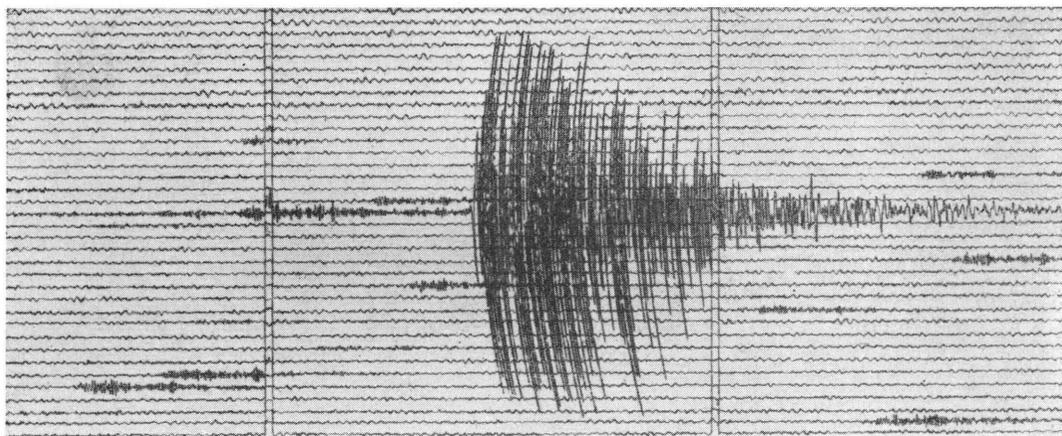
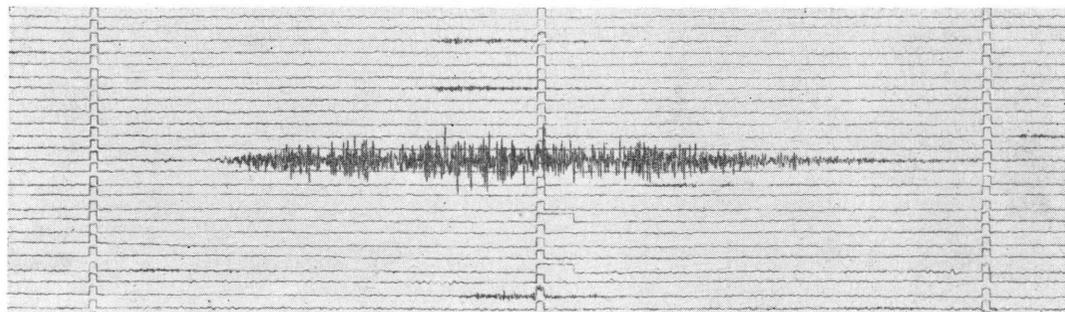


Photo. 9. D-type (00^h 33^m 19^d Nov. 1965)
Explosion earthquake.



Photn. 10. D'-type
This vibration brings volcanic Smoke

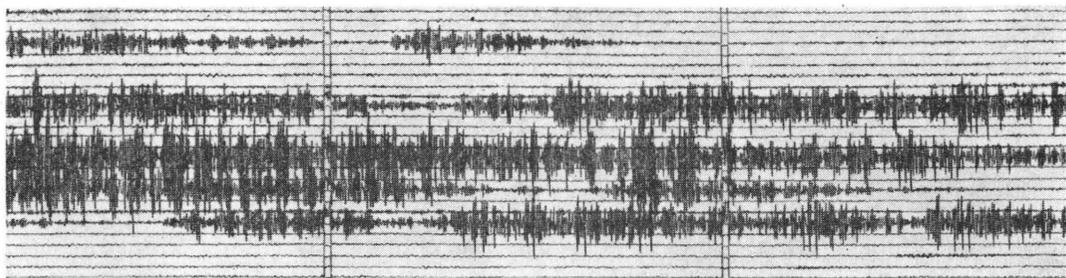


Photo. 11. D'-type

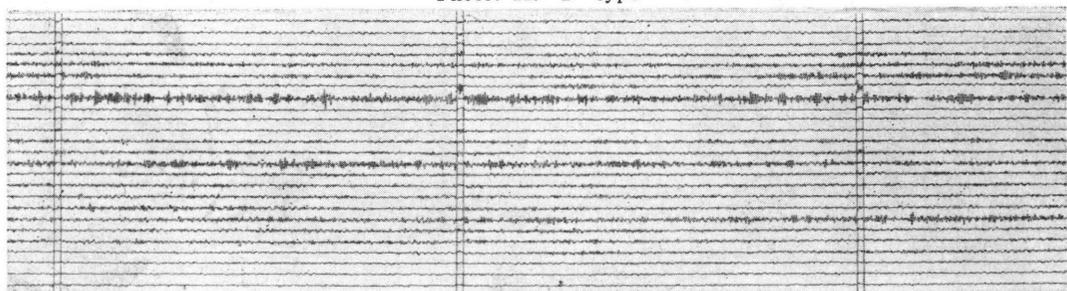


Photo. 12 E-type

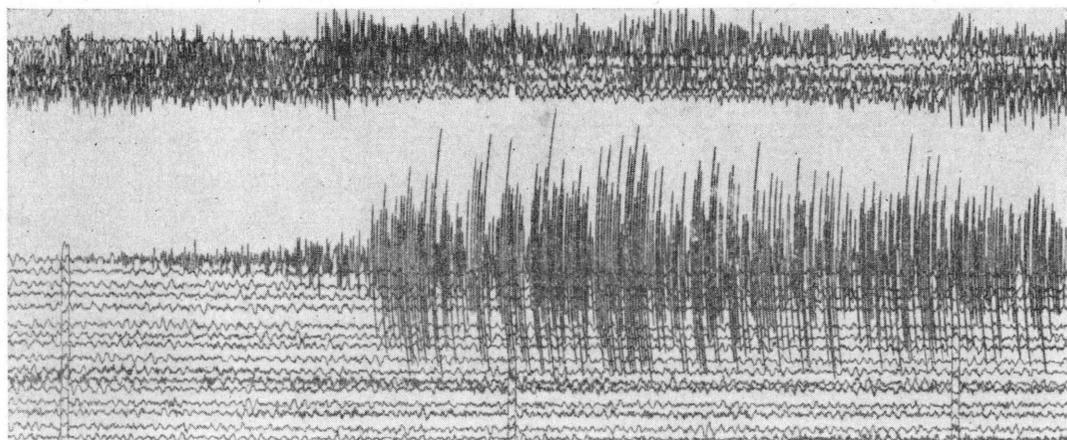
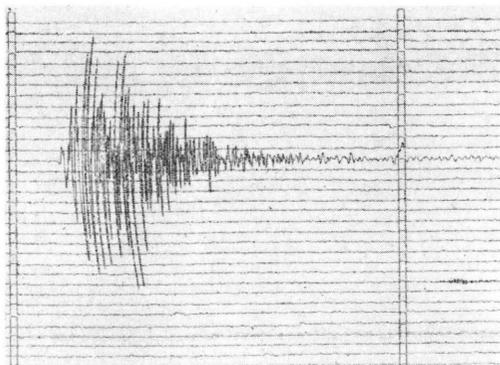
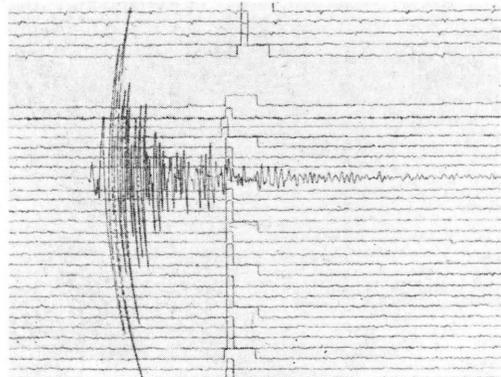


Photo. 13. Explosion earthquake at 14^h 47^m 5^d Aug. 1965.
This explosion was small but it included a lot of smoke and ash-fall.

Photo. 14. 04^h 35^m 28^d Dec. 1965 (at point C)Photo. 15. 06^h 14^m 9^d Dec. 1965 (at point C)