

地球物理

第 7 卷 第 3 號

昭和18年12月

論 說

火山破裂に於ける爆音回数経過の一考察*

理學博士 南 葉 宗 利

I. 前 書

火山爆發は火口管栓下に集積した高壓火山瓦斯が遂に火口栓を排除して所謂表面噴火を開始し、其保有瓦斯壓力の消耗するに及んで其火山活動を休止すると考へられてゐる。

筆者は表面噴火の経過の観測からして火山爆發の過程を次の如く區別して其性質を検討することとした。然るに火山爆音頻度曲線の完全なる観測は未だ出来てゐない。依つて類似の現象である間歇泉(阿蘇湯谷)に就て得た材料を以て之を補足し推論した。

(1) 火口管栓排除期の火山活動(開口期と略稱する): 一火口栓下の火山瓦斯の集積が充分になると火口栓を破壊し四散せしめる。此時爆音を發し、しかも極めて強力の時には大空壓縮に依つて閃光を發生する。火口栓を成形する固化熔岩片を破碎飛散せしめる。此際に伴ふ火山灰は主として熔岩灰で色は淡色であるのが通則である。爆音頻度 (dN/dt) は漸次増大し従つて間歇時間は漸次短くなる。 dN/dt と時間 t との曲線は t 軸に凸形である。回数 N と t の曲線も t 軸に凸形である。抛出物は漸次高く噴騰される。遂には殆ど連続的に噴騰され壯觀を呈するに至る。即ち抛出物の初速が漸次増大される。此活動期の活動は氣壓上昇に依つて抑制さるるが如き傾向がある。

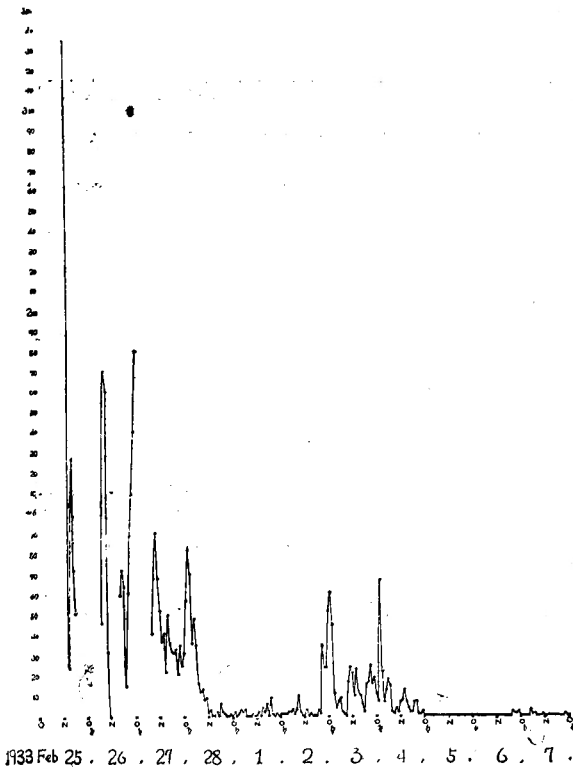
* 本報は日本數物年會(昭和18年)に報告したものを多少訂正補足した。

(2) 主要活動期の火山活動(噴出期又は押出期と略稱せん): 一開口期に於て開口作業が終了し plastic magma の層に達すると爆音は最高調から順次静穏に向ふ。軽石抛出のある場合には此噴出期の初頭に抛出される。軽石が終ると比較的 compact な熔岩流の流出又は岩漿片の抛出が始まる。此頃になると爆音は目立つて静穏になる。火山灰は岩漿灰の量が増加し且つ Fe_3O_4 の多量を含んで爲に黒色が濃厚になる。時間の経過に従つて爆音頻度が漸次減少し且つ $dn/dt \cdot t$ 曲線は t 軸に凸形になる。爆音度数 n と t の曲線は t 軸に凹形に上昇する。抛出物の噴騰の高さも漸次減少する、即ち火山抛出物の初速が漸減する。此活動は通常一週間前後で一段落し、あとは火山灰が餘燼の如く断続的に吹つづけられてゐるが之も間も無く休止し、火山は再び静寂をとりもどす。噴出期の活動は氣壓變化上昇に依つて促進される如き傾向がある。

II. 本 論

1. 昭和8年2月阿蘇火山爆發 昭和

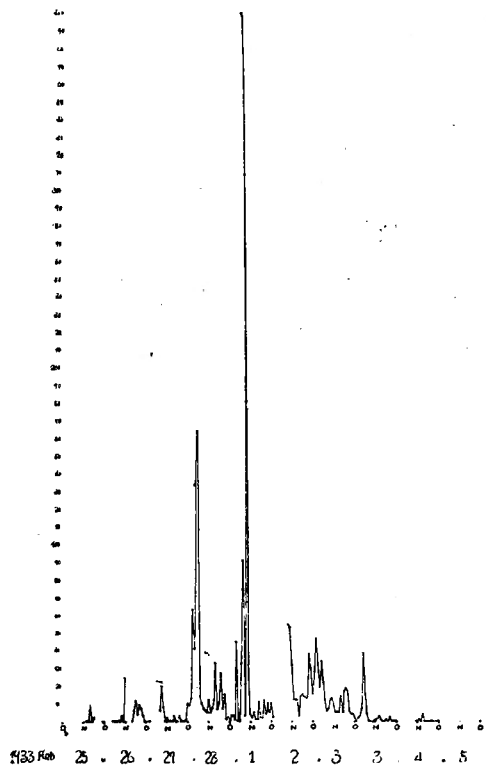
8年2月に阿蘇火山は其第一火口及び第二火口が殆ど同時に活動を開始した。第二火口は古來“中の御池”と呼ばれてゐる火口である。2月23日夜半既に活動を開始したものの如くで、火口椽では振動烈しくて北西火口椽にあつた茶小屋(今は行幸紀念碑が建てられてある附近)の居住者は居たたまらずして夜半には避難のため荷物をまとめて下山したのである。翌24日2時半頃には山上神社附近(火口を隔る約西800米)に於て既に爆音を聴取する事が出来たが、濃霧のため展望は出来なかつた。24日14時半頃の霧の晴間を利用して撮



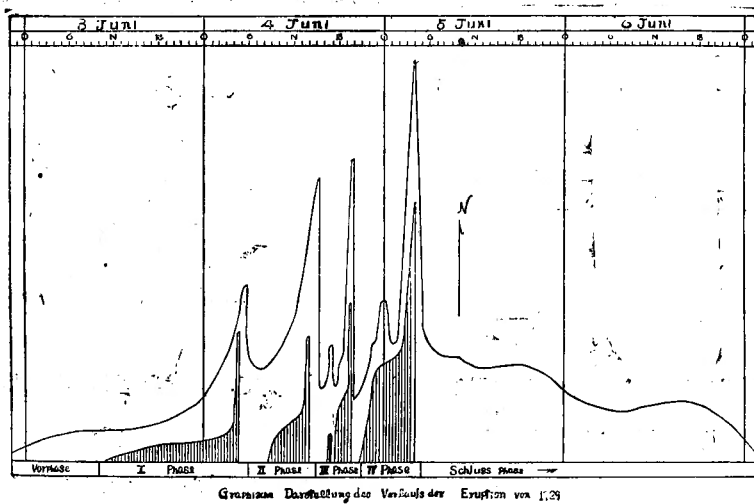
第1圖 第二火口毎時間爆音回数

つた寫眞に依ると、猛烈な岩漿片噴濺を始めてゐるのが見られ噴出期に入つてゐる事が明かに知られる。⁽¹⁾又24日16時には山麓栃木温泉の小山保壽氏が急行して16耗映畫に撮つてゐる。2月25日からは西方約1kmにある熊本測候所支所（現在の阿蘇山測候所の前身）に於て爆音回数⁽²⁾の觀測が開始された。廣江主任の好意に依つて轉寫した爆音頻度圖を第1圖に示して置いた。缺測のため開口期は判然してゐない。

第一火口は古來“北の御池”と稱せられてゐる火口で、第四火口(南の御池)と共に阿蘇中岳火口群中常に活動をつづけてゐて著名な火口である。Vesuvius 型の火山活動をする。第2圖に示したのは第一火口の爆音頻度と Rittmann の觀測し



第2圖A 第一火口毎時間爆音回数



第2圖B Vesuvius 噴火消長圖(1929, by A. Rittmann)

た Vesuvius の活動狀況を示したものである。前半は開口期で後半は噴出期である。兩期の境目附近が最も壯觀を呈する。

2. 開口期の

吟味 火山瓦斯

の壓力を P 、火口管栓抵抗（主として充填物の質量）を R 、爆音回数を N 、時間を t とすると、之等の關係を最も簡單に示すものとして次の如く考へて大過ないであらう。即ち

$$\begin{cases} dN/dt = a.P/R & \dots\dots\dots(1) \\ -dP/dN = b.P/R & \dots\dots\dots(2) \\ -dR/dN = c.PR & \dots\dots\dots(3) \end{cases}$$

(1) 式は爆發が内壓に比例して起り易く抵抗大ならば之に反比例して起り難いと考へたもの、(2) 式は爆發毎に壓力の減少する量も同様に P/R に比例するとし、(3) 式は爆發毎の栓抵抗の減少量は P にも R にも比例すると想定したものである。之をとくと (2), (3) から

$$P = P_0 + \frac{b}{c} \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R} \right) \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$R = \frac{b}{cP_0 + b/R_0} + \left(R_0 - \frac{b}{cP_0 + b/R_0} \right) \cdot e^{-\left(cP_0 + \frac{b}{R_0} \right) N} \quad \dots\dots\dots(5)$$

P_0, R_0 は $t=0$ の時の P, R の値である。従て(1)より

$$\begin{aligned} & \frac{b}{cP_0R_0} e^{\left(cP_0 + \frac{b}{R_0} \right) N} - \frac{cP_0R_0}{b} e^{-\left(cP_0 + \frac{b}{R_0} \right) N} + 2 \left(cP_0 + \frac{b}{R_0} \right) N \\ & = \left(cP_0 + \frac{b}{R_0} \right)^3 \frac{a}{bc} t + \frac{b}{cP_0R_0} - \frac{cP_0R_0}{b} \quad \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

$(cP_0 + b/R_0)N$ が小さいとき(事實然ることは後節で分る)には其の三乗項以下を切捨てると、

$$(cP_0R_0 - b)N^2 - 2R_0N + 2aP_0 = 0 \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{故に } N = \frac{1}{cP_0 - b/R_0} \pm \sqrt{\frac{1}{\left(cP_0 - \frac{b}{R_0} \right)^2} - \frac{2aP_0}{R_0 \left(cP_0 - \frac{b}{R_0} \right)}} t \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\frac{dN}{dt} = \mp \frac{aP_0}{R_0} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2aP_0}{R_0} \left(cP_0 - \frac{b}{R_0} \right) t}} \quad \dots\dots\dots(9)$$

前記第一火口、第二火口の爆音観測に於ては何れも初頭が缺測で、確實を期し得ない恨がある。依つて或種の爆發的活動と見られる阿蘇間歇泉に就て噴出回数の観測を試みた。其中の一つ1943年6月30日12時過から始まつた噴騰 No. 19に就て全貌を考察するに、 N, t 曲線は第3圖に示す如くなるから、(8)式の符號は次の如く取るべきである。

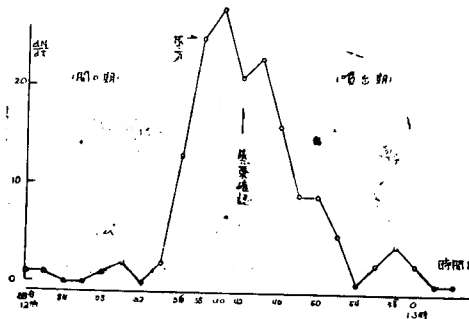
$$\left. \begin{aligned} N &= \frac{1}{cP_0 - \frac{b}{R_0}} - \sqrt{\frac{1}{\left(cP_0 - \frac{b}{R_0}\right)^2} - \frac{2aP_0}{R_0\left(cP_0 - \frac{b}{R_0}\right)} t} \\ \frac{dN}{dt} &= \frac{aP_0}{R_0} \left\{ 1 - \frac{2aP_0}{R_0\left(cP_0 - \frac{b}{R_0}\right)} t \right\}^{-\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(10)$$

但し $cP_0 > b/R_0$

此結果からみて第二火口の場合には缺測の爲見られなかつたが、やはり第一火口の如く Vesuvius 型と同様に $(dN/dt, t)$ (N, t) 何れの曲線も t 軸に向つて凸形である事が知られる。(10)式から

$$t = \frac{R_0}{2aP_0(cP_0 - b/R_0)} \equiv \tau \dots\dots(11)$$

の時刻になると dN/dt は最大となり開口期の活動を終る。即ち大氣と plastic magma との連絡が出来て新しい方式の活動に移行する。吾人實際の観測の頻度 F は $\int_{t-1}^t \left(\frac{dN}{dt} \right) dt$ であるが dN/dt とひどい差はないやうである。



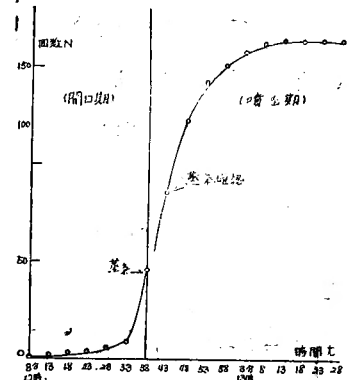
第3圖B 阿蘇間歇泉昭和18年6月13日12時噴騰毎2分間の噴騰數 (始12時7分 終20時27分)

$$F_\tau = \sqrt{\frac{2aP_0}{R_0(cP_0 - b/R_0)}}$$

に入れると $aP_0/R_0 = 0.99$, $cP_0 - b/R_0 = 1/61 \approx 1.64 \times 10^{-2}$.

1939年12月4日に調査した自記記録から⁽²⁾

$\left(-\frac{dP}{dN} \right)_{t=0} = \frac{1.25}{760} K = 1 \times 10^{-3} K$ となるから、 $b \frac{P_0}{R_0} = 1 \times 10^{-3} K$ となる。 K は常數で



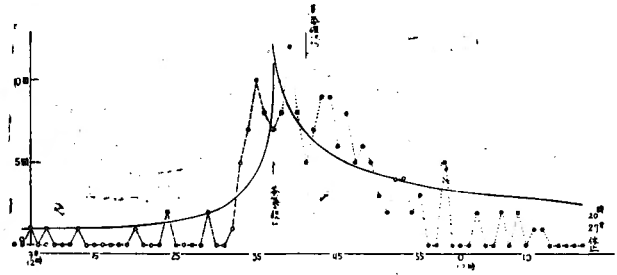
第3圖A 阿蘇間歇泉昭和18年6月13日12時の噴騰に於ける噴出回数曲線

前記間歇泉の噴騰 No. 19 に就て恒數の算出を試みやう。毎分毎の噴騰頻度を圖示すると第4圖の如くなる。噴騰に蒸氣の混在を認め得たのは37分頃であるが、判然と確認出來たのは12時42分で矢印の所であつた。此噴騰群は最初は12時7分に始まつた。 $(dN/dt, t)$ 曲線の前半の平滑に依つて最高頻度の位置を求めると $\tau = 31$ 分, $F_\tau = 11$ 故に (11) 式と

$$\dots\dots\dots(12)$$

最大値 1 である。阿蘇間歇泉管の主活動源は約 50 米の深所附近であるから、 P_0 は大約 5 気圧とみて差支無い。 R_0 も略同じ位の水柱壓とみてよいとすると、 $R_0=5$ となる。今 $K=1$ とみると $a=0.99$, $b=1 \times 10^{-3}$, $b/R_0=2 \times 10^{-4}$, $cP_0=1.66 \times 10^{-2}$, $c=0.33 \times 10^{-2}$ となる。

故に最初の假定の $(cP_0 + b/R_0)N$ が小なりとしたのは先づ無難であり、又 $cP_0 > b/R_0$ であり更に $cP_0 \gg b/R_0$ とみても差支ない。之等の data を入れると



第 4 圖 阿蘇間歇泉昭和 18 年 6 月 13 日 12 時、噴騰における噴出頻度観測値 (毎分)
實線は計算値、破線は開口期、点線は噴出期
(始 12 時 7 分、終 20 時 27 分)

$$\begin{cases} N=61-11 \times \sqrt{31-t} \\ \frac{dN}{dt}=0.99 \times \sqrt{\frac{31}{31-t}} \end{cases} \dots\dots\dots (13)$$

又 (4) (5) (10) から

$$\begin{cases} R_{\tau} = \frac{b}{cP_0 + b/R_0} + \left(R_0 - \frac{b}{cP_0 + b/R_0} \right) \cdot e^{-\frac{cP_0 + \frac{b}{R_0}}{cP_0 - \frac{b}{R_0}}} \\ P_{\tau} = P_0 + \frac{b}{c} \left\{ \frac{1}{R_0} - \left[\frac{b}{cP_0 + b/R_0} + \left(R_0 - \frac{b}{cP_0 + b/R_0} \right) \cdot e^{-\frac{cP_0 + \frac{b}{R_0}}{cP_0 - \frac{b}{R_0}}} \right]^{-1} \right\} \end{cases} \dots\dots\dots (14)$$

之に前の data を入れると、 $R_{\tau}=1.8$, $P_{\tau}=4.9$ となる。即ち開口期に於ては瓦斯壓力は餘り消耗されてゐない事が判明する。

$$R = \frac{b}{cP_0 + b/R_0} + \left(R_0 - \frac{b}{cP_0 + b/R_0} \right) \times e^{-\left(cP_0 + \frac{b}{R_0} \right) \left\{ \frac{1}{cP_0 - \frac{b}{R_0}} - \sqrt{\frac{1}{\left(cP_0 - \frac{b}{R_0} \right)^2} - \frac{2aP_0}{R_0 \left(cP_0 - \frac{b}{R_0} \right)}} t \right\}} \dots\dots\dots (15)$$

であるから火山抛出品の量 dM/dt は $-dR/dt$ に比例する。依て (15) 式を案ずるに噴出物の噴出量の變化は時間と共に増大し τ に於て最大となる。又 $-dR/dt, t$ 曲線は t 軸に

凸形であるべきであるが、此事は間歇泉の場合には一致してゐる(序報第14圖)。 dR/dt , dP/dt の何れも τ に於ては噴出期の初頭と混合する爲に状態の混亂が想像される。

3. 噴出期の吟味 開口期の活動に依つて上部栓壓は可なり排除され、固化熔岩の下にある plastic magma の層と大氣の打通が略々出来上ると、高壓火山瓦斯の泡沫を多量に含有した所謂 Pahoe-hoe Lava が噴出される。従つて火山瓦斯の壓力遞減率が R のそれよりも著大になると思はれる。間歇泉の場合には、噴出期活動に入ると多量の蒸氣が随伴してゐる事が確認される。本期の基本關係式も前同様次の如く考へる。即ち n を開口後の爆發回数とし

$$\frac{dn}{dt} = \alpha \frac{P}{R}, \quad -\frac{dP}{dn} = \beta \frac{P}{R}, \quad -\frac{dR}{dn} = \gamma PR \quad \dots\dots\dots(16)$$

但し P 及び R は前期の残りの上に、熔岩より發生するガス壓及び其れに對する熔岩の抵抗をも加味したものであるが、初期 $t=0$ では $P_{t=0}=P_\tau$, $R_{t=0}=R_\tau$ となるべきものである。

依つて(16)の解は $\left(\gamma P_\tau + \frac{\beta}{R_\tau}\right)n$ が小なる場合には前同様であるが、其の符號の撰定は $(n, t) \left(\frac{dn}{dt}, t\right)$ 曲線の性質から、

$$\left. \begin{aligned} n &= \frac{-1}{\frac{\beta}{R_\tau} - \gamma P_\tau} + \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\beta}{R_\tau} - \gamma P_\tau\right)^2} + \frac{2\alpha P_\tau}{R_\tau \left(\frac{\beta}{R_\tau} - \gamma P_\tau\right)} t} \\ \frac{dn}{dt} &= \frac{\alpha P_\tau}{R_\tau} \left\{ 1 + \frac{2\alpha P_\tau}{R_\tau} \left(\frac{\beta}{R_\tau} - \gamma P_\tau \right) t \right\}^{-\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(17)$$

但し $\beta/R_\tau > \gamma P_\tau$

本曲線は (n, t) $(dn/dt, t)$ に於て前者は t 軸に凹形で後者は凸形である。觀測結果も満足出来る結果である。

噴出期に於ては $(dn/dt)_{t=0} = \alpha P_\tau / R_\tau$ で最大頻度を與へる。阿蘇間歇泉に於ては No. 19 の噴騰に於ては $\alpha P_\tau / R_\tau = 12$, 故に $\alpha = 4.4$, 噴騰最盛時の壓力測定から $\left(-\frac{dP}{dt}\right)_{t=0} = \frac{61.K}{760}$ (平均値) と得た(阿蘇間歇泉續報57頁)。前の場合と同様 $K=1$ をとると $\beta/R_\tau = 1.64 \times 10^{-2}$, $\beta - 2.95 \times 10^{-2}$, 又 $(dn/dt)_{t=0} = 5$ と讀んだから, $\beta/R_\tau = \gamma P_\tau = 1.99 \times 10^{-2}$ 従つて $\gamma P_\tau = 0.96 \times 10^{-2}$, $\gamma = 2.1 \times 10^{-4}$ となるので

$$\left. \begin{aligned} n &= 50 \sqrt{1+0.5t} - 50 \\ \frac{dn}{dt} &= 12/\sqrt{1+0.5t} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (18)$$

明かに $\beta/R_\tau > \gamma P_\tau$, で $\beta/R_\tau + \gamma P_\tau$ も僅小である。かくて $t = \infty$ 後には $P=0$, $R=1.5 = \beta/(\gamma P_\tau + \beta/R_\tau)$ となつて活動は休止に至る。

抛出物の平均初速は, M を或常数とすると $M(-dP/dt) = \frac{1}{2}(-dR/dt)V^2$ であるから, τ に於て最大初速となる事が知れる。

$$\left. \begin{aligned} \text{開口期最大初速 } V_{\max} &= \sqrt{\frac{2bM}{c} \cdot \frac{1}{R_\tau}} \\ \text{噴出期最大初速 } v_{\max} &= \sqrt{\frac{2\beta N}{c} \cdot \frac{1}{R_\tau}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (19)$$

故に間歇泉 No. 19 に於ては

$$V_{\max} : v_{\max} = \sqrt{M} : 11 : \sqrt{N} \dots\dots\dots (20)$$

もし $M=N$ あるなら, $V_{\max} : v_{\max} = 1 : 11$ となる。何れにしても噴出期に入つた暫時は猛烈な噴出さとなる事が知られる。間歇泉噴騰の場合には噴出期に入ると管口に於て轟鳴を發する。噴出期の dn/dt の計算値は第4圖に併記して置いた。

4. 火山爆發の各活動期に於ける氣壓變化の影響に就て 第一火口に就ては2月25日から28日までの開口期と3月1日から4日までの噴出期の爆音頻度が得られてゐる。第二火口に於ては開口期は缺測になつてゐる。觀測回数が少くて充分ではなく、且つ日變化項がかなり大きいが大勢を知るには差支ないかと思はれる。

	2月25日—28日	3月1日—4日
第一火口	開口期 $16.45 \cos (2t-143.3)$	噴出期 $10.07 \cos (2t-288.4)$
第二火口	噴出期 $10.94 \cos (2t-81.7)$	噴出期 $8.51 \cos (2t-33.7)$
氣壓變化	mm $0.37 \cos (2t-291.5)$	$0.584 \cos (2t-296.0)$

上表を見ると第一火口、第二火口共に同じ期間に就て整理してみると氣壓變化に對して第二火口では前後略同様の傾向を示すが、第一火口に於ては前後が互に逆の傾向にあると見うるやうである。即ち開口期に於ては氣壓増加に依つて活動が抑制されるに反し、噴出期のそれは却つて促進される傾向を示す如き機構のものであると云ひうるやうである。

5. 噴出期の火山活動實例⁽³⁾ 昭和8年3月第二火口噴火の終末に近い噴出期の火口の模様を記すと、最初火口管頭に赤熱岩漿の圓柱が十米位の高さまで盛り上つて來て饅頭形になるが、破裂に到らぬ時は暫時にして表面が少しく凹んで來る。冷却が進んで表面が暗色になる。頭部が上昇下降を小さみに數回やつた後急に暗色表面に龜裂が放射し、赤熱岩漿が龜裂に沿ひて見えたと思ふ間に爆音と共に爆發を起し、岩漿片が四散し岩漿灰を多量に含む黒煙は猛烈に上昇する〔其瞬間の寫眞も撮られてゐる〕。最初の膨脹で氣泡内の瓦斯壓が小さくて岩漿膜を破る事が出來ないと、圓頭を盛り上げたままで平衡する。暫くすると冷却のため氣體の體積收縮から圓頭に凹みが出來る。且つ表面が暗黒色になる。瓦斯の補給を充分受けると再び膨脹するが表面が固化してゐる爲に殆んど爆發的に破壊を起し、岩漿を四散せしめる。而して岩漿内の氣泡群は岩漿膜を小碎片に押破つて所謂岩漿灰とするから黒煙となつて噴出し、しかも破碎の時大音を發する事不要であるから音は比較的靜かである。

前記爆發に際して若し氣壓變化があると、その影響はよし極微のものであるとしても第一回目の膨脹の時に丁度平衡状態にあつたとすると氣壓減少に依つて丁度破壊に至らしむる場合もあるべく、又氣壓増加のために破壊をまぬがれ更に火山瓦斯補給を受けて後にはじめて爆發を生起しうる場合もありうるであらう。かゝる場合には前の爆發は後の場合よりも小規模である筈である。筆者がさきに調査した火山爆發回数頻度と氣壓變化の關係が大爆發は一般に高氣壓の時に多いと云ふ統計的結果となつたが、⁽⁴⁾その機構が今の場合の如きものであるとすることが出來るなら略々了解出來る。開口期と噴出期の場合は氣壓に対する影響が逆であると云ふ事は少くとも其機構の相異してゐる事を示してゐると見て差支あるまい。即ち P に対する氣壓變化の作用が兩期互に逆であると考へられる。

III. 結 語

火山爆發頻度曲線が不完全乍ら觀測された爲にその大體の特性が窺はれた。依つて其不足の點を間歇泉の觀測から補足し、主なる性質を考察し得た。更に開口期と噴出期に於ては氣壓變化による打診に依つて機構の異なる事を知つた。以上の結果にして略々容認しうるならば“火山爆發頻度の平方の逆数は時間 t に比例する”と云ひうるし、又 $t =$

$\frac{R_0}{2aP_0(cP_0 - b/R_0)} \equiv$ に於て開口期終了と云ひうる。之は圖式又は計算に依つて算出出來

る筈である。

火山爆音頻度の完全なる観測が困難である爲、詳論は後日に待たねばならぬ。間歇泉に於ても時刻 τ の認定は相當の困難で數分の誤差をまぬがれぬ。しかも此附近に於ては兩活動期の混在のため頻度に變化が烈しい。精測は今後に残された問題である。

爆音観測に不眠の努力を致せる熊本測候所員に敬意を表する次第である。御指導を賜つた野滿教授に厚く謝意を表する。所員江藤、森兩君は阿蘇間歇泉の観測に不眠健闘した。費用は文部省科學研究費に依つた。

文 獻

- (1) 青木成一外；— 驗震時報第Ⅱ卷第1號
- (2) 南葉；— 阿蘇間歇泉序報，地球物理，第3卷第4號，昭和14年12月
- (3) 此種の観測は數種あり。
 - (イ) 青木成一外；— 前記(1)
 - (ロ) 佐々憲三；— 地球物理，第3卷第2號等
- (4) 南葉；— 火山爆發に及ぼす氣壓變化の影響，日本數物年會報告(昭和17年)