

8. 1973 年の浅間山噴火活動について

地震研究所 { 下 鶴 大 輔 内 堀 貞 雄 行 田 紀 也
 { 小 山 悦 郎 宮 崎 務 松 本 時 子
 { 長 田 昇 寺 尾 弘 子

(昭和 49 年 12 月 9 日 受理)

目 次

1. 緒 論
2. 1973 年までの活動状況
3. 1973 年 2 月 1 日までの前兆現象
4. 2 月 1 日の噴火について
5. それ以後の噴火について
6. 浅間火山観測所における地震観測網と観測状況
7. 火山性地震の解析
 - (A) 爆発地震
 - (B) A 型地震
 - (C) B 型地震
 - (D) 東側山腹の群発地震
 - (E) 火山性脈動
8. 爆発に伴う空振について
9. 地形変動
10. 噴出物について
11. 謝 辞
12. 地震計測表
13. 文 献

1. 緒 論

長野県と群馬県の境にある浅間山は、我が国で最も活動的な活火山の一つであり、その爆発的な噴火およびそれに伴う火砕流の発生などで、多くの災害が記録に残されている。1961 年 11 月の噴火後静穏であつた浅間山は 1973 年 2 月 1 日噴火活動に入り、11 年ぶりに活動期に入つた(下鶴, 1973)。いくつかの噴火を繰り返しながら、4 月 26 日の噴火を以て今回の一連の噴火活動は一応休止したと考えられる。

1900 年代に入つて浅間山の活動は活発になり、消長を示しながら多くの噴火を数えた。その間、連続して噴火のなかつた年は 1923~1926 年の 4 年間が最高であつて、今回のごとく 11 年余りの静穏期は異常であつた(Fig.1 参照)。しかし、過去にさかのぼれば 1800 年を中心とした 40 年間(天明の噴火を含む)の活動期と 1800 年代後半から始まる活動期との間には 50 余年の

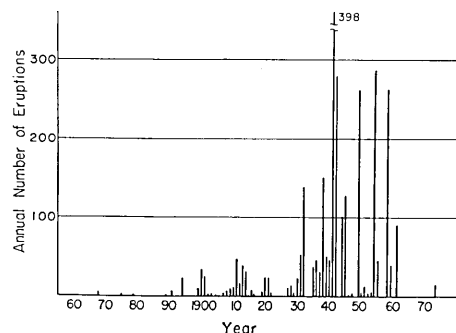


Fig. 1. Annual frequency of eruptions of Asama Volcano since 1860.

静穏期があることを記録は示している。今回の一連の活動が新しい活動期への前兆か、あるいは半世紀以上にわたる活動期の延長上にあるかは俄かには断定出来ない。

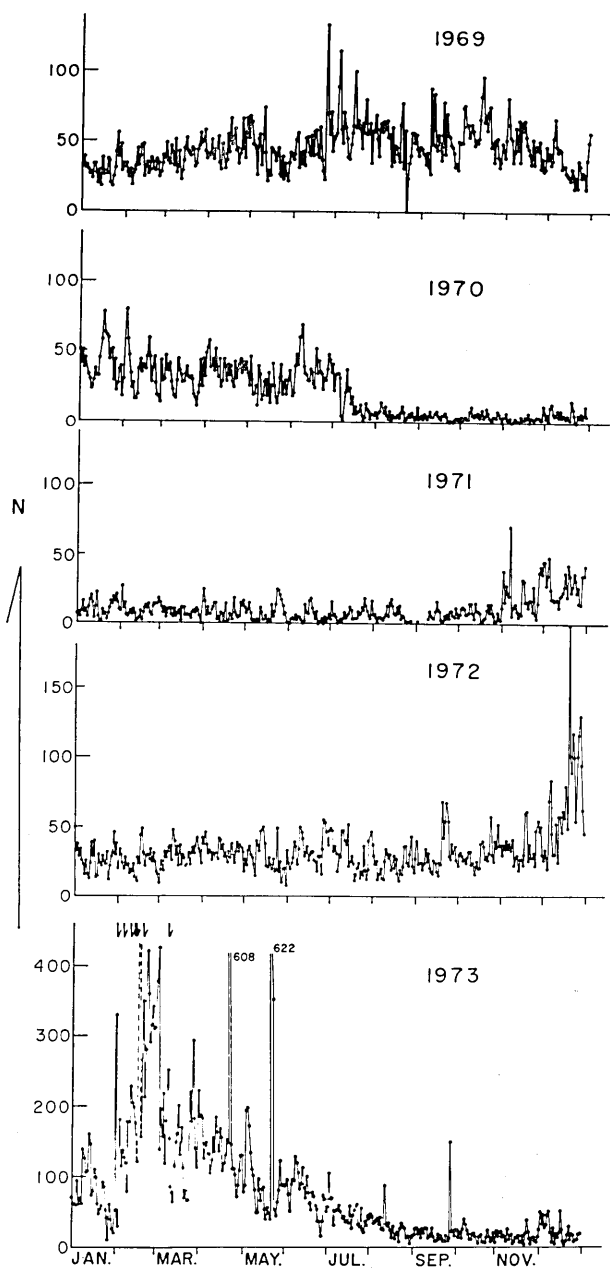


Fig. 2. Daily frequency of volcanic earthquakes observed at Sannotorii station of Asama Volcano Observatory (A.V.O).

2. 1973 年までの活動状況

先にも述べたように、11 年ぶりに噴火した浅間山の最近の地震活動状況その他については 1968 年まで水上武らによつて報告されている (MINAKAMI, 1935, 1959, 1960, 1970). ここでは 1969 年以降の地震活動について概略を述べる. 浅間火山観測所では頂上火口より 2.5km 離れた東側中腹にある「三の鳥居」観測壕にある三成分地震計を常時観測の標準の一つとしている. このうち水平動地震計 (EW 成分) の記録に表れた地震のうち浅間火山に発生している地震のみを拾い出して毎日の地震数を計測している. マグニチュードの小さい松代付近で起る地震は、三の鳥居では B 型地震によく似ているが、黒豆河原観測点の記録を参照にしつつ、判別している.

浅間山には、山体のやや深い所に発生する地震 (A 型地震とよばれる) と、極めて浅い部分に発生する地震 (B 型地震とよばれる) とがあることが判つているが、最近、東側中腹の比較的浅い所に群発地震が発生することが判つて来た. ここでは三の鳥居地震計に記録された火山性地震のうち A 型地震と B 型地震の和の日別頻度を示す. Fig. 2 は 1969 年より 1973 年までの 5 年間の日別頻度である. 三の鳥居観測点において倍率 4,000 倍の地震計で観測すると、通常の静穏期では、1 日あたり 30~50 程度である. 過去 4 年間の地震活動状況のうち著しい点は次の通りである.

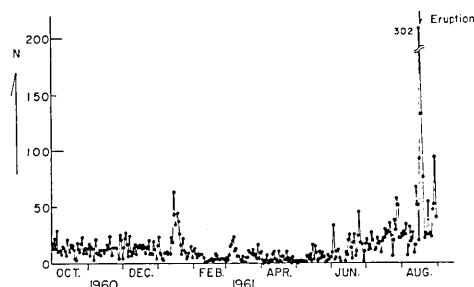


Fig. 3. Daily frequency of volcanic earthquakes observed at Sannotorii station of A.V.O. before the eruption in Aug. 1961.

- 1) 1969 年に地震活動がやや活発になった.
- 2) 1970 年 8 月から 1971 年 10 月までの 15 カ月間は地震活動が異常に低下した.
- 3) 1972 年 12 月から地震数が増加しはじめ 1973 年 2 月の噴火につながった.

特に 1970 年 8 月からの地震活動の低下は極めて異常であつて、これが何を意味するかは明瞭ではない. 過去にもこのような事例がないわけではなく、たとえば 1961

年 8 月の噴火前にも、1961 年 5 月まで同様な地震活動の低下が見られる (Fig. 3 参照). このことが次に起るべき噴火活動とどのような物理的因果関係があるか、あるいは全くの偶然かは明らかではない.

3. 1973 年 2 月 1 日までの前兆現象

Fig. 2 でも明らかなように 1972 年 12 月中旬より、火山性地震が増加し始めた. このことをもう少し詳細に見るために、1972 年 8 月より噴火に至るまでの A 型地震と B 型地震の日別頻度を示すと Fig. 4 のごとくなる. 図中、黒丸は B 型地震の数、棒は A 型地震の数を示す. また、浅間火山観測所では、気象観測 (毎日 3 回) の外に、噴煙量 (0 から 10 までの階級にわけている) の観測も毎日 3 回行つている. 朝 9 時の噴煙量を Fig. 4 に図示してある.

A 型地震は 1972 年 10 月から顕著に発生しはじめ、11 月で一段落したあと、B 型地

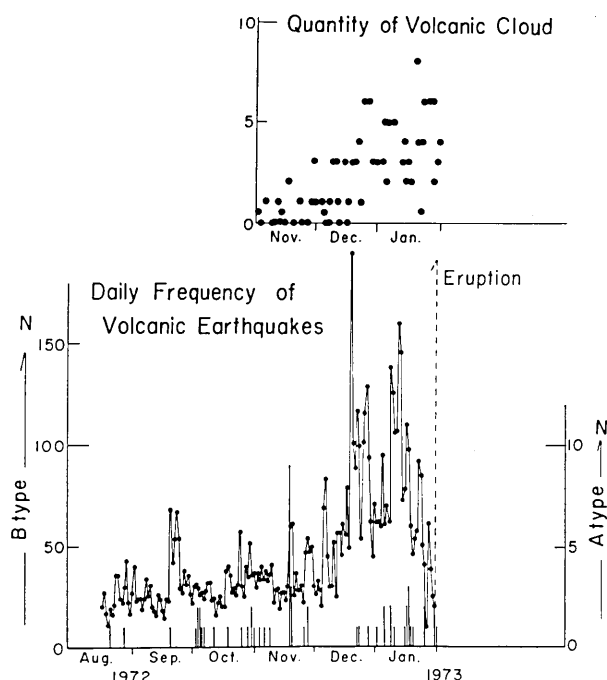


Fig. 4. Daily frequency of A-type (rows) and B-type (dots) earthquakes and the quantity of volcanic clouds observed by A.V.O.

震が増加し、12月下旬から再びA型地震が発生しはじめた。B型地震は1973年1月中旬からは消長を示しながら次第に数が減少し、1月下旬には異常な低下を示した。

一方、噴煙量も次第に増加し始め、12月中旬頃からは噴煙階級で5を越えるものが出はじめた。これらの現象を総括すると、1972年12月中旬より1973年1月末までの期間は今回の噴火活動の前駆活動期 (pre-eruptive stage) と考えることが出来よう。

1973年1月末の地震活動の異常な低下も注目すべき事実であつて、噴火は地震活動の極大を過ぎてから起きたことになり、この種の事例は他の火山でも多く観測されている (SHIMOZURU, 1971)。また、1月30日、31日の夜、浅間山北方の押出園で山頂に火映が望見されたという報告がある。この時、すでにマグマが火口底にせり上がつて来ていたと思われる。

4. 2月1日の噴火について

1月末の地震活動の異常な低下は2月1日9時頃まで続いた。A型地震はそれまで時々起きていたが、10時頃からB型地震の数が増加し始め、12時～13時の間には、40回を数える程となつた。同日の19時頃までの間に平均して1時間あたり35回のB型地震の頻発となり、19時20分に大音響を伴つて最初の爆発的噴火が起きた。噴火前のB型地震の頻発と、爆発地震の記録例をFig. 33に示してある。B型地震は静穏期のものより、大きく、かつ、短周期の波動が卓越している。

大きな爆発音によつて窓ガラス、建物が揺れ、さらに鳴動を伴つて噴煙を噴き上げた。

爆発当時は、山頂は薄雲に覆われ、暗闇のため爆発の全容は明らかではないが、雲のきれ間から見ると、標高 2,200 m 付近から山頂にかけて赤熱の噴出物が望見されたが短かい時間で消えた。立ち昇る噴煙の中に火山雷が発生し、北側斜面には赤いすじのようなものが見えたという。翌日の観察によれば小規模の火砕流であつた。噴煙の高さは明らかでないが、西北西の風につて富士見坂、雪崩の沢、千ヶ滝、万山望、小瀬、旧軽井沢方面に流れていつた。峰の茶屋付近は噴煙の主軸から外れ、降灰、礫の量は少なく、噴火後約 2 分程で、大豆から鶏卵大の礫が 1 m^2 あたり 1~2 個降下しただけであつた。道路上に落下した 500 g の噴石の一つはアスファルトを溶して路面に食い込むものもあつた。比較的大きな直撃弾は火口から 2.5 km あたりまで飛散した模様である。

一方、火口から 1,650 m (水平距離)、標高 2,230 m 地点にある富士見坂地震観測点の地震計は、この噴火のため、観測点のごく近くで地表に露出していた搬送用通信線が噴石により障害を生じ、噴火地震発生後、35 秒で搬送を停止した。また、噴火地震発生後 170 秒で観測所は停電となつた。これは、火口から約 5.2 km、標高 1,340 m 地点で、噴石落下により電力送電線が切断されたためであつた。

昭和 10 年頃の噴火活動中の記録によれば、噴煙の流れは比較的緩やかで、火山観測所(火口より 4,380 m)に礫の降下が始まるのは噴火後 3~6 分であつた。

2 月 1 日 18 時(噴火直前)の火山観測所の観測によれば、噴火時は北の風、弱風、晴れ、気温 -5.5°C 、湿度 56% である。また、当日 21 時の軽井沢測候所のデータでは、西北西の風、0.8 m/s、晴れ、気温 -5.1°C 、湿度 89% で、浅間山地域は風も弱く穏やかな気象といえる。このことを考慮に入れると、観測所への早い礫の降下や、送電線切断時間などは、風に乗った噴煙からの降下よりも、むしろ、ある射出角をもつて噴出された

Table. 1 List of eruptive activity of Asama Volcano in 1973.

| Date | Time | Kinetic Energy (in ergs) | Remarks |
|---------|---|-----------------------------|---------------------------|
| Feb. 1 | 19 ^h 20 ^m 26 ^s | 1.2×10^{10} | |
| 5 | 22 27 | | Minor eruption |
| 6 | 16 27 20 | 1.8×10^{13} | |
| | 16 32 | 1.0×10^{13} | |
| 9 | 08 58 40 | | Minor eruption |
| 10 | 16 25 | | Minor eruption |
| 11 | 04 20 34 | 1.5×10^{13} | |
| | 17 09 10 | | Minor eruption |
| 14 | 11 35 31 | 2.0×10^{13} | |
| 15 | 16 56 42 | 4.3×10^{13} | |
| 16 | 07 00 | | Successive minor eruption |
| 18 | 21 00 | | |
| 20 | 09 47 43 | 1.0×10^{10} | |
| Mar. 9 | 16 59 | | Minor eruption |
| 10 | 08 30 56 | 1.6×10^{10} | |
| Apr. 18 | 03 15 34 | 8.4×10^{13} | |
| 26 | 10 03 58 | 4.6×10^{13} | |

めではないかと想像される。

噴煙は風に乗って、高崎、深谷、熊谷方面に流れ、この地方に降灰があつた。また爆発音は埼玉県あたりまで聞えたという。

送電線の切断による停電のため、観測所の地震観測が停止されたが、一部の地震計は直流電源に切りかえ、他は、中部電力の好意によつて貸与されたガソリン発電機によつて、2月2日1時すぎより観測を開始した。2月2日12時50分に、送電線の修理が終り、送電が開始された。

噴火後、数時間は地震観測が不十分ではあつたが、地震は全くなり、噴火後地震が初めて観測されたのは噴火発生10時間後の2月2日05時34分頃からである。

5. それ以後の噴火について

2月1日の噴火後は、時々単発的な噴火を見たが、2月16日朝から18日夜までは微噴火が連続的につづいた。今回の噴火活動は4月26日の噴火を以つて一応終了したと考えられる。上記連続的の微噴火を除くと、噴火回数は15回である。一連の噴火の発生時刻と運動エネルギーを Table 1 に示してある。運動エネルギーは観測所に設置してある350倍石本式微動計に記録された爆発地震の最大振幅から水上武によつて与えられた公式

を使つて計算したものである。

主な噴火の発生前後における A 型地震および B 型地震、火山性脈動発生のパターンを示したものが Fig. 5 である。図中太線は噴火であり、その長さはそれぞれの噴火の運動エネルギーに比例して表してある。また、細線の上に A と表してあるのは A 型地震を意味し、2月6日の噴火前後の斜線部分は火山性脈動を意味している。

ここにあげた4例に共通なことは次の通りである。

- 1) 噴火前に A 型地震が発生する。これは B 型地震の頻発に前駆するように見える。
- 2) 噴火後には A 型地震は皆無である。
- 3) 噴火後 B 型地震の数は急激に減少する。

また、2月6日の噴火前後の火山性脈動発生中には B 型地震は発生していない。

次に個々の噴火のおおよその状況を述べよう。

5.1) 2月6日の噴火

2月5日22時27分頃微噴火があり、同時に中程度の振幅の火山性脈動が発生

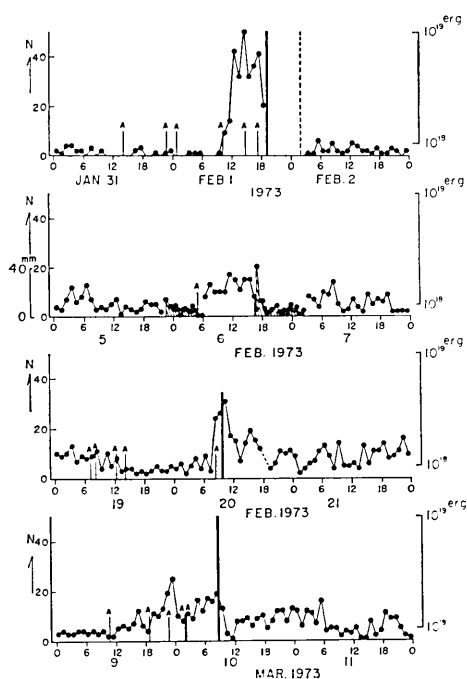


Fig. 5. Hourly number of B-type earthquakes and the occurrence of A-type earthquakes before and after the respective eruptions. Thick rows indicate the eruptions. Shaded area on Feb. 6 indicates the occurrence of volcanic tremors.

し、6 日 04 時 40 分頃まで脈動がつづいた。それ以後は脈動の振幅は小さくなり 05 時 40 分頃より B 型地震が発生し出すようになった。噴火 120 秒前から大振幅の脈動が発生し、つづいて噴火に伴う地震が記録された。

この噴火は大きな爆発音を伴わず、鳴動を伴って黒煙を噴き上げた。観測所屋内では鳴動を殆んど感じない程度であつた。噴火は 2 回に分れ、最初のものは 16 時 27 分、つぎの噴火は 16 時 32 分である。最初は穏やかな噴火で始まり、鳴動を次第に増しながら噴煙量を増していった。5 分程して最初の噴煙がやや収まりかけた頃、再び鳴動を伴って大量の黒煙を 3 分間程噴出した。爆発地震は他の単発的噴火と異なつて、やや短周期で、振幅が次第に増大する形である。

噴煙の高度は 2,500 m とのことであり、噴煙は東北東に流れ、噴煙流の南端にあたる峰の茶屋付近でも最大 1 cm 径の礫や細かい灰が多く降つた。噴煙の主軸にあたる国道ゲート付近では、大小の礫や火山灰が積つた。

この噴火で小規模の火砕流が発生し、山頂釜山付近を覆い、一部は南西側の前掛山を越え、北側山腹では、火口から 400~500 m 程流下した。噴煙は遠方まで流れ、前橋や高崎でも一時、視界が落ちる程度に降灰があり、また、その後、栃木県、埼玉県、茨城県にも粉雪が降るように降灰があり、自動車はライトをつけて走行した程であると報告されている。

また、押出園からの報告では 6 日 00 時 20 分より 01 時 15 分頃にかけて火映が望見されたとのことである。

噴火後、しばらくして観測所付近に雹がパラパラと降つて来た。ピンセットで白紙の上に拾い上げてストーブで溶かすと、白紙に、細かい火山灰が残つた。直径 1.5 mm 位の雹の中に少ないものでも 1 つ、多いもので 20 位の極微粒の火山灰が trap されていた。

噴火後も大振幅の脈動が発生し、21 時頃の調査では、ゲート（西部有料道路料金徴集所）付近で、サンサンと降灰があつた。7 日 02 時 40 分まで脈動が時々大となることから考えると、連続的に微噴火をやつていた模様であり、翌日の 02 時頃まで降灰が続いた。また、21 時 20 分、火映が見られたとの報告がある。

5.2) 2 月 11 日の噴火

早朝の噴火のため目撃者は殆んどいなかった。爆発音も小さく多くの人は気付かなかつた程度の噴火である。西北西の風で峰の茶屋付近上空に噴煙が流れ、最大 1 cm 径の礫および降灰があつたが、比較的少量であつた。

御代田町よりこの噴火のカラー写真を撮影した人がいて、その写真によると、火砕流か他の噴石か明瞭ではないが、山頂より南側山腹にかけて赤熱噴出物が分布し、特に釜山付近から東前掛山あたりまで真赤であり、中に点々と特に大きい赤熱の火山弾らしいものが見られる。また上空には火柱があり、火山雷も発生していた。

噴火後、可成りの振幅の火山性脈動が引き続いて発生した。

5.3) 2 月 14 日の噴火

11 時まで脈動はなかつたが、次第に脈動が出はじめ、「パーン」という軽い爆発音に続いて鳴動を伴いながら黒灰色の噴煙をあげた。噴煙の高さは 2,000 m に達し、西風に乗つて峰の茶屋方面に流れた。黒煙の噴出中、鳴動に混つて雷鳴のごとき音も盛んに響き、窓

ガラスや板壁をビリビリ振動させた。噴煙が次第に高く上昇するにつれて鳴動は無くなり、4分経過すると、峰の茶屋付近にも礫の降下が始まり、続いて火山灰が降つて来た。噴煙の主軸は東北東方向で、火口から4kmの付近では最大直径3cm程度の火山礫と多くの灰が降り、峰の茶屋でも1cm径の礫が降つた。噴煙が流れるに従つて、松井田、前橋、宇都宮、栃木方面にも降灰があつたという報告がある。

5.4) 2月15日の噴火

「ドーン」という比較的大きい爆発音と共に、噴火した。薄暮の空に噴煙は4,000mの上空に達し、鳴動を伴つて成長する噴煙中に火山雷が発生し、幾条もの稲妻が観察された。鳴動は暫く後に止んだが、噴煙はなおも続き、黒豆河原方面に流れた。この噴火の後も、微噴火は夜まで続いた。

5.5) 2月16, 17, 18日の連続的微噴火

2月15日の噴火のあと火山性脈動が同日23時50分頃まで続いた後、2月16日07時頃より再び出現し同時に微噴火が発生しはじめ17日03時より18日21時まで、約3,900回以上を数えた。個々の微噴火にはそれぞれ噴火地震が対応し、噴火の間は火山性脈動が相当の振幅で記録されている。

噴煙は千ヶ滝、中軽井沢、軽井沢方面に流れ、細かい火山灰が多量に降つた。降灰は17日02時頃まで続いた後次第に収まつたが、03時頃から再び活発となり、鬼押出し方面には相当な鳴動が聞えた。17日夜半には風向が変わり、降灰は北東方向に移つて、黒豆河原付近に細かい灰を降らせた。17日夜半から連続した微噴火は相当な鳴動を伴い、観測所でも窓ガラスを震わせた程であつた。微噴火は20~60秒の間隔で発生した。微噴火の止んだ後は白煙を多量に噴出していたが、鳴動は引続いて聞え、火映が鬼押出し方面から観測された。

5.6) 2月20日の噴火

深い霧と小雨が時々降る中で「ドーン」という鈍い音と鳴動を伴いながら爆発した。爆発地震は比較的速やかに振幅が減衰している。数分後、小浅間上空あたりの雲の切れ間から黒い噴煙が北東方向に流れて行くのが望見された。火口から4km離れた県境から観測所近く約1.5kmの幅一带に火山礫や火山灰が降つた。11時30分頃には200km離れた福島県郡山市で雨に混つて降灰があつたとのことである。

この噴火の空振は、遠く神奈川県箱根宮ノ下まで達し近くで相当なハッパをかけたように響き、神奈川県温泉研究所の地震計にかなりの振幅で記録された。外聴域に相当したと思われる。

5.7) 3月10日の噴火

今回の一連の噴火のうちで最も大きいものである。9日からA型地震が発生し、さらにB型地震も増加したが2月1日の噴火直前ほどではなかつた。大きなパーンという爆発音によつて建物が揺れる程で、観測所の台所と煤づけ室の窓ガラスが3枚割れた。

黒い噴煙は頭が三つに分れ (Fig. 35)、こぶしを振りあげたごとき形となりつつ成長した。噴煙は約10分程持続し、穏やかな西風に乗つて東の方向に流れた。地震計が臨時に観測所裏に設置してあつたが、この記録から、観測所付近に火山礫が降下して来たのは噴火地震発生後4分38秒であることが分つた。峰の茶屋付近は噴煙の主軸に相当し、大小

の礫や軽石を降らせ、降灰は比較的少なかった。この噴火で初めて、パン皮状火山弾および軽石の多量の噴出があつたことは特記すべきことである。なお、北側斜面に小規模の火砕流および融雪による泥流が発生した。前橋市で 1 cm 大の礫が降つた他、水戸、足利あたりまで降灰の報告がある。

5.8) 4 月 18 日の噴火

「ドーン」という軽い爆発音を伴つて噴火した。爆発後数秒して闇の中で山頂をうかがうと、山頂より標高 2,300 m あたり東前掛付近まで赤熱の噴出物で覆われ、一瞬、山の形が浮んだが、すぐ闇に戻つた。鳴動は非常に短時間で終り、火山雷の発生も見られなかつた。噴煙は東方に流れ、峰の茶屋付近を中心に、小豆から大豆大の礫を 4~5 秒間降らせたが火山灰の量は極めて少なかった。峰の茶屋付近における 1 m^2 当りの礫の量は約 120 g と少なく、爆発地震の最大振幅の大きい割りに、継続時間が非常に短かく (2 分 30 秒)、極めて単発的な小規模のものであつたと考えられる。

爆発地震の規模からすれば 2 月 20 日の噴火と同程度であるが、地震の継続時間の短いこと、噴出物の降下した量が少なく時間が極めて短かつたこと、また、火山灰が殆んど出なかつたことなどを考えると、噴火の規模としては極めて小さく、破裂的なものではなかつたかと想像される。

5.9) 4 月 26 日の噴火

爆発音は比較的大きかつたが、鳴動は殆んど伴わず、1 分 30 秒~2 分で終る極めて短かい噴火であつた。これまでの一連の噴火活動と比較すると、爆発音を伴つた噴火のうち、

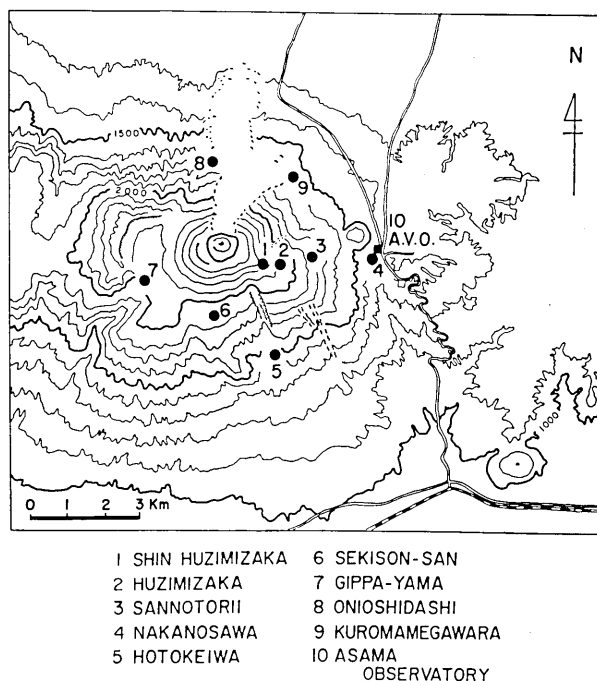


Fig. 6. Locality of seismometers and A.V.O. Seismic signals are telemetered by underground cables to A.V.O.

この噴火が継続時間が最も短かく、また、放出された噴出物の量も最も少なかった。噴煙は黒豆河原方面に流れ、極く微量の降灰があつたと聞く。

以上、主な噴火について概略を記した。噴出物については後述する。

6. 浅間火山観測所における地震観測網と観測状況

浅間火山観測所では観測所も含めて 10 個所に地震計を設置して地下埋設ケーブルによって観測所において集中記録を行なっている。火山観測所 (A.V.O.) および地震観測点の位置を Fig. 6 に示す。また、これらの観測点の緯度、経度、標高および火口からの水平距離を Table 2 に示してある。地震観測点の位置は次のようにして決めた。すなわち、国土地理院が国土基本図 (25,000 分の 1 の地形図) 作製の目的で 1971 年 5 月 26 日航空写真の撮影を行なつた際、各地震観測点に白いベニヤ板の対空標識を置き、航空写真上

Table 2. Location of seismic stations of Asama Volcano Observatory.

| No. | Station | Longitude | Latitude | Altitude in meter | Horizontal distance from the crater |
|-----|-----------------|---------------|--------------|-------------------|-------------------------------------|
| 1 | Shin Huzimizaka | 138° 32' 09'' | 36° 23' 57'' | 2256 m | 1230 m |
| 2 | Huzimizaka | 138 32 28 | 36 23 57 | 2232 | 1653 |
| 3 | Sannotorii | 138 33 06 | 36 24 05 | 1825 | 2540 |
| 4 | Nakanosawa | 138 34 11 | 36 24 02 | 1381 | 4160 |
| 5 | Hotokeiwa | 138 32 23 | 36 22 37 | 1462 | 3350 |
| 6 | Sekisonsan | 138 31 15 | 36 23 12 | 1869 | 1950 |
| 7 | Gippayama | 138 30 00 | 36 23 40 | 2033 | 2380 |
| 8 | Onioshidashi(*) | 138 31 19 | 36 25 19 | 1710 | 1988 |
| 9 | Kuromamegawara | 138 32 44 | 36 25 12 | 1557 | 2638 |
| 10 | Observatory | 138 34 20 | 36 24 04 | 1406 | 4380 |

Table 3. Seismic instrumentation of Asama Volcano Observatory.

| Station | component | Period of seismometer | Magnification | Recording system | Remarks |
|-----------------|--------------|-----------------------|---------------|------------------|---------------------------------|
| Observatory | 3 component* | 1 sec. | 350 | Smoked paper | Ishimoto mechanical seismograph |
| | 1 H | 1 sec. | 50 | " | " |
| Shin Huzimizaka | 1 V | 1 sec. | 4,000 | " | Moving coil type seismometer |
| Huzimizaka | 1 V, 1 H* | " | " | " | " |
| Sannotorii | 3 component* | " | " | " | " |
| | 1 V | " | " | " | " |
| Nakanosawa | 3 component* | 5 sec. | 500 | " | " |
| Hotokeiwa | 1 V, 1 H* | 1 sec. | 4,000 | " | " |
| Sekisonsan | 1 V, 1 H* | " | " | " | " |
| Gippa-yama | 1 V | " | " | " | " |
| Onioshidashi | 1 V,* 1 H* | " | " | " | " |
| Kuromame-gawara | 1 V, 1 H* | " | " | " | " |

でそれらの点を認定し、パシフィック航業に依頼して UTM 上の座標 (X, Y, Z) を決定してもらった。ただし鬼押出観測点は航空写真上で位置の同定を誤まつたため、航空写真および 25,000 分の 1 の地形図を基にして仮りに決めた位置であり、近いうちに正確な測量を行なう予定である。

各観測点に設置してある地震計は Table 3 に示す通りである。常時観測のものには星印が付してある。他の地震計は、必要に応じて、オシログラフに入れたり、data recorder に入れて観測するために使われた。実際に、2 月 1 日の午後、浅い地震が頻発し始めたので各点の上下動地震計をオシログラフに入れて観測を始めた。また、噴火開始 2 日後には 2 台の data recorder および ink recorder を用いて早回し観測を実施した。2 月 1 日の噴火で新富士見坂および富士見坂の搬送用ケーブルが損傷を受けて観測不能となつた外、3 月 10 日巨大な噴石により牙山回線の地下ケーブルが切断されたり（火口より 2 km の地点）、また鬼押出回線が雪のため損傷したり種々の事故があつて、全観測点で完全な記録がとれたわけではない。噴火活動中の観測については Fig. 7 にとりまとめている。

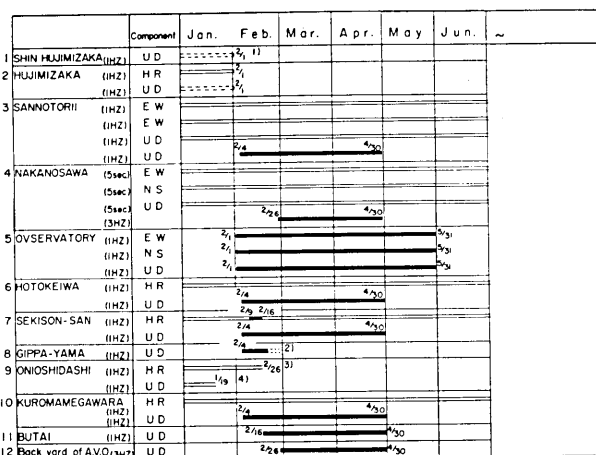


Fig. 7. Routine and temporal seismic observation at A.V.O. during the eruptive activity.

7. 火山性地震の解析

1973 年の浅間山に発生した A 型および B 型地震の和の日別頻度は Fig. 2 に示してある。

火山性地震は 3 月に入ってから次第に減少し始め、途中で数回、B 型地震の頻発を見ながら、9 月には通常地震活動のレベルにまで戻っている。4 月および 5 月の B 型地震の頻発は数こそ多いがエネルギーの総和としては小さいものである。

浅間火山には A 型地震、火口周辺におこるごく浅い B 型地震、爆発地震、火山性脈動の外、山体の一部に地震が群発することがある（たとえば血の池付近）。1973 年 2 月および 3 月には東側中腹に地震が群発した。これらの地震活動のすう勢を知るために A 型、B 型地震、東側山腹の群発地震および火山性脈動を区別して Fig. 8 に示した。図の上からそれぞれ噴火（棒の長さは噴火の運動エネルギーに比例）、A 型地震の日別頻度、B 型地震

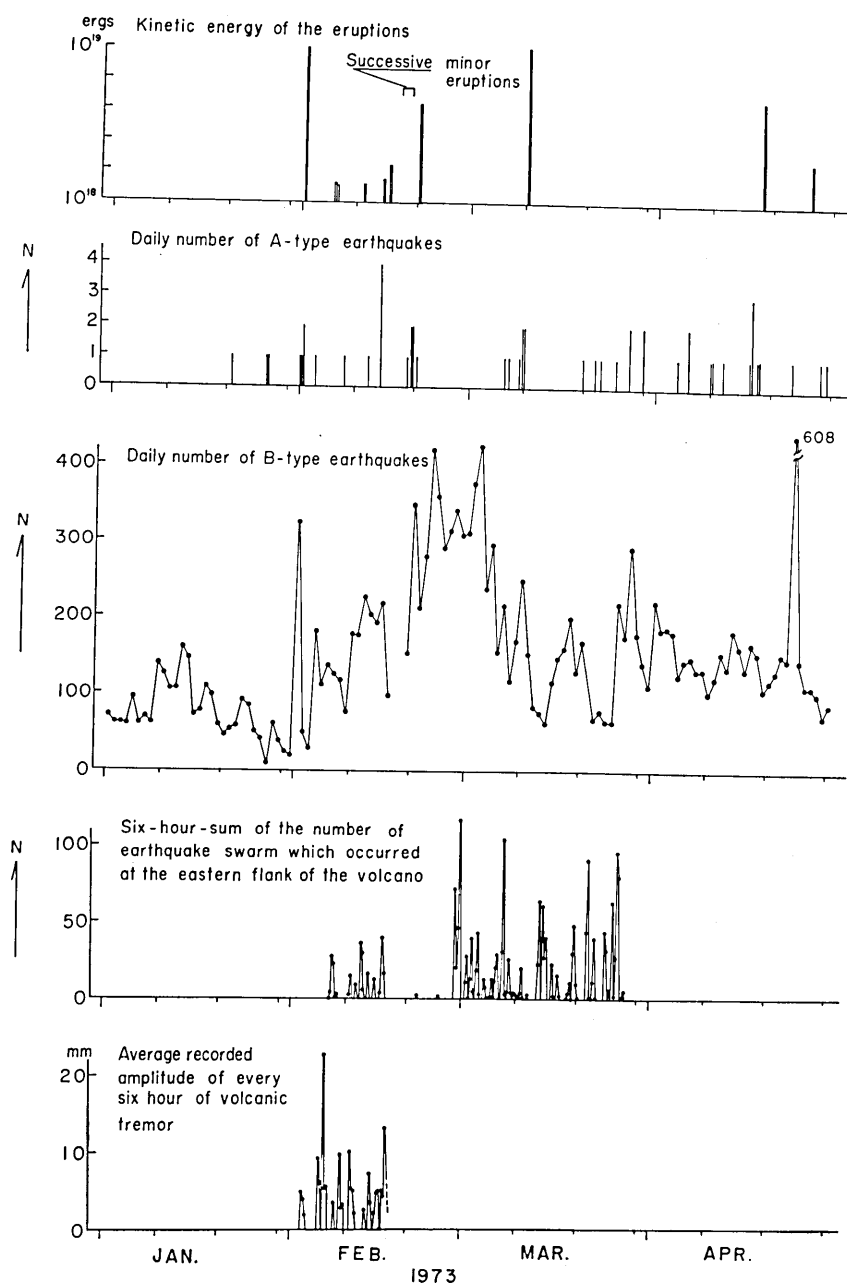


Fig. 8. Mode of occurrence of volcanic earthquakes and volcanic tremor at Asama during the eruptive activity.

の日別頻度, 東側山腹に発生する地震の 6 時間毎の地震数, 6 時間毎の火山性脈動の平均記録振幅がプロットしてある。東側山腹地震と火山性脈動の発生モードが特徴的であるが, これについては後述する。

次にこれらの地震のカテゴリー毎に, 現在まで得られた解析結果の概略を述べ議論を加えたい。解析は続行中であり, その成果については改めて発表する。

(A) 爆発地震

ここでは単発的な爆発に伴う地震と, 2 月 16 日~18 日の連続的噴火に伴う地震とを分けて検討することにする。

爆発地震は, 観測所に設置してある 350 倍の石本式微動計および中ノ沢観測壕に設置してある 500 倍の 5 秒地震計によつて三成分ずつ, ほぼ満足すべき記録が得られた。

A-1) 初動分布

各観測点における初動方向を表にしたものが Table 4 である。この中で地震計の成分中 HR とあるのは水平動地震計で振子の振動方向が火口方向であることを意味している。また, 空欄の部分は観測していないかまたは初動が小さくて読みとれないものである。三の鳥居, 観測所および中ノ沢観測点で E (push) とあるのは, これら三観測点は浅間山のほぼ東方に位置 (火口よりやや南より) しているためである。

Table 4. List of initial motions of explosion earthquakes.

| Seismic Station | Component | Feb. 1 | Feb. 11 | Feb. 14 | Feb. 15 | Feb. 20 | Mar. 10 | Apr. 18 | Apr. 26 |
|-----------------|-----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Huzimizaka | HR* | Push | — | — | — | — | — | — | — |
| | UD | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Sannotorii | EW | E (push) | — | E (push) | E (push) | — | E (push) | E (push) | E (push) |
| | NS | S | — | (N) | S | — | S | S | S |
| | UD | D | U | U | U | — | D | U | U |
| Nakanosawa | EW | E (push) | — | — | E (push) | E (push) | E (push) | E (push) | E (push) |
| | NS | S | — | — | S | S | S | S | S |
| | UD | U | — | — | U | U | U | U | U |
| Observatory | EW | E (push) | — | E | — | E | E (push) | E (push) | — |
| | NS | N | — | N | — | N | N | N | — |
| | UD | — | — | — | — | — | U | U | — |
| Hotokeiwa | HR | Push | Push | Push | Push | — | Push | Push | — |
| | UD | — | U | U | U | — | — | — | — |
| Sekisonsan | HR | Push | — | — | — | — | Push | Push | — |
| | UD | — | U | U | U | — | — | — | — |
| Gippayama | DU | — | — | — | U | — | — | — | — |
| Onioshidashi | HR | Push | (Pull) | Push | Pull | — | — | — | — |
| Kuromame-gawara | HR | — | Push | Push | Push | — | Push | Push | — |
| | DU | — | U | — | — | — | — | — | — |

* HR means a horizontal seismometer of which pendulum moves in radial direction to the summit crater.

鬼押出観測点の 2 月 11 日および 2 月 15 日を除いて, すべての観測点で, すべての噴火について水平方向に「押し」である。火山観測所では N-S 成分が N に振れ, 三の鳥

居および中ノ沢では S に振れている。観測所は火口からほぼ東に位置するため、N-S 成分の初動が小さく、また倍率の低い微動計であるため初動を読んでいない危険性がある。

注目すべきことは三の鳥居観測点において 2 月 1 日および 3 月 10 日の爆発地震の初動が down (水平動は push) で記録されていることである。この 2 つの爆発地震は今回の一連の噴火活動中最も大きかつたものであり、従つて初動も極めて明瞭である。地震計の極性は、遠震などで吟味してあり誤りはない。他の噴火については他の観測点同様すべて up で記録されている。

A-2) 振幅および magnitude

観測所に設置されている石本式微動計に記録された爆発地震の振幅および継続時間を

Table 5. List of explosion earthquakes registered by Ishimoto seismographs at Asama Volcano Observatory (Period: 1 sec., Magnification: 350, Three components)

| Date | Time | Component | Direction of initial motion | Amplitude of initial motion | Maximum trace amplitude | Duration time | Remarks |
|---------|----------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------|---------------------------|
| Feb. 1 | 19:20:26 | E-W | E | 1.1 mm | 48.5 mm | 100 sec | Trouble of recording drum |
| | | N-S | N | 0.3 | 68.9 | | |
| | | U-D | — | — | — | | |
| Feb. 6 | 16:27:20 | E-W | — | — | 5.6 | 278 | |
| | | N-S | — | — | 10.1 | 274 | |
| | | U-D | — | — | 1.2 | 134 | |
| Feb. 6 | 16:32: | E-W | — | — | 3.8 | 155 | |
| | | N-S | — | — | 4.1 | 163 | |
| | | U-D | — | — | 0.6 | 125 | |
| Feb. 11 | 04:20:34 | E-W | — | — | 4.2 | 130 | |
| | | N-S | — | — | 7.9 | 357 | |
| | | U-D | — | — | 2.2 | 70 | |
| Feb. 14 | 11:35:31 | E-W | E | 0.3 | 6.5 | 252 | |
| | | N-S | N | 0.2 | 11.4 | 320 | |
| | | U-D | — | — | 4.0 | 88 | |
| Feb. 15 | 16:56:42 | E-W | — | — | 14.8 | 138 | |
| | | N-S | — | — | 25.5 | — | |
| | | U-D | — | — | 2.7 | 67 | |
| Feb. 20 | 09:47:43 | E-W | E | 0.4 | 31.7 | 96 | |
| | | N-S | N | 0.3 | 62.4 | 100 | |
| | | U-D | — | — | 8.4 | 63 | |
| Mar. 10 | 08:30:56 | E-W | E | 1.0 | 59.3 | 307 | |
| | | N-S | N | 0.2 | 95.2 | 317 | |
| | | U-D | U | 0.1 | 11.2 | 178 | |
| Apr. 18 | 03:15:34 | E-W | E | 1.1 | 37.3 | 100 | |
| | | N-S | N | 0.3 | 46.5 | 143 | |
| | | U-D | U | 0.5 | 6.4 | 78 | |
| Apr. 26 | 10:03:58 | E-W | E | 0.3 | 21.0 | 79 | |
| | | N-S | — | — | 24.2 | 106 | |
| | | U-D | — | — | 4.5 | 60 | |

Table 5 に示してある。2 月 1 日の爆発地震の上下動は記録ドラムの故障により欠測となっている。

爆発地震の *magnitude* および *energy* を求めるためには、たとえば最大振幅を与える波動が何であるかを吟味する必要があるが、ここでは坪井の式

$$M = \log A + 1.73 \log \Delta - 0.83$$

を用い、また、

$$\log E = 11.8 + 1.5 M$$

を用いて *energy* を算出した。その結果および軽井沢測候所で得られた微気圧記録の最大振幅値を Table 6 に示す。3 月 10 日の微気圧記録の振幅は異常に小さいが、浅間火山観測所で得られた値は 2.7 mb である。これも併記してある。

Table 6. Magnitude and energy of explosion earthquakes.

| Date | Magnitude | Energy | Amplitude of Air Waves |
|---------|-----------|---------------------------|---------------------------|
| Feb. 1 | 2.7 | 6.2×10^{15} ergs | 4.1 mb (+3.3 mb, -0.8 mb) |
| 6 | 1.8 | 3.2×10^{14} | 0.1 |
| 6 | 1.5 | 1.1×10^{14} | |
| 11 | 1.7 | 2.1×10^{14} | 0.4 |
| 14 | 1.9 | 3.8×10^{14} | 0.5 (+0.4, -0.1) |
| 15 | 2.2 | 1.3×10^{15} | 1.8 (+1.2, -0.6) |
| 20 | 2.6 | 4.7×10^{15} | 2.3 (+1.9, -0.4) |
| Mar. 10 | 2.8 | 9.8×10^{15} | 0.9 (+0.8, -0.1) |
| Apr. 18 | 2.5 | 3.7×10^{15} | 3.7 (+2.8, -0.9) |
| 26 | 2.2 | 1.4×10^{15} | 3.0 (+2.0, -1.0) |

Values of air waves are due to Karuizawa Weather Station, J.M.A.

Amplitude of air waves on Mar. 10 was recorded as 2.7 mb at Asama Volcano Observatory.

爆発地震の *energy* と空振の大きさとは特別の比例関係にはない。

次に 2 月 1 日の爆発地震と 3 月 10 日のそれとが近傍の観測所でどのように記録されたか検討してみよう。東大浅間火山観測所、同北信微小地震観測所、気象庁軽井沢測候所、長野地方気象台、松代地震観測所の 5 カ所の短周期および長周期地震計に記録された最大振幅を比較して表にしたものが Table 7 である。

浅間山に極く近い東大浅間火山観測所および軽井沢測候所の記録によれば 1 秒地震計でも 5 秒地震計でも 3 月 10 日の方が大きい。ただし、東大の 5 秒地震計ではその差が極めて少ない。この事情は震源距離の遠い他の観測所では異なってくる。たとえば、北信地震観測所および松代地震観測所の短周期地震計によれば 3 月 10 日の方が明瞭に大きい。しかし、長野地方気象台の 5 秒地震計および松代地震観測所の長周期地震計によれば 2 月 1 日の爆発地震の方が明らかに大きい。

このことは、両者の噴火機巧を研究する上に新しい手がかりを与えてくれるものと考えられる。即ち、2 月 1 日の爆発地震には周期の長い波動が卓越していたことになる。2 月 1 日

Table 7. Comparison of the maximum amplitude of the explosion earthquakes on Feb. 1 and Mar. 10 at nearby seismological observatories.

| Seismological Observatory | Seismograph | Magnification | Date | Arrival Time | Maximum Amplitude | | |
|---|-----------------------|---------------|---------|--------------|-------------------|------------|------------|
| | | | | | U—D | E—W | N—S |
| Asama Volcano Observatory, E.R.I. | Long peirod (5 sec) | 500 | Feb. 1 | 19:20:26 | >198 μ | >160 μ | >128 μ |
| | | | Mar. 10 | 08:30:56 | >196 | >160 | >158 |
| | Ishimoto type (1 sec) | 350 | Feb. 1 | | — | 139 | 197 |
| | | | Mar. 10 | | 32 | 169 | 272 |
| Nagano Local Meteorological Observatory, J.M.A. | 59 type (5 sec) | 100 | Feb. 1 | 19:20:36 | 14 μ | 30 μ | 24 μ |
| | | | Mar. 10 | 08:31:05 | 10 | 10 | 20 |
| Hokushin Seismological Observatory, E.R.I. Omine | Short period (1 sec) | 43,000 | Feb. 1 | | 3.9 mm | 5.3 mm | 4.7 mm |
| | | | Mar. 10 | | 5.5 | 6.8 | 4.4 |
| Hoshina | " | 80,000 | Feb. 1 | | 11.1 | — | 9.4 |
| | | | Mar. 10 | | 13.0 | — | 13.4 |
| Kamimuroga | " | 78,000 | Feb. 1 | | 7.3 | — | 13.0 |
| | | | Mar. 10 | | 9.1 | — | 12.8 |
| Matsushiro Seismological Observatory, J.M.A. | Short period (1 sec) | 33,000 | Feb. 1 | 19:20:32 | 30.0 mm | — mm | — mm |
| | | | Mar. 10 | 08:31:01 | 41.3 | — | — |
| | Long period (20 sec) | 5,000 | Feb. 1 | | 30.0 | 37.5 | 36.0 |
| | | | Mar. 10 | | 22.3 | 12.3 | 16.4 |
| Karuizawa Weather Station, J.M.A. | Ishimoto type (1 sec) | 300 | Feb. 1 | 19:20:28 | — | 272 μ | 142 μ |
| | | | Mar. 10 | | — | 346 | 188 |

の爆発は 11 年ぶりに起つた 1 回目の噴火であるに反し、3 月 10 日の噴火は空振の振幅も 2 月 1 日のものより小さく、かつ、多量のパン皮状火山弾や軽石を放出したという点で両者の噴火は異なる。以上のように、爆発地震の波動的差異と、噴火現象との差異を、より多くの種々のタイプの噴火と関連させて検討することが望まれる。

次に、爆発地震の最大振幅と継続時間についてふれておこう。

一般的に言つて火山の噴火は一つの火山でも噴火のパターンは厳密に言つて異なる。極めて短時間で終るもの、噴煙は高く上らないが、継続時間の長いもの、爆発音の大きいものなど様々である。今回の浅間山の噴火に際しても、十数回の噴火それぞれに特徴があつた。このことは 4 章および 5 章に記述してある通りである。噴火の規模を推定するにしても、爆発地震の最大振幅から計算される運動エネルギーのみでは不十分である。何故なら、個々の噴火でエネルギーの配分が異なるからである。

ここで、ごく大まかに今回の噴火を地震計測的に分類するために、爆発地震の最大振幅(記録振幅 mm)とそれぞれの継続時間(sec)の比を計算した結果を Table 8 に示してある。この表で明らかなことは 2 月 6 日、11 日、14 日の噴火が他の噴火に比べて継続時間が著しく長いことである。これらの噴火の特徴は爆発音はあまり大きくなく、噴石の

Table 8. Ratio of duration time (sec) to the maximum trace amplitude (mm) of the explosion earthquakes.

| Date | Component | $F-P/A$ | Date | Component | $F-P/A$ |
|--------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| Feb. 1 | E-W | 2.1 | Feb. 15 | E-W | 9.3 |
| | N-S | — | | N-S | — |
| 6 | E-W | 49.6 | | U-D | 24.8 |
| | N-S | 27.1 | 20 | E-W | 3.0 |
| | U-D | 111.7 | | N-S | 1.6 |
| 6 | E-W | 40.8 | | U-D | 7.5 |
| | N-S | 39.8 | Mar. 10 | E-W | 5.2 |
| | U-D | 208.3 | | N-S | 3.3 |
| 11 | E-W | 31.0 | | U-D | 15.9 |
| | N-S | 45.2 | Apr. 18 | E-W | 2.7 |
| | U-D | 31.8 | | N-S | 3.1 |
| 14 | E-W | 38.8 | | U-D | 12.2 |
| | N-S | 28.1 | 26 | E-W | 3.8 |
| | U-D | 22.0 | | N-S | 4.4 |
| | | | | U-D | 13.3 |

わりに火山灰の放出が目立つことである。従つて、最初に、火口底をつき破る爆発に続いて、強烈な degassing が起り、多量の灰を噴出したのであろう。

A-3) 2月16日～18日の連続的微噴火に伴う爆発地震

2月15日16時56分の噴火のあと、中程度の振幅の火山性脈動が発生していたが(15日23時50分頃より16日07時頃まで発生せず)16日18時20分頃より振幅が次第に大となり、同日23時頃より微噴火が発生しはじめ、18日21時頃まで連続的な微噴火が記録された。その期間の噴火回数はほぼ4,000回に及び、噴火に伴う地震がかなりの振幅で各観測点の地震計に記録された。これは爆発地震の一種であるが、大きな運動エネルギーを持たない噴火に伴う地震として特に検討する価値があろう。記録例(Fig. 36)を見ても判るように初動部分の数波に短周期成分がないことで、他の火山性地震とは明らかに異なる。従つて、この種の地震の数をもつて噴火回数と考えてよい。

この地震の特性を検討して噴火の機巧を知る手がかりを得るために、秋田駒ヶ岳の噴火に伴う爆発地震と比較してみよう。

秋田駒ヶ岳の雌岳が1970年9月18日に噴火活動に入り Stromboli 式噴火が翌年1月下旬まで続いた。われわれはこの間、臨時地震観測を実施し、Stromboli 式噴火に伴う

Table 9.

| Volcano | Period of seismometer | Component of utilized seismogram | Distance from the summit crater | Magnification |
|-------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| Akita-komaga-take | 1 Hz | Z | 2300 m | 15,000 |
| Asama | 1 Hz | E-W | 2600 m (Sannotorii) | 2,000 and 1,000 |

Table 10.

| Volcano | Analyzed period | Total number of earthquakes |
|-------------------|---|-----------------------------|
| Akita-komaga-take | 18:00 Sept. 26—22:00 Sept. 27 (23 hours) | 959 |
| Asama | 23:00 Feb. 16—18:20 Feb. 17 (19.3 hours) | 1,149 |

爆発地震を多数記録した (Fig. 37 参照) 今、この 2 種類の爆発地震を観測事実に基づいて比較する。地震計の特性その他を Table 9 に示してある。また、解析に使った期間および総地震数は Table 10 に示してある。

a) 振幅——頻度の関係

Fig. 9 (a) に示されるように、秋田駒ヶ岳の噴火に伴う地震は、いわゆる石本—飯田式: $n(a)da = ka^{-m}da$ によつて表現される。一方、浅間山の場合には、振幅——頻度の関係は一次式: $n = -m'a$ で表現されることが Fig. 9 (b) に示されている。このことは、浅間山のこの期間の噴火の機巧が、秋田駒ヶ岳の噴火のそれと基本的に異なることを暗示している。また、固体の破壊をも伴っていないであろうことも想像出来る。

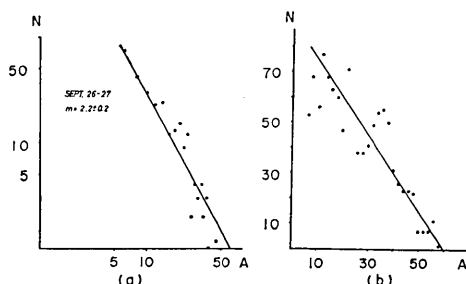


Fig. 9. Amplitude—frequency relation of the explosion earthquakes of Akita-komaga-take (a) and Asama (b).

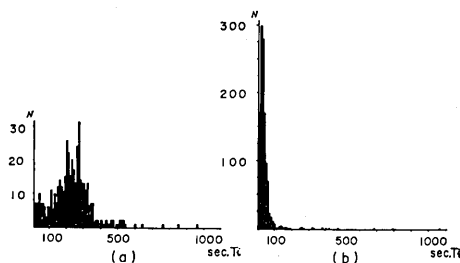


Fig. 10. Frequency of the time intervals of the eruptions of Akita-komaga-take (a) and of Asama (b).

b) 噴火間隔の統計

個々の噴火の時間間隔は倍率も考慮して、秋田駒ヶ岳の場合最大記録振幅が 2 mm 以上のものを、また、浅間山の場合には 5 mm 以上のものについて計測を行なつた。その結果を Fig. 10 に示してある。両者の分布は明らかに異なり、秋田駒ヶ岳では 20 秒～350 秒の間に分布するのに対して、浅間山の場合には、10 秒～60 秒の間に集中している。この両者の著しい差異は、噴火の機巧そのものの違いを単的に示していると見てよからう。

c) 振幅——周期の関係

両火山の爆発地震の初動部分の 5 周期の平均値と最大振幅との関係をプロットすると Fig. 11 の如くなる。全体として秋田駒ヶ岳の場合の方が浅間山の場合より周期が短いこと、および、秋田駒ヶ岳の場合には周期と最大振幅が逆比例の関係にあるが、浅間山の場合には、逆に、初動部分の周期が長くなると、その爆発地震の最大振幅が大きくなる傾向になる。両火山とも、地震計は火山体の中腹に設置されており、山頂火口からの距離も

大差はない。秋田駒ヶ岳の場合、大きな爆発地震ほど初動部分の周期が短いということは、波動の吸収を考慮に入れば、大きい爆発地震ほど見かけ上の震源の深さが深いであろうと推定される。一方、浅間山の場合、爆発地震の振幅が大きければ周期が長くなるということは、震源の深さの差

ではなく、むしろ震源の体積に関係があると考えられる。ここにいう震源の体積とは個々の噴火にあずかる releasing gas bubbles の dimension に比例していると解釈することが出来る。

ここで、簡単な室内実験を行なつてみる。太目の試験管またはコルペンにゴム栓をして、細いガラス管を栓を貫通して立てる。中に水を入れて沸騰させると、水の中に溶けている空気がガラス管を通して噴出する。ここで容器の底に細粒の砂を入れて突沸(bumping)を防ぐ場合と、砂を入れないで突沸させる場合について、ガラス管からの空気の噴出(噴火に相当)の時間間隔の統計をとつてみる。その場合、突沸のない場合には、噴とうの時間間隔は浅間山の場合に似ているし、突沸のある場合には駒ヶ岳の噴火の時間間隔に似てくる。また、駒ヶ岳の噴火の時間間隔は2つの山に分れ、周期が極めて短い部分にも一つの山がある。この部分はおそらく、突沸のない噴とうに相当するものであらうと考えられる。

以上の観測事実と簡単な室内実験の結果を参考にして次のような解釈をすることが出来る。イ) 浅間山の連続的の微噴火に伴う地震の震源の深さは秋田駒ヶ岳のそれよりも浅く、極めて地表に近い。一方、駒ヶ岳では大きな噴火ほど爆発地震の見かけ上の震源の深さは深くなる。

ロ) 浅間山の連続的の微噴火に伴う爆発地震の大きさは噴火に伴う放出ガスの容積に比例するのであらう。

ハ) 秋田駒ヶ岳の噴火間隔が、ある分散を示すことは、マグマ中のガスの過飽和による突沸現象として駒ヶ岳の Stromboli 式噴火を説明することが出来る。一方、浅間山の場合、噴火間隔が、ある時間幅の中になんかなり集中していることは、ある深さからの successive degassing が比較的規則正しく(突沸的ではなく)行われた結果と見る事が出来る。かつ、噴火前の火山性脈動の出現はマグマ中の gas の upward migration に伴うものであらう。

(B) A 型地震

A 型地震の発生パターンについては既に述べたので、ここではいくつかの性質について述べよう。

押し引き分布: 浅間火山観測所の観測網によつて A 型地震の押し引き分布を見ると、四象限型に分かれるものとそうでないものとあり、系統的ではなく、極めて複雑である。

震源: 今回の活動に伴つて発生した A 型地震の (S-P) は極めて短かく、かつ、少なくとも 4 点で (S-P) をよみとることの出来る地震の数は多くない。鬼押出し、黒豆河原、三の鳥居、石尊山の 4 観測点で (S-P) が求まっている地震数個について震源を求めると、火口よりやや西によつた所にあり、これらは水上武らによつて求められている A 型地震の

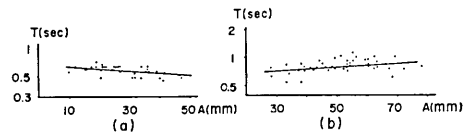


Fig. 11. Relation between the average period of the initial part of the explosion earthquakes and the maximum amplitude.

震源域に含まれるようである。しかし、震源の深さは三の鳥居を基準にして深さが 1.0~2.0 km と極めて浅く、それより深い地震は起きていない。

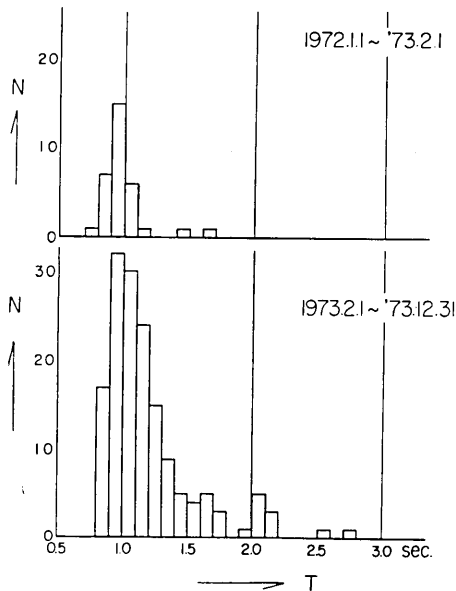


Fig. 12. S-P time distribution of A-type earthquakes at Kuromamegawara station of A.V.O.

(S-P) 頻度: 黒豆河原観測点における (S-P) の頻度分布を噴火前と噴火後において図示すると Fig. 12 の如くなる。噴火前も噴火後も黒豆河原では 0.9~1.0 秒付近にピークがある。ただ、噴火後の 1973 年 7 月頃から (S-P) が 2 秒を越える地震が少し出はじめていて、地震がやや深くなつたのかもしれない。

振幅頻度: 石本・飯田の統計式に従い、 m の値として 1.2 が得られた。これは極めて小さい値であつて、小さい A 型地震の数が少ないことを意味している。

(C) B 型地震

ここに言う B 型地震とは山頂火口の極く浅い所に起る地震を規定し規模はごく小さい。震源が浅く、かつ、厚い軽石層中を伝播するために短周期の波動の吸収が特に目立ち、通常のルーチン観測では詳細な波動的な研究は不可能である。しかし、噴火の前

兆現象としての B 型地震の頻発は、浅間山のような安山岩質火山では噴火予知のため極めて重要な情報となる。静穏期の B 型地震と活動期の B 型地震の差については、既に水上武によつて吸収に差があることが見出されている。波の吸収の程度の差は震源の深さの差および波のスペクトル構造の差に起因するであろう。実際に、噴火前に頻発する B 型地震は極めて短周期波動が卓越している。もし、震源の深さの差を相対的にごく大ざつばに把握

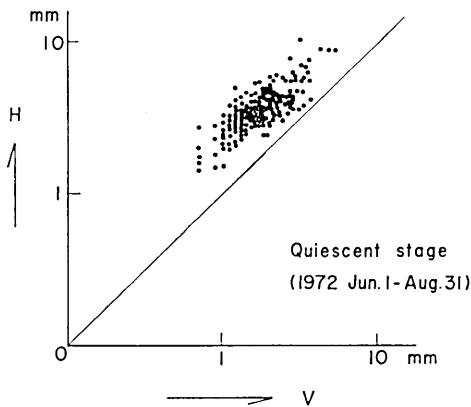


Fig. 13. Amplitude relation between horizontal and vertical seismograms of B-type earthquakes in quiescent period.

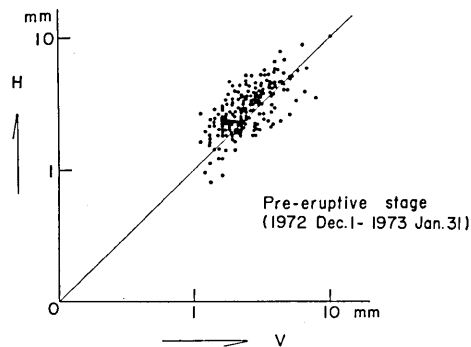


Fig. 14. Amplitude relation between horizontal and vertical seismograms of B-type earthquakes in pre-eruptive stage.

しようとするならば、たとえば上下動と水平動の初動振幅の比を計測すればよい。ルーチン観測では初動が明瞭でないものが多く、上記の吟味は出来ないで、三の鳥居観測壕の水平動と上下動の最大振幅比の統計をとった。静穏期での差を見るべく、静穏期としては 1972 年 6 月 1 日～8 月 31 日までの期間をとり、活動期としては 1972 年 12 月 1 日～1973 年 1 月 31 日（噴火前駆期）をとり、両期間中に起きた B 型地震の水平動と上下動の最大振幅をよみとった。その結果を Fig. 13, 14 に示してある。2 つの図を見ると明らかに両期間で系統的な差がある。判り易くするために、両期間について、水平動と上下動の最大振幅の比をとり、その頻度分布をつくると Fig. 15 のごとくなる。

両期間を通じて増幅器の倍率の変動を吟味する必要があるので、近地地震の記録について同様な計測を行つた結果を Fig. 16 に示してある。これにより、地震計の倍率は両期間を通じてほぼ一定であつたと考えられる。この吟味の上に立つて Fig. 15 を見ると、噴火前駆期の B 型地震は、静穏期のそれと比べて相対的に上下動の振幅が大きくなっている。

このことは極めて注目すべきことである。なお、噴火活動が既に終息したと考えられてい

た 1973 年 9 月下旬におきた一連の頻発 B 型地震について上記の統計をとると Fig. 17 のごとくなり、静穏期の B 型地震と同じパターンを示した。

以上の結果だけから結論を急ぐのは危険ではあるが、敢えて推論するならば次のよ

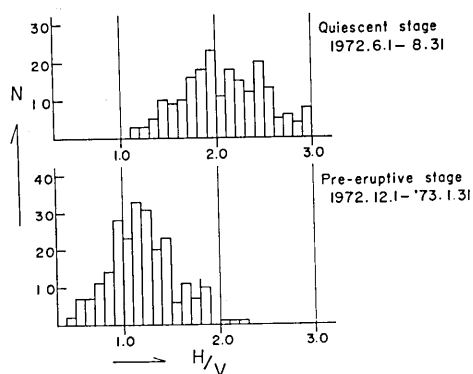


Fig. 15. Histogram of amplitude ratio (H/V) of B-type earthquakes for quiescent period and pre-eruptive stage.

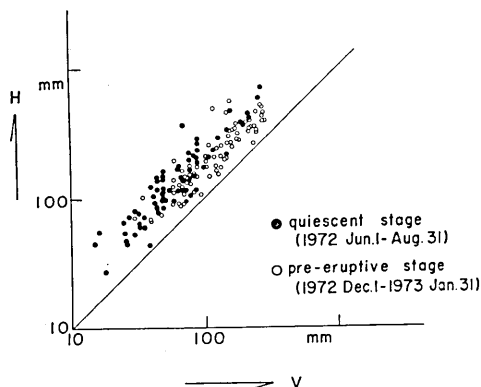


Fig. 16. Amplitude relation between horizontal and vertical seismograms for local tectonic earthquakes.

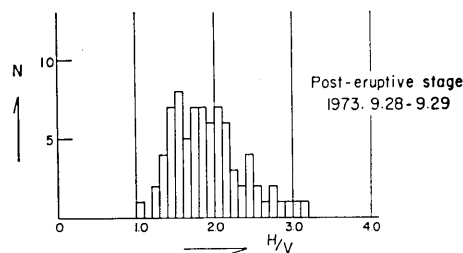
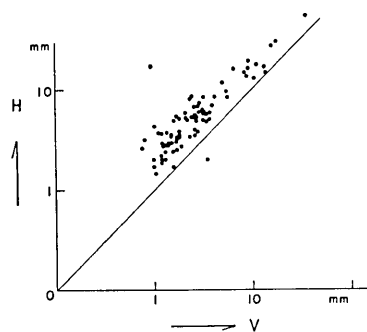


Fig. 17. Amplitude relation between horizontal and vertical seismograms of B-type earthquakes at the post-eruptive stage.

うになろう。

静穏時には火山ガスが火口から比較的定常的に噴出するのみであつて、この時に起るB型地震は、下から供給されるガスの圧力のために火口直下の極く浅い場所で山体の小破壊が起るのであろう。これに反して活動期には下部からマグマの供給に伴つて、火道のやや深目に、応力集中が起り、B型地震が頻発すると考えられる。静穏期に比べ地震の規模も大きく、やや深いために波の短周期部分も大きな減衰を受けず、かつ、上下動振幅が相対的に大きくなってくるであろう。以上のことは、将来、適当な臨時観測を行つて量的吟味を行う必要があることはいうまでもない。

(D) 東側山腹の群発地震

浅間山には、この外に、山体の一部に発生する群発地震がある。特に、1970年、71年、72年、および73年のそれぞれ3月に、あるいは時として2月から3月にかけて、非常に特徴的な発生パターンを示す地震があつた。三の鳥居および富士見坂における記録例をFig. 38に示す。図中、BはいわゆるB型地震で、火口周辺の浅い場所で起る地震、Hは富士見坂よりに起る地震、Sは三の鳥居付近に起る地震を意味している。初動の立上りは極めて鋭く、振動時間は極めて短い。三の鳥居または富士見坂観測点では波の周期は0.15-0.20 secである。時にはパルスとして記録されることもある。これらの地震は全観測点で記録されることもあるが、振幅が最も大きく、最も沢山記録されるのは富士見坂および三の鳥居観測点であり、他の観測点では振幅の減衰が甚しい。ある場合には三の鳥居における振幅が富士見坂のそれより大であることもあり、またその逆の場合もある。

1971年3月に発生した、この群発地震の各観測点における記録数を図示したのがFig. 18である。斜線をほどこした円の面積が記録数に比例している。この記録数（および振幅）の分布と、地震波形、また、三の鳥居と富士見坂両観測点の振幅の大小関係から、この群発地震は、火口直下に起るのではなくて、富士見坂、三の鳥居両地点間に起るのであろうと推定される。ある場合には三の鳥居に近く、またある場合には富士見坂に近く起ることになる。

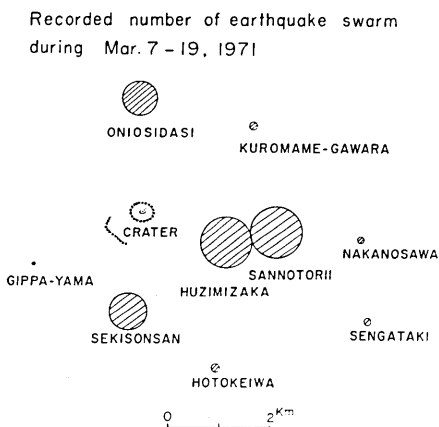


Fig. 18. Distribution of recorded number of swarm earthquakes at seismic stations which occurred at the eastern flank of Asama. Shaded area of the circle is proportional to the recorded number.

震源を決めるために、1972年秋、三の鳥居、富士見坂周辺に1 Hz 上下動地震計を数台配置しておいたが、1973年2月1日の噴火で通信線が損傷し、同年3月に発生

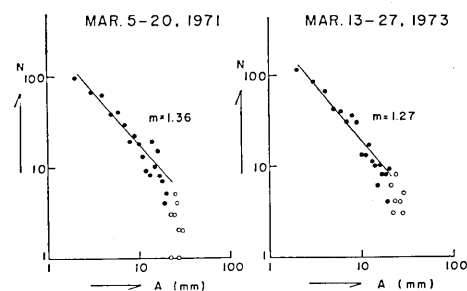


Fig. 19. Amplitude-frequency relation of swarm earthquakes at the eastern flank of Asama.

した群発地震の震源を決めることは出来なかつた。この付近は前掛山噴出物に覆われているが、その下は仏岩熔岩であつて、おそらくこの群発地震は仏岩熔岩の断層に起因するものであろう。三の鳥居で振幅が最も大きい地震のみを拾い出して押し引き分布を調べても系統的な関係は見つからない。震源についてはこれからの問題としたい。

次に、振幅——頻度分布をしらべた結果を Fig. 19 に示す。1971 年、1973 年共に石本・飯田式の係数 m は、1.36, 1.27 と小さい値を示している。

東側山腹に起る群発地震が shock type であることの例として、最大振幅 (A) と継続時間 (F-P) の比を B 型地震と比較してみる。Fig. 20 には富士見坂および三の鳥居観測点における両者の比を示した。両観測点共に B 型地震は、振幅に比して継続時間が長く、 $A/F-P$ の値は 0.3 どまりであることを示している。

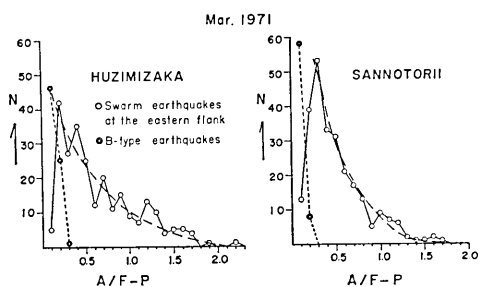


Fig. 20. Ratio of the maximum trace amplitude to the duration time for B-type earthquakes and the swarm earthquakes at the eastern flank.

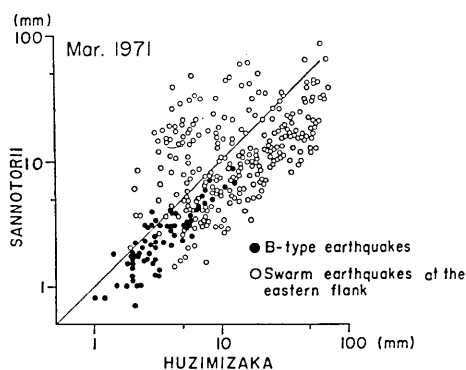


Fig. 21. Amplitude relation between Huzimizaka and Sannotorii for B-type earthquakes and the swarm earthquakes at the eastern flank.

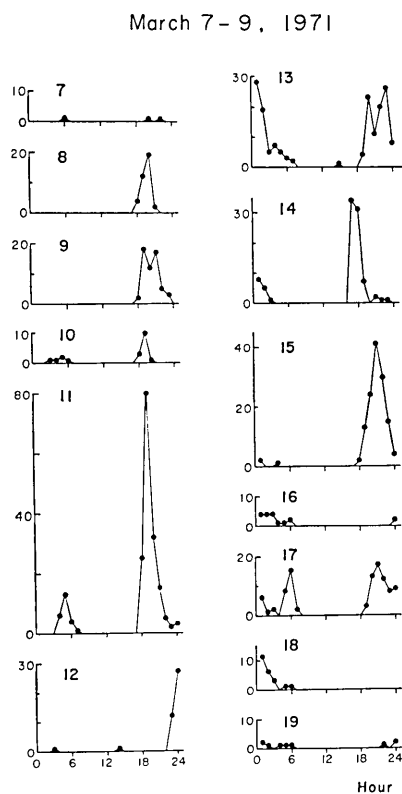


Fig. 22. Hourly number of earthquakes which occurred at the eastern flank from Mar. 7-19, 1971.

Fig. 21 は富士見坂と三の鳥居両観測点での B 型地震と東側山腹地震との振幅関係を表わしたものである。B 型地震 (火口周辺のもの) は富士見坂の方が振幅が大きく、火口直下の浅い所に発生していることを反映しているが、東側山腹地震は半々であり、点は相当広く分布している。このことは地震が富士見坂と三の鳥居の間で、比較的広い範囲に起つ

ていることを意味しよう。さらに三の鳥居の方に点が広く分散していることは震源域の形を表わしているかも知れない。

つぎに、この群発地震の発生の時間的パターンの特徴について述べよう。

地震記録例を見ても分るように、ある時間帯の中にのみ起ること、および、3月(あるいは2月から)にのみ発生することである。特に最近の4年間には発生数の差はあるが、毎年起きている。たとえば1971年3月7日~19日の間に起きた東側山腹地震の三の鳥居での1時間毎の数を日別にプロットすると Fig. 22 のごとくなる。昼間は起きないで夜のみ起るというパターンが著しい。

日別の時間別頻度を年度毎に重ね合せると、Fig. 23 が得られる。4年間を通じて殆んど同じ発生パターンを示している。特に、1973年は発生数も多く、発生期間も長い。これは噴火活動に伴う地殻変動と関係があるのかも知れない。

このように3月の夜間に限って群発する原因は何であろうか。

同じような小さい地震の swarm がアラスカの St. Augustine 火山の1971年10月7日の噴火の前後に観測されている。MAUK と KIENTLE (1973) によれば、1日周期(実は昼間に起る)を持つこの群発地震の活動のピークは Fig. 24 に示す通り地球潮汐のピークより1時間おくれであり、地球潮汐による応力変化が地震を起す引き金になるという。浅間山の場合には1971年3月および1973年3月に発生した群発地震と、重力変化をプロットすると Fig. 25, 26 となり、両図を見て分るように、この群発地震と地球潮汐の間に相関は見られない。

3月の時期は山体は未だ雪に覆われ、表層の軽石層は氷結している状態であり、かつ気温の日変化や季節変化の影響は推定される震源にまで達し得ないことは明白である。いくつかの要因が triggering mechanism になつていると考えられるが、より詳しい議論はこれらの地震の震源が決まらないと無意味である。

(E) 火山性脈動

火山性脈動は2月6日の噴火前から発生し、2月中旬すぎまで比較的頻繁に出現

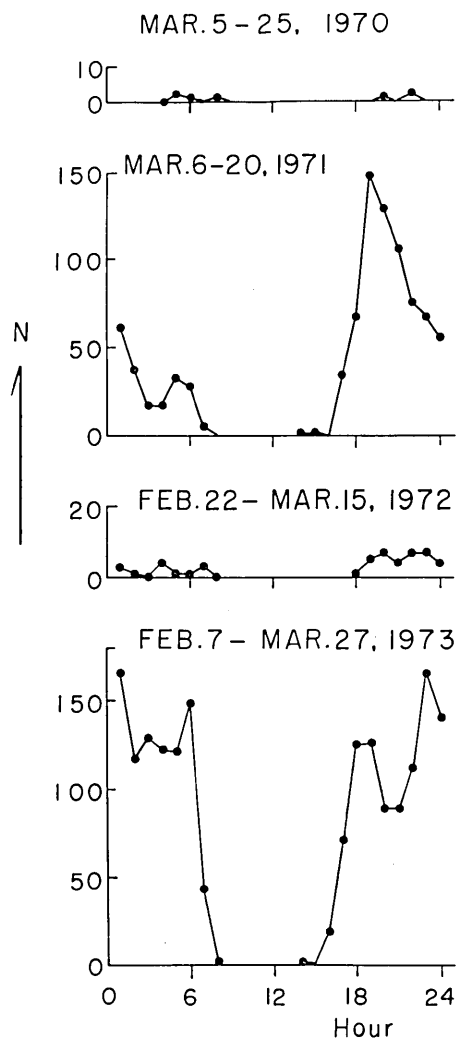


Fig. 23. Summation of the hourly number of the swarm earthquakes at the eastern flank for the respective years.

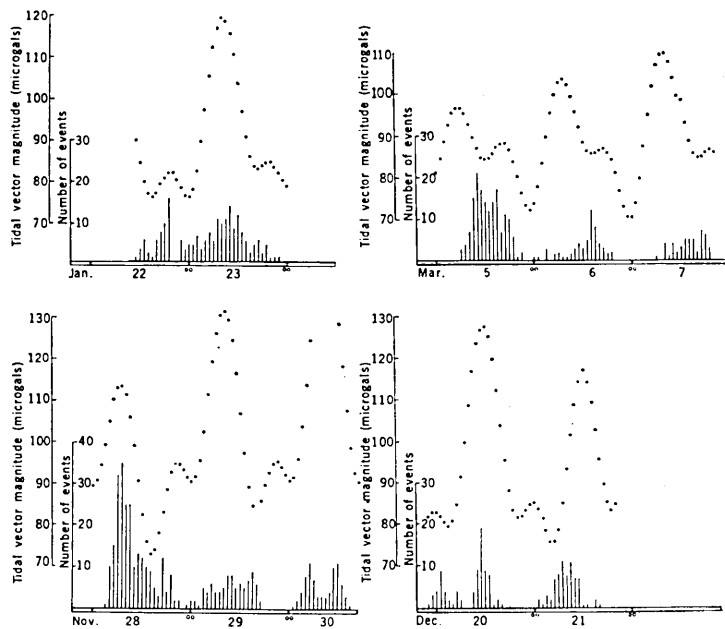


Fig. 24. Four separate microearthquakes at St. Augustine Volcano, Alaska in 1971 and corresponding calculated magnitude of the total tidal vector. (after Mauk and Kienle, 1973)

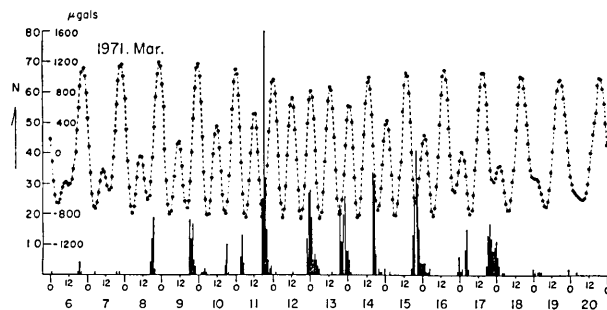


Fig. 25. Hourly frequency of swarm earthquakes at the eastern flank of Asama and corresponding calculated change of gravity.

した。特に、2月16日～18日の連続的微噴火中は、噴火に伴う地震の間は degassing に伴う脈動が連続した。

2月6日の噴火の前には、Fig. 5 に示されているように、噴火の18時間程前から脈動が出現し、次第に振幅が減少しつつ8時間継続し、脈動が止むと同時にB型地震が現われはじめ、約10時間後に噴火した。噴火後も火山性脈動は約10時間出現していたが、おさまると同時に、B型地震が発生し出した。噴火の前後に発生した脈動としては2月6日の場合が特徴的である。ペンレコーダーによる早回し記録によつて、2月6日の噴火前と噴火後の脈動の見かけの周期頻度分布をつくると Fig. 27 のごとくなる。周期は三の鳥居、石尊山、黒豆河原、仏岩の順に長くなってゆく。火口からの距離は石尊山が最も近

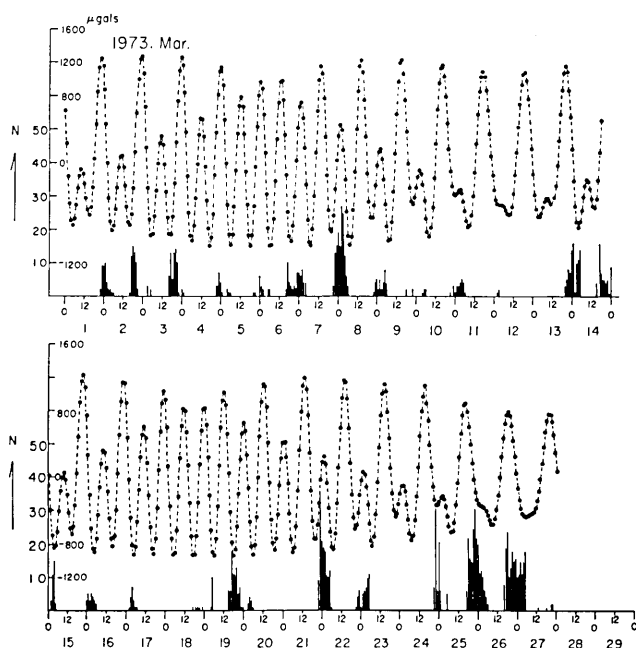


Fig. 26. Hourly frequency of swarm earthquakes at the eastern flank of Asama and corresponding calculated change of gravity.

Apparent Period of Volcanic Tremor

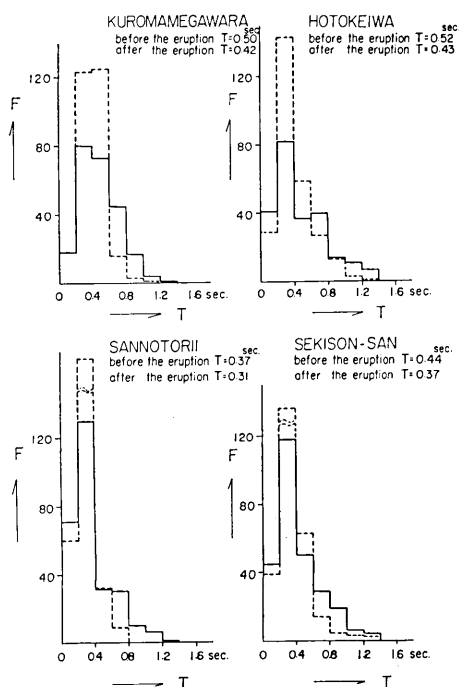


Fig. 27. Apparent period of volcanic tremors at four stations of A.V.O. before and after the eruption of Feb. 6, 1973.

いのであるから、周期ののびは必ずしも火口からの距離によつてはいるわけではなく、碎せつ物の厚さ、その他の地下構造の差異によるものであろう。

次に、どの観測点においても、噴火前の脈動の平均周期は、噴火後の脈動の平均周期よりも長いことが判る。噴火前には、火道内部での magma の上昇、それに伴う、gas separation, bubbling などが脈動の主要因であろうし、噴火後は、引きつづいて起る degassing によつて脈動が起こされると考えられる。この発生要因の差が脈動の周期の差として考えられよう。

また、特に興味深いのは、噴火前に脈動が発生し、ある時間続いた後、B型地震の発生へと漸移していったことである。これは、おそらく、火道内部での magma の上昇に伴つて、magma 中の gas の分離が起り、火道上部に集中し、ある程度の圧力になると、gas の分離が起らなくなると同時に、火道周辺に応力集中が起り、小さな地震が起り出すのであろう。

8. 爆発に伴う空振について

爆発に伴う空振の絶対振幅は、軽井沢測候所の微気圧計の値が Table 6 に示されている。浅間火山観測所では、カップ式微気圧計の記録ドラムを煤書きにして、0.8 mm/s の記録速度で爆発による空振を記録した。3 月 10 日の空振の記録例を Fig. 28 に示す。

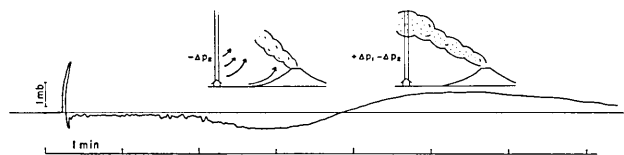


Fig. 28. Traced record of micro-barograph of March 10 eruption recorded at A.V.O.

微気圧計は 20 分以上の周期の気圧変動に対して slow leak を持つており、感度は記録紙上 2.42 mm/mb である。3 月 10 日の爆発の空振は、振幅 2.7 mb, 周期 6.0 sec である。噴火してから 2 分位して、負気圧が 2 分近く記録されており、噴火後 4 分近くして positive phase に変動している。3 月 10 日の噴火時は、西風であり、噴火後 4 分程で観測所に噴石が落下しており、噴煙は観測所の上空を通過している。

このことから、微気圧計に表われた negative phase と positive phase は次のように解釈出来よう。即ち、噴火して噴煙が上空に成長しつつある時には、山体周辺の空気の流れは山頂に向つて吹き上げてゆくはずであつて、この時には気圧は下がることになり、negative phase として記録されるであらう。4 分程して、噴煙が観測所の上空に達して来ると、観測所上空の気柱の一部は噴石や火山灰でおきかえられるために、気柱全体の密度は大きくなるはずである。噴煙の温度はやや高いと考えられるから、空気の密度としては小さくなるはずであるが、固体部分の流入によつて、見かけ上密度が大となるのであろう。

今、空振のエネルギーを近似的に

$$E = 2\pi A^2 \pi / 2\rho C$$

で表わすとしよう. ここに, A ……最大振幅, τ ……波の継続時間, ρ ……空気の密度, C ……音波速度, L ……距離である. 3月10日の空振記録について, エネルギーを算出すると, 6.2×10^{11} erg となる.

9. 地形変動

今回の噴火活動に伴う浅間山山体の変動を大雑把に知ることを目的として, 浅間火山観測所 (A.V.O.) を基点として, 同火山山頂付近の固定点を標的として, その間の仰角の変化を測定し, 山体の変動の検出を試みた.

本来ならば, 必要な標点を設置すべきであるが, 活動中危険であるため, 既に存在する

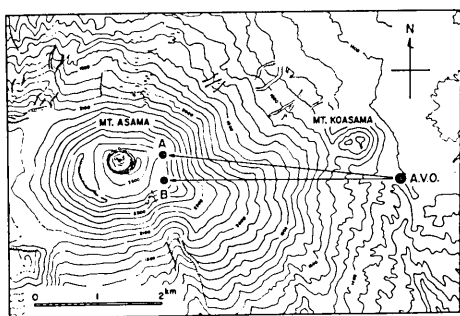


Fig. 29. Location of the target rocks (A and B) for the topographic measurements.

大岩塊を標点として選んだ. Fig. 29 に観測所と, 2つの岩塊, A, B の位置が示してある. なお, 中央火口丘 (釜山) 上の稜線には適当な岩塊が見当たらない. 測定計器はWild社製 T3R 形経緯儀 No. 41120 で, 光学測微計により直読で 0.2 秒, 精読で 0.02 秒の読み取りが可能である. 同器を A.V.O. 2 階のベンチ上に設置し, 同位置, 同一人による繰返し測定を行なった. 1 回の測定は, 最小 5 回, 通常 10 回の読み取りを行ない, その平均値を求めた.

測定結果を Table 11 に示してある. 表

Table 11.

| Date | T | W | A. temp at A.V.O | θ_a | | H _a | θ_b | | H _b |
|---------------|--------------------|--------|------------------------|---------------------|---|--|--------------------|---|--|
| | | | | M | m | | M | m | |
| Mar. 3, 1973 | 09:15 ^m | Fine | -7.0°C | 15°13' 04.8" ± 1.1" | | 1033.719 ^m ± 0.020 ^m | 15°25' 44.8" ± 08" | | 1048.772 ^m ± 0.016 ^m |
| 4. " | 10:30 | Cloudy | -4.0 | 12 57.1 ± 0.6 | | 567 ± 0.011 | 40.7 ± 0.5 | | 691 ± 0.009 |
| 4. " | 16:10 | " | -5.0 | 13 03.6 ± 0.4 | | 695 ± 0.008 | 48.0 ± 0.4 | | 835 ± 0.008 |
| 7. " | 10:30 | Fine | -4.0 | 12 57.4 ± 0.5 | | 572 ± 0.009 | 35.3 ± 0.4 | | 584 ± 0.008 |
| 8. " | 10:50 | " | 0.0 | 12 58.9 ± 0.6 | | 602 ± 0.011 | 43.2 ± 0.3 | | 740 ± 0.006 |
| Apr. 6. " | 07:50 | " | 0.0 | 13 05.1 ± 0.4 | | 725 ± 0.008 | 47.6 ± 0.4 | | 827 ± 0.008 |
| 7. " | 11:00 | " | +9.0 | 12 55.8 ± 0.5 | | 541 ± 0.009 | 33.3 ± 0.5 | | 544 ± 0.010 |
| 8. " | 09:15 | " | +9.0 | 13 01.3 ± 0.3 | | 650 ± 0.006 | 47.4 ± 0.5 | | 823 ± 0.009 |
| May 3. " | 14:20 | Cloudy | +13.0 | 13 01.0 ± 0.7 | | 644 ± 0.013 | 49.7 ± 1.2 | | 869 ± 0.022 |
| 4. " | 14:20 | " | +3.0 | 12 59.6 ± 0.5 | | 616 ± 0.009 | 44.3 ± 0.2 | | 762 ± 0.004 |
| 5. " | 14:20 | Fine | +9.0 | 13 01.1 ± 0.9 | | 646 ± 0.017 | 38.8 ± 0.4 | | 653 ± 0.008 |
| 6. " | 15:50 | " | +1.0 | 13 01.6 ± 0.4 | | 656 ± 0.008 | 44.5 ± 0.4 | | 766 ± 0.008 |
| 7. " | 08:50 | " | +14.5 | 12 58.3 ± 0.4 | | 591 ± 0.008 | 39.9 ± 0.4 | | 675 ± 0.008 |
| | Mean of Means | | | 13 00.4 ± 0.8 | | 632 ± 0.015 | | | |
| Dec. 12, 1973 | 13:05 | Fine | +1.5 | 13 00.1 ± 0.5 | | 626 ± 0.009 | 42.9 ± 0.3 | | 734 ± 0.006 |
| 13. " | 13:30 | " | -6.0 | 13 00.7 ± 0.6 | | 638 ± 0.011 | 41.4 ± 0.4 | | 703 ± 0.008 |
| 14. " | 13:25 | " | 0.0 | 12 53.4 ± 0.5 | | 494 ± 0.009 | 35.0 ± 0.4 | | 578 ± 0.008 |
| Jan. 27, 1974 | 09:40 | " | -8.0 | 12 51.8 ± 0.4 | | 462 ± 0.008 | 33.9 ± 0.5 | | 556 ± 0.009 |
| 29. " | 10:15 | " | -10.0 | 12 59.2 ± 0.4 | | 608 ± 0.008 | 39.4 ± 0.4 | | 665 ± 0.008 |
| | Mean of Means | | | 12 57.0 ± 1.8 | | 565 ± 0.033 | 38.5 ± 1.8 | | 647 ± 0.033 |

中に、 A 点、 B 点に対する各回の平均の仰角 θ_A , θ_B , および A.V.O. と A 点、 B 点との水平距離を共に 3,800 m とした時の高度差, H_A , H_B が記されている。また m は平均二乗誤差である。今回の測定は相対的高度変化を知ることを目的としているので、定誤差については重要視する必要はなく、不定誤差をどのように見積るかが問題となる。平均二乗誤差は 1 秒以内に収まっているが、各回の測定値の平均はかなりバラついている。

A 点、 B 点の観測所に対する相対的高度をそれぞれ Figs. 30, 31 に示してある。測定開始の 1973 年 3 月 3 日より 1974 年 1 月 29 日の測定に至るまでに大雑把に言つて、

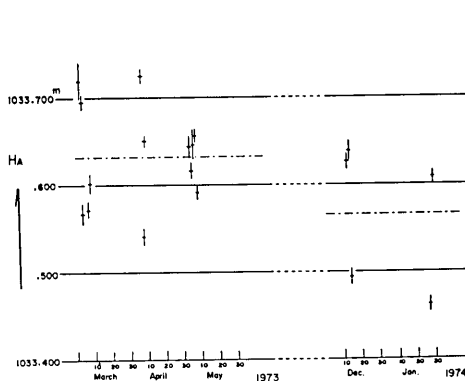


Fig. 30. Relative altitude of target A at the respective measurements.

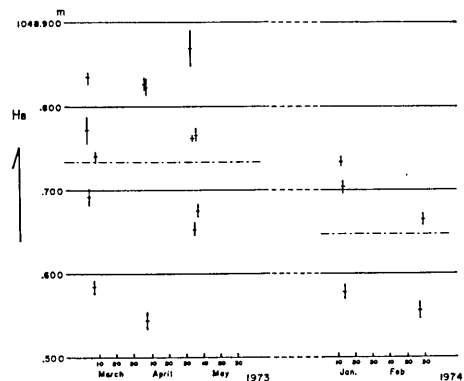


Fig. 31. Relative altitude of target B at the respective measurements.

A 点、 B 点共に下降しているように見える。1973 年 6 月から 11 月までの間に測定がないので、変動量の時間的経過を連続的に求めることが出来ない。従つて、測定値を 1973 年 3 月 3 日に始まる 13 回の測定値のグループと、1973 年 12 月 12 日よりの 5 回の測定値のグループに分けて、それぞれのグループの測定値の平均値を図中に一点鎖線で示してある。これを比較するならば、 A 点は測定期間中に 6.7 cm, B 点は 8.7 cm 下降したことになる。しかし、これらの変動量の有意性については疑問なしとしない。要は測定回数を十分に多くすることも望まれ、また、傾斜計などの観測をも併用することにより、噴火活動に伴う山頂の隆起・沈降の変動を検知することが将来望まれる。

10. 噴出物について

噴火に伴う噴石の大きなものは火口を中心として半径 2 km の間に分布している。たとえば、火口から南 2 km の地点には、1.6 m × 0.9 m × 0.8 m の岩塊が落下しており、直径 8 m, 深さ 1.3 m のすり鉢状のクレーターを作つたものもある。

噴煙はおおむね西風によつて、火口から南東—北東の間に流れ、火山灰は関東地方の北部から太平洋にまで達した。

2 月 1 日, 6 日, 3 月 10 日の噴火の際に、固体噴出物の分布を知る目的で、国道 146 号上において、1 m² あたりの固形堆積物の総量を測定した。国道は比較的交通量があるため、噴火後直ちに測定を開始しないと自動車によつて道路上の堆積物が乱される。国道沿いに任意の距離間隔で 1 m² 内の堆積物をハケで集め、ビニール袋に入れて重量を測定し

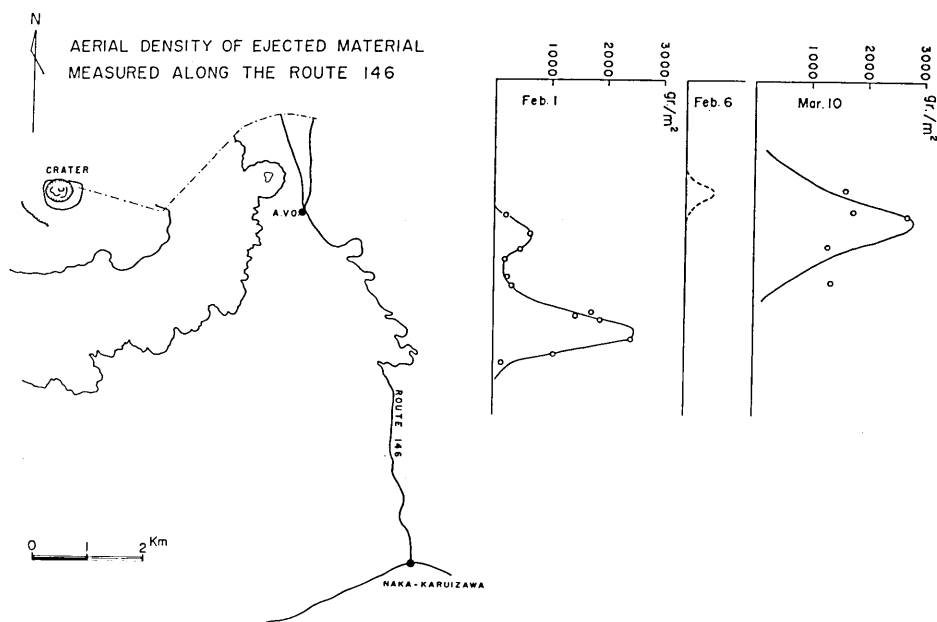


Fig. 32. Areal density of ejected material measured along Route 146.

た。Fig. 32 に国道上の各点における 1 m^2 あたりの噴出物の重量をプロットしてある。2月1日の噴火の場合、分布が2つに分れ、主軸は万山望からグリーンホテル方向であるが、更に一つ、火山観測所よりやや南よりに一つのピークがある。この小さいピークにあたる噴出物は火山灰が殆んどなく、火山礫のみである。風向が高さによつて変化していれば、噴出物が降下する場合、このような分離が行われることは可能である。しかし、4章で述べたように、2月1日の噴火では、観測所における噴石の落下が極めて早いことを考慮すると、この2つのピークには落下時刻の差があつて、火山礫は噴煙と分れて放出されて来たと考えた方が妥当であろう。なお、噴出物の分析、火砕流等については荒牧重雄(1973)、村井 勇(1974)らによつて既に報告されている。

11. 謝 辞

今回の噴火活動の研究調査については多くの方々の御協力を得た。

中部電力株式会社および電々公社は、2月1日の噴火による送電線および電話線の被害を、困難な状況のもとで早急に復旧し、また、中部電力株式会社は、長期間にわたつてガソリン発電機を貸与されたことに厚くお礼申し上げたい。

地震研究所の沢田宗久、萩原道徳、竹田豊太郎の諸氏および、霧島火山観測所の山口勝、増谷文雄の諸氏は、観測に協力された。併せてお礼申し上げる。また、地震研究所の田島広一氏には重力の計算をわずらわしたことを付記する。

本研究・調査に要した費用の一部は文部省科学研究費によつた。文部省当局に厚くお礼申し上げる。

12. 地震計測表

浅間火山観測所の地震観測網で得られた地震観測結果の主なものを表にしてある。A型地震については黒豆河原観測点, B型地震については三の鳥居観測点の水平動地震計による記録をもとにしている。また東側山腹に発生する群発地震の時系列は 1970 年から示してある。

文 献

- 荒牧重雄, 浅間火山 1973 年 2~3 月の噴火の際に発生した小型火砕流, 火山, 18, (1973), 79-94.
- MAUK, F., and KIENLE, J., Microearthquakes at St. Augustine Volcano, Alaska, triggered by earth tides. *Science*, 182, (1973), 386-389.
- MINAKAMI, T., The explosive activities of Volcano Asama in 1935. (Part 1), (Part 2), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 13 (1935), 629-644, 790-800.
- MINAKAMI, T., The study of eruptions and earthquakes originating from volcanoes. (Part 1), (Part 2), *Bull. Volcanological Soc. Japan*, 4 (1959), 104-114, 115-130.
- MINAKAMI, T., Fundamental research for predicting volcanic eruptions. (Part 1) *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 38 (1960), 497-544.
- MINAKAMI, T., UTIBORI, S., HIRAGA, S., MIYAZAKI, T., GYODA, N., and UTSUNOMIYA, T., Seismometrical studies of Volcano Asama (Part 1). Seismic and volcanic activities of Asama during 1934-1969. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 48 (1970), 235-301.
- MINAKAMI, T., UTIBORI, S., MIYAZAKI, T., HIRAGA, S., TERAOKA, H., and HIRAI, K., Seismometrical studies of Volcano Asama (Part 2). Anomalous distribution of the P arrival times and some information of the velocity of the P wave propagating through the volcano., *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 48 (1970), 431-489.
- SHIMOZURU, D., A seismological approach to the prediction of volcanic eruptions. The Surveillance and Prediction of Volcanic Activity., UNESCO, *Earth Sciences*, 8 (1971), 19-45.
- 下鶴大輔, 浅間火山の最近の噴火活動について, 火山, 18 (1973), 33-34.
- 村井 勇, 1973 年の浅間火山の噴火活動と小規模火砕流, 地震研究所速報, 13 (1974), 127-162.

8. *The 1973 Explosive Activity of Asama Volcano.*

—General Description of Volcanic and Seismic Events—

By Daisuke SHIMOZURU, Sadao UTIBORI, Noriya GYODA, Etsuro KOYAMA,
Tsutomu MIYAZAKI, Tokiko MATSUMOTO, Noboru OSADA and Hiroko TERAQ,
Earthquake Research Institute.

Asama Volcano, located in the central part of Honshu, became explosively active in February, 1973 after 11 years of quiescence. An eruption took place on February 1 and was followed by many explosions. Since the beginning of this century the explosive activity of Asama Volcano has been remarkable and the quiescent period of 11 years since the last eruption in 1961 is extraordinary.

In this paper, seismic events associated with the present eruptive activity and a description of the individual eruption are briefly outlined.

The middle of December, 1972 the seismic net of the Asama Volcano Observatory began to register an increasing number of B-type earthquakes associated with an also increasing number of A-type earthquakes. At the end of January, however, the number of B-type earthquakes had decreased below the ordinary level. Then ten hours before the first outbreak on Feb. 1, a swarm of B-type earthquakes appeared. Even after the end of this eruptive activity, swarm of B-type earthquakes were observed on several occasions.

In order to distinguish B-type earthquakes as forerunners of an eruption from those which are not followed by eruptions, a ratio of the maximum amplitude of a vertical component to that of a horizontal component was investigated. It was found that at the pre-eruptive stage, the vertical amplitude was relatively larger than at the calm stage. This evidence may be a useful tool in the prediction of future eruptions.

Alternatively, we observed shallow swarm earthquakes occurring at the eastern flank of Asama in Mar. 1970, Mar. 1971, Mar. 1972 and in Feb. and Mar. 1973. These swarm earthquakes were peculiar in their patterns of occurrence. They usually occur in the night during the month of March.

An attempt was made to compare the sequence of seismic activity with the earth tides, but it was difficult to find any correlation between them. It is believed, however, that the overlapping of several triggering mechanisms could cause these swarm earthquakes to develop.

During a period from February 16 to 18 a succession of small eruptions occurred counted by 3900 or more and associated explosion earthquakes were clearly registered by seismographs. The time intervals of these explosion earthquakes were compared with those of the Akita-komaga-take eruption which made Strombolian type eruptions in 1970. A clear difference in the distribution in both eruptions was found. Considering the results of a simple experiment, it may be said that in the case of Asama, a succession of small eruptions means degassing due to boiling, and the case of Akita-komaga-take may be interpreted as degassing due to bumping.

Table 12. Daily number of A-type earthquakes.

| 1973 Day. | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | May | Jun. | Jul. | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. |
|--------------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|
| 1 | | 3 | | | | | | | 1 | | | |
| 2 | 1 | | 1 | | | | | | | | | |
| 3 | | 1 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | 1 | | | | | | | | |
| 5 | | 1 | | | | | | | | | | |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | | | | | | | | |
| 7 | | | 1 | | | | | | | | | |
| 8 | | 1 | 1 | | | | | | | | | |
| 9 | 2 | | 5 | 3 | | 1 | | | | | | |
| 10 | | | 3 | 1 | | | | | 1 | | | |
| 11 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | | | |
| 12 | | 1 | | 1 | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | 5 | | | 1 | | | | | | | |
| 15 | | | 1 | | | | | | | | | |
| 16 | 1 | | 1 | 4 | | | | | | | | |
| 17 | 2 | | | 1 | 2 | | | | | | | |
| 18 | 3 | | | 1 | | | | 1 | | | | |
| 19 | 1 | 3 | 2 | | 1 | | | | | | | |
| 20 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | |
| 21 | | | 2 | 1 | 2 | | | | | | | |
| 22 | | | 1 | | | | | | | | | |
| 23 | | | | 1 | 1 | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | 1 | | | | 1 | | | | | |
| 26 | 2 | | 1 | | | | | | | | | |
| 27 | | 1 | 4 | | 1 | | | | | | | |
| 28 | | 1 | 2 | 1 | | | | | 1 | | | |
| 29 | | | 4 | 4 | | | | | | | | |
| 30 | | | 1 | 1 | | | | | | | | |
| 31 | 2 | | | | 1 | | | | | | | |

Table 13. Daily number of B-type earthquakes excluding earthquake swarm at the eastern flank.

| Day | 1973 | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | May | Jun. | Jul. | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. |
|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|
| 1 | | 71 | 328 | 311 | 221 | 108 | 87 | 67 | 42 | 13 | 22 | 21 | 14 |
| 2 | | 62 | 50 | 376 | 184 | 130 | 86 | 49 | 40 | 16 | 16 | 15 | 23 |
| 3 | | 62 | 30 | 425 | 187 | 130 | 88 | 55 | 45 | 17 | 23 | 20 | 47 |
| 4 | | 60 | 181 | 238 | 182 | 78 | 94 | 103 | 42 | 26 | 23 | 21 | 31 |
| 5 | | 95 | 114 | 295 | 125 | 87 | 74 | 67 | 33 | 26 | 14 | 14 | 14 |
| 6 | | 61 | 137 | 156 | 146 | 193 | 50 | 68 | 34 | 18 | 20 | 16 | 27 |
| 7 | | 70 | 126 | 217 | 148 | 197 | 88 | 31 | 38 | 23 | 12 | 14 | 30 |
| 8 | | 62 | 119 | 118 | 132 | 171 | 95 | 50 | 40 | 13 | 24 | 8 | 44 |
| 9 | | 139 | 77 | 179 | 132 | 133 | 93 | 50 | 32 | 25 | 39 | 24 | 47 |
| 10 | | 126 | 178 | 251 | 104 | 110 | 127 | 52 | 41 | 19 | 31 | 10 | 20 |
| 11 | | 106 | 177 | 153 | 122 | 101 | 118 | 58 | 25 | 26 | 23 | 15 | 6 |
| 12 | | 107 | 227 | 84 | 155 | 80 | 104 | 49 | 24 | 25 | 18 | 17 | 25 |
| 13 | | 160 | 204 | 77 | 135 | 48 | 81 | 45 | 85 | 13 | 10 | 4 | 4 |
| 14 | | 146 | 198 | 63 | 184 | 49 | 88 | 40 | 31 | 14 | 10 | 7 | 18 |
| 15 | | 73 | 176 | 116 | 162 | 96 | 111 | 41 | 29 | 18 | 18 | 12 | 13 |
| 16 | | 78 | 121 | 148 | 136 | 66 | 82 | 36 | 33 | 25 | 19 | 12 | 19 |
| 17 | | 110 | 2226 | 160 | 167 | 81 | 69 | 36 | 24 | 14 | 15 | 15 | 49 |
| 18 | | 98 | 1778 | 200 | 155 | 84 | 98 | 33 | 13 | 8 | 12 | 6 | 23 |
| 19 | | 60 | 156 | 130 | 106 | 52 | 75 | 57 | 28 | 8 | 5 | 6 | 7 |
| 20 | | 46 | 349 | 169 | 118 | 40 | 61 | 26 | 11 | 17 | 14 | 15 | 4 |
| 21 | | 54 | 212 | 111 | 130 | 55 | 51 | 44 | 18 | 10 | 16 | 4 | 7 |
| 22 | | 58 | 279 | 69 | 152 | 46 | 76 | 50 | 20 | 15 | 7 | 18 | 16 |
| 23 | | 92 | 419 | 79 | 147 | 40 | 71 | 55 | 7 | 11 | 6 | 37 | 27 |
| 24 | | 85 | 359 | 65 | 608 | 622 | 57 | 59 | 25 | 9 | 6 | 20 | 10 |
| 25 | | 51 | 290 | 66 | 145 | 350 | 52 | 31 | 33 | 8 | 13 | 11 | 17 |
| 26 | | 41 | 313 | 219 | 111 | 52 | 36 | 29 | 28 | 16 | 23 | 3 | 16 |
| 27 | | 10 | 341 | 177 | 111 | 44 | 36 | 53 | 26 | 8 | 14 | 11 | 8 |
| 28 | | 61 | 309 | 292 | 102 | 63 | 16 | 24 | 20 | 11 | 8 | 13 | 9 |
| 29 | | 39 | | 182 | 72 | 79 | 36 | 21 | 14 | 147 | 11 | 8 | 9 |
| 30 | | 25 | | 140 | 87 | 121 | 72 | 36 | 15 | 21 | 19 | 7 | 17 |
| 31 | | 20 | | 111 | | 87 | | 30 | 4 | | 6 | | 18 |

Table 14. Daily number of earthquake swarms at the eastern flank.

| | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 |
|--------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|
| Feb. 1 | | | | | Mar. 1 | | | 2 | 11 |
| 2 | | | | | 2 | | | 1 | 82 |
| 3 | | | | | 3 | | | 3 | 67 |
| 4 | | | | | 4 | | | 2 | 16 |
| 5 | | | | | 5 | 1 | | 1 | 11 |
| 6 | | | | | 6 | | 7 | 4 | 48 |
| 7 | | | | 33 | 7 | | 3 | 1 | 60 |
| 8 | | | | 28 | 8 | | 37 | | 112 |
| 9 | | | | | 9 | | 57 | | 34 |
| 10 | | | | 18 | 10 | | 19 | 3 | 9 |
| 11 | | | | 9 | 11 | | 186 | 3 | 21 |
| 12 | | | | 67 | 12 | 2 | 41 | | 3 |
| 13 | | | | 22 | 13 | | 162 | 6 | 23 |
| 14 | | | | 13 | 14 | 1 | 90 | 9 | 154 |
| 15 | | | | 5 | 15 | | 132 | 3 | 40 |
| 16 | | | | 57 | 16 | | 18 | | 25 |
| 17 | | | | | 17 | | 96 | | 17 |
| 18 | | | | | 18 | 1 | 22 | | 5 |
| 19 | | | | | 19 | 1 | 9 | | 89 |
| 20 | | | | | 20 | | 1 | | 11 |
| 21 | | | | 2 | 21 | | | | 44 |
| 22 | | | 2 | | 22 | | | | 103 |
| 23 | | | | | 23 | | | | 41 |
| 24 | | | 10 | | 24 | | | | 44 |
| 25 | | | 1 | 3 | 25 | 1 | | | 169 |
| 26 | | | | | 26 | | | | 188 |
| 27 | | | | | 27 | | | | 86 |
| 28 | | | | | 28 | | | | |
| 29 | | | | | 29 | | | | |
| | | | | | 30 | | | | |
| | | | | | 31 | | | | |

Table 15. Hourly number of earthquake swarms at the eastern flank in Feb. 1973.

| $\begin{array}{c} d \\ h \end{array}$ | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
|---------------------------------------|---|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0-1 | | | 1 | | | | | 5 | | | 7 | | | | | | | | | | | | 13 |
| 1-2 | | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3 |
| 2-3 | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | 2 |
| 3-4 | | | 7 | | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | 9 |
| 4-5 | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 |
| 5-6 | | | 4 | | | | 1 | | | | 31 | | | | | | | | | 1 | | | 37 |
| 6-7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7-8 | | | 2 | | | | | | | | 17 | | | | | | | | | 2 | | | 21 |
| 8-9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9-10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10-11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11-12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12-13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13-14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14-15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15-16 | | | | | | | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | 10 |
| 16-17 | | | 2 | | | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | 7 |
| 17-18 | | 5 | 1 | | 3 | | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | 30 |
| 18-19 | | 4 | | | 1 | 2 | 16 | 11 | 1 | | | | | | | | | | | | | | 35 |
| 19-20 | | 3 | | | | 1 | 8 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | 17 |
| 20-21 | | 4 | | | 2 | 1 | 1 | 1 | | 2 | | | | | | 1 | | | | | | | 12 |
| 21-22 | | 11 | | | 4 | 3 | 3 | | 3 | | | | | | | 1 | | | | | | | 24 |
| 22-23 | | 6 | | | 8 | 2 | 2 | | 7 | 4 | | | | | | | | | | | | | 29 |
| 23-24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 33 | 28 | | 18 | 9 | 67 | 22 | 13 | | 57 | | | | | 2 | | | | 3 | | | |

Table 16. Hourly number of earthquake swarms at the eastern flank in Mar. 1973.

| $\begin{array}{c} d \\ h \end{array}$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | |
|---------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 0—1 | | 9 | | 2 | 4 | 6 | 7 | 19 | 5 | | 1 | | | 14 | 9 | 3 | | | | 1 | | 21 | 1 | | 21 | 20 | 10 | 153 |
| 1—2 | | 10 | | 1 | 1 | 3 | 6 | 15 | 2 | | 3 | | | 16 | | 5 | | | | | 19 | 5 | | 6 | 11 | 11 | 114 | |
| 2—3 | | 4 | | | | 2 | 8 | 27 | 5 | | 3 | | | 1 | 3 | 3 | 1 | | | | 18 | 6 | | | 12 | 15 | 127 | |
| 3—4 | | 2 | 3 | | | | 4 | 25 | 2 | | 4 | | | 10 | 11 | 5 | 4 | | | 2 | 11 | 7 | | | 10 | 11 | 113 | |
| 4—5 | | 2 | | | 2 | | 4 | 12 | 4 | 1 | 5 | | | 11 | 15 | 4 | 7 | | 1 | 4 | 10 | 10 | | | 6 | 15 | 113 | |
| 5—6 | | 1 | 2 | | 1 | 2 | | 6 | 8 | 2 | 4 | | | 14 | 2 | 3 | 3 | | 10 | 3 | 12 | 11 | | 5 | 4 | 18 | 111 | |
| 6—7 | | 1 | | | 1 | 2 | | 3 | 4 | 2 | 1 | | | | | | 2 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | | | 2 | 22 | |
| 7—8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | |
| 8—9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9—10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10—11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11—12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12—13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13—14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | |
| 14—15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15—16 | | | | | | | | | | | | | | | 4 | | | | | 6 | | | | | | | 10 | |
| 16—17 | | | 1 | 6 | | 2 | | | | | | | | 41 | | | | | 6 | | | | | | 8 | | 64 | |
| 17—18 | | | 12 | 13 | | 10 | | | | | | | | 16 | | | | | 1 | 18 | | | | 6 | 19 | | 95 | |
| 18—19 | | | 15 | 5 | | 4 | | | 2 | | | | | 7 | | | | | 11 | | | | | 22 | 24 | 1 | 91 | |
| 19—20 | | | 13 | 13 | | 3 | | | | | | | | 5 | | | | | 1 | 11 | | | | 16 | 10 | | 72 | |
| 20—21 | | | 10 | 14 | | 2 | | | | | | | 3 | 5 | | | | | 1 | 13 | | | | 15 | 13 | | 77 | |
| 21—22 | | | 2 | 10 | 3 | 1 | 3 | 3 | | 1 | | | 5 | 4 | | | | 1 | 5 | | | 1 | | 7 | 25 | 18 | 2 | 88 |
| 22—23 | | 2 | | 1 | 3 | | 2 | 13 | 1 | 2 | | | 8 | 5 | | | | | 7 | | 9 | 4 | 31 | 31 | 15 | 2 | 136 | |
| 23—24 | | 9 | | 7 | | 7 | 15 | 4 | | 3 | | | 7 | 1 | | | | 1 | 1 | | 35 | 6 | | 6 | 22 | 16 | | 140 |
| | 11 | 82 | 67 | 16 | 11 | 48 | 60 | 112 | 34 | 9 | 21 | 3 | 23 | 154 | 40 | 25 | 17 | 5 | 89 | 11 | 44 | 103 | 41 | 44 | 169 | 188 | 86 | |

Table 17. (S-P) distribution of A-type earthquakes at Kuromamegawara.

| S-P (A type) | Feb. 1, 1973 —Dec. 31, 1973 | Jan. 1, 1972 —Feb. 6, 1973 |
|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 0.5 | 0 | 0 |
| 0.6 | 0 | 0 |
| 0.7 | 0 | 1 |
| 0.8 | 17 | 7 |
| 0.9 | 32 | 15 |
| 1.0 | 30 | 6 |
| 1.1 | 24 | 1 |
| 1.2 | 15 | 0 |
| 1.3 | 9 | 0 |
| 1.4 | 5 | 1 |
| 1.5 | 4 | 0 |
| 1.6 | 5 | 1 |
| 1.7 | 3 | 0 |
| 1.8 | 0 | 0 |
| 1.9 | 1 | 0 |
| 2.0 | 5 | 0 |
| 2.1 | 3 | |
| 2.2 | 0 | |
| 2.3 | 0 | |
| 2.4 | 0 | |
| 2.5 | 1 | |
| 2.6 | 0 | |
| 2.7 | 1 | |
| 2.8 | 0 | |
| 2.9 | 0 | |
| 3.0 | 0 | |

Table 18. Amplitude frequency of the earthquake swarm at the eastern flank from Mar. 5-20, 1971.

| 2A (mm) | Huzimizaka H.R. | Sannotorii H.R. |
|-----------|--------------------|--------------------|
| — 0.9 | (21) | (23) |
| 1.0— 1.9 | 114 | 126 |
| 2.0— 2.9 | 103 | 97 |
| 3.0— 3.9 | 75 | 68 |
| 4.0— 4.9 | 62 | 62 |
| 5.0— 5.9 | 54 | 38 |
| 6.0— 6.9 | 41 | 40 |
| 7.0— 7.9 | 30 | 29 |
| 8.0— 8.9 | 26 | 19 |
| 9.0— 9.9 | 18 | 22 |
| 10.0—10.9 | 13 | 18 |
| 11.0—11.9 | 11 | 13 |
| 12.0—12.9 | 10 | 9 |
| 13.0—13.9 | 13 | 8 |
| 14.0—14.9 | 10 | 19 |
| 15.0—15.9 | 6 | 10 |
| 16.0—16.9 | 9 | 15 |
| 17.0—17.9 | 10 | 8 |
| 18.0—18.9 | 7 | 7 |
| 19.0—19.9 | 3 | 4 |
| 20.0—20.9 | 5 | 5 |
| 21.0—21.9 | 7 | 5 |
| 22.0—22.9 | 4 | 1 |
| 23.0—23.9 | 0 | 3 |
| 24.0—24.9 | 6 | 3 |
| 25.0—25.9 | 5 | 5 |
| 26.0—26.9 | 4 | 4 |
| 27.0—27.9 | 2 | 1 |
| 28.0—28.9 | 3 | 2 |
| 29.0—29.9 | 6 | 2 |
| 30.0— | 63 | 44 |
| | 720 | 687 |

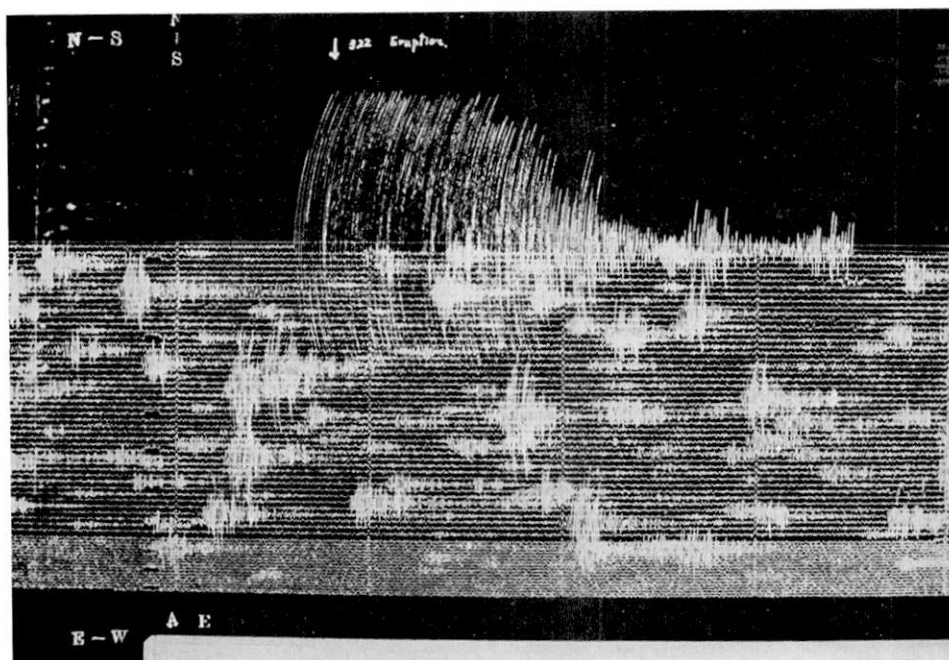


Fig. 33. Occurrence of the swarm of B-type earthquakes just before the eruption of Feb. 1, 1973.

(震研彙報 第五十号 図版 下鶴・他)

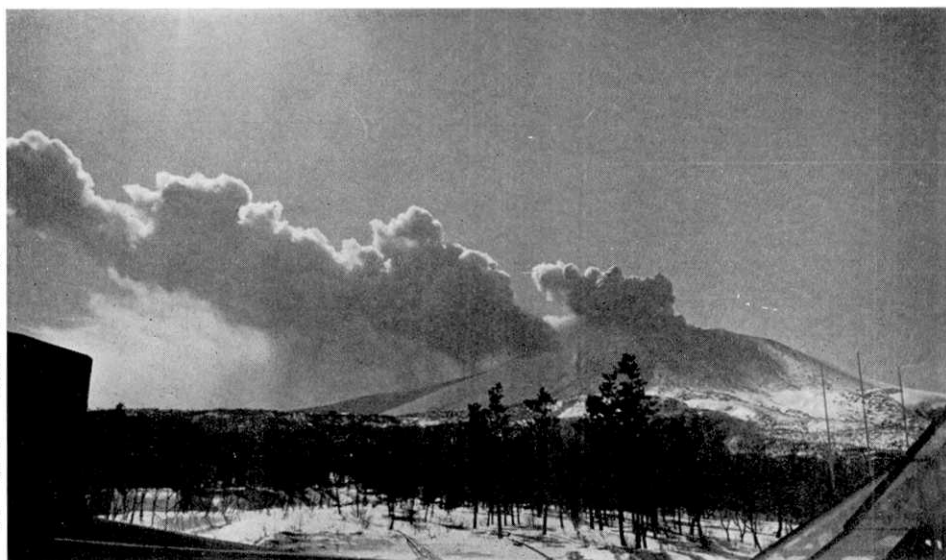
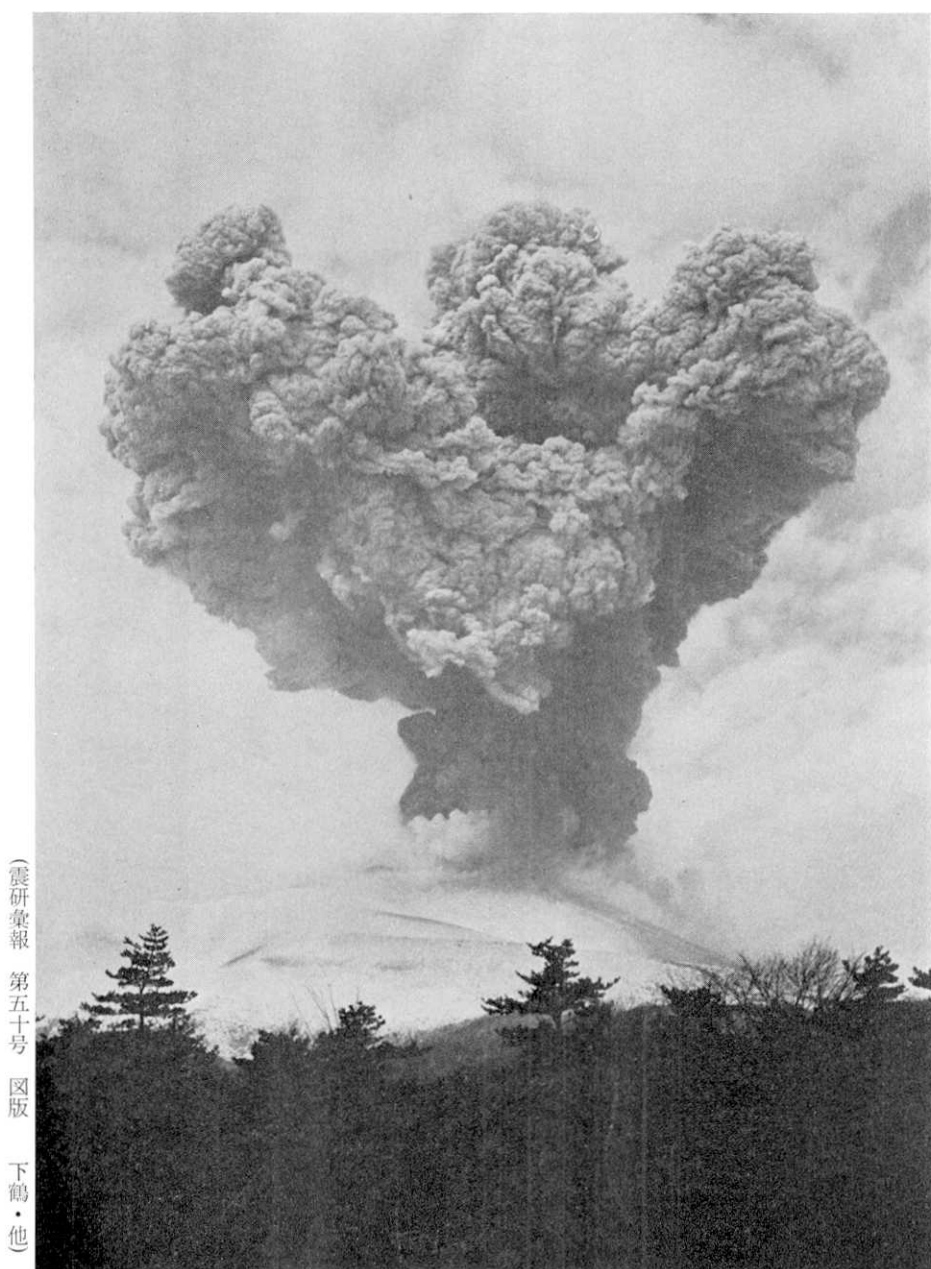


Fig. 34. Successive small eruptions on Feb. 18.



(震研彙報 第五十号 図版 下鶴・他)

Fig. 35. Eruption of Mar. 10 taken from A.V.O.

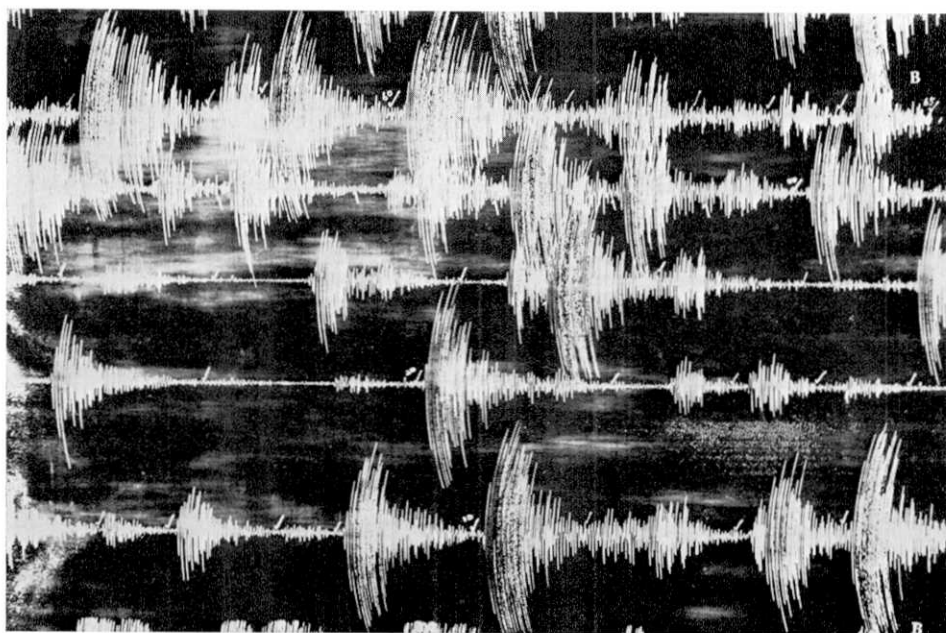


Fig. 36. Earthquakes associated with the successive small eruptions of Feb. 18.

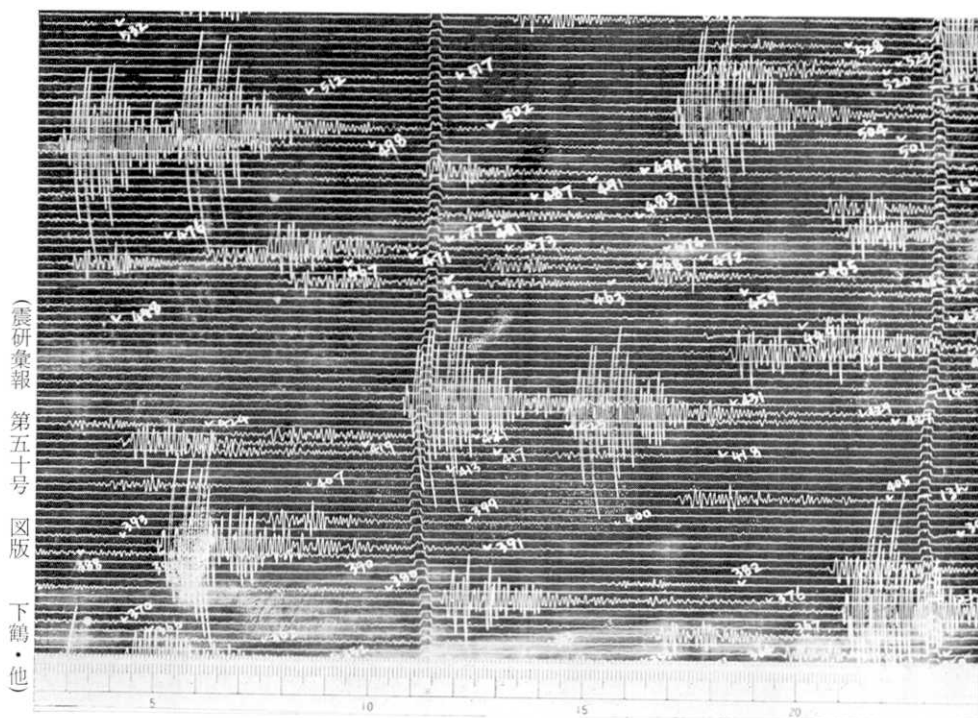


Fig. 37. Explosion earthquakes of Akita-komaga-take in 1970.

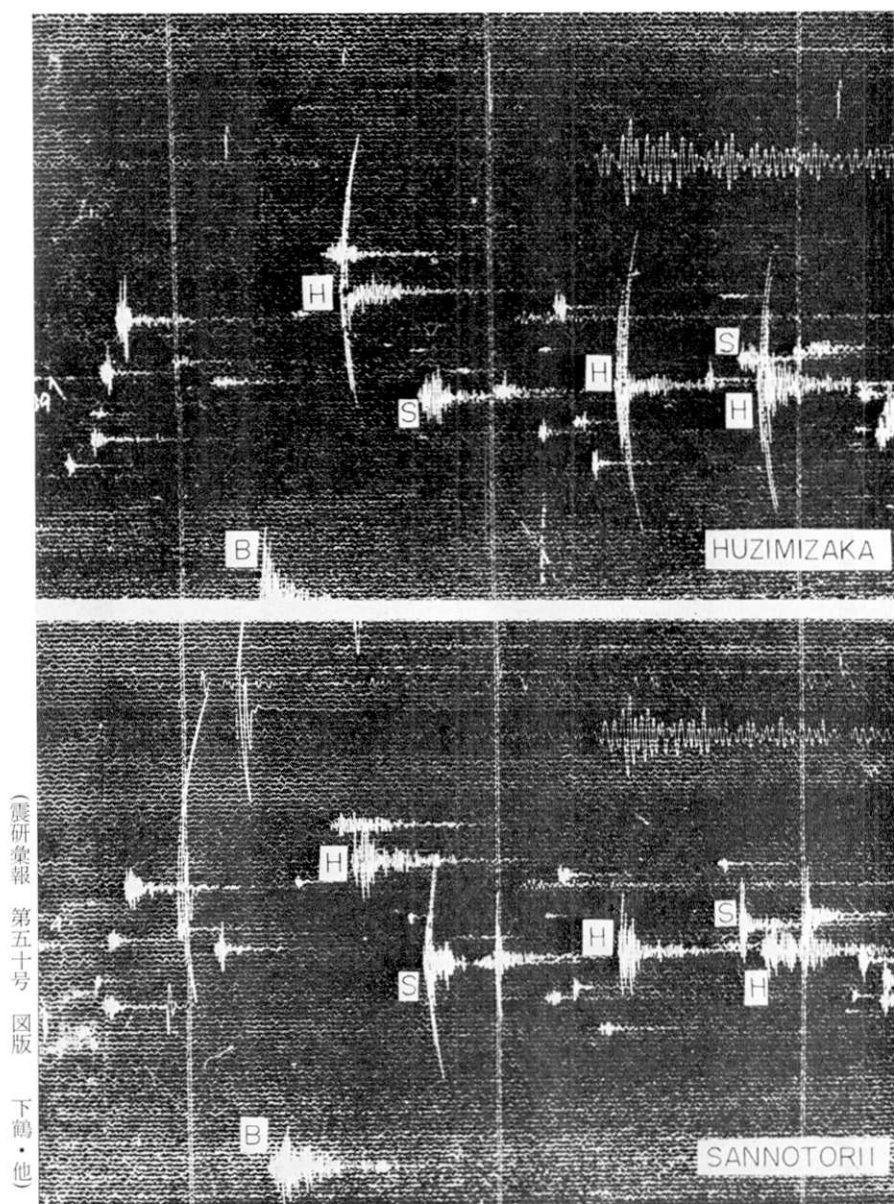
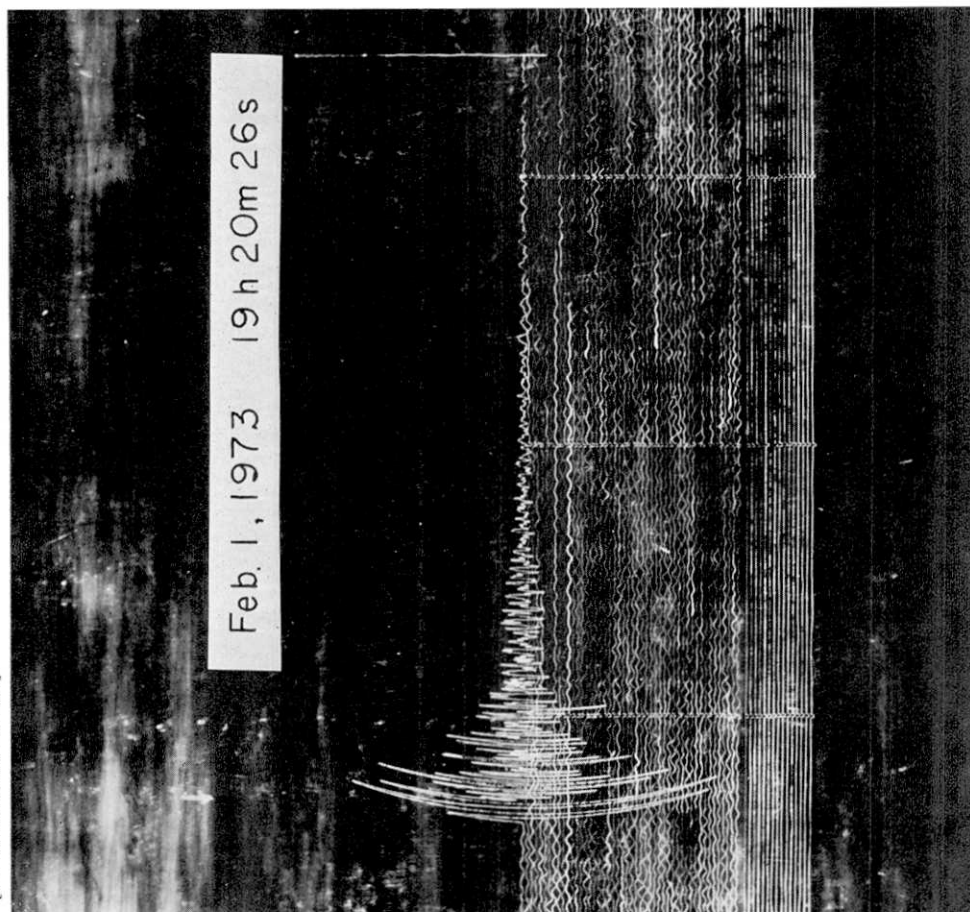
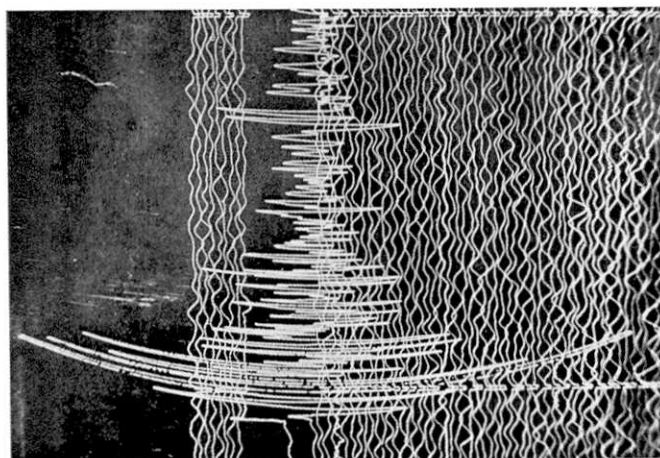


Fig. 38. Seismograms of Huzimizaka and Sannotorii showing a good example of an earthquake swarm at the eastern flank.



(震研集報 第五十号 図版 下鶴・他)



↑ Fig. 39. Explosion earthquake of Mar. 10, 1973 registered by a seismograph at A.V.O. ($T=5.0$ sec.)

← Fig. 40. Explosion earthquake of Feb. 1, 1973 registered by a seismograph at A.V.O. ($T=5.0$ sec.)

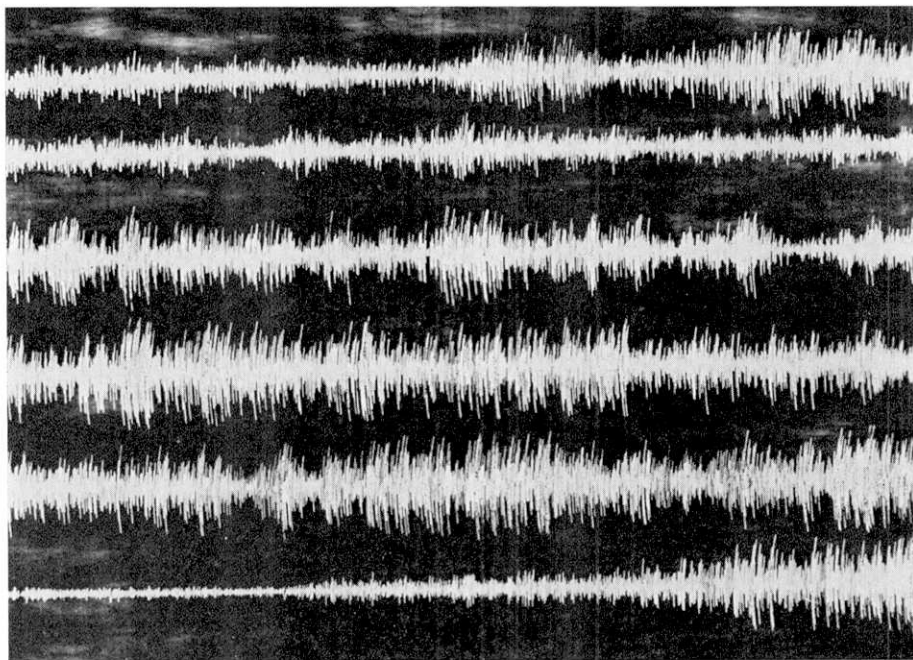


Fig. 41. Volcanic tremors prior to the eruption of Feb. 6.



Fig. 42. Crater of Asama Volcano. Photograph taken from the western rim on Aug. 21, 1973.

[D. SHIMOZURU et al.]

[Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 50, Pl. 8]



Fig. 43. Northern slope of Asama Volcano no Feb. 2, 1973 (Shinano-mainichi Press).

(震研彙報 第五十号 図版 下鶴・他)

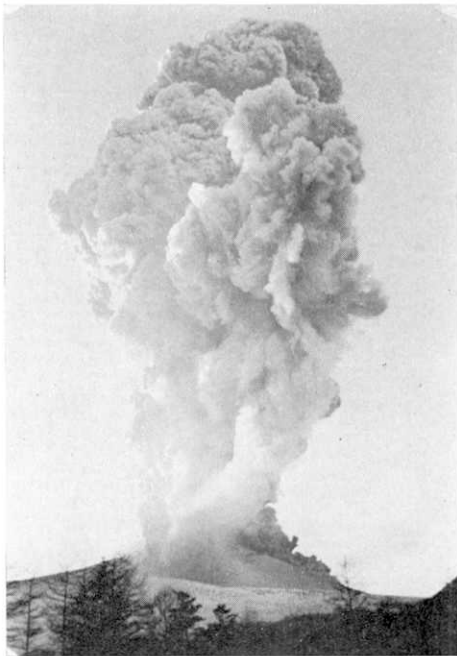


Fig. 44. Eruption of Feb. 6, 1973. (Photograph taken by S. Aramaki)

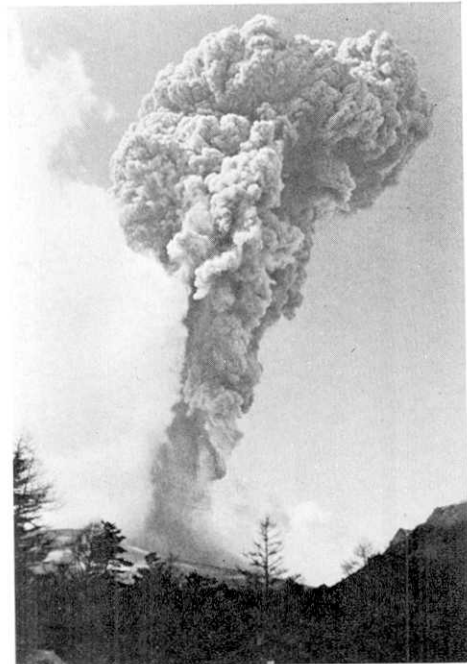


Fig. 45. Eruption of Feb. 14, 1973.



(震研彙報 第五十号 図版 下鶴・他)

Fig. 46. Ejected rock fragment of the Feb. 1 eruption collected on the pavement road in front of A.V.O. Asphalt surface is molten.

(震研彙報 第五十号 図版 下鶴・他)



Fig. 47. A bread crust bomb collected at Sannotorii probably ejected by the Mar. 10 eruption.