



Title	7. 北海道の火山に起る地震の観測 1961
Author(s)	阿部, 誉; Abe, Takashi
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 10, 89-100
Issue Date	1963-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.10.89
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13850
Type	departmental bulletin paper
File Information	10_p89-100.pdf



7. 北海道の火山に起る地震の観測 —1961—

阿 部 誉

(北海道大学理学部地球物理学教室)

—昭和37年10月受理—

I. 緒 言

火山性地震は一般に微少であり、観測点が粗いことから厳密な議論に欠けるものが多いのが現状である。少くとも震源を決定できる程度の密度で、火山地震の観測は行なわれねばならない。しかし、現実の問題としてただちにそれを行なうことは困難である。

ちなみに、北海道内の火山では詳細な地震観測、あるいは他の方法による観測、研究はある異常な活動期においてしかなされていない。この事を考慮し、今後なされるべきより詳細な火山性地震の常時観測のための足がかりとして、今回の観測を行ない、この報告をまとめた。

更に今回の資料の検討中に気のついた、石本・飯田の式に關しての新しい二つの問題点についての考察をのべた。

北海道内の火山では、气象台によって各活火山一点水平動一成分の地震観測がなされているが、これらの観測によって過去3年間第I表に見られるような数の地震が観測されている。地震計はいずれも、56型約350倍のものである。

Table I. Number of volcanic earthquakes observed with the 56-type seismographs for the last three years.

Volcano	From Crater to Station	Number		
		1959	1960	1961
Tokachi	1.2 km	10	6	7
Usu	4.5	6	7	8
Tarumai	6.0	10	23	25
Me-Akan	0.6	748	28 (Sept.-Dec.)	48
Komagatake	7.0	2	5	3

II. 駒ヶ岳における観測

(1) 機械, 観測点, 期間

換振器は1 c/s 水平動電磁式を2台, 増幅器は爆破グループ用のもの, 電流計はオシログラフ用100 c/s, 記録器は光学式ドラムを用いた。20 c/s での総合倍率は約 4×10^4 倍, 期間は1961年9月14日~24日, 換振器は火口から4.5 kmの点と大沼湖畔との2カ所に置いた(第1図)。換振器の位置はこのように火口から相当の距離にあるが, これ以上山腹を登って観測するのは

電線不足のため困難であった。この火山は第1図に見られるように周りを鉄道で囲まれておりこれによる擾乱が避けがたいものとなった。

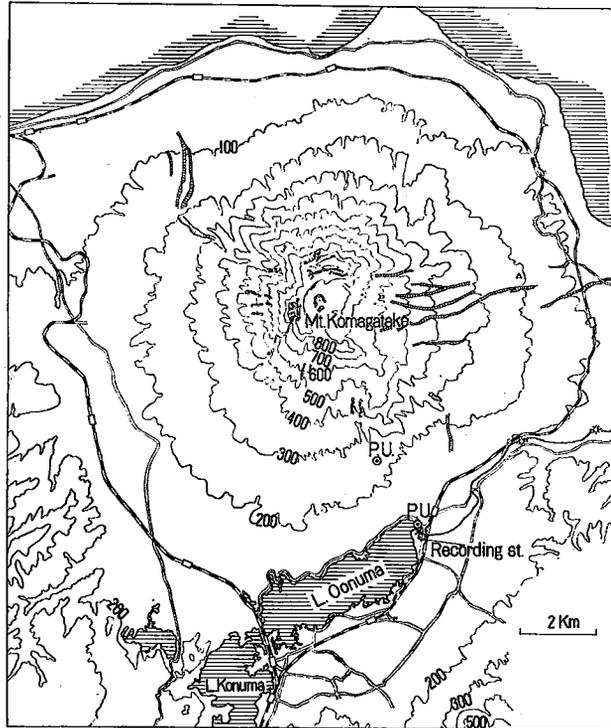


Fig. 1. Volcano Komagatake, and the encircling railways. P.U.: pick-up.

(2) 観測および考察

このため、火山性地震と思われるものを数個記録していながらも、確認できなかった。遠方の地震は10数個記録されたが、我々の目的ではないのでこれらについては述べない。

それ故に改めて観測が必要であるが、その際には鉄道による擾乱を除くよう努力することが必要である。これについては鉄道から換振器をできるかぎり遠ざけることによって除ければ最も簡単でこれに越したことはない。

大沼湖畔に置いた換振器による記象中で列車による震動が何分かづつ続くわけであるが、その中ほどが最も振幅が大きい。この部分は列車が地震計に最も近い(約300 m)所を通過中であることを示す。震動は旅客列車について約4分間記録され、列車の速さを1.1~1.2 km/min とすると、列車が換振器から約2.3 kmのところから記録されはじめ、また終るように見えた。すなわち2.3 km 離れるとこれによる擾乱は避けられそうである。鉄道から約2 km 離れている山腹の地震計による記象では、最大振幅は湖畔のもの約1/6 になっている。

一般の貨物列車は旅客列車の2~3倍の振幅を示すことが、これらの記象から知られる。

故に山腹での列車による震動をより小さく記録するようにせねばならない。更にどれほど遠ざけるべきかについて次の概算をおこなった。この震動を表面波と考えて、震源からの距離 r_1 での最大振幅を A_1 , r_2 でのものを A_2 とする時、最大振幅の比が

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{r_1^{1/2} e^{r_1 k}}{r_2^{1/2} e^{r_2 k}}$$

と表わされるものとする、 $r_1=0.3 \text{ km}$, $r_2=2 \text{ km}$ として上式が $1/6$ となることから、

$$k=5 \times 10^{-6} \text{ (c.g.s.)}$$

山腹の換振器をあと n 倍離して、更に $1/3$ の振幅になったとすると $n \div 2$ となる。即ち、更に 2 km 程離れると同じ倍率で列車による擾乱をほぼ避けることができる。これら短周期の表面波の減衰についてはこれほど単純な式では表わせず、また明らかにされていない点が多いのでこの値はそれほど確実ではない。しかし一応の目安として、次の観測には考慮したい。

III. 樽前山における観測

(1) 機械、観測点、期間

7月3日～6日の観測には、水平動電磁式 1 c/s の地震計を2台、爆破グループ用増幅器を用い、記録は 100 c/s 電流計とオシログラフとによった。これらの総合倍率は約 2×10^4 倍 (20 c/s) である。

10月25日～11月7日の観測では、地震計は1台、煤書き用トランジスタ増幅器、煤書き電流計を用いた。倍率は速度にして11月2日までは 120 cm/kine , 3日以降は 76 cm/kine (各 10 c/s)。倍率特性は第2図に示す。換振器の設置は火口から約 1 km のところである (第3図)。なお、第3図には参考のため気象台によ

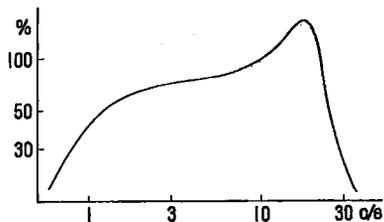


Fig. 2. Overall frequency response curve of the velocity seismometer used at Tarumai.

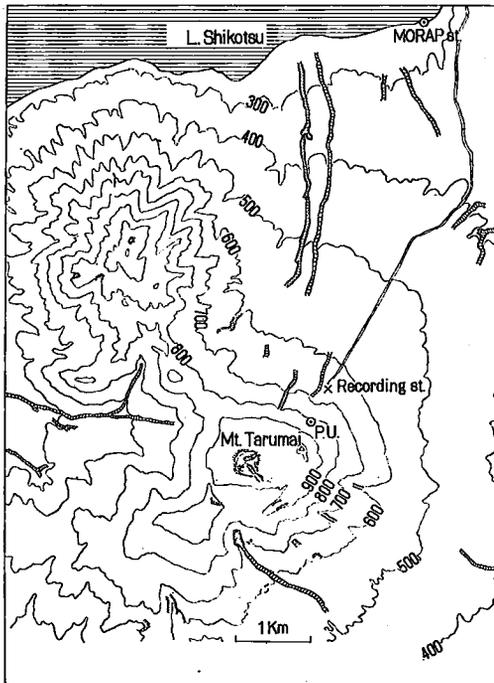


Fig. 3. Volcano Tarumai and Morap. P. U. : pick-up.

る 56 型地震計の設置点をも示した。

(2) 観 測

7月の観測は予備の意味を主にしておこなった。観光シーズンであったため日中は人為的擾乱が大きく、これを避けて夜間の適当な1~2時間をこの観測にあてた。ここでは記象上で1.2~1.5mmに達する微動があり、微動のレベルより大きな振幅を示したものは66回であった。このうちPS時の読めたものは10数個で頻度の最大を示すのは、0~1秒であった。しかし次の10月の場合に二、三得られたような振幅の大きい典型的火山性地震は見られなかった。ともかくもこの時には火山性地震が起っているとだけ結論づけた。

10月には1日1~1.5時間を除き、終日観測した。この時は振幅が0.15 μ 以上のもので火山性地震と思われるものは約60回観測され、そのすべてはPS時が4秒以下であった。また今回の観測目的には直接関係しない遠方の地震は22回であった。これら60回の震動についてのPS時頻度分布図(第4図)を見ると、0~1秒に卓越している。

次に最大振幅の頻度分布をとると、石本・飯田の係数をほぼ1.5に決定できた。P、S相が比較的明瞭に観測されたものが多いことから、この値は妥当であるかに見える。しかし、この値は点が少いこと、級区間が広いことなどから、あくまでも定性的傾向としてしか値がない(第V節参照)。

ところで一般に地震の記象上の振幅が小さい時にはP相が判然とせず、PS時は見かけ上短かく記録されがちであるが、今回もそのことが見られた。支笏湖畔のモーラップには、気象台によって56型水平動349倍地震計一成分が設置されている(第3図)。これと我々の観測とを比較すると、例えば11月6日4時58分頃の地震について、写真1のように我々はPS時を17秒と得たが、モーラップの記象ではわずか1秒にも読み得ない。モーラップと樽前山とは約6kmあり、この両者は明かに両立しない。この期間中モーラップの記象では火山性地震としか考えられないもので、それを証拠立てることのできたものは一つもなかった。これに反して、我々が写真2のように確実な火山性地震として観測したもののすべては、モーラップの記象にその痕跡すらも認め得なかった。

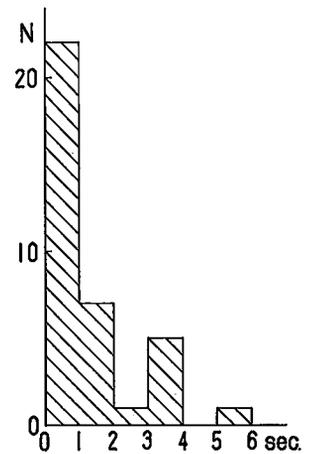


Fig. 4. Frequency distribution of PS-duration of volcanic micro-earthquakes observed at Tarumai, during Oct. 25-Nov. 7, 1961.

IV. 雌阿寒岳における観測

(1) 機械、観測点、期間

地震計は1 c/s 水平動電磁式を用い、煤書き電流計用増幅器と煤書き電流計各1台を用いた。倍率は1962年1月8日~14日は460 cm/kine, 14日~22日は680 cm/kineである。速度

についての倍率周波数特性は第5図に示す。火口から北東約 0.6 km のところに換振器を設置し、約 0.5 km 離れた硫黄鉱業所で記録した(第6図)。

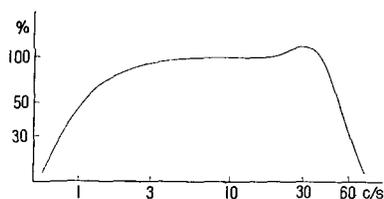


Fig. 5. Overall frequency response curve of the velocity seismometer used at Me-Akan.

(2) 観 測

この地域では火口から北東約 1 km 離れた噴気孔附近で硫黄の採取がなされており、このため日中は発破その他の擾乱のため地震観測は不適當であり、17時頃から翌朝7時頃までの分のみを用いた。この夜間の観測による地震の数の日別変化と、それらの地震の速度振幅の和の日別変化を第7図に示した。ここで矢印はある振幅以上は増幅器でおさえられるので、大きな地震の多かった日には更に大きくなる可能性のあることを示している。これを見ると、我々の観測は丁度火山性地震が群発していた時に当たったようである(写真3)。これらの地震のうち 0.2μ 以上のもは、最も多い日で14個で、このうち 0.5μ 以上のもは8個であった。平均して 0.2μ 以上のもは日に(夜間のみ)2~3個であった。ちなみに、1959年10月3日の噴火の前後に行なった村瀬等¹⁾による観測では、9月7日までは 0.2μ 以上のものが日に3~4個で今回のものと

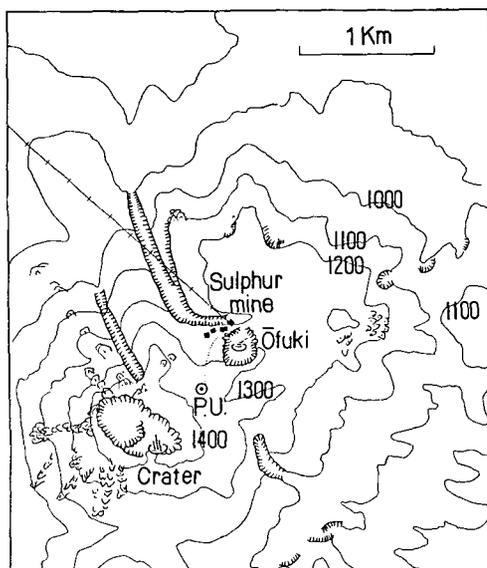


Fig. 6. Volcano Me-Akan. A pick-up is connected to the recording station set at the sulphur mine.

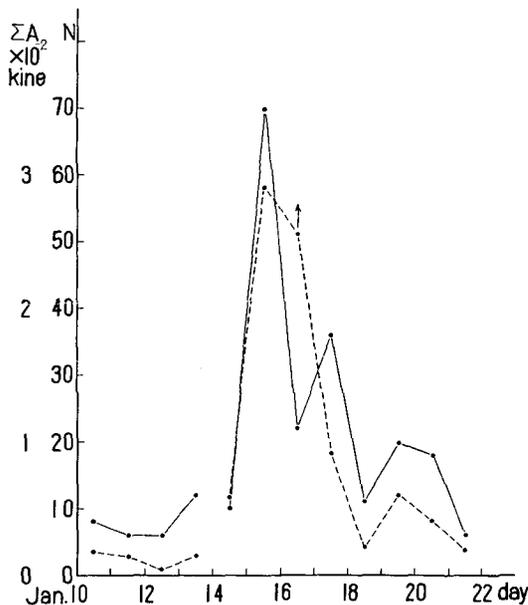


Fig. 7. Volcanic micro-earthquakes originating at Me-Akan observed during the time from 5 p.m. to the next 7 a.m. everyday. Solid line—N: Daily frequency. Broken line—A: Daily sum of maximum double velocity amplitudes.

1) MURASE, T., ONDA, I., SEINO, M., NOGOSHI, M.: Geophys. Bull. Hokkaido Univ. 7, (1960) 93.

大差なく、9月8日には26個となり9月15日から末日までは 0.5μ 以上のものが40個前後観測されている。また今回は微動の振幅はおよそ 0.02μ 以下であった。以上のことから、現在の雌阿寒岳は異常な活動状態ではないということになる。

次に震源のおよその距離を知るため、PS時の頻度分布(第8図)を見ると、ほとんどが1.0秒より短い所におさまる。このことから震源はそれほど深くはない。この傾向は1959年の爆発の時のものにも見られるが、分布の型に多少違いが見られる。

最大振幅の頻度分布については、読みとられた振幅は誤差を含むであろうから、running average の操作を行ない、最小二乗法により石本・飯田の係数をきめた。但し、そのとき第V節で述べるような理由で、振幅の小さな所での点は判断をあやませることになりがちなので、 2×10^{-4} kine までの値は除いて計算した。その結果 $m = 1.97 \pm 0.03$ となった(第9図(1))。

V. 石本・飯田の式についての一考察

(1) 級間隔のとり方

級間隔のとり方によって石本・飯田²⁾の係数 m が種々に変ることはすでに、神村³⁾、鈴木⁴⁾によって議論されている。神村によっては、このことは、Sturgesの公式によって解決がはかられている。また鈴木によっては、級間隔は適当にとられ、一つの級での数が10以下のものについてまわりのいくつかの級についての平均をとる、平滑化がなされた。筆者はこの稿にお

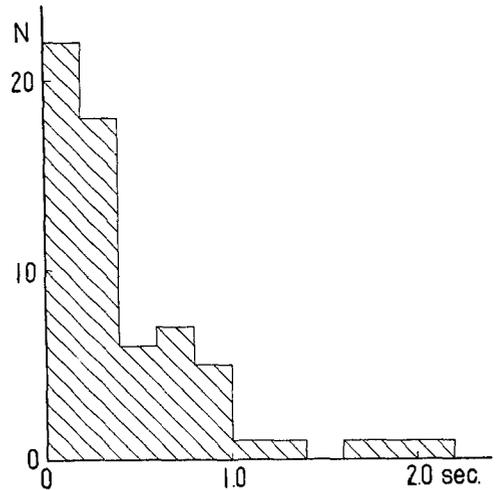


Fig. 8. Distribution of PS-time of volcanic micro-earthquakes observed at Me-Akan, during Jan. 10-22, 1962.

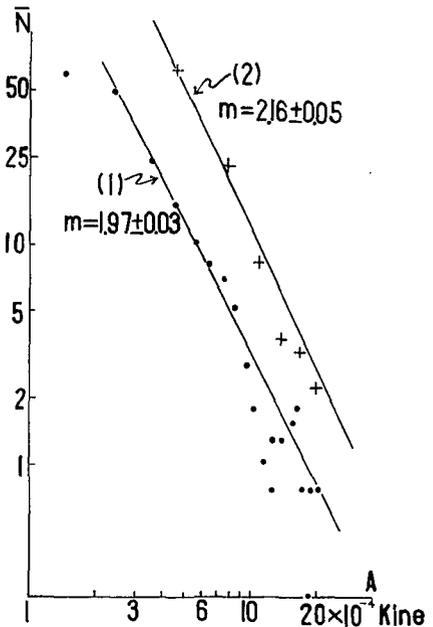


Fig. 9. Frequency distributions of velocity amplitudes of volcanic micro-earthquakes observed at Me-Akan. \bar{N} denotes $(N_{z-1} + 2N_z + N_{z+1})/4$. Class-intervals are 10^{-4} kine and 3×10^{-4} kine for distribution (1) and (2) respectively.

2) ISHIMOTO, M., HIDA, K.: B.E.R.I. **17** (1939) 443.
 3) KOMURA, S.: Zisin, Ser. 2, **7**, (1954) 145.
 4) SUZUKI, Z.: Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, **10**, (1958) 15.

いて、級間隔の2~3倍以下の振幅についての頻度は除いて、石本・飯田の係数 m を決定すべきであることを述べる。これは神村及び鈴木の実施した操作と矛盾するものではない。

石本と飯田²⁾によれば、ある地域である十分な期間をとると、地震の数と最大振幅との関係は、

$$N = k'A^{-m} \tag{1}$$

である。しかし、得られた頻度分布をそのままに解釈するならば、次の式によって表わされるべきものである。

$$N_{i+\frac{1}{2}} = k \left(\frac{A_i + A_{i+1}}{2} \right)^{-m} \tag{2}$$

ここで $N_{i+\frac{1}{2}}$ は、最大振幅が $A_i \leq A < A_{i+1}$ ($A_{i+1} - A_i = \epsilon = \text{const.}$) である地震の数。
 $A_{i+1} - A_i = \epsilon = \text{const.}$ より、 $A_i = \epsilon i$ だから (2) は次のように置ける。

$$N_{i+\frac{1}{2}} = k\epsilon^{-m} \left(\frac{2i+1}{2} \right)^{-m} \tag{2'}$$

今(2)式または(2')式が成立つものとして、級間隔を n 倍にとり、振幅が A_i と A_{i+1} との間であるような地震の数を $N_{i+\frac{1}{2}}$ とすると、

$$N_{i+\frac{1}{2}}' = \sum_{i=nl}^{nl+n-1} N_{i+\frac{1}{2}} = k\epsilon^{-m} \sum_{i=nl}^{nl+n-1} \left(\frac{2i+1}{2} \right)^{-m} = k\epsilon^{-m} \sum_{i=0}^{n-1} \left(nl+i+\frac{1}{2} \right)^{-m} \tag{3}$$

しかし、一般には、

$$N_{i+\frac{1}{2}}' \doteq nk(n\epsilon)^{-m} \left(\frac{2l+1}{2} \right)^{-m} \tag{4}$$

として用いられ、これは(2)または(2')式そのものである。 l が十分に大きいとき、すなわち振幅が充分大きい範囲についてのみは、(3)式は(4)式でも近似できるから、石本・飯田の係数 m は級間隔を変えても変わらない。試みに(3)式と(4)式との比をとって見ると次の表示を得る。

$$\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{nl+i+\frac{1}{2}}{nl+\frac{n}{2}} \right)^{-m} \tag{5}$$

ここで ϵ を限りなく小さくとり、 $n\epsilon$ を有限に、すなわち ϵ が小さくなるとともに n を限りなく大きくとると、(5)式は $n \rightarrow \infty$ なる極限をとることになるから、次の積分となり、これを $\alpha(m, l)$ とおく。

$$\alpha(m, l) = \int_0^1 \left(l + \frac{1}{2} \right)^m \left(l+x \right)^{-m} dx = \frac{1}{-m+1} \left(l + \frac{1}{2} \right)^m \left\{ \left(l+1 \right)^{-m+1} - l^{-m+1} \right\} \tag{6}$$

但し、 $l > 0$ 。これは $m=2, 3$ に対して次のような値となる。

	$l=1,$	2,	3,	4, ……
$m=2$	1.1250	1.0417	1.0208	1.0125 ……
$m=3$	1.3278	1.08507	1.0421	1.0252 ……

ここに見るごとく、振幅の小さい方でこの比は大きく、(2)式ではなく(1)式が成立しているものと仮定し、ある有限な級間隔にとつた頻度分布を両対数方眼紙上に目盛ると、直線とはならず、上に凸な曲線となることがわかる。このことを考慮せず、なお振幅の小さなものを有効とするならば、 m は大きめになって求められるはずである。

第 10 図に級間隔を単位にとり、 $m=2$ を仮定し、級間隔を 2 倍、3 倍にとつた時に頻度分布がどのように変わるかを示した。

那須による丹後地震の舞鶴、城崎等で行なわれた余震観測での、石本・飯田の係数 m が級間隔とともに単調増加の傾向にあることは(鈴木)⁹⁾、以上の考慮により説明され得る。

以上の結果、振幅が級間隔に対して 2~3 倍以下である範囲は、石本・飯田の係数 m を算出する際には除かれるべきであることがわかる。

雌阿寒で観測された地震について、級間隔を 10^{-4} kine として、これに対して 2 倍の振幅すなわち 2×10^{-4} kine 未満の地震を無視して計算すると、 $m = 1.97 \pm 0.03$ となる(第 9 図(1))。しかし級間隔を 3×10^{-4} kine にとると、 3×10^{-4} kine 未満を無視して、 $m = 2.16 \pm 0.05$ となった(第 9 図(2))。級間隔が 10^{-4} kine である場合には、 $l \geq 2$ であるから α の値はそれほど大きくなく、先に述べたことを考慮しても、 m の値はほとんど変りないものと思われる。これに対して、級間隔が 3×10^{-4} kine である場合は、 $l \geq 1$ であるから先に述べたことを考慮しなくてはなるまい。振幅が 6×10^{-4} kine 未満のものを除くとよいのであるが、このように数の少いときには、このことは致命的である。よって $m=2$ であることを仮定して、(6)式により得られる α の値で、各出現頻度を除して、 m の値を求めた。そうすると $m = 2.03 \pm 0.08$ となり(第 11 図)、この値は第 9 図(1)とほとんど一致する。しかしいつもこのように都合のよい結果が得られるとはかぎらない。

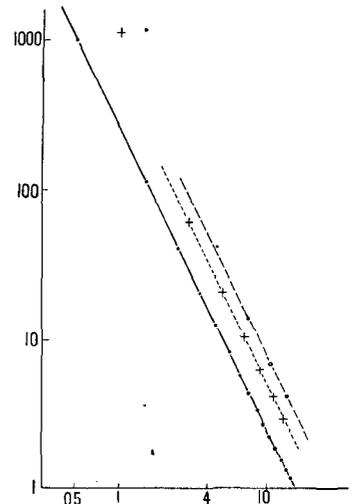


Fig. 10. Dependency of distribution curve upon the class-intervals. Solid circle: Original distribution provided that $N_g = 250 A_g^{-2}$ and class-interval is unit. Cross: Class-interval is twice. Open circle: Class-interval is three times.

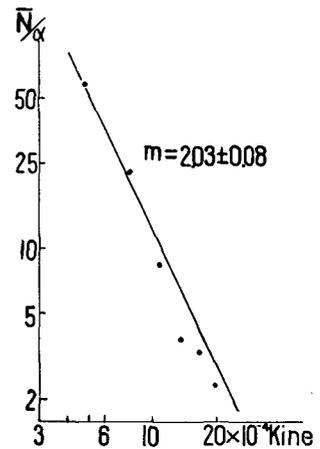


Fig. 11. Modification of distribution (2) in Fig. 9 considering ratio $\alpha (m, l)$.

多少の例外は点のバラツキ方によっても現れる。

以上に述べた理由のほか、記象読み取りの際に地震として読み得るものは、小さい振幅について限度があることも考慮するならば、振幅の小さい方については、 m の算出の際には除外すべきである。

(2) 累積頻度分布により m を定めること

累積頻度分布によって m を求めることがあるが、このことについて次に考察する。(1) 式の振幅 A について ∞ から A_i までの累積をとると、

$$\sum_{j=\infty}^i N_{j+\frac{1}{2}} = k \sum_{j=\infty}^i \left(\frac{A_j + A_{j+1}}{2} \right)^{-m} = \frac{k}{-m+1} \left(\frac{A_i + A_{i+1}}{2} \right)^{-m+1} \quad (7)$$

しかし実際の観測では無限大からの累積をとることは不可能であり、最低の出現頻度に対応する振幅 A_r を限度として累積をとらねばならない。しかるに、

$$\sum_{j=r}^i N_j = \sum_{j=\infty}^i N_j - \sum_{j=\infty}^r N_j = \frac{k}{-m+1} \left\{ \left(\frac{A_i + A_{i+1}}{2} \right)^{-m+1} - \left(\frac{A_r + A_{r+1}}{2} \right)^{-m+1} \right\} \quad (8)$$

であり、更に長い期間観測すると、 A_r より大きな振幅を示す地震が起る可能性があるのだから上式右辺の第2項は必ずしも零ではない。もし、もとの頻度分布が石本・飯田の式で表わせるものとする、累積頻分布図は両対数方眼紙上で、上に凸な曲線となる。すなわち一般には(8)式を(7)式で近似することはできない。近似できる範囲は、 $(A_i + A_{i+1})^{-m+1}$ に比して $(A_r + A_{r+1})^{-m+1}$ が無視できる、すなわち A_i が A_r より非常に小さい範囲でなければならない。

例えば、第9図(1)を累積頻度分布図に描きなおして見ると、第12図のようになるが、勾配は -1.30 すなわち $m=2.30$ という大きな値を示す。

この方法で m を決定しようとするときには、(8)式での k と m とを近似的な k_0 と m_0 とで置換えた $\frac{k_0}{-m_0+1} \left(\frac{A_r + A_{r+1}}{2} \right)^{-m_0+1}$ を観測された頻度に加えて補正しなければならない。

VI. 結 言

(1) 駒ヶ岳では火山性地震と見分けられるものは少かった。鉄道による擾乱が大きかったので、換振器を更に火口へ近づけ、すなわち鉄道より遠ざけて今一度の観測を実施したい。

(2) 樽前山では 0.2μ 以上の火山性地震が日に平均 2~3 回観測され、PS 時の分布は 0~4 秒の間に

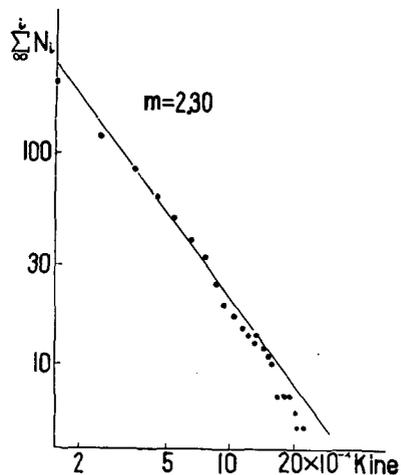


Fig. 12. Cumulative frequency distribution of velocity amplitudes of volcanic micro-earthquakes at Me-Akan during Jan. 10-22, 1962.

ある。

モーラップでの56型地震計によって観測された火山性地震は、振幅が小さいので必ずしも信頼しがたい。

(3) 雌阿寒岳では 0.2μ 以上の火山性地震は日に平均3~4回観測された。PS時分布は0~1秒内に大部分がある。石本・飯田の係数はほぼ2.0程度である。

(4) 石本・飯田の式においてその係数 m を求める際に2つの問題がある。

1つは頻度分布をとる際の振幅の級間隔のとり方である。級間隔を種々にとると、 m はそれに従って変る。すなわち、級間隔を大きくとるに従って m は一般に大きくなる。これは振幅の小さい部分で級間隔の変化によつての頻度の変動が著しく大きいためである。級間隔のとり方によつて変らない m を求めるには、級間隔に対して2~3倍以下の振幅に対しての出現頻度を無視しなくてはならない。

いま一つは累積頻度分布によつて、 m を求めることであるが、この方法を適用する場合には(8)式で $\{(A_r + A_{r+1})/2\}^{-m+1}$ が無視できるような、すなわち最低の出現頻度に対応する振幅 A_r に比して小さい振幅の範囲に対してのみ適用され得るものである。

最後に、終始有益な助言と励ましを下さった松沢教授、横山助教授をはじめ北大地球物理学教室の皆様へ感謝致します。また貴重な資料をいただいた札幌管区気象台へ感謝致します。観測にあつての阿寒硫黄鉱業株式会社、樽前山ヒュッテ、並びに大沼湖畔の藤山悟氏の御協力なくしては、この稿はあり得ませんでした。

7. Seismometrical Observations at Three Volcanoes in Hokkaido, Japan

By Takashi ABE

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

At some volcanoes in Hokkaido, seismometrical observations or other geophysical studies have been made, only when they manifested abnormal activities. The author carried out observations as a basis for future studies of volcanic earthquakes on these volcanoes.

In addition, the author examines two problems about the statistical law concerning earthquake occurrence found by Ishimoto and Iida²⁾.

The conclusions of this paper are summarized as follows:—

(1) At Volcano Komagatake few volcanic earthquakes were observed. Around the volcano, microtremors due to trains disturb the observation, so we must make efforts to get rid of them in future observations.

(2) At Volcano Tarumai were observed two or three volcanic earthquakes larger than 0.2μ in amplitude per day. Their PS-durations ranged from 0 to 4 seconds. Supposed volcanic earthquakes registered by the 56-type seismograph at Morap on the Lake Shikotsu, do not always correspond to real volcanic ones.

(3) At Volcano Me-Akan were observed three or four volcanic earthquakes larger than 0.2μ in amplitude per day. Most of their PS-durations were shorter than 1.0 second.

(4) The writer makes remarks on two points concerning the statistical law of earthquake occurrence by Ishimoto and Iida. One of them is related to the class-interval of amplitude. The coefficient m in eq. (2) depends on it; The larger the class-interval is taken, the larger becomes m . This is due to the effect that variation of frequency is very sensitive for variation of the class-interval, especially for the range of small amplitudes. In order to get the m -value which is independent on the class-interval, we must neglect the observed frequency for the range of smaller amplitudes than two or three times as large as the class-interval.

Another point is that the cumulative frequency distribution is not always suitable to determine the m -value. It holds good only for a narrow range of amplitudes, which are very small in comparison with A_c in eq. (8) for minimum frequency.

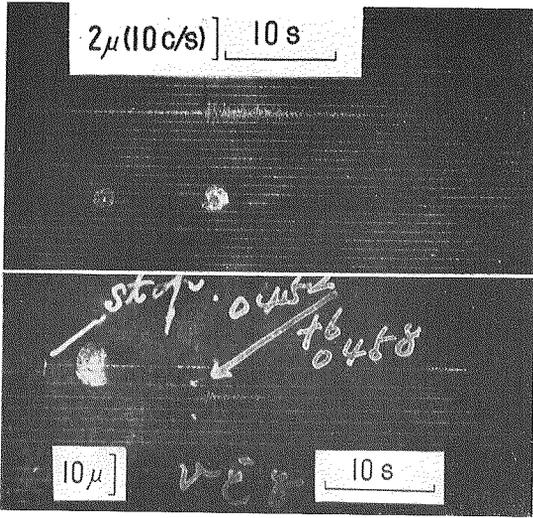


Photo. 1. Examples of Seismograms obtained at Tarumai (upper) and Morap (lower) about 5 a.m., Nov. 2, 1961.

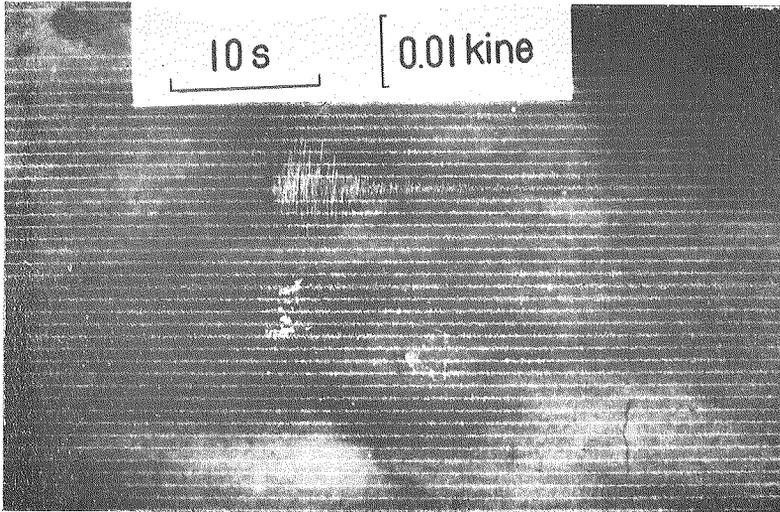


Photo. 2. Example of Seismogram obtained at Tarumai about 4 p.m., Nov. 2, 1961.

Photo. 3. Example of Seismogram obtained at Me-Akan about 5 a.m., Jan. 16, 1962.

