

# 那須山付近の地震と火山活動\*

田 中 康 裕\*\*

551.21

## Earthquakes near and Volcanic Activities of Volcano Nasusan

Y. Tanaka

(Seismological Section, J. M. A.)

Nasusan (1917m, 37.1°N, 140.0°E), an active volcano in central Japan, erupted many times in historical ages, and now, fairly strong fuming activity is observed at the vents near the summit.

To the northwest of the volcano, there is an earthquake region with area of about  $30 \times 10^3$  km<sup>2</sup>. The depth of hypocentres of earthquakes occurring in this region is ranged from about 40km to about 0km. The depth becomes shallower towards Volcano Nasusan (Fig. 4). It seems that a magma reservoir lays in this region. When many earthquakes take place in this earthquake region, the volcano erupts within a few month (Fig. 5).

On the other hand, great many volcanic small earthquakes were recorded after the Oct., 1960 eruption by a seismograph set at the Nasusan Seismograph Station (1.5km from the active vents). The origin of these earthquakes seems to occur at very shallow depth in the volcano. Since the 2nd decade of Jan., 1961, these earthquakes faded away.

### § 1. ま え が き

火山の付近で起こる地震は、火山の表面活動に、直接あるいは間接に何らかの影響をおよぼしているに違いない。火山体のごく浅い所で群発する火山性地震が、ときに火山爆発を誘起することもあり<sup>1)</sup>、また、外国の例では、火山体の地下50~60km ぐらいの深さの地震でも、火山爆発の前兆となったことがある<sup>2)</sup>。日本の場合、こうした深い地震と火山の表面活動とのつながりはあまり論ぜられたものがなく、火山性地震の調査は、おのずから浅い地震が対象になってきた。しかし、日本の火山帯付近には相当広い地域にわたって、0~30km ぐらいの深さの地震が起こる所が見受けられるので<sup>3)</sup>、こうしたやや深い地震(火山体内でおこる数百mの深さの火山性地震にくらべて)が、はたして、火山の表面活動に影響しているかどうかについて調べる必要がある。

この調査では、那須山を対象にして、火山周辺のやや深い地震、および火山体内で起こった浅い地震について述べ、これらの地震と同火山の噴火とを関係づけた。

### § 2. 那須山周辺の地震

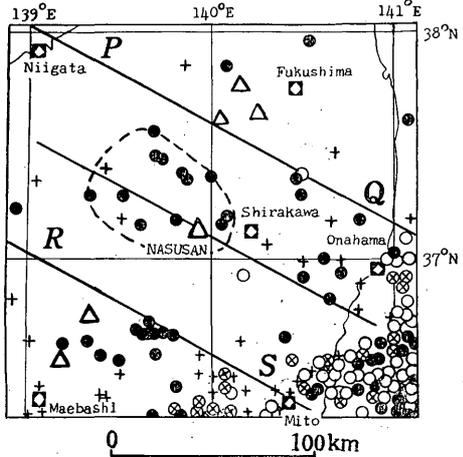
1926~56年に那須山周辺で起こった地震の分布をみると<sup>4)</sup>、この付近には深さ20km 以内の浅い地震が起こり、ことに、那須山の西ないし北西部の山岳地帯に多い(Fig. 1, 2)。この地帯は那須火山帯南部にあたり、いくつかの火山が分布している(Fig. 1)。中でも那須山は、有史時代に噴火の記録を持ち、近年においても、活動ひん度がわりあい多い活火山である。

那須山に最も近い測候所は白河(那須山の東20km)である。ここでは、ときどき局発地震を記録することがある。この地震は白河だけで記録されるものが多いので(P~S 時間は、わからないものが多い。いくつかのわったものについてみると、1秒前後から10秒前後のものまであり、かなり広い範囲で起こっていると推定される)、まず、この地震が何処で起こっているかを推定しておく必要がある。

いま、2つの測候所をそれぞれ P, Q とし、各々の地震計の性能を夫々  $p, q$  とする。任意の点で地震が起こったとして、その震央 X から P および Q までの距離をそれぞれ  $a, b$  とする。P, Q で記録される地震の大きさ(振幅)をそれぞれ  $A_1, A_2$  としたとき、振幅は地震計の

\* Received July 7, 1962.

\*\* 気象庁地震課



- focal depth 0~20 km
- 20~40 km
- ⊗ 40~60 km
- + >60 km
- ◻ weather station
- △ volcano which had erupted in historical times

Fig. 1 Distribution of the epicentres of major earthquakes, during the period from 1926 through 1956. Shallow focus earthquakes in the area surrounded by a broken line have some connection with surface volcanic activities of Nasusan.

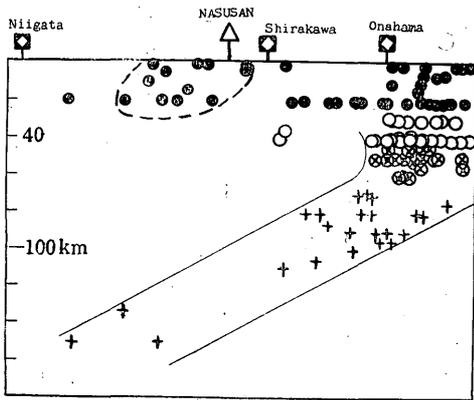


Fig. 2 Vertical distribution of the hypocentres of the earthquakes in the area surrounded by lines PQ and RS shown in Fig. 1.

性能に比例し、震央距離の二乗に反比例して減衰するとすれば

$$A_1 = k \frac{p}{a^2},$$

$$A_2 = k \frac{q}{b^2}$$

ただし、 $k$  は常数である。

2つの測候所で同時に記録される最小限の地震の大きさは、両測候所で同じ大きさの振幅（読み取り可能な最小限の振幅の地震）になると考えられるので、そのような地震の場合には

$$A_1 = A_2,$$

$$\therefore \frac{p}{a^2} = \frac{q}{b^2},$$

$$\therefore \frac{a}{b} = \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{q}}$$

このようなX点は Apollonius の軌跡であるから、P Q を  $\sqrt{p} : \sqrt{q}$  に分つ内分点および外分点を結ぶ線分を直径とする円周である。すなわち、この円で分けられた2つの領域が、どちらか一方の測候所だけで記録される小地震の起こった地域になる。

さて、気象官署においては、標準地震計として、直視式電磁地震計、ウイヘルト式地震計、普通地震計、簡単微動計などが用いられてきたが、これらの地震計の標準常数は大略 Table 1 のようである。そして、各官署とも、この標準常数に近い常数值で地震計を作動してきたが、いづれの地震計も近地地震に対しては変位計として動作し、 $r, v$  などについてはほぼ満足した常数だから、地震計の性能は倍率だけに関係すると考え、性能を倍率におきかえると、普通地震計（または、簡単微動計）は直視式電磁地震計（または、ウイヘルト式地震計）のほぼ半分の性能を持っていることになる。

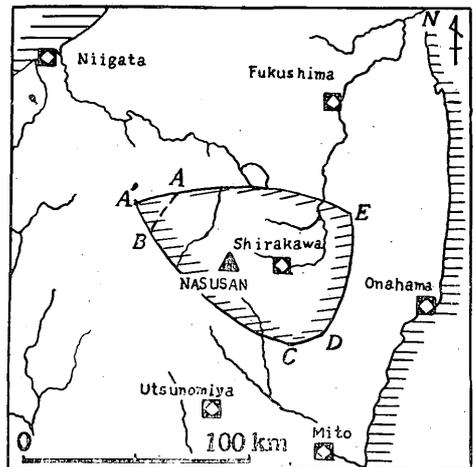


Fig. 3 The area A'CDE or ABCDE is the region of small earthquakes recorded only at Shirakawa, determined from the efficiency of seismographs of the weather stations shown in this map.

Table 1. The standard constants of seismographs, used by weather stations of the Japan Meteorological Agency.

Seismograph	V	T <sub>0</sub>	r	v (or h)
Electromagnetic seismograph with visible recorder	100	T <sub>1</sub> =5 <sup>sec</sup> T <sub>2</sub> =0.07	mm —	h <sub>1</sub> =0.6 h <sub>2</sub> =0.5
Wiechert's seismograph	70~80	5.0±0.2	<0.8	6~8
Portable seismograph (Futsū-jishinkei)	40	3~4	<0.8	3
Portable seismograph (Kantan-bidōkei)	40	4~6	<0.3	4~6

V: magnification T<sub>0</sub>: period r: friction v: damping ratio T<sub>1</sub>: period of seismometer  
T<sub>2</sub>: period of galvanometer h<sub>1</sub>: damping constant of seismometer h<sub>2</sub>: damping constant of galvanometer

Table 2. Weather stations equipped with seismograph and located around the volcano Nasusan.

Station	Distance from Shirakawa Weather Station	Seismographs
Shirakawa	km 0	PK: (~Jun. 1960) PF: (Jun. 1960~)
Onahama	64	W: (~Jan. 1960) E: (Jan. 1960~)
Utsunomiya	70	W
Fukushima	74	W: (~Jan. 1960) E: (Jan. 1960~)
Mito	84	W: (~Jan. 1960) E: (Jan. 1960~)
Niigata	136	PK: (~Nov. 1951) W: (Nov. 1951~Apr. 1958) PF: (Apr. 1958~)

E: Electromagnetic seismograph with visible recorder W: Wiechert's seismograph  
PF: Portable seismograph (Futsū-jishinkei) PK: Portable seismograph (Kantan-bidōkei)

そこで、前者の性能を  $p(=1)$ 、後者の性能を  $q(=2)$  とすると

$$\frac{a}{b} = \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{q}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

白河および白河のまわりの官署の位置および地震計の状態を考慮して (Table 2), 白河だけで記録される小地震のおこった地域を作図すると Fig. 3 の A/CDE で囲まれた地域になる。また、この範囲で浅発地震が起こったと仮定して、白河における P~S 時間を逆算すると、

0~10 秒ぐらいになり、先に述べた白河で実測したものとよく一致する。なお、Fig. 3 の ABCDE は、新潟でワイヘルト式地震計を使用した期間があるので、その期間だけ地震計の性能があがったとして作図した地域である。

さて、Fig. 1 で、那須山付近で起こった地震の震央域 (Fig. 1 の点線でかこんだ地域) と、Fig. 3 の A/CDE で囲んだ地域とを比べると、両者の地域はほぼ一致している。白河だけで記録される震源のわからない局発

地震も、これらの地域内で起こっているものと考えられる。以下、この地域におこる浅発地震の震源域を、とくに限定して、「那須山付近の地震帯」と呼ぶ。

§ 3. 那須山付近の地震帯の地震ひん度と火山活動

白河測候所が地震観測を始めたのは1941年9月で、以来、那須山付近の地震の観測がほほうまくできるようになった。そこで、1942年以後の資料について、とくに詳しく調べた。

1926~56年に那須山付近の地震帯で起こったおもな地震、および、1942~61年に同地域に起こって、震源が明らかな地震の震源の水平および垂直分布を Fig. 4 に示した。震源是那須山北西部で深く(20~40km)、那須山に近づくと浅くなる傾向がある。

また、1942~61年の那須山付近の地震帯内の地震(白

河だけで観測した局発地震も含む)の年別ひん度は Fig. 5 のようであった。この期間に那須山は次のような噴火をした<sup>5)</sup>。

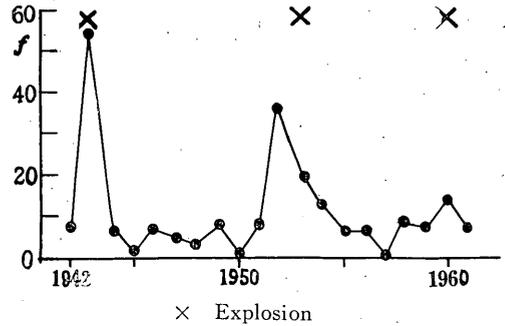


Fig. 5 Distribution of yearly frequency (f) of earthquakes near Nasusan. Volcanic explosion of Nasusan took place near the local maximum of earthquakes.

- 1943年12月6, 10日: 黒灰色煙を噴出。
- 1953年10月24, 29日: 小爆發。西側山腹の噴氣地帯に小火孔新生(山頂の西約200m)。火孔の南約6kmの新那須部落まで少量の降灰。
- 1960年10月10日ごろ: 小爆發。北西山腹の噴氣地帯に直径2~3mの火孔新生(1953年に爆發した火孔の北約50m)。火孔付近には人頭大の噴石を飛ばし、火孔の北800mまで少量の降灰。以後数日間小活動続く。

Fig. 5 において、地震回数の極大が現われたときが3回あり、その時期は上記の噴火活動に大体合致する。このことは、那須山付近の地震帯が、火山の表面活動ないしは火山体と何らかのつながりを持っていることの一つの証明になるものと考えられる。

さらに、地震回数の極大値が現われた年について、月別の地震回数を調べてみると (Table 3)、地震活動は噴火にいくらかづつ先行していた。すなわち、1943年の場合には約4か月、1953年には約18か月または約3か月、1960年は10月3日に6回の地震が群発しており、これは噴火の約1週間前に当たる。ただし、地震の群発度の大小、地震の大小、あるいは、地震の群発期と噴火との時間的づれの長短が、噴火の大小に関係しているかどうかは、今のところわからない。

ここで、特記すべきことは、第1回目の地震回数の極大が現われた年には、この地震帯内で「田島地震」(1943年8月12日)が起こったことである。同地震はがけくずれ、壁のはく落などの小被害を出したもので(マグニ

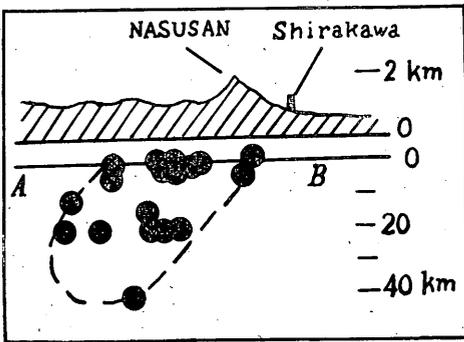
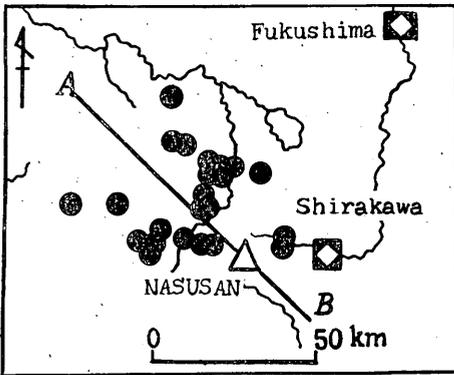


Fig. 4 Upper diagram: Distribution of the epicentres of major earthquakes (1926~1956) and other earthquakes whose hypocentres were determined (1942-1961) near the volcano Nasusan. Lower diagram: Vertical distribution of the hypocentres of the same earthquakes as shown in the upper diagram. The hypocentres become shallower towards Nasusan.

Table 3. Monthly number of earthquakes in the earthquake region near Nasuan.

Month Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
	1943	3	2	1	2	0	6	0	Ⓞ	1	0	0
1952	0	2	1	Ⓢ	6	5	0	2	2	4	1	1
1953	0	1	0	0	2	3	⑦	2	1	1×	0	2
1960	1	0	0	0	1	0	0	0	1	⑨×	0	0

○ indicates maximum number in the year    × indicates the month of eruption

チュード: 6.1)<sup>9)</sup>, 同年内に約 40 回の余震が観測された<sup>7)</sup>. この余震回数を除いても, この年の地震回数は平年よりやや多いのであって, 極大値が現われていることに変わりはない.

一方, 過去の記録によれば<sup>9)</sup>, 1611 年 (慶長 16), 1648~51 年 (慶安年中), 1659 年 (万治 2), 1683 年 (天和 3), 1821 年 (文政 4) にも被害を出した地震が, この付近で起こった. これらの地震に関連して, 那須山の表面活動に変動が現われたかどうかはわからない. しかし, 震災予防調査会報告によれば<sup>9)</sup>, 「那須山は 1846 年 (弘化 3) の爆発以来, 噴煙が絶えなくなり, 有名な活火山となった」むね記されており, このころから那須山の活動型体が変わってきたとも考えられる. ちなみに, 那須山は, 前記した 1943 年の噴火以前には, 1397 年 (応永 4), 1408 年 (応永 15), 1410 年 (応永 17), 1846 年 (弘化 3), 1881 年 (明治 14) に爆発の記録が残されているが<sup>10)</sup>, あまり古いので, その時の小地震の詳細は知るよしもない.

§ 4. 那須山体内の小地震

1960 年の噴火後, 那須山の中腹 (那須鉱業所, 37°08' N, 139°59'E, 山頂の東北東 1.3km, 活動火孔からの距離 1.5km) で, 宇都宮地方气象台により, 56 型高倍率地震計 (常数:  $V=320$ ,  $T_0=1.0\text{sec}$ ,  $r=0.12\text{mm}$ ,  $v=7$ , E-W component) を用いて, 火山性地震の観測が始められた. 同年の爆発は 10 月 10 日ごろで, 地震観測が始められたのが 11 月 29 日である.

爆発後 1 か月余を過ぎていたが, 小地震がたくさん起こっていた. 地震は振幅が数  $\mu$  以下の非常に小さなもので, 白河はもとより, どの気象官署の地震計にも記録されなかった. とときき欠測したり, 地震計が不調のときがあったが, それでも次のような顕著な群発地震が観測された. カッコ内の数字は地震回数である.

1960 年 12 月 10~11 日 (150 回以上), 13~14 日 (110

回以上), 19 日 (260 回以上).

1961 年 1 月 4~6 日 (700 回以上).

しかも, この群発期以外には, 火山性地震がほとんどおこっておらず, とくに, 1961 年 1 月中旬以後は地震が極度に減った. Fig. 6 は観測された火山性地震の日別ひん度である. 石本・飯田の統計による地震の振幅  $A$  とひん度  $N$  との間には, いずれの群発期においても  $NA^{3.2}=\text{const.}$

が成り立った (Fig. 7). これは, 震源が非常に浅い地震として考えられる式である.

また, 1960 年 11 月 29 日~12 月 24 日の地震について,  $P-S$  時間のひん度は, 0.3~1.0 秒が多く, 0.5 秒に最

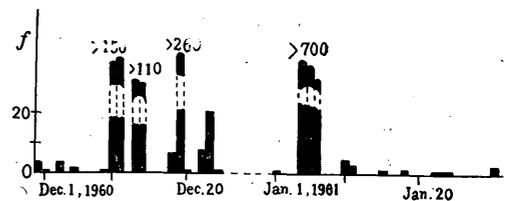


Fig. 6 Distribution of daily frequency ( $f$ ) of volcanic small earthquakes observed at the Nasuan Seismograph Station, 1.5 km from the active vent.

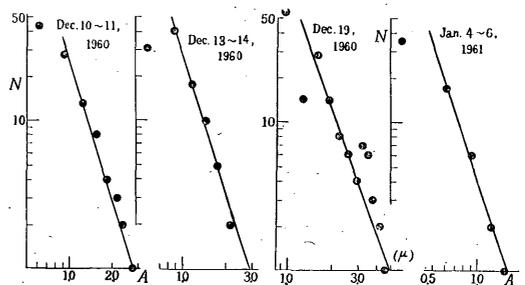


Fig. 7 Relation between frequency of volcanic small earthquakes ( $N$ ) and maximum amplitude ( $A$ ) in  $\mu$ , observed at the Nasuan Seismograph Station.  $NA^{3.2}=\text{const.}$

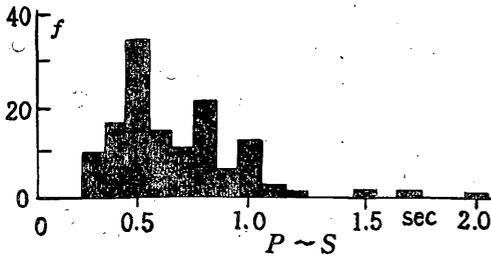


Fig. 8 Frequency distribution of  $P\sim S$  of volcanic small earthquakes, observed at the Nasusan Seismograph Station. (Nov. 29 ~ Dec. 24, 1960)

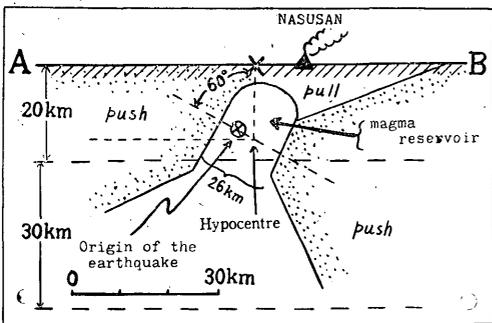
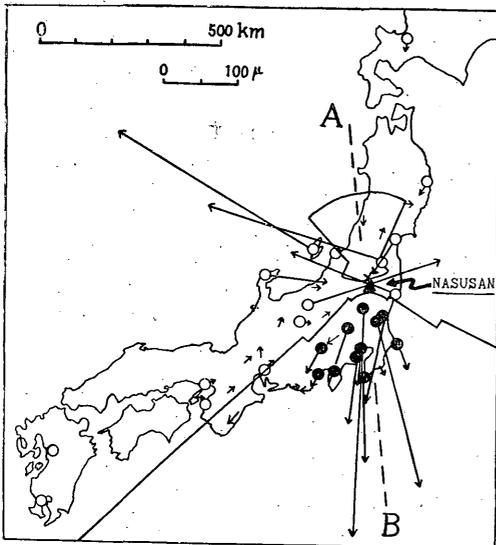


Fig. 9 Distribution of directions of initial motions (●: pull, ○: push) and inner structure in the earth near the volcano Nasusan, calculated by the earthquake of Aug. 12, 1943, (after Dr. Takagi)

大がある (Fig. 8). 震源が非常に浅いとして、大森係数を 2~3 くらいと考えると、震源は 1~2 km くらいしか離れておらず、これは、ほぼ火口までの距離にあたる。

§ 5 那須山付近の地震帯でおこる地震の発震機構 (とくに田島地震について)

気象官署で地震観測が始められてから、那須山付近の地震帯でおこった最大の地震は田島地震 (発震時: 1943 年 8 月 12 日 13 時 50 分, 震央: 37.3°N, 139.8°E, 深さ: 15km) であった。この地震の発震機構については、高木博士<sup>11)</sup>によって、くわしく調べられた (Fig. 9)。すなわち、震源域は 26km, 初動分布は非対称押円錐型で、初動分布の主軸が鉛直と 60° 北へ傾いている。田島付近の 15km ぐらいの深さの所に、直径 26km ぐらいの magma reservoir があり、それは初動分布の傾き 60° からちょうど那須火山の方へ延び上っているというのである。これを Fig. 4 と比較すると、地震の起こっている領域が、上記の magma reservoir の形とよく似ている。この magma reservoir が深さ約 20km より上部にあるとして、その体積を推算すると約  $10 \times 10^8 \text{ km}^3$  となる。また、Fig. 4 から求められる震源域の体積は約  $30 \times 10^8 \text{ km}^3$  で、これは magma reservoir の体積の約 3 倍にあたる。すなわち、地震は多くのものが magma reservoir の外で起こっていることになる。また、震源域は約 45~60° の傾きを以て那須火山の方へ延び上っていて、magma reservoir の傾きとよく似ている。

この田島地震は magma reservoir の中で起こったと考えられるが、その原因について、上記高木博士は「岩しょう爆発」説を取っておられることを付記しておこう。地震が起こる場所が magma reservoir の内か外かによって、その発震機構に差が現われるかもわからないが、この付近の地震は一般に小さいので、明瞭な初動分布が求められないのが残念である。上記田島地震の余震では、資料不足ではあるが、本震とよく似ているものもあり、また、象現型としても説明が付きそうなものもあった (Fig. 10)。

§ 6. む す び

地下 20km 付近は、magma が生成されたり、magma reservoir が存在してもよい深さであって、こうした所の地震は、火山活動と密接な関係を持つはずである。

那須山の場合、こうしたやや深い地震源に magma reservoir があり、那須山の方に延び上っていて、火

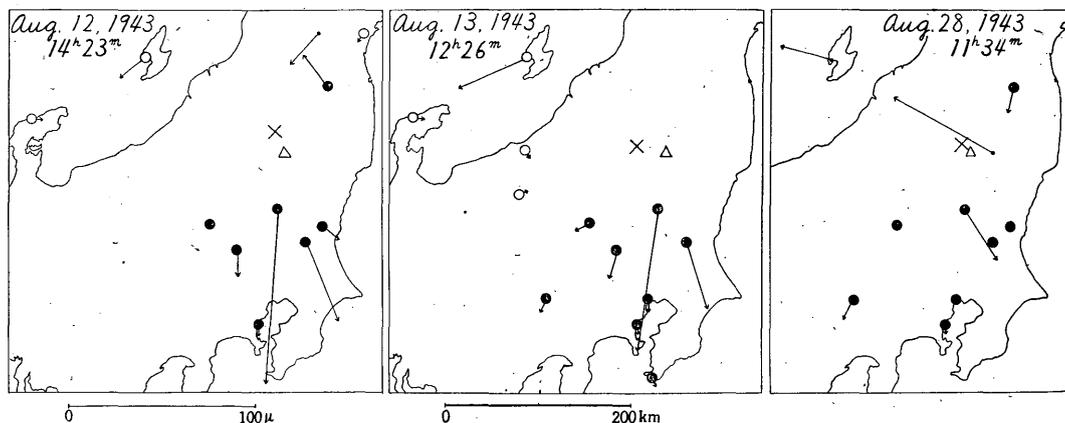


Fig. 10 Distribution of directions of initial motions of the aftershocks of the earthquake of Aug. 12, 1943. ● : pull, ○ : push, • : unknown

山の活動源になっている。さらに、火山体内の浅い所(多分、火口付近)に噴火に直接関係のある活動源があり、ここでは噴火に直接関係の深い小地震がたくさん起っている模様である。

参 考 文 献

1) たとえば

a) 水上武・佐久間修三・茂木清夫・平賀士郎：噴火と火山に発生する地震との研究(第3報), 火山2集, 4 (1960), 133~151.

b) Kizawa T. : A Study of Earthquakes in Relation to Volcanic Activity (III), *Pap. Met. Geophys.*, 11 (1960), 30~96.

c) 安井豊・東谷幸男・野田義男・利光貞夫：昭和30年10月13日以降の桜島火山爆發とA型地震の関係について, 験震時報, 25 (1960), 25~28.

2) たとえば

a) J. P. Eaton and K. J. Murata : How Volcanoes Grow, *Science*, 132 (1960), 925~938.

b) D. H. Richter and J. P. Eaton : The Eruption of Kilauea Volcano, *The*

*New Scientist*, 7 (1960), 994~997.

c) G. S. Gorshkov : Gigantic Eruption of the Volcano Bezymianny, *Bull. Volcan., Sér. II*, 20 (1959), 77~109.

d) 根本忠寛 : Bezymianny 火山の大噴火, 地学雑誌, 71 (1962), 31~33.

3) 気象庁 : 日本付近の主要地震の表 (1926年~1956年), 地震月報別冊1, (1958). 9~10.

4) 3) と同じ.

5) 中央气象台 (気象庁) : 気象要覧および地震月報.

6) 気象庁 : 日本付近の主要地震の表, 地震月報別冊1, (1958), 53.

7) 中央气象台 : 気象要覧 (1943) に余震と記されているものだけについての回数.

8) 武者金吉 : 今市地震と鬼怒川地震帯, 験震時報, 15 (1951), 61~64.

9) 震災予防調査会 : 震災予防調査会報告, 86 (1918).

10) 9) と同じ.

11) a) 高木聖 : 地震学 (III), 気象庁研修所 (1958), 197~200.

b) 高木聖 : 震源 (第14報), 験震時報, 19 (1955), 71~75.