HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	6. 雌阿寒岳の噴気孔の微動
Author(s)	野越, 三雄; 本谷, 義信
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 10, 77-87
Issue Date	1963-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.10.77
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13849
Type	departmental bulletin paper
File Information	10_p77-87.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

6. 雌阿寒岳の噴気孔の微動

野越三雄*・本谷義信
(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

前回の報告[1]においては火山の一つのモデルとして間歇泉をとり上げた。今回は更により火山に近いモデルとして水蒸気(又は硫気ガス)を噴き上げている噴気孔をとり上げて，そこで発生する地表の微動を観測した。間歇泉の噴泉に伴う微動が間歇的に発生しているのに対して，噴気孔の噴気に伴う微動は連続的に発生していると考えられ，このことは火山性微動が連続的であることと良く似ている。火山性微動を観測する際に前回の報告でも述べたように，微動発生の機構を考えるためには出来る限り発生源に近づくことが望ましいが，雌阿寒岳の噴気孔の一つではその噴気活動がかなりはげしいにもかかわらず，噴き口のすぐそばまで近づき得るのでこれを研究の対象とした。

II. 「大噴き」の位置，状況及び観測方法

雌阿寒岳「大噴き」は雌阿寒岳火口より北東約1kmの所にあって，砕屑岩流を噴出した直径1.1kmの広い爆裂火口の中にある高さ約5m，半径約25mの円頂丘の噴気孔である(第1図)。ただしこの西側の部分は硫黄採集のため約10m掘り下げてあるので，ここから噴き口迄は高さ約15mである(写真1)。地震計は南側の高い部分に置いた(写真2)。ここは現在，雌阿寒岳の火口に匹敵して噴気活動の最もはげしい所で，その噴き口は長軸約7m，短軸約4mの楕円形をなしている。写真で見られる如く，その外形はあたかも一つの火山のようであり，側面からも水蒸気(又は硫気ガス)の噴き出しがあって特に南西部ではそれがはげしい。雌阿寒岳火口が爆発しても大噴きには異常はみられず，時折灰を吹き飛ばすことがある。

観測に使用した地震計，増幅器，オッシログラフは鬼首間歇泉で用いたものと同じものであり，その総合周波数特性は2～10 c/sの範囲で平らである[2]。

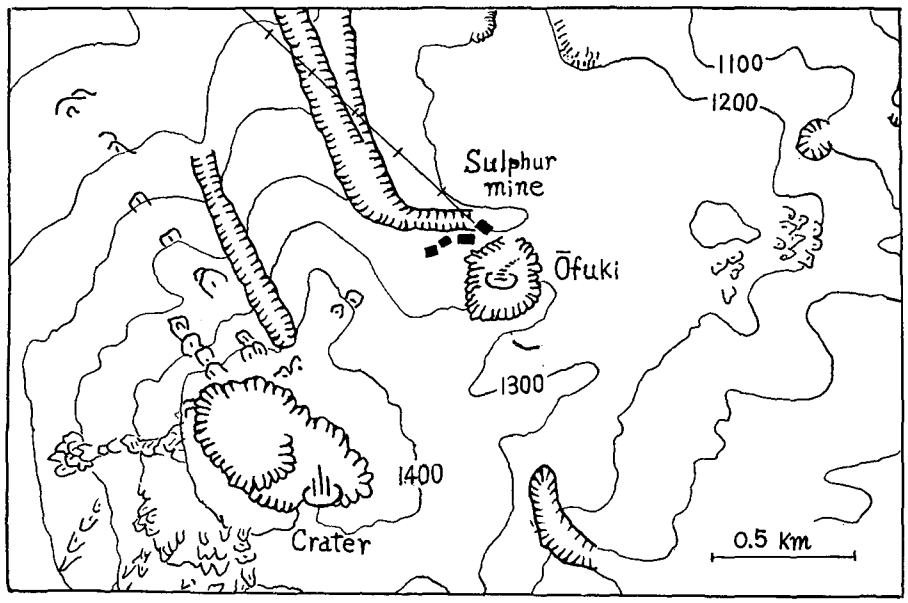
まず波の性質及び擾乱源の位置を推定するために，地震計を一直線に並べて噴き口から約12mの所をA，この点より4mおきにB, C, Dとした。さらに微動の伝播の方向及び速度を知るために，B, C, Eで三点観測網を形成した(第5図参照)。

---

* 現在秋田大学学芸学部

1) 野越三雄・本谷義信：鬼首間歇泉の微動，北大地球物理学研究報告 **9** (昭和37年) 67.

2) 前出 1)



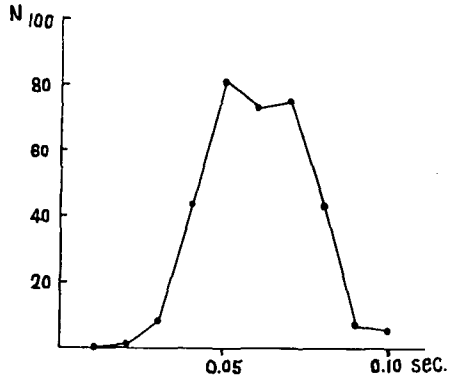
第 1 図 「大噴き」附近の地形図

Fig. 1. Topographical map near the Ōfuki fumarole.

III. 微動の周期と波の性質

観測点 A で観測された微動の周期別頻度は第 2 図のようになり 0.05～0.07 sec. にピークが存在し，この卓越周期は鬼首間歇泉における噴泉時の微動の周期とよく一致している。

雌阿寒岳附近の微動については，佐久間[3]の報告によると 0.2 sec. 以上の波が観測されているし，我々が雌阿寒岳火口と大噴きを結ぶ中間の地点で行った三点観測によると，火口方向から伝播して来る波と同時に大噴き方向から伝播して来る波の存在することも明らかにされた。そこで 0.2 sec. 程度の波に注目するため 3 秒間の記録を 1/100 秒間隔で区切って友田の方法により，自己相関係数を求めてコレログラムを作る

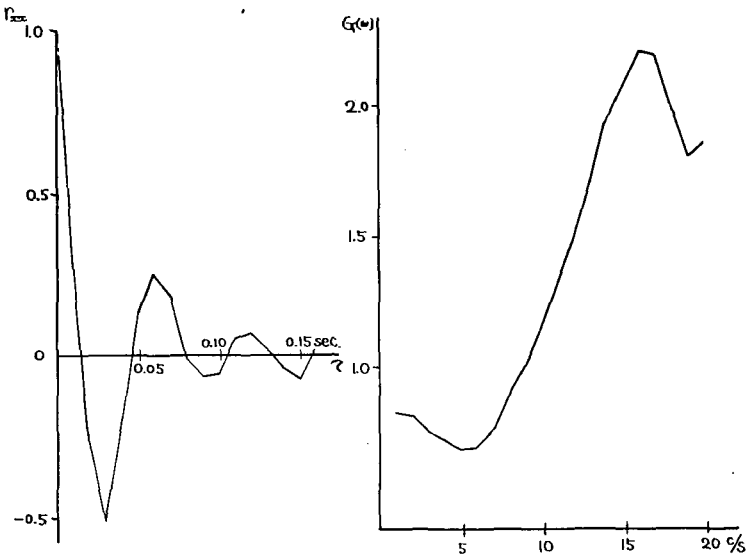


第 2 図 観測点 A における周期別頻度図

Fig. 2. Frequency distribution of wave period at Station A.

3) S. Sakuma: Volcanic Tremor of Me'akan-dake, Jour. Faculty Sci. Hokkaido Univ. Ser. VII, Vol. **1**, No. 1, 36.

と，周期がおおよそ 0.06 sec. で振動し，減衰の早いコレログラムが得られた (第 3 図 (a))。このコレログラムを用いて計算されたスペクトラムを見ると 15～16 c/s にピークが存在し，10 c/s より低い周波数の波はふくまれていないことがわかる (第 3 図 (b))。我々の使用した振動記録系の周波数特性が 2～10 c/s で平らであることを考えにいれるならば，大噴きの近くにおいては 1～10 c/s の微動は実際に存在していないと結論出来る。

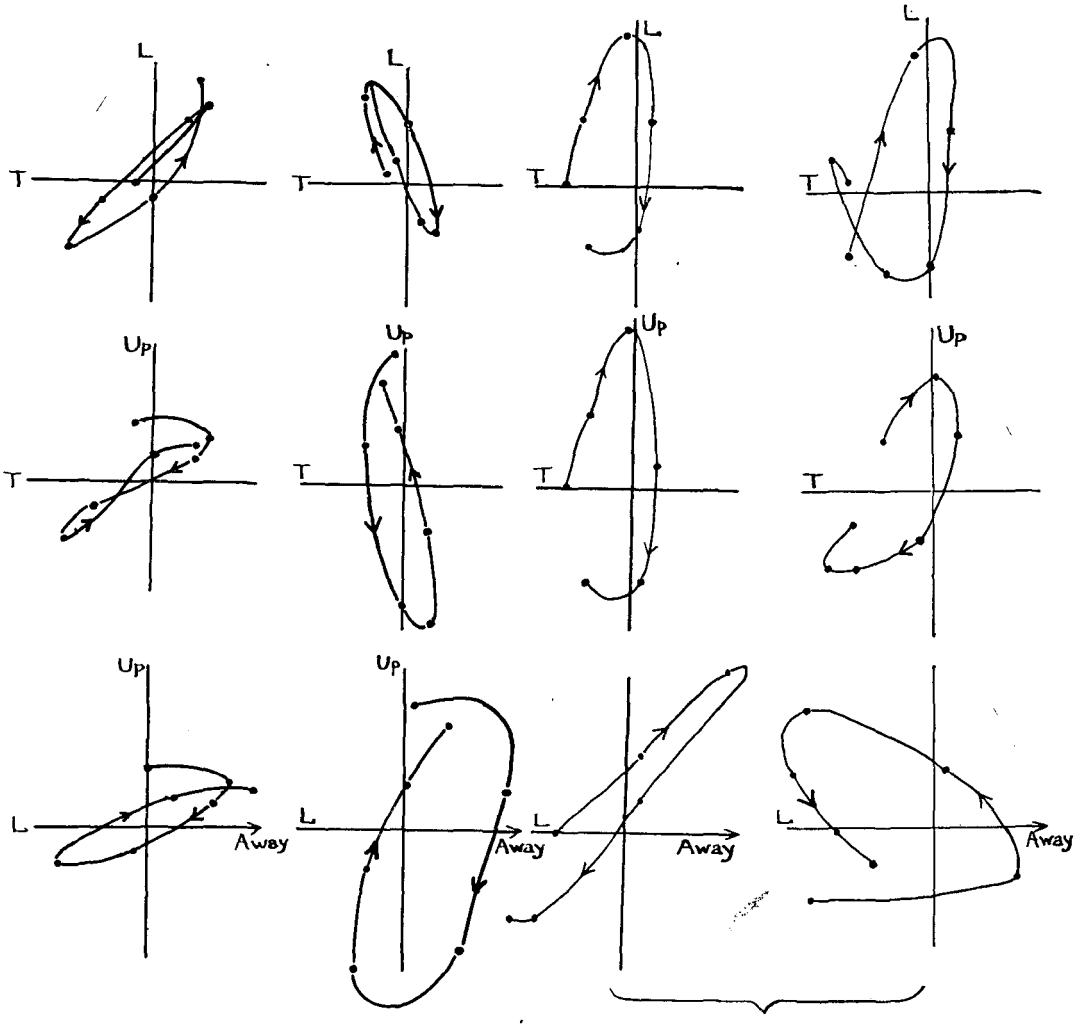


第 3 図　(a) コレログラム　(b) スペクトラム

Fig. 3.　(a) correlogram　(b) spectrum

次に波の性質については，観測点 B, C, D で得られた三成分の記録から particle motion を描いて判断すると，B, C ではほとんど実体波的な波であるが，D においては実体波的な波と表面波的な波 (Rayleigh type) とがまじって表われて来る (第 4 図)。つまり噴気孔から 20 m の点までは実体波的な波だけであり，24 m の点ではじめて表面波的な波が観測され，これと同じ現象は鬼首間歇泉の微動にも見られた。半無限弾性体の中に擾乱源のある場合の表面波の発生については多くの理論的研究がなされているが，火山の場合にも火口附近に地震計を配置して観測すれば上のようなことがさらに詳しい観測事実として得られるであろう。

一般的に火山性微動は観測する場所でその周期が異なり，火口から離れるに従って周期のより長い波が見られる傾向にあるが，その理由としては火山性微動はその発生源の近くではあらゆる周期の波を含んでいるのであるが，短周期の波ほど伝播中に減衰を受けやすい事実から火口から離れた所では長周期の波が卓越して来るのだと考えられている。しかし上述したように大噴きの場合には発生源近くでのスペクトラムの構成は決して平らなものではなく，長周期 (0.2 sec. 位) の波は含まれていないのであるから，短周期の実体波が屈折，反射などを行っているうちに表面波が発生し，遠い所ではこの波を観測していると考えるのが適当である。



第 4 図　各観測点における地面の一点の運動

Fig. 4. Motions of ground particle at each station.

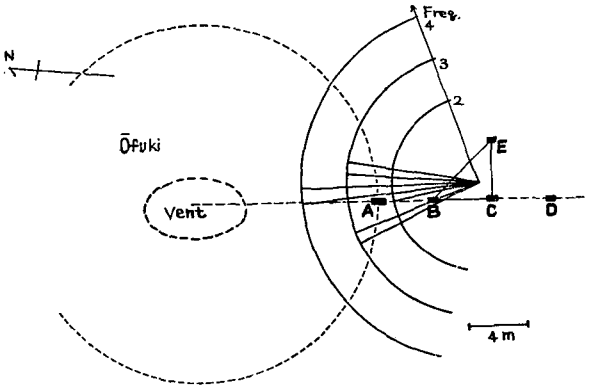
IV. 微動擾乱源の位置の推定

火山性微動について，もしその擾乱源の位置を知ることが出来れば，微動発生の機構に関して有効な手がかりが得られるであろう。雌阿寒岳火口の微動源については既に佐久間[4]が微動振幅の減衰を利用してその位置を決定している。しかし我々はもっと直接的な方法でこれを求めたいと考えた。

まず三点観測により波の伝播方向を調べると第5図にみられるように，ほとんど噴気孔の

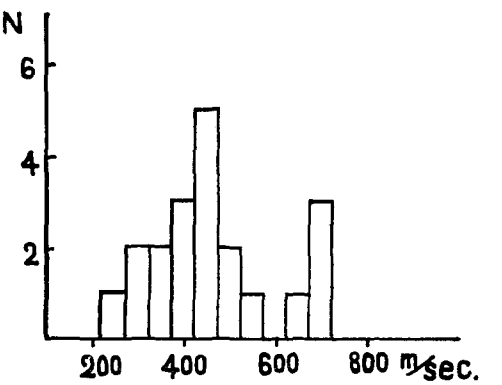
4) 前出 3)

方向から波は伝播してくるが，その方向は決して噴気孔のある方向からばかりでなく，少しずれた方向(大噴きの南西部)からも波の伝播がみられる。このことから一応擾乱源はばらついていることが予想される。波の見かけの速度の分布は第6図に示すように450 m/sec. の所にピークがある。



第5図　観測点及び三角網 BCE で決定した波の伝播方向の頻度分布

Fig. 5. Observation points and frequency distribution of the direction of wave propagation determined by the tripartite net BCE.



第6図　見かけの速度の頻度分布

Fig. 6. Frequency distribution of apparent wave velocity.

次に一般の地震についてはその震源は五点観測によって次の式から求められる。

$$(x_i-x)^2+(y_i-y)^2+(z_i-z)^2=v^2(t_i-t)^2 \qquad (1)$$

但し　(x_i, y_i, z_i): 観測点の座標，t_i: 観測発振時，(x, y, z): 震源の座標，

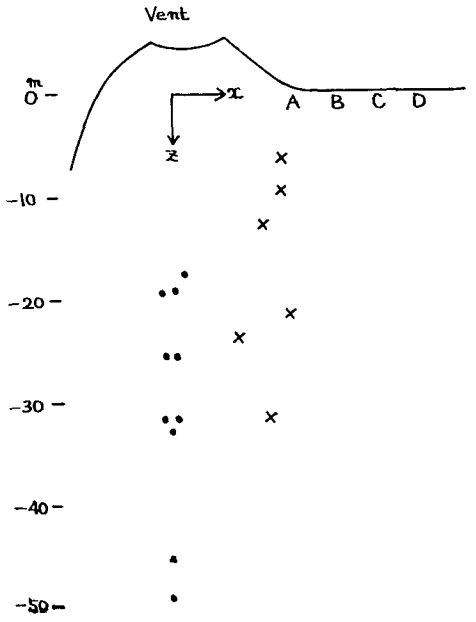
t: 地震発震時，v: P 波の速度

そこでこの式を微動の場合にも適用しようと考えた。この時起る最も困難なことは，いうまでもなく微動は連続した波よりなるものであるから，各観測点での記録から観測発振時を決めることが出来ないことである。しかしこの点は各観測点で得られる記録の対応が個々の波について充分良ければ解決する。勿論地震計間隔が短かい程波の対応はよくなるが，隣接観測点での波の到達時間差が小さくなるから，実際には今の場合4 m間隔位が適当であった。

次に(1)式は実体波に対してのみ適用されるのであるが，この点については particle motion から確認した。ところで(1)式の未知量5個に対して使用した地震計は4台なので，適当な仮定をおいて擾乱源の位置を推定しなければならない。今噴気孔の中心を原点にとり各観測点で作られる直線を x 軸，垂直下向きを z 軸とする。そこで次の2つの場合を考えた。

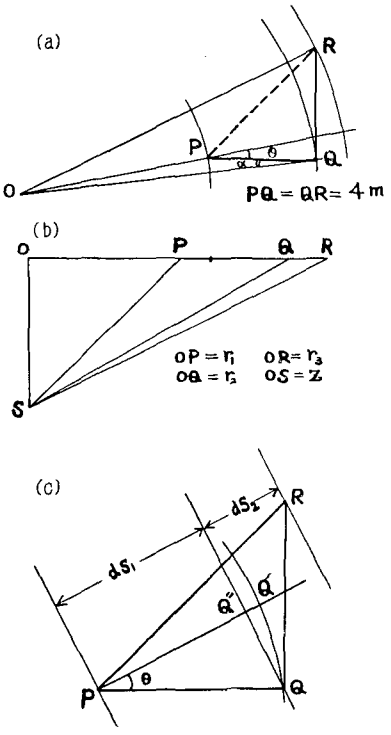
第1近似　噴気孔直下に擾乱源が存在すると仮定する。このときは $x=0$, $y=0$ で未知量は3個になり3点の観測があればよい。この場合の擾乱源の位置を第7図 • で示す。

第2近似　$y=0$ とする仮定をおく。この場合の結果は第7図×であるが，実際の擾乱源は決して x-z 平面内にのみあるのではなくて，前述した伝播方向を考えに入れると y 方向に対



第7図 微動擾乱源位置
●—第1近似 ×—第2近似

Fig. 7. Origins of microtremors
●— 1st approximation and
×— 2nd approximation.



第8図 **Fig. 8.**

しても x 方向と同じ程度のばらつきがあるものと考えるのが当然であろう。

更に3点観測から得られた伝播方向と，(1)式を組合せて擾乱源の位置を推定することを考えた。このことは $y=0$ と仮定しておいて，擾乱源の y 方向へのずれを3点観測から得られた伝播方向を用いて決定することに相当する。

観測点 P, Q, R は等辺 4 m の直角二等辺三角形の各頂点にある（第8図(a)）。任意の点 O（震央）を中心として P, Q, R を通る同心円を描き，$\overline{OP}=r_1$, $\overline{OQ}=r_2$, $\overline{OR}=r_3$, 波の見かけの速度を v とすると

$$(r_3-r_2)/v=t_{QR}, \quad (r_2-r_1)/v=t_{PQ} \tag{1}$$

（但し，t_{QR}, t_{PQ} はそれぞれ波の Q, R と P, Q の到達時間差）

この2つの式より

$$t_{PQ}\,r_3-(t_{PQ}+t_{QR})\,r_2+t_{QR}\,r_1=0 \tag{2}$$

△POQ, △OQR に各々余弦法則を適用して r_2, r_3 を r_1 で表わし，(2)式を整理すると次のような r_1 に関する3次方程式が得られる。

$$(t_{QR}^2+t_{PQ}\cdot t_{QR})(t_{PQ}\cdot t_{QR}\cos\theta-t_{PQ}^2\sin\theta)r_1^3$$
$$+2[\{(t_{QR}^2+2\,t_{PQ}\,t_{QR})\cos\theta-t_{PQ}^2\sin\theta\}^2+(t_{QR}^2+t_{PQ}\,t_{QR})(t_{PQ}\,t_{QR}-t_{PQ}^2)]r_1^2$$
$$+8(t_{QR}^2+2\,t_{PQ}\,t_{QR}-t_{PQ}^2)\{(t_{QR}^2+2\,t_{PQ}\,t_{QR})\cos\theta-t_{PQ}^2\sin\theta\}r_1$$
$$+8(t_{QR}^2+2\,t_{PQ}\,t_{QR}-t_{PQ})^2=0 \qquad (3)$$

ここで t_{PQ}, t_{QR} は観測される量であり，もし θ が観測からわかるならば r_1 はきまる。r_1 (従って r_2, r_3) がわかれば擾乱源の位置は次の式から求められる。

$$z^2+r_i^2=v^2(t_i-t_0)^2 \qquad (i=1,\ 2,\ 3) \qquad (4)$$

(但し t_1, t_2, t_3 は各々 P, Q, R での波の到達時刻 (第8図(b))

次に観測量と θ との関係について調べる。もし3点観測網が震央から充分離れていれば，波は平面波と考えられるから，

$$\tan\theta=t_{QR}/t_{PQ} \quad \text{即ち} \quad \theta=\tan^{-1}(t_{QR}/t_{PQ}) \qquad (5)$$

で θ は簡単にきまる (第8図(c))。しかし今の場合は大噴きの噴気孔から 20 m 位しか離れていないので，波面を球面と見なければならぬであろう。即ち平面波として扱うなら θ は簡単にきまるが，距離に関して例えば Q′ Q″ の部分の違いを生ずる (同図)。2つの場合に θ に関してどの程度の差があるかを種々の場合について調べると第1表のようになる。

第 1 表　Table 1.

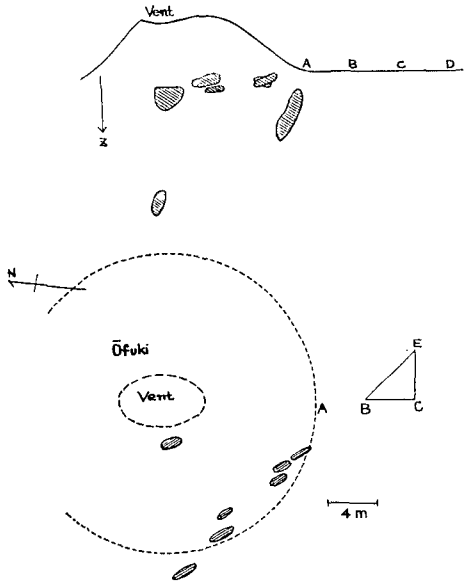
	$\theta_0=0°$	10°	20°	30°	40°
$r=10$ m	$\theta=7°58'$	14°40′	21°34′	28°06′	35°24′
15 m	7°26′	13°45′	20°55′	28°33′	36°22′
20 m	5°40′	12°58′	20°54′	28°48′	36°54′
$\Delta\theta$	$-5°40'\sim-7°58'$	$-2°58'\sim-4°40'$	$-0°54'\sim-1°34'$	$+1°12'\sim+1°54'$	$+3°06'\sim+4°36'$

上の表で θ_0 は球面波としての伝播方向である。これを平面波として扱うと見かけ上 θ となり，$\Delta\theta$ の誤差を生ずる。従って平面波として扱って θ が得られたときには，実際の方向 θ_0 は $\theta+\Delta\theta$ の範囲にあることとなる。つまり(5)で求めた θ に，それに見合うような $\Delta\theta$ を補正することにより θ_0 の範囲が定まるから前述の方法により擾乱源の存在し得る範囲を決定することが出来る。

この方法で求められた結果は第9図に示されているが，擾乱源の位置はこの7個の斜線部分のようにばらついていることがわかる。ここで図の斜線部分は上述の θ_0 決定の際の誤差の範囲を示すものであって，一つの擾乱源の大きさを示すものでないことに注意しなければならない。大噴きの噴気活動の状態を観察すると，その南西部では他の部分より活発であることが認められ，今求まった擾乱源の位置が南西壁に多いことと矛盾しない。

V. 考　　察

すでに述べたように大噴きの微動の卓越周期は 0.05～0.07 sec. で，鬼首間歇泉における噴泉時の微動の周期とよく一致しており，大噴きの微動の波形を見ても鬼首間歇泉の噴泉時の波形と非常によく似ていることがわかる(写真 3, 4)。これらのことから大噴きでの微動は，鬼首間歇泉での脈搏的微動の連続したものと同一のものと考えてよいと思う。このように水蒸気（又は硫気ガス)，水(100°C) を噴き出している状態の場合に，そのまわりで観測される微動は非常に短周期で，その波形もよく似ていることがわかる。さらに下鶴ら[5] は阿蘇火山火口底で観測した火山性微動について 0.08～0.10 sec. の卓越周期を報告しているが，これが我々の場合と近い値であるのは我々が火山のモデルとしてとりあげた間歇泉，噴気孔での微動を火山そのものの微動と関連させる意味で興味深い。



第 9 図　微動擾乱源位置を示す断面図及び平面図

Fig. 9. Origins of microtremors, profile and plane figure. N.B. Each shaded portion does not represent an extent of the origin, but a limit of error in determining the origin.

所で世界中のいくつかの火山でいろいろな周期の火山性微動が観測されており，その発震機構として G. C. Omer[6] は山体を形成している成層のマグマの上昇によって励起される縦振動を考えているし，下鶴[7] は火口道管の中に粘性の高い熔岩がつまっていて，その熔岩柱の縦固有振動が火山性微動の擾乱源と考えて，熔岩の粘性係数と微動周期との関係を調べている。この際下鶴が整理したデータを見ると 0.1 sec. 以下の波は含まれていないが，これは観測点が火口からやや離れていること (約 500 m) のみによるのであろうか。Nyiragongo の場合[8] には微動の擾乱源にきわめて近いと思われるが，卓越周期 0.3～0.5 sec. の微動が見られる。このことは熔融状態にある熔岩に関してはやや周期の長い (0.1 sec. 以上) 微動が確かに存在することを示すものであろう。

しかし今回の観測結果及び阿蘇火山火口底の例でも見られるように 0.05～0.10 sec. 程度の短周期の火山性微動の存在することも事実であって，この種の微動は前述した擾乱源の位置の

5) 下鶴大輔・後藤賢一・中牟田修・野田博治：阿蘇火山に於ける火山微動の観測，火山，**3** (1958) 35.
6) Guy C. Omer: Volcanic tremor, Bull. Seis. Soc. Amer., **40**, (1949) 175.
7) 下鶴大輔：火山性脈動について，火山，**5** (1961) 154.
8) D. Shimozuru: Seismological Study of the Nyiragongo Volcano. Bull. de l'Académie royale des Sci. d'Outre-Mer, Classe des sci. techniq., 686-712, Bruxelles, 1961.

ばらつきから考えると，水蒸気(又は硫気ガス)の圧力変化によってひき起されるのであろうと考えられる。鬼首間歇泉では噴泉の始まる前の段階でも脈搏的微動が見られたのであるから，流体が噴出することは必ずしも必要ではないのである。

なお大噴きの噴気孔にマイクロフォンを入れて音圧を記録し，微動との対応をみようとしたがはっきりした結果は得られなかった。今後記録方法を工夫してこの点を調べたいと思っている。

VI. 結　　語

以上のことを要約すれば次のようになる。

1) 大噴きでの微動の擾乱源は主として大噴き南西壁にばらついており，噴気活動の盛んな場所と一致する。

2) この微動の卓越周期は 0.06 sec. で，これは鬼首間歇泉の噴泉時における微動の周期及び火口のごく近くで観測した場合の火山性微動の周期とよく一致する。

3) この種の微動は水蒸気(又は硫気ガス)の圧力変化によって起されるものであり，実際の火山でも存在していると思われる。

終りに御指導を賜った松沢教授，終始有益なる御助言を頂いた横山助教授に厚くお礼申し上げます。又観測の際には阿寒硫黄鉱業所の方々にいろいろとお世話になり，ここで厚くお礼申し上げます。

6. Tremors at the Ōfuki Fumarole, Me-Akan Volcano

(With special relation to volcanic tremors)

By Mitsuo NOGOSHI and Yoshinobu MOTOYA
(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

In previous paper the authors studied tremors at the Onikōbe geyser in relation to volcanic microtremors. In this report we considered a fumarole as a model of volcanoes, and observed tremors at the Ōfuki, one of the fumaroles at Volcano Me-Akan. The observation was carried out by means of pick-ups of moving coil type connected to an electromagnetic oscillograph through amplifiers. The results of the observation are as follows:

1) The wave pattern observed at the Ōfuki fumarole is very similar to that of "pulsative tremors" observed at the Onikōbe geyser.

2) The predominant wave periods of tremors observed near Ōfuki range from 0.05 sec. to 0.07 sec., which agree with the ones observed at the Onikōbe geyser when the water is erupting.

3) Spectrum of tremors at the Ōfuki fumarole has a sharp peak at 16～17 c/s and the tremors do not contain the waves of frequency less than 10 c/s.

4) Origins of tremors are determined to exist under the southwest part of the Ōfuki fumarole where vapour is most actively emitted.

For explanation of mechanism of generation of volcanic tremors, some authors say that they are caused by the free longitudinal vibration of the viscous lava column and they seem to have low frequency less than 10 c/s. It is reported, however, that waves having higher frequency than 10 c/s originate from a crater bottom. The writers identify tremors of this kind with ones observed at the Onikōbe geyser and the Ōfuki fumarole, and think they are caused by rapid fluctuations of vapour pressure beneath volcanoes.

写真1. 北西部より見た「大噴き」噴気孔

Photo. 1. The Ōfuki fumarole seen from the northwest.

写真2. 南西部より見た「大噴き」A, Bは観測点

Photo. 2. The Ōfuki fumarole seen from the southwest. A and B are observation points.

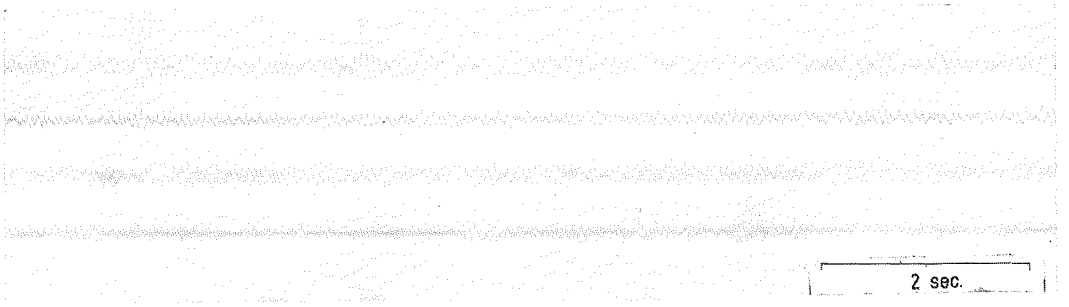


写真3. 「大噴き」噴気孔での微動の記録，最下段はマイクロフオンによる音圧の記録

Photo. 3 Record of microtremors at the Ōfuki fumarole. The 4th trace is response by a microphone.

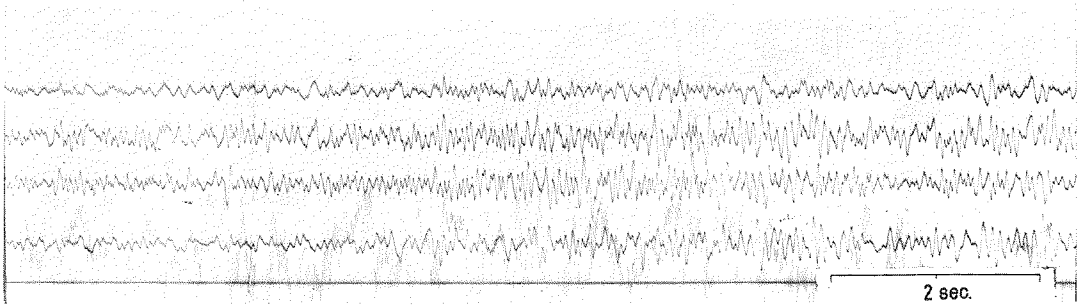


写真4. 鬼首間歇泉での噴泉時の微動の記載

Photo. 4. Record of microtremors at the Onikōbe geyser when water is erupting.