

渡島大島火山調査報告*

島村 英紀**, 中村 裕二***, 岩尾 尊徳****,
浦島 達郎****, 安井 正****

550.34.01:550.360.6

Volcanological Studies of the Island of Osima-O-Sima

by

H. Shimamura**

(Laboratory for Ocean Bottom Seismology, Hokkaido University)

Y. Nakamura***

(Laboratory for Earthquake Chemistry, University of Tokyo)

T. Iwao****, T. Urashima**** and M. Yasui****

(Hakodate Marine Observatory)

Geothermal, seismological and geochemical studies of the uninhabited island of Osima O-Sima, a volcano in the "List of the World Active Volcanoes" compiled by IAVCEI (International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior) were made in September 23 through October 3, 1979 under the cooperation of Hakodate Marine Observatory, Laboratory for Ocean Bottom Seismology in Hokkaido University and Laboratory for Earthquake Chemistry in University of Tokyo. There was nothing remarkable in soil temperatures, excluding those measured in the crater, which were almost comparable to the standard value at the latitude of 41°30'N. Though soil temperatures were as high as about 75°C in the crater, no noteworthy change had been recognized comparing to those measured at almost the same position in the previous studies in 1965 and 1975. The highest surface temperature measured by an infra-red radiation thermometer was about 31°C and heat flux calculated with this surface temperature by Sekioka & Yuhara's method was about 1.4×10^4 HFU. Thus, the total heat energy released from the geothermal areas was estimated to be about 3,000 KW excluding heat energy in fumarole gas. Six ocean bottom seismographs, put in waterproof plastic cases instead of heavy aluminum water and pressure-tight containers, recorded about 250 microearthquakes as well as four moderate earthquakes ($M=3.4\sim 5.3$) occurred during the period within 300 km from the island. Seismograms of these microearthquakes were very peculiar. They start with gradually increasing amplitude without a distinct onset, so that arrival times for locating epicenters could not be determined. They were of swarm; several earthquakes occurred successively with very short intervals and isolated occurrence was very seldom. Variation of maximum amplitudes for the same earthquakes was as large as factor of 16 among records of the six seismographs. Even for seismographs being apart 300 m each other, ratio of the maximum amplitudes between them were sometimes more than factor of 3. These characteristics suggested that the island was underlain by a structure of very high attenuation.

On the other hand the maximum amplitudes for the four distant earthquakes were almost

* Received Sept. 5, 1980

** 北海道大学理学部海底地震観測施設.

*** 東京大学理学部地殻化学実験施設.

**** 函館海洋気象台(浦島, 安井: 現海洋気象部)

the same among six seismographs. It meant that the structure of high attenuation was very local. Epicenters of the microearthquakes were hence assumed to be in the vicinity of a seismograph which recorded the largest maximum amplitude. Then, seismic activity seemed to be very active near geothermal areas in the crater. More than 60 microearthquakes occurred there in a day. Though H_2 concentration in gas from the geothermal areas was twice as much as that in the atmospheric air, content of constituents in soil gas was generally normal over the island. According to these facts it can be concluded that a small part underneath the central cone of the island is still so hot that attenuation of the seismic waves is very high. The geothermal areas with slight fumarole gas are an apparent feature of this structure. They are not, however, supplied much heat from deeper part of the crust. It may be a relic of an intense activity in the past.

§ 1. ま え が き

北海道の南部、渡島半島の西方約 50 km, $41^{\circ}30'N$, $139^{\circ}22'E$ の日本海上に浮ぶ渡島大島は、国際火山地球内部化学協会 (IAVCEI) のカタログにも、活火山として登録されているが、最近の 200 年間には噴火の記録はなく、少なくとも表面的には、静かな期間が続いている。しかし、歴史的には、1741 年から 1742 年にかけてと、1759 年には噴火が、また 1786 年と 1790 年には噴煙をみたという事実が記録に留められている。なかでも、1741 年の噴火の折には津浪が発生し、渡島半島日本海沿岸一帯で 1,467 人の死者が記録されている。

したがって、これまでも同島の調査は、1955 年(北大)、1967 年(北大)、1971 年(函館海洋気象台)、1975 年(北大)の計 4 回行われている。

1977 年の有珠山の再噴火以来、火山の活動に対する関心は、北海道内に高まりつつあり、また前の北大の調査以来すでに 4 年が経過しているので、函館海洋気象台海洋課が中心となり、北海道大学理学部海底地震観測施設および東京大学理学部地殻化学実験施設の三者共同によって渡島大島の火山調査を行ったので、こゝにその成果を報告する。

§ 2. 渡島大島の概要

渡島大島は、東西約 4km, 南北約 3.5km, 周囲約 16km で、水深 1,000m~1,200m の松前海台と呼ばれる平坦面から突出した、主として玄武岩からなる成層火山である (Fig. 1, Photo. 1)。

島は典型的な三重式火山を形成し、西へ開く東西約 2km の外輪山の東端に、島の最高峰、海拔 737m の江良岳がある。外輪山の西部には、海拔 722m の清部岳を頂点とする北に開いた、直径約 1.3km の内輪山があり、その内側の東~南~西にかけて深さ 160m のカルデラがある。さらに、このカルデラの中心に最も新しくできた

寛保岳(海拔 648m)を頂点とする、東西約 300m, 南北約 200m, 深さ約 70m の中央火口丘がある (Photo. 2)。江良岳と清部岳との間にも、深さ 200m のカルデラがある。

山腹は全般に $30\sim40$ 度の急斜面をなすうえにガレ場が多く、また海岸の大部分は今でも海蝕が進みつつあり、断崖となっている。

現在は、中央火口丘の内壁にかすかな噴気を伴う地熱地帯が見られるのみで、島の大部分は草におおわれている。1971 年の調査で報告されているヤマセ泊の上の数本の広葉樹も、その後どんどん増えて、現在では Photo. 3 のように林となりつつある。この他にも、3ヶ所で広葉樹の木立が見られた。

動物としては、おびただし数の兎の群れが特に目をひいた。全島いたるところに、Photo. 4 のような兎の穴があつて、火山灰質のため、くずれ易く、登攀を一層困難にした。

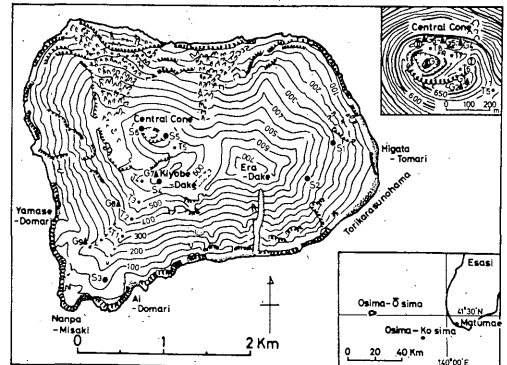


Fig. 1. Map of the island of Osima-O-Sima and location of observation site: $T_1\sim T_8$; site of soil temperature measurement. $S_1\sim S_6$; location of seismograph. $G_1\sim G_9$; site of sampling soil gas. I, II; position of infrared radiation thermometer.

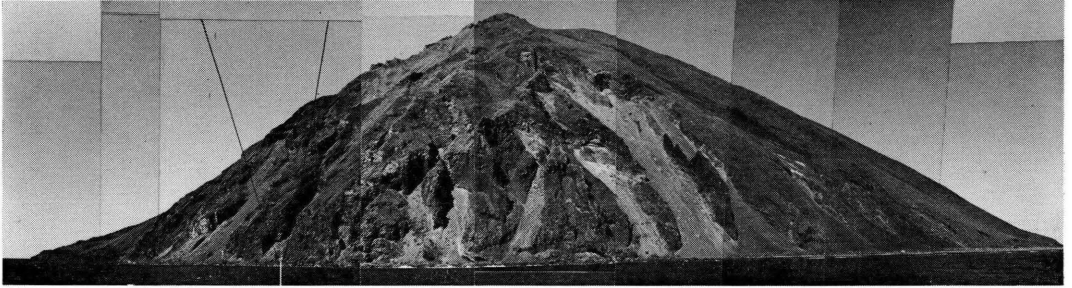


Photo. 1. View of the island of Osima-O-Sima from the SSE side. Torikarasunohama at the rightmost and Ai-Domari at the leftmost.

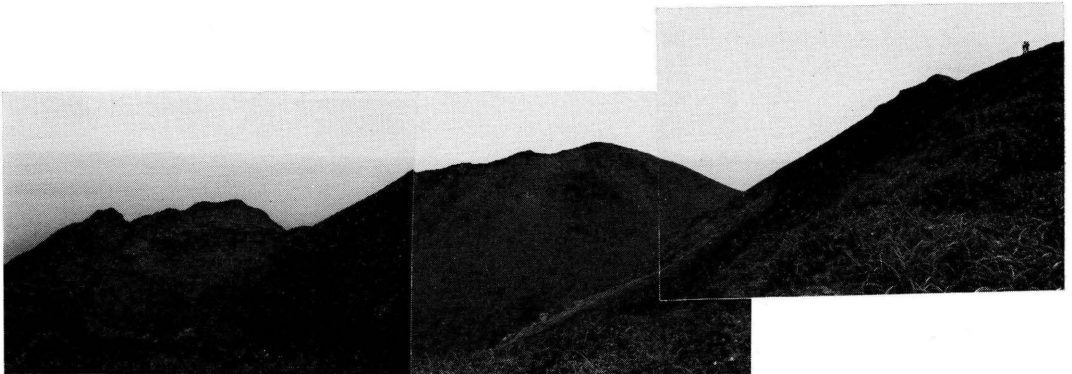


Photo. 2. Kanpo-Dake; highest peak of the central cone (center). The right is slope of Kiyobe-Dake (a part of crater rim).



Photo. 3. Broad leaved woods on the hill northwest of Nanpa-Misaki. Only few were reported in 1972.



Photo. 4. Burrows of hares. Quite a lot of hares were seen all over the island.



Photo. 6. The seismograph system which was used in the observation. The seismograph is essentially an ocean bottom seismograph (OBS), which has been slightly modified, contained in a waterproof plastic cylindrical case, for the land observation. The advantage of the land OBS is small and light, which weighs about 12 kg. It has a flat frequency response from 3 to 25 Hz. The recording period of the seismograph is 12 days.



Photo. 5. Unmanned radio repeater station for fisheries at Ai-Domari.

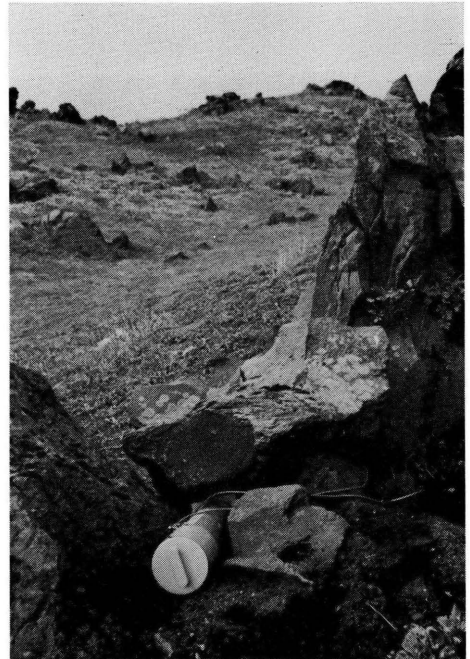


Photo. 7. One of the deployed seismograph. The site is S3, on the southern flank of the island. The vertical and horizontal geophones were buried in the vicinity of the recorder.

島の海底の傾斜もかなり急で、ごく岸近くまで、本船の接近が可能であるが、海浜の形成が貧弱なため、はしけ、ゴムボート等の接岸は、東岸の日方泊からトリカラスの浜一帯と、西岸の東風泊、その対岸、北風泊の3ヶ所以外は、まず不可能である。

上記、3上陸地点から、島内の任意の地点への交通は、細粒火山礫や風化したスコリヤによる脆弱な急斜面が多いため、難渋はするが、特殊な装備や技術がなくても可能である。

勿論無人島であるが、夏の漁期にだけ、北風泊で漁業無線中継業務が開設され、職員が滞在する。また、トリカラスの浜には、松前町江良漁業協同組合によって、無人の避難小屋が維持されている。

§ 3. オペレーション

同島は無人島であって、交通の便が一切ないので、函館海洋気象台の観測船高風丸(谷口滋穂船長、355 t)を回航、本拠として調査を行った。高風丸は同じ期間に渡島半島西岸海域の海洋、海上気象観測にも従事しているが、本観測に関係した日程は次の通りである。

昭和54年9月22日 15時 函館港出港

23日 午前 渡島大島沖到着。

西風強し。島を周航し、沖合より上陸地点を搜索。正午より、西風を避けてトリカラスの浜に上陸開始。江良岳の東側中腹(海拔300~400m)の2ヶ所に地震計を設置 (Fig. 1 参照)。

24日 北風が強いため、午前6時、北風泊からゴムボートで上陸開始。清部岳を経て、正午頃中央火口に到着。火山観測を行う。一方、北風泊の上と清部岳山頂付近、中央火口丘の東西の、計4ヶ所に地震計を設置。午後3時50分北風泊海岸へ帰着 (Fig. 1 参照)。

10月3日 東風が強く、午前5時50分、東風泊より上陸。つづいて日方泊へ回航するも波が荒く、上陸不能。再び東風泊へ回航し、全地震計の撤収をはかる。午後5時、6ヶ所の地震計を全て船上に回収。

4日 午後1時函館へ帰港。

§ 4. 地中温度

地中温度は、サーミスター温度計(芝浦電気製作所、MGA III-216型)を使用し、検土杖によってあけた穴に感部を挿入して、指度が一定となる時間(約10分)を待って測定した。測点は、Fig. 1 の図の T₁~T₈ に示され

Tab. 1. Measured soil temperature and air temperature.

Site	Soil temperature	Depth	Air temperature
T ₁	16.8 °C	40-85cm	17.4 °C
T ₂	15.8	40-85	17.9
T ₃	16.0	40-80	13.8
T ₄	15.9	50	14.4
T ₅	15.9	30	14.8
T ₆	75.3	40	12.6
T ₇	59.2	40	12.5
T ₈	65.0	35	13.7

Tab. 2. Comparison of soil temperature in the past almost at the same position to Site T₆.

Year	Soil temperature	
1955	77.0°C	65.0°C
1975	79.0°C	65.5°C
1979	75.3°C	

ている。測定の深さは40cmを標準としたが、大きな火山礫が積み重なっているところでは、検土杖が表層以下にささらず、やむを得ず、浅いところで測定した。測定結果を Tab. 1 に示す。

測点 T₁~T₃ では、粗粒火山灰や直径2cm位の細粒熔岩礫がかなり厚く積っていて、さらに深くまでの測定が可能であったので、サーミスターの届かぎりの深さまで、深さをいろいろに変えて測定したが、40~80cmの間では深さによる変化は認められなかった。測点 T₆~T₈ は中央火口(寛保岳火口)内の噴火のある地熱地帯である。

各観測点には、塩化ビニール製の杭を打ち込んで、今後の繰り返し測定の時の目安となるように心掛けた。

福富(1951)によれば、同島と同じ緯度、41°30'Nにおける9月の深さ1mの平均的な地中温度は、高度0~600mで18.6~16.0°Cである。今回の中腹での測定値は、ほぼこの平均的な値に近い。

中央火口内の地熱地帯の T₆ 測点付近では、過去にも地中温度の測定値(北海道防災会議、1977)があるが、あまり顕著な差異は認められなかった (Tab. 2)。

§ 5. 中央火口丘の地熱地帯の地熱流量

地熱地域における地熱流量の測定には、いくつかの方法がある(安井、1979)が、今回の調査では、地表温度

を利用する、Sekioka & Yuhara (1974)の方法によった。

植物の生えていない地表面の熱収支を考える。まず、無限小厚みの地表面へ加わるエネルギーとしては、直接太陽から到達する短波長放射エネルギー、雲からの二次的な長波長放射エネルギー、それに地下からくる地熱エネルギーの三つが考えられる。これに対して、地表面から出てゆくエネルギーとしては、太陽からの短波長放射エネルギーの地表反射、地表面そのもののだす長波長放射エネルギー、蒸発による潜熱、大気の渦動拡散による熱移流の四つが考えられる。いま、地表温度が準定常的となっている時期を考えるならば、以上の7エネルギーの総和は0となっていなければならない。

以上の各エネルギーのうち、近似的に地表温度の関数としてあらわし得るものは、すべて置き換え、非常に近い2点間の差をとると、気象条件や地表の状態はほぼ同じと考え得るから、近似的に次の式が成立する。

$$4G \approx e(1 - 0.09m)(0.52 + 0.065 e_{w/w}^{\frac{1}{2}}) \sigma A(273 + \theta)^4 + P_a C_p D(1 + \gamma) \Delta \theta \dots \dots \dots (1)$$

ここに、

- 4G; 2地点の地熱流量の差。
- $\Delta \theta$; 2地点の地表面温度の差。
- e; 地表面の放射率。m; 雲量。
- e_w ; 水蒸気圧。p_a; 大気密度。
- C_p; 大気の定圧比熱 (≒0.239 cal/g・°K)。
- D; Budykoの移送速度 (≒1.59 cm/sec)。
- γ; 蒸発による潜熱と渦動拡散により移送される顕熱との比 (≒0.5)。

σ; Boltzmann 常数 (≒1.36 × 10⁻¹² cal/cm²・°K⁴sec)。
 地表面の放射率は、現地において実測すべきものであるが、きわだって白っぽい土質、例えば白色粘土などでない限り、0.95~0.99であることが判っているので、今回は e=0.97 とした。

地表温度を観測した9月24日の正午頃は、雲量が10の状態がつづいたから、m=10ととった。また、気温は12.0°Cで、中央火口付近の高度は約600mであったから、p_a=1.15 × 10⁻³ g/cm³ とし、e_w=10mbであった。

これらの値を代入し、また A(273+θ)⁴ を、273°Cの付近で展開し、第一項だけをとると

$$4G \approx 0.78 \times 10^{-5} \Delta \theta + 6.55 \times 10^{-4} \Delta \theta \approx 6.63 \times 10^{-4} \Delta \theta \text{ cal/cm}^2\text{sec} \dots \dots \dots (2)$$

の関係が成り立ち、表面温度を同時測定することによ

Tab. 3. Specifications of the infra-red radiation thermometer.

Detection range	0°C ~ 80°C for "Narrow range" -40°C ~ 120°C for "Wide range"
Sensitivity	0.5°C for "Narrow range" 1.0°C for "Wide range"
Response time	0.1 sec for "Fast range" 1.0 sec for "Slow range"
Field of view	0.5°
Spectral band pass	8.5 μm ~ 12.0 μm
Weight	2.0 kg

り、地熱流の差を概算し得ることになる。

地表温度の測定は、なるべく短時間に完了する必要があるが、その目的には、赤外線放射温度計を使用するのが、最も有利である。

今回の測定には、松下通信工業社製のナショナル ER-2002/SD 型赤外放射温度計を用いた。その特性の諸元は、Tab. 3 に示す。

測定に当っては、まずポロライド写真により景観図を作り、その図上に、温度測定をすべき地点をマークし、手早く測定を行った。一点の観測は約8秒、一地域の観測は、大体3分以内に終わった。

今回の調査では、Fig. 1の①点から中央火口の北側内壁の地熱地帯を、また②点から南東側内壁の地熱地帯の地表面温度の測定を行った。それぞれの赤外線放射温度計設置点から、被測定地面までの距離は、100~200mあったから、温度計の視野角を考慮すると、直径の0.9~2.2mのスポット内の平均温度を測定したことになる。

①点から測定した北側内壁の地表温度を Fig. 2 に、また②点から測定した、南東側内壁の地表温度を Fig. 3 に

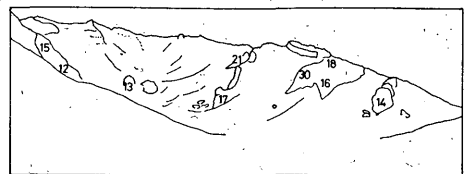


Fig. 2. Surface temperature on the northern innerslope of the central cone (in °C) measured by infra-red radiation thermometer.

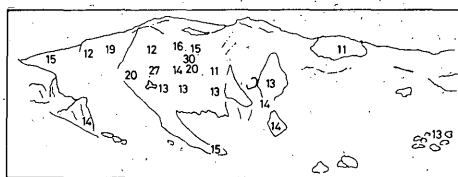


Fig. 3. Surface temperature (in °C) on the southern inner slope of the central cone measured by infra-red radiation thermometer.

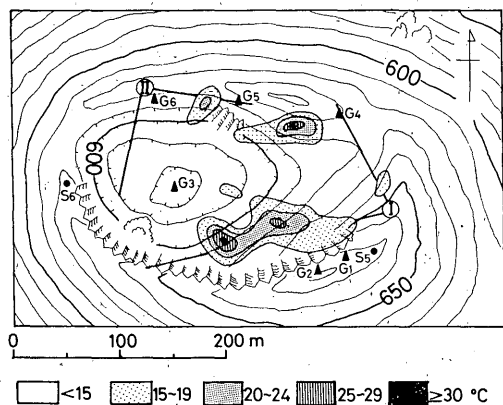


Fig. 4. Distribution of surface temperature (in °C) in the central cone derived from Figs. 2, 3.

示す。噴気のある部分は30~31℃と、最高温度であったが、同一地熱地帯でも岩肌などでは11~13℃であった。Fig. 2と8をもとにして、地表面温度の分布図をつくと、Fig. 4のようになる。

この温度測定値のうち、各群の最低温度のところはごく普通の1~2HFU(=10⁻⁶ cal/cm²sec)の地熱流であると仮定して、地表面温度差を(2)式に代入して得られた地熱流の差を加えれば、地熱流が求まる。実際には、地熱流の差は、基準値とした1~2HFUの値と比較すると、桁違いに大きいから、最低温度との差を(2)式に代入して得られた値は、近似的には地熱流の値とみなし得る。

このようにして得られた、地熱流量の分布図を、Fig. 5に示す。

今までの調査においては、地表面温度や地熱流量の測定がないので、比較できない。地表の状態は、かすかな噴気があり、植生はない有様で、Dawson(1964)によれば、5×10⁴~10⁵HFUの地熱エネルギーの放出があるとされている。このなかには、噴気そのものに含まれて放出される熱量もあるから、熱伝導による地熱流は、こ

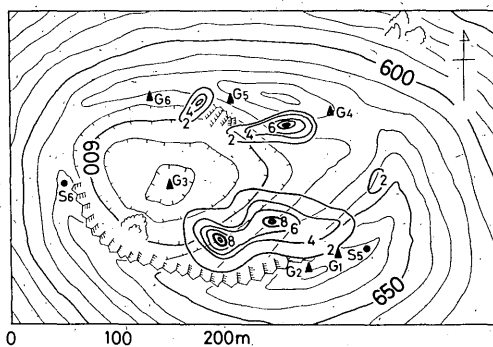


Fig. 5. Discharge of geothermal heat flux (in 10³ HFU). Thin lines show altitude in m.

の値より大分小さくなる筈ではあるが、今回の調査の最高値、1.3×10⁴HFUは、やや小さ過ぎるようにも思われる。

前に述べたように、赤外線放射温度計は広い範囲を簡単に測定できる反面、視野内の平均温度しか測定できないから、非常に局地的な高温を見分ける分解能がない。したがって、局地的な高地熱流量も見落とすことになったと考えられる。このようにして求められた、地熱流量はいろいろの原因の擾乱を受け易く、誤差も大きい、地熱地帯に関する限り、地中温度や表面温度そのものよりは、火山活動をあらはすパラメーターとして、有義性は高いと思われる。

§ 6. 火山性微小地震

地震観測は、火山活動を調べるうえでの、有効な手段の一つである。1975年の調査(北海道防災会議, 1977)には、北風泊のうえのところに、地震計1台を設置し、1週間の連続観測が行われた。その結果、島の付近の地震3個を記録できたが、火山性微動は観測されなかった。

今回は、震源の位置の見当もつけられるように、高感度な地震計を、群列型に配置して観測を行った。

6.1 測器

渡島大島は、無人島で商用電源は利用できないうえに、海水飛沫をあげるボートで上陸し、急峻な山腹を、人力によって運搬しなければならない。このような制約から、海底地震計(鳥村・浅田, 1974)の、高張アルミ製耐水圧ケースを、塩化ビニール製防水ケースに替えて、軽量化したものをを用いた。

海底地震計は、センサー、増幅器、データ・レコーダー、水晶時計、2週間の観測に必要な電池が、すべて内

径15cm、長さ90cmのケースにおさまるようになっていた。入口にゴムパッキングを付した塩化ビニール樹脂の円筒容器に入ると、全重量は約12kgとなり、背負って登るのに便利な型となった(Photo. 6)。

今回の観測では、ジンバル機構付の海底地震計センサーを使用する利点がないので、市販の固有周期3Hzのセンサーを、上下動用、水平動用に各1個づつ用い、水平動振子の振動の方向は、中央火口丘と地震計設置点とを結ぶ直線に、直交するように置いた。センサーの感度は、約1 volt/kineである。

増幅器の増幅度は、上下動成分は81dbと47dbの2チャンネル、水平動成分は72dbで、出力は、カセットを使ったDARデーター・レコーダーに録音する。4トラックのうちの3トラックには、上記3信号、残りの1トラックには、BCDコードの水晶時計からの刻時信号を割当てた。データー・レコーダーのテープ速度は0.12 mm/secで、C-90型テープで約12日間の観測が可能である。録音周波数帯域は、0.3~25Hzの間で、ほぼ平坦である。

水晶時計は、0~50°Cの温度範囲で 5×10^{-7} の精度の水晶発振器を用いており、2週間の観測期間中にも1/100秒の時刻精度を得ることが可能である。

高風丸から、海岸まで海水飛沫をあげて運搬することを考え、高風丸の船室内で地震計のチェックを終え、テープもスタートさせ、水晶時計の較正もすませた上で、防水ケースに密封し、設置現場では、センサーと間のケーブルをつなぐ作業だけとした。

今回の調査には、地震計は6台準備した。

6.2 設置と撤収

設置点のうち S_1 と S_2 とは、江良岳の東側山腹で、適当に南北にはなれた地点に置いた。 S_3 は、北風泊の崖上で、島の南端に近く、また1975年の地震観測点のすぐ近くである。 S_4 は清部岳の中腹、 S_5 、 S_6 は噴気の見られる中央火口丘をはさんだ2点の露岩のうえに設置された。

S_1 と S_2 、および S_4 ~ S_6 はそれぞれ互にもっと離れて設置することも考えられたが、天候の急変などのため高風丸帰着が不可能になるなどの事態にいたらないよう手早く設置する必要性と、天候に左右されず撤収し得る可能性とから、基線を長くどれなかった。以上のような注意をはらったにもかかわらず、撤収時には日方泊からの上陸ができず、 S_1 と S_2 の地震計は、東風泊から清部岳と江良岳との2峰を越え、島を縦断復讐するかたちで、ようやく回収された。

微小な地震をとらえるには、センサーを露岩の上に設置する方が、スコリア、火山礫、粗粒火山灰などの中に設置するよりは、結果が良いことが期待される。しかし、スコリアなどの中に埋めこめば、風雨のときのノイズの影響はある程度軽減され、いずれも一長一短である。今回は、風雨の強い日の観測は半ばあきらめて、静穏な日には極端に小さい地震まで捉えることを目指して、センサーは露岩の上に置いた(Photo. 7)。

設置、撤収の行動の概要は§3のオペレーションによることとする。

6.3 パック・グラウンド・ノイズ

各地震計に記録されたノイズの、全期間の推移をFig. 6に示す。ノイズのレベルは、この地震計システムの感

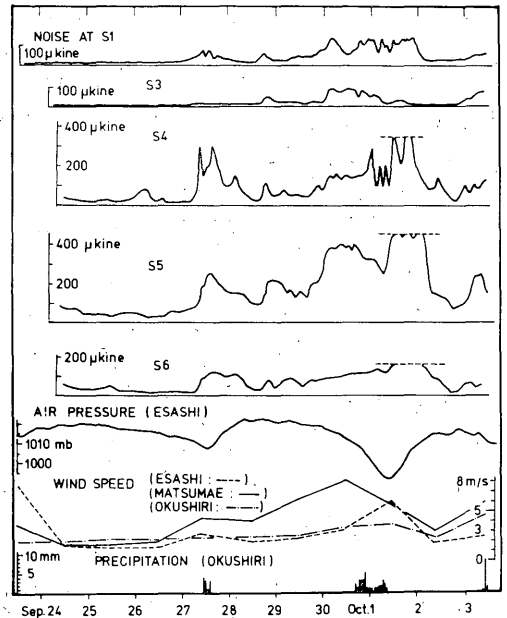


Fig. 6. Comparison between noise levels and meteorological conditions. The observation stations near the mountain top, S_4 , S_5 and S_6 , are higher in the noise level, which possibly reflects the activity of volcanic microseisms. The noise level increases when the wind speed increases, which seems inevitable for the temporary observations on a steep island. The higher noise levels were clipped, in S_4 , S_5 and S_6 , in the reproduction process of the magnetic tapes. The original tapes were not saturated by the noises.

知限界の 2μ kine より全期間を通じて高く、特に風の強い時には、数 100μ kine 以上にもなった。

設置後、9月27日の朝までは風も弱く、各地点とも、それぞれ最低のノイズ・レベルであったが、比較すれば、中央火口丘付近の3点 (S_4, S_5, S_6) の方が、他の地点よりもノイズ・レベルが高かった。

たとえば、海岸近くの S_3 と山頂の S_5 における、無風時の同一時刻のノイズ・スペクトルを較べると、全体的に S_5 のノイズのレベルが高い (Fig. 7 参照)。とくに、3~9 Hz の周波数帯では 20db も差がある。Fig. 7 は上下動成分の記録のスペクトルであるが、水平動成分も、ほとんど同じ傾向を示している。

この風の弱い期間のバック・グラウンド・ノイズは、山頂近くの地震計の方が、海岸近くの地震計より大きく記録されているから、波浪の影響とは考へにくい。一方、山頂近くは、海岸付近より風が強く、その影響である可能性はあるものの、数10時間にわたって、ノイズ・レベルが大きく変化していないので、風に原因を求めるのも不自然である。

これらのことから、風の静穏時の山頂近くの地震計に記録された微小振動は、ノイズではなくて、火山性微動か、あるいは極微小地震が連続的に起っていることに因る可能性がある。このバック・グラウンド・ノイズの地震記象 (Fig. 8) は、後に述べる火山性と思われる群発地震の記象と比較すると、振幅は小さいが、特徴は非常に

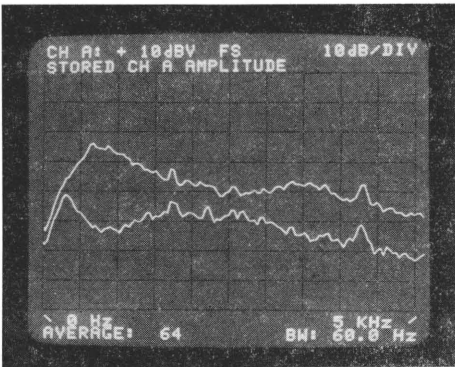


Fig. 7. Noise spectra which were obtained from S_5 , upper trace, and S_3 , lower trace. The ordinate is 10 dB/div. and the abscissa is 3 Hz/div. Hanning window was applied. The spectrum at S_5 is generally higher than that of S_3 . Especially from 3 to 9 Hz the difference is about 20 dB in amplitude spectra.

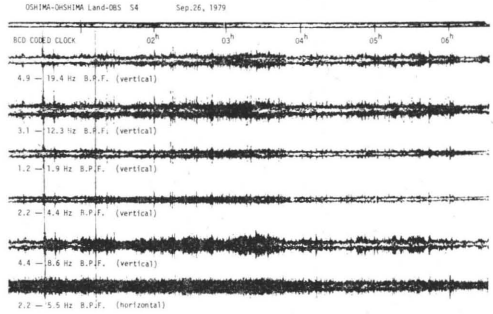


Fig. 8. Record which is obtained at S_4 , near the mountain top. Traces in the figure were obtained from magnetic tapes played through various band pass filters whose frequencies are indicated on each trace.

よく似ている。

9月27日以降は、近くを台風くずれの低気圧が2回通り、その影響でどの地震計もノイズ・レベルが高くなった。とくに9月27日と、30日から10月1日にかけての期間は、ノイズ・レベルが特に高かった。渡島大島の北東78 kmにある江差測候所では、10月1日には平均風速13 m/s を記録している。

したがって、記録された地震の下限が、この期間だけ極端に上ってしまったが、幸いに DAR を使った今回の地震計システムは、ダイナミックレンジが約 60 db と広いため、記録がノイズで飽和されることはなかった。

しかし、各地点でのノイズ・レベルのあがり方には差があり、海岸に近い S_1, S_3 よりも、火口丘付近の S_4, S_5, S_6 の方が激しかった。そのため、Fig. 6 で認められるように、 S_1, S_3 の記録に合はせて再生すると、 S_4, S_5, S_6 では再生記録は見掛け上クリップしてしまう。

6.4 島外の地震

地震計の観測時間を、Tab. 4 に示す。各個には、210~237 時間で、延べ1,343 時間に及んだ。

この間に各地点とも非常に多くの地震を記録したが、そのほとんどは近い地震であった。この期間中に気象庁が震源を決定した地震のうち、この付近のものは4個であった (Tab. 5)。これらの震央距離が200~300 km の4個の地震の記象は、6地点とも、初動部分も振幅もよく似ている。Fig. 9 は記象の一例であるが、初動の立ち上りは鋭く、初動の読みとりも容易である。また、最大振幅の各地点毎の相異は、同一地震に対しては20%ぐらいであり、振幅の差も小さい。

Tab. 4. Observation of the seismographs. See Fig. 1 for each location.

Observation Site	Record from	Record to	Observation Period	Longitude	Latitude	Height
S1	Sep. 23, 15 h	Oct. 3, 12 h	237 hours	41°30'36.1''N	139°22'48.9''E	340 m
S2	Sep. 23, 15 h	Oct. 3, 12 h	237 hours	41°30'22.7''N	139°22'36.3''E	420 m
S3	Sep. 24, 07 h	Oct. 3, 12 h	221 hours	41°29'44.8''N	139°20'56.2''E	130 m
S4	Sep. 24, 11 h	Oct. 3, 12 h	217 hours	41°30'21.8''N	139°21'23.2''E	650 m
S5	Sep. 24, 09 h	Oct. 3, 11 h	218 hours	41°30'38.8''N	139°21'27.0''E	650 m
S6	Sep. 24, 12 h	Oct. 3, 09 h	213 hours	41°30'41.0''N	139°21'14.7''E	640 m

Tab. 5. Earthquakes occurred in the area within 300 km from the island of Osima-O Sima during the period.

Location	Date	Magnitude	Depth	Azimuth (θ)	Distance (d)
Off Akita Prefecture	Sept. 24, '79	3.4	20 km	201°	162 km
East of Aomori Prefecture	Sept. 30, '79	5.3	50	91	214
Coastal Area of Iwate Prefecture	Oct. 2, '79	5.0	60	129	276
East of Aomori Prefecture	Oct. 2, '79	3.7	60	96	199

ところが、振動の継続時間 ($F-P$) は、各地点間にもちがいがあらわれた。例えば、10月2日の岩手県沿岸部の

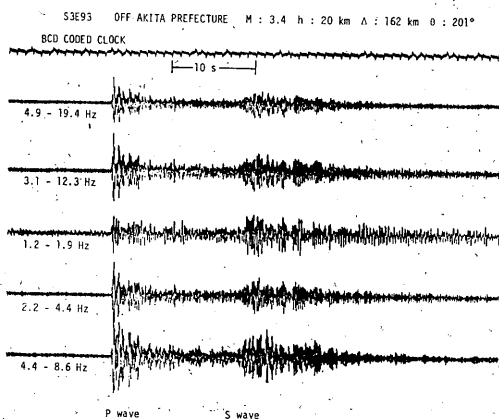


Fig. 9. A seismogram of a rather distant earthquake of 09 h 30 m on Sept. 24. The record was obtained at site S3. Earthquakes which occurred outside the island are observed with clear onsets, however most of the earthquakes which occurred inside the island have vague onsets.

地震で、最大振幅の $\frac{1}{2}$ になるまでの時間を継続時間とすると、海岸に近い山腹の地点では1.5~2分であるのに、火口丘付近の3点では3~4分と、ほぼ2倍であった。

これらのことから、島全体として、山腹も火口丘付近も、大体同じような地下構造であるが、火口丘付近の地下には、地震波を散乱させるものがあることを暗示している。

また、1978年10月にはじまった函館沖の群発微小地震は、活動継続中で、北大理学部地域地震予知観測センターでは、この期間中に25個の震源を決定している。しかし、震央距離が約115km (方位角約78度) あるため、最大でも $M=1.2$ のこれらの地震については、初動の読みとれる地震記象は記録されていなかった。

6.5 近い地震

各地点の地震計は、前節にのべた震源のわかっているやや遠い地震の他に、数多くの振動を記録した。野生の兎など地震以外の振動も考えられるので、他の地震計の記録と対応のつくものを選びだすこととした。全期間中の地震らしきもの (events) のノイズからの選別には、記録テープを録音時の約160倍のテープ速度で“音”として再生し、耳で識別してひろいだした。

こうして、3地点以上の地震計に、同時に観測されて

対応がつけられた記象は、約 250 個あった。これらは、地震以外に原因を見付けることは困難であった。

しかし、これらの記象のほとんどは、今までに観測された地震記象とは、大変に異なるものであった。記象の一例を Fig. 10 に示す。

第 1 の特徴は、最大振幅のわりに初動が非常に小さく、とくに立上りがほとんど読みとれないことである。第 2 には、これらの微小地震には群(続)発生があるらしく、250 個のなかの 1 個とされたものも、些細にみるとその中に 2, 3 個の独立の地震がより集って成りたっているらしいものが多い。

これに対し、他の場所で普通に観測される、立上りの鋭い微小地震は、ほんの数個しかなかった。

これらの立上りははっきりしないが、最大の振幅の大きい地震の、各地震計の記録上の対応は、一般に非常によい。対応を示す、遅送りのオッシュロググラフの記録の 1 例を、Fig. 11 に示す。

これらの、好対応を示す記録を見ていると、第 3 の特徴として、同一地震に対する記象の振幅が、各観測点間で著しく異なることがわかる。これは、やや遠い地震の記象の振幅が、各地点間でほぼ同じであったことと、はっきりと対比する。例えば、E 341 の地震に対する S₁, S₃, S₄, S₅, S₆ の各地点で記録された振幅の比は 3 : 2 : 15 : 32 : 10 であり、E 356 では、3 : 1 : 8 : 14 : 7、E 355 (群

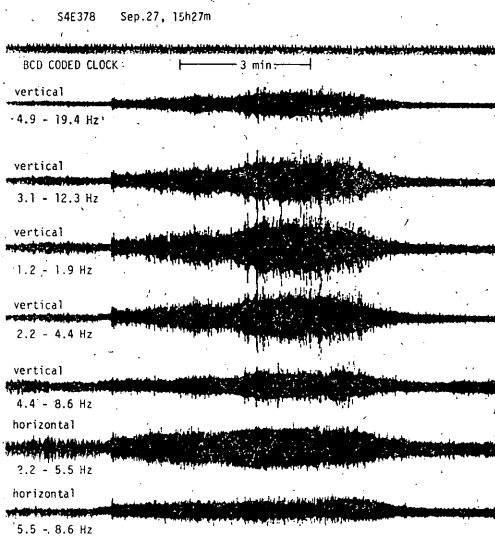


Fig. 10. An example of nearby earthquakes. It has quite vague onset. The abnormally long duration of the event is probably caused by a swarm of very small earthquakes.

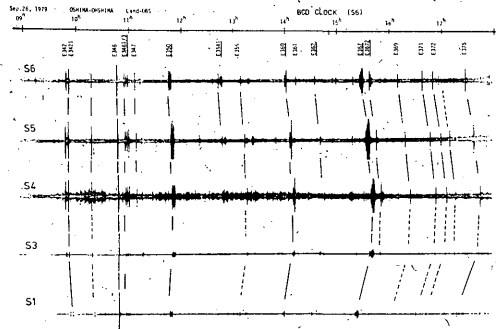


Fig. 11 Seismograms which show the correspondence of earthquakes. Variation of the fixed tape speed of the recording instrument results in the variations of lengths of the time axes. The over-all gains are identical for these traces. Note that the amplitudes of each event varies considerably among the observation sites. A lot of earthquake swarms was observed; for example the event E3541 consists from at least eight earthquakes. The underlined events indicate apparent swarms, however many of other events without underlines are possibly swarms.

発) では、2 : < 1 : 8 : 11 : 9 で、それぞれの地震における最大と最小の震幅の間には約 15 倍の差があった。

特に S₅ と S₆ の地震計の間隔は、僅に 300m しかないのに、例えば E 341 の地震では、記象の振幅に約 3 倍の違いがあるということは、驚ろくべきことである。

以上のような特徴は、これらの地震がごく浅いところで起っているローカルなもので、しかも地下の構造が、これらの地震の周波数帯域では減衰の大きいものから成り立っていると考えると、うまく説明がつく。

今、この付近の地下の地震波速度構造や Q の分布が、それほど違わないとすれば、観測された地震波の振幅 (A) は次式であらわされる。

$$A = A_0 \exp\left(-\frac{\pi}{QT} t^*\right) \dots \dots \dots (3)$$

ここに、T ; 見掛け上の週期,

t* ; 走時.

したがって、300m という近距離で、振幅に 3 倍近い差があるとすると、QT, t* の両方とも非常に小さな値となる。今、T の値を観測から 0.05 秒ととると、Q の値は 10 以下で、しかも地震波速度は、2 km/sec くらいの低速でなければならない。また震源の深さも数 100m 以浅

Tab. 6. List of located events in the vicinity of each observation site. Because of very low Q , which is estimated to be as low as 10, the locations of the events were rather easily discriminated by the recorded amplitudes among nearby stations. For example, amplitudes of the recorded events at the neighboring stations which apart by only 300m differed commonly more than twice during the observation. Most of the events were located on top of the island, while seismicity on the flank was very inactive.

Observation Site	Nearby Events	Observation Period	Quiet Observation Period	Nearby Events per Day
S1	8.0	237 hours	147 hours	1.3
S2	5.0	237 hours	97 hours	1.2
S3	3.0	221 hours	177 hours	0.4
S4	39.5	217 hours	105 hours	9.0
S5	99.5	218 hours	75 hours	31.8
S6	72.5	213 hours	60 hours	29.0

で、最大振幅が観測された地点のごく近くで起こった地震と考えるのが、最も妥当である。

Q の値が10以下ということは、地震波の減衰が非常に大きいことを意味するが、遠くの地震も記録し得るから、 Q の値の小さい領域は、浅く且狭い範囲に限られていると考えられる。

6.6 “近い”地震の震源分布

前節に述べたように、渡島大島のあたりは、局地的に著しく Q の値が小さいため、地震の記象は初動の立ち上りが不明瞭で、読みとりが困難であり、多数の地震計を展開してあっても、通常の方法による震源決定ができなかった。

このため、ここでは、各地点間の記録上で対応のついた“近い”地震の最大振幅を、各地点のあいだで比較し、その比率によって各地点からの距離を案分して、震源を推定することとした。

しかし、記録振幅を使う方法により位置を空間的にさらにくわしく決定するには、幾つかの仮定を要する上に、誤差の範囲に不確定な部分もある。ここでは、 Q の値が小さいことを利用して、各地点において最大振幅の最も大きなものが記録された回数を、その地点のごく近傍の地震数を代表するものとして、Tab. 6として示すことにした。個数に端数がついているのは、大きな最大振幅が複数の地点で観測された地震については、1個の地震をそれぞれの地点へ、比例配分したからである。

近傍での震源数が一番多かったのは、 S_5 地点で、99.5個の震源をかぞえた。この観測点は中央火口丘の南東側山頂近くにあり、センサーは露岩の上に置かれていたため、風によるノイズが大きく、全観測時間217時間のう

ち、静穏な期間は75時間しかなかった。極微小地震を観測可能なこの75時間中に99.5個の震源があったということは、1日当り31.8個の極微小地震が S_5 地点のごく近傍で起っていたことになる。

同様に火口丘北西側山頂近くの S_6 地点でも、極微小地震の活動度は高く、気象の静穏な1日当り29.0個の震源をかぞえた。

中央火口丘からやや離れた清部岳の S_4 では、これら2点よりは活動度は低く、静穏な1日当りの震源個数は9.0個であった。

江良岳の東側山腹の S_1, S_2 では付近の震源はさらに少く、1日当りそれぞれ1.3個、1.2個であり、島の南端近くの、北風泊の海岸の直上の S_3 地点では1日当り0.4個にすぎず、中央火口丘からはなれた場所での地震活動度の低さを示していた。

これらの地震は、震源距離数100mないし2kmの近距離でも、記録される最大速度が数10 μ kineから数m kine、したがって地震動の最大振幅としては1 μ m以下の非常に小さい地震である。そのうえ、振動継続時間が異常に長く、地下構造も Q の値が異常に小さいなど、特異な条件が多く、マグニチュードの算定には、普通の方法が適用できない。

§ 7. 土壌空気

地下深部に由来する気体の成分は、地殻変動、断層運動、火山活動などの重要なインジケーターと考えられる(Wakita et al., 1980)。特に He および H_2 は、大気中には微量しか含まれていないから($He \sim 5.2$ ppm, $H_2 \sim 0.5$ ppm)、これらの量が変化すると、地表近くの土壌

Tab. 7. Contents of gase constituents in the soil air. Note H₂ content at the site G₆.

Sampling site	Date	He(ppm)	H ₂ (ppm)	Ar(%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)	GH ₄ (ppm)
G ₁ South side of the inner slope of the central cone	Sept. 24, '79	~5.0	~0.5	0.95	19.0	78.1	n.d.*
G ₂ ditto	Sept. 24, '79	~5.0	~0.5	0.93	19.5	78.5	n.d.
G ₃ Center of the crater	Sept. 24, '79	~5.0	~0.5	0.97	18.7	79.0	n.d.
G ₄ Fumarole gass at the north-western slope	Oct. 3, '79	~5.0	~0.5	0.95	20.1	79.0	n.d.
G ₅ In the fumarole of the above site	Oct. 3, '79	~5.0	~0.5	0.93	19.4	80.5	n.d.
G ₆ ditto	Oct. 3, '79	~5.0	~1.0	0.93	19.0	80.0	n.d.
G ₇ Southern part of the caldera rim	Oct. 3, '79	~5.0	~0.6	0.95	18.5	79.0	n.d.
G ₈ Southwestern part of the Island	Oct. 3, '79	~5.0	~0.5	0.93	19.1	79.0	n.d.
G ₉ ditto	Oct. 3, '79	~5.0	~0.5	0.93	18.7	79.0	n.d.

* Almost the same concentration to the atmosphere (~1.5 ppm)

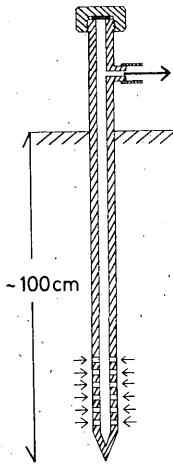


Fig. 12. Newly designed sampling device for soil gas.

空気内の含有量に鋭敏に反映してくる。

しかし、この方法で火山活動度の推定をするには、土壌空気をなるべく地上大気が混入しないように採取する必要がある。今回の調査には、Fig. 12 に示すような、直径10mm、長さ1.5m のステンレス製土壌空気採取管を用いて、採集を行った。この土壌空気採取管を土中、あるいは粗粒火山灰中に打ち込み、コック付の注射器を接続して土壌空気を採取し、あらかじめ排気した気体試

料密封容器に移し替えて、実験室に持ち帰り分析に供した。

採集は9月28日に G₁~G₃ の3点、10月3日に G₄~G₉ の6地点の計9地点で行った。採集点の位置は、Fig. 1 に示す。

気体組成の分析は、ガスクロマトグラフを用いて行なった。Ar ガスをキャリアーとする分析から He, H₂, O₂, N₂, CH₄ の定量を、O₂ ガスをキャリアーとする分析から Ar と CH₄ の定量を行った。充てん剤としては、モレキュラーシーブ 5A (80~100mesh) を; カラム長2mとして用いた。

分析の結果は、Tab. 7 に示すように、O₂, N₂, Ar, He, CH₄ の濃度は、9地点とも大気組成とはほぼ同じ濃度であった。渡島大島の火山活動の低い現状から見て、有珠山の噴火の際の H₂ ガスの放出(野津憲治ら, 1978)や、松代地震の折の He の放出(Wakita et. al., 1978) のような顕著な変化が認められないのは、当然のことかもしれない。

ただ H₂ に関しては、西北火口壁の噴気孔内の G₆ の地点の値だけが、大気中濃度(約 0.5 ppm) の2倍と、有意な違いが観測された。

§ 8. 考 察

今回の調査は、地中温度、地熱流、極微小地震、土壌空気と対象項目は僅に4項目にすぎないが、観測の手法

には新しいものを採り入れ、目ざましい結果が得られた。

微小地震の群列観測の結果は、中央火口丘付近に配置した地震計で記録された振幅に、著しい差異があり、直下にはごく局部的に地震波動の減衰が極めて大きく、かつ波速の著しく遅い地下構造の存在が裏付けられた。このような地下構造としては、岩石の物性に影響を及ぼすほど高温であるか、または、ガサガサの脆弱な物質であるかのどちらかであろう。

島全体の表面が、スコリア、細粒火山礫などの脆弱な物質でおおわれているので、後者の原因であることも考えられる。

一方、中央火口丘の内壁には、遠望では見落しかねないかすかな噴気をともなった高地熱異常域が、3か所に認められた。特に南東側の部分は、ひろがりも大きく、通常の地殻熱流量の約1万倍に相当する $1.3 \times 10^4 \text{HFU}$ の高熱流量が観測された。この地域の地表近くの岩石の熱伝導度を大きめに $10^{-2} \text{cal/cm s } ^\circ\text{C}$ と見積っても、地下の温度勾配は 1°C/cm 以上もあり、数10mの深さでも $1,000^\circ\text{C}$ を超すことになる。

したがって、地震波の減衰が大きく、波速の小さいのは、地下に非常に高温なところが局地点に存在するためと、考える方が合理的と思われる。

この地熱地帯から熱伝導によって放出される熱エネルギーのフラックスの総量は、約3,000KWと推定された。このなかには、噴気により大気中へ逸散する熱量は含まれていないから、実際にはいまだにかなり大量の熱エネルギーが放出されつつあると考えられる。

渡島大島で起りつつある極微小地震の大部分は、中央火口丘の地熱地域で起っている。しかも、その地震の発生は、地熱活動のより活発な南東側火口丘付近の方が、地熱活動の小さい北側よりも、さかんである。したがって、一般の火山性微動にくらべ周期が短い、観測された極微小地震は、矢張り一種の火山性のものと思われる。

土壤空気中の成分比率でも、中央火口丘の北側の地熱地帯の土壤中から採集した空気には、高い H_2 濃度が認められた。

しかし、中央火口丘付近以外では、地中温度も正常で、極微小地震もほとんどなく、土壤空気中の成分にも異常は認められなかった。したがって、地下における火山活動は、中央火口丘直下のごく限られた部分のみ起っていると思われる。

渡島大島は、活火山のレットルにふさわしく、い然地熱活動、地震活動ともに認められ、土壤空気成分にも異常が検出されたが、過去数回の調査に比して、特に変化があったとは認められない。むしろ、植生がじよじよに広がりつつあるので、熱的には現在冷却中のように見受けられる。かつて最盛期にあった火山活動の名残りというべきであろうか。

この点を解明するためには、将来の調査にあたり、さらに多数の高感度地震計を中央火口丘付近に集中的に展開し、震源の位置の推定の精度を高めるとともに、地熱異常の精確な測定を、心掛ける必要がある。

§ 9. おわりに

この調査の計画段階において、経験者の方々から、器材を中央火口丘まで運搬することは、不可能に近いという忠告をうけた。にもかかわらず、一応の成功を得たのは、器材の運搬、設置、撤収に尽力して下さった、太田良久、川江 訓、熊谷正光、紺谷俊次（以上函館海洋气象台）、榎本美津郎、岡山宗夫、瀬戸口泰史、卜部 卓（以上北海道大学）の諸氏に負うところが大きい。また、揚陸を支援して下さい、谷口滋穂船長以下の高風丸の乗組の方々、観測器材の使用に便宜をはかって下さった、北海道大学理学部の横山 泉教授、気象研究所地震火山研究部の田中康裕研究室長などにも、感謝の意を表する。

なお、今回採集された渡島大島の岩石試料は、東京大学理学部地殻化学実験施設において、目下分析中である。

参 考 文 献

- 福富孝治 (1951) : 1 m 深の地中温度より温泉探査の可能性について (第1報), 北大地球物理研究報告, 1, 21~34.
 函館海洋气象台 (1972) : 渡島大島火山現地調査報告, 験震時報, 37, 73~77.
 北海道防災会議 (1977) : 渡島大島, 北海道における火山に関する研究報告書第6編.
 野津憲治その他 (1978) : 地球化学討論会講演予稿集.
 Sekioka, M. & Y. Yuhara (1974) : Heat Flux Estimation in Geothermal Areas Based on the Heat Balance of the Ground Surface, J. Geophys. Res., 79, (14), 2053-2058.
 島村英紀, 浅田 敏 (1974) : 海底地震計のためのカセット・レコーダー, 北大地球物理研究報告, 32, 17~24.
 Wakita, H. et. al. (1978) : Helium Spots, Science, 200, 430-433.
 安井 正 (1979) : 地熱地帯における地熱流の測定法, 札幌管区气象台技術報告, No. 94, 1~4.