HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	4. 鹿児島県下硫黄島の地球物理学的調査報告
Author(s)	横山, 泉; YOKOYAMA, Izumi; 清野, 政明 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 16, 33-50
Issue Date	1966-08-10
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.16.33
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13916
Type	departmental bulletin paper
File Information	16_p33-50.pdf

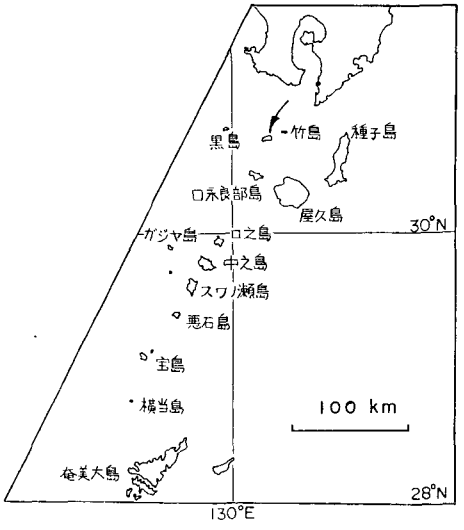
Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

4. 鹿児島県下硫黄島の地球物理学的調査報告

横山　泉・清野政明*・本谷義信
飯塚　進**・牧　　正・青田昌秋***
(北海道大学理学部地球物理学教室)
— 昭和41年4月受理 —

I. まえがき

硫黄島は九州南端の開聞岳の南方38 kmの海上にある活火山島である。十島火山群のなかでも，隣の竹島と共に，最も九州本土に近い島である。この十島火山群には，硫黄島の他に，諏訪瀬島，中の島，口の永良部島などの活火山があり，1934年9月には，硫黄島の東2 km，深さ約300 mの海底に噴火がおこり，面積約9×10^4 m²，最高点海抜24 mの「新硫黄島」を生じた。



第1図　十島火山群と硫黄島 (矢印)

Fig. 1.　Iwō-Island on the southern sea of Kyusyu.

硫黄島の噴火の記録はないが，硫黄岳の山頂火口には，700°C前後の噴気孔が多数あって，火口はガスで充満しており，山頂は殆んど常時雲でおおわれている。そして，昔から断続的であるが，硫黄が採取されてきた。この特異な火山についての，系統的調査が今までなかったので，1961年に，地球化学的調査を主とし，これに地質学的および地球物理学的調査を加えて，硫黄島火山研究を目的とするグループが結成された。筆者らは，地球物理学的調査を担当する機会を与えられたが，その項目は次の通りである：

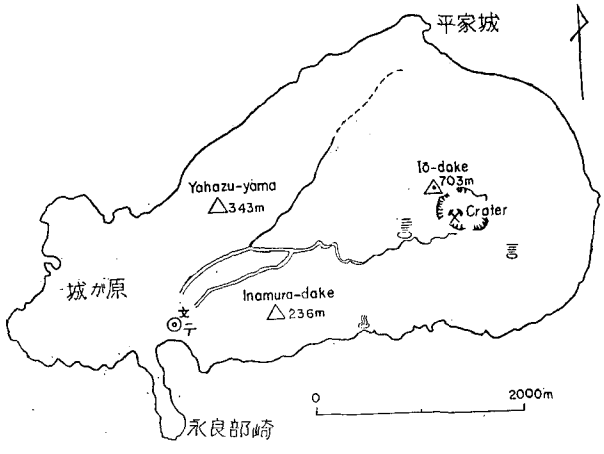
1961年	(清野，本谷)	火山性微動観測 地温測定
1962年	(飯塚，牧)	地磁気伏角測定 地温測定
1963年	(横山，青田)	重力測定 地温測定

(現在) * 気象庁，** 地質調査所，*** 北大低温科学研究所.

本報文においては，グループの他の調査とは一応独立に，筆者らの実施した地球物理学的調査結果の概略を報告する。

II. 硫黄島の地質の紹介

硫黄島に関する地質学的研究には，松本唯一[1]の先駆者的研究がある。この研究を参照して，以下に，同島の地質の概略を紹介する：



第2図　硫 黄 島　(地形については第16図参照)

Fig. 2.　Iwō-Island.

硫黄島は地形的にも，地質学的にも，次の4つの部分から成っている (第2図)。すなわち，開析された矢筈山 (約 343 m)，城が原および平家城の高台，若い硫黄岳 (703 m) および稲村岳 (236 m)，そして低地および海浜である。

城が原台地の周囲の崖は，少なくとも 80 m の厚さの，ち密な硝子質熔岩から成っている。新しいコニーデの硫黄岳および稲村岳は島の南半分に位置している。硫黄岳の山頂には，直径 700～800 m，深さ 50 m の火口があり，火口底には多数の噴気孔がある。また西側および東南側の山腹にも噴気孔が見られる。硫黄岳の岩石は，開聞岳，桜島，霧島山および阿蘇中岳などと同様に，複輝石安山岩である。

稲村岳は東北側に小さい凹みをもった平らな円錐形で，全山細かい火山礫でおおわれている。その南側海岸には，新しい輝石安山岩の熔岩流が見られる。

硫黄島の周辺に関しては，竹島をつらねて，松本唯一[1]は「鬼界カルデラ」を提唱した。海図によれば，竹島の南東に 150 m より浅い所が2カ所あり，硫黄島の南には，屋久瀬と称される岩礁がある。そこで硫黄島を東北から南西に走る構造線，竹島うの瀬，竹島の南岸，竹島の南東の2つの浅瀬，そして屋久瀬とを結ぶと，カルデラ壁がえがかれる。この線から外側の

1) T. MATUMOTO; The four gigantic caldera volcanoes in Kyusyu, Japanese Jour. Geol. Geogr., **19** (1943), Special number.

外輪山は，300 m 位の深さへゆるやかに傾斜している。しかし内側へは，非常に深くて，404 m, 475 m および 528 m の 3 カ所の深みがある。内側にある 3 つの浅瀬，すなわち 27 m, 69 m および 194 m は，朝日瀬岩礁と共に，多分，海底中央火口丘であろう。そして前述の硫黄岳，稲村岳，そして新硫黄島と合わせて合計 7 つは，この巨大なカルデラの中央火口丘である。このカルデラの大きさは，東西 23 km，南北 16 km で面積 233 km^2 である。

III. 地 温 測 定

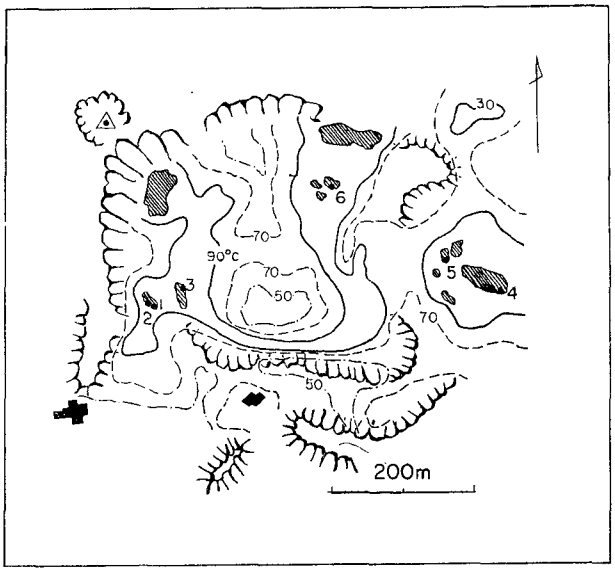
一般に地熱地帯には，地温の分布によって，次の 3 つの場合が考えられる：地表面で 100°C 以上 1000°C にも達する地帯，地表下 1 m 以内で約 100°C ちかくになる地帯，地表下 1 m 付近で気温より高い数 10°C になる地帯である。第 1 の場合は，主として火山の深部から，過熱水蒸気が割れ目などを通って地表に達したものであり，高温の噴気孔はその例である。第 3 の場合は，温泉地域などに多いが，地下熱源からの伝導熱によって生ずると考えられ，福富[2),3)] などによる研究も多い。第 2 の場合は，地表面における分布からみても，第 1 の高温地帯をとりかこむように生じており，火山地域には多く見られ，steaming ground なる現象を呈することがある。この種の地域における熱流量の測定などについては，近時ニュー・ジーランドでの研究がある[4)]。硫黄岳山頂の火口底は，一面に第 2 の地熱地帯であり，その間に，第 1 の型である高温の噴気孔が散在している。

硫黄岳火口における地温の測定は，次のように行なわれた：

1961 年 7 月 20 日～8 月 3 日 (噴気孔温度，地温の分布)
1962 年 7 月 24 日～8 月 4 日 (同　　上)
1963 年 7 月 22～23 日　　(噴気孔温度のみ)

61 年および 62 年には，水銀留点温度計およびアルメル・クロメル熱電対を用いて約 100 点，それぞれの地点で深さを変えて，のべ約 250 回の地温を測定した。第 3 図には，1961 年の 25 cm 深の地温の分布を示す。斜線を施した部分は，100°C をはるかにこえる高地温地帯である。61 年と 62 年との測定結果を比較するに，硫黄鉱石採取による地形変化を考慮すれば，大差ないといえる。噴気孔をふくむ高地温点については，3 回の測定があるので，それらを第 1 表に示す。

2) T. FUKUTOMI; Rates of discharge of heat energy from the principal hot spring localities in Hokkaido, Japan, Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., VII, **1** (1961), 315.
3) 福富孝治；1 m 深地温についての 2, 3 の問題，北大地球物理学研究報告，**9** (1962), 45.
4) R. G. FISHER; Geothermal heat flow at Wairakei during 1958, N. Z. Jour. Geol. Geophys., **7** (1964), 172.
G. B. DAWSON; The nature and assessment of heat flow from hydrothermal areas, N. Z. Jour. Geol. Geophys., **7** (1964), 155.
G. B. DAWSON; Diurnal and seasonal ground temperature variations at Wairakei, N. Z. Jour. Geol. Geophys., **7** (1964), 144.



第3図　硫黄岳火口内の25 cm 深の地温の分布 (1961年)
斜線を施した部分は，100°C 以上の高温地帯を示す．数字は第1表の噴気孔を示す．

Fig. 3. Distribution of the ground temperature at a depth of 25 cm in the crater of Iwō-dake in July, 1961. Hatched area denotes the zone where the temperature is higher than 100°C.

第1表　硫黄岳火口の噴気孔の温度

Table 1. Temperatures of fumaroles at the crater of Iwō-dake.

Fumarole	1961 July		1962 July		1963 July	
	Temp.	Remarks	Temp.	Remarks	Temp.	Remarks
No. 1. 釜の口-1	745°C	水平に 90 cm	730°C	水平に 90 cm	675°C	水平に 50 cm
2. -2	610	地　表	605	30 cm 深	426	斜めに 60 cm
3. 竹島平-3	370	10～15 cm 深	425	30 cm 深	—	
4. -2	420		575	水平に 30 cm	514	水平に 50 cm
5. 黒　燃-5	—		575	水平に 80 cm	553	水平に 50 cm
6. -1	460	20 cm 深	405	水平に 60 cm	432	水平に 90 cm
7. -7	—		585	20 cm 深	589	
8. Nos. 1と2の中間	—		—		588	水平に 50 cm
9. 荒　山-3	—		—		523	斜めに 50 cm
10. -4	—		—		533	
11. 釜の口-1′	670		—		610	

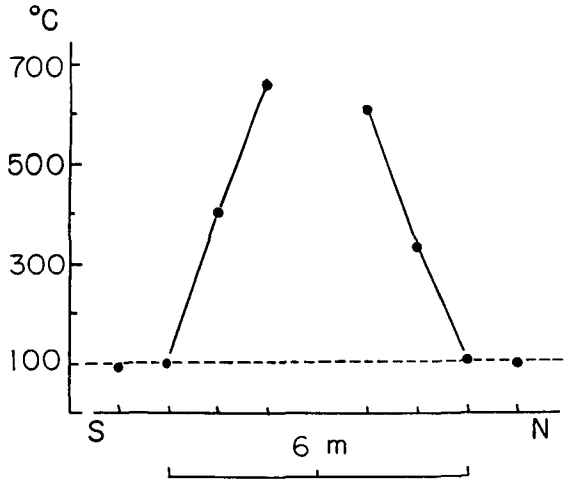
参考までに，鎌田[5]，小沢，吉田らの分析になる主なる噴気孔からのガスの化学成分を第2表に示してある。噴気孔の温度についても，孔の状況の変化を考慮すると，僅かな変化を議論でき

5) 鎌田政明；鹿児島県黄硫島の火山と地熱，地熱，**3** (1964), 1–23.

第2表　硫黄岳火口の噴気孔ガスの化学成分（鎌田・小沢・吉田らの 1961, July の測定による）

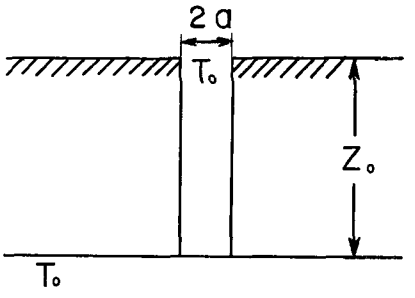
Table 2. Chemical composition of fumarole gasses at the crater of Iwō-dake.

噴気孔	温度 (°C)	H_2O (%)	水蒸気以外の揮発成分の化学成分 (%)							
			HF	HCl	SO_2	H_2S	S_2	CO_2	R	Rn (10^{-10}c/ℓ)
釜の口-1	745	97.7	4.1	30.7	38.0	4.2	—	13.3	9.7	35.2
-2	612	95.3	4.6	28.6	45.7	2.8	—	8.8	9.5	—
竹島平-3	370	98.3	2.4	38.0	33.9	6.8	—	14.5	4.4	34.2
-2	420	97.3	3.1	36.7	28.6	5.6	—	18.8	7.2	28.9
荒山	102	98.7	2.9	8.0	61.4	7.7	—	16.5	3.5	12.5
小岳-1	98	99.2	0.2	1.9	65.6	4.2	—	27.1	1.0	82.2



第4(a)図　噴気孔「釜の口-1」の周辺の 50 cm 深の地温の分布（1963 年）

Fig. 4 (a). Distribution of the ground temperature at a depth of 50 cm along a line passing fumarole No. 1.



第4(b)図　噴気孔の1つの模型

Fig. 4 (b). A model for a fumarole.

ないが，この2年間に，幾分降下した傾向があるようである。

最も高温を示している噴気孔「釜の口-1」において，南北に 1 m 間隔で，50 cm 深の地温を測定したが，1963 年の結果を第 4 (a) 図に示す。いま噴気孔のモデルとして，第 4 (b) 図のように考える。すなわち，噴気孔の出口の温度は，地下の熱源面の温度に等しい。噴気孔の孔径は熱源面まで一様に $2a$ であるとする。この場合，噴気孔から半径方向の，地表面からある深さの温度分布を知れば，中井[6] の計算によって，熱源面までの深さ z_0 を求めることができる。いまの場合，50 cm 深の地温測定は，一直線に沿ってしかできなかったが，これを半径方向の分布の平均とし，$2a=1.8$ m とすれば，約 650°C の熱源面の深さは，地表から約 30 m と得られる。

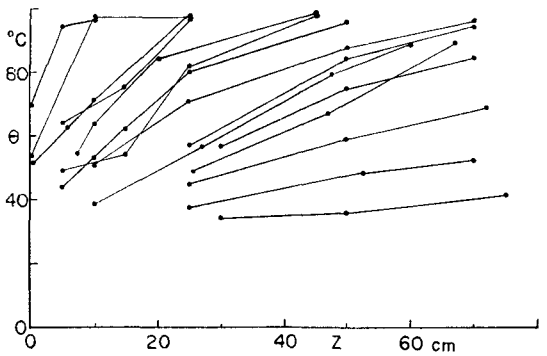
6) 中井新二；昭和新山における熱放散，北大地球物理学科修士論文（1966 年 3 月）.

Steaming ground に対する考察

硫黄岳火口底の各地点における，80 cm 深さまでの地温分布を示すと，第5図のようになる。1961 年のデータの約 1/5 を示してある。これから，steaming ground の特徴として，次のことがわかる：

i)　この時期における気温は 25～30°C，地温の最低は約 30°C で，ほぼ気温に等しい。

ii)　最高温度は約 97°C で，このような温度が測定される場合は例外なく水蒸気が認められる。約 97°C という値は，この火口の高さにおける水の沸騰点に等しい。

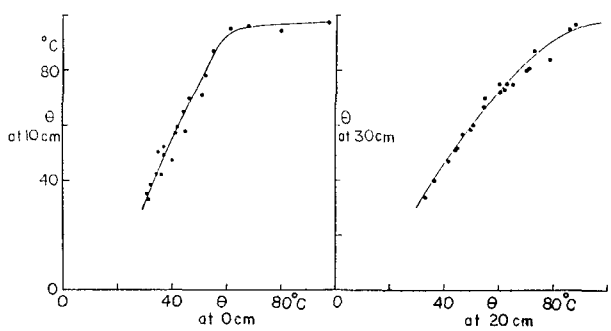


第5図　硫黄岳火口内の各地点における地温の垂直分布

Fig. 5.　Underground temperature vs. depth in the crater of Iwō-dake.

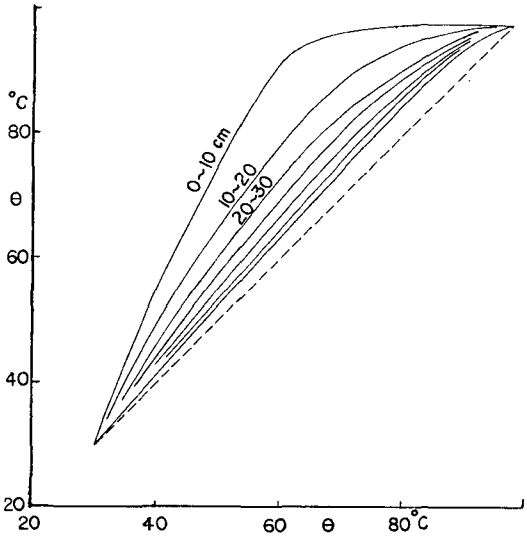
特に (ii) のことは，この種の地熱地帯では水 (水蒸気) が決定的な役割を果たしていることを示している。

第5図に示されている約5倍のデータを個々に検討することは，複雑さを極めるので，全体としての特徴を明確にするよう整理してみる。第6図は，地表温度と 10 cm 深の温度，20 cm 深の温度と 30 cm 深の温度とのそれぞれの相関関係を示している。図中の実線は，測定値を平滑化して引いた最適線である。これから，例えば，地表で 40°C の地点では，10 cm 深の地温は



第6図　地表温度と 10 cm 深の地温との関係および 20 cm 深の地温と 30 cm 深の地温との関係

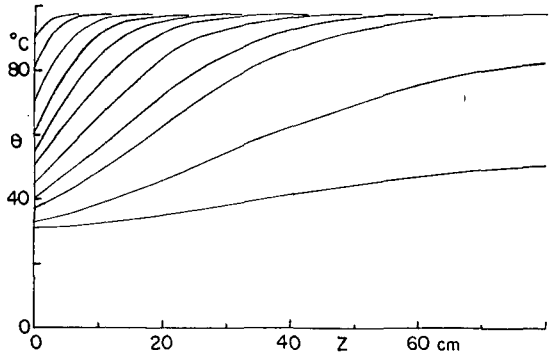
Fig. 6.　Temperature at the surface vs. temperature at a depth of 10 cm and temperature at a depth of 20 cm vs. temperature at a depth of 30 cm.



第7図　深さが 10 cm 深くなったときの地温の関係．横軸が浅い地点の温度を示す．

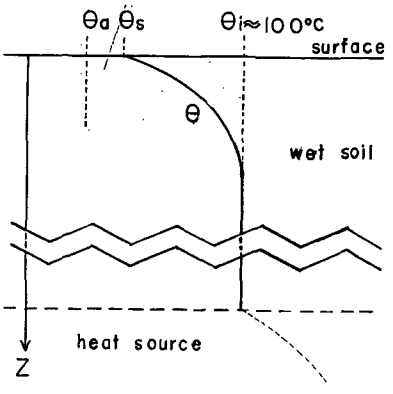
Fig. 7. Relations between the temperatures at two points differing in depth by 10 cm. Abscissa denotes the temperature at the shallower point.

平均して 55°C に上昇することがわかる。なお図中で，両曲線とも気温 (30°C) から始まり，水の沸騰点 (97°C) で終っていることは，(i) 地表で気温と等しい地点では，地下熱源の影響がなく，深さ 10 cm, 20 cm でも気温に等しい。(ii) 地下熱源の影響がきわめて大きく，地表で沸騰点 97°C になる地点では，深さ 10 cm, 20 cm, …… でも 97°C 以上にならないことを示している。同様の方法によって，θ_{10} と θ_{20}, θ_{20} と θ_{30}, θ_{30} と θ_{40}, …… の関係を整理しまとめたのが第 7 図である。図の破線は深さ 10 cm の差が温度差を示さぬような地中深いところにおける極限の関係をあらわしている。第 7 図によると，例えば，地表で 40°C になる地点では，10 cm 深で 55°C,



第8図　硫黄岳火口の steaming ground における平均的な地温の垂直分布

Fig. 8. Variations of underground temperature with depth averaged in the crater of Iwō-dake.



第9図　Steaming groundに対する簡単なモデル

Fig. 9. A simplified model for steaming ground.

20 cm 深で72°C, 30 cm 深で85°C, 40 cm 深で92°C, 50 cm 深で96°C となる。このようにして，硫黄岳火口の steaming ground における平均的な地温の垂直分布は第8図のように得られる。但し，これはあくまでも平均的な分布であり，実際は，曲線を中心にしてかなりのばらつきを示すことに留意せねばならぬ。

以上のことから，steaming ground の簡単なモデルを示すと第9図のようになる：100°C をはるかにこえる熱源を基盤に，その上方を湿った堆積土などがおおい，ここでは水蒸気や水が決定的な役割を果たす。すなわち，上部の土の粒子の間隙を水蒸気，水，空気が移動し，熱は伝導による他に，これらの物質によっても輸送されて，地表から大気中に発散される。

熱流量の計算

一般に，地表面において，Newton の冷却が成立つ場合には，熱流量 Q は次のようにあらわされる：

$$Q = kh(\theta_s - \theta_a) \qquad (1)$$

ここで，θ_s および θ_a は，それぞれ地表面および空気の温度で，k は土の熱伝導度，$h=H/k$ で，H は放熱係数である。

さて，地表層がある程度の深さまで均質と考えられる場合，地表付近の温度分布は単純であり，二次微分係数を無視すると，深さ z における温度勾配 $(\partial\theta/\partial z)_z$ は，福富[3]により次のように与えられている：

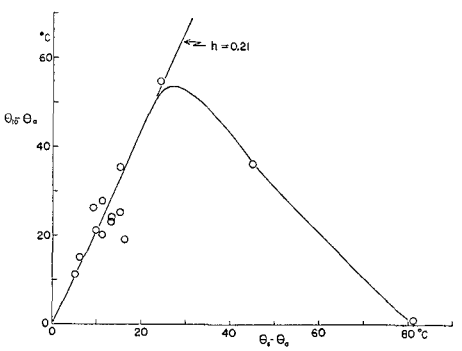
$$\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)_z = \frac{h}{1+hz}(\theta_z - \theta_a) \qquad (2)$$

これを書き直すと

$$h = \frac{\theta_z - \theta_s}{(\theta_s - \theta_a)z} \qquad (3)$$

を得る。

硫黄岳火口底における 10 cm 深の実際の測定値を第10図に示す。(3)式から h を求めると，0.21 (cm^{-1}) を得る。そして(1)式によって，地表温度と気温とを知れば，熱流量を求めることができるのであるが，熱伝導度 k の値の決定にはいろいろな問題がある。元来 k は含水量，空隙率，構造，比熱，密度などに関係する量であり，その詳細な議論は小林[7]などによってなされているが，ここでは，熱流量の概略値を求めるのが目的であるので，k の値としては，凝灰岩に対する値 2×10^{-3} cal/cm·sec·°C を用いる。第3図に示した火口底の steaming ground の温度分布を参考にして，熱流量を計算すると，第3表のようになる。総計 5×10^6 cal./sec. (30×



第10図　硫黄岳火口底における 10 cm 深の地温，地表温度，気温から相対熱伝達係数 h の決定

Fig. 10. Determination of relative heat transfer coefficient at the crater bottom of Iwō-dake.

7)　小林大二；土の熱伝導度について，北大地球物理学研究報告，**13** (1965), 37–51.

第 3 表　硫黄岳火口における熱放散

Table 3. Heat discharge from the steaming ground at the crater of Iwō-dake, based on the measurements in 1961.

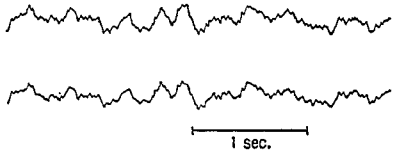
25 cm 深の地温 (°C)	地表温度 (°C)	単位面積当りの熱流量 (cal./sec·cm²)	面　積 (cm²)	熱 流 量 (cal./sec.)
50°C 以下	32	5.6×10^{-4}	1.5×10^{8}	8.4×10^{4}
50 ～ 70	35	1.4×10^{-3}	5.3×10^{8}	7.4×10^{5}
70 ～ 90	42	3.4×10^{-3}	6.0×10^{8}	2.0×10^{6}
90 ～ 100	54	6.7×10^{-3}	2.9×10^{8}	1.9×10^{6}

Total: 4.8×10^{6}

10^{7} cal./min.) に達し，これだけでも，福富[2] の提案した熱エネルギー階の V 級に匹敵し，北海道の温泉のうちでも熱放出量の大きい方に対応する。なお，1962 年の測定から求められた熱流量は，8×10^{6} cal./sec. と得られ，61 年度に比べてやや大きいが，これをもって直ちに放散量が増加したとはいい難い。上記の値は，steaming ground からの熱流量であるが，前述のようにこの地域には，多数の高温の噴気孔があり，火山ガスと同時に，多量の熱エネルギーが放出されている。その測定は原理的には可能であるが，必ずしも実行可能ではない。この解決は今後の課題であろう。

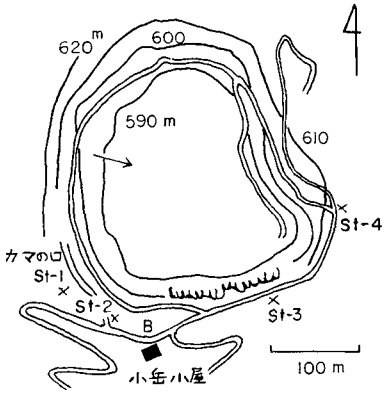
IV. 火山性微動の観測

硫黄岳の山頂火口底には多数の噴気孔があり，また西側および東南側の山腹にも噴気活動が見られる。これらの噴気活動に伴うであろうところの微動を対象として，1961 年 8 月上旬に，火口周辺で観測を実施した。使用した地震計は電磁式 1 c/s 水平動 2 台で，出力を増幅して，固



第 11 図　2 台の地震計の較正の記録の 1 例

Fig. 11. An example of records in calibration of the two seismometers at the base station.



第 12 図　微動観測点の配置，B は基準点

Fig. 12. Distribution of seismometer points in observation of microtremors around the crater. B denotes the base station.

有振動数 30 c/s の検流計を有するオシログラフにより，ブロマイド送り速度 3 cm/sec または 10 cm/sec で記録した。全記録系の周波数特性は，地動の速度に対して，2～15 c/s で平らである。先づ観測に先だって，2 台の地震計の特性を揃えるために，同じ場所 (St-B) において記録をとり，両方の特性が殆んど完全に同じと見なし得ることを確かめた (第 11 図)。観測点の配置を第 12 図に示す。St-B (小岳小屋前) を固定基準点とし，他の 1 台の地震計を，St-1 (釜の口)，St-2 (大谷平入口)，St-3 (小岳小屋と竹島平との中間) および St-4 (竹島平) の各点に移して観測し，得られた各記録を St-B のそれと比較した。

観 測 結 果

各点で得られた記録には波浪による微動が認められるが，その振幅は火山性微動の解析に支障があるほど大きくない。微動現象が時間的に激しく変るようであれば，同時観測ではない各点の記録を St-B を基準として比較することは無意味になるが，St-B で得られた記録について周期，振幅などを調べると，時間的変化は小さいことがわかった。

(1) **周期解析**　St-1 を除く各点については，記録から任意の 6 秒間をとり，振幅の符号だけを用いる友田の方法により自己相関係数を求め，スペクトラムを作ると，第 4 表に示すように，卓越周期は 0.15～0.50 sec. の範囲にある。この微動を仮に微動 I と呼ぶことにする。St-1

第 4 表　火山性微動の観測結果

Table 4.　Result of volcanic microtremor measurements.

観測場所	微動 I		微動の特徴
	振幅比	周期	
St-B 小岳小屋前	1.00	0.5 sec.	
St-1 カマの口	1.03	0.25	0.07～0.09 sec. の波が卓越して，その振幅の時間的変動が大きい。
St-2 大谷平入口	1.15	0.30	0.08 sec. の波が時々現われる。
St-3 Bと4との中間	0.75	0.15～0.25	
St-4 竹島平入口	0.67	0.25	波浪による微動が目立つ。

の記録は，他の観測点の記録よりも明らかに短周期の波よりなっているが，フーリエ解析の結果，短周期としては，0.07～0.09 sec. の波 (これを微動 II と呼ぶ) が卓越し，また，微動 I に対応するものとして，周期 0.25 sec. の波も卓越していることが認められた。

(2) **振幅解析**　各点の記録から，任意の 10 sec. 間の平均振幅を求め，St-B のそれを 1 としたときの値を第 4 表に示す。St-1 については，微動 II の振幅が大きいのであるが，特に微動 I に着目して振幅を求めた。なお，微動 II の振幅は時間的に大きく変動するが，微動 I は各点とも時間的変化は殆んど認められない。

考　　察

St-1 付近は，噴気孔の温度が 700°C 以上もあり，噴気活動の最も活発な場所であり，この点での短周期の微動振幅が他の点に比べて大きいことは興味がある。しかしこの微動 II の振幅

は時間的変動が大きいのが特徴であり，また，St-1 より約 50 m 離れた St-2 では，この微動に対応すると思われる短周期の波が時々見られるが，更に約 50 m 遠くにある St-B では全く現われない。このことから考えると，微動 II は，St-1 (釜の口) 付近の噴気現象に直接関係し，非常に浅いところを源とする局所的な振動と思われる。

次に，微動 I の振幅の距離に対する減衰の様子から，その発生源の位置を推定する。この微動が実体波であるか，表面波であるかは，水平動 2 台の地震計では決定できないので，先ず実体波として考えると，その減衰は次で表わされる。

$$A = A_0 r^{-1}$$

いま発生源の位置を適当に仮定することにより，各観測点での振幅比を求められるので，これが第 4 表の実測に最も合うように発生源の位置を求める。すなわち，真の発生源を (x, y, z)，近似値を (x', y', z') とし，偏倚量を $\delta x, \delta y, \delta z$ とすれば，残差の自乗和は

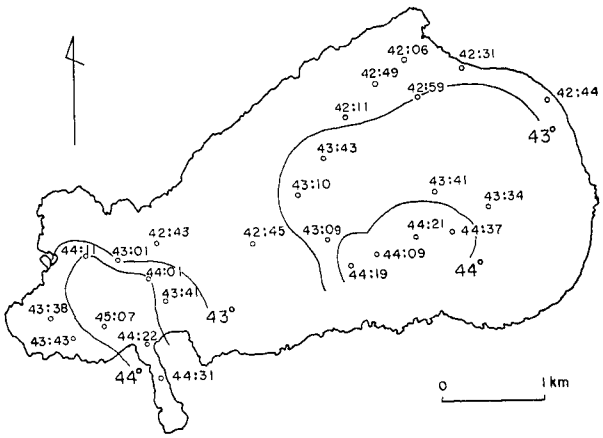
$$\begin{aligned}\varepsilon^2 &= \sum_i (A_0 - A_i r_i)^2 \\ &= \sum_i \left(A_0 - A_i r_i' + \frac{(x_i - x')\delta x}{r_i'} A_i + \frac{(y_i - y')\delta y}{r_i'} A_i + \frac{(z_i - z')\delta z}{r_i'} A_i \right)^2\end{aligned}$$

となる。この値を最小とするように，$\delta x, \delta y, \delta z$ を求めて，仮定した発生源の収束性を調べる。

この場合，震源距離 r に対して，$\delta x, \delta y, \delta z$ が 10% 以内で収束する解が得られた。次に，この微動を表面波であるとすると，減衰は $(r^{-1/2})$ に比例するが，この場合には，発生源の位置をいろいろ変えてもよい収束が得られなかった。実体波として求められた微動 I の発生源の位置は，深さ 150 m で，(釜の口) 噴気孔寄りの所にある。微動 II の発生源は，この噴気孔の地表近い浅い所と推定されたが，微動 I の発生源は，同じ場所でも更に深い所と決められた。微動が如何なる機構によって起されるかは明らかでないが，体積的に発生源と考えられる所で，噴気圧が重要な役割を果たしていると思われる。

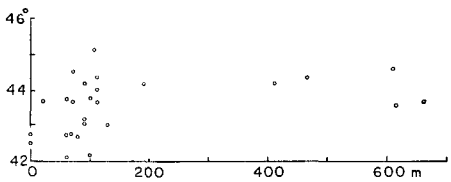
V. 地磁気伏角の測定

地磁気異常は，火山を構成する岩石の磁気的性質およびその地下構造に関係する。今回はその予備的調査として，伏角だけを測定した。使用した器械は，小型地磁気感応儀で，測定精度は ±5′ である。測定期間は，1962 年 7 月 27 日～8 月 3 日である。測定値の分布を示すと，第 13 図のとおりであるが，日変化に対する補正は施してない。測点の数が少ないので詳細な議論はできないが，城が原から永良部崎に及ぶ高い値は，地下に帯磁の強い熔岩の存在を示すものと考えられる。伏角と高度との関係を第 14 図に示す。これから，硫黄岳を構成している岩石 (輝石安山岩) は，概して帯磁の強さが弱いことがわかる。その理由としては，前述のように 700°C に近い温度の噴気孔群の存在から推測される地下の高温や，激しい火山ガスによる岩石の化学的分解が考えられる。新鮮な岩石の自然残留磁気の強さは，9×10^{-4} emu/gr. の程度である。



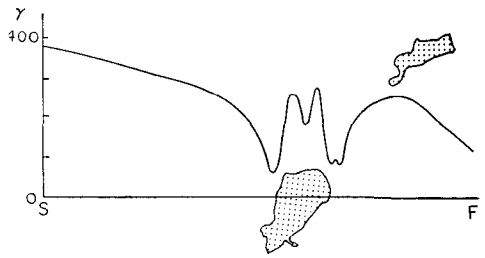
第 13 図　地 磁 気 伏 角 の 分 布

Fig. 13. Distribution of magnetic dip.



第 14 図　地磁気伏角と観測点の高さとの関係

Fig. 14. Magnetic dip vs. height of observation point.



第 15 図　地磁気全力のプロファイル（米国地質調査所の航空磁気測量結果による）

Fig. 15. Aeromagnetic profile of total force over Iwō-Island after U.S.G.S.

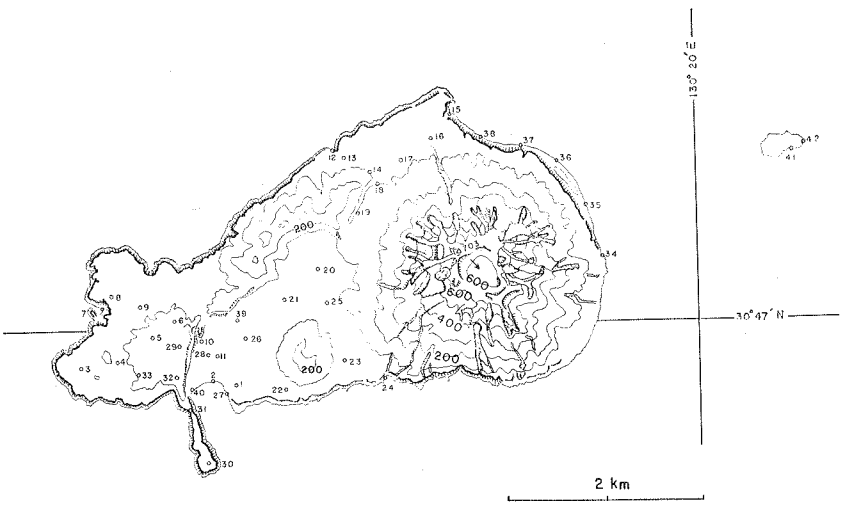
なお，1964 年に，米国地質調査所が，硫黄島周辺で航空磁気測量により全磁力を測定したが，参考までにその結果を第 15 図に示す。図の測線 SF に沿って高度 500 m の異常値の分布である。2 つのピークは，それぞれ矢筈山，硫黄岳に対応するものであり，地形の影響が著しいことがわかるが，硫黄島，竹島で囲まれる南方海上に，相対的に正の異常が認められることは注目すべきである。

VI. 重 力 の 測 定

硫黄島の地下構造を知る手がかりとして，また，既に松本[1] が提唱した鬼界カルデラの傍証として，同島における重力異常を知ることは興味がある。重力測定を実施した期間は，1963 年 7 月 18 日から 29 日までである。使用した重力計は，LaCoste & Romberg 測地用重力計 No.

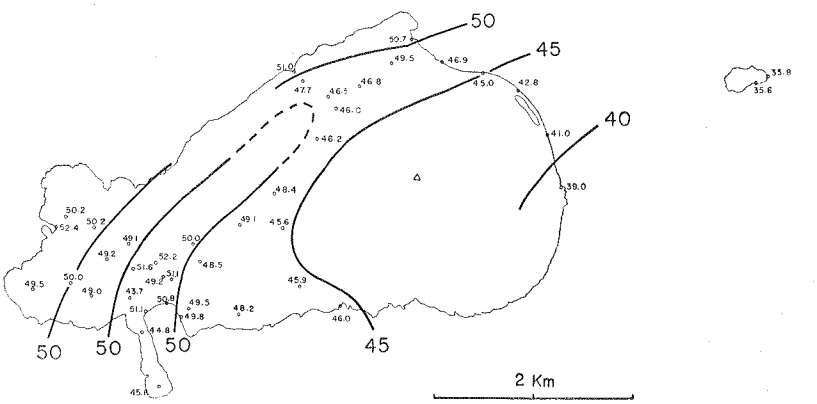
31 であり，その性能の検定については既に報告してあるが[8]，感度は単観測で 0.04 mgal，ドリフトは 0.4 mgal/month 以下である。実際，硫黄島での測定の前後，7 月 16 日と 30 日とに，鹿児島気象台で測定したが，その間のドリフトを求めると，0.18 mgal/15 days であった。硫黄島での測定の基準としては，国土地理院の決定による，鹿児島気象台地震計室における重力値 (g =979. 48622 gal) を用いた。

硫黄島における測定の分布は第 16 図のようであるが，地形が急峻で，火山ガスの充満している硫黄岳山頂付近を避けた。測定結果を第 5 表に示し，ブーゲー異常の分布を第 17 図に示



第 16 図　重力測定点の分布

Fig. 16. Gravity points on Iwō-Island and New Iwō-Islet.



第 17 図　ブーゲー異常の分布，単位はミリ・ガル

Fig. 17. Distribution of Bouguer anomaly on Iwō-Island and New Iwō-Islet. Unit is milligal.

8) 横山　泉；LACOSTE & ROMBERG "G" 型測地用重力計 No. 31 について (第 2 報)，北大地球物理学研究報告，**14** (1965), 49–51.

第5表 硫黄島における重力測定の結果

Table 5. Result of gravity survey on Iwō-Island.

Gravity point	φ 30°N	λ 130°E	Height (m)	Normal value (mgal) 979,	Observed value (mgal) 979,	Free-Air anomaly (mgal)	Bouguer anomaly (mgal)
1. 鉱業所玄関	46′7	17′0	17.0	398.94	445.07	51.4	49.5
2. 海岸舟着場	46.7	16.8	2.2	398.94	449.29	51.0	50.8
3. 城ガ原	46.8	16.0	73.4	399.07	434.13	57.7	49.5
4. 〃	46.8	16.1	87.4	399.07	431.83	59.7	50.0
5. 〃	46.9	16.4	94.2	399.21	429.83	59.7	49.2
6. 城ガ原	47.0	16.6	97.4	399.34	429.24	60.0	49.1
7. 海岸	47.1	16.1	1.8	399.47	451.56	52.6	52.4
8. 城ガ原	47.2	16.2	61.4	399.60	437.68	57.0	50.2
9. 〃	47.1	16.4	76.3	399.47	434.60	58.7	50.2
10. 部落	46.9	16.8	20.2	399.21	447.39	54.4	52.2
11. 小学校玄関	46.8	16.9	15.1	399.07	447.24	52.8	51.1
12. 坂本温泉	48.0	17.6	0.8	400.66	451.53	51.1	51.0
13. 山道	47.9	17.7	44.5	400.53	439.51	52.7	47.7
14. 〃	47.8	17.9	87.9	400.40	429.61	56.3	46.5
15. 平家城海岸	48.2	18.4	0.5	400.92	451.50	50.7	50.7
16. 道路	48.0	18.3	39.1	400.66	442.47	53.9	49.5
17. 〃	47.9	18.1	70.7	400.53	433.46	54.8	46.8
18. 〃	47.8	17.9	89.5	400.40	428.75	56.0	46.0
19. 〃	47.6	17.8	98.3	400.13	426.92	57.1	46.2
20. 〃	47.3	17.5	71.9	399.74	433.93	56.4	48.4
21. 俊寛堂三叉路	47.1	17.3	60.8	399.47	436.58	55.9	49.1
22. 稲村岳ふもと	46.6	17.3	26.1	398.81	441.92	51.2	48.2
23. 圧索所	46.8	17.7	46.4	399.07	435.82	51.1	45.9
24. 山中温泉海岸	46.7	17.9	0.5	398.94	444.85	46.1	46.0
25. 登山道入口	47.1	17.6	72.9	399.47	430.76	53.8	45.6
26. 火薬庫三叉路	46.9	17.0	51.2	399.21	437.67	54.3	48.5
27. 桟橋岸壁	46.6	16.9	3.6	398.81	447.88	50.2	49.8
28. 沢の橋の上	46.9	16.8	17.0	399.21	445.11	51.2	49.2
29. 城ガ原	46.9	16.6	9.9	399.21	448.82	52.7	51.6
30. 岬	46.2	16.8	57.9	398.28	432.65	52.2	45.8
31. 岬	46.5	16.7	64.7	398.68	430.76	52.0	44.9
32. 城ガ原	46.7	16.6	95.3	398.94	423.90	54.4	43.7
33. 〃	46.7	16.3	88.1	398.94	430.56	58.8	49.0
34. 東海岸	47.4	19.4	0.0	399.87	438.88	39.0	39.0
35. 穴の浜	47.6	19.3	0.0	400.13	441.12	41.0	41.0
36. 穴の浜	47.9	19.1	0.0	400.53	443.36	42.8	42.8
37. 〃	48.0	18.9	0.0	400.66	445.61	45.0	45.0
38. 北海岸	48.0	18.6	0.0	400.66	447.52	46.9	46.9
39. 道路上	47.0	17.0	40.2	399.34	441.42	54.5	50.0
40. 長瀬浦	46.6	16.7	0.0	398.81	449.90	51.1	51.1
41. 新硫黄島 1	47.9	20.6	3.2	400.53	435.46	35.9	35.6
42. 〃 2	48.0	20.7	0.5	400.66	436.33	35.8	35.8
竹島舟着場	48.8	26.6	1.2	401.71	447.42	46.1	46.0

す。ここで，地形補正は施してない，また，重力の鉛直勾配を 0.3086 mgal/m，地殻密度を 2.67 gr/cc と仮定している。鉛直勾配に関しては，なるべく高い建物を利用して実測を試みた。その結果を示すと，次のようである：

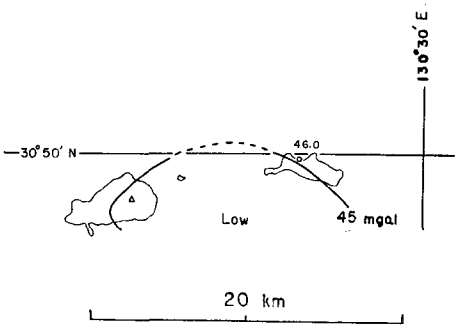
No. 1　鉱山事務所　2.90 mgal/9.42 m = 0.3077 mgal/m，

No. 11　小　学　校　1.98 mgal/6.82 m = 0.2911 mgal/m，

No. 27　岩壁クレーン　3.21 mgal/10.73 m = 0.2993 mgal/m .

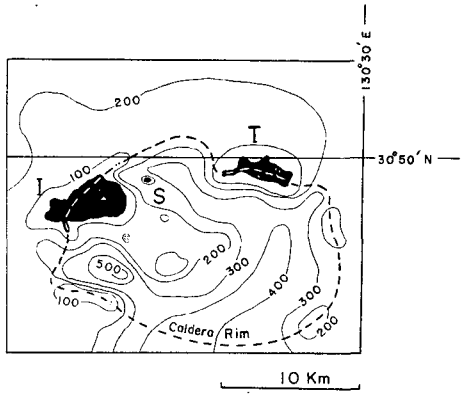
これらの値は何れも，前記 0.3086 mgal/m よりも小さいが，地殻密度も前記 2.67 gr./cc よりも小さいであろうから，ブーゲー異常値に如何に効くかは簡単に結論できない。また実測された鉛直勾配には，地形の影響が著しいことも考慮せねばならぬ。

第 16 図のブーゲー異常分布をみると，北から南へ向って，円弧状に減少している。新硫黄島および竹島の舟着場での値をも考慮すると，第 18 図に示されるような傾向を知る。松本の提起した鬼界カルデラの縁は，第 19 図に示されるが，ブーゲー異常の分布は，カルデラの中心に



第 18 図　硫黄島および竹島附近におけるブーゲー異常の傾向

Fig. 18. A general tendency of Bouguer anomaly in the vicinity of Iwō-Island and Take-Island.



第 19 図　鬼界カルデラの縁(松本唯一による)

Fig. 19. Hypothetic rim of Kikai Caldera after T. MATUMOTO.

低異常の存在を示すものとも考えられる。また，第 15 図に示されたように，この海域上空で地磁気全力が若干大きくなっている。更に詳細な吟味をするためには，将来の海上重力測定の実施が切望される。

第 17 図において，硫黄島を北東から南西へ走るカルデラ壁に沿って，50 mgal の等異常線に挟まれて，高異常帯が存在するが，これは相当深さの熔岩の根があることを示すと考えられる。

VII. むすび

前後 3 回にわたる調査においては，調査した項目も必ずしも多くない。今後，機会があれば更に項目を増やすと同時に，既に測定された諸物理量の時間的変化にも注目することが必要である。

終りに，筆者等と行動を共にし，御指導，御協力を賜った次記の方々に深甚なる敬意と謝意とを表します：

東京工業大学理工学部；小沢竹二郎，小坂丈予，吉田　稔

熊本大学理学部；松本　幡郎

鹿児島大学理学部；鎌田　政明

これらの方々が研究グループの主力であり，筆者らは冀尾に付したものであります。

なお，現地調査に御協力，御援助を戴きました小野田セメント株式会社の関係者に，深甚なる謝意を表します。

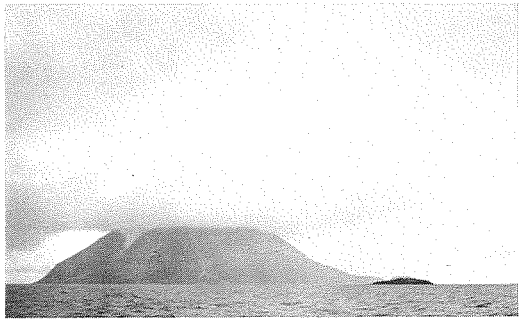


写真 1　西方海上から見た硫黄島および新硫黄島

Photo. 1. Iwō-Island and New Iwō-Islet seen from the west.

写真 2　南方海上から見た硫黄岳

Photo. 2. Iwō-dake seen from the south.

写真 3　小学校庭から見た硫黄岳および稲村岳

Photo. 3. Iwō-dake and Inamura-dake.

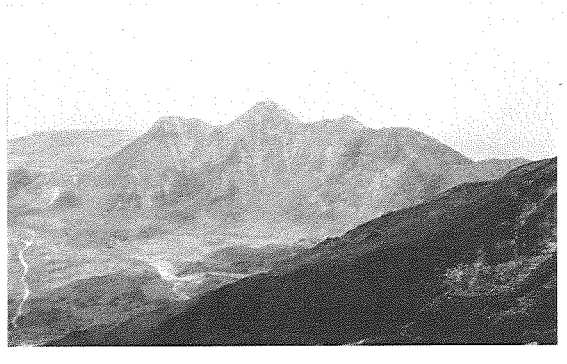


写真 4　硫黄岳中腹から見た矢筈山

Photo. 4. Yahazu-yama seen from Iwō-dake.

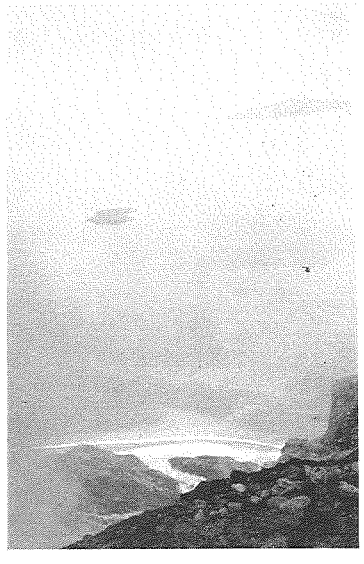


写真 5　硫黄岳頂上から見た新硫黄島および竹島

Photo. 5. New Iwō-Islet and Take-Island seen from Iwō-dake.

4. Geophysical Investigation of Iwō-Island on the Southern Sea of Kyusyu

By Izumi YOKOYAMA, Masaaki SEINO, Yoshinobu MOTOYA, Susumu IIZUKA, Tadashi MAKI and Masaaki AOTA
(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

Iwō (sulfur)-Island is the northest island of the festoon volcanic chains between Kyusyu and Formosa. Within the top crater of Iwo-dake, the highest cone of the island, there is an active fumarole field and the temperatures of some fumaroles are as high as 700°C, though no historical records exist of the eruption on the island.

The authors participated in geophysical investigation of this island in three groups in 1961, 62 and 63 respectively co-operating with the other two parties which investigated geochemistry and geology there.

In geothermal investigation, distribution of the underground temperatures at a depth of 50 cm at the top crater was obtained in 1961 and 62 and the temperatures of several fumaroles were measured every year to find secular changes if any. The vertical distribution of underground temperature near the earth-surface at the steaming ground in the crater is obtained by a statistical method, and heat discharge from the steaming ground except one from the fumaroles of high temperature, is estimated as 3×10^6 cal./min.

Volcanic microtremors were observed at five points around the top crater of Iwō-dake by means of two electromagnetic seismometers of the same characteristics, one of which was always set at the base station. The periods of microtremors at each point are analyzed by an autocorrelation method and their amplitudes are compared with those of the base station. By using attenuation of the wave amplitude with distance, the origin of the microtremors is determined to be located beneath the fumaroles of the strongest activity.

The measurements of magnetic dip were made at 26 points on the island by an earth-inductor. It is noticeable that there is a small geomagnetic anomaly on Iwō-dake because of high temperature of the ground and of chemical disintegration of magnetic minerals in the rocks by volcanic gases.

A gravity survey was carried out on Iwō-Island and New Iwō-Islet, and at the jetty on Take-Island by a LACOSTE & ROMBERG gravity meter. The gravity values on these islands were connected with that of a base station at the Kagosima Meteorological Observatory. The Bouguer anomaly shows a tendency to decrease southward from the islands. This may support the hypothesis proposed by T. Matumoto, saying that Iwō-Island and Take-Island stand on the rim of "Kikai Caldera", which should be accompanied by a low gravity anomaly by the analogy of Aso and Aira Calderas.