

赤外線放射温度計による火山の地熱地帯の観測(2)*

田中 康裕**・古田 美佐夫**・中 礼 正 明**

浜田 信生***・築田 俊郎****

§ 1. ま え が き

火山噴火に先がけて、火山の地熱地帯の面積が拡大したり、温度が上昇するなどの異常現象が認められた事例は、古来、多数にのぼっている。火山現象は、その原因を地球内部の高温なマグマにたどることができるので、火山の地熱の変動を観測することは、火山内部のできごとを探知するのに有効な方法だと思われる。

ところが、噴火が起きそうな場所は、一般に、けわしい山岳地帯や、交通の不便な僻地にあるので、そこへ接近するには幾多の苦勞や時間を要する。また、せつかく地熱地帯へ接近できたとしても、観測中に噴火に遭遇したり、有毒な火山ガスに侵されるような危険を伴っている。そこで、将来は、こうした危険地域を離れた安全な場所から、リモートセンシングによって目標を観測できるようにすることが理想的である。それが可能になれば、火山の現地観測は画期的に改善され、火山活動を監視するのにも大変役立つ。

赤外線装置を使って離れた物体の熱的情報を探知する技術は、近年、急速に進歩しつつあるが、これを火山観測へ導入することは有益であるに違いない。そこで、赤外線放射温度計の火山観測への利用法を検討するため、1974年11月には三宅島において実験観測を行った。その際は、主として、1) 物質の輻射率の問題、2) 地表温度に及ぼす直射日光の影響、3) 地熱分布図の作成方法、などについて検討した。結果は第1報(田中・古田・斉藤・山本、1976)に述べたが、さらに次の事項を検討するため、1975年10月20~22日、那須岳において実験観測を行った。

- 1) 赤外線放射温度計による測定温度値の精度。
- 2) 地熱地帯から放出する熱量の求め方。

* Y. Tanaka, M. Furuta, M. Churei, N. Hamada and T. Yanata: Temperature Measurement of the Ground Surface of a Volcano by an Infrared Radiation Thermometer (2) (Received March 31, 1976).

** 気象研究所地震火山研究部

*** 気象庁地震課(現気象庁地震観測所)

**** 気象庁地震課

- 3) 地熱地帯の広がり具合(形、大きさ、温度分布など)の求め方。
- 4) 噴気孔から噴出する噴気の温度の変動を正確に観測する方法。

§ 2. 使用 測 器

この実験観測には次の測器を用いた。

1) 赤外線放射温度計(I)

米国の Mikron 社製 MIKRON-44。以下この温度計を MIKRON-44 と呼ぶ。温度目盛は2段切換になっていて、0~150℃、0~400℃の温度差が測れる。その他の性能は第1報(田中他、1976)に述べたものと同じ。

2) 赤外線放射温度計(II)

この温度計は気象大学から借用したもので、同校にお礼し上げる。

型: 米国の Barnes 社製 PRT-5。以下この温度計を PRT-5 と呼ぶ。

検出器: Ge インサートサーミスター・ボロメータ

測定温度範囲: -70~-20℃, -10~10℃, -10~50℃の3段切換。

精度: ±0.5℃

感度: 0.05℃

波長帯域: 8~14 μ

視野角: 2°

測定距離: 0~∞ m

応答速度: 5, 50, 500 miliseconds の3段切換

電源: 蓄電池内装

大きさ: 長さ40 cm, 幅15 cm, 高さ40 cm

重さ: 13 kg

3) サーミスター温度計

型: 芝浦電子工業株式会社製 MODEL-MGB III。

温度測定範囲: 0~150℃, 140~300℃の2段切換

精度: ±0.5℃

4) 棒状水銀温度計

温度測定範囲: 0~100℃

精度: $\pm 0.1^\circ\text{C}$

5) データレコーダー

型: TEAC 株式会社製 R70 A

§ 3. 赤外線放射温度計による温度の測定値の精度

3.1 輻射率による測定誤差

野外にある大抵の物体は完全黒体でないため、その温度を赤外線放射温度計で測る場合には、物体の輻射率を考慮しないと真の温度を求めることができない。しかし、種類の違う物体の各々について、その輻射率を求めながら温度を測るのでは、多大の時間と手数を要するので、火山地帯の地熱測定にはむかない。

ところで、火山地帯にある火山岩、溶岩、火山砂礫などの輻射率は、第1報(田中他, 1976)でも述べたように0.96~0.98くらいのものが多く、これは黒体の輻射率“1”に近い。

いま、灰色体の全輻射エネルギーを E とすると、

$$E = \sigma \epsilon T^4 \quad (1)$$

σ : Stefan-Boltzmann 定数

ϵ : 輻射率

T : 絶対温度

であるから、 ϵ を仮りに1と設定して測った灰色体の温度 T_G と、その物体の真の輻射率 $\epsilon = a$ および真の温度 T_B との関係は

$$T_G^4 = a T_B^4 \quad (2)$$

である。そこで、 ϵ が仮りに0.96の物体(岩石)を1の物体(黒体)とくらべると、物体の温度が 0°C くらいのときは前者が 3°C 程度低く、さらに物体の温度が高くなって 100°C くらいのときは 4°C 程度、 200°C くらいのときは 5°C 程度と、物体の温度が 100°C 高くなるごとに誤差が漸次 1°C 程度づつ大きくなるような状態で測られることになる。

この程度の温度差を測定誤差として無視すれば、地熱地帯の岩石の輻射率をすべて1と仮定して温度を測ることは大変能率的な方法である。また、この方法で測定した温度には、若干の補正を施すことによって、真の温度に近づけることができる。

この問題に関連して一つの室内実験を行った。すなわち、恒温槽の中で水の温度を水銀温度計で測り、同時に輻射率を1に設定した MIKRON-44 でも測って両者の示度を比較した。MIKRON-44 の 0°C は黒色の紙袋の中に氷を入れ、その中の温度を測って校正した。この袋の中は完全黒体と考えられる状態であった。

Fig. 1 の横軸 (T_H) は水銀温度計、縦軸 (T_M) は

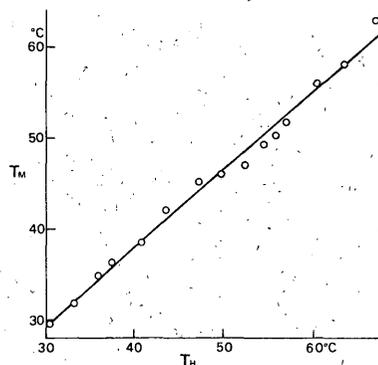


Fig. 1. MIKRON-44 (T_M) と水銀温度計 (T_H) の示度の比較 (室内実験)。

MIKRON-44 の示度である。ここでは温度は摂氏で測っている。 T_H と T_M との関係は

$$T_M = 0.86 T_H + 3.29 \quad (3)$$

となっている。つまり、この図の中の温度範囲では、 T_M は T_H より常にやや低く、かつ、 T_H が大きいほど T_M と T_H との温度差は大きくなっていて、上述の推測と合う。

3.2 天候に影響される誤差

那須岳の“殺生石”と呼ばれている地熱地帯で、MIKRON-44 とサーミスター温度計とを用い、同時に、同じ場所の地表温度を測って示度を比較した。この場合、地熱地帯の岩石の輻射率を1として測った。実際の輻射率はこれよりやや小さいはずだから、赤外線放射温度計の示度はサーミスター温度計の示度よりやや低く出るはずである。

測定結果は Fig. 2 に示してある。この図では MIKRON-

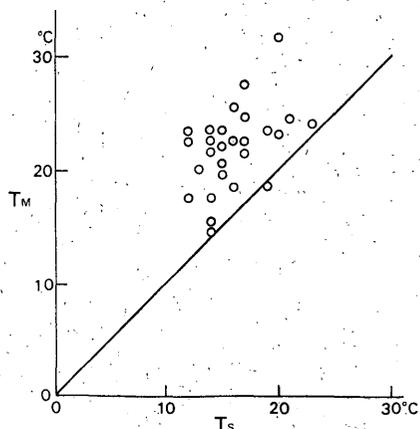


Fig. 2. MIKRON-44 (T_M) とサーミスター温度計 (T_S) の示度の比較 (野外実験)。

44の示度はサーミスター温度計の示度より常にやや高く(平均して6°C高い)測定された。これは上述のことに矛盾するが、その原因は観測時の天候にあると思われる。すなわち、この時は晴天で、地表には太陽の直射光があたっており、気温は10°Cで地熱地帯の温度よりも低く、加えて、2m/sec程度の風が吹いていた。そのため、MIKRON-44は日射の影響を受けた地表温度を、また、サーミスター温度計はその感部に冷たい風があたって、実際の地域よりも低い温度を示したものと考えられる。もっとも、サーミスター温度計で地表温度を測るのは、その測器の構造上、非常にむづかしいので、この実験でも測定誤差は大きかったものと思われる。

地表温度は地下から上昇する地熱によって常に高温を示している所もあるが、日射によって同じような高温を示す所があり、地熱の小さな所ではその両者を区別することがむづかしい。それゆえ、地熱の測定は第1報(田中他, 1976)でも述べたように、曇天に行うのが最もよい。しかし、地表全面にわたって一様に日射を受けている場合には、その中にある地熱地帯の温度は、一般に、まわりの地表温度よりさらに高温になっているので、本来の地熱地帯の範囲を区別することは可能である。ただし、その温度は日射が影響している分を差し引かなければならない。

3.3 視野角による測定誤差

赤外線放射温度計で測る温度はその測器の視野に入る物体の平均温度である。この実験に用いたMIKRON-44の視野角は $1/8$ 度、PRT-5のそれは2度である。この違いが火山の地熱地帯の温度測定にどの程度影響するかについて、次の2つの実験を行った。

その1——視野角の影響がほとんどない場合

この実験は、第5章で述べるNo. B-3地帯で行った。

この地熱地帯には人頭大以下の小さな火山岩、火山砂礫が堆積しており、全面に黄色の晶華物が付着していて、近づくると熱気を感じずる所である。那須岳にはこれと同じような地熱地帯がほかにもたくさんあるので、この地帯是那須岳を代表する地熱地帯であるといえる。

地熱地帯から10~20m離れた同じ場所にMIKRON-44とPRT-5とを設置し、同時に、同じ場所の温度を測った。この場合、温度計の視野角と測定距離とから、MIKRON-44は直径5~10cm程度、PRT-5は直径30~60cm程度の面積内の平均温度を測ったことになる。

Fig. 3は両者の測定値の比較である。測定値には $\pm 3^\circ\text{C}$ 程度のばらつきがあるが、両者はよい相関がある。つまり、この地熱地帯では、直径10cmの地表の平

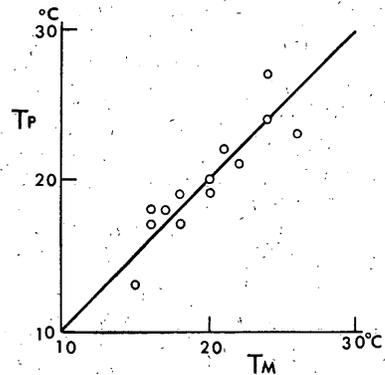


Fig. 3. PRT-5 (T_P) と MIKRON-44 (T_M) の示度の比較。

均温度と直径60cmのそれとは同じである。MIKRON-44で直径60cmの視野を得るには約100m離れた所から測ればよい計算になり、このように遠方から測定できることは観測時の保安上から好ましいことである。

その2——視野角の影響が大きい場合

この実験は前述の第3.2節の実験と一諸に行った。

ここは“殺生石”と呼ばれている所で、急な傾斜地に地熱地帯が広がり、その上に大きな転石が1m平方に1個づつぐらいの割合で多数落ちている。そのため、地表は高温だが転石は外気の温度の影響を受けて低温である。

その1の実験と同じく、MIKRON-44とPRT-5とを地熱地帯から10~20m離れた同じ位置に設置し、同時に、同じ場所の温度を測って比較した。

結果はFig. 4に示してある。この図から、両者の測定値には相関がほとんど認められないこと、MIKRON-44の示度はPRT-5のそれより一般に高いこと、温度

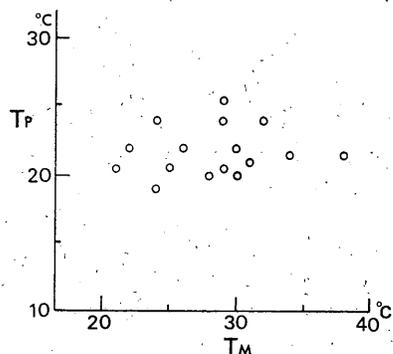


Fig. 4. 視野角が温度に影響を与える場合のPRT-5 (T_P) と MIKRON-44 (T_M) の示度の比較。

の最高値と最低値との差は、MIKRON-44では17℃もあるのに、PRT-5では6℃しかないこと、などがわかる。

これらの原因は、明らかに両測器の視野角の違いによるもので、視野角の大きなPRT-5は、高温な地熱のほかに低温な転石の温度も一緒に平均して測ってしまうためである。

すなわち、この地熱地帯は傾斜地にあるので、本測定における赤外線放射温度計と地面との相対的な傾斜角は約20°程度であった。そこで、PRT-5でねらった瞬間視野の広さは、最小限に見積っても短径約30cm、長径約90cmの楕円内の地面であり、一方、MIKRON-44では、最大限に見積って短径約10cm、長径約30cmの楕円の範囲内の地面である。したがって、PRT-5で測定する視野には、多くの場合、熱的に異質な転石が入り込んできてしまうのである。

以上のことからわかるように、赤外線放射温度計で温度を測る場合には、測器の視野角、測定距離、測定対象物の状態などの関係を十分考慮することが肝要である。

§ 4. 地熱地帯から放出する熱量の求め方

Sekioka and Yuhara (1974)は赤外線放射温度計を用いて地熱地帯からの放熱量を求めるための便利な式を導いた。これは、赤外線放射温度計で地熱地帯およびその周辺の地表温度を同時に測り、これと補助的な気象観測値とから、熱収法にもとづいて地熱地帯からの相対放熱量を求めるための式である。すなわち、単位面積内の放出熱量を ΔG とすると、

$$\Delta G = e(1 - 0.09m)\{0.52 + 0.065(e_w)^{1/2}\} \sigma \Delta T_0^4 + \rho_a C_p D(1+r)\Delta\theta \quad (4)$$

ここで、 e ：地表面輻射率

m ：雲量

e_w ：水蒸気圧

σ ：Stefan-Boltzmann 定数

ρ_a ：空気密度

C_p ：空気の定圧比熱

D ：外部拡散係数

r ：Bowen 比の逆数

T_0 ：絶対温度で表わした地表温度

θ ：摂氏温度で表わした地表温度

である。この式は噴煙・噴気活動がほとんどなく、噴煙・噴気として放出される熱量を無視できるような地熱地帯からの放熱量を求めるのに適用される。那須岳の地

熱地帯には、これに該当するものが多数あるので、いくつかの地熱地帯において放出熱量を求めた。

いま、近接した2地点の地表温度をそれぞれ

$$T_1 = 273 + \theta_1$$

$$T_2 = 273 + \theta_2$$

とする(ただし、 $T_1 > T_2$)と、

$$\Delta\theta = T_1 - T_2 = \theta_1 - \theta_2$$

$$\Delta T_0^4 = T_1^4 - T_2^4 = (T_1 - T_2)(T_1 + T_2)(T_1^2 + T_2^2)$$

$$\approx 8.14 \times 10^7 \Delta\theta$$

である。これとStefan-Boltzmannの定数 $\sigma = 1.36 \times 10^{-12}$ cal/cm² deg⁴ sec、空気の定圧比熱 $C_p = 0.239$ cal/gr degを(4)式に代入すると、

$$\Delta G = \{1.11e(1 - 0.09m)(0.52 + 0.065e_w^{1/2}) \times 10^{-4} + 0.239\rho_a D(1+r)\} \Delta\theta \quad (5)$$

と書きなおせる。

この式から放熱量を求めるのであるが、本調査における各パラメーターとして次のような値を使った。

e は近似的に1とおく。 m はほとんど0であった。 e_w は観測当時の気温が5~7℃であったから、これに対応して9mbとした。 ρ_a は地表面付近の値として 1.1×10^{-3} gr/cm³、 r は関岡等(1976)が西之島の1月の温度を推測するのに用いた値0.06[これはFinlandにおける8~10月の岩石表面の平均値(Lowry 1959)]を採用、垂直気温勾配 D は観測当時の風速が10m/sec近かったことから、Bndyko(1956)による D の値を3.5程度と推測した。以上の値を(5)式に代入して、

$$\Delta G \approx 1.1 \times 10^{-3} \Delta\theta$$

となる。

この式を用いて地熱地帯の放出熱量を求めた2つの例を次に示す。A-1地帯、B-2地帯は第5章のFig. 9に示してある。

A-1地帯の放熱量

観測時：10月20日14時50分~15時20分

天気：晴

状況：海拔1810m付近の等高線に沿って、長さ約150m、幅約10mの範囲に広がる地熱地帯。一面に白ないし黄色の晶華物が付着しているが噴気活動はほとんど見られない。この地熱地帯の中央部にあった直径約1cmの小噴気孔内の温度は、サーミスター温度計で測って94℃あった。

この地帯の全景をFig. 5に示す。また、Fig. 5と同じ範囲をMIKRON-44で測った地表温度分布をFig. 6に示す。

Fig. 6の点を打った地帯の面積は 1.5×10^7 cm²。同地



Fig. 5. A-1 地帯の全景. 地熱地帯中央部の東約 30 m 地点から望む.

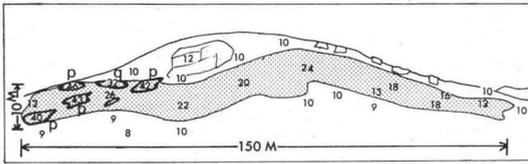


Fig. 6. A-1 地帯の地表温度分布. 数字は MIKRON-44 で測った摂氏温度値.

帯とその周辺地域との温度差を約 10°C とすると, $G = 1.11 \times 10^{-2} \times 1.5 \times 10^7 = 1.67 \times 10^5 \text{ cal/sec}$.

次に, この地熱地帯の左方に点在しているやや高温の p 地域の面積は $5.0 \times 10^5 \text{ cm}^2$. p 地域のまわりとの温度差は約 30°C であるから,

$$G_p = 1.11 \times 10^{-2} \times 5.0 \times 10^5 = 5.55 \times 10^3 \text{ cal/sec}.$$

また, 図中の q 地域の面積は $1.2 \times 10^5 \text{ cm}^2$. そのまわりとの温度差は約 20°C であるから,



Fig. 7. B-2 地帯の全景. 地熱地帯中央部の南約 20 m 地点から望む.

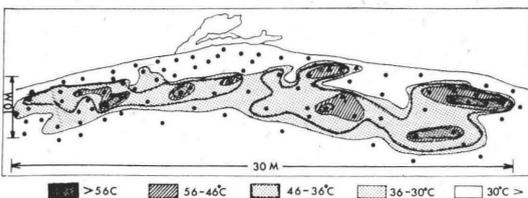


Fig. 8. B-2 地帯の地表温度分布. 黒点は温度測定点. 最高地表温度 60°C

$$G_q = 1.11 \times 10^{-2} \times 1.2 \times 10^5 = 1.33 \times 10^3 \text{ cal/sec}.$$

したがって, $G_{\text{total}} = 1.74 \times 10^5 \text{ cal/sec}$ となる.

B-2 地帯の放熱量

観測時: 10月21日11時40分~12時20分

天気: 晴

状況: 長さ約30 m, 幅約10 m の地熱地帯で, ほぼ全面に白いし黄色の晶華物が付着. 噴気はほとんど見えない. 地熱地帯内で地下50 cm の温度は, サー

ミスター温度計で測って 95°C であった。

この地帯の全景を Fig. 7 に示す。また、Fig. 7 と同じ範囲を MIKRON-44 で測った温度分布を Fig. 8 に示す。

Fig. 8 の中で 56°C 以上の地域は $1.7 \times 10^5 \text{ cm}^2$ 、そのまわりとの温度差は 35°C。同図中 46~56°C の地域の面積は $4.6 \times 10^5 \text{ cm}^2$ で、まわりとの温度差は 25°C。36~46°C の地域は $11.0 \times 10^5 \text{ cm}^2$ で、まわりとの温度差は 15°C。30~36°C の地域は $13.0 \times 10^5 \text{ cm}^2$ で、まわりとの温度差は 5°C である。そこで全熱流量は

$$G = 1.11 \times 10^{-3} (35 \times 17 + 25 \times 46 + 15 \times 110 + 5 \times 130) \times 10^4 = 4.49 \times 10^4 \text{ cal/sec}$$

となる。

噴気活動のある地熱地帯の放熱量

噴気孔からふき出す噴気によって放出する熱量は、非常に大きい。この場合、噴気の放出量、温度、噴出速度などを測れば、放出熱量は計算できる。しかし、それらを測るのは大変むづかしく、ルーチン観測むきのよい方法はまだない。

Tab. 1. ワイラケイにおける地熱地帯の熱流量 (気温 12°C の場合)

級	状 況	地中温度 (深さ) °C cm	平均熱流量 cal/m ² sec
特	裸地にあって、小さな噴気音が聞える程度の噴気孔	97(0-1.5)	3000
A	裸地にあって、蒸気がようやく見える程度の噴気孔	97(1.5-3)	1000
B	裸地で粘土におおわれた地熱地帯	97(3-7)	500
C	植物が枯れている地熱のあるやわらかい粘土地	97(7-13)	200
D	苔の生えている地熱地帯	97(13-24)	100
E	苔や地衣類の生えている地熱地帯	80-85(15)	60
F	生長できない小さな植物の生えている地熱地帯	60-80(15)	30
G	羊歯などが生えている地熱地帯	40-60(15)	10
H	小さな松や羊歯が生えている地熱地帯	25-40(15)	1

ここで参考のため、ニュージーランドの地熱地帯で熱流量を求めるのに用いられている表 (Dawson and Dickinson, 1970) を記載しよう。ニュージーランドの北島のワイラケイ地区は有名な地熱地帯で、地熱開発が早くから進められている。

§ 5. 那須岳の地熱地帯

現在、那須岳の噴気・地熱地帯は次の 3 地域に見られる。

- A-地帯：那須岳山頂から東側山腹 (海拔 1800 m 以上) にかけての地域
- B-地帯：那須岳の西ないし南西側山腹 (海拔 1650 m 以上) にかけての広い地域
- C-地帯：那須岳山頂から南東へ約 4 km 離れた殺生石と呼ばれる地域

これらの各地域内には、さらに、小さな噴気、地熱地帯が多数点在している。この観測を行った時点での A-, B-地熱地帯の位置や形は、Fig. 9 のとおりである。

以下、それぞれの地熱地帯の観測結果を述べる。本文中の地熱地帯の番号は Fig. 9 に記したものと同一である。

なお、“B-1”~“B-4”地帯は、気象庁発行の火山報告では第 3 噴気地帯、B-5 地帯は第 2 噴気地帯、B-6 地帯は第 1 噴気地帯と呼んでいる。また、1965 年当時の地熱地帯の分布 (火山報告に記載されてある図) を参考までに Fig. 10 に示す。これと Fig. 9 とをくらべると、第 1 噴気地帯の状況はほとんど変わっていないが、第 2、第 3 噴気地帯の面積は、この 10 年間にかなり狭くなったようである。

A-1 地帯

この地帯の観測結果については第 4 章で述べたのでこ

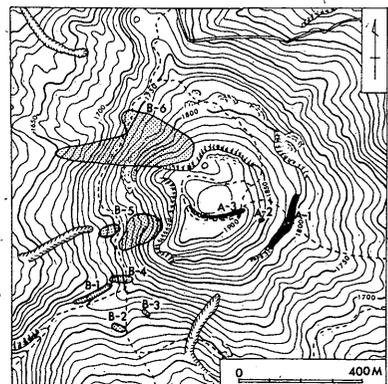


Fig. 9. 那須岳の地熱地帯 (1975年10月)。

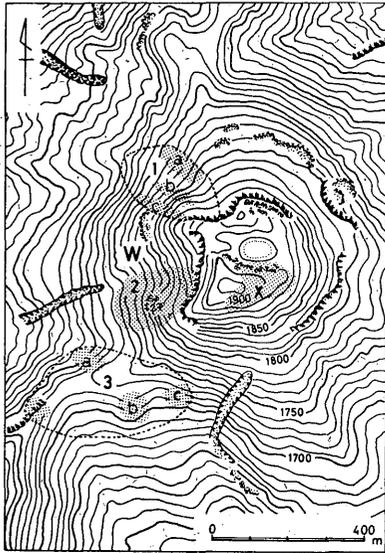


Fig. 10. 那須岳の地熱地帯。(1965年ごろの状態)(火山報告1965年による)。1, 2, 3の点線がかこんだ領域は、それぞれ第1, 第2, 第3噴気地帯と呼ばれている。黒く塗った地域は噴気活動の盛んな所。

ここでは省略する。

A-2 地帯

観測時：10月20日15時30分～40分

天気：曇

状況：海拔1850m付近にある噴気地帯で、直径約3mの範囲に白ないし黄色の晶華物が付着している。その中心部に直径数cmの噴気孔があり、近くで小さな噴気音が聞かれ、少量の噴気を出している。噴気孔内の温度はサーミスター温度計で測って94℃。

A-3 地帯

観測時：10月20日15時50分～16時00分

天気：曇

状況：ここは山頂の火口縁に沿った地帯で、かすかに噴気が出ている。噴気地帯の最西端には東西約5m、南北約3m、深さ約3mの陥没孔があり、その中の噴気孔温度はサーミスター温度計で測って84℃。

B-1 地帯

観測時：10月21日10時00分～20分

天気：晴

状況：海拔1720～1730m付近にある長さ約300m、幅約5mの地熱地帯で、かすかに噴気があがっている。この地熱地帯には所々に苔が生えており、また、白ないし黄色の晶華物が付着している所もある。噴気孔温度の

最高値はサーミスター温度計で測って84℃。

B-2 地帯

この地帯の観測結果は第4章で述べたのでここでは省略する。

B-3 地帯

観測時：10月21日13時25分～40分

天気：晴

状況：長さ約20m、幅約5mの地熱地帯で、全面に黄色の晶華物が付着している。少量の噴気があがっており、噴気音がかすかに聞こえる所がある。この地帯は赤外線放射温度計の視野角に関する実験(第3.3節で述べた)を行った所である。噴気孔内温度の最高値はサーミスター温度計で測って165℃。

B-4 地帯

観測時：10月21日13時55分～14時20分

天気：晴

状況：東西約50m、幅10mに亘って広がる地熱地帯である。中央部には直径4～5mの孔があり、噴気音を伴いながら活発に噴気をあげている。この孔のまわりには黄色の晶華物が付着している。噴気孔内の温度はサーミスター温度計で測って128℃。

B-5 地帯

観測時：10月21日14時30分～16時00分

天気：晴時々曇

状況：この地帯は那須岳の中では噴気活動が最も活発な所で、“無限地獄”と呼ばれている。100m×100mくらいの広い範囲にわたって噴気が出ている。中央部の噴気孔付近では、人の話し声が聞き取れぬ程の大きな噴気音をあげている。噴気孔における温度はサーミスター温度計で測って238℃。

“B-2”～“B-5”地帯を入れた景色を Fig. 11 に、同地域を PRT-5 で測った温度分布を Fig. 12 に示す。

B-6 地帯

観測時：10月21日16時20分～40分

天気：曇

状況：東西約500m、南北約200mにわたる広い地熱地帯で、この中に多数の小噴気孔が点在している。噴気活動はB-5地帯に次いで活発な所で、噴気孔付近ではかなり大きな噴気音が聞える。また、噴気圧は直径1cmの小石を吹き飛ばす程度である。噴気孔内の温度はサーミスター温度計で測って、最も高い所で156℃。この地熱地帯の全景を Fig. 13 に示す。

C-1 地帯

観測時：10月22日10時20分～35分

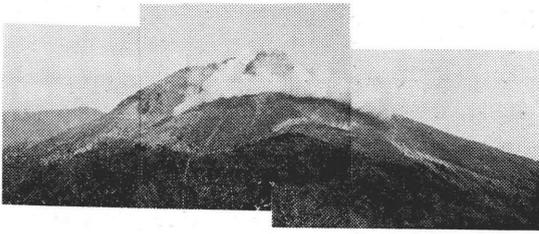


Fig. 11. “B-2” ないし “B-5” 地帯の全景. 南方から望む

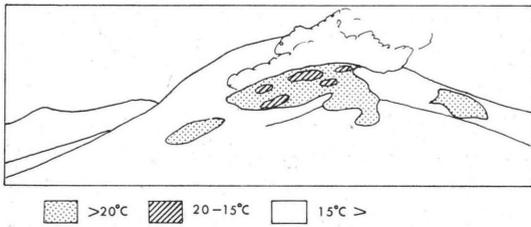


Fig. 12. “B-2” ないし “B-5” 地帯の地表温度分布. 地表温度の最高は 24°C. PRT-5 で測定.

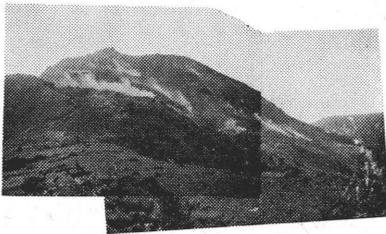


Fig. 13. B-6 地帯の全景, 北西から望む.

天気: 晴

状況: 10 m × 10 m くらいの広さの地熱地帯で, “殺生石” と呼ばれている所である. 噴気は見られないが, 地表には晶華物が付着している. ここは赤外線放射温度計の視野角に関する実験 (第 3.3 節で述べた) を行った所である. 全景を Fig. 14 に, また, これと同じ地域を MIKRON-44 で測った温度分布を Fig. 15 に示す. なお, この地帯の放出熱量を第 4 章と同じ方法で求めると, 8.88×10^8 cal/sec となった.

C-2 地帯

観測時: 10月22日10時45分~11時15分

天気: 晴

状況: ここは C-1 地帯の東約 50 m の所にある地熱地帯で, 斜面に人工的に石垣をきずいた長さ約 50 m, 幅約 30 m の範囲の地熱が高くなっている. 噴気は見えない. 全景を Fig. 16 に示す. また, これと同じ地域を

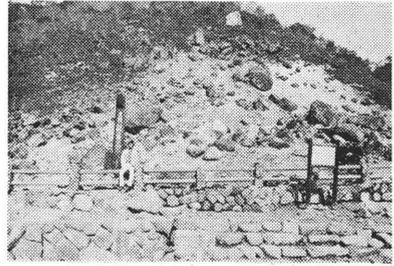


Fig. 14. C-1 地帯の全景. 地熱地帯から約 20m 離れて撮影.

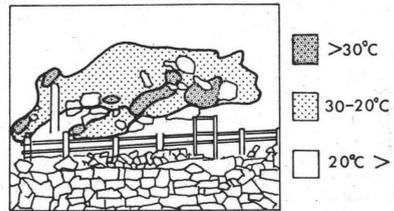


Fig. 15. C-1 地帯の地表温度分布, 地表温度の最高値は 26°C. MIKRON-44 で測定.

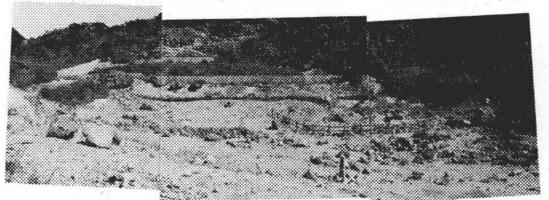


Fig. 16. C-2 地帯の全景, 地熱地帯から約 30m 離れて撮影.

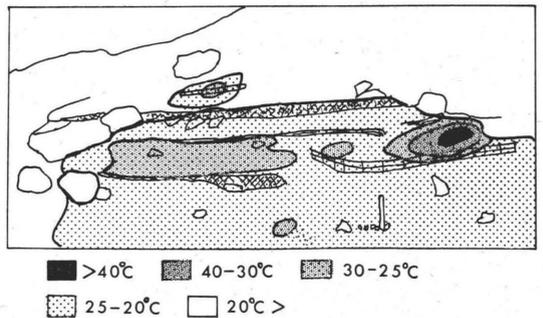


Fig. 17. C-2 地帯の地表温度分布. 地表温度の最高値は 51°C. MIKRON-44 で測定.

MIKRON-44 で測った温度分布を Fig. 17 に示す. この地帯の放出熱量を第 4 章の方法で概算すると, 3.33×10^8 cal/sec となった.

C-3 地帯

観測時：10月22日11時20分

天気：晴

状況：C-2地帯の南約100mにある湧水で、湧出温度は40℃、地中温度は42℃。ともに水銀温度計で測った。

§ 6. 噴気温度の磁気テープ記録

噴気温度や地熱温度をデータレコーダーを使って磁気記録させておけば、後で観測資料を詳細に解析するのに都合がよい。

噴気孔から活発に噴出している噴気は、はたして一定温度の蒸気であるかどうか、また、山肌を吹きつける風や気温の影響で、噴気温度は変動するかどうか、などを調べることも大切である。今回はそうした観測ができるかどうかを試みるのが目的で、ここに述べる実験を行った。

MIKRON-44, PRT-5とも出力端子があって、温度を電気量にかえて取り出せるようになっている。ただし、MIKRON-44の出力は小さいので、出力は増幅器を通してからデータレコーダーに入力させた。この増幅器は野外に携帯するのに便利のように、手の中に入る程度の小型器を手作りした。配線は Fig. 18 のとおりである。

この観測は B-5 地帯 (Fig. 9) 内にある活発な噴気孔に、約 5 m まで接近して赤外線放射温度計を設置して温度を測った。この噴気孔の状況は第 5 章で述べたが、温度は 238℃ もあった。

磁気記録したテープの再生は、ペン書き記録紙に行った。一例を Fig. 19 に示す。この記録でわかるように、噴気温度はきわめて複雑な変動をしている。その変化値は 30℃ くらいにも及び、また、かなり長い周期的変動と短周期の変動がみられる。温度のスペクトルは Fig. 20 のようになり、2~3秒および約7秒に極大がある。

噴気温度が変動する原因の一つは風によって噴気が流

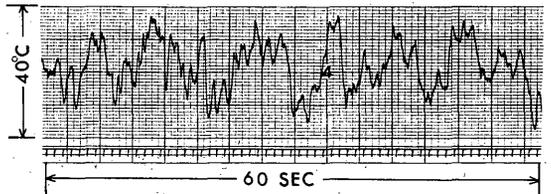


Fig. 19. MIKRON-44 で観測した“無限地獄”の噴気孔温度の変動。

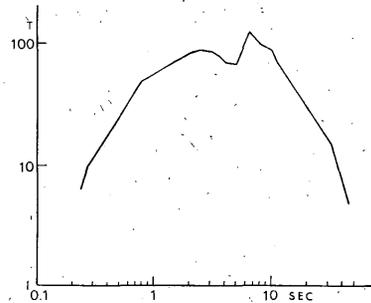


Fig. 20. “無限地獄”の噴気孔温度のスペクトル。縦軸は相対温度 (T)、横軸は周期 (sec)

されることにあるらしいが、他にもいろいろな要因があると思われる。詳細はさらに研究を要する問題である。

赤外線放射温度計は応答速度が早いのでこのような急激な温度の変動を観測するにはきわめて都合のよい測器である。

§ 7. むすび

赤外線放射温度計を火山の現地観測に利用する方法を検討するため、那須岳の地熱地帯において実験観測を行い、次の成果を得た。

- (1) 地熱地帯の土じょうの輻射率を1と仮定して温度を測ると、那須岳によくある100℃前後の地熱地帯で3~5℃程度の誤差が見積られる。
- (2) 地熱地帯の表面温度を観測するのは、一樣な日射のある晴天時または完全に日射のない曇天時に行うのがよい。
- (3) 地熱地帯からどの程度離れて観測すればよいかは、使用する赤外線放射温度計の視野角の大きさと測温対象物の大きさ(広さ)によって決めるべきである。
- (4) 幾つかの地熱地帯で放出熱量を求めた。噴気活動がほとんどない那須岳の地熱地帯で $10^8 \sim 10^9$

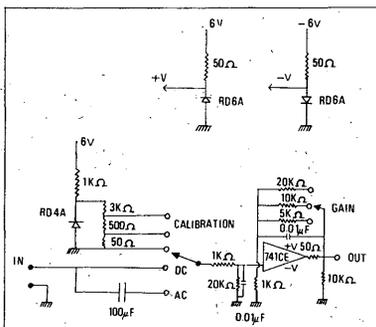


Fig. 18. MIKRON-44 用に手作りした増幅器。出力は1倍、5倍、15倍の3段切換にしてある。

cal/sec 程度の放熱量を算出した。

- (5) 那須岳の山腹に点在する地熱地帯の形状、分布状態などを求めた。
- (6) 噴気温度の変動を自記記録させる方法を考案した。

この実験観測は気象研究所における昭和49~50年度の研究計画(気象庁からの要望研究で研究課題は「火山活動常時監視用放射温度計観測システムの研究」)の一部として実施したものである。

参 考 文 献

- Bndyko, M. I. (1956): Heat Balance of Earth's Surface. Hydrometeorological Press. Leningrad.
- Dawson, G. B. and D. G. Dickinson (1970): Heat Flow Studies in Thermal Areas of the North Island of New Zealand, Geothermics, Special Issue 2, 466-473.
- Lowry, W. P. (1959): Graphical Representation of Energy-budget Measurements. J. Meteorol., 16, 80.
- Sekioka, M. and K. Yuhara (1974): Heat Flux Estimation in Geothermal Areas Based on the Heat Balance of the Ground Surface, J. Geophy. Research, 79, 2053-2058.
- 気象庁 (1965): 火山報告
- 関岡満・湯原浩三 (1976): 1974年1月13日の時点における西え島新島から大気への放熱量の推測, 火山第2集, 21, 73-80.
- 田中康裕・古田美佐夫・斎藤進・山本博二 (1976): 赤外線放射温度計による火山の地熱地帯の観測(1); 験震時報 40, 109-114.