

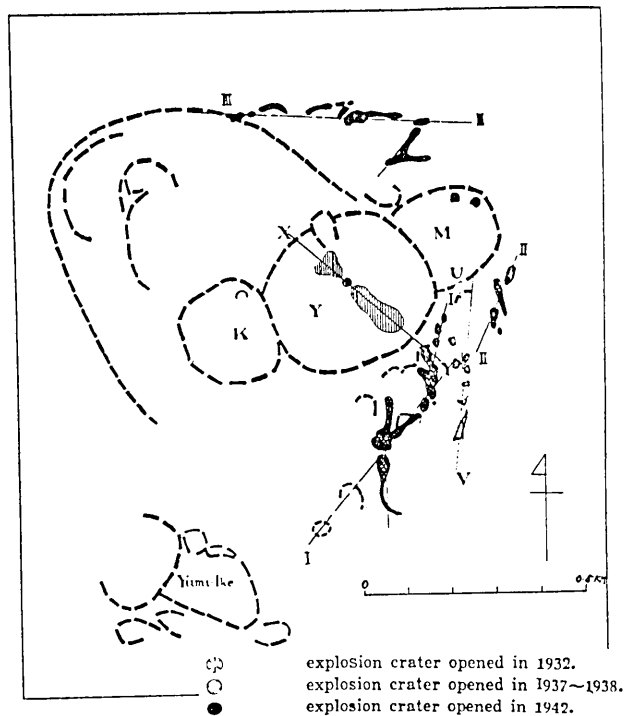
29. 草津白根火山の地熱調査

地震研究所 { 鍵山恒臣
 小山悦郎
 行田紀也
 下鶴大輔

(昭和53年4月28日受理)

1. はじめに

1976年2月末(あるいは3月はじめ)に、草津白根山水釜内北東部で水蒸気爆発が起きた。この噴火に先立ち、熱的な前兆があった事は注目に値する。即ち、噴火したその地点において、水釜の氷が円形に融けている写真が、宮崎三郎氏によって撮られているのである(下鶴他, 本彙報)。この事は、草津白根火山の活動を考える際、その熱的状态と時間的



第1図 草津白根山の主要な地形と過去の噴火による火口配列 (MINAKAMI, et al., 1942). K...から釜, Y...湯釜, M...水釜, U-V...1932年の割れ目, X-Y...1937-38年の割れ目, I, II, III...1942年の割れ目

推移を把握する事の重要性を示唆していると言えよう。

草津白根山の過去の噴火活動については、TSUYA (1933), MINAKAMI (1939), MINAKAMI et al. (1942) によって詳細に報告されている。それによれば、多くの噴火活動の中心は湯釜であったが、1902年には弓池付近、1932年には湯釜から水釜にかけての南斜面、1942年には、南斜面と北斜面において水蒸気爆発が起きている。

1932年、1937年および1942年の噴火は第1図に示すように、直線上に爆裂火口が並んでおり、弱線の存在が考えられている。一方、今回の噴火は、MINAKAMI et al. (1942) の Fig. 28 に見る通り、1942年2月2日の explosion crater と同一地点であり、第1図の直線の延長上にあたる。

こうした事実を考えあわせると、今後の活動を検討する場合、①白根山の熱分布、②噴火が熱分布の上からはどのような位置で起こっているか、③熱分布の時間的変化、の三点を、特に過去の割れ目に注目して把握する事が必要と思われる。著者等は、草津白根山集中火山観測の一環として、白根山頂部 (広い範囲) の熱分布、および水釜内 (狭い範囲) の地熱活動の時間変化を把握するため、各種温度調査を実施した。

2. 測定 の 概 要

測定の概要は第1表に示す。赤外による表面温度遠隔測定は、比較的短時間に、かつ安全に行えるが、高いレベルの熱的異常しか検出できず、また気象条件の影響を受けやすい。一方、地中温度測定は、時間と労力を必要とし、現場に近づく必要があるが、より低いレベルの異常を検出できる、また、同じ赤外測器でも、サーモカメラは、より短時間に測定

第1表 地温、噴気温度の測定の種類と測定期間

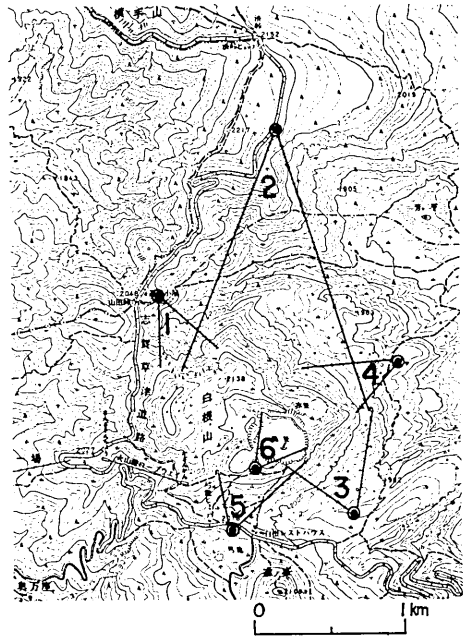
測定方法	測定器機	データ処理	測定範囲	測定期間
地上赤外撮像	キャノン CT-4B 瞬時視野: 1.3 m rad 検出波長: 8.0~14.0 μ m	ブラウン管上の映像をポラロイド及び 35 mm 白黒フィルム撮影し、写真をトレースする	白根山頂部	1976年 7月31日 } 8月6日
地上赤外測温	ERI 型 Ground Scanner 視野角: 5 m rad 検出素子: サーミスタポロメタ 検出波長: 8.0~12.5 μ m スキャン速度: 1.10 mrad/s	<ul style="list-style-type: none"> ・垂直角 1° おきに水平スキャンを行ない連続記録をとる ・水平角 1° おきに温度を読み取る ・格子点状のデータから手書きにより等温線を引く。あるいは計算機処理により温度分布図を作成 	水釜内壁 ・新火口	1976年 4月25日 } 4月27日
			水釜内壁 ・新火口 再測	1976年 8月29日
1m 深地中温度測定	サーミスター		白根山頂部	1976年 8月1日 } 8月8日 } 8月23日 } 8月27日
噴気温度測定	サーミスター		水釜内壁 北西側	1976年 4月25日

できるが、運搬が困難で、データを写真上に濃淡として残すため処理が困難である。また、地形と温度分布パターンとの対応も難しい。一方、Ground Scanner は運搬、地形との対応が比較的簡単であり、データも垂直角・水平角の座標上に残すため、5章に示すようなデータ処理上の利点があるが、測定に時間がかかる。今回の調査は、こうした、それぞれの長短を考慮したものである。

3. 測定結果

3-1 サーモカメラ (キャノン CT4B) による撮像結果

サーモカメラの短時間に測定できる、運搬が困難、測定結果を画像として手早く見る、といった特性を生かすには、山体の見える道路沿いに測器を展開し、全山をカバーするのがのぞましい。測器の展開地点と撮像範囲、および測定状況は第2図と第2表に示す。このうち第2, 3, 4, 5地点からの撮像範囲には、1932年と1942年の割れ目が含まれており、第6地点は、1937年～39年の活動中心であった湯釜を対象としている。撮像の結果、第2地点と第4地点から



第2図 サーモカメラ設置位置と撮像範囲

第2表 サーモカメラによる地温撮像範囲と撮像時刻その他

地点	対象	距離 m	日	時	天気	気温 °C	水蒸気圧 mmHg	備考
1	山腹北西側	400	7月31日	13h20m } 13h50m	曇り時々晴	20.5~19.8	14.3~15.2	
2	山腹北側	1,500	7月31日	17h45m } 18h10m	うす曇り	16.2	9.9	rim に西陽 山腹はすでに日陰
3	山腹南東側	400	7月31日	19h30m } 20h00m	うす曇り	15.9	11.5	日没後
4	山腹北東側	a 250 b 200	8月1日	17h15m } 18h00m	曇り時々晴	19.4	14.8	山腹はすでに日陰となっている
5	山腹南側	300	8月5日	13h00m } 13h20m	曇り	15.6	12.8	
6	湯釜	250	8月6日	13h40m } 15h40m	うす曇り	16.2~17.4	12.3~13.2	



第3図 第1地点(山田峠)に設置されたサーモカメラ

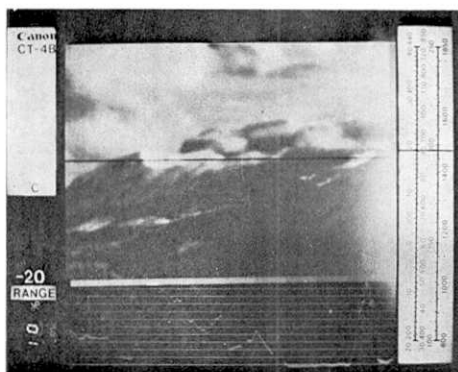
ある。高温部が山頂と山腹にあるが、山頂の方は撮像時刻が18時で日射が残っているためである。山腹の方には日射はなく、高温部は1942年の割れ目と一致するものである。噴気地帯は、二本の沢を横切る形で走っており、この映像には尾根の影となって高温部が見えない所もある。最高温度は 25°C を示したが、これは直径2mの円内の平均温度で

の測定に異常が確認されたが、第1, 3, 5地点では異常は認められなかった。第6地点の湯釜も、火口内壁には異常は見られず、水面の温度分布のパターンも不安定で、定常的な湧き出しのようなパターンは確認できなかった。展開中のサーモカメラを第3図に示す。以下、第2, 第4地点からの結果を示す。

第4a, 4b, 4c, および4d図はそれぞれ第2地点からの風景、サーモカメラの映像、およびその結果を判読して合成したもので



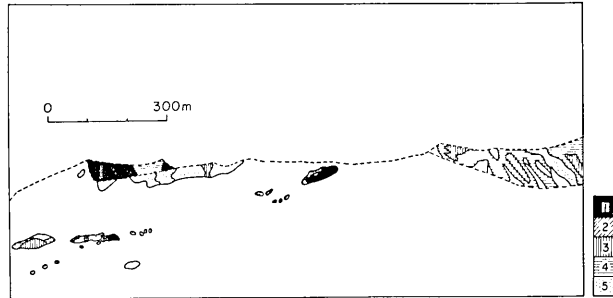
第4a図 第2地点(渋峠)から見た草津白根山(同一日の写真ではない)



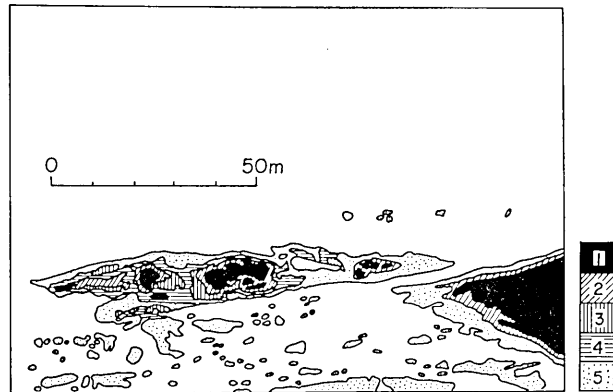
第4b図 第2地点からの赤外映像(ノーマル)



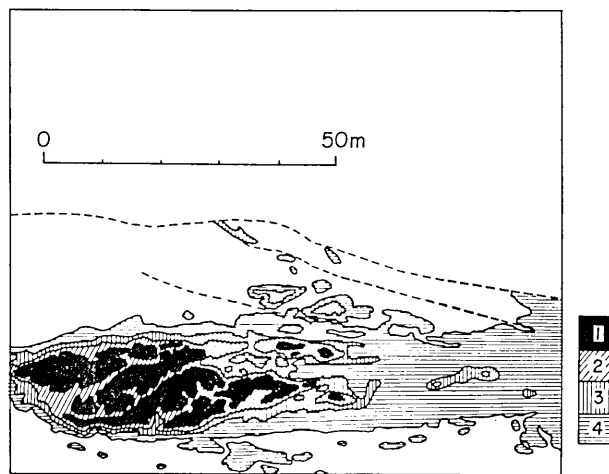
第4c図 第2地点からの赤外映像(マルチアイン)



第4d図 同上から得られた地表面温度分布
 1...25.0~23.8°C, 2...23.8~22.6°C, 3...22.6~21.4°C
 4...21.4~20.2°C, 5...20.2~19.0°C



第5a図 第4地点からの地表面温度分布
 1...34.0~31.6°C, 2...31.6~29.2°C, 3...29.2~26.8°C
 4...26.8~24.4°C, 5...24.4~22.0°C

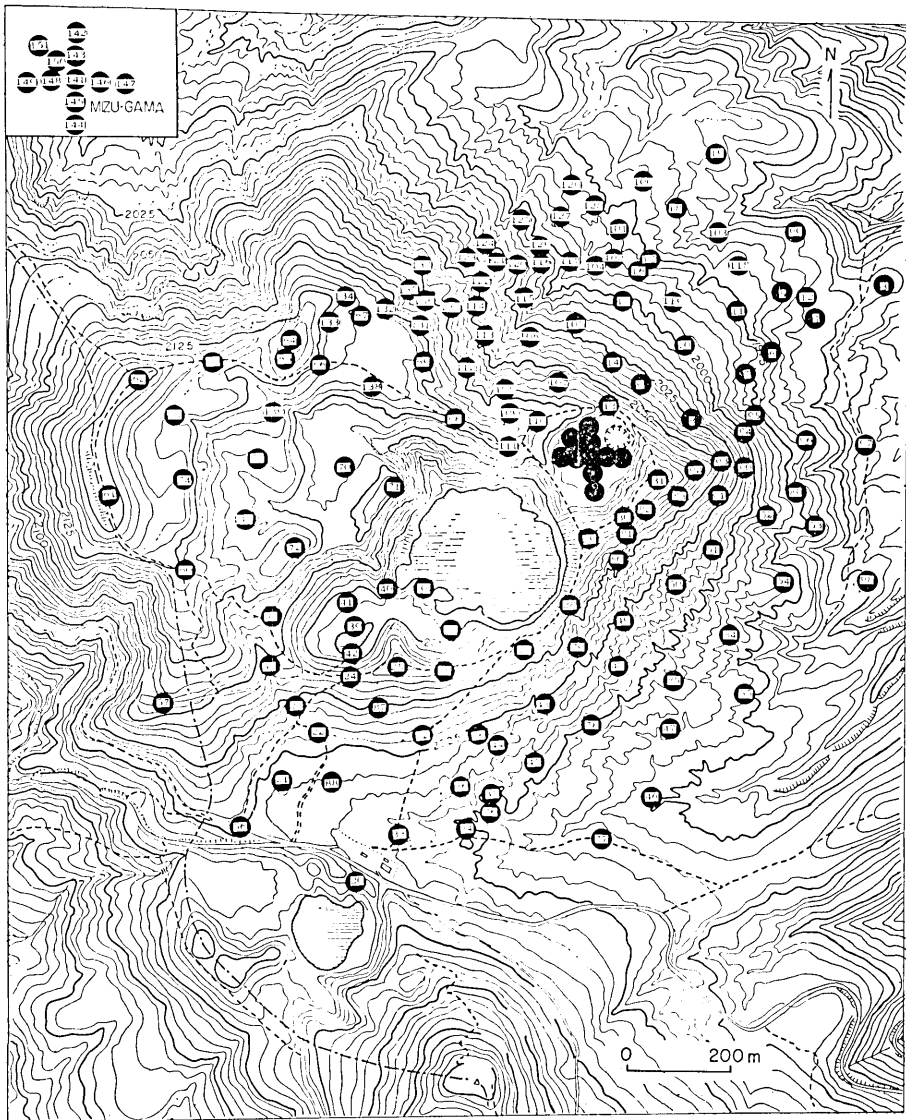


第5b図 第4地点からの地表面温度分布 (第5a図の北側)
 1...38.0~35.6°C, 2...35.6~26.0°C, 3...26.0~24.8°C
 4...24.8~20.0°C

ある。この割れ目以外に異常は見られない。

第5a および第5b 図は第4 地点からの表面温度分布である。第5a 図の右端の高温部を第5b 図では中心に撮っている。それぞれの異常は、既に知られているものであり、これ以外の部分に新しい異常は見られない。

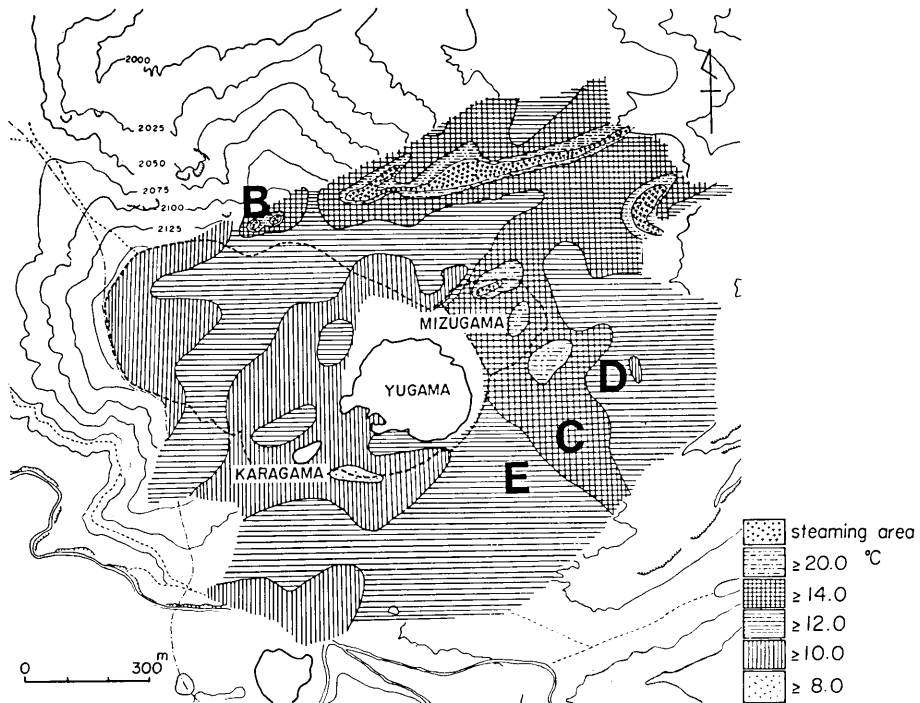
以上の結果は 1972 年の地質調査所による空中赤外映像の結果 (HASE; 1974) と一致している。



第6図 1m 深地中温度の測定点

3-2 1 m 深地中温度分布

1 m 深地中温度は、表面温度に比べて安定だから、より低いレベルの異常を検出できる。第6図に示すように、白根山頂全域にわたり、50~100 m 間隔のネットで1 m 深地中温度を測定した。24本のサーミスタプローブを自作し、精度は、15°C付近で0.05°C、80°C付近で0.2°Cに検定してある。測定地点151点は全てポトラルにより測量した。測定期間中は定点測定（レストハウス前、No. 33）を行ない、8月後半の測定については、これにより補正を加えた。高度補正は、高度差が150 m程度であるから加えていない。山頂火口縁で低温となる(1~2°C)傾向が出ているが、この種の地形による影響は特に考慮していない。測定結果と状況は第8表、第9表に示す。測定地点の座標は、地形図上で作図



第7図 1 m 深の地中温度分布

した後、読みとったものである。この測定結果から、1 m 深の等温線を引いたものが第7図である。この図からは、はずれるが、北東方の芳ヶ平ヒュッテ前の地中温度は11°Cであった。付近の植生からみて、この時期の、この一帯の熱異常のない地中温度は11°Cと思われる。噴気地帯ではネットを細かくするように努める一方、等温線を引く際に表面の変質の程度の観察も考慮したので、Steaming area と示した。温度は、ほぼ90°C以上である。水釜内については、Ground Scanner による表面温度測定で得られた異常も加えて3-3に示す事にする。

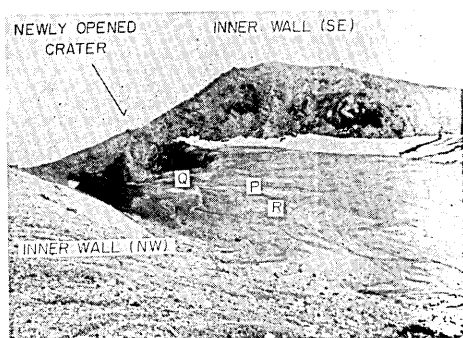
3-3 Ground Scanner による測定

水釜の表面温度分布測定は4月と8月の二回 Ground Scanner を使用して行なった。Ground Scanner については下鶴・鍵山 (1976) で、既に報告しているが、主な特長はセンサーをセオドライトに搭載し、温度データを水平角・垂直角の座標上に残す事である。これにより、従来の放射温度計より短時間に多くの温度データを得る事ができるとともに、一般の赤外測器に比べ、定量的議論が容易である。第8図に展開中の Ground Scanner を示す。

測定は新火口、内壁北西側、内壁南東側を対象とした(第9図参照)。測定点および測定



第8図 水釜火口内Q点に設置した赤外放射温度計(8月29日)



第9図 O点から見た水釜。(4月25日) 赤外放射温度計による測定対象を示す

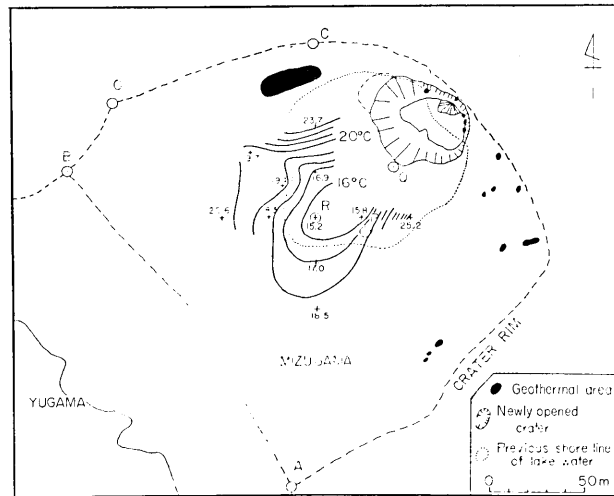
対象域その他は第3表に示す通りである。

a) 新火口

新火口は第10図のQ点から測定した。1976年4月の測定範囲および、測定結果から得られた地表面温度分布を第11a図と第11b図にそれぞれ示してある。G点は噴火孔であり、E, G, H付近の高温部は噴気孔である。それ以外は特に異常は見つからない。8月の測定範囲とその結果を第12a図および第12b図に示す。4月の結果と比較するとE点の温度が高くなっているが、

第3表 赤外放射温度計による水釜火口内の地温測定場所, 測定時刻等

	日	時	測定点	距離 m	天気	気温 °C	水蒸気圧 mmHg	備考
新火口	4月27日	15h40m } 17h10m	Q	40	曇り	6.2~4.6	5.5~5.0	太陽は南側火口壁で遮られ, 直射日光は全くなし
	8月29日	15h30m } 16h30m	Q	40	曇り	10.2	8.9	同上
内壁北西側	4月27日	13h } 15h	P	100	曇り	9.3~7.6	6.0~4.3	
	8月29日	12h } 13h	P	100	うす曇り	14.8	8.9	
内壁南東側	4月25日		O	200	晴れ時々霧	5.6~4.2	5.2~6.6	霧のため中断
	8月29日	13h30m } 15h00m	R	100	曇り時々晴れ	13.0~12.4	8.7~9.4	途中強い日射

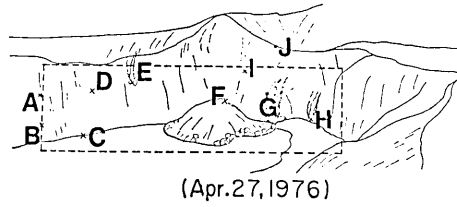


第10図 水釜火口内の新火口の位置および噴気地点. O, P, Q, R は赤外放射温度計の設置点. 1m 深地中温度分布は8月27日測定による

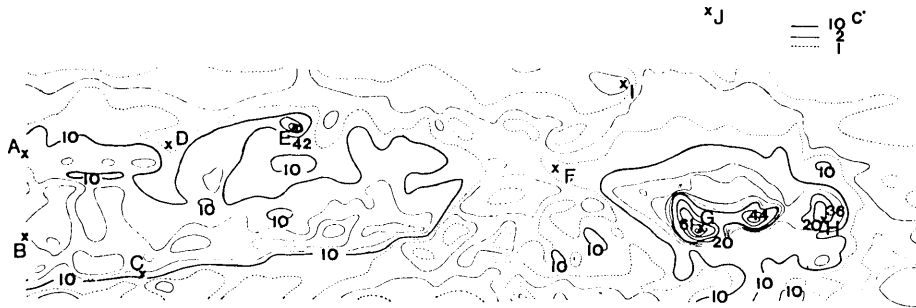
(第4表), G, H 点は土砂で埋まり, 温度も低くなっている. 一方 M, N 点付近に異常があらわれている. D 点付近の噴気は, 4月には測定範囲外であったため比較はできない.

b) 内壁北西側

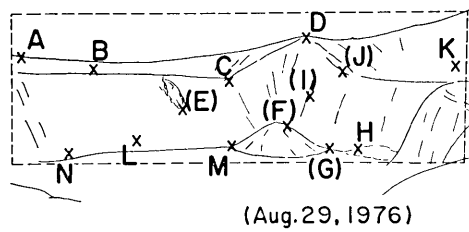
測定地点は4月・8月とも第10図中の P 点である. 測定範囲は第13図に示す. 第14a 図は4月測定の結果である. 大きな特徴としては三つの部分に分かれ, F 点から D 点に



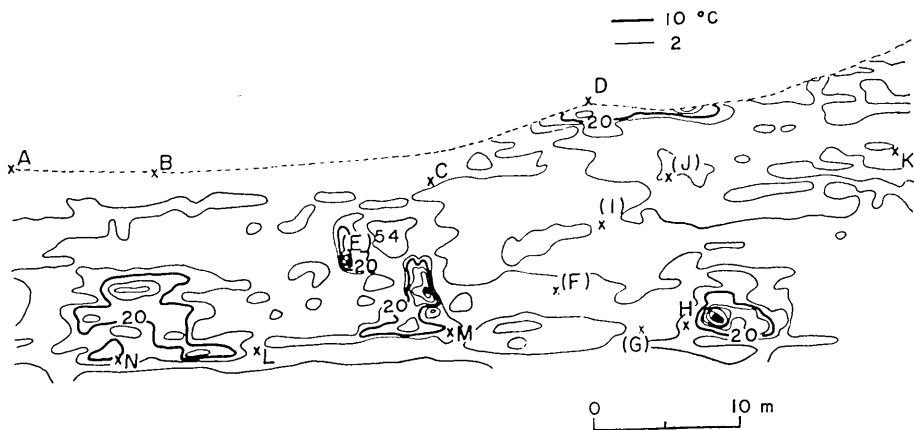
第11a 図 1976年4月の温度測定範囲(破線内)



第11b 図 第11a 図破線枠内の地表面温度分布



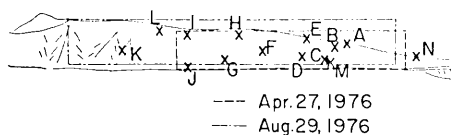
第12a 図 1976年8月の温度測定範囲(破線内)



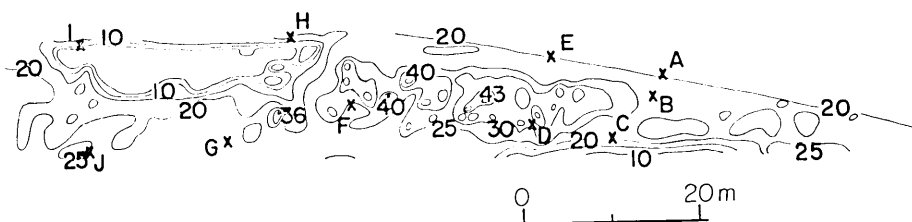
第12b 図 第12a 図破線枠内の地表面温度分布

第4表 新火口内の主要点の4月と8月の表面温度。()内は4月と8月で同一点

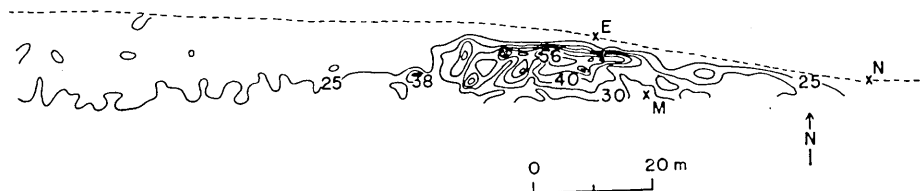
	4月 °C	8月 °C
A		
B		
C		17
D		
(E)	30~40	54
(F)	10	15.5
(G)	40~60	16.5
H	36	19.5
(I)	6	13
(J)	9.5	17
K		17
L		17
M		17
N		18



第13図 1976年4月および8月の水釜北西内壁の温度測定範囲(鎖線内)

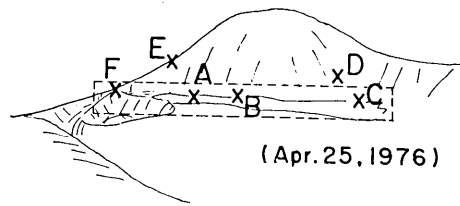


第14a図 1976年4月27日の水釜北西火口壁の地表面温度分布

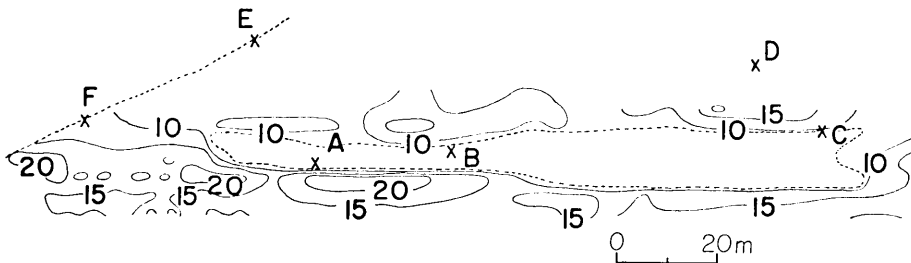


第14b図 1976年8月29日の水釜北西火口壁の地表面温度分布

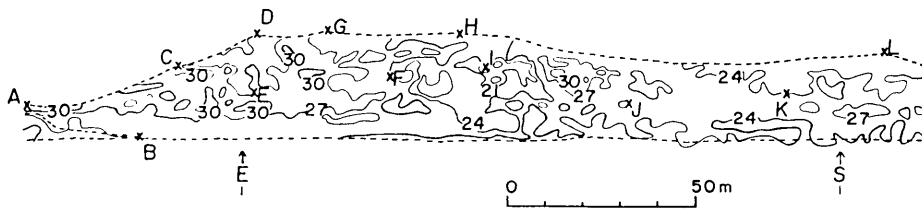
かけての噴気と、その両側の積雪による0°Cの部分とがある。噴気温度は4月25日の測定結果では第5表に示すように90°C前後であるが、視野角5 m rad. で直径25 cmの円内の平均温度は40°C程度となっている。8月の測定結果による地表面温度分布は第14b図に示してある。4月よりも測定範囲を左側に広げているが、その部分には異常はない。噴気の範囲は4月とほぼ同じであり、更に細かく見ると、噴気口の並びも一致しており、測定の再現性のいい事がわかる。



第15a 図 1976年4月25日の水釜南東内壁の地表面温度測定範囲(破線内)



第15b 図 1976年4月25日の水釜南東内壁の地表面温度分布



第16 図 1976年8月29日の水釜南東内壁の地表面温度分布

c) 内壁南東側

南東壁は4月にO点, 8月にはR点から測定しているため, 平均化する地表面の直径が違うために比較はできない. 4月の測定範囲および, 測定結果から得られた地表面温度分布を第15a 図および第15b 図にそれぞれ示してある. A点の下方, D点の下方に異常が見られるが, 霧がかかったり晴れたりという状況での測定であるため確定的な事は言えない. 8月の結果は第16 図と第6 表に示す. 異常は三ヶ所に見られ, C点下部からE点にかけてと, D点・G点の下方, およびI点右方に30°Cを越える

第5表 水釜内壁北西側の噴気温度. 4月25日測定

測点	温度 °C	備考
1	86.9	噴気
2	90.9	"
3	91.9	"
4	88.7	"
5	89.5	"
6	90.3	"
7	91.3	"
1m 深	8.8	噴気地帯から 5~6m 水釜中央より
気温	8.5	16 ^h 45 ^m

部分があった。I 点付近の低温は日陰になっているためである。ただし、この結果も、測定中に日射が強くなり、温度パターンにも影響が現われている。日射量の影響のチェック、補正は今後の問題である。

以上の測定結果から、異常を水平角・垂直角を使い地形図上に 1 m 深地中温度測定の結果とともに書き加えたのが第 10 図である。水釜火口内壁に沿って高温異常がリング状に並び、中央部では噴火前にあった湖水の影響で低温となっている。

4. 白根山頂部の熱分布

以上の観測結果をもとに、山頂部の熱分布について次の五つの点を検討した。

i) 白根山頂部の熱分布

第 7 図から以下の事がわかる。

a) 高温部は湯釜より東側および北側に限られ、著しい異常は水釜内、水釜の北東方、北側の割れ目にある。

b) 湯釜以西は異常なく、酒釜は地表水の温度である。

c) 湯釜内の地中温度は低温であるが、No. 38 付近の水温は 18.8°C であるから、高温部が湖底に存在する事を示している。

ii) 過去の割れ目

南斜面の割れ目については、水釜火口縁付近の変質帯で高温である他は異常なく、北側の割れ目のみが現在も活発である。噴気温度は北側の割れ目で最高温度を記録している(気象庁観測部, 1974)。

iii) 弱線

水釜外壁から南東に高温部がのびている。この方向は 1937 年の湯釜内の活動の方向と平行であり、弱線であるかもしれない。しかし、一方で次のような可能性もある。

a) 高温部は表層の影響によるみかけのものである。第 7 図の㉔の部分、細粒の土で覆われているが、㉕の部分、岩塊が散乱して空けが多い。このため、水釜以東が一樣に高温であるが、㉕の部分、低温となり、見かけ上㉔の高温の列ができている。

b) a) と同様に表層の影響による見かけのものである。ただし水釜以東が広く一樣に高温なのではなく、水釜内のみが高温で、火口縁付近の噴気から出る温泉水が、伏流水となってごく表層を水釜周辺に流れているため、水釜以東が高温となり、更に岩の多い㉕の部分は温泉水が表層を流れないため低温となっている。

以上の二つの考えもあり、この北西—南東の高温部の列が弱線を反映したものかどうかは疑問である。しかし、㉕の部分の表層は岩塊ではないから、㉔と㉕との差を表層の違いで説明する事はできない。また温泉水の影響についても、湯釜の影響が

第 6 表 水釜内壁南東側の主要点の表面温度。8 月 29 日測定

視準点	温度 °C
A	
B	
C	
D	
E	29
F	22
G	
H	
I	19
J	23
K	24.5
L	

第7表 噴火以前に撮られていた空中赤外映像，地質調査所による

撮像年月日	1972年8月19日	1973年9月16日	1974年6月8日
撮像時間	午前5時30分	午前5時—6時20分	午前3時50分—4時53分
気象条件	晴 (SSE の風, 風力 4, 気温 22.9°C) 草津観測所 午前9時測定	風速 6.8 m 地上気温 9.5°C	風向 W, 雲量 10/10 雲高 6,000 m 気温 10°C 機外温度 2°C
航空機	セスナ 206	セスナ 206	セスナ 207
対地高度	1,600-2,500 m	1,000-1,800 m	1,200-2,000 m
撮像装置	JIRCO	JIRCO	JIRCO
検知器	InSb 波長 4.7-5.1 μm	InSb 波長 4.7-5.1 μm	HgCdTe 波長 8-14 μm
温度解像度	25°C において 0.2°C	25°C において 0.2°C	25°C において 0.2°C
瞬間視野	5 m rad	5 m rad	2 m rad
総合視野	80°	80°	80°
走査回数	18/sec	18/sec	72/sec
その他	磁気テープ記録	磁気テープ記録	磁気テープ記録

㊦には出ていない。したがって㊤と㊦との境界には何らかの線があるかもしれない。

一方、今回の噴火地点は先に述べたように第1図の“弱線”の上にあるように見える。しかし、第7図の地中温度分布からは、そのような弱線または割れ目の存在は明らかではない。また、水釜内の温度分布(第10図)からも、この割れ目線の存在はなく、むしろ、火口内壁に沿って熱異常が見られる。このようなリング状の熱異常は、三原山山頂火口でも見られるように、活動火口では一般に観測される現象である。これは、火口壁と火口底堆積物との境界に力学的に弱い部分があり、そこから噴気現象が現われるためである。

iv) 空中赤外映像との比較

白根万座地区は、地熱開発を目的として、1972, 73, 74年の計3回、地質調査所によって、空中赤外撮像が行われた(第7表)。第17図はそれぞれの年度の赤外映像である。これら3枚の写真で、今回の噴火地点(矢印)に着目すると、1972年撮像のものには温度異常が見られないが、1973, 74年撮像のものには明らかに温度異常が現われている。この事実から、水釜内の一部で、1973年9月以前に、既に温度が上昇していたことになる。このことは、小坂らによる火山ガスの成分変化の時期とも一致している(東京工業大学工学部他 1976)。

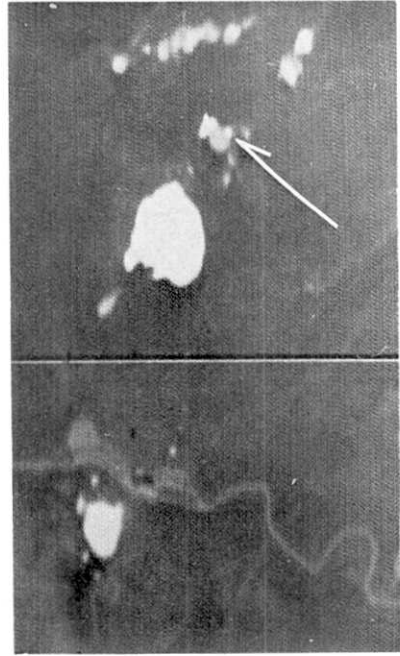
なお、第7図の㊦で示してある部分は、上記の空中赤外映像には温度異常が見られない。したがって、この地域は、新しく地熱活動が拡大している可能性もあり、注意する必要があるだろう。

v) その他の問題点

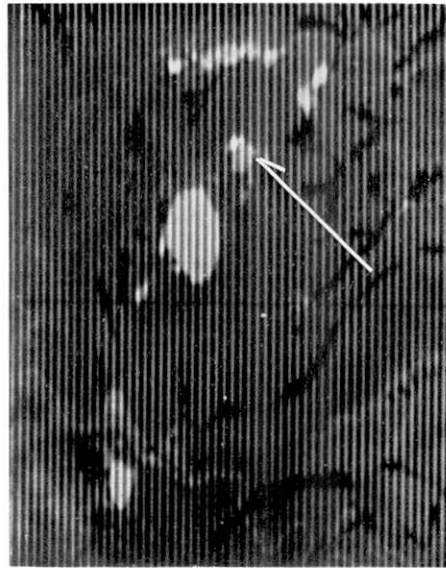
MINAKAMI et al. (1942) は、1942年2月2日の噴火の後、北側の割れ目は、最も早く活動を停止し、南側の割れ目が最後まで活発であったと述べている。しかし、最近の測定



(a)



(b)



(c)

第17図 草津白根山頂部の空中赤外映像
a. 1972年8月19日 (HASE, 1974)
b. 1973年9月16日 (地質調査所による)
c. 1974年6月8日 (地質調査所による)

結果によれば、この関係は逆になっており、南側山腹の噴気活動は停止し、北側山腹のみに噴気活動が活発である。この理由としては次のような可能性が考えられる。

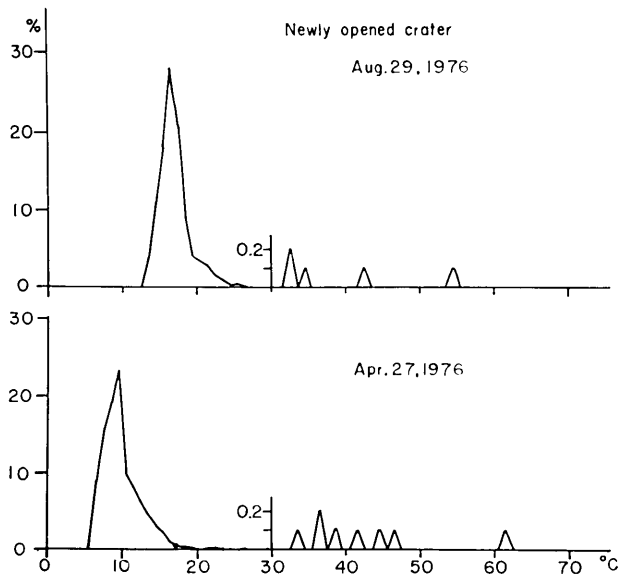
- a) 白根山の火山活動域が北東へ移動した。
- b) 原因は比較的浅く、北側の割れ目に関与する降雨面積が南側より広い。そのため、より多くの水蒸気を放出しつづけ、割れ目を維持している。
- c) 白根山の基盤は北西側が、南東側に比べて、1000 m 程高くなっており(太田・松野 1970)、しかも、南東あるいは、東に開く「馬蹄形カルデラ」や、それに類似した地形が多い。もし、これらの地形の特徴が重力すべりの影響であると考えらるならば、北側の割れ目で 1942 年の噴気後も噴気活動が維持されていることに対する一つの解釈となる。

5. 水釜内熱分布の時間変化

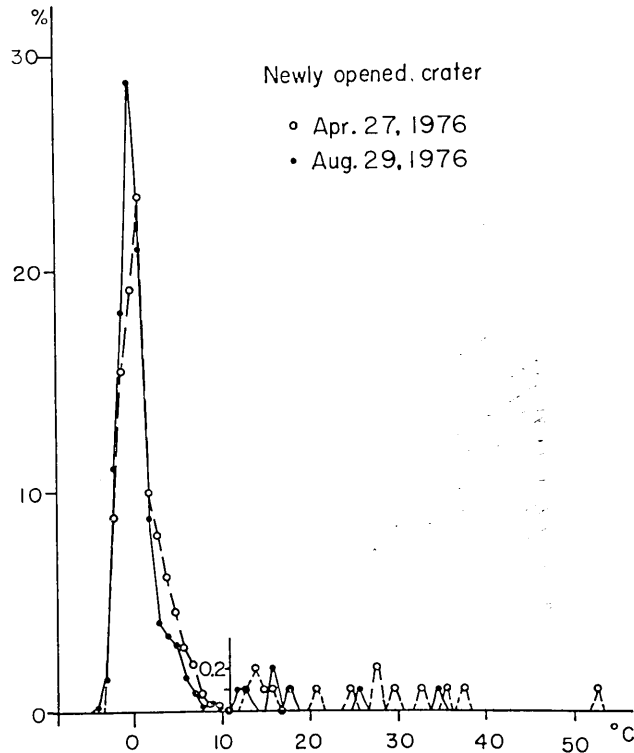
水釜内の熱分布がどのように変化するかは、今後の草津白根火山の活動を考える上で重要であろう。Ground Scanner による 1976 年 4 月と 8 月の測定結果を比較してみた。内壁南東側については測定点が同じではないので、ここでは扱わない。

i) 新 火 口

第 11b 図と第 12b 図を比較すると、4 月に最高温度 61°C を記録した G, H 点が土砂で埋まり、8 月には 30°C に低下しているが、一方では E 点は 42°C が 54°C に上昇し、M 点、N 点に弱い高温部が現われた他、D 点にも弱い噴気が新しく確認された。したがって、これだけの事実では活動度を判断する事はできない。第 18 図は、4 月と 8 月の測定の重なる範囲について、表面温度 1°C ごとの面積比のヒストグラムを示したものである。



第 18 図 1976 年 4 月および 8 月の新火口内の表面温度 1°C ごとの面積比ヒストグラム

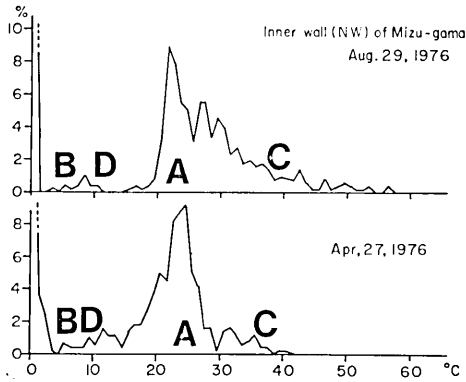


第19図 第18図の低温のピークを重ねた場合

る。この範囲の大部分を占める異常のない部分に注目すると、平均温度は4月に 10°C 、8月には 17°C である。この変化は季節変化、あるいはその日の日射量によるものであろう。この変化量をさし引いて4月と8月の値を重ねたものが、第19図である。異常のない部分のヒストグラムのパターンは、ほとんどが重なる事がわかる。この集団は 10°C までで終わる。これより高い温度を示す部分に注目すると、この部分が全体に占める面積比は、4月は1.3%であるが、8月には0.7%に減少している。また、(面積比 \times 温度異常)も、4月に $31.8\% \cdot ^{\circ}\text{C}$ であったのが、8月には $13.6\% \cdot ^{\circ}\text{C}$ に減少している。したがって、8月の新火口は4月に比べて、火口底の噴気口の温度が低下し、他の部分で上昇しているが、全体としては、地熱異常は弱くなっている。むしろ、部分的に温度が上昇したのは、火口底の噴気がふさがれたためであり、全体としての活動は弱まったと見るべきかもしれない。

ii) 内壁北西側

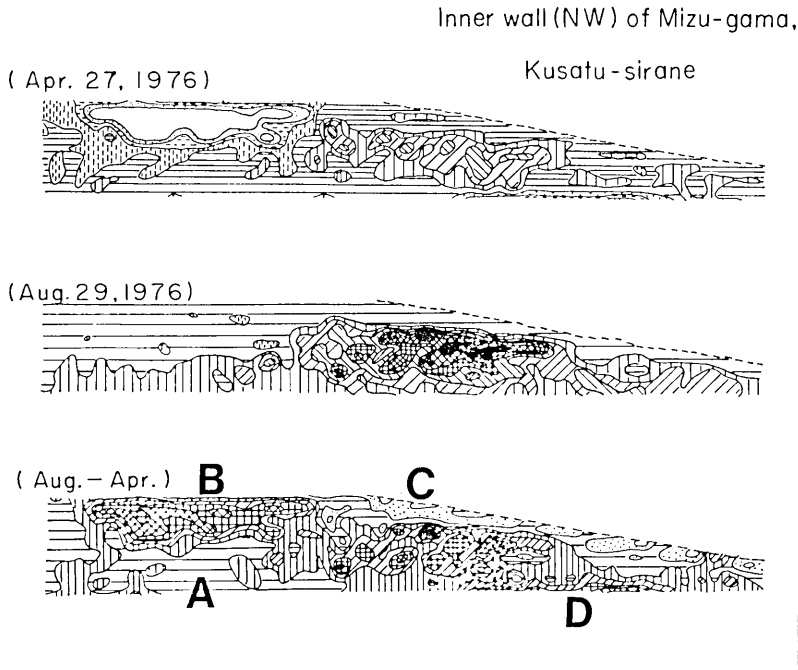
第13図に示す4月と8月の測定範囲が重なる範囲について同様のヒストグラムを作ると、第20図に示すようになる。同じ範囲について、4月と8月の温度の差を計算したのが第21図である。読み取った温度データは、水平角・垂直角の間隔があらいため、spline関数による内そう(齋藤, 1974)を前処理として行なった後、差を計算させている。 0°C



第20図 水釜北西内壁における1976年4月および8月の表面温度1°Cごとの面積比ヒストグラム

この部分は、噴気地帯に対応する(図中◎)。これら、◎、◎、◎の部分は20°C程度の上昇である。表面温度は、測定した季節、時刻、天候によって変わるから、温度の上昇がその

付近の最大のピークは、測定範囲内に空が入り、見かけ温度が0°Cとなっていたためであるから、除外して考えると、23°C程度にピークがある(図中◎)。この部分の8月の温度は、4月とほぼ同じ、あるいは10°C以下の上昇である。これより低温の部分に注目すると、4月に比べ8月は面積比が小さくなっている。この部分は、4月の積雪とその付近に対応する低温部が8月までに雪が融け、異常のない部分になったためである(図中◎、◎)。25°C以上の部分に注目すると、8月の方が面積比が大きく、かつ高温部へと移っている。この



第21図 水釜北西内壁の1976年4月(上図)および8月(中図)の表面温度分布と、両者の差(下図)

- 1...50~55°C, 2...45~50°C, 3...40~45°C, 4...35~40°C, 5...30~35°C
- 6...25~30°C, 7...20~25°C, 8...15~20°C, 9...10~15°C, 10...5~10°C
- 11...<5°C

まま噴気温度の上昇・活動の活発化を意味するものではない。しかし、④の部分の上昇 10°C を全て日射等の影響によるものと考えたとしても、⑤の 20°C の上昇は説明できない。この上昇を説明するには、a) ④と⑤の表面の物質の Albedo, 熱容量に違いがある。b) 噴気温度の上昇あるいは噴気量の増大。の二つが考えられる。④の表面は土、⑤は変質した岩であるから日射により、⑤でより大きい温度上昇を示す可能性もある。また、噴気温度の上昇・噴気量の増加についても、4月の融雪の影響が地下の浅い部分に出ている可能性もある。したがって、内壁北西側の温度上昇から、火山活動の活発化を、すぐに結論づける事はできない。

6. ま と め

1976年水釜内の水蒸気爆発に関連して行った地熱調査の結果をまとめると次のようになる。

a) 今回の噴火に先立って、空中赤外撮像および写真によって、熱的前兆現象が1973年頃から始まっていたと推察される。

b) 1m深の地中温度分布から、現在の白根山頂部の地熱活動は、湯釜より東および北側で活発であることが判った。

c) 噴火後数ヶ月で、新火口内の温度は低下し、一方、水釜北西内壁で表面温度の上昇が確認された。

d) この温度上昇が、火山活動の活発化を意味するものか、あるいは、新火口が土砂で埋まり、その結果、水蒸気が北西内壁に多量に噴出して、見かけ上温度が上昇したものは明らかではないが、将来の活動予測の観点から注意を要する点であろう。

e) 草津白根山では、水蒸気爆発が将来も発生するが、近い将来の活動中心は、地熱活動の調査から、湯釜より北および東側になるであろうと判断される。

f) 将来の噴火予知の観点からは、草津白根山では、地震活動よりも、地熱活動の観測が基本的に重要である。

謝 辞

空中赤外撮像の資料を貸与された工業技術院地質調査所長谷紘和氏に厚く御礼申し上げます。品水水質管理事務所長武藤速夫氏には種々資料の提供を戴いた。また、大川史郎氏は、サーモカメラの測定に協力された。併せて御礼申し上げます。この観測に要した費用の一部は火山地震移動観測事業費によってまかなわれた。

文 献

- HASE, H., 1974, Geologic remote sensing of the Kusatsu-Manza geothermal area, Central Japan. Report No. 252 Geological Survey of Japan.
- 気象庁観測部, 1974, 火山機動観測実施報告, **10**, 29-50.
- MINAKAMI, T., 1939, Explosive Activities of Volcano Kusatsu-Sirane during 1937 and 1938. (part I). *Bull. E.R.I.*, **17**, 590-623.
- MINAKAMI, T., K. MATSUDA and S. UTIBORI, 1942, Explosive Activities of Volcano Kusatsu-Sirane during 1938 and 1942. (part II). *Bull. E.R.I.*, **20**, 505-526.
- 太田良平・松野久也, 1970, 草津白根火山の再調査. 地質調査所月報, **21**, 609-618.
- 斎藤正徳, 1974, 時系列解析用のサブルーチン. 地質工学, **9**, 27-39.
- 下鶴大輔・鍵山恒臣, 1976, 改造型赤外放射温度計による三原火山口の表面温度測定. 火山第2集, **21**, 95-105.
- 下鶴大輔・行田紀也・小山悦郎・宮崎 務・沢田宗久・長田 昇・萩原道徳・竹田豊太郎, 1978, 草津白根山の1976年の水蒸気爆発とそれに関連した集中火山観測. 地震研究所彙報, **53**, 569-580.
- 東京工業大学工学部, 理学部, 上智大学理工学部, 1976, 火山噴火予知連絡会会報, **7**, 11-19.
- TSUYA, H., 1933, Explosive Activity of Volcano Kusatsu-Sirane in October, 1933, *Bull. E.R.I.*, **11**, 82-112.

29. *Geothermal Survey of the Volcano Kusatsu-shirane.*

By Tsuneomi KAGIYAMA, Etsuro KOYAMA, Noriya GYODA
and Daisuke SHIMOZURU,
Earthquake Research Institute.

The volcano Kusatsu-shirane located 30 km north of the volcano Asama had a steam explosion at the end of February, 1976 in the NE part of the Mizu-gama crater. A photograph taken by a visitor three months before the eruption showed abnormal geothermal activity where the explosion occurred. But, no clear precursory volcanic earthquakes occurred. In this point of view, the authors recognized the importance of geothermal activity of the volcano Kusatsu-shirane as a symptom of eruptive activity and made geothermal surveys for the prediction of future volcanic activity. The surveys were carried out by infrared ground based scanner and CANON THERMO-CAMERA CT-4B for the surface temperature distribution and thermistor probes for temperature distribution at 1 m depth.

The following results were obtained.

1. According to the infrared survey carried out in April and in August, 1976, a significant temperature decrease inside the newly opened crater and a significant increase at the NE part of the inner wall of Mizu-gama were detected.
 2. The decrease in temperature of the vent inside the newly opened crater was due to filling up by muddy lake sediment.
 3. The reason for the increase of temperature at the NE inner wall of Mizu-gama is not clear, however, it is worthy noting for future volcanic activity.
 4. The 1 m depth temperature distribution at 151 spots showed that the geothermal activity is high in the area north and east of Yu-gama which suggests a site of future volcanic activity.
-

第8表 1 m 深地中温度測定記録. 測定点X座標, Y座標は, レストハウス前測定点 (No. 33) からの東方, 北方への距離. B—植生なし, V—植生

測点	サーミスター挿入日時分	測日 時 分	サーミスター番号	地中温度	補正温度	測定点X座標m	測定点Y座標m	植生	備 考
1	1	1	76E- 9	11.0		1415	1695	V	
			76E- 5	11.8					80 cm
2	1	1	76E- 1	11.0		1296	1560	V	
3	1	1	76E- 6	13.2		945	1018	B	
4	1	2 14	76E-14	13.7		810	963	B	near the steaming ground
		4 12 25		14.1					
5	1	2 14	76E-19	45.0		750	1011	B	near the steaming ground
		4 12 40		43.1					
6	1	1	76E-20	19.8		723	895	B	near the steaming ground
7	1	1	76E-10	16.0		675	860	B	near the steaming ground
8	1	2 15	76E-11	13.4		570	780	B	scattered boulders
		4 13 08		13.6					
9	1	2 15	76E-24	13.9		475	841	B	scattered boulders
		4 13 00		14.2					
10	1	2 14 30	76E-23	14.1		558	915	B	
		4 12 53		14.1					
11	1	2 15	76E- 4	17.6		657	975	B	
		4 12 45		17.4					
12	4 12 30	4 15 45	76E-14	17.0		800	998	B	near the fumarole
13	4 13 30	4 14 50	76E-23	26.3		415	808	B	
14	4 13 37	4 15 00	76E-24	15.0		420	885	B	
15	4 14 10	3 15 05	76E- 6	13.3		445	1005	B	
16	4 14 13	4 15 10	76E-20	16.9		475	1065	B	
17	4 14 15	4 15 15	76E-19	90.7		498	1085	B	near the fumarole
18	4 14 30	4 15 25	76E- 4	15.2		550	1180	B, V	
19	4 14 55	4 15 30	76E- 9	14.4		625	1283	V	
20	4 16 30	5 13 05	76E- 9	11.8		- 83	-90	B, V	
21	4 16 40	6 12 40	76E- 4	13.0		-220	110	V	
22	4 16 45	6 12 20	76E-10	13.8		-155	183	B	
23	4 16 53	6 16 15	76E-24	11.5		-195	243	B	
24	4 17 05	6 15 13	76E- 6	11.1		- 85	298	B	
25	4 17 20	6 14 02	76E- 7	9.9		3	315	B	
26	4 17 30	6 17 39	76E-11	9.6		93	305	B	
27	4 17 37	6 17 25	76E-15	11.8		245	348	B	
28	4 17 50	6 17 31	76E-18	12.5		335	430	B	wet soil
29	4 18 00	7 15 30	76E- 3	14.9		375	555	B	wet soil
30	4 18 40	7 15 32	76E- 1	14.7		445	594	B	

第8表 (つづき)

測点	サーミスター挿入日時分	測日 時分	サーミスター番号	地中温度	補正温度	測定点X座標m	測定点Y座標m	植生	備考
31	4 18 15	7 15 40	76E-21	14.4		511	663	B	
32	4 19 00	6 17 16	76E-13	12.0		48	185	B	
33	4 19 05	6 16 53	76E- 8	11.0		0	0	B	standard point
		7 13 03		11.1					
		8 18 07		11.1					
		23 13 10		11.4					
		24 14 22		11.4					
		25 13 26		11.5					
		27 14 57		11.7					
34	4 19 10	6 17 00	76E- 2	13.4		135	8	B	
35	6 17 05	7 13 11	76E- 7	10.0		185	70	V	fissure zone
36	6 17 10	7 13 16	76E- 6	13.0		120	88	V	
37	6 17 30	7 13 29	76E-13	12.7		108	385	B	
38	6 17 40	7 13 35	76E- 2	10.8		59	465	B	near the water pool
39	6 17 45	7 13 50	76E-18	10.9		- 80	392	B	near the water pool
40	6 17 52	7 13 44	76E-11	11.2		- 17	465	B	wet soil
*		6 18 08		18.8					water temperature of Yugama
				15.2					atmospheric temperature
41	7 13 48	7 17 03	76E- 2	12.6		- 93	438	B	
42	7 13 55	7 17 07	76E-15	11.8		- 80	342	B	
43	7 14 17	7 17 17	76E-18	12.6		287	240	B	
44	7 14 26	7 17 23	76E-11	12.7		195	168	B	
45	7 14 34	7 17 28	76E- 6	12.3		263	130	B	
46	7 14 44	7 17 34	76E-24	13.7		488	65	B	
47	7 14 53	7 17 39	76E- 7	12.3		528	195	B	
48	7 15 04	7 17 44	76E-13	12.6		428	310	B	
49	7	7 17 51	76E- 9	13.2		440	400	B	
50	7	7 18 00	76E-17	16.2		543	460	B	
51	7	7 18 06	76E- 5	13.8		610	525	B	
52	7 16 17	7 18 11	76E- 3	11.9		717	593	B	
53	7 16 23	7 18 16	76E-12	13.5		759	569	B	
54	7 16 32	7 18 21	76E-22	12.7		745	460	B	
55	7 16 45	7 18 27	76E-10	14.4		670	254	B	
56	8 12 50	8 17 58	76E-10	11.5		-304	25	B	
57	8 13 00	8 17 48	76E-11	12.6		448	258	B	
58	8 13 12	8 17 39	76E-17	11.5		-240	323	B	
59	8 13 19	8 17 34	76E- 3	11.9		-238	410	B	
60	8 13 29	8 15 40	76E- 9	11.7		-400	503	B, V	
61	8 13 43	8 15 49	76E- 6	10.7		-545	648	B	

(つづく)

第8表 (つづき)

測点	サーミスター挿入日時分	測日 温分	サーミスター番号	地中温度	補正温度	測定点X座標m	測定点Y座標m	植生	備考
62	8 13 55	8 15 55	76E- 2	10.7		-488	860	B	
63	8 14 04	8 16 00	76E- 7	11.0		-348	893	B	
64	8 14 12	8 16 08	76E-19	56.1		-195	930	B	steaming ground
65	8 14 19	8 16 25	76E-12	12.6		-203	903	B	
66	8 14 38	8 16 32	76E-13	12.2		-140	888	B	
67	8 14 47	8 16 39	76E-24	13.1		- 60	980	B	
68	8 14 57	8 16 49	76E- 4	10.6		119	787	B	
69	8 15 13	8 16 44	76E- 5	12.4		60	888	B	
70	8 15 25	8 16 57	76E-15	11.5		- 95	695	B	
71	8 15 40	8 17 01	76E-22	12.4		0	658	B	
72	8 16 00	8 17 08	76E-18	10.9		-193	545	B	
73	8 16 10	8 17 14	76E-14	12.2		-260	713	B	
74	8 15 25	8 17 25	76E-16	10.9		-655	673	B	
75	8 16 40	8 17 20	76E-20	12.3		-669	793	B	
76	23 13 38	23 16 23	76E-16	13.6	13.3	180	43	B	
77	23 13 49	23 16 39	76E-20	14.1	13.8	388	-15	V	
78	23 14 01	23 16 50	76E-19	12.7	12.4	378	205		
79	23 14 11	23 16 57	76E-14	13.3	13.0	350	350	B	fissure zone
80	23 14 28	23 17 12	76E- 3	16.8	16.5	430	514	B	
81	23 14 40	23 17 21	76E-17	17.0	16.7	450	564	B	
82	23 14 49	23 17 29	76E-11	26.7	26.4	482	605	B	
83	23 14 59	23 17 37	76E- 2	26.9	26.6	545	628	B	
84	23 15 15	23 17 50	76E-10	14.5	14.2	641	365	B	
85	23 15 23	23 18 01	76E-13	13.9	13.6	533	285	B	
86	23 15 37	23 18 17	76E-22	12.8	12.5	160	185	B	
87	23 15 48	23 18 28	76E-15	12.7	12.4	- 35	238	B	
88	23 15 57	23 18 36	76E- 9	13.0	12.7	-125	100	B, V	
89	24 08 25	24 12 11	76E-15	13.6	13.3	775	633	B	scattered boulders
90	24 08 43	24 12 24	76E-13	14.1	13.8	675	683	B	scattered boulders
91	24 08 58	24 12 38	76E-10	14.9	14.6	625	628	B	scattered boulders
92	24 09 18	24 12 46	76E- 3	13.9	13.6	584	676	B	
93	24 09 25	24 13 02	76E-11	14.3	14.0	630	694	B	scattered boulders
94	24 09 45	24 13 17	76E-22	13.8	13.5	669	748	B	
95	24 10 03	24 13 31	76E-17	13.1	12.8	690	780	B	
96	24 10 13	24 13 31	76E- 9	13.5	13.2	790	731	B	
97	24 10 26	24 13 51	76E- 2	13.1	12.8	905	705	B	
98	24 10 38	24 13 59	76E- 4	13.1	12.8	908	465	B	
99	24 15 10	25 14 01	76E- 2	14.9	14.5	771	1124	V	
100	24 15 27	27 11 45	76E-11	12.7	12.1	485	1230	B	
101	24 15 40	25 14 49	76E-15	13.7	13.3	435	1140	B	

(つづく)

第8表 (つづき)

測点	サーミスター挿入日時分	測日 時分	サーミスター番号	地中温度	補正温度	測定点X座標m	測定点Y座標m	植生	備考
102	24	25 15 17	76E-19	88.0	87.6	425	1085	B	steaming ground
103	25 08 55	25 14 17	76E-10	82.4	82.0	625	1133	B	steaming ground
104	25 09 27	25 15 16	76E-14	93.3	92.9	395	1072	B	steaming ground
105	25 09 55	25 15 30	76E- 5	13.3	12.9	353	963	B	
106	25 10 03	25 15 43	76E-22	13.0	12.6	263	938	B	
107	25 10 11	25 15 55	76E- 9	12.6	12.2	317	848	B	
108	25 10 20	25 16 06	76E-18	12.8	12.4	215	839	B	
109	25 10 27	25 16 15	76E-12	13.2	12.8	220	792	B	
110	25 10 33	25 16 26	76E-17	11.4	11.0	273	775	B	
111	25 10 46	25 16 42	76E-13	11.6	11.2	215	727	B	
112	25 11 07	25 08 07	76E-24	13.3	12.7	141	879		
113	25 11 18	27 08 25	76E- 7	14.8	14.2	175	940		
114	25 11 26	27 08 32	76E- 4	18.7	18.1	163	995		
115	25 11 36	27 08 41	76E- 3	39.6	39.0	255	1010		
116	25 11 47	27 08 57	76E-16	93.3	92.7	290	1080	B	steaming ground
117	25 11 52	25 15 00	76E-20	92.5	92.1	343	1080	B	steaming ground
118	27 07 34	27 17 42	76E-22	19.3	18.9	663	1068		
119	27 07 42	27 17 51	76E-18	15.2	14.8	545	1000		
120	27 09 12	27 10 50	76E- 4	26.4	25.8	240	1080	B	near the steaming ground
121	27 09 18	27 10 56	76E- 7	18.5	17.9	200	1080		
122	27 09 22	27 11 01	76E-13	18.8	18.2	175	1043		near the steaming ground
123	27 09 30	27 11 10	76E- 9	27.0	26.4	145	1090		
124	27 09 35	27 11 16	76E-12	16.6	16.0	185	1113		
125	27 09 39	27 11 22	76E- 3	14.1	13.5	245	1160		
126	27 09 47	27 11 30	76E-24	16.6	16.0	343	1225	V	
127	27 09 58	27 11 54	76E- 5	16.9	16.3	323	1165	V	
128	27 10 06	27 11 38	76E- 2	16.2	15.6	390	1185	V	
129	27 10 15	27 12 01	76E-15	24.2	23.6	285	1105	V	near the steaming ground
130	27	27 12 16	76E-10	16.2	15.6	115	993		
131	27	27 12 25	76E- 4	15.3	14.7	55	960		
132	27	27 12 45	76E- 7	18.3	17.7	- 10	988		
133	27	27 12 35	76E-19	18.2	17.6	-120	970		near the steaming ground
134	27 11 35	27 12 41	76E-13	15.4	14.8	- 85	1015		
135	27 11 44	27 12 51	76E-11	23.8	23.2	33	1023		
136	27 11 53	27 13 00	76E-20	#	±	65	1000	B	steaming ground
137	27 12 00	27 13 07	76E-16	13.2	12.6	60	1073	V	
138	27 13 30	27 15 49	76E- 7	13.6	13.0	- 38	845		
139	27 13 46	27 15 31	76E-15	14.1	13.5	-228	803		

(つづく)

第8表 (つづき)

測点	サーミスター挿入日時分	測日 時 分	サーミスター番号	地中温度	補正温度	測 定 点 X座標 m	測 定 点 Y座標 m	植生	備 考
140	27 13 58	27 15 22	76E-11	13.7	13.1	-288	595	B, V	center of Mizugama
141	27	27 16 35	76E- 7	15.2	14.6	382	710	B	
142	27	27 16 40	76E- 4	23.7	23.1	376	760	B	
143	27	27 16 37	76E- 9	16.9	16.3	379	735	B	
144	27	27 16 46	76E-12	18.5	17.9	388	660	B	
145	27	27 16 44	76E- 3	17.0	16.4	385	685	B	
146	27	28 16 49	76E-24	15.8	15.2	407	713	B	
147	27	27 16 52	76E- 2	25.2	24.6	432	716	B	
148	27	27 16 57	76E-10	18.3	17.7	357	707	B	
149	27	27 17 00	76E-13	20.6	20.0	332	704	B	
150	27	27 17 04	76E- 5	19.4	18.8	362	725	B	
151	27	27 17 08	76E- 7	19.7	19.1	343	741	B	

第9表 1 m 深地中温度測定期間中の天候

1 日	2 日	3 日	4 日	5 日	6 日	7 日	8 日
晴 れ	曇りのち 雨	雨	晴れのち 曇	曇りのち 雨	曇 り	晴れのち 曇	曇 り
23 日	24 日	25 日	26 日	27 日			
曇 り	曇 り	曇 り	雨	晴 れ			