

第2編 阿蘇山・御岳山の噴火及び火山活動 に関する研究

第1章 阿蘇山の1979、1980年の熱的状态と火山活動*

1. まえがき

阿蘇山の中岳第1火口の火山活動は1979年6月初旬から活気を呈し、1979年9月6日には近年ではまれな大きな爆発を起こした。この爆発では多量の噴石や火山灰を放出し、死傷者を生じ、山上の観光施設を破壊させた。その後、1980年1月まで降灰などを伴う活発な火山活動が続いた。

そこで、この時期の阿蘇山の熱的状态と火山活動との関係を求めるため1979年12月から1980年3月の間に火口及び火口周辺の地表温度をリモートセンシングによって観測し、その結果を解析するとともに、過去の観測資料と対比検討した。

2. 観測方法

1) 空中赤外温度観測

1979年12月24日、1980年3月27日、1980年3月30日の3回にわたり、航空機(エアロコマンダー685型)に赤外線映像装置を搭載して、阿蘇山中岳火口の熱映像を撮影し、火山の熱的状态を解析した。

観測のための飛行コースは図2.1.1に示してある。また、観測装置の特性は表2.1.1に、観測日時・観測コース・飛行高度(海拔)等は表2.1.2に示してある。映像の撮影は火口縁上1000~1400mの高さから行った。この高さで赤外線映像装置のMSS (Multi Spectrum Scanner) の性能とから、この観測では直径3m程度の地表の平均温度が検知されていることになる。

なお、日中の地表温度は日射の影響があるので、空中赤外温度観測は夜間実施するのが普通である。したがって、これまでの空中赤外温度観測は、夜間に月明りを頼りに目視飛行で行った。しかし、1980年3月の観測には航空機にドップラーレーダーを搭載し、地形を電波でチェックしながら飛行するシステムを取り入れた。これは夜間の観測を容易にするシステムとして、その成

*田中康裕・澤田可洋・中禮正明；地震火山研究部

田 望；東海大学

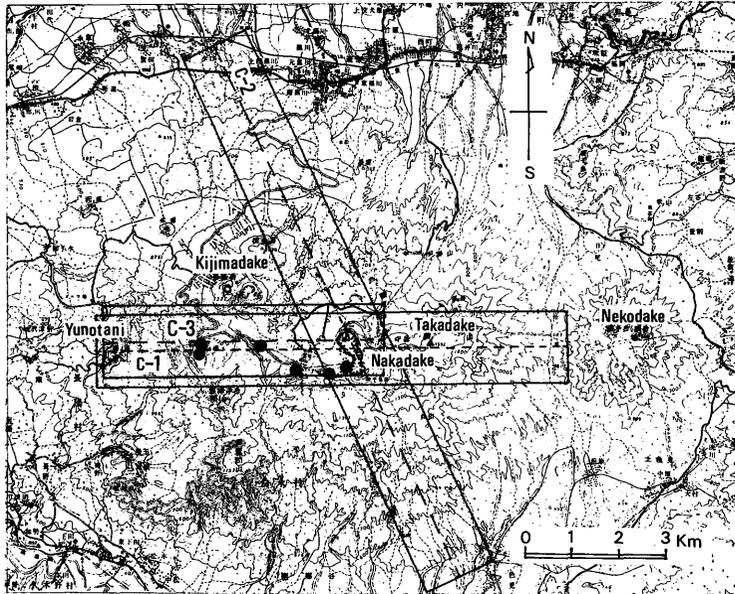


図2.1.1 阿蘇山中岳の空中温度観測のための飛行コース（C-1、C-2、C-3）とグランドトゥルス実施地点（黒丸6地点）

表2.1.1 使用した赤外線映像装置

機種	DS-1250型MSS（米国Deadalus社製）
検出器	CdHgTe 液体窒素冷却
波長帯域	8～14 μ m
瞬間視野	2.5mrad
温度分解能	0.2 $^{\circ}$ C
走査本数	80本/sec
走査角度	77 $^{\circ}$ 20'
記録方式	FMテープ
動揺補正	$\pm 5^{\circ}$

表2.1.2 飛行記録

撮影年月日	コースNo.	高度(m)	時刻
1979. 12. 24	C-3	2700	1721~1722
	C-1	2700	1729~1731
	C-1	2700	1747~1749
	C-1	2700	1833~1836
	C-1	2700	1842~1845
	C-1	2700	1910~1912
	C-1	2700	1919~1922
1980. 3. 27	C-1	2300	1855~1858
	C-2	2300	1904~1907
	C-1	2300	1930~1934
	C-2	2300	1940~1943
	C-1	2300	1949~1952
	C-2	2300	1956~2000
1980. 3. 30	C-1	2400	1844~1847
	C-2	2400	1856~1858
	C-1	2400	1935~1937
	C-2	2400	1943~1945
	C-1	2400	1955~1957
	C-2	2400	2002~2005

功は高く評価される。

航空機からリモートセンシングによって測る地表温度をチェックするため、観測時刻にあわせて飛行コース下の地面の6地点でグラントルースを行った。それらの位置は図2.1.1の中に記載してある。また、火口周辺の7地点に映像と地図とを合わせるための対空標識(6m×10mのアルミ箔板)を設置した。その位置は図2.1.2に示してある。地上の土と対空標識のアルミ箔とでは放射率が違うので、たとえ両者の温度が同じであっても標識は夜間の映像に写し出され、その位置が確認できる。

2) 地上赤外温度観測

阿蘇山中岳火口の熱的状态を一層確実に把握するため、上記の空中赤外温度観測とは別に、1980年3月27日、火口縁から噴煙の状況を観測するとともに、放射温度計を用いて火口内の地表温度・噴煙温度を観測し、空中赤外温度観測の結果と比較検討した。この観測に用いた放射温度計の特性は表2.1.3に示してある。

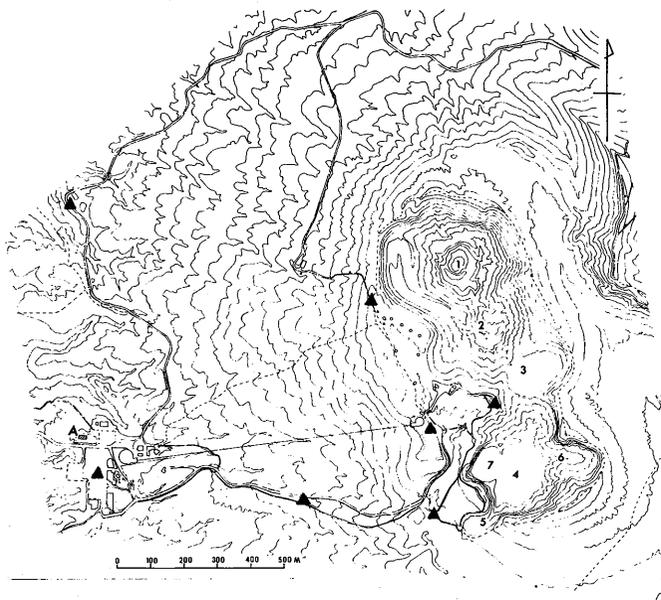


図2.1.2 阿蘇山中岳の空中温度観測のための対空標識設置点（黒三角印7地点）。1、2、……7はそれぞれ第1火口、第2火口、……第7火口

表2.1.3 使用した放射温度計

機種	ER-2002/SD (松下技研株式会社製)
検出器	焦電型検知素子 (PbTiO ₃)
集光機構	ゲルマニウム集光レンズ
測定距離	2 m~∞
波長帯域	8.5~12μm
視野角	0.5°
精度	±1°C
測定温度範囲 と分解能	{ 0°~80°Cにおいて0.5°C -40°~120°Cにおいて1°C
重量	2.8kg

3. 空中赤外映像の処理

1) 解析方法

赤外線映像装置のMSSによる映像撮影から温度分布図を作るまでの一連の解析作業の概要を

図2.1.3に示す。作業の主流は図中のI→II→III→IV→Vの順であって、他は主流の値を補正するための作業である。

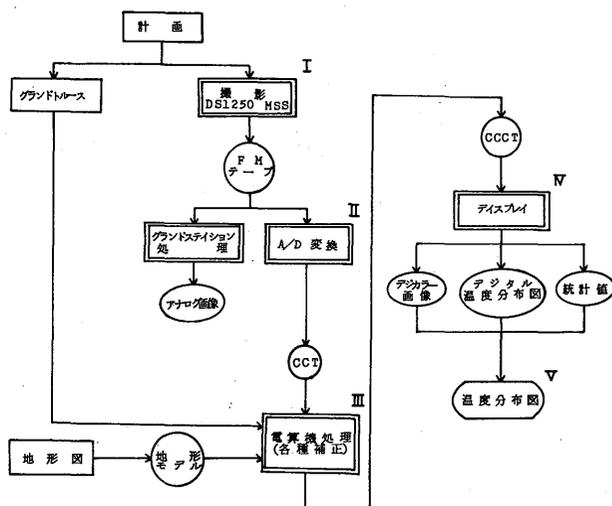


図2.1.3 映像解析処理のフローチャート

図中の二重枠で示した作業では、それを行うための専用または相応の機器が使われる。丸枠の所では電子計算機へ入力させるための磁気テープが作製される。また、楕円枠の所では、ある程度に解析処理された成果品が出力される。最後にできる温度分布図は、見やすくするため手書きである。なお、地形補正の方法については第2章の御岳山の項で述べる。

2) 解析結果

1979年12月～1980年3月の間に行った3回の温度観測時における阿蘇山の火山活動状況は次のとおりであった。

第1回目の観測時（1979年12月24日）：

1979年6月以来続いていた活発な噴煙活動は、このころから衰え始めたが、なお、噴煙は時々第1火口をおおう程度にあがっていた。しかし、降灰はなかった。

第2回目、第3回目の観測時（1980年3月27日、30日）：

噴煙活動は衰え、火口から微量の噴煙をあげる程度の活動が続いていた。第1火口底には湯溜りがあって、湯面からわずかに蒸気をあげていた。

上記3回の観測に基づいて作った温度分布図を図2.1.4、図2.1.5、図2.1.6に示す。また、図2.1.7には各温度観測時における中岳第1火口の東西の温度プロファイルを熱映像から読み取って示してある。この図から火口周辺におせるバックグラウンドの温度レベルは、第1回目、第

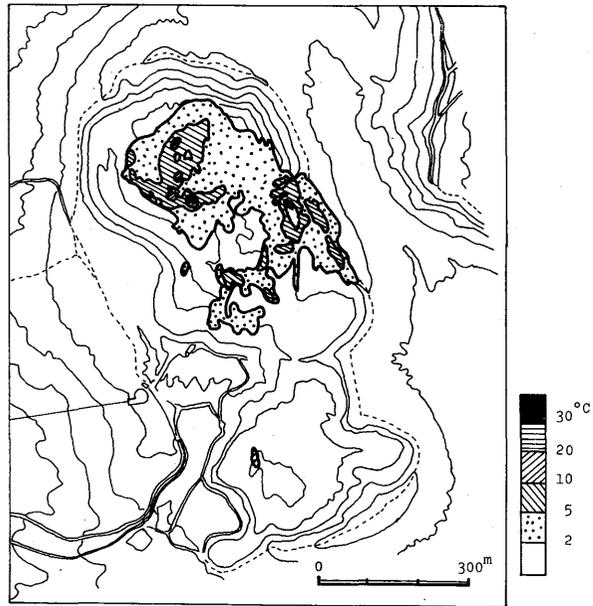


図2.1.4 阿蘇山中岳火口の温度分布 (1979年12月24日)

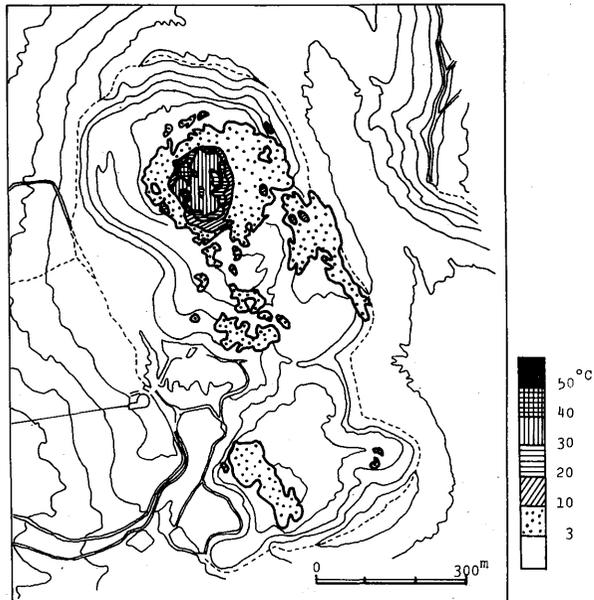


図2.1.5 阿蘇山中岳火口の温度分布 (1980年3月27日)

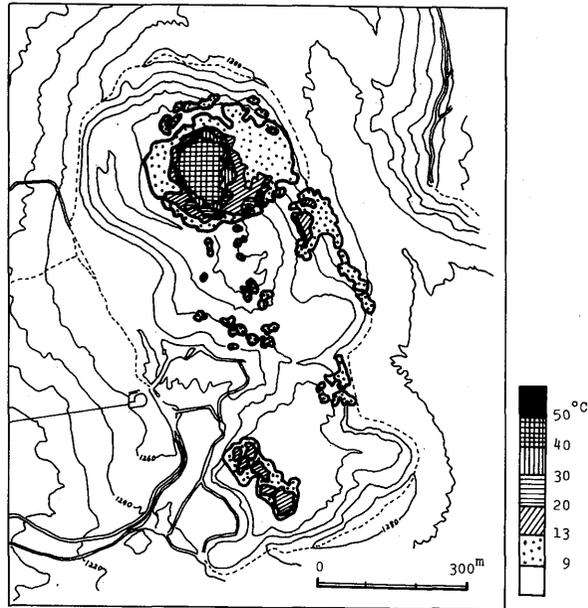


図2.1.6 阿蘇山中岳火口の温度分布 (1980年3月30日)

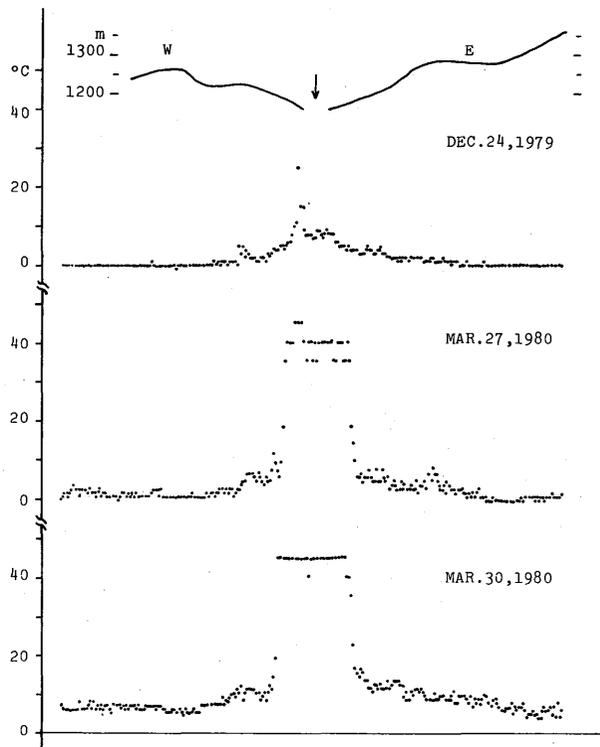


図2.1.7 阿蘇山中岳第1火口の東西の地形及び温度プロファイル。中央の矢印は中岳第1火口の位置

2回目、第3回目の観測時で、それぞれ、2°C、3°C、9°Cであったことがわかる。したがって、図2.1.4、図2.1.5、図2.1.6の温度分布図には、それらの温度以上の高温域が記載してある。

3回の温度観測を通じて、高温地域は第1火口底と第1火口壁、第2火口底と第2火口壁、第3火口壁、第4火口底、第6火口底、第7火口底等で検知された。このうち第1火口、第2火口、第3火口の温度は顕著に高いので、火山内部から放出している地熱によるものと思われる。第4火口底及び第7火口底の温度がやや高いのは雨水が浅くたまっていたため、これが昼間の日射によって暖められてやや高温を示したのである。また第6火口底は第2回目の観測時だけ高温な所が点在しているが、これは前日までの降雨による水溜りが日射のためやや温かくなっているためだと思われる。

第2回目及び第3回目の観測時には第1火口底に大きな湯溜りができていたが、熱映像によると、湯面はほぼ一定温度で、南北に長軸をもった楕円形をしている様子がよく現われていた。

3回の温度観測を通じて最高温度が現われた場所は、いつも第1火口底であり、この火口が他のいずれの火口よりも活動的であることを示している。

口絵写真6の上部3枚の映像は、上からそれぞれ第1、2、3回目の観測による赤外熱映像をデジタルカラーで表わしたものである。

4. 地上からの赤外温度観測*

1980年3月27日15時～16時、放射温度計により、火口縁から火口内の地表温度、噴煙温度、噴煙の状況などを観測した。当日の天気は晴時々曇であった。

図2.1.8は中岳第1火口の南西火口縁から観測した火口内のスケッチ及び熱的狀態である。観測者のいる火口縁付近の地表温度は17～20°C程度あり、日射の影響がかなりあった。

第1火口の火口底には湯が溜っており、温度は47～51°Cであった。第1火口と第2火口の間谷間状の、40m×5m程の範囲の所から白色の噴煙を約100mの高さにあげていた。噴煙の噴出速度は約5m/sec、噴出後約10m上の噴煙の温度は19～20°Cであった。噴煙噴出孔のまわりの地表では最高80°C（中岳火口内で最高）の温度が観測された。この観測当時は、上述の噴煙のほかには、中岳火口内で顕著な噴煙活動をしている所はなく、阿蘇山としてはまれに見る程の噴煙活動の弱い時期であった。

火口内で20°C以上の高温が検知された地域は第1火口の火口底と火口壁、第2火口の火口壁で、その位置は図2.1.8に点を密度濃く打った範囲で示してある。高温域の温度は大部分の所で20～24°Cであった。高温域の位置及び形は同じ日の夜実施した空中赤外温度観測で検知されたもの（図2.1.5）とほぼ一致している。

*観測者：田中康裕・中禮正明（以上は気象研究所）・高橋 計・池田 滋（以上は阿蘇山測候所）

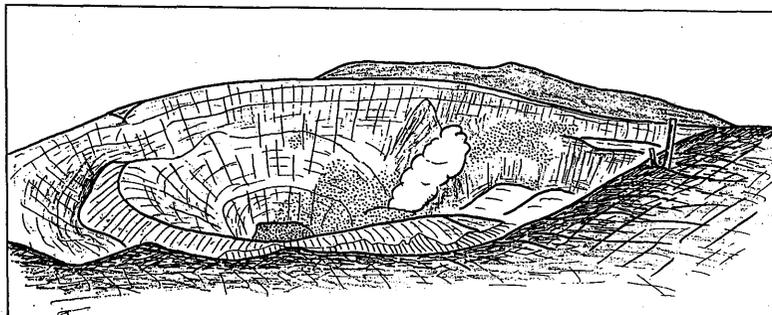


図2.1.8 阿蘇山中岳第1火口の南西火口縁から第1、第2、第3火口を望む。打点地域は高温(1980年3月27日)

図2.1.8の範囲外で、中岳火口縁から測ったおもな地点の地表温度は次のとおりであった。

第2火口底：18°C

第2火口西側火口壁：18°C

第3火口底：15°C

第3火口東側火口壁：21°C

第4火口底：15°C、水溜りは12°C

第7火口底：15°C

5. 放出熱量

空中赤外温度観測から求めた火口の温度分布図と地上における気象観測値(表2.1.4)とを用いて高温域から放出している熱量を求めた。ただし、温度分布図には噴煙及びその温度の状況は表現していないので、噴煙からの放出熱量は地上からの観測値により別途求めた。

表2.1.4 空中赤外温度観測時の気象状況

年月日	雲量	気圧	気温	湿度	風速
1979. 12. 24	0	888mb	-2°C	60%	0.0m/sec
1980. 3. 27	5	880	5	70	0.2
1980. 3. 30	0	888	12	80	0.2

熱収支法に基づき地熱地帯の放出熱量を求めるSekioka-Yuhara (1974) の式では、単位面積内の放出熱量 ΔG は

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

で表わされる。ここで、

e : 噴煙の放射率 (= 1 とする)、m : 雲量、 e_w : 大気中の水蒸気圧 (表2.1.4 から12月24日は4 mb、3月27日は7 mb、3月30日は10 mb)、 σ : Stefan-Boltzmann定数 ($= 1.36 \times 10^{-12}$ cal/cm²deg⁴sec)、 T_0 : 地表温度 (K)、 θ_0 : 地表温度 (°C)、 ρ_a : 空気の密度 ($= 1.1 \times 10^{-3}$ gr/cm³ とする)、 C_p : 空気の定圧比熱 ($= 0.239$ cal/gr deg)、D : 水蒸気の空気中への拡散係数 ($= 0.22$ とする)、r : Bowen比の逆数 ($= 0.06$ とする)

である。これは地熱地帯について適用される式及び各係数であるが、便宜上火口湖の熱にもあてはめてみる。

温度分布図から地表温度を求め、上式に代入すると、

第1回目の観測では $\Delta G = 1.33 \times 10^{-4} \Delta\theta$ cal/sec cm²

第2回目 " $\Delta G = 1.03 \times$ "

第3回目 " $\Delta G = 1.42 \times$ "

となる。さらに温度分布図から求めた $\Delta\theta$ と高温域の面積とから3回の観測における放出熱量 \dot{Q} は

第1回目の観測時は $\dot{Q} = 1.60 \times 10^5$ cal/sec

第2回目の " $\dot{Q} = 4.39$ "

第3回目の " $\dot{Q} = 4.49$ "

と求められた。

第2回目 (3月27日) と第3回目 (3月30日) の観測は、その時期が接近していたが、高温域の面積はかなり違っていた (第6節)。しかし、両者の放出熱量はほぼ等しく求められたことは、この間に火山活動に変動がなかったことを示すものであろう。

一方、1980年3月27日の地上からの観測に基づき、噴煙の放出熱量を次式で求めた。

$$\dot{Q} = a\bar{v}\rho i$$

ここで、

a : 噴煙の断面積、 \bar{v} : 噴煙の平均上昇速度、 ρ : 水蒸気の密度、i : 水蒸気のエンタルピーである。第4節で述べた地上観測により、 $a = 100\pi$ m²、 $\bar{v} = 5$ m/sec、 $\rho = 1.72 \times 10^{-5}$ gr/cm³ (噴煙が火孔から約10m上昇した付近の噴気温度 (19~20°C) を噴煙の代表温度とし、その温度に相当する ρ である)、 $i = 680.0$ cal/gr、として、これらの値を上式に代入すると

$$\dot{Q} = 1.64 \times 10^7 \text{ cal/sec}$$

となった。

なお、第1火口で噴煙をあげている火孔付近の地表温度は80°Cだったので、この温度が噴気温度に等しいとすると、 $\rho = 29.33 \times 10^{-5}$ gr/cm³ となり、したがって

$$\dot{Q} = 1.95 \times 10^8 \text{ cal/sec}$$

となる。

このように、噴煙から放出する熱量は、高温地表からのそれと比べて2～3桁も大きく求められた。噴煙の放出熱量を求めた1980年3月27日の噴煙活動は、第4節で述べたように、阿蘇山としてはまれに見る程の小規模な活動であった。したがって、第1火口全域から噴煙をあげるような従来程度の大規模の噴煙であるならば、放出熱量はかなり大きくなることであろう。

6. ま と め

1979年12月24日、1980年3月27日、1980年3月30日の3回にわたり、阿蘇山中岳火口の空中赤外温度観測を実施した。また、1980年3月27日には地上からも火口の赤外温度観測を実施した。

顕著な高温域が中岳第1火口、第2火口、第3火口で検知された。最高温度を示す地点はいつの観測でも第1火口底にあり、50～90°Cが検知された。1980年に観測した赤外線熱映像には、第1火口底にできた大きな湯溜りが明瞭に写し出されていた。湯面の温度は47～51°Cであった。

空中赤外温度観測の資料から火口内の高温地域からの放熱量を求めると

1979年12月24日が $1.60 \times 10^8 \text{ cal/sec}$

1980年3月27日が $4.39 \times 10^8 \text{ cal/sec}$

1980年3月30日が $4.49 \times 10^8 \text{ cal/sec}$

となった。

また、1980年3月27日の地上赤外温度観測から求めた噴煙の放出熱量は $1.64 \times 10^7 \text{ cal/sec}$ (または $1.95 \times 10^8 \text{ cal/sec}$)となった。噴煙からの放出熱量は高温地表からのそれより2～3桁も大きい。

1980年3月末における中岳火口の熱的状态はかなり高いレベルにあり、その様子は1974年の噴火活動時(次章参照)と同程度もしくはそれをやや上回る。

1979～1980年の空中赤外温度観測は科学技術庁の特別研究促進調整費(田・他1979、気象研究所地震火山研究部1980、科学技術庁研究調整局1982)によるものである。観測のための航空機及び赤外線映像装置はアジア航測株式会社のものを使った。

〔付〕1979年9月6日の阿蘇山爆発による中岳火口内の地形変化

1979年の大爆発以前の中岳火口の地形測量は1975年10月21日に気象研究所(田中1979)によって実施されたものがあり、1979年9月6日の大爆発前の地形を知るのに都合がよい。

この地形図によると、中岳第1火口底南西部には火口底から約30m盛り上った小高い山があった。この山は火口縁からはほとんど見えなかったが、上述の測量で明らかにされたものである。

ところで、1979～1980年に実施した空中赤外温度観測の際の映像を判読したところ、この山が

無くなっていることがわかった(田中・他1980)。1975年の測量以後1979年の大爆発までの間には、地形を変えるような大きな火山活動はなかったので、火口底の小山は1979年9月6日の大爆発で噴き飛ばされたものと考えられる。ちなみに、この大爆発の噴出物は火口の北東方へ多量に放出されたが、爆発源をこの小山の下におくと、火口の北東側が広く開放されているので、小山を破壊した噴出物が火口の北東方へ容易に放出されることになり、噴出物の分布状態がよく説明できる。この大爆発の噴出物は阿蘇山測候所(1980)によれば、火口付近の噴石及び火口から北東約45kmの範囲に分布した火山灰を含めて総量約30万tonとされている。また、和田等(1980)によれば、火口付近の噴出物だけで約8万tonもあった。

1981年10月11日には国土地理院(土肥・大田1983)により火口の地形測量と赤外映像撮影がなされたが、これによると、湯面は海拔1154.7m、湯面の面積は20,450m²となっている。

この湯溜りは、1979年末ないし1980年初めに発生したが、以来4年余を過ぎた1984年3月現在でもなお存続し、その面積が縮少するような気配はない。また、湯面の温度は阿蘇山測候所により時々観測されているが、現在まで50~70°Cを保っている。

1979年9月6日の大きな爆発の火山灰砂による火口縁の観光施設の埋没被害状況を写真2.1.1、写真2.1.2に、また、火口底の湯溜りの様子を口絵写真1に示す。

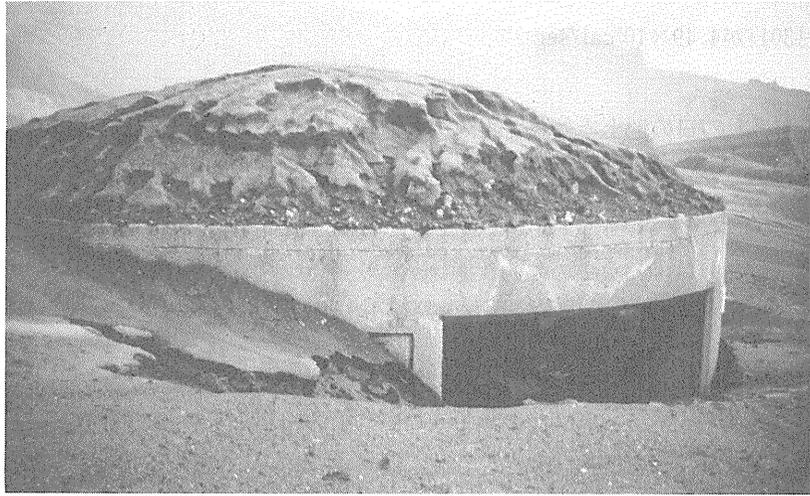


写真2.1.1 阿蘇山の1979年9月6日の大きな爆発により、火山灰で埋った火口縁の待避所(1980年3月27日)

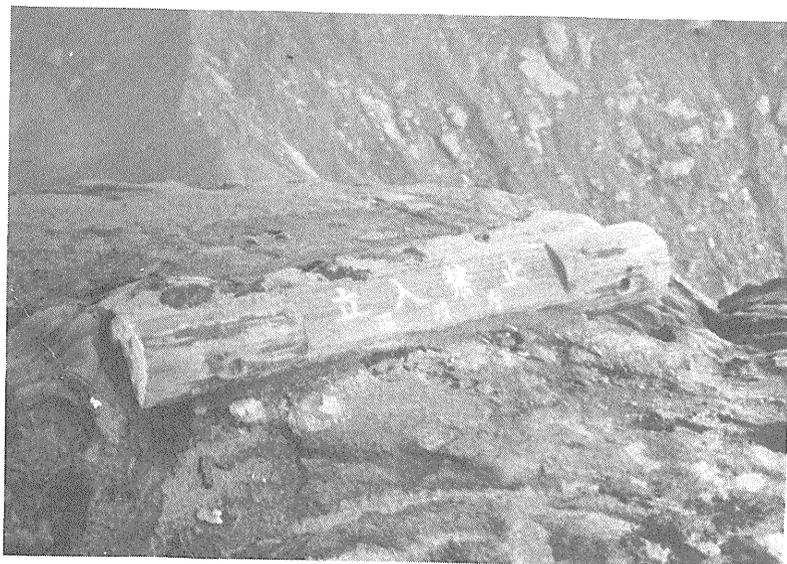


写真2.1.2 阿蘇山の1979年9月6日の大きな爆発により、火山灰で埋った火口縁のくい(1980年3月27日)

参考文献

- 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, 2053-2085.
- 阿蘇山測候所 (1980): 1979年の阿蘇山の火山活動、火山噴火予知連絡会会報、17、17-20.
- 田望・田中康裕・澤田可洋・中禮正明 (1979): 1979年の御岳山・阿蘇山噴火に関する特別研究——噴火活動と地表温度分布変化の研究、気象研究所年報、昭和54、84-85.
- 土肥規男・大田安雄 (1983): 1979年9月の噴火前後に作成された地形図の比較による阿蘇山中岳第1火口の地形変化、火山噴火予知連絡会会報、27、39-44.
- 科学技術庁研究調整局 (1982): 1979年の御岳山・阿蘇山噴火に関する研究報告書、1-189.
- 気象研究所地震火山研究部 (1980): 御岳山・阿蘇山における空中赤外映像による温度測定、火山噴火予知連絡会会報、19、12-20.
- 田中康裕 (1979): 阿蘇山 (活動火口の空中地形測量)、気象研究所技術報告、2、17-21.
- 田中康裕・澤田可洋・中禮正明 (1980): 阿蘇山の放熱量の測定、火山II、25、299.
- 和田卓彦・菊池茂昭・小野博尉 (1980): 1979年9月6日の阿蘇火山爆発について、火山II、25、245-253.