

口永良部島火山における空中赤外熱測定

京都大学防災研究所 井口 正人

東京大学地震研究所 鍵山 恒臣

1. はじめに

記録に残されている口永良部島火山の噴火の歴史は 1841 年までしか遡れないが、20 世紀に入ってもしばしば水蒸気爆発を繰り返していることから、活動的な火山であるといえる。これらの噴火はすべて、新岳の火口内あるいはその東側の割れ目火口において発生している。口永良部島の噴火は、爆発力が大きいため、しばしば遠方まで、噴石が到達する。1933 年 12 月から 1934 年 1 月の噴火では、新岳火口南東 1.9km にある七釜集落に噴石が多数落下し、死者 8 名、負傷者 26 名の災害が発生した。1966 年の噴火でも火口の北～北東方向に噴石が 3km の距離に達した。一方、口永良部島には、西の湯、寝待、湯向などの温泉が湧出している。このように水蒸気爆発の爆発力が大きく、多数の温泉を有する火山では、熱水活動が活発であると考えられ、その熱的状态を把握しておくことは、きわめて重要であると思われる。これまで福岡管区気象台(1991;1997)^{1,2)} や平林・他(2000)³⁾、平林・他(2002)⁴⁾ による新岳および古岳の噴気温度や山麓の温泉の温度調査は繰り返されてきたが、地熱異常域全体の放熱量を見積もるための調査は行われていない。本稿では、空中赤外熱映像測定による結果を報告する。

2. 観測

口永良部島の山頂は、新岳、古岳、野池などの火口群からなる。山頂付近の地形を図 1 に示した。新岳の火口の直径は約 200m、深さは 110～140m である(西・他, 1975)⁵⁾。2001 年 2 月の時点では新岳の火口底には噴気がないが、火口縁の西側から南側にかけて多数の微弱な噴気が存在する。噴気温度は 90 程度である(福岡管区気象台, 1991;1997)^{1,2)}。1966 年の噴火は新岳の中央火口において発生した。新岳の東側には、南北方向に長さ 700～800m の割れ目が存在する。1945 年、

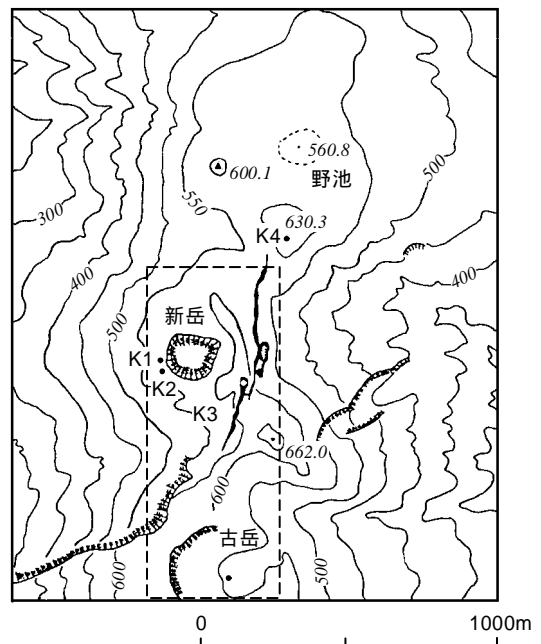


図 1. 山頂付近の地形。破線は赤外熱映像の測定範囲を示す。

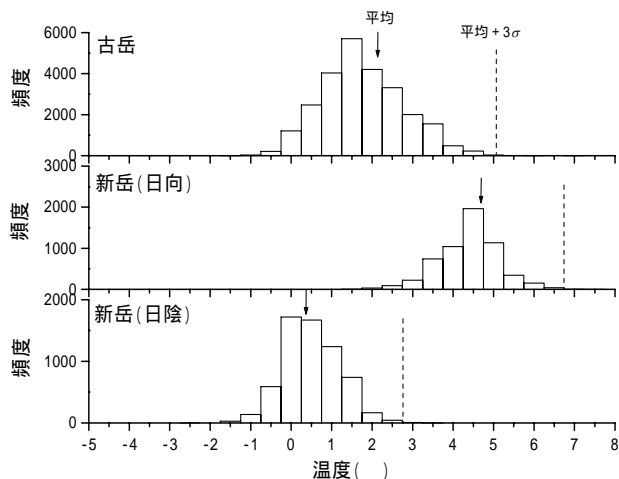


図 2. 口永良部島山頂付近の熱異常の認められない部分における地表面温度の画素数頻度分布。上:古岳火口内。中:新岳火口周辺の日射がある部分。下:新岳火口底の日射がない部分。

1980 年の噴火はこの割れ目火口において発生した。現在は、その割れ目の一部に噴気が残っているだけであり(K3, 図 1), 1992 年からの噴気温度測定によれば、噴気温度が著しく低下している(平林・他, 2002)⁴⁾。また、古岳の火口内にも多数の噴気が存在し、噴気温度が 280 に達するものもある(平林・他, 2002)⁴⁾。

赤外線走査装置を使用した上空からの熱測定は 2001 年 2 月 2 日の 16 時 00 分から 16 時 14 分にかけて行った。撮影範囲を図 1 に示す。ヘリコプターの床面の作業孔から鉛直に撮影した。使用した赤外線走査装置は日本アビオニクス社製 TVS2000MKII である。その仕様を以下に示す。

観測視野角	縦 10 度 × 横 15 度
瞬時視野角	2.2mrad
検知器	インジウムアンチモン 10 素子アレイ
検知波長領域	3-5.4 μ m
検知器冷却方式	スターリングクーラ
観測温度範囲	-20 ~ 950
温度分解能	0.1

飛行高度は、1000m で口永良部島火山の新岳火口縁からおよそ 450m 上空になる。1 回の撮影で約 130m × 90m の範囲を測定することになり、南北方向に飛行する 4 コースに分けて測定した。また、日本アビオニクス社製 Neo Thermo TVS-600 を使用して斜め測定もあわせて行った。本装置は検知波長が 8-14 μ m であることから日射の影響を受けにくく、瞬時視野角が 1.4 mrad、最小温度分解能 0.1 とより高精度の測定が可能である。

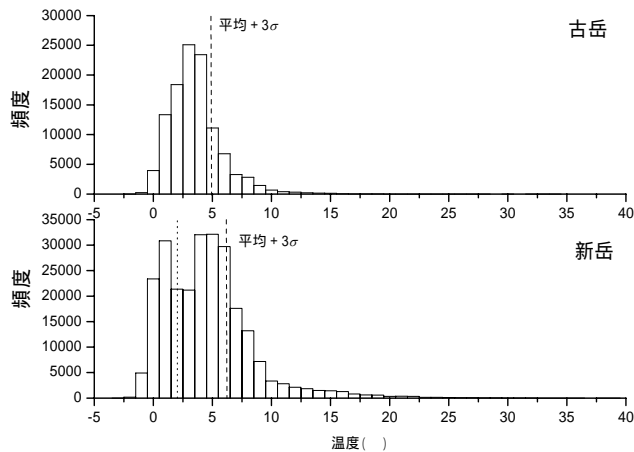


図 3. 新岳火口および古岳火口の熱異常を含む部分の地表面温度の画素数頻度分布。上:古岳,下:新岳。破線は新岳火口周辺地域における温度異常域のない部分の平均温度 + 3 の値,点線は火口底での平均温度 + 3 の値を示す。

3. 結果

今回の測定では,新岳火口周辺と古岳火口内に熱異常域を検出できた。図 4 に新岳火口周辺の熱分布を示す。新岳火口では,地熱異常域は,火口周辺に分布する。火口内でも火口底には地熱異常は全く見られず,地熱異常は,火口の縁に沿って分布する。また,火口の外側の南西部には,北西から南東方向に帯状に地熱異常域が分布する。これらの熱異常域は,微弱的な噴気地帯に対応する。これら新岳周辺の熱異常域において測定された最高温度は,39.2 であった。一方,1980 年に水蒸気爆発が発生した東側の割れ目火口では熱異常はほとんど見られず,その一部に噴気が残って,地熱異常域を形成している(K3)。平林・他(2002)⁴⁾の測定ではこの噴気の温度は 103 であった。図 6 に斜め方向からの熱映像を示す。地熱異常は,火口内縁部および西側に熱異常が存在することが確認できる。

図 5 に古岳火口内の熱分布を示す。スポット的に数点熱異常域が存在することがわかる。最も温度の高い熱異常域では最高温度は 34.1 であった。この熱異常域は火山ガスを放出している噴気に対応し,噴気の温度は,113 に達している(平林・他,2002)⁴⁾。図 7 に古岳火口内の斜め映像を示す。古岳の火口底には土砂が堆積していて熱異常はないが,熱異常域はその周辺に分布している。

垂直撮影による地表面温度分布を用いて熱エネルギーの放出率を見積もって見た。Sekioka(1983)⁶⁾によれば,地表面温度から熱エネルギーの放出率 Q は次のように与えられる。

$$Q = (k1 + k2) \sum_{T_i > T_0 + 3\sigma_T} (T_i - T_0) S(T_i)$$

ここで, T_0 は温度異常がない部分の平均温度, σ_T はその標準偏差, $S(T_i)$ は温度が T_i となる部分の面積である。また $k1, k2$ はそれぞれ赤外放射の効果, 顕熱および潜熱の放出効果を表す係数であり, 平均的な気象条件下の値 2 および 35 を仮定した。標高により 1 画素の大きさは

異なるが、平均的な対地高度を考慮して $0.8 \times 0.8\text{m}$ として計算した。新岳火口付近では火口周辺は日射の影響があるが、火口底は深さが 140m あるので、日射がなくなってから時間が経過しており、温度が低い。図 3 に示すように、火口周辺の温度異常がないと思われる部分の地表面平均温度は、新岳周辺の日射がある部分において 4.6 、火口底の日射がない部分では 0.7 であった。温度異常の判定基準となる $T_0 + 3\sigma_T$ は、日射のある部分で 6.8 、日射のない部分で 2.8 となる。ここでは、日射のある火口周辺と影響のない火口底部分に分けて、熱エネルギーの放出率を見積もった。温度異常域の面積は $3.8 \times 10^4\text{m}^2$ となり、熱エネルギーの放出率は 14MW の値が得られた。一方、古岳火口周辺は日射の直接の影響はないものの、その火口底は新岳よりも浅いため、太陽光が当たらなくなってからの経過時間が短く、温度異常域のない部分の平均温度は 2.8 、 $T_0 + 3\sigma_T$ は、 5.1 となった。その場合の温度異常域の面積は $1.6 \times 10^4\text{m}^2$ 、熱エネルギーの放出率は 4.2MW となり、新岳周辺における熱エネルギー放出率の $1/3$ 程度である。現在は、古岳火口内の噴火活動が相対的に活発で噴気温度も高いが(平林・他, 2002)⁴⁾、新岳周辺の熱異常域は広い範囲に分布しているため、放熱量としては多くなった。新岳と古岳の両方をあわせた山頂火口周辺の熱エネルギーの放出率は 18MW 程度と見積もられる。

口永良部島では、1996 年と 1999 年に火山性地震の発生頻度が増加し、新岳火口周辺では地盤の伸張が観測されているなど地下活動は活発化の傾向にある(本報告書)。一方、地表付近の噴気温度・噴気活動は低下傾向にある。噴気 K3 は、1991 年 12 月には火口から 3km 離れた本村集落でも確認できるほどの高さ(100m 程度)に達しており、1992 年の測定では 340 であったものが、2001 年には噴気は現地においてのみ確認でき、温度も 103 まで低下している(平林・他, 2002)⁴⁾。また、1974 年には新岳の火口底には噴気が確認されているが(西・他, 1975)、2001 年の時点では噴気はなく、今回の測定でも火口底に熱異常は検出されなかった。熱活動は、最近 20-30 年で最も低いレベルにあると判断される。地震活動の主体をなす高周波地震の震源および地盤変動の圧力源は地表面からは数百から km 程度と浅いが、その影響は地表面付近にはまだ達していないものと思われる。

大島・為栗(2000)⁷⁾ は、諏訪之瀬島火口内の 1998 年 10 月における熱エネルギーの放出率を数 MW と見積もっている。また、鍵山・他(1996)⁸⁾ は草津白根山の山腹の噴気地帯からの熱エネルギーの放出率を $1 \sim 2\text{MW}$ 、湯釜火口湖からは 20MW 程度と見積もっている。今回の測定時の口永良部島の熱活動は、最近では最も低いレベルと考えられるが、それでも今回得られた熱エネルギーの放出率は、熱的に活動的な他の火山と同じオーダーであり、口永良部島は熱的に活発であるといえる。

4. まとめ

- 1) 口永良部島において空中赤外熱測定を実施し、新岳および古岳の熱異常域を把握した。新岳周辺の熱異常域は、火山口周辺、特に北西から南東方向に至る噴気地帯に対応する。一方、新岳火山口底および東側の割れ目火山口には熱異常域は検出されなかった。
- 2) 熱エネルギーの放出率は 18MW 程度であり、熱的に活動的な他の火山と比較しても小さい値とはいえない。

謝 辞

空中赤外熱映像測定を行うにあたって、鹿児島県所有の防災ヘリコプター「さつま」を使用した。ヘリコプターの利用を快諾していただいた鹿児島県総務部消防防災課および運行していただいた防災航空センターの皆様に御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 福岡管区気象台(1991):口永良部島・雲仙岳,九州地域火山機動観測実施報告,第12号,1-12.
- 2) 福岡管区気象台(1997):口永良部島,九州地域火山機動観測実施報告,第17号,1-23.
- 3) 平林順一・大場武・野上健治(2000):口永良部島および中之島の火山ガスと温泉,第3回諏訪之瀬島火山の集中総合観測,95-104.
- 4) 平林順一・野上健治・鈴木隆・水橋正英(2002):口永良部島の火山ガスと温泉,薩摩硫黄島・口永良部島火山の集中総合観測,143-152.
- 5) 西 潔・石原和弘・高山鉄朗(1975):口永良部島火山における臨時地震観測結果,京都大学防災研究所年報,第18号B,53-58.
- 6) Sekioka, M. (1983): Proposal of a convenient version of the heat balance technique estimating heat flux on geothermal and volcanic fields by means of infrared remote sensing, Memoirs Defense Academy, 23, 95-103.
- 7) 大島弘光・為栗 健(2000):活動火山の観測 表面温度観測および地動・空振・噴気活動の比較観測,第3回諏訪之瀬島火山の集中総合観測,55-70.
- 8) 鍵山恒臣・平林順一・大場武・井口正人(1996):草津白根火山の赤外映像調査,第3回草津白根火山の集中総合観測報告書,37-44.

(Received on January 24, 2002)

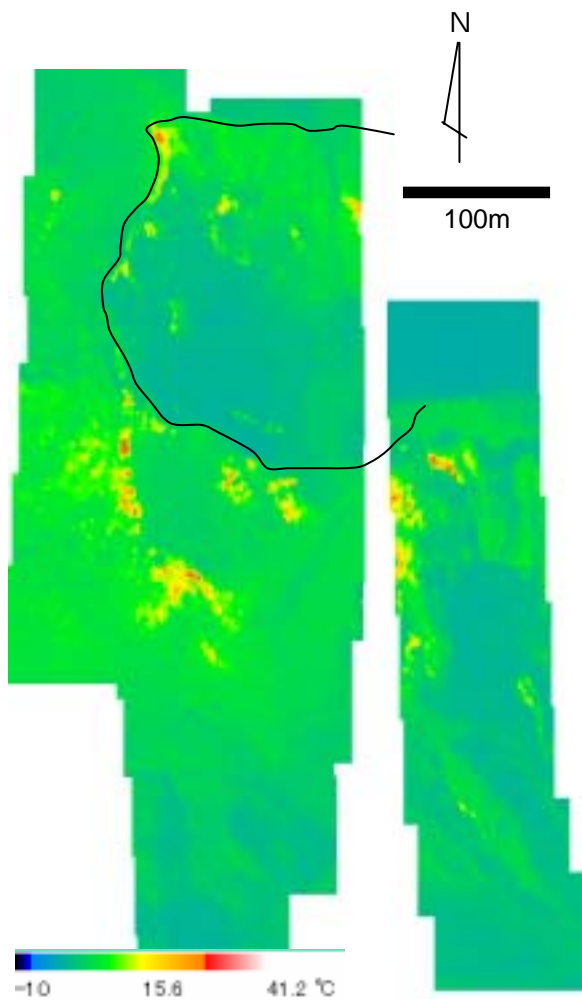


図 4. 新岳火口周辺の温度異常域の分布。
実線は火口の縁を示す。

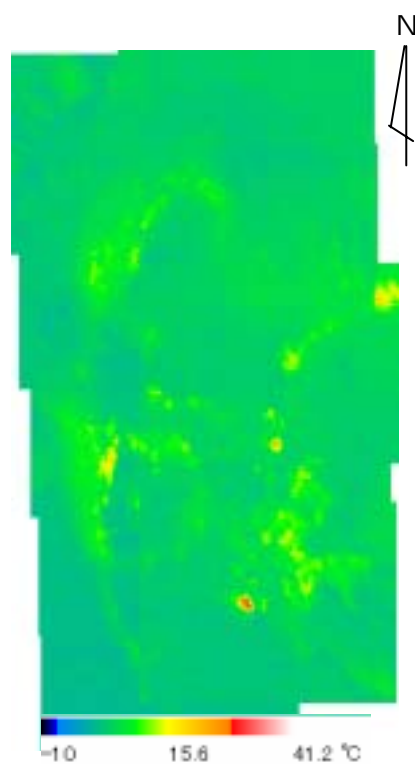


図 5. 古岳火口内の温度異常域の分布

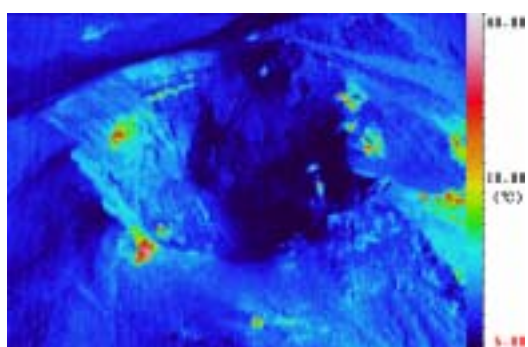


図 6. 新岳火口周辺の温度異常域の分布。
北西方向からの斜め撮影。

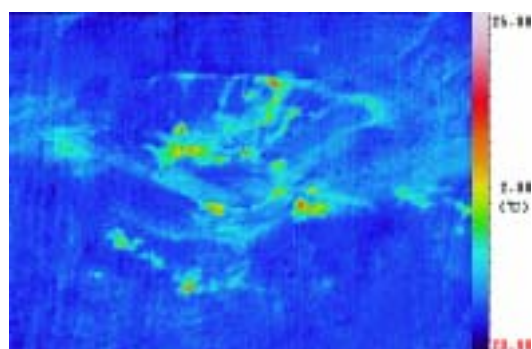


図 7. 古岳火口内の温度異常域の分布。北
方向からの斜め撮影。