

熱赤外カメラによる桜島山体斜面の熱観測

京都大学防災研究所

横尾 亮彦・井口 正人

1. はじめに

桜島山体斜面における熱異常域の分布, 地表面温度, 熱放出率についての観測は, 1970年代から集中総合観測の一環として繰り返され^{1)~8)}, 南岳の東~南斜面の標高約 400 m より高い部分に分布していること⁵⁾ (図 1), 1983 年までの各熱異常域からの熱放出率は, 南岳山頂火口内からの熱放出率 (75~147MW 以上³⁾) よりも 1 桁小さい 3~16MW^{3), 5)} であることがわかっている。また, 南岳南東斜面にある昭和火口近傍の熱異常域では, 1974 年の観測開始から 1992 年にかけて, 地表面温度は低下傾向が続いてきていた⁸⁾。しかし, 2006, 2007 年には, 昭和火口でおよそ半世紀ぶりとなる噴火活動が発生しており⁹⁾, 同火口の近傍地域では, 1992 年以降の 10 余年の間に熱活動が活発化してきたと考えられる¹⁰⁾。今回の集中観測でも, これまでと同様に, 山体斜面の既知の異常域における温度分布の変化と, 新たな異常域の検出を目的として, 桜島山麓からの熱赤外カメラによる観測を 2008 年 1 月に実施した。ここでは, 2006 年以降

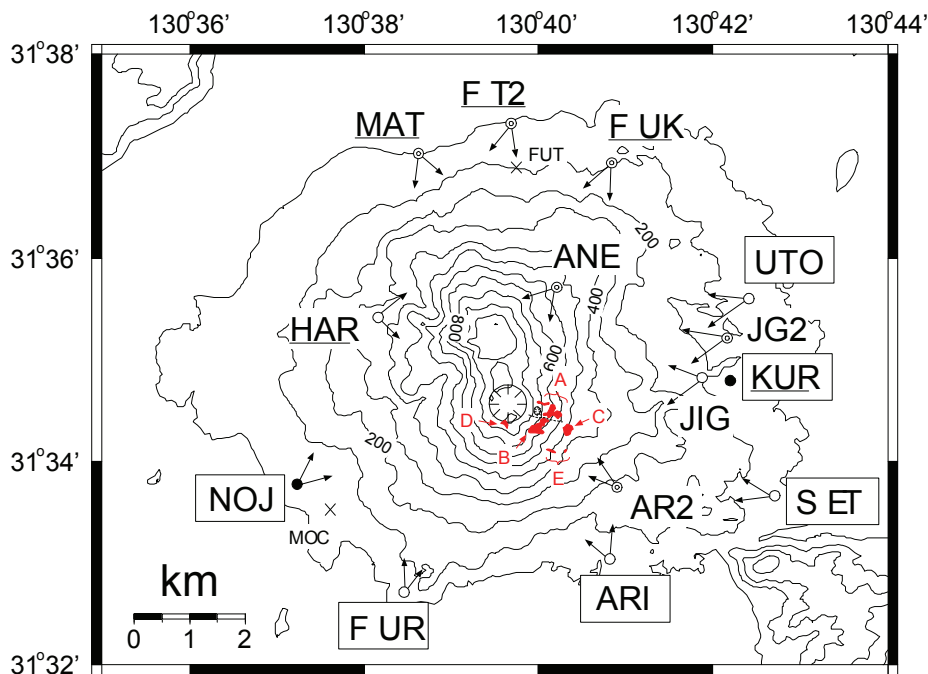


図 1. 桜島山体斜面の熱異常域 (A~E) と熱赤外カメラ設置地点 (矢印は撮像範囲を示す)。観測点名に下線のない 9 地点からの観測は 2008 年 1 月 25 日, 下線付きの 5 地点からの観測は 1 月 26 日に実施した。○は 1993 年以前の繰り返し観測点^{1)~8)}, ●は 2006 年からの繰り返し観測点^{9)~10)}, ◎は臨時観測点の別を示す。×の 2 地点は従来の繰り返し観測点であるが, 今回の観測点に含まれていない。枠付き 6 地点からの撮像結果は図 2 に示す。

表 1. 熱赤外映像装置 TH7102MV の主な仕様¹⁾

温度測定範囲(レンジ 1)	-20°C~100°C
最小検知温度差	0.06°C
測定精度	±2%(読取值), または 2°C
測定波長(半値幅)	8~14μm
検出器	2次元非冷却センサ(マイクロボロメータ)
視野角	水平 29° × 垂直 22°
瞬時視野角	1.58 mrad
熱画像画素数	320 (H) × 240 (V) ドット(ただし, 画像端 3 行, 3 列は仕様規定外)
データ深度	14bits
IP 表示	IP54
使用温・湿度	-15°C~50°C・90%RH 以下(ただし, 結露しないこと)
電源	DC7.2V(公称)
消費電力	約 7W(typ), 約 16W(MAX) (装置安定時)
外形寸法	97(W) mm×110(H) mm×169(D) mm (バッテリーパック含まず, 突起部分除く)
質量	約 1.7 kg (バッテリーパック含まず)

繰り返し行ってきた観測結果と併せて報告する。

2. 観測

観測は図 1 に示す桜島山麓の 14 地点¹⁾から熱赤外カメラを用いて行った。桜島の北東～南東～南西側斜面を対象とした観測は 2008 年 1 月 25 日 17 時から 20 時にかけて、西～北側斜面(一部, 南東斜面も含む)については翌日 1 月 26 日の 13 時半から 14 時半にかけて行った。1 月 25 日夜の天候は快晴で、山頂にも雲はかかっておらず、観測条件は良好である。1 月 26 日は日中の観測であったが、曇天だったため山体斜面への太陽光の直射はほとんどなく、新たな熱異常の有無を調べる分には支障はなかった。観測に使用した機材は NEC 三栄製熱赤外カメラ TH7102MV であり、主な仕様は表 1 のとおりである¹⁾。本カメラは PC と接続して最高 1/30 秒の熱動画を撮影・保存できる機能があるが、今回の観測では、本体スロットに挿した CF メモリカードに熱静止画データを書き込む方法を採用した。観測に使用した温度レンジは -20°C~100°C である。1 月 25 日の各観測点(9 地点)では、アスマン温湿計によって、現地気温・湿度を計測し、後述する大気補正に使用した。

なお、2006 年以降の繰り返し観測の実施日は後に記す表 3 を参考にされたい。いずれの観測も天候のよい日没後の夜間に行っている。観測方法については上記と同様である。

¹⁾これまでの集中観測^{1)~8)}で黒神(Kurokami)と呼ばれてきた観測点は、黒神観測室(KUR)との区別をつけるため JIG とした。

3. 結果

桜島の東側山麓・南側山麓の各々3地点から撮影した熱画像を、同一地点から撮影した可視画像にそれぞれ重ね合わせたものを図2に示す。表示温度幅は各画像共通で16°Cである。前回(第8回)の集中観測結果⁸⁾との大きな違いは、昭和火口周辺域の熱活動の活発化であり、特に昭和溶岩上の熱異常(図2中のSLで示した部分)の鮮明化が顕著である。しかし、2006年の昭和火口噴火直前、およびその後に行ってきた観測結果^{9), 10)}と比べると、その他の熱異常領域

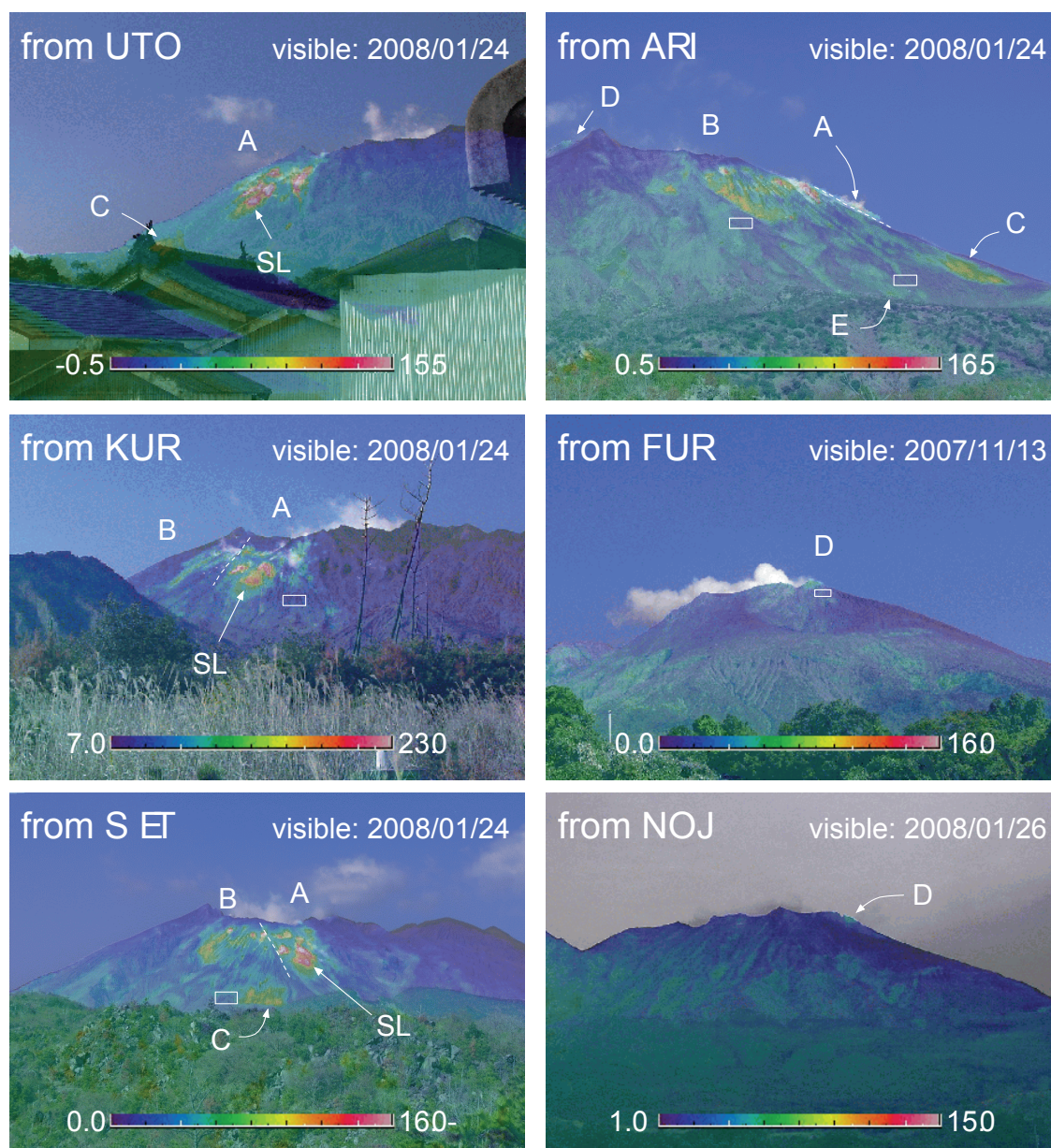


図2. 宇土, 黒神観測室, 瀬戸, 有村展望所, 古里, 野尻ヘリポート(図1)からの熱赤外画像と可視画像を重ね合わせた図。領域名A~Eは横尾・他¹⁰⁾にならった。昭和溶岩上の熱異常(SL)は1993年の観測結果⁸⁾では明瞭でない。地表温度, 熱放出率の推定には、白線で囲まれた矩形領域(0.5×10⁴~3.0×10⁴ m²)の平均温度を基準温度として使用した。

も含めて、温度分布のパターンに特別大きな変化は見当たらない。また、桜島の北側～西側斜面にも新たな熱異常域は発見できなかった。

今回の集中観測の結果から判断される桜島山体斜面の熱異常域は、従来とほぼ同じ、以下の5箇所である。ただし、領域AとBは、昭和火口南側の稜線(図1, 2中の点線)で区別している¹⁰⁾。

- A: 南岳南東斜面の昭和火口近傍地域。噴気の発生が顕著に観察される部分である。温度の高い領域の地表面は白色の結晶が付着している。昭和溶岩上の領域(SL)からの噴気は観察されない。
- B: 南岳南東斜面の侵食谷地域。昭和火口に近いものほど侵食谷内部に白色結晶の付着が顕著であり、噴気の発生も認められる。侵食谷の尾根部は谷部に比べて温度が低い傾向がある。
- C: 南岳と鍋山の間地点。噴気の発生は認められず、可視画像上では温度異常のない近隣領域との間に大きな違いはない。
- D: 南岳南側にある安永火口の火口縁上端部。噴気の発生は認められず、可視画像上での特徴もない。
- E: 南岳南東斜面上の熱異常域Cから500 mほど南の地点。時折、わずかな噴気の発生がある。

4. 地表温度と熱放出率

各観測点からそれぞれの熱異常域までの視線距離は2 km以上あり(表2)、熱赤外面像の表示温度には大気補正が必要である。ここでは近藤¹²⁾による経験式を用いて水蒸気・乾燥空気・エアロゾルの効果を補正した。その際、大気気象データとして、各観測点における現地実測結果と鹿児島市上空の高層気象データを併せて使用した。そして、山体表面からの熱放射率をいずれの領域も0.97¹³⁾で一定として、現地地表温度を求めた。大気補正を施してもなお、計算さ

表 2. 観測点から各熱異常域までの視線距離
対象熱異常域 観測点 距離 (km)

対象熱異常域	観測点	距離 (km)
A	JIG	2.6~3.1
	KUR	3.2~3.7
B	ARI	2.7~3.0
C	SET	4.0
D	FUR	3.8
E	ARI	2.2

表 3. 2006 年～2008 年における各熱異常域の最高温度差と熱放出率

date	ΔT_{\max} (°C)					Q (MW)				reference
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	
2006/03/29	21	25	16	6	10	18±3	17±2	9.3	1.9	10)
05/22	22	19	12		7	14±3	13±1	3.3		10)
07/12	10	12			7	4.0±0.6	6.2±0.6			10)
09/21	16	24			6	8.9±1.3	14±1			10)
11/02	14	14	11		6	8.0±1.1	8.7±0.9	3.3		10)
12/06	16	25	10	5	6	11±2	26±3	4.1	0.7	9)
12/18	22	24	12		6	15±2	20±2	5.9		9)
2007/01/22	19	26	10	6	6	13±2	20±2	5.3	2.7	9)
02/13	17	18	9		4	11±2	9.9±1.0	3.1		9)
03/13	12		10			12±2		4.8		
03/22	14	26	11		6	15±2	18±2	5.5		
04/25	14	18		2	5	13±2	10±1		0.7	
05/17	13	16	6		4	9.6±1.3	13±1	1.5		
06/20	11	20	8		5	5.2±0.7	7.2±0.7	2.2		
07/24	9	14	6	4	5	6.2±0.9	5.8±0.6	2.1	0.4	
08/20	17	13	5		4	7.4±1.1	5.5±0.6	1.3		
09/21	15	18	7	2	4	7.3±1.0	7.1±0.7	1.9	0.3	
10/16	16	17	8	5	5	16±2	13±1	3.0	1.2	
11/27	18	16	9		5	12±2	11±1	3.6		
12/04	21	25	10		5	19±3	18±2	4.7		
12/20	23	26	11	6	7	27±4	28±3	5.1	2.0	
2008/01/13	22	23	11	4	5	22±3	13±1	4.9	1.6	
01/25	23	23	11	6	6	34±6	23±2	5.6	2.0	

れる地表平均温度は気温の影響を受けているため¹⁴⁾、熱異常域の認められない領域(図 2 中の白線矩形領域)の地表温度も併せて見積もり、それらの差をとった⁵⁾。計算された各熱異常域における温度差の最高値 ΔT_{\max} を表 3 にまとめ、また、1970～1990 年代の結果とともに図 3 上段に示す。この 2 年間の ΔT_{\max} の年間変動幅は、熱異常域 A, B で 10～15°C、熱異常域 C, D で 1～6°Cと、比較的大きい。しかし、冬季(12 月～1 月)データのみに着目して前回 1992 年(一部 1988 年)の観測結果と比べてみた場合、熱異常域 A(昭和火口近傍)、B(南西側侵食谷)、C(南岳と鍋山の間地点)については、 ΔT_{\max} が上昇したといえる。一方、安永火口上端の領域 D の ΔT_{\max} には大きな変化は見られない。

各熱異常域からの熱放出率は Kagiya and Hagiwara¹⁵⁾に準拠して見積もった(パラメータ k_1 , k_2 はそれぞれ 2 W/m² °C, $k_2=35$ W/m² °Cとした¹⁶⁾)。熱異常域のない領域(図 2 中の矩形領

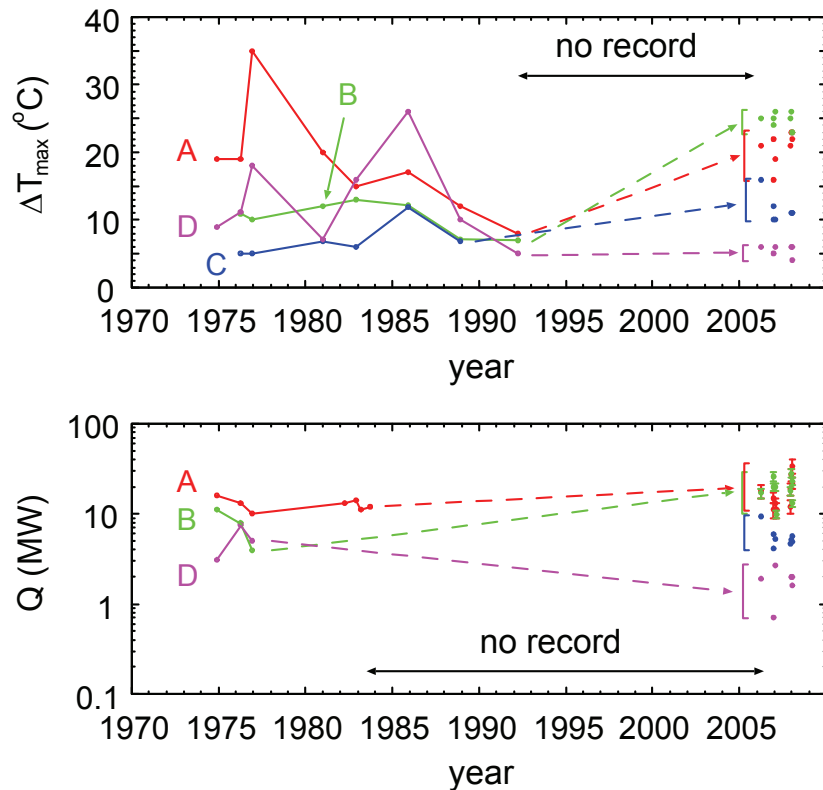


図 3. 各熱異常域 A～D における最高温度と熱異常の見られない領域の平均温度との差 ΔT_{\max} の時間変化(上)と、熱放出率 Q の時間変化(下)。2006 年以降は、2006 年 3 月(昭和火口の噴火前)と冬季(12 月～1 月)のデータをプロットした。

域)については、2006 年以降の繰り返し観測結果について、そのいずれも、位置・面積は一定としている($0.5 \times 10^4 \sim 3 \times 10^4 \text{ m}^3$)^{10, 11)}。これらの結果についても表 3, 図 3 下段にまとめた。20 年以上にわたって観測結果のない時期があるので、長期間の変動については議論できないが、少なくとも、昭和火口近傍の熱異常域 A, B, それぞれからの熱放出率は 4～34MW と見積もられ、1970～1980 年代の 4～16MW^{3, 5)}よりもやや高い水準にある。一方、熱異常域 C, D からの熱放出率はこれらよりおよそ 1 桁小さい C: 1～10MW, D: 0.3～3MW がそれぞれ見積もられた。1970 年代に 3～8MW の熱放出率が見積もられた³⁾熱異常域 D は、活動度がやや低下したのかもしれない。

5. まとめ

桜島山体斜面の熱活動について、2008 年 1 月に熱赤外カメラによる観測を行った。判明した異常域は、従来と同じ地域にほぼ同じ温度パターンで分布していたが、昭和溶岩上にある熱異常だけは明らかにその分布が鮮明化していた。また、2006, 2007 年に噴火が発生した昭和火口近傍における熱異常域では、地表温度、熱放出率ともに、1992 年の観測結果に比べて高い値が見積もられた。

謝 辞

2006 年以降行ってきた繰り返し観測は、為栗 健氏、高山鐵朗氏をはじめとする京都大学防災研究所桜島火山観測所スタッフ諸氏のご協力があった。鹿児島地方気象台から高層気象データをいただく際に、菅井 明氏、平松秀行氏にお世話になった。以上の方々に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 加茂幸介・西 潔 (1975): 赤外映像による桜島南岳の地表温度異常域の調査, 桜島火山の総合調査報告, 33-39.
- 2) 加茂幸介・江頭庸夫・西 潔・石原和弘 (1977): 赤外線映像による桜島火山の地表温度異常域の調査, 第 2 回桜島火山の集中総合観測, 34-44.
- 3) 加茂幸介・西 潔・高山鐵朗 (1980): 赤外線映像による桜島火山の地表温度異常域の調査, 第 3 回桜島火山の集中総合観測, 27-33.
- 4) 加茂幸介・西 潔・高山鐵朗・須藤靖明 (1982): 赤外線映像による桜島火山の地表温度異常域の調査, 第 4 回桜島火山の集中総合観測, 29-31.
- 5) 加茂幸介・西 潔・井口正人・高山鐵朗 (1986): 赤外線映像による桜島火山の地表温度異常域の調査, 第 5 回桜島火山の集中総合観測, 29-32.
- 6) 加茂幸介・西 潔・井口正人・高山鐵朗 (1988): 赤外線映像による桜島火山の地表温度異常域の調査, 第 6 回桜島火山の集中総合観測, 31-36.
- 7) 加茂幸介・西 潔・井口正人・高山鐵朗 (1989): 赤外線映像による桜島火山の地表温度異常域の調査, 第 7 回桜島火山の集中総合観測, 21-31.
- 8) 加茂幸介・西 潔・井口正人・高山鐵朗 (1995): 赤外線映像による桜島火山の地表温度異常域の調査, 第 8 回桜島火山の集中総合観測, 31-36.
- 9) Yokoo, A. and Ishihara, K. (2007): Characteristics of the 2006 eruption around Showa crater, Sakurajima volcano. Ann. Disast. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No. 50C, 149-156.
- 10) 横尾亮彦・井口正人・石原和弘 (2007): 熱赤外映像観測からみた桜島山体斜面の熱活動, 火山, 第 52 卷, 121-126.
- 11) NEC三栄 (2002): サーモトレーサーTH7102MV 取扱説明書.
- 12) 近藤純正 (2000): 地表面に近い大気科学, 東京大学出版会, pp 324.
- 13) 江原幸雄 (1975): 桜島火山周辺地域における地表物質の放射率決定, 桜島火山の総合調査報告, 40-42.
- 14) 加茂幸介・江頭庸夫・西 潔・石原和弘 (1977): 桜島火山の熱映像の調査研究, 文部省科

研費自然災害特別研究研究成果 噴火予知のための主要火山活火山における熱的状态の調査研究(研究代表者 横山 泉), 129-153.

- 15) Kagisyama, T. and Hagiwara, M. (1980): Geothermal survey in and around O-ana crater and Jodo-daira flat, the Volcanoes Azuma, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, Vol. 55, 681-703.
- 16) 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, Mem. National Defense Academy Japan, Vol. 23, 95-103.

(Received on February 23, 2008)