伊豆大島火山山頂火口における熱活動の経年変化

Secular Change of Geothermal Activity in the Izu-Oshima Volcano Summit Crater

柳澤宏彰 ¹, 長尾 潤 ², 加治屋秋実 ¹ Hiroaki YANAGISAWA ¹, Jun NAGAO ² and Akimi KAZIYA ¹

(Received February 21, 2013: Accepted September 11, 2015)

1 はじめに

伊豆大島火山は1986年噴火から29年が経過し、 2015年3月現在の火山活動は静穏な状態である. 噴 気活動は全般に弱く,火山性微動は観測されていな い (気象庁, 2015). しかし, 2002 年ころからは数 年に1回程度,火山性地震の一時的な増加が観測さ れている. 火山性地震の増加は、GNSS 観測などに よる地殻変動の膨張期と同期していることから,マ グマ溜りへのマグマの供給に関連していると推定さ れている (例えば、村上ほか、2002 など). この地 殻変動は, 渡辺 (1998) による 1986 年噴火前兆過程 の「マグマ蓄積・膨張」期に相当する現象と考えら れる. そして, マグマが浅部へ移動する「マグマ上 昇・膨張停止」期には熱異常域の拡大が出現する. 1986年噴火のケースでは,噴火開始の3ヶ月前に火 口内熱異常域の急激な拡大が観測された(鍵山・辻, 1987). マグマの浅部移動に伴う熱異常域の拡大は, 噴火の短期的前兆として噴火がどの程度切迫してい るかの判断の指標となりえるが、そのためには平常 時の熱異常域の状態を把握しておかなければならな V١.

気象庁地震火山部火山課火山監視・情報センター 伊豆大島火山防災連絡事務所では、熱異常域の拡大 などの火山の異常を早期に発見するために、調査観 測を毎月実施している. 観測項目は温度観測・噴気 観測・地形観測などである. これらのうちの温度観 測では、山頂火口中央火孔底の熱異常域を対象に赤 外熱映像装置による観測を行っているほか、山頂火 口周辺の噴気地帯においてサーミスタ温度計による 噴気温度の測定や温度ロガーを設置しての地中温度 の連続的な観測を行っている.

本研究では、伊豆大島火山のマグマの浅部移動に伴う熱活動の高まりを早期に検知して、火山活動の診断的な評価を的確に行うことを目的に、調査観測資料を用いて、山頂火口における熱異常域の温度の1991年以降の経年変化を明らかにする.

2 調査資料

調査に用いた資料は、サーミスタ温度計による噴気温度、温度ロガーによる地中温度・気温、赤外熱映像装置による地表面温度、大島特別地域気象観測所の気温・降水量・風向・風速観測資料である. 観測地点を図1に、観測資料一覧を表1に示す. 図2は火口原南西の噴気地帯、図3は火口原東、図4は火孔底地表面温度の観測の様子である.

3 観測機器

観測機器の仕様は以下のとおりである.

【温度ロガー】HIOKI データミニシリーズ 3633

・センサー:サーミスタ

・測定範囲:-40.0~180.0℃(外付けセンサー使用)

・測定精度:35.1~70.0℃ ±1.0℃ 70.1~120.0℃ ±2.0℃

· 記録間隔:30分

・防水構造: IP54 (防塵, 水の飛沫に対する保護)

¹ 地震火山部火山課伊豆大島火山防災連絡事務所, Izu-Oshima Resident Office for Volcanic Disaster Mitigation, Volcanology Division, Seismology and Volcanology Department

² 地震火山部火山課,Volcanology Division, Seismology and Volcanology Department

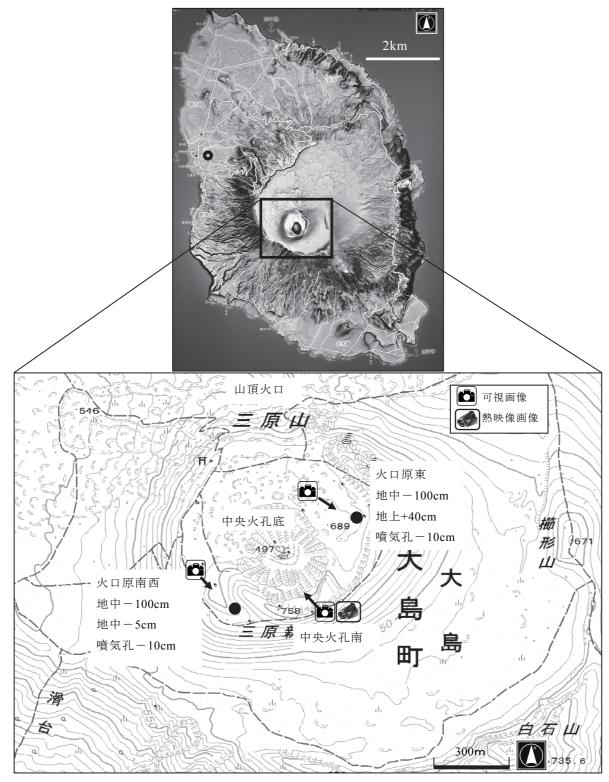


図1 観測地点.

上図の黒丸は伊豆大島特別地域気象観測所の位置, 囲みは下図の範囲, 地図は伊豆大島赤色立体地図(東京都建設局河川部計画課)を使用. 下図のカメラマークは図 2~4, 図 16~17 の撮影地点, 矢印は撮影方向, 黒丸は温度ロガーとサーミスタ温度計による観測地点, 地図は国土地理院 2 万 5 千分の 1 地形図(大島南部)を使用.

表	1	観測資料一	覧

観測地点 標高	観測要素	観測機器	観測頻度
	地中-100cmの地中温度	温度ロガー	30分毎
火口原南西 720m	地中-50cmの地中温度	温度ロガー	30分毎
	噴気孔-10cmの噴気温度	サーミスタ温度計	月1回
	地中-100cmの地中温度	温度ロガー	30分毎
火口原東 695m	地上高40cmの気温	温度ロガー	30分毎
	噴気孔-10cmの噴気温度	サーミスタ温度計	月1回
中央火孔南 730m	■ 中央火利底の地表面温度		月1回
伊豆大島	気温	白金抵抗温度計	連続観測
特別地域気象観測所	降水量	転倒ます型雨量計	連続観測
75m	風向·風速	風車型風向風速計	連続観測



図2 火口原南西の噴気地帯. 黒丸は観測地点,左は三原新山(標高 758m).



図3 火口原東. 黒丸は観測地点, 中央は剣ガ峰 (標高 749m).



図 4 放射温度計による中央火孔底の地表面 温度の観測状況 (中央火孔南)

【サーミスタ温度計】HOZAN DT-510

- ・センサー: 熱伝対 K (CA) クロメルアルメル
- ・測定範囲:-50~800℃
- ・測定精度:測定値の±0.75%か 2.5℃の大きいほう 【赤外熱映像装置】

1. NEC 三栄サーモトレーサ TH7102WR (2007 年 2 月~2010 年 7 月)

- ・標準レンズ(視野角 H=28.9°, V=21.9°) 使用
- ・レンジ:-40~120℃, 放射率:1.00
- 2. NEC 赤外線サーモグラフィ装置 H2640 (2010 年 9月~2013 年 9月)
- ・広角レンズ (視野角 H=45.2°, V=33.7°) 使用
- ・レンジ:-40~120℃,放射率:1.00



図 5 温度ロガーセンサーの埋設時の状況 (火口原東). 白く見えるのは噴気,白い細い線は温度ロガーのセンサーケーブル.

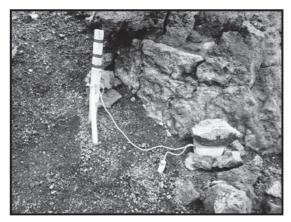


図 6 温度ロガー設置状況 (火口原東). 棒には地上高 40cm にセンサーを設置してある. その右下は温度ロガー本体を収納した容器.



図 7 サーミスタ温度計による噴気温度の観測状況(火口原東の噴気孔). その右下は温度ロガー本体を収納した容器.



図8 サーミスタ温度計による噴気温度の観測状況(火口原南西の噴気孔)

図5と図6に温度ロガーの設置状況,図7と図8にそれぞれ火口原東と火口原南西の観測噴気孔を示す.

4 山頂火口の噴気地帯の温度

4.1 サーミスタ温度計による噴気孔の噴気温度の 経年変化

図9に1991年1月~2014年1月の山頂火口噴気 地帯の噴気温度を示す.噴気温度は,2003年5月~ 2006年3月の期間を除き,原則として月1回,無降水,非強風時の日中にサーミスタ温度計のセンサー を図7,図8のように噴気孔内(-10cm)に差込ん で最高温度を測定している.表2は,噴気温度と地 中温度の平均温度,標準偏差,変化傾向である.

噴気温度は長期的には低下傾向にあるが、ここ数年は低下傾向に鈍化が見られる。最近5年間の火口原東の噴気温度の平均は48.6℃、火口原南西の噴気温度の平均は60.6℃である。噴気温度の変化の割合は1991年~2008年の期間では火口原東で−1.47℃/年、火口原南西で−0.76℃/年、最近5年間では火口原東で−0.05℃/年、火口原南西で−0.66℃/年と年あたりの温度変化量は小さくなっている。2000年~2011年に40℃以下に温度が下降している事例が7例あり、これらはいずれも大雨による噴気孔への土砂流入が原因である。図10に最近5年間の噴気温度変化を拡大表示した。火口原東では7月ころに低温、12月ころに高温となる年変化がみられ、年較差は9℃程度である。一方、火口原南西の年較差は5℃程度と小さく、年変化は不明瞭である。

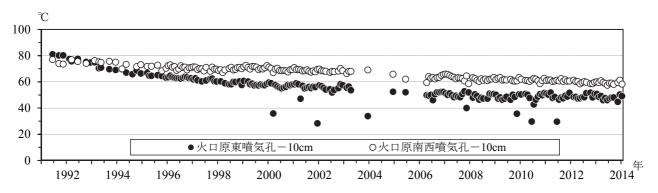


図 9 1991 年 6 月~2014 年 1 月の山頂火口の噴気地帯の噴気温度. 黒丸:火口原東の噴気孔 (-10cm) の噴気温度 (℃),白丸:火口原南西の噴気孔 (-10cm) の噴気温度 (℃),両者ともサーミスタ温度計による観測値.

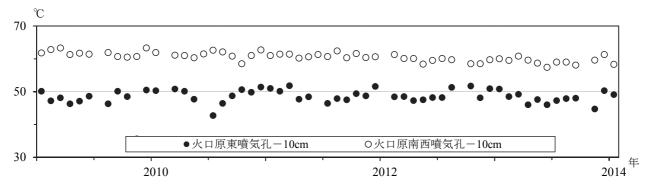


図 10 2009 年 1 月~2014 年 1 月の山頂火口の噴気地帯の噴気温度. 火口原東では 7 月ころに低温, 12 月ころになると高温の年変化が見られる.

地点	火口原南西				火口原東			
観測項目	噴気孔		-50cm	-100cm	噴気孔		+40cm	-100cm
測定方法	サーミス	タ温度計	温度ロガー	温度ロガー	サーミスタ温度計		温度ロガー	温度ロガー
期間	1991年1月~ 2008年12月	2009年1月~ 2014年1月	2008年9月~	~2014年1月	1991年1月~ 2008年12月	2009年1月~ 2014年1月	2008年9月~	~2014年1月
平均温度	68.5	60.6	63.1	63.6	58.8	48.6	13.7	46.6
標準偏差	3.9	1.4	2	1.6	7.6	1.9	7.9	4
変化傾向	-0.76	-0.66	-0.73	-0.66	-1.47	-0.05	0.62	-0.44

表 2 各地点の平均温度と標準偏差と観測期間の1年あたりの変化傾向「℃]

4.2 温度ロガーによる地中温度の経年変化

図 11 は温度ロガーで観測した山頂火口の噴気地帯の温度である。図の観測データの空白部分は温度ロガーの故障による欠測期間で、故障原因は結露によるものがほとんどである。温度ロガーによる観測は2006年9月から開始し、観測地点や地中深度の選定を行い、2008年8月には4地点(火口原南西の-50cmと-100cm、火口原東の-100cmと+40cm)に確定した。そこで、ここでは2008年9月からの観測値(30分値)を示した。また、地中温度は深さによ

る温度の差異が小さく、火口原南西の-50cm と-100cm との平均温度の差は 0.5 $^{\circ}$ 、標準偏差はほぼ同じであった(表 2). そこで、以下では-100cm の観測値を調査対象とする.

火口原東+40 は地上高 40cm の気温である。変化幅が約 10 に達する短周期変化は日変化をあらわす。また,夏季に高温,冬季に低温の年変化も明瞭である。平均温度は 13.7 で,同期間の伊豆大島特別地域気象観測所の月平均気温の平均 16.3 との差は 2.6 になる。これは,両地点の標高差(620m)

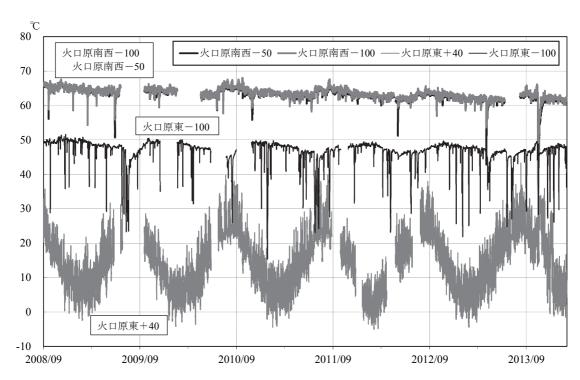


図 11 2008 年 9 月~2014 年 1 月の山頂火口の噴気地帯の温度. すべて温度ロガーによる 30 分ごとの観測値.

によるものと考えられる.

火口原南西の地中温度は概して見ると 60%~ 68%で経過しており,長期的には-0.66%/年の割合で低下している.火口原東の地中温度は概ね 45%~ 50%で経過しており,長期的には-0.44%/年の割合で低下している.火口原東では,噴気温度と同様に7月ころに低温,12月ころに高温となる年変化が認められ,年較差は 8%程度である.一方,火口原南西では年変化は不明瞭である.両地点に共通してみられる顕著な特徴は,地中温度が大きく低下して,上昇(回復)する事例がしばしば出現していることである.特に,火口原東の低下量は大きく,20%を超えることもある.この変動は,日変化のような周期性はなく,ランダムに起こっており,変動量やその期間(時間)も多様である.ランダムな変化の原因については次節で述べる.

4.3 温度ロガーによる地中温度の大きな変動と気象との関係

図 12 に火口原東と火口原南西のそれぞれの観測温度とそれらの平均温度との差を示す. 地中温度の大きな低下と回復は高頻度に起こっていることがわかる. 変動の期間は数日に渡ることもあるが, 多く

は1日程度以内である.地中温度の観測は,月1回の気象条件のよい日(無降水,非強風)に実施している噴気温度とは異なり,30分ごとの自動測定であるため,気象の影響を受けている可能性がある.そこで,伊豆大島地域特別気象観測所の気象観測資料との対応を調べた.

図 13 は、2010 年 12 月 23 日~28 日に観測された 火口原東の地中温度の変動の事例である。地中温度 は、24 日から 26 日にかけて 50℃から 15℃に下降し、 28 日には 40℃まで回復している。この地中温度の低 下は、10 分間平均風速が 10m/s を超える時間帯と概 ね一致し、風速が 7m/s 以下になると上昇している。 しかし、火口原南西では地中温度は低下していない。 この期間の風向は、風速 3m/s 以下のときに東北東~ 南東が一時的に観測された以外はすべて西南西~西 であった。降水は観測されていない。ほかの事例も 調べたところ、10m/s 程度以上の風速に対応して火 口原東の地中温度が低下していることが多かった。 ただし、風向によっては地中温度と風速との対応が みられないこともあり、風速だけに依存して地中温 度の変動が起こっているわけではないこともわかった。

図 14 は, 地中温度の偏差と風向別風速との散布図

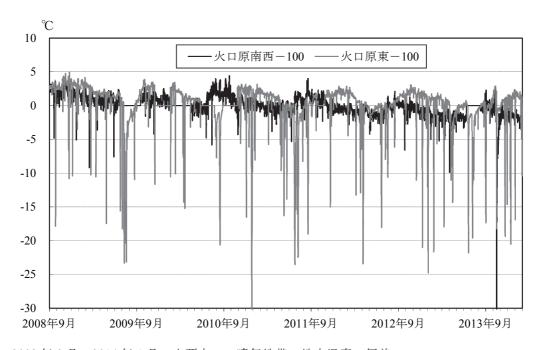


図 12 2008 年 9 月~2014 年 1 月の山頂火口の噴気地帯の地中温度の偏差. 黒色:火口原東の-100cm の地中温度の平均温度と観測温度との差(℃),灰色:同じ,ただし火口原南西.

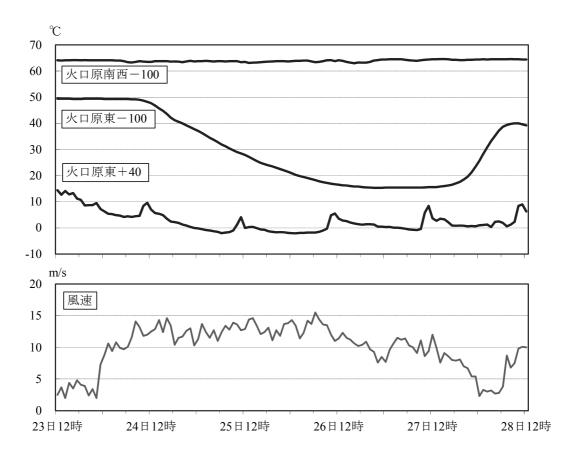


図 13 2010 年 12 月 23 日~28 日の地中温度の変動の事例. 風速:伊豆大島特別地域気象観測所で観測した 10 分間平均風速 (m/s).

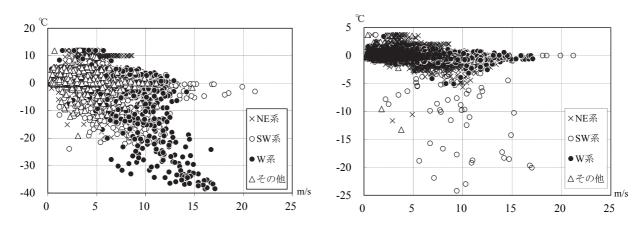


図 14 地中温度の 5 日移動平均からの差と風向別風速との散布図.

左:火口原東,右:火口原南西

クロス:北東系,白丸:南西系,黒丸:西系,三角:そのほかの風向

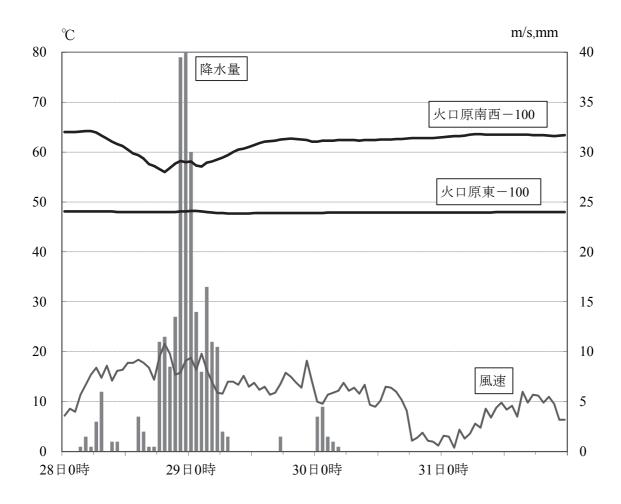


図 15 2009 年 5 月 28 日~31 日の地中温度の変動の事例.

降水量: 伊豆大島特別地域気象観測所で観測した1時間降水量 (mm), 風速: 同10分間平均風速 (m/s).

である.ここでいう偏差とは5日移動平均との差である.これは、地中温度の変動の期間が最大で数日間であることから、中緯度の一般的な温帯低気圧が影響する前後を含む期間内のじょう乱や冬季季節風に伴う強風に対応する地中温度の短期的な変動を抽出するために設定した.火口原東では、風向が西系(西南西・西)の場合に地中温度の低下と風速との対応がよい.風向が南西系(南・南南西・南西)の場合にも対応は比較的よいが、北東系(北北東・北東・東北東)とそのほか(北西・北・東・南東系)の場合には対応はみられない.火口原南西でも風向が南西系の場合に地中温度低下の傾向が見られるが、火口原東に比べて対応は不明瞭である.

火口原南西では、降水に対応して地中温度が大きく変動する事例がみられた。図 15 は、2009 年 5 月 28 日~31 日に観測された火口原南西の地中温度の変動の事例である。火口原南西の地中温度は降水に対応して低下している。しかし、火口原東では、地中温度の変化量は非常に小さい。ほかの事例においても、火口原南西の地中温度の大きな変動は降水に対応していることが多かった。ただし、地中温度の変動量と降水量との定量的な関係は見出せなかった。

このように地中温度の低下は風向・風速と降水に 関連して発生しており、佐久間・加治屋(2008)も 指摘している。観測地点によって原因となる気象要 素が異なる点については、第6.2 節で議論する。

5 山頂火口中央火孔底の地表面温度

5.1 赤外熱映像装置による火孔底の温度観測

伊豆大島火山山頂火口中央火孔底の温度観測は、赤外熱映像装置を用いて2007年2月から月1回の遠隔測定を行っている。中央火孔は、長径350m、短径300m、北側火孔縁からの深さ190mの竪穴形状をしている。北西側火孔底と火孔壁との境界及び南東側火孔底からは1年を通じて噴気活動があるが、噴気量は全般に少ない。温度観測は、中央火孔南縁から北西側火孔底と火孔壁との境界領域を主対象として行っている(図4、図16参照)。

図 16 に可視画像と赤外画像の例を示す.上図の可視画像の四角囲み(A)が本調査の解析領域である. 領域の中心部は火孔底と火孔壁との境界にあたり, 噴気が噴出している.下図は赤外熱映像で,火孔底 と火孔壁との境界に高温領域が分布している.小さ な四角囲み(B)は、比較のための参照域(リファレンス領域)である. A 領域と B 領域の火孔底は崩落土砂が堆積しており、地面状態は同じである. 本調査で解析した温度は以下のとおりである.

【地表面最高温度】

解析領域内の地表面の最高温度 (℃).

【地表面最高温度(補正)】

地表面最高温度から参照域の平均温度を減じ た温度 (℃).

【熱異常域の平均温度】

解析領域内における閾値以上の地表面温度の平均値.

ただし、閾値は参照域の平均温度 Tp にその標準偏差の 3 倍を加えた値 (\mathbb{C}).

【熱異常域の面積】

 $S(m^2) = 閾値以上の温度のピクセル数 × 1 ピクセルの面積 <math>(0.38 m^2)$.

ここで,1 ピクセルの面積は視野角と観測場所までの距離から求めた.ただし,レンズの歪は無視し、各ピクセルはすべて同じ面積と仮定した.

【放熱量】

閾値以上の温度の領域の放熱量(W). 以下に示す Sekioka and Yuhara (1974) の式で求めた.

$$\sum \Delta G \times S = (K1 + K2) \sum_{T_i \ge T_0 + 3\sigma} (T_i - T_0) S(T_i)$$
 (1)

$$\Delta G = e(1 - 0.09m) (0.52 + 0.065\sqrt{ew}) \sigma \Delta T^{4} + \rho a C p D (1 + r) \Delta \theta$$
 (2)

ただし,

 ΔG : 熱異常域と非熱異常域との地下からの熱流量の差 $(cal/cm^2 \cdot sec)$ $\{4.186 \times 10^4 J/m^2 \cdot sec\}$

S:面積 (m²)

T: 地表温度 (K)

 $\Delta T^4 = 8.14 \times 10^7 \Delta \theta$

e: 地表面の放射率 (e=1 とした)

m: 雲量

ew : 大気中の水蒸気圧 (hPa)

 σ : ステファンーホ゛ルツマン定数(1.36×10⁻¹² cal/cm² deg⁴ sec) $\{5.67\times10^{-8}W/m^2~K^4\}$

 ρa : 空気の密度 (g/cm³) { 10^3 kg/m³}



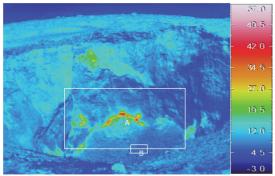


図 16 中央火孔の画像(2012年3月21日). 上図は可視画像でAの大きい四角囲みが解析領域,下図は赤外熱映像装置による赤外画像でBの小さい四角囲みが参照域.

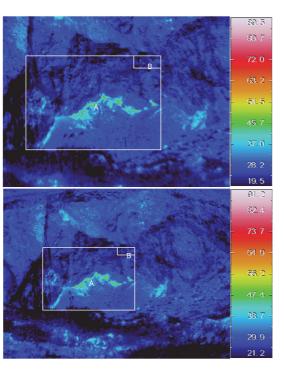


図17 比較観測による中央火孔の赤外画(2010年9月29日).

上図は TH7102WR, 下図 は H2640による. 四角囲みは図16に同じ. Cp: 空気の定圧比熱 (0.239 cal/g deg) $\{10^3 \text{J/kg K}\}$ D: 水蒸気の空気中への拡散係数 (火孔底の風は、弱い場合の $1 \text{cm/sec} \{10^{-2} \text{m/sec}\}$ とした)

r: Bowen 比の逆数 (r=1: 噴気の状態は通常)

Δθ:参照域平均温度からの偏差(℃)

なお,2007年2月~2010年7月はNEC三栄社製サーモトレーサTH7102WR (標準レンズ)を使用し,2010年9月からはNEC Avio 赤外線サーモグラフィ装置H2640 (広角レンズ)を使用して観測を行っている. 両者の赤外熱映像装置の同時比較観測(図17)による器差を表3に示す.

表 3 比較観測によるそれぞれの機器の測定値

	TH7102WR	H2640			
	(標準レンズ)	(広角レンズ)			
参照域					
平均温度T (℃)	22.79	24.63			
標準偏差σ	2.24	2.18			
熱異常域(T+3σ)					
最高温度(℃)	52.23	55.91			
最高温度(補正)(℃)	29.43	31.28			
閾値(℃)	29.51	31.17			
ピクセル数	3882	8626			
面積 (㎡)	2335	3276			
平均温度 (℃)	33.57	35.52			
熱異常量の面積分 (℃・㎡)	25172	35682			
放熱量(W)	338582	508537			

器差は、いずれの要素も H2640 が高く、その差は温度が 2 $^{\circ}$ 亡前後、熱異常域の面積と放熱量が約+40%である。これは、解像度の差が寄与していると考えられる。しかし、1 回の比較観測の結果であるため、本調査では器差補正を行わなかった。

5.2 解析結果

図 18 は 2007 年 2 月~2013 年 9 月の山頂火口中央 火孔底の熱異常域の地表面温度である。最高温度と 平均温度は、冬に低く夏に高い年変化をしている。 年較差は平均温度が最も大きく、30℃~40℃に達す る。最高温度では、2007 年を除くと 10℃~20℃程度 である。一方、参照域の地表面の平均温度を用いて 補正した最高温度は、火口原東の噴気・地中温度と 同様に冬に高く夏に低い年変化となっている。年較 差は 20℃前後である。

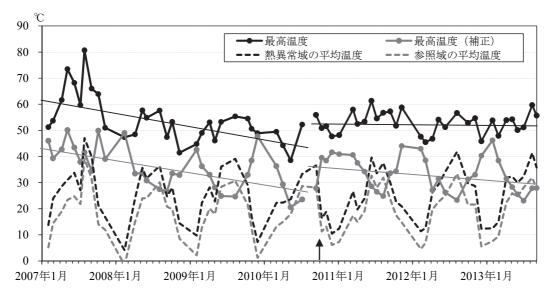


図 18 2007年2月~2013年9月の中央火孔底の地表面温度の経過.

黒線:最高温度 (℃),灰色線:参照域の平均温度を減じた最高温度 (℃),黒破線:熱異常域の平均温度,灰色破線:参照域の平均温度,ただし,熱異常域は参照域の平均温度に標準偏差の3倍を加えた温度以上の領域,細線は近似直線.矢印は赤外熱映像装置の更新.

観測機器	TH7102WR	H2640
観測期間	2007年2月~2010年7月	2010年9月~2013年9月
最高温度の変化率 (℃/年)	-5.2	-0.073
最高温度(補正)の変化率(℃/年)	-4.6	-2.4
熱異常域の平均温度 (℃/年)	-1.2	2.8

表 4 最高温度,最高温度 (補正),熱異常域の平均温度の年変化率

表 4 に地表面温度の長期的な変化傾向を示す.変化率は近似直線の傾きより求めた. 2007 年 2 月~2010 年 7 月までの TH7102WR (標準レンズ) による観測では,低下傾向が認められる.変化率は,最高温度:-5.2°C/年,最高温度(補正):-4.6°C/年,平均温度:-1.2°C/年である. 2010 年 9 月~2013 年 9 月までの H2640(広角レンズ)による観測では,最高温度:-0.073°C/年,最高温度(補正):-2.4°C/年,平均温度:2.8°C/年である. 低下率は縮小傾向にある.

図 19 は熱異常域の放熱量と面積である. 放熱量は面積に比例するので、両者はほぼ同様な変化となっている. 冬に大きく、夏に小さい年変化がみられ、年較差は 2~5 倍にも達する.

6 考察

本調査は, 伊豆大島火山調査観測資料を用いて,

山頂火口における熱異常域の噴気温度・地中温度・ 地表面温度の経年変化を明らかにした.これらの観 測資料は、それぞれ観測機器・観測期間・観測頻度 が異なっているが、平常時における熱異常域の温度 の状態を把握しておくことは、火山活動の活発化に 伴う熱異常域の温度の変化を早期に検知して、火山 活動を的確に評価するために重要である.

ここでは、観測結果により伊豆大島火山の熱活動の現状を評価し、噴火の前兆現象としての熱活動の高まりを検知できるかの検討を行う。次に、温度ロガーで観測された地中温度の特異な変動が地形効果にも起因しており、熱活動の状態の的確な評価のためには、温度の観測地点や観測頻度について留意すべき点があることを述べる.

6.1 熱活動の評価

火口原東と火口原南西における1991年6月~2008

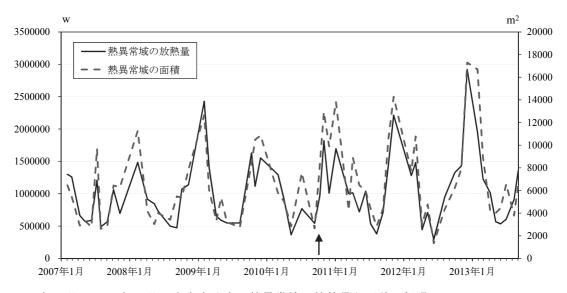


図 19 2007 年 2 月~2013 年 9 月の中央火孔底の熱異常域の放熱量と面積の経過. 黒線:熱異常域の放熱量(W),灰色破線:熱異常域の面積(m²).矢印は赤外熱映像装置の更新.

年 12 月の噴気温度の変化傾向は、それぞれ-1.47°C/年、-0.76°C/年であった。最近約 5 年間では、火口原東で-0.05°C/年、火口原南西で-0.66°C/年で両地点ともに低下率が小さくなっていた。

2008年9月~2014年1月の地中温度の変化傾向は、 火口原東で-0.44°C/年、火口原南西で-0.66°C/年であった。また、山頂火口中央火孔底の熱異常域における地表面温度の最高は、2007年2月~2010年7月は-5.2°C/年、2010年9月~2013年9月は-0.073°C/年の割合で低下していた。このように、山頂火口における噴気温度・地中温度・地表面温度の最高は、長期的に低下している傾向が認められ、その低下率は近年では小さくなっていた。

これらの観測事実は、1986年噴火後の熱異常域の 冷却が進み、準定常状態になりつつあることを示し ている、鍵山・辻(1987)は、1974年小噴火以降に 縮小傾向にあった熱異常域の面積が1978年以降に 増大傾向に転じたと報告している。このような熱活 動の傾向変化は、マグマ蓄積・膨張(渡辺、1998) からマグマ上昇期・膨張停止(渡辺、1998)への転 換期に出現すると考えられる。したがって、伊豆大 島火山の現状は、温度観測データの長期的な低下か ら停滞あるいは増加への傾向変化に注目すべき段階 にあると考えることができる。

1986 年噴火の前兆過程におけるマグマ上昇期は 1980 年ころから 1986 年までとされており、その初 期段階に比べ、噴火直前には熱活動の急激な高まりがあったと推定される.しかしながら、地表面温度の増大として観測されたのは、火口底の熱異常域の拡大と噴気温度の上昇で、前者は火口底の写真から平常温度よりも4℃以上高温となる画素数をカウントしたものであり(鍵山・辻、1987)、後者は火口付近7か所のうちの1か所で従来よりも4℃程度高い値を示した(野口・下村、1987)というものである.短期的前兆として、1986年噴火時に観測されたような4℃程度の温度の上昇を現在の観測方法で把握するのは困難であろう.熱異常域の温度の年変動の幅が地中温度・噴気温度で8℃、地表面最高温度では20~40℃にも達するからである.

また、流動性に富む玄武岩質マグマの特性上、マグマの浅部上昇が比較的短い時間のうちに起こることがあると考えられるため、現在の観測頻度ではマグマ上昇に伴う熱異常を適時に検知できない可能性がある. 1986 年噴火のときに観測されたような熱活動の高まりを検知するためには、温度観測の連続化や観測データのオンライン化などが必要である.

6.2 熱異常域の温度観測における地形の影響

熱異常域の温度は、観測環境によっても影響を受けて変動する.火口原東の噴気温度は風向・風速に対応して、火口原南西の噴気温度は降水現象に対応して大きく変動していた.このように観測地点によ

地点	火口原南西		火口原東		中央火孔底西側	
観測項目	噴気孔	地中-100cm	噴気孔	地中-100cm	地表面最高温度	熱異常域面積
測定方法	サーミスタ	温度ロガー	サーミスタ	温度ロガー	赤外熱映像装置	
#a BB	2009年1月~	2008年9月~	2009年1月~	2008年9月~	2010年9月~2013年9月	
期間	2014年1月	2014年1月	2014年1月	2014年1月		
平均	60.6 (℃)	63.7 (℃)	48.6 (°C)	47.7 (℃)	52.9 (℃)	7357 (m ²)
標準偏差σ	1.4	1.3	1.9	1.4	4.2	4205
平均±3σ	56.4∼64.8 (°C)	59.8∼67.6 (°C)	42.9∼54.3 (°C)	43.5∼51.9 (°C)	40.3∼65.5 (°C)	\sim 19972 (m ²)

表 5 噴気温度, 地中温度, 地表面温度, 熱異常域面積の平均温度±3σの範囲

って温度の変動の原因が異なる理由は、地形が影響しているからである。すなわち、火口原南西は三原新山と火口壁に囲まれた凹地形になっており、風の影響を受けやすいのは北西方向の狭い範囲となっている(図 1, 2). 伊豆大島では北西の風向は非常に稀であり、火口原南西は風の影響を受けにくい。一方、斜面を流れる雨水や地下に浸透した雨水は観測地点付近の低地に集まりやすい。このため、降水の影響を受けて地中温度が低下する。それに対し、火口原東は平坦地が広がり、北側から南側にかけては火口壁に囲まれ、中央火孔が存在する南〜西側は開けている(図 1, 3). このため、伊豆大島の卓越風向である南西〜西の強風の影響を受けて、地中温度が低下する.

このように、火山の熱異常域の温度は地形と気象の影響を受けて大きく変動することがあるため、観測や観測資料の解析にあたっては、観測地点の地形環境・観測機器の種類・観測頻度などを十分に考慮しなければならない。

7 まとめ

伊豆大島火山調査観測資料を用いて、山頂火口における熱異常域の噴気温度・地中温度・地表面温度の経年変化を調査した. どの調査項目においても長期的には温度低下の傾向が認められたが、低下率は近年では小さくなっていた. 地中温度データには顕著な短期的変動がみられた. この顕著な短期的変動は、強風または降水に対応して発生しており、周辺の地形にも起因していると考えられる.

1986年噴火のケースでは噴火の3ヶ月前に熱異常域の拡大がみられたことから、山頂火口での平常時の熱異常域の温度の状態を把握しておくことは、火山活動の活発化に伴う熱異常域の温度の変化を早期に検知して、火山活動を的確に評価するために重要

である.一方,火山の熱異常域の温度は,地形と気象の影響を受けて大きく変動することがあるため, 観測や観測資料の解析にあたっては,観測地点の地 形環境・観測機器の種類・観測頻度などを十分に考慮しなければならない.

最後に、今後の監視・活動評価の目安のために、 火口原南西、火口原東、中央火孔底西側の噴気温度、 地中温度、地表面温度のそれぞれの平均温度±3σの 範囲を示した(表 5). 温度ロガーによる地中温度に ついては 5 日平均から−2℃以下を気象条件による ノイズとして除去した. 赤外熱映像装置による熱異 常域面積については季節変動の影響が大きい. 火山 活動評価に利用するために、季節変動差をなくすよ うな補正方法の研究が望まれる.

謝辞

本調査に使用した温度観測資料は,筆者らのほか, 気象庁予報部佐久間直樹技術専門官(元大島測候所), 気象庁予報部吉田公一技官(元伊豆大島火山防災連 絡事務所),大阪管区気象台黒川和誠技官(元伊豆 大島火山防災連絡事務所)が,観測と解析を行った ものである。また,気象庁気象研究所火山研究部第 二研究室福井敬一室長には,多くの助言をいただい た.記して感謝します.

女献

鍵山恒臣・辻浩 (1987): 1986 年伊豆大島噴火の熱的前兆と現況,月刊地球,**9**,435-440.

気象庁 (2015): 伊豆大島の火山活動解説資料(平成 27 年 2 月).

http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly _v-act_doc/tokyo/15m02/317_15m02.pdf

佐久間直樹・加治屋秋実 (2008): 伊豆大島火山における温度 観測資料の客観的評価手法確立のための基礎調査その3, 平成20年度東京管区調査研究会誌,41.

- 野口喜三郎・下村偽造 (1987): 1986 年 11 月三原山噴火の前 兆となった新噴気と地割れ,火山学会 1987 年春季大会予 稿集, 12P.
- 村上亮・奥山哲・藤原智・飛田幹男 (2002): 1986 年噴火以降 の伊豆大島の地殻変動-1986 年噴火の余効過程と次の噴 火に向けての準備過程-,地球惑星科学連合大会, V032-023.
- 渡辺秀文 (1998): 伊豆大島火山 1986 年噴火の前兆過程とマグマ供給システム,火山,43,271-282.
- Sekioka, M. and Yuhara, K. (1974): Heat flux estimation in geothermal areas based on the heat balance of the ground surface, J. Geophys. Res., **79**, 2053-2058.

(編集担当 菅野智之・坂井孝行・小泉岳司)