

大涌谷の北側斜面を対象とした熱赤外カメラによる観測結果とその傾向

原田昌武^{*1}・松沢親悟^{*1}・小田原 啓^{*1}・板寺一洋^{*1}・
道家涼介^{*1}・天野 勇^{*1}・竹中 潤^{*1}・山崎瑞穂^{*2}・酒井 悠^{*3}

The temporal variation of surface temperature based on an infrared thermal camera observation
at the northern side of Owakudani, Hakone volcano

by

Masatake HARADA, Shingo MATSUZAWA, Kei ODAWARA, Kazuhiro ITADERA,
Ryosuke DOKE, Isamu AMANO, Jun TAKENAKA, Mizuho YAMAZAKI and Shuu SAKAI

1. はじめに

箱根火山の中央火口丘の北部に位置する大涌谷では、噴気活動が活発であり、古来より地表面から噴気が続いている。箱根火山では、2001年に比較的規模の大きな群発地震活動が発生し、火山性の地殻変動が捉えられただけではなく（たとえば、丹保ほか、2005；代田ほか、2009；原田ほか、2010a）、地表面付近での変化が確認された。その顕著な地表面変化は、大涌谷の蒸気井の暴噴や大涌谷の北側斜面への噴気活動の拡大である（辻内ほか、2003）。

原田ほか（2012）は、2001年箱根群発地震活動以降に大涌谷の北側斜面で新たに発生した噴気域を新噴気域と呼び、特に顕著なA~Eの5つの領域について、その変遷をまとめている。それによれば、最初（2002年11月）に発見された新噴気域のD領域の噴気活動は、活動域を谷沿い（北北西方向）に拡大し、2006年4月には県道の北側でも噴気が確認されている（図1(b)）。また、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震後には、E領域が顕著に拡大していることが指摘された。

このような新しい噴気域の発生と活発化は、火山活動をあらわす1つの指標と考えられる（たとえば、代田、2013）。一方、それは、噴気活動に伴う火山性のガスが人体へ影響を与えたり、その高い温度が地盤の風化や熱変質を促進し粘土化させることによって地滑りや土砂災害の発生が懸念される。実際に同地域の比抵抗構造探査を行った結果、地下200～300m付近で熱水の浸入や岩石の変質が進んでいることがわかりつつある（萬年ほか、2013）。

火山活動の監視および火山性の災害に対応するため、温泉地学研究所では、2008年より新噴気域内の3ヶ所において火山ガス及び熱赤外カメラによる地表面温度の連続観測を開始した（原田ほか、2010b）。しかし、連続観測点は噴気域内に設置し、それぞれA、B、C領域（図1(b)）のみの変化を観測しているため、新噴気域全体の噴気活動域の拡大や移動などの広域の変化はわからない。そのため、原田ほか（2012）は新噴気域全域の地表面温度の変化をモニタリングするために、箱根外輪山の尾根上から熱赤外カメラによる観測を開始した。この観測は現在も継続しており、本報告では、原田ほか（2012）による報告以後に観測された新噴気域全体の地表面温度の観測結果と、その時間的な推移について報告する。

2. 外輪山からの熱赤外カメラ観測

新噴気域の拡大ないしは移動をモニタリングするため、外輪山北部に位置する金時山山頂から南東方向に1.5km程度の場所にある尾根上で熱赤外カメラ観測を行っている（図1(a)■に示す）。観測地点や観測手法については原田ほか（2012）と同様で、熱赤外カメラについても同一の機材（TH9100MR）を使用している。そのため、新噴気域における熱赤外画像の解像度は、1ドットあたり約4.2mである。また、放射率は1.0とした。

これまでの観測日時、および、観測開始時における気象条件等を表1に示す。気温・湿度・気圧についてはハンディタイプの機器（MINOX社製WEATHER STATION）で計測したものである。観測地点から新噴気域は約3.5km離れているため大気補正や距離補正が必

*1 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田586

*2 横浜市立大学生命ナノシステム科学研究科 〒236-0027 神奈川県横浜市金沢区瀬戸22-2

*3 北里大学海洋生命科学部 〒252-0373 神奈川県相模原市南区北里1-15-1

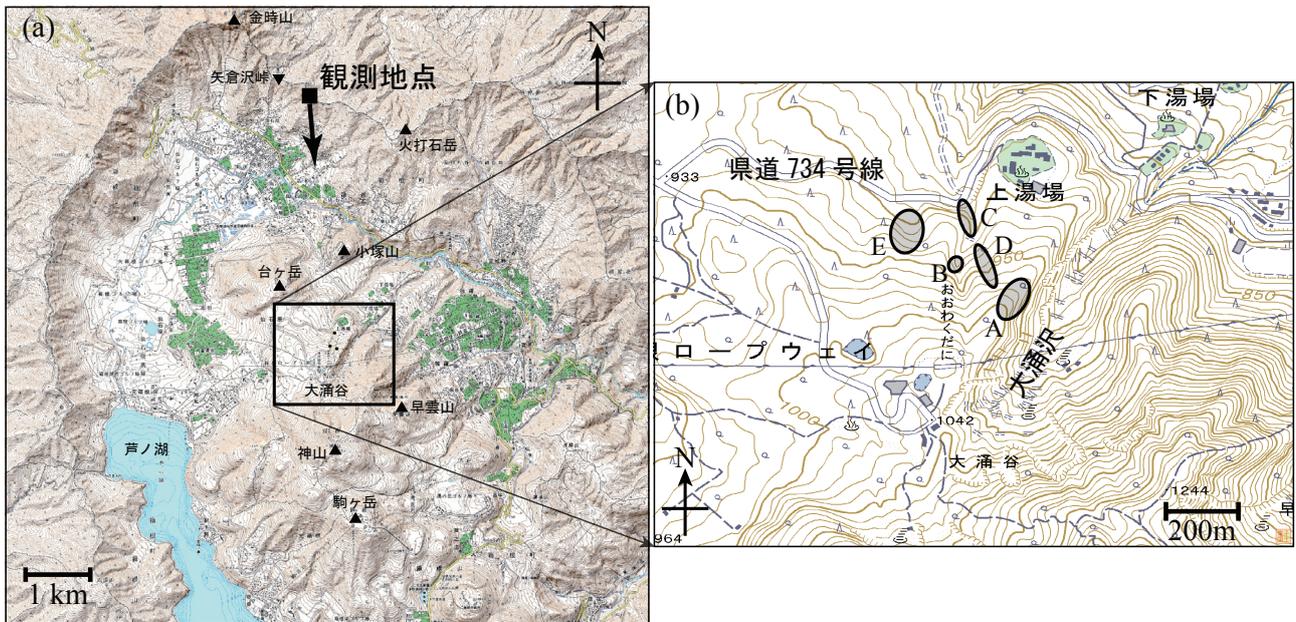


図1 (a) 熱赤外カメラ観測地点 (■)。矢印は熱赤外カメラによる観測方位を示す。(b) 大涌谷周辺の拡大図。A～Eは大涌谷北側斜面の新噴気域。地形図は国土地理院による。

要であるが、本報告の目的は地表面温度の絶対値を詳細に議論することではなく、周囲に比べて相対的に温度が高い領域を把握することであるので、現段階ではこれらの補正は行っていない。そのため、これらの気象条件等は今後の詳細な解析や、撮影時の状況確認のための参考として付する。

熱赤外カメラ観測結果の例として、2014年6月16日に観測された地表面温度を図2に示す。(a)は熱赤外カメラに内蔵されている可視カメラによる画像、(b)は熱赤外画像、(c)はそれらの合成画像である。図1(b)に示したAからEの領域は噴気が活発な領域であるが、図2(b)を見てもC、D、E領域の地表面温度は高温であることが容易に確認できる。特にE領域は現在最も活発な地域であり、周囲に比べて地表面温度が最も高いこと

がわかる。なお、画像の下半分に見られる高温域は、建造物によるものである。

3. 地表面温度の時間変化

これまでに観測された結果を図3に示す。観測日の異なる画像を比較すると、季節(気温)による影響がみられる。そのため、図3の地表面温度の表現方法は、図2のカラースケールとは異なっている。具体的には、各画像のE領域の右上にある非地熱領域(図3(a)の白い長方形の領域)における平均温度を計算し、その平均温度をカラースケールの中間値に設定した。簡易的な方法ではあるが、非地熱地帯の地表面温度をベースとすることにより、気温による影響はおおよそ取り除かれる。また、カラースケールの刻み幅は2℃とし、その平均温度

表1 新噴気域を対象とした熱赤外カメラ観測の実施日時および気象条件。

	観測日	開始時	天候	雲量(%)	気温(°C)	湿度(%)	気圧(hPa)
(a)	2012/10/15	12:30	晴れ	30	22.9	57	911
(b)	2012/11/20	12:25	快晴	0	15.9	55	902
(c)	2012/12/21	11:40	曇	100	6.4	58	913
(d)	2013/01/21	13:30	曇	100	4.0	60	914
(e)	2013/03/04	11:12	曇時々雪	100	1.9	58	905
(f)	2013/04/05	13:25	曇時々晴	60	19.4	58	910
(g)	2013/05/07	11:00	快晴	0	23.6	35	903
(h)	2013/06/28	12:00	曇	100	21.1	67	905
(i)	2013/08/08	11:35	曇	100	29.2	71	904
(j)	2013/11/08	12:44	曇時々晴	50	20.5	56	912
(k)	2013/12/17	10:50	曇	100	10.8	43	910
(l)	2014/01/17	11:34	曇	50	9.0	52	907
(m)	2014/06/16	11:40	曇	80	26.1	56	902
(n)	2014/08/26	10:55	曇のち雨	100	20.6	82	906

+1°C以上の領域のみをカラーで示している。これは、高温領域をより判別しやすくするためである。

このように設定した各観測データを比較すると、観測を開始した2012年10月から2014年8月26日の全14画像ともに、C、D領域よりもE領域の方が高温であることがわかる。E領域が現在最も活発であることは先にも述べたが、その傾向は継続している。2012年10月以前の熱赤外カメラ観測データはないが、原田ほか(2012)による新噴気域の変遷とあわせて考えると、新噴気域における噴気活動の中心は、2011年頃を境に、C、D領域からE領域に移動したと考えてもよいと思われる。

では、E領域における地表面温度の時間変化はどうなっているのだろうか。図4は、非地熱領域内とE領域内を比較し、それらの最高温度、最低温度および平均温度の差を計算した結果である。最低気温の差は概ね1°C前後で一定の値であるが、最高温度および平均温度の差は、それぞれおおよそ5~20°C、2~7°Cの範囲で変化している。この変動は、2013年5月7日のデータを除外すると、E領域内の地表面温度は非地熱地帯に比べて冬季に高温となり、夏季には温度差が小さくなるように見える。これは、非地熱領域の方がE領域内よりも季節変動が大きいことを示唆しているであろう。しかし、2013年5月7日は明らかにE領域が高温だった可能性がある。このように一時的な高温異常が有意な変化なのか、またその場合は、火山活動を反映したものなのかなどについては、今後の検討課題としたい。

4. 噴気領域 (E 領域) の時間変化

前章では地表面温度の特徴を述べたが、次に、噴気領域、特にE領域の面積が拡大しているかどうかを考える。これまでに観測された全画像からE領域周辺のみを抽出し、先に求めた非地熱領域内における平均温度以上である画素数をカウントした(図5)。また、その平均温度に1°C加え、それよりもさらに高温となる画素数も同図に示している。なお、画像の解像度は1ドットあたり約4.2mであるから、画素数に17.64m²を乗じれば、おおよその面積が算出できる。

このようにしてE領域の高温異常の面積を定義したが、非地熱領域内の平均温度以上の画素数は、ほぼ一定である。このことから、これまでの観測結果ではE領域の面積に大きな変化はないと考えられる。また、平均温度+1°C以上の画素数は地表面温度の時間変化と同様に、冬季に画素数が多く、夏季に少なくなる傾向がみられる。

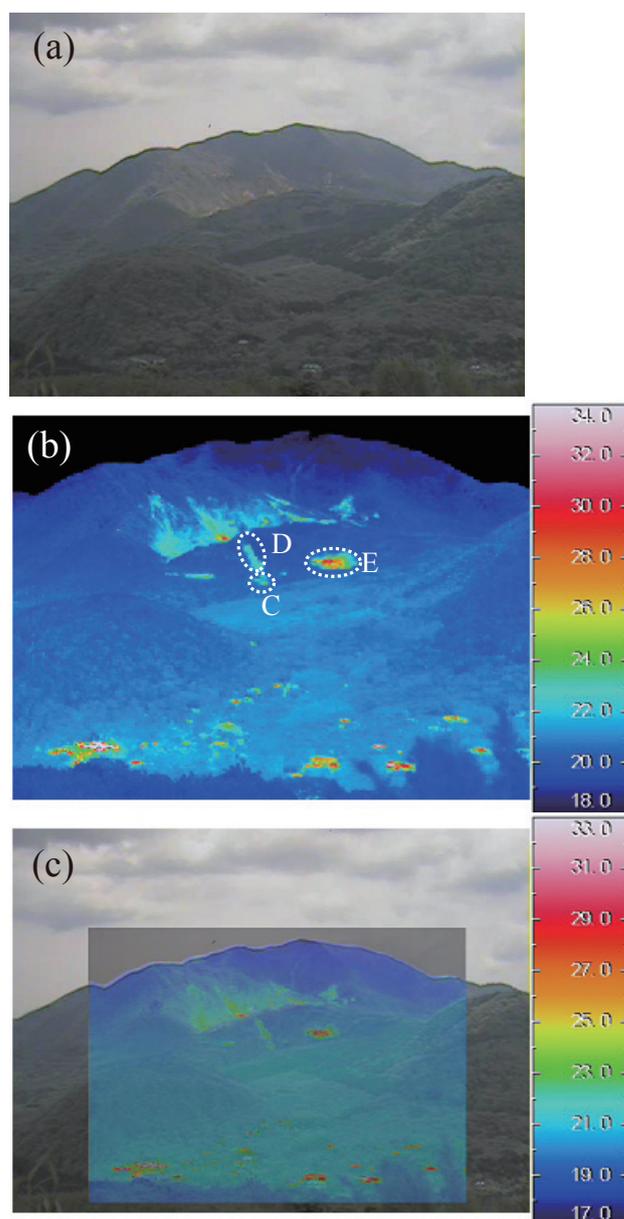
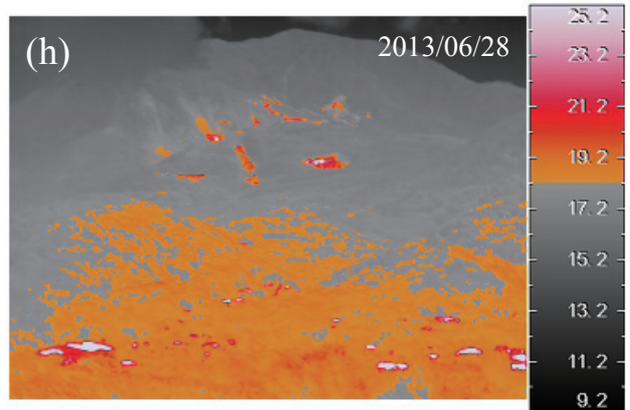
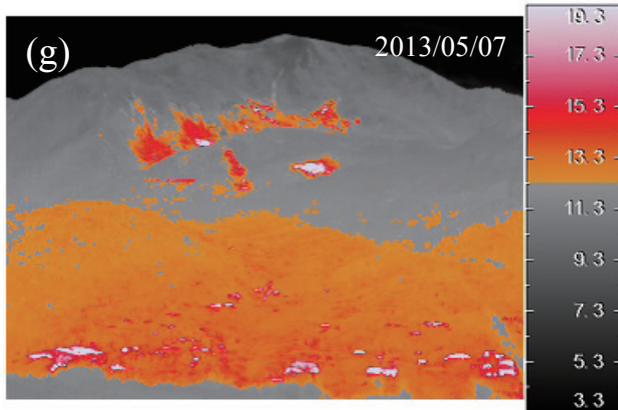
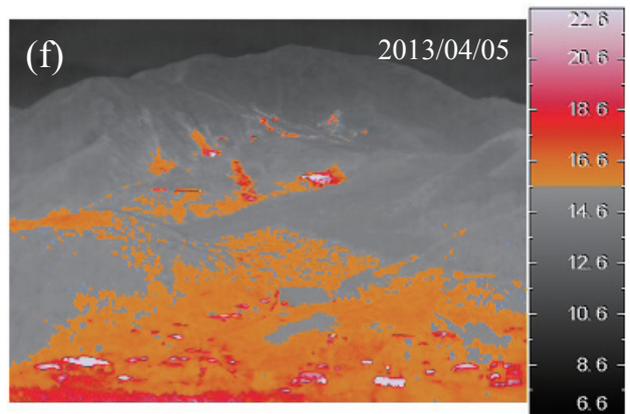
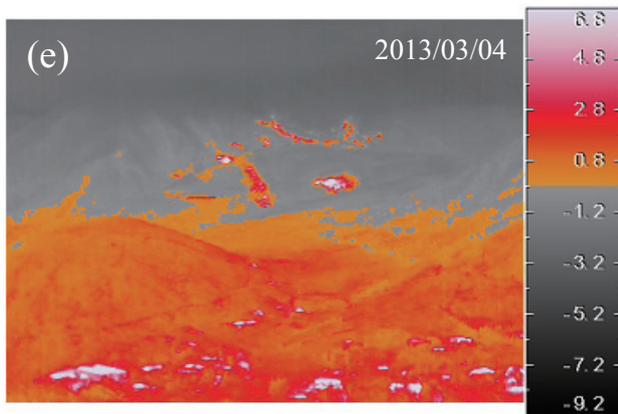
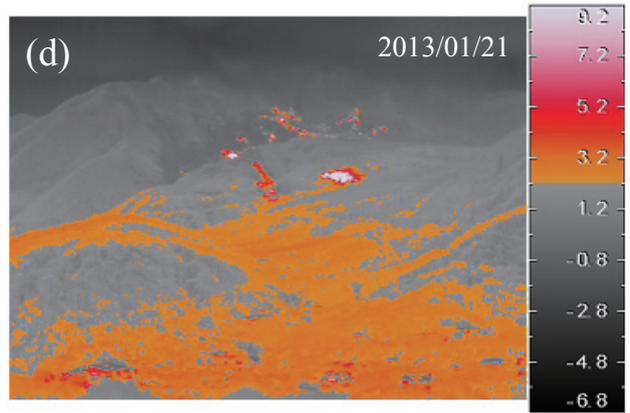
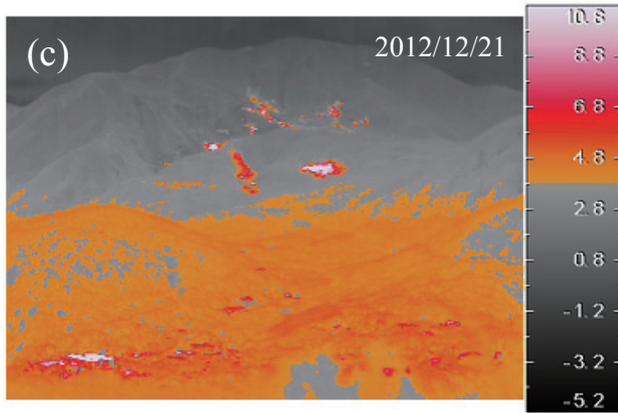
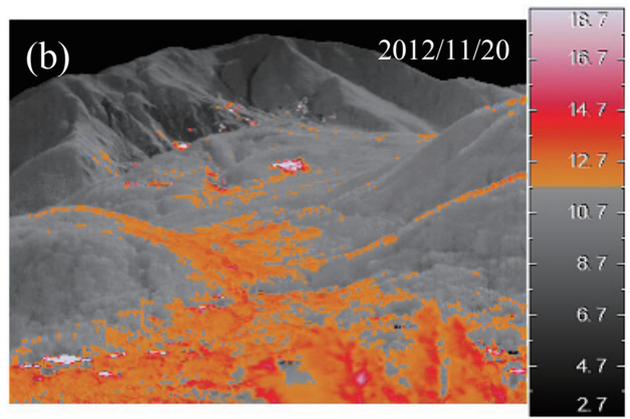
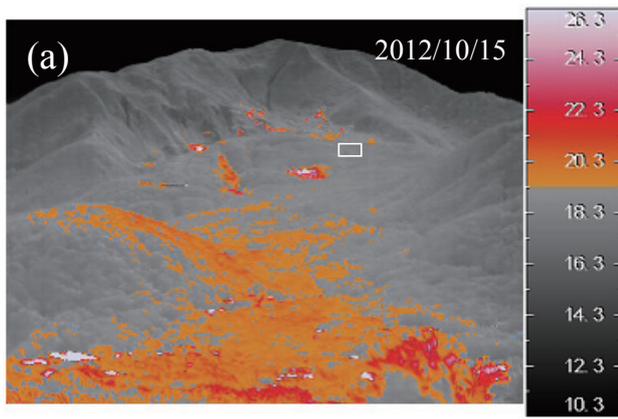


図2 熱赤外カメラによる (a) 可視画像、(b) 熱赤外画像、(c) 合成画像 (2014年6月16日撮影)。(b)の点線で囲った高温域C、D、Eは新噴気の位置を示す(図1参照)。

5. まとめ

2001年の箱根群発地震活動以降、大涌谷北側斜面において新たな噴気活動が確認され、その新噴気域での噴気活動は10年以上たった現在でも継続している。このように噴気活動が長期化すれば地盤の風化・浸食が促進され、火山活動以外にも土砂災害の発生が懸念される。そこで我々は、新噴気域全体の状況を把握・監視するため、箱根外輪山からの熱赤外線カメラによる観測を1~数か月の間隔で実施してきた。

2012年10月から2014年8月までの間に全14回の観測を行ってきたが、それらいずれの画像でも、新噴気域



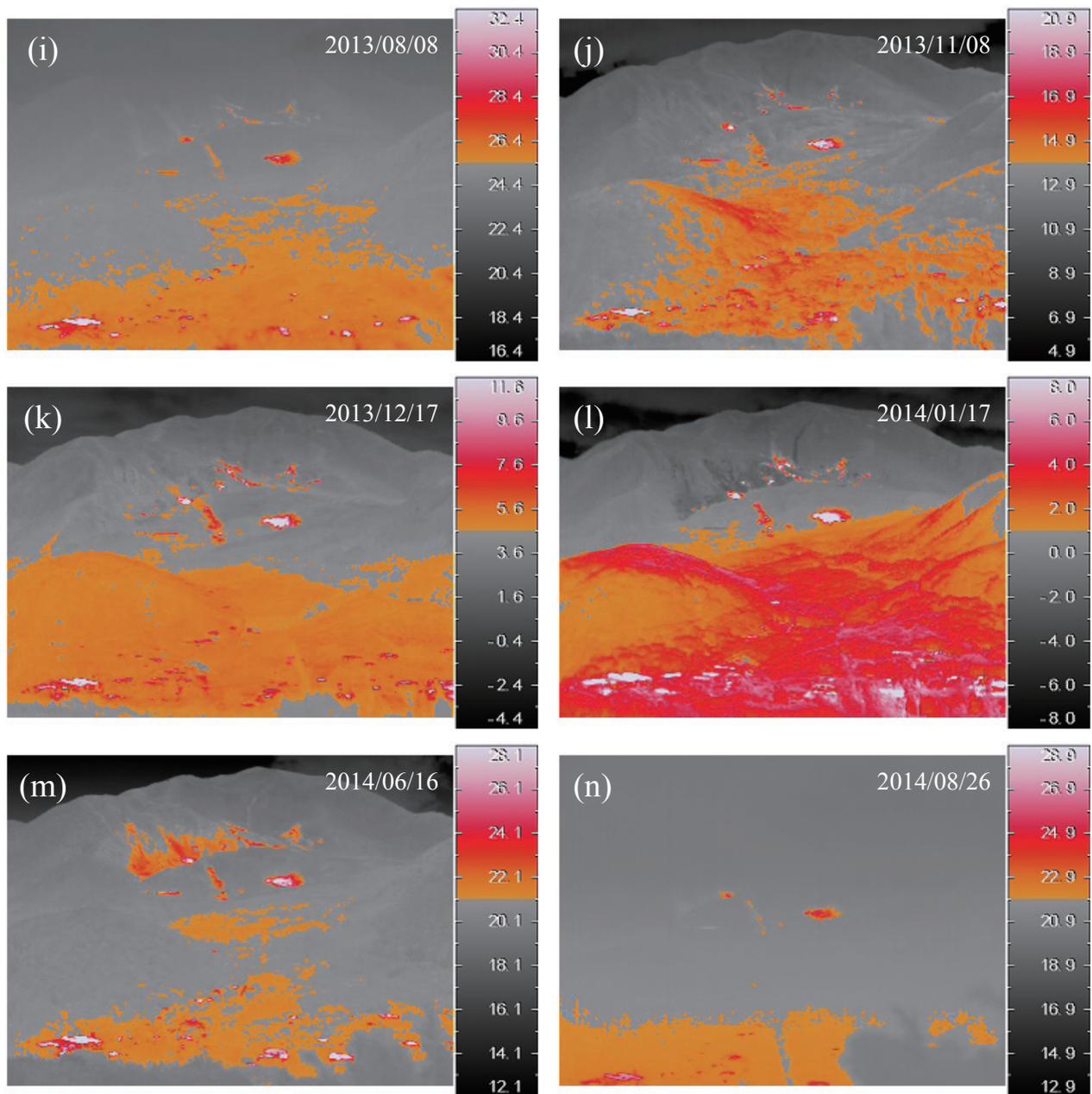


図3 熱赤外カメラによる観測結果。(a)の白い長方形は非地熱領域として参照したエリアを示す。各画像は、それぞれ非地熱領域における平均温度をカラースケールの中間値に設定し、平均温度+1°C以上の領域のみカラーで示す。(a)2012年10月15日、(b)11月20日、(c)12月21日、(d)2013年1月21日、(e)3月4日、(f)4月5日、(g)5月7日、(h)6月28日、(i)8月8日、(j)11月8日、(k)12月17日、(l)2014年1月17日、(m)6月16日、(n)8月26日。

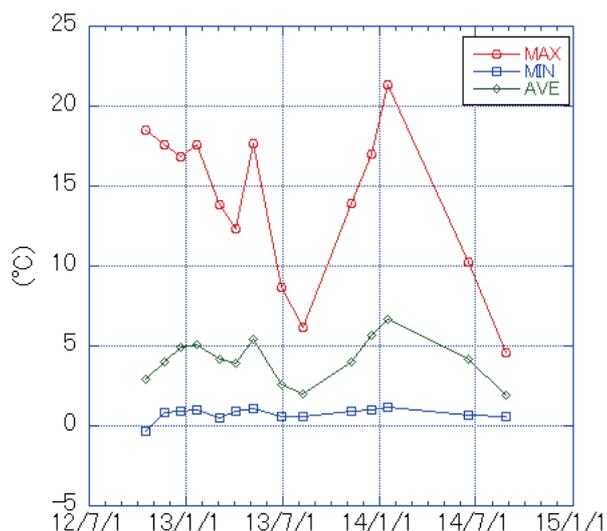


図4 E領域内と非地熱領域内の最高温度、最低温度および平均温度の差。

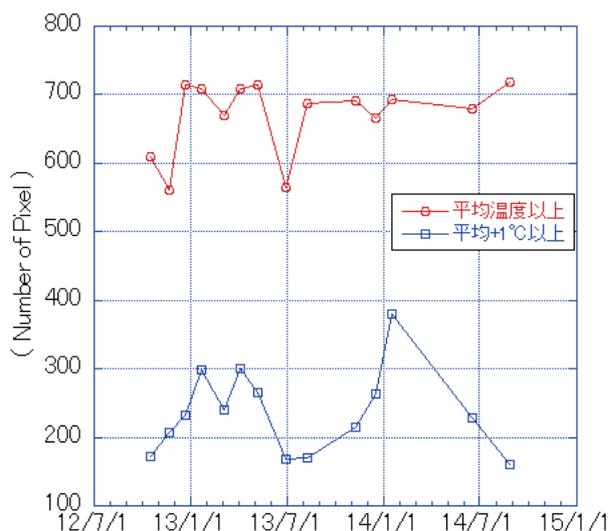


図5 E領域周辺の高温領域の時間変化。非地熱領域内の平均温度および平均温度+1°C以上である画素数を示す。

においてはE領域の地表面温度が最も高温であることが確認された。この領域が現時点で一番噴気活動が活発な場所であることは、明らかである。また、観測された地表面温度には季節変動がみられ、一時的により高温になっている可能性もある。さらに、E領域における高温領域の面積の時間変化には大きな変動はなく、今のところ噴気域が拡大する様子は見られていない。

本報告のような遠望からの熱赤外カメラによる地表面温度の観測は、新噴気域の地熱活動の状況を明らかにするだけでなく、火山活動の評価や土砂災害対策のためのモニタリングとしても有効な1つの方法であると考えられる。そのため、今後もこのような観測を繰り返し実施し、噴気地帯の移動・拡大についての調査を継続していく予定である。

謝辞

東京工業大学火山流体研究センターの寺田暁彦博士には、熱赤外カメラによる観測方法やデータ処理についての非常に有益な助言をいただきました。ここに記して深く感謝します。

参考文献

代田 寧・棚田俊收・丹保俊哉・伊東 博・原田昌武・萬年一剛 (2009) 2001年箱根群発地震活動に伴った傾斜変動と圧力源の時間変化, 火山, 54, 223-234.

代田 寧 (2013) 箱根火山において2013年1月から発生した群発地震活動に伴う噴気ガス組成の時間変化, 温地研報告, 45, 29-34.

原田昌武・細野耕司・小林昭夫・行竹洋平・吉田明夫 (2010a) 富士山周辺及び箱根カルデラの膨張歪と低周波地震活動, 火山, 55, 193-199.

原田昌武・棚田俊收・伊東 博 (2010b) 箱根大涌谷北側斜面における火山ガス・地温の連続観測, 温地研報告, 42, 57-61.

原田昌武・小田原 啓・松沢親悟・代田 寧・板寺一洋・寺田暁彦 (2012) 箱根大涌谷の北側斜面における近年の地表面変化と熱赤外カメラによる観測, 温地研報告, 44, 55-62.

萬年一剛・原田昌武・板寺一洋・代田 寧・寺田暁彦 (2013) 箱根大涌谷における浅部比抵抗構造と地熱活動, 火山学会秋季大会, P53.

丹保俊哉・棚田俊收・伊東 博・代田 寧 (2005) 光波測量基線網で捉えられた2001年箱根火山の群発地震活動に伴う地殻変動, 測地学会, 51, 45-48.

辻内和七郎・鈴木征志・栗屋 徹 (2003) 箱根大涌谷で2001(平成13)年に発生した蒸気井の暴噴事故とその対策, 温地研観測だより, 53, 1-12.