

南阿蘇村吉岡地熱地帯の 2007 年 2 月 ~ 2009 年 4 月の状況について

新村 太郎

はじめに

阿蘇カルデラ内には中央火口丘群とよばれる約 9 万年前より新しい火山群がほぼ東西方向に延びている。その西端の山腹には「湯の谷」、「地獄・垂玉」など古くから利用されている温泉がある。それらのほぼ中間に位置する吉岡地域 (図 1) には、小規模な地熱地帯が存在し、40 年程度前から温泉を利用した小規模な別荘地となっている。現地での聞き取り調査から当地は、元は静かに温泉を湧出するのみであったが、温泉開発の拡大にともない地下へ水平方向

のパイプを埋設し、その一部が破断したことがきっかけで、2005 年末に規模の大きい噴気孔が生じた。轟音をたてて主として水蒸気からなる噴気を噴き上げ始めた。その後 2006 年夏にはさらに規模の大きい噴気孔が生じて活動を続け、9 月には火山灰を噴出した。噴気孔の周辺一帯には、熱湯や水蒸気を噴き出す地熱地帯が広がっている。また、これら地熱活動によって、一部で基盤岩の風化が激しく、噴気や泥などの噴出物のために植生が失われつつある。そのため、豪雨時には小規模な土石流が生じた。この地熱地帯は別荘地に隣接し、さらに下方には集



図 1 調査位置図

調査地は九州のほぼ中央に位置する熊本県南阿蘇村の吉岡。阿蘇カルデラ内の火山からなる中央火口丘群の西麓の比較的なだらかな斜面上で、標高は 800m 前後。湯の谷および地獄・垂玉温泉の間に位置する。

落が存在する。よって、火山災害はもとより、中～大規模な土石流が発生した場合には人的被害が予想される。火山災害および土砂災害の予防および減災のための基礎データを得ることを目的として、当地熱地帯の継続的な観察および温度等の諸物理量の観測、地形および地質調査を行った。

1. 調査地の地形・地質概要

調査地は草千里ヶ浜火山の西麓の標高 750～830m の緩斜面上にある。斜面は西南西方向に落ち、主な水系もほぼそれに沿っている。およそ 1km 下方では傾斜が緩くなり、長野集落の水田が広がっている。一方北西側は草千里ヶ浜火山の火山噴出物からなる崖に隔てられ、その上にはやや平坦な牧草地が広がる。吉岡地域の基盤岩は吉岡玄武岩 (小野・渡辺, 1985) であるが露頭は少なく、多くは崖錐堆積物や中岳の火山灰に覆われている。地熱地帯の土砂や岩石は噴気や熱水によって粘土化している部分が多く、黄褐色もしくは灰色を呈する。

2. 吉岡溶岩

阿蘇火山は、28 万年前、14 万年前、12 万年前そして 9 万年前の大規模な火砕流噴出をともなう活動によって現在のカルデラを形成したと考えられている (小野・渡辺, 1985)。これらによる噴出物は、火砕流堆積物として九州の中部～北部を広く覆っている。古い順に阿蘇-1, 阿蘇-2, 阿蘇-3, 阿蘇-4 と呼ばれ、阿蘇-4 活動時に噴出した火山灰は、北海道でも約 15 cm の厚さの層として確認されている。9 万年

前以降は大規模火砕流の活動はなく、後カルデラ期と呼ばれ、カルデラ中央部で多くの火山が噴火を繰返し、複雑な火山体を形成している。これらは現在カルデラ中央部でほぼ東西方向に長く配列し、中央火口丘群と呼ばれている。吉岡地域の基盤岩である吉岡溶岩は、中央火口丘群を形成する火山噴出物の一つで、玄武岩質の溶岩からなる。噴出元の場所は確認できないが、その分布から吉岡地域の北西側であると考えられる。吉岡溶岩は草千里ヶ浜火山の噴出物の下位に相当し、上下関係が確認されている (小野・渡辺, 1985) が、他の噴出物との上下関係は不明である。

本調査では調査地から新鮮な吉岡溶岩の岩石試料を採取して、偏光顕微鏡による観察と全岩化学組成を行った。岩石試料は黒色を呈し、かんらん石、単斜輝石、斜長石等の斑晶鉱物を含む。全岩化学組成は Activation Laboratories Ltd. によって Fusion Inductively-Coupled Plasma (FUS-ICP) によって測定され、結果は表 1 の通りである。SiO₂ 含有量は約 50wt.% で、三好ほか (2005) による分類では中央火口丘群の中で最も低いグループに分類される。K₂O 含有量は 0.89wt.% であった。SiO₂ 含有量に対する K₂O 含有量の割合は、中央火口丘群を構成する他の噴出物と同様に高い。

3. 地熱活動について

吉岡地域の地熱活動に関する研究は、山崎ほか (1978) による吉岡地域の温泉湧出に関する報告からはじまる。湯原・牛島 (1980) では湯の谷と地獄、垂玉地域を含む阿蘇中央火口丘群西斜面の地熱地帯における噴気の発生メカニズ

表 1 化学組成測定結果

組成	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	total
含有量 (wt.%)	50.06	17.93	9.74	0.16	5.59	11.23	2.24	0.89	0.88	0.18	98.9

* total iron as Fe₂O₃

ム、地熱地の分布と地質構造との関連について論じられている。池辺・藤岡 (2001) は吉岡に近い湯の谷地域で文化十三年に起きた水蒸気爆発の痕跡を、地形および地質の調査結果に関連させて報告した。産業技術研究所 (2006) は吉岡地域の噴気のガス組成について報告した。寺田ほか (2007) では吉岡地域の観察および地球物理学的観測結果から噴気地全体の地熱活動の定量的な評価を行い、噴気の放熱率が 2006 年 10 月 16 日前後の最盛期で 15-30MW、11 月以降で約 4.6MW であり、阿蘇西部の他の地熱地に比べて規模が大きい地熱活動であると評価し

ている。新村 (2007) は、2005 年から 2007 年の吉岡地域の噴気地の分布、地熱活動の推移、噴気温度の連続観測の方法と結果について報告した。新村 (2007) による 2006 年 10 月～2007 年 4 月における吉岡の地熱活動の様子を表現した図に、2007 年 5 月以降に生じた噴気地 B の噴気孔やクレーターを加えて図 2 に示した。また、当報告による地熱地 A～D の 2006 年 10 月～2007 年 4 月の概要を以下にまとめた。

地熱地 A：唯一別荘地に隣接する場所であり、顕著な噴気活動はここから始まった。

2005 年末に噴気孔 a3 が活動を始め、轟音



図 2 吉岡地熱地帯の概要 (新村, 2007 の一部を修正)

- | | | |
|------------|-----------------|--------|
| ● 噴気孔、噴湯孔 | ○ 地熱地 | ⤴ 崩壊地形 |
| — 車が通行可能な道 | - - - 車は通行不可能な道 | |
| ⋯ 沢 | — 等高線 | △ 三角点 |

をたてて水蒸気を数十 m の高さまで吹き上げていたが、2006 年 9 月には約 3m 程度北側の a4 に活動が移った。後述する b1 噴気孔の勢いが増す同年 8 月下旬に a4 の勢いは急激に小さくなった。2006 年の 10 月 6 日に測定した噴気の温度は 111.1 ， pH は 6.9 であり、その後温度は数度下がった。

地熱地 B：地熱地 A の東方約 60m にある。噴気孔 b1 噴気孔は、当初は径 20cm 程度の孔から熱湯と水蒸気を吹き出していたが、徐々に激しくなり、2006 年 10 月には径 5m 以上のクレーターを作り、噴気孔の径は約 1.5m に拡大し、かつての a4 よりも激しい勢いで轟音をあげて水蒸気を吹き出し始めた。2006 年 10 月 16 日早朝には主に赤褐色の土砂からなる火山灰の噴出が確認された。噴気の温度は 110 以上であった。同年 12 月から噴気温度の連続観測が行われた。

地熱地 C：地熱地帯 B の沢の上流側約 70m に位置する。崖に近い所で水蒸気や熱水を噴出する孔がある。降水の多い 2006 年 8 月には、崖の下の一帯に 100 近い熱泥がたまっていた。2006 年 9 月以降は乾燥して、危険性は小さくなった。

地熱地 D：地熱地 C のすぐ北東側にあり、所々に巨礫が転がる雑木林である。直径 1 m 以下の、熱湯や蒸気が湧き出る孔が点在する。また、巨礫と巨礫の隙間部分の下方からぐつぐつという沸騰音が聞こえ、気温が低い日には水蒸気が立ち上る。

本報告では、以上の 2007 年 3 月までの調査に引き続き、2007 年の 4 月 4 日、4 月 23 日、5 月 12 日、6 月 12 日、8 月 16 日、2008 年 5 月 21 日および 2009 年の 3 月 25 日の合計 7 回にわたって、吉岡地熱地域の調査を行った。以下にこれらの調査結果を記す。

2007 年 4 月 4 日：先述の 2007 年 3 月まで

の調査で述べたように、b1 噴気孔が活発に水蒸気を主体とした噴気を吹き上げている。同年 1 月に温度計を設置した(写真 1)時とほぼ同じ状況。地熱地全体の変化は 3 月の状況と比較して特にない。



写真 1 2007 年 1 月 22 日の b1 噴気孔への温度計設置作業
噴気を直接測定できるようにプローブを作成して設置した。

2007 年 4 月 23 日：2006 年 8 月から活動を開始した b1 噴気孔の噴気孔が、土砂の崩壊にともなって閉塞しかけている。噴気孔の大きさはそれまで直径 1m 以上あったものが 20cm 程度になった。噴気の勢いは以前と比較してあまり変わりはないが、量は孔が小さくなったことに合わせて少なくなっている。また、後述する温度観測のためのプローブが土砂に埋まったため、計測温度は噴気ではなくて土砂の温度を測定していることになる。

2007 年 5 月 12 日：b1 噴気孔が上部の土砂の崩壊にともなって完全に閉塞した。また b1 より西方約 10m の所の尾根上に新たな b2 噴気孔が活動を開始した(写真 2)。b2 噴気孔は直径約 1~1.5m の円形に近い孔で、周囲は倒木や噴出した泥が覆っている(写真 3)。b1 噴気孔と同様に水蒸気が主体と思われる噴気が勢いよく噴出し、シューおよびゴーという音が混ざった音が継続する。b1 噴気孔は横方向に孔が向いていたために噴気の方法も水平に近かったが、

b2 の孔の方向はほぼ鉛直で、噴気は真上に向けて吹き上がっている。周辺が倒木や堆積した泥で覆われており、孔が深くて崩壊する可能性が高く、近接して観察するのは危険が高いために 10m 程度離れた場所から観察した。同様の理由で直接プローブを差し込んで噴気の温度を測定することができなくなった。b1 噴気孔の方向は水平方向に近かったことから、b2 は b1 噴気孔を作った噴気の通り道の一部が崩壊して噴気が直上に抜けることによって生じたと考えられる。b1 が閉塞することによって通り道内部の圧力が高まり、圧力が開放された場所が b2 となって、そのまま噴気活動を始めた。周辺の観察から b2 噴気孔周辺の地盤は軟弱と考えられるため、上部に開いた b2 噴気孔は徐々に崩壊し、さらにこれまで水平方向に伸びた噴気の通り道の崩壊と合せて、b2 噴気孔付近の尾根が十



写真 2 2007 年 5 月 12 日の b1 跡および b2 噴気孔
b1 噴気孔が閉塞して、西側に新たな b2 噴気孔
(写真左側)が生じた。



写真 3 2007 年 5 月 12 日の b2 噴気孔
直径 1～1.5m の円形で、水蒸気を直上に激しく
吹き上げている。

数 m にわたって崩壊することが予想された。

2007 年 6 月 12 日：b2 噴気孔付近は前回調査の 5 月 12 日に比較してほとんど変化なし。

2007 年 8 月 16 日：b2 付近を中心にして直径約 12m、深さ 5～8m のクレーター (B クレーター) が生じているのを確認した (図 3)。クレーターの周囲は垂直から急傾斜で落ち込み、2 箇所に水蒸気を勢いよく吹き上げる噴気孔がある。そのうち南部のものは元の b2 噴気孔とほぼ同じ位置であるため、b2 という名称を用いて表現する。岩の隙間から噴気が出ており、隙間の形状が影響して噴気が 2 方向に分かれて吹き出していた。北部には新たに直径が約 1.3m でほぼ円形の噴気孔 b3 から噴気が勢いよく吹き出していた。b2 が岩の隙間からであるのに対して、こちらは土砂に空いた孔である。また噴気はほぼ鉛直方向に吹き出していた。クレーターの底には差し渡しが最大 3m 程度の巨礫をはじめ、大小の礫が露出しており、その間は泥で埋められていた。

2008 年 5 月 21 日：B クレーターはさらに広がった。特に北および西側へは 3～5m 拡がり、西側の沢地形をクレーター内部に取り込んだ (図 4)。沢は、吹き上げられて落下し堆積した泥によってせき止められていた。東側には 2～3m 広がった。クレーターの底からはゴォーという音とともに熱い泥水が激しく吹き上げられていた。クレーター底より数 m 程度の高さまでの吹き上げは継続的に見られる (写真 4) が、時折高く吹き上げられ、最大で 15m 程度の高さを確認した。クレーターの内部は湯気によって確認が困難であるが、風向きによって湯気が流され、部分的に確認することができた。周囲は吹き飛ばされた泥が飛散しているために、近づくと泥の雨をかぶっ

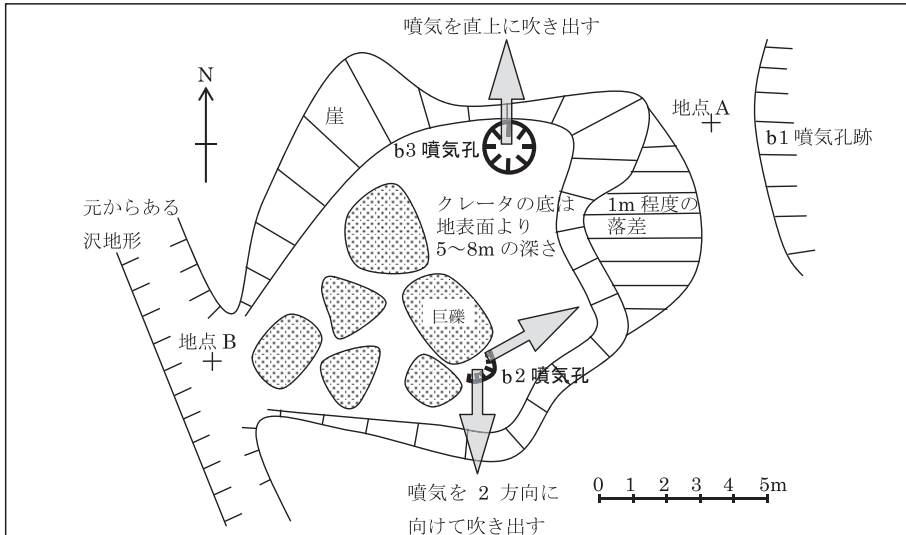


図3 2007年8月16日のBクレーター

Bクレーター底の2個所に水蒸気を勢よく吹き上げる噴気孔がある。b2噴気孔は岩の隙間から噴気が出ているもので、隙間の形状が影響して噴気が2方向に分かれて吹き出している。b3噴気孔は土砂に空いた円形の孔で、噴気はほぼ鉛直方向に吹き出している。クレーターの底には差し渡しが最大3m程度の巨礫をはじめ、大小の礫が露出しており、その間は泥で埋められている。地点Aは東経131度1分56.4秒、北緯32度52分29.2秒±3m。地点Bは東経131度1分55.7秒、北緯32度52分29.1秒±3m。

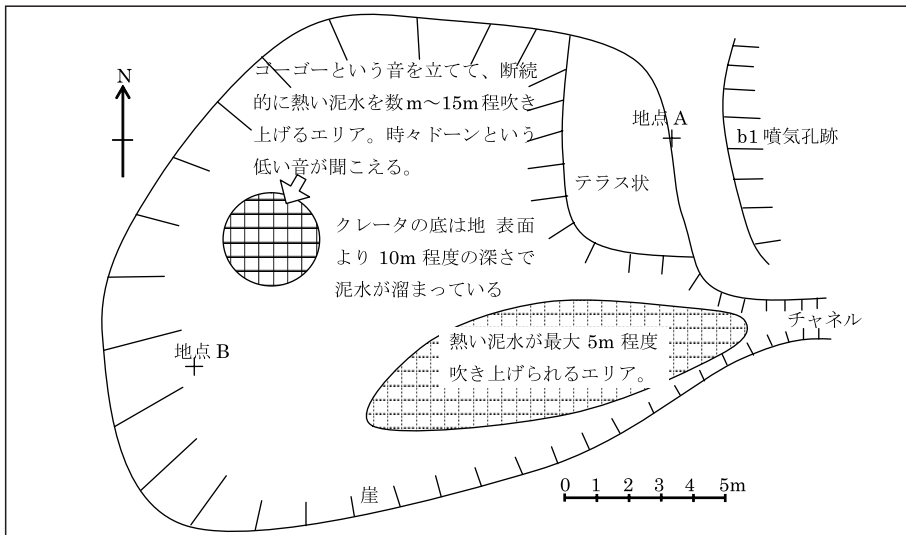


図4 2008年5月21日のBクレーター

Bクレーターはさらに広がった。2007年6月12日と比較して、北および西側へは3~5m拡がり、西側の沢地形をクレーター内部に取り込んだ。沢は、吹き上げられて落下し堆積した泥によってせき止められている。東側には2~3m広がった。クレーターの底からはゴ-ゴ-という音とともに熱い泥水が激しく吹き上げられている。

たようになる。元 b1 噴気孔の東側の沢とチャンネルができてつながっていた。多量の降水時などにクレーター内部から溢れた水が排水されたようである。



写真 4 2008 年 5 月 21 日の B クレーター泥噴出
クレーター底に溜まっている泥を連続的に数 m の高さに吹き上げている。

2009 年 3 月 25 日 : B クレーターの大きさは前回調査時と比較してほとんど変化がない。クレーターの底の泥水は量が多くなり、底はすべて泥水で覆われていた。クレーターに近づくと、ぐつぐつという大きな音が聞こえた。クレーター内部は湯気でほとんど見えないが、風によって湯気が流されると部分的に確認することができた (写真 5)。



写真 5 2009 年 3 月 25 日の B クレーター底
クレーター底は泥水がたまり、全体がぐつぐつと大きな音をたてている。

西側の沢をせき止めており、さらに東側の

沢とつながっているため、多量の降水時にはクレーター内に水がたまる。それらが溢れた場合、下流に一度に大量の泥水を流すことになり、危険が予想された。今回、対策工事が行われ、クレーターの西側の沢を別荘地方向に流さないように人工の溝が作られているのを確認した (写真 6)。



写真 6 2009 年 3 月 25 日の B クレーター
直径が 14m 以上に大きくなり、底には泥水がたまっている。噴気や土砂の激しい吹き上げは観察されない。

5. 噴気温度の連続観測

b1 噴気孔が水平に近い方向を向いており、プローブの設置がしやすいこと、空気中に放出する直前の噴気の温度を測定できることなどから、2006 年 12 月から噴気温度の直接および連続観測を行った (新村, 2007)。温度計兼データロガーとして CENTER TECHNOLOGY 社製 CENTER 306 Data Logger Thermometer を使用した。プローブは同社製の棒温度センサー TPK-03 A (熱電対 K-タイプ) を使用して、5m の延長コード 2 本を介して温度計に接続した。この接続形態で標高約 40m の平地で、氷水で -0.5 , 沸騰した湯で 100.5 であったため、更正は行わなかった。プローブは約 3.5m の鉄製の棒の先を U 字型に延長し、その先にセンサーを取り付けたものであり、配線は棒の中を

通しており、噴気に直接さらされないようにした。センサー先端の熱電対のある部分を露出した他は密閉し、噴気で動かないように1kgのおもりを先端に付けた。これを噴気孔に立てるように設置した。電源はニッケル水素乾電池を元に自作したバッテリーを使用した(1週間以上電源の交換の必要がない)。データはPCに転送して処理した。

新村(2007)では2006年12月から2007年2月までの計測結果を報告した。今回はそれ以後の計測結果を報告する。

2007年2月27日以降の噴気温度の計測結果を図6に示した。計測が中断した期間は主に上記のデータロガーのバッテリーが切れた期間である。2月27日から3月5日の期間は、130~150で、2月28日と3月1日に小さいピークが見られるが、変動幅は小さい。3月8日から3月10日の間は 150 ± 15 、3月11日から12日は 150 ± 30 のように変動幅が広がり、12日の後半から14日にかけて150~250の高い温度を記録した。15日からは再び安定して21日までの間は 140 ± 30 で、17日、19日、21日に小さいピークが見られる。3月22日にはいったん120~130まで下がるが、23日以降には 150 ± 30 度に回復する。4月6日後半から12日にかけては 200 ± 30 の高い温度を記録した。4月12日の後半から再び温度が下がり、20日までは 150 ± 30 の間で比較的安定している。20日から急に上昇して22日までの間には200~300を記録した。バッテリーが切れておおよそ24時間記録が途絶えたが、計測を再開した24日から26日は 130 ± 10 の低くて安定した温度を示した。4月26日の後半から28日まで著しく高い温度と激しい変化を示し、最低温度は約100で、最高温度はプローブの計測上限の300を超えた記録を示した。その後5月1日までは 130 ± 10 と低温で安定した温度を記録し、5月1日に110まで下がった。その後、徐々に上昇して5月10日に計測を終了する時点では125であった。

上記の温度変化の記録と噴気孔の観察結果を照合した。4月23日は噴気孔が埋まりかけ、プローブは土砂に埋まった。4月20日から22日にかけて記録された高い温度は、噴気孔が土砂で塞がる際に、一時的に断熱圧縮の作用で高温状態になった可能性があるが、土砂の崩壊によって力学的な力がプローブの配線等に作用して正しい温度を記録しなかったことも考えられる。いずれにしても、噴気孔が活発だった期間と比較して、4月23日から27日にかけては数時間おきの細かい温度変動が少なく、このことは土砂に埋まっていたことを反映している。さらに、26日から28日にかけての大きな変動時はすでに土砂に埋まっていたため、この高温の記録は、噴気孔が完全に土砂に埋没する際に崩壊した土砂によって、プローブや配線に対して力学的な力がかかり、それらが影響したと考えられる。以上から、4月20日に崩壊が生じて噴気孔が小さくなり、さらに26日の後半にさらに崩壊が生じて完全に噴気孔が塞がり、その後も土砂の崩落が続いてプローブや配線に大きな力がかかっていた。5月1日の温度の低下について考察する。すでに土砂に埋もれた後であり、噴気の影響はない。また降水が記録されているために、土砂に浸透した天水によって温度が下がり、その後漏れ出てくる高温の噴気によって徐々に温度が上がったと考えられる。5月12日の観察時には、土砂に埋もれたb1噴気孔から微量の高温の蒸気が漏れ出していた。その後は、噴気の温度を直接、連続観測することが不可能になったため、観測を断念した。

6. 防災上の問題

吉岡地域の噴気孔の出現は人為的なパイプ埋設とその破断による可能性が高いが、その結果放出されている熱エネルギー量は、2006年の活動のピーク以後でも阿蘇西麓地域において最も高い(寺田ほか, 2007)。2007年から2009年にかけてもほとんど衰えることなく噴気活動が

南阿蘇村吉岡地熱地帯の 2007 年 2 月～2009 年 4 月の状況について

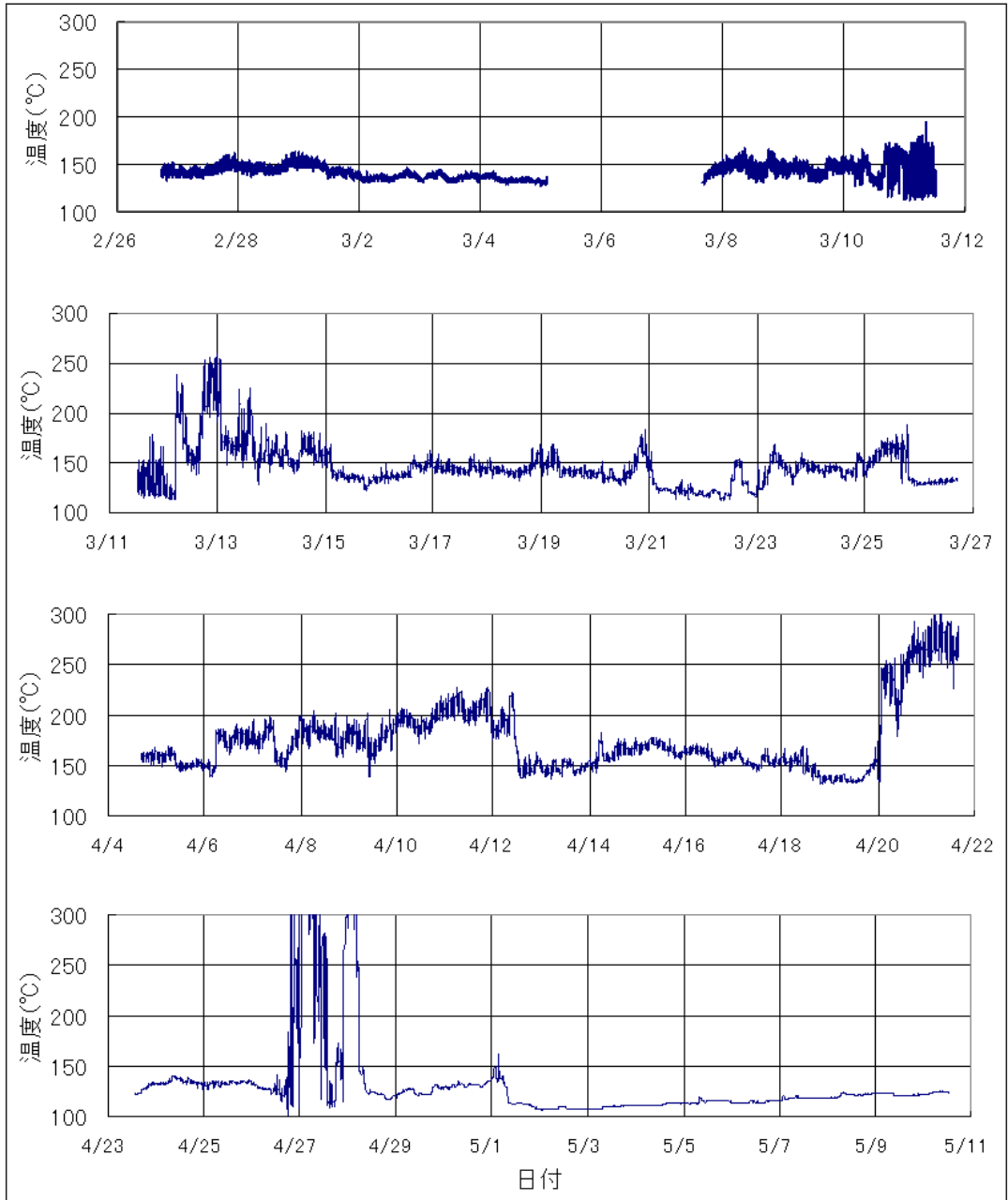


図5 2007年2月27日から5月11日までのb1噴気孔の温度

データが途切れている期間はロガーのバッテリーが切れた期間。プローブは300が測定限界。4月27日から28日にかけての激しい温度上昇と変化が記録された時にb1が完全に閉塞したと考えられる。それ以前は噴気の温度であるが、それ以後は土砂の温度に相当する。

継続している。上向きの噴気孔 b2 および b3 が生じたことで、直径 10m 以上の B クレーターが生じて、それが拡大している。クレーターの底には天水がたまるのみならず、沢からも地表水が流れ込む。クレーターはダムとしてこれらの水を貯め込むため、決壊した場合には 100 近い泥水が一気に下流に流れることになる。

吉岡地域には別荘地があり、最も地熱地に近接している住居は、地熱地 A の噴気孔の数 m 西側にある。ここには駐車場や石垣に生じた亀裂から熱水や噴気が吹き出している箇所もあり、すでに居住するに不適切な状況になっている住居もある。別荘地全体としては、地熱地とは小さくゆるやかな尾根状地形をはさんでいるが、小規模な斜面崩壊等によって地形が変化した結果 B クレーターの泥水が流れ込む可能性がある。また、現在の地形に沿って B クレーターの泥水が大量に流れ出した場合は、下流の長野集落の水田に流れ込む可能性がある。従って、B クレーターに水がたまらないように、クレーター内の泥水を排水する設備の整備が必要である。同時に、定期的な地熱地の観察や監視体制を継続することは今後も重要である。新村 (2007) で報告した通り、火山灰や土砂の放出など、一時的なイベントをとらえるために、ライブカメラを設置して動画をインターネットで配信している (NPO 阿蘇ミュージアムホームページ)。吉岡地域は標高 800m 程度の山地にあり、悪天候の場合は霧に覆われてしまい、カメラからの映像で噴気の様子を確認することができない。2007 年 5 月における b1 噴気孔の閉塞の様子は、上記の理由でカメラから確認することができなかった。また、噴気の見かけの大きさは風向き、気温、湿度によって大きく左右されるため、噴気の見かけの大きさを噴気活動の強さと直接対応付けることが難しい。しかしながら、火山灰の噴出や噴気の変化は天候の問題がなければ、カメラの映像から十分に把握することができるため、今後もカメラからの観測を継続する必要がある。

謝辞

本研究は、平成 19 および 20 年度熊本学園大学産業経営研究所調査研究費を使用した。また、本研究費を使用して平成 19 年に設置した吉岡地域の噴気観測のためのライブカメラは、本報告書を執筆している平成 21 年 11 月現在も継続して稼働している。これは長陽パークゴルフ場の松野裕治様および NPO 阿蘇ミュージアムのご協力によるものである。

参考文献

- 池辺伸一郎・藤岡美寿夫 (2001) : 文化十三年 (1816) の阿蘇「湯の谷大変」 古文書・絵図資料による水蒸気爆発記録, 火山, 46, 4, pp. 147-163.
- 三好雅也・長谷中利昭・佐野貴司 (2005) : 阿蘇カルデラ形成後に活動した多様なマグマとそれらの成因関係について. 火山, 50, 269-283.
- NPO 阿蘇ミュージアム
[<http://www.npo-aso.museum/>]
- 小野晃司・渡辺一徳 (1985) : 5 万分の 1 阿蘇火山地質図, 地質調査所.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2006) : 阿蘇吉岡および周辺地区の噴気ガス組成, 第 105 回火山噴火予知連絡会資料.
- 新村太郎 (2007) : 南阿蘇村吉岡地熱地帯における新たな噴気活動と温度の連続測定, 熊本学園大学論集『総合科学』, 13 (2), 49-67.
- 寺田暁彦・須藤靖明・吉川 慎・井上寛之 (2007) : 阿蘇火山吉岡温泉で 2006 年に起きた地熱活動の定量的評価. 火山, 52, 335-340.
- 山崎達雄・林 正雄・古賀昭人・野田徹郎・福田道博 (1978) : 阿蘇カルデラ湯の谷地熱地域の蒸気井とその探査. 地熱, 15, 205-216.
- 湯原浩三・牛島恵輔 : 阿蘇垂玉 (1980) : 湯の谷地域放熱量調査報告, 地質調査所月報, 31, 11, 553-566.