

栗駒山の火山活動に誘発された 2008年岩手・宮城内陸地震
—地域連携による火山活動の監視—

土 井 宣 夫 ・ 佐々木 信 良 ・ 千 葉 幸 也 ・ 岩 館 晋

岩手大学教育学部研究年報 第 74 卷 別刷
平成 27 年 3 月

Reprinted from the Annual Report of
the Faculty of Education, Iwate University, Vol.74
March 2015

栗駒山の火山活動に誘発された 2008年岩手・宮城内陸地震 —地域連携による火山活動の監視—

土井 宣夫* ・ 佐々木 信良** ・ 千葉 幸也** ・ 岩 館 晋***

(2014年9月2日受付, 2014年12月22日受理)

1 はじめに

栗駒山は、過去1万年間および100年間の火山活動度にもとづく気象庁の活火山区分によると、ランクBに属する火山である。栗駒山は、1744年と1944年に噴火の記録がある(気象庁編, 2005, 2013; 及川, 2012)。1744年噴火では、水蒸気爆発による火山泥流が発生し、岩手県磐井川を流下して下流域で氾濫した。この後、磐井川を温泉水が流れ、河川水を利用していた一関市内の用水・水田で硫黄臭があった。また、1944年噴火では、小規模な水蒸気爆発の後、昭和湖火口から強酸性水が流出し、その後、須川温泉源泉からの流出にかわって、磐井川流域から北上川の一部では、3年間にわたって酸性水被害に悩まされた(土井, 2006ほか)。このような噴火災害の実績からみて、将来の栗駒山噴火において、同様な被害の発生が予測されることから、一関市は、噴火に備えた取組みの必要性が高い。

栗駒山北側山腹の昭和湖を含む地域は、完新世に噴火を繰り返してきた地域で、現在も噴気活動が活発である(土井, 2006; 図1a)。1994年には、昭和湖付近で火山ガスの影響による植物の枯死が確認され、その後、植物の枯死は周辺地域に拡大し続けた。さらに、昭和湖の湖底および湖岸から湧出する火山ガスは、湖水に溶解して白濁化させるようになった。この白濁度が次第に増したことから、火山活動の推移が注目された(土井, 2008)。また、国土地理院が栗駒山南山腹耕英地点に設置した電子基準点(GPS)では、2004年から南東方向への移動と隆起が観測された(国土地理院, 2009, 2010)。この地殻変動の発生原因として、栗駒山直下のマグマ溜りの膨張による可能性と、活断層の前兆すべりによる可能性が指摘された(村上, 2008)。こうした火山活動の状況から、栗駒山の監視強化の必要性が認められ、気象庁は2006年10月から耕英で新たに地震観測を開始した。

こうした中、2008年6月14日、栗駒山の北東地点を震源(北緯39度01.8分, 東経140度52.8分, 深さ8km)とする岩手・宮城内陸地震(マグニチュードM7.2; 以下この地震を2008年地震と記す)が発生し、奥州市および宮城県栗原市で震度6強を記録した。この地震

* 岩手大学教育学部自然地理学研究室, 〒020-8550 岩手県盛岡市上田3丁目18番33号

** 一関市消防本部, 〒021-0053 岩手県一関市山目字中野140-3

*** 岩手県総合防災室(現:県土整備部), 〒020-8570 岩手県盛岡市内丸10-1

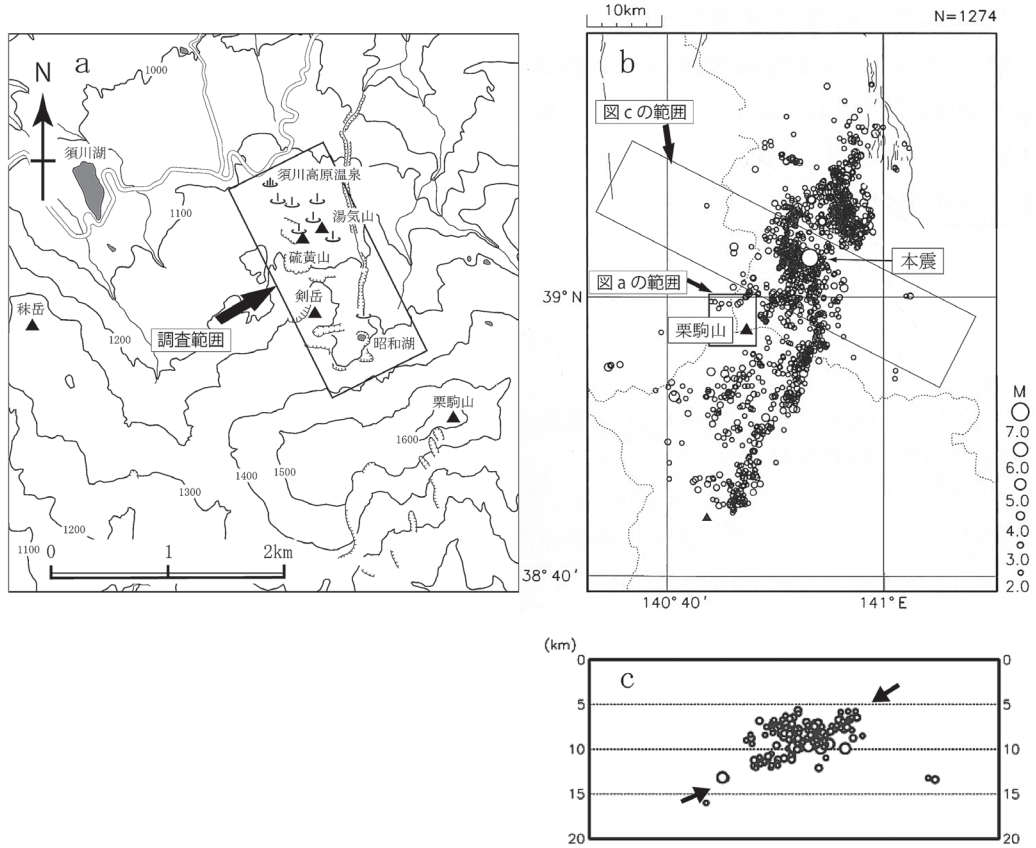


図1 調査位置図(a) および 2008年岩手・宮城内陸地震の震源分布図(b)(c)

(a) 調査は栗駒山北側山腹の噴気活動が活発な地域で行った。(b)2008年岩手・宮城内陸地震の本震とM2.0以上の余震 (2008年6月14日から6月30日間, 深さ20km以浅) の震央分布 (気象庁, 2010)。図中に, 図aの範囲および図cの震源範囲を示す。(c) 図bに示す範囲の震源を南からみた分布 (気象庁, 2010)。震源はM2.5以上の余震 (2008年6月14日から8月31日間), 矢印は震源断層の余震の配列を示す。余震の○の大きさは, 図bの凡例と一致しない。

発生を考える上で, 地震の震央が栗駒山山頂から約13kmと近接していること, 余震の断面分布から, 西傾斜の震源断層面が, 栗駒山直下の高温領域 (地震空白域; 図1b) と交差していると考えられることが, 重要な情報となった (図1c)。2008年地震の発生は, 地震前に次第に活発化していた栗駒山の火山活動と地震が密接に関係していることを明瞭に示すものであった。

2008年地震では, 栗駒山とその周辺地域に地震断層が出現し, 強い地震動によって地すべり・岩層なだれ・崩落が生じた (たとえば, 平成20年岩手・宮城内陸地震4学協会東北合同調査委員会編, 2009)。震源域の東側には南北方向に断続し, 西傾斜の地震断層 (逆断層) が複数列に出現した (たとえば, 鈴木ほか, 2008; 遠田ほか, 2011; 丸山ほか, 2011)。この地震断層は, バイプロサイスをを用いた反射法地震探査の結果, 地下1km程度まで, 西傾斜の断層として追跡された (東京大学地震研究所ほか, 2008)。また, 震源域西側では, 栗駒山山頂の北側に逆断層が出現し, 山頂南側には複数の正断層が生じて山頂側が沈降した (土井ほか,

2009)。栗駒山北側山腹の噴気地は、強い地震動によって巨礫が転動するなどして噴気状況が大きく変化し、噴気温度および泉温の低下と、その後の噴気温度の急速な回復などが観測された。

一方、須川高原温泉から山頂にむかう登山道（須川ルート）を多くの登山者が利用する。この登山道脇の地獄谷^{注1}噴気から噴出する有毒の硫化水素が登山道に流れることから、登山者の安全を確保するうえで、地元一関市は、大気中の硫化水素濃度の監視を行う必要があった。

一般に、火山噴火に備えて行われている気象庁・大学・国立研究所の高精度の機器観測（地震計・傾斜計・GNSS（Global Navigation Satellite System）・合成開口レーダーなど）は、マグマなど火山性流体の膨張源や移動などを検出して、噴火予測を行ううえで重要である。しかし、火山性の熱異常や火山ガスの放出と、その人体・植物への影響などに関する情報は、機器観測では取得が難しく、現地の定期的な調査や計測が必要である。

こうした現地調査・計測は、気象庁機動観測班による活動だけでは低頻度のため不十分であることから、一関市は独自の調査が必要であると考え、実現に向けて岩手県総合防災室に相談した。2004年から栗駒山の山体の膨張が観測されていることに危機感を抱いていた土井（当時、岩手県総合防災室）は、両機関が連携して調査を行うことを計画し、合意を得て、2006～2013年まで年2回（春季と秋季）、計16回の現地調査が実施された。また、2006～2013年に岩手県防災ヘリコプター「ひめかみ」を用いた9回の機上観測が実施された。

その結果、栗駒山北側山腹の噴気活動等の地表面現象の実態と、登山道における硫化水素濃度の状況がはじめて明らかになり、さらに、栗駒山の火山活動が2008年地震を誘発したことが推定された。本論では、地表面現象の状況と推移、ならびに栗駒山の火山活動と2008年地震の関係を述べる。

注1 昭和湖北側の噴気のあるゼッタ沢支流の名称は、「地獄谷」と「地獄沢」の2つがある。

本論では、岩手県と一関市が使用する「地獄谷」の名称を用いる。

2 栗駒山北側山腹の噴気地の監視

栗駒山北側山腹には、山頂側（南側）から山麓側（北西側）にむかって、昭和湖、地獄谷噴気、硫黄山噴気、湯気山噴気、登山道広場噴気、おいらん風呂噴気、蒸湯噴気、および須川高原温泉源泉が並ぶ（図2）。これらは北西—南東方向に配列しており、この配列の南東延長上には、栗駒山山頂をはさんで、宮城県側の新湯と駒ノ湯温泉が配列している。

栗駒山北側山腹の噴気地で硫化水素を多く含む噴気は、地獄谷噴気と硫黄山噴気である。これらの噴気温度は92～96℃と高く^{注2}、噴気孔には硫黄の晶出がある。また、噴気孔周辺に硫黄シンターが生成している。一方、湯気山噴気、登山道広場噴気、おいらん風呂噴気、および蒸湯噴気は、ほとんど硫化水素臭がなく、噴気温度も78℃以下である。

栗駒山北側山腹の噴気地における噴気温度は、昭和湖（山頂）側から山麓側に向かって96℃から25℃まで順次低下する（図3）。須川高原温泉源泉は、北端の蒸湯噴気地のすぐ北側にある。また、噴気温度は、気温の低い春季が秋季よりも低い傾向が認められる。これらとは別に「ゼッタ沢の滝（仮称）」^{注3}では、谷壁面から湧出する冷地下水から硫黄沈殿物が生成

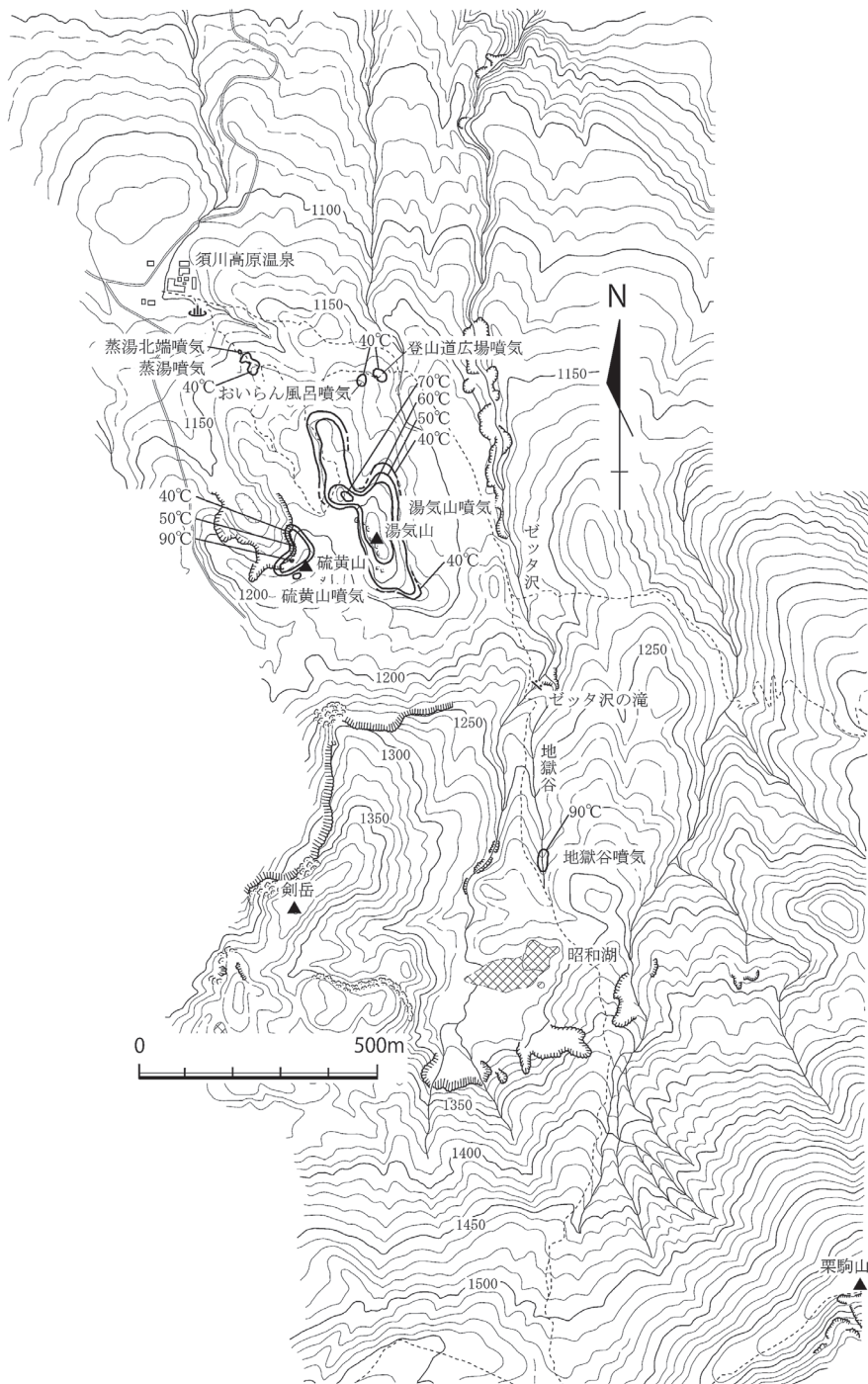


図2 栗駒山北側山腹の噴気地における2006年の噴気温度の等温線(土井, 2008)
 地獄谷噴気と硫黄山噴気の温度は90℃以上である。蒸湯北端噴気を加筆した。

栗駒山の火山活動に誘発された 2008 年岩手・宮城内陸地震

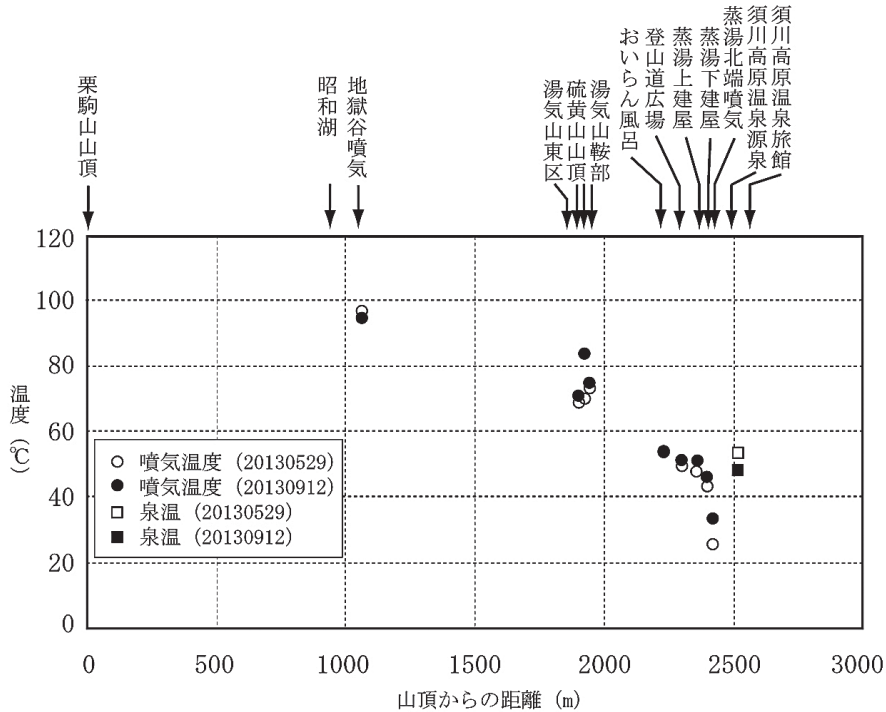


図3 山頂からの距離による噴気温度・泉温の変化

噴気温度は昭和湖から北西に離れるにしたがって低くなる。須川高原温泉源泉は噴気地列の北端にある。

している。

次に、昭和湖から須川高原温泉源泉まで、噴気地の配列の順に、現地状況と経時変化を述べる。

(1) 昭和湖 昭和湖は1944年噴火口で、水深が12.0mある(加藤, 1978)。昭和湖の湖岸の形状は、少なくとも3個の火口が組み合わさっていることを示す(図4a)。かつて昭和湖の湖水は、西側の浅い谷(低地)を流れてゼッタ沢に合流していた。1997年、森林管理所が昭和湖の水位を安定させることを目的に設置した堰堤(高さ1.5m)により、昭和湖は、湛水した西側低地と連結して、ひょうたん型の湖になった(図4a)。

昭和湖は、その北側から北西側に広がる平坦な台地に火口を開いており、火口壁が急傾斜で、火口の形成が新しいことを示している。昭和湖の南東側には、それぞれ17m程度の直径を有する、急傾斜の火口壁をもち透明な湖水を湛える火口(C1)と、崩落土砂で埋没した火口(C2)がある(図4a)。

昭和湖は、現在(2013年)灰色の地肌がむき出しで、低木が生育する周囲の景観とは大きく異なり、特異である。植物の枯死は、湖底の一部と北東湖岸から放出される硫化水素によるもので、風の弱い日は、火口内の湖水面付近のガス濃度が高くなる。湖水に溶解する硫化水素は、硫黄微粒子を生成し、湖水を白濁化させる。湖水の色調は、1992～1993年頃から変化してきており、色調変化から火山ガスの放出量の変化を監視することが可能である(後述)。

昭和湖の湖底・湖岸から放出される火山ガスは、水蒸気を伴わない。2007年5月8日の雪



図4 昭和湖および地獄谷噴気地

(a)1944年火口の昭和湖は、湖の右側の部分(S)である。湖左側は堰堤の建設で湛水した。昭和湖の手前に2つの小火口(C1, C2)がある。2008年9月25日撮影。(b)昭和湖(S)北側の地獄谷噴気地(J)。高温域が融雪している。2013年11月14日撮影。(c)地獄谷噴気地を北から望む。谷の上流谷底に水蒸気の目立つ噴気がある。右側の谷壁上が登山道(須川コース)。2007年10月1日撮影。(d)地獄谷噴気地の代表的な噴気。2007年10月1日撮影。写真はいずれも土井宣夫撮影。

氷下の透明度の高い湖水は、pH3.64、電気伝導度7.12mS/m、体積抵抗率138.4Ω-mであった(東亜DKK社製WM-22EPで土井測定)。

(2)地獄谷噴気 地獄谷噴気は、昭和湖北側のゼッタ沢支流地獄谷の上流にある噴気地である(図2, 4b)。栗駒山北側山腹の噴気地の中では最も活発で、硫化水素を含む噴気をあげている。噴気地の西脇を登山道(須川ルート)が通り、噴気が登山道に流れると、登山道において強い硫化水素臭がする(図4c)。地獄谷の谷中は、硫化水素臭が漂い、裸地になっている。この裸地の両岸は、硫気環境を好むヤマタヌキラン・ススキ(森林総合研究所杉田久志博士の鑑定による)からなる草地で、この外側に樹林帯が分布している。

地獄谷噴気地は、東西約25m、南北約35mの範囲に多数の噴気孔が分布する(図4c)。噴気測定が可能な噴気孔の数は、最大100個(2013年)から最少10数個(2010年)であった。上流寄り谷底にある噴気孔は、水蒸気を最も多く上げている(図4d)が、最高温度を示す噴気孔は、西(左岸)側の谷壁にある。2003年、最高温度を示す噴気孔の、水蒸気を除く火山ガス組成は、硫化水素と二酸化炭素を主として、二酸化硫黄が少なく、塩酸は含まれない(平林・野上、

栗駒山の火山活動に誘発された 2008 年岩手・宮城内陸地震

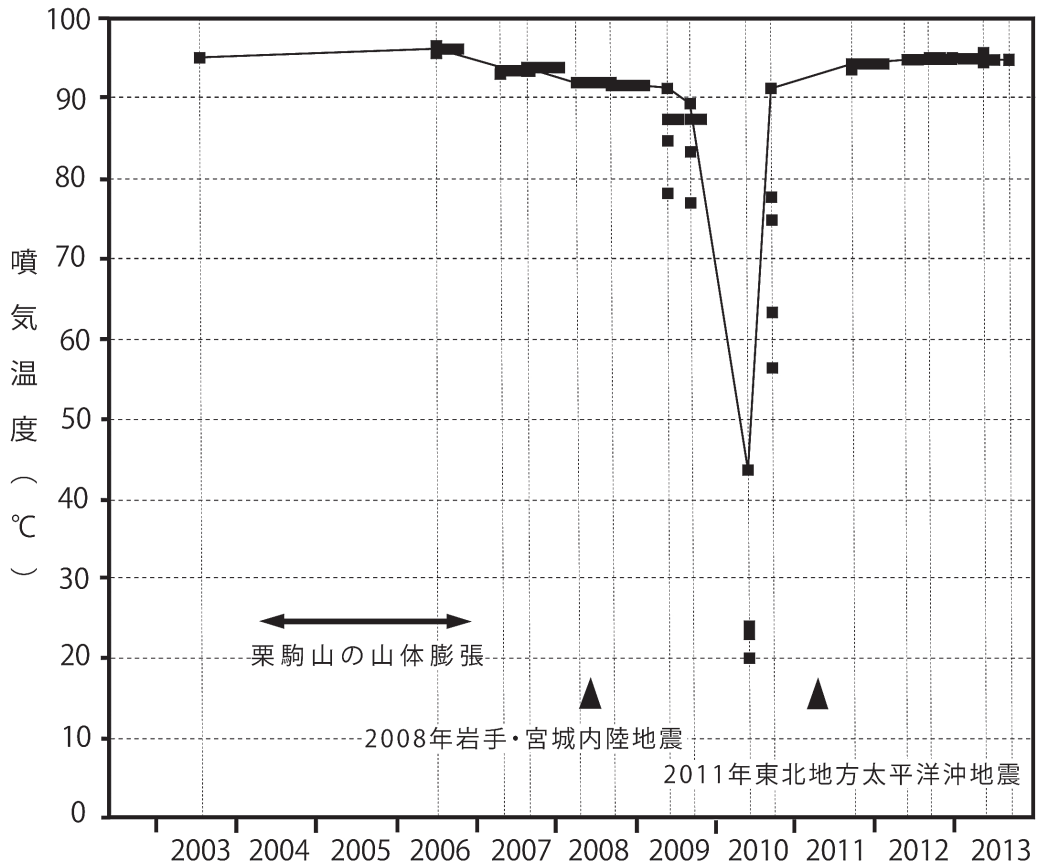


図5 地獄谷噴気の噴気温度の経年変化
高温側5個の温度値を用いて作成。

2003)。

図5に噴気温度の高温側5個の値を用いて温度の経年変化を示した。噴気温度は、1992年、95°C (仙台管区气象台, 1993) ; 2003年、95-96°C (平林・野上, 2003) ; 2006年、96.3°Cである。噴気温度は、2007年5月からゆるやかに低下し、2009年9月89.0°Cを示した後、2010年9月43.6°Cまで急激に低下した。この時、周辺の噴気孔の噴気温度は25°C以下で、測定可能な噴気孔の数も減少した (前述)。この後、噴気温度は2010年9月91.6°C、2011年9月94.4°Cと急激に回復した。

(3) 湯気山噴気 湯気山噴気は、剣岳の北側にある平行した2つの細長い尾根部とそれらの間の鞍部にある。これらを合わせた噴気地は、南北約450m、東西最大幅が約170mにおよぶ (図2)。本論では、記載の都合上、東側の細長い尾根を湯気山東区噴気地、西側の細長い尾根を湯気山西区噴気地、これらの鞍部を湯気山鞍部噴気地とそれぞれ仮称する (図6a)。湯気山噴気の西側には硫黄山噴気がある。

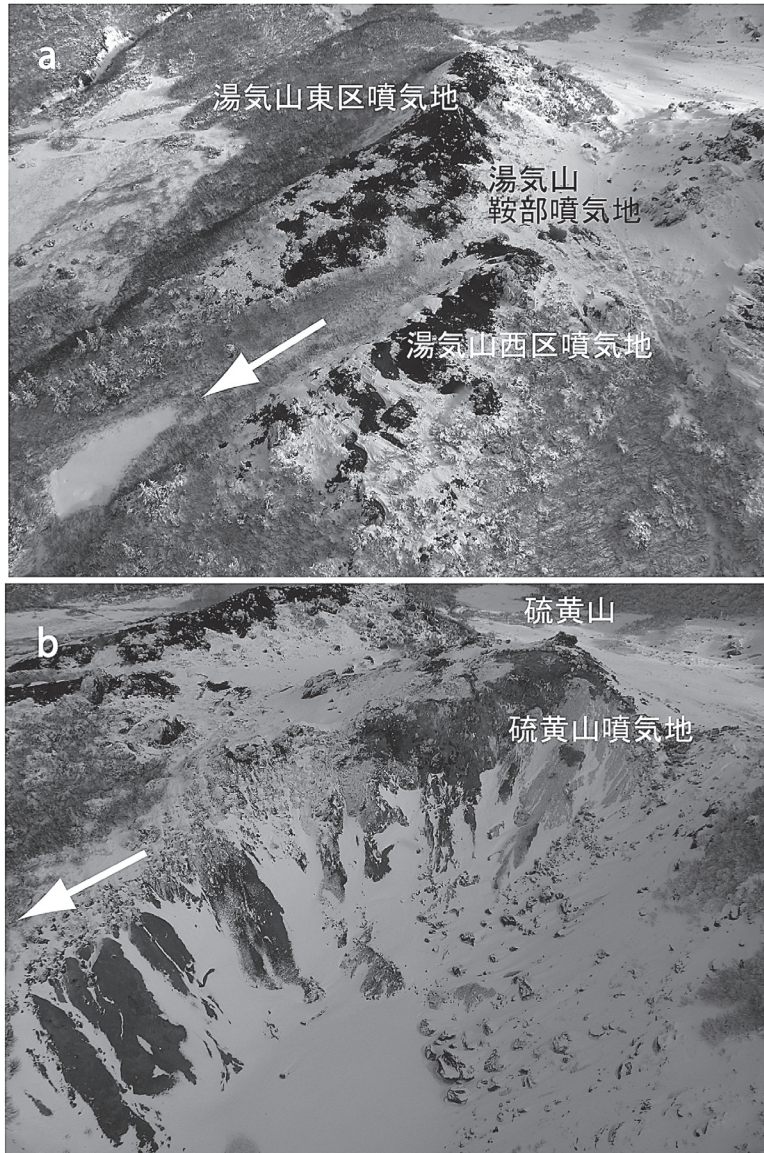


図6 湯気山と硫黄山の噴気地

両噴気地とも高温域が融雪している。(a) 湯気山噴気地は湯気山東区噴気地、同鞍部噴気地、および同西区噴気地（いずれも仮称）からなる。(b) 硫黄山噴気地は、北に開く凹地の東側崖面から山頂部にある。矢印は北を指す。写真はいずれも2013年11月14日土井宣夫撮影。

湯気山噴気地は、東区・西区・鞍部とも多数の噴気孔があり、湯気山東区噴気地の10数ヶ所から水蒸気が上がるのが遠望できる。噴気孔はその多くが直径1～数mの巨礫の縁にある。湯気山東区噴気地と湯気山鞍部噴気地の巨礫の多くは、2008年地震の強振動によって転動し、噴気孔の位置や孔径が大きく変化した（図7a）。

栗駒山の火山活動に誘発された 2008 年岩手・宮城内陸地震



図 7 噴気地および温泉湧出地の状況

(a) 湯気山鞍部噴気地の直径1.2mの噴気孔。孔は2008年地震の地震動で生じた。2012年9月13日撮影。
(b) 硫黄山山頂の噴気地を北から望む。噴気地は硫黄で淡黄色を呈する。2012年9月13日撮影。
(c) 登山道広場噴気地。礫の縁から弱く噴気している。2012年9月13日撮影。
(d) おいらん風呂噴気地。弱く噴気している。2009年9月11日撮影。
(e) 蒸湯噴気地。礫の縁の孔から弱く噴気している。後方は蒸湯上建屋。2012年9月13日撮影。
(f) 須川高原温泉源泉の最大の湧出口。黄白色硫黄沈殿物がある。2012年5月19日撮影。写真はいずれも土井宣夫撮影。

湯気山噴気の最高温度は77.7℃(2007年10月)で、硫化水素臭はほとんどない。2007年以降、噴気温度に大きな変化はない(図8)。

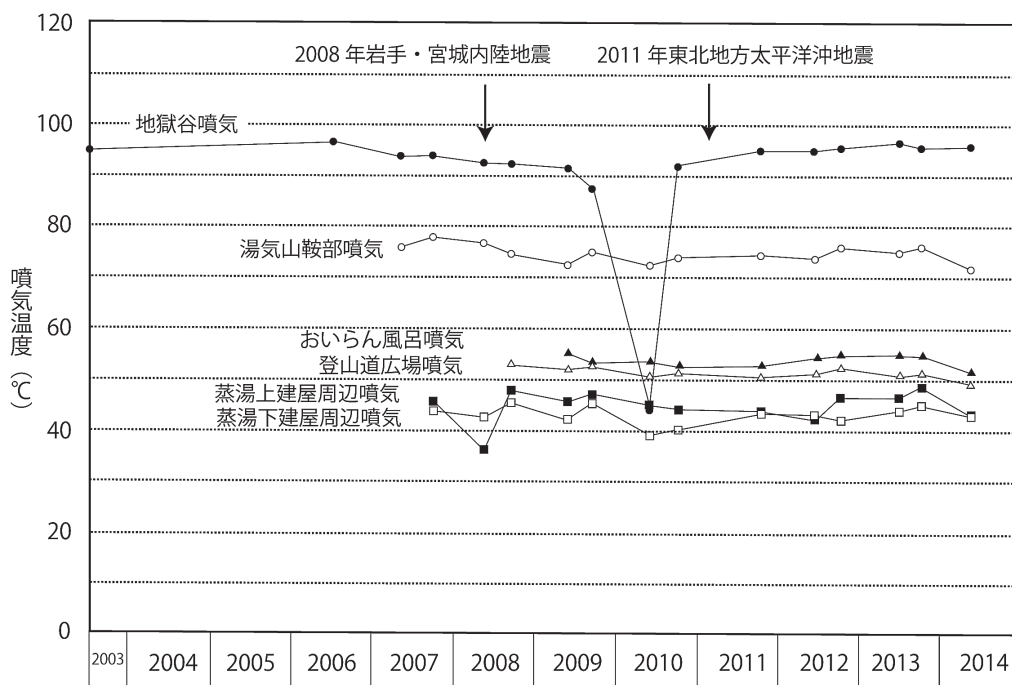


図8 6噴気地の噴気温度の経年変化

(4) 硫黄山噴気 硫黄山噴気は、硫黄山山頂から北に開く馬蹄形凹地（硫黄鉱山跡）の東側の断崖から山頂部にあり、噴気孔は3ヶ所ほど確認される（図7b）。山頂部の噴気孔の温度は、92.1°C（2007年5月）であった。

硫黄山噴気地は、断崖に噴気があって、噴気温度の測定に滑落の危険を伴うため、主に深さ10～15cmの地温測定を実施している。硫黄山山頂部は硫化水素臭が強く、断崖上端には硫黄シンターが生成している。

(5) 登山道広場噴気 登山道広場噴気は、須川高原温泉と名残ヶ原湿原間の登山道沿いにある。ここは湯気山西区尾根の北の延長が北東に張り出した地点にある。西側の近接地点においらん風呂噴気がある。

噴気孔は、登山道沿いの広場やその北側の草地内の巨礫の縁に計20ヶ所ほど分布し、そのいくつかは低い噴気を上げている（図7c）。硫化水素臭はない。噴気最高温度は53.1°C（2008年9月）で、2007年以降、噴気温度に大きな変化はない（図8）。

(6) おいらん風呂噴気 おいらん風呂噴気は、須川高原温泉と名残ヶ原湿原間の登山道から南に樹木帯を数mぬけた尾根部にある。本噴気地は、湯気山西区尾根の北の延長が北東に張り出した地点にあり、東西約10m、南北約20mの裸地～草地である（図7d）。

噴気地には30個ほどの噴気孔がある。噴気地の東寄りに南北方向の地割れがあり、これに沿って噴気孔が並ぶ。噴気最高温度は54.7°C（2009年5月）で、硫化水素臭はない。2007年以降、噴気温度に大きな変化はない（図8）。

(7) 蒸湯噴気 蒸湯噴気は、湯気山西区尾根の北西延長上にある。須川高原温泉南の登山道

(須川コース) 沿いの樹林帯内に、蒸湯用の建屋が2つあった。上側の建屋は、2008年地震で大きく損壊し、噴気温度も低下していたため、その後取り壊された(図7e)。

噴気孔は巨礫の縁に多数あり、噴気孔周辺の狭い範囲が裸地化している。蒸湯噴気地の北端にある噴気を蒸湯北端噴気と仮称する(図2)。蒸湯噴気の最高温度は47.5℃(2006年7月)で、硫化水素臭はない。2007年以降、噴気温度に大きな変化はない(図8)。

(8) 須川高原温泉源泉 須川高原温泉の源泉は、湯気山西区尾根の北端にあり、通称「大日岩」の巨岩をはじめとする巨礫からなる尾根の中部から下部に7～8ヶ所の湧出点がある。温泉水の湧出量と泉温は季節変動し、春季は湧出量が多く泉温が高く、秋季は湧出量が少なく泉温が低い。また、高位置の湧出口ほど泉温は高い。ただし、最高位の湧出口は秋季には温泉湧出が停止する。湧出した温泉水は、湧出口では淡黄白色の硫黄沈殿物を生成し、温度が低下する下流側の側溝では緑色沈殿物(明礬沈殿物)を生成している。硫化水素臭が漂い、湧出口周辺は裸地～草地である(図7f)。

図9は、泉温と湧出量の経年変化を示す。泉温は、2008年から須川高原温泉株式会社により、5～10月の毎日9:00頃と14:00に測定され、その平均値を1日の代表値としている。また、湧出量は、浴用温泉水が採取された後のすべての温泉水が集まる側溝において、流速を簡易測定して計算で求めている。

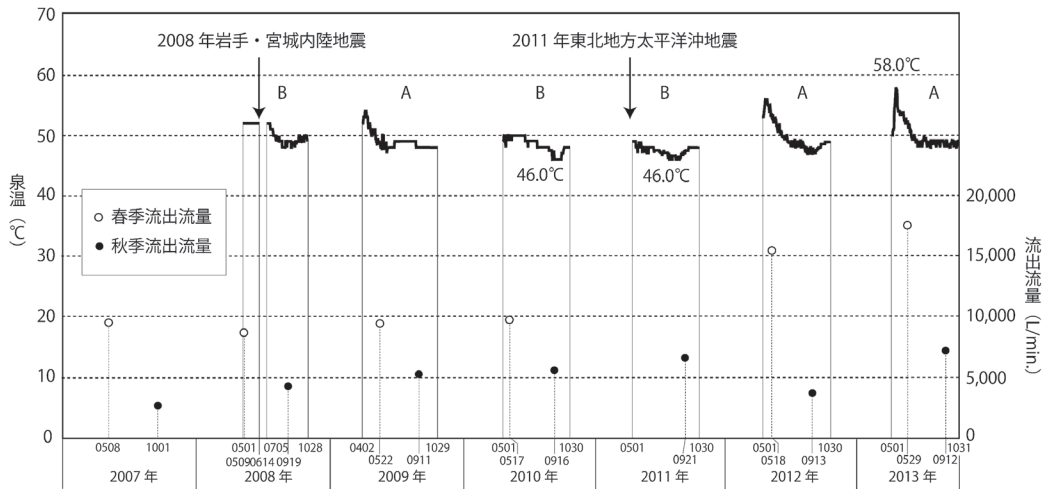


図9 須川高原温泉源泉の泉温および湧出量の経年変化

泉温は9:00と14:00の定時に定点測定した温度の平均値で示す。図中Aは4～5月にピーク温度値を観測した年、Bは5月以降にピーク温度値を観測しなかった年を示す。上段の温度値は最高温度、下段の温度値は最低温度を示す。湧出量は全湧出量から浴用に供する流量(ほぼ一定量とみられる)を除いた流量である。流量測定はすべての温泉水が集まる下流の側溝で測定している。

須川高原温泉源泉の泉温は、5月に最も高く、9月まで低下した後、10月に若干上昇する。2008年以降、5月に最高温度値(未測定の冬季間を含む1年間のピーク値とみなされる)が確認される年Aと、それが確認されない年Bが識別される。泉温の最高値は58.0℃(2013年5月)、最低値は46.0℃(2010年、2011年)である。2010年は、既述のように、地獄谷噴気の最低温度が観測された年である。

温泉水の春季と秋季の湧出量は、2007～2011年の間は類似した値を示す。2012年と2013年は、5月の湧出量がそれまでの年と比較して1.5倍以上の値を示すが、この理由は不明である。

注2 栗駒山北側山腹の噴気地は、それぞれ多数の噴気孔が分布している。このため噴気温度の測定は、本監視調査に多数の調査員（各回とも5～10名）が参加していることを生かして、確認される噴気孔のほぼすべてにサーミスタ温度計を深さ数cm～10cmさし込み、噴気温度を測定した。そして測定された最高温度をもって噴気地の噴気温度とした。この測定方法は、噴気孔の温度が変わりやすく、毎回最高温度を示す孔を探す必要があるという、噴気地の特性に対応したものである。なお、地獄谷噴気の調査は、硫黄系ガスフィルターを装着したガスマスクを着用して実施した。

注3 「ゼッタ沢の滝」は、ゼッタ沢本流と地獄谷が合流する地点にある。登山道（須川ルート）はこの滝の脇を通過する。

3 2008年岩手・宮城内陸地震前後の栗駒山の地表面現象の変化

栗駒山北側山腹の火山活動の示標として、地表面への火山ガス放出量の変化を示す、①昭和湖の湖水の白濁度、②植物の枯死の発生がある。また、地表面への水蒸気量ないし水蒸気温度の変化を示す、③噴気温度・泉温の変化がある。本章は、これらの示標の変化を示す図10を中心にして、次の点を明らかにする：i) 栗駒山の火山活動は1990年代初め頃に始まり、2006年にピークに達したこと、ii) 2007年に突然として火山ガス量と水蒸気量が減少し、その後2008年地震が発生したこと、iii) 地震後は火山ガス放出量、水蒸気量とも再び増加し始めたことである。

3-1 2008年地震前の地表面現象の変化

1981年夏、昭和湖の湖水は、透明で白濁化しておらず、湖岸付近の湖底がはっきり見えている（松田忠昭氏提供写真による）。1992年、湖水は弱く白濁化するが、1993年頃、湖底から泡を噴出するようになって、湖水はそれまでの濃い青色から白濁するようになった（土井、2006；図11）。湖水は1997年から1998年7月27日までは青色で、湖岸付近の湖底が見えている（図11）。湖水は1998年から白濁度が増してゆき、2003年の一時期を除いて、2006年まで白濁度が高く、湖岸の湖底はまったく見えない状態が続いた（図11）。なお、2003年の湖水は、同年7月26日宮城県北部地震の後、緑色を帯びた乳白色（同年8月13日）から青色（同年10月12日）に変化し、透明度が増して湖岸の湖底が見えていた。

ところが、2007年5月、湖をおおう雪氷下に見える湖水は、透明度が高く、同年10月の湖水は、青色を呈して透明度が高く、湖岸付近の湖底を確認することができた（図11）。2008年5月、雪氷下の湖水はやはり透明度が高く、2007年から火山ガス放出量が減少したことが確認された。

次に、植物の枯死についてみる。1981年夏、松田忠昭氏提供写真によると、昭和湖の湖岸は低木が生育していたが、1994年、昭和湖北岸で植物が枯死しているのが確認される（図

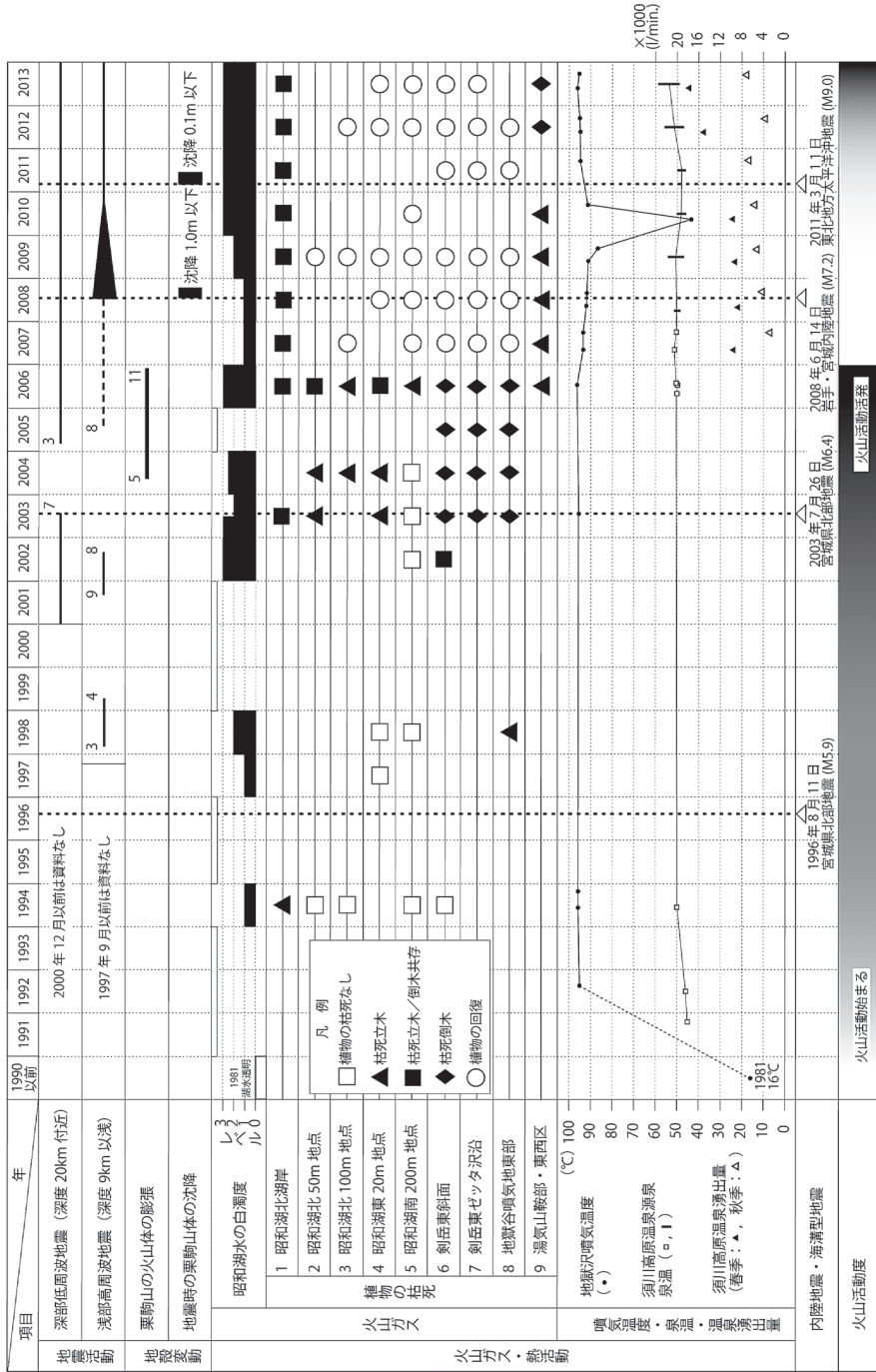


図10 栗駒山の火山活動の経緯

地震活動は気象庁資料による。地殻変動は国土地理院 (2009, 2010), 福島ほか (2008), 高田 (2014) による。昭和湖水の白濁度および植物の枯死は土井 (2008) の図に2007年以降の新資料を追加。白濁度の資料が得られていない年は欄上部に白線で示す。1981年の湖水は透明であった。噴気温度・気温は仙台管区気象台 (1982, 1993, 1994MS), 東北大学理学部地震予知・噴火予知観測センター (1995), 平林・野上 (2003) に新資料を追加。気温は単一測定値 (白四角) と5~10月の毎日測定温度の幅 (大線) で示す。



図11 昭和湖湖水の色調変化（1）

写真の撮影日を年月日の順に示す。2002年以降は白濁化が進む。2007年10月、湖水は青色を呈する。1994～2002年は千葉幸也撮影，2003年以降は土井宣夫撮影。

10)。その後、枯死域は剣岳東斜面（図12a, b），地獄谷噴気地東部（図12d）に広がり，2003年には昭和湖周辺（図12e），ゼッタ沢沿い（図12c），2006年には昭和湖南方（図12f）に拡大して，枯死域の面積は最大になった。

2006年の植生分布（図13）をみると，噴気地と火山ガス濃度が高い地域は裸地であり，それを取り巻いて草地在り分布する。草地の植物は硫気孔周辺に特有の植物（ヤマタヌキラン・ススキ）からなる。草地の外側は樹林帯である。新たな枯死域は，草地と樹林帯の境界付近に発生し，秋季の調査で枯死木が確認されるかたちで出現した。これは，火山ガス放出量が増加し

栗駒山の火山活動に誘発された 2008 年岩手・宮城内陸地震

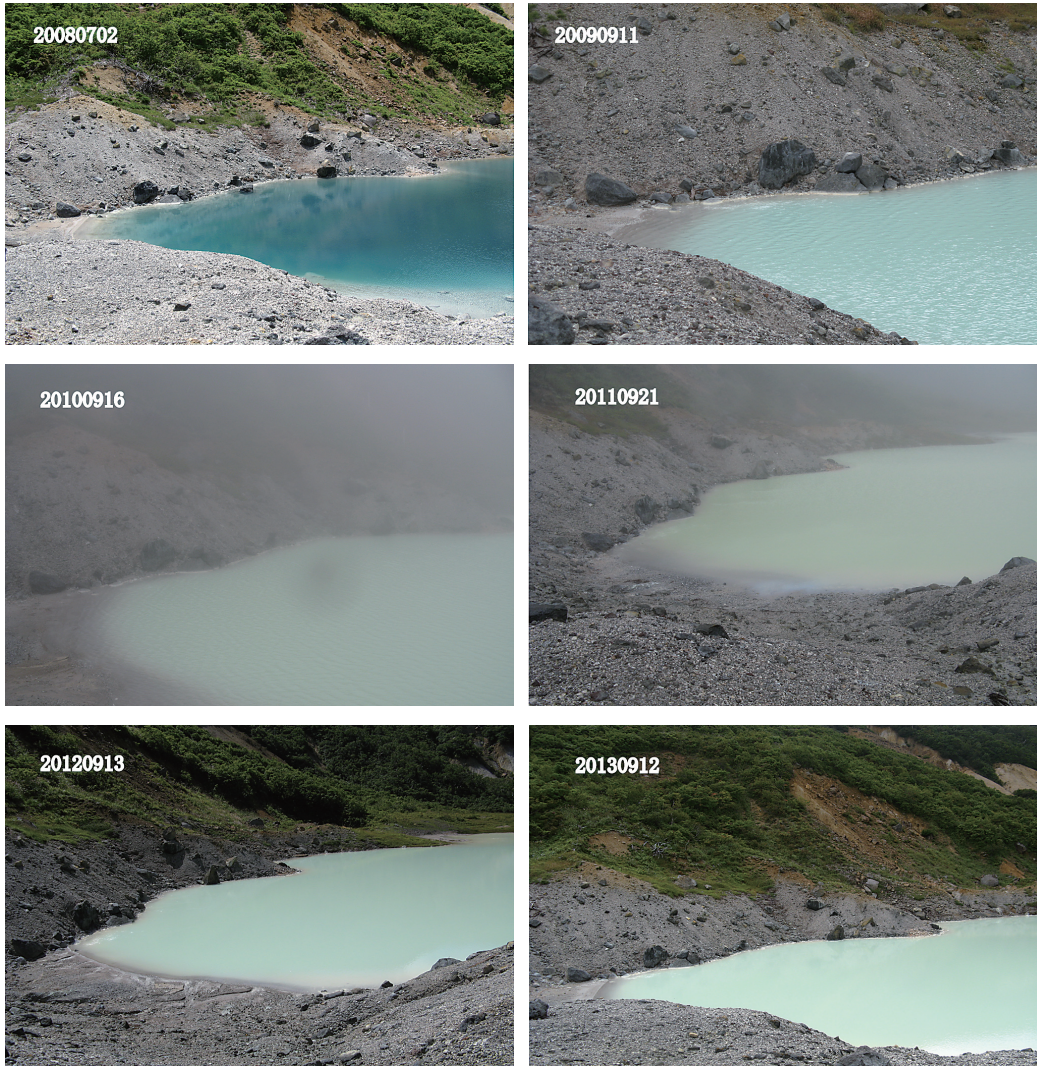


図11 昭和湖湖水の色調変化（2）

2008年7月湖水は青色を呈する。2009年以降湖水は白濁化している。

て、冬季の積雪下で樹木が枯死したことを示している。

ところが、2007年10月、剣岳東斜面で、新たな植物の枯死がなくなり、枯死した樹木の下草として、硫気孔周辺に特有の植物が生育し始めたことが確認された。植物の枯死がなくなったことは、すべての枯死域で確認された。2008年、下草の生育は、枯死域内のさらに多くの地点で確認されたことから、2007年から火山ガス放出量が減少したことが明らかになった。

次に、地獄谷噴気温度の変化をみる（図5，10）。Iwasaki *et al.* (1962) によると、1950年代末の地獄谷噴気地は、噴気が弱く、火山ガスの採取ができない程であった。また、1981



図12 2006年の植物の枯死状況

2006年枯死域の面積は最大になった。(a) 剣岳東斜面の枯死域。枯死域は東西約200mに達した。(b) 剣岳東斜面の枯死域。(c) ゼッタ沢上流に沿う枯死域。谷底は硫化水素臭が漂う。(d) 地獄谷噴気地東側斜面の枯死域。枯死域は右手の樹林中にも広がっている。(e) 昭和湖北側の枯死域。(f) 昭和湖南方の枯死域。すべて2006年7月11日土井宣夫撮影。

年、噴気孔はなく、火山ガスの滲出があるもののガス噴出孔を確認できず、深さ30cmの地温も16°Cであった(仙台管区気象台, 1982)。ところが、1992年8月、地獄谷の谷底は、南北約35m×東西約15mの範囲が地熱地帯になっていて、高さ5mの噴気があがり、噴気温度は95°Cであった(仙台管区気象台, 1993)。この後、2006年まで、噴気温度はほぼ安定して95~96°Cであった。なお、ICAO標準大気(国立天文台, 2011)にもとづく地獄谷(高度1,260m)

栗駒山の火山活動に誘発された 2008 年岩手・宮城内陸地震

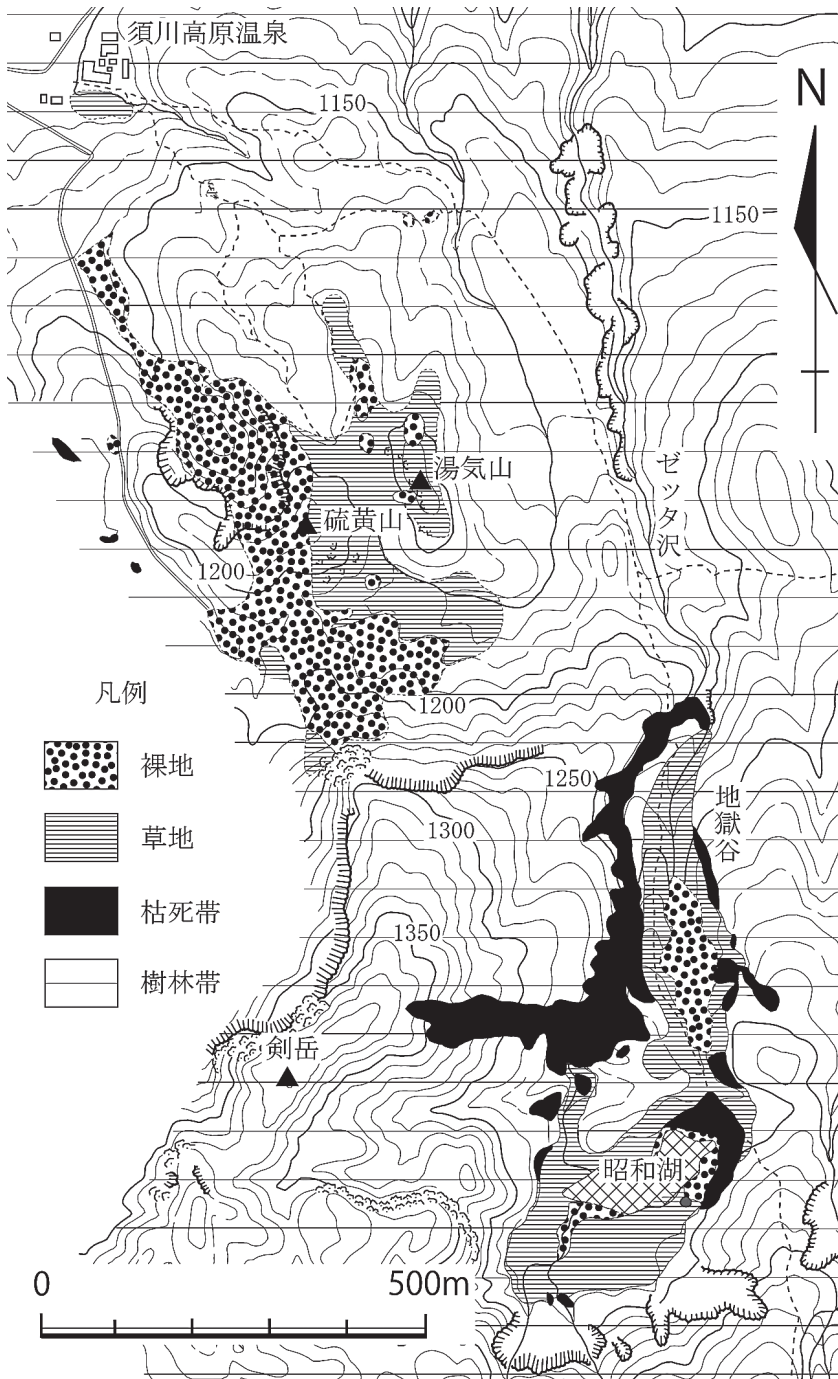


図13 栗駒山北側山腹の噴気地周辺の植生分布 (土井, 2008)

噴気地の植生は、中心から外側に向かって裸地、草地、樹林帯の順に配列する。草地は硫気孔周辺に特有の植物群からなる。枯死域は昭和湖周辺、剣岳、ゼッタ沢に沿って拡大した。

の水の沸点は、95.8°Cである。

しかし、2007年5月、地獄谷噴気の温度は93.6°Cに低下し、その後2009年9月までゆっくり低下した。

これらのことは、地獄谷噴気地では、1990年代初め頃から噴気活動が活発化して2006年まで続いたこと、2007年から2009年9月まで噴気温度がゆっくり低下して、地表面に供給される水蒸気量または水蒸気温度が低下したことを示している。

次に、栗駒山南山腹耕英に国土地理院によって設置されたGPSの観測結果をみる。GPSは、2004年5月から栗駒山の山体の膨張を記録している(村上, 2008; 図14)。山体の膨張は、2004年5月頃に始まり、2006年11月頃まで続いて停止する。その後、山体は、膨張したままの状態を2007年6月頃まで継続する。

山体が膨張した2004年5月頃から2006年11月頃までは、栗駒山の地表面現象が活発化した時期と一致する。また、2006年11月頃から2007年6月頃は、2007年に地表面現象が突然静穏化した時期に相当する。すなわち、栗駒山のマグマ溜りの膨張したままの状態の終了と、地表面現象の突然の静穏化は、ほぼ同時に発生しており、両者の間に因果関係があることを示している。

また、栗駒山の山体下の深さ20km付近で発生する低周波地震は、観測が始まった2001年以降、2003年7月の宮城県北部地震直後からの約1.5年間を除いて、継続的に観測されている(図10)。このことは、栗駒山の山体下数kmに存在が想定されるマグマ溜りに向けて、深部からマグマが供給され続けていることを示唆する。前述の、2004年5月頃からの栗駒山の山体膨張は、2003年7月の宮城県北部地震の後から始まっている。

3-2 2008年地震時および地震後の地表面現象の変化

2008年6月14日地震の後、6月16日に昭和湖を観察した自然公園管理人によると、昭和湖の湖水は、乳白色に土が混じったような茶色を呈し、この色調変化は、地震動で湖底の硫黄沈殿物がまきあげられて生じたものようであった。地震の1週間後、湖水の色調は2007年と同じ青色に戻った(土井・斎藤, 2008)。

2008年7月、昭和湖の湖水は青色であった。しかし、2009年以降は湖水の白濁化が急速に進み、2010年には2006年時点と同じ白濁度になった(図11)。

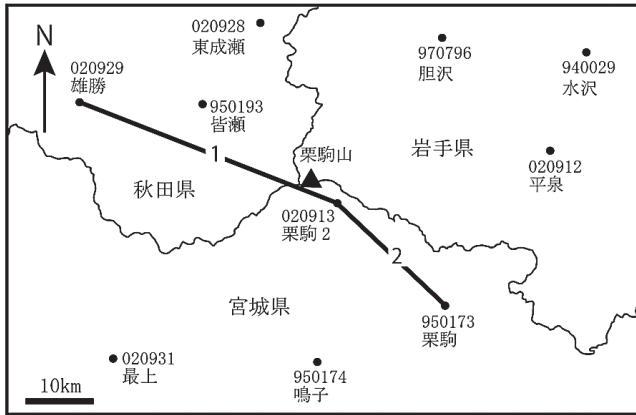
また、2006年まで植物の枯死が進んだ地域は、2007年以降、いずれも硫気孔周辺に特有の植物からなる下草の生育が進み、一部の地域では低木の生育も確認されるようになった。

一方、地獄谷噴気は、2008年地震後も噴気温度の低下が続き、2010年5月最低温度43.6°Cを記録した(図10)。しかし、噴気温度は、2010年9月91.6°Cに急上昇し、2011年9月94.4°Cとなって、2006年時点に近い温度まで回復した。また、須川高原温泉源泉の泉温は、2010年、2011年に最低温度を示し、地獄谷噴気が最低温度を示した時期と一致した。

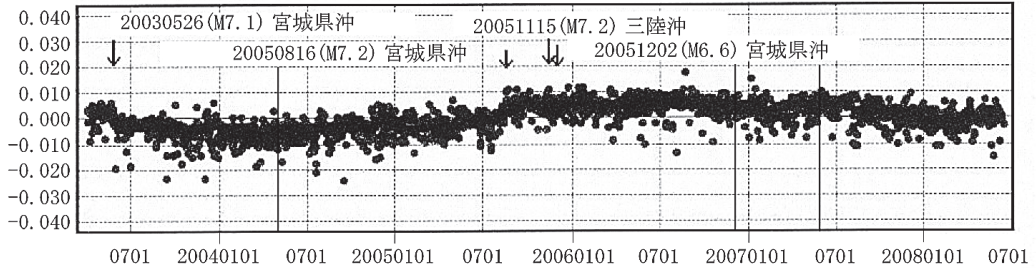
これらのことから、2007年と2008年の地表面現象は、地震の発生をはさんで、ともに火山活動が静穏な状況にあったといえる。

この後、地表面現象が2006年時点の状態に戻った時期は、昭和湖の湖水の白濁度では2010年、地獄谷噴気の温度では2011年9月、須川高原温泉源泉の泉温では2012年である。しかし、植物の枯死は、2006年に最大面積になった後、2007年以降は、昭和湖岸と湯気山噴気地を除いて確認されなくなった。また、枯死域内の下草の生育も進んでいる。

栗駒山の火山活動に誘発された 2008 年岩手・宮城内陸地震



(m) (1) 雄勝 (020929)→栗駒 2 (020913) 斜距離 基準値：36003.627m



(m) (2) 栗駒 (950173)→栗駒 2 (020913) 斜距離 基準値：18989.479m

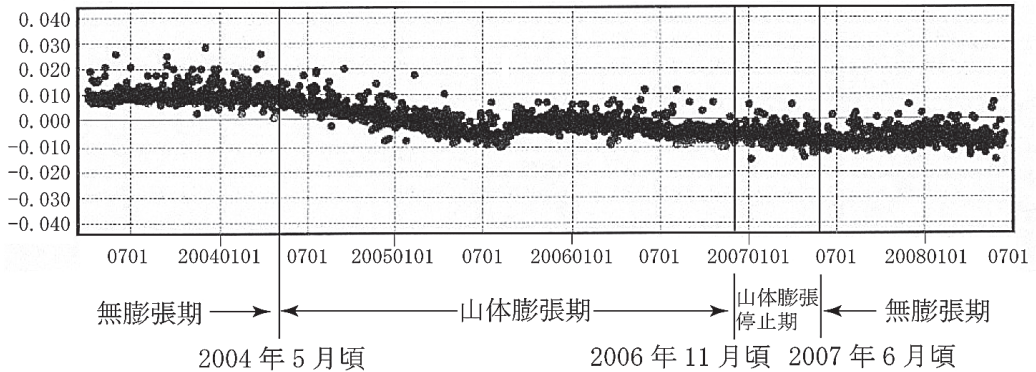


図14 栗駒山付近の GPS 観測結果 (国土地理院, 2010)

栗駒山南山腹耕英の電子基準点：栗駒 2 と雄勝間 (1), および栗駒 2 と栗駒間(2) の斜距離の 2003 年 4 月 1 日～2008 年 6 月 13 日の変化を示す。観測値には、三陸沖地震の地震動による飛びが生じている。栗駒山の地殻変動の時期区分を加筆した。

栗駒山は、2008 年地震の地殻変動で 1 m 以下沈降した (福島ほか, 2008)。この地殻変動は、地震後に現れた、上記の地表面現象の変化と関係している可能性もあるが、本論では資料を欠

いており、議論することは難しい。

4 考 察

本章では、第3章で明らかになった栗駒山北側山腹の地表面現象の変化から、火山活動の活発化が2008年地震を誘発したと推定されることを述べる。図15に、2008年地震の発生前後のマグマ溜りの変化と火山性流体の挙動を模式的に示す。

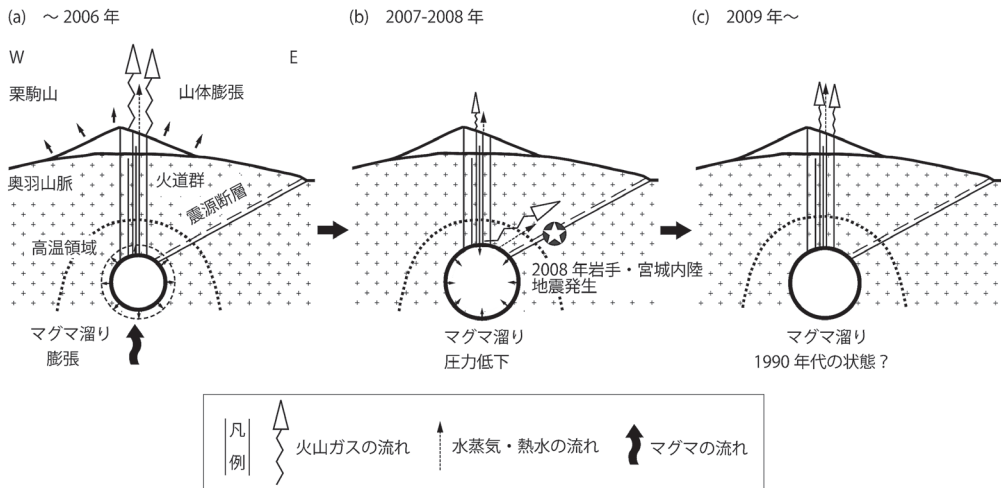


図15 栗駒山の火山活動と2008年岩手・宮城内陸地震発生の関係を示す模式図

奥羽山脈上にある栗駒山の直下は、山脈東縁から西に傾き下がる活断層（2008年岩手・宮城内陸地震の震源断層）とマグマ溜り周辺の高温領域が交差する。栗駒山の北側山腹では、完新世に広域の水蒸気爆発およびマグマ噴火が起こっており、マグマ溜りから上方に伸びる新しい火道群が存在すると推定される。(a) 栗駒山の地下20km付近から、低周波地震を伴うマグマの上昇により、マグマ溜りが増圧・膨張し、山体も膨張した。地表面への火山ガス・水蒸気量が増加した。(b) マグマ溜り中の火山性流体は、震源断層の下部構造の弱面に沿って流出して、マグマ溜りの圧力が急激に低下。地表への火山ガス・水蒸気量が急減した。流出した火山性流体は、震源断層付近の間隙水圧を上昇させ、2008年岩手・宮城内陸地震が発生した。(c) 再びマグマ溜りの増圧が始まり、地表面への火山ガス・水蒸気量が増加し始めた。

4-1 マグマ溜り中の火山性流体の流出による地表面現象の急激な静穏化

栗駒山北側山腹は、完新世における広域にわたる水蒸気爆発の発生地域（土井, 2006）であり、剣岳ではマグマ噴火が繰り返されて小火山体が形成された地域（土井, 2012）でもある。また、現在においても、火山ガスの放出や活発な噴気活動がある。これらのことから、栗駒山のマグマ溜りの変化は、この地域の地表面現象の変化として、敏感に現れることが予想される。

栗駒山北側山腹の地表面現象は、1990年初め頃からゆるやかに活発化して、2006年に活動のピークに達した。そして、2004年から2006年には、GPS観測によって山体の膨張が観測された（図15a）。

栗駒山の火山活動に誘発された 2008 年岩手・宮城内陸地震

ところが、2007年、突然に地表面現象が静穏化した。すなわち、昭和湖湖水の白濁化の消失、植物の枯死の停止、枯死域で下草の生育の開始、地獄谷噴気温度の低下が一斉に確認されたのである。また、2006年11月頃、2004年5月頃から続いた山体の膨張も停止した。その後、膨張したままの状態は2007年6月頃まで続いた（図14）。

2007～2008年の地表面現象の突然の静穏化は、2006年に山体の膨張が停止して膨張したままの状態を維持した時期に発生していることから、栗駒山山体下のマグマ溜りに急激な圧力低下が発生して、地表面への火山ガスと水蒸気の放出量が減少したこと示している（図15b）。マグマ溜りの急激な圧力低下の原因は、マグマ溜り内の火山性流体の下方への流出（逆流）、または側方への流出が想定される。

いま、栗駒山の山体下の地質条件をみると、山体下には2008年地震の余震が分布しないことから（図1b）、山頂を中心として直径5km程度の領域が高温（400℃<）であること、また、余震震源の断面分布から、西傾斜の震源断層が深さ7～8km付近で山体下の高温領域と交差していることが判明している（図1c；気象庁地震予知情報課ほか、2010；平成20年（2008）年岩手・宮城内陸地震緊急観測グループほか、2009など）。すなわち、栗駒山の山体下のマグマ溜り周辺は、延性的で、かつ活断層の複雑な下部構造が存在すると考えられる。

このような山体下の地質条件を考慮すると、マグマ溜りの急激な圧力低下は、火山性流体の側方への流出を示す可能性が高いと考えられる（図15b）。

4-2 栗駒山の火山活動による 2008年地震の誘発

2008年地震は、2004年5月頃からゆるやかに膨張を続けた栗駒山のマグマ溜りの圧力が、2007年に急激に低下した後に発生した。2008年地震は、栗駒山から北東約13kmと近接した地点に震央がある。村上（2008）によると、耕英のGPSで観測された南東方向への移動と隆起の変位量はそれぞれ約3cmで、栗駒山直下の深さ8kmのマグマ溜りの点力源で 1.2×10^7 m³程度の膨張があったとすると、この地殻変動は再現され、この時、2008年震源付近には断層運動を促進する方向の応力が作用したと考えられる。

一方、地震の震源断層は、北北東—南南西走向で西傾斜の逆断層面を有し、栗駒山直下の高温領域と深さ7～8km付近で交差していると考えられる（前述）。増圧したマグマ溜り中の火山性流体は、2007年から、この震源断層の下部構造における弱面に沿って側方に流出した可能性が高い。震源断層に沿って流出した火山性流体は、震源断層付近の間隙水圧を上昇させ、断層すべりを促進した結果、マグマ溜りの膨張の停止から約1.5年後、また、マグマ溜りが膨張したままの状態が終了してから約1.0年後に、2008年地震を誘発したと推定される（図15b）。

2008年地震後、2009年から地表面への火山ガスの放出量が増加し始め、水蒸気量の増加または水蒸気温度の上昇も始まった。しかし、火山ガス放出量は、昭和湖では増加したものの、広域に及んだ枯死域では減少したままである（図15c）。

5 まとめ

栗駒山北側山腹は、完新世の広域の水蒸気爆発とマグマ噴火（剣岳形成）が行われた地域で、現在においても、火山ガスの放出や噴気活動などの地表面現象が活発な地域である。今回、

火山学者と地方自治体が連携して、2006～2013年、年2回の地表面現象の監視を実施した。その結果、同地域の地表面現象が初めて記載されることになった。また、同地域の地表面現象は、1990年代初め頃から2006年まで次第に活発化した後、2007～2008年に突然に静穏化したことが判明した。活動が活発化していた2004～2006年は、栗駒山の「山体膨張期」と一致し、活動の突然の静穏化は、「山体膨張停止期」と対応していた。

2007年に地表面現象が突然に静穏化した原因は、2006年まで増圧していた栗駒山直下のマグマ溜り内の火山性流体が、2007～2008年に、2008年地震の震源断層の下部構造の弱面に沿って側方に流出して、マグマ溜りの圧力が低下したことにより、地表面への火山ガス量、水蒸気量が減少した可能性が高い。マグマ溜りの側方への火山性流体の流出は、震源断層付近の間隙水圧を上昇させ、約1.5～1.0年後に、断層すべりを誘発したと推定される。2008年地震後、昭和湖と地獄谷噴気は、2006年以前の活動状態に戻っているが、広域に及んだ火山ガス放出による枯死域では、植生の回復が続き、火山ガス放出量は減少したままである。

謝 辞

本研究の現地調査には、2012年から盛岡地方気象台が、2013年から仙台管区気象台が、それぞれ参加している。また、本研究にあたり、須川高原温泉株式会社には源泉の泉温測定資料、気象庁盛岡地方気象台・仙台管区気象台には噴気地の熱映像画像、放送大学岩手学習センター齋藤徳美所長、八幡平市在住松田忠昭氏には地表写真、岩手県警察本部航空隊には機上観測写真をそれぞれ提供頂いた。岩手県防災航空隊には機上観測の便宜を頂き、東京工業大学平林順一名誉教授、野上健治教授には地獄谷噴気調査に同行させて頂いた。森林総合研究所杉田久志博士には硫気孔周辺植物の鑑定をして頂いた。北海道大学地震火山研究観測センター村上亮教授には、地殻変動について議論して頂いた。また、匿名の査読者2名の指摘と助言は、原稿の改善に大変役立った。これらの方々および機関に感謝の意を表する。

引用文献

- 土井宣夫 (2006) 栗駒火山の1944年噴火と水蒸気爆発について. 岩手の地学, no.35・36, 3-39.
- 土井宣夫 (2008) 栗駒山北部で拡大する樹木の枯死. 火山噴火予知連絡会会報, 気象庁, no.95, 5-10.
- 土井宣夫・齋藤徳美 (2008) 2008年6月14日岩手・宮城内陸地震の地表面断層調査報告 (第2報). 岩手大学工学部建設環境工学科地下計測学研究室HP (<http://www.cande.iwate-u.ac.jp/gpl/index-j.html>), 5p. (アクセス日: 2008年7月28日)
- 土井宣夫・齋藤徳美・野田 賢 (2009) 2008年岩手・宮城内陸地震の地震断層 - 震源域東側の複数の地震断層列と西側栗駒山の断層群 -. 東北地域災害科学研究, 45, 35-40.
- 土井宣夫 (2012) 栗駒山剣岳付近の火砕堆積物の層序と放射性炭素年代. 日本火山学会講演予稿集, 2012年度秋季大会, p.135.
- 福島 洋・深畑幸俊・有本美加 (2008) ALOS/PALSAR による岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動と断層モデル. 第178回地震予知連絡会資料, 京都大学防災研究所, 5-18.

栗駒山の火山活動に誘発された2008年岩手・宮城内陸地震

- 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震緊急観測グループ・東北大学大学院理学研究科(2009)平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震について.地震予知連絡会会報,国土地理院,81,172-181.
- 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震4学協会東北合同調査委員会編(2009)地盤災害.平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震災害調査報告書,55-115.
- 平林順一・野上健治(2003)栗駒山ゼッタ沢の火山ガスについて.第26回岩手山の火山活動に関する検討会資料,岩手県,2p.
- Iwasaki, I., Ozawa, T., Yoshida, M., Katsura, T., Iwasaki, B., Kamada, M. and Hirayama, M. (1962) Volcanic gases in Japan. Bull. Tokyo Inst. Tech., no.74, 1-54.
- 加藤武雄(1978)栗駒火山地域の陸水.奥羽山脈の研究—その自然と開発,宮川善造編,大明堂,261-287.
- 気象庁(2010)平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震調査報告.気象庁技術報告, no.132, 187p.
- 気象庁編(2005)日本活火山総覧(第3版).気象庁, 635p.
- 気象庁編(2013)日本活火山総覧(第4版) I 北海道・東北.気象庁, 557p.
- 気象庁地震予知情報課・気象庁仙台管区気象台・気象庁気象研究所(2009)平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震について.地震予知連絡会会報,国土地理院,81,101-131.
- 国土地理院(2009)栗駒山周辺の地殻変動.火山噴火予知連絡会会報,気象庁, no.99, 14-16.
- 国土地理院(2010)栗駒山周辺の地殻変動.火山噴火予知連絡会会報,気象庁, no.101, 30-32.
- 国立天文台(2011)理科年表.丸善出版(株), 1108p.
- 丸山 正・遠田晋次・吉見雅行・安藤亮輔・高田陽一郎・斎藤英二・林 舟・小俣雅志(2011)2008年岩手・宮城内陸地震に伴い岩手県奥州市国見山南麓に出現した地震断層北端部の性状.活断層研究, 34, 1-12.
- 村上 亮(2008)2008年岩手宮城内陸地震前に発生していた地殻変動とその意義.日本火山学会講演予稿集, 2008年度秋季大会, p.75.
- 及川輝樹(2012)赤城山と栗駒山の歴史時代の噴火記録.日本火山学会講演予稿集, 2012年度秋季大会, p.140.
- 仙台管区気象台(1982)東北地域火山機動観測実施報告 秋田駒ヶ岳・栗駒山. no.1, 16-37.
- 仙台管区気象台(1993)東北地域火山機動観測実施報告 栗駒山・鳥海山・蔵王山. no.12, 1-27.
- 仙台管区気象台(1994MS)栗駒山現地観測(臨時). 1p.
- 鈴木康弘・渡辺満久・中田 高・小岩直人・杉戸信彦・熊原康博・廣内大助・澤 祥・中村優太・丸島直史・島崎邦彦(2008)2008年岩手・宮城内陸地震に関わる活断層とその意義—一関市巖美町付近の調査速報—.活断層研究, 29, 25-34.
- 高田陽一郎(2014)巨大地震に伴う火山の沈降. Japan Geoscience Letters, no.1, 8-11.
- 遠田晋次・丸山 正・吉見雅行・小俣雅志・郡谷順英(2011)2008年岩手・宮城内陸地震を引き起こした活断層の累積変位量—岩手県一関市巖美町岡山地区ボーリング調査—.活断層研究, 34, 23-30.
- 東京大学地震研究所・東北大学大学院理学研究科・岩手大学工学部(2008)2008年岩手宮城内陸地震震源域磐井川沿いの反射法地震探査結果.第191回地震調査委員会資料, 5-8.
- 東北大学理学部地震予知・噴火予知観測センター(1995)栗駒火山周辺の地震活動(1994年10月~1995年4月).火山噴火予知連絡会会報,気象庁, no.62, 1-2.