

立山地獄谷における火山ガスの熱観測 (2011~2022年) について

丹保俊哉¹⁾

1. はじめに

立山室堂の地獄谷 (図1) は現在、弥陀ヶ原 (立山) 火山第4期 (原山ほか、2000) の中心的な活動地域となっている。弥陀ヶ原火山の第4期活動は約4万年前から始まったと考えられ、最近1万年間では4回の水蒸気爆発があったことが立山室堂のテフラ層序の分析 (小林、1983) から推定されているが、有史以降も1836 (天保7) 年に水蒸気爆発と考えられる活動があったことが、加賀藩十村役伊東家の「御触留」 (富山県立図書館蔵) より読み解くことが出来る (中野・伊藤、1998)。また公的・学術的な記録ではないものの、佐伯 (1977) には1949 (昭和24) 年に地獄谷にあった山小屋の経営者が目撃した小規模な水蒸気爆発と思われる現象について記述が残されている。

近年、立山室堂地獄谷の地熱活動は、2010年5月に硫黄溶岩の流下と燃焼が発生し (増測、2013)、また2011年には複数の噴気孔で火山ガス濃度が著しく上昇していることが明らかとなる (北日本新聞社、2011) など、それぞれの関連性については明らかではないものの目立った活動の変化を示している。硫黄溶岩の流下や燃焼は、地獄谷に残る各処の流下跡や実際の目撃事例が河野 (1988) によって報告されており、古くは1700年代の加賀藩の記録にも残されている (廣瀬、1984)。また国内では知床硫黄山における大規模な溶融硫黄の噴出 (気象庁、2005) をはじめ、吾妻山 (気象庁、2010) や箱根山 (萬年ほか、2018) においてもその発生が確認されているなど、噴気地帯においてはしばしば認められている現象ではある。硫黄は比較的低温 (約113℃) で溶融することから小規模な発生要因として、高温の火山ガスそのものが熱源となり地表で昇華した硫黄を溶融させる場合 (河野、1988、Harris et al., 2000など) や、比較的浅部に存在する地熱流体の貯留層から直接上昇、噴出する可能性も考えられるが、その発生イベントは不明な点が多い。

本稿では、地獄谷の複数噴気孔において行ったハ

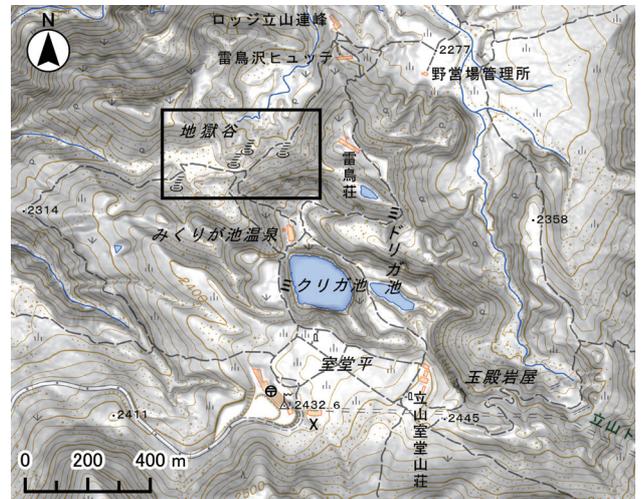


図1 立山室堂平の北方に位置する地獄谷の地形 (基図として国土地理院の地理院地図および傾斜量図を使用) 黒実線枠は図2の範囲を表す。

ンドプローブによる火山ガス温度の不定期繰り返し測定結果を基にしたそれらの時間変化について報告する。また活動の著しい噴気孔についての特徴的な変化についての観察結果も合わせて報告する。

本研究はJSPS科研費25350494の助成を受けたものである。

2. 調査内容

2. 1. 噴気孔の分布調査

火山ガスの噴気温度が周辺環境変化、特に気象的要因によってしばしば変動する例が確認されている。鍵山・小山 (1997) は草津白根や霧島・硫黄山の噴気地帯に分布する低温火山ガスの噴気孔のうち現地大気圧における水の沸点とほぼ同じ温度の噴気が、大気圧の変動と同調して変化していることを報告している。このことは火山ガスが地下浅層において豊富な地下水と接触することでその熱量のほとんどが、顕熱と蒸発潜熱 (気化熱) として水を加熱・沸騰させることに費やされていることが原因と考えられる。地獄谷 (標高約2,300m) において噴出する火山ガスも、現地大気圧における水の沸点 (約93℃) かそれ未満の温度を示す場合が多く、その噴気温度変

1) 富山県立山カルデラ砂防博物館

化をマグマなど地熱流体の状態変化の指標とすることは適切と言えない。

ただし先行研究（例えば、日下部ほか、1983、水谷ほか、2000）により、地獄谷において現地の水の沸点よりも高く100℃前後の温度を示す噴気孔も複数見出されている。水の蒸発に必要な熱量は非常に大きいため、これらの火山ガスは地下浅層の地下水との接触があまり生じずに上昇してきている可能性を示唆している。こうした水の沸点を超える過熱蒸気を継続的に噴出している噴気孔を選択的に調査することによって、熱水溜まりなど比較的地下深部にある火山熱水系の状態をより正確に得ることができる可能性がある。そのために筆者は先行研究で調査対象としており、過熱蒸気を噴気する通称「鍛冶屋

地獄」と呼ばれる硫黄の構造物（以後、噴気塔）（写真1）など、地獄谷全体の噴気箇所を2011年から2012年にかけて実施し、それと平行して調査済み噴気孔での噴気温度の繰り返し測定も開始した（丹保・松田、2016）。

また沸点未満の噴気温度を示した噴気孔でも、かつて活発に活動したことを示唆する硫黄堆積物などの痕跡が周囲に著しい場合は噴気活動の勢いを取り戻す可能性も考えられたため除外せず状況を注視し、不定期に測定を継続した。測定対象とした全噴気孔には、認知順に付番している。また分布調査が済んだ地域に新しい噴気孔を認め、過熱蒸気が噴出した場合は温度観測の対象として追加し、現在24箇所まで増加している。なお噴気孔の出現が既存の噴気孔に近接している場合は、地下浅部に同一の噴出経路を持ち得るものと考え、既存の噴気孔と同一の番号を振りそれぞれアルファベットを追記して識別することとした。図2に全分布を示す。

2. 2. 火山ガス温度の測定手法

温度測定のセンサーには、白金抵抗体（pt100）、またはK熱電対を用いた。その測定条件は、噴気の雰囲気中に直接、感温部（センサー）を暴露させて温度を計測することとし、外気の影響を可能な限り



写真1 鍛冶屋地獄噴気塔（No.8a）での火山ガス測定作業（2012年11月25日）

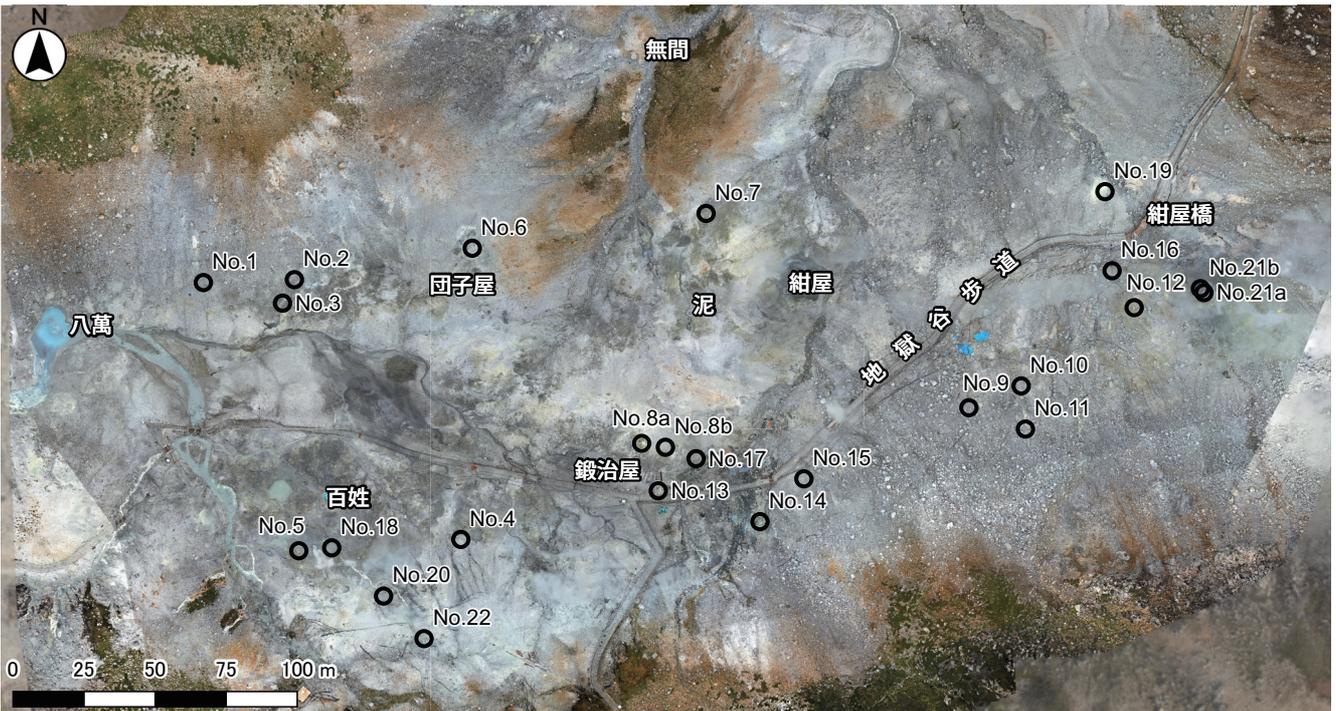


図2 噴気孔調査によって継続的な観察および噴気温度の測定対象とした噴気孔の位置図。地獄谷内の地名は矢後（1951）を引用

取り除けるよう各噴気孔開口部より10cm～1m程度奥にセンサーを挿入、センサーの応答時間の遅延を考慮して、概ね数分程度の測定時間をとり、その中で得られた最大値を記録とした（写真2）。火山ガスに含まれる塩化水素や二酸化硫黄などの成分は水蒸気が凝結すると強い酸をつくりセンサーを腐食させて誤差要因となることから、センサーの保護材・ケーブルには耐食性に優れた素材が用いられている製品を採用したハンドプロブを自作し、適宜センサーを交換しつつ2011（平成23）年の秋季から不定期の繰り返し測定を開始した。

2. 3. 噴気孔の状態変化の観察

噴気孔の形状や位置は、時間の経過とともに変化、移動することが多い。火山ガスに含まれる成分のうち硫黄は常温常圧下で固体として安定するため、噴気孔を取り囲むようにして火山ガスから析出し、噴気塔がゆっくりと成長する。噴気塔が大きくなり火山ガスの通り道が閉塞すると付近の別所に新たな噴気孔を形成したり、噴気塔が火山ガスの内圧に耐えられなくなったり、内部に溶融硫黄が貯留しその熱侵食や自重によって噴気塔が自壊したと思われる様子も観察されたりした。また逆に噴気活動が低下、停止する噴気孔も確認している。そうした噴気塔の大きさや状態の変化は、噴気活動の消長を反映していると考えられた。そこで地獄谷各所の噴気孔とその周辺の様子について、火山ガスの繰り返し温度測定と合わせて継続的に観察した。



写真2 噴気孔 (No.2) での火山ガス噴気温度の測定状況例 (2012年5月13日)

3. 測定観察結果

3. 1. 火山ガスの温度変化とその特徴

特定24箇所の噴気孔のうち閾値として、地獄谷標高における沸点約93℃を超えた測定記録を1回以上有する19の噴気孔についての測定結果（2011（平成23）年～2022（令和4）年まで）を表1に示す。また一定の範囲に分布するそれら噴気孔の火山ガス温度の時間変化をまとめてグラフとして関連性を精査した（図3）。

繰り返し測定を継続する12年間を通じて、噴気孔の活動が持続している噴気孔は後述の一部で、途中で温度が低下、また火山ガスの噴気する勢いも静穏化し、中には噴気孔周辺で昇華した硫黄によって閉口してしまっている場合が認められた（No.2、5、8b、12、13、14、15、16、17、18、20、22）。それらは人為的に開口しても孔内奥でも閉塞しているのか、孔内からの火山ガスの流れと温度は回復しないことが多い。その場合は活動停止と判断して以後、同噴気孔での測定を取り止めたが、一部では噴気活動を再開させる例も認められている（No.2、14、15、17）。

静穏化する噴気のひとつが上記の特徴を有する一方で、噴気温度は比較的高温でありながらも活動停止に至った噴気孔も1例存在した（No.14）。No.14噴気孔の周辺では、造成温泉の管理のための地形改変がしばしばおこなわれていた。地獄谷温泉では、噴気孔周辺に人工的な窪地を形成し、そこへ冷水を塩化ビニル製のパイプで引水して造成温泉を生産している場合がある。No.14噴気孔は、そうした温泉管理の影響を受けて噴気の地下経路が変わってしまった可能性がある。

比較的稳定した状態で、噴気活動を継続している噴気孔はNo.7、8a、19である。特にNo.7噴気孔の活動は安定的で1回目の測定値を除いて、温度変化の幅は約3度の範囲に収まっている。No.8aはNo.7と比較して1年未満の短期的な温度変化が大きい傾向にある。測定開始以降、長期的には2016（平成28）年頃まで温度低下の傾向を示し、その後横ばいであったが2020（令和2）年以降の測定では観測開始時以上の温度まで高温化している。No.12、16も活動期間が長かったものの、前者は2019（令和元）年頃、後者は2018（平成30）年頃に噴気温度を沸点まで低下させ、噴気流も停止させた。

表1 立山地獄谷噴気地帯の噴気孔口で測定した火山ガス温度 (抜粋)

No	2	5	7	8a	8b	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21a	21b	22
2011/08/27	72.7																
2011/08/29	92.8	87.1	90.6	111.6													
2011/09/14						107.5											
2011/09/28						105.5											
2011/10/07						104.0											
2011/10/13						104.4											
2011/10/27	99.1	106.1	95.8	109.8		108.9	103.1	108.4									
2011/11/13				111.1		107.3	110.5	111.2	107.5								
2012/05/13		106.3	96.6	106.9		102.9		111.4		99.9	106.1						
2012/06/10		109.4		110.1		104.8		110.8		101.7		105.5					
2012/07/06		106.6		106.4		103.7		109.0		100.3	107.9	95.8					
2012/07/11		103.6	96.6	106.7		104.7		108.9	110.4	99.8	107.9	102.3					72.8
2012/07/19		106.9		106.7		106.3		108.6	111.1	99.9	107.8	105.5	98.6				
2012/07/31			97.3	107.0				106.1			107.7						
2012/08/08		107.2		107.1		106.2		96.0	110.2	100.5	108.4		99.0	114.7			
2012/09/02		107.4	97.2	106.9		105.9		94.4	111.6	99.4	103.7	105.4	99.7	114.6	119.9	137.8	
2012/10/04		107.3		106.7		106.3			107.5		105.9	105.6		111.7		147.2	
2012/10/17				106.9											136.7	147.1	
2012/11/04		107.6		107.0		106.0			103.3		106.4	104.8		112.5	131.5	146.0	
2012/11/22				106.7		107.2			102.0		107.0					144.5	
2012/11/25		108.0		105.5		106.4				100.0				92.1		146.7	
2013/07/02		104.9	98.2	106.2		105.1			93.7	99.5	106.6	107.1					123.1
2013/07/09						104.7											
2013/07/17				106.6		104.6				101.1	106.5						108.4
2013/08/01		95.3	98.2	104.8						100.2	106.2	107.4					126.2
2013/11/09				104.1							110.1	105.6					134.1
2014/05/11		105.2		104.2	111.7						102.3	106.0			127.8	118.6	
2014/10/25			98.5	102.9	114.2	104.9				93.7	101.9		108.9		130.9		
2014/10/29		103.9										102.1					
2014/11/28											101.7		110.5				
2015/05/10				94.7	115.6		91.8			98.5			92.6		130.1	130.5	
2015/06/11			97.1	99.4	114.3	108.6	89.8			98.5			111.2			118.6	
2015/10/10		103.5	98.3	102.8	110.2	96.8		116.3	92.3	98.0			111.4				96.6
2015/11/13													111.4			112.0	
2015/11/30				101.1	112.6	92.9		114.0		97.5			109.3				
2016/11/22		99.3		98.2	111.7	98.5						93.0	113.7			117.0	114.1
2017/10/05		97.1	97.4	100.1	112.0	101.4		115.6		95.3	93.5	93.2	117.5				131.0
2018/08/02			97.0	99.6	109.4	94.6					88.1		117.1		114.5		122.7
2018/09/19				99.6	109.4								123.1				121.8
2018/10/02				105.8	117.3					78.5							
2018/11/20				99.6	111.5	94.6							119.4				119.5
2018/11/27			97.2														
2019/09/03		100.6	98.2	99.4	107.5	92.2				65.7							
2019/09/04								85.3				92.6	118.8				91.8
2020/09/19	82.8	92.2		103.6	110.3												
2021/06/24			98.2	111.5	104.4								116.7				
2021/10/15			97.9	114.9	93.7												
2021/11/20		92.3		114.6	93.7								116.4				
2022/09/21				114.9													
2022/10/12	91.7		97.5	115.0													

噴気孔分布調査の開始以後に新しく形成、活動を
確認した噴気孔は、鍛冶屋地獄付近のNo.8b、No.17
である。No.8bと名付けた噴気孔は2014（平成26）
年5月、噴気温度が低下しつつあったNo.8aから東方
約8メートルの位置で初確認した。位置的に近接し
ているもののNo.8aよりも数度～十数度程度高温の
噴気活動を示し、また噴気温度の時間変化に同調性
はほぼ認められなかったが、2018（平成30）年の
測定ではNo.8aと同調した温度の急変が認められた。
しかし2021（令和3）年に入って、No.8aの噴気温度
が高温化し始めるのとは反対に低温下し、2022（令

和4）年には活動を停止させた。No.17は2012（平成
24）年5月、No.8aの東方約20メートルの位置にそれ
まで存在していなかった噴気を確認した。初確認後、
一時的に噴気を活発化させたものの2015（平成
27）年5月から約2年に渡って静穏化し沸点程度の噴
気温度、または噴気を認めない時期があり、2017
（平成29）年10月に再発を確認するも2018（平成
30）年8月以後は再び活動を停止させた。

紺屋橋上部のNo.21a、bは、その周辺の噴気活動
全体が調査開始当初より非常に活発であったため容
易に接近できず存在を認識した時期は遅かったが、

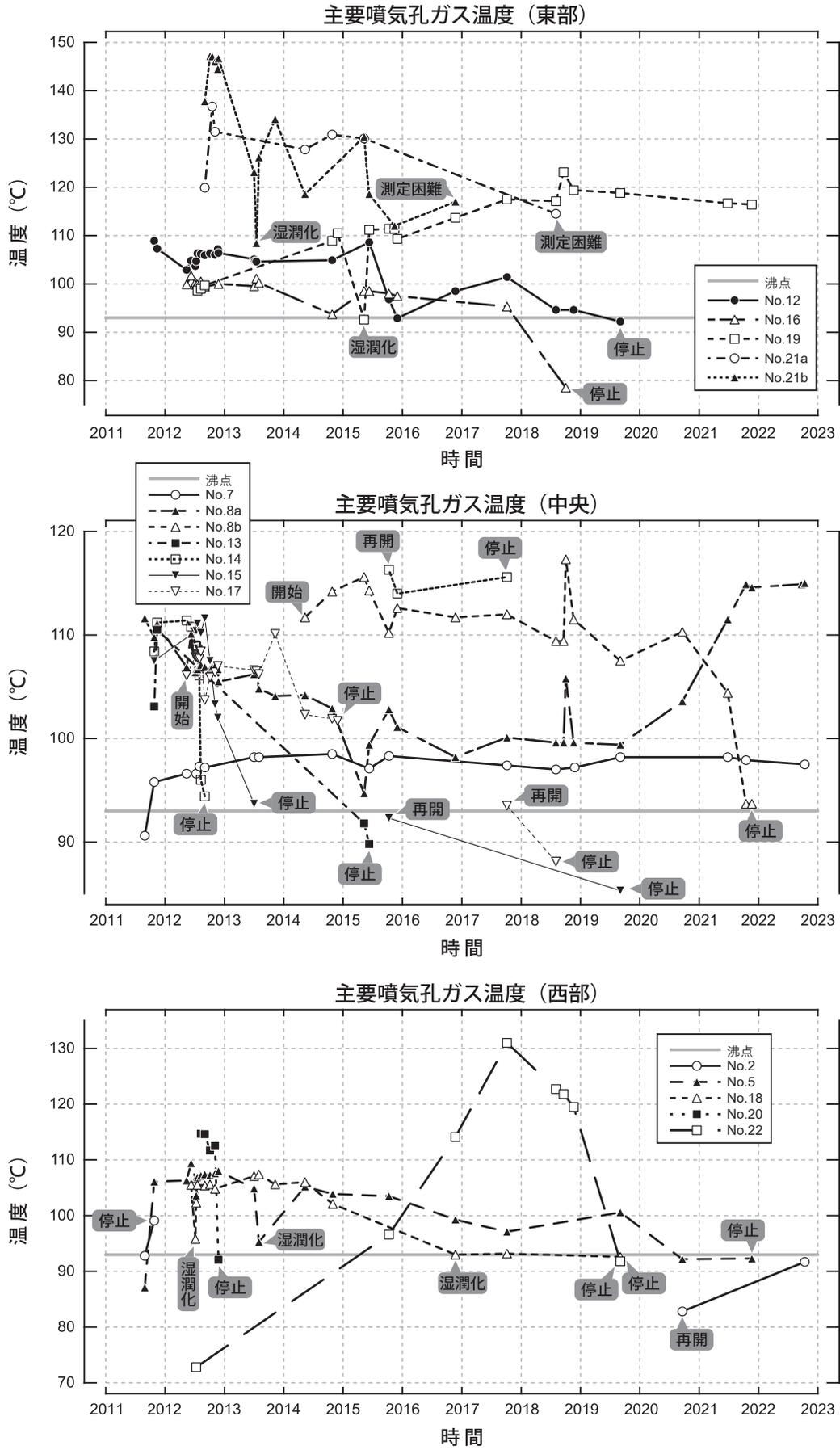


図3 立山地獄谷噴気地帯の噴気孔口で測定した火山ガス温度の時間変化
地獄谷内の噴気孔の位置を大まかに東部・中央部・西部に分類して地域別に図化した
図中の吹き出しは火山ガスの噴出圧や環境の状態を表す

当初より非常に優勢な噴気活動を示した。特にNo.21bは2012（平成24）年10月4日に最高温度147.2℃を記録したが、測定毎に乱高下する特徴を有していた。長期的に温度低下の傾向を示しているがこれは後述するように、噴気孔の周囲に硫黄の噴気塔が成長拡大することで、その噴気塔の内部で硫黄の溶解が生じて噴気から熱を奪うことや、複雑な形状で隙間の多い噴気塔にベンチュリ効果が生じて冷たい大気が混入することが原因の可能性がある。

No.21a, bは、非常に高温の噴気温度と高い噴気圧によって不安定な活動ではあるが、全調査期間において噴気活動を維持している噴気孔に数えられる。しかしながら測定開始当初は地表に露出していた孔口で直接測定できていた条件が、噴気塔の成長とともに大きく変化して同一条件下での測温が望めなくなり、やがて噴気孔の位置そのものが不明となってしまう測定の継続は断念せざるを得なくなった。

紺屋橋上部の地域はNo.21a, b以外にも優勢な活動を見せる噴気孔の分布密度が高く、そうした噴気孔のひとつで2015（平成27）年11月13日に暫定的に測温したところ143.7℃と依然高い数値を示した。しかしやはりそうした噴気孔でも成長する噴気塔で測定環境を大きく変えられたり、接近自体に危険を伴うようになってしまったりしたため、紺屋橋上部での調査はやむを得ず中断している。

噴気孔周辺の地表面が湿潤化したり、孔内に直接水が流入したりすることで噴気温度が急低下する現象が幾つかの噴気孔で認められた（No.5、18、19、21b）。これらの温度低下は噴気活動に直接関わる変化ではないが、間接的に影響を与えているようであった。特に地表面の湿潤化は、地下水頭の上昇が示唆され、ほぼ飽和状態の水蒸気といえる噴気が地下水に吸収されて活動の停止に至っている場合もあるのではないかと考えている。

3. 2. 噴気孔の観察結果

観察期間において著しい形状変化を示した噴気孔は、上述の紺屋橋上部の噴気孔No.21a, bである。その周辺一帯は、橋の架かる谷軸を長辺とした長さ約40m、幅約20m、面積約900m²の範囲に複数の優勢な活動を示す噴気孔がクラスターを構成しており、その全体が活発な噴気状況を見せている。ここではその代表的な例として、No.21aおよび21b

に形成された噴気塔の時間変化について写真3の①～⑦で示す。

前述の通り、噴気塔は火山ガスに含まれている二酸化硫黄と硫化水素の酸化還元反応によって析出した硫黄で形成されている。噴気孔の周囲に黄色い針状の鉱物が沢山集まって見えるのが、大気に触れて急冷した火山ガスから析出した単斜硫黄（針状結晶）である写真4。結晶はどんどん噴気孔の周りを覆い、斜方硫黄（塊状結晶）に転移して隙間を埋め、噴気孔の周りをぐるりと取り囲んだ壁を作る。壁ができると火山ガスは冷えにくくなり、今度は壁の上方で針状結晶を析出させる。これを繰り返して壁は噴気塔へと成長する。しかしアンバランスに成長したその形を長く維持するのは容易ではなく、過熱蒸気が噴気塔内部を熱侵食したり、自重を噴気圧が支えられなくなったりすると自壊してしまうようであった（写真3-④）。

噴気塔の中ではどんなことが起こっているのか。No.21a,bの噴気塔の一部が内部の高温によって溶けて薄い殻状になってしまっていたことがあり、その部分で内部の状態を押し量ることができた。壁の厚みは数mm程度しかなく、壁をコツコツと軽く叩くと穴が空いた（写真5）。他の場所では壁の割れ目から漏れ出したのか、熔融硫黄の黄色い蠟のような雫が壁を幾重にも覆って固まっていることが間近で観察できた。中は空洞で、穴に差し込んだ温度計の値は124.8℃を示した。火山ガスの主成分は水蒸気のため、この温度の飽和蒸気圧は約2.3気圧にもなる。穴を開けた場所からは火山ガスが猛烈に噴き出し、測温作業はその噴気を避けておこなっていたが、作業終了後に現場を離れて安全帽を脱いだ際にびっしりと熔融硫黄の飛沫が安全帽に付着していたことに気づいて、噴気塔の中では高温の火山ガスの噴流によって塔が溶けて、熔融硫黄の飛沫が暴れ回っていることを理解したのである（写真6）。

噴気孔の周囲には微小な球形をした硫黄の固形物が厚く堆積することがある（写真7）。上述のような状態の噴気塔から空中へ放出された熔融硫黄が表面張力によって球体となり、その形のまま急冷固結して降下したものである。また活発な噴気地帯であるNo.21a,bの周辺では、噴気塔内に貯留された熔融硫黄が上向きや横向きに噴き出し固結して、ドーム状あるいは首をもたげた竜のような形など、様々な

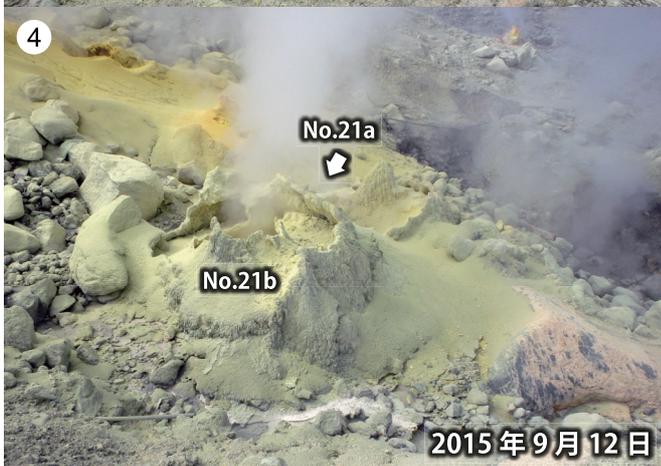
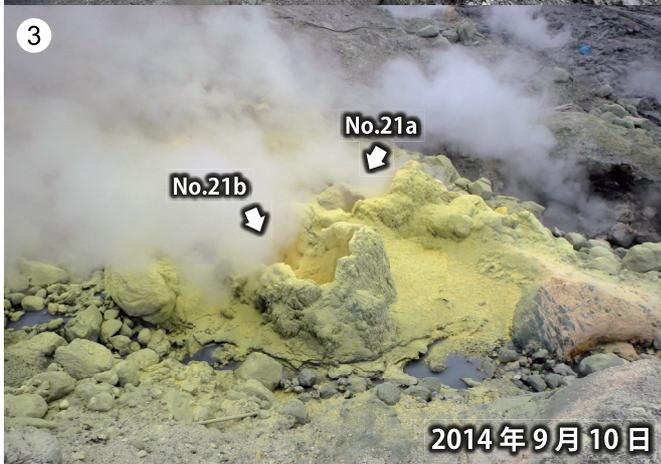
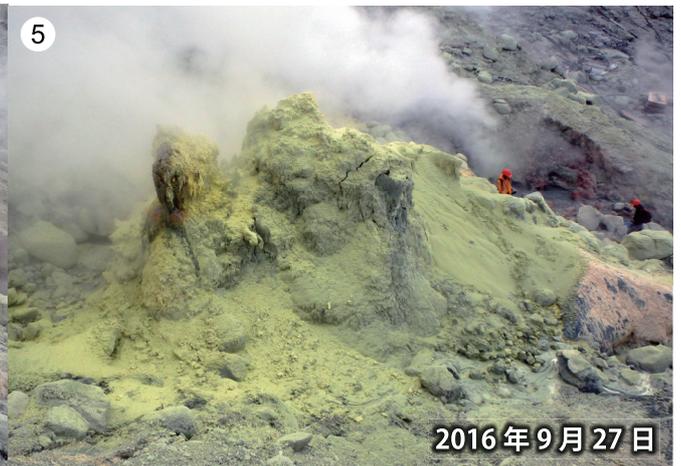


写真3 噴気孔 No.21a,b (矢印の先) の上に硫黄の噴気塔が成長する様子 (約6年間)

①既に噴気孔を覆うように硫黄構造物の発達が始まっている (写真提供：アジア航測 千葉達郎氏)。②融雪水が No.21b 噴気孔に流入して噴気温度を低下させた。③噴気塔は溶融硫黄が流下固結したもの (写真8) と噴気塔の上空で固結降下し堆積したもの (写真7) で構成されている。④成長した噴気塔が倒壊し中央に再生したことを示唆する二重カルデラ状の構造が確認出来る⑤2つの噴気塔が一体化、応力変形し割れ目が生じている。噴気孔の元の位置は不明。⑥噴気に砂質やシルト質の黑色鉱物が混じり噴気塔を変色させた。⑦噴気塔の全高は3～4メートルまで成長している。

形状の噴気塔が成長している（写真8）。更に千葉・丹保（2015）では噴気塔から流れ出した溶融硫黄の多様な産状も報告されている。

地獄谷の中央部にあるNo.7、8aにも噴気塔は形成されており、後者は鍛冶屋地獄という固有名称からも分かるように、煙突状の噴気塔を成長させてきたことが提供された写真資料にて確認できた（写真9①～⑥）。また現在ではNo.8aに形成されている噴気塔は、かつて別の噴気孔上に存在していた時期が

あったことも既往文献（河野、1988）より確認しているが、現在地獄谷中央部にある大型の噴気塔はNo.8aのみのため、噴気孔の活動が静穏化すると噴気塔は比較的速やかに解体されていることが伺える。噴気塔の周辺には自然硫黄の欠片が堆積しており、噴気塔から剥離したものと考えられる。こうした状態は、噴気活動によって比較的湿潤な状態が保たれやすい噴気塔で冬季に凍結破碎の著しい風化が進行していることが示唆される（写真10）。



写真4 噴気孔 (No.8a) 周辺に析出した単斜硫黄 (2011年9月19日)



写真6 紺屋橋上部噴気地帯の大型噴気塔にて火山ガス噴気温度を測定中（写真5）に、溶融硫黄の飛沫が付着した安全眼鏡 (2014年5月11日)

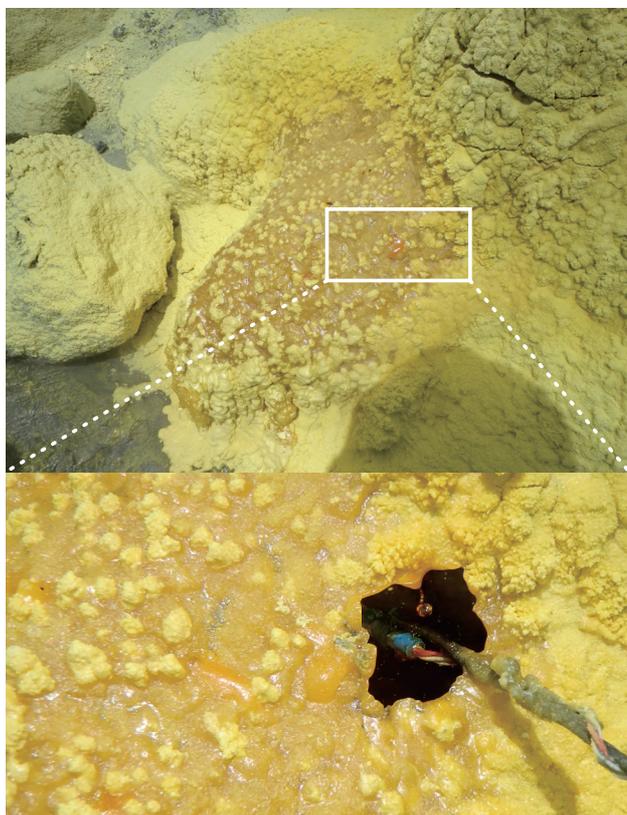


写真5 上：紺屋橋上部噴気地帯の大型噴気塔の接近写真
下：同噴気塔の外壁（上白樺付近）を穿孔して火山ガス温度を測定する様子 (2014年5月11日)

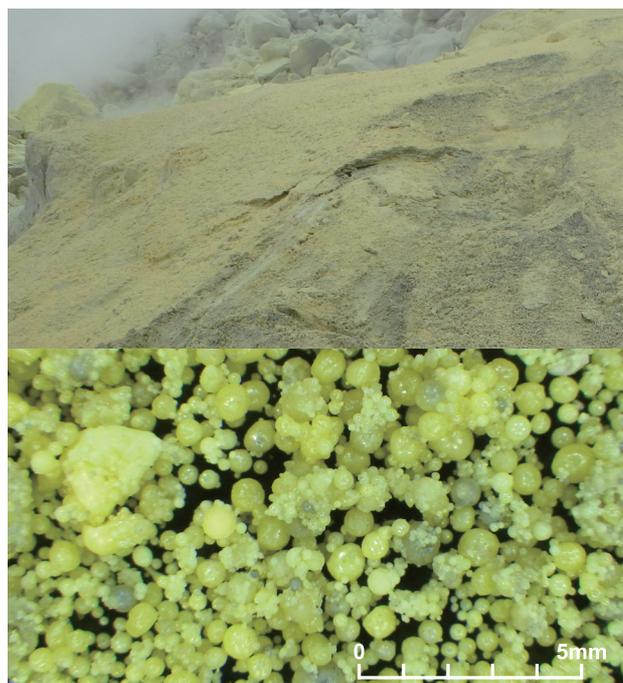


写真7 上：噴気塔の周囲に飛散し堆積した硫黄の産状（手前の地表面） (2015年11月13日)。
下：堆積した硫黄の微小な固形物の拡大写真

4. まとめ

立山地獄谷において24箇所の特設噴気孔において温度観測を繰り返し、また噴気活動とそれによって形成される噴気塔の経過観察によって明らかになったことを次にまとめる

- ・噴気活動を長期的維持している噴気孔は、No.7、8a、19、21a、21bの5箇所である。
- ・地獄谷東部に位置するNo.19、21a、21b噴気孔では、120～140℃程度の比較的高温高圧の火山ガスを噴き出している。噴気塔の形成が盛んであるものの、その形状は不安定で倒壊と成長を繰り返している。
- ・地獄谷中央部に位置するNo.7、8a噴気孔では95～120℃程度の比較的低温低圧の火山ガスを噴き出している。活動は比較的安定的かつ穏やかで、噴気塔の構築がゆっくりと進んでいる。
- ・地獄谷西部では全調査期間中に噴気活動を維持し

続けた噴気孔はなかった。優勢な噴気活動を示す噴気孔がないわけではないものの比較的短命で、不安定に噴気活動を消長させる傾向が強い。噴気塔の形成はあまり進まず小規模に留まっている。百姓地獄、団子屋地獄の噴気孔の温度変化は比較的穏やかで、地下水頭が非常に浅いと思われることや比較的低温な温泉湧出水の流入によって噴気活動の低下・沈静化がしばしば認められる。

- ・同調性が示唆された噴気温度の変化はNo.8a、8bのみで、多くの噴気孔はそれぞれに独立した活動様式を示している。
- ・噴気活動が停止する場合の多くは、比較的時間を掛けて温度が下がるとともに噴気の勢いも低下していく傾向にある。

以上のように立山地獄谷全体の現在の活動傾向として、東高西低という印象を持つ。しかしながら、現在のような活動傾向が過去から継続し続けている訳ではなく、西部や中央部においても溶融硫黄の流下痕や燃焼痕が点在していることが先述の既往調査で確認されている。

地獄谷に分布する多くの噴気孔は、Seki et al., (2015) によって明らかにされた熱水溜まりなどの熱水系から火山ガスの供給を受けていることが予想される。Kobayashi (2018) は干渉SAR時系列解析によって、2007～2010（平成19～22）年にかけて本調査地域一帯におよぶ膨張性地殻変動が発生したことを見出しており、2010（平成22）年5月に鍛冶屋地獄で発生した溶融硫黄の流出現象は、熱水溜まりを膨張させた火山流体の一部が地表まで上昇して流れ出たものという可能性も考えられる。

噴気孔が火山熱水系の覗き穴であるならば、今後も注視を継続することで同様な現象の原因に迫ることが出来るかも知れない。しかしながら熱水系と各噴気孔の間の比較的浅層の経路には、地下水や地質、土壌の関与を受けて、本報告のようにそれぞれ个性的で系統の不明瞭な噴気活動を顕在化させている。そうした個性に隠れる、熱水系の変調に起因する地熱活動の変化を見逃さないために今後も様々な手法で地獄谷の活動を注視していきたい。



写真 8 上：上部にできた複数の出口から湧き出した溶融硫黄が冷却固結してできたとみられるドーム状の噴気塔の産状（全高約 1.5 メートル）（2014 年 5 月 11 日）
下：噴気塔から溶融硫黄の溶岩トンネルが伸びて首長竜のような形態に成長した噴気塔の産状（全高約 2.5 メートル）（2016 年 9 月 27 日）

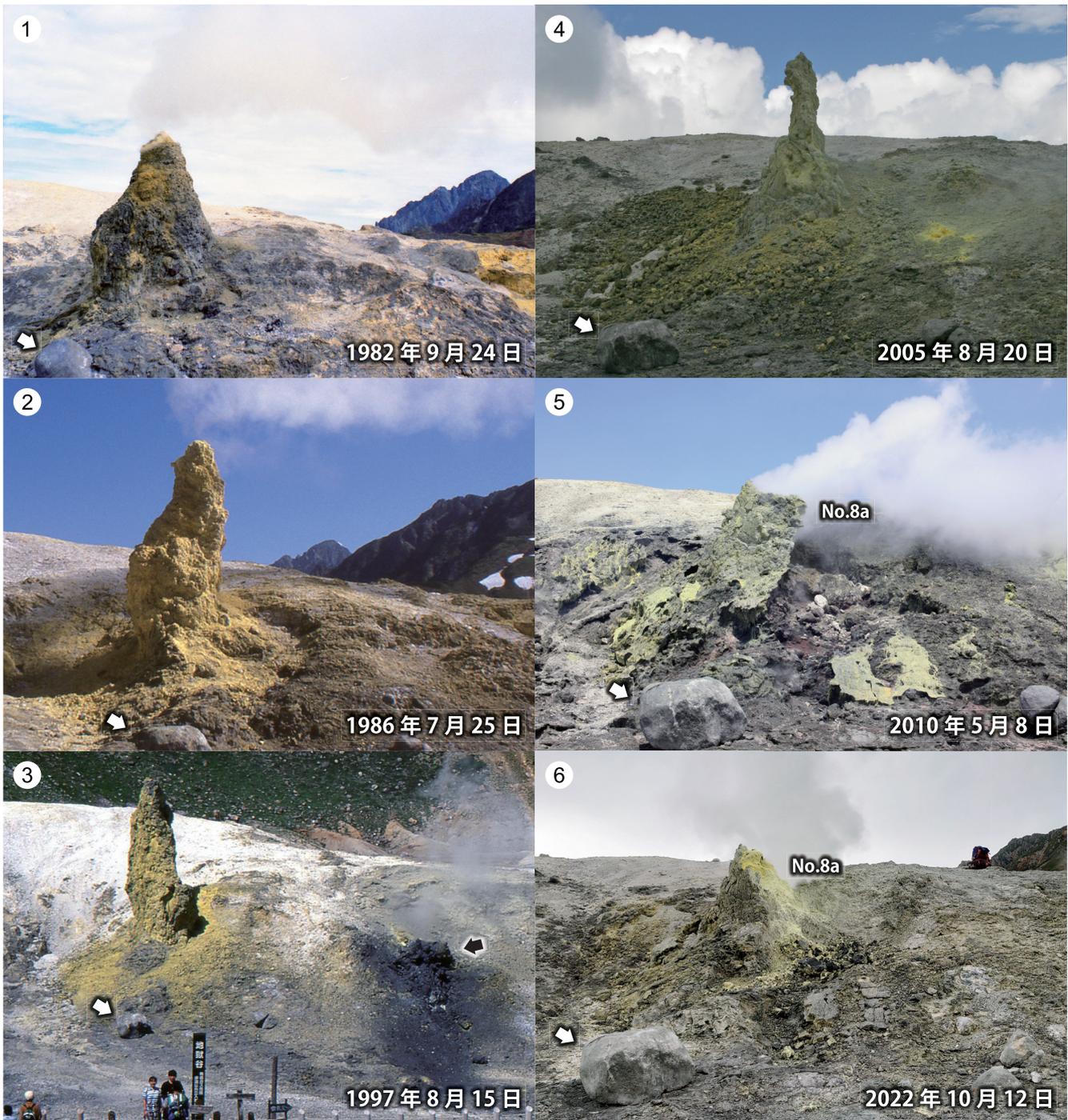


写真 9

約 40 年間の鍛冶屋地獄（噴気孔 No.8a）噴気塔の形状変化（写真①②③提供：田口松男氏）

視点が同一ではないので、白矢印の先にある同一の転石を大きさの指標代わりとする

①比較的小型の状態の前年 1981 年 8 月に熔融硫黄の流出と燃焼を発生させていた（河野、1988）。②噴気圧が穏やかで乱れが少ないためか、噴気塔の成長は上方向に安定的である。③手前に写る観光客の大きさと比較すると推定 4 メートルを超えている。噴気塔は 1991 年頃を最大規模として以後 2005 年頃まで活動を停止させていた（中野ほか、2010）。この頃は写真右手（黒矢印）、現在の No.8b 噴気孔位置に相当する位置で噴気活動を起こしており、噴気孔が活動と休止を繰り返していることが伺える。④活動の休止期間に風化が進行して小さくなった噴気塔。⑤ 2010 年 5 月 6 日頃に発生したと思われる熔融硫黄の流出と燃焼による熱侵食で半壊した噴気塔。⑥噴気孔に析出する自然硫黄を温度測定の度に除去しているためか噴気塔の形成速度は鈍っている印象がある。



写真 10 冬季の強い風雪により着氷した鍛冶屋地獄噴気塔(写真提供:佐伯栄祥氏) (2012年2月14日)

謝辞

本稿に使用させていただいた写真資料は田口松男氏、アジア航測株式会社の千葉達郎氏、佐伯英祥氏より提供いただいた。立山ガイド協会の松田好弘氏には行動中の安全管理と調査助手としての役割を果たしていただいた。環境省立山管理官事務所には立山地獄谷への入域について適切な指導をいただいた。ここに感謝の意を表する。

本調査の一部は、JSPS科研費25350494（代表者：神田 径）の助成を受けて実行されたものである。

参考文献

引用文献

- 千葉達郎・丹保俊哉（2015）硫黄溶岩流の諸問題、日本地球惑星科学連合 連合大会2015年大会、SVC48-P04（ポスター発表）。
- 原山 智・高橋 浩・中野 俊・菊谷愛彦・駒沢正夫（2000）立山地域の地質、地域地質研究報告（5万分の1地質図幅）、地質調査所、218p.
- Harris A, Carniel R, Patrick M and Dehn J（2000）Discovery of self-combusting volcanic sulfur flows, *Geology*, 28（5）, 415-418.
- 廣瀬 誠（1984）立山黒部奥山の歴史と伝承、桂書房、635p.
- 鍵山恒臣・小山悦郎（1997）噴気温度と大気圧の関係について、*火山*、42（6）、423-428.
- 北日本新聞（2011）地獄谷の通行禁止、12月23日朝刊.
- 気象庁（2005）日本活火山総覧（第3版）

- 気象庁（2010）吾妻山の火山活動解説資料（平成22年5月）
- 小林武彦（1983）立山火山最末期の水蒸気爆発、「中部日本の休火山に関する活動予知のための基礎的研究」、昭和57年度科学研究費補助金自然災害特別研究（1）報告書、3-11.
- Kobayashi T.,（2018）Locally distributed ground deformation in an area of potential phreatic eruption, Midagahara volcano, Japan, detected by single-look-based InSAR time series analysis, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 357:213-223, doi:10.1016/j.jvolgeores.2018.04.023.
- 河野俊夫（1988）立山火山地獄谷産”火口”硫黄について、島根大学地質学研究報告、7、91-97.
- 日下部実、林 尚美、小林武彦（1983）立山火山、地獄谷に見られる縞状硫黄堆積物の成因、*火山*第2集、28（3）、245-261.
- 増渕佳子（2013）富山県立山地獄谷で2010年5月に発生した硫黄溶岩の記載岩石学的特徴、富山科学博物館研究報告、37、1-9.
- 萬年一剛・菊川城司・宮下雄次・山口珠美・丹保俊哉・本間直樹（2018）箱根火山 2015年噴火後の大涌谷噴気地帯と噴気温度の変化、*神奈川県温泉地学研究所報告*、50、19-44.
- 水谷義彦、佐々木康雄、堀 雅明、小山雅之（2000）富山県立山地獄谷の噴気孔ガスおよび温泉水の化学組成と同位対比、*地球化学*、34、77-89.
- 中野 俊・伊藤順一（1998）立山火山の噴火記録、*火山*、43（3）、123-126.
- 中野 俊・奥野 充・菊川 茂（2010）立山火山、日本地質学会第117年学術大会見学旅行案内書、*地質学雑誌*、116、37-48.
- 佐伯立光（1977）立山路の歴史あるき、巧玄出版、157p.
- Seki K., Kanda W., Ogawa Y., Tanbo T., Kobayashi T., Hino Y. and Hase H.,（2015）, Imaging the hydrothermal system beneath the Jigokudani valley, Tateyama volcano, Japan: implications for structures controlling repeated phreatic eruptions from an audio-frequency magnetotelluric survey, *Earth, Planets and Space*, vol. 67:6, doi:10.1186/

s40623-014-0169-8.

丹保俊哉・松田好弘（2016）立山地獄谷における熱
観測について，日本地球惑星科学連合 連合大
会2016年大会，SVC45-P04（ポスター発表）．
矢後一夫（1951）立山地獄谷の調査，富山教育，
44，20-22.