

立山カルデラの新湯で発生している激しい水位変動

福井幸太郎・菊川茂・飯田肇

1. はじめに

富山県内で唯一の活火山である「弥陀ヶ原」(立山火山)では、現在の火山活動の中心である室堂平の地獄谷周辺で、気象庁が24時間の監視・観測体制を取っている。地獄谷の南、約2 kmに位置する立山カルデラ内では、地獄谷ほど活発でないものの数カ所で噴気や地熱活動がみられ、水蒸気噴火で出来た火口湖も存在する。こうしたことから、立山カルデラ内でも今後、水蒸気噴火が発生する可能性がゼロでは無いと考えられるが、火山活動の監視・観測はほとんど行われていなかった。

2018年1月23日、群馬県の草津白根山では、気象庁が常時監視・観測を行っていた湯釜火口から南に約2 km離れた鏡池付近で水蒸気噴火が発生し、人的被害が出た。この噴火は、火山活動が活発化している場所から離れた噴火想定外の場所でも、噴火が起こりうることを教訓として残した。このため、弥陀ヶ原の火山防災対策では、現在、監視・観測体制が手薄となっている立山カルデラ内の火山活動も考慮する必要があるかも知れない。

立山カルデラを西から東へと流れる湯川の左岸には、新湯(しんゆ)とよばれる温泉水をたたえる池(火口湖)がある(図1)。池の直径は30m、水深は5.6m、湖面標高は1660m、表層の水温は65~70℃、温泉水のpHは3~4である(図2)。温泉水は、湖底にある複数の噴出孔から湧出し、湯川側にある人工的に破壊されて出来た火口壁の切れ口から溢れだし、落差20mを超える温泉の滝となって湯川に流れ込む(図2)。

2006年以降、噴気や地熱活動が活発化している地獄谷周辺と異なり、新湯では、火山活動に変化がみられなかった。ところが、2014年春に突如、温泉水が消失して干上がり、その後、干満を繰り返す激しい水位変動を示すようになった。本稿では、2014~2017年の新湯の水位・水温変動について報告する。

2. 調査地域

立山火山は、約22万年前から活動を開始した。その活動期は古い方からI a期、I b期、II期、III期、IV期の5つに分けられる(Yamasaki et al., 1966; 原山ほか, 2000)。IV期の活動の中心は室堂周辺で、III期の玉殿溶岩(デイサイト)を破る水蒸気噴火がくり返し発生し、ミクリガ池やミドリガ池、地獄谷などの噴火口が出来た。このIV期には、立山カルデラ内でも水蒸気噴火が発生し、I b期の安山岩を破ってすり鉢状の火口が形成され帯水して火口湖(新湯と刈込池)となった。新湯は、もともと冷水の池であったが、1858年の安政飛越地震(M7.3~7.6)の際の激しい揺れによって温泉水の池に変化したとの伝承がある(富山県郷土史会, 1976)。

新湯には流入する河川が無い。このため、池の温泉水は全て湖底の噴出孔から湧き出したものである。温泉水は、火口壁の切れ口から流出し、温泉水の噴出が続く限り、湖面の高さは一定である。

新湯の温泉水は、シリカに過飽和(300mg/L)で、温泉水中にはシリカの球状体が析出している(赤羽, 1993)。池を漂う岩片を核にシリカの球状体が付着・集積し、世界的にも希少な玉滴石(魚卵状蛋白石=オパール)が産み出されている(赤羽ほか, 1989; 赤羽, 1993)。産出された玉滴石は、透明度が高く、粒の大きさがそろっていることから、世界的にも美しく珍しいと称されている(高橋ほか, 2007)。

新湯は玉滴石を産出することから、明治時代に地質学雑誌や地学雑誌(神保, 1898; 1904; 吉澤, 1904; 大塚, 1891; 篠本, 1895; 1904)で紹介され、全国的に有名になった。新湯は、立山一帯が活火山であることを示す証である点と、今なお玉滴石という希少で美しい鉱物を産み出している点が評価され、2013年10月17日に国の天然記念物に指定された。

なお、現在、新湯に通じる車道や登山道は無い。有峰林道と立山砂防事務所が管理している有峰材料運搬道路を通行して、刈込池西側まで車で行き、その後、踏み跡を頼りに40分程度藪を漕いでアプロー

チする。冬季は厚い積雪に覆われ、有峰林道も閉鎖 旬までの約5ヶ月間だけである。
 される。このため、調査期間は6月上旬から10月下

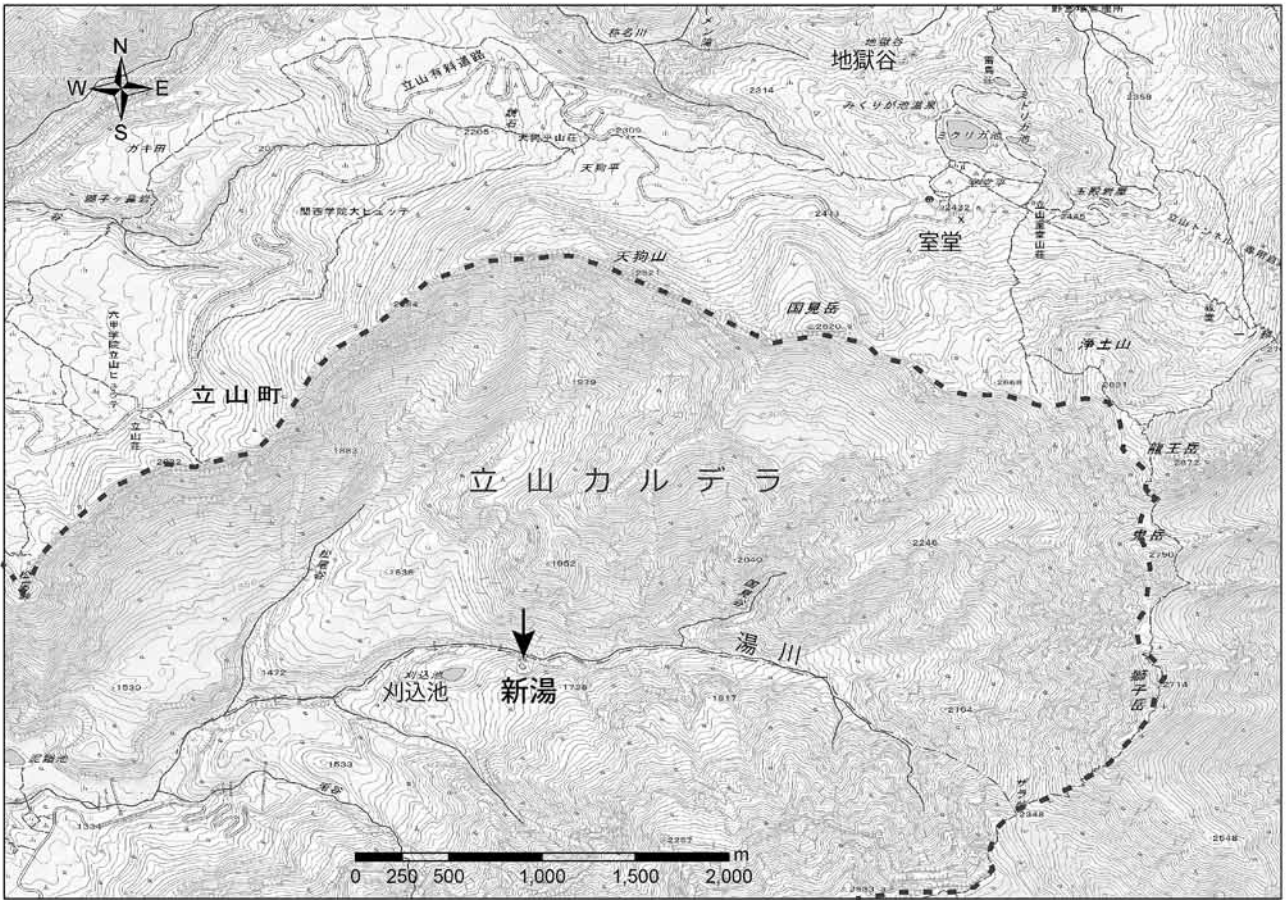


図1 新湯の位置



図2 満水状態の新湯の全景。切れ口から温泉水が溢れ出て、温泉の滝になっている。

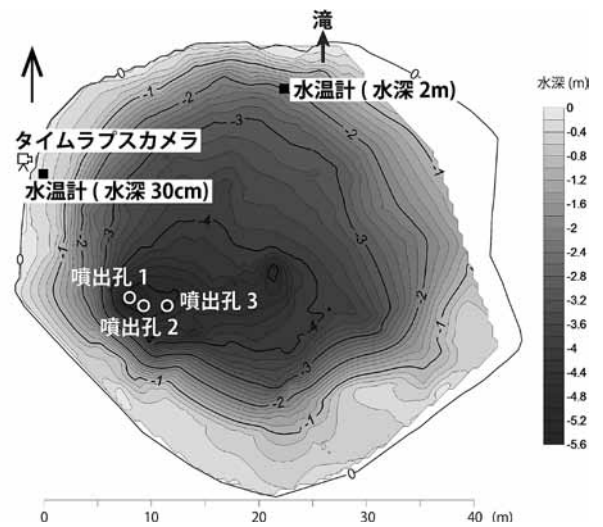


図3 新湯の湖盆図。等深線間隔は20cm

3. 方法

3.1 過去の水位変動

新湯に関する文献や聞き取り調査の結果をもとに過去の新湯の水位変動を推定した。また、米軍や国土地理院が1947~2006年にかけて撮影した空中写真も参照した。

3.2 干上がった新湯の現地踏査と湖盆図の作成。

2014年6月11日に現地踏査を行い、干上がった湖底の写真撮影、湖底堆積物、噴気孔位置の確認を行った。また、同年8月15日に干渉測位ができる2周波GPS（測位衛星技術社製GEM1）を用いたKinematic測量を行い、干上がった湖底の等深線間

隔20cmの湖盆図を作成した(図3)。

3.3 水位観測

2014年6月11日に新湯の湖岸にタイムラプスカメラを設置して(図3)、湖面を10分間隔で撮影し、水位の変化を観測した。使用したカメラはBrinno社製TLC200である。観測は2017年10月28日まで通年で実施(現在も継続中)した。しかし、冬季は、メンテナンスに行けないため、カメラが雪崩で破壊されたり、火山ガスの影響で、故障したりすることが多かった。このため、本稿では、6~10月の5ヶ月間のデータのみを取り扱う。また、水位変動のデータ解析には、次に述べる水温観測のデータも参考にした。

3.4 水温観測

温度データロガーを用いて池の左岸水深30cm付近の無人水温観測を行った(図3)。使用した温度データロガーはT and D社製TR-52、サーミスタセンサーはTR-5106である。測定精度は $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、観測期間は2014年6月11日~2017年10月28日である。冬季には、雪崩でデータロガーが破壊されたり、火山ガスの影響で故障したりすることが多かった。このため、本稿では、6~10月(2016年は8~12月)の5ヶ月間のデータのみを取り扱う。

2014年8月19日~2015年7月29日の期間、池の北岸の水深2m付近で無人水温観測を行った(図3)。使用した温度ロガーはT and D社製TR-52、サーミスタセンサーはTR-5530(測定精度は $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$)である。

3.5 噴出孔付近の水温観測

噴出孔付近の水温を明らかにするために、池の南側にある三つの噴出孔付近(水深5m)で無人水温観測を行った(図3)。観測期間は2016年6月2日~9月13日、使用した温度データロガーはT and D社製RTR-502、温度センサーは白金抵抗温度センサーTR-8110(測定精度は $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$)である。

4. 結果と考察

4.1 過去の新湯の水位変動

吉澤(1904)は「新湯は一種の間歇泉ならん。噴出時に三丈(9m)ほど吹き上がる」、吉澤(1925)は「間歇温泉で周囲約三町許り摺鉢状をなして山腹

にあり、四五日毎に二三日間の噴騰を続ける。熱泉の噴出には間歇ありて、その間歇時に際しては水汀線より著しく減退して湖底の中央僅かに熱泉を残すのみである」と記述している。立山温泉支配人であった中野仙太郎氏は1935年頃「新湯は間歇泉。時々お湯がなくなって底が出る。底には大きな石が数個」と証言している。以上のことから、新湯は、明治~昭和初期にかけて、間欠泉だった可能性が高い。

1935年以降、新湯に関する記録は一旦途絶える。1980~90年代には、玉滴石の形成過程や珪化木形成に関する現地観測が行われ、研究者が頻繁に新湯を訪れた(赤羽ほか, 1989; 赤羽, 1993; 赤羽・古野, 1993; 赤羽ほか, 1999)。この期間、新湯は常に満水状態であった。

図4に1947~2006年にかけての新湯周辺を撮影した空中写真を示す。面積や水位は約60年間を変わっておらず、この期間、新湯は常に満水状態であった可能性が高い。

以上のことから、新湯は明治~昭和10年頃まで間欠泉で、その後、70年以上にわたって満水状態が継続していた可能性が高いといえる。

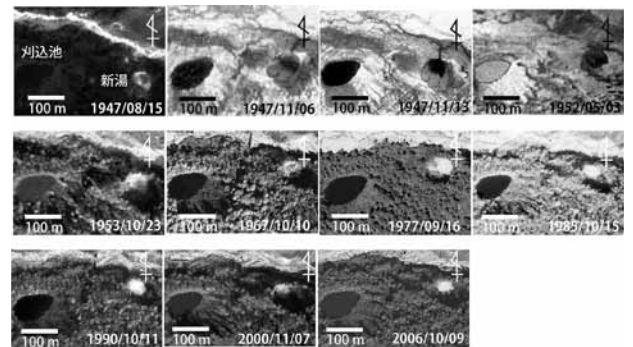


図4 新湯周辺を撮影した空中写真

4.2 2014年に突如、干上がる

2014年4月15日の立山砂防事務所撮影の航空写真では、新湯の水位は平年通り満水であった。しかし、同年5月13日に博物館が撮影した航空写真には、新湯の湖底が露出しているような様子が記録されていた。

同年6月11日、博物館の福井・菊川と立山砂防事務所水谷出張所職員2名が現地に向かい、新湯が完全に干上がっていることを確認した(図5)。湖底では、温泉水が完全に消失していて、安山岩の基盤の上を厚さ10~20cm程度の泥が覆っている状態であった。湖底の温度は、 15°C と外気温と同程度で、

火山ガス濃度 (SO₂とH₂S) も数ppmと低く, 現地観測を行う上で危険な状況では無いと判断された。



図5 2014年6月11日に干上がった新湯。



図6 新湯の湖底にみられた大岩。黄色の水糸は満水時の水位。巻き尺の長さは4 m。

池には温泉水の噴出孔とみられる直径50cm～1 mほどの縦穴を複数確認できた。池の南西側に高さ約4 mと約3 mの大岩があり, これらの大岩の周囲には深さ2 m以上で底が見えないほど深い噴出孔が2つあり, 噴気があがっていた (図6)。立山温泉支配人であった中野仙太郎氏は, 昭和10年頃の新湯について「間歇泉で, 底には大きな石が数個」と証言していた。干上がった新湯の湖底の状況は, この証言と一致した。

噴出孔の底からは, 温泉水が激しく沸騰しているような音が聞こえた。また, 大岩の温度は素手で触ることができない程高かった。

6月13日に, 立山砂防事務所より新湯で再び温泉湧出がはじまったとの連絡が入る。6月15日, 現地にて水位が元のレベルまで回復し, 満水状態になっていることを確認した。

図3は干上がった新湯で作成した湖盆図である。面積は1,259m², 貯水量は2,817m³, 最大水深は5.6mであった。水深5 m付近に噴出孔が複数並んでいた。

4.3 2014～2017年の水位変動

タイムラプスカメラの映像からは, 干上がった湖底の噴出孔から温泉水が噴出し, 水位が徐々に上昇,

4日前後で満水になり, 一定期間満水状態が続いた後, 噴出孔に温泉水が逆流して, 約1日で再び干上がる水位変動が繰り返し発生していることが読み取れた。満水期間は最短で10分間, 最長で約2ヶ月間とばらつきが非常に大きかった (図7)。これに対して, 干上がった期間は全観測期間を通して3～4日間であった (図7)。

吉澤 (1925) は, 明治期の新湯について「間歇泉で・・・四五日毎に二三日噴騰を続ける・・・」と記述している。干上がっている期間を4～5日, 水位上昇期間を2～3日と解釈すると, 明治期も現在と同じような日数で干満を繰り返していた可能性がある。

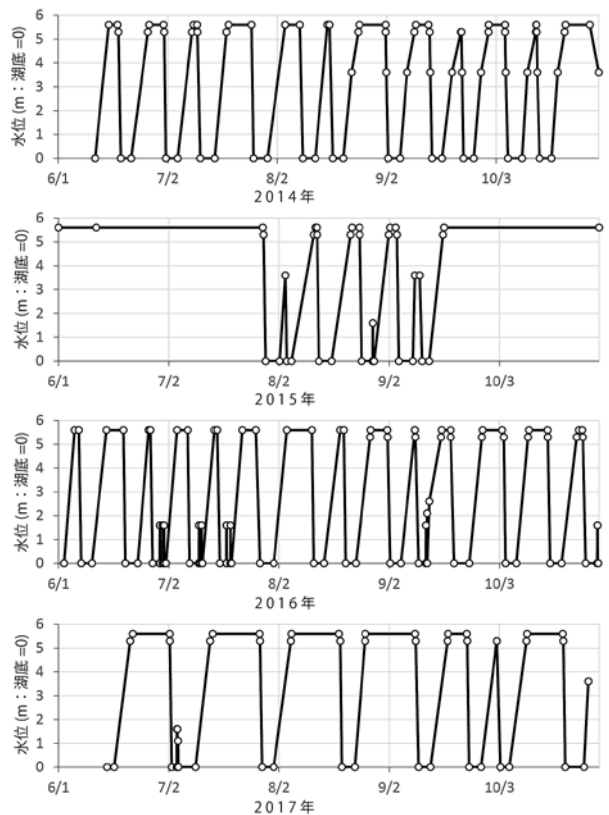


図7 新湯の水位変化。湖底を0mとする。満水時の水位は5.6m。

水位変動は年毎にも大きな違いがみられた。2014年は, 6月11日～10月29日に合計11回周期的に干満を繰り返した (図7)。140日間で11回干満を繰り返したため, 干満の周期は約13日と考えられる。9月22～23日は水位が5.3m上昇したが, 満水にならずに水位が低下していった。

2015年は, 6月1日から7月28日まで約2ヶ月間に渡って満水が続いた (図7)。その後, 3回ほど干満を繰り返した。8月3日, 28日, 9月9～10日には水位が1.4～3.4m上昇した後, 低下に転じ

た。9月17日から10月31日まで約1ヶ月半の間は、再び長期にわたる満水状態が続いた。ほぼ周期的な水位変動が繰り返された2014年と異なり、2015年は、非常に不規則な水位変化であったといえる。

2016年は、6月2日～10月30日に合計14回、ほぼ周期的に干満を繰り返した(図7)。150日間で14回干満を繰り返したため、干満の周期は約11日と考えられる。また、水位が1.4～2m上昇した後、低下に転じた日が9日あった。

2017年は、6月14日～10月28日に合計6回干満を繰り返した(図7)。136日間で6回干満を繰り返したため、干満の周期は約23日と考えられる。7月4日と10月2日には、水位が1～5.3m上昇した後、低下に転じた。

4.4 2014～2017年の水温変動

満水期間の水温(水深30cm)は70～80℃で推移した(図8)。これに対して、干上がった期間の温度は、35℃以下のことが多く、日中に高くなり、深夜から朝方にかけて低くなる日周期変化がみられた

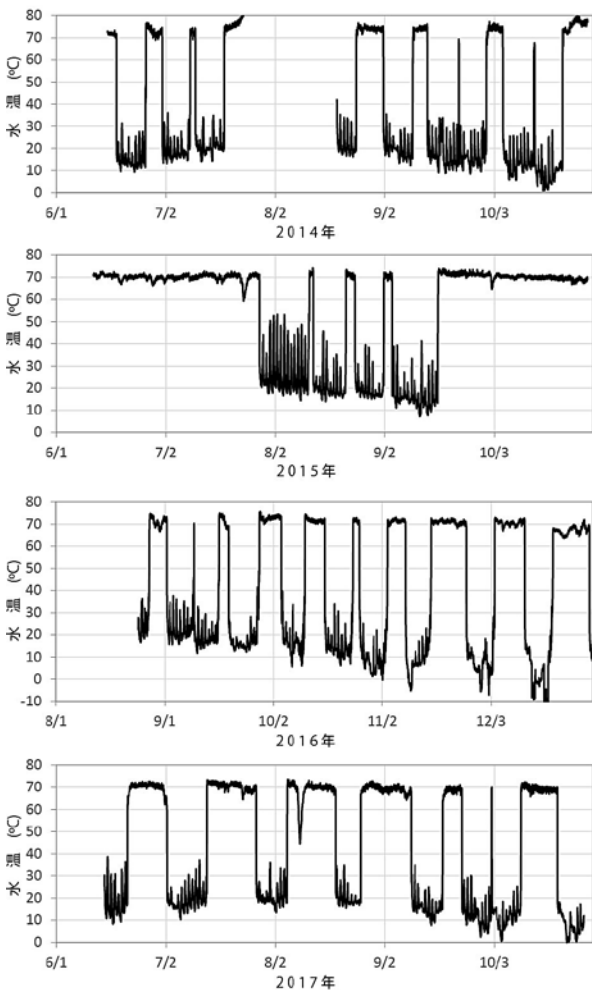


図8 新湯の水温変化(水深30cm)

ことから、気温に同調していると考えられる。干上がった期間でも、温度が40～53℃と高温になる期間があるため、地熱の影響も受けていることが示唆された。

図9に新湯が間欠泉に変化する前の2006年10月～2007年8月の水温変化(米谷, 2008)を示す。水温は年間を通して60～70℃で推移した。冬季に低く、夏季に高くなる季節変化がみられた。2006年12月29日, 2007年1月8日, 3月11日には温度が40℃前後まで急低下した(図9)。水位変化が関与している可能性があるが、温度の日周期変化がみられなかったため、センサーは温泉水に浸っていた可能性が高い。

2006年10月～2007年8月の最高水温は71℃であった(図9)。2014年の最高水温は83℃, 2015～2017年の最高水温は74～76℃であり(図8), 間欠泉になった後の新湯の水温は、それ以前と比較して3～12℃上昇したといえる。

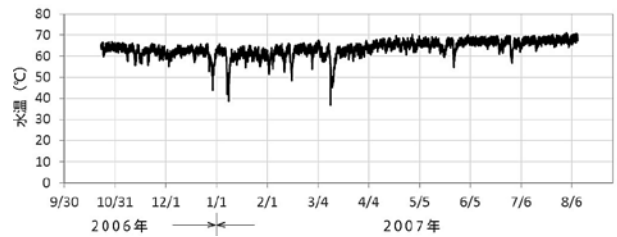


図9 間欠泉に変化する前の新湯の水温変化(水深30cm)。米谷(2008)のデータを使用。

4.5 噴出孔付近の水温

噴出孔の水温は、噴出開始直後が最も高く90℃以上、その後、70～80℃まで徐々に低下し、温泉水が噴出孔に逆流を始めると、数時間で20～30℃まで低下するというサイクルを繰り返した(図10)。干上がった期間でも、温度が90℃近くまで一時的に上昇することがあるため、噴気孔周辺の温度は、温泉水の短時間噴出や地熱の影響を強く受けている可能性が高い。

最高水温は噴出孔1と2が94℃, 噴出孔3が100℃であった(図10)。新湯の標高1660m付近の沸点は94.7℃前後であることから、噴出する温泉水は沸点に達しているものと考えられる。

間欠泉は、沸点に達した水が噴出する間欠沸騰泉と沸点に達しない比較的低温の水が噴出する間欠泡沸泉の2つに分けられる(鏡, 2015)。新湯は沸点に達している水を噴出していることから間欠沸騰泉

であるといえる。

噴出孔1と2では、同じような温度変化が続いた期間が長かった。このことから、噴出孔1と2に温泉水を供給している地下の噴出管は同じもので、地下の浅いところで噴出孔1と2に分岐している可能性がある。これに対して、噴出孔3は、噴出孔1と2よりも10℃以上高い温度で推移することが多かった。このため、噴出孔3の温泉水は、噴出孔1と2とは異なる噴出管から供給されている可能性がある。

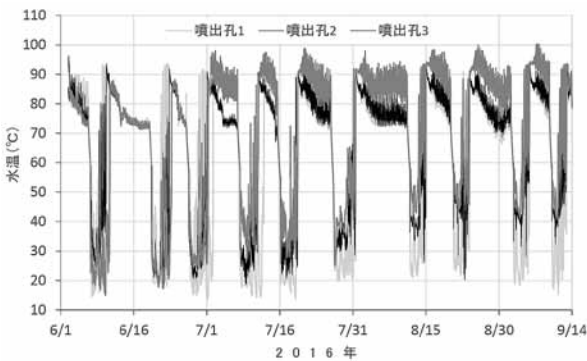


図10 3つの噴出孔付近(水深5m)の温度変化。

4.6 浮遊硫黄噴出の可能性

2017年7月4日6時10分、温泉水が噴出し水位が上昇している最中に、黄色い浮遊物が湖面に漂っているのをタイムラプスカメラの映像から確認できた(図11)。浮遊物は白根火山の湯釜火口湖の湖面で観察された浮遊硫黄のカラー写真(下谷, 1985)に非

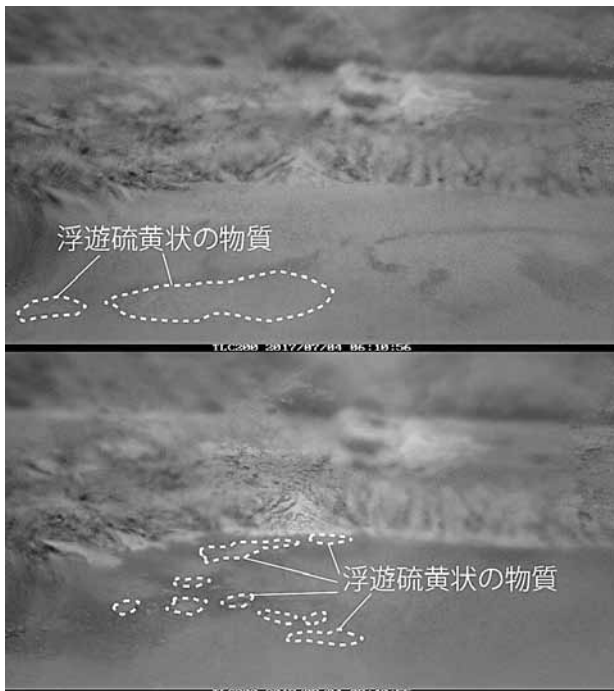


図11 新湯の湖面を漂う浮遊硫黄と考えられる物質(上の写真が2017年7月4日6時10分, 下が同日7時40分)

常に似ていた。このため、浮遊硫黄である可能性が高いと考えられる。浮遊硫黄と考えられる物質はその後、集合、離散を繰り返しながら湖面を漂い(図11)、同日15時ごろに逆流する温泉水とともに噴出孔に吸い込まれた。

弥陀ヶ原火山では、地獄谷周辺で、硫黄の噴出が活発であるが、新湯では過去に浮遊硫黄が目撃された例は無い。このため、新湯では噴出物の変化が起こりつつある可能性がある。

なお、火口湖で浮遊硫黄が記録された例は非常に少ない。日本では、上述した白根山湯釜のほか、蔵王お釜(虎岩・富永, 1940)、登別温泉大湯沼(福富, 1966)で記載があるだけである。

おわりに

立山カルデラの温泉の池、新湯の2014～2017年の水位変動を調査した。その結果、以下のことが分かった。

- (1) 新湯は明治～昭和10年頃まで間欠泉で、その後、約70年間、湖底から温泉水噴出が続き、満水状態が維持されていた。ところが、2014年春、突如、温泉水が消失して干上がった。
- (2) 2014年6月以降、新湯は、温泉水が湖底の噴出孔から噴出して、水位が徐々に上昇、4日前後で満水になり、一定期間の後、温泉水が噴出孔に逆流して約1日で干上がる水位変動を繰り返す間欠泉に変化した。
- (3) 水位変動の周期は2014年が約13日間、2015年は不規則、2016年は11日間、2017年は23日間であった。
- (4) 間欠泉に変化した2014～2017年の新湯の水深30cmの最高水温は74～83℃であり、変化前と比較して3～12℃上昇した。
- (5) 噴出孔付近の水深5mの最高水温は94～100℃であり、噴出する温泉水は沸点(湖面標高が1660mなので94.7℃)に達しているものと考えられる。したがって、新湯は間欠沸騰泉であるといえる。
- (6) 2017年7月4日には浮遊硫黄と考えられる物質が湖面を漂っていた。新湯では過去に浮遊硫黄の目撃記録が無いので、噴出物の変化が起こりつつある可能性がある。

今後、弥陀ヶ原の火山活動が活発化していくのか、終息していくのかは不明であるが、この火山の個性を明らかにする上で、新湯の水位・水温変動モニタリングを継続することは重要であると考えられる。博物館では、今後も新湯の水位・水温観測を継続して行う予定である。

謝辞

今回の調査は国土交通省立山砂防事務所のご協力・ご支援によって実現した。また、環境省長野自然環境事務所、林野庁富山森林管理署、文化庁には中部山岳国立公園内および天然記念物での調査を許可して頂いた。富山県には県有地の使用を許可して頂いた。高岡西高校教諭の米谷正広氏には2006～2007年の新湯の水温データを提供して頂いた。

以上の皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 赤羽久忠・後藤道治・山本茂, 1989, 富山県立山温泉新湯産の鮎状珪石(玉滴石)および蛋白石. 地球科学, 43, 176-179.
- 赤羽久忠, 1993, 富山県立山温泉新湯における蛋白石の生成. 岩鉱, 88, 469-477.
- 赤羽久忠・古野毅, 1993, 形成されつつある珪化木—富山県立山温泉「新湯」における珪化木生成の一例—. 地質学雑誌, 99, 457-466.
- 赤羽久忠・古野毅・宮島宏・後藤道治・太田敏孝・山本茂, 1999, 温泉水の流れの中における珪化木形成—珪化の速度測定と珪酸の浸潤機構—. 地質学雑誌, 105, 108-115.
- 福富孝治, 1966, 登別温泉の地球物理学的研究の概要. 温泉科学, 16, 51-59.
- 原山智・高橋浩・中野俊・荻谷愛彦・駒澤正夫, 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.
- 神保小虎, 1898, 立山の玉滴石と硫黄. 地質学雑誌, 5, 544.
- 神保小虎, 1904, 越中立山の鮎状玉髓(俗称 玉滴石). 地質学雑誌, 11, 372-375.
- 鏡裕行, 2015, 間欠泉の噴出機構の研究の現状と展望. 温泉科学, 65, 120-126.
- 米谷正広, 2008, 立山温泉新湯の変遷. 米谷正広編「再発見立山火山—アプローチ最前線—第21回企画展示解説書」, 立山カルデラ砂防博物館, 36-39.
- 大塚専一, 1891, 越中の蛋白石. 地学雑誌, 32, 114.
- 篠本二郎, 1895, 玉滴石(Hyalite). 地質学雑誌, 2, 199.
- 篠本二郎, 1904, 越中国立山新湯産玉滴石の神保氏の説に就きて. 地質学雑誌, 11, 414-416.
- 下谷昌幸, 1985, 「白根火山」. 上毛新聞出版社, 214p.
- 高橋泰・赤羽久忠・今井裕之・米谷正広・室井克則・國香正稔・山本茂, 2007, 立山温泉新湯のオパール調査報告. 立山カルデラ砂防博物館研究紀要, 8, 1-4.
- 虎岩成美・富永斉, 1940, 蔵王山お釜の鞠状硫黄. 科学, 10, 3-4.
- 富山県郷土史会, 1976, 「越中安政大地震見聞録—立山大鷹崩れの記—」. KNB興産出版部, 239p.
- Yamasaki, M., Nakanishi, N. and Miyata, K. (1966) History of Tateyama Volcano. Sci. Rep. Kanazawa Univ., 11, 73-92.
- 吉澤庄作, 1904, 越中地質断片(新湯, 玉滴石, 材木坂, 角閃石, 角石, 硫黄, 銅鉱床, 石器). 地質学雑誌, 11, 406-414.
- 吉澤庄作, 1925, 「立山」. 北陸出版社, 194p.

【要旨】

立山カルデラの熱湯の池、新湯は、2014年春に突如、温泉水が消失して干上がった。その後、温泉水の干満を繰り返す間欠泉に変化した。干満の周期は2014年が約13日、2015年が不規則、2016年が約11日、2017年が約23日であった。間欠泉に変化した後の最高水温(水深30cm)は74～83℃で、変化前より3～12℃上昇した。2016年の観測で湖底に複数ある噴出孔付近(水深5m)の水温は、沸点に達していることが分かった。したがって、現在の新湯は、間欠沸騰泉であるといえる。2017年7月4日には浮遊硫黄とみられる物質が湖面を漂っていた。新湯では、過去に浮遊硫黄が目撃された記録が無い場合、噴出物の変化も起こっている可能性がある。