

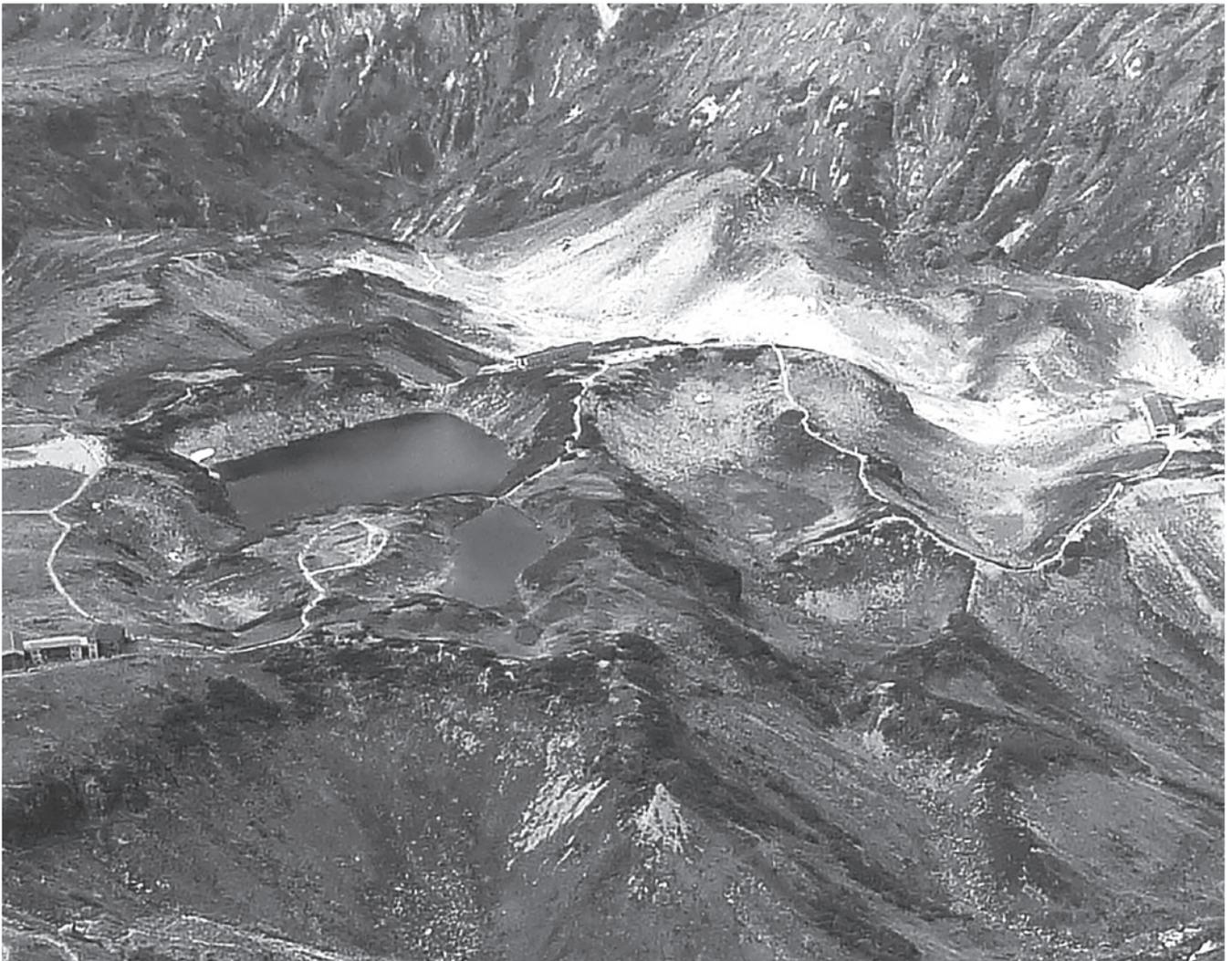
とやまと自然

第40巻秋の号

No.159 2017

立山^{じごくだに}地獄谷^{ふんき}の噴気^{こしょう}による周辺湖沼^{すいしつ}の水質^{えいきょう}への影響

朴木 英治



おやま 雄山^{こしょう}から見た室堂平^{じごくだに}の湖沼と地獄谷 (2012年9月29日 撮影: 藤田 将人)

中央左の大きな池はミクリガ池、その下側にミドリガ池と小さな池が連なっています。中央の水のない窪地^{くぼち}が血の池、右側の小さな池はリンドウ池です。これらの湖沼の上側に見える白っぽい部分^{じごくだに}は地獄谷です。

立山地獄谷の噴気による周辺湖沼の水質への影響

朴木 英治

1 はじめに

立山の室堂平には、ミクリガ池、ミドリガ池、リンドウ池と湿地化が進んだ血の池の4つの湖沼があります(図1)。いずれも4万年前頃から現在に至る活動期(立山の活動期の中の5番目の活動期)に起きた水蒸気爆発によってできた火口湖です(丹保, 2017)。これらの湖沼の西隣に、活発な噴気活動を続ける地獄谷があります(図1)。

2010年の夏、地獄谷においてみると、噴気活動が以前と比べて活発になっているように見えました。その年、地獄谷では硫黄が燃え、硫黄の溶岩流が見られました(増淵, 2013)。その後、2011年からは地獄谷への立ち入りが禁止されています。

地獄谷から立ち上る噴気の白く見える部分は水蒸気が凝縮してできた湯気ですが、これと一緒に、有害な硫化水素や亜硫酸ガス、さらに、塩化水素(これを水に溶かしたものが塩酸です)などの気体の成分が出ています。また、噴気の

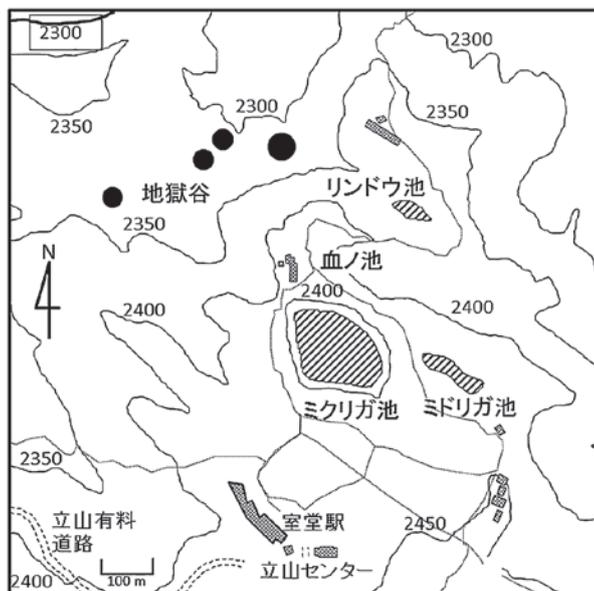


図1 立山室堂平周辺の地形。
●印は地獄谷内にある代表的な噴気口。

湯気の中には硫酸も含まれているようです。

地獄谷の噴気に含まれるこれらの成分によって周辺の湖沼の水質にどのような影響が出ているのかについては誰も調べていないようなので、立山の環境調査の一環として、これらの湖沼の水質を調べてみました。

調査地域は国立公園内なので事前に環境省と林野庁の許可をとりました。調査時には高山植物を痛めないように柔らかいゴム底の長靴を履き、植物をなるべく踏まないようにしながら湖岸まで下りました。湖岸についたら、湖水の水温を計り、ポリビンに水を入れて持ち帰り、水のpHやイオン成分濃度を測りました。

2 予想：地獄谷と各湖沼の位置関係から予想できる噴気の影響度

まず、4つの湖沼と地獄谷との位置関係を確認しておきましょう(図1)。ミクリガ池、血の池、リンドウ池、そして、ミドリガ池はすべて地獄谷の東側にあります。このため、立山で西風が吹くと地獄谷はこれら4つの湖沼の風上になり、噴気やその中に含まれる成分は各湖沼の上を通過します。このとき、噴気の湯気や含まれる成分の一部が湖面に直接落ちたり、湖沼の周囲の植物や岩の上に付着したりします。湖面に直接落ちた噴気の成分は湖水に溶け、その濃度を高めます。湖沼の周辺、特に、降った雨水が湖沼に流れ込む地域(これを集水域と言います)の植物や岩の表面に付着した噴気の成分は、雨が降ると雨水に溶けて湖沼に入り、同様にその成分濃度高めます。これが、噴気によって湖沼の水質が変化するメカニズムです。当然のことですが、噴気口から離れた場所では近い場所と比べて影響度は低くなると予想されます。

さて、図1をさらに詳しく見ると、ミドリガ池だけは他の湖沼とは異なり、ミクリガ池の東

側にあるため、地獄谷とは隣接していません。このため、ミドリガ池の水に対する噴気の影響度は、ミクリガ池よりも離れている分、小さいことが予想されます。さらに、地獄谷には大きく噴気を上げる場所が何カ所かありますが、リンドウ池の西にある噴気口は特に活発です。このため、リンドウ池の水では他の湖沼よりも噴気の影響が大きいことが予想されます。

これらの予測が当たっているのかどうかについても、実際に調べた水質分析のデータから考えてみましょう。

③ 測定：化学成分濃度から各湖沼への噴気の影響度を比べる

各湖沼の水質への噴気の影響度を比べるため、噴気の中に含まれている成分のうち、濃度の計測が簡単な塩化物イオンと硫酸イオンの濃度を比較データとして使いました。塩化物イオンや硫酸イオンは雨や雪の中にも普通に含まれている成分で、噴気の影響を全く受けていない谷水や湖水にも、当然、含まれています。噴気の影響を全く受けない場合の各湖沼の水の塩化物イオンや硫酸イオンの濃度が推定できれば、その濃度と比較することで、噴気の影響度の微妙な違いも見えてきます。

噴気の影響を受けない場合の水質の推定の参考になるのが、2009年に行った立山の雨と谷水の水質の比較です（朴木・渡辺，2011）。

図2は室堂平周辺の谷についての調査結果を示したもので、下のグラフは標高に対する谷水の塩化物イオン濃度を、上のグラフは標高に対する谷水の硫酸イオン濃度を示しています。図2には2009年9月の雨と霧水の塩化物イオン濃度と硫酸イオン濃度もそれぞれ示してあります。立山に降る雨や雪の化学成分には標高が高くなるにつれて濃度が低下する高度効果が見られるので、室堂平に降る雨や雪の塩化物イオンや硫酸イオンの濃度は平野と比べてたいへん低くなります。

図2から室堂平周辺の雨の塩化物イオン濃度、硫酸イオン濃度と谷水のそれらの濃度との

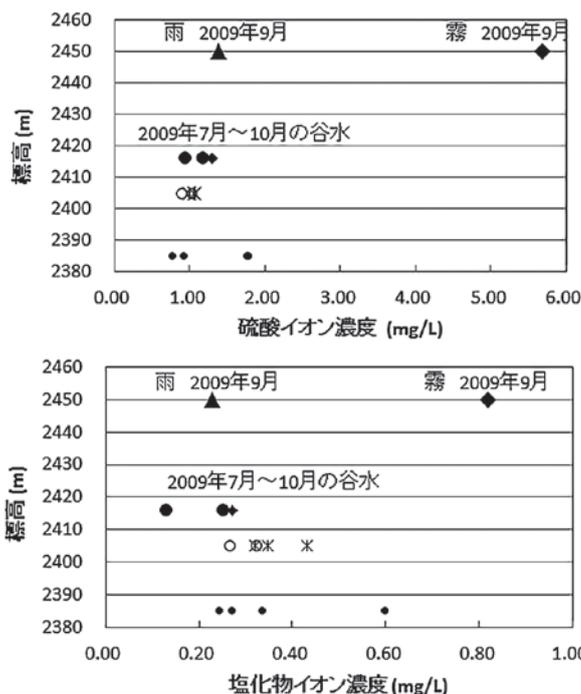


図2 室堂平の雨と霧水、および、室堂平周辺の谷水の塩化物イオン濃度と硫酸イオン濃度

関係を見てみると、谷水の塩化物イオン濃度は雨の平均濃度と同程度から最大で3倍程度高くなっていました。これは、植物や地面に付着した霧水からの塩化物イオンの供給と地面などからの蒸発、植物による蒸散（これをまとめて蒸発散という）によって濃度が高まるものと考えられました。これに対して、谷水の硫酸イオン濃度は雨の濃度よりも若干低くなり、雨の濃度の56~93%程度でした。雨水が地下にしみ込み、地面の中の酸素の少ない場所を通過する際に、硫酸イオンが微生物によって分解されるためと考えられます。

室堂平にある4つの湖沼は、それぞれの湖沼に水を供給する集水域の標高にそれほど大きな違いがなく、また、各湖沼が比較的近い範囲に集まっており、周辺の地質も似ていることから、噴気の影響がなければ、各湖沼の水質はほぼ同じと考えられます。

図3にミクリガ池、ミドリガ池、血の池、リンドウ池の水の塩化物イオン濃度と硫酸イオン濃度を2015年の調査データを使って比較してみました。それぞれの湖沼の2つの棒グラフ

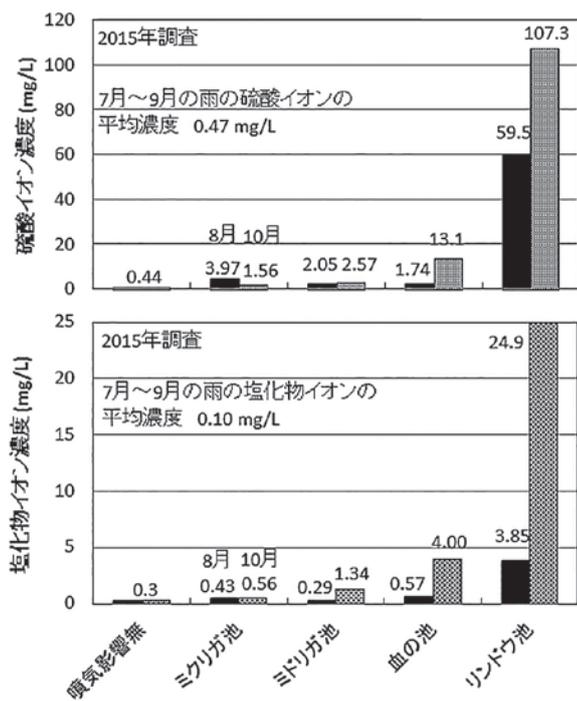


図3 ミクリガ池、ミドリガ池、血の池、リンドウ池の水の塩化物イオンと硫酸イオンの濃度。棒グラフの上の数字が濃度を示します。

の左側が8月11日の調査結果、右側の棒グラフが10月20日の調査結果です。8月の調査では湖岸にまだ残雪があり、雪解け水の影響が大きく出ています。図3の左端には比較のため、噴気の影響がない場合の湖水の塩化物イオンと硫酸イオンの予想濃度（塩化物イオン濃度は雨水の平均濃度の3倍、硫酸イオン濃度は雨水の平均濃度の93%）をグラフにしました。

8月の調査結果を比較すると、塩化物イオン濃度では、最も濃度が低かったミドリガ池で噴気の影響がない場合の予想値と同程度となり、ミクリガ池や血の池では噴気の影響がない場合の予想値よりも1.5~2倍高く、リンドウ池では13倍ほど高い値となり、それぞれの湖沼に対する噴気の影響度の違いは予想どおりでした。硫酸イオンでは、最も濃度が低かった血の池で噴気の影響がない場合の予想値と比べて4倍程度、ミドリガ池で5倍程度、ミクリガ池で9倍程度、リンドウ池では135倍も濃度が高く、硫酸イオンでは噴気の影響が大きく出ていました。

10月の調査では、雪解け水の影響がなくなったためか、塩化物イオン濃度はどの湖沼も8月よりも濃度が高まりました。その高まり方も、ミクリガ池では10月は8月の1.3倍程度なのに対し、ミドリガ池では4.6倍、血の池、リンドウ池は7倍程度と、湖沼によって塩化物イオンの濃度の高まり方が異なりました。面白い点は、10月のミドリガ池の塩化物イオン濃度がミクリガ池よりも高まり、噴気の影響がミクリガ池よりも大きく出ているようにも見える点です。硫酸イオン濃度でも、ミクリガ池以外は全て8月よりも10月の方が濃度は高まり、噴気の影響は8月よりも強まるようです。また、塩化物イオンと同様に、ミドリガ池の10月の硫酸イオン濃度はミクリガ池の硫酸イオン濃度よりも高くなり、硫酸イオンで見てもミドリガ池の方がミクリガ池よりも噴気の影響が少し大きく出ているようです。

さて、図4はミクリガ池、ミドリガ池、血の池、リンドウ池の水のpH（酸性度）の値を示したもので、図3と同様、2015年調査の結果です。水のpHの値は7の場合が中性、7以下が酸性で、7よりも数字が小さくなればなるほど強い酸性であることを示します。グラフには室堂平周辺の谷水のpH範囲（2009年調査）も示してあります。

ミクリガ池以外は8月よりも10月の方がpHの数値が低くなり、酸性が強くなったことが分かります。これは、噴気由来の塩化物イオ

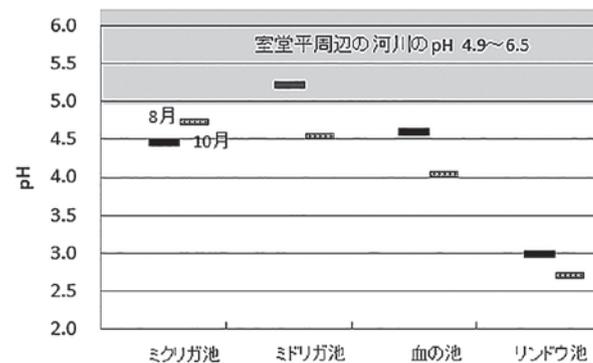


図4 ミクリガ池、ミドリガ池、血の池、リンドウ池の水のpH

ンや硫酸イオンの濃度が高くなったことに対応しています。ミクリガ池は、10月の塩化物イオン濃度の増加よりも硫酸イオン濃度の低下が効いているようでpHの値が高くなっています。また、ミドリガ池とミクリガ池の10月のpHの値を比較するとミドリガ池の方が小さくなり、pHの値からも、ミドリガ池の方が噴気の影響が少し強くなりました。

リンドウ池のpHの値は他の湖沼と比べてかなり低いpH3以下で、他の湖沼の水と比べて酸性がかなり強くなります。ちなみに、ミクリガ池やミドリガ池のpHの値を4.5とした場合、リンドウ池のpHの値(8月は3.0、10月は2.7)から酸の強さを計算し、pH4.5の水も同様に酸の強さを計算して両者を比較すると、pH3.0の酸の強さ(水素イオン濃度)はpH4.5のときの酸の強さの31.6倍、pH2.7では63.1倍となりました。

4 湖沼ごとの特徴と水質の変化

1) ミクリガ池

ミクリガ池(図5)は室堂平の湖沼の中で最も大きく、すり鉢状のきれいな火口の形が残っており、水深は最も深いところで十数メートルあります。ミクリガ池には湖の周囲の雨水や雪解け水その他、東側にあるミドリガ池から流れ出した水が流入します。



図5 ミクリガ池とその集水域
ミクリガ池の向こう側が地獄谷、写真を撮影したあたりに降った雨もミクリガ池に入ります。

図5はミクリガ池の東側から撮影した写真で、ミドリガ池を含む集水域の様子が見えます。ミクリガ池越に立山を眺める展望台は図5のミクリガ池をさす矢印の右側にあるV字型の地形の所ですが、ここは、かつてミクリガ池から地獄谷に向けて水が流れ出していた跡と考えられます。この場所から地獄谷もよく見えます。

ミクリガ池の水質は時々調査されているので、過去との違いも調べることができます。ここでは、1994年と2004年の調査データ(朴木・川上, 2015)と最近のデータを比較してみます。図6にミクリガ池の水の塩化物イオン濃度と硫酸イオン濃度の変化を示しました。ミクリガ池の塩化物イオン濃度は1994年も2004年もほとんど同じで、0.3mg/L程度でした。硫酸イオン濃度の方も0.9 mg/L程度で、これもそれほど大きな違いはありませんでした。これらの値は、2009年に調べた室堂平周辺の谷水の塩化物イオン濃度や硫酸イオン濃度の値(図2)によく似ていました。

2014年は10月7日と15日の2回調べました。調査日が近いので塩化物イオン濃度も硫酸イオン濃度も似た値で、塩化物イオン濃度は1994年、2004年と比べて若干高くなった程度ですが、硫酸イオン濃度は2倍ほど高くなりました。2015年、2016年の調査では、塩化物イオンは2014年と比べて濃度が少しずつ高くなっているのに対し、硫酸イオンは2015年8月が最も濃度が高く、その後は2014年と比べてやや低くなりました。

ミクリガ池は地獄谷に隣接しているにもかかわらず、塩化物イオンや硫酸イオンの濃度は思ったよりも低かったのですが、ミクリガ池の集水域は広く、地獄谷からかなり離れた場所からも水を集めているので、ここから、噴気の影響をあまり受けない水が供給されるためと考えられます。

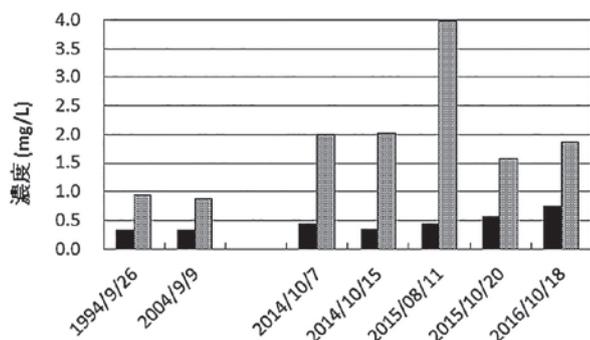


図6 ミクリガ池の水の塩化物イオン濃度（黒色グラフ）と硫酸イオン濃度（灰色グラフ）

2) ミドリガ池

ミドリガ池（図7）は、ミクリガ池の東側にある湖で、湖岸はその名のとおり夏は緑に覆われています。水面標高がミクリガ池よりも高く（図5）、雪解けの時期や雨の後は流出口からミクリガ池に水が流れ出しています。ミドリガ池からミクリガ池への流出口はミクリガ池を周回する遊歩道を横切っているの、その様子を見ることができます。

ミドリガ池の水質は2002年に1度だけ調べたことがあります。その値が図8の左端のグラフです。この値と比べると、2015年8月の塩化物イオン濃度以外は、塩化物イオン濃度、硫酸イオン濃度とも2002年の値と比べて高くなり、ミクリガ池と同様、噴気の影響によって水質が少し変わってきたようです（図8）。

ミドリガ池の水質とミクリガ池の水質を10月の同じ調査日のデータで比べてみると、塩化物イオン濃度、硫酸イオン濃度ともミドリガ池の方が高く（図6、図8 縦軸の目盛りはそれ



図7 ミドリガ池

周囲の高山植物の緑を映す池。手前側からミクリガ池へ水が流出する。奥左が立山、右が浄土山。

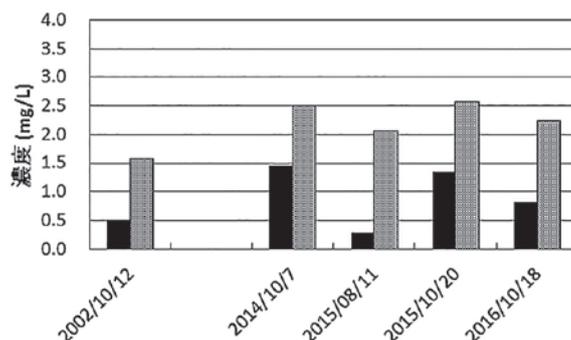


図8 ミドリガ池の水の塩化物イオン濃度（黒色グラフ）と硫酸イオン濃度（灰色グラフ）

ぞれ合わせてあります）、この結果からも、地獄谷の噴気の影響はミドリガ池の方が強く出ていることを示しています。

3) 血の池

血の池（図9）はミクリガ池とリンドウ池の間にあります（図1）。東側の壁が崩れ、底の部分も土砂などで埋まってしまったようで、夏には緑豊かな湿地が広がります。血の池に点在する池塘の底は茶褐色をしています。これは、周囲から湧き出す地下水に含まれる鉄分が沈殿したもののようです。

血の池と地獄谷の境界には閻魔台と呼ばれる高台があり両者を隔てています。

血の池は他の池と比べて調査回数が少なく水質の変化はまだよく分かりません。2015年8月の調査結果は（図10、図3）、塩化物イオンと硫酸イオンの濃度が2015年、2016年の結果と比べて低く出ていました。この時の血の



図9 血の池

夏は湿原植物で埋め尽くされ、所々に池塘が見られます。

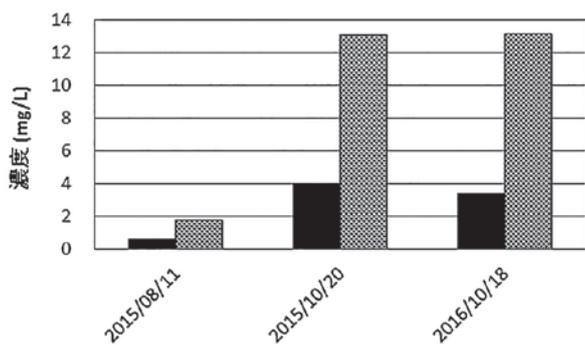


図10 血の池の水の塩化物イオン濃度（黒色グラフ）と硫酸イオン濃度（灰色グラフ）

池の内部には残雪が多く、雪解け水が残雪の下から勢いよく流れ出しており、この水が池塘の中にも入っていたので、この水を採取したのですが、調査時期によっても水質が大きく変わることかもしれません。雪解け水の影響がなくなった10月の水質は2015年も2016年も比較的似た値で、塩化物イオン濃度も硫酸イオン濃度もミクリガ池やミドリガ池と比べて数倍高い値となり、この点から、血の池の水質への噴気の影響度はこれらの湖沼よりも大きくなることが分かりました。水のpHの値も2015年10月で4.04、2016年10月では3.80と、ミクリガ池やミドリガ池と比べて低めの値（酸性が強い）でした。

4) リンドウ池

リンドウ池（図11）は血の池の北側にある小さく浅い湖です。リンドウ池の流出口はその



図11 リンドウ池
正面奥の開けた所の先が地獄谷で、立ち上る噴気が見えます。湖の奥まで噴気が入り込むため、ハイマツが枯れています。

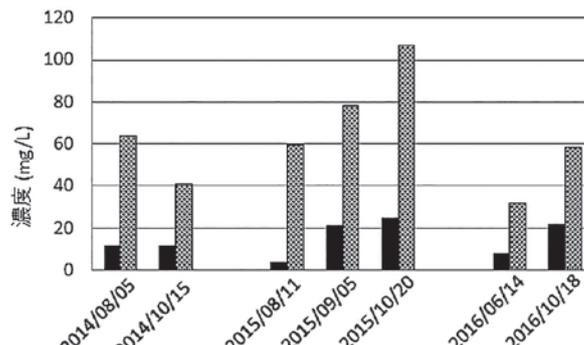


図12 リンドウ池の水の塩化物イオン濃度（黒色グラフ）と硫酸イオン濃度（灰色グラフ）

まま地獄谷につながっており、しかも、大きく広がっています（図11）。リンドウ池の流出口の下には活発に活動している噴気口があり、V字型に広がる流出口の部分から立ち上る噴気が見えます（図11）。西風が吹くとこの噴気が風に乗ってリンドウ池の上を通過するため、噴気の通り道に生育していたハイマツは全て枯れています。このため、リンドウ池の調査の際には亜硫酸ガスと硫化水素を同時に吸収してくれるガスマスクを着用します。

リンドウ池の水の塩化物イオンと硫酸イオンの濃度は、となりの血の池と比べても数倍高く（図12）、やはり、噴気の影響が最も大きく出ていました。また、他の湖沼では各年の10月の塩化物イオンや硫酸イオンの濃度にそれほど大きな違いがなかったのに対し、リンドウ池では年によって濃度が大きく変化することも特徴でした。噴気が池の上を通過する回数や通過するときの風速などが年によって違うことが原因ではないかと考えられます。

さて、2015年8月の調査では、硫酸イオンの濃度に対する塩化物イオンの濃度が他の調査のときよりも小さくなっています（図12）。このときは、ミクリガ池、ミドリガ池も同様の状況でした（図6、図8）。その原因として、2015年8月は残雪が多く、雪解けが進んでいる状況で、この雪解け水の中の塩化物イオン濃度が低いためと考えられました。その年の9月の調査でリンドウ池の残雪（氷の塊）を少量持ち帰り分析したところ、硫酸イオン濃度は2480 mg/Lもあったのに対し、塩化物イオン

濃度は0でした。噴気の成分に季節変化はないはずなので、冬の間、積雪の中では塩化物イオンが保存されていないようです。噴気の中の塩化物イオンは気体の塩化水素として存在しています。室堂平では冬の間、氷点下の気温がずっと続くため、噴気の湯気に溶けていた塩化水素は、湯気が雪の上に落ちて凍ってしまうと、外に追い出されてしまい、硫酸だけが雪の中に蓄えられると考えられます。このため、雪解け水が供給されている間は塩化物イオンに対して硫酸イオンの濃度がかなり高い水が湖水に供給されます。雪解けが終わると噴気の成分がそのまま湖水に入るので、湖水の硫酸イオン濃度に対する塩化物イオン濃度の比率が上がってくるものと考えられました。

5) ミドリガ池の噴気の影響度が高くなる理由

水質をとおして自然を観る研究は、調べた場所の水質データを記録として残しておくだけでなく、そのデータから水や物質の流れを推理する楽しみもあります。このためには、調査に行った際に風や水の流れを観察することも必要です。

図6と図8のグラフから、ミクリガ池よりもミドリガ池の方が噴気の影響が大きいことが分かりました。これには、室堂平の風の流れが関係しているように思われます。図13は2014年10月7日のミクリガ池の調査後に撮った写真です。手前の室堂駅と奥の立山との間に雲がかかっています。これは平地から来た大気が雲



図13 平野から昇ってきた風の室堂平での流れ

(霧)をつくりながら常願寺川支流の称名川をさかのぼり、雷鳥沢(写真左)から立山の前を通って一ノ越方向(写真右)に抜けようとしているところです。このような風の流れは室堂平で何回か観察したことがあります(風が強いと弥陀ヶ原から室堂平に向けて一面に雲が上がってきます)。このときリンドウ池では西風が吹くと考えられるので、リンドウ池を抜けた噴気がこの風の中に入り、ミドリガ池の上を通過する際に、噴気の成分を落とすことで、ミドリガ池での噴気の影響が大きくなるものと考えられました。この風の流れに対しては、ミクリガ池はミドリガ池よりも離れているので影響は小さくなります。また、弱い西風が吹く場合にも風が同じような経路を流れるのかもしれませんが。

もう少し調査を続けながら、地獄谷の噴気活動や湖沼の水質変化を見ていきたいと思っています。

《参考文献》

- 丹保俊哉, (2017). 立山の熱が作り出した地獄谷とその噴気活動, とやまと自然, 39(4):2-8.
- 朴木英治, (2016). 立山室堂平湖沼群と称名川の水質記録(2015年), 富山市科学博物館研究報告(40):151-152
- 朴木英治・川上智規, (2015). 立山室堂平周辺の湖沼の水質, 富山市科学博物館研究報告(39):99-100.
- 朴木英治・渡辺幸一, (2011). 立山に降る酸性雨と霧による渓流水の酸性化影響に関する研究, 富山市科学博物館研究報告, (34):81-94
- 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流の産状と記載岩石学的特徴, 富山市科学博物館研究報告, (37):1-9.
- (参考文献は一部を除いてホームページから閲覧できます)