

ドローンによる箱根火山大涌谷噴気地帯の観察報告

宮下雄次
(神奈川県温泉地学研究所)

■はじめに

みなさんは、テレビなどでドローンから撮影された映像を見たことがあると思います。ドローンを使うと比較的簡単に地表面付近からの空中映像を撮影できるため、近年では様々な場面で使われるようになってきました。またドローンを用いることで、人が立ち入れないような危険な場所や上空からでも、安全に撮影や観察などを行えるようになりました。更には、比較的安価で購入できるドローンの普及や、法律の整備、講習会や資格試験の普及により、広く一般の人たちでもドローンによる空中撮影が行えるようになってきました。

このような中、温泉地学研究所でもドローンを使った空中撮影を

2017 年ごろから行っています。今回、箱根火山大涌谷噴気地帯におけるドローンによる観察の状況について紹介します。

■ドローンについて

ドローンは、ラジコン飛行機や農薬散布用の無線操縦ヘリコプターと同じ、小型無人機・無人航空機と呼ばれるものの一つで、マルチコプター(プロペラが3つ以上ある人が乗れない航空機)や UAV(Unmanned Aerial Vehicle)とも呼ばれています。「ドローン」という名前は、元々は無人航空機全体を指し示す言葉で、ドローンのプロペラ音が、蜂の「ブーン」という羽音に似ていることや、イギリスで 1935 年に開発された無線操縦式の

射撃訓練用標的機「Queen Bee (女王蜂)」に敬意を表して、「Drone (雄蜂)」と称されるようになったといわれています(久保, 2017)。

日本では、ドローンを飛ばすためには、「航空法」と「重要施設の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行の禁止に関する法律(通称: 小型無人機等飛行禁止法)」の2つの法律に従う必要があります。

航空法は国土交通省が所管する法律で、重さ 200g 以上(2022 年 6 月以降は 100g 以上)の無人で遠隔もしくは自動操縦する飛行する機器が対象となります。この法律では、無人航空機の飛行禁止空域が定められており、下記の飛行禁止空域で無人航空機を飛行させる場合は、国土交通大臣の許可が必要となります。

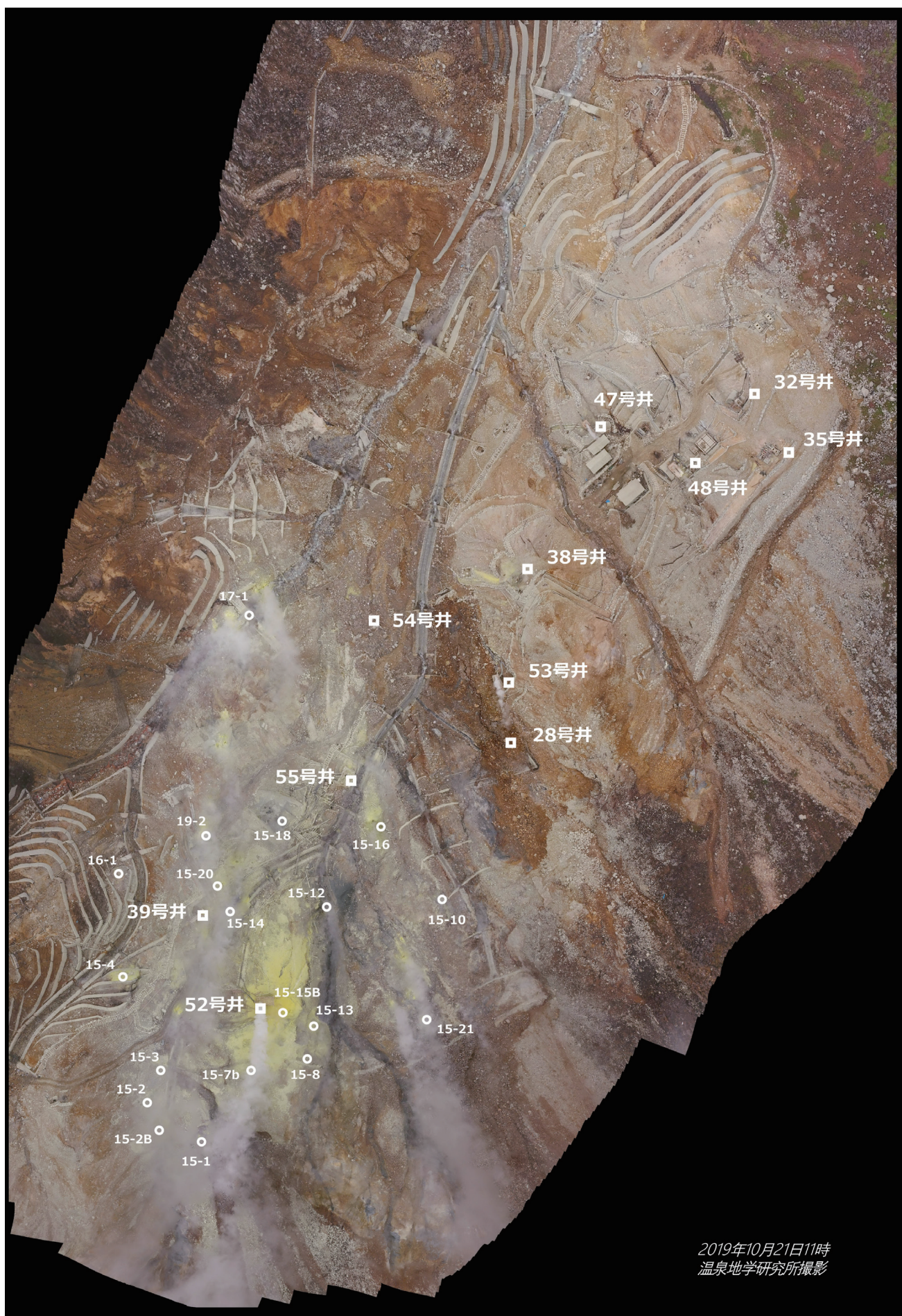
- 空港等の周辺の空域
- 地表又は水面から 150 m 以上の高さの空域
- 人口集中地区(DID)等の上空(図1)

例えば神奈川県の場合、政令指定都市である横浜市や川崎市の大部分や、旧相模原市域、横須賀市や厚木市、平塚市、秦野市、小田原市、湯河原町や真鶴町など、多くの市町が人口集中地区に該当し、飛行禁止区域となっています。

また、災害等の搜索、救助等活動のため緊急用務を行う飛行機の飛行が想定される場合、その範囲は「緊急用務空域」として指定され、ドローンの飛行は原則禁止となります。



図1 神奈川県における人口集中地区(DID地区)分布 平成27年。赤く塗られた範囲が、DID地区。図は国土地理院 地理院地図(電子国土web版)をもとに作成。



一方、小型無人機等飛行禁止法は、警察庁所管の刑事法で、国会議事堂や外国公館、防衛関係施設や空港、原子力事業所など、重要施設及びその周囲おおむね 300m の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行を原則禁止する法律です。この法律では、重量に関係なくすべてのドローンや小型無線飛行機、気球やハンググライダー、パラグライダーなど人が乗って操作する特定航空用機器とよばれるものも対象に含まれています。

これら二つの法律によって飛行が禁止されていない場所でも、例えば河川などの上空を飛ばす場合、河川管理者の許可が必要な場合もありますし、私有地の上空などを飛ばす場合、土地所有者や管理者の承諾が必要になる場合があります。例えば神奈川県の場合、公園内でドローンを飛ばす場合には、神奈川県都市公園条例により事前に申請を行う必要があります。

ドローンは手軽に扱える一方で、使い方や気象条件等によっては、墜落や衝突によって人や物に危害を与える可能性があります。このため、操縦者には、関係法令や決まりを守って、安全にドローンを飛行させる技術とモラルが求められています。2022 年 4 月現在、ドローンを飛行させるために免許等は必要ありませんが、これらのスキルを得るために、多くの民間のドローンスクールや資格試験があります。これらの民間資格を所有することで、ドローンについての基礎知識や操作方法、関係法令を習得することが出来るほか、航空法で禁止されている高度 150m 以上での飛行や、目視外飛行

などの許諾申請を行う際に必要な、操縦者の飛行技術証明が免除されるなどのメリットがあります。

なお、2021 年 3 月に航空法改正案が閣議決定され、その中でドローンの「操縦ライセンス（免許）制度」を新設するという記載が含まれました。2022 年 4 月時点で、詳細については明らかになっていませんが、将来的には、免許が必要となるかもしれません。

■ ドローン操縦・撮影の特徴

ドローンは、機体に取り付けられた GPS による位置情報や、近接センサーやカメラで撮影した画像等から得られる、障害物からの距離や位置関係を基に、機体の姿勢や位置を正確に把握し機体の制御を自動的に行っているため、非常に高い飛行安定性があります。また、ヘリコプターのようにホバリング（空中に停止すること）が可能で、前後左右上下と自由な方向に機体を移動させることも出来ます。ドローンはラジコンのように地上から機体を見て操縦する他、手元のコントローラー画面に映し出されたドローンからの映像を見ながら、操縦することも可能です。ラジコンの場合、通信が途絶えると機体もどこかに行ってしましますが、ドローンの場合は、発着地点に自動で帰ってくる機能がついています。このほか、事前に設定したルートに沿って自動で飛行する機能などもあります。

これらの機能を使ってドローンを飛ばしながら、ドローンについているカメラで様々な撮影を行うことが出来ます。小型で安価なトイドローンとよばれる機種を除き、ドローン



図 3 mavic mini 本体及び送信機（プロポ）。本体の下にあるケースは本体と送信機を収納できるキャリングケースとなっている。送信機に取り付けてあるスマートフォンは iPhone 6s。

についているカメラには、コントローラーの操作によって上下方向にカメラの向きを変える機能と、ジンバルとよばれる水平を保ち画像のブレを軽減させる機能が付いています。ドローンは前後左右に飛行する際、機体を進行方向に傾けて飛行します。しかし、ジンバルがついているカメラでは、機体が傾いてもカメラは水平に保たれるため、ブレのない動画や写真を撮影することが可能となります。

更には、航空写真のように真下にカメラを向けて、連続的に写真撮影を行い、撮影した連続写真と、撮影した時刻の機体の GPS による位置情報を使って解析することで、一枚の写真に納まらないような広い範囲の空中写真を得ることが出来ます。図 2 は大涌谷噴気地帯を 2019 年 10 月 21 日にドローンで撮影した 817 枚の写真から合成したものです。

このように、空中から動画や写真の撮影ができるドローンですが、その大きな特徴として、人が近づけな

←図 2 大涌谷空撮画像。2019 年 10 月 21 日 11 時撮影。817 枚の連続写真より、写真合成ソフト DroneDeploy により作成。



図4 2021年8月20日におけるドローンの飛行軌跡（黄色実線）と写真のキャプチャー地点と撮影方向（矢印と番号）。赤枠で囲まれた範囲は、図2で示した、2019年10月21日撮影の空撮画像。その他の範囲については、Google Earth より作成。

いところや、見る事が出来ない真上などから、対象物の撮影や観察を行う事が出来る事が挙げられます。この特徴は、箱根火山大涌谷噴気地帯で定期的な現地調査を行っている当所にとって、足場が悪かったり、接近するためのルートがなくて近づけない噴気孔の観察や撮影に、大変有効な調査手法となります。当所では、2015年の噴火以降、ドローンによる大涌谷噴気地帯の観察を行ってきました。ここでは、2021年8月20日に撮影したドローン映像から、大涌谷噴気地帯の空中写真をご紹介します。

■ 2021年8月20日における大涌谷噴気地帯のドローン映像の紹介

撮影した日は、晴れていて風も穏やかなドローン飛行日和でした。撮影には、dji 製 mavic mini という小型のドローンを用いて行いまし

た（図3）。このドローンは重さが199gと、撮影当時の航空法ではドローンに該当しない軽さでありながら、安定した飛行性能と、三軸ジンバルと2.7Kカメラによる高画質な映像撮影が可能な機体です。また、小さなバックに入れて持ち運びができるため、発着地点までの山道も問題なく運搬することが出来ます。

図4は撮影した際の飛行ルートにです。図中の赤い線で囲まれた範囲は、写真1に示した、2019年10月21日におけるドローン画像から合成した空中写真を重ね合わせたものです。また、図中の黄色い線が飛行ルートを、図中の矢印と番号が、それぞれの写真を撮影した地点と撮影方向になります。ドローンは谷の北側（下流側）から上流の噴気地帯に向かって飛行し、谷上部の52号蒸気井を回って出発地点に戻ってくる、左回りのルートをとっています。

なお噴気の番号や各噴気孔等の

詳細については、万年ほか（2018）、万年ほか（2020）、菊川ほか（2021）で紹介されておりますので、それらをご参照ください。

次頁以降では、飛行ルートに沿って、大涌谷噴気地帯の中を空中散歩していきましょう。

■ おわりに

今回紹介した2021年8月20日におけるドローン空撮動画は、当所1階ロビーに設置されているモニタにて、展示上映を行っています。動画では噴気の強さや、噴気の切れ間に一瞬だけ見える噴気孔の様子など、写真では分かり難い部分も観察することが出来ますので、ぜひ一度見に来てください。

今後も、大涌谷の噴気地帯については、定期的な立入によるモニタリング調査と、ドローンによる観察を行っていく予定です。撮影した動画については、所内での展示上映や、観測だよりなどで紹介していきたいと考えております。

■ 参考文献

- 菊川城司・万年一剛・宮下雄次（2021）：大涌谷における湧出水、温泉水等のモニタリング結果（2018～2020年），温地研報告no.53, p.83-120
- 久保大輔（2017）：無人航空機システム（ドローン）の歴史と技術発展，計測と制御，no.56(1), p.12-17
- 万年一剛・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，温地研報告，no.50, p.19-44
- 万年一剛・菊川城司・宮下雄次・加藤照之（2020）：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（その2），温地研報告，no.52, p.1-14

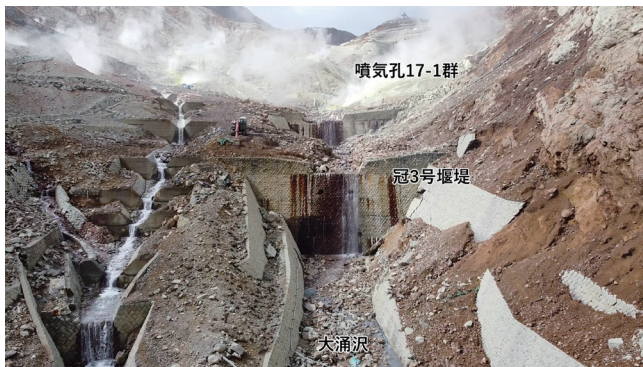


写真1 大涌谷下部（北側）から谷上部（南側）方向（噴気地帯）を撮影。噴気孔 17- 1 群が最も北側に位置する主な噴気孔です。



写真4 54号蒸気井から出る噴気は、最初は透明で、少し上がったところから白い蒸気となっています。これは、噴気の温度が水の沸点以上の温度であることを示しています（噴気が白く見えるのは、噴気中の水分が凝結し水滴となっているためです）。



写真2 左側にある54号蒸気井は、2021年7月の大雨による土石流により、造成塔が倒壊し、撮影時は基礎部分から噴気が噴出しています。噴気孔 17-1 群付近には、噴出した硫黄で黄色くなっています。



写真5 55号蒸気井は、休止中のため、造成塔の上部から噴気は出ていませんが、蒸気井下部の堰堤からは、自然噴気が出ていて、堰堤が硫黄で黄色くなっています。



写真3 噴気孔 17-1 群を直近の上空から撮影したものです。画面中央の冠2号堰堤上部で、2017年1月に新たに噴気が確認されました。その後、堰堤の下部や左岸側斜面（堰堤の右側）に噴気が拡大しました。

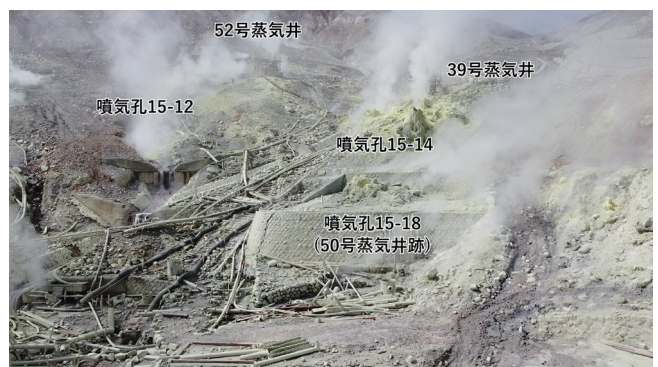


写真6 自然噴気の中心エリアに近づいてきました。手前にある噴気孔 15-18 は、50号蒸気井の跡地にできた噴気孔で、大きな噴気孔がいくつもあるので、近づくことが出来ない噴気孔です。

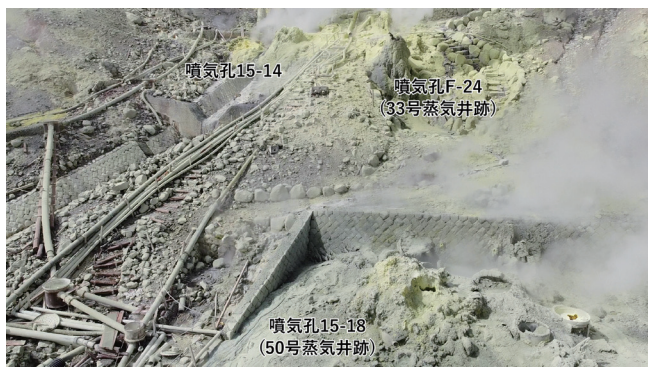


写真7 噴気孔 F-24(噴気孔形成時期が特定できていないため、仮の番号として F- ○○ という番号をつけています) は、33 号蒸気井の跡地にできた噴気孔で、噴出した硫黄により大きな噴気塔が形成されています。



写真10 52 号蒸気井の斜面上側 (南側) には、噴気孔 15-7b と噴火口 15-1 から噴気が出ています。この他にも、52 号蒸気井の東側 (画面左側) では、いくつかの噴気孔が出現しています。



写真8 噴気孔 15-14(左岸側) は、噴出した硫黄が円すい状に堆積した後、中央部分が崩れたことで、大きな開口部ができました。沢の右岸側 (画面左側) にも小さい噴気孔があり、これらを合わせて 15-14 群としています。



写真11 52 号蒸気井の西側 (画面右方向) では、水路に沿って、噴気孔 15-2 群、15-3、F-1 が一列に並んでいます。この水路が、写真9の39号井の東側 (画面左側) にある水路につながっています。



写真9 39 号蒸気井の東側 (画面左側) には、噴気孔 19-1 が形成されています。この場所の周辺には 2019 年以前にも噴気孔がありましたが、画面に車両の轍が残っているように一度造成されて噴気孔が閉塞しました。その後 2019 年になり再度噴気が確認されたことから、2019 年の一番目の噴気という意味で、噴気孔 19-1 と命名しました。

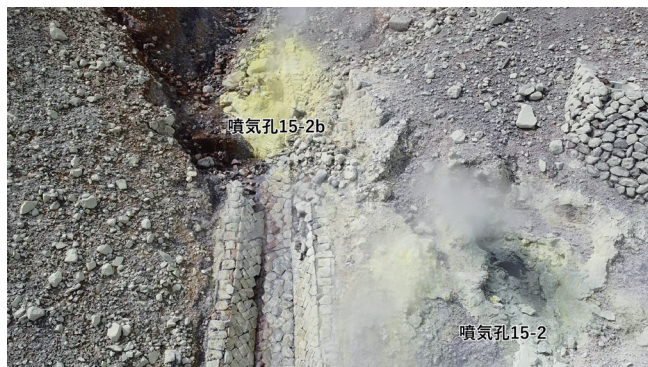


写真12 噴気孔 15-2 とその南東側に隣接する噴気孔 15-2b です。噴気孔 15-2 からは、水が混じった黒色の硫黄化合物が噴出しているため、噴気孔周辺は灰色になっています。一方、噴気孔 15-2b では、溶けた硫黄がそのまま吹き出し、黄色い粉末が噴気孔周辺に降り積もったり、溶けた硫黄が流れ出して堆積しています。



写真 13 噴火口 15-1 では、台風や大雨により上部の斜面が崩れ、すり鉢状の火口がほとんど埋まっています。

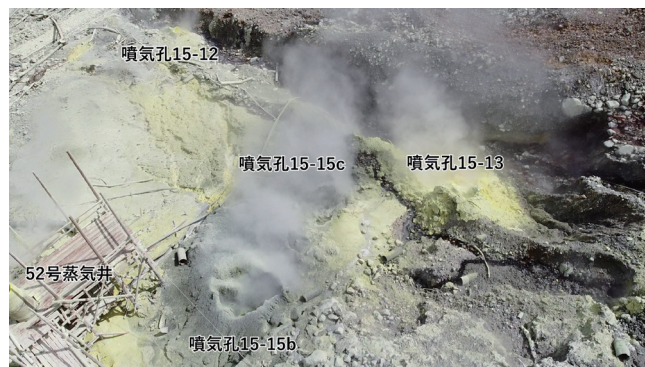


写真 16 噴気孔 15-15b の東側に噴気孔 15-15c と噴気孔 15-13、沢の下流側に噴気孔 15-12 が見えます。噴気孔 15-13 と噴気孔 15-15c との間には、水が流れた跡があり、斜面上部となる画面右方向に遡っていくと画面右端付近に窪みがあり、そこから湧出しているのが観察できました。



写真 14 噴気孔 15-2 上空から北東方向を撮影した写真です。52 号蒸気井の南側にある噴気孔 15-7b は、黒色の硫黄化合物の噴出により、全体が黒くなっています。

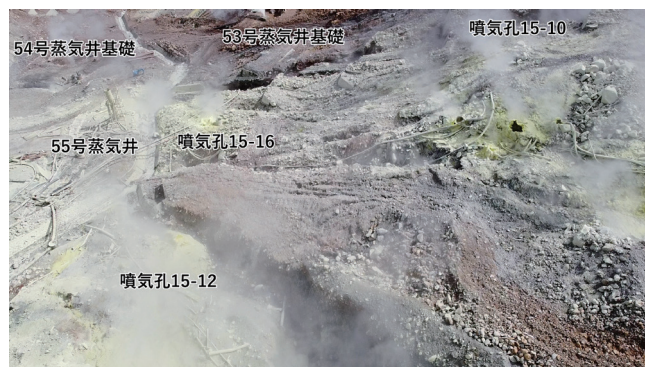


写真 17 噴気孔 15-12 がある沢は、2015 年の噴火の際には熱泥流が発生しました。この沢の東側一帯（画面右側約 2/3 の範囲）は「みけんの平」と呼ばれています。みけんの平は、自然噴気が多い反面、蒸気井や作業路が無く、沢を迂回する必要があるため、ほとんど現地調査で立ち入りできていない範囲です。



写真 15 52 号蒸気井の東側（画面奥側）には、噴気孔 15-15b と噴気孔 15-13 から噴気が出ています。噴気孔 15-15b の東側には、噴気の陰にもう一つ噴気孔が隠れています。



写真 18 53 号蒸気井の基礎部分から出ている噴気は、54 号蒸気井から出る噴気に比べると白色が強く見えます。これは噴気温度の差ではなく、噴気孔が石で塞がれており、その隙間から噴気が出ていることで、噴気の状態が大きく変化したためと考えられます。

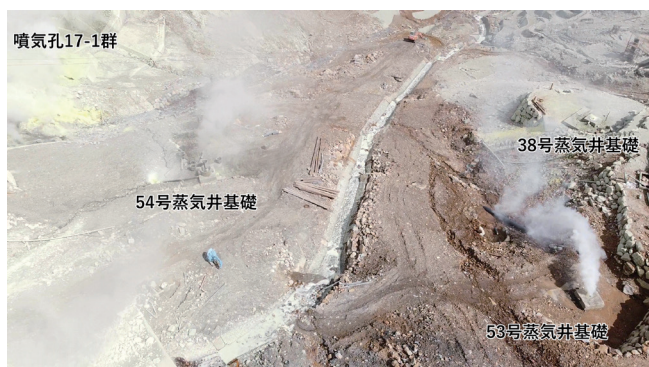


写真 19 53号蒸気井と54号蒸気井の間を流れる水路には、白濁した水が流れています。これは毎日行われている52号蒸気井と39号蒸気井のメンテナンス（清掃）により、造成塔内に溜まった硫黄などを洗い出した水が、一時的に排水されているためです。



写真 20 53号蒸気井よりも下流側（北側）にもいくつかの蒸気井があります。しかしこの範囲では自然噴気が出ていないため、地表付近にも噴出した硫黄がなく、地面が茶色に近い色合いをしています。



写真 21 35号蒸気井は造成塔ではなく、横置きのタンクで温泉を造成しているので、形がほかの蒸気井とは異なります。ここまで来ると火山ガスの影響も少なくなり、植生の緑が見られるようになりました。