

新潟大学災害・復興科学研究所  
共同研究報告書

水蒸気噴火および粘着性土石流を多発する現象発生場の地質・岩石学的特徴  
の解明：安達太良火山沼ノ平での事例研究

研究代表者 井村 匠<sup>1)</sup>  
研究分担者 片岡香子<sup>2)</sup> 長橋良隆<sup>3)</sup>

1) 山形大学 2) 新潟大学 3) 福島大学

研究要旨

福島県西部に位置する安達太良火山では、過去約5万年間において熱水変質帯に起因した水蒸気噴火ならびにそれに伴う火山泥流（粘着性土石流）が多発している。噴火および粘着性土石流の現象発生場と想定される熱水変質帯の特性を把握することは危急の課題である。本研究では、現象発生場の物質科学的特性の解明を目的として、安達太良火山山頂西部の熱水変質帯について地質・岩石学的調査を実施した。今年度は、現地地表踏査とUAV空撮を実施し、変質帯を構成する岩石種、岩相ならびに地質構造について予察的な結果を得た。本研究成果は、熱水系卓越型火山の活動把握に貢献するとともに、今後の水蒸気噴火および粘着性土石流の発生地点予測を行うための基礎的データとなることが期待される。

A. 研究目的

安達太良火山西部沼ノ平火口周辺では、大規模な熱水変質帯が露出する。当該地域では地熱兆候となる噴気活動、温泉の湧出が活発であり、これらは山体直下の熱水系が活動的であることを示唆する。本火山のように熱水活動が活発な火山では、熱水や高温火山ガスの放出を伴う水蒸気噴火が多発的かつ突発的に生じ、同時に、発生予測が難しい粘着性土石流のトリガーとなる可能性がある。

そこで、本研究では、安達太良火山山頂西部の熱水変質帯に対して、水蒸気噴火および粘着性土石流の現象発生場の物質科学的特性を把握し、安達太良火山最新期における火山熱水系の活動傾向を明らかにする。本報告では、2020年度で実施した同熱水変質帯の地表踏査結果、推定される地質構造について概要を述べる。

B. 研究方法

研究対象地域は、安達太良火山山頂西部沼ノ平火口から硫黄鉱山跡にわたり、大規模に露出している熱水変質帯となる（図1）。当該地域において、熱水変質帯の岩相区分および地質構造把握を目

的とした野外地質調査を実施した。この野外地質調査では、研究対象区間の地表踏査、岩石試料採取を行うとともに、測量用UAV（Mavic 2 Pro）を用いて空撮も同時に行うことで、熱水変質帯の構造把握を効率的に進めた。なお使用したUAVは株式会社ドローンレンタルより借用した。

採取した岩石試料は、粘土～細粒砂サイズの碎屑粒子からなる混合物であり、これらが変質帯の大部分を構成している。このような試料に対して、粉末X線回折実験（powder X-Ray diffraction）を実施し、同試料に含まれる鉱物種を同定した。本実験では山形大学設置のX線回折装置（Miniflex II）を使用した。

C. 研究結果

調査結果のまとめと熱水変質帯の岩相分類

野外地質調査（図1、図2）と室内分析結果から、当該変質帯は山頂西部を構成する火山岩類に胚胎されることが明らかとなった。この変質部の主な地質産状を以下の(1)～(3)にまとめる。(1)変質帯はパイライトと自然硫黄に富む黒色部と白色細粒変質部のセットからなる。両者の色調、構成物は河床（黒色部）から谷部稜線（白色部）へ

と漸移的に変化する。(2) (1) の変質帯は調査地域周辺の火山岩類のユニット間境界部ないし溶岩内部の板状節理に沿って発達する。(3) 白色細粒変質部の鉱物組み合わせと産状が標高に応じた岩相変化を示す。胎内岩—沼ノ平分岐までの表層はSi-Al 粘土鉱物とクリストバライト主体の白色粘土化変質部からなる。一方、沼ノ平火口縁の表層を構成する岩石は石英に著しく富む白色溶脱珪化岩である。

今回は特に(3)の岩相変化に注目し、本調査地域に分布する変質帯について、4つのカテゴリーに分類した。分類した4つの変質帯は、それぞれ、Zone 1 (廃坑跡付近—胎内岩・沼ノ平分岐)、Zone 2 (胎内岩・沼ノ平分岐)、Zone 3 (胎内岩・沼ノ平分岐—沼ノ平火口縁)、Zone 4 (沼ノ平火口底堆積物)である。本報告では、この分類に従い、それぞれの変質帯の特徴を記述する。また、本地域に分布する火山岩類のユニット区分 (NA, NL, MY など) は藤縄・鎌田 (2005) に従う。

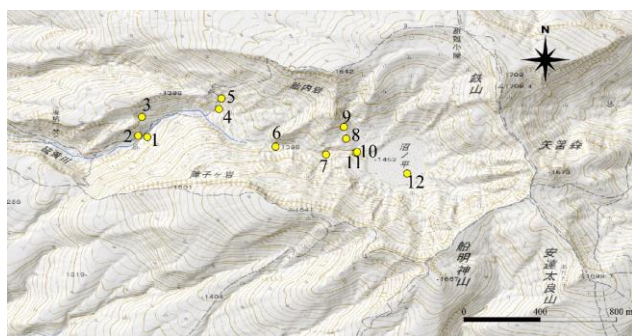


図1: 調査対象区域と試料採取地点 (番号 1-12)

## 熱水変質帯各説

### Zone 1: 廃坑跡付近—胎内岩・沼ノ平分岐 (Loc. 1-5)

大部分は黒色粘土化変質岩 (クリストバライト+オパール CT+パイライト+自然硫黄) からなり、硫黄川河床部よりおよそ 10 m 以上から V 字谷中腹にかけて露出する (図 2)。黒色変質部の上部 10-20 m では、黒色粘土化変質岩から黄白色粘土化変質岩 (クリストバライト+カオリナイト+スメクタイト) へと漸移的に岩相変化する。この一連の熱水変質帯は、該当地域を構成する沼尻廃坑アグルチネート (NA) と沼尻廃坑溶岩 (NL) のユニット境界部、NL の板状節理部、および迷い沢溶岩 (MY) の板状節理部に発達する (図 2)。

Loc. 4 の黒色粘土化変質部は、火山岩の斑状組織が形状のみ残存しており (仮像交代組織)、これ

らの母岩は溶岩である。また、Loc. 1 周辺では、硫黄孔が多数確認でき、Zone 1 は最新の噴気活動による自然硫黄の付加変質を受けている。

### Zone 2: 胎内岩・沼ノ平分岐 (Loc. 5)

Zone 2 を構成する岩石は暗灰色珪化変質角礫岩である。これらは Loc. 5 周囲に点在し、1~数 m の高さで鉛直方向に発達した珪化岩体として産する (図 2)。上記の変質角礫岩に該当する岩相は本地点よりも高標高地点には認められないこと、周囲の粘土変質帯 (Zone 1) とは漸移境界をもって接することから、Zone 2 の岩石は転石ではなく Loc. 5 周辺で現地性 (*in situ*) の熱水変質作用により形成されたものである。

珪化変質角礫岩の黒色基質部は、溶脱孔が発達した塊状均質石英 (massive quartz) からなり、多量のパイライトにより空隙の大部分が充填されている。構成礫の多くは白色溶脱珪化岩、灰色粘土化変質岩からなり、それらの形状は不定形~角礫形とさまざまである。上記の特徴は、熱水角礫岩 (hydrothermal breccia) の岩相に酷似する。

### Zone 3: 胎内岩・沼ノ平分岐—沼ノ平火口縁 (Loc. 6-12)

Zone 3 では、河床から V 字谷稜線部に向かって、黒色変質部 (クリストバライト+パイライト+自然硫黄) から灰白色溶脱珪化部 (石英+自然硫黄) へと岩相変化する (図 2)。両者の境界部となる河床部より 4 m 高さ付近 (Loc. 7) では、上部に向かい大小さまざまな白色珪化ブロックが相対的に増加していく様子が見られ、両者の境界は漸移的である。同区域は、迷い沢溶岩 (MY) の分布域であり、上記の変質帯は MY に胚胎されている。

河床部の黒色変質部は、主部は空隙が発達し固結度の良い溶脱珪化部からなるが、空隙の大部分はパイライトと自然硫黄からなる黒色泥によって充填されている。灰白色溶脱珪化部は塊状かつ固結度が悪く、石英からなる珪化岩片の集合体である。Loc. 6-9 周辺では硫黄孔が多産し、そのような場所の灰白色珪化部は自然硫黄の析出、付加によって黄灰色を呈する。

### Zone 4: 沼ノ平火口底堆積物 (Loc. 10-12)

沼ノ平火口底西縁部 (Loc. 10-11) において、一面の段丘をなす灰色細粒砂混じり泥質堆積物堆積物を見出した。本堆積物はこれまでの Zone 1-3 のいずれとも異なる構成物、岩相を示すため、

Zone 4として分類する。この堆積物は塊状不淘汰で粘着性があり、1 cm から数 m サイズの白灰色の珪化岩片および粘土化変質岩片を含む。安山岩質火山弾からなる礫も含まれており、それらはブロック状の形態を示す。いずれも角礫～亜角礫状である。堆積物全体は粘着性土石流堆積物の様相を示す。また、灰色基質部の構成鉱物はクリストバライト、石英、ミョウバン石、石膏、パイライト、パイロフィライト、カオリナイト（ディッカイト）が主体である。

この堆積物には白黒縞状を呈する1 mm から1 cm の平行葉理構造が発達した粘土質堆積物のブロックが特徴的に含まれる。それぞれ、白～灰白色部はミョウバン石と石英、灰～黒色部ではパイライトが優勢である。この堆積物はかつて沼ノ平が火口湖であった時期の湖成堆積物に由来する可能性があるが、詳細は不明である。

#### D. 考察

##### 熱水変質帯の岩相変化と空間分布

Zone 1-3 の変質帯の空間分布は、いずれも周辺に分布する火山岩類の地質構造に支配されている。これらはかつての熱水と岩石の接触部であり、上記の地質構造が熱水の流路および貯留層として機能したことを示唆する。

このことは、黒色から白色への鉛直方向の一連の岩相変化とも整合的である。ここで、各硫黄鉱物の晶出と、かつての地下水面 (water table) の関係性を検討する。パイライトに富む黒色部を形成するには自然硫黄や石英の安定領域よりも還

元的であることが求められる。すなわち、地下水面よりも下であり、 $H_2S$  に富む熱水存在下でパイライトの晶出が安定な環境で形成されたのだろう。一方、パイライトを欠き、石英と自然硫黄に富む白色部を形成するには、より酸化的事業が必要である。ここで、地下水面よりも上であれば、 $H_2S$  が酸化し生じた  $SO_4^{2-}$  ないし  $SO_2$  によって溶脱珪化作用が進行したと考えることができる。従って、一連の岩相変化はかつての地下水面の境界付近で生じた熱水の酸化還元状態の挙動に対応するものであり、それらは火山岩類のユニット境界、溶岩流の内部構造に沿って熱水が対流、流通していた際に生じたものであろう。

このような観点によると、Zone 2 の熱水角礫岩に酷似した岩相は、かつて溶脱珪化を受けた壁岩が破碎を受けながら、地下水面下で  $H_2S$  に富む熱水によりパイライトの付加を受けたものと解釈される。この形成場として熱水流量が多い熱水湧出孔 (hydrothermal conduit) の近傍とするのが妥当であり、Zone 2 の分布が Loc. 5 周辺に限定されることとも整合する。

##### 各 Zone の変質鉱物組み合わせ

変質帯を構成する岩石の鉱物種は、いずれも地下浅部～地表酸性変質帯に典型的に産する。これらが酸性流体による熱水変質作用でもたらされたことは明らかであるが、その条件にはそれぞれの Zone で差異がある。

調査地域下流部の Zone 1 ではクリストバライト主体かつ粘土鉱物主体であり低温酸性熱水による浅部変質帯に対応する。上流の Zone 3 では

図2：調査対象区域地点柱状図

地点番号は図1の図中の1-12の番号に対応する。火砕岩類、溶岩のユニット名称は藤縄・鎌田(2005)に従う。各ユニット略称は下記の通りである。

TI: 胎内降下火砕物 (強溶結)

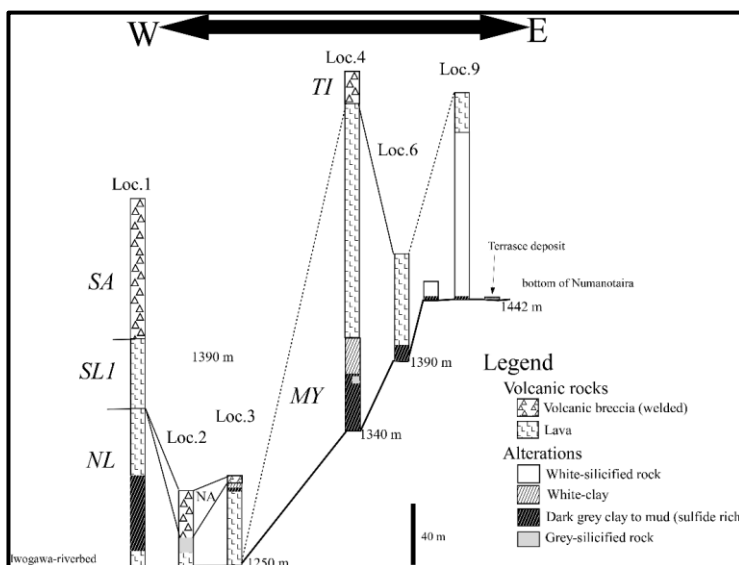
SA: 障子ヶ岩降下火砕物 (強溶結)

SL1: 障子ヶ岩第一溶岩

NA: 沼尻廃坑アグルチネート

NL: 沼尻廃坑溶岩

MY: 迷い沢溶岩



石英優勢になり、多数の硫気孔を伴い自然硫黄とも共存している。この特徴は熱水変質というよりは、地表浅部で酸化された硫酸によって生ずる珪化変質作用を支持し、蒸気加熱型の地表噴気変質帯に相当すると考えられる。

沼ノ平火口底の Zone 4 では、ミョウバン石、石膏に著しく富むほか、石英、パイロフィライト、カオリナイト（ディッカイト）が含まれる。これらは、発達した高温酸性熱水によって形成される高度粘土化変質帯で認められる鉱物組み合わせに類似する。またミョウバン石の存在は硫酸酸性流体の関与を示唆する。これは土石流堆積物に含まれる湖成堆積物ブロックの構成物についても同様である。しかしながら、これらの組み合わせは本調査地域における地表露出した変質帯の構成物とは対応しない。沼ノ平火口が現在の活動中心であることを考慮すると、上記の硫酸酸性変質帯となる Zone 4 は、定常的な火山ガスの供給路とされる沼ノ平直下の火道周辺の変質帯に由来する可能性がある。

## E. 結論

安達太良火山西部では、かつて地下で生じた熱水活動履歴が、地表露出する熱水変質帯によく保存されている。これを読み解くと、かつての熱水系の空間分布や発達過程にはいくつかのステージがあり、現在の熱水系は沼ノ平火口直下にて発達していることが推定される。これまでの歴史記録（1900年噴火、藤縄ほか、2006）、既往研究報告（片岡ほか、2015;長橋・片岡、2019; Kataoka and Nagahashi, 2019）からも、沼ノ平火口周囲では将来的に噴火やそれに伴う火山泥流が発生する可能性が高く、今後さらに注意して観測していく必要がある。

## F. 参考・引用文献

藤縄明彦, 鎌田光春 (2005) 安達太良火山の最近 25 万年間における山体形成史とマグマ供給系の変遷. 岩石鉱物科学, 34, p. 35-58.

藤縄明彦, 鴨志田毅, 棚瀬充史, 谷本一樹, 中村洋一, 紺谷和生 (2006) 安達太良火山, 1900 年爆発的噴火の再検討. 火山, 51 (5), p. 311-325.

片岡香子, 神野成美, 長橋良隆, 木村勝彦

(2015) 安達太良火山西麓, 酸川流域に分布するラハール堆積物: 過去 14000 年間の層序・年代と堆積過程. 火山, 60 (4), p. 203-218.  
長橋良隆, 片岡香子 (2019) 安達太良火山東麓に露出する完新世テフラ層の記載と 14C 年代. 地球科学, 73 (1), p. 47-49.

Kataoka, K.S. and Nagahashi, Y. (2019) From sink to volcanic source: Unravelling missing terrestrial eruption records by characterization and high-resolution chronology of lacustrine volcanic density flow deposits, Lake Inawashiro-ko, Fukushima, Japan. Sedimentology, v. 66(7), p. 2784-2827.

## G. 研究発表

なし

## H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

なし