

蔵王火山における過去の火山泥流堆積物の検討と流下範囲の予測

研究代表者 常松 佳恵¹⁾

研究分担者 伴 雅雄¹⁾、片岡 香子²⁾、川島弘之介³⁾

1) 山形大学学術研究院 2) 新潟大学災害・復興科学研究所 3) 山形大学大学院理工学研究科

研究要旨

蔵王火山は現在も噴気活動を続ける活火山であり、過去の噴火の際に御釜やその周辺から火山泥流が発生したことが報告されている。火山泥流は速度が大きく、周囲の石礫や河畔林を巻き込んで流下するため破壊力が大きくなり、大変危険な現象である。そのため、過去の泥流の影響範囲等について調べ、将来、泥流が発生した場合の影響範囲を予測することは重要である。本研究では御釜から泥流が東へ流下すると考えられる濁川水系について、一番新しい段丘面の火山泥流堆積物の特徴を抽出した。また、数値計算においては今まであまり泥流の発生源と考えられてこなかった蔵王周辺の熱水変質帯を発生源として計算を行い、流下範囲や土砂の堆積する範囲を再考した。濁川水系において、今年度は段丘面を3つに区分した際に一番新しいと考えられるⅢ面の堆積物について新たな露頭が見つかり、泥流堆積物間に挟まれる古土壌や炭化木片から放射性炭素(¹⁴C)年代値が得られ、これらの露頭で見つかった泥流堆積物が17世紀以降のイベントによって堆積したものであることが分かった。特に、一部は御釜からの噴出で一番新しい噴火である西暦1895年の噴火に関連したものと考えられる。熱水変質帯を起源とする泥流のシミュレーションによる予測では、山形側では一部の泥流が居住域に達する結果が得られたが、宮城県側ではほとんどの泥流が遠刈田の居住域まで達することがなかった。

A. 研究目的

蔵王山は現在も噴気活動を続ける活火山であり、近年は活動が活発化して火山性微動などが観測され、噴火の危険性が高まっている(気象庁, 2018)。特に冬季は積雪が多く、積雪期に噴火が発生すれば融雪型火山泥流が発生する危険性も高い。また、過去には噴火の際に御釜と呼ばれる火口湖から溢れだした火山泥流が流下したことが古文書等に記録されている(伴ほか, 2015)。一般に火山泥流は速度が大きく、周囲の石礫や河畔林を巻き込んで流下するため破壊力が大きくなる。よって火山泥流の発生要因や流れの特徴を捉えることは、火山泥流の流下範囲などの予測に有効であり、防災上の意義が大きい。しかしながら、蔵王山の過去の泥流発生状況などは不明な部分が多く、地質学的検討があまりない。そこで、蔵

王山の噴火に関連する火山泥流の発生年代や流下の様子などを地質学的に解明し、それを基に数値シミュレーションを行って今後の噴火で予想される影響範囲を予測することを本研究の目的とする。

本研究は平成30年度、令和元年度、そして今年度と3ヵ年かけて行われてきたが、前年度までの2ヵ年で主に蔵王火山東側の遠刈田地域と山形側の数ヶ所における地質学的調査を行った。また、御釜火口とその周辺の馬の背カルデラを発生地点とする泥流の数値的な流下範囲の予測を行った。

今年度は遠刈田地域における、西暦1200年代以降の堆積物の調査と、すでに調査が行われてきた8000年前以降の噴出物に関して記載や分析を見直した。また、将来水蒸気噴火の可能性が考え

られる、蔵王火山周辺の熱水変質帯から発生しうる泥流の数値シミュレーションを実施し、その泥流の流下・影響範囲予測を行った。

B. 研究方法

B-1 西暦 1200 年代以降の堆積物の地質調査

遠刈田地域においては、西暦 1200 年代以降の堆積物の露頭を新たに発見し、その調査を行った。調査露頭は地形的・地質的に区分された河岸段丘面 (I-III 面) のうち、最も新しい III 面に位置している (図 1)。

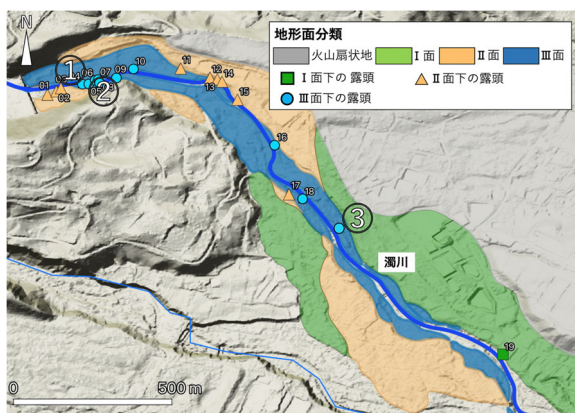


図 1. 遠刈田地域における調査対象地域の河岸段丘面の分類と今年度調査を行った III 面の位置を表す地図。地図中の①、②、③の地点で露頭調査を行った。

露頭では堆積物の層厚や堆積構造、礫種、基質の産状などを観察した。また、採取したサンプルを用い、粒度分析と鏡下観察による粒子組成 (構成鉱物の同定) を行った。露頭観察に基づく層序を検討し、離れた地点間における層序対比を行った。

B-2 ^{14}C 年代測定

^{14}C 年代測定は、露頭から得られた古土壌および炭化木片を用いて、山形大学高感度加速器質量分析センターにおいて測定された。サンプルは Acid/Alkali/Acid 法 (一部の古土壌試料は Acid 法) による化学的前処理を行った。

B-3 数値計算

火山泥流の数値計算では世界的にも実施例が多い、Titan2D (Patra et al., 2005) を用いた。前年度までは御釜とその周辺を発生源として泥流が流下するシミュレーションを行ってきた。蔵

王火山には御釜周辺の他にも熱水変質帯が存在し、そこからの水蒸気噴火発生の可能性や、そのような脆弱な変質帯の崩壊に伴う泥流の発生も考えられる。そのため、今年度はこれらの熱水変質帯 4 カ所 (傾城岩変質帯、丸山沢変質帯、五色沢西変質帯、大黒天変質帯) を発生源として想定し、泥流の流下シミュレーションを行った。

流下シミュレーションを行った 4 カ所の想定発生源域を図 2 に示す。傾城岩変質帯については御釜の西側で山形県側に位置する変質帯であるが、それ以外の熱水変質帯はすべて御釜の東側、宮城県側に位置している。

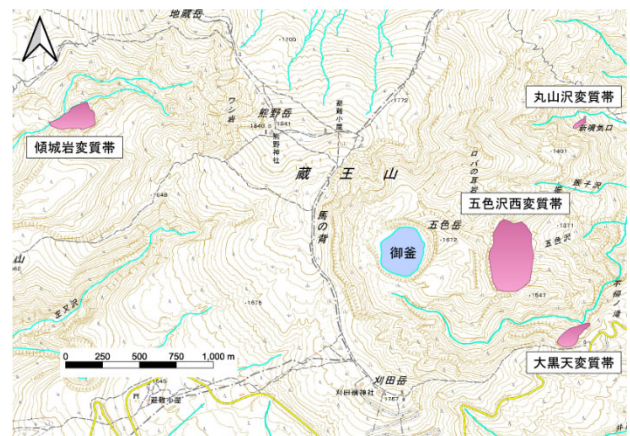


図 2. 流下シミュレーションにおける想定発生源域を表す地図。

C. 研究結果

C-1 西暦 1200 年代以降の堆積物の地質調査・年代測定結果

西暦 1200 年代以降の堆積物が発見された露頭地点①、②、③の写真を図 3 に示す。また、これらの柱状図は図 4 に示す。

①と②の地点では、礫を含む砂質堆積物 (GS) が 1 ユニット、泥質堆積物層 (M) が 3 ユニットおよび河床礫堆積物 (SF) が 5 ユニット認められた。それらは下位から SF5、GS1、M3、SF4、SF3、SF2、SF1、M2、M1 のユニットの順に累重している。なお、GS1、SF4、SF3、SF2、SF1、M2 それぞれの下位には古土壌層が存在している。

GS1 は層厚約 20 cm、基質支持であり、淘汰が悪く、弱い正級化構造が見られる。亜角礫から亜円礫で、中礫サイズまでである。礫種は蔵王山起源の安山岩、花崗岩、新第三紀火山岩類で、それら

はほぼ同量である。礫の長軸は水平方向に配列しているものが多い。GS1の基質は、青灰色砂質で、やや粘土成分 (> 8φ) が多めに (3.11wt.%) 含まれていた。典型的な粘着性土石流には粘土成分が約 3-5 wt.% 以上含まれるとされる (Scott et al., 1995) ことから、この GS1 をもたらした泥流はやや粘着性を持っていたことが考えられる。

M1、M2は基質支持であり、塊状で淘汰は悪く、層厚は各々約 60 cm と約 20 cm である。M1には亜角礫から亜円礫の巨礫サイズまでのものが含まれる。巨礫は上部に見られる。礫種は蔵王山起源の安山岩、花崗岩、新第三紀火山岩類で、それらはほぼ同量である。礫の長軸は水平方向に配列しているものが多い。なお、中礫サイズの白色石質岩片が特徴的に認められる。基質は青灰色泥質である。M3は層厚約数 cm 程度の薄い層であり、M3の中央部には白色の泥質の層が存在し、それを上下の橙色がかかった層が挟んでいる。層の境界ははっきりしているが、少し波打っている。また、下部にレンズ状に褐色泥質層が見られる場合がある。その層には細礫サイズの白色石質岩片が特徴的に認められる。

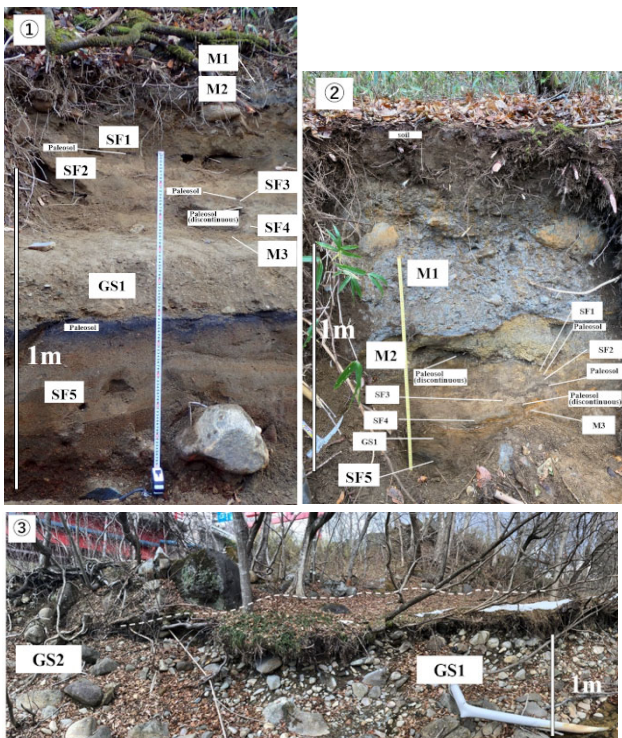


図3. 露頭①, ②, ③の写真

SF1 から SF5 はいずれも砂質の基質からなる堆積物である。SF1の上部とSF5の下部には、大礫及び巨礫サイズまでの亜角礫から亜円礫が含まれる。礫種は蔵王山起源の安山岩、花崗岩、新第三紀火山岩類で、それらはほぼ同量である。基質にはラミナと斜交層理が認められる。基質の色調は、灰色、青灰色、ベージュ、黒色と多様であるがベージュ色の場合が多い。なお、SF2とSF4には明るいベージュ色の厚さ 1 cm 以下の薄い泥質層がレンズ状に何枚か挟まる。SF4の上部には炭化木片が含まれていた。

③の地点では、礫を含む砂質堆積物 (GS) が上位から GS1 と GS2 の 2 ユニット認められる。GS1とGS2の厚さは各々 1 m と 1.5 m である。これらは礫支持であり淘汰は悪い。弱い覆瓦構造や逆級化構造が見られる。堆積物中の基質の割合はかなり低い (約 10%未満)。

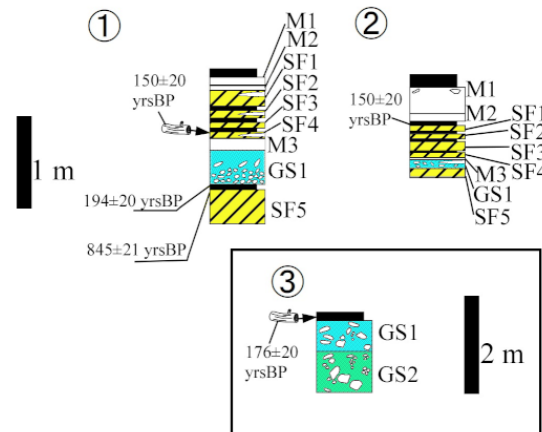


図4 露頭①, ②, ③の柱状図

地点①と②のGS1、M2の下位の古土壌層最上部とSF4上部から採取した炭化木片の試料、及び地点③のGS1の上位の土壌層の最下位から採取した試料からおよそ西暦 1700-1900 年の ¹⁴C 暦年較正值が得られた。またGS1の下位の古土壌層最下部の試料からは西暦 1200 年頃の ¹⁴C 暦年較正值が得られた。

C-2 数値計算結果

表 1 に Titan2D を用いて泥流の流下を数値シミュレーションした際のパラメータを示す。それぞれの発生源 (図 2) において表 1 にある条件すべてを用いた計算を行った。

表1. 各々の想定発生地点からの泥流流下シミュレーションの計算条件

内部摩擦角 (°)	底面摩擦角 (°)	Titan2D の バージョン	初期層厚 (m)
39	20	Coulomb	3.0
39	10	Coulomb	3.0
39	5	Coulomb	3.0
39	25	Two Phase	3.0
39	20	Two Phase	3.0
39	10	Two Phase	3.0

表1で示したパラメータを用いて数値計算を行った結果、最も遠くに数値不安定なく流れた結果をその地点の最大の流下範囲を示す結果を図5に示した。これによると、傾城岩変質帯を起源として行った泥流の流下シミュレーションでは山形県側の蔵王開拓地区、居住地域である永野地区に泥流が流下する様子が見られた。一方、御釜から東側に存在する大黒天、五色沢西、丸山沢の3つの変質帯からの泥流は、峩々温泉や青根温泉など山間の温泉地近くには流下するものの、露頭調査を行った遠刈田地域にまでは流下しない結果が得られた。

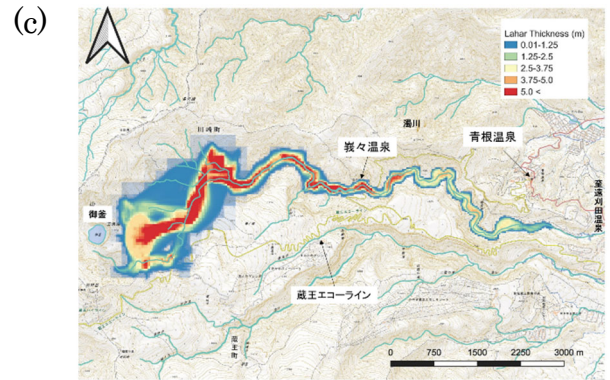


図5 各熱水変質帯を発生源とした泥流の流下範囲の数値計算結果。(a)傾城岩変質帯起源、(b)大黒天変質帯起源、(c)五色沢西変質帯起源、(d)丸山沢西噴気地帯起源。

D. 議論

D-1 西暦1200年代以降の泥流の流動特性と噴火の対応

露頭①、②、③で見つかった露頭は、調査範囲の中でも最も新しいⅢ面に位置すること(図1)と、層序関係から、最も新しい泥流堆積物はM1とM2であること、そして蔵王の山頂付近では1895年の水蒸気噴火の堆積物が一帯に広く分布していることから、M1とM2は西暦1895年の水蒸気噴火に関連して発生した泥流の堆積物である可能性が高い。GS1とM2の下位の古土壌層から得られた¹⁴C年代が西暦1700-1900年であったこともこの噴火との関連性を支持している。また、M3についても、GS1より上位の層であることからこの時期に発生した泥流の堆積物であることが推測できる。蔵王火山の水蒸気噴火の噴出物には変質鉱物が含まれるが、M1、M2、M3の堆積物中にはカオリングループ鉱物などが見られ、基質は細粒な成分が多くなっている。特にM1、M3の堆積物は粘土成分を3wt.%程度含み、粘着性土石流の特徴(8φより細粒な成分を3-5wt.%以上含む、Scott et al., 1995)にも合致している。

GS1、GS2 や SF1 や SF3 の間に挟まれるレンズ上に含まれる細粒の層についても西暦 1200 年代以降に発生した泥流の堆積物であると考えられる。特に御釜が形成されたと考えられる 1694 年以降は多数の泥流が発生したとされ（伴ほか、2015）、巨智部ほか（1896）には、1820 年、1867 年、1895 年に蔵王において噴火が発生し、泥流が噴火に関連して起きたことが記されている。このようなことから、①、②、③の露頭で見られる堆積物は西暦 1200 年代以降に起こった蔵王山の複数の噴火に伴う泥流を記録していることが推測できる。

D-2 変質帯を発生源とする泥流の流下範囲予測

今年度行った数値シミュレーションにおいては、山形側の傾城岩変質帯を起源とする泥流については居住地域に達し、それ以外の変質帯を起源とする泥流については居住地域に達さない結果となった。ただし、用いた計算条件は発生源における厚さ 3.0 m の土砂の崩壊と流下を想定しており、流れの粘性（粘着性か非粘着性）の考慮はしていない。また、泥流が流下途中に周囲の岩片などの取り込みなどの影響や、流下中に取り込まれる水の量なども考慮されていない。従って、泥流が起きた際の影響範囲はこの計算結果よりも大きくなる場合も考えられる。

E. 結論

2018 年度から 3 ヶ年、蔵王火山周辺の地質学的調査と、蔵王周辺に泥流が及ぼす影響を考えた様々な発生源と条件を想定してシミュレーションを行った。地質学的調査では遠刈田地域の地層を中心に過去に発生した泥流堆積物を発見し、流動特性や発生源、噴火との関連などを検討した。特に今年度は最も新しいと考えられる段丘面（III 面）において新たな露頭を発見し、一部は西暦 1800 年代に発生したことが文献に記録されている噴火に関連する泥流との対応が推測された。これらの本研究で得られた成果については、今後、投稿論文で詳細を発表する予定である。

地質学的調査から得られるインプットを基に数値シミュレーションを行うことを当初は想定していた。しかし、数値シミュレーションを行う過程において、現在利用している数値モデルでは

地質学的調査から推測されるような流れの違いを表すような計算はできないということに気づいた。これは、地質学的調査から得られるような泥流の性質に注目した数値モデルがあまりないためである。今後は、噴火等に起因する泥流の流下範囲をより良い精度で予測し、防災対策に生かしていくため、泥流の流動特性を表すような数値モデルの開発が求められる。

F. 研究発表(学会発表)

川島弘之介・伴雅雄・常松佳恵・片岡香子・井村匠（2020）蔵王山東麓濁川・遠刈田地域の過去 8000 年間のラハール堆積物について、日本火山学会 2020 年秋季大会. O3-13

H. 参考文献

- Kataoka, K.S., Matsumoto, T., Saito, T., Kawashima, K., Nagahashi, Y., Iyobe, T., Sasaki, A., and Suzuki, K. (2018) Lahar characteristics as a function of triggering mechanism at a seasonally snow-clad volcano: Contrasting lahars following the 2014 phreatic eruption of Ontake Volcano, Japan. *Earth, Planets and Space*, 70(1): 113.
- Patra A.K., Bauer A.C., Nichita C.C., Pitman E.B., Sheridan M.F., Bursik M., Rupp B., Webber A., Stinton A.J., Namikawa L.M., Renschler C.S. (2005) Parallel adaptive numerical simulation of dry avalanches over natural terrain, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 139 (1–2): 1-21
- Scott, K.M., Vallance, J.W. and Pringle, P.T. (1995) *Sedimentology, behavior, and hazards of debris flows at Mount Rainier, Washington*. USGS Professional Paper, 1547, 56p.
- 伴 雅雄・及川輝樹・山崎誠子(2015)『蔵王火山地質図』火山地質図 18 産業技術総合研究所地質調査総合センター
- 巨智部忠承 (1896) 蔵王爆裂調査概報 (承前). *地学雑誌*, 90, 239-244.

I. 謝辞

この研究を遂行するにあたり、野外調査の際に有限会社森の楽園、大和ハウス工業株式会社、蔵王町役場のみなさまにご協力を頂きました。また、化学分析や露頭柱状図については山形大学理学部の井村匠助教にご協力いただきました。ここに謹んで感謝申し上げます。