

## 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<sup>1)</sup>

研究分担者 伴 雅雄<sup>1)</sup>, 片岡 香子<sup>2)</sup>, 川島弘之介<sup>1)</sup>

1) 山形大学学術研究院 2) 新潟大学災害・復興科学研究所

### 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と、御釜の西から始まる蔵王川の水系について、過去約1万年以内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前年度行った御釜周辺からの泥流発生という想定において、摩擦係数をより低く設定した計算を行って流下範囲や土砂の堆積する範囲を再考した。また、火口湖である御釜からの直接的な泥流の流下の可能性が低いと考えられる西側の水系についても、噴出物が降下した場合や、熱水地帯からの噴出による融雪型泥流を想定した計算を行ってその流下範囲を予測した。西側の流域では、泥流堆積物直上の古土壌について現在(modern)の放射性炭素(<sup>14</sup>C)年代値が得られ、この年代値が御釜において小規模噴火活動があったとされる1940年に近いことから、噴火による影響が西側流域にもあったことが示唆される。今後は過去の記録文書も用いながら、西側山麓の泥流堆積物と歴史噴火との対比や、防災上重要な東側、西側両山麓への流下範囲等の予測を行う必要がある。

### 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。よってこの現象に関わる発生や流体の特徴をつかむことは、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。

昨年度は地質学的調査と数値的な流下範囲の予測を行ったが、文献等に記載されている流下範囲とは異なる結果を得た。また、御釜からの流出を想定した数値シミュレーションでは西側への流下が起こらなかった。よって、数値シミュレーションについては条件を多様化し、実際の分布を再現できる条件を探った。

### B. 研究方法

#### B-1 遠刈田地域(東側)の地質調査

昨年度から調査を行っている遠刈田地域にお

いては、昨年度調査を行った地点に加え、露頭観

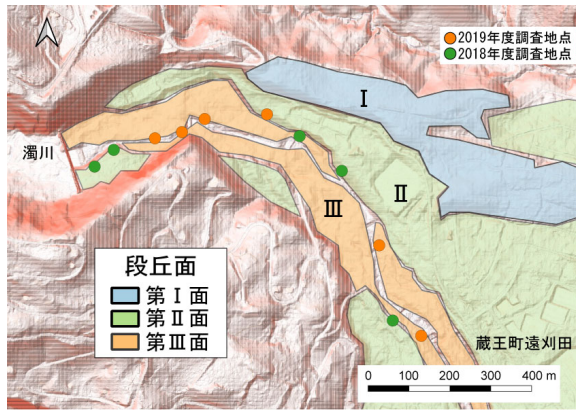


図1. 昨年度の調査地点と今年度新たに調査を行った地点. 2018年度の調査地点は緑で、2019年度のそれはオレンジで示した. また地形判読による段丘面区分を、色で表した.

察地点数を増やして調査を行った (図1).

露頭では堆積物の層厚や層構造、礫種、基質の状態などを観察した. 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鉱物種等の構成物分類を行った. 露頭観察に基づく層序は地形断面図上に記載し、離れた地点間において層の対比を行った.

## B-2 蔵王開拓地区 (西側) の地質調査

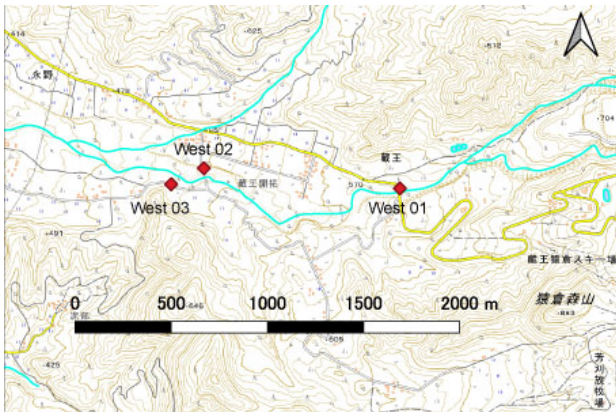


図2. 御釜の西側山麓における露頭調査を行った3地点 (赤いひし形)

昨年度の数値シミュレーションの結果、御釜からの泥流は山麓西 (山形) 側に流下することがなかった. しかし、既存のハザードマップ (蔵王山火山防災協議会, 2018) では西側にも泥流の分布が示されているため、過去の泥流堆積物について、野外調査を行った. 山腹の標高約 1000 m 地点周辺までは、蔵王川は厚い溶岩流 (坊平溶岩) を削

って流れており、堆積物の調査を行ったが、泥流堆積物の露頭が見つからなかった. そのため、より下流の標高 400 m から 600 m 付近の調査を行った.

## 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. 昨年度行った3つのシナリオを想定した計算 (噴火時の融雪型、噴火後の降雨、御釜の溢水・決壊) において、今年度は底面摩擦角を  $5^\circ$  と昨年度よりも小さくして計算を行った. これは、別途行われた御嶽山の 2014 年噴火により発生した火山泥流の研究 (小泉, 2020MS) において野外調査結果との比較によって推定された底面摩擦角が  $5^\circ$  前後とかなり小さい値であったため、本研究でも考慮していなかった値を入力して計算を行うこととした.

また、御釜を火口とする噴火の際に、西側に流下する可能性を考えるためのシミュレーションを行った. 昨年度の結果では、御釜を中心とした馬の背カルデラ内からの流出では西側の流域に流下しない結果が得られていた. しかし、火砕サーージが沢の源流域に到達すると冬季であれば雪を融かして融雪型泥流を起こし得るのではないかと考えた. よって御釜よりも西側の馬の背カルデラの外部に火砕サーージが到達する場合に融雪型泥流を想定したシミュレーションを行った.

計算に用いたパラメータを表1に表した. 昨年度同様のシナリオでシミュレーションを行ったケースについては底面摩擦角を  $5^\circ$  にした場合のみの計算を行い、西側の流下を考えた計算については、底面摩擦角を  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  と変えて行った.

## C. 研究結果

### C-1 遠刈田地域 (東側山麓) の地質調査結果

遠刈田地域の露頭において観察された火山泥流堆積物については砂質と泥質に大きく分けられる. 砂質堆積物は基質にスコリアなどの本質物が多く含まれ、大礫サイズ以上の礫が含まれる場合と、礫は少なくラミナが発達している場合がある. また、泥質堆積物は粘土分を多く含む粘着性の堆積物である.

表 1: Titan2D を用いた火山泥流のシミュレーションにおける計算の想定と内部摩擦角

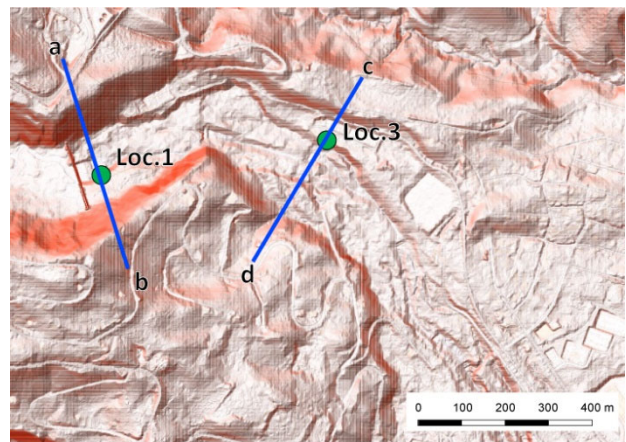
シナリオ	発生域	内部摩擦角	底面摩擦角
噴火時の融雪型 (クーロン)	・馬の背カルデラ内 ・1895年の火砕サーージ到達域	30°	5°
噴火後の降雨 (二相流)	御釜周辺の3つのエリア (NE, E, S)	30° / 39°	5°
御釜の溢水・決壊 (二相流)	御釜を中心とする半径 250m の円	35°	5°
馬の背外部に火砕物が降下 (クーロン)	御釜より西側の馬の背カルデラ外部	39°	5°/10°/20°

粒度分析を行った結果、砂質の堆積物は 1-2φ の辺りにピークを持ち、淘汰が良いものが多くみられる。また、泥質の場合 0φ 辺りと、細粒部の 7-8φ 辺りにピークが見られ淘汰が悪く、細粒の粒子が多く含まれる分布が特徴的である。4φ 以下の細粒部の粒度分析は今後さらに進める必要がある。

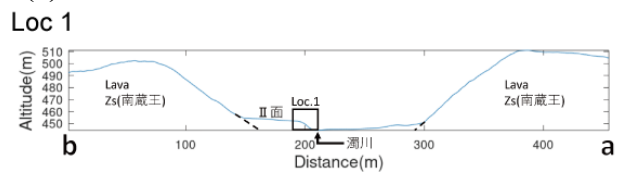
粒径 0-1φ の構成物は、砂質堆積物はスコリア片が多く見られ、泥質堆積物は無色鉱物と赤色変質した岩片の割合が多かった。

また、今年度は地形図を基にした段丘面の分類 (図 1) と地形断面図を用いた解析を行った (図 3)。野外観察を行った露頭のうち、Loc. 1 と Loc. 3 について観察地点を通り、流下方向に垂直な断面 (図 3 a) で断面図を作成した (図 3 b)。また、Loc. 1 と Loc. 3 の柱状図は図 3(c)に示す。図 3(b)より、露頭観察を行った Loc. 1 と Loc. 3 はどちらも段丘面IIにあることが分かる。また、それらの層序を見ると (図 3 c) どちらの露頭にも大礫を含む砂質堆積物とその下位にラミナが発達し大礫をほとんど含まない堆積物がセットで見られることが分かった。岩相および層序から、これらセットは Loc. 1 と Loc. 3 で対比できる。このセットは露頭観察を行った 3 地点で認められた。

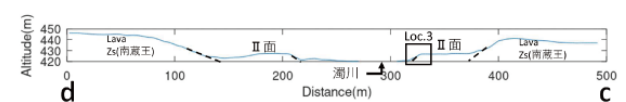
(a)



(b)



Loc 3



(c)

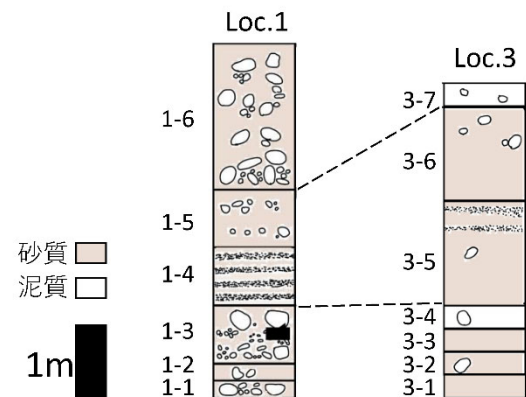


図 3. (a) 断面図の側線位置図と露頭地点 (Loc. 1 と Loc. 3)。図 1 中の第II面に露頭が位置する。(c) Loc. 1 と Loc. 3 における柱状図。点線で表されている部分が、対比可能。

### C-2 蔵王開拓地区 (西側山麓) の地質調査結果

西側山麓の蔵王開拓地区では露頭観察を行った結果、地点 1 (図 1 の West 01) の表層部には粘着性堆積物とその下位に大礫を含む砂質堆積物が見られた。粘着性堆積物の上位から得られた炭素同位体を用いて測定した結果、年代は modern を示し、ある仮定を設けると約 1950 年頃という推定値が得られた。また、地点 2 (West 02) では円



磨された大礫を含む層を確認した。

### C-3 数値計算結果

東側の遠刈田地域方面に流下するシミュレーションを、底面摩擦角  $5^\circ$  の条件で行った結果では、すべての結果が 10 km 以上の流下距離を示し、遠刈田地域の中心部に泥流が達する結果となった。ただし、Titan2D の二相流 (固液) バージョンを用いた計算では、底面摩擦角を  $5^\circ$  とすると数値不安定が発生してしまったため、その計算結果で表される流下範囲に対する信頼できるものではない。

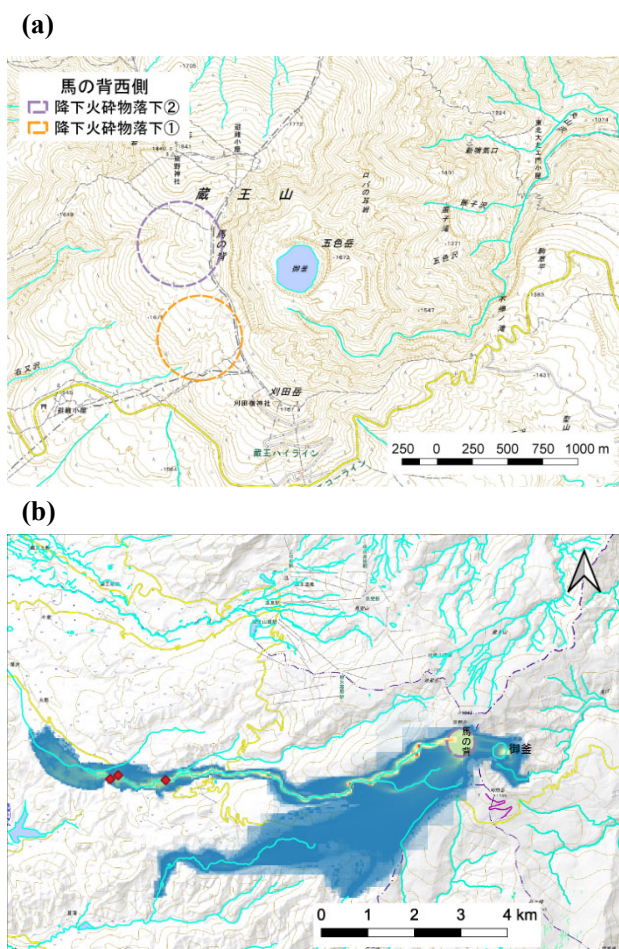


図4. 御釜西側の蔵王開拓地区に流下した火山泥流について(a)二地点の泥流発生源の想定と、(b)内部摩擦角  $39^\circ$ 、底面摩擦角を  $5^\circ$  として数値シミュレーションを行った結果。

馬の背西側の斜面に降下火砕物が落下して融雪するシナリオを想定したシミュレーションでは、蔵王川に沿って泥流が流下する結果が得られた (図4)。流下距離は馬の背から西へ直線距離で約 9 km、流路に沿って約 10 km であった。

### D. 考察

露頭調査結果と段丘面区分から複数地点で追跡可能な砂質堆積物を見出した。この堆積物は昨年度行った年代測定の結果からも約三千年前～二千年前に堆積したと推測できる。さらに、その上位には水蒸気噴火に関連したと考えられる粘着性の堆積物が認められる場合がある。御釜周辺の堆積物調査では三千年前頃に比較的規模の大きい水蒸気噴火の堆積物が見つかっており、この噴火と関係があるのか、今後さらに調査・解析が必要である。

数値計算結果では、泥流イベント直後に観察された御釜山の 2014 年から 2015 年の事例 (Kataoka et al., 2018) と数値計算を合わせることによって得られた底面摩擦角 (小泉, 2020MS)  $5^\circ$  を利用した。御釜山の例では、泥流の堆積物が確認された地点まで到達する流れを再現できたのは、底面摩擦角の値を  $5^\circ$  としたときのシミュレーションであった。これが粒状体のシミュレーション結果であることを考えれば、泥流の中の火砕物などの固体粒子が流れ下った範囲を表すシミュレーションであったと考えることができる。蔵王山の場合も底面摩擦角  $5^\circ$  の条件で行ったシミュレーションの結果を泥流によって固体粒子が流下した範囲であると解釈すると、御釜から流下した場合には固体粒子を含んだ流れが遠刈田地域まで達することが推測される。なお、1895 年の噴火で発生した泥流については、白石川、阿武隈川で魚が死んだなどの記述があった (伴ほか, 2015) が、これは土砂を多く含むような泥流の本体ではなく、魚に有毒な噴火に関連する物質 (例えば硫黄など) が水に溶けた状態で流下し、土砂を含まない液体のみが白石川、阿武隈川まで達したと考えることもできる。

西側山麓に関しては、土石流と考えられる堆積物及びその上位の粘着性土石流堆積物が見つかったが、露頭の地点数が少なく、また詳しい解析等を行っていないため、噴火に関連する泥流かは議論できない。ただし粘着性土石流堆積物の  $^{14}\text{C}$  年代測定値が 1950 年頃と示されたことから、1940 年に御釜で起こった小規模の水蒸気噴火と関連する可能性もある。そのため、今後は文献記録等を用いて史実との比較を行い、過去に何が起こったのかを調べる必要がある。

御釜の活動に関連した泥流に関しては、昨年度と今年度のシミュレーション結果からは山形市中心部（御釜の北西）に達するようなイベントの発生は考えにくい。しかし、西側には蔵王温泉があり、鳥地獄と呼ばれ熱水活動が活発な場所がいくつかある。泥流の流下に関する危険性を考えるためにはそのようないくつかの熱水活動中心を発生源としたシミュレーションを行って、どのような地域に流下する可能性が考えられるかを予測しておく必要があると考えられる。

## E. 結論

本研究は地質学的調査、解析と数値計算を組み合わせることによって蔵王火山における過去の泥流の様子と流下範囲の予測を行った。昨年度から継続してきた東側山麓の調査では、観察できる露頭を増やし、観察結果と地形判読による段丘面の情報などを合わせることで、約三千年前～二千年前頃に堆積したと考えられる対比可能な堆積物が確認できた。

また、西側山麓では非常に新しい1950年頃の年代を示す土石流堆積物が見つかったが、これが噴火に関連するものなのかどうかは今後も文献・露頭調査などの調査が必要である。

地質調査と数値シミュレーションを組み合わせた結果、御釜そのものからの流下では泥流は主に東側に流下し、西側への流下は考えにくい。降下火砕物などが馬の背カルデラの外部へ堆積し、融雪型の泥流などが起こった場合には西側山麓にも影響を及ぼす可能性が考えられる。しかし、この場合でも山形市中心部への泥流の流下は考えにくい。ただし、今後は西側の熱水活動の活発な地点などを発生源として場合にはどのような結果が得られるか不明であり、山形側への影響を明らかにするためにはそのような地点からの流下も考慮する必要がある。

## F. 研究発表(学会発表)

川島 弘之介・伴雅夫・常松佳恵・片岡香子(2019)  
蔵王山東麓濁川・遠刈田地域のラハール堆積物：堆積過程・発生原因・年代について。2019年度日本火山学会秋季大会（2019年9月、神戸）

## G. 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

小泉華穂(2020MS) 2014年の御嶽山の噴火によって発生したラハールの数値的研究, 山形大学理学部地球環境学科卒業論文 28 p

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

蔵王山火山防砂協議会 (2018) 蔵王山火山防災マップ

## H. 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。ここに感謝申し上げます。