

融雪型火山泥流の発生機構に関する研究

- 雪と火山噴出物の混合を考慮した予測手法の高度化 -

三重大学 ○堤大三・本居絵子

京都大学 山野井一輝

1. はじめに

積雪のある火山が噴火した際、融雪水が火山噴出物などを巻き込んで泥流化し、被害が発生する場合がある。我が国には、積雪地域にも多くの火山があり、このような融雪型火山泥流の発生が懸念されている。最近では、多くの火山における噴火時の減災対策の一環として、融雪型火山泥流発生を想定した事前の対策が検討されている。

筆者らもこれまで、融雪型火山泥流の発生プロセスについて実験的手法によって検討し、融雪から泥流発生までのモデル化を行ってきた(村重ら, 2015; 山口ら, 2019)。これらの検討において、火山噴出物が積雪層の上に堆積することを想定し、熱伝導や融雪を観察しモデル化してきたが、実際に火砕流等が積雪層に到達する際は、積雪層内に石礫が貫入し、積雪と混ざり合いながら流下・堆積すると考えられ、積雪と火山噴出物が層状に静置される状態を想定することは適切ではないとの指摘もある。

そこで、本研究では、これまでと同様の実験的な手法を用い、積雪層と火山噴出物との接触条件を変えて融雪プロセスの観察を行い、異なる接触条件下で融雪プロセスがどのように変化するかを検証した。その結果をもとに、異なる条件下での融雪のモデル化を行った。

2. 積雪・高温砂礫の接触条件を変えた融雪実験

実験は、京都大学防災研究所穂高砂防観測所にて2019年3月に実施した。融雪挙動を観察できるように前面を耐熱ガラスで作成した箱形の容器に現地で採取した雪(約3,000cm³, 空隙率約0.4)を充填し、そこに、高温に加熱した砂礫(1,175 cm³, 空隙率0.47)を供給し、融雪の過程を観察した。その際、容器全体を電子天秤の上に設置し、積雪からの蒸発・昇華による損失重量を計測した。砂礫の粒径は7 - 25 mmの範囲であり、これを約600℃まで加熱して使用した。積雪層と高温砂礫との接触条件を変化させるため、積雪面を(1)フラット型、(2)V字型、(3)凹型、(4)フラット型に供給した高温砂礫上に雪を投入、の4ケースに分けて実験を行った(図-1)。上記4ケースにおいて、接触面形状の違いの影響を明確にするため、用いる雪の量は統一した。ケース(1)は、

従来の実験と同等の条件である。

全ての実験ケースにおいて、高温砂礫によって積雪層が融解し、時間の経過と共に融雪水が積雪層に浸透する様子が観察された。ただし、各ケースでその進行速度は異なり、(1) < (2) < (3) < (4)の順に進行が速い結果となった。特に、ケース(3)、(4)で融雪が早かったのは、高温砂礫の上に雪がのることで、下層の積雪層の融解で発生した水蒸気が上層の積雪層の融解を促進し、その融雪水が高温砂礫に供給されると水蒸気が急激に発生し、上層の融雪をさらに促進するサイクルが生じたためと考察される。このことから、実際の火砕流等が積雪面に到達する際に積雪と石礫が混合する場合は、既往の研究で積雪と砂礫を層状に接触する場合を想定した熱伝導・融雪

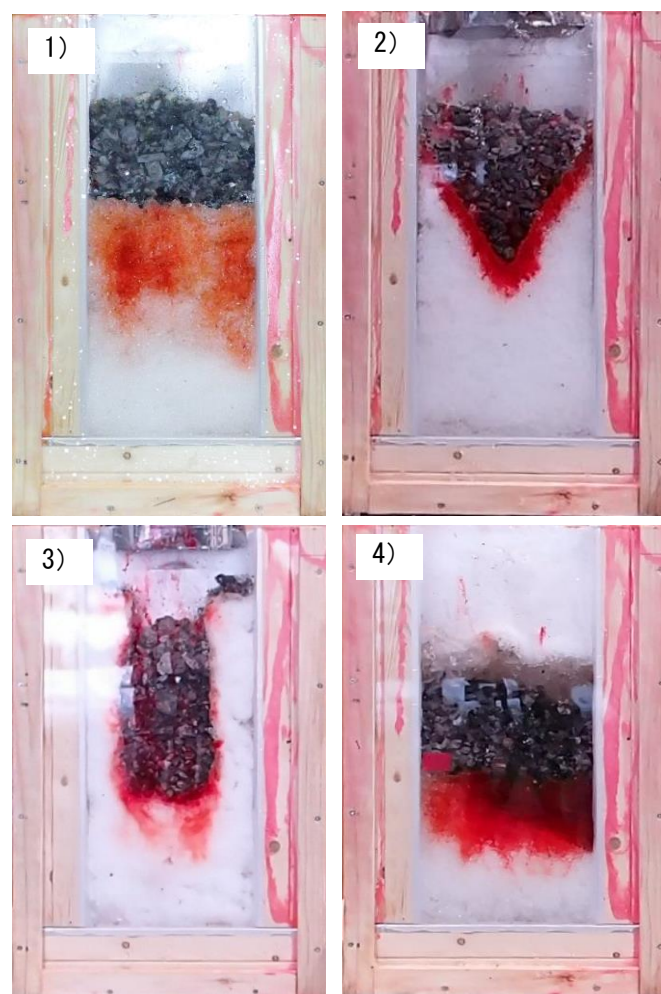


図-1 各接触ケースでの融雪実験開始直後の様子

- 1) フラット型, 2) V字型, 3) 凹型,
4) フラット型+雪追加供給

プロセスよりも早い速度でプロセスが進行すると推測される。

3. 積雪と砂礫の完全混合を想定した融雪モデル

実験ケース (3), (4) で観察されたような、砂礫と融雪水の混合による熱伝導をモデル化するため、個々の砂礫粒子を球形と仮定し、高温砂礫から積雪に供給される熱量を Fourier の熱伝導法則と熱収支式による球面座標系熱伝導方程式を用いて計算した。半径方向の一次元球面熱伝導方程式を以下に記す。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho c r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (1)$$

ここで T : 砂礫温度[°C], k : 砂礫の熱伝導率[J/m/s/K], c : 砂礫比熱[J/kg/K], ρ : 砂礫密度[kg/m³], r : 半径座標[m], t : 時間[s]である。また、砂礫表面における熱流束 q [J/m²/s]は、以下の式で表される。

$$q = -k \frac{\partial T}{\partial r} \quad (2)$$

この解析結果から、一定時間経過後の粒子内部の温度変化は、砂礫径が小さい程大きく一定量の高温砂礫から供給される熱供給量速度、すなわち融雪速度が大きくなることが分かった (図-2)。これまでの融雪モデルでは高温砂礫を集合体として熱伝導を扱っていたため、砂礫径の影響は無視していたが、積雪と砂礫が混合する場合は、砂礫粒径も重要な要素であることがわかった。

4. 岩木山を対象とした泥流発生プロセスの検討

青森県西部に位置する岩木山は、弘前市に近接しており、その南東斜面から流れ出る後長根沢、蔵助沢は弘前市に達するため、これらを解析の対象とした。はじめにDEMデータから、Topotubeによる対象流域の分割を行った。次にTopotubeに対し、Diffusion Wave法による降雨流出解析を行い、斜面崩壊と表面侵食を想定して発生する地形変化を求めた。降雨流出解析に与える水量として、1) 三角形入力、2) 既往の融雪モデル (鉛直一次元熱伝導)、3) 混合融雪モデル (球面座標熱伝導) の3ケースを想定した。

3ケースの $t = 960$ sでの地形変化を図-3に示す。3ケースとも侵食が見られるが、その程度は異なり、3) での地形変化が著しい。斜面からの泥流発生量の違いを、異なる融雪モデル3ケースで比較した結果を図-4に示す。融雪水量の供給の違いによって、流出土砂量に大きな違いが生まれることが分かった。積雪の上に火山噴出物が静置されるモデルより、混合されるモデルの方が、三角形ハイドログラフに近く、現実的であるように思われる。ただし、積雪深や密度、火山噴出物の温度条件によって融雪水の発生速度やピークなどは異なるため、一概に一次元熱

伝導で与えた融雪水量では、流出が過少になるとは限らないため、これらの諸条件を踏まえたうえで詳細な検討が必要である。

5. おわりに

実験的手法と数値モデルによる検討で、積雪と火山噴出物の接触条件によって、融雪速度が異なり、火山噴出物の粒径も融雪挙動に対して大きな影響を与えることが明らかとなった。このことを今後の融雪型火山泥流の予測において考慮する必要がある。

参考文献

- 村重慧輝, 堤大三, 宮田秀介, 藤田正治, 酒井英男, 上石勲 (2015): 火山泥流発生機構解明のための高温砂礫による融雪に関する実験的研究, 砂防学会誌, Vol. 67 (6), p. 3-10.
山口翔大, 宮田秀介, 堤大三, 村重慧輝, 藤田正治 (2019): 数値解析による積雪条件の異なる融雪型火山泥流予測, 砂防学会誌, 71(6), p. 3-13.

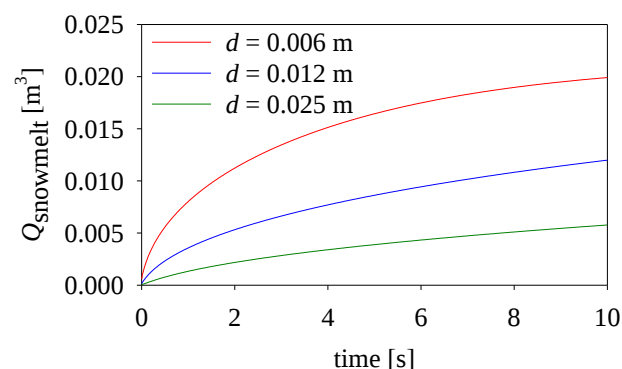


図-2 積雪と石礫の混合を想定した融雪速度の砂礫径への依存性

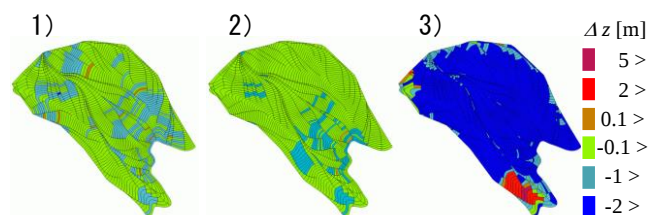


図-3 異なる融雪モデルでの地形変化の比較
1) 三角形, 2) 一次元熱伝導, 3) 球面熱伝導

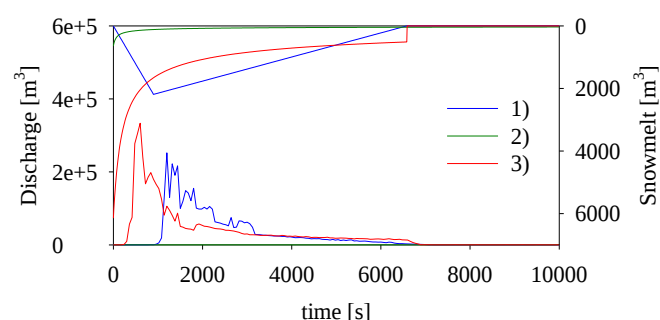


図-4 異なる融雪モデルでの流出量比較
1) 三角形, 2) 一次元熱伝導, 3) 球面熱伝導