火山噴出物の飛来・積雪層貫入・融雪を組み込んだ融雪型火山泥流の解析

三重大学大学院　○中里友輔，堤大三
京都大学　宮田秀介，山野井一輝，藤田正治，井口正人

1. はじめに

融雪型火山泥流の日本の主な事例として 1926 年の十勝岳で起こったものがある．これまで宮本ら（1989）によって 1926 年十勝岳の大正泥流の再現計算が実施され氾濫実績をよく再現することが示された．私たちの研究チームでは融雪過程を考慮するため，高温の火山噴出物から積雪層への熱交換に基づく融雪速度推定モデルの提案を起こった（村重ら，2015）．さらに積雪層と高温の噴出物との混合を考慮した積雪層融解実験では，積雪層上に加熱土砂を静置する条件と比べて融雪速度が非常に早くなり，火山噴出物の粒径が小さいほど融雪速度がより早くなることを明らかにした（中里ら，2022 a）．また火山噴火によって発生する火山噴出物の粒径・落下速度によっては積雪層への貫入が起こらず，積雪層と噴出物の混合が起こらないとも考えられることから，火山噴出物の粒径や落下速度が積雪層への貫入深さに及ぼす影響を検討するため現地実験を行い，落下する礫の持つ運動エネルギーと礫が押しのける積雪の質量には直線関係があることが明らかとなり，粒径が小さいほど貫入深さが小さくなる関係が分かった（中里ら，2022 b）．

一方で火山噴火によって発生する噴出物は空気中を移動することで冷却され，粒径が小さいほど冷却されやすいのではないかという指摘があった．そこで火山噴出物が発生し，積雪層に落下するまでの礫の冷却効果を解析的に求め，粒径の違いによる温度変化を比較した．最終的には，上記のような火山噴出物の粒径の違いと積雪層との混合状態を全て考慮し，Topotube による斜面領域での泥流計算を行い，斜面領域の結果を基に宮本モデルを用いて河道領域での泥流氾濫シミュレーションを行い蒲田川流域へ流動する泥流の解析を行った．

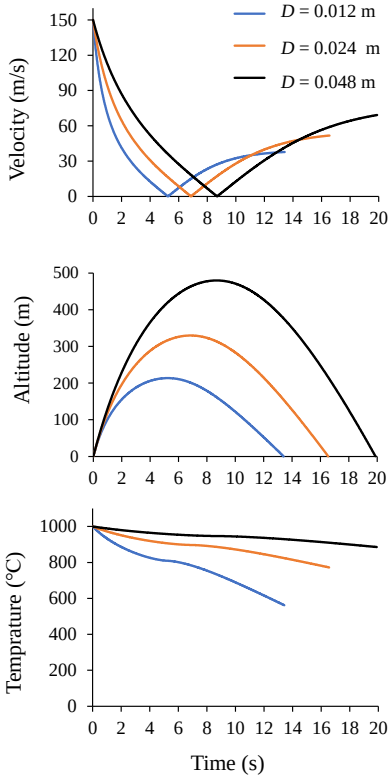

図- 1 飛行中の火山噴出物の速度・高度・温度の推移

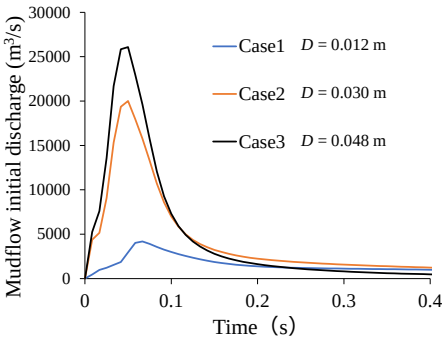

図- 2 各粒径の境界点における泥流ハイドログラフ

2. 飛行による火山噴出物の冷却効果

火山噴出物が空中を飛行することによる冷却効果をニュートンの冷却法則を用いて求め，火山噴出物の粒径の大小が温度低下に及ぼす影響を検討した．火山噴出物は球と仮定し，初速 v_0 で鉛直上向きに上昇し積雪面に落下するまでの運動を想定し，速度・高度・温度変化を求めた．火山噴出物の粒径，初速，初期温度は任意に与えることができるが，ここではそれぞれ，粒径を 0.012, 0.024, 0.048 m とし，初速を 150 m/s，初期温度を 1000℃とした．火山噴出物が空気中に放出されてから積雪層に到達するまでの速度・高度・温度のそれぞれの粒径での解析結果を図-1 に示す．空気抵抗による飛行速度の減衰は，粒径が小さいほど顕著であり，温度低下もしやすいことが分かった．一方で小粒径の方が空気抵抗の影響により落下までの時間が短くなることで，礫の温度低下は多少抑制されることが分かった．

3. 融雪型火山泥流の融雪・泥流発達モデルの適用

本研究では活火山である焼岳の足洗谷流域を対象として解析を行った，まず火山噴出物が発生してから積雪層へ到達するまで空気による冷却効果と積雪層への貫入，貫入後に礫の周りにある雪を混合によって融解

する現象を想定し，それらを考慮した融雪モデルを用いて融雪量を求めた．次に融雪を降雨として見立て与え，斜面領域最下流端（境界点）での泥流量，土砂濃度を計算し，最後にそれらを入力値として蒲田川にて泥流氾濫解析を行い，火山噴出物の粒径が泥流の挙動に及ぼす影響を検討した．解析条件として火山噴出物は 2 章と同様の条件とし，粒径の小さい順に Case1~3 とした．山口ら（2019）の研究にならい火山噴出物量・積雪密度・積雪深をパラメータとして設定し，それぞれ 2.1×10^6 m^3，330 kg/m^3，2.1 m とし，粒径の違う火山噴出物の融雪によって発生する泥流規模の違いを比較した．

提案する融雪プロセスを用いて計算した融雪を斜面領域に与えた場合の境界点での泥流量を図-2 に示す．境界点での泥流量のピークはどの粒径でも約 150 s であり，粒径が大きいほどピーク流量は大きくなった．Case3（D = 0.048 m）での境界点の泥流量・土砂濃度を入力値として河道領域の泥流氾濫解析の最大流動深の分布を図-3 に示す．解析の結果，5 分後には中尾地区に到達し，15 分後には栃尾地区に到達した．この結果は，先行研究（山口ら，2019）と比較しても格段に短い到達時間であり，土砂と積雪の混合を考慮する方が危険度が高くなる結果となった．十勝岳の実例と泥流の流下速度を比較すると，十勝岳の火口から約 13.6 km 離れた地点での到達時間が約 15 分であったのに対し，本研究では火口から 10 km 離れた栃尾地区に約 10~17.5 分で到達すると，十勝岳の事例と比較しても近しい値を得ることができた．このことから提案する融雪プロセスはより実例に近い結果を得られると考える．

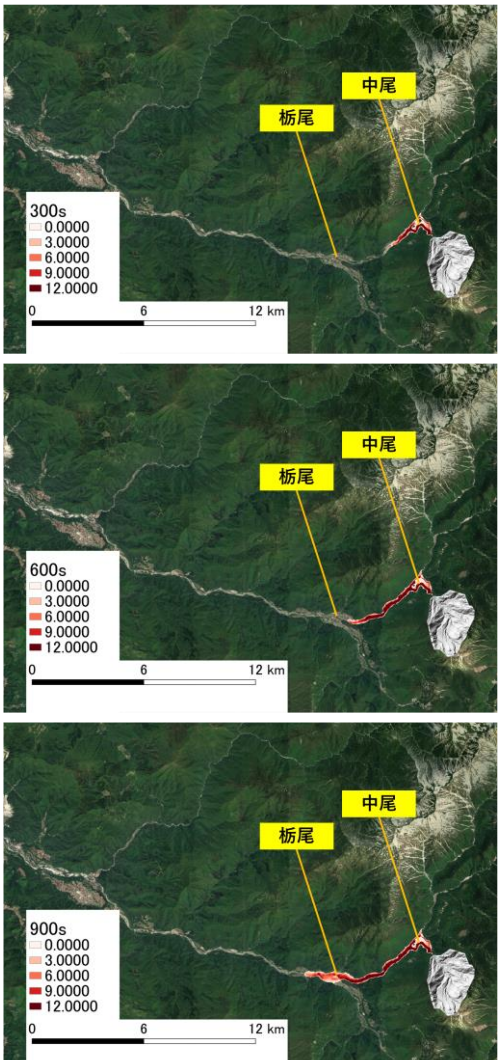

図- 3　蒲田川における泥流挙動の一例
（300 s ごとに示した最大流動深の分布）

4. まとめ

高温の火山噴出物が空気中を移動する際の冷却効果は粒径が小さくなるほど空気抵抗の影響を強く受け速度の減衰は見られ，温度低下が起こりやすい結果となった．一方，小粒径の方が空気抵抗の影響により，落下までの時間が短くなることで，礫の温度低下が多少抑制されることが分かった．提案する融雪プロセスを用いて計算した泥流量は，粒径が大きいほどピークが大きくなる結果となった．土砂と積雪の混合を考慮した泥流解析では，山口ら（2019）の結果と比較し，格段に泥流到達時間が早くなっていることから混合を考慮した場合の方が泥流の危険度が高くなる結果となった．本解析結果を十勝岳の事例と泥流の到達時間を比較すると十勝岳の事例と比較しても妥当な結果を得ることができたことから，提案する融雪プロセスはより実例に近い結果を得ることができると考える．

【参考文献】

宮本ら（1989）：十勝岳 大正 15 年（1926 年）泥流の再現計算，水工学論文集，Vol.33，361-366
村重ら(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， 3-10
山口ら 2019)：数値解析による積雪条件の融雪型火山泥流予測，砂防学会誌，Vol. 71，No. 6，p. 3 – 13
中里ら（2022 a）：火山噴出物と積雪の混合状態を考慮した融雪型火山泥流発生過程の実験と解析，砂防学会誌，vol.75，No.3，3-9,2022-09
中里ら（2022 b)：融雪型火山泥流の発生機構に関する研究―火山噴出物の積雪層への貫入実験，令和 4 年度砂防学会概要集，p77-78