

溶岩流流下中の地形形成と流下範囲への影響

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 ○小尾 亮, 筒井正明, 江頭 勲, 岩淵由佳

1. はじめに

火山砂防計画策定指針(国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部, 令和5年3月)によると,(火山噴火)リアルタイムハザードマップとは,火山砂防ハザードマップの一種で,平常時もしくは噴火の前兆期以降に,火山活動状況に併せて土砂移動現象の影響範囲,堆積深などを想定するものである。

リアルタイムハザードマップシステムには,予め複数パターンを作成しておき噴火時等に実際の火山活動の状況に最も近いものを抽出する「プレアナリシス型」と,事前に用意した計算データにリアルタイムで実際の火口位置や地形変化等の条件を反映して即時計算を行う「リアルタイムアナリシス型」が存在する。

リアルタイムアナリシス型で対応が想定されている噴火活動中の“元地形の変化”に関しては,雲仙普賢岳平成噴火において溶岩ドームの形状が時間経過とともに変化していったことや,有珠山2000年噴火において地盤が隆起したこと等を例に,山体の隆起が例に挙げられることが多い(中筋,2008:城ヶ崎,2019等)。しかしながら,火山噴火に伴う元地形の変化には,山体の隆起以外にも様々なケースが考えられ,流下した溶岩流の固化による地形形成もその一つである。

溶岩流については,近年,2018年キラウエア火山の噴火(Neal *et al.*, 2019)や2021年ラ・パルマ島噴火(Longpré, 2021)のような流出事例が相次ぎ,日本においても溶岩流の対策の必要性が注目されてきている(藤井,2019:厚井・権田,2021等)。そこで本研究では,火山噴火対応における想定外を減らし,防災に資することを目的として,溶岩流流下中に考えられる地形形成について考察し,元地形の変化によって後続の溶岩流等の流下に及ぼす影響の検証を行った。

2. 溶岩流の固化について

溶岩流が,火砕流や火山泥流といった他現象と異なる点として,温度により流体の粘性が大きく変化し,時間経過とともに冷却が進み固体へ遷移していくといった特徴が挙げられる。

溶岩流が固化すると岩石として定置するため,容易に除去することが難しい。さらに溶岩流は,側面が冷えやすく流れから取り残されやすいため,左右岸に溶岩堤防と呼ばれる流れと平行な高まりを形成し,新たな尾根とも呼べる地形を形成する場合があります(図-1)。溶岩堤防は,形成条件や過程を予測す



図-1 溶岩堤防の概念図

ることが難しい上,一度形成されると後続の溶岩流の流路を固定化する働きをされると考えられ,溶岩流の到達範囲や到達距離を予測するうえで想定外を引き起こす不確定要素となりうる。また,粘性の低い玄武岩質の溶岩流では,溶岩チューブ(溶岩トンネル)と呼ばれる,溶岩流の外殻のみが固化し内部を流体が流れ下る状況が形成されることがある。溶岩チューブが形成されると,溶岩流の冷却効率が落ち,想定より遠方まで溶岩流が到達する要因となると考えられている(Calvari and Pinkerton, 1998等)。

このように,溶岩流の場合には,継続時間が長期にわたると固化が進行し,新たな地形を形成することがある。これにより,総噴出量が同じであっても,短期間で流下しきる場合と長期にわたって流下する場合で,流下範囲が異なってくる可能性がある。

3. 数値シミュレーションにおける冷却の扱い

既往研究における,溶岩流の挙動を再現する数値シミュレーションの中には,温度によって流体の粘性係数や降伏せん断応力が変化するモデルが採用されているものがある(山下ら,2009:富士山火山防災対策協議会,2021)。これらのモデルでは,溶岩流は冷却され固化することで停止するものとして,冷却効率パラメータ等を設定し,現実の挙動を再現することが行われる。



図-2 溶岩流のクリンカー(伊豆大島)

実際に溶岩流が冷却される要因としては、溶岩流表面からの熱放射に加え、路床への熱移動（永野ら，2024），気象現象（降雨や積雪）による冷却，河川内の流下や湖・海への浸入による水冷等（藤田ら，2007），外的要因を含めた多くの要因が考えられる。よって本来であれば、天候（晴れ/雨）や季節（夏/冬），標高による寒暖差，流下範囲の河川の水量といった詳細な情報を考慮する必要があるが，その情報量が膨大で不確定要素が多い上，3次元的に不均質な熱分布を再現しなければなら

ず，多くのシミュレーションモデルではこれらの多くを組込むには至っていない。実際に堆積した溶岩のフィールド観察においては、一度の流れの中でも、急速に固結して砕けた外殻部分（クリンカー）と徐々に固結したマッシュな部分に不均質に分かれる状況が観察され，その冷却プロセスの複雑さが確認できる（図-2）。これら外的要因が溶岩流の挙動に与える影響の有無については，研究段階であると言える。

また，リアルタイムハザードマップのような即時性が求められる状況下では，諸々の外的要因を調査・解析し反映していくことは現実的ではなく，計算に膨大な労力と時間が掛かることを考えると，精密さを犠牲にしても，簡易なモデルであることが求められる一面もあると言える。

4. 数値シミュレーションにおける検証

数値シミュレーションにおいて溶岩流流下中の冷却・固化の過程を正確に再現することは難しいものの，その影響を大まかに把握することは可能である。ここでは，先発の溶岩流が固化して新たな地形を形成したと仮定した上で，先発と同火口から同条件の後続の溶岩流を流下させることで，後続の溶岩流がどのような流下範囲を示すかを確認し，影響を検証するものとした。

結果として，先発溶岩流と後続溶岩流は，大まかな谷地形に沿って流れ下ることは共通するものの，両者は到達距離が明確に異なり，後続の溶岩流は先発溶岩流が形成する地形に影響を受け，流下範囲を変えていることが明確となった（図-3）。

シミュレーション結果を詳細にみると，後続溶岩流が先発溶岩流に乗り上げることで河床から越流したり，勾配変化の影響を受けて流下を止めたりといった影響を受けたことが推察できる。特に緩勾配になるにつれ，先発溶岩流の地形形成の影響が顕著となり，流下範囲に違いが生まれていることが確認できる。

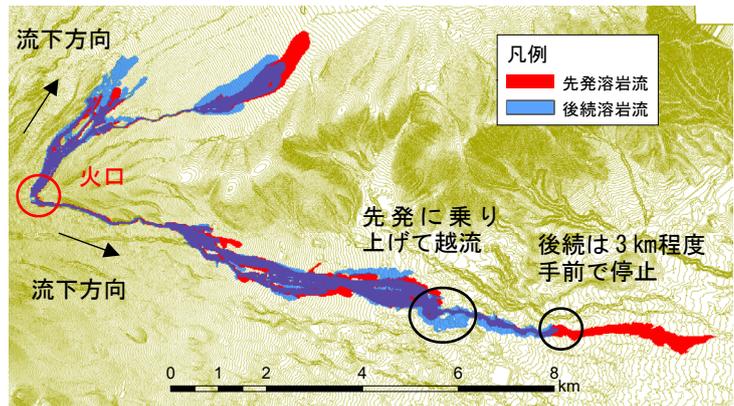


図-3 先発・後続溶岩流シミュレーション結果

5. 結論

- ◆ 溶岩流は冷却等により固化し，岩石として定置する特殊な性質を持つ。溶岩堤防や溶岩チューブ（溶岩トンネル）の形成も，溶岩流で見られる独特な現象である。
- ◆ 現在各地の火山砂防ハザードマップ等で想定されている溶岩流の流下範囲は，各種要因による溶岩流の冷却過程を適切に反映できているとは言えず，実際の噴火時には想定と異なる流下範囲となる可能性もある。
- ◆ 試行的に溶岩流が間欠的に流れる数値シミュレーションを実施したところ，後続の溶岩流は固化した先発の溶岩流に影響を受け，流路を変える状況が見られた。
- ◆ 溶岩堤防や溶岩チューブの形成を含む溶岩流の冷却・固化の過程を再現できる数値シミュレーションモデルの開発が望まれるが，流下中の溶岩流の温度分布や冷却の外的要因を正確に想定することは困難であり，膨大で精密な計算過程・時間が必要となることを踏まえると，リアルタイムハザードマップのような即時性が求められる状況では実用性が低い可能性がある。

6. 今後の課題

- ◆ 現段階での現実的な対応としては，一般的に砂防で対象とされる現象（土石流等）と比べた時の溶岩流の特殊性を理解し，溶岩流に関しては，流下範囲の想定が土石流等とはやや異なる意味合いを持っているという前提を共有することが重要である。則ち，ハザードマップ等における溶岩流の流下範囲の想定は，火山活動の推移によって容易に変わる可能性があり，それは溶岩流の特殊性を考慮すると免れられないものであることを周知し，注意喚起する必要がある。

<引用文献>中筋(2008)応用地質, Vol. 49, No. 5, 293-303. 城ヶ崎(2019)砂防学会誌, Vol. 71, No. 6, 45-48. Neal et al. (2019) Science, 363. Longpré, M. A. (2021), Science, 374, 1197-1198. 藤井(2019)自然災害科学, 38-3. 厚井・権田(2021)砂防学会誌, vol. 73, No. 6. Calvari, S., H. Pinkerton(1998) J. Geophys. Res., 103, 27, 291-27, 302. 山下ら(2009)H21 砂防学会研究発表会概要集, 190-191. 富士山火山防災対策協議会(2021)富士山ハザードマップ(改定版)検討委員会報告書. 永野ら(2024)R5 砂防学会研究発表会概要集, 219-220. 藤田ら(2007)火山都市国際会議島原大会講演要旨集, 99.