

溶岩流の特徴とその対策

防災科学技術研究所 藤田英輔

1. はじめに

火山噴火現象の中でも溶岩流は、命を守るための避難の視点からは比較的対処しやすいものの、周辺を覆いつくすことにより、道路、建造物、田畑といった資産への恒久的な被害をもたらす。溶岩流は基本的に脱ガスが進んだマグマによる現象で、地表に到達した地点を噴出口とし、地形に沿って流れる重力流である。その流動メカニズムを理解し、実現象とそれにより発生する災害を軽減することが重要である。

2. 溶岩流のメカニズム

溶岩流は、主に流体と固体の二相流として取り扱うことができる(図1)。出時の温度は千数百度であるが、流下に伴い、周辺大気や地表、場合によっては水との接触などにより冷却され、固化によりクラストが形成されるなど、流下速度が変化し、それに対応して流下域が決定される。溶岩の温度や化学組成などにより、粘性や降伏応力が変わり、その流動特性が決まる。最も現象を支配する物理量の一つは、噴出口からの噴出レートである。

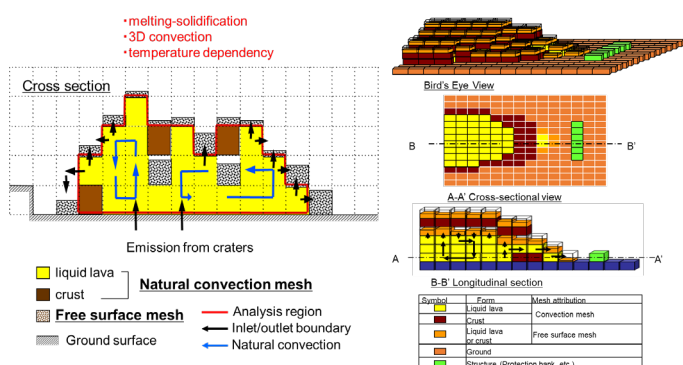


図1 溶岩流のモデル

3. 溶岩流シミュレーション

溶岩流を支配する方程式系をもとに、これまでに国内外で溶岩流シミュレーションの多数の計算コード開発されてきた。これらを再現する溶岩流シミュレーション技術は主に2つのアプローチ方法: 決定論的手法と確率論的手法がある。前者では、有限差分法や有限体積法に

よる2次元あるいは3次元モデルによりダイナミクスを計算する。流速を地形勾配の関数で表現するものや、水平方向に比較して鉛直方向の変化は少ないものと仮定した浅水波方程式によりモデル化したものなどが広く利用されている。また、溶岩流内部の3次元対流や周辺からの冷却効果を加味したモデルも提案されている。後者は特に防災目的としたものが多く、迅速な溶岩流流下の評価を行うことを目的として、地形勾配のみを最優先に評価するもので、セルオートマトン法などが適用されている。

溶岩流シミュレーションを実施する場合、その空間分解能が重要な条件となる。地形データについて、従来は数百m程度の Digital Elevation Map (DEM)を用いたものがハザードマップとして採用されてきたが、各種測量技術の向上に伴い、数mから、場合によっては cm オーダーの地形データが取得できるようになっている。一方、精緻な DEM を用いる場合、メモリなどの計算リソースや計算時間を大量に消費することになる。被災の可能性のある対象物の規模として建屋や道路を念頭にした場合、おおよそ 1~10m 程度が適切であり、最近の溶岩流ハザードマップでは 5m 程度の空間分解能を持つものが主流となっている(図2)。また計算リソースの有効活用の視点から、平坦な地域では粗く、変化が大きい地域では詳細にといった、Adaptive mesh を用いる手法も導入され始めている。

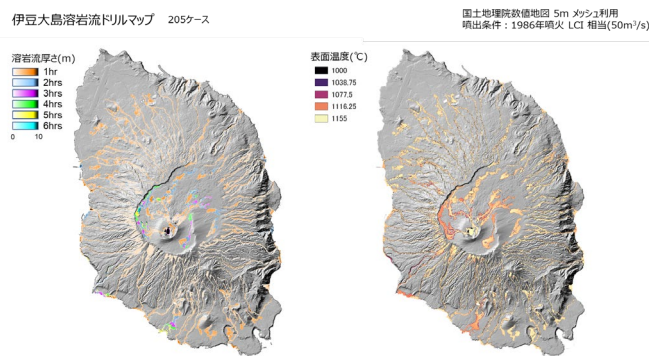


図2 溶岩流シミュレーションの例(伊豆大島)

4. 溶岩流の制御

溶岩流を制御する試みは国内外で多数実施されてきた。米国ハワイ・マウナロア火山では1930～40年代から爆発物の溶岩流への投下や、人工堤防を構築することにより溶岩流の流れの方向を変える試みがなされている。イタリアのエトナ火山でも同様に人工堤防の構築や、溶岩流の表面のクラストを破壊することによる流下方向のバイパス化なども実施されてきた。1973年のアイスランド・ヘイマエイ島では溶岩流から港を守るために、表面への放水と、その溶岩流自体が海域に突入することによる冷却で表面が固化することも利用されている。わが国でも1983年三宅島噴火や1986年伊豆大島噴火で、ポンプ車・ミキサー車を駆使して溶岩流への放水による流下方向の制御が実施された。直近では、2021年から断続的に続いているアイスランド・レイキャネス半島における噴火に伴う溶岩流から、地熱発電所や温水パイプラインを防御する土塁の構築について、防災当局・気象庁・研究者・事業者の適切な連携のもと成功を収めている(図3、図4)。



図3 アイスランド・レイキャネス半島における溶岩流制御の土塁構築。噴火開始後半日でブルーラグーン駐車場に迫る溶岩に土塁を嵩上げ中。2024年11月20日昼のリアルタイムカメラ画像(アイスランド気象庁で撮影)



図4 土塁の例(右側の黒い部分が溶岩流)

5. まとめと今後の課題

溶岩流の対策として、ハザードマップの策定をもとに、長期的なリスク評価として土地利用計画などの構築が可能である。また同様に、緊急時における避難計画やBCPを整備することが可能である。現時点での火山ハザードマップは、主として火山現象そのものの影響範囲を示すものであるが、周辺の暴露度・脆弱性までも含めて、より具体的かつ実効的な避難計画やBCPへ精度を上げていく必要がある。図5に溶岩流シミュレーションと交通系シミュレーション(SUMO: Simulation of Urban Mobility)を接続した例を示す。

御神火茶屋 → 元町港
(御神火スカイライン**通行不可**)

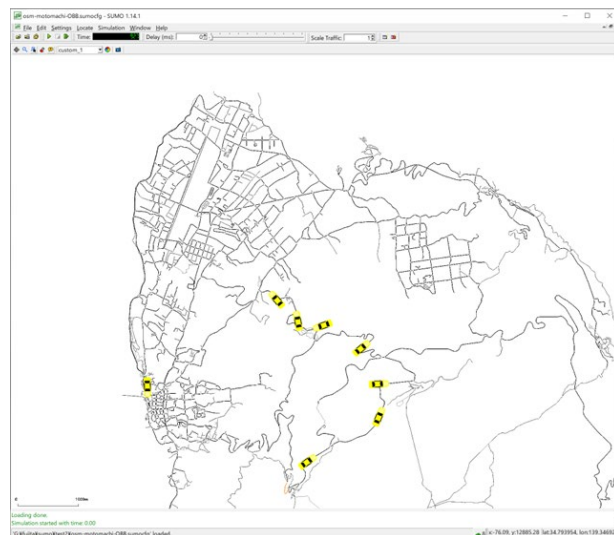


図5 溶岩流シミュレーション(LavaSIM)と交通系シミュレーション(SUMO: Simulation of Urban Mobility)の連携例(伊豆大島)

参考 : SUMO: Simulation of Urban Mobility
<https://eclipse.dev/sumo/>