

火砕流数値シミュレーションの条件設定に関する留意点

(一財) 砂防・地すべり技術センター ○小林 拓也 志水 宏行 藤沢 康弘
国土交通省 北海道開発局 苫小牧砂防海岸事務所 竹原 隆博¹⁾ 岩田 清徳 本間 雄介

1.はじめに

火砕流という現象は、それ自体による被害に加えて、不安定土砂量の増加等の土砂生産域に影響を与える因子や融雪型火山泥流の誘因であることから、砂防計画や避難計画等を議論するうえでは、その流下範囲をより確からしく推定することが重要である。火砕流の流下範囲の想定に際しては、近年では数値シミュレーションが用いられ、国土交通省でもリアルタイムハザードマップの提供体制の構築を進めており、数値シミュレーションの重要性は高まっていると考えられる。

火砕流の数値シミュレーションでは、火砕物の噴出レート及び噴出継続時間等の噴火条件が重要な計算条件となる。しかし、国内における火砕流の流下状況と噴火条件の対応関係の観測実績はほとんどなく、例えば噴煙柱崩壊型火砕流では1929(昭和4)年の北海道駒ヶ岳の住民による目撃情報、溶岩ドーム崩壊型火砕流では1991年(平成3年)の雲仙普賢岳の観測情報などを参考に継続時間を設定し、噴出レートを算定するケースが多い。このため、対象の火山の特性や噴火規模に適さない計算条件となり、数値シミュレーション結果が実績範囲と整合しないケースがある。

そこで、本研究では火砕流堆積物の分布について比較的詳細な調査がなされている北海道の樽前山の1739年噴火に伴う火砕流を対象として、火砕流発生前の地形を再現したうえで、各種計算条件を変更した再現計算を実施し、火砕流の数値シミュレーションの条件設定に関する考え方や留意点を整理した。

2. 樽前山の1739年噴火の概要

樽前山(標高1,041m)は、北海道の道央地方の支笏湖の南端に位置する活火山で、約9千年前に活動を開始した。1667年と1739年には大規模なプリニアン噴火が発生し、大規模な火砕流が発生した。

1739年噴火では、火砕流堆積物の層序から、比較的規模の大きい火砕流が4回程度発生したと推定されている(afl-4~afl-1)。本研究では、それらのうち、最も流下範囲が広く、堆積物の分布範囲の情報も多いafl-1堆積物に該当する火砕流を対象とした。樽前火山地質図(2010)によると、afl-1の堆積物は0.2km³である(図1)。

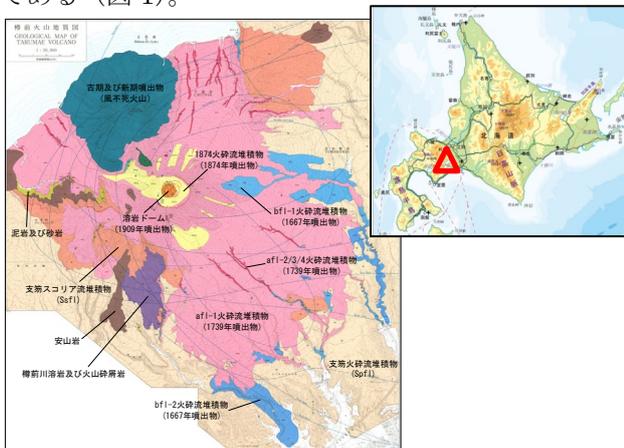


図1 樽前山の位置図と樽前火山地質図(2010)

1) 現 北海道開発局 札幌開発建設部 空知川河川事務所

2. 方法及び手順

再現計算は、図2に示す手順により実施した。火砕流シミュレーションモデルは、全国での利用実績の多いJ-SAS(基礎方程式は、宮本ら、1992)を用い、火砕流の下部高粒子濃度領域を考察対象とした。

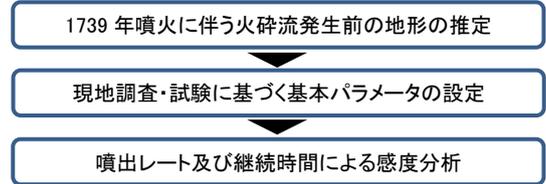


図2 再現計算の実施手順

2.1. 1739年噴火に伴う火砕流発生前の地形の推定

樽前山では、19世紀以降に70回以上の噴火及び活動記録があり、地形に変化が生じている。二次元の数値シミュレーションでは、地形条件は計算結果に大きく影響する要因のひとつである。このため、再現計算に際しては、地形条件の精度を向上させるため、1739年噴火に伴う火砕流発生前の地形を推定した。

火砕流発生前の地形の推定は、最新の地形データである令和元年度の航空レーザ計測成果を基に5mグリッドデータを作成し、各グリッドにおけるafl-1及びその上部の堆積物の厚さを減じて推定した。火砕物の堆積厚の分布は、露頭調査地点の堆積厚を基に、クリギング(重み付き平均による空間内挿推定法)によって推定した。なお、この手法によりafl-1の堆積物量を算定すると0.21km³となり、樽前火山地質図の値とも整合的であった。

2.2. 現地調査・試験等に基づく基本パラメータの設定

数値シミュレーションに用いるパラメータのうち、代表粒径及び砂礫平均密度については、平成8年に実施された土質試験結果を基に設定した。

計算のメッシュサイズは50mを採用し、噴煙柱の崩壊を想定して火口のカルデラ外縁の全周を計算開始点とした。

2.3. 噴出レート及び噴出継続時間による感度分析

数値シミュレーションに用いるパラメータのうち、火砕物噴出レート、噴出継続時間、及び粒子間摩擦係数μについては地質学的情報からの推定ができない。このため、これらの条件については複数の条件による数値シミュレーションを行い、実績と整合的な条件を分析するものとした。

まず火砕物の噴出レートについては、海外の大規模噴火における火砕物噴出量と火砕物噴出レートの経験的關係式(Carey & Sigurdsson, 1989)(以下、「経験式」という。)を用いた。ただし、実績のプロットを見ると、経験式により得られる噴出レートから概ね±1オーダー程度のばらつきが見られる。このため、再現計算では、afl-1の噴出物量と経験式により算定された噴出レートを基本ケースとしつつ、さらにそれを0.1倍、5倍、10倍と条件と変えた計算を実施するものとした。噴出継続時間は、火砕流の総量を噴出レ

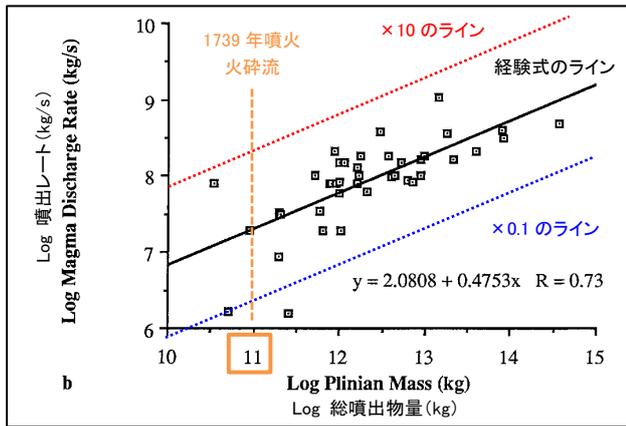


図3 大規模噴火の火砕物噴出量と火砕物噴出率 (Carey & Sigurdsson (1989)の図1bに加筆)

トで除して算定した。また、粒子間摩擦係数 μ については、0.02刻みで0.05~0.21の値を用いた総当たりによるシミュレーションを実施するものとした。

4. 結果

基本ケースの計算条件を表1に示す。火砕流の噴出レート及び粒子間摩擦係数(μ)を変えた計算結果は、いずれの条件の場合も、噴出レートが大きいほど流下方向に対して横方向に広がり、粒子間摩擦係数 μ が大きいほど到達距離が短くなる傾向がみられた(図4)。

また、数値シミュレーションによる火砕流の流下範囲と、1739年噴火による火砕物の堆積範囲と対比すると、到達距離や末端部の形状の整合から、噴出レートを基本ケースの5倍、粒子間摩擦係数を0.09とした場合の流下範囲が最も整合的な結果となった。なお、火口西側の堆積範囲については、火砕サージ(火砕流の上部低粒子濃度領域)の堆積範囲であるため、数値シミュレーションの評価対象外である。

表1 計算条件(基本ケース)

項目	値	単位	備考
火砕流量(空隙込み)	2.0×10^8	m^3	
火砕流質量	2.8×10^{11}	kg	
代表粒径	0.18	cm	土質試験結果(累加60%粒径)
砂礫密度	2.36	g/cm ³	密度試験結果
火砕物噴出率	3.9×10^7	kg/s	経験式より算定した基本ケース
噴出継続時間	8424	s	火砕流総量/火砕物噴出率
メッシュサイズ	50	m	
刻み時間	0.2	s	

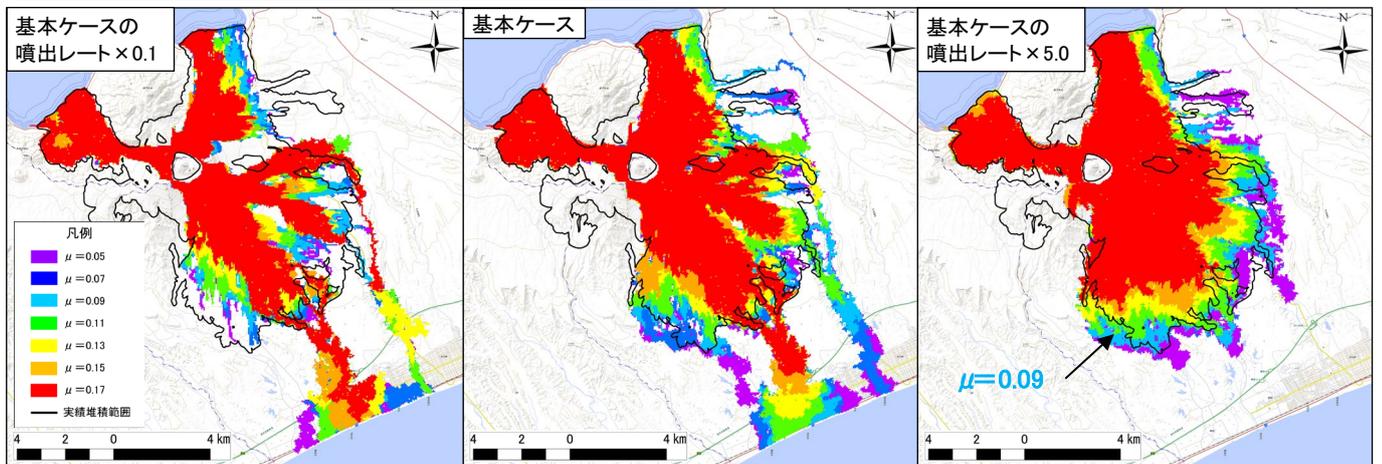


図4 火砕流シミュレーション結果(流下・堆積範囲)

5. 考察

これまでの噴出継続時間を先に仮定して噴出レートを算定していたため、火砕流量によっては噴出レートが過大または過小で合理的でない条件になる場合があった。一方で、本研究の手法は、火砕流の規模により火砕物の噴出レートを算定すること、ならびにその値の取りうる範囲の目安を定めたことで、より現実的な条件による検討ができたと考えられる。これらは再現計算結果からも、適切な条件設定であると考えられる。

経験式により算定された噴出レートの5倍値が最も整合的であったことは、経験式の基にされている実績の噴出量にもばらつきがあることに加えて、経験式は火砕流堆積物だけでなく降下火砕物(テフラ)も含んでおり、厳密には火砕流のみを対象としたものではないことが要因と考えられる。

6. 総括

本研究では、再現の対象とする火砕流の発生前の地形を用いるとともに、火砕物の噴出レートと粒子間摩擦係数を適切に設定することにより、比較的良好な再現計算結果が得られた。火砕流の数値シミュレーションに際しては、以下のような点が重要と考える。

- ・噴火実績の多い火山では地形変化も大きいと考えられるため、再現計算に際しては、可能な限り対象現象の発生前の推定地形を用いることが望ましい。
- ・火砕流堆積物の体積は、一連の噴火であっても発生タイミングの異なる複数の火砕流の総量として示される場合があるため、再現計算に際しては1フローの火砕流を対象とすることが望ましい。
- ・火砕流の噴出レートについては、海外の大規模噴火における火砕物噴出量と火砕物噴出率の経験的関係式を用いる方法も有効である。ただし、火山噴火の不確実性を考慮した感度分析も重要である。
- ・火砕流数値シミュレーションでは、上記のような手続きや情報を基に適切な計算条件を設定することで、より確からしい条件のもとに流下範囲を推定できる可能性がある。

引用文献

- Carey & Sigurdsson, The intensity of plinian eruptions (1989), Bull Volcanol, 51, p.28-40
 宮本邦明, 鈴木宏, 山下伸太郎(1992), 火砕流の流動モデルと流下・堆積範囲の予測に関する研究, 水工学論文集, 36巻, p.211-216