

メキシコ・ポポカテペトル火山で発生した土石流の特徴と防災対策

京都大学防災研究所 ○中谷加奈, 中野元太
 京都大学大学院工学研究科 木次貫太, 鹿島歌乃

メキシコ国立防災センター Alicia Martínez Bringas, Ángel Gómez Vázquez, Sergio Valderrama Membrillo

1. 研究の背景と目的

Popocatepetl 火山 (図 1) は、南北に延びる全長約 80 km の山脈の南端に位置し、この山脈は西側のメキシコ盆地と東側のプエブラ盆地を分けている。同火山は、メキシコシティの南東約 60 km、プエブラ市の西約 40 km に位置して、両都市圏を合わせた人口は 3,000 万人を超える。このため、Popocatepetl 火山の火山活動や Lahar (火山泥流, 土石流) による被害は、重要課題である。

そこで、メキシコ国立防災センター (CENAPRED: Centro Nacional de Prevención de Desastres) は、Popocatepetl 火山の北部溪流付近に 4 つの地震観測所で得られるデータを用いて、Lahar に関する検知・解析・警戒発信システムを運用している¹⁾。システムにより、Lahar の発生検知や流量などの情報をリアルタイムで取得し、Lahar の早期検知と緊急時の意思決定を助ける。一方で、Lahar による土砂氾濫の予測に関する検討は依然不十分で、避難区域設定や早期警報、防災情報の精度にも課題が残されている。

本稿では、メキシコ・Popocatepetl 火山で発生した Lahar の特徴や観測システムを整理するとともに、防災対策の検討に向けて Hyper KANAKO²⁾を用いて土石流シミュレーションを実施した。

2. 近年の土石流災害

近年は、1994 年に火山活動が再開して以降、現在に至る噴火活動が周辺集落に及ぼす影響の中で最も深刻な災害要因は Lahar と考えられている³⁾。実際、1997 年、2001 年、2010 年、2017 年には大規模な Lahar が発生した。また、主に火山上部での融雪や降雨を要因とする小規模な Lahar はほぼ毎年、確認される (図 2)。大規模な Lahar の発生要因を、以下に整理する。

(a) 火山灰放出による氷河の融解 (1997, 2001 年)

長期にわたる火山灰の放出により氷河が融解し、約 $1 \times 10^7 \text{ m}^3$ の水が急激に放出されたことに起因する。この融解水が河床を侵食し、流下過程で土砂濃度が次第に上昇し、高濃度の土石流へと変化した。

(b) 激しい長期間の豪雨 (2010 年)

激しい降雨によって火山斜面で地すべりが発生し、その結果、北西部の峡谷で Lahar が発生した。

(c) 地震と降雨 (2017 年)

ポポカテペトルから約 68 km の地点で発生したマグニチュード 7.1 の地震により、火山体の峡谷で多数の地すべりが誘発された。その後の降雨により、この緩んだ土砂が移動し、火山の西斜面で少なくとも 2 つのラハールが発生し、居住地域に達した。



図 1 Popocatepetl 火山 (CENAPRED 提供)



図 2 小規模 Lahar (CENAPRED 提供)

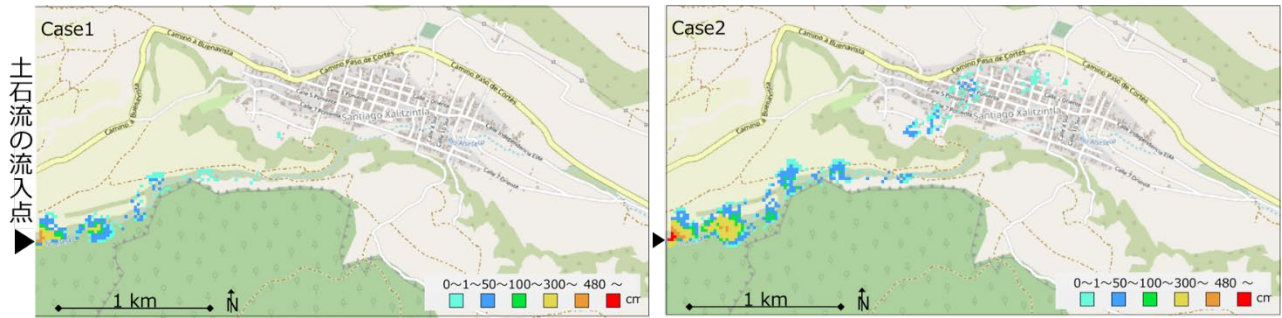


図3 計算終了時の堆積厚 (Case1: $\rho=1,000 \text{ kg/m}^3$, Case2: $\rho=1,400 \text{ kg/m}^3$, 背景は OSM)

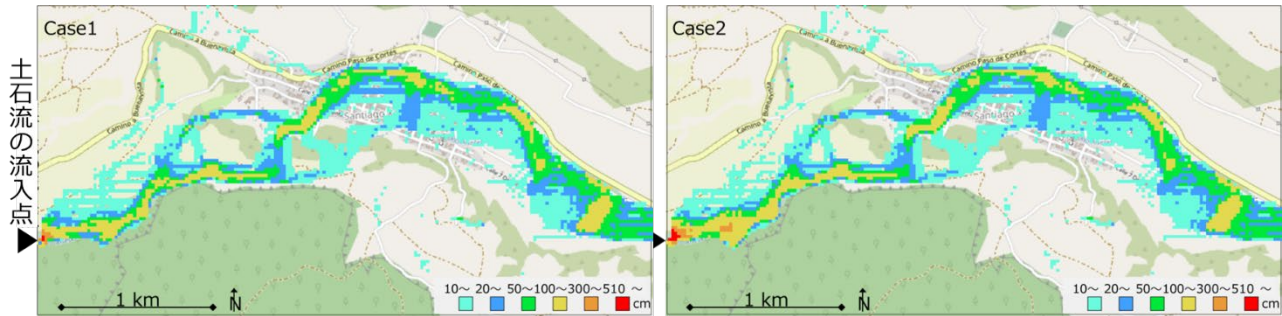


図4 最大水位の計算結果 (Case1: $\rho=1,000 \text{ kg/m}^3$, Case2: $\rho=1,400 \text{ kg/m}^3$, 背景は OSM)

3. 土石流シミュレーション

Popocatepetl 火山北東部に位置し約 2000 人が居住する Santiago Xalitzintla を保全対象として土石流シミュレーションを実施した。適用した Hyper KANAKO は、QGIS と連携した土石流シミュレーションシステムで、抵抗則や侵食堆積速度に高橋モデル⁵⁾を採用している。日本では、礫分を多く含む石礫型土石流が頻発する。一方で、火山地域や細粒分が多い土石流事例へ適用する際には、液相密度を変更することで流動性の高い挙動が表現されることが確認されている⁶⁾。

メキシコ側から提供された 15 m 解像度の DEM を用いて計算を実施した。1 次元領域は 50m 間隔、159 点(代表勾配 5.4 度)、川幅 30m、移動層土砂厚 10m、全移動可能土砂量 2,385,000m³(空隙込)に設定した。上流端からの供給ハイドログラフはピーク流量 500m³/s、ピーク継続 1800s、計算時間 3600s とした。2 次元領域は 20m メッシュで 103×202 の固定床とした。その他のパラメータは、計算時間間隔 0.01s、代表粒径 0.2m、砂礫密度 2,650kg/m³、河床の容積濃度 0.65、マンギングの粗度係数 0.03 s/m^{1/3}を設定した。

一般的な石礫型土石流は液相密度 $\rho=1,180 \text{ kg/m}^3$ が採用される。本検討では、細粒分を多く含む土石流

挙動を把握するため Case1 で $\rho=1,000 \text{ kg/m}^3$ 、Case2 で $\rho=1,400 \text{ kg/m}^3$ とした。2 次元領域での計算終了時の堆積厚と最大水位(流動深+堆積厚の最大値)を図 3、図 4 に示す。土石流が発生・到達した場合には、集落内で氾濫・堆積する様子が示され、Case2 の方が堆積厚・最大水位とも Case1 と比較して下流側までの堆積や氾濫が広がり、谷出口や下流側での数値が多く、より危険であることが示された。

今後は、異なるシナリオによる氾濫・堆積域を考慮したハザードマップの検討や、効果的な砂防ダム配置検討を進める。

参考文献

- 1) CENAPRED: Sistema de Detección, Análisis y Avisos ante lahares detonados en el sector norte del Popocatepetl, 2025.
- 2) 堀内成郎, 岩浪英二, 中谷加奈, 里深好文, 水山高久: LP データを活用した土石流シミュレーションシステム「Hyper KANAKO」の開発, 砂防学会誌, Vol.64, No.6, p.25-31, 2012.
- 3) M.Sheridan et al.: Gauging Short-term Volcanic Hazards at Popocatepetl, 2001.
- 4) L. Capraa et al.: The 1997 and 2001 lahars of Popocatepetl volcano (Central Mexico): textural and sedimentological constraints on their origin and hazards, 2004.
- 5) 高橋保, 中川一: 豪雨時に発生する石礫型土石流の予測, 砂防学会誌, Vol.44, No.3, pp.12-19, 1991.
- 6) 中谷加奈, 古谷智彦, 長谷川祐治, 小杉賢一朗, 里深好文: 細粒土砂の液相化が土石流挙動に及ぼす影響とその要因に関する検討, 砂防学会誌, Vol.70, No.6, p.3-11, 2018.