

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
 Characteristics and Disaster Prevention Measures for the Debris Flows
 in the Popocatépetl Volcano, Mexico

○中谷加奈・木次貫太・鹿島歌乃・中野元太・Alicia Martínez Bringas・Ángel Gómez Vázquez・
 Sergio Valderrama Membrillo

○Kana NAKATANI, Kanta KOTSUGI, Kano KASHIMA, Genta NAKANO, Alicia Martínez BRINGAS,
 Ángel Gómez VAZQUEZ, Sergio Valderrama MEMBRILLO

Popocatépetl volcano is situated at the southern terminus of an approximately 80 km-long mountain range that separates the Mexico Basin to the west from the Puebla Basin to the east. Volcanic activity and related hazards, particularly lahars (volcanic debris flows), represent a significant critical concern. Since volcanic activity resumed in 1994, lahars have been identified as the most serious hazard affecting surrounding communities. Large-scale lahars occurred in 1997, 2001, 2010, and 2017. The 1997 event was triggered by glacier melting caused by prolonged ash emissions, releasing approximately $1 \times 10^7 \text{ m}^3$ of water and generating high-concentration debris flows that inundated residential areas up to 15 km downstream. While smaller, meteorologically induced lahars occur almost annually, and CENAPRED operates a real-time seismic detection and warning system, predictive studies focusing on inundation and deposition dynamics remain insufficient. This study investigates lahar behavior on the northern slope of Popocatépetl using the Hyper KANAKO system. (149 words).

1. はじめに

Popocatépetl 火山は、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。また同火山は、メキシコシティの南東約 60 km、プエブラ市の西約 40 km に位置しており、両都市圏を合わせた人口は 3,000 万人を超える。このため、Popocatépetl 火山の火山活動や Lahar（火山泥流、土石流）による被害は、重要な社会的課題である。

近年では、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への検討が進められて、その中で最も深刻な災害要因は Lahar だと考えられている¹⁾。実際、1997 年、

2001 年、2010 年、2017 年には大規模な Lahar が発生した。特に 1997 年の Lahar は、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。この融解水量は河床を侵食するのに十分であり、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。その結果、北東部の主要河川流域において複数の Lahar が発生し、最大 15 km にわたり居住地域を氾濫させた²⁾。さらに、降雨や融雪を要因とする小規模な Lahar は毎年のように確認されている（図 1）。

そこで、メキシコ国立防災センター（CENAPRED : Centro Nacional de Prevención de



図 1 2023 年に Geociencias 観測所で撮影された小規模 Lahar（CENAPRED 提供）

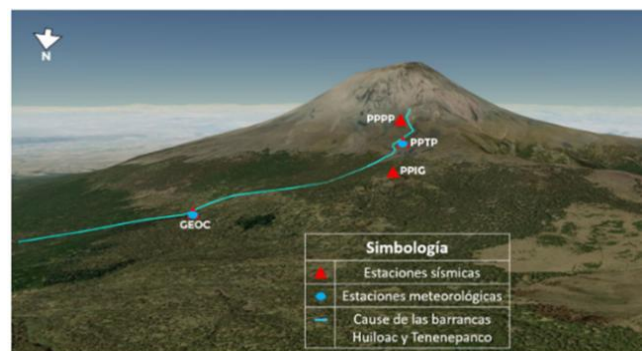


図 2 CENAPRED が所有している Popocatépetl 火山北部の地震観測所³⁾

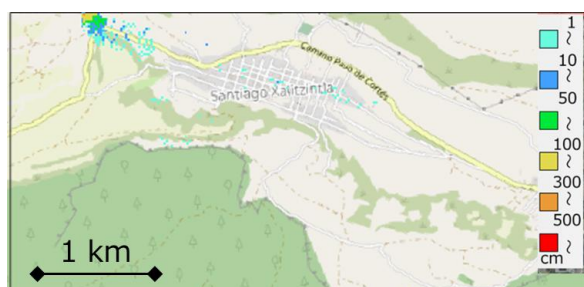


図3 計算結果（終了時の堆積厚）

Desastres) は、図2に示す Popocatepetl 火山の北部溪流付近に4つの地震観測所 (PPPP: Canario, PPTP: Tenenepanco, PPIG: Tlamacas, GEOC: Geociencias) 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³⁾。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として不十分であり、避難区域の設定や防災情報の精度に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 KANAKO⁴⁾を用いて土石流シミュレーションを実施した。

2. Lahar 検知及び流量パラメータ計測システム

Lahar を検知するには、地震による振動と Lahar 流下で発生する振動を識別する必要がある。そのため、観測した震動データを以下に示す5つの手法により変換を行い、Lahar 検知を行う。

- ① 振幅閾値による検知
- ② STA/LTA による検知
- ③ 周波数エネルギーによる検知
- ④ フーリエスペクトルによる検知
- ⑤ 周波数ヒストグラムによる検知

この中で4つの手法で Lahar と判断した場合に、Lahar を検知したと判断する。システムが Lahar 発生を検知すると、地震観測所のペア間における振動データを用いて、流速および流量をリアルタイムで推定する。流速等の情報は避難指示に活用されている。高精度の Lahar 挙動パラメータを推定するために、現在も様々な検討が実施されている。

3. 土石流シミュレーション

Popocatepetl 火山北東部 Santiago Xalitlitzintla を

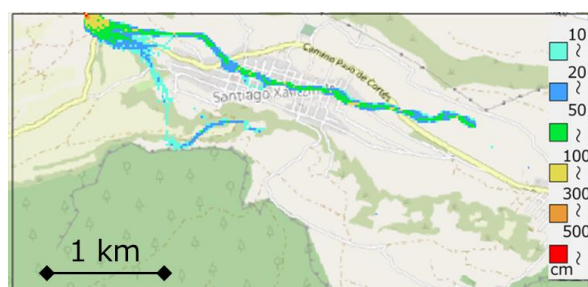


図4 計算結果（流動深+堆積厚の最大値）

保全対象として、土石流シミュレーションを実施した。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⁾を採用しており、国内外の土石流事例に適用されている。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へ適用する際は、液相密度（一般的な石礫型土石流では $1,180 \text{ kg/m}^3$ ）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示されている⁶⁾。

解像度 15m の DEM を用いて、液相密度 $1,400 \text{ kg/m}^3$ 、1 次元領域の移動層厚 5m（全移動可能土砂量 $21,000 \text{ m}^3$ 、空隙込）、上流端からの供給ハイドログラフのピーク流量 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 、ピーク継続 600s として 1200s で計算した。2 次元領域の計算結果を図3（計算終了時の堆積厚）と図4（流動深+堆積厚の最大値）に示す。背景は OSM である。土石流が発生・到達した場合は、集落内で氾濫・堆積する様子が示された。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、効果的な砂防ダムの配置検討を進める。

参考文献

- 1) M.Sheridan et al.:Gauging Short-term Volcanic Hazards at Popocatepetl, 2001.
- 2) L. Capraa et al.:The 1997 and 2001 lahars of Popocatepetl volcano (Central Mexico):textural and sedimentological constraints on their origin and hazards, 2004.
- 3) CENAPRED:Sistema de Detección, Análisis y Avisos ante lahares detonados en el sector norte del Popocatepetl, 2025.
- 4) 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
- 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