

# 火山噴火に伴う土砂災害の緊急減災のための新しい監視技術

(独)土木研究所 ○中野陽子, 山越隆雄, 田村圭司, 武澤永純, 清水武志, 松岡暁

## 1. はじめに

平成19年4月に火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン<sup>1)</sup>が発表され、火山活動が活発で火山活動による社会的影響が大きい29火山に対して、火山噴火に伴い発生する土砂災害に対して被害を可能な限り減災するための計画策定の手引きが示された。ここでは、火山が噴火した場合に早急に実施すべき監視手法の検討ならびに変化量計測に資する計測機器の性能に関する現地試験結果を報告する。

## 2. 火山噴火時の監視手法

ここでは、火山噴火時に取り扱う対象を大きく「降灰後の土石流」「火山泥流」「溶岩流」「火砕流」とした。それぞれについて主に監視・観測すべき項目を段階毎に整理し図-1に示した。

時点の進行現象	急迫 発生可能性の監視	切迫 発生危険性の監視	目前 接近等検知
土石流	降灰(深さ分布) 堆積火砕物(深さ分布)	降雨(流域降雨量) 崩壊(崩壊の発生)	土石流発生
火山泥流(融雪型)	積雪(積雪水量)	噴火による融雪(噴火活動)	火山泥流発生
火山泥流(火口湖決壊型)	火口湖(火口湖水位)	火口湖水位の上昇(水位上昇量)	火山泥流発生
火砕流	溶岩ドームの出現	溶岩ドームの経時変化(変化量)	火砕流発生
溶岩流	溶岩の噴出	溶岩流の流下(流下速度・温度)	溶岩流接近

図-1 段階ごとの監視項目

また、監視項目に対応する監視手法の検討を行った。火山噴火時の監視手法を検討するにあたり、まず手法の選定条件の検討を行った、火山特有の制約条件を考慮し、以下にあげた性能が高いことを手法選定の条件とした。

1) 即時性：火山活動の各段階における時間的猶予、影響範囲等の予測が困難であるため<sup>2)</sup>、計測時間や解析時間等の監視にかかる時間が短いこと、また随時更新が可能なことが重要となる。

2) 常時性：火山噴火時は、噴煙等の影響により視界不良やノイズ、機器の故障等の監視機器への支障が想定されるため<sup>2)</sup>、影響を受けにくい機器を選定することが必要である。例えば計測に用いる波長域は可視光域よりも赤外域、光よりも電波を用いることが望ましい。

3) 持続性：噴火活動が長期間にわたることも想定されるため、持続的に運用可能であることが必要である。

4) 遠隔監視可能性：立入り制限区域や飛行禁止区域等の制限により監視機器を設置可能な場所が、対象から大きく離れてしまう可能性があるため<sup>2)</sup>、遠距離から、または遠隔で監視可能であることが重要である。

また、火山噴火は一度発生すると影響は大きいが発生頻度は低いため、火山噴火時に実際に適応可能かどうかの検討が行われている機器は数少ない。よって、火山監視またはその他の現象監視において実運用されている機器を選定

するとともに、火山活動状況にあわせ整備可能なよう複数手法提示した。

以下に火砕流を例として、監視・観測すべき事項と監視手法について図-2に示した。火砕流のうち、対象としたのは時系列的な監視・観測が可能なメラピ型火砕流である。火砕流の時系列変化に沿って「溶岩ドームの出現」、「溶岩ドームの経時変化」「火砕流の発生」「火砕流の堆積」の4つの段階に分け、それぞれについて監視・観測すべき事項と監視手法について以下に述べる。また、火砕流監視の従来手法の例としては、1990年雲仙普賢岳噴火時の手法を参考とした。

時点	急迫 発生可能性の監視	切迫 発生危険性の監視	目前 接近等検知	事後 データ収集
監視項目	溶岩ドームの出現	溶岩ドームの経時変化(変化量)	火砕流発生	火砕流堆積(堆積深・範囲)
監視手法(標準)	目視(空中・地上) 衛星画像解析	目視(空中・地上) レーザー距離測定器(手持型)	目視(空中・地上)	目視(空中・地上) レーザー距離測定器(手持型) 衛星画像解析
監視手法(推奨)		合成開口レーダー 差分干渉処理(地上・衛星) レーザー差分解析(地上・航空)	振動検知センサ 熱検知センサ	レーザー差分解析(地上・航空)

図-2 火砕流の時系列毎の監視項目

### 2.1 第一段階「溶岩ドームの出現の監視」

火砕流の監視における第一の段階は、(溶岩ドーム崩落型)火砕流が発生する前提条件である溶岩ドームの出現を監視することである。従来手法としては、目視(監視カメラ、ヘリコプター巡視を含む)による監視が行われた<sup>3)</sup>。

立入り制限区域や飛行禁止区域による制限をうける際には、衛星画像解析を用いることが有用である。さらに、噴煙等の影響により視界不良により監視が困難な際は噴煙等の影響を受けにくい合成開口レーダー搭載型を用いる。

### 2.2 第二段階「溶岩ドームの経時変化(変化量)の監視」

溶岩ドームが出現した後の第2段階の監視としては、火砕流の発生時期・規模・報告を推定するため、その形状の経時変化を定量的に捉える必要がある。従来手法としては、目視による監視、また空中写真を用いAuto-3D<sup>4)</sup>により作成したDEM差分を用いた手法や航空機搭載型SARの干渉DEMを用いた手法等の定量的な手法が用いられてきた<sup>4)</sup>。

近年は、安価な手持ち型の簡易なレーザー距離測定器等が普及しているため、巡視時に概略の量的な検討を行うことが可能となっている。定量的な手法としてはより精度・確実性の高いSARを用いた差分干渉処理(地上設置型・衛星搭載型)、レーザー差分解析(地上型・航空機搭載型)が近年実用化された技術である。どちらが有用であるかは、溶岩ドームの時間あたりの変化量に応じて選定する。

合成開口レーダーには、航空機搭載型も存在するが、各フライトにおいて定軌道を維持することが困難なため、干

渉能力および差分を算出した精度は地上設置型・衛星搭載型が上回ることが想定される。

### 2.3 第3段階「火砕流発生の監視」

溶岩ドームが成長し、いつ火砕流が発生してもおかしくない段階となると、火砕流の発生自体の監視を行う。

火砕流の発生検知の監視は、目視を標準とするが、推奨する手法としては熱・振動等を用いた検知センサを用いた監視である。これらは、雲仙普賢岳の噴火災害時にも用いられてきた手法であるが、近年、UAV（無人飛行体）の汎用化によって、火山噴火後にセンサを監視地点に運ぶような手法も検討されてきている<sup>5)</sup>。これにより、火山噴火活動が活発化した後でも機器を設置することが可能となる。また、振動センサの多角配置による発生時間および位置の特定手法<sup>6)</sup>の検討がなされており、火砕流の検知にも応用可能であると考えられる。

### 2.4 第4段階「火砕流堆積の監視」

火砕流が堆積した後、堆積物が冷却する前に地下水との接触等が起きると、二次爆発を起こすことがある<sup>2)</sup>。また、冷却後はその後の降雨によって著しく侵食を受け、下流に大量の土砂が流出するようになる。これらの現象の監視、およびその後の火砕流監視体制整備に資するため、火砕流の堆積深・範囲の監視を行う。目視、レーザー距離測定器による概略把握や、堆積範囲が広域にわたる際には、衛星画像解析を用いることも有用である。これらの手法を標準とするが、推奨する手法としては、レーザー（地上型・航空機搭載型）による差分解析である。

## 3. 新しい監視技術の現地試験

### 3.1 概要

火砕流の監視のうち、溶岩ドーム変化量および火砕流堆積の監視手法として有用であると考えられる超長距離タイプの地上設置型レーザー（地上LP）に対し、桜島で現地試験を行った。機器の仕様を表-1に示す。現地試験地点は、桜島東に位置する黒神川一号堰堤の上流約100m左岸側の地点である。

表-1 用いた計測機器の仕様 (RIEGLE社製 LPM-321)	
仕様	
波長帯域	近赤外域
レーザー安全規格	クラス1M
測定精度	±25mm
測定レート	10から1000点/秒
ビームの広がり角	0.8mrad
計測可能距離	10-6000m

### 3.2 現地試験結果と考察

地上LPの現地試験に関して、計測時間、計測可能距離、地形表現能力の三点について報告する。

計測時間は2時間程度で、約1平方キロの範囲の計測が可能であった。2.5km先であっても最大2m間隔でデータ取得が可能であり、変化量の把握能力は高いといえる。また、計測可能距離の最大値は3.5km程度であった。

図-3に地上LPで取得した地形と、航空レーザー測量により取得された地形表現の対比を示した。計測対象範囲は

ガリ侵食が進み、深いV字形を呈しているが、その地形表現が航空レーザーと同程度可能であることが見て取れる。

しかしながら、計測地点からの距離が2.5kmを超える距離に関しては、データの取得率の低下が見られた。これは、空中のちりや、降雨直後の計測であったことによる空気中の湿度と地表面色低下がレーザー光の反射率に影響したことが考えられる。しかしながら、地上LPは、地上に固定して計測することから、地形データとしての出力が即時に可能であり、緊急時への適用性は高いと考えられる。

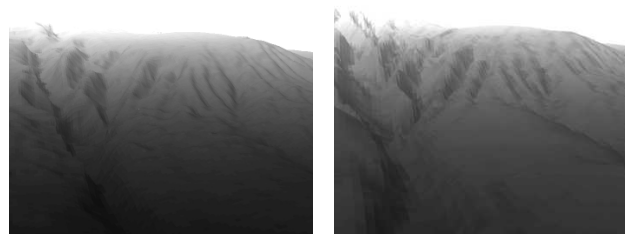


図-3 地上LPデータを4mで内挿（左側）  
1mメッシュ航空レーザーデータ（右側）H21.11

## 4. 課題

実際に噴火中の火山を想定して監視機器の整備を行う際、図-2に適用可能として挙げたような各監視機器が火山活動の影響下でどの程度その性能を発揮できるのかについては、検証例が少なく、不明な点が多い。今後桜島等の現在活発な活動を行っている火山をテストサイトとして実証実験・検証等を行っていく必要があると考えられる。

また、今回検討を行ったのは監視手法についてのみであり、実際の監視体制整備にあたっては、優先順位の検討等が必要である。今後は、監視体制整備の単位および優先順位の考え方に関して検討をしたい。

## 5. おわりに

本検討を行う上で、国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所には、現地試験サイトおよび検証に用いた航空レーザーデータをご提供いただいた。また、現地試験計測にあたっては、リーグルジャパン株式会社に全面的にご協力いただいた。ここに記して感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン, 国土交通省砂防部, 2008
- 2) 火山噴火と災害, 宇井忠英, 1-47, 東京大学出版会, 1997
- 3) 大学合同観測班地質班: 雲仙火山1991噴火、地質観察記録(その1), 火山, 37, 1, 47-53, 1992
- 4) 総合技術開発プロジェクト平成5年度研究開発概要報告書 土砂災害に関する防災システムの開発, 建設省, 1994
- 5) 大湊ほか: 無人ヘリによる火山観測: 桜島における地震計設置の試み, 平成21年度京都大学防災研究所研究発表講演会
- 6) 大角ほか: 河道閉塞近傍の振動センサー記録による振動特性の検討, 第3回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 163-168, 2006