

## 戦-22 火砕流発生後の大規模土砂流出に対する緊急減災対策の研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 23

担当チーム：土砂管理研究グループ（火山・土石流）

研究担当者：田村圭司、山越隆雄、清水武志

### 【要旨】

火砕流に伴う土砂災害の緊急減災対策技術の高度化を目的として、本研究課題は、①火砕流影響範囲からの土砂流出予測手法の開発、②火砕流調査マニュアルの作成、そして、③火砕流影響範囲からの大規模土砂流出に対応した施設効果評価手法の提案を達成目標として実施している。本年度は、火砕流の緊急監視項目・手法について検討を行うとともに、火山噴火に起因した土砂災害全般の監視技術について体系的な整理を行った。

キーワード：火砕流、緊急減災対策、土砂流出

### 1. はじめに

国土交通省砂防部は平成 19 年 4 月より、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>を公表し、全国の 29 火山において順次緊急減災対策砂防計画を作成しているところである。その中でも、火砕流の調査手法や、噴火終了後少なくとも数年間は継続する土砂流出頻発期間における流出土砂量の予測技術は、緊急対策工の規模・種類の選定、および施工実施優先順位付けにあたり必要な技術である。しかし、これらの手法、技術は、雲仙普賢岳噴火の際にその重要性が認識され、ある程度研究が進んだものの、将来の土砂流出量を予測する手法の提案にまでは至っていない。

本研究では、①火砕流影響範囲からの土砂流出予測手法の開発、②火砕流調査マニュアルの作成、そして、③火砕流影響範囲からの大規模土砂流出に対応した施設効果評価手法の提案を達成目標として実施している。本年度は、火砕流の緊急監視項目・手法について検討を行うとともに、火山噴火に起因した土砂災害全般の監視技術について体系的な整理を行った。

### 2. 火山噴火に起因した土砂災害の監視手法について

#### 2.1 火山噴火に起因した土砂災害

火山噴火に起因した土砂災害の減災のためには、なるべく早期に現象の発生時期およびその範囲を推定し、緊急減災対応を取る必要がある。しかし、火山噴火に起因した土砂移動現象の場合、その発生時期を推定するためには、地下のマグマの動きを予測することが必要であり、従来の土砂災害監視技術では、監視困難である。

そこで、火山噴火に起因する土砂災害のうち土砂災害監

視技術による監視可能性を考慮し、対象とする現象を大きく「降灰後の土石流」「火山泥流」「溶岩流」「火砕流」とした。特に、火山泥流、火砕流は、同様の観点から、融雪型・火口湖決壊型火山泥流、メラピ型（溶岩ドーム崩落型）火砕流を対象を絞った。

#### 2.2 各対象現象における進行段階毎の監視観測項目

土砂災害に対し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	急迫	切迫	目前	事後
目的	発生可能性の監視	発生危険性の監視	接近等検知	データ蓄積
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	土砂量 ピーク流量 流速・水深
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	土砂量 ピーク流量 流速・水深
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	土砂量 ピーク流量 流速・水深
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	火砕流堆積範囲 火砕流堆積深 堆積物の表面温度 熱風部影響範囲
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	溶岩流堆積範囲 溶岩流流動深 表面温度

図-1 段階毎の監視項目

ここで、現象毎の進行段階は、現象発生が急迫した状態、同じく切迫した状態、ほぼ目前に迫った状態、そして、発生後の状態の4つに区分することとした。降灰後の土石流を例とすると、急迫した状態とは、火山灰が噴出して山地に著しく堆積している等、平常時に比べて明らかに土石流が発生する危険性が高まっている状態のことである。一方、切迫した状態とは、降雨が降り始めて、過去に土石流が発生したことがある雨量に達しようとし、流域内で斜面崩壊が発生し始めた状況を、また、目前に迫った状態とは、土石流が発生し、流下を始めている状

況を想定している。

### 2. 3 監視手法の検討

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。

### 3. 火砕流の監視項目と監視手法について

火砕流の監視・観測すべき事項と監視手法について図-2に示した。監視手法についての考え方は、前段までで示したとおりである。

時点	急迫 目的	切迫 発生可能性の監視	目前 発生危険性の監視	事後 接近等検知	データ蓄積
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

#### 3. 1 第1段階「溶岩ドームの出現の監視」

火砕流の監視における第1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。従来の手法としては、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(SAR)による衛星画像を用いる。

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。

#### 3. 2 第2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、火砕流中の発生時期・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(数値地形モデル)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。

#### 3. 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。

### 3. 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。

## 4. 新しい監視技術の現地試験

### 4. 1 超長距離タイプ地上レーザー

#### 4. 1. 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。桜島は、気象庁の火山活動記録によると、2000年（平成12年）から2001年（平成13年）にかけて、年間爆発回数が100回を超えるなどやや活発であったが、その後の数年間は比較的静穏な状態が続いていた。その後、2006年（平成18年）6月4日に南岳東斜面（昭和火口）で新たな噴火が開始し、一旦は静穏な状態に戻ったものの、2008年（平成20年）2月3日に昭和火口で爆発的噴火、6日には爆発的噴火に伴った火砕流が昭和火口から東側へ1.5km流下するなど活動が活発化した。2009年は爆発的噴火回数が観測史上最多の548回を記録し、今年に入ってから、3月9日には爆発的噴火回数が300回を超えるなど昨秋から活発な状態が続いているため、火山噴火時を想定した試験サイトとしては、現状国内で最も適している。

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。

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。

#### 4. 1. 2 現地試験結果と考察

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

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。

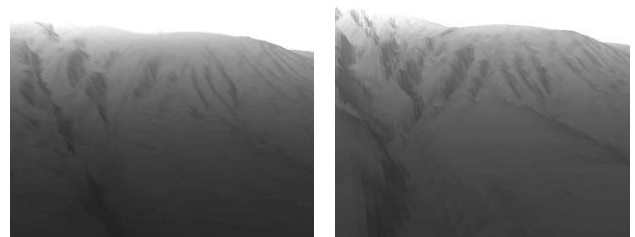


図-3 地上LPデータを4mで内挿(左側)  
1mメッシュ航空レーザーデータ(右側)H21.11

### 4. 2 衛星搭載型合成開口レーダー

#### 4. 2. 1 概要

火砕流の監視のうち、溶岩ドームの出現、火砕流堆積、溶岩ドームの変化量の監視手法として有用であると考えられる衛星搭載型合成開口レーダー（衛星搭載型SAR）を用い、チリのチャイテン火山を対象として実証を行った。

チリのチャイテン火山は、2008年5月2日に約一万年ぶりに噴火し、現在も噴火活動を続けている。今回は、溶岩ドームの出現および火砕流堆積の抽出の可能性を検討するため、衛星の光学画像と衛星のSAR画像を用い、両者の比較検討を行った。

用いた衛星画像は、宇宙航空研究開発機構（JAXA）の運用する陸域観測技術衛星「だいち」（ALOS）によって得られたものである。ALOSは、地球資源衛星1号（JERS-1）の後継機であるが、解像度が最大18mから7mへと向上



表-2 データ諸元

Area	Sensor	Before/ After	date	polarimetry	incident angle
The dates of the eruptions 2008/5/2~	AVNIR-2	Before	2008/2/5	-	-
		After1	2009/2/7	-	-
		After2	2009/3/8	-	-
	PALSAR	Before	2007/6/28	HH+HV	34.3
		After1	2009/2/15	HH	34.3
		After3	2009/4/9	PLR	21.5

し、また、偏波取得が可能になっている。

用いたデータは、ALOS の SAR センサである PALSAR によって撮影された画像データ、および光学センサである高性能可視近赤外放射計 2 型 (AVNIR-2) によって撮影された画像データである。どちらも噴火前後の二時期の画像を取得し、各データから抽出可能な情報の整理を行った。用いたデータ諸元を表-2 に示す。

なお、現地状況は、SERNAGEOMIN (National Geology and Mining Service) の報告等を参考とした。

#### 4. 2. 2 試験結果と考察

衛星搭載型合成開口レーダーの試験結果に関し、現象の抽出、範囲の特定の可能性に関する検討結果を報告する。各検討に際し、光学画像、SAR 画像の二時期画像および SAR のポラリメトリ画像 (PLR) の各画像から読み取り可能であった情報を表-3 に整理すると共に、火口周辺の二時期の衛星画像を図-4 に、PLR の単時期の画像を図-5 に示した。

合成開口レーダー画像の二時期比較により、溶岩ドームの出現および火砕流の堆積範囲の抽出が可能であった。また、隆起した溶岩ドームの高さが、差分画像から後方散乱係数が上昇した範囲から 240m 程度と想定される。

これは、SERNAGEOMIN の報告から、ドームの隆起量は、140~350m の間であり<sup>7)</sup> 概ね整合しているといえる。溶岩ドームの状況を図-6 に示した。溶岩ドームは二つ隆起している。

これは、噴煙等の影響により良好な画像を取得することが困難な光学衛星を用いるよりも噴火中の火山に対して SAR 衛星が、有効であるといえる部分のひとつであろう。

また、PLR の単時期の画像では、単時期であるにもかかわらず二時期比較で抽出された土砂移動現象による荒廃範囲と同様の範囲で、影響を受けていない範囲との差を見出すことが可能であった。しかしながら、これは、チャイテン火山が、標高 1, 100m 程度で、一様な植生で覆われており、噴火によって起こった被覆状況の変化を抽出したに過ぎないが、噴火前の被覆状況によっては有効な手法といえる。

表-3 画像判読により抽出可能な情報

	衛星 SAR ・ 二時期画像	衛星 SAR ・ PLR 単時期画像	光学衛星 ・ 二時期画像 <sup>※2</sup>
噴火口	○	○	○
降灰範囲	△	- <sup>※1</sup>	○
泥流流下・堆積範囲	○	○	○
泥流による滞筋の変化	○	○	○
溶岩ドームの隆起	○	×	○
火砕流堆積範囲	○	○	○ <sup>※3</sup>

※1 取得画像は噴火後 1 年以上経過していることから評価していない  
 ※2 噴煙、雲等により遮られ、良好な画像が取得できない可能性あり  
 ※3 現象の判別を行うことは困難

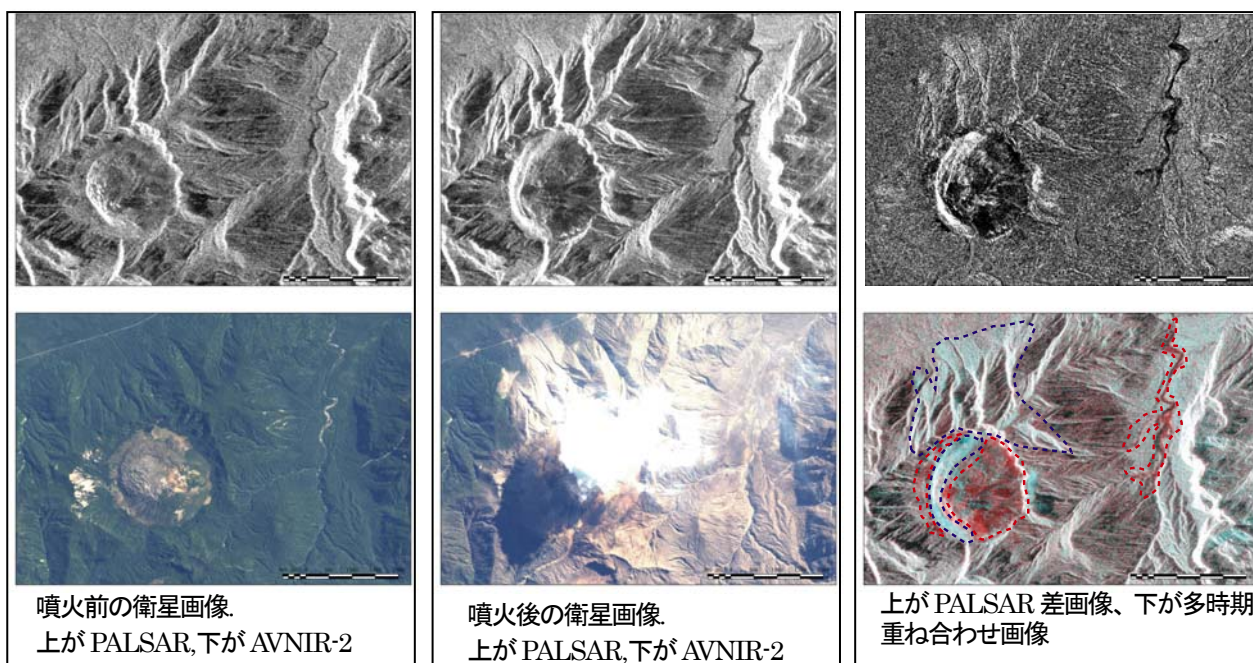


図-4 チャイテンの街周辺の噴火前後の AVNIR-2, PALSAR 画像

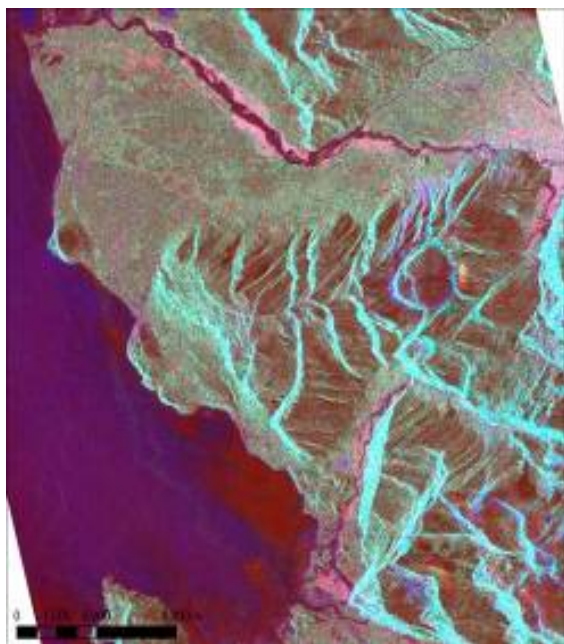


図-5. PLR画像  
(HH-VV, HV, HH+VV)



図-6 溶岩ドームの隆起状況<sup>7)</sup>

## 5. まとめ

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。

## 参考文献

- 1) 国土交通省砂防部：「火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン」, 2008
- 2) 宇井忠英：「火山噴火と災害」, 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) 建設省：「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」, 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
- 7) OVDAS-SERNAGEOMIN：「ERUPCIÓN DEL VOLCÁN CHAITÉN」, INFORME TÉCNICO, 64, 2008

## RESEARCH ON TECHNIQUES FOR EMERGENCY DISASTER MITIGATION AGAINST MASSIVE SEDIMENT DISCHARGE INDUCED BY PYROCLASTIC FLOW DEPOSITION

**Budgeted** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2009-2011

**Research Team** : Erosion and Sediment Control  
Engineering Research Group (Volcano and  
Debris Flow Research Team )

**Author**: Keiji TAMURA

Takao YAMAKOSHI

Takeshi SHIMIZU

**Abstract** : Pyroclastic flow causes serious devastation of source areas of mountain torrents around a volcano. In order to improve techniques for emergency disaster mitigation against sediment-related phenomena, this study aims at the following; 1) the development of prediction method of sediment discharge from area affected by pyroclastic flows, 2) the creation of the technical manual for monitoring of volcanic eruption induced sediment disasters, and 3) the proposal on the evaluation method of effects of planned sabo facilities against massive sediment discharge from areas where pyroclastic flow has deposited. In the FY2009, items and methods for emergency survey on pyroclastic flow are studied along with the concept arrangements on those on volcanic phenomena in general.

**Key words** : pyroclastic flow, emergency disaster mitigation, sediment discharge