

第4回 雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する
調査・観測及び対策検討委員会
議事次第

開催日時 : 平成25年 3月14日(木) 14:00～16:00

開催場所 : 島原市有明総合文化会館 2階 多目的ホール (島原市有明町大三東戊 1382)

議事次第 :

1. 開会

2. 開会挨拶 (14:00～14:05)

雲仙復興事務所長 萬徳 昌昭

3. 報告 (14:05～14:30)

- (1) これまでの委員会の討議経過
- (2) 雲仙・普賢岳溶岩ドーム調査・観測報告

3. 討議次第 (14:30～15:25)

- (1) 前回委員会の討議概要
- (2) 防災活動の検討に必要な影響範囲
- (3) ソフト対策について

4. 閉会挨拶 (15:25～15:30)

島原市長 古川 隆三郎

5. 閉会

6. 休憩 (配置替えを含む) (15:30～15:45)

7. 記者発表会 (15:45～16:00)

第4回 雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策検討委員会
委員名簿

(順不同・敬称略)

【学識委員】

小橋 澄治	京都大学 名誉教授 (砂防)
下川 悦郎	鹿児島大学 理事 (砂防)
清水 洋	九州大学大学院理学研究院附属 地震火山観測研究センター 教授 (火山)
里深 好文	立命館大学理工学部 都市システム工学科 教授 (砂防)
山田 孝	三重大学大学院生物資源学研究科 教授 (砂防)
木村 拓郎	一般社団法人減災・復興支援機構 理事長 (防災)

【行政委員】

池田 滋	福岡管区気象台 火山防災情報調整官
植田 剛史	九州地方整備局 河川部長
坂谷 朝男	長崎県 危機管理監
村井 禎美	長崎県 土木部長
平尾 眞一	長崎県 島原振興局長
古川 隆三郎	島原市 市長
藤原 米幸	南島原市 市長
金澤 秀三郎	雲仙市 市長

【オブザーバー】

中原 一則	林野庁 長崎森林管理署 署長
井野 常雄	林野庁 九州森林管理局治山課 治山技術専門官
滝藤 由貴	環境省 九州地方環境事務所 雲仙自然保護官事務所 自然保護官
佐藤 義高	長崎県 農林部 森林整備室長

【事務局】

国土交通省 九州地方整備局 (河川部、雲仙復興事務所)
長崎県 (危機管理監、土木部)

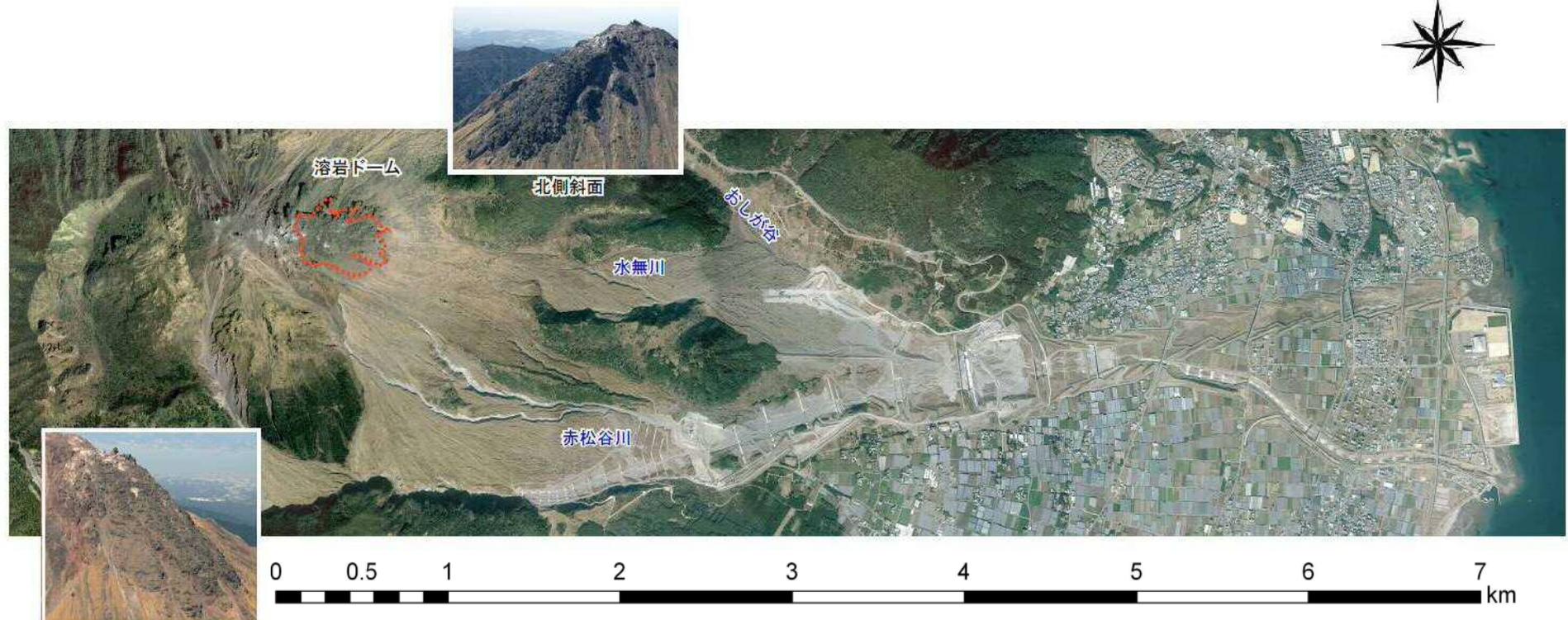
第4回

資料8

雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策検討委員会 討議資料

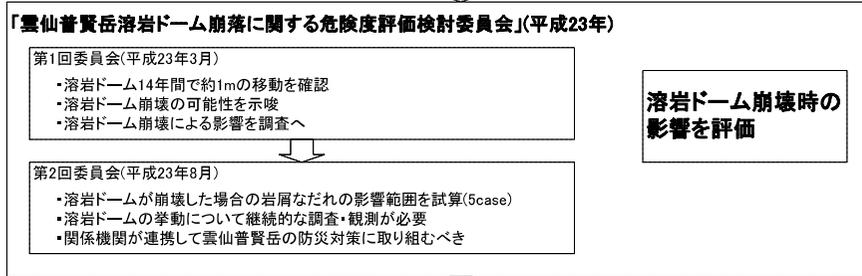
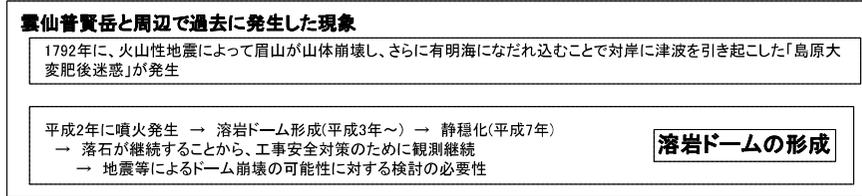
平成25年3月14日

雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策検討委員会

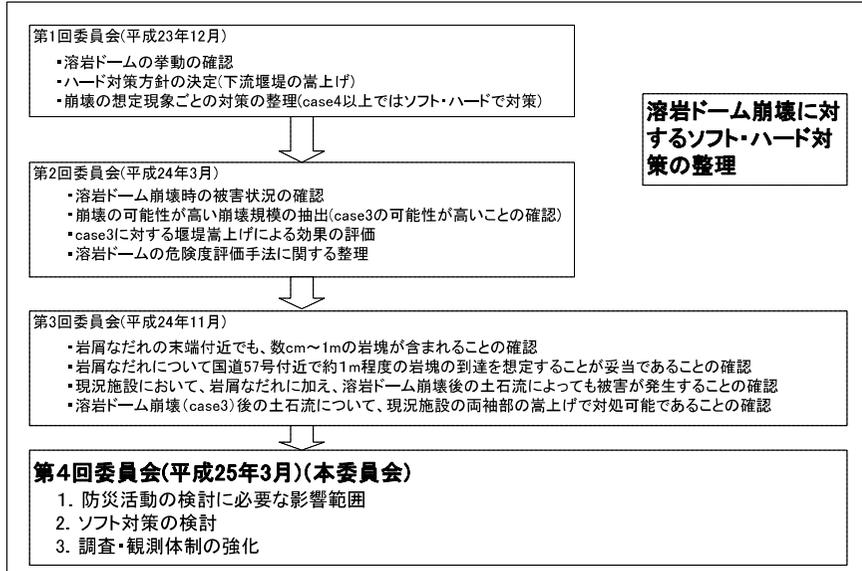


溶岩ドームと水無川流域（おしが谷、水無川、赤松谷川）の位置関係図

これまでの検討結果および本委員会の流れ



「雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策検討委員会」(平成23年～24年)



第4回 雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊に関する調査・観測及び対策検討委員会の流れ

1. 防災活動の検討に必要な影響範囲

- ① 突風(プラスト)の事例について
- ② 突風を考慮した溶岩ドーム崩壊の影響範囲

突風(プラスト)の影響を考慮した防災活動の検討に必要な溶岩ドーム崩壊影響範囲の考え方について確認頂きたい。

2. ソフト対策の検討

- ① ソフト対策の方針
- ② 今後のソフト対策

ソフト対策の方針について議論頂きたい

3. 調査・観測体制の強化

調査・観測体制の強化について確認頂きたい

<目 次>

本検討の内容と雲仙・普賢岳周辺関係機関の現状の役割	1
前回委員会の討議概要	2
1 防災活動の検討に必要な影響範囲	3
1.1 突風（ブラスト）の事例について	3
1.2 突風を考慮した溶岩ドーム崩壊の影響範囲	4
2 ソフト対策の検討	5
2.1 ソフト対策の方針	5
2.2 今後のソフト対策	7
3 調査・観測体制の強化	8

本検討の内容と雲仙・普賢岳周辺関係機関の現状の役割

本検討の内容に係る雲仙・普賢岳周辺の各機関と現状の役割を以下に示す。

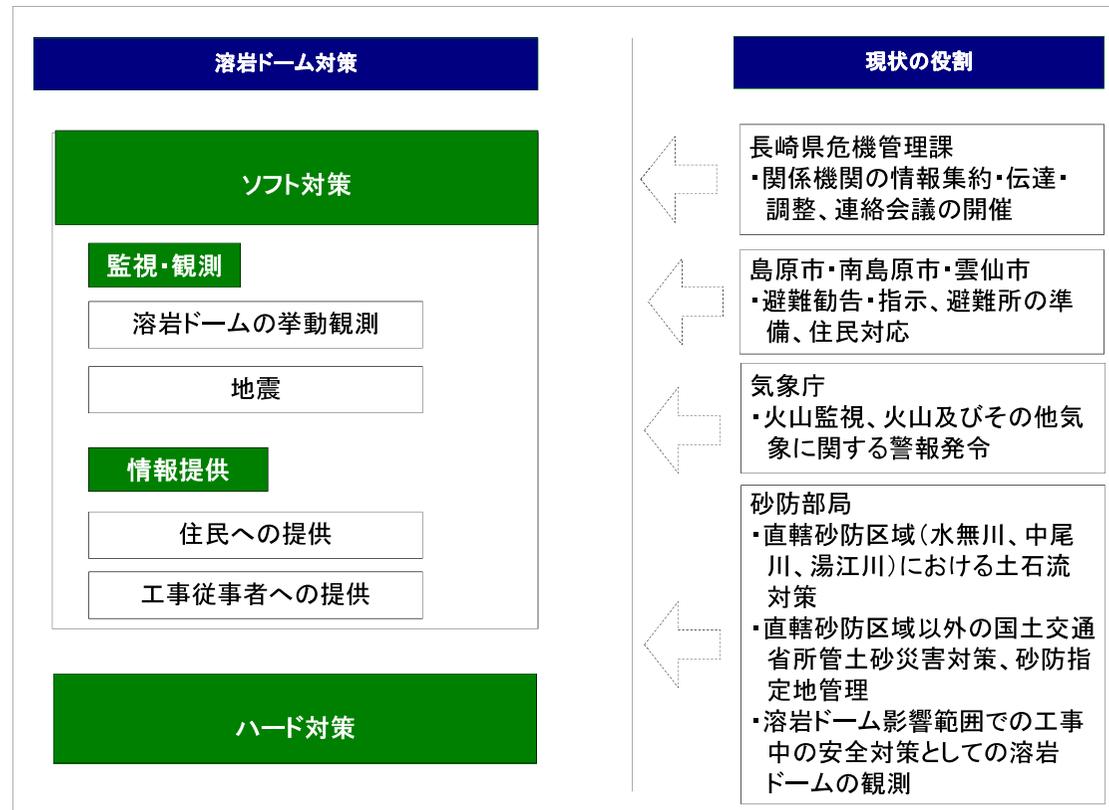


図 本検討の内容と雲仙・普賢岳周辺関係機関の現状の役割

前回委員会の討議概要

日時：平成24年11月15日（木） 14：00～16：00 場所：島原市有明総合文化会館 2階 多目的ホール

出席者(学識委員)小橋委員長(京都大学 名誉教授)、下川委員(鹿児島大学農学部生物環境学科 名誉教授)【欠席】、清水委員(九州大学大学院理学研究院附属 地震火山観測研究センター 教授)、里深委員(立命館大学 理工学部 都市システム工学科 教授)【欠席】、山田委員(三重大学大学院生物資源学研究所 教授)【欠席】、木村委員(一般社団法人減災・復興支援機構 理事長)
(行政委員)池田委員(福岡管区気象台 火山防災情報調整官)【代理：青木 恒生 主任技術専門官】、植田委員(九州地方整備局 河川部長)【代理：島本 卓三 地域河川調整官】、坂谷委員(長崎県 危機管理監)【代理：鷺池 満治 危機管理課参事】、村井委員(長崎県 土木部長)【代理：宮崎 東一 次長】、平尾委員(長崎県 島原振興局長)、横田委員(島原市 市長)、藤原委員(南島原市 市長)【代理：渡部 博 総務課長】、奥村委員(雲仙市 市長)【代理：町田 義博 副市長】

項目	確認された事項	委員からのご意見	対応
1 岩屑なだれの発生事例について	■岩屑なだれの末端付近でも、数 cm～1m の岩塊が含まれることが確認された。	特になし	
2 岩屑なだれの粒径の再評価について	■ 岩屑なだれについて国道 57 号付近で約 1m 程度の岩塊の到達を想定することが妥当であることが確認された。	特になし	
3 溶岩ドーム崩壊によって発生する土砂流出の整理	■現況施設において、岩屑なだれに加え、溶岩ドーム崩壊後の土石流によっても被害が発生することが確認された	特になし	
4 ハード対策の検討	■ 溶岩ドーム崩壊(case3)後の土石流について、現況施設の嵩上げで対処可能であることが確認された。 case4、case5 については、ハード対策とソフト対策の組み合わせで対応する必要がある。	岩屑なだれ流下時のプラスト(突風)について既往事例があれば整理し対応についても検討(清水委員、木村委員)	プラストの事例を確認する
5 ソフト対策について		施設嵩上げの設計(案)が侵食されかねない様な構造になっているのではないか(宮崎委員)	嵩上げの構造については別途検討する
		次回委員会では、避難勧告・指示発令の判断基準となる災害情報が現況でどのような流れとなっているか事前に確認し、各機関がどのような情報をどのような手段で受けとることを必要としているか整理しておくことが必要である(木村委員、横田委員)	関係各機関と調整して検討を進める

1 防災活動の検討に必要な影響範囲

1.1 突風（ブラスト）の事例について

ブラストとは火砕流や水蒸気爆発に伴う火砕サージのことで、火山体の崩壊による岩屑なだれによっても発生することがある（例：セントヘレンズや磐梯山など）。一方、非火山性地域で発生した崩壊でも、崩壊により突風が発生して被害が報告されている（例：大西山）。

火山活動に伴うブラストはマグマや水蒸気の爆発に伴って発生しており、非火山性地域のブラストは岩塊が落下することによって発生する突風である。本検討の溶岩ドームの崩壊による岩屑なだれに伴うブラストは、熱を伴わない崩壊であるため、この非火山性の岩塊の落下に伴う突風に相当すると考えられる。

かさいサージ 火砕—— pyroclastic surge 固体と気体が混合して地表に沿って乱流状態で流れ広がる現象。ブラストとも。固体粒子の濃度は低い。堆積物は多数のラミナから構成され、地表の起伏に沿って低所に厚く積もる。それぞれのラミナは薄くデューン構造と正敷化層理を示すことが多い。その成因によって、火砕流の発生に伴う高温のグラウンドサージおよびアッシュクラウドサージ、マグマ水蒸気爆発に伴う低温のベースサージがある。火山体の崩壊による岩屑なだれによっても発生することがある。破壊力が強く危険な噴火現象。 藤 R.A.F.Cas *et al.* (1987), 'Volcanic successions'. [宇井忠実]

出典：新版 地学事典（新版地学事典編集委員会編、1996）

表 1.1 山体崩壊によりブラストが発生した事例

山体	発生年月	概要	参考文献
■火山活動に伴うブラスト(火砕サージ)			
磐梯山 (福島県)	1888年 7月15日	<ul style="list-style-type: none"> 山体崩壊に伴い、疾風(blast)発生 岩屑流と同じ北側に主に抜けた。 山体の東から南東にかけて、稲穂がなぎ倒されていたため、この方向にもblastがあった。 南東部でのblast堆積物が確認され、分布面積は13km²、体積は0.011km³と推定された。 	下鶴(1988)
		<ul style="list-style-type: none"> 噴火活動に伴い、周辺山麓(特に峡谷沿い)を猛烈な疾風が襲った。 この疾風は灰や礫が混じっていた。 渋川、白木城、見秣にかけて倒木や民家の倒壊があった。 	中村・青木(1980)
セントヘレンズ (アメリカ)	1980年 5月8日	<ul style="list-style-type: none"> 地すべり土塊(slide block I)が抜けることによる急激な減圧により高温熱水は急速酸化し、ブラストを引き起こす爆発が起こった モデル計算により、ブラストサージの速度は最大で325m/sである。 	Kieffer(1981)
		<ul style="list-style-type: none"> ブラストサージの初速度は、写真調査から90m/sである。 	Moore,J.G.and Rice,C.J., (1984)
		<ul style="list-style-type: none"> ブラストは地すべり土塊(slide block I)を乗り越え、地すべりの先方にあった地形と樹林を破壊した。また、それらは谷や尾根を乗り越え、550km²にわたって層状の火砕性物質として堆積した。 	Hobbitt,R.P.,Miller,C.D., and Vallance, J.W.,(1991)
		<ul style="list-style-type: none"> ブラストサージの体積は0.2km³程度である。 	Moore and Sisson (1981)
■非火山性地域の崩壊に伴うブラスト(突風)			
大西山 (長野県)	1961年 6月29日	<ul style="list-style-type: none"> 非火山性地域での崩壊 崩壊時に風圧で家屋、自動車などが吹き飛び、(家屋の倒壊により)圧死する人もいた。 岩盤ブロックの前方転倒崩壊(「屏風が倒れるように崩れてきた」との記載) 	井良沢(1986)

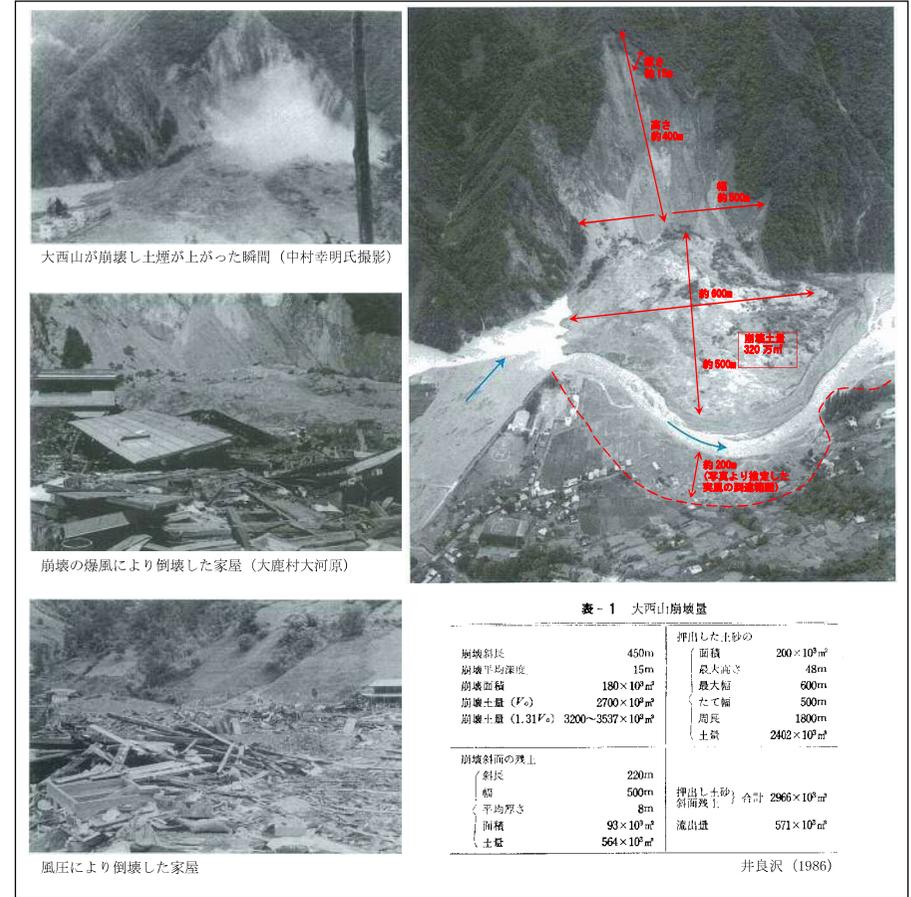


図 1.1 大西山で発生した崩壊の写真と崩壊諸元
(写真出典：想いおこす三六災害 三六災害から 50 年, (社) 中部建設協会発行)

大西山の崩壊では、崩壊時の風圧により家屋が倒壊しており（井良沢、1986）、崩壊後の写真（図 1.1）から崩壊土砂の末端からの家屋の倒壊範囲は約 200m 程度と推定される。

表 1.2 火山性地域の岩屑なだれと大西山崩壊の土砂量

分類	名称	年代	岩塊の特徴	基質の特徴	崩壊物質総堆積 (x km ³)	流動性 (H/L)
火山体の崩壊	セントヘレンズ	1980年 5月18日	数m~数10m	火山岩塊、礫、砂、火山灰サイズまでの極めてルーズな堆積物からなる。	2.5	0.10
	北海道駒ヶ岳	1640年	0.5~5.0m	細粒物質と岩片から構成され、淘汰が悪い。	1.72~2.00	0.06 ~ 0.09
	渡島大島	1741年		基質は確認されず、礫の割合が極めて高い礫岩層である	2.5	0.18
	磐梯山	1888年	30m程度	安山岩角礫岩塊の岩粉である灰青色の砂	1.2	0.08
	吉布岳 (塚原岩屑なだれ)	2.2ka	1cm~30cm 最大1~2m	白色細粒火山灰	0.04	0.10
	八ヶ岳 (大月川岩屑流)	888年	3m	赤褐、黄、灰、白色の火山灰・粘土	0.35	0.11
	神田山	1911年 8月8日	数cm~30cm	細粒~粗流砂	0.032	0.15
	御岳山	1984年 9月14日	数cm~数10cm 流れ山では数m~数10m	安山岩岩塊の細粒物	0.036	0.10
溶岩ドームの崩壊	然別火山	約3万年 以上前	5cm~50cmが主体 最大2.3m程度	安山岩質の細粒物質	不明	0.10
	標名火山 (陣場火砕流)	16,000年 以上前	5~25cm、 最大40cm	5cm以下の角礫状火山礫や火山灰	不明	0.06
	九重火山 (松の台岩屑なだれ)	約1万年前	10cm~1m以下 最大5m程度	安山岩質岩片鉱物粒から構成	0.15	0.10
	雲仙岳眉山	1792年	数cm~数10cm	角閃石安山岩岩片	0.44	0.11
	大西山	1961年	数cm~数m	変成岩(片麻岩)	0.003	0.8
	case3(本検討)		1mm以上と設定	デイサイト	0.018	0.17

表 1.3 風の強さと吹き方 (気象庁 HP より)

平均風速 (m/s)	およその時速	風圧 (kg重/m ²)	予報用語	速さの目安	人への影響	屋外・樹木の様子	車に乗っていて	建造物の被害
10以上 15未満	~50km	~11.3	やや強い風	一般道路の自動車	・風に向かって歩きにくくなる。 ・傘がさせない。	・樹木全体が揺れる ・電線が鳴る	・10m/秒で道路の吹流しの角度が水平となる。 ・高速道路で乗用車が横風に流される感覚を受ける。	・取り付けの不完全な看板やトタン板が飛び始める
15以上 20未満	~70km	~20.0	強い風	高速道路の自動車	・風に向かって歩けない。 ・転倒する人も出る。	小枝が折れる	・高速道路では、横風に流される感覚が大きくなり、通常で運転するのが困難となる。	・ビニールハウスが壊れ始める
20以上 25未満	~90km	~31.3	非常に強い風		・しっかりと身体を確保しないと転倒する。	・鋼製シャッターが壊れ始める。風で飛ばされた物で窓ガラスが割れる	・網製シャッターが壊れ、取り付けの不完全な屋外建材がはがれ、飛び始める	
25以上 30未満	~110km	~45.0	猛烈な風	特急列車	・立ってられない。 ・屋外での行動は危険。	樹木が根こそぎ倒れはじめる	・車の運転を続けるのは危険な状態となる。	・ブロック塀が壊れ、取り付けの不完全な屋外建材がはがれ、飛び始める
30以上	110km~	45.0~			・屋根が飛ばされたり、木造住宅の全棟が始まる			

* http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/yougo_hp/kazehyo.html

■溶岩ドーム崩壊による岩屑なだれに伴う突風 (プラスト)

→非火山性の岩塊に伴う突風に相当すると考えられる
→非火山性の崩壊による突風による被害も報告されている (大西山の崩壊)

そのため、岩屑なだれ本体の到達範囲より 200m 程度は突風の影響が考えられる。

1.2 突風を考慮した溶岩ドーム崩壊の影響範囲

岩屑なだれ本体の到達範囲より外側に突風(プラスト)の影響があったと考えられる大西山の実例を踏まえ、突風を考慮した溶岩ドームの影響範囲の設定手法として、現在想定している最大崩壊規模である case5 の数値計算結果の外側に突風の影響範囲を加える手法が考えられる。

また、減災を目的として植樹などによるプラスト対策も考えられる。

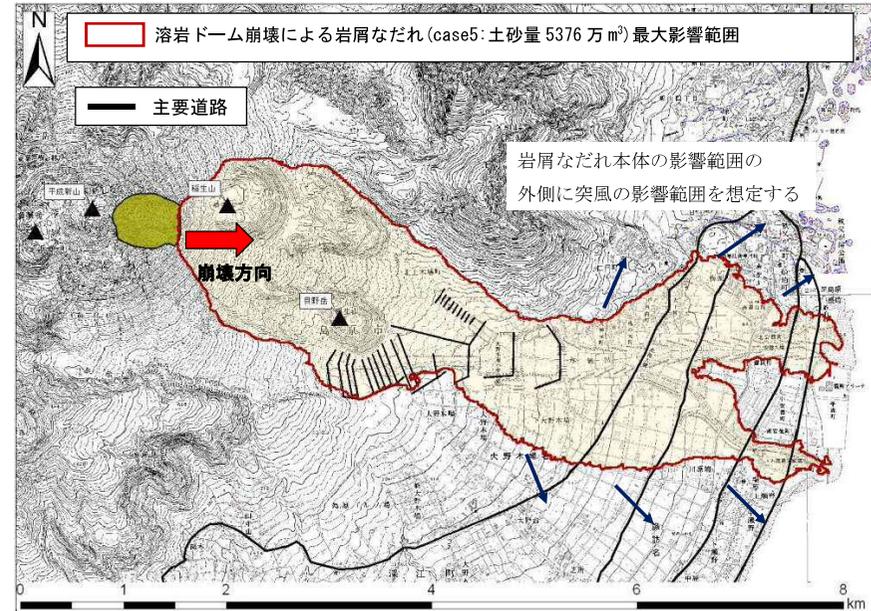


図 1.2 突風 (プラスト) を考慮した溶岩ドームの影響範囲の考え方

突風(プラスト)を考慮した溶岩ドーム崩壊の影響範囲として数値計算による岩屑なだれの影響範囲の外に突風の影響範囲を想定することが考えられる

2 ソフト対策の検討

2.1 ソフト対策の方針

(1) ソフト対策の基本方針

ハード対策は case3 までを対象とするが、ソフト対策は case4 以上を対象とするわけではなく、全ケースをソフト対策の対象現象と考える。最大影響範囲としては、case5 の氾濫範囲を想定し、現況では溶岩ドーム崩壊時には case5 の氾濫範囲を元に危険が想定される範囲を設定する。

ソフト対策は

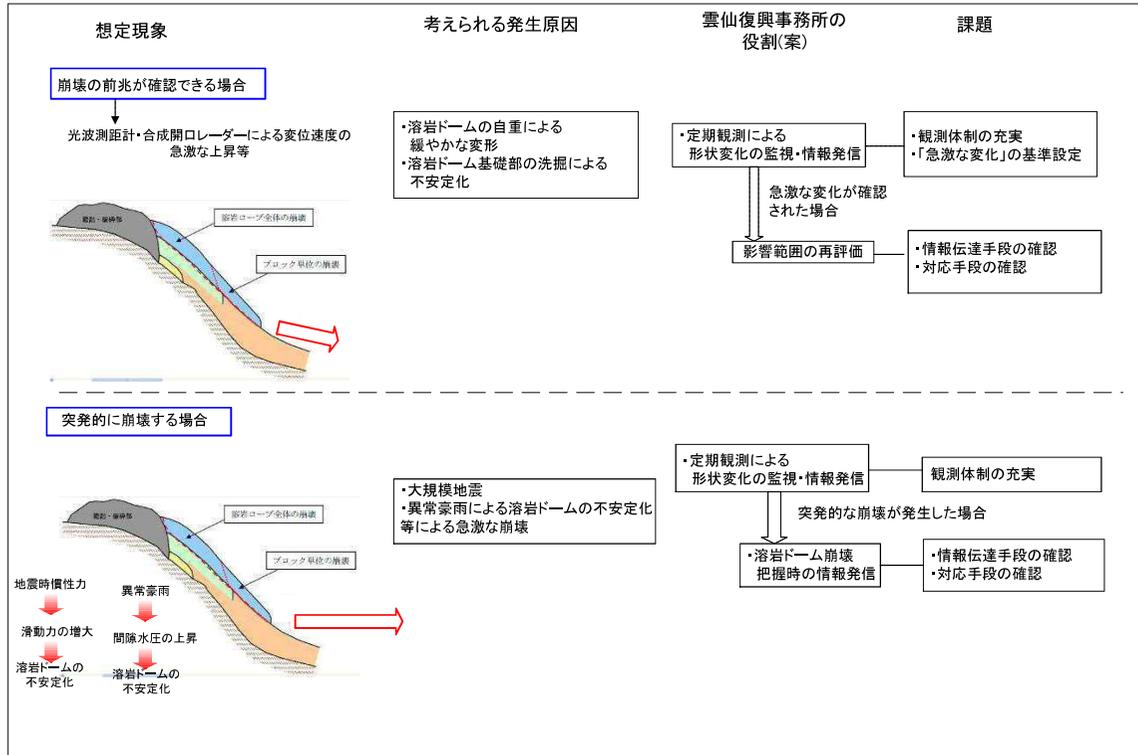
○崩壊の前兆が確認できる場合

ー溶岩ドームの自重による緩やかな変形や溶岩ドーム基部の洗掘が原因であり、光波測距計や合成開口レーダーによる変異速度の急激な上昇、洗掘の確認など、崩壊の前に前兆現象が確認でき、対応を行う時間的余裕がある場合

○突発的に崩壊する場合

ー大規模地震や異常豪雨による間隙水圧の上昇などの急激な変化によるものであり、対応を行う時間的余裕が無い場合

の2パターンに分けてそれぞれの場合の方針の検討を行うものとする。



(2) 崩壊の前兆が確認できる場合

自重による変化や溶岩ドーム基部の洗掘による段階的な変化の場合、事前に崩壊の前兆が確認できると考えられる。

以下の二段階の対応を考える。

○平常時：定期観測により急激な変化が発生していないか監視

○急激な変化が確認された時：緊急数値シミュレーションの実施、情報提供。

→現状では溶岩ドームが東方向に崩壊することを想定して危険範囲を想定しているが、他の方向への崩壊可能性が高い場合、被害範囲を想定し直す。

突風を考慮した溶岩ドーム崩壊の影響範囲と島原市・南島原市の定める避難所を下図に示す

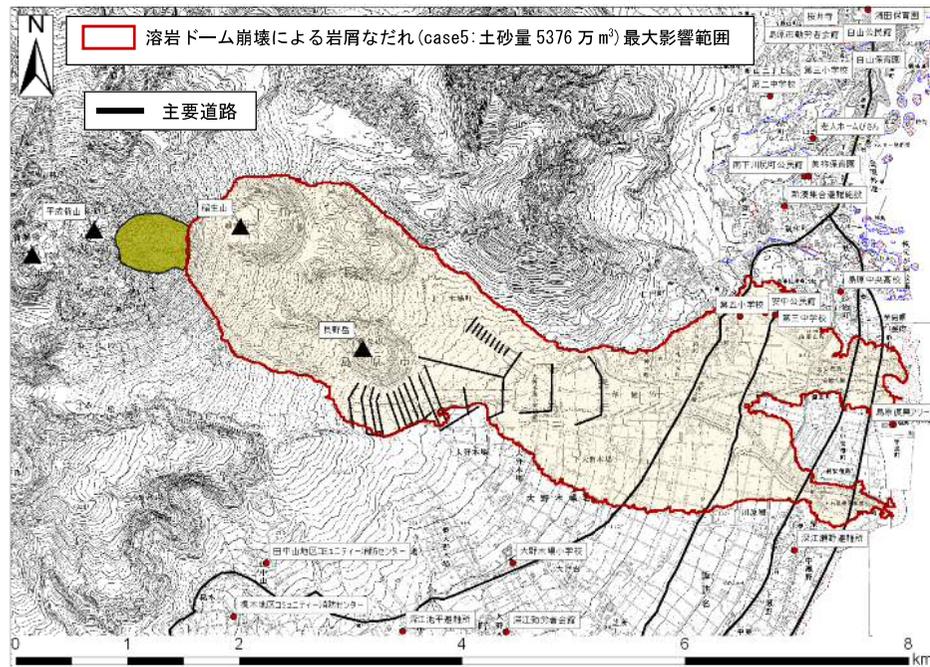


図 2.1 溶岩ドームの影響範囲と指定避難所

考えられる課題と今後の対応を以下に整理する。

課題と今後の対応

・観測データの解析からの危険度判断基準と解除基準の設定が難しい。

(対応) →学識者の意見を聞く場が必要

・判断する材料となる各機関の観測データの市への伝達手段の確立が必要

(対応) →既存の会議での報告、情報提供
通報システムを検討中

・溶岩ドームが崩壊する可能性が高いと判断した場合

(対応) →避難区域・避難場所の設定などを行政で対応を検討する。

(3) 突発的に崩壊する場合

大規模地震や異常豪雨による間隙水圧の上昇などの急激な変化による崩壊に対する対応について考える。

平成3年当時の火砕流の場合は発生から5分程度で国道57号付近に到達した。また、御岳崩壊で発生した岩屑なだれの流下速度(22m/s)では、国道57号付近(溶岩ドーム先端から約5km)まで、約4分で到達する推定される。そのため突発的に崩壊が発生した場合、緊急避難などの対応が非常に困難である

課題と今後の対応を以下に整理する。

課題と今後の対応

・溶岩ドームの内部構造の把握が難しく、地震の強さと崩壊発生の関係の予測が困難

(対応) →観測データの蓄積により外力に対応した予測精度を向上させる

・短時間で岩屑なだれが保全対象に到達するため、緊急避難などの対応が非常に困難である

(対応) →最短時間で住民に危険を通知できる即時通報システムの検討
自治体を中心になって、住居の構造、家屋内避難、植生などによるブラスト対策等の検討を考える。

<御岳崩壊の事例>

三村他（1988）では、以下の記述により、地震とほぼ同時に崩壊が発生したとしている。また、8時57分頃、王滝川氷ヶ瀬付近で停止したとしている。

表 2-1 御嶽山崩壊による岩屑なだれの流下時間

時刻	内容
8時48分50秒	長野県木曾郡王滝村付近を震源とするM6.8の地震が発生（長野県西部地震）
8時49分頃	地震発生直後に伝上川源頭部の尾根が崩壊
8時57分頃	岩屑なだれは王滝川氷ヶ瀬付近で停止（崩壊地との比高差1200m、流走距離12km）→80km/時（22m/秒）

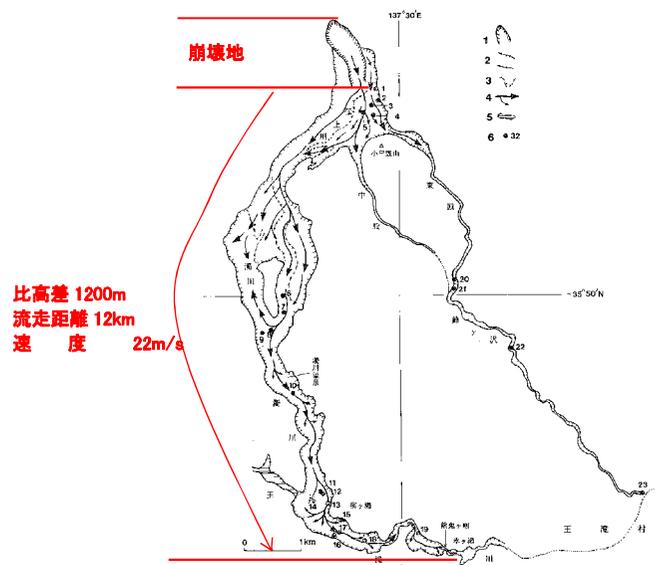


図 2.2 御嶽山南斜面と岩屑なだれの流下（三村他（1988）より引用）

2.2 今後のソフト対策

以上の検討より、今後のソフト対策として以下の対応を提案する。

崩壊の子兆が確認できる場合、現在各機関が観測しているデータを基に、危険度の判断基準を設定する必要があるが、当面はデータについて学識者の意見を伺い危険度を判断する場を設けるべきである。また、観測データの各市への情報提供手段の確立や避難場所の設定を関係機関と連携して行うことが重要である。

突発的に崩壊する場合には岩屑なだれが保全対象に到達するまでの時間は、数分と想定されるため避難などの対応が困難と考えられる。しかし、「減災」を目的として住居の構造、避難の方法、崩壊を即時通報するシステムの構築、植樹などによるブラスト対策などの検討に取り組むべきである。

今後のソフト対策の体制イメージを示す。

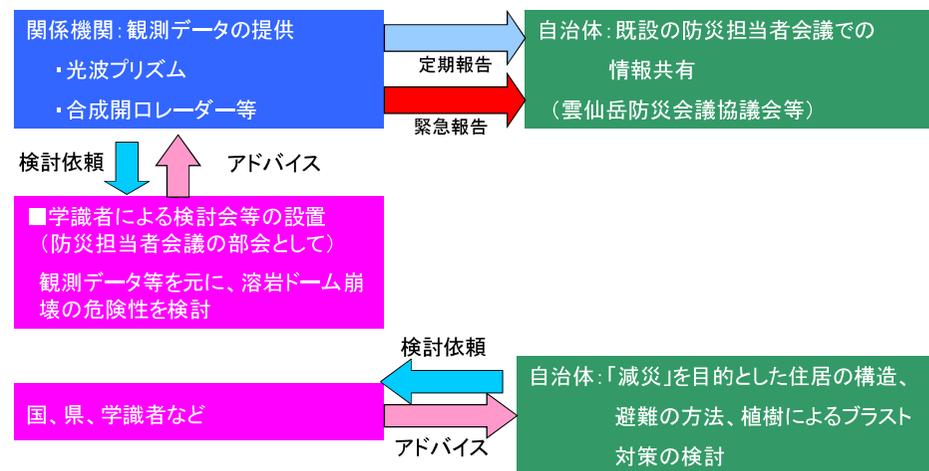


図 2.3 今後のソフト対策体制イメージ

3 調査・観測体制の強化

溶岩ドームに関する観測の現況と案を下表にとりまとめた。

現状では危険度を判定するまでには至らないが、今後とも関係機関が観測を継続してデータを蓄積し、組み合わせ危険度判断の材料とすることが必要である。

①溶岩ドームの観測・計測手法

表 3-1 溶岩ドームの観測・計測手法

観測手法	概要	問題点	対応方針(案)
(観測により定期情報が得られる)	(1)光波測距	溶岩ドーム(第11ロープ)の先端付近に0基の反射プリズムが設置され、計測点との斜距離の変化を定量的(1回/1時間)に計測している。 H1より継続観測	□危険判断基準値と解除基準値が決まっていない。 □測定の動きを視覚的に見せて動きを確認する。 □「三角形の面積み」、「累加変位量」の解析・評価し、危険度判定基準を検討する。
	(2)地上型SAR(合成開口レーダー)	地上から合成開口レーダーにより、面的に地盤を測定する。天候・昼夜に関係なく測定を行えるのが特徴。 H22～H24に試験観測	□観測・解析に時間がかかる □観測・解析時間の短縮方法を検討する
	(3)航空レーザープロファイラー	レーザープロファイラーを搭載した航空機を溶岩ドーム上空に飛ばし、遠距離から溶岩ドームの地形を測定し、ドームの形状や基礎部の洗掘を把握する。 また、同時に撮影した空中写真による判読も考えられる。 H15、H19、H23、H24に観測実施	□精度が鉛直方向で±15cm、水平方向で±15cm以上で、合成開口レーダー(精度数mm)と比較することができない。 □水無川流域全体を含む範囲の地形変化(ガレ食等)の把握が可能となるような観測を実施する。
	(4)キレット板による観測	キレット部にキレット板を設置し、定期的にキレット板の状況を確認し、ブロック毎に崩落の進行などがなくかを調査を行う。観測者が溶岩ドーム近辺まで接近して板の状況を確認する必要があり、安全性に問題がある。 H23に実施	□現地を確認しに行く必要がある。 □自動観測の可能性を検討する。
	(6)定点撮影(案)	溶岩ドームを俯瞰して見られる位置から定期的に静止画を撮影する	□様々な角度から状況を把握する必要がある □複数のカメラを設置する
	(7)GPSによる観測	国土地理院、気象庁、九州大学により溶岩ドーム頂部にGPSを設置し、変位状況を観測している	□現地を確認しに行く必要がある。 □自動観測の可能性を検討する。
	(溶岩ドームに変化があったら得られる情報)	(8)傾動センサーによる落石回数の計測	気象庁が設置した傾動センサーによって落石の発生回数を把握している。地震社の震動が1.25mm(P-P)以上の場合、落石震動とみなしている。 H7より継続観測
(9)傾斜計(案)(地盤変位の観測)		斜面等に傾斜センサーを設置して、センサーが転倒(傾斜)すると、前線を検知する。	□溶岩ドーム上への設置が困難 □溶岩ドーム脚部に複数設置する

②溶岩ドーム内部の調査手法

表 3-2 溶岩ドーム内部の調査手法

調査目的	調査手法	調査内容	特徴	適用性	備考
溶岩ドーム内部の温度推定	空中磁気探査	・ヘリコプターにより磁気センサーを曳航し、地盤が持つ磁気から形成される磁場を測定し、地表および地下の磁性構造を推定する。 ・磁化強度を測定することにより、溶岩ドームが高温であるかどうかを推定する。	【適用領域】 ・深度:数m～数km 【長所】 ・広域の調査が可能である。 ・空中電磁探査と同時に測定が可能である。 ・立入り等に際し、制約を受けない。 【短所】 ・温度の絶対値の推定ができない。	◎	平成24年度実施 (平成11年 島原振興局実施)
	ボーリング調査	・溶岩ドームをボーリングにより掘削して、直接地盤内部の温度を測定する。	【適用領域】 ・深度:数m～数十m 【長所】 ・温度の絶対値が分かる。 【短所】 ・ボーリング作業に危険が伴う。(ドーム上への立ち入り) ・国立公園のため、立入りや作業に際し制約がある。	△	
	空中熱映像法	・赤外線センサを航空機に搭載して上空より地表面の温度分布を測定する。	【適用領域】 ・深度:地表面 ・現地の立ち入りが不要である。 【短所】 ・太陽からの放射と地表物からの熱放射があり、調査する時間帯に注意が必要。	×	
溶岩ドームの内部構造の推定	空中電磁探査	・ヘリコプターにより周波数が異なる数種類の電磁波送信コイル対を曳航して、地盤の比抵抗を測定し、内部構造や地下水位分布等を推定する。	【適用領域】 ・深度:数m～数km 【長所】 ・広域の調査が可能である。 ・空中電磁探査と同時に測定が可能である。 ・立入り等に際し、制約を受けない。 【短所】 ・精度が20m程度で、その間は補間になるため、局所的な構造は把握できない。	◎	平成24年度実施 (平成11年 島原振興局実施)
	弾性波探査(屈折法)	・人工的に震動を起こして、地盤内を伝わる波の早さから、速度区分を行い、内部構造(100～150m程度)を推定する。	【適用領域】 ・深度:数m～150m 【長所】 ・大局的な構造の把握が可能である。 【短所】 ・ドーム上を1m程度掘削して、ダイナマイトを装填、爆発させるために危険が伴う。 ・詳細な構造の把握は困難である。 ・新鮮な岩盤の下に脆弱部がある場合などの逆転層があった場合、深部の推定が困難である。 ・国立公園のため、立入りや作業に際し制約がある。	×	
	表面電磁探査	・岩盤に電極棒を挿入させ、地表面付近の比抵抗を測定して、内部構造を推定する。	【適用領域】 ・深度:地表面～数十m 【長所】 ・空中電磁探査と比べて、局所的な構造の推定が可能である。 【短所】 ・電極棒設置のため岩盤一部掘削する必要があるため、危険が伴う。(ドーム上への立ち入り) ・国立公園のため、立入りや作業に際し制約がある。	△	
	宇宙線観測	・岩石を透過する性質を持つ宇宙線(ミュオン粒子)を捉える原子核乾板を地下に設置し、一定期間後に回収し、原子核乾板が捉えたミュオン粒子の痕跡から周囲の岩盤の密度や構造を推定する。 観測には長期間が必要(雲仙の場合、原子核乾板設置に四ヶ月、データ解析に1年間)	—	—	—

雲仙・普賢岳溶岩ドーム調査・観測報告

<目 次>

1 雲仙普賢岳溶岩ドームの調査・観測状況	2
1.1 登山による溶岩ドームの亀裂と小崩壊の観察結果	2
1.1.1 不安定岩塊及び亀裂に関する過年度までの調査結果	2
1.1.2 本年度の調査	2
1.2 光波計測の現状	5
1.2.1 光波計測の観測所とプリズムの位置	5
1.2.2 本年度の測量結果	5
1.3 地上型合成開口レーダー観測 (GBSAR:Ground based Synthetic Aperture Radar)	8
1.3.1 最新の結果	8
1.3.2 自動光波観測との比較	9
2 空中物理探査による内部構造調査	10
2.1 空中物理探査の測定原理と解析	10
2.2 空中物理探査結果の解釈	11
3 雲仙普賢岳の土砂流出状況	13
3.1 監視カメラ画像による溶岩ドームの変化抽出	13
3.2 赤松谷川流域における土砂移動状況	14
3.3 極楽谷左支におけるガリーの拡大状況	15

1 雲仙普賢岳溶岩ドームの調査・観測状況

1.1 登山による溶岩ドームの亀裂と小崩壊の観察結果

1.1.1 不安定岩塊及び亀裂に関する過年度までの調査結果

末端部は、溶岩ドーム・ロープの沈降、クリープ運動による応力が集中的にかかりやすい場所である。また、1面以上の開放された面を有しており、不安定化が進行した場合、小崩落が最初に始まる可能性がある。

調査方法は、末端部の不安定ブロックにおけるキレツ開口や小崩落の継続箇所の把握である。平成 20(2008)年～21(2010)年に実施した目視観測の比較結果では、崩落や亀裂の開口が認められた(図 1-1 参照)。

- 北側: 第 11 溶岩ロープに覆われる北側では、J2 亀裂の連続部、ロープの境界付近で継続的に崩落が発生していた。
- 東側: 第 11 溶岩ロープに覆われる東端側では、現地調査の結果、降雨前と降雨後で亀裂の開口が見られた。この付近は平成 20(2008)年にも小崩落の発生が見られた。
- 南側: 溶岩の下にある多孔質溶岩などの地層で小崩落が発生。また、ロープ内に亀裂の拡大が見られるところもあった。南側では小崩落が発生する箇所が多く、継続的に崩落が発生している。

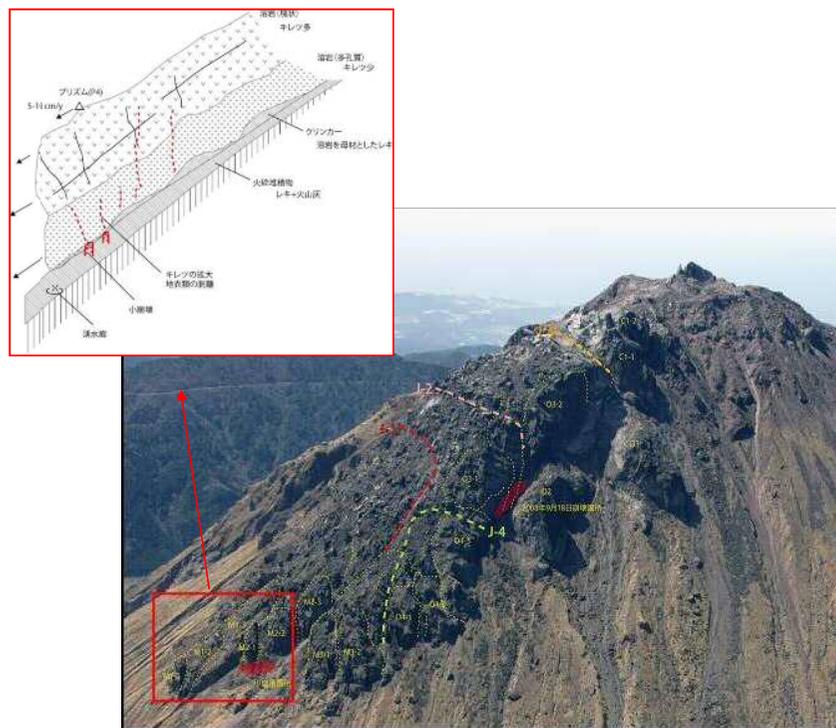


図 1-1 雲仙普賢岳平成新山溶岩ドームに見られるキレツ分布及び岩塊

1.1.2 本年度の調査

これまでの調査から溶岩ロープについては図 1-1に示すような構造が推定された。クリンカー部分は塊状溶岩部に比べ強度も低いゾーンである。溶岩の下部にクリンカーがどの程度発達しているのか把握する必要がある。溶岩ドーム周辺において詳細な分布把握を行う必要がある。また、開口や継続的な崩落については、定期的に状況を把握してきている(図1.5)。

溶岩ドーム及びその周辺において、過年度の調査を踏まえ、溶岩ドームのキレツ分布、開口状況ならびにクリンカーの分布、発達状況等の詳細について現地調査を行った。

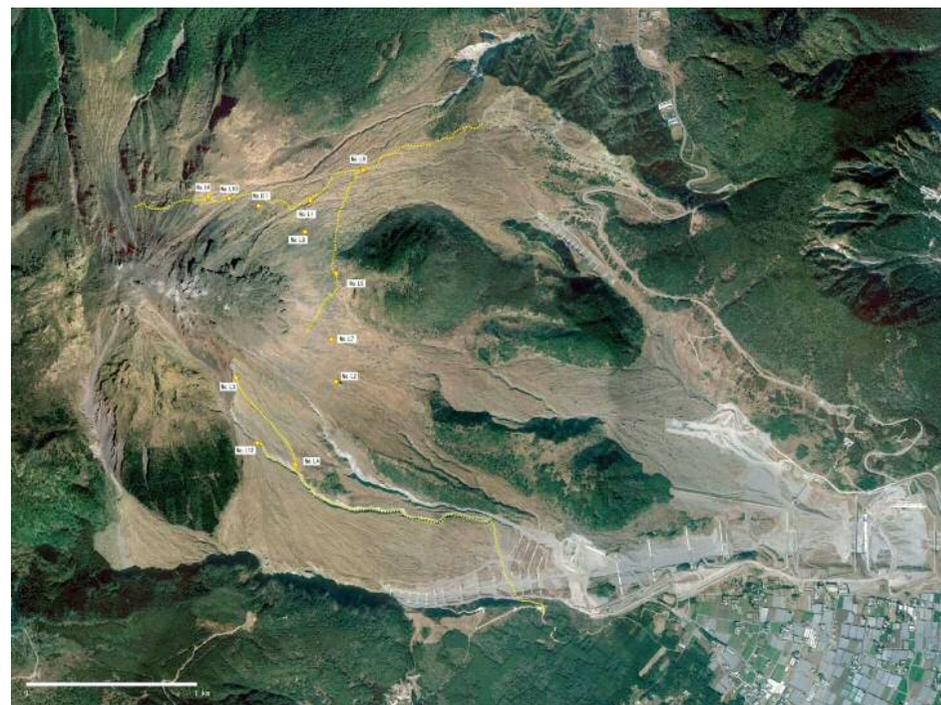


図 1-2 登山調査の主な観測点

崩落、浸食の拡大、キレツの拡大が集中して発生する地域をA～Eの5地域に分けて示す。

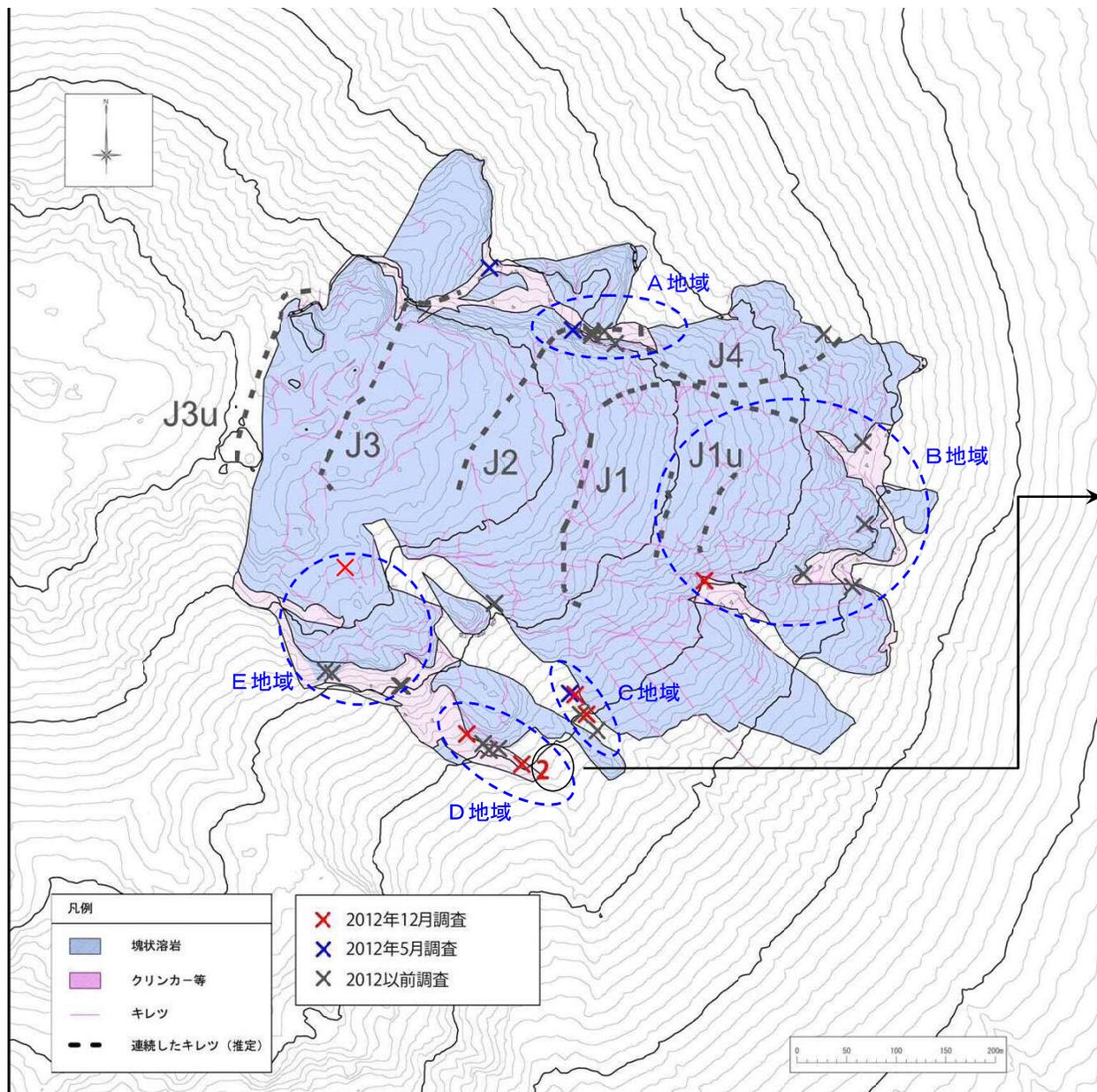
- 溶岩ドーム北側のJ2北端部（A地域）では、昨年度に引き続き、小崩落の発生が見られた（図 1.3）。
なお、今期間にはJ3延長部付近において変状が見られた。
- 定期観測しているC地域の岩塊に顕著な変化は見られないが、その下部のガリー側壁で石の脱落や浸食などが生じており、この付近の地形更新が継続的に進行している（図 1.4）。
- 2012年6月19日20：02には、南側の溶岩ドームのE地域で崩落が生じた（図 1.5）。
- 2012年12月の調査では、B、D地域で崩落、C地域で浸食、落石を確認した（図 1.5）。



図 1-3 03-1、J2 付近における小崩落（2011 年 11 月 15 日と 2012 年 5 月 28 日の比較）



図 1-4 A4-1、J2 付近における小崩落



変状 2

撮影例

2012年5月28日 撮影



2012年12月04日 撮影



小崩落が生じた。

図 1-5 溶岩ドームにおける小崩落箇所 (2008年～2012年12月調査結果) 及び2012年6月の崩落発生推定箇所 (雲仙復興事務所資料 (写真) に基づく)

1.2 光波計測の現状

1.2.1 光波計測の観測所とプリズムの位置

光波計測の観測所と反射プリズムの設置位置を図1-6に示す。図中の距離は、P3までの距離である。また観測所からP4までの断面を図1-7及び図1-8に示す。みらい館及び天狗山の観測所と光波プリズム(P4)の比高は、それぞれ、790m及び604mである。

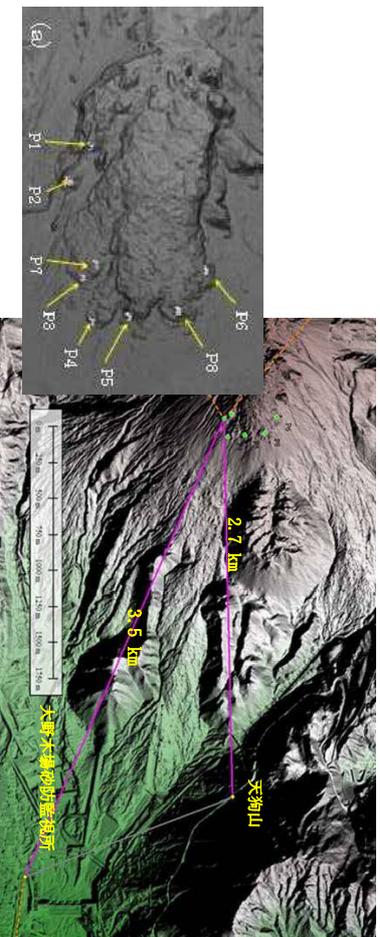


図 1-6 光波計測機器と反射プリズムの設置位置

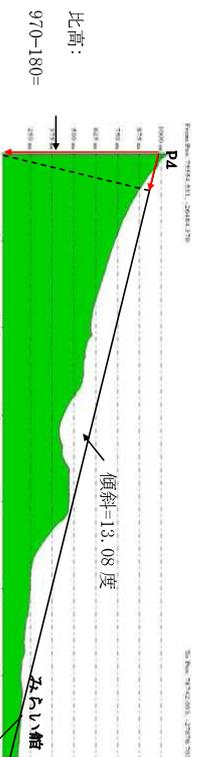


図 1-7 みらい館からプリズム P4 をみた断面図

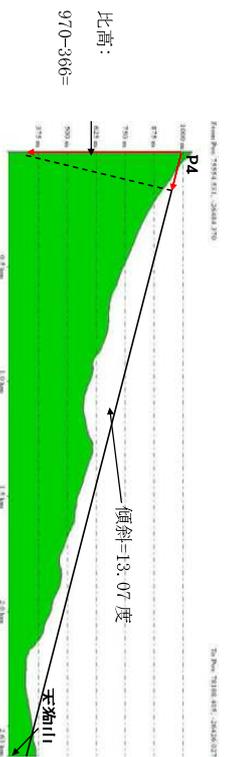


図 1-8 天狗山からプリズム P4 をみた断面図

1.2.2 本年度の測量結果

(1) 自動観測を開始した2007年から2013年1月の斜距離の変化

プリズムP2およびP3を例として、みらい館から得られた結果を図1-9に示す(赤線部分は今年度観測結果)。5年間の斜距離の変化は概ね一定速度である。

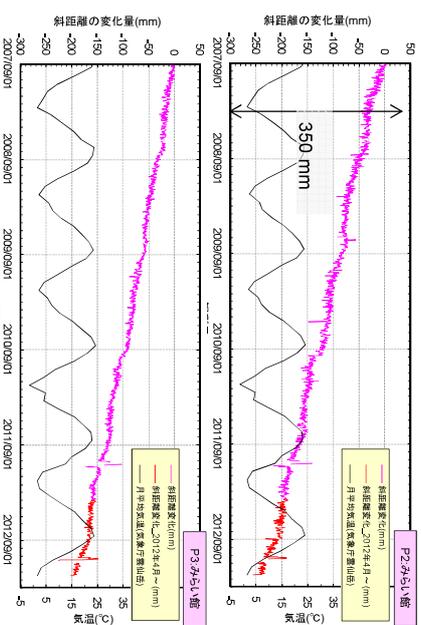


図 1-9 2007年(自動観測の開始日)からのP2, P3の斜距離の変化量(みらい館より)

2012年3月31日～2013年1月の観測結果の一例を図1-10(P2, P3)に示す。変位のパツキ(振動)は、±10mm程度である。

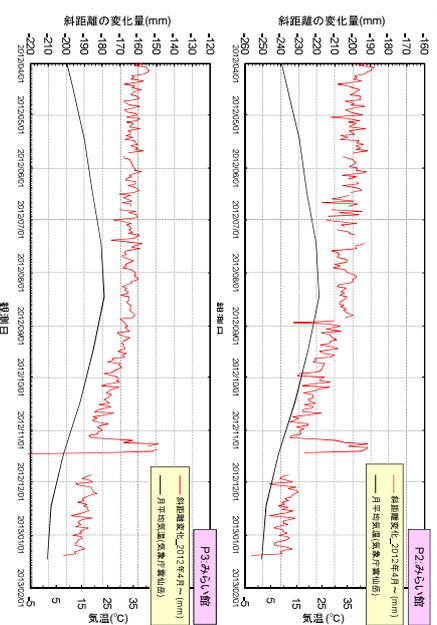


図 1-10 みらい館から計測したP2, P3の斜距離の変化量(2012年3月31日～2013年1月)

全プリズムの結果を次頁以降に示す。

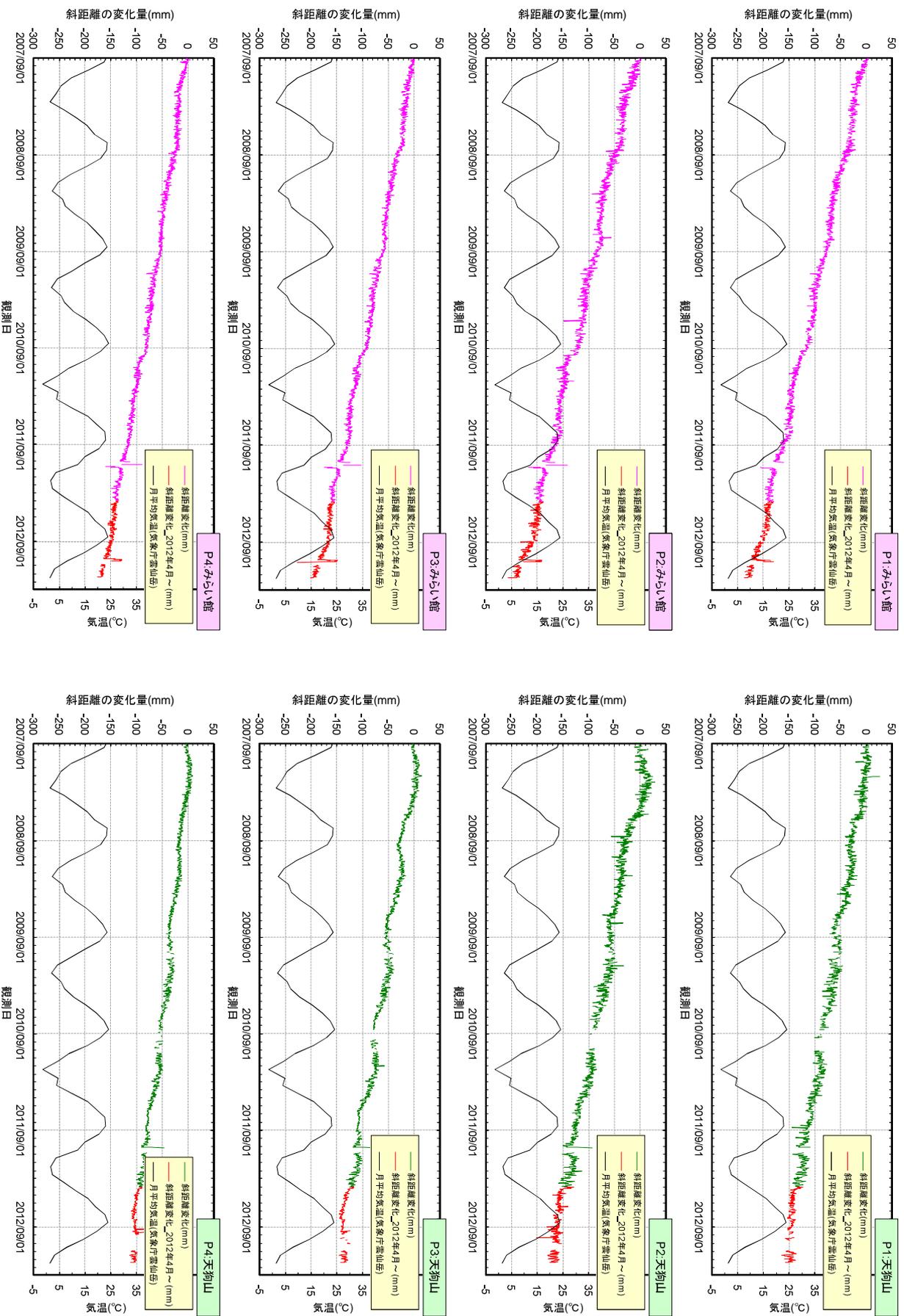


図 1-11 2007年(自動観測の開始日)からのP1～P4の斜距離の変化量

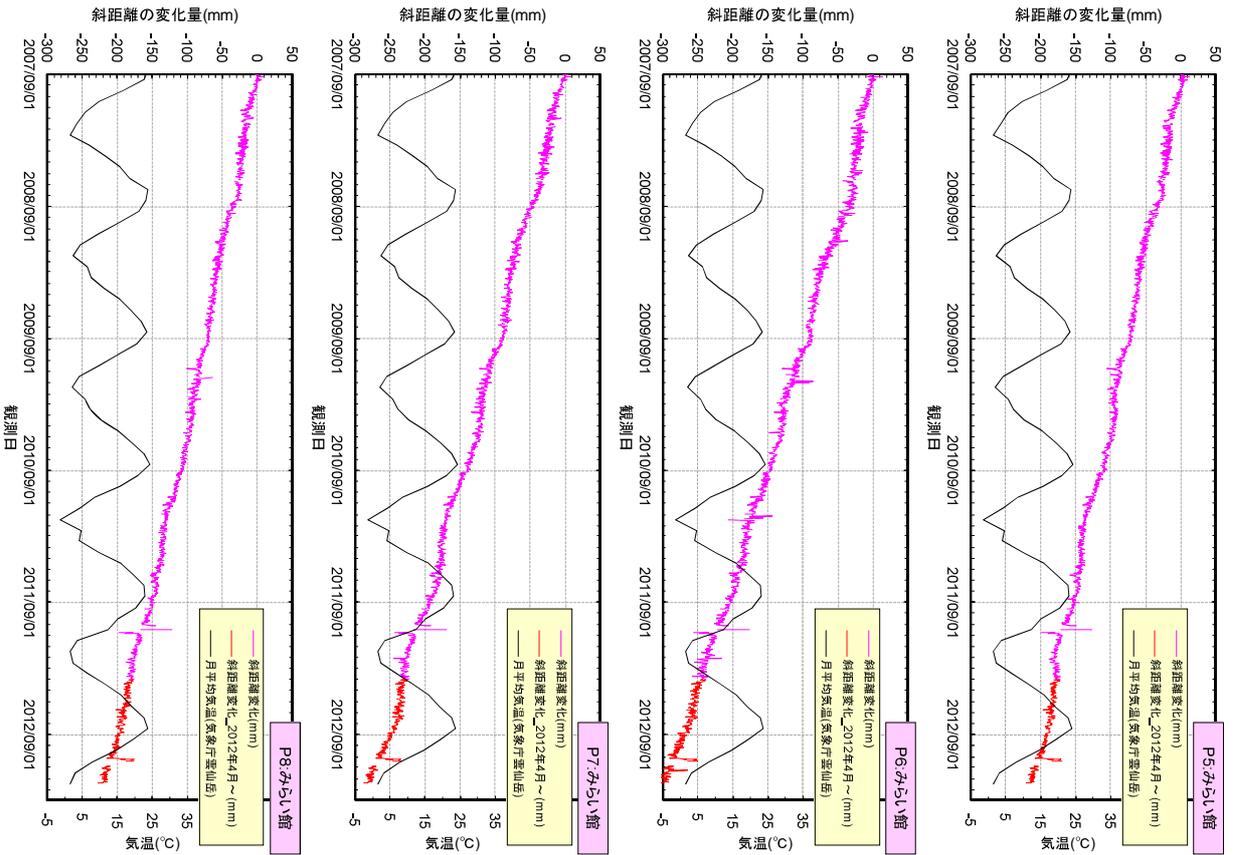
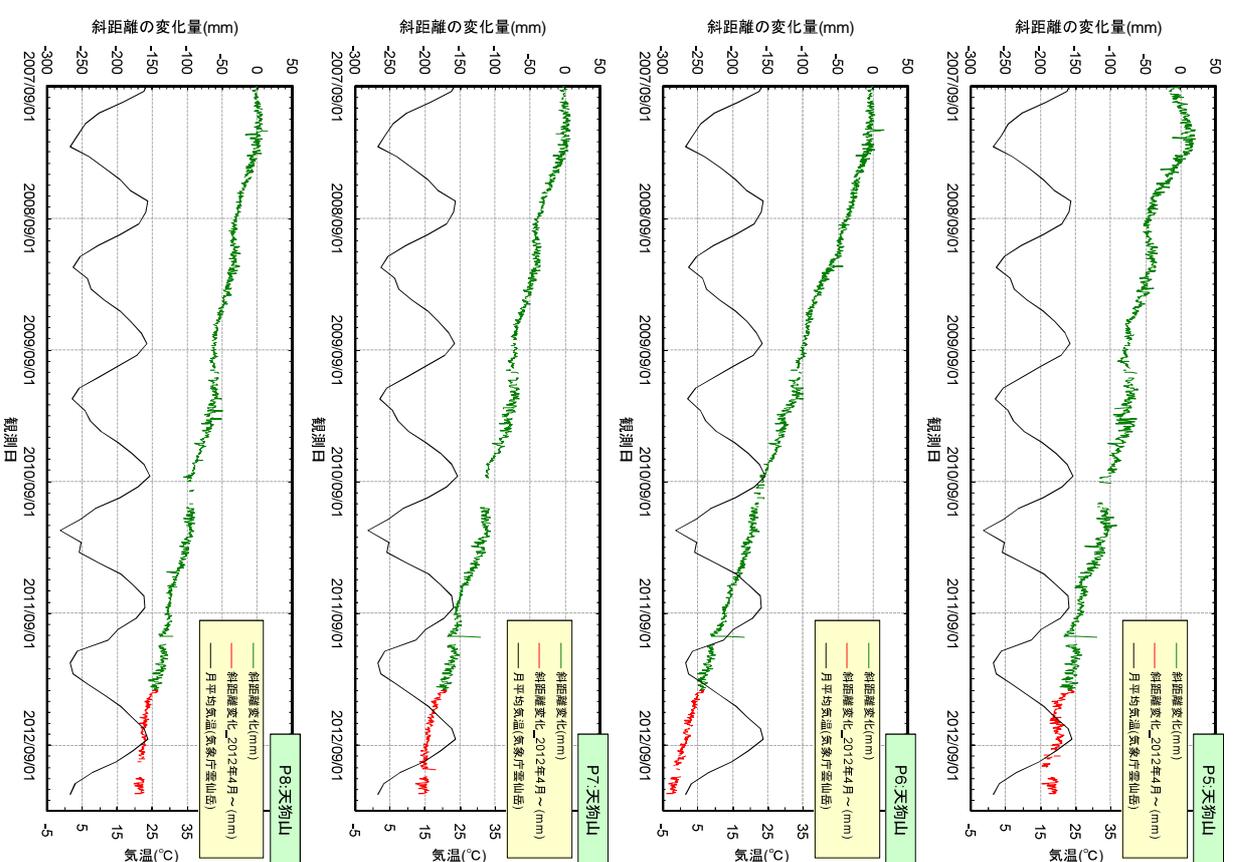


図 1-12 2007 年(自動観測の開始日)からの P5~P8 の斜距離の変化量



1.3. 地上型合成開口レーダー観測 (GBSAR:Ground based Synthetic Aperture Radar)

1.3.1 最新の結果

2011年10月18日から2012年12月17日までの変位分布

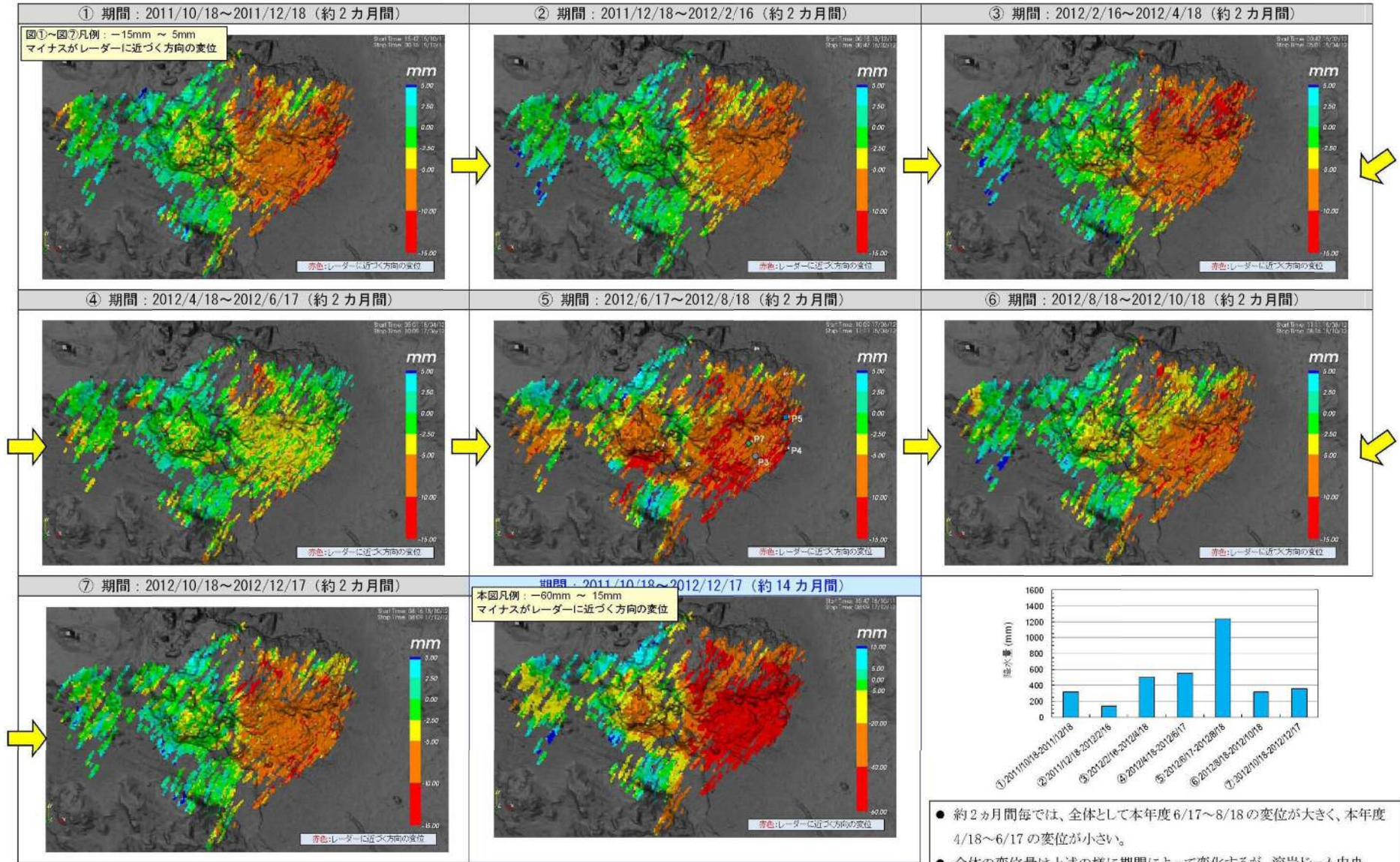


図 1.13 約2ヵ月間毎の変位分布および降水量

- 約2ヵ月間毎では、全体として本年度6/17～8/18の変位が大きく、本年度4/18～6/17の変位が小さい。
- 全体の変位量は上述の様に期間によって変化するが、溶岩ドーム中央部、末端部の相対的な変位はいずれの期間においても相対的に大きい。

1.3.2 自動光波観測との比較

合成開口レーダーの結果と光波観測結果の比較として、合成開口レーダーの観測開始からの累積変位（レーダー方向の変位）と、光波観測のみらい館、天狗山それぞれの斜距離の変化をプリズム毎に重ねた時系列グラフの例を図 1.14 に示す。変位の方角を考慮していない斜距離との単純比較である。

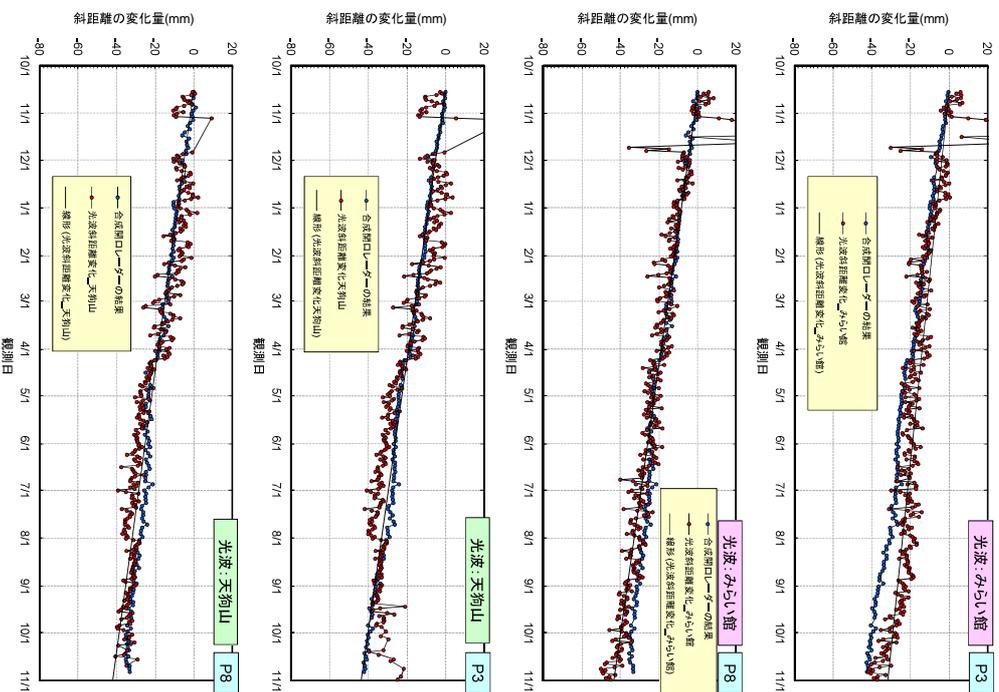


図 1-14 自動光波観測と合成開口レーダーとの比較例

2 空中物理探査による内部構造調査

2.1 空中物理探査の測定原理と解析

(1) 空中電磁探査

原理: 空中から異なる周波数の電磁を発信し、地下で発生する2次磁場(誘導磁場)を空中から測定し、大地の比抵抗(電気の通りにくさ)を知る。
測定項目: 比抵抗($\Omega \cdot m$; オーム・メートル)

解析で導かれる情報: 岩石の比抵抗は、岩石の種類、孔隙率、飽和度、固結度、粘土含有量、温度、地下水の導電率と定性的関係を示す。3次元の比抵抗構造から、地質区分、断層・破砕帯を推定、地下水の賦存状態を推定。

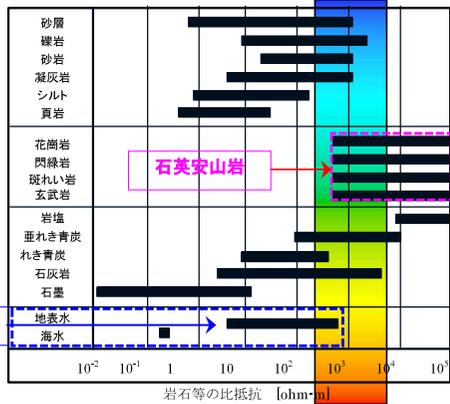


図 2-5 岩石と比抵抗の関係 (色調凡例は、本調査探査結果凡例に準ずる)

表 2-1 岩石・土の状態比抵抗値の定性的関係 (「物理探査適用の手引き」物理探査学会, 2008 に加筆、色調は定性的に示す)

岩石・土の状態	岩石・土の比抵抗の変化		補足説明
	低	高	
地下水・間隙水の比抵抗	低	高	塩分濃度
水飽和度	高	低	
間隙率(飽和状態)	大	小	
粘土分	多	少	
風化・変質程度	強	弱	
温度	高	低	地熱

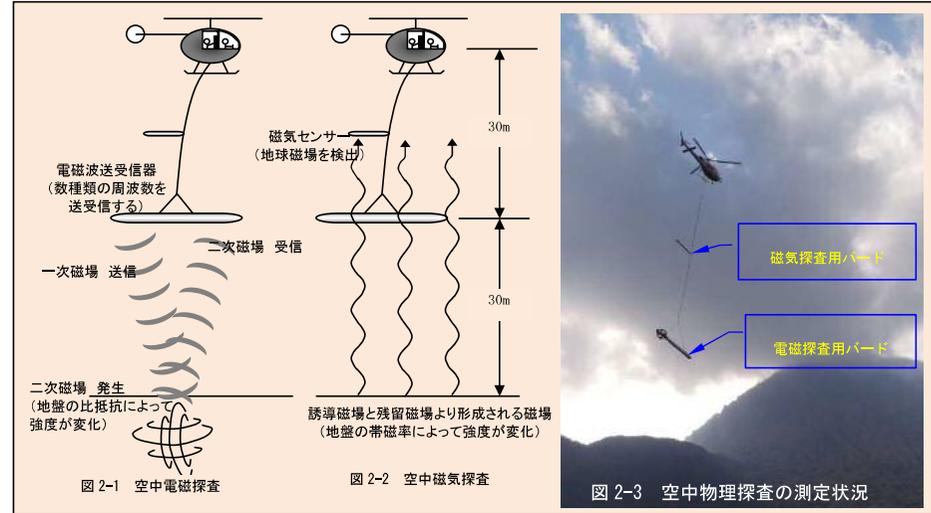


図 2-4 空中物理探査飛行測線

(2) 空中磁気探査

原理: 岩石は、含まれる磁鉄鉱(マグネタイト)、磁硫鉄鉱等の量に応じて、磁性を有する。地球が磁場を有するため、地球磁場内に置かれた岩石はその箇所の磁性に応じた強さに磁化される。
測定項目: 磁気強度(nT; ナノテスラ)

解析で導かれる情報: 磁化の比率=帯磁率(磁化率)は、磁性鉱物の含有量に比例。火成岩>堆積岩、塩基性岩(玄武岩等)>酸性岩(石英安山岩等)、熱=低>熱=高、風化変質=弱(新鮮)>風化変質=強。
 磁気異常図⇒地下の磁化構造の推定⇒磁気強度⇒地質区分

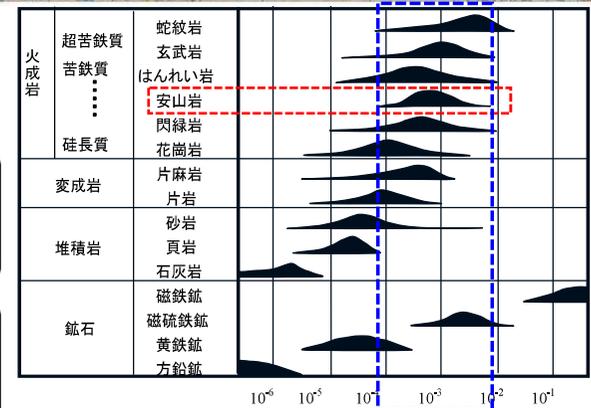


図 2-6 岩石の帯磁率(物理探査学会, 1989)

2.2 空中物理探査結果の解釈

(1) 既往資料に基づく地質構造

雲仙普賢岳の溶岩ドームの地質構造は、既往資料(「雲仙普賢岳斜面安定性解析検討業務」報告書・平成21年3月・日本工営株式会社)に基づく、以下のように区分されている。

1) 溶岩

- ① **塊状溶岩**：地表に噴出した高温の粘性流体(マグマ)が比較的ゆっくり固まる時にできる構造。
- ② **クリンカー**：自破砕溶岩。溶岩の底面、溶岩の表面など冷却が速く、せん断変形が起こる位置で、溶岩が破砕され形成。

2) 火砕堆積物

- ① **火砕流堆積物**：高温のマグマが破砕され、火山灰と火山礫が重力によって斜面を流れ下った堆積物。
- ② **土石流堆積物**：雨水等によって飽和された岩層が、斜面を流れ下った堆積物。
- ③ **崩落堆積物**：岩層が崩落、転動によって斜面を移動した堆積物。

3) その他の堆積物

- ① **土壌**：溶岩、降下火山灰の表面等の風化、火山灰が風によって運搬された場所に植生が繁茂し、有機物と混在することによって形成される地層。
- ② **平成新山以前の溶岩**：古期雲仙火山の噴出物(門脇山、岩上山)、妙見岳火山の主体溶岩、垂木台地岩層なだれ堆積物、普賢岳火山の稲尾山溶岩、島ノ峰溶岩、千本木溶岩が分布。

(2) 空中物理探査結果と地質構造

- ① 図2-9で高比抵抗を示し、図2-10ではプラスの高磁気異常を示す領域は、**普賢岳の溶岩の貫入岩体**を示している。
- ② 平成新山の溶岩ドームは、磁気強度がプラスの高磁気異常を示すが、**比抵抗分布では普賢岳溶岩に比して相対的に低比抵抗**を示している。
平成新山の溶岩ドームと溶岩ローブは、溶岩の貫入に伴い押し出された**破砕溶岩丘**であり、斜面下方への移動に際し、破砕しており、また、**変質により粘土鉱物を生成し、細粒分を含むため、比抵抗が低下**している。

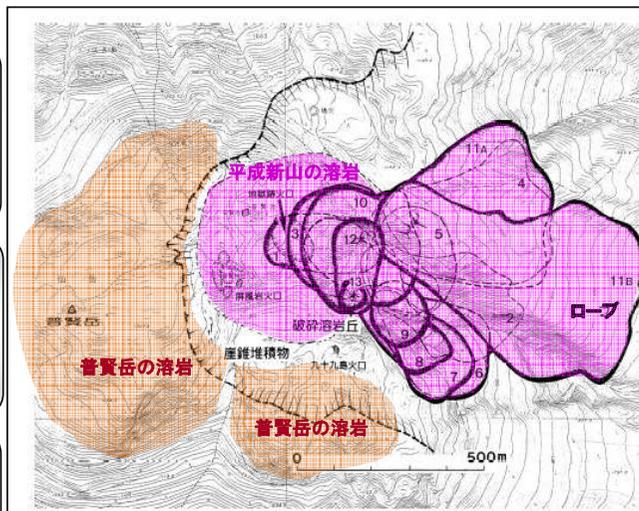


図2-7 ローブの累積復元図(太田, 1996)
(星住(2002, 月刊地球)による地質図を重ね合わせ加筆)

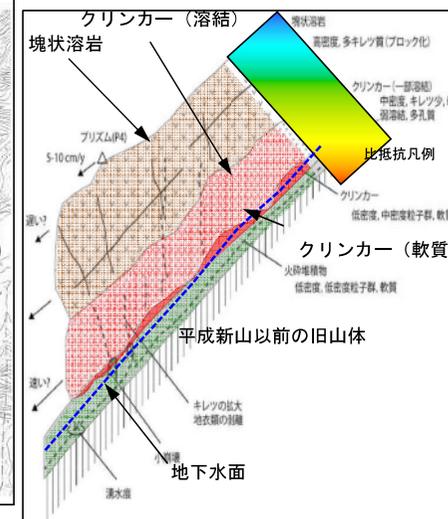


図2-8 舌状溶岩ローブにおける地質構造モデル
(「雲仙普賢岳斜面安定性解析検討業務」報告書・平成21年3月・日本工営株式会社に加筆。赤～黄～緑～青の色調凡例は、表1-1および図1-5に基づき定性的に岩石・土の状態に対照して表示。)

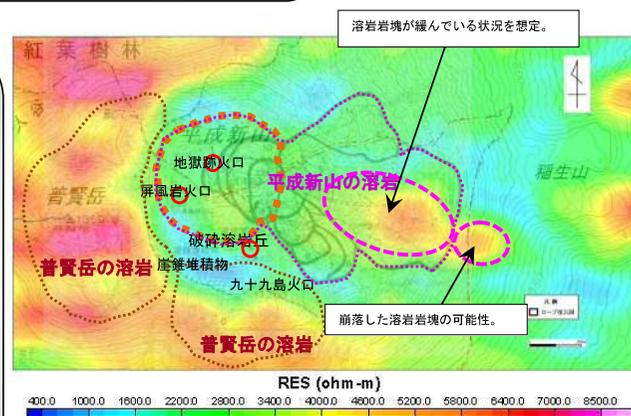


図2-9 空中電磁探査による等深度比抵抗平面図(深度30m)と地質分布の重ね合わせ

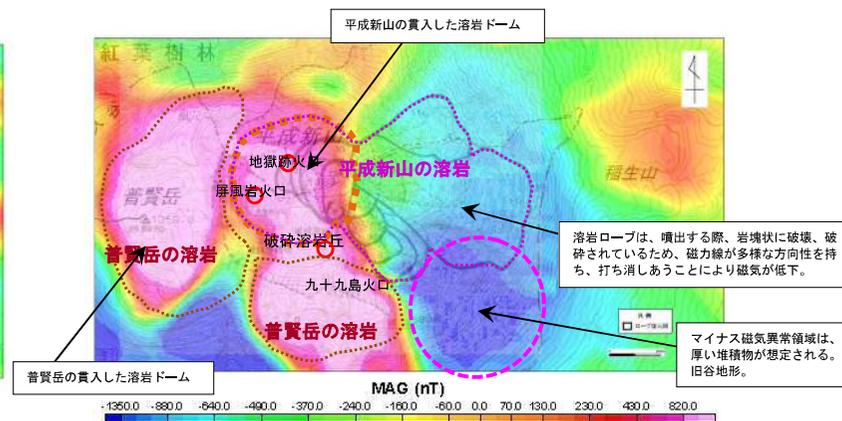


図2-10 空中磁気探査による磁気異常図と地質分布の重ね合わせ

(3) 溶岩ドームの内部構造、地下水の賦存状況

既往資料による平成新山山体の溶岩ドームの地質構造: 太田(1996)によると、平成新山山頂の溶岩ドームの東側に13回のロープ噴出が累積しており、そのうち、最大は第11ロープである。各ロープの下方には、火砕堆積物(火砕流堆積物、土石流堆積物、崩落堆積物)が、分布する。

空中電磁探査による比抵抗断面(探査深度100m)の解釈: 探査深度100mまでの比抵抗分布によると、第11ロープの下底面を捉えており、ロープの先端領域が高比抵抗を示している。既往調査で地形的に岩盤のクラックと捉えていた地形的ギャップは、比抵抗の変化がリニエーションとして判別できる。高比抵抗領域は、塊状溶岩の緩みの著しい領域と判断される。

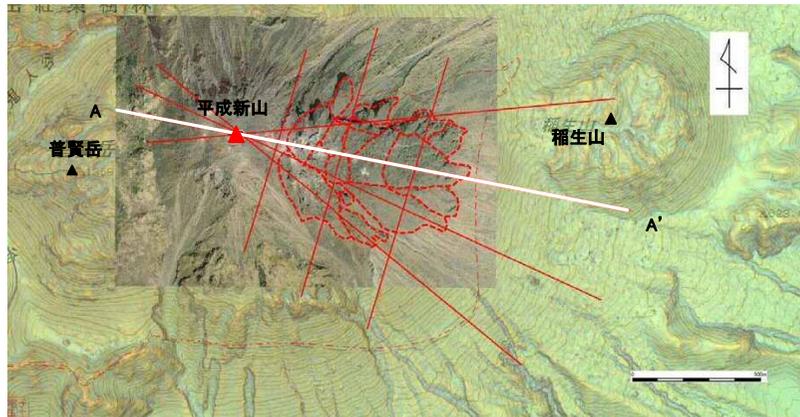


図 2-11 A-A' 断面図測線位置図

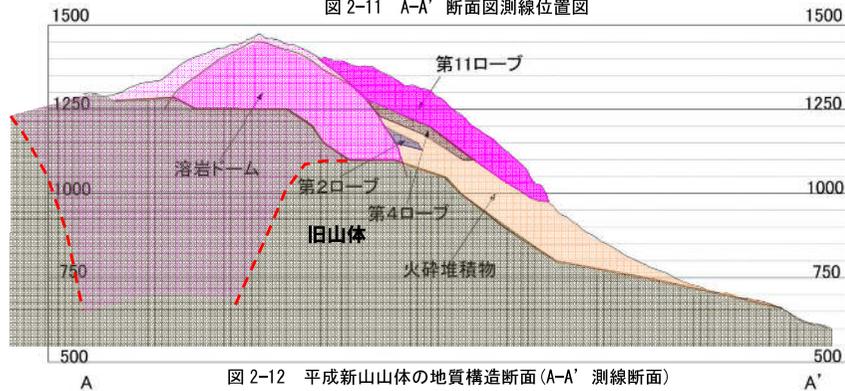


図 2-12 平成新山山体の地質構造断面(A-A' 測線断面)
(「雲仙普賢岳溶岩ドーム崩落に関する危険度評価検討委員会」
討議資料・平成23年3月に加筆。)

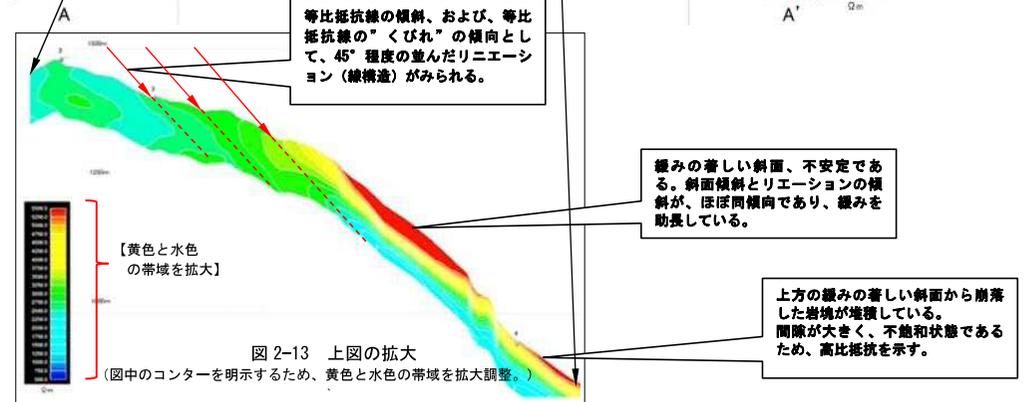
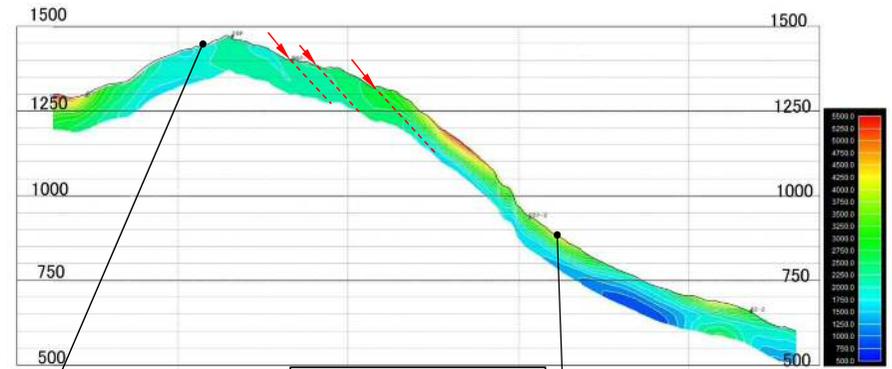


図 2-13 上図の拡大
(図中のコンターを明示するため、黄色と水色の帯域を拡大調整。)

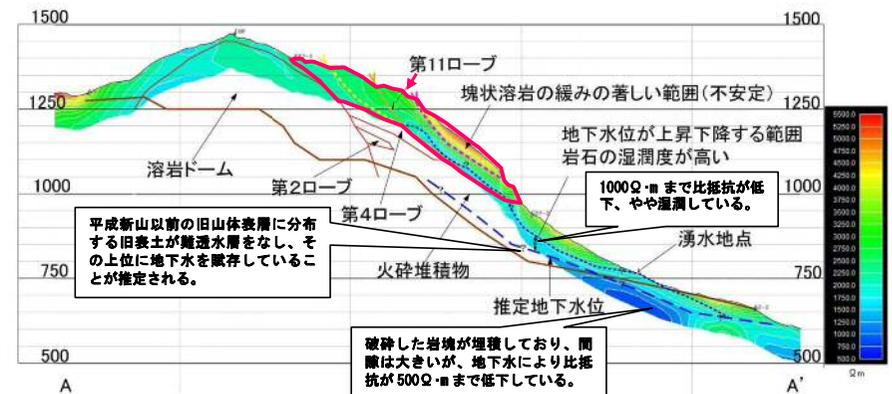


図 2-14 比抵抗断面により推定した溶岩ドームの内部構造、および地下水賦存状況

3 雲仙普賢岳の土砂流出状況

3.1 監視カメラ画像による溶岩ドームの変化抽出

2002年12月から2013年2月まで（10年2ヶ月間）の監視カメラ画像を比較し、溶岩ドームの地形的な変化の抽出を試みた。その結果、2004年9月25日から10月1日の間に平成新山北側の小山の高さが低くなったのが認められた。それ以外にはこの期間での明瞭な変化は見られなかった。

なお、使用したカメラ画像は「平成新山ネイチャーセンター」（長崎県島原市南千本木町甲 2683）に設置されている監視カメラによるものである。

期日：2004年9月25日から10月1日の間

変化内容：平成新山北側の小山の高さが低くなった。



2004年9月24日



2004年9月25日



2004年10月1日



2004年10月7日



2004年9月25日拡大図



2004年10月1日拡大図

出典：環境省



2004年9月24日



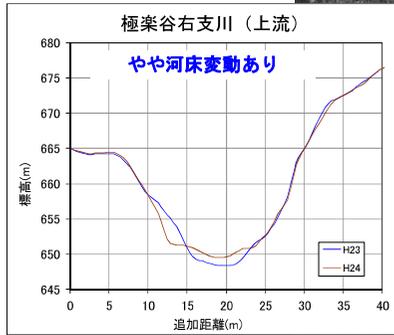
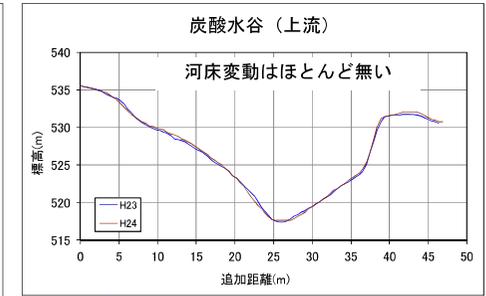
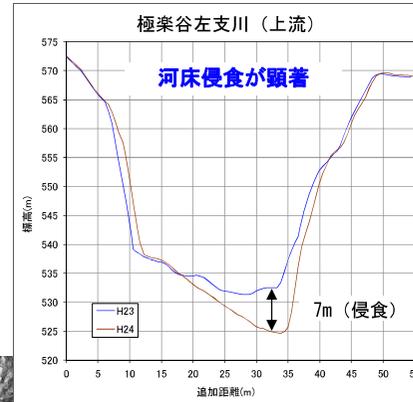
2005年9月30日

出典：環境省

3.2 赤松谷川流域における土砂移動状況

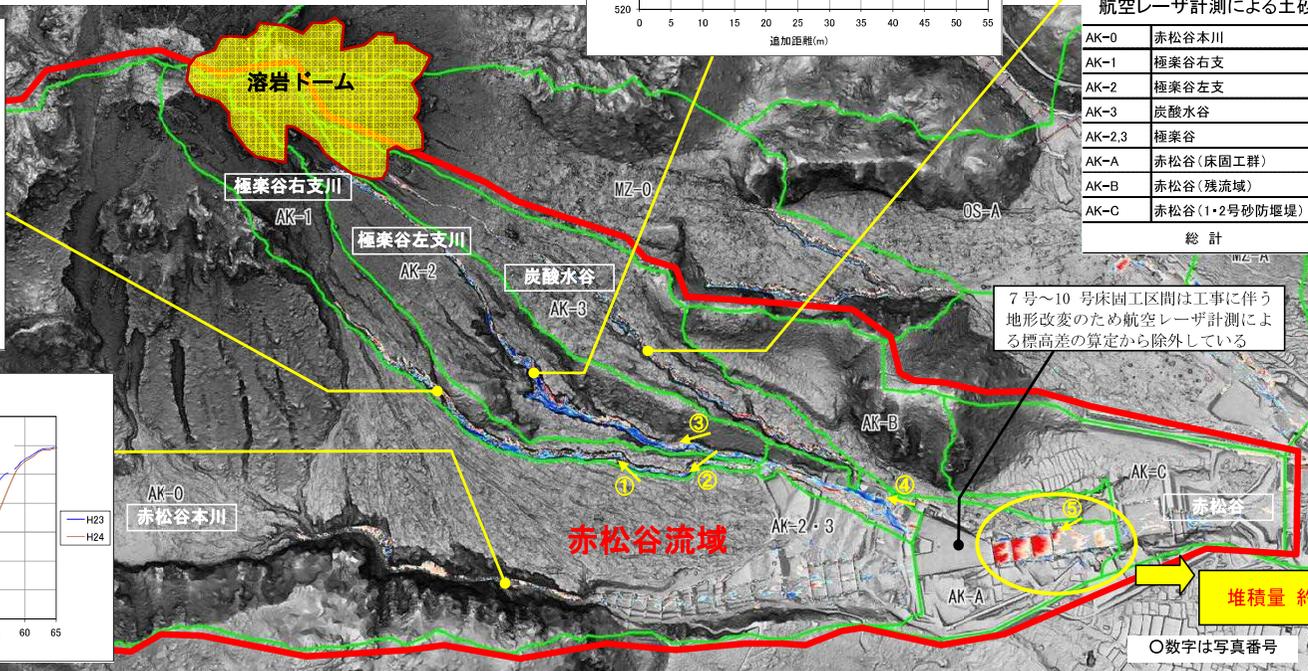
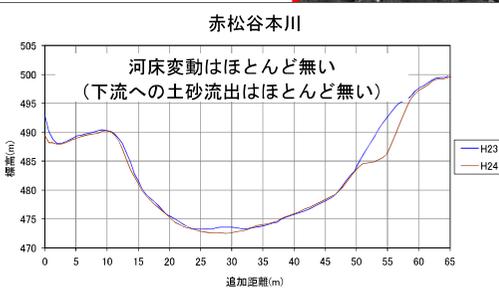
航空レーザ計測や現地調査による赤松谷川流域の土砂移動状況を以下に整理した。

- ▶ 平成23年11月と平成24年11月の航空レーザ計測による標高値の差分計算によると、赤松谷川の年間土砂移動量は、約33,000m³であった。
- ▶ 平成24年6月24日に赤松谷川で土石流が発生し、現地調査により、直径1m以上の礫を含むロープ状の土砂堆積が3号床固工付近まで確認された。
- ▶ 航空レーザ計測によると、特に極楽谷左支川における侵食傾向が顕著であり、上流では溪床が7mほど低下している。
- ▶ このことから、平成24年6月24日に発生した土石流は、極楽谷左支川のガリー拡大および溪床堆積物の流出によるものと考えられる。



航空レーザ計測による土砂変動量(H23.11~H24.11)

地点	名称	H23.11	H24.11	差分
AK-0	赤松谷本川	-18,928	32,175	13,247
AK-1	極楽谷右支	-23,515	10,292	-13,223
AK-2	極楽谷左支	-40,709	11,341	-29,368
AK-3	炭酸水谷	-9,093	11,667	2,574
AK-2.3	極楽谷	-14,716	8,539	-6,177
AK-A	赤松谷(床固工群)	-5,661	33,226	27,565
AK-B	赤松谷(残流域)	-1,469	5,014	3,545
AK-C	赤松谷(1・2号砂防堰堤)	-6,906	14,524	7,618
総計		-120,997	126,778	5,781



3.3 極楽谷左支におけるガリーの拡大状況

特に土砂変動の著しい極楽谷左支川では、概ね全区間において溪床侵食あるいはガリー拡大が見られる。

