

大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究

(平成31年度(令和元年度)の巨大噴火研究に係る進捗状況)

令和2年3月6日

長官官房技術基盤グループ
地震・津波研究部門

目次

1. 背景
2. 目的
3. 平成31年度(令和元年度)の研究進捗

背景

現在の火山ガイドでは、火山の活動履歴を中心とした活動可能性の評価を求めている。しかし、活動間隔が長く、長期の活動休止期間にある火山や噴出量が100km³を超える規模の巨大噴火の評価については、不確定性を伴う。

これまでに、長期の休止期間がある大規模噴火を起こす火山の評価手法を整備するための知見や国内外の巨大噴火を起こした火山の噴火直前のマグマ溜まりの深度、当該深度領域の地下構造を探查する手法について知見が蓄積してきた。

具体的には、大規模噴火を繰り返す複成火山を事例とした長期的な活動評価の手法に関する知見の調査や巨大噴火の事例を対象とした地質学及び岩石学的な調査を行い、巨大噴火に至る火山活動履歴、噴火のシーケンス、噴火直前のマグマ溜まりの深さ、その深さを観測しうる手法についての知見が蓄積された。これらの知見は、巨大噴火を起こした火山の観測すべき深さを明らかにした。

2

目的

巨大噴火を起こした火山を対象に、(1)～(3)の調査・研究を行い、巨大噴火の準備・開始プロセスについての知見を蓄積する。これらに基づいて、過去のカルデラ火山活動の長期的な活動評価の手法及びマグマ・火山活動に関するデータを蓄積し、観測すべき項目の抽出及びそれらの関係についての考え方(4)を提案する。

(1) 地質学的手法による火山噴火準備及び進展過程に関する調査・研究

地質学的な調査に基づいて、噴火進展プロセス等の火山の特性について知見を蓄積する。

(2) 岩石学的手法によるマグマプロセスに関する調査・研究

岩石学的な調査に基づいて、噴火に至るマグマの時空間変化に関する知見を蓄積する。

(3) 地球物理及び地球化学的手法による観測手法に関する調査・研究

地球物理及び地球化学的な調査に基づいて、地下構造の探查手法、深部流体や地殻変動等の観測から、マグマの状態変化を推定するための知見を蓄積する。

(4) 観測すべき項目の抽出及びそれらの関係についての考え方の検討

本プロジェクトで得られた成果は火山影響評価ガイド等の改定に資する。

3

平成31年度（令和元年度）の研究進捗 （過去に巨大噴火を起こした始良カルデラに関する研究を中心に）

4

（1）地質学的手法による火山噴火準備及び進展過程に関する調査・研究（1/4）

【研究内容】

a. 大規模噴火の噴火準備・進展過程に関する調査・研究

- ・ 始良カルデラ火山等について、大規模噴火の長期的・短期的推移の具体的な時間スケールを把握するため、大規模噴火及びその前後の主要な噴火について、複数の年代測定手法を組み合わせることで噴火年代を評価する。
- ・ カルデラ近傍でのボーリング調査、巨大噴火及びその前後の噴出物の分布や層序関係、斑晶や組成の特性、古地磁気方位測定等の地質学的手法を用いた調査を行い、噴出物の時間的及び空間的な分布と噴火史に基づく噴火の準備・進展過程を検討する。

b. 降灰プロセス等に関する地質調査及び観測

- ・ 降下火砕物による影響評価に資するため、降灰中の火山灰の量、粒子の数及び粒子の落下速度をリアルタイムで観測するとともに、地質調査から得られる粒径等のデータを踏まえ、降灰時のプロセスを検討する。

5

(1) 地質学的手法による火山噴火準備及び進展過程に関する調査・研究 (2/4)

<成果概要>

- 阿蘇カルデラでは、本研究によって詳細化された層序を基に化学分析を行った結果、噴出物のSiO₂濃度が時間とともに苦鉄質 (SiO₂=50%) から珪長質 (SiO₂=70%) に変化する傾向があることが明確になった (表1)。
- 一方、始良カルデラでは、珪長質マグマの噴出が継続していることが指摘されており (例えば、長岡ほか (2001)、小林ほか (2010))、本研究においてもそれを具体的に確認した。
- 上記の2事例における巨大噴火の発生までのプロセスは異なるが、少なくとも巨大噴火の発生前には、準備された珪長質マグマが噴出している。さらに複数の巨大噴火で確認されれば、このような事象が前駆現象として発生するとみることも可能である。

参考文献

○長岡信治・奥野 充・新井房夫 (2001) 10万~3万年前の始良カルデラ火山のテフラ層序と噴火史. 地質学雑誌, 第107巻, 第7号, 432-450.
 ○小林哲夫・奥野 充・長岡信治・宮縁育夫・井口正人・味喜大介 (2010) 大規模カルデラ噴火の前兆現象-鬼界カルデラと始良カルデラ-. 京都大学防災研究所年報, 第53号B, 269-275.

表1 阿蘇4噴火に至るマグマの変遷

噴火サイクル	年代	サブユニット	本岩種	全岩化学組成 (SiO ₂)	
阿蘇カルデラの事例	90 ka	阿蘇4B火砕流堆積物	軽石 >> スコリア	64-70, 54%	
		阿蘇4C火砕流堆積物 (丸ノ降スコリア流)	スコリア	50, 52%	
		阿蘇4D火砕流堆積物	軽石	67-68%	
		阿蘇4B5火砕流堆積物 (舟形スコリア流)	スコリア > 軽石	51-67%	
		阿蘇4M火砕流堆積物 (舟形軽石流)	軽石	67-70%	
		阿蘇4Y火砕流堆積物 (八女軽石流)	軽石	67-70%	
		阿蘇4H火砕流堆積物 (船平軽石流)	軽石		
		阿蘇4K火砕流堆積物 (船平火山灰流)	軽石		
		阿蘇4O火砕流堆積物 (小谷軽石流)	軽石 >> スコリア	64-69, 52%	
		阿蘇4A火砕流堆積物	軽石 >> スコリア	67-70, 62%	
阿蘇4/3	90 ka	阿蘇4/3火砕流堆積物 (高尾野火砕流)*	軽石 >> スコリア	50, 60%	
		阿蘇4/3火砕流堆積物 (船平火砕流)*	軽石	67-71%	
		阿蘇4/3火砕流堆積物 (船平火砕流)*	火山灰		
		阿蘇4/3火砕流堆積物 (船平火砕流)*	軽石	66-66%	
		大峰火山	大峰火砕丘, 高瀬原溶岩	溶岩, 軽石, スコリア	69-69%
		Y降下軽石層	軽石	68%	
		ABCD降下軽石層	軽石	62-65%	
		EF降下軽石層	軽石	67-71%	
		G降下軽石層	軽石	66%	
		H降下軽石層	軽石	65-66%	
JKL降下軽石層	軽石	64-66%			
MN降下軽石層	軽石	66%			
Z2降下軽石層	軽石	69%			
Z6降下軽石層	軽石	65%			
Z10降下スコリア層	スコリア	51%			
Z20降下スコリア層	スコリア	56%			
Z27降下スコリア層	スコリア	60%			
Z29降下スコリア層	スコリア	57%			
Z38降下スコリア層	スコリア	53%			

↑ SiO₂濃度が上昇
苦鉄質→珪長質
に変化している

前研究フェーズ (H27~30) では、層序関係の詳細化及びその化学組成のみを明らかにした。現研究フェーズでは、具体的な噴火間隔を推定するため、各々の噴出年代を検討中

○平成30年度原子力規制庁委託成果報告書「火山影響評価に係る技術知見の整備」に加筆

(1) 地質学的手法による火山噴火準備及び進展過程に関する調査・研究 (3/4)

<成果概要>

- 始良カルデラ周辺では、福山軽石以降約10万年間、珪長質のマグマを噴出 (長岡ほか (2001) など)
- 小林 (1986) は、古期桜島と新期桜島の間長期の休止期間中に珪長質の噴出物である高野ベースサージ、新島軽石等を記載し、それらを噴出物の分布状況から、桜島火山の成長の途中に始良カルデラが再度噴出したものと考えた。本研究では、既往研究の地質学的成果を踏襲したうえで、過去約10万年間の始良カルデラ地域の噴出物の岩石学的検討を進めた。その結果、微量元素組成から後カルデラ期に噴出した珪長質マグマ (新島軽石) は、カルデラ形成までの珪長質マグマと異なる可能性を示した。

○長岡信治・奥野 充・新井房夫 (2001) 10万~3万年前の始良カルデラ火山のテフラ層序と噴火史. 地質学雑誌, 第107巻, 第7号, 432-450.
 ○小林哲夫 (1986) 桜島火山の形成史と火砕流. 文部省科学研究費自然災害特別研究. 計画研究「火山噴火に伴う乾燥粉体流 (火砕流等) の特異と災害」(代表者 荒牧重雄) 報告書, 137-163.

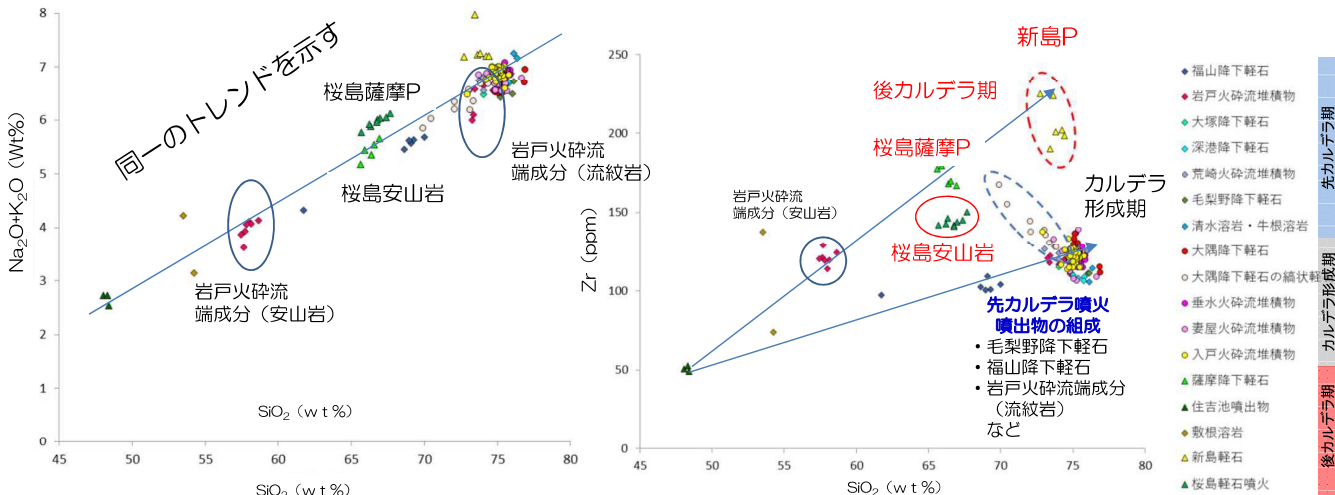


図1 始良カルデラ地域の過去約10万年間の代表的な噴出物の全岩化学組成

(1) 地質学的手法による火山噴火準備及び進展過程に関する調査・研究 (4/4)

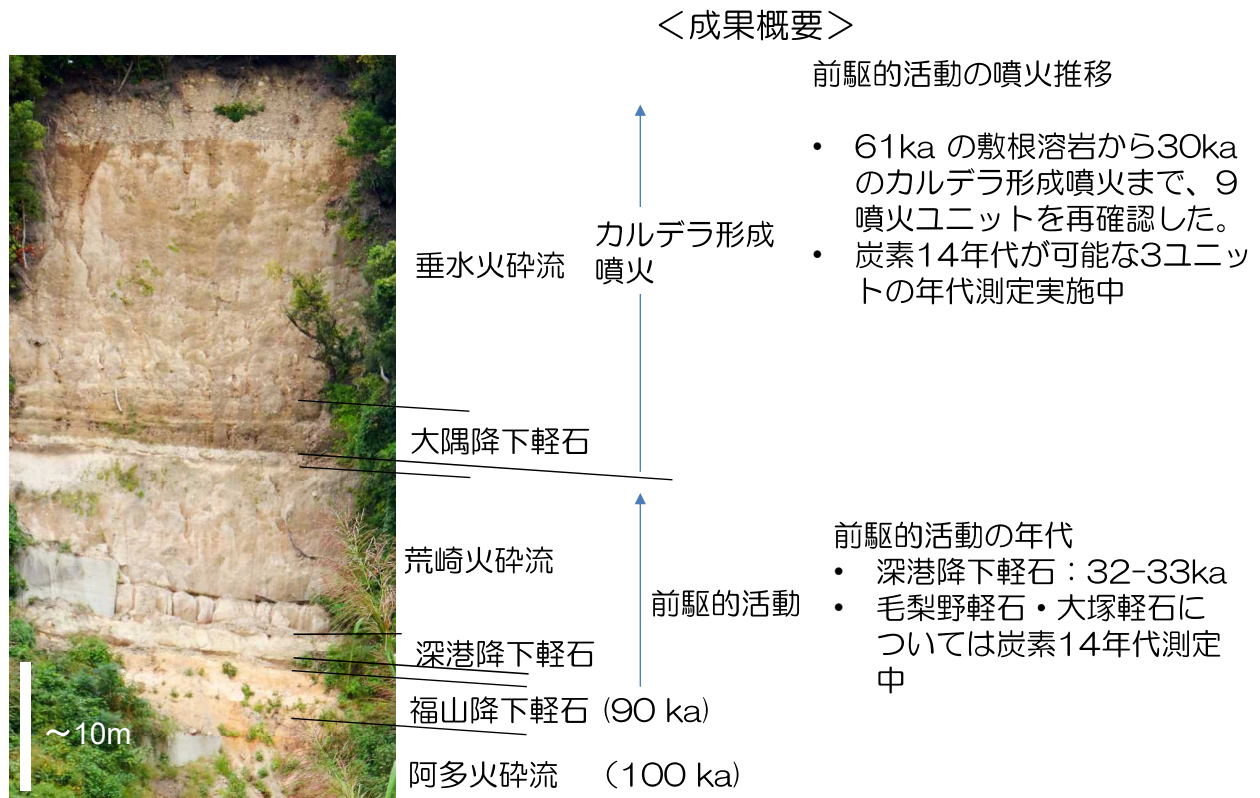


図2 カルデラ南縁から約5km地点の層序

8

(2) 岩石学的手法によるマグマプロセスに関する調査・研究 (1/4)

【研究内容】

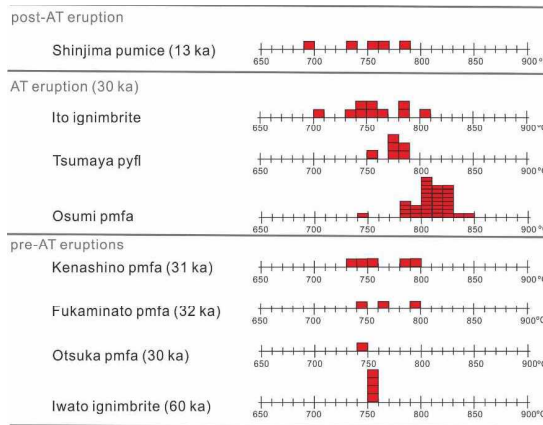
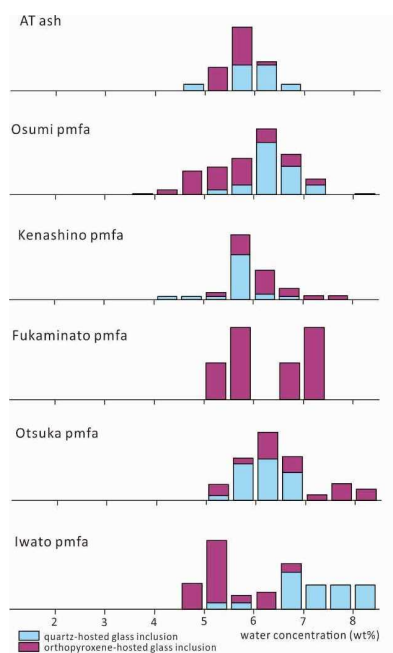
(1) の地質学的調査・研究に基づく大規模噴火の長期的・短期的推移の復元結果と合わせて、噴出物の岩石学的検討による巨大噴火に至る過程のマグマ供給系の時間・空間発達過程の検討を行う。

- 復元された噴火活動の推移に沿って、噴出物の岩石学的解析を行い、**マグマ溜まりの温度・圧力・マグマ組成等の物質科学的な検討**を行う。
- 物質科学的な検討で得られた、鉱物生成時の温度、圧力条件等を基にマグマ溜まりの深さ、鉱物中元素の拡散プロファイルから鉱物の生成年代を推定し、噴火年代値と鉱物の生成年代値からマグマ滞留時間を推定する。

9

(2) 岩石学的手法によるマグマプロセスに関する調査・研究 (2/4)

<成果概要>



ガラス包有物の含水量・及び鉄チタン鉱物の平衡関係から温度圧力条件を算出

流紋岩蓄積条件 深さ4~5kmより深い
温度 750°C前後

図3 始良カルデラの珪長質マグマ溜まり深さ条件の推定

津久井・荒牧 (1990) では、マグマ溜まりの深さは8~10km、安田ほか (2015) では4~5kmと推定

参考文献

○津久井雅志・荒牧重雄(1990) 始良火砕噴火のマグマ溜り. 火山, 第35巻, 231-248.
○安田敦・吉本充宏・藤井敏嗣 (2015) 始良火砕噴火のマグマ溜り深度. 火山, 第60巻, 381-397.

10

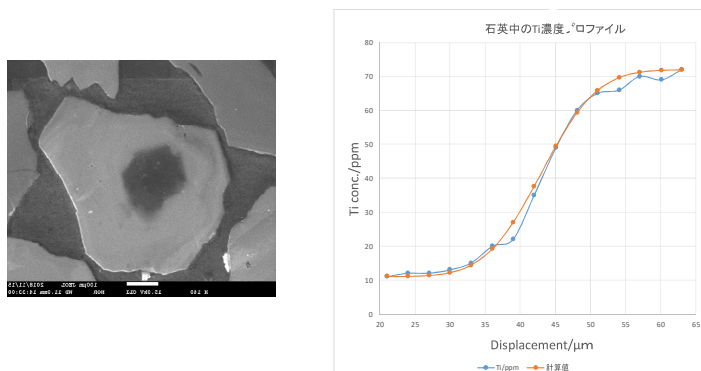
(2) 岩石学的手法によるマグマプロセスに関する調査・研究 (3/4)

<成果概要>

始良カルデラ入戸火砕流噴出物の鉱物生成年代値を求め、マグマ滞留時間の推定を実施している。鉱物生成年代を求める方法としては、元素拡散法（石英中のTi拡散プロファイル）を用いた。

○石英中Ti元素

Gualda et al. (2012) では、約760 kaのロングバレーカルデラの噴出物（Bishop Tuff）に含まれる石英中のTiの拡散速度から結晶生成の時間スケールを検討し、最内核のTiプロファイルから1次元拡散モデルにより拡散時間を見積もった結果、マグマ対流時間を500~3000年と推定した。この手法を十和田八戸噴火（約15Ka）の噴出物に適用した。



Temp. : 820~900°C
Kd=3.5~14.0×10⁻⁹ μm/s

温度850°Cのケースでは、約20~50年
温度820°Cのケースでは、約50~100年
と見積もられた。

図4 十和田八戸噴火に含まれる石英のSEM画像とTi拡散プロファイル
放射非平衡法（U/Th同位体比測定）については、次年度以降に検討予定。

参考文献

○Gualda GAR, et al. (2012) Timescales of quartz crystallization and the longevity of the Bishop giant magma body. PLoS One 7(5):e37492.

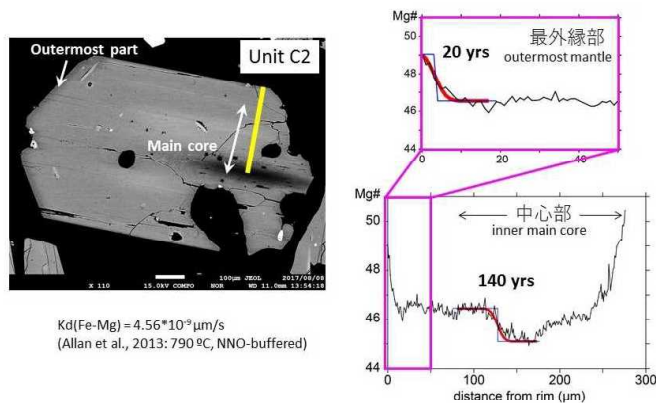
11

(2) 岩石学的手法によるマグマプロセスに関する調査・研究 (4/4)

○輝石中のFe-Mgの相互拡散

Allan et al. (2013)は、直方輝石中のMg-Fe相互拡散から、深さ6~12 kmにあったマッシュ状のマグマからメルトリッチなマグマが分離し上昇、マグマの圧力変動により直方輝石にリムが生じる。このリムの生成過程を直方輝石中のMg-Fe相互拡散から推定し、最大でも噴火の1600年前であることを示した。

この手法を**支笏カルデラ形成噴火**の噴出物に適用した。



斑晶中の元素拡散速度から、斑晶が生成してから噴出(冷却)するまでの時間スケールを推定

左図は、直方輝石中のFe-Mgの相互拡散速度からリムとコアにおける経過時間を推定

直方輝石が生成してから噴火まで20~140年の時間が経過したと推定できる。

図5 マグマの時空間変化の調査事例

○平成30年度原子力規制庁委託成果報告書「火山影響評価に係る技術知見の整備」に加筆

参考文献

○Allan, A.S.R., et al. (2013). From mush to eruption in centuries: assembly of the super-sized Oruanui magma body. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 166, 143-164.

12

(3) 地球物理及び地球化学的手法による観測手法に関する調査・研究 (1/4)

【研究内容】

a. カルデラ火山の地下構造調査

- 阿蘇、始良等のカルデラ火山について地震波観測とMT法電磁探査を前年度に引き続き実施する。
- 高密度かつ長期間の観測により、10 km以深の地下構造の把握が期待できるネットワークMT法電磁探査と**長期連続反射法探査の観測手法としての有効性を検討する。**

b. カルデラ火山の地球化学的調査

- カルデラ火山を対象に、深部流体(地下水やガス)の化学組成や同位体分析を実施し、マグマの揮発成分(水、炭酸ガス、硫黄成分)がどのような化学形態で含まれるか、活動性の指標となる元素や同位体濃度比等を調査し、活動性評価手法を検討する。

(3) 地球物理及び地球化学的手法による観測手法に関する調査・研究 (2/4)

【研究内容】

c. 火山性地殻変動とマグマ活動に関する調査

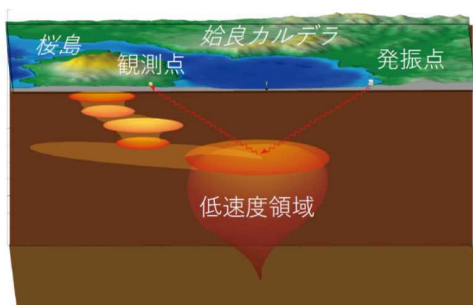
- カルデラ火山において地殻変動観測を実施するとともに、地殻変動とマグマの時空間変化の関係について調べるためシミュレーションモデルによる数値実験を行う。
シミュレーションモデルによる検討では、モデル計算から得られる地表面変動の振る舞いから地殻内のどの深さにどの程度のマグマが存在しているのかをとらえていく方法を検討する。
 - ✓ 粘弾性地殻変動モデルをマグマの時空間変化に適用（例：マグマの連続的な膨張や上昇）
 - ✓ 当該モデルによるマグマ蓄積量を推定
- カルデラ火山の周辺において地殻変動の観測を継続するとともに、最も変動幅が大きいと考えられている水没したカルデラ内（多くの場合、海底又は湖底）での地殻変動を観測する手法としてイタリア国立地球物理学火山学研究所が行っている海底地殻変動観測手法について調査するとともに、活動的なカルデラ火山に適用し観測を開始する。得られる観測データ（GNSS、地震計）とカルデラ周辺に設置された地殻変動データとを合わせて、地下構造の解析や地下のマグマ溜まりの蓄積量の解析を行う。

14

(3) 地球物理及び地球化学的手法による観測手法に関する調査・研究 (3/4)

<成果概要>

- 始良カルデラにおいてカルデラ内の無人島や岩礁に地震計を設置し観測を開始した。
- 過去の自然地震のデータや人工地震探査のデータを加え、地震波速度構造を解析。
カルデラ周辺M2以下のイベントも使用した（カルデラ近傍のM1程度の地震：8点以上で読み取り可能なイベントを追加：**251から425イベントに増加**）。
2008年、2013年の人工地震探査データを含めて浅部（～5km）速度構造を解析。
- 始良カルデラにおいて、長期の反射法探査の観測の準備として、発振方法や観測点配置について検討した。

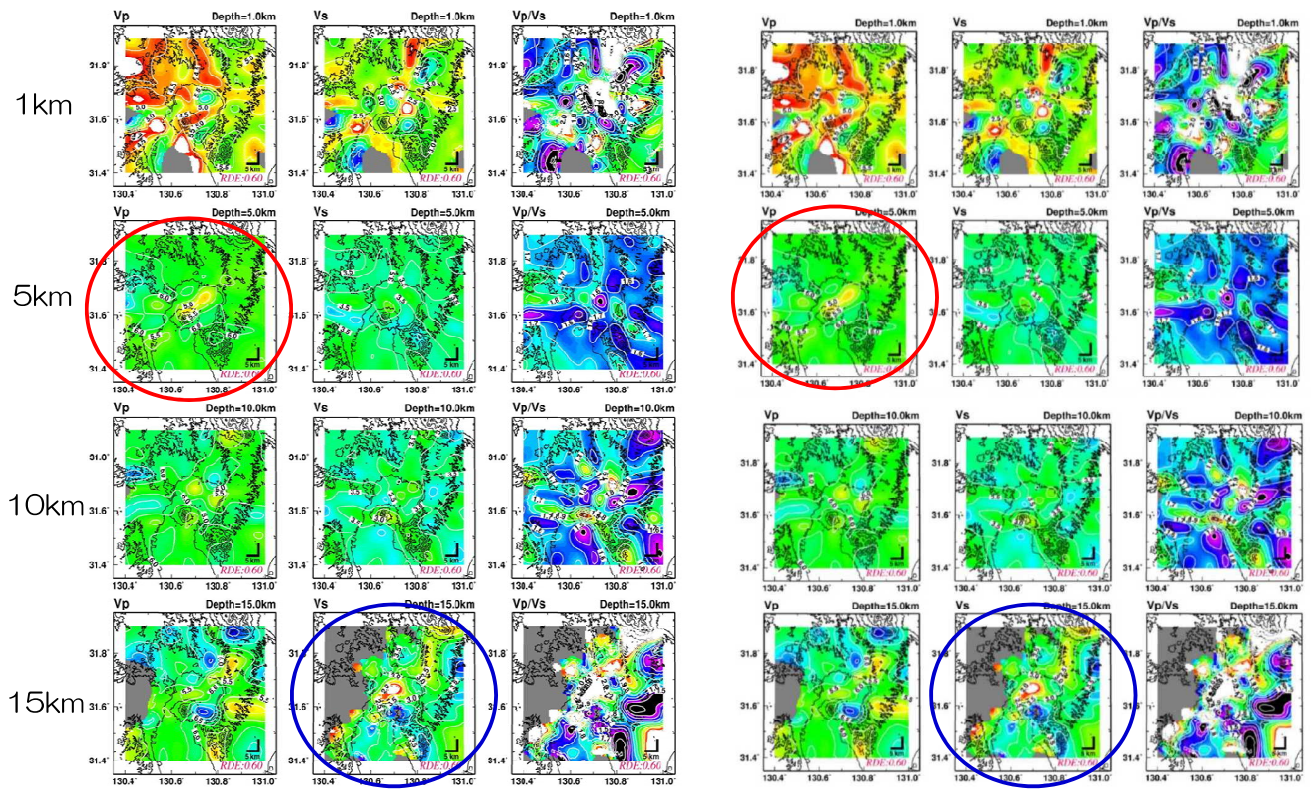


深さ15kmにあると推定されるS波低速度領域の上面深さを捕らえることを試みる。

図6 連続反射法探査のイメージ

15

(3) 地球物理及び地球化学的手法による観測手法に関する調査・研究 (4/4)



解析グリッド：5km
解析グリッド：4km
図7 深さ1、5、10、15kmにおけるP波及びS波の速度分布 (RDE>0.6)

左図：○平成30年度原子力規制庁委託成果報告書「火山影響評価に係る技術知見の整備」に加筆

16

まとめ

平成31年度（令和元年度）から安全研究プロジェクト「大規模噴火プロセス等の知見の蓄積に係る研究」を開始した。

始良カルデラについては、今後、5年間（平成31年度含む）で過去の巨大噴火における準備過程（マグマプロセス）を明らかにするとともに、カルデラ下の地震波速度構造や地殻変動を明らかにする。

一方、プロジェクト全体としては、阿蘇カルデラ、鬼界カルデラ、十和田カルデラ等について、過去の巨大噴火における準備過程（マグマプロセス）を明らかにする予定である。

また、深部流体（地下水やガス）の化学組成や同位体分析を実施し、マグマの揮発成分（水、炭酸ガス、硫黄成分）がどのような化学形態で含まれるか、活動性の指標となる元素や同位体濃度比等を調査し、活動性評価手法を検討する。

17