

高分解能な 3 次元地震波速度構造解析による始良カルデラ下のイメージング について（案）

令和 4 年 5 月 2 6 日
地震・津波研究部門

1. 背景

平成 25 年 7 月に施行された「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」(平成 25 年原子力規制委員会規則第 5 号)において、地震・津波以外の「外部からの衝撃による損傷の防止」(第六条)が明記された。その中で安全施設は、想定される自然現象(地震及び津波を除く。)が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならぬとしており、敷地周辺の自然環境を基に想定される自然現象の一つとして、火山の影響を挙げている。

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(R1～R5 年度)」では、過去に巨大噴火を起こした火山を対象として巨大噴火に至るまでの準備・開始プロセスに係る知見や現在の火山性地殻変動と地下構造及びマグマ活動に関するデータを蓄積している。令和 4 年 3 月に、日本火山学会誌(第 67 巻第 1 号)において、九州南部の鹿児島湾奥に位置する始良カルデラ周辺を対象に実施した 3 次元地震波トモグラフィー解析¹に関する論文²(以下「本論文」という。)が発表された。本論文は当該安全研究プロジェクトにおける「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」の成果の一部として、委託先である国立大学法人京都大学が取りまとめたものである。以下では、本論文の概要と今後の対応について報告する。

2. 本論文の概要と得られた新知見

本論文の概要は以下のとおりである。

- 海没した始良カルデラにおいて、深部の構造の解明に適している自然地震観測データと浅部の微細な構造の解明に適している人工地震による走時データを組み合わせた 3 次元地震波トモグラフィー解析を行い、既

¹ 地震計が設置された複数の観測点において多数の地震波の到達時間を観測することで、それらの時間差から地下構造を推定する手法。一般に、メルト(マグマの液体部分)や熱水等の液相が存在する領域を通過する地震波は周囲よりも速度が遅くなり、観測点ではそのような領域が存在しない場合に期待される到達時間と比較して地震波が遅く観測される。

² 為栗 健・八木原寛・筒井智樹・井口正人(2022) 高分解能な 3 次元地震波速度構造解析による始良カルデラ下のイメージング, 火山, 67, 69-76, <https://doi.org/10.18940/kazan.67.1.69>.

往研究³よりも高分解能で深さ 15 km までの地震波速度構造を推定している。

- インバージョン解析⁴の結果、深さ 15 km では始良カルデラ中央部に P 波及び S 波の低速度領域⁵が確認された。著者らは、S 波速度が周辺域より 30%低下した 2.45 km/s を閾値として当該低速度領域を定量的に評価したところ、その体積は深さ 15 km 以浅で 255 km³と推定され、2.0 km/s とした場合でも 139 km³となるとしている。また、S 波速度が 2.0 km/s 以下の領域の最上部は、深さ 12 km に達しているとしている。
- 既往研究⁶では、始良カルデラ周辺で観測されている地盤変動の圧力源が推定されている。この圧力源と当該低速度領域が近接していること、及び、地盤変動と桜島（始良カルデラ南縁）の噴火活動が関連していることから、当該低速度領域はマグマの存在を示唆するとしている。
- Taylor and Singh (2002)⁷モデル⁸を用いて当該低速度領域におけるメルトの割合を推定したところ、7%程度と見積もられ、この割合を用いた場合、当該低速度領域に対するメルトの体積は約 10-18 km³を占めると推定されている。

3. 今後の対応

本論文は自然地震観測データと人工地震による走時データを組み合わせた地震波トモグラフィ解析によって、始良カルデラ下の地下構造の描像を既往研究よりも詳細に明らかにした事例である。「原子力発電所の火山影響評価ガイド」（以下「火山ガイド」という。）では、原子力発電所に影響を及ぼす可

³ Miyamachi et al. (2013, Bull. Volcanol. Soc. Japan)では、人工地震探査データを用いて深さ 4 km までの P 波の地震波速度構造を推定しているものの、測線長が 37 km であり、4 km 以深の速度構造は明らかになっていない。また、近地地震の走時を用いた南九州の地震波速度構造解析 (Alanis et al., 2012, Bull. Volcanol. Soc. Japan) では、始良カルデラ下深さ 20 km 付近に部分熔融が示唆される領域を見出したが、分解能が 10 km であり、当該領域の詳細な形状や大きさは分かっていない。

⁴ 初期モデルと観測値との差を最小化するようにモデルを更新することにより、正しい解を求める手法。

⁵ 周辺域に対する当該低速度領域の S 波速度の低減率は 44%である一方で、P 波速度では 8.2%であり、この P 波速度と S 波速度の低減率の違いは、当該低速度領域の不均質性を反映すると考えられる。

⁶ Iguchi (2013, Bull. Volcanol. Soc. Japan)及び Hotta et al. (2016, J. Volcanol. Geotherm. Res.)。これらによると、圧力源の位置は始良カルデラ中央部深さ 10~12 km に求められている。

⁷ Taylor, M. A. J. and Singh, C. (2002) Composition and microstructure of magma bodies from effective medium theory. Geophys. J., 149, 15-21. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.2002.01577.x>

⁸ 当該モデルは、マグマ領域を扁平なメルトインクルージョンの集合体と考えた場合に、メルトの割合が P 波・S 波速度の低減率及びメルトインクルージョンのアスペクト比によって決まるとするものである。このモデルを用いて、得られた観測値を満足するメルトの割合を求めたところ、約 7%と見積もられたとしている。

能性において、過去の火山活動履歴とともに、必要に応じて地球物理学的及び地球化学的調査を行うことで、現在の火山活動の状況も併せて評価することとされている。本論文は火山ガイドに列記されている地球物理学的調査のうち、地震波速度構造に関する検討に資する成果に該当する。今後、他のカルデラの地下構造調査事例が報告されれば、これらと共に、本論文の調査事例を現行の火山ガイドにおける解説として追記すること等を検討する。

また、本論文の知見は、カルデラ陥没地形の広い範囲が水没している火山において陸域での地震観測データから深部の地下構造の情報を得た事例であり、他のカルデラにも適用できる可能性があることから、[ATENA 定例面談等](#)で事業者に対して周知することとしたい。