

十和田火山の巨大噴火を引き起こした マグマの蓄積深度が明らかに

中谷 貴之¹⁾・工藤 崇²⁾・鈴木 敏弘¹⁾

本稿は 2022 年 5 月に産総研が行ったプレスリリース (https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2022/pr20220512_2/pr20220512_2.html) を修正・加筆したものです。

1. はじめに

私たちは、3.6 万年前と 1.5 万年前に十和田火山で起こった巨大噴火(マグマ噴出量およそ 20 km³)の噴出物を用いて高温高压実験を行い、マグマが蓄積した温度圧力条件を精度良く推定しました。その結果、巨大噴火を引き起こしたマグマが地下 5～7 km に二度にわたって蓄積していたことが明らかになりました。そして、その深度を現在の十和田火山下で観測される地震波速度異常の深さと比べ、噴火可能なマグマの有無について議論しました。研究成果は論文としてまとめられ、Journal of Geophysical Research Solid Earth 誌に出版されました(Nakatani *et al.*, 2022)。

2. 背景

十和田火山は、秋田県と青森県の県境に位置する活火山であり、直径 8.5 km のカルデラ湖(十和田湖)を有するカルデラ火山でもあります。十和田火山は、今から 3.6 万年と 1.5 万年前に巨大噴火を起こし、カルデラを作りました。西暦 915 年には、マグマ噴出量がおおよそ 2 km³ の有史以来で最大規模の爆発的な噴火があり、巨大噴火と同様、二酸化ケイ素(SiO₂)に富んだ組成のマグマが噴出しました。このような背景から、十和田火山は今後も巨大噴火を繰り返す可能性があると考えられています。巨大噴火の発生は低頻度ですが、ひとたび起これば社会に甚大な被害をもたらすため、巨大噴火のポテンシャル評価が社会から求められています。

巨大噴火の前には、10 km³ を超えるマグマが地下に蓄積していたと考えられます。巨大噴火ポテンシャルを評価するために、地震波などを用いた地球物理観測結果に基づいて、地下にマグマが蓄えられているかどうかを検討する必要があります。しかし、地震波低速度領域が確認されたとしても、それがマグマあるいは水に富んだ流体のいずれに起因するのかを区別することは困難です。また、マグマの存在を仮定しても、流動性に富む噴火可能なマグマが局

所的に存在するのか、結晶質で通常噴火に至らないマグマ(マッシュ)が広域に存在するのか、空間解像度の問題から両者の判別は難しいのが現状です。地球物理観測データのみでは、地震波低速度領域に何が存在するのかを推定することが困難であるため、地質学的・岩石学的な知見を取り込んだ解釈が必要となります。

産総研には、採取した噴出物を用いて高温高压実験を行うための内熱式ガス圧装置が整備されています(第 1 図)。内熱式ガス圧装置は、圧縮したアルゴンガスを圧力容器内に導入し、容器内のヒーターでガスを加熱膨張させることで、高温高压を発生させます(東宮, 2022)。海外では IHPV(Internally Heated Pressure Vessel)と呼称されます。高温下で等圧的な圧力を精度よく(±数 MPa)発生可能であることが最大の特徴です。この装置を用いて噴出物に含まれる鉱物種などを高温高压下で再現することで、マグマが蓄積していた温度と圧力を精度よく推定できます。そして、推定した深度と現在観測されている地震波低速度領域の深さを比較することで、現在も噴火可能なマグマが存在するか否か、地質学的・岩石学的な知見に基づいて推測可能となります。

最近、十和田火山の地質情報が地質図にまとめられ(工



第 1 図 産総研に設置された内熱式ガス圧装置。

1) 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

2) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

キーワード: 巨大噴火, カルデラ, 軽石, 内熱式ガス圧装置, 十和田火山

藤ほか, 2019), 巨大噴火時の噴出物の分布域と化学組成などが明らかにされました。また, 十和田火山の地下を含む東北日本の地殻構造が, 地震波観測により明らかにされています(Chen *et al.*, 2018, 2020)。そこで, 私たちは, 地質図から判明している巨大噴火時の噴出物を用いて, 高温高压実験を実施し, 噴出物がマグマとして蓄積していたときの温度と圧力を推定しました。そして, その結果を現在の十和田火山下の地震波観測の結果と比較しました。なお, 本研究は, 原子力規制委員会原子力規制庁の「原子力施設等防災対策等委託費(巨大噴火プロセス等の知見整備に係る研究)事業(2019~2021年度)」の委託を受けて行いました。

3. 成果

十和田火山で起こった巨大噴火の噴出物(第2図)を用いて高温高压実験を行いました。実験は, 温度825~900℃および圧力100~350 MPa(1 MPaは約10気圧)の範囲で行い, マグマが蓄積した温度および圧力を推定しました。実験に使用した噴出物は, 流紋岩質のマグマを起源とする軽石です。軽石の大部分は多孔質のガラスですが, ガラスに対して約10%の斑晶鉱物が含まれます。斑晶鉱物の種類や量は, マグマ蓄積時の温度や圧力を反映するため, それらを再現する温度圧力条件を実験で明らかにすることで, マグマの蓄積条件を推定できます。具体的には, 軽石を全溶解して合成したガラスに飽和量の水を加えて, 任意の温度圧力条件下で最大10日間程度保持し, 急冷回収した試料に含まれる鉱物種や結晶の割合を調べました。このような実験を異なる温度圧力条件下で繰り返すことにより, 元の軽石に含まれる鉱物種や結晶の割合を再現する温度圧力条件を推定しました。

軽石に含まれる鉱物の種類は, 3.6万年前の噴火では斜長石, 直方輝石, 単斜輝石, チタン鉄鉱, 磁鉄鉱, 1.5万年前の噴火ではこれらの鉱物に加えて角閃石でした。実験の結果, 軽石中の主要な鉱物の晶出と結晶の割合を温度840~850℃および圧力150~170 MPaで再現できることが分かりました(第3図)。3.6万年前の噴火と1.5万年前の噴火で含まれる鉱物種に差がありましたが(角閃石の有無), 推定された温度圧力条件に大きな差はありませんでした。マグマの化学組成のわずかな差が, 角閃石の安定性に影響を及ぼしたと推測されます。

実験で推定された圧力は深さにしておよそ5~7 kmに相当します。つまり, 過去二回の巨大噴火を起こしたマグマは, いずれも十和田火山下において, ほぼ同じ条件で蓄



第2図 十和田火山の1.5万年前の巨大噴火を起源とする軽石。

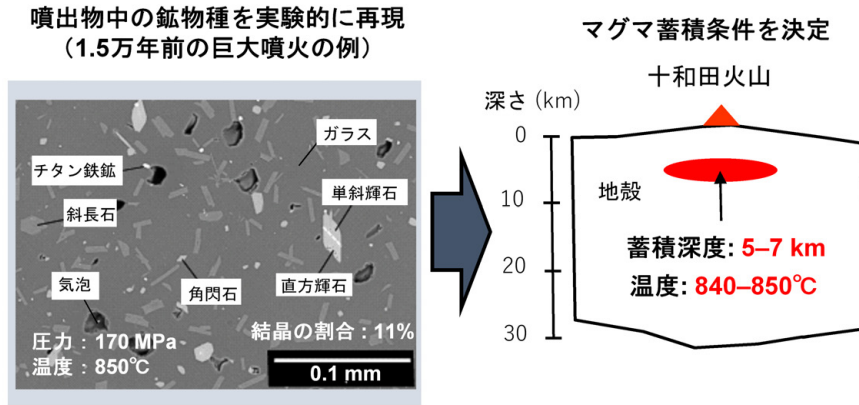
積したことが分かりました。また, 現在の十和田火山の地下約6 kmにおいて, 深さ方向に地震波速度が急激に遅くなる速度境界が確認され, マグマ(メルトに富む層)の存在が示唆されています(Chen *et al.*, 2020), その深さは本研究で推定した過去のマグマの蓄積深度とほぼ一致します(第4図)。この結果は, 現在の十和田火山下において, 過去に巨大噴火を起こしたマグマとほぼ同じ場所に噴火可能なマグマが存在していることを示唆します。ただし, 地震波トモグラフィのデータ(Chen *et al.*, 2018)や理論的に予想される噴火頻度とマグマだまりの大きさの関係(Townsend *et al.*, 2019)から, 噴火可能なマグマが存在したとしても, カルデラ噴火を起こすほどの量は蓄積していないと推測されます。今後, 高いマグマ供給率などの条件が整えば, より大きなマグマだまりに成長するかもしれません。

4. 今後の予定

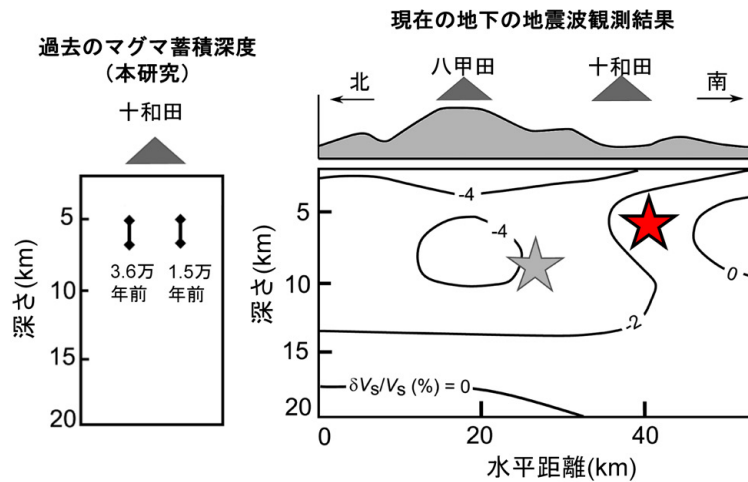
今後は, 高温高压実験の手法を用いて, 巨大噴火を起こした日本の代表的な火山, 例えば始良カルデラなどについて, 過去のマグマの蓄積深度を推定する予定です。火山毎に科学的知見の蓄積と事例研究を積み重ねることで, 巨大噴火を起こすマグマの蓄積深度が主にどのような因子によって支配されるのか, より一般的な理解を目指します。

文 献

Chen, K. -X., Gung, Y., Kuo, B. -Y. and Huang, T. -Y. (2018) Crustal magmatism and deformation fabrics in northeast Japan revealed by ambient noise tomography. *Journal of Geophysical Research: Solid*



第3図 高温高圧実験で得られた試料の走査電子顕微鏡写真(左)と推定されたマグマの蓄積条件を示した模式図(右)。鉱物の周囲を埋める暗灰色の部分は、融液が急冷固化したガラスである。



第4図 今回の実験から推定された3.6万年前と1.5万年前の巨大噴火のマグマ蓄積深度(左)と、現在の十和田火山下の地震波速度観測結果(右)。右図の等値線はChen et al. (2018)が明らかにした横波速度の変化を示す。また、星印はChen et al. (2020)のレーザー関数解析により明らかとなった地震波速度不連続を示し、深さ方向に地震波速度が急激に遅くなる深さを表す。特に赤色の星印が今回注目する十和田火山下の地震波速度不連続を示す。地震波速度の不連続はマグマ(メルトに富む層)の存在を示唆している。

Earth, 123, 8891-8906.

Chen, K.-X., Fischer, K. M., Hua, J. and Gung, Y. (2020) Imaging crustal melt beneath northeast Japan with Ps receiver functions. *Earth and Planetary Science Letters*, 537, 116173.

工藤 崇・内野隆之・濱崎聡志(2019)十和田湖地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅),産総研地質調査総合センター,192p.

Nakatani, T., Kudo, T. and Suzuki, T. (2022) Experimental constraints on magma storage conditions of two caldera-forming eruptions at Towada volcano, Japan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127, e2021JB023665.

東宮昭彦(2022)ガス圧装置を用いたマグマの高温高圧相平衡実験. *火山*, 67, 195-205.

Townsend, M., Huber, C., Degruyter, W. and Bachmann, O. (2019) Magma chamber growth during intercaldera periods: Insights from thermo-mechanical modeling with applications to Laguna del Maule, Campi Flegrei, Santorini, and Aso. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20, 1574-1591, doi: 10.1029/2018gc008103.

NAKATANI Takayuki, KUDO Takashi and SUZUKI Toshihiro (2023) Magma storage depths of caldera-forming eruptions at Towada volcano.

(受付:2022年9月30日)