

2022年
6月号NEWS
LETTERIEVG ニュースレター
Vol.9 No.2

[プレス発表]

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・鈴木敏弘（マグマ活動研究グループ）・工藤 崇（地質情報研究部門 地殻岩石研究グループ）

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圧実験を行い、マグマが蓄積したときの温度と圧力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は比べ、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 誌に公開されました (Nakatani et al., 2022)。本稿では、その研究内容を概説し、研究に使用した産総研の内熱式ガス圧装置についてご紹介します。本稿は 2022 年 5 月に、産業技術総合研究所が行ったプレスリリース

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。

研究の背景

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、カルデラを作った巨大噴火を起こしています。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

Contents

- 01 プレス発表 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・鈴木敏弘・工藤 崇
- 06 出向報告 原子力規制庁への転籍出向報告 …… 伊藤一充
- 08 受賞報告 篠原宏志招聘研究員が 2022 年度日本火山学会賞を受賞
- 09 受賞報告 松本恵子研究員が 2022 年度日本火山学会研究奨励賞を受賞
- 10 外部委員会活動報告 2022 年 4 月~5 月

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下での岩石融解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（図1）。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



図1 産総研に設置された内熱式ガス圧装置。左手前が本研究で使用した SMC-5000（最高圧力 481 MPa）で、右奥が SMC-8600（最高圧力 850 MPa）。

ることで、マグマが蓄積していた温度と圧力を推定できます。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。

研究の内容

十和田火山で起こった巨大噴火の噴出物（図2）を用いて高温高压実験を行いました。実験は、温度 825～900 °C 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



図2 十和田火山の 1.5 万年前の巨大噴火を起源とする軽石。

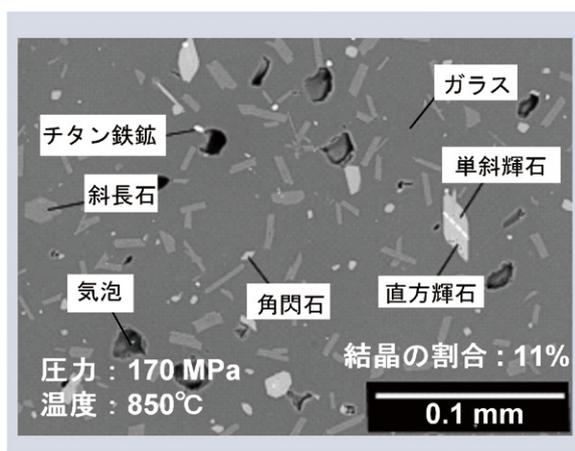
は、流紋岩質のマグマを起源とする軽石です。軽石の大部分は多孔質のガラスですが、ガラスに対して約10%の斑晶鉱物が含まれます。斑晶鉱物の種類や量は、マグマ蓄積時の温度や圧力を反映するため、それらを再現する温度圧力条件を実験で明らかにすることで、マグマの蓄積条件を推定できます。具体的には、軽石を全溶解して合成したガラスに飽和量の水を加えて、任意の温度圧力条件下で最大10日間程度保持し、急冷回収した試料に含まれる鉱物種や結晶の割合を調べました。このような実験を異なる温度圧力条件下で繰り返すことにより、元の軽石に含まれる鉱物種や結晶の割合を再現する温度圧力条件を推定しました。

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(図3)。3.6万年前の噴火と1.5万年前の噴火に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が(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。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。

噴出物中の鉱物種を実験的に再現 (1.5万年前の巨大噴火の例)



マグマ蓄積条件を決定

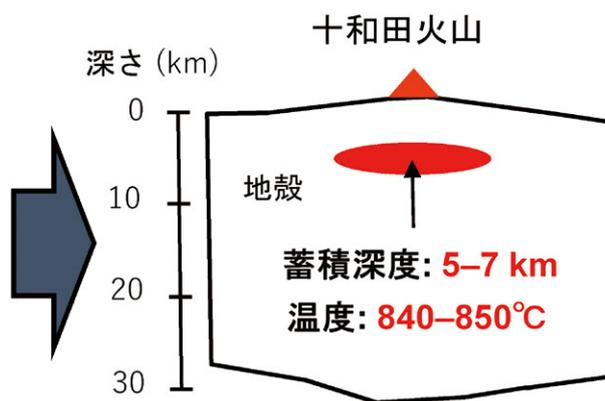


図3 高温高圧実験で得られた試料の走査電子顕微鏡写真(左)と推定されたマグマの蓄積条件を示した模式図(右)。鉱物の周囲を埋める暗灰色の部分は、融液が急冷固化したガラスである。

内熱式ガス圧装置

最後に、本研究で使用した産総研の内熱式ガス圧装置について、ご紹介します。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、高温高圧を発生させます（東宮，2022）。海外では IHPV（Internally Heated Pressure Vessel）と呼称されます。高温下で等方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。工業的には、セラミックスや金属材料の熱間等方圧加圧（Hot Isostatic Pressing, HIP）による焼結のために利用されます。本研究で使用した内熱式ガス圧装置（SMC-5000）と、もう一つの内熱式ガス圧装置（SMC-8600，鈴木ほか，2004）は、東京工業大学に設置されていたものを 2018 年度に産総研に移設しました（図 1，東宮，2017）。装置内部の模式図を、

SMC-8600 を例として図 5 に示します。発生可能な最高温度は、両装置ともに 1500℃です。最高圧力は SMC-5000 の場合、481 MPa です。一方、SMC-8600 は、圧力容器内の高圧ガスを油圧ピストンでさらに圧縮する機構を備えており、最大 850 MPa までの圧力を発生可能です。産総研にはこの他に、196MPa・1500℃までの実験を簡便に行える装置も設置されています。内熱式ガス圧装置は、ピストンシリンダーなどの固体を圧媒体とした実験装置が苦手とする地殻圧力の発生を得意としており、地殻内のマグマの研究に適しています。特に、850 MPa まで発生可能な内熱式ガス圧装置は、日本では産総研にしか整備されておらず、上部地殻から下部地殻に相当する圧力を精密に制御して、高温高圧実験を行うことができます。また、高温高圧の融液をガラスとして回収し分析するために、試料を低温（200～300℃）の試料台底部に落下させて、急冷す

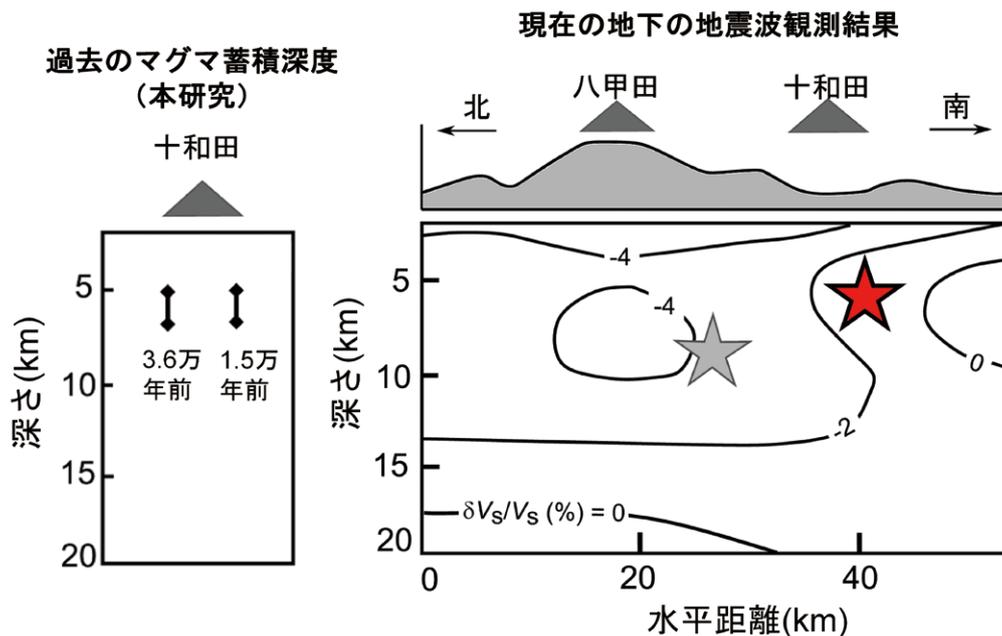


図 4 今回の実験から推定された 3.6 万年前と 1.5 万年前の巨大噴火のマグマ蓄積深度（左）と、現在の十和田火山下の地震波速度観測結果（右）。右図の等高線は Chen et al. (2018) が明らかにした横波速度の変化を示す、また、星印は Chen et al. (2020) のレーザー関数解析により明らかとなった地震波速度不連続を示し、深さ方向に地震波速度が急激に遅くなる深さを表す。特に赤色の星印が今回注目する十和田火山下の地震波速度不連続を示す。地震波速度の不連続はマグマ（メルトに富む層）の存在を示唆している。

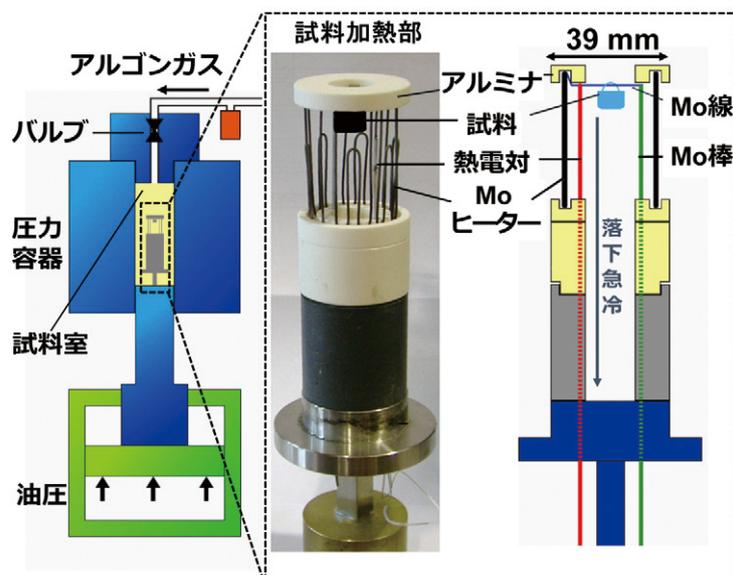


図5 内熱式ガス圧装置(SMC-8600)内部の模式図。試料はMo棒とMoヒーターの間に張られた細いMo線に吊るされており、実験終了時に電気を流すことによりMo線を切断し試料を落下急冷させることができる。

る機構を備えています。比較的大きな試料体積（直径12 mm，高さおよそ10～20 mm程度）を確保可能であることから，実験試料の物性測定や微量元素分析などをするにあたって，大きな試料が必要な場合にも有用です。さらに滑らかな減圧が可能であることから，火道上昇などに伴うマグマの減圧を模擬した実験も可能です。現在，これらの特徴を生かした共同研究が進められています。産総研の内熱式ガス圧装置を用いた高温高压実験にご興味・ご関心のある方は，どうぞお気軽にご相談下さい。

引用文献

- Nakatani, T., Kudo, T., & Suzuki, T. (2022). Experimental Constraints on Magma Storage Conditions of Two Caldera-Forming Eruptions at Towada Volcano, Japan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, e2021JB023665.
- 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.
- Chen, K. X., Gung, Y., Kuo, B. Y., & Huang, T. Y. (2018). Crustal magmatism and deformation fabrics

in northeast Japan revealed by ambient noise tomography. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(10), 8891-8906.

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

Townsend, M., Huber, C., Degruyter, W., & 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(3), 1574-1591. <https://doi.org/10.1029/2018gc008103>

東宮昭彦 (2022) ガス圧装置を用いたマグマの高温高压相平衡実験. *火山*, 67(2), 印刷中.

鈴木敏弘, 高橋栄一, 仲井伯享, 鈴木一也, 竹田一夫, 西本武雄 (2004) 850 MPa 内熱式ガス圧装置の開発. *高压力の科学と技術*, 14(3), 225-229.

東宮昭彦 (2017) 高温高压ガス圧装置の移設. *IEVG ニュースレター*, Vol.4, No.3, p.10-11.

例えば産総研との委託研究においては、検討委員会と呼ばれる会議の設定や出席、議事録の作成、それに伴う諸連絡です。しかし、今回の出向での私の役割は、オンライン開催された検討委員会に参加し、委託業務が滞りなく進んでいることの確認など、この業務については事前に聞いていたものよりも補助的なものに留まった印象でした。

一方で、前任者が行っていた業務にはなかった、おそらく私に合わせて設定していただいた業務もあり、これが出向中の業務の中で最も大きな割合を占めていました。それは、侵食現象全般に関する知見を取得し、主に委託研究が適切に進むようコメントなどを行うことでした。これまで産総研で担当していた委託研究では、隆起現象に関しては力を入れてきましたが、その先にある侵食現象に関してはまだそれほど議論を進めてはいませんでした。この業務に関わることで、規制庁側ではどのような現象に注目しているのか、現在どこに問題意識を持っているのか、また、産総研側に求めることや出向者として身に着けておいた方がよい知識などもわかってきました。例えば、産総研側に求めることの 하나가、野外調査や実験など、実際に起こっている現象に基づいた研究やその知識であり、実際に取り組んでいる委託研究もこれを良く満たしているのではないかと感じました。

他には、産総研の出版物に対して質問されたり、自身の出向中の業務を定期的に発表したりすることがありました。また、規制庁の業務の中で同僚と共著で書いていた論文は、出向が終了したのちも校正を進め、先日投稿しました。

一日の勤務スケジュール

登庁して、出勤簿に登庁時間を入れ、メールチェックなどから一日の業務に入ることは、これまでの研究生生活と同様でした。打ち合わせはその都度あり、班会と呼ばれる班内の研究発表の場が持ち回りでまわってきました。私は1年で4回ほど発表しました。外部とのオンライン会議もしばしばあり、庁内の会議室や自宅から参加しました。産総研にいた際は、グループでの研究発表やグループ内の他の

方と一緒に外部との打ち合わせに参加することなどはあまりなかったので、班内の繋がりが強い印象はありました。机の配置が対面なのも学生以来で、コミュニケーションが取りやすい環境でした。

私は締切に迫られるような業務もなかったことから、定時で出勤・退勤していました。自宅の最寄りのバス停からつくばセンター駅までのバスの本数が非常に少なく、終業時刻から15分以内に最寄りの地下鉄に乗らないと、電車・バス乗り換えの関係で1時間半ほど帰宅が遅くなることもあり、いつも駅までは早足でした。

出向者に求められること

どこに出向に行くかで求められる能力も違うと思いますが、ここでは規制庁へ出向に行った私が、こういう能力を持っていればより貢献できたかな、と思う点を書きます。出向中にたびたびされた質問、その内容が多岐にわたるのはもちろんのことですが、社会の中で現在進行中の話題に基づくことが多かった印象があります。これまで私の日々の研究の中では、ニュースで現在取り上げられる話題を扱ってきたことはまずなかったと思います。もちろん規制庁でもニュースで取り上げられた事象についてすぐに動き出すことはありませんが、内部で話題になることはしばしばあり、例えば最終処分場の文献調査については、付近の火山に関することがすぐに話題になりました。自分もそれに関して調べことはできますが、すぐに答えることはできなかったため、出向者には、日々の社会生活の中でアンテナを張って、柔軟に対応できる幅広い知識が必要だと感じました。これは社会の中で求められる研究者像とも離れていないので普通のことであるのですが、日々の専門的な研究に没頭していると中々気づかないものです。

おわりに

この出向経験、特に今回の業務内容は直接的に今後の研究活動に影響を与える可能性が高いこともあり、私のグループから規制庁へ出向することは、非常に有意義であると感じました。一方で、ワーク

ライフバランスについて、この出向で改めて考えさせられました。今回の出向中には毎日自宅から2時間以上かけて通勤することはありませんでした。もしコロナ渦でなかったら、普通であれば毎日通勤していたはずですが。朝6時に家を出て、帰りが19時半か21時、これだと息子の保育園の送迎ができないばかりか、毎日の息子の世話のほとんどができません。時短勤務を活用してもギリギリ送迎ができ

るか、難しいところです。しかし、今回の出向ではテレワークが多く、その間の出勤退勤も定時であったため、息子の世話の多くができました。産総研への通勤時間は10~20分程度であり、また裁量労働制も選べるため問題はないのですが、今後はコロナ渦でなくてもテレワークが自由に選択できる環境が私は望ましいと感じました。

受賞報告 篠原宏志招聘研究員が2022年度日本火山学会賞を受賞

活断層・火山研究部門の篠原宏志招聘研究員が2022年度日本火山学会賞を受賞しました。同賞は、日本の火山学の発展に対し長年において特段の貢献のあった個人または団体に贈られるものです。今回の受賞は5月13日に開催された2022年度第1回日本火山学会理事会で決定され、5月25日に開催された日本火山学会総会直後の授賞式で、西村太志会長から賞状が授与されました。

篠原氏の受賞研究テーマは「マグマ揮発性物質の観測・実験・モデリングに基づく火山現象解明への貢献」です。マグマのに含まれる揮発性物質は、気泡を形成することによりその挙動が様々な噴火過程の支配要因となるとともに、地表に放出された火山ガスの観測を通じて、地下のマグマ活動を評価する重要な指標となります。篠原氏は高温高压実験やモデリングに基づくマグマ熱水系の研究から、火山ガスの観測手法の開発・モニタリングへの応用に基づく噴火・火山ガス放出活動の解釈・モデル化を行ってきました。特に Kazahaya et al.(1994) で提唱された火道内マグマ対流モデルの幅広い火山現象への適用や、火山ガス組成の機器観測手法である Multi-GAS の開発応用などにより、国内外の火山ガス研究分野を牽引してきました。さらには、日本火山学会会長や IAVCEI (国際火山学および地球内部

化学協会) 執行役員、複数の国際誌の編集者などを務め、国際的な火山学コミュニティにおける日本の地位向上に寄与してきました。これらの日本の火山学の発展に対する長年の特段の貢献が認められ、2022年度日本火山学会賞授賞者に選定されました。

受賞者のコメント

今までの研究活動および学会活動を評価いただき、荣誉ある賞を受賞させていただきましたこと、光栄に存じます。私が行ってきたのは火山ガスという比較的狭い分野の研究ですが、産総研という環境にいることにより、さまざまな分野の研究者と協力・議論しながら研究を進めたことにより、火山学にもより広く貢献できたことが、今日の評価につながっていると考えております。今までの研究・議論などに協力していただいた多くの方々に感謝いたします。今後もこのような産総研の良さが失われないう、微力ながらお手伝いしていきたいと考えております。

参考リンク

2022年度日本火山学会各賞選考結果について
http://www.kazan-g.sakura.ne.jp/J/page_tpl_120.html

受賞報告 松本恵子研究員が 2022 年度日本火山学会研究奨励賞を受賞



活断層・火山研究部門大規模噴火研究グループの松本恵子研究員が 2022 年度日本火山学会研究奨励賞を受賞しました。同賞は、火山学に関する優れた論文を発表し、将来、火山学の発展への貢献が期待される 35 才以下の火山学会会員に贈られるものです。今回の受賞は 5 月 13 日に開催された 2022 年度第 1 回日本火山学会理事会で決定され、5 月 25 日に開催された日本火山学会総会直後の授賞式で、西村太志会長から賞状が授与されました。

松本氏の受賞研究テーマは「火山噴出物組織の形成・分解過程に着目した噴火ダイナミクスの再構築」です。マグマが地表に放出され固化した火山噴出物の組織には、マグマが上昇・噴火する過程で経てきた温度・圧力の変化や、地表近傍での熱水系や大気との相互作用の痕跡が刻まれています。松本氏は噴出物組織の形成・分解過程に着目し、火道浅部—噴煙内のマグマの噴火ダイナミクスや噴火推移を再構築する研究を行ってきました。安山岩マグマを噴出する代表的な火山である桜島、霧島山新燃岳、浅間山、口永良部島などの多様な噴火様式を対象として、その噴出物組織の形成過程から噴火直前～噴火中のマグマの温度—圧力—結晶化履歴を明らかにし、噴火推移との関係を明らかにしました。また、噴出物中にごく少量含まれる硫化鉍物の分解組織に着目し、噴出物の熱履歴や酸化反応履歴を解

析することにより、噴煙ダイナミクスの定量化を進めました。これらの業績は火山噴火現象の理解に大きく貢献する成果であるとともに、噴火の現状把握や事後予測に関する情報の提供に資する成果であり、将来も火山学の発展への貢献が期待されることから、2022 年度日本火山学会研究奨励賞授賞者に選定されました。

受賞者のコメント

これまでの研究の試行錯誤の過程を評価し、今後に期待いただき嬉しく思います。火山を対象に研究を続けられていることに驚いていますが、微小な鉍物組織の形成過程とダイナミックな活動を繋げるというテーマは自分の興味の方に沿っていたようです。研究を続けてこられたのは、推薦者の方々、同僚、研究仲間や先輩・後輩からの日々の励ましによるもので、深く感謝しています。この受賞を励みに、火山というテーマをさらに探求してみようと思います。

参考リンク

2022 年度日本火山学会各賞選考結果について
http://www.kazan-g.sakura.ne.jp/J/page_tpl_120.html

外部委員会等 活動報告 (2022年4月～5月)

2022年4月7日

南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会、地震防災対策強化地域判定会 (松本・板場出席 /web 会議)

2022年4月11日

地震調査研究推進本部地震調査委員会 (宮下・岡村出席 /web 会議)

2022年4月12日

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 (第2次) に関する外部評価委員会 (第1回) (田中 (observer) 出席 /web 会議)

2022年4月15日

第34回 (令和4年度第1回) 地震・火山噴火予知研究協議会 (田中出席 /web 会議)

2022年4月22日

令和4年度第1回東京都環境影響評価審議会第二部会 (宮越出席 /web 会議)

2022年4月26日

第67回科学技術・学術審議会総会 (田中出席 /web 会議)

2022年4月28日

令和4年度第1回東京都環境影響評価審議会総会 (宮越出席 /web 会議)

2022年5月11日

南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会、地震防災対策強化地域判定会 (松本・板場出席 /web 会議)

2022年5月16日

第235回地震予知連絡会 (今西・松本出席 /web 会議)

2022年5月31日

令和4年度第2回東京都環境影響評価審議会総会 (宮越出席 /web 会議)

IEVG ニュースレター Vol.9 No.2 (通巻50号)

2022年6月発行

発行・編集 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
活断層・火山研究部門
編集担当 黒坂朗子

問い合わせ 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

Tel: 029-861-3691 Fax: 029-861-3803

URL <https://unit.aist.go.jp/ievg/index.html>