

令和 2 年 6 月 25 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05616

研究課題名(和文) 巨大カルデラ噴火のマグマ溜まりにおける噴火準備過程の解明

研究課題名(英文) Pre-eruptive magma processes in a magma chamber that led to a catastrophic caldera-forming eruption

研究代表者

東宮 昭彦(Tomiya, Akihiko)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員

研究者番号：30357553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：巨大カルデラ噴火の前にマグマ溜まりでどのような噴火準備過程が起きているのかを、北海道の洞爺カルデラを対象として岩石学的手法をもとに解明した。噴火直前には大量の均質流紋岩マグマが深さ7km付近の主マグマ溜まりに長期間安定に溜まっていた。噴火の少なくとも数百年程度前から高温マグマが繰り返し注入されていたが、最後のマグマ混合は噴火直前(数日程度前)だったと推定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

洞爺カルデラのマグマ溜まりの深さ・温度、噴火準備過程、およびそのタイムスケール等を明らかにすることができ、カルデラ噴火のメカニズムへの理解の進展に貢献した。また、本研究結果をもとに、地球物理学的モデル化を進めていけば、将来巨大カルデラ噴火の前にどのようなことが観測され得るのかについての指針を与えることが可能と考えられ、防災上の意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：I conducted a series of petrological and petrographical studies on Toya caldera, Hokkaido, Japan, to investigate the pre-eruptive magma processes in the magma chamber that led to a catastrophic caldera-forming eruption. This study revealed that, just prior to the eruption, a large amount of homogeneous rhyolitic magma was stored at ca. 7 km in depth in the main magma chamber, which had stably existed for a long time. High-temperature magma had been repeatedly injected and mixed into the magma chamber since at least hundreds of years before the eruption, and the last magma mixing occurred just prior to or during the eruption.

研究分野：火山学

キーワード：マグマ・火成岩 噴火 火山 マグマ溜まり 洞爺カルデラ 斑晶 流紋岩 軽石

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 巨大カルデラ噴火研究の進展と必要性

巨大カルデラ噴火は、 100km^3 以上という大量のマグマが、地下のマグマ溜まりから爆発的に放出される現象である。マグマ溜まりは崩壊して、直上の地表にカルデラと呼ばれる直径 $10\sim 20\text{km}$ 程度の陥没地形を作る。噴火で発生した大規模火砕流が半径数十 km の範囲を焼き尽くす。吹き上がった大量の軽石・火山灰は数百 km 以上遠方まで降り注ぎ土地を荒廃させる。さらには世界に広がった火山灰微粒子が成層圏を覆って太陽光を遮り、数年にわたって地球を寒冷化させる。ひとたび巨大カルデラ噴火が起これば、一国が滅ぶだけでなく、全地球的に計り知れない影響が及ぶ。従ってその予測は、火山学上も防災上もきわめて重要である。我が国でも原発立地の問題でカルデラ噴火の危険性が注目を浴びるなど、日本のカルデラ火山を理解することが社会的にも求められている。

近年、巨大カルデラ噴火に関する研究が世界的に進んだ (Bachmann and Bergantz, 2008; Druitt et al., 2012; de Silva and Gregg, 2014 など)。それによると、カルデラ火山のマグマ溜まりは多くの時間、半分固化して (結晶を 50%程度含んで) 流動できない“マッシュ”と呼ばれる休眠状態にある。しかし活動再開時には、高温マグマの供給によりマッシュが“再流動化”して噴火に至る。従って、高温マグマ供給とマッシュ再流動化の詳細を理解することが鍵と言える。

(2) マグマ溜まりと噴火準備過程に関する研究の進展 (研究代表者のこれまでの研究より)

研究代表者はこれまで、岩石学的な手法によりマグマ過程を明らかにする研究を行ってきた。たとえば有珠火山 (北海道) については、斑晶鉱物の組織や化学組成の詳細な分析から過去 300 年間のマグマ溜まりの進化過程や噴火準備過程を明らかにするとともに (Tomiya and Takahashi, 2005)、高温高压岩石融解実験によりマグマ溜まりの温度・圧力条件を再現し、深さ約 10km と約 5km の 2ヶ所にマグマ溜まりがあることを明らかにしている (Tomiya et al., 2010; 平成 20~22 年度基盤研究(C)成果)。また、霧島山新燃岳 (九州) については、磁鉄斑晶の累帯構造を中心とした解析を行ない、地球物理学的観測データとも合わせ、2011 年噴火の噴火準備過程を明らかにするとともに、そのタイムスケールを推定した (Tomiya et al., 2013; 平成 23~25 年度基盤研究(C)成果)。その後、研究代表者は 2014 年 11 月~2015 年 12 月に米国オレゴン州立大学に長期滞在し、カルデラ研究の第一人者である Shanaka de Silva 教授とともに、洞爺カルデラ (北海道) の噴火の推移等について共同研究を開始した。本研究課題は、洞爺カルデラ噴火に関するこの共同研究を発展させたものである。

2. 研究の目的

(1) 主な目的

カルデラ噴火の前にマグマ溜まりでどのような噴火準備過程が起きているのかを、岩石学的手法をもとに解明する。特に、噴火直前のマグマ溜まりの温度・圧力 (深さ)、噴火直前のマグマ過程 (噴火トリガー)、噴火準備過程に要した時間スケール等を明らかにする。これらが明らかになれば、カルデラ噴火のメカニズムへの理解が進むことはもちろん、カルデラ噴火の前にもこのようなことが観測され得るのかを推定できる可能性があり、防災上の意義も大きい。

(2) 研究対象：洞爺カルデラ (北海道)

本研究の対象は、北海道の洞爺カルデラ等である。洞爺カルデラ噴火は、約 11 万年前に発生し、 20km^3 以上の火砕流 (洞爺火砕流) と 150km^3 以上の火山灰を放出している (町田・他, 1987)。カルデラ形成後には、中央部に中島火山、南縁に有珠火山、という後カルデラ火山ができていく。このうち有珠火山は日本有数の活火山である。

本研究の目的は、洞爺カルデラ噴火をもたらしただけのマグマ溜まりの噴火準備過程および噴火直前条件を明らかにすることである。具体的には、噴火前の高温マグマの混合過程やマッシュの再流動化過程、そのタイムスケール等を推定するとともに、マグマ溜まりの温度・圧力 (深さ)・含水量等を推定する。また、研究代表者は有珠火山研究の蓄積があるので、後カルデラ火山 (中島、有珠) と洞爺カルデラ本体との間における活動の関連性に関する手がかりを得ることも目指す。

3. 研究の方法

(1) 噴火準備過程の岩石学的推定

洞爺火砕流堆積物中の本質軽石 (洞爺軽石) の岩石学的分析を行う。軽石の全岩化学組成を XRF (蛍光 X 線) や ICP-MS (誘導結合プラズマ質量分析) 等で分析する。軽石中の斑晶鉱物やガラスの化学組成を EPMA (電子線マイクロアナライザ) や LA-ICP-MS (レーザーアブレーション ICP-MS) 等で分析する。これら化学組成分析から、噴火前に地下に存在したマグマの種類 (低温でシリカに富むマグマ~高温でシリカに乏しいマグマ) などを推定する。斑晶鉱物の累帯構造 (ゾーニング) の解析により、噴火前のマグマ条件 (温度・組成など) の変動を読み取る。また、累帯構造に見られる元素拡散パターンを見出し、拡散モデルで解析して拡散時間を求めることで、様々なマグマ過程の時間スケールを推定する。これにより、噴火前の高温マグマの混合過程やマッシュの再流動化過程のタイムスケール等を推定する。

(2) マグマ溜まり条件の岩石学的推定

ある化学組成のマグマが、ある鉱物組み合わせ（たとえば斜長石+石英+直方輝石）と平衡に共存できる温度・圧力条件は、熱力学的に制約できる。さらに、これら鉱物の化学組成（たとえば斜長石のアノサイト成分）や結晶度といった情報も組み合わせれば、さらに精度良く温度・圧力条件を絞り込むことができる。この原理に基づき、洞爺軽石の噴火直前の温度・圧力条件等を推定する。洞爺軽石（流紋岩質）の噴火直前のマグマ溜まりの条件に相当する高温（700～900℃程度）・高圧（500～3000気圧程度）条件下において、火山岩を実験で融解させるか、熱力学的モデルに基づく数値計算を行なうことによって、天然試料と同一の鉱物組み合わせ・鉱物組成等を再現する条件を推定することを行う。

(3) 関連研究

洞爺火砕流の噴火過程を正しく理解するためには、岩石学的知見だけでなく、地質学的背景も理解する必要がある。このため、現地周辺の地質調査に基づく層序の確認や、噴火年代の絞り込みも行なう。また、後カルデラ火山である有珠火山の活動について、洞爺システムの一貫という視点から再検討を試みる。

4. 研究成果

本研究により多岐にわたる成果が得られた。以下に代表的なものを記す。（引用のうち下線を付したものは、本研究に関する成果を含み研究代表者が主著・共著の文献）

(1) 洞爺火砕流堆積物の層序と噴火の推移

現地周辺の地質調査に基づき、洞爺火砕流堆積物の層序を再検討し、下位から順に unit 1 から unit 6 へと確立し直した（室蘭工業大学の後藤芳彦氏らとの共同研究）。これにより、以下の噴火推移が明らかになった（Goto et al., 2018; 東宮・宮城, 2020）。洞爺噴火の最初期には、ガラス質な火山灰が広く薄く飛散しており、水蒸気プリニー式噴火で始まったと考えられる（unit 1）。引き続き大規模なマグマ水蒸気噴火が発生し、大量の火砕流が高い噴出率で噴出した（unit 2）。大量のマグマの噴出によってマグマ溜まりの圧力が下がり、噴出レートは一旦低下した（unit 3）。マグマ溜まりが周囲より減圧されたことで、マグマ溜まりの天井が崩壊し、カルデラ陥没が始まった。カルデラ陥没とともに再び噴出レートが高くなり（unit 4）、大規模な火砕流が噴出した（unit 5～6）。洞爺火砕流の軽石は基本的に白色で均質であり、低温でシリカに富むマグマが主体であったが、噴火の末期（unit 6）には縞状や灰色を呈する不均質な軽石が多く噴出した。このことは、噴火の末期に高温でシリカに乏しいマグマが混入したことを示唆する。

(2) 洞爺軽石の全岩化学組成

上記で確立した層序に基づき、洞爺火砕流中の本質軽石（洞爺軽石）の全岩化学組成を分析した（東宮・他, 2019）。大半はシリカ（SiO₂）に富む均質な流紋岩であり、SiO₂=77～78 wt.%, K₂O≒2.9 wt.%に集中した。特に unit 1～5 は分析した全ての軽石が均質な流紋岩であった。一方、噴火末期（unit 6）では、白色軽石は基本的に上記の均質な流紋岩と同一組成を示すのに対して、縞状や灰色を呈する軽石はシリカやカリが少なく鉄やマグネシウムが高い（苦鉄質）。縞状～灰色軽石はシリカに乏しいマグマの混入を受けたということが、岩石学的にも確認できた。また、これらとは別に、シリカはあまり低くないのにカリが非常に低いグループが少量あり、低いものでは K₂O≒1 wt.%程度を示した。このことから、洞爺噴火に関与したマグマには、少なくとも次の3種が存在することが分かる：[1] 均質流紋岩マグマ（白色軽石ほぼそのものに相当；噴出物のほとんどを占める）、[2] 苦鉄質マグマ（縞状・灰色軽石に混入したもの；少量）、[3] 低 K₂O マグマ（カリが非常に低いグループ；きわめて少量）。噴火のほとんどの時期では、専ら 1 番目の均質流紋岩マグマが噴出していたが、噴火の末期にはこれら3種が混合しながら噴出したと考えられる。洞爺カルデラ噴火直前において、マグマシステムの主マグマ溜まりは均質流紋岩マグマから成り、このほかに副マグマ溜まりとして苦鉄質マグマや低 K₂O マグマなどが溜まっていたことが推定される。

(3) 洞爺軽石中の斑晶鉱物組成

上記の全岩化学組成分析結果に基づき、マグマ混合の影響が見えている噴火末期（unit 6）に特に着目して、軽石中の斑晶鉱物組成を分析した（東宮・他, 2019）。白色軽石中の斑晶は、主に斜長石、石英、直方輝石、磁鉄鉱であり、それぞれの化学組成はきわめて均質であった。斜長石はアノサイト組成（An=100×Ca/(Ca+Na+K) モル比）が An≒12、直方輝石は Mg 数（Mg*=100×Mg/(Mg+Fe) モル比）が Mg*≒26、磁鉄鉱は Mg/Mn≒0.25 に集中する。これらの斑晶を本研究では type-A 斑晶と呼ぶ。type-A 斑晶は、均質流紋岩マグマ（低温マグマ）と平衡であり、主マグマ溜まりの条件を反映するものと考えられる。これに対し縞状・灰色軽石では、type-A 斑晶が多く含まれるものの、type-A とは異なる化学組成を持つ様々なタイプの斑晶が見られた。これらのうち、高温でシリカに乏しいマグマ（高温マグマ）に由来すると考えられる斑晶、すなわち An の高い斜長石、Mg*の高い直方輝石や単斜輝石、Mg/Mn の高い磁鉄鉱、を type-B 斑晶と呼ぶ。また、type-A と type-B の中間的な組成を持つ斑晶を type-C 斑晶と呼ぶ。type-C 斑晶は、

低温マグマと高温マグマとの混合マグマに由来すると考えられる。type-C 斑晶には少なくとも3つのサブグループ (type-C1, C2, C3) が見出された。これらサブグループの存在は、マグマ混合が1回だけでなく複数回起きていたことを示す (Tomiya et al. in prep.)。

(4) 斑晶の累帯構造解析とマグマ過程の時間スケール

斜長石の An 値は主に Ca と Na の量比で決まるが、斜長石中の Ca-Na 相互拡散は極めて遅いため、結晶化の際にできた累帯構造が改変されずに残る。そこで、An 値の累帯構造から長期的なマグマ条件の変動を読み取った。まず type-A 斜長石は、累帯構造がきわめて均質で An 値の変動がほとんどなかった。このことから、type-A の結晶はその成長の間にマグマ条件がきわめて一定であり、主マグマ溜まりが長期間安定な状態にあったことがわかった。一方、type-B および type-C 斜長石の累帯構造を見ると、An 値が段階的に変動していた。これらの結晶は、その成長の間に何らかのイベントを複数回経てきたことがわかる。これらイベントは、マグマの条件 (組成・温度・圧力のいずれかあるいは全て) が急激に変化しており、マグマ混合が起きたというのが考えやすい。また、結晶成長速度を考慮すると、これらイベントは噴火の数十年～数百年程度前に起きていたとみられる。このことは、高温マグマの繰り返し注入によって、マグマ溜まり (マッシュ) の再流動化が少しずつ進行した過程を見ていると考えられる。

斜長石の Mg 濃度は、元素拡散によって時間とともに変化する。そこで、斜長石中の Mg の拡散プロファイルを利用して、マグマの条件変化が起きてから噴火までの時間スケール (= 拡散時間) を見積もった。その結果からも、type-B 結晶に記録されていたイベントは噴火の数百年かそれ以上前に起きたことが推定された。

噴火直前 (数日～数週間程度) のマグマ過程を見るには、元素拡散の速い磁鉄鉱中の Ti や Mg の濃度の拡散プロファイルを調べるのが適している (e.g., Tomiya et al., 2013)。type-A 磁鉄鉱の累帯構造の解析によると、高温マグマの混入を受けたはずの低温マグマ (type-A 斑晶) には加熱されたような証拠が見つからなかった。これは、高温マグマの最後の混入から噴火まではきわめて短時間 (数日以下) であったことを意味する。

これらをまとめると、高温マグマの注入によるマグマ混合が少なくとも数百年程度前から副マグマ溜まりでは複数回起こっていた一方で、主マグマ溜まりはそれらの影響を受けずに長期間安定した条件にあり、噴火のまさに直前 (数日以内) にこれらマグマが一気に混合して噴火に至った、ということが本研究で明らかになった (Tomiya et al. in prep.)。

(5) 洞爺噴火の主マグマ溜まりの温度・圧力条件

洞爺噴火の主マグマ溜まりは、きわめて均質で安定した条件にあった。よって、相平衡関係に基づく温度・圧力条件の推定には非常に適した対象である (e.g., Tomiya et al., 2010)。そこで、均質流紋岩マグマと type-A 斑晶の斑晶組み合わせ・化学組成を用いて、主マグマ溜まりの温度・圧力条件を推定した。洞爺軽石中に斑晶の量はきわめて少ない (数%以下)。このため、マグマ溜まりの温度・圧力はほぼリキダス (液相線) 上にあるとみてよい。洞爺の均質流紋岩組成について水飽和条件で得られた相図 (圧力-温度図) によると、低圧側で斜長石が、高圧側で石英がリキダス相にあり、その交点はおおよそ 180MPa・770～780°C 付近であった (Tomiya et al. in prep.)。よって、洞爺の主マグマ溜まりの温度圧力条件はこの付近にあったと考えられる。地殻の岩石の典型的な密度分布を仮定すると、180MPa は深さにして約 7km になる。これは、シリカに富むマグマについてこれまで求められた他の火山のマグマ溜まりの深さと同等の深さである (e.g., Tomiya et al., 2010)。

(6) 洞爺噴火の年代

洞爺カルデラ噴火は、約 11 万年前に発生したとされてきた。その年代値の根拠として、絶対年代 (放射年代など)・相対年代 (層位学的推定値) とともに様々な値が提案されている。しかし、研究者によって引用する年代値が異なるなど、多少の混乱がみられた。そこで、これまで得られている年代値を整理し、比較検討した。その結果、より精密な年代として、10.6 万年前 (あるいは 10.9±0.3 万年前) と考えるのが妥当であることが分かった (東宮・宮城, 2020)。

(7) 洞爺火砕流の体積

洞爺火砕流の体積は、これまでに様々な推定値があるが、噴火後 10 万年以上の間に大半の堆積物は浸食で失われたほか、噴出物の一部は海中に没してそもそも残らなかったため、不確実性が非常に大きかった。そこで、地質調査で判明している堆積物の量と火砕流の数値シミュレーションで予想される堆積物の量をマッチングすることで、妥当と考えられる噴出量を推定することを行った (産総研の宝田晋治氏らとの共同研究)。その結果、浸食で失われた分や海に没した分まで含めた火砕流の体積は、見かけで 80～160 km³、DRE (岩石換算体積) で 38～77 km³ に達すると推定された (宝田・他, 2018)。

(8) 後カルデラ火山に与えた影響

洞爺カルデラのマグマシステムは巨大でありその堆積物は広域に分厚く分布した。その影響は後カルデラ火山である中島火山や有珠火山にも影響を与えている。洞爺・中島・有珠の噴出物の全岩化学組成からは、これらのマグマの間に関連性が見出された。今後の研究でこれらの関係

をより深く明らかにしていきたい。分厚いが柔らかい洞爺火砕流堆積物の上に構築された有珠火山の山体は、通常の火山よりも力学的に不安定であり、山体成長からきわめて短時間で山体崩壊に至ったことが明らかになった (Goto et al., 2019)。また、有珠火山に特徴的な潜在ドームの形成も、山体基盤の柔らかさが要因である可能性が示唆された (Goto and Tomiya, 2019)。

(9) 本研究の波及効果

本研究では、洞爺カルデラ噴火前にマグマ溜まりで何が起きていたのかを読み取るために、噴出物を岩石学的な手法によって解析した。そして、洞爺カルデラのマグマ溜まりの深さ・温度、噴火準備過程、およびそのタイムスケール等を明らかにすることができ、カルデラ噴火のメカニズムへの理解の進展に貢献した。また、本研究結果をもとに、地球物理学的モデル化を進めていけば、将来巨大カルデラ噴火の前にどのようなことが観測され得るのか、についての指針を与えることが可能になるであろう。このことは、防災上の意義も大きいと考えられる。

<引用文献>

- ① Bachmann, O. and Bergantz, G. (2008) The magma reservoirs that feed supereruptions. *Elements*, 4, p.17-21.
- ② de Silva, S. L. and Gregg, P. M. (2014) Thermomechanical feedbacks in magmatic systems: Implications for growth, longevity, and evolution of large caldera-forming magma reservoirs and their supereruptions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 282, p.77-91.
- ③ Druitt, T. H., Costa, F., Deloule, E., Dungan, M. and Scaillet, B. (2012) Decadal to monthly timescales of magma transfer and reservoir growth at a caldera volcano. *Nature*, 482, p.77-80.
- ④ Goto, Y. and Tomiya, A. (2019) Internal Structures and Growth Style of a Quaternary Subaerial Rhyodacite Cryptodome at Ogariyama, Usu Volcano, Hokkaido, Japan. *Frontiers in Earth Science*, 7:66, doi:10.3389/feart.2019.00066.
- ⑤ Goto, Y., Suzuki, K., Shinya, T., Yamauchi, A., Miyoshi, M., Danhara, T. and Tomiya, A. (2018) Stratigraphy and lithofacies of the Toya Ignimbrite in southwestern Hokkaido, Japan: Insights into the caldera-forming eruption at Toya caldera. *Journal of Geography*, 127, p.191-227.
- ⑥ Goto, A., Danhara, T. and Tomiya, A. (2019) Catastrophic sector collapse at Usu volcano, Hokkaido, Japan: failure of a young edifice built on soft substratum. *Bulletin of Volcanology*, 81, Article 37, doi:10.1007/s00445-019-1293-x.
- ⑦ Gualda, G. A. R, Ghiorso, M. S., Lemons, R. V. and Carley, T. L. (2012) Rhyolite-MELTS: a modified calibration of MELTS optimized for silica-rich, fluid-bearing magmatic systems. *Journal of Petrology*, 53, p.875-890.
- ⑧ 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編 火山灰アトラス. 東京大学出版会, 東京, 336p.
- ⑨ 町田 洋・新井房夫・宮内崇裕・奥村晃史 (1987) 北日本を広くおおう洞爺火山灰. 第四紀研究, 26, p.129-145.
- ⑩ 宝田晋治・宮城磯治・東宮昭彦 (2018) 洞爺及び屈斜路火砕流の分布と噴出量推定. 日本火山学会講演予稿集 2018 年度秋季大会, p.116-116.
- ⑪ 東宮昭彦・宮城磯治 (2020) 洞爺噴火の年代値. 火山, 65, 13-18.
- ⑫ Tomiya, A. and Takahashi, E. (2005): Evolution of the magma chamber beneath Usu Volcano since 1663: A natural laboratory for observing changing phenocryst compositions and textures. *Journal of Petrology*, 46, p.2395-2426.
- ⑬ Tomiya, A. Takahashi, E., Furukawa, N. and Suzuki, T. (2010): Depth and evolution of a silicic magma chamber: Melting experiments on a low-K rhyolite from Usu Volcano, Japan. *Journal of Petrology*, 51, p.1333-1354.
- ⑭ Tomiya, A., Miyagi, I., Saito, G. and Geshi, N. (2013): Short time scales of magma-mixing processes prior to the 2011 eruption of Shinmoedake volcano, Kirishima volcanic group, Japan. *Bulletin of Volcanology*, 75, Article 750, doi:10.1007/s00445-013-0750-1.
- ⑮ 東宮昭彦・後藤芳彦・檀原 徹・de Silva, S. L. (2019) 洞爺カルデラ噴火をもたらしたマグマシステム. 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SVC36-04.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 東宮 昭彦、宮城 磯治	4. 巻 65
2. 論文標題 洞爺噴火の年代値	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 火山	6. 最初と最後の頁 13~18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.18940/kazan.65.1_13	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Goto Yoshihiko, Danhara Tohru, Tomiya Akihiko	4. 巻 81
2. 論文標題 Catastrophic sector collapse at Usu volcano, Hokkaido, Japan: failure of a young edifice built on soft substratum	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of Volcanology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s00445-019-1293-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Goto Yoshihiko, Tomiya Akihiko	4. 巻 7
2. 論文標題 Internal Structures and Growth Style of a Quaternary Subaerial Rhyodacite Cryptodome at Ogariyama, Usu Volcano, Hokkaido, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3389/feart.2019.00066	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Togashi Shigeo, Kita Noriko T., Tomiya Akihiko, Morishita Yuichi	4. 巻 210
2. 論文標題 Magmatic evolution of lunar highland rocks estimated from trace elements in plagioclase: A new bulk silicate Moon model with sub-chondritic Ti/Ba, Sr/Ba, and Sr/Al ratios	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 152~183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1016/j.gca.2017.04.031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Goto, Y., Suzuki, K., Shinya, T., Yamauchi, A., Miyoshi, M., Danhara, T., Tomiya, A.	4. 巻 127
2. 論文標題 Stratigraphy and Lithofacies of the Toya Ignimbrite in Southwestern Hokkaido, Japan: Insights into the Caldera-forming Eruption at Toya Caldera.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Geography	6. 最初と最後の頁 191 ~ 227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.5026/jgeography.127.191	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 長谷川 健、松本亜希子、東宮昭彦、中川光弘	4. 巻 127
2. 論文標題 大規模カルデラ形成噴火と活動的後カルデラ火山 北海道南西部, 洞爺カルデラと有珠火山の地質概説および露頭紹介	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 地学雑誌	6. 最初と最後の頁 289 ~ 301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.5026/jgeography.127.289	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 東宮昭彦	4. 巻 68
2. 論文標題 噴火準備過程の岩石学的解析に関する国際ワークショップ (PAPEMP)発表概要	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 地質調査研究報告	6. 最初と最後の頁 177 ~ 182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 東宮昭彦	4. 巻 4
2. 論文標題 高温高压ガス圧装置の移設	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEVGニュースレター	6. 最初と最後の頁 10 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 東宮昭彦	4. 巻 61
2. 論文標題 マグマ溜まり：噴火準備過程と噴火開始条件	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 火山	6. 最初と最後の頁 281-294
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Satoshi Okumura, Tomofumi Kozono, Hans Keppler, Akihiko Tomiya, and Masashi Ushioda
2. 発表標題 Petrological, Experimental, and Theoretical Studies of the Sub-Plinian Eruptions during the 2011 Shinmoedake (Kirishima Volcano, Japan) Eruption
3. 学会等名 27th IUGG General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihiko Goto, Tohru Danhara, Akihiko Tomiya
2. 発表標題 Evolutional History of Toya Caldera, Hokkaido, Japan: Since 1.6 Ma to the Present
3. 学会等名 27th IUGG General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihiko Goto, Akihiko Tomiya
2. 発表標題 Internal Structures and Growth Style of a Quaternary Subaerial Rhyodacite Cryptodome at Ogariyama, Usu Volcano, Japan: Comparison with Subaqueous Cryptodomes
3. 学会等名 27th IUGG General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 東宮 昭彦、後藤芳彦、檀原 徹、Shanaka L de Silva
2. 発表標題 洞爺カルデラ噴火をもたらしたマグマシステム
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoka Ohnishi, Akihiko Tomiya
2. 発表標題 Magmatic conditions prior to the 2000 eruption of Usu volcano, Japan
3. 学会等名 JpGU2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大西里佳、東宮昭彦
2. 発表標題 有珠火山2000年噴火の噴火準備過程
3. 学会等名 日本火山学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akihiko Tomiya, Yoshihiko Goto, Tohru Danhara, Shanaka L de Silva
2. 発表標題 Trigger of the Toya ignimbrite eruption, Japan: short-time mixing of multiple magma batches with high-silica rhyolite
3. 学会等名 2018 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 東宮昭彦
2. 発表標題 岩石学的にみた噴火準備過程と噴火開始条件
3. 学会等名 日本火山学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomiya, A., Goto, Y., Danhara, T., Shanaka de Silva
2. 発表標題 Magmatic conditions and prerruptive magma proceses of the catastrophic eruption of high-silica rhyolite from Toya caldera, Japan
3. 学会等名 IAVCEI2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomofumi Kozono, Hideki Ueda, Taku Ozawa, Toshiki Shimbori, Keiichi Fukui, Takehiro Koyaguchi, Eisuke Fujita, Akihiko Tomiya
2. 発表標題 The dynamics of the 2011 Kirishima-Shinmoe-dake eruptions, Japan, revealed by tiltmeter, satelite, and weather radar observations
3. 学会等名 IAVCEI2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 東宮 昭彦
2. 発表標題 Introduction to the International Workshop on Petrological Analysis of Pre-eruptive Magma Processes (PAPEMP)
3. 学会等名 International Workshop on Petrological Analysis of Pre-eruptive Magma Processes (PAPEMP)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 東宮 昭彦、後藤 芳彦、檀原 徹、Shanaka de Silva
2. 発表標題 洞爺火砕流の噴火直前マグマプロセス
3. 学会等名 日本火山学会2016年度秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 東宮 昭彦、後藤 芳彦、檀原 徹、Shanaka de Silva
2. 発表標題 Preeruptive magma processes of the catastrophic eruption of high-silica rhyolite from Toya caldera, Japan
3. 学会等名 第6回国際陥没カルデラワークショップ（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 東宮 昭彦、後藤 芳彦、檀原 徹、Shanaka de Silva
2. 発表標題 Preeruptive processes of the eruption of high-silica rhyolite from Toya caldera, Japan
3. 学会等名 Goldschmidt2016（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本地球惑星科学連合（共編著）	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東京大学出版会	5. 総ページ数 280
3. 書名 地球・惑星・生命	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----