

令和元年6月29日現在

機関番号：51601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01322

研究課題名(和文) 希ガス同位体を用いて爆発的噴火の準備過程が熱水活動に与える影響の検討

研究課題名(英文) Preliminary evaluation of influence of magmatic process on geo-/hydro-thermal activity prior to explosive eruption using noble gas isotopes

研究代表者

佐藤 佳子 (SATO, KEIKO)

福島工業高等専門学校・化学・バイオ工学科・特命准教授

研究者番号：40359196

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：希ガスの化学的に不活性な性質のトレーサー適用を、火山岩やスコリア質の溶岩の発泡度や緻密度といった岩石組織や石基部分の構造とあわせて検討したところ、脱ガス過程、マグマへの溶解度を反映する変動がみられた。また火山噴火準備過程解明のため、2016年以降カルデラ湖の水、温泉周辺の噴気を採取し、希ガス同位体比変動を検討したところ、質量分析計で測定十分なヘリウム量を採取できたため、軽い質量数の希ガスにわずかな同位体異常を検出した。先行的に採取した蔵王周辺の温泉水湧水などと共に、同位体によるマグマ起源物質の寄与の検討を行い、わずかながらマントル起源物質の寄与が推定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

最近10万年程度の火山活動史が正確に編年されることは、防災の観点から極めて重要である。一方、カルデラ形成を伴うような中小規模～爆発的噴火が10万～近年にかけて見かけ上集中しているため、この範囲の放射年代を精度良く決める事は非常に困難でもある。加えて、そのような爆発的噴火の準備過程が中小規模噴火と同一の噴火様式か否か、必ずしも確かな知見は得られていない。この中で、火山岩全般への適用範囲の広いK-Ar年代と噴出物や熱水・湧水等の希ガス同位体分析から、同位体比の変遷を測定し、異常を読み解き、火山ガス放出の時間変遷と・爆発的噴火への準備過程への制約を試みる。

研究成果の概要(英文)： Noble gases have unique characteristics that they are rarely combined with other chemicals as their very stable nature. In order to expand their application for geochemical tracer, we investigated their variation compared to the volcanogeological natures of the eruption products. A crater lake water sampled from L. Okama and a fumarole gas nearby hot spring were cramped and sealed into Cu-tubing since 2016 autumn, in order to evaluate preparation of eruption. Sufficient amount of He was successfully extracted from the sampled water and transferred to mass spectrometer. He isotope compositions were slightly but significantly deviated from atmospheric composition. According to the mixing extrapolation to mantle  $4\text{He}/20\text{Ne}$  values from the sample  $3\text{He}/4\text{He}$  a possible contribution of subcontinental mantle helium was inferred to the crater lake water.

研究分野：同位体地球化学、災害科学、地球惑星科学

キーワード：希ガス 火山噴火準備過程 熱水 湖水 温泉 火山層序 噴気 同位体

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

火山防災の観点からは、最近 10 万年程度の活動史を正確に知ることが重要である。これは主に、カルデラ形成を伴うような中小規模～爆発的噴火が 10 万～数千年前に見かけ上集中していることによる。巨大カルデラを形成するような巨大噴火ばかりでなく、山頂カルデラの形成にとどまるような火山爆発指数(VEI)で 3-4 程度の大噴火であっても、近隣地域環境への影響は大きい。2000-2001 年有珠山噴火の火山爆発指数(VEI)は 2 にとどまることから、これは十分に理解される。中でも東北地方の活火山には約 10～3 万年前に最新の活動を開始した活動的な火山が多く、最新期に多数回の噴火を繰り返している傾向がある。噴火の多くは火山爆発指数(VEI)が 2 以下のいわば中小規模噴火であるものの、VEI が 3-4 の大規模噴火も見られる。このような大規模噴火に伴い、山頂カルデラが形成されていることが多い。そのため、火山の噴火頻度も比較的多く、火山爆発指数(VEI)が 2 以下の中小規模噴火と 3-4 程度以上の山頂カルデラ形成噴火とでの噴火準備過程の違いを解明することが、火山噴火の活動度を見積もるために重要となる。

また、数万年程度の放射年代を精度良く決めることは、用いられる放射性同位体の壊変定数との関係で非常に困難である。若い年代の決定に適した炭素 14 年代の理論的限界は 6 万年、実用的には 4 万年程度である一方、K-Ar 年代はカリウム-40 の半減期が 12.7 億年であることから、10 万年程度よりも若い年代を得ることは技術的に容易ではない。また、火山噴出物の大半は、カリウム鉱物が少なく、低カリウム鉱物での測定範囲を広げることは、年代値のバイアスを避けるためにもまた技術的にも重要である。近年の極微量分析の進展により、クラス 1000 程度の清浄なクリーンルームの普及により低ランクでのカリウム分析を可能とし、定量限界および分析精度を向上させつつある。カリウム鉱物を含まない火山岩への適応も現実的になってきている。また、K-Ar 系年代測定の前提とされている閉鎖系成立時点でのアルゴン同位体比が現在大気同位体組成を実現しているという、いわゆる大気の初生比の仮定は、希ガス同位体の動力学的非平衡状態でもある急激な発泡、爆発的噴火、マグマ水蒸気爆発などに随伴する同位体交換、急冷など実際の噴火過程において、必ずしも実現されないことが判ってきている(e.g. Kumagai et al., 1998; 武部ほか, 地質学会, 2009; 佐藤ほか, 火山学会, 2013; 山崎ほか, 火山学会, 2014; Yamasaki et al., AGU fall meeting, 2014)。

加えて、マントルからの直接的マグマ供給を必ずしも要しない島弧火山にあっても、定常的活動で採取される噴気や温泉(熱水・湧水を含む)、マグマだまりで晶出する斑晶鉱物の組み合わせなどから、ヘリウム(He)やネオン(Ne)などのマントル由来と考えざるを得ない希ガス同位体比異常が見いだされてきている(堀口・松田, 地球惑星科学連合大会, 2011; 佐藤ほか, 地球化学会, 2015)。例えば活火山の一つである蔵王火山では、火砕岩の一部に異常に濃集したクリプトン(Kr)やキセノン(Xe)といった重い希ガスが見いだされたばかりでなく、古い地殻物質の同化を示唆する放射壊変起源同位体の大幅な付加も認められている(佐藤ら, 質量分析学会同位体比部会, 2009, 日本火山学会, 2013)。

このような深部物質や熱の供給が噴火の爆発性とどの程度関連しているのか定量的に判断する必要がある。よって、質量分別の大きな初生同位体比を持つ試料や、苦鉄質鉱物を含む火山岩などの K-Ar 年代測定と全希ガスの同位体測定を行い、開放系マグマだまりからの脱ガスによる同位体分別を指標として揮発性成分の流入の影響を検討する。噴出物の主成分元素組成、即ち、深部からの苦鉄質マグマの供給と混合の程度とがさほど変化がないのにもかかわらず、爆発性が噴火ごとに異なっていることは珍しいことではない。さらに、一輪廻の噴火の間であっても爆発性が大きく異なってくることもある。この差異はもっぱら噴火準備過程の場であるマグマ溜まりのガスがタイトであり、揮発性成分の保持の程度に依存しているとの見通しが一般的である。

斑晶鉱物含有物の含水量や熱水・湧水・温泉等への湧出ガスなどからの間接的推定に頼っている現状がある。しかし、含水量はマグマ溜まりという系への付加とそこからの逸失の違いから来る正味の増減を反映するに過ぎないので、経時的な揮発性成分供給あるいは逸失の変化を追跡することは難しい。しかし、特に希ガス同位体組成に反映される同位体分別効果を指標とすることで、追跡することが出来る。

### 2. 研究の目的

最近 10 万年程度の火山活動史が正確に編年されることは、防災の観点から極めて重要である。これは、カルデラ形成を伴うような中小規模～爆発的噴火が 10 万～近年にかけて見かけ上集中しているためであるが、この範囲の放射年代を精度良く決めることはまた非常に困難でもある。加えて、そのような中小規模～爆発的噴火の準備過程が中小規模噴火と同一の噴火様式であるか否かについては必ずしも確かな知見は得られていない。この中で、火山岩全般への適用範囲の広い K-Ar(カリウム-アルゴン)年代測定法と噴出物や熱水・湧水等の希ガス同位体分析から、正確な初生値の変遷を定常的に測定することで精度の向上を図ると共に、初生値異常を指標とし、過剰火山ガス放出の時間変遷と成因による爆発的噴火への準備過程への制約を試みる。

### 3. 研究の方法

東北地方の活動的火山において、強溶結火砕岩、それ以外の火砕岩、降下堆積物や溶岩につ

いて系統的初生希ガス同位体測定を行い、系統的に K-Ar 年代との関連を検討する。希ガスは、化学結合を作らず単原子分子として存在することから、元素間・同位体同士の分別は溶解度や拡散速度の違いなど物理化学的素過程の組み合わせで理解できる。この結果を利用し、K-Ar 年代の乱れをテフラ年代もしくは歴史記録により編まれている層序と比較することで検討する。年代乱れの主要な原因としては初生比異常を想定する。初生比異常の成因として、過剰の放射起源同位体の供給、動的非平衡状態での凍結による異常同位体分別が考えられることから、試料産状、そこから推定される定置過程の違いによる同位体変動に特に着目する。

山頂カルデラを伴っている東北地方の活動的火山（図 1：蔵王山など）においてカルデラ形成に伴う火砕物など非平衡状態での定置が期待できる火山噴出物について、系統的 K-Ar 年代測定、初生希ガス同位体比・元素存在度比測定を行う。試料としては、噴出物のスペクトル全般を対象とし、強溶結火砕岩、それ以外の火砕岩、降下火砕物や溶岩等の放出物や温泉水も対象とする。すなわち、希ガスは化学結合を作らず、単原子分子としてのガスとして存在することから、元素間・同位体同士の分別は溶解度や拡散速度の違いなど物理化学的素過程の組み合わせで理解できる。この結果を利用し、K-Ar 年代の乱れをテフラ年代もしくは歴史記録により編まれている層序と比較することで検討する。年代乱れの主要な原因としては異常初生比を想定する。異常初生比の成因として、過剰の放射起源同位体の供給、動的非平衡状態での凍結による異常同位体分別が考えられることから、試料産状、そこから推定される定置過程の違いによる同位体変動に特に着目する。

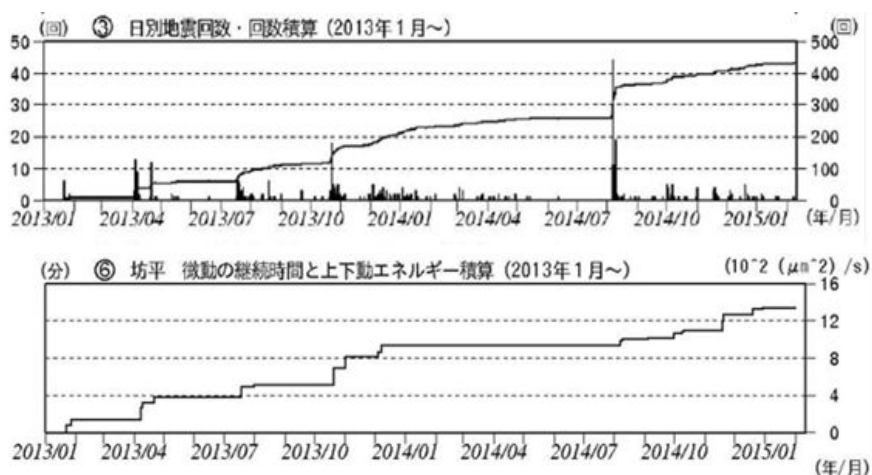


図 1 第 131 回火山噴火予知連絡会資料(その 8)東北地方(2015), 第 5 図蔵王山火山活動経過図(2010 年 9 月～2015 年 2 月 10 日)上図、下図より抜粋。2010 年 9 月 1 日から観測開始。2014 年 10 月から 2015 年 2 月 10 日にかけて火山性微動が 11 回発生した。

同位体分別効果を利用した混合マグマの進化経路識別の原理は以下ようになる。

希ガス元素間の存在度比(元素比)がマグマだまりからの脱ガスによって変化する様式として 2 つの場合が考えられる。1 つはマグマへの溶解度が異なることで生じる準静的分別で、発泡などで生じた気相とマグマとの間で溶解平衡に従ってマグマ中の希ガス濃度が変化し、気相の一部もしくはすべてがマグマだまりから逃げ出すことによる変化である。この場合には、マグマへの溶解度は軽くて原子半径の小さい軽い希ガス(He, Ne)が大きく、重く原子半径の大きい重い希ガス(Ar, Xe, Kr)が小さいことから、脱ガスの進行に伴って、軽元素/重元素比が大きくなる(例えば、He/Ar 比などが増大する)。一方、拡散による散逸など動力学的な過程では、軽い原子が質量数の比の平方根に逆比例して相対的に早く失われるため、軽元素/重元素比は小さくなる(模式図)。このように、気相が逃げ出すことによる元素分別は質量数もしくは元素に依存した系統的な変化を示すが、地殻物質の混染においては特定の放射起源同位体(アルゴン-40、キセノン-134、136 など)のみに増加がみられるので同位体組成の精密測定により区別できる。本研究の成否は、最適な試料をいかに系統的に確保して分析するかにかかっており、正確な火山地質学的知見に基づいた試料採取が必須である。現地調査は研究分担者の伴氏、連携研究者の武部氏を中心に行うものとし、以下の年次計画に含めて記述する。

代表の佐藤および、研究分担者の伴氏・山崎氏および連携研究者の武部氏が所蔵している蔵王火山での噴火試料を用い、記載や化学分析等を含め、精密カリウム定量及び希ガス同位体測定を開始する。特に下記の点に力を入れる。

- ・炭素 14 でカバーできないところをする
- ・ケーススタディーを行う
- ・薄片状での累帯構造などや包有物に対し、レーザーでの局所希ガス分析を試みる
- ・希ガス分析からマグマや温泉といった熱水の特徴を明らかにする

また、希ガス同位体測定に先立ち、レーザー溶融による微少領域測定に備え、質量分析装置の安定性を向上させるため、制御系の調整改良と前処理装置の改造を行い、連携研究者の熊谷と共に物理探査データとの比較解析も行う。

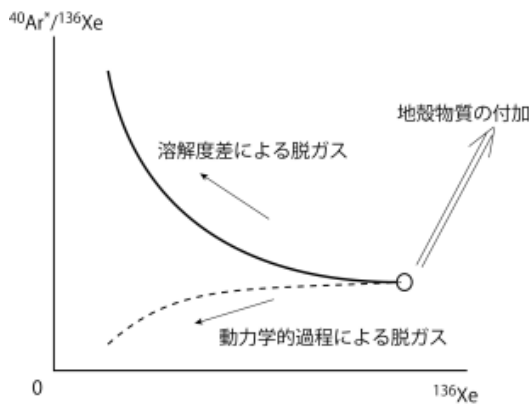


図2 希ガスの動的移動に関する模式図

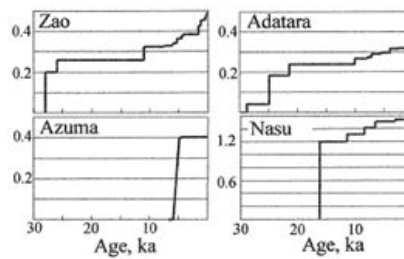


Fig. 3. Cumulative volume vs. eruptive age diagrams of Zao, Azuma, Adatarata, and Nasu volcanoes. Data sources are Yamamoto and Sakaguchi (2000) for Adatarata, Yamamoto (2005) for Azuma, Yamamoto (1997) for Nasu.

図3 伴(2006) 東北日本、中南部域の安山岩質活火山のマグマ供給系、P.368 図3より引用。蔵王、安達太良、吾妻、那須の噴出量と年代。

テクトニックセッティングの違いを検討するために、背弧側の鳥海山、それと東北北部の秋田駒ヶ岳を対象に追加する。蔵王火山が火山フロント上に位置するのに対し、鳥海山はより背弧側にあり、秋田駒ヶ岳はソレライト主体の火山としてマグマ供給系が異なることが予想されるため、比較対象として適切である。研究分担者の伴氏および連携研究者の武部氏が、鳥海火山については歴史時代噴火に関してある程度系統的な、秋田駒ヶ岳については若干の試料をそれぞれ所蔵しており、これを手がかりとして同位体分析を始める。その結果を踏まえて、平成29年度以降に現地調査を行い、系統的試料の確保を図った。

#### 4. 研究成果

##### (1) 火山岩中の初生希ガス組成

蔵王火山は東北地方中部に位置する複成火山で、約100万年前から活動を始め、現在まで活動を維持している。Takebe and Ban, (2011)において、約3万年前より始まった最新期活動では、珪長質のマグマだまりへの苦鉄質マグマの混合によって生成された玄武岩質安山岩混合マグマが活動していることを示した。また、中カリウム・カルクアルカリ系列に属すカンラン石±単斜輝石斜方輝石玄武岩質安山岩の岩石から成る。約3万年前以降の噴出物は下位から駒草平アグルチネート、馬の背アグルチネート、五色岳火砕岩に分けられている。駒草平アグルチネートは、熊野岳アグルチネート、駒草平火砕岩、刈田岳火砕岩に細分される。また、蔵王火山最新期噴出物(駒草平火砕岩、刈田岳火砕岩、馬の背アグルチネート)については、各々約30~54ka(1試料については約100ka)、約13ka、約5kaの年代がK-Ar年代が報告されている。

スパイクを用いないK-Ar年代測定(感度法)と、全希ガス同位体比も同時に測定を行った。熔岩が固結するとき、Ar同位体組成が大気と平衡に達することが前提となっているため初生同位体比は重要である。固結の際の非平衡動的過程などで同位体分別が生じ、初生Ar同位体比が現代大気と異なる場合、同位体分別の補正を行い年代決定する。Kaneoka(1980)によれば、火成岩の組成や噴出形態により火成岩に含まれる希ガス組成が異なることが示唆されているが、実際に確かめられた例は少ないため希ガスの同位体比や存在度を確かめる必要がある。

試料は各層準から、発泡度が高いものと低いものを新たに加え、初生比を含め比較検討を行い、希ガス同位体測定は、海洋研究開発機構に設置されているGV Instruments製GVI-5400Heを用いて行った。試料の大気混入率を下げるため、通常K-Ar年代測定で使用する粒状(60-80メッシュ)試料を測定に用いた。そこで、岩石(石基)に含まれる希ガス同位体において、Arよりも重い希ガスであるKr・Xeに関しては、同位体比は大気とほぼ同じであったが、存在度は低発泡度・高発泡度試料、YZおよびMZ94いずれでも、大気中の希ガス存在度の10~100倍濃集し、Kr、Xe同位体比については大気同位体組成に対して、有意な異常が認められた。

##### (2) 火山層序と最新期の年代測定

東北地方中部に位置する蔵王火山は、約3.5万年前に最新期活動が始まり、現在まで断続的に活動している。この活動でもたらされた噴出物の地質・岩石学的特徴について、山形大学では過去20年近く調査を続けてきた。今回、これまで得られたデータを比較検討したところ、噴出時期による噴出物の岩石学的相違点を多数見出した。この岩石学的特徴の違いと、そこから描かれるマグマ供給系の変遷を報告した(武部ほか、2016)。

蔵王火山最新期噴出物は少量の溶岩を除き火砕岩からなる。火砕岩は、古いものから、熊野岳火砕岩類、駒草平火砕岩類、刈田岳火砕岩類(3火砕岩類あわせて35-13ka)、馬の背アグルチネート(9-4ka)、五色岳火砕岩類(<2ka)の5つに分けられる。いずれも火山礫凝灰岩とアグルチネート主体で、アグロメレート、火山角礫岩や凝灰角礫岩も挟在する。

斑晶については、低An斜長石と低Mg#輝石は珪長質側マグマ由来、高An斜長石と高Foカ

ンラン石が苦鉄質側マグマ由来で、中間組成を持つ中 An 斜長石と中 Mg#輝石は両端成分マグマの混合過程で生じていると推定される。活動した端成分マグマは、火砕岩類毎に異なるものの、珩長質側マグマで SiO<sub>2</sub> = 60 wt. %前後、苦鉄質側マグマは SiO<sub>2</sub> = 50 wt. %前後と推定された。

火砕岩間における全岩化学組成の違いは、生成する端成分マグマ組成の違いを反映し、火砕岩類内における全岩化学組成の時間変化は、両端成分のマグマ混合比の違いで説明可能である。端成分マグマの圧力・含水量の変化は現在検討中で、今後考察を深める予定である。

### (3) 火山起源の水を含む湖水・湧水・温泉・噴気

蔵王火山は東北地方中部に位置する複成火山で、約 100 万年前から活動を始め、現在も活動を継続している活火山である。宮城・山形県境に位置する蔵王山では、東北地方太平洋沖地震の後、火山性微動、傾斜変動、火口湖である御釜の白濁等が観測され、2015 年と 2018 年に火口周辺警報が発表されたが、現在は警戒レベル 1 に戻っている。また、馬の背カルデラ内の丸山沢噴気地熱地帯では噴気や火山ガスの噴出等がみられる(気象庁 HP, 2019)。

火山ガスの噴気活動や温泉湧水などの希ガス同位体比に関しては、高岡(1985)、Sato et al., (2017)等によりヘリウム同位体比変動や He-Ne-Ar 同位体比変動などが報告されており、マグマ活動の活発化に伴う活火山の前兆現象などに関して、中長期的な観測が不可欠である事が示唆されている。火山ガスの成分は、一次成分であるマグマ起源のガスと地下水や周囲の岩石などから生じた二次成分との混合と考えられている。希ガスは化学的に不活性であるため混合の割合を見積もることが比較的容易であり、マグマ活動の活発化を観測上、非常に有益である。

希ガス(He, Ne)同位体測定を、佐藤・熊谷(2017)の新ゲッター技術を導入した前処理ラインで測定前処理を行い、海洋研究開発機構に設置されている GV Instruments 製 GVI-5400He を用いて測定した。試料の水～水蒸気混入率を下げるため、初段はシャーベット状となる氷温-15 度前後を用いて気相と液相の分離を行っている。He 同位体比については、標準大気スタンダードと、1983 年のかみのやま温泉ガスをリファレンスとし(e.g. Hanyu and Kaneoka 1997, Kumagai 1999, Tamura et al., 2005)、測定した。採取した試料は、山麓のかみのやま温泉の温泉水、御釜の湖水、丸山沢地熱噴気地帯の湧水から 2011 年以降に採取したものをを用いた。また、丸山沢やかみのやま温泉ガスに関しては、同採取地点の近年の試料(2011 年以降の採取ガス試料)から、得られた結果を高岡(1985)の過去の測定結果と比較し、希ガス同位体比の経年変動を検討する。また、He-Ne 同位体比を用いて、温泉水などへのマグマからの寄与の判定を行ったところ深部起源の同位体混合の影響が見られた。He 同位体比に関しては大気同位体比(1Ra=<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He atmosphere)より有意に高くなかったが、<sup>4</sup>He/<sup>3</sup>He 比と <sup>4</sup>He/<sup>20</sup>Ne 比を用いた 3 成分系で比較することで、深部起源同位体比の証拠となる結果が得られた。そこでマグマ起源希ガスの寄与の有無も含め、最新期火山の活動状況を希ガス同位体比を用いて検討を行った。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 25 件)

- 1) M. Ban, Y. Takebe, T. Adachi, R. Matsui, Y. Nishi, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 91, 25-39, 2016
- 2) 山崎誠子, IEVG ニュースレター, 3, no. 6, 8-10, 2016 (査読無)
- 3) 鈴木勝彦, 熊谷英憲, 海底熱水鉱床の成り立ち調査手法の確立に向けて, 25-28
- 4) K. Sato, H. Kawabata, D. W. Scholl, H. Hyodo, K. Takahashi, K. Suzuki, H. Kumagai, Deep Sea Research II, 214-226
- 5) 佐藤佳子, 熊谷英憲, JAMSTEC イノベーションニュース, 460s (査読無)
- 6) S. Sato, M. Ban, T. Oikawa, S. Yamasaki, Y. Nishi, Volcanoes: InTech, 2017, DOI: 10.5772/intechopen.71677
- 7) 江本久雄, 十亀陽一郎, 佐藤佳子, 福島工業高等専門学校研究紀要, 47-52, 2017
- 8) M.W. Broadley, R. Burgess, H. Kumagai, N.M. Curran, C.J. Ballentine, Geochemistry Geophysics Geosystems, 18, 2413-2428, 2017
- 9) 山崎誠子, フィッション・トラック ニュースレター, 29, 11-13, 2016 (査読無)
- 10) 山崎誠子, 星住英夫, 松本哲一, 火山, 61 巻, 519-531, 2016
- 11) J. Miyazaki, S. Kawagucci, A. Makabe, A. Takahashi, K. Kitada, J. Torimoto, Y. Matsui, E. Tasumi, T. Shibuya, K. Nakamura, S. Horai, S. Sato, J. Ishibashi, H. Kanzaki, S. Nakagawa, M. Hirai, Y. Takaki, K. Okino, H. K. Watanabe, H. Kumagai, C. Chen, Royal Society Open Science, 4, 171570, 2017
- 12) H. Hyodo, K. Sato, H. Kumagai, KURRI Progress Report 2017, 29112, 2018
- 13) J. F. Jimenez-Espejo, A. Garcia-Alix, N. Harada, A. Bahrd, S. Sakai, K. Iijima, Q. Chang, K. Sato, K. Suzuki, N. Ohkouchi, Journal of Asian Earth Sciences, 156, 189-200, 2018
- 14) 佐藤佳子, 熊谷英憲, JAMSTEC シーズ集, 467pp., 2018
- 15) R. Oizumi, M. Ban, N. Iwata, Open Journal of Geology, 8, 647-661, 2018, doi:// 10.4236/ojg.2018.87038
- 16) H. Kumagai, K. Kitada, A. Takahashi, JAMSTEC Report of Research and Development, 27, 68-76, 2018
- 17) H. Kumagai, T. Nozaki, J.-I. Ishibashi, T. Saruhashi, L. Maeda, Y. Kubo, K. Takai, The Twenty-eighth (2018) International Ocean and Polar Engineering Conference, 2018
- 18) T. Yamagishi, S. Fuchida, M. Katsumata, Y. Horie, F. Mori, A. Kitayama, M. Kawachi, H. Koshikawa, T. Nozaki, H. Kumagai, J.-I. Ishibashi, ECOTOXICOLOGY, 27, 1303-1309, 2018
- 19) 蛭川清隆, 豊田新, 中川益生, 藤原泰誠, 山本勲, 熊谷英憲, 木下正高, 久保信, 芦寿一郎, ESR 応用計測, 35, 4-11, 2018 (査読無)
- 20) S. Fuchida, J.-I. Ishibashi, K. Shimada, T. Nozaki, H. Kumagai, M. Kawachi, Y. Matsushita, H. Koshikawa, GEOCHEMICAL TRANSACTIONS, 19, 2018
- 21) 山崎誠子, ESR 応用計測, 34, 46p., 2018 (査読無)
- 22) T. Nozaki, T. Nikaido, T. Onoue, Y. Takaya, K. Sato, J. Kimura, Q. Chang, D. Yamashita, H. Sato, K. Suzuki, Y. Kato, A. Matsuoka, J Asian Earth Sciences: X, 1, 1-9, 2019
- 23) Y. Nishi, M. Ban, M. Takebe, M.A. Alvarez-Valero, T. Oikawa, S. Yamasaki, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 371, 137-161, 2019
- 24) 佐藤佳子, 榎田拳, 齋藤詩乃, 菅家拓巳, 江本

久雄, 熊谷英憲, 福島工業高等専門学校研究紀要, 59, 37-44, 2018

25) 山崎誠子, GSJ 地質ニュース, 7, no.5, 126-130, 2018 (査読無)

[ Proceedings ] (計 11 件)

- 1) Y. Nishi, M. Ban, T. Oikawa, S. Yamasaki, S. Sato, A. M. Alvarez-Valero, R. Shinjo, Goldschmidt Conference 2016, 08b-53, 2288pp., 2016
- 2) A.M. Alvarez-Valero, R. Burgess, M.A. Barcena, E. Fraile-Nuez, M. Ban, J.A. Flores, C. Recio, L. Ruzie, A. Geyer, S. Giralt, G. Recio, R. Jordan, Goldschmidt Conference 2016, 52, 2016
- 3) M. Ban, J-I. Kimura, T. Takahashi, Y. Uzawa, T. Ohba, A. Fujinawa, S. Hayashi, T. Yoshida, T. Miyazaki, Q. Chan, R. Senda, B. Vaglarov, Y. Tatsumi, Goldschmidt Conference 2016, 151, 2016
- 4) Y. Nishi, M. Ban, T. Oikawa, JPGU-AGU joint meeting 2017, 2017
- 5) K. Sato, Y. Takebe, S. Yamasaki, H. Kumagai,

- N. Iwata, M. Ban, JPGU-AGU joint meeting 2017, 2017
- 6) K. Sato, Y. Takebe, S. Yamasaki, H. Kumagai, N. Iwata, M. Ban, IAVCEI 2017 Meeting, 2017
- 7) S. Yamasaki, H., Hoshizumi, D. Miggins, A. Koppers, A. Matsumoto, IAVCEI 2017, 2017
- 8) H. Kumagai, K. Sato, M. Ban, N. Iwata, DINGUE 5<sup>th</sup>, 2017
- 9) M. Ban, T. Takahashi, T. Sato, S. Hayashi, T. Ohba, R. Shinjo, Y. Nishi, AOGS 15th Annual Meeting, 2018
- 10) M. Sato, M. Ban, JpGU-AGU Joint Meeting 2018, 2018
- 11) K. Sato, H. Kumagai, Conference on Mass Spectrometry and Proteomics (MSP 2018), 2018

[ 学会発表 ] (計 73 件)

紙面の都合、割愛する。2016年20件、2017年16件、2018年37件。学会発表に関しては、下記 website 参照。

佐藤佳子 <https://researchmap.jp/aporo13/>  
伴雅雄 <https://researchmap.jp/read0169359/>  
山崎誠子 <https://researchmap.jp/read0137016/>  
熊谷英憲 <https://researchmap.jp/HideKumagai>

[ 図書 ] (計 1 件)

1) 日本地方地質誌 2「東北地方」, 「東北地方」編集委員会、伴雅雄(副編集委員長), 朝倉書店, 693, 2017

[ 産業財産権 ]

出願状況 (計 2 件)

名称: 熱水のための希ガス精製システム  
発明者: 佐藤佳子, 熊谷英憲  
権利者: 海洋研究開発機構 (JAMSTEC)  
種類: 国内特許出願  
番号: 特願 2016-217844  
出願年: 2016  
国内外の別: 国内

名称: PREPROCESSING APPARATUS AND METHOD FOR GAS ANALYSIS  
発明者: Keiko Sato, Hidenori Kumagai  
権利者: JAMSTEC  
種類: ヨーロッパ特許新出願

番号: EP16201675.2  
出願年: 2016  
国内外の別: 国外

取得状況 (計 1 件)

名称: 熱水のための希ガス精製システム  
発明者: 佐藤佳子, 熊谷英憲  
権利者: 海洋研究開発機構 (JAMSTEC)  
種類: 国内特許特開  
番号: 特開 2017-106903  
出願年: 2017  
国内外の別: 国内

[ その他 ]

JAMSTEC ホームページ内、特許など技術公開シーズ集等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 伴 雅雄  
ローマ字氏名: Masao Ban  
所属研究機関名: 山形大学  
部局名: 理学部  
職名: 教授  
研究者番号 (8 桁): 50208724

(2) 研究分担者

研究分担者氏名: 山崎 誠子  
ローマ字氏名: Seiko Yamasaki  
所属研究機関名: 国立研究開発法人産業技術総合研究所  
部局名: 活断層・火山研究部門  
職名: 研究員

研究者番号 (8 桁): 90555236

(3) 研究協力者

研究協力者氏名: 熊谷 英憲  
ローマ字氏名: Hidenori Kumagai  
所属研究機関名: 国立研究開発法人海洋研究開発機構  
部局名: 海底資源研究開発センター  
研究者番号 (8 桁): 10344285

(4) 研究協力者

研究協力者氏名: 武部 義直  
ローマ字氏名: Yoshinori Takebe  
所属研究機関名: 山形大学  
部局名: 理学部  
研究者番号 (8 桁): 40771746

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。