

平成21年6月30日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18740348  
 研究課題名（和文） 希ガス同位体による断層破碎岩の摩擦熔融生成年代の若返りメカニズムの解明  
 研究課題名（英文） Age rejuvenation mechanism of simulated fault rocks at frictional melting indicated from noble gas signatures  
 研究代表者  
 佐藤 佳子（SATO KEIKO）  
 独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター・技術研究副主任  
 研究者番号：40359196

## 研究成果の概要：

天然の断層岩における希ガスを使用した年代測定の適用は、断層岩に含まれる生成鉱物の熟成度により異なり、断層の摩擦運動に起因する摩擦熱によって主に解釈される。また、断層岩は全熔融の判断が難しいため、容易に正しい年代を得ることはできない。そこで、断層岩を再現実験で検討し、摩擦熔融試験による原岩の熱変成及び変形破壊が、希ガス同位体測定を行い、希ガスの放出や吸着で岩石の年代が若返る仕組みを明らかにした。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,700,000	0	1,700,000
2007年度	1,500,000	0	1,500,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,700,000	150,000	3,850,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地球宇宙化学

キーワード：年代のリセット、摩擦熔融岩、希ガス同位体

## 1. 研究開始当初の背景

天然の断層岩において、その断層がいつでき、活動時間がどれくらいであったのかを知ること、また、その破碎後の過程においてどのような同位体獲得・微量分析獲得をへて今に至ったかを解析し解明することは重要である。断層摩擦岩の年代測定を行うことは過去の断層の周期などを求めるにあたり非常に重要であり、その年代獲得の仕組みと測定法の確立が求められている。カリウム-アルゴン/アルゴン-アルゴン年代測定法によって、断層岩で求められる年代はあくまでも冷却年代を示すのみで、それは鉱物が完全にリセットされる条件が必要であるため、かな

り高温で摩擦した断層岩でなければ、摩擦年代とすることは難しい。それに対しフィッシュトラック法などではむしろ低温で年代がリセットされるため、むしろその熱履歴をもとにした近年の断層の冷却年代を用いた熱履歴再現する方法により断層の熱的履歴を求めている。これらの解析は、陸上・海底の断層岩のみならず、同様の破碎傾向を持つ隕石などの衝撃破碎・大規模崩壊地形等の応用などへの検討も期待されている。

断層岩の年代値に関してあくまでもそこで晶出した鉱物のたどった履歴であり、断層岩のすべてを反映するものではないことが、年代決定を困難にしており、断層年代測定法

の確立なども含めた体系的な断層構造解析の理解のために様々なモデル実験が行われている。中でも、断層岩を摩擦実験のパラメータを様々に変えることにより実際にいろいろな場合での断層岩を作ってその断層岩の成因状況をモデル化しようという試みが構造地質を地球物理学的に解析するグループによって進められている。この摩擦実験に関し、鉱物の微細組織の観察による二次鉱物の組織、X線による化学定量分析、摩擦度・溶融温度等は、すでに行われているが、モデル実験においての年代リセットの確認、メルトと原岩の化学組成の変化、同位体比の変化などの確認は未だなされていなかった。

## 2. 研究の目的

断層岩は原岩が熱変成及び摩擦による変形を受けたものであるため、これをもっと単純化した再現実験で年代のリセットが確認しやすい希ガス同位体比測定・カリウム-アルゴン年代測定を用いて検討し、天然の断層年代のゼロ年代の条件を確かめることが必要である。

天然の岩石はすでに固結した地殻を形成する岩石により周囲を覆われているので、大気～マントルまでの組成範囲の中間的なアルゴン同位体比を持っていると考えられる。また、以前からのメルトガラス研究により天然の斑レイ岩質の MORB (中央海嶺玄武岩) ガラスは、ガラス化した表面からの距離により希ガス組成が変化することが知られていたため、今回使用する斑レイ岩質のモンゾナ閃緑岩も高速摩擦試験による摩擦溶融でガラス化した部分とそうでない部分とで組成が変化していることが予想される (Kumagai and Kaneoka, 2003)。希ガスは、化学的に不活性ガスであり、他の元素と結びつきにくい性質があるため、断層活動がおこった摩擦面ではガスが放出されるが、摩擦溶融をおこす断層面は一部分であり、完全に大気とアルゴン同位体比が平衡にならない限り完全な年代のリセットは起きない。そこで、摩擦溶融実験により、天然の断層岩のモデル化した再現年代が得られると考えられる。また、天然の断層岩を対比測定することにより天然の断層岩の年代測定への応用も検討する。

### (1) 特色・独創的な点

カリウム-アルゴン/アルゴン-アルゴン年代測定では、希ガス同位体の一種であるアルゴン同位体比を使ってその同位体比と $^{40}\text{Ar}$  ( $^{40}\text{Ar}$  アルゴン) の親元素であるカリウムから年代を決定する。対象とした摩擦溶融実験の出発物質として準備した岩石は、岩石内でカリウムの濃度のほぼ均質な細粒の斑レイ岩質のモンゾナ閃緑岩であるが、今回使用した高精度希ガス同位体専用質量分析計と

無塵化学実験室により、今までは測定不可能であった微量のカリウム濃度の岩石鉱物に対しても年代測定が可能となり、希ガス同位体比の挙動についても詳細な議論が可能となりつつある。回転式摩擦試験機による摩擦溶融時の温度測定により、1100～1150 度に上昇したとき、赤黄色メルトが形成されることがわかっている。一般的な岩石の溶融温度も1200 度前後であるので、断層岩が露出する大気と平衡になる条件は十分可能性が高いと考えられ、溶融前の赤熱時などを含め確認することで、天然の断層年代に対し応用できると考えられる。

### (2) 予想される結果と意義

摩擦実験に関しての基本的な力学的摩擦溶融実験は、摩擦による回転速度とその経過時間を時間関数によって温度上昇に制限を与えることがすでにわかっている。これに、摩擦溶融時に原岩 (出発物質) からメルトへ相転移を起こしながら晶出する際に、同位体的に平衡になるかどうかで、年代のリセットが完全に起こるかどうかが決まる。

したがって、希ガスの放出や吸着により年代が変化すると考えられ、それはより詳細な解析で、摩擦熱による質量数の違いによるアルゴン同位体の吸着や損失がどの程度起きるかを分析する。また、摩擦溶融時の雰囲気は大気とは異なる同位体組成の場合については、完全に溶融した岩石と部分溶融状態で放出したガスを分析することで天然の地震観測の再現になると考えられる。こうして、天然の断層岩においての年代値のリセットするために必要なガスの出入りを検出することが出来る。

### 3. 研究の方法

測定する摩擦溶融試料は、物理的なデータを同時に計測出来る高速摩擦試験機が世界に数台しかなく、専門家でないとその装置の実験は困難であるため、共同研究者立ち会いの下に実験を行った。この摩擦溶融実験は、回転式高速摩擦試験機を用いて行われ、実験条件を軸加重・回転速度・実験継続時間を様々に変えることができる。斑レイ岩類の摩擦溶融実験では、サンプルは実験終了まで大きく破壊されず、かなりの量の赤黄色のメルトが飛び散って、一部のメルトは断層面上に残される。

しかしながら、断層摩擦実験自体は実質的に地震学の応用のための物理計測を主軸に置く装置のため、試料の混染の危険性がある。必要に応じて摩擦溶融実験の際に地球化学の観点から混染のチェック等が必要である。また、検討事項として a) 摩擦溶融時にほこりなどの混染がないようにし摩擦溶融実験を行う、 b) 摩擦溶融時に通常空気雰囲気

で行い二次的なメルトガラス、破碎岩石（モデル断層岩）の採取を行う、c) 摩擦溶融時に大気以外の他のガス雰囲気で行い、放出ガスの測定を試みるなどの方法が有効である。

従って、摩擦溶融実験後の試料は、溶融面からの反応距離により、取り込まれた希ガス同位体、微量元素の移動などが起こっているため、溶融反応面から反応していない部分までを 3mm 以内の間の詳細な範囲で、確かめる必要がある。また、試料に応じて測定法を選定し、コンベンショナル K-Ar 年代測定および、希ガス同位体分析、局所レーザー溶融希ガス同位体分析及びカリウム-アルゴン年代測定、XRF による全岩分析を行う。

#### (1) バルク試料のコンベンショナルな測定

モデル断層岩の測定を行うための、コンベンショナルカリウム-アルゴン年代測定および、希ガス同位体分析は、海洋研究開発機構横須賀本部の希ガス同位体質量分析計

(GVI-5400) を用いて行った。また、原岩（出発物質）と二次物質であるメルトガラスの主要元素測定を XRF (RIX3000) により全岩分析を行った。コンベンショナルな希ガス同位体分析は、海洋研究開発機構・横須賀本部内の装置を用いて行った。

#### (2) 局所分析のための測定

局所分析を行うため、あらかじめ、摩擦面付近の薄片をつくり、岩石中の条件に近い斜長石にターゲットを絞って、局所分析を行うためのポイントを選定した。レーザー溶融希ガス同位体測定には高知コア研究所の希ガス同位体質量分析計 (GVI-5400) を用いた。

局所領域のカリウム分析や低カリウム分析を必要とするため、微量元素分析の前処理ラボ（無塵化学分析実験室）では、レーザー溶融カリウム-アルゴン年代測定に用いる微量カリウム分析を行うための手法開発を行った。また、単粒子年代測定のためのカリウム分析をクリーンルーム内で行い、薄片の年代測定のためのカリウム分析は、EPMA などで行う方法も試みた。

摩擦溶融岩は、実験的に作るため、色々な条件の分析検討が可能である。前段で述べたように溶融面からの 3mm 以内の距離に関わる物質移動・希ガス同位体移動などを検討しなければならないため、上で述べた局所領域分析法を希ガス同位体測定・カリウム-アルゴン年代測定の双方から行った。また、雰囲気を変えての放出ガス実験も行い、ガスの出入りを検討する。

### 4. 研究成果

#### (1) レーザーでの局所年代測定技術の開発

カリウム-アルゴン系の局所分析が可能な年代測定法としては、レーザー融解アルゴ

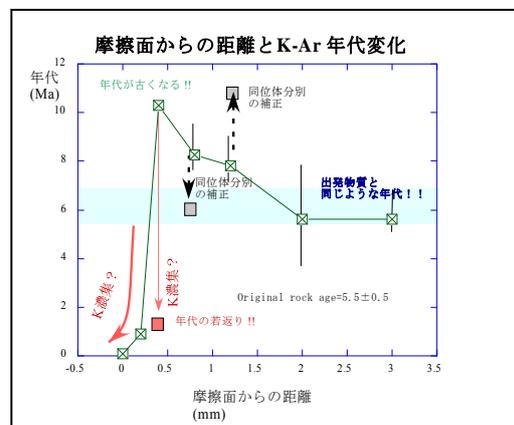
ン-アルゴン年代測定が一般に普及している。アルゴン-アルゴン年代測定法では、試料を放射化しなければならず、岩石や鉱物の持つアルゴン初生同位体比の情報は、放射化によりカルシウムや塩素などの共存元素から生じた同位体が付加してしまうため損なわれてしまう。そのため、100 万年より若い年代値を持つ岩石・鉱物や、カリウム濃度が低く大気に近いアルゴン同位体比を持つ試料に関しては、放射化による同位体分別補正に起因する不確かさが大きくなってしまい、高い精度で放射年代値を得ることが困難である。

今回、カリウム-アルゴン年代測定の弱点であるカリウムとアルゴンの試料中での保持位置（サイト）の不均一問題を解決するため、次のふたつの方法を用いて感度法によるカリウム-アルゴン年代測定が可能となるか検証した: a) 分離した結晶鉱物についてレーザーで加熱融解しアルゴンの定量を行った後、同一試料を回収して低ブランクカリウム分析でカリウムを測定した、b) エポキシ樹脂に鉱物をマウントしカリウム濃度を EPMA で測定した後、同分析点をレーザーで加熱融解しアルゴンの定量を行った。

とくに前者のカリウム分析では、重水素ランプと偏光ゼーマン補正法を採用した日立偏光ゼーマン型原子吸光装置 (Z-5010) を使用してマトリックス効果を抑制し、原子化を試料溶液の容量が少なく済む黒鉛炉を用いて行った。偏光ゼーマン補正法と黒鉛炉を用いることで、マトリックス効果の高い試料でも、少量の試料溶液を高精度で測定できるようになった。これにより岩石中の鉱物について、放射化せずに単粒子でのカリウム-アルゴン年代値を決定することが可能になり、レーザー融解によるカリウム-アルゴン年代測定の途がひらけた。

#### (2) 摩擦溶融面の距離による年代値の変化

摩擦溶融後の斑レイ岩について年代測定を試みた。レーザーのスポット径は、200~500 $\mu$ m とし、摩擦溶融面からの距離 3mm ま



での鏡下で変形・変成が認められる部位にレーザー光を照射 (0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.2, 2.0, 3.0 mm)、測定を行った。

年代値リセットがみられたのは、破碎岩片を一切含まない高温溶融ガラスのみであった。測定によって得られた(ブランク補正後、ディスクリ補正後) $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ – $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比のグラフを示す。各部位の $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比は大気同位体組成の0.187から質量差に依存する同位体分別によって変化したと仮定し、 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初生比も同様の同位体分別を被ったとするならば、図上で大気組成からの同位体分別ライン上にあったと仮定できる。

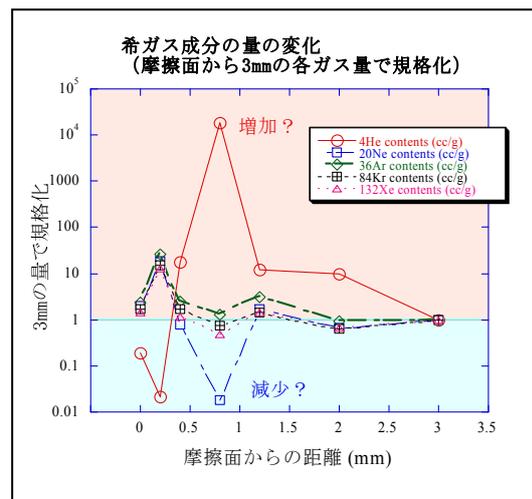
このように求めた $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初生比を用いて、年代値ならびに、年代値算出に寄与する放射壊変起源 $^{40}\text{Ar}$ を求めた。高温溶融ガラスとなっている摩擦面での(0.0mm)の $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比は、 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初生比と測定誤差の範囲内で一致し、アルゴン同位体比が短時間の溶融でも大気と平衡となり、放射壊変起源 $^{40}\text{Ar}$ が失われたことを示す。一方、上記の $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初生比の補正のもとでは、大気からの同位体分別ライン上にあり、加熱により同位体分別を伴う現象が起こったことを窺わせる。しかし、岩石の元々持っている同位体比からの同位体分別ではないこと、また、カリウムの濃度は斑レイ岩類ではあまり変化はないが、岩石の部分により組成が異なることも鑑みると熱拡散による希ガスの移動だけではない可能性がある。

この高温溶融ガラスについては、年代のリセットが起こるだけでなく、他の希ガスについても存在度は変化している(右図)。高温溶融ガラスのみの部位は大気と平衡になっているが、微小(< $\mu\text{m}$ )なサイズの破碎岩片またはそれを含む領域(摩擦面からの距離1.2mmまで)については、見かけ上の年代値のリセットは不完全であるか、逆に古い年代値を与える。各部位における推定放射壊変起源 $^{40}\text{Ar}$ 量は、摩擦面からの距離0.4mmまでは少ないが、0.8mm以遠ではほぼ一定の値になる。これは、放射壊変起源 $^{40}\text{Ar}$ をある程度保持しつつ低温変成物などと機械的に混合し、破碎岩片での大気起源希ガス分別平衡に至ったと考えられる。

したがって、年代の若返りの要因は、岩石の非平衡溶融(嶋本, 1992)によるカリウムの濃集と、破碎岩片の希ガス同位体比が摩擦熱により変化したと結論できる。また、年代が古くなる要因としては、破碎岩片の摩擦加熱により、原岩(出発物質)の大気起源成分のような質量数の軽い希ガスが選択的に脱ガスしたことが考えられる。これは、天然の変成岩においても接触変成の面からアルゴン量の変化により、年代値が若くなる領域と古くなる領域があることと一致する(Hyodo and York 1993; Iwata et al, 2000)。

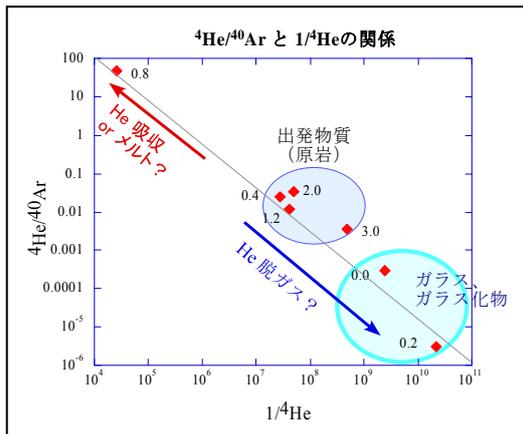
### (3) 摩擦溶融面の距離と希ガス同位体分析

溶融後の試料で摩擦面からの距離が異なる部位それぞれでの希ガスの存在度を測定した(下図)。存在度の強調のため、鏡下で変質の少なく、距離プロファイル上でガス量の一定となる距離3mmの部位における各元素存在度( $\text{cm}^3\text{STP/g}$ )で標準化して示す。軽い希ガスであるHe(ヘリウム)、Ne(ネオン)の方が、重い希ガスであるAr(アルゴン)、Kr(クリプトン)、Xe(キセノン)よりガス量の変化が質量数の小さい希ガスの拡散が激しいことが分かった。



ガラス化しているところは、顕著に脱ガスし、大気と平衡になっており、0.2mmと0mmの部位のみである。ガラスと破碎物の混合部位と破碎物のみの部位では、希ガスの挙動が異なっているように見える。摩擦溶融面は回転しているため、溶融物は常に遠心力により、円筒形試料の外周に飛ばされるため、加熱領域はおおよそ薄片の変色部として認識できる、距離2mm前後までの領域に限られている。これは、希ガスの存在度が溶融面から1.2mm以降のところでは、ほとんど変化していないこととも一致する。

$^1\text{He}$ – $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}$ 比のグラフからは、 $^4\text{He}$ の挙動が脱ガスだけでは説明できないことが示されている。存在度が数桁増加する部分0.8mmのところには、溶融部付近から脱ガスしている $^4\text{He}$ が濃集した可能性があろう：メルトインクルージョンの存在は否定できず、極微量の溶融物で担い得るかは検討の余地がある。ネオンより重い希ガスでは、距離による存在度の変化傾向が類似している。また、ヘリウムも距離1.2mm以遠では、他の希ガス元素と挙動は類似しており、Hyodo and York (1993)らの提唱する、アルゴン波とも矛盾しない。



しかし、メルトインクルージョンの影響が否定できないとはいえ、摩擦熱により、ヘリウムの脱ガスが確認されたことで、他の希ガスを使った年代測定であるウラン・トリウム-ヘリウム年代への応用なども期待できる。

#### (4) モデル断層からの放出ガス

窒素雰囲気中での摩擦熔融実験によって、放出ガス（モデル断層岩の岩石からの脱ガス）の確認を行った。天然においては、地震の活動の前後で He/Ar 比が増加することが知られており、水素なども断層活動により増加することが知られている。

一定の摩擦圧力での高温時の脱ガスによる年代のリセットを検出するため、試験後の試料についてカリウム-アルゴン年代測定を行い、実際にリセットが起こっているかどうか判定を行った。その結果、高温熔融ガラスのみ年代値のリセットが確認されたが、この時の放出ガスの確認するために、窒素雰囲気中での高速摩擦実験前と後について、希ガスや水素などのガスの量の変化を四重極質量分析計によって分析を行った。

また、窒素雰囲気中での摩擦熔融実験から得られたガスをアルミ管に採取し、アルミ管中のガスの解析により、岩石からの炭酸ガス・水・ヘリウム・アルゴンなどの脱ガスが検出され、 ${}^4\text{He}/{}^{40}\text{Ar}$  比も高くなっていた。今後の観測値との対比が望まれる。

#### (5) まとめと展望

仮想断層運動実験での摩擦熔融時に、希ガス、とくに Ar 同位体組成が大気組成と平衡になるかどうか検討を行った。これらは、断層運動の年代測定法での 0 年代（ゼロ年代）の確認と共に、現在行われているシュードタキライトへの年代決定にはガラス化したものがもっとも正確な年代を反映していることを摩擦破碎と摩擦熱の両面から初めて示

したものである。

① 放射化を要しないレーザー溶融 カリウム-アルゴン法について、局所領域での年代測定を試みた。ここでは、高精度な年代を得るために、ブランクを下げ、黒鉛炉を用いた低カリウム分析、EPMA の繰り返し測定などが有効だと考えられる。

② 摩擦溶融した試料についてカリウム-アルゴン年代測定を行ったところ、高温溶融ガラスのみ年代値のリセットが確認された。これは、アルゴン同位体組成が短時間の溶融でも大気と平衡になったことを示している。

③ この高温溶融ガラスについては、年代のリセットだけでなく、全ての希ガス同位体について存在度の変化が見られ、大気との平衡化が確認された。

④ 微小 (<μm) な破碎岩片または、それを含む一部ガラス化した領域については、見かけ年代値のリセットは不完全である。

⑤ 年代の若返りの原因としては、岩石の非平衡溶融によるカリウムの濃集、破碎岩片の放射起源  ${}^{40}\text{Ar}$  も摩擦加熱により散逸したことが原因として考えられる。

⑥ 年代が若返り部位に隣接して古くなる原因としては、破碎岩片が放射起源  ${}^{40}\text{Ar}$  をある程度保持しつつ混合したこと、原岩に保持されていた大気起源希ガスのうち質量数の軽いものを選択的に脱ガスしたことが原因である。

⑦ カリウム-アルゴン年代を変化させるためには、変形よりもむしろ熱変成による効果が大きいことが確認された。

⑧ 窒素雰囲気中での摩擦溶融実験から得られたガスをアルミ管に採取し、アルミ管中のガスの解析により、岩石からの炭酸ガス・水・ヘリウム・アルゴンなどの脱ガスが検出され、 ${}^4\text{He}/{}^{40}\text{Ar}$  比も高いことが確認された。今後の観測値との対比が望まれる。

今回の成果により論文が公表されたことで、地球惑星連合 2009 年に招待講演を依頼された。ここでは異分野の地殻熱流体ダイナミクスというセッションであったが、希ガスが流体同様にフラックスの一つとして、熱輸送している点を希ガス同位体比の摩擦面からの距離変化と年代の変化として示した点で、非常に新しいとの評価を受けた。

今後は、実際の天然断層のシュードタキライトとその原岩への年代測定の応用には、その脱ガスメカニズムの熱主体であるか摩擦破碎が主体となるかの解明が不可欠である。また、他の年代測定法などと組み合わせる詳細な熱履歴の解明やカリウム-アルゴン年代測定や、ウラン・トリウム-ヘリウム年代測定などと組み合わせ、断層解析や地震

観測などに役立てていきたいと考えている。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- (1) K. Sato, T. Hirose, H. Tamura, H. Kumagai, K. Mizoguchi, Volatile gas analysis released from simulated faults during frictional melting: experimental, JAMSTEC REPORT, 2009, 印刷中, 査読有
- (2) K. Sato, H. Kumagai, T. Hirose, H. Tamura, K. Mizoguchi, T. Shimamoto, Experimental study for noble gas release and exchange under high-speed frictional melting, Chemical Geology, 2009, 印刷中, 査読有
- (3) 佐藤佳子, 田村肇、川畑博、熊谷英憲, レーザー融解K-Ar法による極微量年代測定法の開発, 地球化学, 42, 179-199, 2008, 査読有
- (4) K. Sato, T. Hirose, H. Tamura, H. Kumagai, K. Mizoguchi, T. Shimamoto, A K-Ar age reset of frictionally melted gabbro and detect for degassed noble gas, GoldSchmidt 2007, Geochimica et Cosmochimica Acta, 71, A878, 2007, 査読なし
- (5) H. Tamura, H. Kumagai, K. Sato, Fine step release of helium, argon, and carbon dioxide from a MORB glass by vacuum crushing and the potential of relocatable noble gas mass spectrometer for preliminary analysis for noble gas research, Goldschmidt2006, Geochimica et Cosmochimica Acta, 70, A635, 2006, 査読なし

[学会発表] (計7件)

- (1) 佐藤佳子, 斑レイ岩の摩擦溶融実験による仮想断層岩の脱ガスによるK-Ar年代系の若返りとリセット, 地球惑星連合大会2008, 2008年5月25日, 幕張メッセ国際会議場
- (2) K. Sato, K-Ar, Ar-Ar, FT ages and degassing process of two type of andesitic magma, European Geosciences Union 2008, 2008年4月18日, ウイーン国際会議場
- (3) K. Sato, Experimental study for noble gas release and exchange under high-speed frictional melting, 9th International

Conference on Gas Geochemistry, 2007年10月4日, 台湾大学

- (4) 佐藤佳子, レーザー溶融K-Ar年代測定の試み, 2007年度日本地球化学会年会, 2007年9月20日, 岡山大学
- (5) K. Sato, A K-Ar age reset of frictionally melted gabbro and detect for degassed noble gas, Goldschmidt Conference 2007年8月21日, ケルン大学
- (6) 佐藤佳子, ハンレイ岩の摩擦溶融実験によるK-Ar年代のリセットと脱ガスの検出, 日本地球惑星科学連合2007年大会, 2007年5月20日, 幕張メッセ国際会議場
- (7) H. Tamura, (3番目), Fine step release of helium, argon, and carbon dioxide from a MORB glass by vacuum crushing and the potential of relocatable noble gas mass spectrometer for preliminary analysis for noble gas research, Goldschmidt Conference 2006, 2006年8月26日, オーストラリア国立大学 (ANU)

[その他]

ホームページ等

[http://www.jamstec.go.jp/ifree/jp/05result/IFREE\\_Report\\_for\\_2005-2006/5\\_IFREE5-1.pdf](http://www.jamstec.go.jp/ifree/jp/05result/IFREE_Report_for_2005-2006/5_IFREE5-1.pdf)

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

佐藤 佳子 (SATO KEIKO)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター・技術研究副主任  
研究者番号: 40359196

##### (2)研究分担者

なし

##### (3)連携研究者

なし