

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24651203

研究課題名(和文) 3.11以降の大気中の希ガス同位体比の変遷についての観測と測定と検証

研究課題名(英文) The observation of fissogenic and crustal noble gases anomaly associated with after the 3.11 Northeast Japan Earthquake and disaster

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・海底資源研究開発センター・研究技術専任スタッフ

研究者番号：40359196

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)：地球大気中の希ガス組成は、同位体組成および存在度ともに、全地球史を通じて、大規模な火成活動や宇宙天体の衝突を除けば、大きな変化がみられないとされてきた。このため、環境希ガスとして存在する放射性希ガスは、原子炉での核反応の証拠として観測されている。超巨大地震である東北地方太平洋沖地震直後は余震として著しい地震活動の激化がみられたため、断層運動に伴う希ガス放出によっても、大気中の希ガス同位体組成に変動がみられることが予想された。国内各地で大気を採取し、平成23年の東北地方太平洋沖地震後から同年の台風シーズンまで、以前の大気試料と比較したところ、大気中の標準同位体組成とは異なる希ガス同位体比が得られた。

研究成果の概要(英文)：Noble gases exist as mono-atomic molecule because of their very stable nature. Coupled with their anticipated high diffusivity, thus, their isotopic composition is well defined and believed to be uniform all over the world throughout entire Earth history. In other words, isotopic compositions of atmospheric noble gases have been believed to be insensitive to any disturbance from anthropogenic and/or natural emission in the earth interior. After the extreme Northeast Japan Earthquake occurred on March 11, 2011, extraordinary increase of seismic activity as numerous aftershocks, which may be a source of non-atmospheric component preserved in earth interior. In terms of anthropogenic component, Nuclear Power Plant is derived frequently monitored by radiogenic species of noble gases. Therefore we widely sampled atmosphere all over Japan to evaluate time-series changes. There were remarkable excursion from averaged atmospheric compositions since the earthquake until typhoon season of 2011.

研究分野：同位体地球科学・地球年代学

キーワード：希ガス同位体 核分裂起源 断層起源 東北地方太平洋沖地震 脱ガス 原子炉事故 リソスフェア起源

1. 研究開始当初の背景

(1)地球大気中の希ガスは、地球史を通しての脱ガスによって蓄積し、その総量と同位体比を用いたモデリングにより、地球の熱史やダイナミクスの変遷検討に利用されてきた(例えば、Hamano and Ozima, 1977)。モデルにはもっぱら火成活動による脱ガスによる供給と沈み込みに伴う地球内部へのリサイクル(重い希ガス:キセノン;Xe、クリプトン;Kr)・宇宙空間への散逸(ヘリウム;He)による損失とが組み込まれている(Porcelli et al., 2002)。希ガスは他の元素と結合することなく、単原子分子、すなわち、ほぼガス体として存在する。加えて、拡散による大気混合も速いため、地球内部からの供給が特に激しい活発な火山活動地帯を除き、通常の大気では組成がほぼ一定と考えられてきた。地球内部の希ガス組成は脱ガス史を反映して大気とは異なるため、激しい変動帯では、同位体異常がみられることはある(Schlosser and Winckler, 2002)。

一方、環境希ガスとして極微量存在する放射性希ガスは、核実験の証拠として、第二次世界大戦以降、各地で継続して観測されている。日本でも環境放射能の一つとして、放射性希ガス濃度は観測されている。しかし、放射性希ガスの多くの核種が大気中には非常に少なく、化学的な濃集は困難なことから、長時間の測定を要請するなど速報性に欠けるため、限られたガンマ線測定以外はさほど盛んではないのが現状である。

安定に存在する希ガスであっても大気中にもともと少なく、一番多く含まれるアルゴンが濃度として 0.98%程度と主成分となるほかは、Kr は元素として 100 万分の 1 (1ppmv)、さらに Xe に至っては 1000 万分の 1 (0.1ppmv) 程度に過ぎない。このため、正確な同位体測定には、測定装置内部を清浄な超高真空に保つ必要があるため、測定までに時間を要する場合が多い。

原子炉から放出された放射性物質を含むガス雲が上空にできることが知られている。これは放射性プルームと呼ばれ、六ヶ所再処理工場や柏崎刈羽原発などではそのようなガス雲中に放射性希ガスが報告されている。3.11.東北地方太平洋沖地震後の福島第一原子力発電所での水素爆発により、放射性希ガスの放出が予測され、その拡散がドイツやオーストリアのグループによりシミュレートされている。そのような汚染は希ガス分析の基準たる大気同位体組成を改変するおそれがあるので、3 月から複数地点で大気を採取し、網羅しての測定のために四重極質量分析計を用いて希ガスを含む質量数領域を掃引、希ガス及び反応性気体濃度を予察的に測定した。

事故から 4 ヶ月を経て、原子炉から 250 キロ離れた神奈川県横須賀市採取の大気でも、地震以前採取の大気と比較し、放射性希ガス (Ar-42, Ar-39, Xe-133, Xe-135, Kr-81, Kr-85

等)に相当する質量数での相対ピーク高は 2-10 倍以上に及んでいる。これは、安定な希ガス同位体への原子炉由来あるいは地震活動で放出された核分裂起源・放射壊変起源による付加も考えられることから過小評価でありうる (Brumfiel, 2011, nature; Stohl et al., 2011, ACPD)。

今回の 3.11 以降の地震によって、希ガス同位体比が変化している可能性が予察的に捉えられ、原子炉の核分裂起源および地震による地殻からの脱ガス由来双方が示唆される。核分裂起源の放射性希ガスは減少の傾向にあり、余震活動と比較しつつ、今後の希ガス同位体比変化を追跡することで、大気の希ガス同位体比変動に対する地震活動の寄与を検証する。

(2)希ガスは拡散による大気中の混合も速いため、地球内部からの供給が特に激しい活発な火山活動地帯を除き通常の大気では組成がほぼ一定と考えられてきたし、実際にほぼ一定の同位体比が得られてきた(e.g. Ozima M. and Podosek, 2002)。すなわち、局地的な希ガス同位体比変動があれば、明瞭に検出される利点がある。反面、希ガスの拡散が速いことは、速やかに平均化され、異常の持続時間が短いことを意味するものの、サンプリング間隔次第では地殻変動のタイミングも捕らえることができ、異常の原因イベントの特定につながり得る。

これまでの地殻変動希ガス観測は、変動が検知しやすいラドン(Rn)やなどで限定的に行われてきた。地下深部流体の関与が推定された地震などではヘリウム同位体比 ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) が大気の 3 倍から 8 倍くらい、加えてヘリウム / アルゴン(He/Ar)比も高くなることが知られている(Sugisaki and Sugiura, 1986)。逆に、地殻深部の流体やマグマの寄与がある場合、例えば石灰岩や花崗岩地帯では、むしろ He 同位体比は大気の He 同位体比 ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) に比べて、1/10 倍から 1/100 倍くらい低くなることが知られている。

本研究では、予察的に変動が見いだされたアルゴン(Ar)の同位体測定を広汎な地域で採取された大気試料について実施することがもっとも大きな挑戦である。異常の検出しやすい He と異なり、Ar は大気の主成分であり (1%)、単原子分子として速やかな拡散、平均化により大気同位体異常がみられるとは全く予期されてこなかった。しかし、我々の予察的データからは、若干の地域性があるものの明瞭な同位体異常がみられた。

本研究のアイディアやチャレンジ性

本研究では、巨大地震や人為的核分裂を起源と想定される同位体などが有意に付加された現状での希ガス組成が、非汚染大気と拡散により混合希釈していく過程での変化を観測する必要がある。地殻変動による希ガス同位体比の変動を確認するためには、アルゴンだけでなく、放出がより期待されるヘリウ

ム、ネオンなどの軽い希ガスも測定することが必要である。

原子炉からの物質放出をモニターする目的では核種を主にとらえる場合には、こうした観点から、大気を採取しての測定は今まで行われていない。また、核不拡散条約下での測定対象核種としての希ガス同位体は放射性に限られ、壊変後の安定希ガス同位体を含まないため、積算総量の正確な評価には、大気より重い Ar、Kr、Xe の同位体比について安定同位体を含めて測定する必要がある。

本研究が、新しい原理の発展や斬新な着想や方法論の提案、または成功した場合の卓越した成果等

大気環境モニタリング観測に新たに同位体分析という視点を付け加える試みはこれまでほとんど例がない。炭素循環量推定の不確実性克服のために炭素同位体組成が限定的に試みられているに過ぎず、放射性以外の希ガスについては皆無である。地震活動に伴うアルゴン放出が確かめられたとすると、大規模な地震について切迫性の評価または収束確認への指標としての活用が考えられる。加えて、環境希ガス測定による核実験の検出等、人為的原因によるリスク評価、火山噴火後の環境変動の予測などへも大いに貢献できる。

一方、希ガスの同位体化学・年代測定分野では、大気の希ガス同位体比の変動はこれまで全く考慮にされてこなかったため、分析の基準となる標準試料として信頼性を大きく損なうこととなる。すなわち、同位体組成分析のための大気標準試料を作成してしまった場合に、全地球的平均値を検証なく適用することができなくなり、未知試料測定時や、機器性能確認の際に行う真空装置内部での吸着など、装置毎の校正などと同様の補正計算が必要になる。これは、大きなリスクであると同時に、これまで説明不能な現象として避けられてきた、K-Ar (カリウム - アルゴン)・Ar-Ar (アルゴン - アルゴン) 年代測定で散見される異常な初生アルゴン同位体比の原因について、一つの可能性を提示できる。

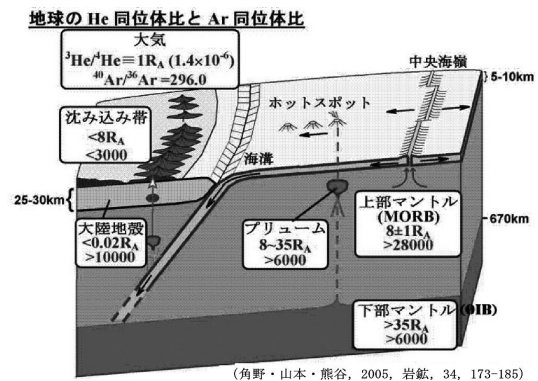
## 2. 研究の目的

イレギュラーな異常同位体組成として発見された大気希ガスの組成変動を系統的に検証し、地球史を通じた火成活動を主供給源として脱ガスにより総量と同位体組成が定まってきたと考えられてきた大気希ガスの起源論に一石を投じつつ、かつてない頻度で推移している余震活動との比較により、今後の希ガス同位体比変化を追跡する。この時系列変動の程度・範囲を検証することで、大気の希ガス同位体比変動に対する地震活動の寄与、人為起源同位体の寄与を検証する。

## 3. 研究の方法と結果

希ガスは地球における存在量が少なく、かつ大気(海水)・地殻・マントルでそれぞれ異

なる同位体組成を示すため、これらの物質の混合を元素比や同位体比の変動として他の元素に比べて顕著に検出できるという特徴がある。また化学的に不活性であり、地球深部から地表に到るまでの様々な化学反応によっても同位体比がほとんど変化しない。これらに拠る、希ガス同位体の地球深部まで含めた大規模な物質移動のトレーサーとしての有効性をまず活用した：分担者の熊谷らがまとめた下図を参照(角野・山本・熊谷, 2005)。



この際、既往研究にみられるような一部同位体のみ着目した測定・解析ではなく、全希ガスを対象として統一的に行うことに注力する。これは、様々な起源に由来するという希ガスの特色を活かすものであった。例えば、K-Ar年代測定法に活用される Ar-40 に代表されるように、放射壊変起源の希ガス同位体蓄積は、年代効果とみなすことができる。

一方、仮想的に断層を実験的に作る、斑縞岩類や花崗岩類の摩擦実験からの希ガスの放出実験からも、ヘリウム(He)・ネオン(Ne)・アルゴン(Ar)・クリプトン(Kr)・キセノン(Xe)などの希ガスの放出が確認されており(Sato et al., 2009 Chemical Geology; 2009 Jamstec R&D)、これらは地殻変動の検出の良い指標になると考えられた。これまでの地殻変動希ガス観測は、平均的な地球の大気に対して、大気より軽い希ガスと大気より重い希ガスの双方による変動の検出が見込まれる。

原子炉の事故により放出された核分裂起源の希ガスは一過性の現象として減少傾向が期待される一方、長期にわたる余震活動により、希ガス同位体比(通常の大気・地震・原子炉の三成分の混合で表される)がどのように変化していくかを観測することで、地震による大気の希ガス同位体比変動をより鮮明に検出することを試みた。

同位体比分析にあたっては、原理の異なる2種の質量分析装置を併用した。希ガスの精密同位体比分析は、同位体による存在度が8-10桁と大きく変動することから、磁場型の質量分析計での測定を実施したが、迅速分析はマスフィルター型機材を用いて行った。

原子炉由来ないし地震起源の希ガスの拡散希釈を検証するには、日本各地で繰り返し網羅的に大気を採取して測定することを重

要視した。比較的寿命の短い放射性希ガスとして数日～数十日の半減期の核種変化を追跡するためには、速やかな採取を実施する必要があったためである。まず、環境希ガスでの同位体比変動として、原子炉由来・断層起源・非汚染大気の3成分での混合がみられるかどうかを検討し、同位体比異常があれば広がりを表した。時間変化については、拡散による通常の非汚染大気での希釈で説明するか検証した。

これらを通じ、ガスサンプリング試料の同位体比の確認、断層面のような局所に含まれる領域の希ガスの起源、もしくは、流体への化学的寄与を推定した。

(1)試料を採取し、マスフィルター型質量分析装置による迅速分析で、He・Ne・Ar・Kr・Xeの存在量を概算する。

試料の採取は共同研究者らと共に日本各地にて2ヶ月に1度をめどに行ったが、余震活動が次第に収束したため採取頻度は減じた。国外近隣での試料採取についてはハバロフスク、釜山、ハワイ、サンアンドレアス断層、ジャワ島で実施した。

精密測定は主として海洋機構で行った。研究分担者・連携研究者の研究機関において相互検証のために、試料処理手順を統一し、高精度同位体分析に備えた。

(2)大気試料の採取を継続し、迅速分析結果が非汚染の同位体組成と大幅に異なる試料について、磁場型質量分析装置にて精密分析を行った。一方、地震の破壊時に発生しうる環境ガスの組成検討とモデリングを連携研究者らと協力して行った。また、希ガス特有の熱拡散過程の推定のために段階加熱法での希ガス同位体測定はモデル実験の結果を参照している。

(3)同位体比の変動を時空間的に検討し、地域性の有無や拡散による希釈と放射壊変による減少に着目し解析した。

(4)地震の破壊時に発生しうる環境ガスの組成検討とモデリングを協力して行った。

(5)解析においては断層からの希ガス放出の知見、質量分析によらない手法での放射性希ガス濃度推移の検証例などと比較検討した。

#### 4. 研究成果

東北地方太平洋沖地震後に日本全国各地で採取した大気試料と、地震以前に採取し研究代表者ほか保管していた大気試料とを比較測定したところ、東北地方太平洋沖地震後の希ガス同位体比は、それ以前の大気での同位体組成とは顕著に異なっていた。

(1)原子炉内で蓄積している放射性希ガスの環境中への放出

これまで、環境希ガスとして地球大気中には極微量のみ存在しているとみなされていた放射性希ガス、Ar-39、Ar-42、Kr-81、Kr-85、Xe-133、Xe-135等が2011年採取の大気から安定同位体に匹敵する量検出された。なかでも、Xe-133とXe-135が検出されたことは、

Xe-136との同位体比に基づいた原子炉臨界状態の判別可能性を窺わせたものの、正確な判定には核異性体の判定が必要であり、質量分析計での同位体比測定では不可能であることから、達成に至らなかった。また、Ar-Ar年代測定に用いられるような中性子照射により生成するAr-39等も検出され、核分裂起源のみでは説明できない。これは、MOX燃料からのガス漏洩の可能性が示唆される。

(2)原子炉からの放射壊変起源の娘元素としての希ガス

上述の放射性Kr・放射性Xeが多様な質量数で大幅に増加しただけでなく、安定同位体比にも変化があらわれた。これらは、核分裂起源の娘核種として理解することができる。実際に、「オクロの天然原子炉」として知られる20億年前の地球に存在した天然の臨界核分裂の形跡で見られるのと同様の、XeおよびKr同位体組成を示していた。これにより、核分裂起源の希ガス同位体が大気中から得られたことが裏付けられたと考えられる。

(3)余震、断層などの地震活動・地殻変動からの脱ガスによる希ガス寄与

現在の $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比データからは地震による地殻からの脱ガスが示唆される。かつてない頻度で推移している余震活動との比較では、地震活動の増減と類似の増減トレンドを示すことから、大気の希ガス同位体比変動に対する地震活動の寄与が窺われる。

(4)成果公表について

本課題提案の契機となったパイロットデータについては、2011年に日本地球化学会で発表した。2012年には国際質量分析学会でトピック講演の機会を得たので、核分裂起源の同位体比を解析し、天然原子炉の同位体比と矛盾のない値となった点について英語で学会発表を行った。2013年には同位体比の変化について時系列解析を行い、日本質量分析学会同位体比部会で口頭発表により報告した。2011年3月の東北地方太平洋沖地震から台風時期までは、Xe同位体比、Kr同位体比から、核分裂起源の娘元素の増加として、通常の大気中のXe・Krの同位体比より高い値を示した。また、余震や地殻変動などによるリソスフェア起源希ガスの放出と解釈しうる希ガス同位体比の変動は、2011-2012年にかけてアルゴン同位体比の $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比に顕著に表れ、標準大気試料より高い傾向を示した。これは、K-40から壊変してリソスフェアに蓄積していたAr-40の放出とみられるため、この時間変化も含め、大気中の希ガス組成変動の起源が天然の地震活動・地殻変動あるいは人為的なものの一つには限定できないことを報告した。現在それらの成果を公表論文として準備中である。

#### 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 17 件)

T. Takeshita, K. Yagi, C. Gouzu, H. Hyodo, T. Itaya, Extensive normal faulting during exhumation revealed by the spatial variation of phengite K-Ar ages in the Sambagawa metamorphic rocks, central Shikoku, SW Japan. Island Arc, doi:10.1111/iar.12104, 2015, (査読有)

K. Shimizu, T. Sano, M. L. Tejada, H. Hyodo, K. Sato, K. Suzuki, Q. Chang, M. Nakanishi, The Origin Evolution, and Environmental Impact of Oceanic Large igneous Provinces, Geological Society of America Special Paper 511, doi:10.1130/2015.2511(13), 2015, (査読有)

K. Sato, H. Kawabata, D. W. Scholl, H. Hyodo, K. Takahashi, K. Suzuki, H. Kumagai, <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar dating and tectonic implications of volcanic rocks recovered at IODP Hole U1342A and D on Bowers Ridge, Bering Sea, Deep Sea Research II, doi:10.1016/j.dsr2.2015.03.008, 2015, (査読有)

兵藤博信, レーザー加熱実験による角閃石の閉止温度, 岡山理科大学自然科学研究所研究報告, 40, 53-58, 2014, (査読無)

F. Yamashita, E. Fukuyama, K. Mizoguchi, Probing the slip-weakening mechanism of earthquakes with electrical conductivity: Rapid transition from asperity contact to gouge comminution, Geophysical Research Letters, 41, 341-347, doi:10.1002/2013GL058671, 2014, (査読有)

T. Hanyu, H. Kawabata, Y. Tatsumi, J. Kimura, H. Hyodo, K. Sato, T. Miyazaki, Q. Chang, Y. Hirahara, T. Takahashi, R. Senda, S. Nakai, Isotope evolution in the HIMU reservoir beneath St. Helena: implications for the mantle recycling of U and Th, Geochimica et Cosmochimica Acta, 143, 232-252, doi:dx.doi.org/10.1016/j.gca.2014.03.016, 2014, (査読有)

兵藤博信, レーザー加熱実験による白雲母の閉止温度, 岡山理科大学自然科学研究所研究報告, 39, 45-50, 2013, (査読無)

川村教一, 稲嗣昌毅, 瀧上豊, 久田健一郎, 岩田尚能, 坂口有人, 第 5 回国際地学オリンピックにおいて日本の高校生が行った東日本大震災の発表に対する海外の高校生の反応, 地学教育, 66(1), 13-25, 2013, (査読有)

L. Yao, T. Shimamoto, S. Ma, R. Han, K. Mizoguchi, Rapid postseismic strength recovery of Pingxi fault gouge from the Longmenshan fault system: Experiments and implications for the mechanisms of high-velocity weakening of faults, Journal of Geophysical Research, 118, 1-17, doi:10.1002/jgrb.50308, 2013, (査読有)

K. Mizoguchi, K. Ueta, Microfractures within the fault damage zone record the history of fault activity, Geophysical Research Letters, 40, 2023-2027, 2013, (査読有)

田村肇, 佐藤佳子, 断層の K-Ar 年代学, 地質技術, 3, 21-25, 2013, (査読有)

K. Aoki, B. Windley, K. Sato, Y. Sawaki, T.

Kawai, T. Shibuya, H. Kumagai, K. Suzuki, S. Maruyama, Phengite K-Ar dating of metapelites from the Barrovian metamorphic belt at Loch Leven, Scotland, 地質学雑誌, 119, 437-442, 2013 (査読有)

兵藤博信, 黒雲母の閉止温度と熱履歴, 岡山理科大学自然科学研究所研究報告, 38, 39-51, 2012, (査読無)

K. Mizoguchi, S. Uehara, K. Ueta, Surface Fault Ruptures and Slip Distributions of the Mw 6.6 11 April 2011 Hamadori, Fukushima, Northeast Japan, Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, 102, 1949-1956, 2012, (査読有)

T. Hirose, K. Mizoguchi, T. Shimamoto, Wear processes in rocks at slow to high slip rates, Journal of Structural Geology, 38, 102-116, 2012, (査読有)

T. Hanyu, J. Gill, Y. Tatsumi, J. Kimura, K. Sato, Q. Chang, R. Senda, T. Miyazaki, Y. Hirahara, T. Takahashi, I. Zulkarnain, Across- and along-arc geochemical variations of lava chemistry in Sangihe arc: Various fluid and melt slab fluxes in response to slab temperature, G-cubed (Geochem. Geophys. Geosyst.), doi:10.1029/2012GC004346, 2012, (査読有)

K. Sato, H. Kumagai, N. Iwata, H. Hyodo, K. Suzuki, Fissionogenic noble gases anomaly associated with Fukushima-daiichi nuclear power plant disaster after the 3.11 Northeast Japan Earthquake, IMSC2012, 19, s15-16, 2012, (査読無)

〔学会発表〕(計 17 件)

佐藤佳子, 川畑博, 兵藤博信, 熊谷英憲, D.W. Scholl, 高橋孝三, 鈴木勝彦, EXP323 におけるベーリング海・パウワーズリッジ初出の基盤岩掘削試料の Ar-Ar 年代による構造地質的制約について, 「鉱物の物理化学特性から読み取る地球・惑星の環境変遷史」平成 26 年度成果報告会, 岡山理科大学, 岡山県岡山市, 2015/2/24

佐藤佳子, 熊谷英憲, 岩田尚能, 鈴木勝彦, 熱水の希ガス分析前処理装置の製作, 2014 年度日本質量分析学会同位体比部会, 筑波山温泉旅館 彩香の宿 一望, 茨城県つくば市, 2014/11/26

佐藤佳子, 熊谷英憲, 岩田尚能, 兵藤博信, 鈴木勝彦, 高岡宣雄, 東北地方太平洋沖地震の余震による大気中の Ar 同位体変化, 日本地球惑星科学連合 2014 年度連合大会, パシフィコ横浜, 神奈川県横浜市, 2014/4/29

K. TOSHIDA, A. TAKADA, T. KITSUKAWA, S. TAKEUCHI, K-Ar ages of Kelut-Welirang volcano cluster, East Java, Sunda arc: comparison with clusters that hosts large calderas, 日本地球惑星科学連合 2014 年度連合大会, パシフィコ横浜, 神奈川県横浜市, 2014/04/28

佐藤佳子, 熊谷英憲, 岩田尚能, 兵藤博信, 鈴木勝彦, 核分裂起源の希ガス同位体比の変化, 2013 年度日本質量分析学会同位体比部会, 湯坂温泉郷 賀茂川荘, 広島県竹原市, 2013/12/6

溝口一生, 福山英一, 山下 太, 滝沢 茂, 川方裕則, 大型 2 軸摩擦実験で再現され

た地震性断層運動時の破壊伝播速度, 日本地震学会 2013 年度秋季大会, 産業貿易センター, 神奈川県横浜市, 2013/10/9

K. Sato, H. Kawabata, H. Hyodo, H. Kumagai, D.W. Scholl, K. Takahashi, K. Suzuki, Ar-Ar dating for volcanic rocks from Bowers Ridge, Bering sea at site U 1342A and U1342D, IAVCEI2013, Kagoshima PCEC, Kagoshima, JAPAN, 2013/7/24

熊谷英憲, 井尻暁, 稲垣史生, H. Kai-Uwe, 久保雄介, IODP Expedition 337 Sci. Party, Radon measurement during IODP Exp.337(統合国際深海掘削計画第 337 次航海におけるラドン計測), 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 2013/5/24

K. Sato, H. Kawabata, H. Hyodo, H. Kumagai, D.W. Scholl, K. Takahashi, K. Suzuki, Result of Ar-Ar dating for basaltic rocks from Bowers Ridge, Bering sea at site U 1342A&D, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 2013/5/19

熊谷英憲, 井尻暁, 久保雄介, 稲垣史生, 掘削船「ちきゅう」リアルタイムガス検層システムでの質量分析・ラドン計測, 2012 年度日本質量分析学会同位体比部会, 伝承千年の宿 佐勘, 宮城県仙台市, 2012/11/22

佐藤佳子, 熊谷英憲, 武部義宜, 伴雅雄, 数万年の K-Ar 年代をもつ蔵王火山の初生比と同位体比のバリエーション, 2012 年度日本質量分析学会同位体比部会, 伝承千年の宿 佐勘, 宮城県仙台市, 2012/11/21

溝口一生・東郷徹宏・山下太・福山英一・御子柴正, 自然地震の断層すべりを模した既存断層面上の限られた領域でおこる不安定すべりに関する大型二軸摩擦実験, 日本地震学会 2012 年度秋季大会, 函館市民体育館, 北海道函館市, 2012/10/19

K. Sato, H. Kumagai, N. Iwata, H. Hyodo, K. Suzuki, Fissionogenic noble gases anomaly associated with Fukushima-daiichi nuclear power plant disaster after the 3.11 Northeast Japan Earthquake, 19th International Mass Spectrometry Conference, Kyoto ICC, Kyoto, JAPAN, 2012/9/18

土志田潔, 竹内晋吾, 高田亮, A. Heriwaseso, R. Mulyana, A. Nursarim, インドネシア, テンガー火山地域における第二次(サンドシー)カルデラ噴火の発生時期の決定, 日本地質学会第 119 年学術大会, 大阪府立大学, 大阪府堺市, 2012/09/15

佐藤佳子, 廣瀬丈洋, 熊谷英憲, 田村肇, 坂口真澄, 鈴木勝彦, 雰囲気コントロール下での断層摩擦実験による希ガスの脱ガスと挙動, 日本地球惑星科学連合 2012 年度連合大会, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 2012/5/23

兵藤博信, レーザー段階加熱実験による単結晶黒雲母の閉止温度, 日本地球惑星科学連合 2012 年度連合大会, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 2012/5/23

佐藤佳子, 廣瀬丈洋, 熊谷英憲, 田村肇, 坂口真澄, 鈴木勝彦, 花崗岩の摩擦実験によるアルゴンの放出と年代の若返りの可能性, 日本地球惑星科学連合 2012 年度連合大会, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 2012/5/22

〔図書〕(計 5 件)

S. Toyoda, D. Banerjee, H. Kumagai, J. Miyazaki, J. Ishibashi, N. Mochizuki, S. Kojima, Gamma ray doses in water around sea floor hydrothermal area in the Southern Mariana Trough, In "Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems; TAIGA Concept (Ed. J. Ishibashi, et al.)", 603-606, doi:10.1007/978-4-431-54865-2\_46, Springer Japan, Tokyo, 2015, (査読有)

J. Ishibashi, K. Shimada, F. Sato, A. Uchida, S. Toyoda, A. Takamasa, S. Nakai, H. Hyodo, K. Sato, H. Kumagai, K. Ikehata, Dating of Hydrothermal Mineralization in Active Hydrothermal Fields in the Southern Mariana Trough, In "Subseafloor Biosphere Linked to Global Hydrothermal Systems; TAIGA Concept (Ed. J. Ishibashi, et al.)", 289-300, doi:10.1007/978-4-431-54865-2\_23, Springer Japan, Tokyo, 2015, (査読有)

H. Kumagai, R. Iwase, M. Kinoshita, H. Machiyama, M. Hattori, M. Okano, In TECH, Rijeka, Croatia, Gamma Radiation, Chapter 4, Environmental Gamma-Ray Observation in Deep Sea, 55-74, 2012, (査読無)

木下正高, 熊谷英憲, 徹底図解 いま、そこにある巨大地震, 双葉社, 日本, 2012, (査読無)

木下正高, 熊谷英憲, 徹底図解 東日本大震災の真相, 双葉社スパ-ムック, 日本, 2012 (査読無)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.imsc2012.jp/scientific.html>

## 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・海底資源研究開発センター・研究技術専任スタッフ

研究者番号: 40359196

### (2)研究分担者

熊谷 英憲 (Kumagai, Hidenori)

独立行政法人海洋研究開発機構・海底資源研究開発センター・グループリーダー代理

研究者番号: 10344285

兵藤 博信 (Hyodo, Hironobu)

岡山理科大学自然科学研究所・教授

研究者番号: 50218749

### (3)連携研究者

岩田 尚能 (Iwata, Naoyoshi)

山形大学理学部地球環境学科・准教授

研究者番号: 70302289

溝口 一生 (Mizoguchi, Kazuo)

一般財団法人電力中央研究所・主任研究員

研究者番号: 50435583

土志田 潔 (Toshida, Kiyoshi)

一般財団法人電力中央研究所・主任研究員

研究者番号: 40371413