

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23340169

研究課題名(和文)ハロゲン・希ガス多元素同時測定によるマントルに沈み込んだ水の起源と輸送過程の解明

研究課題名(英文) Tracing origin and transportation mechanism of subducted water into the mantle by simultaneous determination of halogens and noble gases

研究代表者

角野 浩史 (SUMINO, Hirochika)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：90332593

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：中性子照射による核変換と超高感度希ガス質量分析技術を応用した、極微量ハロゲンと希ガスの多元素同時分析手法を開発し、沈み込み帯のマントルかんらん岩、過去に沈み込んだスラブ物質、そして変質した海洋地殻と堆積物を分析した。沈み込み帯のマントルかんらん岩捕獲岩には、四国・三波川帯のマントルかんらん岩や蛇紋岩と同様にヨウ素に富む、堆積物中の間隙水とよく似たハロゲンと希ガスが含まれていた。三波川帯のエクロジャイトや変泥質岩にはこれらに加え、変質した海洋地殻に特徴的な、塩素に富むハロゲン成分も含まれていた。これらは沈み込んだハロゲンと希ガスの影響が、マントルウェッジの広範に及んでいることを示している。

研究成果の概要(英文)：We have developed an analytical method for simultaneous determination of ultratrace-amounts of halogens and noble gases by using neutron-irradiation and noble gas mass spectrometry. Halogens and noble gases in mantle-derived peridotite xenoliths from subduction zones shares sedimentary pore-fluid-like signature with mantle peridotites and serpentinites from the Sanbagawa metamorphic belt in Shikoku, southwest Japan. Eclogites and metasediments from the Sanbagawa metamorphic belt contain a Cl-rich component, which is typical of altered oceanic crust, in addition to the sedimentary pore-fluid-like component. These observations indicate that mantle wedges beneath subduction zones are significantly and widely metasomatized by subducted components with respect to halogens and noble gases.

研究分野：同位体地球化学

キーワード：ハロゲン 希ガス 沈み込み スラブ流体 質量分析 中性子照射 マントル 水

1. 研究開始当初の背景

沈み込み帯のマントルウェッジでは、沈み込むプレートから放出された水がかんらん岩の融点を下げ、島弧火成活動を引き起こしている。現在広く受け入れられているモデルでは、沈み込む海洋地殻や堆積物中の含水鉱物が、沈み込む過程で脱水分解し水を供給していると考えられている。堆積物や海洋地殻の中の間隙水は、海溝から沈み込む水の総量の 60% 以上を占めるが、付加体の下で絞り出され表層へ戻り、より深部のマントルへ沈み込むことはないとされている。しかし具体的にどの程度の量の間隙水が付加体で失われ、生き残った分の沈み込みがマントルウェッジに水を供給し得るのかについては、天然試料の分析にもとづく研究がほとんどなされていない。

希ガス (He, Ne, Ar, Kr, Xe) は大気 (海水)・地殻・マントルで大きく異なる同位体組成を示し、流体相に選択的に分配されるため、マントル中の水の起源について強い制約を与える。ハロゲン (ここでは Cl, Br, I) も水に取り込まれやすいが、Cl が含水鉱物に比較的入りやすく、堆積物・海洋地殻・海水そして間隙水で元素比が大きく異なるため、希ガスと相補的な情報を与える。すなわち希ガスとハロゲンを組み合わせることで、マントル中の水の起源と挙動について重要な知見が得られる。ただし火山岩や火山ガスからは、マグマの分化や脱ガス、地殻物質や大気、地下水の混入などのために、起源を反映した情報は得られにくい。一方マントル捕獲岩と貫入型かんらん岩体からは、より直接的なマントルの情報が得られる。とくに水に富む流体や含水鉱物を微細な包有物として含むマントル捕獲岩やかんらん岩体が沈み込み帯で報告されていることから、このような試料から、マントルに沈み込んだ水の起源に関する情報が得られると期待される。マントルウェッジ由来のかんらん岩に大気起源 Ar が存在することは以前から報告されていたが、それらがどのようにしてマントルに持ち込まれたかは不明であった。またハロゲンについては、マントル物質に含まれる微量ハロゲンの測定が極めて困難なため、報告例そのものがほとんどなかった。

Holland & Ballentine (*Nature*, 2006) は、アメリカ大陸中央部の CO₂ ガス井の希ガス同位体組成から、海水と非常に近い元素比を持つ希ガスが、全地球的に対流しているマントルに含まれていることを示した。また研究代表者は近年、四国の三波川変成帯に産する東赤石かんらん岩の希ガス・ハロゲン分析を行い、かつて深さ 100 km のマントルウェッジに存在した水の痕跡である蛇紋石包有物に、間隙水起源の希ガスとハロゲンが含まれていることを見出した (Sumino *et al.*, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2010)。含水鉱物が希ガスやハロゲンの輸送プロセスに介在すると、元素ごとの分配係数を反映して、これらの元素比は大き

く変化してしまう。従ってマントル中の希ガスと、マントルウェッジかんらん岩のハロゲンと希ガスが、いずれも海水ないし間隙水中のそれから元素比がほとんど分別していない事実は、間隙水がそのまま沈み込んだか、仮に何らかの含水鉱物によりハロゲンと希ガスが運ばれたにしても、ほぼ全てのハロゲンと希ガスを取り込む閉鎖系での含水化と、脱水時にほぼ全ての希ガスとハロゲンが流体に分配されることが要請される。いずれにしてもこれらの発見によって、マントルウェッジの深部、あるいはその先のマントル対流に巻き込まれるところまで間隙水起源の希ガスとハロゲンが到達していることが示唆されているが、それが沈み込み帯に普遍的な現象か、どのような過程を経て沈み込んでいるのか、さらにどの程度の量の間隙水起源の水がマントルウェッジに供給され、さらに深部のマントルへと到っているのかなど不明な点は多く、さらなる天然試料の分析からこれらを明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究ではまず、マントル物質にごくわずかに含まれるハロゲンを分析するための手法を開発し、沈み込み帯のマントルかんらん岩に含まれるハロゲンと希ガスの元素及び同位体組成を求め、マントルウェッジにどの程度、沈み込んだ間隙水の影響が及んでいるかを明らかにすることを第一の目的とした。

また三波川変成帯には、過去に沈み込んだスラブ物質である、変泥質岩やエクロジャイトも分布しており、これまでの膨大な研究の蓄積によって、温度圧力履歴が詳細に調べられている。とくにエクロジャイトには水に富む流体包有物も見出されていることから、間隙水が流体包有物に姿を変えて沈み込んでいる可能性も考えられる。このような、かつて沈み込みを経験したスラブ物質についてハロゲン・希ガス組成を求め、沈み込む物質の初期組成を与える海洋地殻や海底堆積物の希ガス・ハロゲン組成と比較することによって、間隙水の沈み込むメカニズムについて知見を得ることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 本研究は、中性子照射による原子核変換と、超高感度希ガス質量分析を組み合わせ、沈み込み帯のマントルかんらん岩、大陸下マントル物質、過去に沈み込んだスラブ物質、そして沈み込む海洋地殻と堆積物それぞれについて、希ガスとハロゲン及びその他の元素 (Ca, K, Ba, U) の多元素同時分析を行うことを柱としている。この手法は ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年代測定法を拡張したもので、試料を原子炉内に入れ中性子を照射し、表に示した核反応によりそれぞれの元素の同位体を希ガス同位体に変換した後、それを質量分析法により定量するものである。

本研究で分析した試料の中性子照射には、日本原子力研究機構の JRR-3 研究炉(2011 年 3 月の福島第一原発の事故以降稼働していないが、それ以前に照射していた)と、京都大学原子炉実験所の KUR 研究炉を用いた。

(2) 中性子を照射した試料は放射能を持つため、分析には東京大学・アイソトープ総合センター内の放射線管理区域に設置された希ガス質量分析システム (Ebisawa *et al.*, *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.*, 2004) を用いたが、この装置は ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代測定に長年使用されてきたことから、希ガス精製・分離ラインのブランクが高く、また希ガスを元素ごとに分離するコールドトラップの温度制御が難しく、分離が完全でないという問題があった。そこで到達真空度と操作性を向上させた真空ラインを新規に設計・製作し、各希ガス元素を分離するための、ヘリウム冷凍機を用いたクライオスタット式コールドトラップを導入した。

(3) 主に研究分担者らによって、三波川変成帯とアメリカ西海岸フランスカン変成帯のマントルウェッジ物質の岩石学的研究が進められ、本研究の分析対象となる試料が、岩石学・鉱物学的視点から選定された。また試料中の流体包有物の主成分組成(水や二酸化炭素など)を非破壊で分析できる有力な手法である顕微ラマン分光法や顕微赤外分光法の高度化が研究分担者によって進められ、本研究で希ガス・ハロゲン分析を行う試料について予察的な分析が行われた。

(4) 中性子照射が完了し、短半減期の放射性核種が減衰して安全に取り扱えるようになった試料から順次、ハロゲンやその他元素の分析を行った。試料からの希ガスの抽出には、まず真空中で試料を機械的に破碎し、流体包有物から選択的に希ガスを抽出する破碎法を用い、次に回収した粉碎試料をやはり真空中で加熱・溶融させて残りの希ガスを抽出した。これにより、流体包有物と鉱物に含まれるハロゲンやその他元素の組成を、それぞれ区別して求めた。

(5) 本研究期間の後半には KUR 研究炉が整備工事に入り、その後の再稼働認可取得にも時間がかかる見込みとなったため(平成 27 年 6 月現在、依然として再稼働認可が得られず停止したままである)、国内で利用可能な原子炉が存在しなくなった。そこでとくに鍵となる試料について、米国オレゴン州立大学の研究炉 OSTR での照射と、英国マンチェスター大学での希ガス同位体分析を行った。

(6) 試料に本来含まれる希ガスのうち、とくに He と Ne の同位体は中性子照射により様々な元素から生成するため、照射試料の分析から試料本来の同位体比を求めることは難し

表. 中性子照射で生じる希ガス同位体

| 親核種 | 核反応 | 生成核種 |
|----------------------|-----------------------------|--|
| ^{19}F | $(n, \gamma) \beta^-$ | ^{20}Ne |
| $^{24, 25}\text{Mg}$ | (n, α) | $^{21, 22}\text{Ne}$ |
| ^{37}Cl | $(n, \gamma) \beta^-$ | ^{38}Ar |
| ^{39}K | (n, p) | ^{39}Ar |
| ^{40}Ca | (n, α) | ^{37}Ar |
| $^{79, 81}\text{Br}$ | $(n, \gamma) \beta^-$ | $^{80, 82}\text{Kr}$ |
| ^{127}I | $(n, \gamma) \beta^-$ | ^{128}Xe |
| ^{130}Ba | $(n, \gamma) \text{EC, EC}$ | ^{131}Xe |
| ^{235}U | $(n, \text{fission})$ | $^{129, 131, 132, 134, 136}\text{Xe},$ $^{83, 84, 86}\text{Kr}$ |

い。そこで中性子を照射していない試料について、全希ガス同位体分析を行った。試料からの希ガス抽出には、照射試料と同様に、破碎法と加熱法の両方を用いた。抽出した希ガスの同位体分析には、既存の希ガス質量分析システム (Sumino *et al.*, *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.*, 2001) を用いたが、この装置に最近導入した超高感度イオン源の四重極レンズ電圧が、希ガスの元素ごとに最適条件が異なりマニュアルでは制御が難しいことが問題となっていたため、マルチチャンネル高圧電源を新規に導入し、PC 上のプログラムでレンズ電圧を制御し、全ての希ガスについて最高感度が得られる条件で測定できるようにした。

4. 研究成果

(1) 開発した分析システムを用いて、ハロゲン等の濃度が既知の、地質調査所と米国地質調査所が配布している地球化学標準物質を分析した。新たな分析システムにおけるハロゲンの検出下限は 100 mg の試料を用いた場合 Cl で数 ppb、Br で数十 ppt、I で数 ppt と極めて低濃度であり、ハロゲン含有量の低さ故に従来は分析が不可能であったマントル物質などに十分応用できることが分かった。

一方でハロゲン濃度の分析値は、他の分析手法により報告されている値よりも系統的に低かった。この原因として、地球化学標準物質の粉体表面にハロゲンが吸着しており、これを検出するか否かによって分析値に差が生じている可能性が考えられる。従来法では岩石の内部に含まれるハロゲンと、表面に吸着したハロゲンをまとめて検出している。これに対し本研究の手法では、表面に吸着したハロゲン由来の希ガスは直ちに大気中に拡散するか、あるいは試料を真空に入れた際にほとんどが失われる。その結果岩石内部に含まれているハロゲンしか主として検出せず、上記のような差が出たと考えられる。すなわち本研究の手法を用いると、表面吸着の寄与をある程度除去できる上、段階加熱法を用いて低温放出成分(表面吸着成分に富む)と高温放出成分(試料内部由来の成分に富む)を分けることで、試料本来のハロゲン組成を正確に求めることができる。

(2) 北西太平洋の海底（国際深海掘削計画のサイト 801 と 1149）から採取された堆積物と変質した海洋地殻に含まれる希ガスとハロゲン进行分析したところ、いずれからも放射壊変起源 ^4He と ^{40}Ar に富むものの、大気（海水）起源成分が支配的な希ガス同位体比と、Kr や Xe などの重い元素に富む希ガス元素比が得られた。また堆積物中のハロゲンは、報告されている堆積物中間隙水よりもさらに I に富んでいた。これは植物プランクトンなど I を積極的に取り込む生物の死骸である有機堆積物が多く含まれているためと解釈できる。また変質した海洋地殻では、変質による角閃石の生成に伴いハロゲン組成が Cl に富むよう変化することが明らかになった。

(3) 北海道・日高変成帯のかんらん岩やカムチャッカ半島・アバチャ火山、フィリピン・ピナツボ火山のマントル捕獲岩といった、火山フロント直下に由来すると考えられているマントルウェッジ物質から、破砕法により（ハロゲン由来の）希ガスを抽出して分析した。その結果、四国・三波川変成帯の東赤石かんらん岩で既に報告している、間隙水と似た組成のハロゲンが流体包有物に含まれていることが分かった。すなわちマントルウェッジの少なくとも火山フロント直下までは、間隙水起源の流体の沈み込みによる影響が強く及んでいると考えられる。また全岩試料を加熱溶解して得られたハロゲン組成は、かんらん石の破砕により得られた組成よりも Cl に相対的に富んでおり、鏡下観察により確認されている角閃石や、粒間に侵入したケイ酸塩ガラスなどに、この過剰な Cl は存在していると考えられる。

(4) 四国中央部の三波川変成帯に産する、過去に沈み込んだスラブ物質であるエクロジヤイトや変泥質岩と、前弧域のマントルウェッジかんらん岩がスラブ流体と反応して形成した、白髪山の蛇紋岩中の希ガスとハロゲンを分析した。エクロジヤイト中のオンファス輝石やザクロ石、変泥質岩の全岩を真空中で破砕し、それぞれに含まれる流体包有物について選択的に得られたハロゲン組成は、同じ地域に産するマントルウェッジ物質（東赤石かんらん岩）と同様に、間隙水とよく似ていた。一方で同じ試料を加熱溶解して求めた全岩のハロゲン組成は相対的に Cl に富み、変質した海洋地殻の特徴（4（2））とよく似ていた。また蛇紋岩のハロゲン組成は、希ガス抽出法によらず間隙水と完全に一致し、他グループによる報告（Kendrick *et al.*, *Nature Geosci.*, 2011; *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2013）と調和的であった。これらのことは、沈み込んだ海洋地殻や堆積物の粒間などに取り込まれていた間隙水由来のハロゲンが、深さ数十 km の沈み込みを経験してもなお流体包有物に残されていること、本来ハロゲンに乏しいかんらん岩が水を得て形成した蛇紋岩は、全

岩として間隙水由来のハロゲン組成を強く受け継いでいることを示している。

(5) 国内の研究用原子炉の稼働状況が壊滅的であったため、本研究期間内には中性子照射とハロゲン分析が行えなかったが、沈み込んだスラブ中で形成されたマイクロダイヤモンドや、より深部のマントルに由来するキンバーライトと、それに内包されるダイヤモンドの希ガス同位体組成を分析し、これらの起源にマントルブルームが関与した可能性を指摘した。また南米パタゴニア地域のマントル捕獲岩を分析したところ、沈み込みによる U と Th の付加が、Ne 同位体比の異常として初めて見出された。

(6) 日本の三波川変成帯とアメリカ西海岸フランシスカン変成帯のかんらん岩や蛇紋岩の岩石学的研究からは、スラブから供給された水がマントルウェッジの構造や地球化学的特徴に及ぼす影響が明らかになった。低圧で蛇紋石が脱水して形成したかんらん石を含む、長野県の八方尾根の蛇紋岩体について微細構造と結晶方位を調べた結果、新しく成長したかんらん石の結晶方位は、元々の蛇紋石の方位に影響されていることが分かった。また東赤石かんらん岩中の含水微細包有物の微量元素濃度を求めるために、LA-ICP-MS による分析を試み、液相濃集元素の濃度が周囲のかんらん石に比べて明瞭に高いことを示した。

(7) 高度化した顕微ラマン分光分析の応用として、コランダム中のジルコン包有物周辺の残留応力を、ラマンスペクトルの三次元マッピングを用いて調べた。また特種なダイヤモンドであるカルボナドについて、水を主成分とする流体が捕獲されていることを赤外スペクトルから示し、マントルに沈み込んだ地殻物質中で形成した可能性が高いことを Re-Os 同位体組成から示した。

(8) 以上のように本研究は、独自に開発した超高感度ハロゲン・希ガス多元素同時分析技術を駆使して、堆積物中の間隙水に起源をもつハロゲンと希ガスが、沈み込み帯のマントルウェッジやかつて沈み込みを経験したスラブ物質に普遍的に含まれることを示した。蛇紋岩が間隙水ときわめて近いハロゲンと希ガス組成を持つこと、また全マントルに影響を及ぼすほどの希ガスの沈み込み量（Holland & Ballentine, *Nature*, 2006）を勘案すると、蛇紋岩が間隙水起源のハロゲンの沈み込みに重要な役割を果たしている可能性が高い。今後は本研究の継続課題（基盤研究(B)・課題番号 26287139）として、H25 年度に導入した紫外レーザー装置を用いた局所ハロゲン・希ガス分析により、蛇紋岩をはじめとした沈み込み物質の微細組織とハロゲン組成の関連を明らかにする。そして本研究

で見出した、希ガス・ハロゲン分析に用いることで水の起源を制約するのに有用と期待される、それぞれ興味深い特徴をもち由来深度もさまざまに異なる試料のハロゲン・希ガス分析を推進し、マントルにおける水の循環の全貌を紐解くことを目指す。

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12件)

小林真大, 角野浩史, 遠山知亜紀 (2015) マントル物質のハロゲン組成にみられるスラブ起源流体の痕跡. *地学雑誌*, 印刷中 (査読有).

Endo, S., Nowak, I., Wallis, S.R. (2013). High-pressure garnet amphibolite from the Funaokayama unit, western Kii Peninsula and the extent of eclogite facies metamorphism in the Sanbagawa belt. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **108**, 189-200 (査読有).

Kagi H., Odake S., Ishibashi H., Shozugawa K., Matsuo M., Satake W., Mikouchi T. (2013) Oxygen fugacity and valence of chromium in ferropericlase: Can Cr²⁺ be a redox indicator for the deep mantle? *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **108**, 172-177 (査読有).

Noguchi N., Abduriyim A., Shimizu I., Kamegata N., Odake S., Kagi H. (2013) Imaging of internal stress around a mineral inclusion in a sapphire crystal: application of micro-Raman and photoluminescence spectroscopy. *Journal of Raman Spectroscopy*, **44**, 147-154, doi: 10.1002/jrs.4161 (査読有).

角野浩史 (2012) 揮発性元素の沈み込みはマントルのどこまで及んでいるのか? *地球化学*, **46**, 149-170 (査読有).

Ishibashi H., Kagi H., Sakurai H., Ohfuji H., Sumino H. (2012) Hydrous fluid as the growth media of natural polycrystalline diamond, carbonado: implication from IR spectra and microtextural observations. *American Mineralogist*, **97**, 1366-1372, doi: 10.2138/am.2012.4097 (査読有).

Aoya, M., Endo, S., Mizukami, T., Wallis, S.R. (2012) Paleo-mantle wedge preserved in the Sambagawa high-pressure metamorphic belt and the thickness of forearc continental crust. *Geology*, **41**, 451-454 (査読有).

Arai, S., Ishimaru, S., Mizukami, T. (2012) Methane and propane micro-inclusions in olivine in titanoclinohumite-bearing dunites from the Sanbagawa high-P metamorphic belt, Japan: Hydrocarbon activity in a subduction zone and Ti mobility. *Earth and Planetary Science Letters*, **353-354**, 1-11, doi: 10.1016/j.epsl.2012.07.043 (査読有).

Miura, M., Arai, S., Ahmed, H.A., Mizukami, T., Okuno, M., Yamamoto, S. (2012) Podiform chromitite classification revisited: A comparison of discordant and concordant chromitite pods from Wadi Hilti, northern Oman ophiolite. *Journal of Asian Earth Sciences*, **59**, 52-61 (査読有).

Sumino H., Dobrzhinetskaya L.F., Burgess R., Kagi H. (2011) Deep-mantle-derived noble gases in metamorphic diamonds from the Kokchetav massif, Kazakhstan. *Earth and Planetary Science Letters*, **307**, 439-449 (査読有).

Wallis S.R., Kobayashi H., Nishii A., Mizukami T., Seto Y. (2011) Obliteration of olivine crystallographic preferred orientation patterns in subduction related antigorite-bearing mantle peridotite: an example from the Higashi-Akaishi body, SW Japan. *Geological Society of London Special Publications*, **360**, 113-127 (査読有).

Nishii A., Wallis S.R., Mizukami T., Michibayashi K. (2011) Subduction related Antigorite CPO patterns from forearc mantle in the Sanbagawa belt, southwest Japan. *Journal of Structural Geology*, **33**, 1436-1445 (査読有).

[学会発表](計20件)

小林真大, 角野浩史, 長尾敬介, 石丸聡子, 荒井章司, 芳川雅子, 川本竜彦, 熊谷仁孝, 小林哲夫, マントルウェッジかんらん岩に捕獲された沈み込み起源のハロゲンと希ガス. *日本地球化学会第60回年会*, 2013年9月11日, 筑波大学 (茨城県).

Chavrit D., Ruzie L., Burgess R., Hilton D.R., Sumino H., Sinton J., Ballentine C.J., The halogen cycle in subduction zones: Insight from back-arc basin basalts. *23rd Annual V.M. Goldschmidt Conference*, 2013年8月30日, フィレンツェ (イタリア).

Kobayashi M., Sumino H., Nagao K., Ishimaru S., Arai S., Yoshikawa M., Kawamoto T., Kumagai Y., Kobayashi T., Burgess R., Ballentine C.J., Subducted halogens and noble gases in the mantle wedge peridotites. *23rd Annual V.M. Goldschmidt Conference*, 2013年8月29日, フィレンツェ (イタリア).

Sumino H., Mizukami T., Endo S., Wallis S.R., Yoshida K., Hirajima T., Burgess R., Ballentine C.J., Pore fluid-derived halogens and noble gases preserved in exhumed mantle wedge rocks from the subduction-type Sanbagawa metamorphic belt. *IAVCEI 2013 Scientific Assembly*, 2013年7月21日, かごしま県民交流センター (鹿児島県).

Kobayashi M., Sumino H., Saito T., Nagao K., Ishimaru S., Arai S., Yoshikawa M., Kawamoto T., Kumagai Y., Kobayashi T.,

Burgess R., Ballentine C.J., Slab-derived halogens and noble gases in mantle peridotites from subduction zones. *IAVCEI 2013 Scientific Assembly*, 2013年7月20日, かがしま県民交流センター (鹿児島県).

小林真大, 角野浩史, 齋藤健彦, 長尾敬介, 石丸聡子, 荒井章司, 芳川雅子, 川本竜彦, 熊谷仁孝, 小林哲夫, Burgess R., Ballentine C.J., アジア東縁の沈み込み帯に産するマントルかんらん岩中の間隙水的ハロゲンと希ガス. *日本地球惑星科学連合 2013年大会*, 2013年5月23日, 幕張メッセ (千葉県).

角野浩史, 田子修也, 豊島大地, 鍵裕之, 長尾敬介, Zedgenizov D.A., Ragozin A.L., ダイヤモンドの起源を顕微赤外分光分析と希ガス質量分析で探る. *日本地球惑星科学連合 2013年大会*, 2013年5月22日, 幕張メッセ (千葉県).

Sumino H., Dobrzhinetskaya L.F., Kagi H., Burgess R., Deep-mantle-derived noble gases in metamorphic diamonds: evidence of mantle plume involvement in UHP metamorphism. *日本地球惑星科学連合 2013年大会*, 2013年5月20日, 幕張メッセ (千葉県).

水上知行, 岡崎友, 荒井章司, 針金由美子, 道林克禎, 榎並正樹, Wallis S., スラブ物質とマントル物質の物理化学相互作用の痕跡: 三波川帯泥質片岩へ多角的なアプローチ. *日本地質学会 2012年会*, 2012年9月15日, 大阪府立大学 (大阪府).

角野浩史, 小林真大, 清水綾, Cavrit R., Burgess R., 木村純一, Ballentine C.J., 含水スラブマントルによるハロゲンと希ガスの沈み込み過程. *2012年度日本地球化学会年会*, 2012年9月12日, 九州大学 (福岡県).

ジャロピツキー ティアゴ, 角野浩史, コンセッション ロム口, 折橋裕二, 長尾敬介, パタゴニア大陸 (南緯 37° - 52°)・リソスフェリック・マントル由来のマントル・ゼノリスにおける希ガス同位体組成. *2012年度日本地球化学会年会*, 2012年9月11日, 九州大学 (福岡県).

小林真大, 角野浩史, 長尾敬介, マントル物質中のハロゲン定量に向けた希ガス分析システムの構築. *2012年度日本地球化学会年会*, 2012年9月11日, 九州大学 (福岡県).

Sumino H., Abbott L., Shimizu A., Burgess R., Ballentine C.J., Halogens and noble gases subducted into the mantle: constraints from mantle wedge peridotites and olivines in arc lavas. *22nd Annual V. M. Goldschmidt Conference*, 2012年6月28日, モントリオール (カナダ).

角野浩史, 小林真大, 清水綾, 長尾敬介, Burgess R., Ballentine C., 超高感度希ガス質量分析技術の応用による希ガス・ハロゲ

ン多元素同時分析が紐解くマントル内の水の起源. *日本地球惑星科学連合 2012年大会*, 2012年5月21日, 幕張メッセ (千葉県).

Wallis S., Okudaira T., Paired metamorphism in SW Japan: tectonic models for the Sanbagawa and Ryoke Belts. *日本地球惑星科学連合 2012年大会*, 2012年5月20日, 幕張メッセ (千葉県).

Nagaya T., Wallis S., Mizukami T., Michibayashi K., Antigoriteの脱水分解とB-タイプ olivine CPOの形成. *日本地球惑星科学連合 2012年大会*, 2012年5月20日, 幕張メッセ (千葉県).

水上知行, 石神慎太郎, 荒井章司, 東赤石超マフィック岩体のリザーダイト-ブルース蛇紋岩: かんらん石からのトポタキシャル成長. *日本地球惑星科学連合 2012年大会*, 2012年5月20日, 幕張メッセ (千葉県).

角野浩史, 遠藤俊祐, 吉田健太, 水上知行, Wallis S., 平島崇男, Burgess R., Ballentine C., 三波川変成帯のカンラン岩とエクロジャイトに捕獲されたスラブ起源ハロゲンと希ガス. *日本地球惑星科学連合 2011年大会*, 2011年5月25日, 幕張メッセ (千葉県).

北村文彦, 角野浩史, 松藤京介, 長尾敬介, 兼岡一郎, Kamenetsky V.S., Kamenetsky M.B., ウダチナヤキンパーライトの希ガス分析. *日本地球惑星科学連合 2011年大会*, 2011年5月26日, 幕張メッセ (千葉県).

Sumino H., Ballentine C.J., Burgess R., Endo S., Yoshida K., Mizukami T., Holland G., Wallis S.R., Hirajima T., Slab-derived halogens and noble gases with a marine pore-fluid signature. *21st Annual V. M. Goldschmidt Conference*, 2011年8月18日, プラハ (チェコ共和国).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

角野 浩史 (SUMINO, Hirochika)
東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号: 90332593

(2) 研究分担者

水上 知行 (MIZUKAMI, Tomoyuki)
金沢大学・自然システム学系・助教
研究者番号: 80396811

ウォリス リチャード サイモン
(WALLIS, R・Simon)
名古屋大学・環境学研究科・教授
研究者番号: 30263065

鍵 裕之 (KAGI, Hiroyuki)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号: 70233666