

熱水性鉱石の流体包有物中に含まれる揮発性元素の同位体組成 Isotopic compositions of volatile elements trapped in fluid inclusions in hydrothermal ores

大城 光洋^{1*}, 佐野 有司¹, 高畑 直人¹, 鹿児島 涉悟¹, 石橋 純一郎²
Mitsuhiro Ooki^{1*}, Yuji Sano¹, Naoto Takahata¹, Takanori Kagoshima¹, Jun-ichiro Ishibashi²

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻

¹AORI, the University of Tokyo, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University

流体包有物は鉱物結晶中に捕獲された液相と気相から成る数百 μm 程度の大きさの流体であり、鉱物形成時の熱水の情報を保存している。そのため、流体包有物中の化学組成を測定することで熱水性鉱石を形成した熱水の化学組成を知ることができる。熱水性鉱石の流体包有物中に取り込まれた希ガスは熱水の組成をよく反映しており、熱水の起源を知るためのトレーサーとして適している [1-3]。そこで本研究では熱水の起源を議論するために熱水性鉱石の流体包有物中に含まれる希ガスの同位体組成を測定した。また、さらに熱水性鉱石の形成過程に制約条件を与えるために、これまでほとんど報告のされていない鉱床鉱物の流体包有物中に含まれる窒素の同位体比も測定した。そしてこれらの元素の同位体比測定結果から熱水性鉱石の流体包有物中に含まれる揮発性元素の同位体組成に関する地球化学的研究を行った。

熱水性鉱石試料は 2011 年の 9-10 月に実施された NT11-20 航海の際に無人潜水調査艇ハイパードルフィン (JAMSTEC) によって沖縄トラフから採取された試料を用いた。流体包有物中の揮発性元素の測定は破砕法で行った。約 1g の試料をステンレス製クラッシャーにステンレス球と共に入れ、真空下で約 200 度に加熱することで鉱石試料表面の大気成分を取り除いた。そして室温で冷却後、クラッシャーを上下に振ることで試料にステンレス球を衝突させて破砕し、流体包有物に含まれていた揮発性成分をクラッシャー内部の気相へ抽出した。これらを真空ラインに導入し精製した後、²⁰Ne/⁴He を四重極型質量分析計 (Q-mass) で測定し、³He/⁴He を希ガス用質量分析計 (Helix) で測定した。また、同様の手法で流体包有物中の d15N と N₂/⁴⁰Ar を窒素同位体質量分析計 (MicroMass 3600) で測定した。その際、Q-mass を用いて ⁴⁰Ar/³⁶Ar と ⁴He/⁴⁰Ar の測定も行った。

³He/⁴He の測定結果は 1.17~7.38Ra (Ra は大気の ³He/⁴He = 1.4×10^{-6} [4]) となった。これらの値は大気と MORB (=8+1Ra [4]) の混合を示しており、熱水に対して上部マントル成分の寄与があることが確認された。また、³He/⁴He と ²⁰Ne/⁴He の結果から熱水中のヘリウムとネオンは上部マントルと間隙水の混合によって説明でき、間隙水の影響を大きく受けていることが示唆された。窒素は MORB ガラスやダイヤモンドの研究から上部マントルでは d15N = -3 ~ -7‰ の値をとると推定されている [5]。それに対して本研究で測定した熱水性鉱石は d15N = +2.47 ~ +4.16‰ とすべてのサンプルでプラスの値を示し、沖縄トラフの堆積物 (d15N = 3.5 ~ 6.1‰ [6]) と似た同位体比を示した。N₂/⁴⁰Ar は 54~112 と大気 (=85) と海水 (=55) の報告値に近い値をとり、⁴⁰Ar/³⁶Ar は $3.29 \times 10^2 \sim 9.92 \times 10^2$ と大気 (= 2.96×10^2) より高く MORB (>40000) よりも大幅に低い結果となった [7]。そして、熱水性鉱石の流体包有物中の窒素が上部マントル、堆積物、大気それぞれにどの程度起源を持つか、d15N 及び N₂/³⁶Ar、N₂/³He の値を用いることで混合の割合を推定した。その結果、窒素は 35-65% が堆積物起源であり、上部マントルからの寄与はほとんど見られなかった。この結果は沖縄トラフが厚い堆積物に覆われていることと、熱水中のヘリウムとネオンが間隙水の影響を大きく受けていることと調和的である。熱水性鉱石の起源を推定する際、流体包有物中の d15N、N₂/³⁶Ar、N₂/³He は堆積物の関与を知るうえで有用なトレーサーと成り得ると考えられる。

キーワード: 流体包有物, 希ガス同位体, 窒素同位体, 熱水性鉱石, 沖縄トラフ

Keywords: fluid inclusion, noble gas isotope, nitrogen isotope, hydrothermal ore, Okinawa Trough