

## 沖縄トラフ伊是名海穴海底熱水系における硫黄システムティクス：安定同位体，鉱物学，酸化還元平衡論的アプローチ

Sulfur Systematics in the Izena Hole Seafloor Hydrothermal Systems, Okinawa Trough: Stable Isotope, Mineralogy and Redox Equilibria

\*川角 彰吾<sup>1</sup>、千葉 仁<sup>1</sup>、石橋 純一郎<sup>2</sup>

\*Shogo Kawasumi<sup>1</sup>, Hitoshi Chiba<sup>1</sup>, Jun-ichiro Ishibashi<sup>2</sup>

1.岡山大学大学院自然科学研究科、2.九州大学理学研究院地球惑星科学部門

1.Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, 2.Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Kyusyu University

海底熱水系の硫黄ソースを明らかにすることは、海底熱水鉱床の成因を議論するうえで重要である。しかしながら、半遠洋性堆積物に覆われた沖縄トラフ海底熱水系の硫黄ソースについては議論が乏しい。これは熱水—堆積物相互作用により系が複雑化されているため、堆積物のない熱水系と比べて議論が困難であるからである。中部沖縄トラフ（27°15'N, 127°04'E, 水深-1500m）に位置する伊是名海穴には、薄く堆積物に覆われたJADEサイトと、厚い堆積層を有するHAKUREIサイトとよばれる二つの活発な熱水活動域が存在し、両サイトを比較することで熱水—堆積物相互作用の影響を評価できるといわれている（Kawagucci et al., 2010; Ishibashi et al., 2014）。本研究では、JADEとHAKUREIサイトで採取された熱水性沈殿物の鉱物組合せと鉱物化学組成および硫黄・酸素同位体組成を比較することで、伊是名海穴における硫黄ソースと硫黄同位体体系の解明を試みた。

JADEサイトの高温熱水チムニーは、Fe-poor閃亜鉛鉱 (<2.2 FeS mol%)、砒四面銅鉱、方鉛鉱、黄鉄鉱、黄銅鉱からなる黒鉱型硫化物組合せをもつ。対して、HAKUREIサイトの熱水チムニーは、自形の磁硫鉄鉱、Fe-rich閃亜鉛鉱(23.5-50.8 FeS mol%)、方鉛鉱、黄銅鉱ラメラを伴うアイソキューバナイト、少量の黄鉄鉱、Sb-Pb-rich磁硫鉄鉱と重晶石、硬石膏で構成され、その鉱物学的特徴は近接するJADEサイトよりも、堆積物に覆われたGuaymas BasinやMiddle Valleyで報告されているものに近い。

300°C程度の海底熱水ならば、適切な熱力学データを用いることで、溶存H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S濃度から熱水自体のfO<sub>2</sub>-fS<sub>2</sub>条件を計算でき、それをFe-Cu-S系のfO<sub>2</sub>-fS<sub>2</sub>ダイアグラムにプロットすれば、鉱物学的に推定された酸還元条件と比較できる。熱水化学組成から計算した酸化還元条件は、熱水チムニーの鉱物組合せと閃亜鉛鉱のFe含有量から推定した酸化還元条件とよく一致する。どちらの推定も、JADEサイトが堆積物に乏しくマグマ性揮発成分の寄与が指摘されているPACMANUSと同程度の高いfO<sub>2</sub>-fS<sub>2</sub>条件を示すのに対して、HAKUREIサイトはGuaymas BasinやMiddle Valleyと同程度の低いfO<sub>2</sub>-fS<sub>2</sub>条件を示す。このことから、HAKUREIサイトの熱水環境は堆積物中の有機物分解により比較的還元的であり、一方、JADEサイトの薄い堆積層は熱水環境の酸化還元条件に影響を及ぼしていないことが示された。

HAKUREIサイトの熱水チムニー硫化物の $\delta^{34}\text{S}$ は1.8~4.2‰ (2.7±0.6‰, n=19)であり、JADEサイト (5.1~6.7‰) より有意に低い。これは、重晶石と硬石膏の $\delta^{18}\text{O}$ が熱水噴出温度 (326°C) における海水SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-熱水H<sub>2</sub>O間の酸素同位体平衡が成立していないことから、より同位体交換反応速度の遅い海水SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-熱水H<sub>2</sub>S硫黄同位体平衡によるものではない。また、JADEサイトの硫化物の比較的高い $\delta^{34}\text{S}$ と高いfS<sub>2</sub>条件 (高いH<sub>2</sub>S濃度: ~13.6mM) を生み出す硫黄ソースとしては、硫黄濃度の低い島弧火山岩は不十分であり、別のソースの存在が示唆される。

複数の島弧・背弧海盆海底熱水系では、マグマから脱ガスしたSO<sub>2</sub>の寄与による $\delta^{34}\text{S}$ と熱水pHの異常が指摘されているが、伊是名海穴では多量のマグマ起源CO<sub>2</sub>の寄与があるにも関わらず、SO<sub>2</sub>の異常がみられない。島弧マグマから脱ガスする硫黄化学種存在度とその硫黄同位体比を、SO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S間の化学平衡 (SO<sub>2</sub> + 3H<sub>2</sub> = H<sub>2</sub>S + 2H<sub>2</sub>O) とHematite-Magnetite酸化還元バッファーを仮定して計算すると、硫黄化学種の平衡温度が約400°C以下ならば、脱ガスしたSO<sub>2</sub>の大部分がH<sub>2</sub>Sへ変換され、島弧マグマの高い $\delta^{34}\text{S}$  (~5‰) を反映したH<sub>2</sub>Sが生成されることが示唆された。またHAKUREIサイト硫化物の低い $\delta^{34}\text{S}$ は、堆積層中の硫酸還元細菌由来H<sub>2</sub>Sの寄与によるものか、あるいは、脱ガスした硫黄化学種の平衡温度がJADEサイトより高いことによるSO<sub>2</sub>の割合の増加に伴う $\delta^{34}\text{S}$ の低いH<sub>2</sub>Sの寄与による可能性がある。

キーワード：伊是名海穴海底熱水系、沖縄トラフ、硫黄同位体、酸化還元条件、鉱物組合せ

Keywords: Izena Hole seafloor hydrothermal systems, Okinawa Trough, sulfur isotope, redox conditions, mineral assemblage