

希土類元素を用いた水曜海山海底熱水系における物質循環研究

2009年3月 自然環境学専攻 76728 寺西源太

指導教員 小畑元 准教授

キーワード: 熱水、島弧、微量元素、希土類元素、スキヤベンジング

1. はじめに

海底熱水活動は、海洋の物質循環において、微量元素や栄養塩などの主要な供給・除去源として大きな役割を果たしていると考えられている(Edmond et al., 1979)。このような熱水活動は主にプレート発散境界で生じる中央海嶺型、プレート収束境界で生じる島弧、背弧型として地質学的に区別されている。しかしながら、島弧型熱水における研究例は中央海嶺型に比べて少なく、希土類元素など、いくつかの微量元素については未だに報告例がない。希土類元素は相互に類似した化学的性質をもつ元素群であるが、僅かながら系統的な違いが元素間に生じる。この系統的な違いは、熱水が形成され噴出するまでの分化過程を推察する指標になると考えられている。また海洋環境において希土類元素は周囲の粒子に取り込まれて沈降除去されるスキヤベンジングという過程を受けるが、その詳細な挙動についてはまだわかっていないことが多い。希土類元素を高精度に分析し、系統的变化を捉えることができれば、海洋の熱水活動域における元素のスキヤベンジングを理解する上で有用な化学プローブになると考えられる。そこで本研究では島弧型熱水系である伊豆小笠原弧水曜海山において、熱水および熱水プルーム試料中の希土類元素の分析を行い、水曜海山熱水系の特徴について検討するとともに、熱水噴出後における希土類元素の挙動を調べ、スキヤベンジングをより定量的に評価し、海洋物質循環への海底熱水活動の寄与について検討することを目的とした。

2. 試料と分析手法

熱水および熱水プルーム試料は、独立行政法人海洋研究開発機構所有、調査母船「なつしま」及び無人潜水艇「ハイパードルフィン」を用いた NT07-08 次研究航海(2007年5月15日-5月28日)において、伊豆小笠原弧七曜海山列中央に位置する水曜海山で採取された。採取後、試料は直ちにクリーンブース内において高純度塩酸を添加し、pH を 2.0 以下にして持ち帰り、実験室において測定した。試料中の希土類元素は溶媒抽出法(Sabani et al., 1990)による分離濃縮後、誘導結合プラズマ質量分析装置(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)によって測定した。

3. 結果

測定された熱水試料中の希土類元素をコンドライト隕石で規格化した結果を図 1 に示す。全ての熱水試料で正の Eu 異常と、軽希土類元素の濃縮が認められた。これらの特徴は一般的な中央海嶺型や背弧型で認められる特徴と同じである。水曜海山は中央に巨大なカルデラ火口が

存在し、内部に熱水の影響を強く受けた海水を滞留させていることが知られている(Tsunogai et al., 2005)。本研究において、カルデラ内では明確な濁度異常が観測された。これらは熱水プルームを捉えていると考えられる。オーストラリア頁岩(PAAS)で規格化した熱水プルーム試料中の希土類元素組成は、通常の深層水とは異なり、顕著な正のEu異常が認められ、噴出熱水の影響を強く受けていることを表している(図2)。SmとGd濃度から算出したEu異常の値は1.20~4.61であり、他の閉鎖的ではない熱水域と比べて明らかに高い値を示した。

4. 考察

本研究で明らかになった希土類元素組成は既往研究のものと同様であることから、島弧型である水曜海山においても、中央海嶺型や背弧型の熱水系と同様のシステムによって強く支配されていると考えられる。噴出した熱水中の希土類元素は、直ちにスキャベンジングを受けると考えられる。このスキャベンジングの過程を検討するため、熱水プルーム試料中のEu濃度とPAASで規格化したEu異常の値との関係をモデルを用いて解析した(図3)。図3からEuは熱水噴出後60-80%のスキャベンジングを受けていることがわかる。軽・中希土類元素間では分別がほとんど認められなかったため、両者は同程度のスキャベンジングを受けていると考えられ、重希土類元素はそれらよりも低いスキャベンジングを受けていると考えられる。スキャベンジングによって、噴出後直ちに軽・中希土類元素の60-80%が除去されていることから、熱水中には高濃度で希土類元素が濃縮しているが、海洋への供給源としてはほとんど作用していないと考えられる。むしろ熱水プルーム中に含まれる鉄やマンガンを含む粒子状物質が広域に拡散することによって、元々海水中に存在する希土類元素を除去しようと考えられる。これは、熱水活動は海水中の希土類元素の除去源であるという考え(German et al., 1990)とも整合的である。本研究では希土類元素のスキャベンジングによる除去率を定量的に算出したが、今後、同様の挙動を示す微量元素と希土類元素を比較することによって、除去源としての海底熱水活動の影響を評価することも可能になると考えられる。

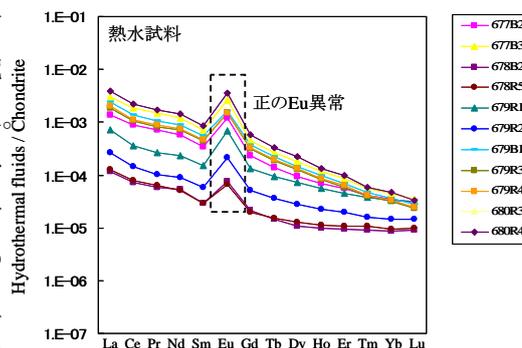


図1 コンドライト隕石で規格化した熱水試料中の希土類元素組成

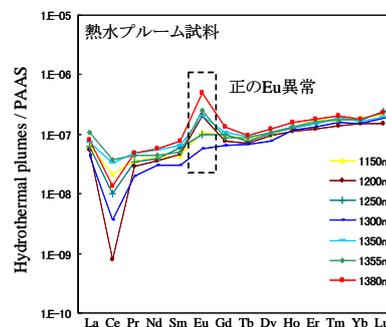


図2 PAASで規格化した熱水プルーム試料中の希土類元素組成

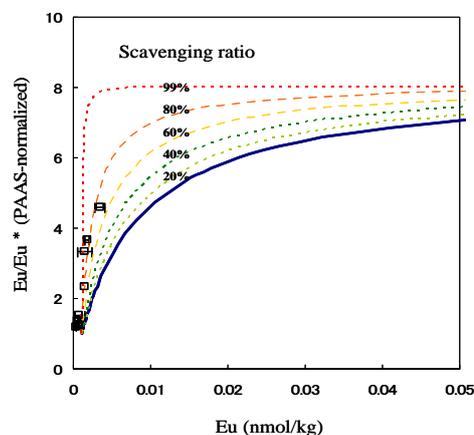


図3 熱水プルーム試料中のEu濃度に対するEu異常の関係

Study on marine geochemical cycles at Suiyo Seamount hydrothermal system by determining rare earth elements in hydrothermal fluids and plumes

March, 2008, Department of Natural Environmental Studies, 76728, Genta TERANISHI
Supervisor; Associate Professor, Hajime OBATA

Keywords : hydrothermal, island-arc, trace metal, rare earth elements, scavenging

1. Introduction

Hydrothermal activity is thought to play important roles as a source and sink for trace elements and nutrients in marine biogeochemical cycles (Edmond et al., 1979). The hydrothermal system is geologically categorized as mid-ocean-ridge type, island-arc type and back-arc type. However, a few studies have been performed in the island-arc type hydrothermal systems compared with mid-ocean ridge types, especially for trace elements like the rare earth elements (REE). REE have small but systematic difference one another in their chemical properties. This systematic difference can be used for chemical index for hydrothermal fluid venting process. In the marine environment, REE in seawater have been used as chemical tracers because of the systematic variation on particle affinities. However, the detailed REE scavenging process has not been understood yet. In the hydrothermal activity, REE can be useful chemical probes to understand scavenging process if the REE in hydrothermal fluids and plumes are determined precisely. In this study, the REE in the hydrothermal fluid and plume samples were determined at the Izu-Ogasawara Bonin arc Suiyo Seamount. From the results, the feature of the hydrothermal venting system at Suiyo Seamount was discussed. Moreover, the scavenging intensity of REE after venting was evaluated quantitatively by determining REE in the plume samples precisely.

2. Sampling and analytical methods

Hydrothermal fluid and plume samples were collected at Suiyo Seamount, located at the center of the seamount chain of seven Izu-Ogasawara arcs, by using the R/V Natsushima and Hyper Dolphin during a research cruise of NT07-08 (15 May, -28 May, 2007). The samples were acidified to \leq pH 2.0 with the high-purity hydrochloric acid in a clean booth. The samples were brought back and analyzed in the land-based laboratory. The REE analyses of the samples were performed by using solvent extraction and ICP mass spectrometry (Shabani et al., 1990).

3. Results

In all hydrothermal fluid samples, the chondrite-normalized REE patterns showed the positive Eu anomaly and progressive enrichments of lighter REE (Figure 1). These features are almost as same as those in the general mid-oceanic type and the back-arc type.

Suiyo Seamount has a huge caldera in the center, and keeps the seawater, which is strongly influenced by the hydrothermal fluids, within the caldera (Tsunogai et al., 2005). In this study, a clear turbidity anomaly was observed within the caldera, where hydrothermal plumes probably existed. In all the hydrothermal plume samples, the PAAS-normalized REE patterns (Figure 2) showed the clear positive Eu anomaly, which is very different from that in usual deep waters. The values of Eu anomaly, calculated from Sm and Gd, ranged from 1.20 to 4.61. These values were obviously higher than those in other hydrothermal areas reported previously.

4. Discussion

The REE composition in this study were similar to those in the other hydrothermal systems, mid-oceanic ridge type and the back-arc type, indicating the similar REE enrichment process in hydrothermal fluid. After venting, REE are thought to be scavenged around the chimney. To examine this scavenging process, the values of Eu anomaly were plotted against Eu concentrations in hydrothermal plume samples (Figure 3). Assuming a simple scavenging process, it was calculated that 60-80% of Eu was scavenged after venting. There was no fractionation between light and middle REE. Hydrothermal fluids contained REE at high concentrations compared with those in seawater. However, 60-80% of REE were scavenged immediately after venting, which implies that hydrothermal activity is not a strong source of REE to the ocean. In the hydrothermal plume, abundant particulate substances were included, such as iron and manganese oxides which can scavenge the REE

existing originally in seawater. This study is consistent to the previous work (German et al., 1990) that the hydrothermal activity is a possible sink of the REE in the ocean. In this study, the scavenging ratio was estimated only for REE. By comparing the other trace elements with the REE, the scavenging ratio of other elements might be evaluated in the hydrothermal activity.

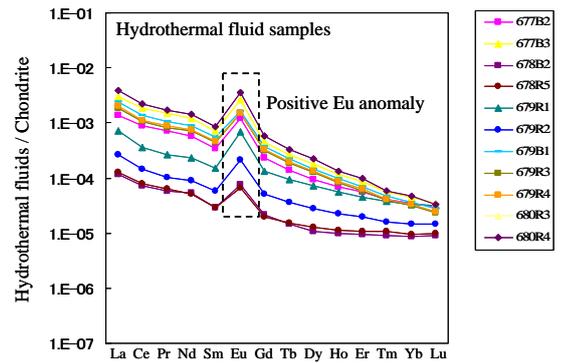


Figure 1. Chondrite-normalized REE pattern in hydrothermal fluids.

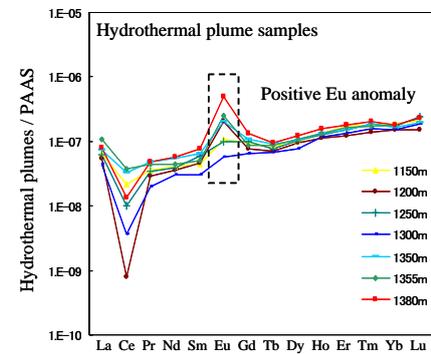


Figure 2. PAAS-normalized REE pattern in hydrothermal plumes.

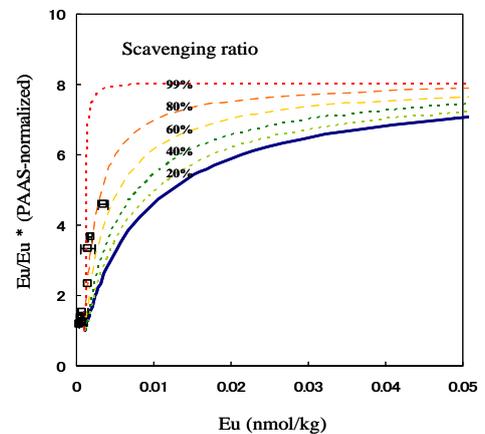


Figure 3. Relationship between the Eu anomaly and Eu concentration in hydrothermal plumes.