

Boron content and isotope of vent fluids from seafloor hydrothermal systems

Mar. 2013, Department of Nature Environmental Studies, 47-116608, Ensong Hong
Supervisor: Professor Hodaka Kawahata

Keywords: boron content, boron isotopic composition, vent fluid, submarine hydrothermal system

1. Introduction

Submarine hydrothermal system is defined by circulatory system where seawater sinks into seafloor through cracks of the crust and is heated by high-temperature magma under seafloor whereupon it rises back to the rock-ocean interface. In this process, seawater reacts with the surrounding rock at high temperature and results in vent fluid whose chemical compositions are very different from the original seawater. So far, a number of hydrothermal systems have been discovered not only along mid-ocean ridge (MOR), but also in arc and back-arc all over the world. In contrast to seafloor hydrothermal systems along MOR, it is known that vent fluids from arc and back-arc hydrothermal systems show various chemical compositions, reflecting complex geological settings.

Boron (B) has been attracting attentions in recent years as a useful tracer during water-rock reaction due to high mobility and occurring large isotopic fractionation in solution. Although a number of studies about chemical compositions of vent fluids from hydrothermal systems have been conducted, it is mainly limited to the hydrothermal systems in mid-ocean ridge (MOR). In this study, boron contents and boron isotopic compositions ($\delta^{11}\text{B}$) of vent fluids collected from arc and back-arc hydrothermal systems in the western Pacific were determined. The purposes of this study are to reveal the influence of complex geological settings in arc and back-arc to boron contents and boron isotopic compositions in vent fluids, and deepen the comprehensive understanding of boron behavior during water-rock reaction in submarine hydrothermal systems.

2. Materials and Methods

In this study, vent fluids collected from sediment-starved Manus Basin (Vienna Woods, PACMANUS), Izu-Bonin Arc (Suiyo Seamount), Mariana Trough (Alice Springs, Forecast Vent); phase separated North Fiji Basin (White Lady, Kaiyo, LHOS); sediment-hosted Okinawa Trough (JADE, Minami-Ensei, CLAM) in arc and back-arc in the western Pacific were studied. Among these sites, major elements of samples were analyzed by ICP-AES, and 25 vent fluid samples, whose major elements were consistent with those reference data, were selected for measuring trace elements including B contents by ICP-MS and $\delta^{11}\text{B}$ values by P-TIMS.

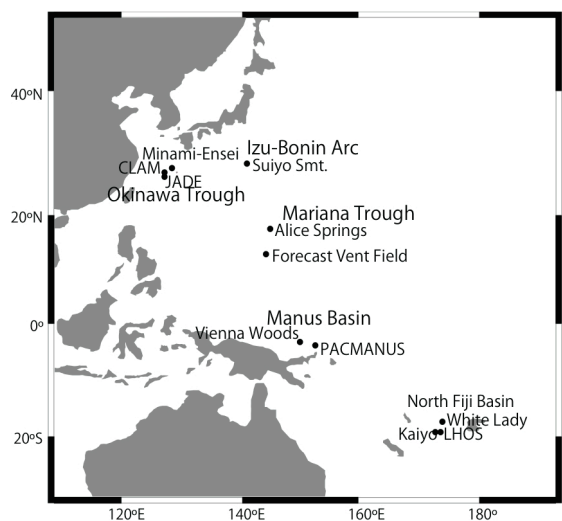


Figure 1. Locations of hydrothermal systems in arc and back-arc

3. Results and Discussions

Although the vent fluid end members obtained by extrapolating Mg to 0, showed high B contents and low $\delta^{11}\text{B}$ relative to seawater, they showed various B contents and $\delta^{11}\text{B}$ compared to the EPR 21°N of the typical hydrothermal systems in MOR (Figure 2). In sediment-starved hydrothermal systems, Vienna Woods in Manus Basin showed similar B content and $\delta^{11}\text{B}$ in vent fluid relative to those in EPR 21°N in MOR, reflecting MORB-like feature of host rock in Vienna Woods. While PACMANUS in Manus Basin and Suiyo Seamount in Izu-Bonin Arc exhibited higher B contents and lower $\delta^{11}\text{B}$ than those in Vienna Woods in Manus Basin and EPR 21°N in MOR. It is considered as that relatively high B contents leached from the dacitic host rocks result in the high B contents and low $\delta^{11}\text{B}$ of vent fluids due to that the dacitic host rocks commonly contain high B contents. Alice Springs and Forecast Vent in Mariana Trough showed intermediate values of vent fluids in sediment-starved hydrothermal systems, suggesting that the basaltic host rocks are influenced by the material derived from slab subducting, and result in boron-rich compositions of vent fluid relative to MORB. In phase separated hydrothermal systems, White Lady, Kaiyo and LHOS in North Fiji Basin showed similar B contents and $\delta^{11}\text{B}$ to those in MOR. According to the result of the laboratory experiment that B contents and $\delta^{11}\text{B}$ of vent fluids are hardly influenced by phase separation, it is considered that B contents and $\delta^{11}\text{B}$ of vent fluid from North Fiji Basin resulted from water-rock reaction. The result responds to the suggestion that North Fiji Basin is a MORB-like hydrothermal system. In sediment-hosted hydrothermal system, JADE, Minami-Ensei and CLAM showed very high B contents and low $\delta^{11}\text{B}$ in vent fluids. According to the correlation of Cs/B and $\delta^{11}\text{B}$, it suggested that sediment contributed boron to vent fluid due to the reaction between fluid and boron-rich sediment following the water-rock reaction.

In this study, B contents and $\delta^{11}\text{B}$ of vent fluids from arc and back-arc were clarified systematically. Due to this study, it reflected that B contents and $\delta^{11}\text{B}$ were primarily dominated by the boron contents of reacting rock and sediment, and can be an effective index to understand the species of host rock and estimate the existence of sediment.

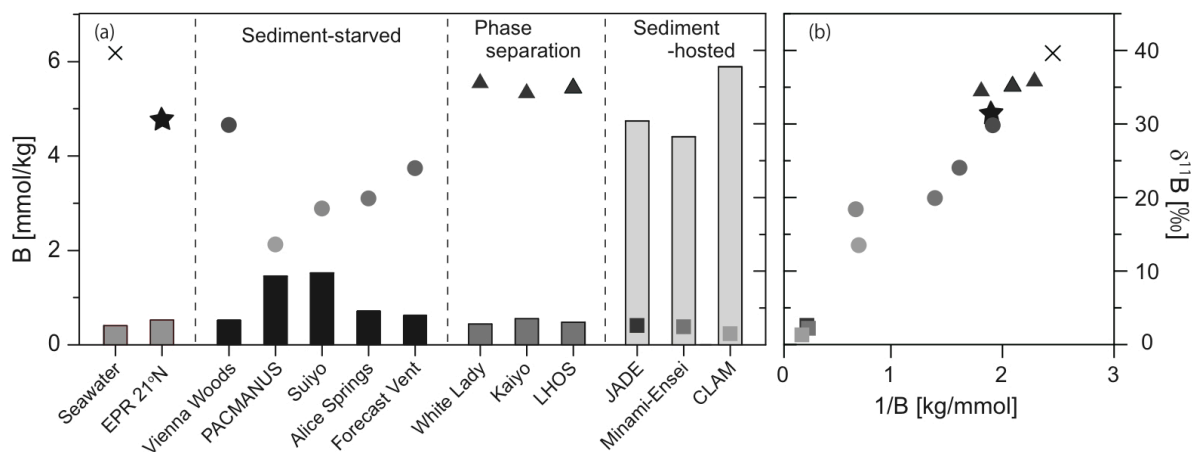


Figure 2. Boron contents and isotopic compositions in arc and back-arc hydrothermal systems: (a) bar graphs are boron contents; symbols are boron isotopic composition. (b) 1/B vs boron isotopic compositions. The positive correlation means higher boron contents derived from host rock or sediment can result in higher boron contents and lower boron isotopic compositions of vent fluids during water-rock or water-sediment reaction.

海底熱水活動域から採取された熱水のホウ素濃度と同位体組成

2013年3月 自然環境学専攻 47-116608 洪恩松
指導教員 教授 川幡穂高

キーワード： ホウ素濃度，ホウ素同位体組成， 噴出熱水， 海底熱水活動

1. はじめに

海底熱水活動は、海水が海底の割れ目から浸透し、地下の高温のマグマによって加熱され、海底面に噴出するという熱水循環系である。海水が周囲の岩石と高温で反応する結果、噴出熱水の化学組成はもとの海水とは大きく異なるものとなる。現在までに、中央海嶺だけでなく島弧・背弧海盆においても多くの熱水活動域が発見されてきた。中央海嶺の熱水と比べ、島弧火山や背弧海盆の熱水は多様な化学組成を示し、複雑な地質条件を反映していることが知られている。しかし、中央海嶺の熱水系に対し、噴出熱水の地球化学的な研究は限られている。

ホウ素は流体とともに動きやすく、同位体分別が大きいことから、水-岩石反応における有用なトレーサーとして近年注目されている。これまで噴出熱水の化学組成については多くの研究が行われてきたが、ホウ素をトレーサーとした研究は、主に中央海嶺の熱水系に限られている。本研究では、西太平洋の島弧および背弧海盆の熱水活動域に着目し、噴出熱水のホウ素濃度およびホウ素同位体組成の分析を行った。本研究の目的は、島弧および背弧海盆の複雑な地質条件が、噴出熱水中のホウ素濃度とホウ素同位体組成にどのような影響を及ぼすかを明らかにし、海底熱水系の水-岩石反応におけるホウ素の挙動について統合的な理解を深めることである。

2. 試料と方法

本研究では、(1) 堆積物のない熱水系であるマヌス海盆 (Vienna Woods, PACMANUS)、伊豆小笠原弧 (Suiyo Seamount)、マリアナトラフ (Alice Springs, Forecast Vent)、(2) 二相分離が起こっている熱水系である北フィジー海盆 (White Lady, Kaiyo, LHOS)、(3) 堆積物に被覆された熱水系である沖縄トラフ (JADE, Minami-Ensei, CLAM) において採取された噴出熱水試料を用いた (図 1)。試料はあらかじめ ICP-AES により主要元素分析を行い、先行研究で報告されている濃度と調和的な値を示した試料を 25 個選び、高知コアセンターにおいて、ICP-MS でホウ素濃度を、P-TIMS でホウ素同位体組成を測定した。

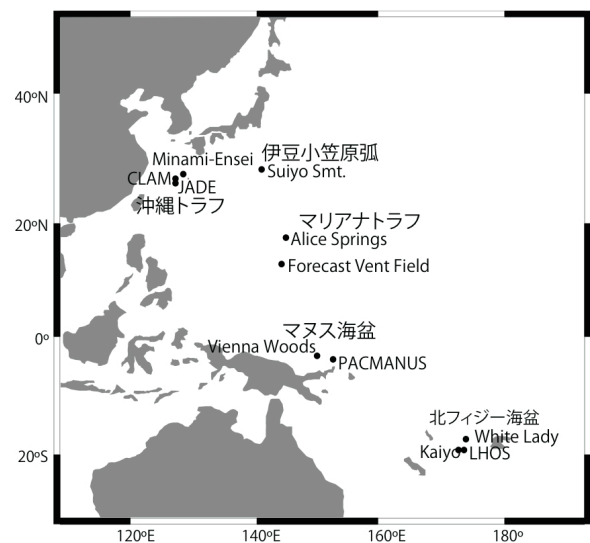


図 1. 西太平洋の島弧火山および背弧海盆の熱水試料採取地点

3. 結果と考察

Mg 濃度を 0 に外挿することにより得られた島弧および背弧海盆の熱水端成分の組成は、海水より高いホウ素濃度と低いホウ素同位体比を持つが、代表的な中央海嶺熱水系である EPR 21°N の熱水と比べ、多様なホウ素濃度と同位体組成を示した (図 2)。堆積物で被覆されない熱水系の代表であるマヌス海盆 Vienna Woods の噴出熱水では、ホウ素濃度と同位体組成が中央海嶺 EPR 21°N の熱水と類似しており、これは母岩が中央海嶺玄武岩(MORB)に似た組成を持つためと考えられる。一方、マヌス海盆 PACMANUS と伊豆小笠原弧 Suiyo Seamount は、中央海嶺 EPR 21°N やマヌス海盆 Vienna Woods に比べ、高いホウ素濃度と低い同位体比を示した。これは、一般的に高いホウ素濃度を持つデイサイトが母岩であるため、より多くのホウ素が岩石から溶出され、高いホウ素濃度と低いホウ素同位体比を持つ熱水が形成されたと考えられる。マリアナトラフの Alice Springs と Forecast Vent の熱水はこれらの中間的な値を示し、母岩である玄武岩が沈み込むスラブに由来する流体の影響を受け、MORB に比べてホウ素に富んだ組成を持っていることを反映している。地下での二相分離によって気相に富んだ熱水が噴出している北フィジー海盆 (White Lady, Kaiyo, LHOS) では、低いホウ素濃度と高いホウ素同位体比という中央海嶺熱水系と似た特徴を示した。熱水のホウ素濃度および同位体比は二相分離にほとんど影響を受けないという室内実験の結果を踏まえると、この特徴は主に水-岩石反応により獲得されたと考えられる。この結果は、北フィジー海盆の母岩が MORB 的であるという先行研究と調和的である。堆積物に覆われた熱水系である沖縄トラフ (JADE, Minami-Ensei, CLAM) の熱水は、非常に高いホウ素濃度と低いホウ素同位体比を示し、Cs/B 比と $\delta^{11}\text{B}$ の関係から、熱水が岩石だけでなく、非常にホウ素に富んだ堆積物とも反応することより、堆積物から熱水にホウ素が供給されたことが示唆された。

本研究は、島弧および背弧海盆における熱水のホウ素濃度と同位体組成を体系的に明らかにした。本研究により、噴出熱水のホウ素濃度および同位体比は、基本的に反応した岩石または堆積物のホウ素濃度に支配されるため、母岩の種類または堆積物の有無の推定に有効な指標となることが示された。

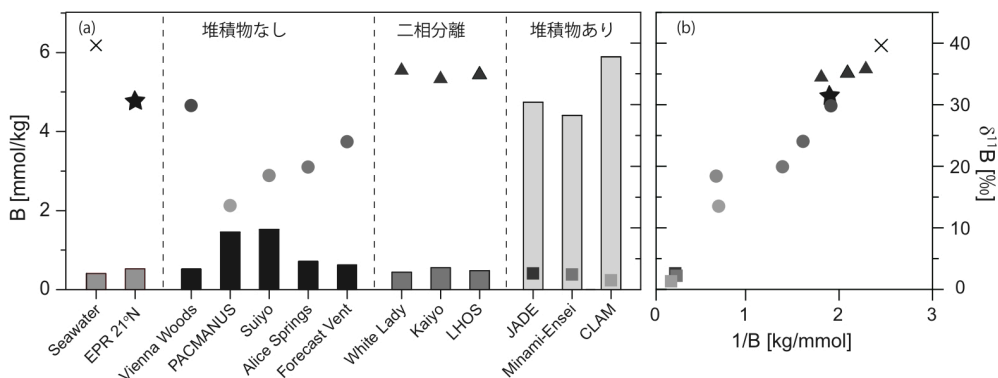


図 2. 島弧および背弧海盆の熱水活動域から採取された熱水中のホウ素濃度および同位体組成: (a)棒グラフはホウ素濃度、プロットはホウ素同位体組成を示す; (b) ホウ素濃度分の一(1/B)とホウ素同位体組成. 正の相関性を示すのは、より多くのホウ素が岩石あるいは堆積物から熱水に溶出したため、水-岩石反応あるいは水-堆積物反応により、高いホウ素濃度と低い同位体比をもつ熱水が形成されたと考えられる。