

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 1 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23840056

研究課題名（和文） 海底噴出熱水のホウ素同位体化学から迫るホウ素グローバル循環の解明

研究課題名（英文） Boron isotope geochemistry of vent fluids from seafloor hydrothermal systems

研究代表者

山岡 香子 (YAMAOKA KYOKO)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・研究員

研究者番号：30610399

研究成果の概要（和文）：海底熱水系におけるホウ素の挙動を明らかにするため、西太平洋の島弧・背弧熱水系における噴出熱水のホウ素濃度及びホウ素同位体比を明らかにした。中央海嶺熱水系に比べ、島弧・背弧熱水系のホウ素濃度及びホウ素同位体比は、多様な地質条件を反映して大きなバリエーションを示すが、基本的に反応した岩石または堆積物から溶出したホウ素の量に支配されることが示唆された。また、二相分離している熱水系であっても、噴出熱水のホウ素同位体比は主に水-岩石反応を反映している。

研究成果の概要（英文）：Boron content and isotopic composition of vent fluids collected from seafloor arc-backarc hydrothermal systems in the western Pacific are determined in order to investigate boron behavior during water-rock reaction at high temperature. Compared to hydrothermal systems along mid-ocean ridges, the arc-backarc hydrothermal systems showed large variations in the boron content and isotopic composition due to their various geological settings. These variations are mainly dependent on the amount of boron eluted from host rock and sediment, while the effect of phase separation is negligible.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球宇宙化学

キーワード：ホウ素同位体・海底熱水系・水-岩石反応

1. 研究開始当初の背景

ホウ素は、地球システムの定量的な物質循環解明のための地球化学トレーサーとして有効な元素であるが、より正確な解釈のためには、様々な地球化学プロセスにおける挙動の理解が必要である。申請者は、濃度の低い岩石でも分析可能なホウ素同位体分析法を確立し、白亜紀の海洋プレートであるオマー

ンオフィオライトを用いて、初めて完全な海洋地殻のホウ素濃度・同位体比鉛直プロファイルを明らかにした。その結果、熱水変質した海洋地殻は、全深度を通じてホウ素に富んでおり、平均ホウ素同位体比はこれまで提案されていた値より約4%も高いことが明らかになった。一方、海洋地殻と反応した熱水について、様々な地質条件を網羅した研究は不

足しており、グローバルなホウ素循環における噴出熱水の寄与はよく分かっていない。

2. 研究の目的

本研究では、海底熱水系における噴出熱水のホウ素濃度・同位体比を決定するメカニズムを明らかにする。特に研究の遅れている島弧・背弧熱水系などに注目し、多様な地質条件がホウ素の挙動に及ぼす影響について評価する。

3. 研究の方法

西太平洋の海底熱水系（図1）から採取された噴出熱水について、ホウ素濃度・同位体比の分析を行った。熱水試料が採取された熱水系は以下の通りである（括弧内は噴出孔）。

- (1) 堆積物で覆われていない熱水系：マヌス海盆 (Vienna Woods, PACMANUS), 伊豆小笠原弧 (水曜海山), マリアナトラフ (Alice Spring, Forecast vent)
- (2) 二相分離している熱水系：北フィジー海盆 (White Lady, Kaiyo, LHOS)
- (3) 堆積物に覆われた熱水系：沖縄トラフ (JADE, Minami-Ensei, CLAM)

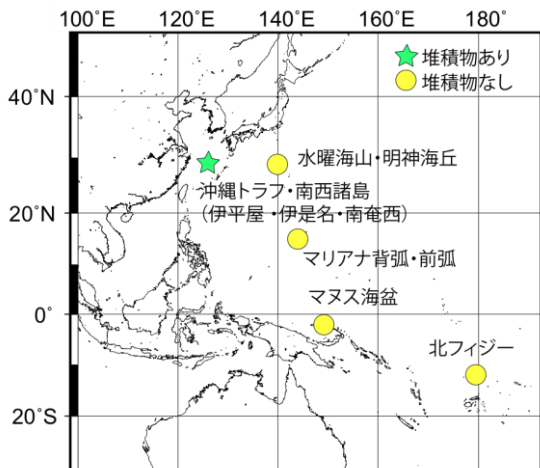


図1 噴出熱水の採取地点

分析の前には、文献調査、既存データの整理、試料の保存状態チェックを綿密に行い、同位体分析に適していると思われる試料を噴出孔ごとに3~5試料ずつ選定した。それらの熱水試料について、誘導結合プラズマ発光分光分析計 (ICP-AES) を用いて主要元素濃度測定を行い、Mg濃度が以前に測定された値と良く一致することを確認した。

ホウ素濃度及び各種微量元素は、2%硝酸で約500倍に希釈し、誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) を用いて測定を行った。ホウ素同位体比は、イオンクロマトグラフィーによってホウ素を化学分離したのち、表面電離型質量分析計 (TIMS) を用いて測定を行った。

4. 研究成果

まずホウ素濃度について、噴出孔ごとにMg濃度を横軸にとってプロットし、熱水のMg濃度が0であると仮定して熱水端成分の推定を行った。各噴出孔において、データは良い直線性を示し、海水と熱水の二成分混合であることを支持する。次に、ホウ素同位体比について、横軸にホウ素濃度の逆数をとってプロットし、熱水端成分のホウ素同位体比を推定した。各噴出孔の熱水端成分をまとめたグラフを、図2に示す。

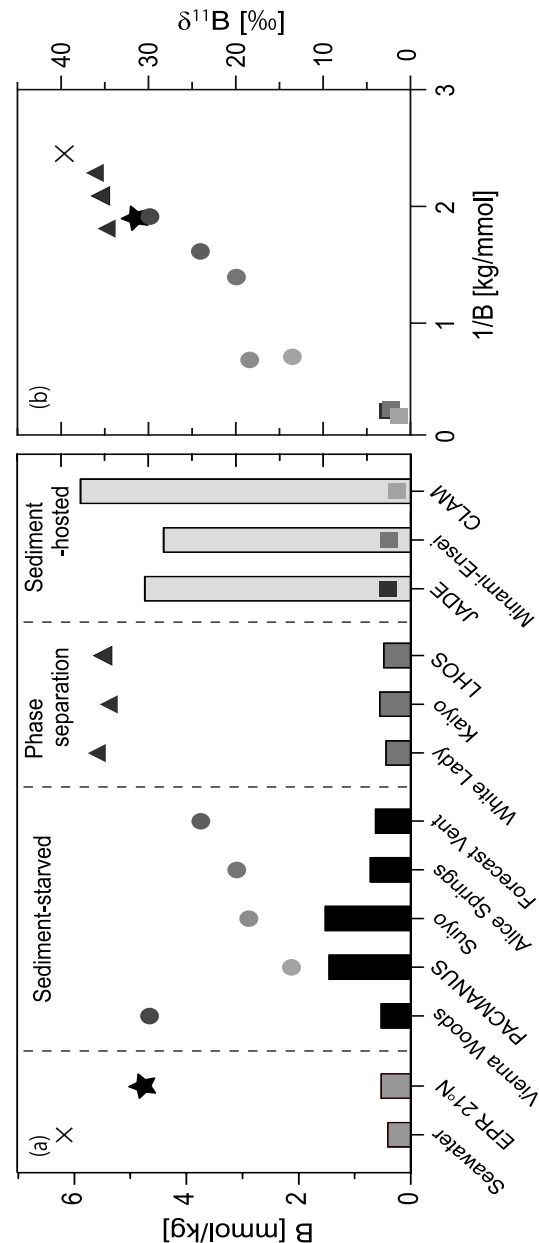


図2 (a)各噴出孔における熱水端成分のホウ素濃度・同位体比。棒グラフが濃度、プロットが同位体比を示す。海水と代表的な中央海嶺熱水系 (EPR 21°N) の値を左端に示した。(b)ホウ素濃度の逆数に対してホウ素同位体比をとったグラフ。凡例は(a)と同様。

これらの結果をもとに、熱水系を以下の3つの地質条件に分けて、考察を行った。

(1) 堆積物で覆われていない熱水系

マヌス海盆 Vienna Woods の噴出熱水はホウ素濃度が低く同位体比が高い(0.54 mM, 29.8%)という中央海嶺熱水系 EPR 21°N に似た組成を示した。一方、マヌス海盆 PACMANUS と伊豆小笠原弧水曜海山は、ホウ素濃度が高く同位体比が低い(1.45-1.52 mM, 13.6-18.5%)という特徴を示した。マリアナトラフの Alice Spring と Forecast vent は、これらの中間的な値(0.63-0.72 mM, 19.9-24.0%)を示した。これらの特徴は基本的に母岩の違いによると考えられ、沈み込むスラブから脱水した流体の影響を受けたことにより高いホウ素濃度をもつ岩石と反応した熱水はホウ素濃度が高く、岩石由来の軽いホウ素に富むためホウ素同位体比が低くなることが示唆される。

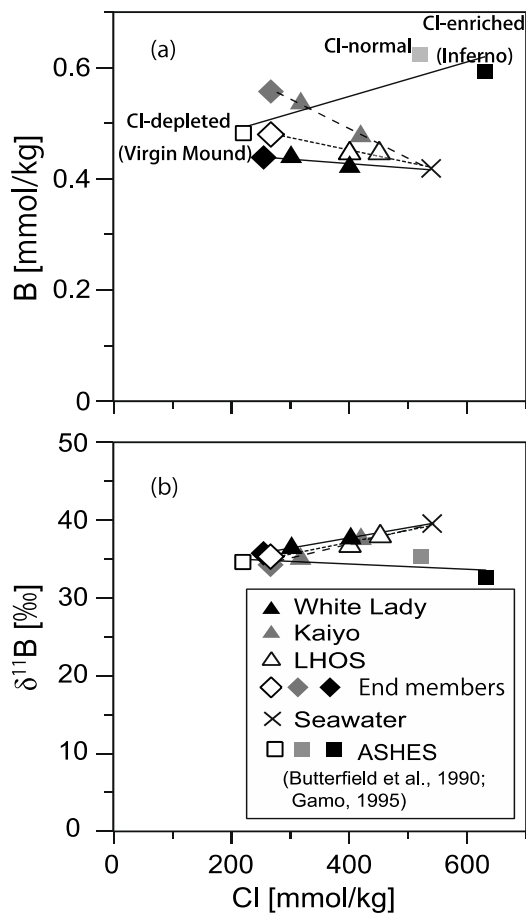


図3 北フィジー海盆の海底熱水系における噴出熱水の Cl 濃度に対する (a) ホウ素濃度及び (b) ホウ素同位体比。

(2) 二相分離している熱水系

海底下での二相分離により気相に富んで

いる北フィジー海盆の噴出熱水は、中央海嶺熱水系 EPR 21°N と似た組成(0.44-0.56 mM, 34.5-35.9%)を示した。さらに、中央海嶺熱水系 ASHES で報告されている低塩分の熱水 (Virgin Mound) のホウ素濃度及び同位体比とも良く一致した(図3)。二相分離におけるホウ素同位体分別は非常に小さいことを考えると、この組成は主に水-岩石反応を反映していると考えられ、熱水が MORB に近い組成を持つホウ素濃度の低い岩石と反応したことを示している。

(3) 堆積物に覆われた熱水系

沖縄トラフの噴出熱水は、非常に高いホウ素濃度と低い同位体比(4.4-5.9 mM, 1.5-2.6%)を示し、高い Cs/B 比を持つ(図4)。このことは、熱水が岩石だけでなく堆積物とも反応し、多量のホウ素が大陸由来の堆積物から熱水に溶出したことを意味する。堆積物で覆われた中央海嶺熱水系であるグアイマス海盆やエスカナバトラフと比べても、沖縄トラフのホウ素同位体比は非常に低く、母岩の違いも反映されていると考えられる。堆積物と反応する前の熱水が、マリアナトラフ Alice Spring と同様の組成を持っていたと仮定すると、熱水/堆積物比は約2で反応したと推定される。

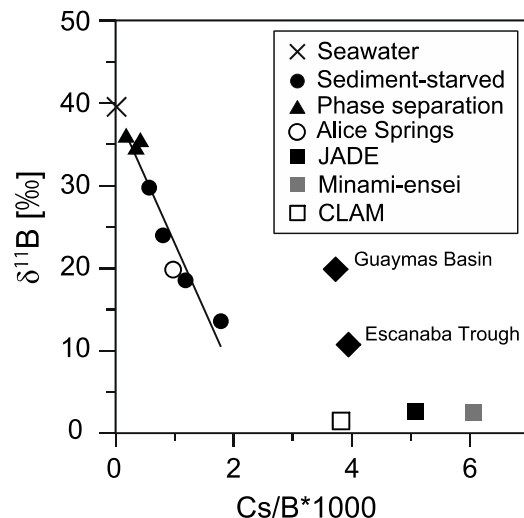


図4 各熱水系における噴出熱水端成分の Cs/B 比に対するホウ素同位体比。

全ての噴出熱水のホウ素同位体比は濃度の逆数に比例し(図2b)、基本的に反応した岩石または堆積物から溶出したホウ素の量に支配されることを示す。本研究は、島弧・背弧熱水系のホウ素濃度及び同位体比を体系的に明らかにし、水-岩石反応におけるホウ素の挙動及びホウ素循環における噴出熱水の寄与に関して、重要な知見をもたらした。

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1件)

- ① Yamaoka, K., Ishikawa, T., Matsubaya, O., Ishiyama, D., Nagaishi, K., Hiroyasu, Y., Chiba, H., Kawahata, H. (2012) Boron and oxygen isotope systematics for a complete section of oceanic crustal rocks in the Oman ophiolite. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 84, 543-559. 査読有.
DOI:10.1016/j.gca.2012.01.043

[学会発表] (計12件)

- ① 洪 恩松, 山岡香子, 石川剛志, 蒲生俊敬, 川幡徳高, 島弧・背弧海底熱水系の熱水中ホウ素濃度及び同位体組成, 日本地球惑星科学連合2013年大会, 2013年5月21日, 幕張メッセ (千葉県)
- ② 山岡香子, 海嶺拡大速度と過去の熱水系, 地球環境史学会発足シンポジウム, 2012年11月9日, 東京大学大気海洋研究所 (千葉県)
- ③ 山岡香子, 松倉誠也, 石川剛志, 川幡徳高, ホウ素同位体から明らかになった海底下の熱水鉱床形成プロセス, 2012年度地球化学会年会, 2012年9月12日, 九州大学 (福岡県)
- ④ 山岡香子, 荒岡大輔, 洪 恩松, 蒲生俊敬, 川幡徳高, 島弧・背弧熱水系の熱水中ホウ素およびアルカリ金属濃度, 資源地質学会第62回年会, 2012年6月29日, 東京大学小柴ホール (東京都)
- ⑤ Kim, T., Nakai, S., Kawahata, H., Yamaoka, K., Nishio, Y., Li isotopic signature Oman ophiolite during hydrothermal alteration of the ancient oceanic crust, Goldschmidt Conference 2012, 2012/06/26, Montreal, Canada
- ⑥ 洪 恩松, 山岡香子, 荒岡大輔, 蒲生俊敬, 川幡徳高, 海底噴出熱水のホウ素・リチウム濃度, 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)
- ⑦ Yamaoka, K., Ishikawa, T., Matsubaya O., Ishiyama, D., Nagaishi, K., Hiroyasu, Y., Chiba, H., Kawahata, H., Boron and oxygen isotope systematics for a complete section of oceanic crustal rocks in the Oman ophiolite, 2012 Ocean Sciences Meeting, 2012/02/23, Salt Lake City, USA
- ⑧ Yamaoka, K., Matsukura, S., Ishikawa, T., Kawahata, H., Boron contents and isotopic compositions of oceanic crust

from the Oman and Troodos ophiolites, AGU 2011 Fall Meeting, 2011/12/05, San Francisco, USA

- ⑨ Kawahata, H., Yamaoka, K., Matsukura, S., Ishikawa, T., Boron isotope geochemistry of subseafloor hydrothermal ore deposits, Agrokippia B, in Troodos ophiolite, Cyprus, Goldschmidt Conference 2011, 2011/08/17, Prague, Czech Republic
- ⑩ 山岡香子, 松倉誠也, 石川剛志, 川幡徳高, キプロス・トルードスオフィオライトにおける海洋地殻のホウ素鉛直プロファイル, 資源地質学会第61回年会, 2011年6月24日, 東京大学小柴ホール (東京都)
- ⑪ 川幡徳高, 山岡香子, 松倉誠也, 石川剛志, ホウ素からみたキプロス・トルードスオフィオライトの熱水鉱床の形成, 資源地質学会第61回年会, 2011年6月24日, 東京大学小柴ホール (東京都)
- ⑫ 山岡香子, 石川剛志, 川幡徳高, オマーンオフィオライト海洋地殻の熱水変質に伴う微量元素組成の変化, 日本地球惑星科学連合2011年大会, 2011年5月27日, 幕張メッセ (千葉県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山岡 香子 (YAMAOKA KYOKO)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・研究員

研究者番号: 30610399