

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540507

研究課題名(和文) M-type花崗岩の熱水流体の組成と挙動

研究課題名(英文) Studies on chemistries and behaviors of hydrothermal fluids derived from the M-type granite

研究代表者

黒澤 正紀 (KUROSAWA, Masanori)

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号：50272141

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：島弧のM-type花崗岩の熱水流体の組成的特徴と挙動を明らかにするため、丹沢花崗岩体に含まれる流体包有物の微量元素濃度を粒子線励起X線分析法(PIXE)で定量分析した。また、花崗岩の固結条件から熱水流体の発生条件と鉱床形成との関係を検討した。丹沢花崗岩体の多相包有物と2相包有物は、同年代の周辺花崗岩のもの比べて、Cu・Ti・Mn(あるいはFe)の濃度が高く、Sr・Geが著しく低いことが分かった。Cu濃度が高いにもかかわらず、周辺に大規模銅鉱床がないのは、流体の発生深度やその後の表層部の剝削と関係している可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Trace element contents in fluid inclusions from a miarolitic quartz at the M-type Tanzawa granite, Kanagawa Prefecture, Japan, were determined by particle-induced X-ray emission (PIXE) to elucidate chemical features and behaviors of hydrothermal fluids derived from the M-type granite in the island arc. Polyphase and two-phase fluid inclusions in the quartz showed higher concentrations of Cu, Ti, and Mn (or Fe) and extremely lower contents of Ge and Sr, compared with those from the Kofu granite, Yamanashi, Japan, which is an I-type Miocene granite.

研究分野：鉱物学

キーワード：流体包有物 微量元素 花崗岩 丹沢 PIXE

1. 研究開始当初の背景

未成熟島弧では、上部マントルに関連した起源を持つ M-type 花崗岩の産出が特徴的で、そこから放出される熱水は金属鉱床形成や地殻破壊関連流体の理解に重要な手掛りを提供する。大陸縁辺部の M-type 花崗岩は、大規模な熱水性の斑岩銅(モリブデン)鉱床の形成に密接に関係している。

日本列島の M-type 花崗岩としては、神奈川県丹沢複合岩体の花崗岩体(トータル岩体)が最も典型的であるが、丹沢花崗岩は非常に小規模な熱水性銅 鉄鉱脈を伴うほかは、銅・鉛・亜鉛などの金属鉱床を殆ど伴わない。そのため、銅などの金属に富む島弧上部マントルやスラブからの沈み込み流体の影響を強く受けていると推測される島弧の M-type 花崗岩に熱水性金属鉱床がなぜ少ないのかという疑問が生じる。大規模な銅・鉛・亜鉛などの金属鉱床を伴わない原因の1つの可能性としては、何らかの理由により、島弧の M-type 花崗岩から放出される熱水流体中の金属元素濃度が低いことが原因かもしれないと推測される。

花崗岩からの熱水流体は、岩体一部の岩石中に流体包有物として捕獲されるため、流体包有物に溶存する金属元素濃度を測定すれば、熱水の化学的特徴や鉱床形成の可能性などを議論できる。しかしながら、これまで島弧の M-type 花崗岩から放出される熱水中の微量元素濃度を測定した例がなく、その化学的特徴や挙動は分かっていない。申請者らは、これまで、粒子線励起 X 線分析法(PIXE)による流体包有物の微量元素定量分析法の開発を行い、これまで世界的に着手されていなかった島弧花崗岩(新第三紀の山梨県甲府花崗岩体・長崎県対馬花崗岩体)の熱水流体の元素組成と挙動を明らかにすることに成功した。

これまでの甲府花崗岩と対馬岩体の研究例では、初生的な熱水流体(少量の炭酸ガスと数十~数千 ppm の遷移金属を含む塩水)の一部が、岩体内部を移動する際に、あるいは発生当初から、減圧沸騰し、その際に生じる高塩濃度塩水に金属元素が濃集して、金属鉱床形成に結びついたことが示された。また、それら流体の元素組成や濃度は大陸地域花崗岩のものと同様であるが、島弧花崗岩の流体の方が K, Rb に乏しく、Ge に富むなどの化学的特徴も明らかとなった。さらに、花崗岩の固結温度圧力条件の推定結果から、圧力約 1kb 以下で流体が発生しないと流体中の金属濃集が望めず、熱水性金属鉱床が発達しないことも分かってきた。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、島弧の M-type 花崗岩の熱水流体の組成的特徴と挙動を明らかにするため、丹沢花崗岩体に含まれる流体包有物の微量金属元素濃度を PIXE で定量分析し、さらに花崗岩の固結条件から、熱水流体

の発生条件と鉱床形成との関係を明らかにすることを試みる。

3. 研究の方法

丹沢花崗岩体には3つの主要岩型があり、中でも最も結晶分化が進んで大規模な熱水流体の発生が期待できるユースン岩体から石英試料を採取した。ユースン岩体は、黒雲母角閃石トータル岩からなり、部分的に小規模の晶洞やペグマタイト脈などを伴う。岩体とその周囲に非常に、他の岩型には認められていない、小規模な熱水性銅 鉄鉱脈を伴っている。

石英試料は、形成時期が異なる流体包有物が混在する花崗岩ではなく、形成時期が明瞭な熱水流体を含む晶洞から採取した。晶洞は、石英・緑泥石・黒雲母・緑泥石・カリ長石を主とし、少量の沸石(輝沸石、束沸石、菱沸石、中沸石等)、黄銅鉱、稀にリン灰石・チタン石等を伴う。

最初に、晶洞中の自形石英を切断して両面研磨し、晶洞形成初期に捕獲した自形結晶の根元の流体包有物を観察・記載した。その後、加熱冷却ステージで均質化温度・塩濃度を測定した。一部の流体包有物については、筑波大学研究基盤総合センターの PIXE 装置を用いて、流体中に溶存する金属元素濃度を定量した。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

晶洞の自形石英の根元部分には、通常島弧花崗岩に含まれる5種類の流体包有物が含まれていた。主要な包有物は2相包有物と多相包有物で、多相包有物には複数の等方性結晶と少量の異方性結晶・不透明鉱物(黄銅鉱か磁鉄鉱)が含まれていた。多相包有物と気相包有物が共生している例も多く認められることから、晶洞の形成時に、流体の沸騰が生じていたことが分かった。

多相包有物の均質化温度は約 400~500、塩濃度は約 40wt%であった。2相包有物の均質化温度は約 220~500 であった。他に、液相に富む液相包有物、微少な液体 CO₂ 包有物も少量存在した。これらの5種類の包有物は周囲の花崗岩の石英にも認められる。ユースン岩体の花崗岩の固結推定条件は圧力約 1.5~2.1kb で、温度約 680~700 である。その固結圧力に基づくと、晶洞の自形石英中の多相流体包有物の流体の形成温度は、約 630~570 と見積もられた。

今回は主要な包有物である、多相包有物と2相包有物の微量元素組成を PIXE で分析した。分析の結果、晶洞の多相包有物には、Cl・K・Ca・Ti・Mn・Fe・Cu・Zn・Pb・Br・Rb・Pb が含まれていた。他の新第三紀花崗岩(甲府・対馬岩体)の晶洞の多相包有物に比べ、Cu・Ti・Mn の濃度が高く、Sr・Ge が著しく低い。Br/Cl 比(重量比)はほぼ 0.0030 で、新第三紀花崗岩のものと同程度である。一

方、2相包有物は新第三紀花崗岩の晶洞の2相包有物とは大きく異なる特徴を示し、Cu・Ti・Fe濃度が非常に高く、Ge・Rb・Sr・Pbを殆ど含まない。ZnよりもCu濃度が高いことも目立つ特徴である。Br/Cl比も0.0010以下の低い値であった。Geに乏しい特徴は、他の島弧花崗岩の熱水流体の化学的特徴と異なっている。

多相包有物と2相包有物の高いCu濃度は、晶洞での黄銅鉱の存在や晶洞付近の小規模な熱水性銅・鉄鉱床の存在と一致している。また、島弧の玄武岩に認められる高いCu濃度とも調和的で、全体として、マントル起源の物質の寄与を流体が受けている可能性も示唆される。特に、多相包有物のCu濃度は世界的規模の斑岩銅鉱床からの多相包有物の濃度に匹敵する。しかし、丹沢花崗岩体周辺に大規模な銅鉱床は認められていない。

流体の発生条件は、圧力約1.5~2.1kbで、大規模な斑岩銅鉱床がよく発達する1~0.5kbよりやや高く、流体の発生深度が深いことを意味する。この深度の違いは、発生流体が表層付近で一度に放出されるか、深部から分散して上昇するかの違いを生み、そのため、ある地点での熱水流体の通過量、即ち、流体からの金属の集中的な沈積を促す環境の違いと関連した可能性がある。つまり、丹沢岩体では、流体からの金属の集中的な沈積が少なかった可能性がある。また、丹沢岩体は、伊豆 - 小笠原弧のような未成熟島弧の中部~下部地殻に相当すると考えられているため、本来ならば上部地殻付近に発達していた金属鉱床が削剥で大部分失われてしまった可能性もある。いずれにせよ、それらによって大規模な銅鉱床が発達しなかった可能性が示唆される。

(2) 得られた成果の国内外での位置づけ

これまで全く分からなかった島弧でのM-type花崗岩からの熱水流体の組成について初めて明らかにすることができた。予想外なことに、Cu濃度については、大陸地域のM-type花崗岩からの熱水流体の組成とほぼ同程度であり、周囲に大規模な銅鉱床を形成できる可能性があったことが示唆された。それにもかかわらず、大規模な銅鉱床を形成しなかった理由は、熱水の発生条件と関連していることが示唆された。このことは、今後の熱水性銅鉱床探査にも重要なヒントを与える可能性がある。

(3) 今後の展望

丹沢周辺のI-typeおよびS-typeの第三紀花崗岩体の流体包有物の分析を続け、流体の化学的特徴とその発生条件・挙動についてデータを蓄積することが、島弧のM-type花崗岩に何故大規模金属鉱床が伴わないのかを明らかにする上で重要と考えられる。また、大陸地域のM-type花崗岩の流体包有物分析も大切であると考えられる。

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10件)

Kurosawa, M., Sasa, K., and Ishii, S., Micro-PIXE analyses of single fluid inclusions in quartz from Tanzawa granite, Japan. Annual Report, Tandem Accelerator Center, University of Tsukuba, 査読無, 84, 2015, 37-39. <http://web2.tac.tsukuba.ac.jp/uttac/annual>

安間 了・山本由弦・下司信夫・七山太・中川正二郎, 世界遺産の島・屋久島の地質と成り立ち, 地質学雑誌, 査読有, 補遺, 120, 2014, 101-125. DOI:10.5575/geosoc.2014.0026

Yasudomi, Y., Motoyama, I., Oba, T. and Anma, R., Environmental fluctuations in the northwestern Pacific Ocean during the last interglacial period: evidence from radiolarian assemblages, Marine Micropaleontology, 査読有, 108, 2014, 1-12. DOI: 10.1016/j.marmicro.2014.02.001

Veloso, E. E., Hayman, N. W., Anma, R., Tominaga, M., Gonzalez, R. T., Yamazaki, T. and Astudillo, N., Magma flow directions in the sheeted dike complex at superfast spreading mid-ocean ridges: Insights from IODP Hole 1256D, eastern Pacific, Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 査読有, 15, 2014, 1283-1295. DOI: 10.1002/2013GC004957

Kurosawa, M., Mineralogical study of pottery from Tappeh Sange-e Chakhmaq, The First Farming Village in Northeast Iran and Turan: Tappeh Sange-e Chakhmaq and Beyond, 査読無, 2014, 19-22. <http://rcwasia.hass.tsukuba.ac.jp/kaken/contents/content%20images/Chakhmaq%20abstract.pdf>

Sasa, K., The 6 MV tandem accelerator project for nuclear physics and ion beam applications at the University of Tsukuba. AIP Conf. Proc., 査読有, 1533, 2013, 184-188. DOI: 10.1063/1.4806798

Kurosawa, M., Sasa, K., and Ishii, S.,

Comparison of calibration curves for a new and old Si(Li) detectors, Annual Report, Tandem Accelerator Center, University of Tsukuba, 査読無, 82, 2013, 35-37.
<http://web2.tac.tsukuba.ac.jp/uttac/annual>

Yamamoto, Y., Tonogai, K., and Anma, R., Fabric-based criteria to distinguish tectonic from sedimentary melanges in the Shimanto accretionary complex, Yakushima Island, SW Japan, Tectonophysics, 査読有, 568, 2012, 65-73.
DOI: 10.1016/j.tecto.2011.10.018

Tosaki, Y., Tase, N., Sasa, K., Takahashi, T. and Nagashima, Y., Measurement of the ³⁶Cl deposition flux in central Japan: Natural background levels and seasonal variability, Journal of Environmental Radioactivity, 査読有, 106, 2012, 73-80.
DOI:10.1016/j.jenvrad.2011.11.010

Kurosawa, M., Ishii, S., and Sasa, K., PIXE analyses of trace Ti in single fluid inclusions in quartz from Tsushima granite, Annual Report, Tandem Accelerator Center, University of Tsukuba, 査読無, 80, 2012, 47-48.
<http://web2.tac.tsukuba.ac.jp/uttac/annual>

〔学会発表〕(計5件)

Anma, R.: Possible use of zircon geochronology as a tool to estimate distance between obducted margin and place of origin of an ophiolite. IGCP 589, 2014年10月22日, Tehran, Iran.

黒澤正紀: 対馬花崗岩の多相流体包有物中の固相. 日本鉱物科学会, 2014年09月19日, 熊本大学(熊本市)

吉田佳明・道林克禎・安間 了: 南アメリカタイタオオフィオライト最上部かんらん岩の構造岩石学的特徴. 地球惑星科学関連学会合同大会, 2014年04月28日, パシフィコ横浜(横浜市)

黒澤正紀・笹公和・石井聡: 丹沢花崗岩体の流体包有物の微量元素組成. 日本鉱物科学会, 2013年09月12日, 筑波大学(つくば市)

黒澤正紀・Shin Ki-Cheol・笹公和・石井聡: 流体包有物分析からみた対馬花崗岩の熱水流体系. 日本鉱物科学会, 2012年

09月21日, 京都大学(京都市)

〔図書〕(計2件)

黒澤正紀, 悠書館, 西アジア文明学への招待(分担執筆), 2014, pp.140-154.

黒澤正紀, 朝倉書店, 地球環境学マニュアル(地球環境学研究所編, 分担執筆), 第2巻, 2012, pp.54-55.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒澤 正紀 (KUROSAWA, Masanori)
筑波大学・生命環境系・准教授
研究者番号: 5 0 2 7 2 1 4 1

(2) 研究分担者

笹 公和 (SASA, Kimikazu)
筑波大学・数理物質系・准教授
研究者番号: 2 0 3 1 2 7 9 6

安間 了 (ANMA, Ryo)
筑波大学・生命環境系・講師
研究者番号: 7 0 3 1 1 5 9 5