

琉球弧トカラ列島宝島における浅熱水鉱化作用 Epithermal mineralization at Takarajima of the Tokara Islands

長原 正人^{1*}; 石橋 純一郎²; 奥村 良³; 高宮 幸一³; 横瀬 久芳⁴
NAGAHARA, Masato^{1*}; ISHIBASHI, Jun-ichiro²; OKUMURA, Ryo³; TAKAMIYA, Koichi³; YOKOSE, Hisayoshi⁴

¹九州大学大学院理学府,²九州大学大学院理学研究院,³京都大学原子炉実験所,⁴熊本大学大学院自然科学研究科
¹Graduated School of Science, Kyushuu University, ²Faculty of Science, Kyushu University, ³Kyoto University Research Reactor Institute, ⁴Graduate School of Science and Technology

【はじめに】琉球弧は九州南西部に伸びる島弧である。トカラ列島より西側では海底火山になることもあり研究があまり進んでいない。横瀬ほか(2007, 2010)は、琉球弧の火山フロントにほぼ100 kmの間隔で大型なカルデラが見いだされることを提唱している。その一つが、奄美大島の北方80 kmに位置する宝島と小宝島を外輪山の一部とする宝島カルデラである。宝島では、凝灰角礫岩中に金属硫化物を含む石英脈があることが知られており(大迫1976、中野ほか2008)、過去には宝島金山、鷲ヶ崎鉱山等の鉱山開発の試みもあった。我々は、2013年に宝島の調査を行い、東部の積石海岸において石英脈を胚胎した数m大の転石を発見した。この石英脈とそれに含まれる硫化鉱物を分析し、鉱化の生じた深度・温度を推定することが本研究の目的である。

【手法】宝島の積石海岸および金山跡から鉱石試料を約10個採取した。積石海岸の試料は砂浜に見られた数m大の転石から割り出して採集した。金山跡の試料は廃石所跡から採取した。鉱物同定には偏光顕微鏡及び反射顕微鏡による検鏡、EPMA及びXRD分析を用いた。硫化鉱物の化学組成の分析をEPMA分析を用いて行った。石英脈中の微量元素を定性的に調べるため放射化分析を行った。石英脈中の流体包有物の均質化温度の決定を透過顕微鏡及び加熱ステージを用いた観察により行った。

【結果】採取した鉱石中の石英脈は、幅が最大で数10 cmに及ぶものから数 μ mの網状の組織に至るまで様々なものが見られた。鉱石の造岩鉱物としては、石英の他に緑泥石、輝石、斜長石があり、輝石の一部が緑泥石化していたものが認められた。鉱石鉱物としては、黄銅鉱、方鉛鉱、閃亜鉛鉱、黄鉄鉱がほぼすべての試料に認められた。一部の試料からは、銅藍、四面銅鉱、輝銅鉱、硫カドミウム鉱、重晶石が認められ、エレクトラムが金山跡の試料に認められた。また放射化分析によって、金山跡及び積石海岸の鉱石の双方からAuが検出された。石英には、擬針状、モザイク状組織といった特徴的な組織が観察された。また石英中に含まれる流体包有物のうち気液二相分離を示すものについて均質化温度を決定したところ、210℃を最低温度とする分布を示した。

【考察】先行研究(e.g., Henley, 1985)によると石英に見られた特徴的な組織は沸騰を示唆するものであり、二相分離を示す流体包有物があることもこれを支持する。石英脈中の金属硫化物形成は、熱水の沸騰に伴う浅熱水性鉱化作用で説明できる。石英脈中の流体包有物の均質化温度からは、深度200~300 mで熱水の二相分離が起こったと考えられる。この推定された鉱化深度と観察された硫化鉱物の組合せは、浅熱水性鉱化作用の中でも中硫化型のものとして良く一致している。一般に中硫化型浅熱水鉱化作用は熱源から数kmの距離で見られるとされており(Sillitoe, 2010)、宝島カルデラのカルデラ底直下にマグマを想定してこれが熱源となる熱水循環系の存在を考えることができる。現在、小宝島の海岸には100℃近い高温の温泉が湧出しており、この熱水循環系が長期にわたり活動を継続している可能性も考えられる。

キーワード: 熱水鉱化作用, 海底カルデラ, 硫化鉱物

Keywords: Hydrothermal mineralization, Submarine volcanic caldera, sulfide mineralization

沖縄トラフ鳩間海丘熱水域における熱水性鉱石の鉱物学的特徴 Mineralogical and Geochemical Study of Hydrothermal Ores from the Hatoma Knoll Hydrothermal Field in the Okinawa Trough

戸塚 修平^{1*}; 中野 宏樹¹; 島田 和彦¹; 石橋 純一郎¹; 野崎 達生²
TOTSUKA, Shuhei^{1*}; NAKANO, Hiroki¹; SHIMADA, Kazuhiko¹; ISHIBASHI, Jun-ichiro¹; NOZAKI, Tatsuo²

¹九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻, ²海洋研究開発機構海底資源研究開発センター

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, ²Research and Development Center for Submarine Resources, JAMSTEC

南部沖縄トラフに位置する鳩間海丘の頂上火口では熱水活動が確認されている。鳩間海丘熱水域の熱水性鉱石は硬石膏や重晶石といった硫酸塩鉱物に富み、熱水の組成はCl⁻に乏しく最高300℃の温度が記録されている。硫酸塩鉱物に富むという特徴は、気液分離の際に金属元素が気相に取り込まれにくいことに関連すると考えられ、硫化鉱物の沈殿が海底下で起こっていることが期待できる。海底下における硫化鉱物の鉱化作用の可能性を調べるため、我々は鳩間海丘熱水域の熱水性鉱石で堆積物に埋まっていた試料を集中的に採取した。本講演では、そのような様々な鉱石試料の分析結果に基づいて、鉱物学的、地球化学的特徴を議論する。

試料はYK07-04、NT08-13、NT11-20、KY14-02の各航海において、しんかい6500およびハイパードルフィンによって海底から採取された15試料を使用した。鉱物同定には反射顕微鏡での観察とXRD(X線回折)、EPMA(電子線マイクロアナライザ)を使用した。またEPMAで硫化鉱物の化学組成を分析した。

各試料の鉱物組み合わせと組織から、試料を5つのタイプに分類した。Type I (fine-grained sulfide ore) は dendritic 組織が見られたことから急冷で生じたものだと思われた。Type II (sulfide dominant ore) は閃亜鉛鉱、方鉛鉱、四面銅鉱といった硫化鉱物に富んでいた。Type II のなかでも特異な2試料を、(1)Sbを化学組成に含む鉱物が非常に多く見られた Type II' (Sb-rich chimney) と、(2)結晶の粒径が1cmと大きい Type II'' (coarse-grained sulfide ore) に分類した。Type III (barite dominant As-rich chimney) は重晶石とAsを含む鉱物がよく観察された。

硫化鉱物の化学組成から2つの興味深い特徴がわかった。1つは閃亜鉛鉱中のMnの濃度で、Type Iの試料で最大11.4%と高い値を示した。またMnに乏しくFeに富む試料も見られた。もう一つは四面銅鉱中のAg濃度で、Type II'の試料で8.27~18.90%と高い値を示した。四面銅鉱ではAgの濃度とSb/(Sb+As)の値に正の相関があった。またその他のAg鉱物の組成からもAgはSbとよく挙動を共にしていると考えられた。

キーワード: 沖縄トラフ, 鳩間海丘, 海底熱水鉱床, 含銀四面銅鉱

Keywords: Okinawa Trough, Hatoma Knoll, Seafloor massive sulfide ore deposit, Ag-rich tetrahedrite

ミャンマー南部アンチモニー鉱床の輝安鉱の硫黄同位体比 Sulfur isotopic compositions of stibnite in antimony deposits, southern Myanmar

実松 健造^{1*}; 間中 崇行²
SANEMATSU, Kenzo^{1*}; MANAKA, Takayuki²

¹ 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門, ²Neko Minerals Co., Ltd.

¹Geological Survey of Japan, AIST, ²Neko Minerals Co., Ltd.

アンチモニーは一般に変成(続生)流体や熱水から沈澱して鉱床を形成することが多く、金やタンゲステンなどを伴うこともある。ミャンマー南部には小規模なアンチモニー鉱床が南北に多数分布するが、その成因はよく分かっていない。本研究では、いくつかのアンチモニー鉱床から採取した輝安鉱(Sb_2S_3)の硫黄同位体比について論じる。

鉱床は石炭紀からペルム紀前期の Mergui Group および Lebyin Group の泥岩、砂岩、石灰岩に胚胎されており、輝安鉱-石英脈や鉱染状鉱体から構成される。これらの鉱体は変成流体により形成されたのか、またはマグマ性の熱水が混入した流体によって形成されたのかは不明である。鉱床周辺には火山岩はまれであるが、熱源となりうる花崗岩類(磁鉄鉱系及びチタン鉄鉱系)は広域的に分布している。鉱石中では輝安鉱と石英以外の鉱物の産出は少ない。輝安鉱は自形で長柱状を呈し、石英は緻密で乳白色を呈する。顕微鏡下では輝安鉱や石英中に細粒の自形黄鉄鉱が多少確認される。一部の試料では輝安鉱が変質鉱物である cervantite (Sb_2O_4) に縁取られている。

輝安鉱から得られた硫黄同位体比は $\delta^{34}S = -9.4 \sim +8.2$ ‰ まで幅広く変化した。軽い同位体比 ($\delta^{34}S < 0$ ‰) は堆積岩母岩の硫黄に由来すると考えられ、一方で比較的重い同位体比 ($\delta^{34}S > 0$ ‰) はより高温または酸化的な熱水の寄与に起因するのかもしれない。一般的に磁鉄鉱系列花崗岩類はチタン鉄鉱系に比べて重たい硫黄同位体比を示すが、本研究では硫黄同位体比と花崗岩類の分布には関係が見られなかった。

いくつかのアンチモニー鉱床は金の鉱化作用を伴っており、金が回収されていた。これらの鉱石中を fire assay 法で分析した結果、0.1~3 ppm 程度の金が確認された。金含有鉱石の輝安鉱の硫黄同位体比は全て正の値であった。

キーワード: アンチモニー, 輝安鉱, 硫黄同位体, 鉱床, 金, ミャンマー

Keywords: antimony, stibnite, sulfur isotope, deposits, gold, Myanmar

REE-bearing Minerals in Granitoids at Sibolga and Panyabungan, North Sumatra, Indonesia
REE-bearing Minerals in Granitoids at Sibolga and Panyabungan, North Sumatra, Indonesia

IWAN, Setiawan^{1*}; TAKEYUKI, Ogata²; TAKAHASHI, Ryohei²; IMAI, Akira²
IWAN, Setiawan^{1*}; TAKEYUKI, Ogata²; TAKAHASHI, Ryohei²; IMAI, Akira²

¹Graduate School of Engineering and Resource Science, Akita University, Japan, ²Department of Earth Resource Science, Faculty of International Resource Sciences, Akita University,

¹Graduate School of Engineering and Resource Science, Akita University, Japan, ²Department of Earth Resource Science, Faculty of International Resource Sciences, Akita University,

Granitoids in the western part of North Sumatra are being studied to elucidate the genesis of REE mineralization on the basis of mineralogical and geochemical methods. Eleven samples were analyzed by petrography, XRF, SEM and ICP-MS to identify REE-bearing minerals and determine REE concentration.

The granitoids at Sibolga and Panyabungan are separated by 166 km distance, which formed in different settings, but both of the two magmas share ilmenite-series and metaluminous affinity. Petrographic study revealed that granitoids in Sibolga are A-type and ilmenite-series alkali feldspar granite and quartz syenite, formed within plate setting, and that I-type and ilmenite-series quartz syenite in Panyabungan was formed in volcanic arc setting. Allanite, apatite and titanite in the granitic rocks at Sibolga and Panyabungan contain Y, Ce, La, Pr, Nd, and Yb.

The setting changed due to change in tectonics during Late Permian to Cretaceous, from continental rift to magmatic arc setting. The enrichment of REE in the Sibolga and Panyabungan granitoids was caused by crystallization of allanite, apatite, and titanite.

キーワード: Sibolga, Panyabungan, Granitoids, A-type, I-type, ilmenite-series
Keywords: Sibolga, Panyabungan, Granitoids, A-type, I-type, ilmenite-series

中央ラオス、Phon Tiou - Boneng 錫鉱山地域における金属鉱化作用と花崗岩類の岩石記載
Metallic mineralization and petrography of granitoids at the Phon Tiou - Boneng tin mining area, central Laos

高橋 亮平^{1*}; 伊藤 祥也²; Charusiri Punya³; 今井 亮¹; Veeravinantanakul Apivut³; 渡辺 寧¹
TAKAHASHI, Ryohei^{1*}; ITO, Yoshiya²; CHARUSIRI, Punya³; IMAI, Akira¹; VEERAVINANTANAKUL, Apivut³; WATANABE, Yasushi¹

¹ 秋田大学国際資源学部, ² 秋田大学工学資源学部, ³ チュラロンコン大学地質学科

¹Faculty of International Resource Sciences, Akita University, JAPAN, ²Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University, JAPAN, ³Department of Geology, Chulalongkorn University, THAILAND

Recently demand and price of tin have been increasing because of development of lead-free solder alloy as a global industry standard. Indium tin oxide (ITO) is also known as a high technology material used for liquid crystal display and so on.

The Phon Tiou and Boneng deposits located in central Laos are medium-scale (>10,000 t Sn) residual and placer tin deposits with total reserves of 10,100 t and 11,600t Sn, respectively. The mining target is cassiterite (SnO₂). Besides, there are several base metal and precious metal deposits and prospects in this area. Recently, Laotian, Thai, Chinese, Russian and North Korean companies are mining mainly tin and processing using shaking table method, in addition to small-scale miners. There are few studies that described metallic mineralization in this area. Objectives of this study are to elucidate petrographic and chemical characteristics of granitoids and metallic mineralization in the Phon Tiou - Boneng tin mining area, specially revealing a source rock of cassiterite, based on magnetic susceptibility, radioactivity, microscopic and EDS-SEM observation, bulk chemical compositions and sulfur isotopic compositions.

The Phon Tiou - Boneng tin mining area is located in Truong Son fold belt formed by Indosinian orogeny during Permian-Triassic period. Basement rock of the study area is Silurian-Devonian sandstone, mica schist and limestone. It is covered by Carboniferous and Jurassic sedimentary rocks, and Quaternary alluvial deposits. There are Triassic granitoids of the Say Phou Ngou and Phon Tiou complexess.

Magnetic susceptibility of the Say Phou Ngou and Phon Tiou granitoids complexes ranges from 0.02×10^{-3} to 1.5×10^{-3} SI and from 0.02×10^{-3} to 0.15×10^{-3} SI, respectively, indicating characteristics of almost ilmenite-series. The radio activity of granitoids ranges from 0.19 to $0.34 \mu\text{S}$ and there is no distinct difference between the two complexes. Both the granitoids are composed mainly of quartz, K-feldspar, plagioclase, biotite of 300-700 μm across and +/- zircon as primary minerals, showing equigranular texture. On the basis of the modal compositions, the Say Phou Ngou and Phon Tiou granitoid complexes are classified petrographically as syenogranite-monzogranite, and syenogranite, respectively. The granitoids of Say Phou Ngou complex (162-242 ppm Zr) contain relatively large amount of zircon included in biotite compared to those of the Phon Tiou complex (64-74 ppm Zr). The Phon Tiou complex (6-9 ppm Sn) is slightly enriched in tin compared to the Say Phou Ngou complex (2-3 ppm Sn).

Grain size of cassiterite contained in alluvial deposits and the concentrate after the table shaking separation ranges from 50 to 200 μm . The SnO₂ concentrate is ca. 60 wt% and the concentrate contains magnetite, goethite, zircon (ca. 1,500 ppm Zr) and wolframite (ca. 450 ppm W). A sample of cassiterite-bearing alluvial deposits collected from a mining site contains ca. 1,000 ppm Sn and ca. 500 ppm Zr. The Sn content of a hard rock collected from the outcrop beside the mine is up to ca. 1,500 ppm, and we concluded that it is the source rock of cassiterite. The rock is composed mainly of equigranular quartz of 150-200 μm across and their interstice is filled by goethite and cassiterite, implying that it is a hydrothermally altered and/or leached granitoid.

$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ of sulfides from sulfide veins in an outcrop and ores in a stockpile are negative suggesting that the sulfur was derived from biogenic sulfide of sedimentary rocks and/or from ilmenite-series granitoid magma into which biogenic sulfide of sedimentary rocks was incorporated.

キーワード: ラオス, Phon Tiou - Boneng, 風化残留錫鉱床, 錫石, 花崗岩類

Keywords: Laos, Phon Tiou - Boneng, residual and placer tin deposits, cassiterite, granitoids