

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 6 月 3 日現在

機関番号：11401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22760650

研究課題名（和文） 地殻内流体による貴金属及びレアメタル元素の濃集メカニズム

研究課題名（英文） Concentration mechanism of precious and rare metal elements by earth crust fluids

研究代表者

高橋 亮平 (RYOHEI TAKAHASHI)

秋田大学・大学院工学資源学研究科・助教

研究者番号：10396286

研究成果の概要（和文）：

ロシア・カムチャツカ半島、国内・鹿児島県、その他の東南アジア地域において、主に熱水鉱床を対象とした地質調査を行った。室内実験として、熱水変質の鉱物記載、鉱化段階区分、流体包有物マイクロサーモメトリー、安定同位体分析、鉱物化学組成分析を行い、鉱床記載と生成条件、鉱床成因の考察を行った。また、カムチャツカ半島の地熱活動について、地下における水-岩石平衡温度、温泉沈殿物中の金属含有量についての解析を行った。

研究成果の概要（英文）：

We conducted geological survey in Kamchatka, Russia, Kagoshima, Japan, and other regions in Southeastern Asia, mainly for hydrothermal deposits. We studied on hydrothermal alteration, mineralization stages, fluid inclusions, stable isotopes and mineral chemistry for descriptions of ore-deposits and revealing ore-forming conditions and process. Also we analyzed water-rock equilibrium temperature in underground and metal concentrations in hot-spring precipitates related to the geothermal activity in Kamchatka.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：資源地質学、金属鉱床学

科研費の分科・細目：総合工学・地球・資源システム工学

キーワード：地殻内流体、熱水鉱床、貴金属・レアメタル、カムチャツカ、南薩型金鉱床、菱刈鉱床、東南アジア、安定同位体

1. 研究開始当初の背景

地殻内流体の循環は、貴金属元素、ベースメタル元素といった人類にとって有用な金属資源の濃集をもたらす重要な地球科学的現象である。資源地質学は、金属鉱床の形成メカニズムを明らかにする基礎研究であり、

資源探査手法の確立に貢献をもたらすと同時に、地殻内の物質循環メカニズムの理解につながる。近年、世界の貴金属・レアメタル需要が急速に高まりつつあり、新規の資源確保は早急に対処すべき問題である。

ロシア・カムチャツカ半島における金属資

源の存在は、近年（約 15 年間）の国際共同研究や資源探査によって世界に知られるところとなったが、どのような資源がどの程度存在するのか等、鉱床学的記載に基づく情報が欠如している。多くの金属鉱床が分布し詳細な研究が進められてきた環太平洋地域の中でも、同地域は鉱床データの空白域であり、金属鉱床の記載研究・成因研究に基づき、鉱床生成区の特徴と成因の解明が必要である。

申請者は、これまでの研究の中で、比較的アクセスの良いカムチャツカ半島の南部において金属鉱床を調査し、金銀、ベースメタルタイプの浅熱水性鉱床の成因を研究してきた。研究着手時点では、カムチャツカ半島で鉱山開発が行われている金属鉱床は存在しなかったが、近年 2005 年、2007 年と相次いで金鉱山の開発が開始された。カムチャツカ半島において、貴金属・ベースメタル・レアメタル等の資源ポテンシャル解明のため、鉱山開発地域、探鉱地域および鉱徴地の地質学的な基礎研究が必要とされている。また、これまで火山活動にともなう地熱活動について予察調査を進めてきたが、熱水鉱床の形成モデルの検証を行うにあたり、世界最大の火山-地熱活動地帯であるカムチャツカ半島は最適な研究対象地域であると考えられる。

2. 研究の目的

カムチャツカ半島の金属鉱床の記載研究を行い、タイプ区分を行うと共に、鉱床形成年代、鉱床を形成した熱水の温度・生成深度、鉱物組み合わせから熱水の化学組成、物理化学条件等の鉱床形成条件と成因解明を行う。また、それぞれの鉱床生成区における、開発可能な金属種と地下資源ポテンシャルについて推定を行う。さらに火山-地熱帯における地熱流体や温泉沈殿物などの地球化学的データの解析に基づき、地下における熱水循環メカニズムを考察する。

本研究課題は、研究期間の 2 年目以降、研究地域を拡大し、東南アジア及び国内の金属鉱床地域を研究対象に含めた。

3. 研究の方法

現地調査を実施し、金属鉱床から採取した岩石試料を用いて、室内実験・解析として、鉱化段階区分と年代測定、全岩化学組成分析、及び、硫黄・酸素・水素安定同位体分析、帯磁率測定、熱水変質鉱物の同定による鉱床のタイプ区分を行い、流体包有物のマイクロサームメトリー分析及び熱力学計算に基づく鉱床生成の物理化学条件の推定を行った。

4. 研究成果

ロシア・カムチャツカ半島の Aginskoe 金鉱床について、鉱化段階区分を行い、熱水角礫化作用の特徴と構成鉱物についての記載、

流体包有物の均質化温度の測定を行い同鉱床の 2 鉱体について生成温度、鉱床形成深度の推定を行った。同地域の Baranjevskoe 鉱床では、高金品位部の地表露頭において自然金の二次富化作用の観察を行った。同地域の Oganchinskoe 鉱床では、地表露頭及び試錐コアの石英脈を試料採取し、胚胎母岩及び鉱脈の切り合い関係および構成鉱物組合せの記載、流体包有物研究、各種の安定同位体分析を行った。この他、カムチャツカ半島中央火山帯および東火山帯における温泉水と温泉沈殿物の化学組成および酸素水素安定同位体組成のデータについて、地質温度計による地下の水-岩石平衡温度、マグマ水-天水の混合に関する解析を行った。

鹿児島県・菱刈鉱山において、坑内調査を行い、高金品位の石英脈の成長縞に沿った鉱物記載、化学組成分析、酸素同位体分析を行った。また、いくつかの鉱脈群の脈中に産する粘土鉱物の同定、特にスメクタイトのキャラクタリゼーションを行った。さらに同県の南部に位置する春日鉱山、岩戸鉱山、赤石鉱山、鹿籠・花籠・黒仁田・河内山鉱床、栗ヶ野・その他鉱徴地で変質帯マッピング調査、鉱脈露頭の地質調査を行い、室内実験として、粘土鉱物の同定、各種同位体分析、Ar-Ar 年代分析、LA-ICP-MS による黄鉄鉱中の金含有量の測定を行った。

このほか、本研究課題と関連するプロジェクトとして、以下の研究を行った。カムチャツカ半島における新生代の熱水鉱床の形成年代と硫黄同位体組成に関わる研究として、各金属鉱床区の鉱床形成年代と火山活動の地質年代の比較、基盤岩の種類と硫黄同位体組成の関係を考察した。また、インドネシア・ジャワ島の金鉱徴地を対象とした鉱床記載、鉱床形成条件の研究を行い、研究成果として、鉱床形成と関係火成岩についての Ar-Ar 年代、鉱物化学組成、流体包有物マイクロサームメトリーによる鉱床生成温度・深度の推定、硫黄フガシティーの推定などの結果が得られた。タイ中北部の Chatree 鉱山の探鉱地域において、地質調査・試錐および地表露頭の観察と試料採取を行った。これらの探鉱地域において、熱水変質の累帯構造の解明、鉱石鉱物・脈石鉱物の共生関係の記載を行った。同地域の 1 つの探鉱地域の試錐コアにおいて、これまでに報告がない斑岩銅-モリブデン型に類似する鉱化作用が確認され、今後、詳細な研究が進められる予定である。このほか、変質岩に含まれる硫化物中の微量元素の挙動に関して、北海道中央部の金属鉱床を対象とした研究を行った。また関連する共同研究として、ソロモン諸島の浅熱水金鉱床の流体包有物マイクロサームメトリーを含む鉱床記載・成因の研究を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

① Takahashi, R., Matsueda, H., Okrugin, V. M., Shikazono, N., Ono, S., Imai, A., Andreeva, E. D., Watanabe, K. (2013) Ore-forming ages and sulfur isotope study of hydrothermal deposits in Kamchatka, Russia, *Resource Geology*, 63, 210-223. (10.1111/rge.12005)

② Tabelin, C. B., Igarashi, T., Tamoto, S., Takahashi, R. (2012) The roles of pyrite and calcite in the mobilization of arsenic and lead from hydrothermally altered rocks excavated in Hokkaido, Japan, *Journal of Geochemical Exploration*, 119, 17-31. (10.1016/j.gexplo.2012.06.003)

③ Gedikile, H., Imai, A., Watanabe, K., Ogata, T., Takahashi, R. (accepted) Geology and mineralization of the Gold Ridge epithermal Au deposit, Guadalcanal, Solomon Island, *Resource Geology*. ([http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/\(ISSN\)1751-3928](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1751-3928))

④ Tabelin, C. B., Igarashi, T., Takahashi, R. (2012) Mobilization and speciation of arsenic from hydrothermally altered rock in laboratory column experiments under ambient conditions, *Applied Geochemistry*, 27, 326-342. (10.1016/j.apgeochem.2011.10.007)

⑤ Tohma, Y., Imai, A., Sanematsu, K., Yonezu, K., Takahashi, R., Koyama, M., Sekine, R. and Watanabe, K. (2010) Characteristics and mineralization age of the Fukusen No. 1 vein, Hishikari epithermal gold deposits, southern Kyushu, Japan, *Resource Geology*, 60, 348-358. (10.1111/j.1751-3928.2010.00140.x)

〔学会発表〕(計 39 件)

① Ryohei Takahashi, Koichiro Watanabe, Akira Imai and Kotaro Yonezu (2012) Timing of Ore Formation and Mineralization Characteristics of the Seisen Veins in the Hishikari Mine, Kagoshima, Japan. *Proceedings of the 2nd Asia Africa Mineral Resources Conference 2012* (CD-ROM) pp. 1-4, 17-September, 2012 (Bandung, Indonesia).

② 高橋亮平, 今井亮, 松枝大治, 米田哲朗, V. Okrugin, 鹿園直建 (2012) カムチャツカ半島の貴金属・ベースメタル鉱床の成因研究と資源ポテンシャル, 資源・素材学会: 春季大会, 2012年3月28日(東京).

③ Takahashi, R., Imai, A., Shingo, Y., Watanabe, K., Harijoko, A., Warmada, I. W., Idrus, A., Phoumephone, P., Scherstén, A. (2011) Mineralogical Description and Ore-Forming Condition at the Trenggalek Gold Prospect, East Java, Indonesia. *Proceedings of Asia-Africa Mineral Resource Conference* (CD-ROM) pp. 121-125, 2011年12月8日(福岡).

④ Takahashi, R., Matsueda, H., Okrugin, V. M., Andreeva, E. D., Ono, S., Shikazono, N., Imai, A., Yonezu, K., Watanabe, K. (2011) Isotope study of hydrothermal deposits and geothermal activity: implication to resource exploration in Kamchatka. *Abstracts from the 34th Annual Winter Meeting of the Geological Society's Mineral Deposit Studies Group, Applied Earth Science* (Trans. Inst. Min. Metall. B), Vol. 119, No. 2, pp. 96-97, 7-January-2011 (London, UK).

⑤ Takahashi, R., Imai, A., Shingo, Y., Watanabe, K., Harijoko, A., Warmada, I. W., Idrus, A., Phoumephone, P. and Schersten, A. (2011) Ore forming condition of epithermal gold mineralization at Trenggalek, East Java, Indonesia, 資源地質学会第61回年会講演会, 2011年6月23日(東京).

⑥ 高橋亮平, 渡邊公一郎, 今井亮, 米津幸太郎, Schersten, A. (2010) 鹿児島県菱刈鉱床における成泉脈の Ar-Ar 年代と金鉱化作用, 資源地質学会第60回年会講演会, P-08, 2010年6月25日(東京).

〔図書〕(計 1 件)

高橋亮平 (2011) バツヒジャウ (インドネシア). 金属資源開発分野に関する人材育成テキスト「鉱物資源鉱床発見事例集」, 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 125-139.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

<http://www.gipc.akita-u.ac.jp/~kinsho/TOP.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 亮平 (RYOHEI TAKAHASHI)

秋田大学・大学院工学資源学研究科・助教

研究者番号：10396286