

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2013～2016

課題番号：25303029

研究課題名(和文)放射壊変系同位体を用いたイラン・ザグロス造山帯の希少金属鉱床の成因解析

研究課題名(英文) Research on the genesis of rare metal deposits in the Zagros Orogeny, Iran, and radiogenic isotope analysis

研究代表者

浅原 良浩 (Asahara, Yoshihiro)

名古屋大学・環境学研究科・准教授

研究者番号：10281065

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：本調査研究では、Rb-Sr、Sm-Nd系などの放射壊変系同位体を利用し、イラン・ザグロス造山帯に数多く分布する鉱床の成因解析を行った。平成25～28年度の4年間に5回、ザグロス造山帯北部の現地調査を実施し、名古屋大学と関西学院大において鉱石とその鉱床母岩の化学分析・同位体分析を行った。その結果、この地域の鉱床成因に関わる火成活動の時期およびタイプが明らかとなり、この地域のテクトニクスモデルを大きく修正するとともに、鉱床の成因解析に大きく貢献した。最終年度には、イラン・クルジスタン大学において国際ワークショップを開催し、4年間の調査研究の総括を行うとともに将来の研究計画について議論を行った。

研究成果の概要(英文)：In this project, we carried out research on the genesis of mineral deposits and their host rocks in the Zagros Orogeny, Iran, by use of radiogenic isotopes such as Sr and Nd. In this four years from fiscal year Heisei 25 to 28, we conducted five-times field surveys in the northwestern Zagros Mountains (Iran), and carried out chemical and isotopic analyses of the mineral deposits and their host rocks at Nagoya and Kwansei Gakuin Universities (Japan). As a result, we have revealed the ages and petrological types of the igneous activities in this area, leading to major improvements of tectonic models in the Zagros Orogeny and contributing to genesis of the mineral deposits in this area. In the last year of this project, we carried out an international workshop at University of Kurdistan (Iran). We summed out the results of this four-year research investigation, and then discussed our future plan.

研究分野：地球化学

キーワード：応用地質 イラン ザグロス造山帯 火成岩 鉱床形成 放射年代

1. 研究開始当初の背景

イランの南東部から北西部に伸びるザグロス造山帯は、プレートの沈み込み・衝突などに伴う火成活動が活発な地域である。この火成活動は、白亜紀から第四紀において、島弧型、背弧型、大陸弧型と活動場所を少しずつ変えており、始新世において最も活発だったとされている。このザグロス造山帯の火成活動は、イラン国内に数多く分布する金属・非金属鉱床の主要な生成要因の1つである。これらの鉱床の成因解析のためには、鉱床の形成年代と、関連する火成活動の時期や期間、火成活動の熱源に関する基礎情報は不可欠である。しかしながら、研究開始当初、ザグロス造山帯の火成岩の年代情報やマグマ源の情報の不足(例えば、Azizi et al., 2011)が、岩体の地域間の対比を困難にし、ザグロス造山帯の火成活動の時間的・空間的変遷を解く際の障壁となり、鉱床成因解析の際の障壁にもなっている実情があった。

2. 研究の目的

本調査研究の目的は、イラン・ザグロス造山帯の火成活動と鉱床形成の関係を時系列的かつ成因的に考察するため、1) 現地調査による鉱床、鉱床母岩、貫入火成岩などの層序・貫入関係の確認、(2) ^{87}Rb - ^{87}Sr 、 ^{147}Sm - ^{143}Nd 年代法を利用した貫入火成岩、鉱床母岩、鉱石の形成年代解析、(3) Sr-Nd 同位体初生値を利用した貫入火成岩、鉱床母岩、鉱石の起源物質解析、を実施し、放射壊変系同位体を用いた鉱床成因解析法の実用性を検証する。

3. 研究の方法

イラン北西部のザグロス造山帯北部(クルジスタン州およびその周辺地域)において、毎年、現地調査を実施した。日本からは、研究代表者、分担者と大学院生1~2名が協力者として現地調査に参加した。イラン側の研究協力者として、クルジスタン大学およびイラン地質調査所の研究者、およびクルジスタン大学等の大学院生が2~7名、調査に参加した。なお、調査に参加したイランの大学院生の一部は、研究代表者および分担者が副指導教員として指導した学生である(例えば、「5. 主な発表論文等〔雑誌論文〕」の、の著者に含まれている)。

クルジスタン州サナンダジ市のクルジスタン大学を調査拠点とし、10日~2週間滞在した。地質調査、火成岩などの鉱床母岩および鉱石の試料採取を行ったのち、クルジスタン大学内で調査データの整理、試料の切断、薄片作成、などを行った。化学分析・同位体分析のための岩石試料の粉末化は、イラン地質調査所、名古屋大学などで行った。U-Pb 放射壊変系の年代測定を行うためのジルコン鉱物の分離およびジルコン鉱物粒子の薄片作成は、クルジスタン大学または名古屋大学で行った。

主要・微量元素の定量分析は名古屋大学および関西学院大学のXRF、ICP-MSで、Rb-Sr、Sm-Nd系の同位体比測定は名古屋大学の表面電離磁場型質量分析計(TIMS)で行った。ジルコンのU-Pb年代測定は、名古屋大学のLA-ICP-MSで行った。これらの分析は、研究代表者、分担者と大学院生(協力者)が中心となって実施した。また、研究協力者のクルジスタン大学およびイラク地質調査所の研究者、イランの大学院生が名古屋大学にそれぞれ3ヶ月~1年間滞在し、これらの化学分析、ジルコン U-Pb 年代測定などを共同で実施した。

4. 研究成果

研究成果を調査実施年度毎に以下に示す。

[初年度]

調査地域は、クルジスタン州のGhorveh地域 Suffi abad, Moshir abad, Ghalaylan, Taghi abad などである。この地域には錫・タングステン、磁鉄鉱などの鉱床が分布する。平成25年4~5月に2週間、研究代表者、分担者は、研究協力者(大学院生1名、イラン側研究者2名、イラン側大学院生6名)とともに調査を行った。

この地域の火成岩の形成年代として、ジュラ紀後期から白亜紀前期の年代値が得られた(例えば、「5. 主な発表論文等〔雑誌論文〕」の、)。また、Rb-Sr、Sm-Nd年代値とジルコン U-Pb 年代値に数千万年の年代差が見られることから、Ghorveh 地域の火成活動は長期間継続していたと考えられる。この長期間継続した火成活動が、この地域の鉱床成因に密接に関係している可能性がある。

また、Ghorveh 地域ではこれまで報告されていないアダカイトが分布することが確認された(例えば、「5. 主な発表論文等〔雑誌論文〕」の)。これは、ネオテーチス海における背弧海盆の形成と島弧・大陸の衝突がジュラ紀後期に起こっていたことを示唆している。これは、Ghorveh 地域で長期間継続した火成活動の熱源を探る手掛りとなる可能性がある。

[2年目]

調査地域は、クルジスタン州のGhorveh地域 Mobarak abad, Panjeh, Ghalaylan, Maiham Olya, クルジスタン州の南に位置するケルマンシャー州のAli abad, Harsinのオフィオライト岩体である。平成26年4~5月に2週間、研究代表者、分担者は、研究協力者(大学院生1名、イラン側研究者1名、イラン側大学院生5名)とともに調査を行った。

Kermansha 地域では、複数タイプのオフィオライト岩体の分布が確認された(例えば、「5. 主な発表論文等〔雑誌論文〕」の)。今回新たに確認されたタイプは、アラビアプレート沈み込みに伴う背弧海盆の形成を始めて明確に示すものである。

[3年目]

調査地域は、クルジスタン州 Ghorveh 地域 Ebrahim Attar、クルジスタン州北部の Saqgez 地域、Marivan 地域である。Saqgez 地域については、引き続き 4 年目も調査を行っている。平成 27 年 4~5 月に 2 週間、研究代表者、分担者は、研究協力者（大学院生 1 名、イラン側研究者 1 名、イラン側大学院生 6 名）とともに調査を行った。

Ghorveh 地域の Ebrahim Attar 花崗岩は優白質花崗岩であり、化学組成・同位体組成からマグマ源は大陸地殻と推定された（「5. 主な発表論文等〔雑誌論文〕」の）。その熱源の可能性としては、白亜紀後期に大陸地殻下で、沈み込むネオテチス海プレートのロールバックによるマントル上昇が考えられる。[4 年目・最終年度]

最終年度は、現地調査を春と秋の 2 回行った。2 回目の現地調査に併せて、国際ワークショップを実施した。

春の調査は、3 年目に引き続いて、クルジスタン州北部の Saqgez-Baneh 地域を集中的に行った。平成 28 年 4~5 月に 12 日間、研究代表者、分担者は、研究協力者（イラン側研究者 1 名、イラン側大学院生 7 名）とともに調査を行った。

Saqgez 地域に分布する磁鉄鉱鉱床や金鉱床は堆積鉱床であり、その周辺に分布する花崗岩・閃緑岩の岩体は、古生代またはそれ以前に形成されたと考えられていた。しかしながら、年代測定の結果、従来考えられていた古生代またはそれ以前の年代の岩体の分布域が狭く（Azizi et al., in press）、白亜紀中期の岩体が広く分布することが明らかになった（Azizi and Asahara, 投稿準備中）。この結果から、この地域の磁鉄鉱・金鉱床の一部が、アラビアプレートの沈み込みに伴う火成活動に関連する可能性について再考する必要がある。

秋の調査は、クルジスタン州北東に位置するザンジャン州ザンジャンの磁鉄鉱-燐灰石（IOA）鉱床である。平成 28 年 9~10 月に 11 日間、研究代表者、分担者は、研究協力者（日本からの研究者 1 名、大学院生 2 名、イラン側研究者 3 名、イラン側大学院生 5 名）とともに調査を行った。

ザンジャン地域の IOA 鉱床は、キルナ型鉱床とされているが、その成因については様々な議論がある。Sr および Nd 同位体比と希土類元素組成の特徴からは、現時点ではマグマ性熱水性鉱床の可能性が高い（例えば、「5. 主な発表論文等〔学会発表〕」の）。ザンジャン IOA の Sr 同位体比と鉱床母岩の Sr 同位体初生値が一致しているものの、希土類元素組成の一部に不一致が見られる問題点もある。ザンジャンの IOA 鉱床の調査は、本調査研究終了後も引き続き実施していく予定である。

本調査研究の総括を行うため、秋の調査期間中の 10 月 1~2 日の 2 日間、イラン・クルジスタン大学内で 2016 Iran-Japan Joint

International Workshop on Isotope Geology を実施した。研究代表者、分担者、クルジスタン大学の研究者（協力者）など、本調査研究組織のメンバーが中心に基調講演（例えば、「5. 主な発表論文等〔学会発表〕」の）を行うとともに、日本、イランの大学院生（研究協力者を含む）が口頭およびポスターでザグロス造山帯の火成活動に関する最新の研究成果の報告（例えば、「5. 主な発表論文等〔学会発表〕」の）を行った。なお、本ワークショップの詳細は、「5. 主な発表論文等〔その他〕」の報告書に記されている。

本ワークショップ後、本調査研究組織のメンバーで将来の研究計画についてさらに議論し、今後も継続してイランおよびその周辺地域の火成活動と鉱床成因解析について国際共同研究を実施していくことを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 27 件)すべて査読有

Abdulzahra, I.K., Hadi, A., Azizi, H., Asahara, Y., Yamamoto, K. Zircon U-Pb ages and Sr-Nd isotope ratios for the Sirstan granitoid body, NE Iraq: Evidence of magmatic activity in the Middle Cretaceous Period. *Comptes Rendus Geoscience* **349**, 53-62 (2017)

doi: 10.1016/j.crte.2017.02.004

Malek-Mahmoudi, F., Davoudian, A.R., Shabanian, N., Azizi, H., Asahara, Y., Neubauer, F., Dong, Y. Geochemistry of metabasites from the North Shahrekord metamorphic complex, Sanandaj-Sirjan Zone: Geodynamic implications for the Pan-African basement in Iran. *Precambrian Research* **293**, 56-72 (2017)

doi: 10.1016/j.precamres.2017.03.003

Golkaram, S., Rashidnejad-Omran, N., Azizi, H., Asahara, Y., Buchs, D.M., McDonald, I., Santos, J.F. Petrogenesis and geodynamic evolution of the Kajan Neogene subvolcanic rocks, Nain, Central Iran. *Chemie der Erde* **76**, 567-578 (2016)

doi: 10.1016/j.chemer.2016.08.007

Azizi, H., Mohammadi, K., Asahara, Y., Tsuboi, M., Daneshvar, N., Mehrabi, B. Strongly peraluminous leucogranite (Ebrahim-Attar granite) as evidence for extensional tectonic regime in the Cretaceous, Sanandaj Sirjan zone, northwest Iran. *Chemie der Erde* **76**, 529-541 (2016)

doi: 10.1016/j.chemer.2016.08.006

Abdulzahra, I.K., Hadi, A., Asahara, Y., Azizi, H., Yamamoto, K. Zircon U-Pb ages and geochemistry of Devonian A-type granites in the Iraqi Zagros suture zone (Damamna area): New evidence for magmatic activity related to the Hercynian orogeny. *Lithos* **264**, 360-374 (2016)

doi: 10.1016/j.lithos.2016.09.006
Nouri, F., Azizi, H., Golonka, J., Asahara, Y., Orihashi, Y., Yamamoto, K., Tsuboi, M., Anma, R. Age and petrogenesis of Na-rich felsic rocks in western Iran: evidence for closure of the southern branch of the Neo-Tethys in the Late Cretaceous. *Tectonophysics* **671**, 151-172 (2016)
doi: 10.1016/j.tecto.2015.12.014
Ye Kyaw Thu, Maw Maw Win, Enami, M., Tsuboi, M. Ti-rich biotite in spinel and quartz-bearing paragneiss and related rocks from the Mogok metamorphic belt, central Myanmar. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences* **111**, 270-282 (2016)
doi: 10.2465/jmps.151020
Azizi, H., Najari, M., Asahara, Y., Catlos, E.J., Shimizu, M., Yamamoto, K. U-Pb zircon ages and geochemistry of Kangareh and Taghiabad mafic bodies in northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran: Evidence for intra-oceanic arc and back-arc tectonic regime in Late Jurassic. *Tectonophysics* **660**, 47-64 (2015)
doi: 10.1016/j.tecto.2015.08.008
Azizi, H., Beiranvand, M.Z., Asahara, Y. Zircon U-Pb ages and petrogenesis of a tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) complex in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, northwest Iran: Evidence for Late Jurassic arc-continent collision. *Lithos* **216-217**, 178-195 (2015)
doi: 10.1016/j.lithos.2014.11.012
Yasuda, T., Asahara, Y., Ichikawa, R., Nakatsuka, M., Minami, H., Nagao, S. Distribution and transport processes of lithogenic material from the Amur River revealed by the Sr and Nd isotope ratios of sediments from the Sea of Okhotsk. *Progress in Oceanography* **126**, 155-167 (2014)
doi: 10.1016/j.pocean.2014.04.015
谷岡裕大, 若杉勇輝, 壺井基裕 福島県南西部只見川花崗岩類の全岩化学組成および K-Ar 年代. *岩石鉱物科学* **43**, 215-227 (2014)
doi: 10.2465/gkk.130902b
Azizi, H., Asahara, Y., Tsuboi, M., Takemura, K., Razyani, S. (2014) The role of heterogenetic mantle in the genesis of adakites northeast of Sanandaj, northwestern Iran. *Chemie der Erde* **74**, 87-97.
doi: 10.1016/j.chemer.2013.09.008
Azizi, H., Asahara, Y., Tsuboi, M. Quaternary high-Nb basalts: existence of young crust under the Sanandaj-Sirjan Zone, NW Iran. *International Geology Review* **56**, 167-186 (2014)
doi: 10.1080/00206814.2013.821268
Nishimoto, S., Yoshida, H., Asahara, Y., Tsuruta, T., Ishibashi, M., Katsuta, N.

Episyenite formation in the Toki granite. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **167**, 960 (2014)
doi: 10.1007/s00410-013-0960-8
Azizi, H., Hadi, A., Asahara, Y., Mohammad, Y.O. (2013) Geochemistry and geodynamics for the Mawat mafic complex in the Zagros Suture zone, northeast Iraq. *Central European Journal of Geosciences* **5**, 523-537.
doi: 10.2478/s13533-012-0151-6
Azizi, H., Asahara, Y. Juvenile granite in the Sanandaj-Sirjan Zone, NW Iran: Late Jurassic-Early Cretaceous arc-continent collision. *International Geology Review* **55**, 1523-1540 (2013)
doi: 10.1080/00206814.2013.782959

[学会発表](計62件)

Mano, K., Asahara, Y., Tsuboi, M., Azizi, H. Petrogenesis of magnetite-apatite deposit in Zanjan, NW Iran, using Sr and Nd isotopes and REE pattern. 2016 Iran-Japan Joint International Workshop on Isotope Geology, 2016年10月1~2日, University of Kurdistan (Sanandaj, Iran).

Tsuboi, M. Initial Sr isotopic ratio heterogeneity within a single granitic pluton. 2016 Iran-Japan Joint International Workshop on Isotope Geology, 2016年10月1~2日, University of Kurdistan (Sanandaj, Iran).

Asahara, Y. Principles and applications of radiogenic isotopes. 2016 Iran-Japan Joint International Workshop on Isotope Geology, 2016年10月1~2日, University of Kurdistan (Sanandaj, Iran).

若杉勇希, 谷岡裕大, 壺井基裕, 若木重行, 淺原良造. 只見川古期花崗岩類のU-Pb年代およびRb-Srアイソクロン年代. 日本鉱物科学会2016年年会, 2016年9月23~25日, 金沢大学(金沢市).

眞野航大, 淺原良造, 壺井基裕, Azizi, Hossein. Sr, Nd同位体比および希土類元素組成を利用した磁鉄鉱-リン灰石鉱床の成因解析. 2016年度日本地球化学会第63回年会, 2016年9月14~16日, 大阪市立大学(大阪市).

手塚直希, 壺井基裕, 淺原良造. 大阪府南部金剛山地に分布する葛城トータル岩中の暗色包有物の成因. 日本地質学会第123年学術大会, 2016年9月10~12日, 日本大学文理学部キャンパス(東京).

Asahara, Y., Yasuda, T., Ichikawa, R., Nakatsuka, T., Minami, H., Nagao, S., Nishioka, J. Provenance analysis of aluminosilicate detritus in marine environment by Sr-Nd isotopes: terrigenous input from the Amur River to the Sea of Okhotsk and the western subarctic Pacific. 日本地球惑星科学連合2016年大会, 2016年5月22~26日, 幕張メッセ(千葉市).

若杉勇輝, 谷岡裕太, 壺井基裕, 浅原良浩. 只見川古期花崗岩類の放射年代学. 2015 年度日本質量分析学会同位体比部会, 2015 年 11 月 25 ~ 27 日, 滋賀県大津市.

Abdulzahra, K., I., Hadi, A., Asahara, Y., Yamamoto, K. Petrogenesis of I- and A-type granitoid plutons in the Shalair Valley area of the Zagros Suture Zone, NE Iraq. 2015 年度日本地球化学会第 62 回年会, 2015 年 9 月 16 ~ 18 日, 横浜国立大学 (横浜市).

Wakasugi, Y., Tanioka, Y., Wakaki, S., Tsuboi, M., Asahara, Y. Magmatic strontium stable isotope fractionation within a single granitic pluton. Goldschmidt Conference 2015, 2015 年 8 月 16 ~ 21 日, Prague Congress Center (Prague, Czech Republic).

若杉勇希, 谷岡裕太, 壺井基裕, 浅原良浩. 福島県南西部只見川古期花崗岩類の U-Pb および K-Ar 年代. 日本地質学会第 121 年学術大会, 2014 年 9 月 13 ~ 15 日, 鹿児島大学 (鹿児島市).

〔図書〕(計 1 件)

浅原良浩 (2014) 「地球環境学マニュアル 2 -はかる・みせる・読みとく- (総合地球環境学研究所編)」, 50-51 (3 章 7 節 地球化学図の作り方), 132p, 朝倉書店.

〔その他〕

田中剛, 浅原良浩, 南雅代. 2016 年 イラン-日本同位体地球科学国際研究集会報告. 名古屋大学年代測定研究 I, 183-189 (2017)

<http://www.nendai.nagoya-u.ac.jp/nubcr/report2016.html>

浅原良浩. ザグロス造山帯の火成作用と大陸地殻進化 -放射壊変系同位体を利用した火成活動時期とマグマ源の推定-. 科学研究費補助金「新学術領域研究(研究領域提案型)」現代文明の基層としての古代西アジア文明 -文明の衝突論を克服するために- ニュースレター 3, 20-22 (2014) <http://rcwasia.hass.tsukuba.ac.jp/kaken/NL/newsletter03/NL03.pdf>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浅原 良浩 (ASAHARA, Yoshihiro)
名古屋大学・大学院環境学研究科・講師
研究者番号: 10281065

(2) 研究分担者

壺井 基裕 (TSUBOI, Motohiro)
関西学院大学・理工学部・教授
研究者番号: 60411774

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者

アジジ ホセイン (AZIZI, Hossein)
クルジスタン大学 (イラン)・工学部・教授

アクバブール アフシン

(AKBAPOUR, Afshin)
イラン地質調査所 (イラン)・地化学探査部門長

アブドゥルザハラ カディム イマド

(ABDULZAHRA, Kadhim Imad)
イラク地質調査所 (イラク)・地質部門長