

令和元年6月25日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05309

研究課題名(和文) 海嶺下における熱水循環システムと海嶺セグメント構造

研究課題名(英文) Hydrothermal circulation system beneath ocean ridge and segment structure

研究代表者

宮下 純夫 (Miyashita, Sumio)

新潟大学・自然科学系・フェロー

研究者番号：60200169

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は高速拡大海嶺で形成されたオマーンオフィオライトを対象として、海嶺下における熱水循環について検討した。斑れい岩層上部から枕状溶岩にわたる10箇所から緑泥石岩体が発見された。これらの岩石や母岩の化学分析から、海嶺下の熱水循環ではシリカや鉄、アルカリ元素などの著しい変化を伴うこと、さらに深部では銅が溶脱するが浅部ではシリカの沈殿に伴って濃集することが明らかとなった。こうした結果は海嶺付近における熱水循環が斑れい岩層にまで及んでいたことや銅鉱床の起源が緑泥石岩体に由来していることを示しており、従来の熱水系に関する新たな成因論を提示するに至った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海嶺下における熱水循環は海水と玄武岩質岩石との物質循環を考える上で重要である。本研究は高速拡大海嶺で形成されたオマーンオフィオライトを対象として、海嶺下における熱水循環について検討した。斑れい岩層上部から枕状溶岩にわたる10箇所から緑泥石岩体が発見された。これらの岩石や母岩の化学分析から、海嶺下の熱水循環ではシリカや鉄、アルカリ元素などの著しい変化を伴うこと、さらに深部では銅が溶脱するが浅部ではシリカの沈殿に伴って濃集することが明らかとなった。こうした結果は海嶺付近における銅鉱床の成因論に大きく寄与する。

研究成果の概要(英文)：10 chloritites bodies were found from the northern Oman ophiolite. The chloritites of the deeper level are composed of Fe-rich chlorite, while the chloritites of the shallower level are accompanied with abundant quartz veins. At the deeper horizon, Si, Ca, and alkali elements are seriously removed from the chloritite, and a huge amount of Fe is added to the chloritites. While, Si is added due to the precipitation of quartz veins at the shallower horizon, possibly owing to the lowering of temperature in the hydrothermal system. It is noted that the Cu contents of the deeply situated bodies are completely depleted as well as surrounding host rocks. However, the Cu contents of the shallower chloritites sometimes show an abnormal high concentration. Therefore, the chloritite bodies may be a root of the Cu-sulfide deposits.

研究分野：地球科学，地質学，岩石学

キーワード：熱水循環 海洋地殻 海嶺 オフィオライト 緑泥石岩

1. 研究開始当初の背景

海嶺下の熱水循環による海水と熱い岩石との相互反応は、地球上の物質循環を考える上で極めて重要である。従来の熱水循環に関する研究では、実際の海底下の掘削資料によるものと、過去の海洋地殻・上部マントルが陸上に露出しているオフィオライトを対象に行っている。しかし、その多くの研究では、マグマ溜りの化石とも言える斑れい岩層の上部のシート状岩脈群や溶岩層を対象とした研究が大部分で、海嶺下直下での現象が主要な研究対象となってきた。しかし、マグマから固結した海洋地殻下部や上部マントルは固結直後には数百度（おおよそ 800 度 C）もの高温状態であったはずであり、海嶺翼部の地下でも熱水循環が活発に行われてきたことが想定される。しかし、斑れい岩層まで考慮した調査研究は少なく、従来の海嶺付近における熱水循環モデルでは、マグマ溜りとその上部に位置していたシート状岩脈群と溶岩層との間の相互作用が重視されており、最も深部での変質岩はシート状岩脈群基底部付近に出現するエピドサイトであると見なされてきた（例えば Alt et al., 1995）。

本研究の出発点となったのは、斑れい岩層上部に特異な岩石、緑泥石岩体を発見したことがきっかけとなっている。緑泥石そのものは、変質鉱物として最も普遍的に出現するもので、その存在自体は珍しいものではない。しかし、緑泥石のみからなる岩体規模で出現する例はほとんど報告されていなかった。また、こうした岩体が斑れい岩層から発見されたことは、海嶺直下ではなく、海嶺翼部においても著しい熱水循環が行われていたことを示唆している。なぜなら、海嶺直下に存在しているマグマが固結したものが母岩となっているので、海嶺翼部へと位置が変化した後に形成されと考えられるからである。従って、本研究は海嶺付近における熱水循環の新たなパラダイム形成につながる可能性を秘めていた。

2. 研究の目的

従来全く知られていなかった緑泥石岩体がオマーンオフィオライトから発見されたので（Miyashita and Adachi, 2016）、その出現が普遍的に存在するかどうかを広域的に野外調査によって確認することをまず第一の目的とした。そもそもこうした特異な緑泥石岩体の出現の空間的分布を調査することで、そうした特異な岩体がどの程度に実在していることを確認する必要があるからである。目的の第二として、多数の岩体が見出された場合に、それぞれの岩体の空間的位置（層準の違いや海嶺セグメント構造との関連など）の違いによって、異なった特徴があるのかを解明することとした。第三の研究目的として、周囲の母岩との関係について野外で詳細に観察・試料採取を行い、緑泥石岩体の形成に関わる組成変化の実態の解明を目的とした。また、採取した仕様に関して、岩石学的検討を行い、その形成条件の解明を目指した。従来から知られているエピドサイト形成との前後関係などは詳細な野外調査が重要であり、その解明も目指した。

3. 研究の方法

1) 広域的な野外調査をまず実施し、緑泥石岩体の出現の空間的分布を検討した。

2) それぞれの岩体について野外での詳細な観察・試料採取を行った。

3) 得られた試料に関して、全岩化学分析を蛍光 X 線分析機を用いて主要成分および微量成分に関して分析した。また、ICP-MS を用いて微量成分分析を行った。

4) 岩石薄片を作成して岩石学的記載を行い、また、EPMA を用いて鉱物組成を分析し、緑泥石岩体の形成プロセスやその形成条件を検討した。

5) 周囲の母岩についても全岩化学分析を実施することにより、とくに銅の挙動に関して検討した。

4. 研究成果.

1) 緑泥石岩体の分布：広域的な野外調査によって、緑泥石岩体を 10 か所から発見した。その最大のもは 1 x 0.3 km もの範囲に露出している。調査範囲はほぼ南北 50km なので、おおよそ 5 キロメートルごとに出現することが明らかとなった。図 1a にこれらの岩体の出現場所と出現層準について示す。最も深い層準から発見されたのはヒルチ岩体でフォリエーテッドガブロの最深部付近に出現している。サラヒ南及び北岩体はフォリエーテッド斑れい岩から塊状斑れい岩付近に位置しており、岩体規模も最大規模を示す。バニウマール、ヒルチ南、スヘイリ岩体は塊状斑れい岩の上部付近に出現しており、規模も長径で 200-300 m 程度となっている。バルグハ北及びハンシ南岩体は塊状斑れい岩からシート状岩脈群の基底部付近、ハンシ北岩体はシート状岩脈群の中間付近に出現する。上部に出現するものほど、より長径方向が伸びた形を示す傾向が認められ、最大で 1 km に達する（ハンシ北岩体）。

2) 緑泥石岩体の出現層準：その出現の層準は、上部斑れい岩層最下部のフォリエーテッド斑れい岩が最も深い出現の限度で、最浅部は溶岩層にわたっている。それらの出現層準を模式的に図 1b に示してある。本図では、実際に観察された岩体の形状から、比較的下位の層準のものほどしずく状で、上位に出現するものはより伸びた形状を示すことを考慮して描かれている。

3) エピドサイトとの関係に関しては、シート状岩脈群の岩体内において、エピドサイトがゼノリスとして出現することが確認されたことにより、エピドサイト形成後に緑泥石岩体の形成が生じたことが明らかとなった。

4) 緑泥石岩体の産状と岩相：岩体の形状は上記に述べたように、上位のものほどより長く伸びた形を示している。また、岩相も層準によって大きく異なる。深部の層準、つまり塊状斑れい岩層の中ではその大部分が緑泥石からなり、少量のチタナイト、エピドートからなるのに対し、より浅部のシート状岩脈群や溶岩層内でのものでは、石英が基質部に大量に出現するとともに、しばしば石英脈を伴い、ゴッサンと類似する強変質帯を伴う。また、そうした強変質帯は赤色化なしし黄土色を示し、しばしば青緑色の含水銅鉱物が含まれる。

化学的挙動：周囲の母岩及び緑泥石岩体から採取された岩石について蛍光 X 線分析による分析を行った。結果を第 2 図に示してある。母岩の斑れい岩やドレライトの SiO₂ wt % は 50 % 前後であるが、緑泥石岩の SiO₂ wt % は、石英を含まない深部の層準のものは 25-30 % と極めて低く、浅部の岩体では大部分が 45 % 以上となっている。このようにシリカの挙動に関しては全く異なっているが、それ以外に関しては次のような共通した特徴を示している。第 2 図から明らかのように、緑泥石岩ではカルシウムとナトリウムの著しい減少、鉄の顕著な増大が特徴的である。図には示されていないが、ナトリウムと類似した性質を持つカリウムやストロンチウムも著しく減少している。鉄の最大含有量は深部の岩体では 30~40 wt % にも達しており、初生的含有量が 10 wt % であることを考えると、大量の鉄が付加されていることになる。一方、浅部の岩体の化学組成は、深部の岩体の組成にシリカを加えることで説明される。層準が浅くなるに従って温度が下降したことにより、熱水へのシリカの溶解度が低下したために石英の沈殿（晶出）が生じたことを示唆している。

5) 銅の挙動について検討した結果、周囲の母岩を含めて深部の緑泥石岩体からは銅はほとんど検出されないが、浅部の岩体においては局所的に著しい濃集（最大で 2000ppm）が生じていることが明らかとなった。一方、斑れい岩に関してこれまでに集積してある大量の試料に関して銅の分析を行った。その結果、熱水変質を全く被っていない新鮮な岩石では 100~200ppm 程度の濃度を示すが、熱水変質を被って二次的角閃石が形成されているような岩石ではその変質の程度が進行すると銅の含有量は検出限界以下にまで低下していくことが明らかとなった。このことは、斑れい岩層の熱

水変質により大量の銅が溶脱されていることを示している。従来、含銅硫化鉱床の成因には、シート状岩脈群よりも上位の熱水変質によって、海嶺で生じると考えられてきたが、今回明らかとなった事実から、斑れい岩層全体もその形成に関与しており、その生成場は海嶺軸設ではなく海嶺翼部であったことが強く示唆される。今回発見された含緑泥石岩体は、含銅硫化鉱床のルーツであると考えられる。

6) 緑泥石岩体の形成条件についての厳密な見積りは困難であるが、緑泥石の組成的特徴や隣接する母岩中のカルシウム斜長石が安定に残存していることなどから、緑色岩相の高温部の条件であったと推定された。

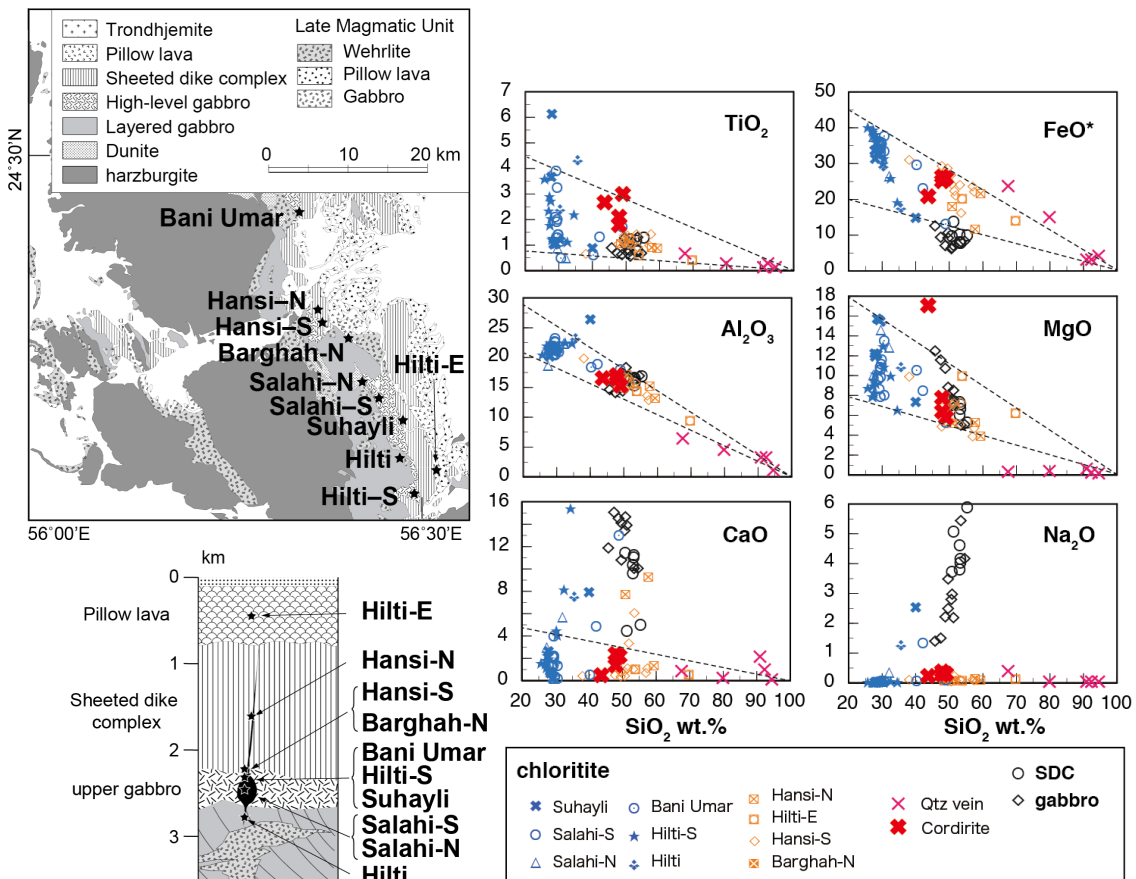


図1：緑泥石岩体の位置

図2：緑泥石岩体の化学組成図

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① Y. Kusano, S. Umino, R. Shinjo, A. Ikei, Y. Adachi, S. Miyashita, S. Arai, 2017, Contribution of slab-derived fluid and sedimentary melt in the incipient arc magmas with development of the paleo-arc in the Oman Ophiolite. *Chemical Geology*, 449, 206–225.

[学会発表] (計6件)

- ① 宮下純夫・足立佳子・金子 龍, 2018, オマーンオフィオライト・ラセイル南岩体における斜長石ハルツバージャイトの出現とその成因. 日本地質学会第125年学術大会
- ② 宮下純夫・足立佳子・金子 龍, 2017, 海嶺付近の熱水循環: オマーンオフィオライトにおけ

る緑泥石岩体の研究から。InterRidge-Japan 研究集会，2017年11月27-28日，東京大学大気海洋研究所。

③ 宮下純夫・金子 龍・足立佳子，2017,オマーンオフィオライトからの堇青石—直方 (=斜方) 輝石岩の発見。日本地質学会第124年学術大会，愛媛大学，2017年9月16-18日。

④ S. Miyashita, Y. Adachi, 2016, Chloritite bodies from the Oman ophiolite: A new aspect of the hydrothermal system beneath ocean ridge flanks. Goldschmidt2016 (招待講演) (国際学会)，2016年6月26日~2016年7月1日，みなとみらい国際会議場，横浜，日本。

⑤ 宮下純夫・足立佳子・金子 龍，2015，オマーンオフィオライトにおける巨大緑泥石岩体産出の意義。日本地質学会第122年学術大会，信州大学工学部2015年9月11~13日

⑥ 田中真二・宮下純夫，2015，ポロシリオフィオライトの変成ステージと鉱物化学組成。日本地質学会第122年学術大会，信州大学工学部，2015年9月11~13日

[図書] (計1件)

①松尾昌樹 (編)，オマーンを知るための55章，2018，明石書店，269p. 宮下純夫，分担58-69p.

[その他]

① 宮下純夫，海と陸の本当の違い-砂漠の国オマーンで見る海底下40kmの岩石の世界。北海道総合地質学研究センター第3回公開講座 (北海道教育委員会道民カレッジ連携講座，教養コース)。2019年2月23日，かでの2.7北海道立道民活動センター。

② 宮下純夫，NHK BS プレミアム ，驚き！地球！グレートネイチャー 「アラビア“奇跡”の大地創造～オマーン」。2017年 放映。番組作成協力

③ 宮下純夫，NHK BS プレミアム ，体感！グレートネイチャー「黄金の大地～オマーン」。2017年 放映。番組作成協力

6. 研究組織

研究協力者氏名：足立 佳子

ローマ字氏名：ADACHI, Yoshiko