

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24740344

研究課題名(和文)世界最大級の海洋コアコンプレックスにおける流体浸透過程の解明

研究課題名(英文)Hydrothermal circulation system during the detachment faulting at the Godzilla Megamullion, Parece Vela Basin, Philippine Sea

研究代表者

針金 由美子(HARIGANE, YUMIKO)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号：90569360

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)：世界最大級の海洋コアコンプレックスであるフィリピン海パレスベラ海盆のゴジラメガムリオンから得られた岩石から、デタッチメント断層に浸透する流体の特徴を把握し、岩石-流体反応時の物質移動過程を解明することを目的としてデタッチメント断層運動に関連する断層岩に含まれる含水鉱物(特に角閃石)に注目して研究を行った。結果としてゴジラメガムリオンにおいて形成初期・中期・後期に対応すると推測される3つの試料採取地点から得られた微量元素組成データは、試料採取地点ごとで異なる傾向を示した。このことはゴジラメガムリオンの各形成時期においてデタッチメント断層沿いに流入する流体の種類が異なることを示唆する。

研究成果の概要(英文)：The Godzilla Megamullion, the largest oceanic core complex in the world, is located at the extinct Parece Vela Basin in the Philippine Sea. Fault rocks are common on the surface of the Godzilla Megamullion, indicating the presence of a detachment fault exposed on the seafloor. We focus on amphiboles in the fault rock (i.e., deformed gabbroic rocks) in order to reveal the geochemical characteristics of hydrothermal circulation system along detachment fault using trace element geochemical analyses of the fault rocks sampled from three stages (i.e., initial, medial and final stages) of development of the Godzilla Megamullion. We observed a sign of melt and hydrothermal fluid analyzed by geochemical analyses of amphibole and amphibole of the fault rock showed the different geochemical characteristics in each stage. It indicates that the different hydrothermal circulation system along the detachment fault could develop at three stages of development of the Godzilla Megamullion.

研究分野：構造岩石学

キーワード：デタッチメント断層 ゴジラメガムリオン 海洋地殻下部物質 流体 フィリピン海パレスベラ海盆

### 1. 研究開始当初の背景

近年、中央海嶺近傍に海洋地殻深部およびマントル物質を主とした海洋コアコンプレックス(約20km x 30km)が大量に発見されてきた(Tucholke et al., 1998, Jour. Geophys. Res.).

この海洋コアコンプレックスは、火成活動が極端に低下した時期において、中央海嶺近傍にデタッチメント断層(大規模正断層)が発達することによって形成されると解釈されている(Dick et al., 2003, Nature). このことから、中央海嶺におけるマグマ供給システムは定常的ではないことを示唆する。また、海洋コアコンプレックスから採取された岩石試料には、デタッチメント断層に沿って浸透してきた流体と変成反応した痕跡が多く残されている(Gaggero & Cortesogno, 1997, Lithos; Harigane et al., 2008, Tectonophysics; 2010, Island Arc; 2011, Lithos; Miranda & John, 2010, G-cubed ほか)。

従って、中央海嶺においてマグマ供給システムが不安定な時期に、デタッチメント断層を通じて流体が海洋プレート深部へ浸透しやすい流体循環システムが形成されることを示唆する。

デタッチメント断層を通じた流体循環システムが機能した場合、海洋コアコンプレックスが発達した中央海嶺に生じる影響について、Escartin et al. (2008, Nature)は従来の中央海嶺と海洋コアコンプレックスの発達した中央海嶺との比較を行った。結果として(1)海底地震分布がデタッチメント断層周辺に集中する、(2)デタッチメント断層の近辺に活発な熱水活動が複数生じる、(3)通常の中央海嶺よりも深い位置にマグマだまりが形成することがわかった。

このことから海洋コアコンプレックスが発達すると中央海嶺における火成活動、熱水活動や海洋プレート深部の物質化学特性が変化することが推定される(例えば, Escartin et al., 2008, Nature)。特に流体の寄与が海洋プレート深部のレオロジーに大きな影響を与えたと注目され始めている(Mehl & Hirth, 2008, Jour. Geophys. Res.; 道林・針金他, 2011, 日本鉱物科学会2011年総会講演要旨)ことから、デタッチメント断層運動に関与した流体の特徴を把握し、流体が与える海洋プレート構造への物理化学的な影響を定量的に評価することが重要であると認識した。

研究代表者はフィリピン海パレスベラ海盆で見つかったゴジラメガムリオンとよばれる世界最大級の海洋コアコンプレックス(約125km x 55km)において、これまで構造地質学及び岩石学的見地から研究(Harigane et al., 2008, Tectonophysics; 2010, Island Arc; 2011, Lithos)を続けてきた。

研究代表者はデタッチメント断層に関連する断層岩に岩石-流体反応の証拠を発見し、デタッチメント断層運動にともなう海洋プレート深部にまで流体が浸透したことを

明らかにした(Harigane et al., 2008, Tectonophysics; 2010, Island Arc; 2011, Lithos)。この結果からゴジラメガムリオンがデタッチメント断層と流体の関係における良い研究対象であることを確信した。

### 2. 研究の目的

本研究は世界最大級の海洋コアコンプレックスであるフィリピン海パレスベラ海盆のゴジラメガムリオンから採取された岩石を用いて、以下の項目を目的として研究を行った。

(1) デタッチメント断層に浸透する流体の特徴を把握する。

本研究は岩石中の含水鉱物に注目する。含水鉱物を微細構造と鉱物相で分類し、それぞれの主要元素と微量元素化学組成データを分析することによって、デタッチメント断層に浸透した流体の特徴(性質、量と範囲)を特定する。

(2) 岩石-流体反応における物質移動過程を明らかにする。

本研究では含水鉱物の変形構造や分布などの微細構造をふまえた上で、岩石-流体反応における物質移動量をマスバランス計算とモデル計算を用いて定量的に見積もる。そして、デタッチメント断層に浸透した流体の量と流体の及ぶ範囲を明らかにする。そのため本研究では未変形岩から断層岩までの様々な岩石試料を用いて、流体の寄与によって形成した2次的な含水鉱物の分布、範囲を明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究に用いる試料としてゴジラメガムリオンから採取された、デタッチメント断層に関係する断層岩とデタッチメント断層に関係しない未変形岩を用いた。

これらの岩石研磨薄片を作成し、最初に、偏光顕微鏡下にて未変形岩と断層岩ごとの岩石記載を行い、鉱物組み合わせ、鉱物粒径、鉱物モード組成などの情報を引き出した(それぞれの情報を取り出す手法についてはHarigane et al., 2008, Tectonophysics; 2010, Island Arc; 2011a, Lithos; 2011b, Earth Planet. Sci. Lett.で報告済みである)。また、本研究は未変形岩と断層岩に含まれる含水鉱物に注目しているため、含水鉱物について、偏光顕微鏡下にて、変形構造の有無、種類と分布を明らかにし、分類を行った。これらの手法ではSEM-EDS(エネルギー分散型X線分析)やSXAM(走査型蛍光X線分析装置)で得られる元素組成マップも利用し、画像解析はAdobe Photoshop, Illustratorの他に、MATLABを用いた。

次に、岩石中の無水鉱物及び含水鉱物の主要元素組成分析及び局所微量元素組成分析を産業技術総合研究所所有の電子プローブ顕微鏡(EPMA)及び金沢大学所有のレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分

析計 (LA-ICP-MS) を用いて行った。これらの分析点は、岩石記載の際に分類した微細構造に基づいている。次に、岩石中の構成鉱物の結晶方位の集中度とその分布についてのデータを取得するために SEM-EBSD (後方電子散乱) システムを利用して、解析を行った。

これらの基本的な岩石の情報を元に、最初に、未変形岩と断層岩における流体が浸透した際の温度、圧力、応力や変形メカニズムを明らかにする。そして、岩石-流体反応時における流体の特徴 (マグマ起源や海水起源) とその際の岩石-流体反応式を決定し、岩石-流体反応によって移動・付加した元素を特定した。またこれらの特定については、無水鉱物及び含水鉱物の主要・微量元素組成結果とその微細構造を用いて、マスバランス計算及びモデル計算を行う。計算方法はギブス法 (Okamoto & Toriumi, 2005, Jour. Metamorph. Geol.) を利用する。計算ソフトは MATLAB を用いた。

#### 4. 研究成果

本研究において、フィリピン海パレスベラ海盆のゴジラメガムリオンから採取された未変形岩と断層岩を用いて、構造地質学的・岩石学的・地球化学的データを取得し、デタッチメント断層に浸透する流体の特徴を把握することに努めてきた。これらの未変形岩と断層岩は海洋プレート深部を構成するはんれい岩からなる。はんれい岩は元々無水鉱物である斜長石と単斜輝石から構成されている。本研究で用いたはんれい岩は流体の寄与によって形成した2次的な含水鉱物である角閃石が含まれており、本研究ではこの角閃石の特徴、種類とその分布に注目して種々の分析を行ってきた。

本研究で用いたはんれい岩試料は 2003 年と 2007 年に調査船「白鳳丸」によって行われた KR03-01 航海の 2 地点 (D06 と D10) と KH07-02 航海の 1 地点 (D18) から採取されている。これらの 3 つの試料採取地点はゴジラメガムリオンの形成時期において、それぞれ、初期 (KR03-01-D06)・中期 (KH07-02-D18)・後期 (KR03-01-D10) の発達過程にそれぞれ対応していることがはんれい岩中に含まれていたジルコンの年代測定から明らかになっている (図 1: Tani et al., 2011, Geology)。

設置設備として、断層岩と未変形岩中の構造解析に関して、初年度に詳細に岩石の微細構造を観察できる偏光顕微鏡一式を設備備品として導入・設置したほかに、データ処理のために、数値計算や画像処理が可能なプログラミング用アプリケーションである「MATLAB」を一式購入した。

(1) デタッチメント断層に関係する断層岩と関係しない未変形岩から構造地質学・岩石学・地球化学的データを収集してきた。ゴジラメガムリオンから採取されたデタッチメント断層に関連する断層岩について取得し

てきた構造地質学・岩石学的結果のまとめを、国内・海外の学会・シンポジウムにて、ポスター発表を行ってきた (Harigane et al., 2012, The 34th International Geological Congress; 針金ほか, 2013, 変成岩シンポジウム)。

詳細な岩石学的・地球化学的データを得るため、最初に断層岩について検討を行った。偏光顕微鏡下にて観察される角閃石について、斜長石と単斜輝石との関係、変形構造の有無、種類と分布を明らかにした。その結果、単斜輝石中に泡状に含まれる未変形の褐色ホルンブレンドである bleb タイプ、単斜輝石の周囲に発達した褐色ホルンブレンドあるいは細粒化した褐色ホルンブレンドである rim タイプ、そして未変形の緑色ホルンブレンドである ghb タイプと大きく 3 つに分類した。それぞれの試料採取地点から採取されたはんれい岩について上記の分類を行い、角閃石のほかに、単斜輝石と斜長石について LA-ICP-MS による局所微量元素組成分析を行った。

(2) 試料採取地点ごとの特徴をまとめると、ゴジラメガムリオンの形成初期に対応する KR03-01-D06 の断層岩に含まれる角閃石は単斜輝石中に泡状に含まれる未変形の褐色ホルンブレンドである bleb タイプは無く、ほとんどが単斜輝石の周囲に発達した褐色ホルンブレンドあるいは細粒化した褐色ホルンブレンドである rim タイプと未変形の緑色ホルンブレンドである ghb タイプから構成されていた。これらの角閃石は、単斜輝石の微量元素組成よりも濃度が同等から徐々に減少する傾向が見られ、はんれい岩の後退変成反応に伴う流体付加によって生じていたと考えられる。

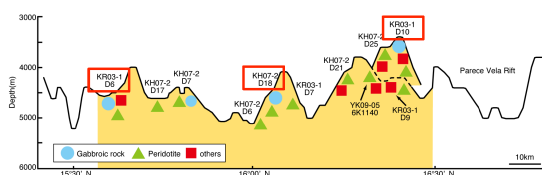
ゴジラメガムリオンの形成中期に対応する KH07-02-D18 の断層岩に含まれる角閃石はすべてのタイプを持っていた。微量元素組成分析結果として、単斜輝石の微量元素組成よりも濃度の多い角閃石、単斜輝石の微量元素組成よりも濃度が同等から徐々に減少する角閃石と軽希土類元素に富む角閃石が得られた。角閃石の分類と併せると、断層岩に含まれていた bleb タイプはすべて単斜輝石の微量元素組成よりも濃度が多いことを示し、マグマ起源であると考えられる。ほとんどの rim タイプと ghb タイプに見られた単斜輝石の微量元素組成よりも濃度が同等から徐々に減少する角閃石は KR03-01-D06 地点と同様に、はんれい岩の後退変成反応に伴う流体付加によって形成したことを示唆する。また、一部の rim タイプと ghb タイプの角閃石は軽希土類元素に富んでいた。この特徴を持つ角閃石は、変形が強く進んだ断層岩のみに見つかっており、この断層岩はデタッチメント断層のすべり面と推測されている。通常のはんれい岩の後退変成反応に伴う流体付加と比較すると著しく軽希土類元素に富むことから、軽希土類元素に富む流体はデタッチメント断

層運動の卓越している領域にだけ、流入していたと考えられる。

ゴジラメガムリオンの形成後期に対応するKR03-01-D10の断層岩に含まれる角閃石はblebタイプとrimタイプにおいて単斜輝石の微量元素組成よりも濃度が多い傾向を示した。このことからゴジラメガムリオンの形成後期では、マグマ起源あるいはマグマ起源に相当する流体が流入していた可能性がある。

ゴジラメガムリオンにおいて、形成初期・中期・後期に対応すると推測される3つの試料採取地点から得られた微量元素組成データは、採取された地点ごとで異なる傾向を示していた。このことは試料採取地点ごと、すなわちゴジラメガムリオンの各形成時期において、デタッチメント断層沿いに流入する流体の種類が異なっていたことを示唆する。

(3)断層岩から得られたこれらのデータと比較するために、未変形なはんれい岩に含まれる角閃石についても、blebタイプ・rimタイプ・ghbタイプと微細構造による分類を行い、LA-ICP-MSを用いて、微量元素組成分析を行っており、現在未変形のはんれい岩についてのデータ収集・解析を進めている。また、岩石-流体反応時における岩石-流体反応式と物質移動量を特定するため、得られた構造地質学的・岩石学的・地球化学的データの処理を進めている。そして国内外の共同研究者と議論をまとめ、国際学術誌へ投稿するための論文執筆を行った。特にゴジラメガムリオンの形成中期における複数の流体の特徴についてまとめた論文を国際学術誌へ投稿することができたが、査読で却下され、現在論文原稿を大幅に修正中である。



解析地点	KR03-01-D6	KH07-02-D18	KR03-01-D10
ゴジラメガムリオンの発達過程	初期(~13Ma; breakaway)	中期(11Ma; center)	後期(8Ma; termination)

図1. 分析を行った試料採取地点(上図)と試料採取地点に対応するゴジラメガムリオンの形成過程(下表). 上図:ゴジラメガムリオンの断面図.黄色の領域がゴジラメガムリオンに対応する.2003年と2007年に調査船「白鳳丸」によって行われたKR03-01航海とKH07-02航海と2009年に調査船「よこすか」によって行われたYK09-05航海での採取地点と岩石の種類を示している.分析を行った3つの試料採取地点を赤枠で示す.

##### 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 2件)

Harigane, Y., Michibayashi, K., Morishita, T., Tani, K., Dick, H.J.B. and Ishizuka, O., 2013. The earliest mantle fabrics formed during subduction zone infancy. *Earth and Planetary Science Letters*, 377-378, 106-113.

針金由美子, 道林克禎, 2012. 走査型蛍光 X線分析顕微鏡を用いた層状はんれい岩の組織解析. 静岡大学地球科学研究報告, 39, 7-27.

〔学会発表〕(計 4件)

Harigane, Y., Michibayashi, K., Morishita, T., Tani, K., Dick, H.J.B. and Ishizuka, O., 2013. The earliest mantle fabrics formed during subduction zone infancy. Abstract T43G-01, 2013 Fall Meeting, AGU, San Francisco, California, Dec. 9-13.

Harigane, Y., 2013. Deformation relevant to hydrothermal fluid through the Godzillamullion detachment fault. Mini-workshop for Godzillamullion IODP drilling proposal submission, Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, Kanagawa, May 26-27.

針金由美子, Snow, J. E., 小原泰彦, 2013. ゴジラメガムリオンから採取されたはんれい岩の角閃石の微量元素組成について. 変成岩などシンポジウム, A-7, 定山溪, 3月15日-3月17日.

Harigane, Y., Michibayashi, K., and Ohara, Y., 2012. Microstructural and petrological characteristics of lithospheric mantle and lower oceanic crust in the Godzillamullion, the Parece Vela Basin, Philippine Sea. 5.6.06-#037, The 34th International Geological Congress, Brisbane, Australia, Aug. 5-10.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況(計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:

番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
無し

6．研究組織

(1)研究代表者

針金由美子 (HARIGANE, Yumiko)  
国立研究開発法人 産業技術総合研究所・地  
質情報研究部門・主任研究員  
研究者番号：90569360

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

無し