

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2017

課題番号：26610176

研究課題名(和文) マントル有機物の成因と起源：天然かんらん岩試料の詳細な観察に基づく証拠固め

研究課題名(英文) Origin of mantle hydrocarbon: Implications from detail observation of natural peridotite samples

研究代表者

阿部 なつ江 (ABE, Natsue)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋掘削科学研究開発センター・主任技術研究員

研究者番号：80302933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：マントルかんらん岩試料中に発見されている高分子化合物(三村・杉崎、1993)が、どのようなかんらん岩試料(テクトニクス、組織)の何処に存在するのか、また地表での汚染の可能性を検証するため、詳細な岩石微細構造の観察・記載及び文献調査研究を行った。結果、そのような有機物は、高温(800℃以上)のかんらん岩中に捕獲された流体包有物中に存在する可能性が極めて高いことが、包有物の三次元分布の μ XCTによる解析、FIB-SEMによる掘削分析、及び文献調査により明らかになった。また、同様の有機物は当該流体包有物が冷却する際に、閉鎖状態で周囲のかんらん石蛇紋石化反応が起こる際に生成される可能性が極めて高い。

研究成果の概要(英文)：In order to investigate the origin of hydrocarbons in mantle peridotite samples, detail petrographical study on some peridotite samples were conducted. 3D analysis using micro-X-ray CT and FIB-SEM of fluid inclusions in the samples combined with a compilation of recent studies in literatures suggests that those hydrocarbons can be formed by serpentinization during cooling of H₂O fluid and the wall olivine crystal in a closed system.

研究分野：岩石学

キーワード：マントルかんらん岩 有機化合物 蛇紋岩化 流体包有物 メタン 捕獲岩 オフィオライト

1. 研究開始当初の背景

最上部マントルの酸化還元状態では、通常炭素(C)はCO₂として存在すると考えられている。またC₁₂以下の高分子有機物は、弱変成の堆積物や変成岩中に生物遺骸起源のもの存在が知られているが、高温で分解してしまい、高分子状態での存在は不可能とされてきた。

(1) 高温高压条件下のマントルかんらん岩中に、炭素数14~33の高分子脂肪族炭化水素(以下、有機物)の存在が発見されている(三村・杉崎, 1993)。三村らは、かんらん岩捕獲岩の周囲のより空隙率の高い玄武岩母岩には存在しないことも確認している。

(2) 高压実験では、マントルの温度圧力条件下における無機合成による有機物(C₂-C₄のアルケン)生成に成功している。C₄以下の炭化水素は、かんらん岩の蛇紋岩化反応によって生成され、海底熱水孔においてもその存在が認められている。

(3) Sawada et al. (2008)では、火成岩を用いた有機物研究を進め、幌満かんらん岩からC₁₋₁₂までの有機物や、B, C1を含む炭質物を発見、沈み込みスラブ由来の流体から供給されたと結論付けている。しかしC₁₅以上の高分子化合物は発見されていない。

2. 研究の目的

三村・杉崎(1993)は、融け残りかんらん岩中に存在するマントル有機物の起源は、1)地球外物質(隕石など)から飛来、2)マントルにおける合成物、3)リサイクル表層物質のうち、いずれかであると指摘している。しかしかんらん岩岩石学を専門とする応募代表者が三村らの試料リストを見ると、集積岩起源と融け残り岩起源の試料が混在しており、かんらん岩試料の分類に不明な点があり、再分類が必要である。また、三村らの発表後に誌上討論があり、三村らも詳細に検討した結果、実験室での汚染の可能性はほぼ否定された。しかし地表(野外)での汚染の可能性を完全には否定出来ない。

そこで本研究では、岩石学的見地を元に、

(1) その存在箇所を、記載岩石学的手法で絞り込み、その形成起源とテクトニクスを解明すること

(2) 汚染があれば、何故かんらん岩試料にのみ汚染が起こるのか、原因について解明する方法を追求し、マントルと有機物との関連性を追求することを目的とする。

このようなマントル有機物の起源を明らかにすることで、生命の起源解明や石油・天然ガスなど地下資源の形成過程解明に貢献する新たな知見が得られると期待できる。

3. 研究の方法

マントル物質と考えられる超マフィック岩(かんらん岩や輝石岩)の内、特に変質の少ない新鮮な試料を対象として、岩石学的に詳細に記載し、そのテクトニクスの分類、微細

組織の観察から、有機物の存在箇所・形態を絞り込む。

本研究では、岩石学的見地を元に、以下の実施を試みた。

1) 超マフィック岩試料の詳細記載・分類

2) 有機物の存否確認と、有機物が存在すれば、その種類と化学組成(炭素同位体比など)の分析

3) 岩石中の存在場所確認(鉱物粒界か包有物中かなど)

4) テクトニック・セッティング(島弧起源か、プレート内かなど)の確認及び有機化合物起源の絞り込み。

さらに地表での有機化合物汚染に関し検討し、何故かんらん岩試料にのみ汚染が起こるのか、その原因についても究明し、マントルと有機化合物との関連性について検討した。

4. 研究成果

記載・分類したかんらん岩試料は、下記の物である。

(A) かんらん岩体：北海道・岩内岳、北海道・幌満、オマーン・オフィオライト、ロシア・ウラル山脈の物で、主に島弧沈み込み帯のマントル物質と考えられ、多少とも沈み込みスラブ物質や衝上時に流体の影響を受けていると考えられる物。

(B) マントル捕獲岩：秋田県・一の目湯火山(島弧沈み込み帯)、オーストラリア・ビクトリア州火山群やチェコ~ポーランド火山群(大陸イントラプレート)、プチスポット火山(海洋イントラプレート)に包有されているかんらん岩捕獲岩

(C) 海洋下部地殻の斑れい岩、変成岩試料、IODP掘削コア試料、オマーン・オフィオライト掘削試料(斑れい岩、リズワナイト、蛇紋岩)

研究結果：

(1) 記載を進める内、マントル捕獲岩に関する詳細な記載の結果、粒間の極微小領域に蛇紋岩が形成されていることがわかり、蛇紋岩化の際の炭素化合物生成を除去仕切れないことから、マントル捕獲岩試料については、本研究の対象から一旦除外した。

(2) 近年の岩石試料中の有機物研究に関する文献調査から、かんらん石の蛇紋岩化作用に伴い、メタンやエタンなどのガスが発生することが明らかになっている。また、かんらん岩中の流体包有物の中には、高温(800°C以上)のマントル条件下で捕獲された流体が、冷却する間に、閉鎖空間において壁岩であるかんらん石と反応し、蛇紋岩を形成している物があることが分かった。これらの情報から、有機化合物は、かんらん岩のかんらん石中に見られる流体包有物中に存在すると仮定し、その観察と分析に的を絞った。

(3) かんらん岩体の試料について、マイクロX線CT画像スキャンおよびその解析を行

った。平成 28 年度までに使用したマイクロ X 線 CT 装置（解像度 100 μm 程度）では、十分な解像度を得られず有機物の所在を特定することが出来なかった。そこで平成 29 年度に、より高精度のマイクロ X 線 CT 装置（解像度数 μm）を用いたスキャンを実施した。その結果、有機化合物の存在可能性の高い包有物について 3 次元構造を得ることが出来た（図 1）。

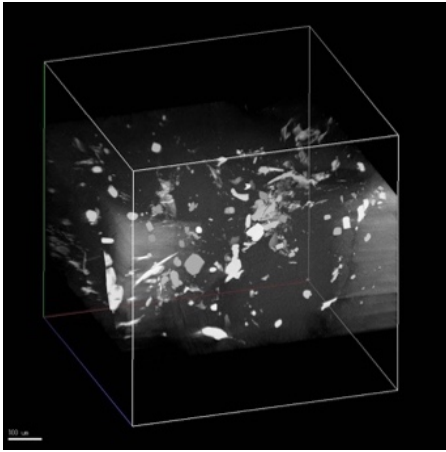


図 1 岩内岳かんらん岩中の流体包有物に伴うスピネルなどの酸化鉱物の 3D 画像

(4) 高解像度のマイクロ X 線 CT スキャン画像に基づき、FIB-SEM による観察を行った結果、包有物中に蛇紋石、ブルース石、硫化鉍物の存在が確認できた図 2, 3, 4)。

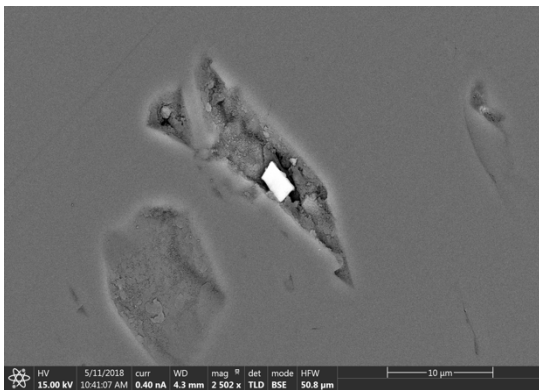


図 2 岩内岳かんらん岩中の流体包有物の SEM 像

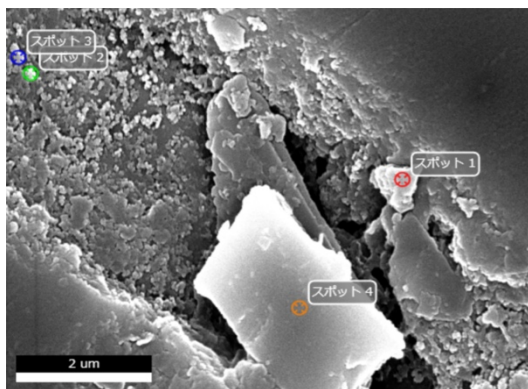


図 3 岩内岳かんらん岩中の流体包有物の反射電子像と、EDS 分析点。

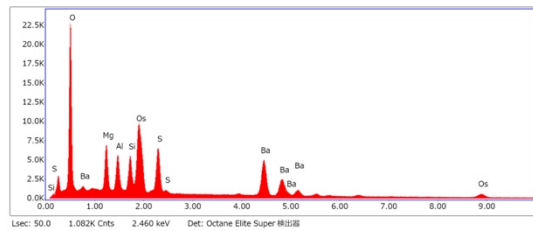


図 4 図 3 のスポット 1 が硫化鉍物であることを示す EDS 定性分析スペクトラム。

しかし高分子化合物の検出には至っていない。

(5) 一方、マントルかんらん岩捕獲岩試料については、海底火山の一つであるプチスポット火山の玄武岩に包有されている試料について、岩石学的記載・分析を行った結果、海洋プレート下部において、少量の含水メルト流入の証拠が見つかり、またそのメルトによる海洋プレート最下部の汚染（マントル・メタソマティズム）が確認された。その結果を国際誌 (Nature Geoscience) に投稿（掲載）、国際学会で発表した。このメルトは、かんらん岩中に存在が報告されている有機物（高分子炭水化物）と何らかの関係があるメルト（カーボナタイト）とは異なる。カーボナタイト流入の証拠は見つかっていない。

今後も、継続してかんらん岩試料の詳細な記載・分析を行い、有機物の存在箇所・形態に関する情報を絞り込み、その形成史・存在意義を特定したい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 4 件）

1. Rochat, L., Pilet, S., Müntener, O., Duret, T., Baumgartner, L., Abe, N., and Hirano, N. (2017) Garnet xenocryst from petit-spot lavas as an indicator for off-axis mantle refertilization at intermediate spreading ridges. *Geology*, 45 (12), 1091-1094. doi.org/10.1130/G39427.1(査読有)
2. Pilet, S., Abe, N., Rochat, L., Kaczmarek, M.-A., Hirano, N., Machida, S., Buchs, D. M., Baumgartner, P.O. and Müntener, O. (2016) Pre-subduction metasomatic enrichment of the oceanic lithosphere induced by plate flexure. *Nature Geoscience*. 9, 898-903. Doi: 10.1038/NGeo2825. (査読有)
3. Ishiwatari, A., Ozawa, K., Arai, S., Ishimaru, S., Abe, N. and Takeuchi, M. (2016) Ophiolites and ultramafic rocks. In MORENO, T., WALLIS, S., KOJIMA, T. & GIBBONS, W. (eds) *The Geology of Japan*. Geological Society, London, 223–250. (査読有)

4. Ildefonse, B., Abe, N., Godard, M. Morris, A., Teagle, D.A.H. and Umino, S. (2014) Chapter 4.2.1. Formation and evolution of oceanic lithosphere: new insights on crustal structure and igneous geochemistry from ODP/IODP Sites 1256, U1309, and U1415. (Eds. Stein, R., Blackman, D.K., Inagaki, F. and Larsen, H.-C.) Earth and life processes discovered from seafloor environments. Developments in Marine Geology v.7. Elsevier. (査読有)

[学会発表] (計 9 件)

1. 阿部なつ江 (2018) プチスポット火山中の捕獲岩などの研究結果から見た古い太平洋プレート地殻～上部マントル岩石構造. 東京大学地震研究所研究集会. 東京大学地震研究所. 2018年3月26日. 招待
2. Pilet S, Rochat L, Muntener O, Kaczmarek M-A, Duretz T, Abe N., Hirano N & Machida S (2016) How Petit-Spot Mantle Xenoliths Will Refine LAB Processes. Goldschmidt Conference
3. Rochat L, Pilet S, Kaczmarek M-A, Muntener O, Abe N., Hirano N & Machida S (2016) Petit-Spot Lavas as Test for Alkaline Magma Generation. Goldschmidt Conference
4. Abe, N. (2015) Occurrence and potential origin of "Mantle hydrocarbon". 2nd European Mantle Workshop.
5. Pilet S, Rochat L, Abe N., Kaczmarek M-A & Muntener O (2015) Invited: Evidence for Deep Metasomatic Enrichment in Oceanic Lithospheric Mantle. Goldschmidt Conference
6. Rochat L, Pilet S, Abe N., Kaczmarek M-A, Baumgartner L & Muntener O (2015) Is Metasomatism a Global Mechanism at the Lithosphere-Asthenosphere Boundary? Goldschmidt Conference
7. Pilet, S. Rochat, L. and Abe, N. (2014) The Implications of Petit-Spot Volcanism for the Origin of Alkaline Intraplate Magmas. AGU Fall Meeting
8. Rochat, L*, Pilet, S, and Abe, N. (2014) Garnet Xenocryst in a Petit Spot Lava: Recycling or Direct Formation in Oceanic Lithosphere? AGU Fall Meeting
9. 阿部なつ江・森下知晃・道林克禎.(2014) 超モホール計画. 日本地質学会年会.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿部 なつ江 (ABE, Natsue)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋掘削科学研究開発センター・主任技術研究員

研究者番号 : 80302933

(2) 連携研究者

高野 淑識 (TAKANO, Yoshinori)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・生物地球科学研究分野・主任研究員

研究者番号 : 80399815

仙田 量子 (SENDA, Ryoko)

九州大学・比較社会文化研究科 (研究院)・准教授

研究者番号 : 50377991

(3) 研究協力者

荒井 章司 (ARAI, Shoji) 金沢大学

針金 由美子 (HARIGANE, Yumiko) 産業総合研究所

石丸 聡子 (ISHIMARU, Satoko) 熊本大学

Sebastien Pilet (ローザンヌ大学)

Laetitia Rochat (ローザンヌ大学)