

令和 2 年 7 月 9 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K17835

研究課題名(和文) 流体包有物を用いた変成岩上昇速度計の構築

研究課題名(英文) Fluid inclusion geo-speedmetry for high-pressure type metamorphic rocks

研究代表者

吉田 健太 (YOSHIDA, Kenta)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門(火山・地球内部研究センター)・研究員

研究者番号：80759910

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：岩石を構成する鉱物の中には水やガスが流体包有物として捕獲されている。この流体包有物の密度は、変成岩が上昇してくる過程で晒される高温高圧の環境により、焼き鈍しを受けて低密度化するという考えがある。この低密度化の過程は被熱時間により進行度合いが決まるため、時間の関数として用いることが出来る。本研究では流体包有物の密度変化の過程を詳細に研究するために、密度を決定する重要要素の一つである化学組成に注目し、個々の微小包有物(<10 μ m)の化学組成を決定する手法の開発を行った。特に近年岩石学の分野で普及しつつある集束イオンビーム(FIB)を活用した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

岩石を構成する鉱物の中には水やガスが流体包有物として捕獲されている。この流体包有物には、沈み込み帯地下深部での流体活動が記録されている。地下深部流体は、日本列島地下などで起きているプレート境界地震や火山活動のトリガーになると言われており、深部で発生する流体の量や化学組成を調べることは、日本のようなプレート境界にある国に住む我々にとって重要である。本研究では、岩石を1ミクロンよりも細かな精度で加工できる集束イオンビーム装置(FIB)と、近年ノーベル化学賞でも取り上げられたクライオ電子顕微鏡を活用し、流体包有物の化学組成を精密に決定する技術を開発した。

研究成果の概要(英文)：Fluid inclusion in metamorphic rocks indicate the physicochemical properties under which they formed. Among the expected physicochemical properties, bulk density of the fluid inclusions are known to be modified during their exhumation to the earth surface, i.e. they can be used as the tool for tracking exhumation history. In this study, we focused on the chemistry of fluid, which is a critical property to determine bulk density. We took special care on the relationship between the occurrence of individual inclusion and deformation history of the host mineral. By using a focused ion beam system that becomes common tool in petrology, individual inclusions can be analyzed "individually".

研究分野：岩石学

キーワード：深部流体 流体包有物 沈み込み帯 集束イオンビーム装置(FIB) クライオ電子顕微鏡

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

固相(例えば天然に産する鉱物)の中に水やガスなどの揮発性成分がトラップされているものを流体包有物と呼ぶ。鉱物中に含まれる流体包有物は、その化学的な組成や物理的な性質が形成環境を反映していると考えられており、変成作用や交代作用、鉱床形成などのプロセスに関与している流体活動を調べるうえで重要なツールであるとされている。変成岩中の鉱物には普遍的に流体包有物が含まれており、これらの化学組成を調べることで固相と共存する流体が地下深部で果たす役割、例えば鉱物の反応性や溶解度に与える影響などの情報を読み解く事が可能となる。しかしながら、これらの流体包有物の化学組成を調べる上で大きな壁となっていたのが、その小ささ (<10 μm) と、鉱物の多様な成長ステージに対応する包有物の個別分析の困難さであった。申請者は、本研究開始までに、変成岩の岩石学的記載に基づき単一起源の流体包有物を主とする試料を選別し、粉碎抽出を行うことで「小さな流体包有物を集積して分析する」というアプローチで解決してきた (Yoshida et al., 2011; 2015)。

一方で、流体包有物の密度に注目すると、従来の鉱物化学組成を用いた温度圧力推定とは全く独立した圧力計を構築できることが 90 年代から提案されていたが、CO₂ 包有物など極めて単純な化学組成の包有物でのみ実用化されており (Yamamoto & Kagi, 2008 など)、変成岩の流体包有物に対して適用可能な汎用性の高い手法ではなかった。また、変成岩中の流体包有物は、その長い上昇過程 (~数百万年) のなかで被る高温環境の中で、減圧に伴って包有物の密度が鉱物の流動性による「焼鈍し」を受けて低密度化しているということも指摘されている (図 1: Küster & Stöckhert, 1997)。このことを利用することで、変成岩中に産する多様な化学組成の流体包有物の密度を精密に推定することで、変成岩帯の上昇過程の情報を読み取ることが出来る「上昇期の温度圧力計」を構築できると考えた。

微小な流体包有物の密度を 1 つ 1 つ別個に決定するためには、それぞれの化学組成を正確に決定することが必要である。研究代表者は、これまでに Yoshida et al. (2016 EJM) などで、近年岩石学分野に急速に普及しつつある集束イオンビーム装置 (FIB) を用いて流体包有物の形態情報などを精密に決定する手法の構築を行っており、今回密度測定の高精密化を行う上でも、FIB が一つのキーテクノロジーとなると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、流体包有物の密度を精密に推定するための情報を徹底的に読み出す枠組みの開発である。流体包有物の密度情報は、従来マイクロサーモメトリーと呼ばれる流体の融点および均質化温度 (定積下での温度上昇により気相と液相が混和する温度) の測定により、流体の状態方程式を計算して決定されていた。この流体の化学組成は、一般的には NaCl を含む水流体 (H₂O-NaCl 流体) が仮定されているが、天然に産する流体包有物は、液相中にも NaCl 以外の種々の溶質が溶け込んでいるとともに、気相には CO₂ 流体のガス成分を含むことが多い。これらの情報を正確に組み込まないと流体包有物の密度推定は不正確になる (Yoshida et al., 2016 EJM)。

本研究では、この問題を解決するための手法として、**ラマン分光法によるガス成分の分析**、**マイクロサーモメトリーによる融点情報の読み出し** これら二つの情報を解釈するうえで最も重要となる液相組成の化学組成分析を行う。

流体包有物の精密な密度情報を読み取る手法を確率するとともに、岩体の上昇中の密度保存過程のモデル化も行う (図 2)。

更に、流体包有物の密度や化学組成を読み取ることで、沈み込み帯や大陸衝突帯で形成された変成岩が「地表へと上昇してくる」過程で被った流体活動を読み解き、地下深部で起きている流体活動の実態に迫る。

3. 研究の方法

流体包有物の化学組成を正確に測定するために、液相の組成を直接測定する手法を開発する。このために活用できるのが、近年岩石学分野で急速に普及しつつある集束イオンビーム装置 (FIB) である。FIB を用いることで、<10 μm の包有物を個別に「小さな箱 (ハウス)」として切り出して、種々の分析と組み合わせることが可能である (Yoshida et al., 2016 EJM)。また、岩石学分野ではい

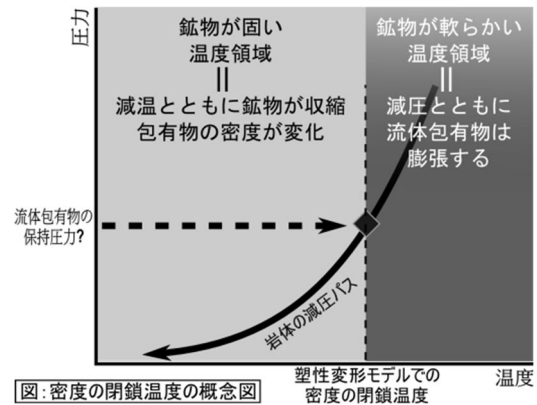


図 1 密度の閉鎖温度の概念図

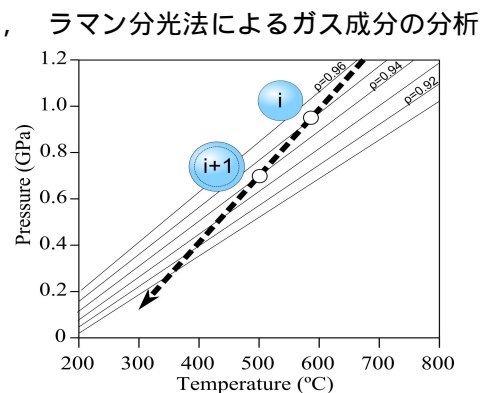


図 2: 流体包有物の減圧のモデル化

(後ろの線は流体の等密度線)

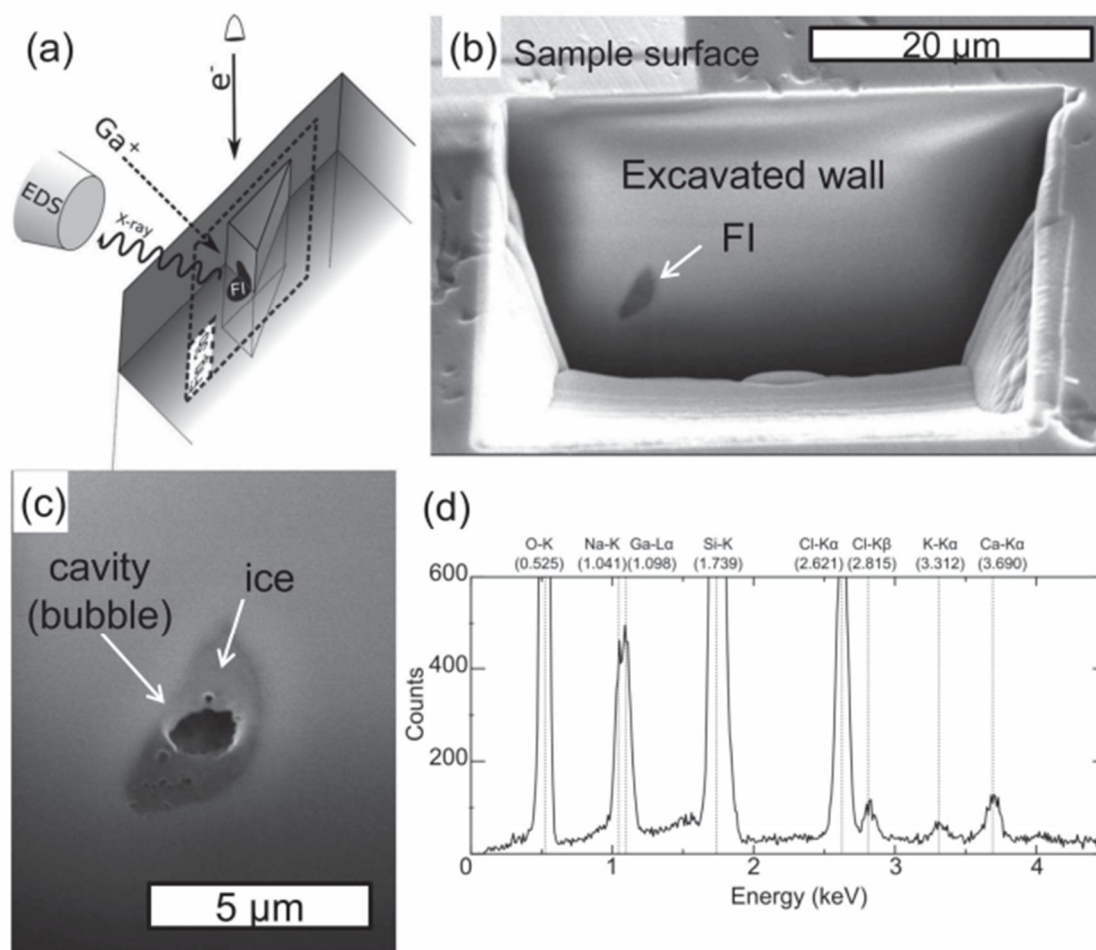
まだ活用事例が少ないが、FIB は装置内に低温状態を作る cryo-stage を備えているものがあり、cryo-FIB として運用することで、流体包有物を凍らせた状態で切断し、表面に氷として露出させた包有物の液相（水）を直接化学組成分析することが可能である。本研究では、ハウス状の切り出し（マイクロサンプリング法）と、cryo-FIB での凍結直接分析を組み合わせ、微小流体包有物の個別組成分析手法を構築する。

分析手法構築に当たって、氷の化学組成を正確に決定するための標準試料も作成する。これには、人工流体包有物の作成実験を日ごろから行っている東北大学岡本研究室の協力を仰ぐ。ヒビを入れた石英試料を、化学組成をコントロールした溶液中で熱することで、組成をコントロールした流体包有物を人工的に作成する。この包有物を標準試料とすることで、cryo-FIB での化学組成測定 of 正確性を担保することが出来る。

流体包有物の密度保存のモデル化については、先行研究で得られている世界の流体包有物報告のコンパイルなどから、密度が保存されている包有物と、明らかに焼鈍しを受けている包有物を調べ、それぞれの減圧パスや時間スケールを比較することで、岩体上昇期の流体包有物の振る舞いの描像を得る。

4. 研究成果

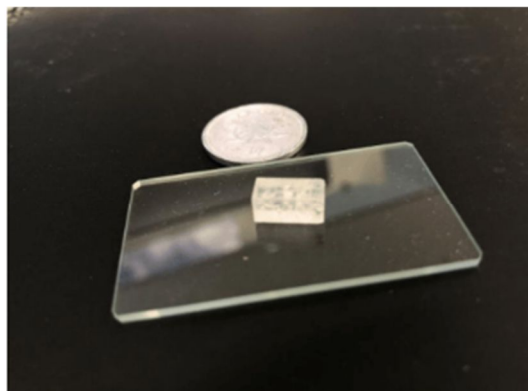
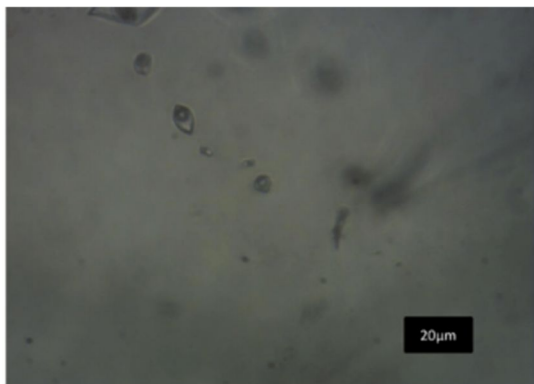
最終目的は流体包有物のマイクロサンプリングと凍結分析を組み合わせた個別分析手法の開発だが、本研究はまず第一段階として定性的な凍結分析を変成岩に含まれる微小流体包有物に対して適用した。その結果の総合的な図を以下に示す（Yoshida et al., 2018 EJM）。



この図の (a) が、本研究で実施した cryo-FIB 分析による流体包有物直接分析の装置内概略図である。Ga⁺イオンビームを用いて試料にくさび状の穴を開け、壁面に露出した「氷」(図の b および c) をエネルギー分散型 X 線分析装置 (EDS) で直接測定することで、d に見られるような化学組成のスペクトルを得られる。今回特に注目すべきなのは、Ca や K のピークが観察された点である。本研究に用いた試料はキルギスの天山山脈から採取した超高压変成岩の試料であるが、地下 100 km より深いところから上昇してくる過程で、本研究で調べたような Ca-K を含む非常に濃度の高い流体活動の影響を受けているということが、今回 cryo-FIB-EDS による直接分析で初めて明らかになった。特に K の報告は、世界の流体包有物研究でもあまり例がなく、これまで研究されてきた様々な地域の水流体の組成が、実際に測定してみると K を普遍的に含む可能性を指摘している意味でも、重要である。一方で、今回の測定結果では EDS スペクトル中に Ga のピークが強く見えている。これは、くさび状の穴をあける際に使用した Ga ビームが、サンプルの随所に打ち込まれたものを測定してしまっている影響であり、このままでは定量的な分析を実施するさいに障りがある。この結果を踏まえて、研究代表者は、マイクロサンプリング法

と cryo-FIB 法を組み合わせる必要性を再確認した。この cryo-FIB-EDS によるキルギスの試料の分析結果については、Geochemical Journal 誌にて査読付き英語論文として公表し、その一年の中で同誌に掲載された論文のうちもっとも優れたものに贈られる賞である Geochemical Journal Award 2019 に表彰された。

東北大学での標準試料作成実験は、環境科学科岡本敦准教授（当時）の協力のもと実施され、流体組成をコントロールした 8 種類の包有物を作成することが出来た。



その一例の包有物写真を上に示す。右側が実際に合成した流体包有物を含む石英の試料である。左図のように、最大で 10 μm を超えるような比較的大きな包有物も合成することが出来、標準試料として用いるには十分なものが得られた。これらの流体包有物の化学組成がコントロールしたものをきちんと保持できているかは、マイクロサーモメトリーによる融点測定で確認を行った。包有物は意図した化学組成を保存した形で合成されており、標準試料として用いる上で申し分ない。

合成包有物を、FIB でマイクロサンプリングし、凍結分析を実施した結果、< 10 μm の流体包有物溶存元素の構成比を EDS 分析から再現できることがわかり、流体包有物の化学組成の精密測定が可能だということが分かった。本結果に関して、マイクロサンプリング手法の枠組み提案は国際学会（Yoshida & Miyake 2019 Int'l Eclogite Conf.）などで発表しており、標準試料も含めた分析全体の枠組みは現在論文として投稿準備中である。

本研究で構築した新しい流体包有物の化学組成分析手法は、従来無視されがちだった微小流体包有物の化学組成を正確に決定し、新しい知見を得ることが出来るツールである。得られたデータを既存の岩石学的手法（熱力学計算など）と組み合わせることで、地下深部で岩石が経験している温度 圧力 流体履歴を読み解き、また、流体包有物から温度圧力情報を逆に解読することが出来るようになる第一歩であると言える。今後世界各地の様々な変成岩へと適用していくことで、鉱物の組成累帯構造との関係性も踏まえた総合的な研究を展開していくことが可能となるだろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 KUWATANI Tatsu, NAGATA Kenji, YOSHIDA Kenta, OKADA Masato, TORIUMI Mitsuhiro	4. 巻 113
2. 論文標題 Bayesian probabilistic reconstruction of metamorphic P-T paths using inclusion geothermobarometry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 82 ~ 95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.170923	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yasumoto Atsushi, Yoshida Kenta, Kuwatani Tatsu, Nakamura Daisuke, Svojtka Martin, Hirajima Takao	4. 巻 103
2. 論文標題 A rapid and precise quantitative electron probe chemical mapping technique and its application to an ultrahigh-pressure eclogite from the Moldanubian Zone of the Bohemian Massif (Nove Dvory, Czech Republic)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 1690 ~ 1698
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2018-6323CCBY	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 YOSHIDA Kenta, KUWATANI Tatsu, YASUMOTO Atsushi, HARAGUCHI Satoru, UEKI Kenta, IWAMORI Hikaru	4. 巻 113
2. 論文標題 GEOFCM: a new method for statistical classification of geochemical data using spatial contextual information	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 159 ~ 169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.171127	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kuwatani Tatsu, Nagao Hiromichi, Ito Shin-ichi, Okamoto Atsushi, Yoshida Kenta, Okudaira Takamoto	4. 巻 98
2. 論文標題 Recovering the past history of natural recording media by Bayesian inversion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 43311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.98.043311	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Haraguchi Satoru, Ueki Kenta, Yoshida Kenta, Kuwatani Tatsu, Mohamed Mika, Horiuchi Shunsuke, Iwamori Hikaru	4. 巻 124
2. 論文標題 Geochemical database of Japanese islands for basement rocks:	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of the Geological Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1049 ~ 1054
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5575/geosoc.2018.0027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yoshida, K., Orozbaev, R., Hirajima, T., Miyake, A., Tsuchiyama, A., Bakirov, A., Takasu, A., and Sakiev, K.	4. 巻 52
2. 論文標題 Micro-excavation and direct chemical analysis of individual fluid inclusion by cryo-FIB-SEM-EDS: application to the UHP talc-garnet-chloritoid schist from the Makbal Metamorphic Complex, Kyrgyz Tian-Shan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geochemical Journal	6. 最初と最後の頁 59 ~ 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.2.0502	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yoshida Kenta, Kuwatani Tatsu, Hirajima Takao, Iwamori Hikaru, Akaho Shotaro	4. 巻 36
2. 論文標題 Progressive evolution of whole-rock composition during metamorphism revealed by multivariate statistical analyses	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Metamorphic Geology	6. 最初と最後の頁 41 ~ 54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jmg.12282	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yoshida, K., Aoyagi, N., Kato, R. and Hirajima, T.	4. 巻 111
2. 論文標題 Thermal structure of the Kebara Formation and its proximal areas in the western Kii Peninsula, SW Japan: Application of the carbonaceous material Raman geothermometry.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 398 ~ 404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.160506	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Okudaira, T., Shigematsu, N., Harigane, Y. and Yoshida, K.	4. 巻 95
2. 論文標題 Grain size reduction due to fracturing and subsequent grain-size-sensitive creep in a lower crustal shear zone in the presence of a CO ₂ -bearing fluid.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Structural Geology	6. 最初と最後の頁 171 ~ 187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jsg.2016.11.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iwamori, H., Yoshida, K., Nakamura, H., Kuwatani, T., Hamada, M., Haraguchi, S. and Ueki, K.	4. 巻 18
2. 論文標題 Classification of geochemical data based on multivariate statistical analyses: Complementary roles of cluster, principal component, and independent component analyses.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geochemistry, Geophysics, Geosystems	6. 最初と最後の頁 994 ~ 1012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2016GC006663	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe Tohru, Makimura Miho, Kaiwa Yohei, Desbois Guillaume, Yoshida Kenta, Michibayashi Katsuyoshi	4. 巻 71
2. 論文標題 Elastic wave velocity and electrical conductivity in a brine-saturated rock and microstructure of pores	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-019-1112-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Petrik I, Janak M, Klonowska I, Majka J, Froitzheim N, Yoshida K, Sasinkova V, Konecny P, Vaculovc T	4. 巻 60
2. 論文標題 Monazite behaviour during metamorphic evolution of a diamond-bearing gneiss: a case study from the Seve Nappe Complex, Scandinavian Caledonides	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Petrology	6. 最初と最後の頁 1773 ~ 1796
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/petrology/egz051	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kuwatani Tatsu, Yoshida Kenta, Ueki Kenta, Oyanagi Ryosuke, Uno Masaoki, Akaho Shotaro	4. 巻 532
2. 論文標題 Sparse isocon analysis: A data-driven approach for material transfer estimation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 119345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemgeo.2019.119345	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計16件(うち招待講演 2件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Yoshida Kenta, Miyake Akira
2. 発表標題 Chemical analysis of a tiny fluid inclusion by FIB-microsampling and cryo-FIB observation
3. 学会等名 WATER DYNAMICS16 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田健太・三宅亮
2. 発表標題 顕微掘削による流体包有物の化学組成分析：定量分析手法確立への課題
3. 学会等名 日本鉱物科学会2018年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田健太・三宅亮
2. 発表標題 顕微掘削とクライオFIBを用いた流体包有物の個別化学組成分析
3. 学会等名 日本地質学会第125年学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田健太・桑谷立・安本篤史・原口悟・上木賢太・岩森光
2. 発表標題 GEOFCM：位置情報を活用した地球化学データのクラスタリング手法の提案
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshida, K., Orozbaev, R., Hirajima, T., Miyake, A., Tsuchiyama, A., Bakirov, A., Takasu, A., and Sakiev, K.
2. 発表標題 Micro-excavation and direct chemical analysis of frozen fluid inclusion using cryo-FIB-SEM-EDS: a novel tool for petrographic description
3. 学会等名 European Geoscience Union (EGU) General Assembly 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田健太・Orozbaev Rustam・平島崇男・三宅亮・土山明・Bakirov Apas・高須晃・Sakiev Kadyrbek
2. 発表標題 Cryo-FIB-SEM-EDSを用いた流体包有物の個別化学組成分析：キルギス共和国マクバル岩体の超高压変成岩の例
3. 学会等名 日本地質学会第124回学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉田健太・中村仁美・桑谷立・原口悟・風早康平・高橋正明・岩森光
2. 発表標題 多変量解析による日本列島深層地下水の化学的特徴の抽出
3. 学会等名 日本地球化学会第64回年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshida, K., Kuwatani, T., Hirajima, T., Iwamori, H., and Akaho, S
2. 発表標題 Geochemical-petrological evolution under the paleo subduction zone identified by machine-learning techniques
3. 学会等名 International Meeting on "High-Dimensional Data-Driven Science" (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshida, K., Orozbaev, R., Hirajima, T., Miyake, A., Tsuchiyama, A., Bakirov, A., Takasu, A., and Sakiev, K.
2. 発表標題 Direct chemical analysis of individual fluid inclusion by cryo-FIB-SEM-EDS: an application to the UHP Tlc-Grt-Cld schist from the Makbal Complex, Kyrgyz
3. 学会等名 12th International Eclogite Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉田健太・桑谷立・平島崇男・岩森光・赤穂昭太郎
2. 発表標題 機械学習により検出された累進変成作用下での全岩化学組成の発展的变化
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉田健太・桑谷立・中村仁美・原口悟・風早康平・高橋正明・岩森光
2. 発表標題 PCA/ICAによる深層地下水データベースの多変量解析
3. 学会等名 日本鉱物科学会2016年年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 吉田健太・赤穂昭太郎・岩森光・桑谷立
2. 発表標題 非負値行列分解による広域変成岩の全岩化学組成特徴抽出～四国・三波川変成帯を例として～
3. 学会等名 日本地質学会第123回学術大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yoshida, K., Hirajima, T., Miyake, A., Tsuchiyama, A., Ohi, S., Nakano, T., and Uesugi, K.
2. 発表標題 Quantitative analysis of the small fluid inclusion using FIB-XCT technique and Raman microscopy.
3. 学会等名 13th Confocal Raman Imaging Symposium (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yoshida, K.
2. 発表標題 Stretching and Freezing Processes of Fluid Inclusion Density during the Exhumation of Metamorphic Rocks.
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 吉田健太・青柳直希・加藤亮吏・平島崇男
2. 発表標題 炭質物温度計を用いた紀伊半島毛原層とその周辺地域の変成温度見積もり
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2016年大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yoshida K., Orozbaev R, Hirajima T, Miyake A, Tsuchiyama A, Bakirov A, Takasu A & Sakiev K.
2. 発表標題 Cryo-FIB-SEM-EDX Analysis of Fluid Inclusions Reveals the Deep Fluid Chemistry
3. 学会等名 Goldschmidt 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>YOSHIDA Kenta's Webpage https://metamorphicfl.jimdo.com Goldschmidt 2019 Awards https://goldschmidt.info/2019/medalsView JAMSTEC Data-driven Science Analytical Platform http://dsap.jamstec.go.jp</p>

6. 研究組織		
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)
		備考