配布先：山形県政記者クラブ，文部科学記者会，科学記者会，岡山市政記者室，原子力規制庁記者会(仮称)，経済産業記者会，岐阜県政記者クラブ，多治見市政記者クラブ

PRESS RELEASE

令和2年（2020年）11月5日
山　形　大　学
東京大学地震研究所
日本原子力研究開発機構
（株）蒜山地質年代学研究所
学　習　院　大　学

ジルコンの結晶化年代・温度を推定する新たな分析手法の構築
～温度時間履歴が導く深成岩の冷却過程や隆起過程の調査・評価技術の高度化～

【本件のポイント】

- 花崗岩などの深成岩(※1)中に産出するジルコンに対して、LA-ICP-MS(※2)を用いて微小領域（直径20-30μm）の同一地点からU-Pb年代測定(※3)とチタン濃度の定量を同時に行う手法を開発。
- ジルコンに含まれるチタン濃度はジルコンが結晶化した際の温度に換算することが可能。得られる温度時間履歴(※4)は、深成岩の冷却過程や隆起過程の調査・評価技術の高度化を導く。

【概要】

山形大学学術研究院の湯口貴史准教授（地球科学）と、山形大学大学院理工学研究科の石橋梢さん、伊藤大智さん、東京大学地震研究所の坂田周平助教、日本原子力研究開発機構の横山立憲博士、小北康弘氏、(株)蒜山地質年代学研究所の八木公史博士、学習院大学理学部化学科の大野剛准教授らの研究グループは、LA-ICP-MSを用いたジルコンのU-Pb年代測定とチタン濃度の定量を同時に行う分析手法を開発しました。

ジルコンは花崗岩など深成岩中に含まれる鉱物です。このジルコンに対しては、チタン濃度による結晶化温度の推定や、U-Pb年代から結晶化した年代を論じた既存研究は数多く報告されています。しかし、これまでの分析手法では、それぞれのデータを取得するために異なる分析装置を利用していたため、ジルコン内部の同一地点においてチタン濃度とU-Pb年代を同時に導出することは困難でした。本研究では、LA-ICP-MSという分析手法を利用してジルコン中の微量のチタンを分析するために、干渉する元素や同位体のイオンを除去する新たな分析条件を検討することで、同一地点（直径20-30μm）で年代値とチタン濃度を同時に取得することを可能にしました。ジルコンから得られる温度時間履歴は、深成岩の冷却過程や隆起過程の高精度の解明を可能にします。つまり年代と温度の同時定量は、岩体の冷却過程や隆起過程の調査・評価技術の高度化をもたらします。

今回の調査・評価技術の高度化に係る研究成果は、地殻の発達・進化過程の解明や深部地質領域（地下深部に分布する岩石領域）を活用する事業（天然ガス・石油の地下貯蔵）や研究開発（高レベル放射性廃棄物の地層処分など）において重要な知見となります。本研究成果は、国際学術雑誌の「Lithos」に掲載されました。

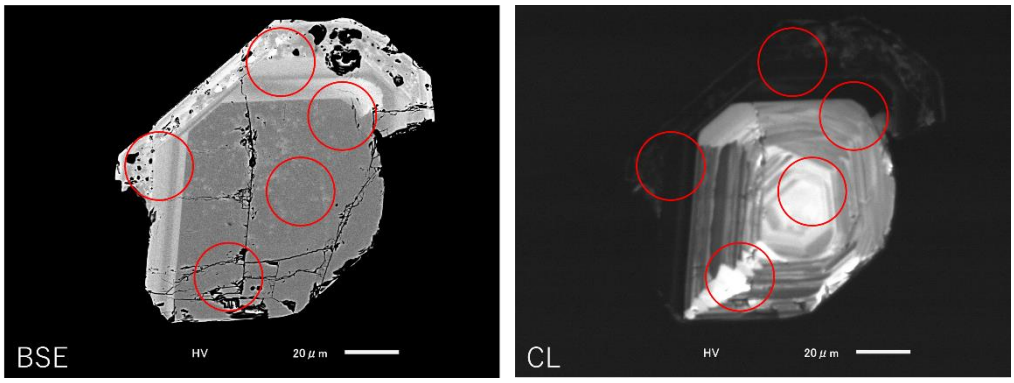

図 1　大崩山花崗岩体のジルコン写真、化学組成像（左図）とカソードルミネッセンス像 (※5)（右図）
　図中の丸印が同時定量分析を実施した分析地点

【背景】

現在、日本では深部地質領域（地下深部に分布する岩石領域）を活用した事業（天然ガス・石油の地下貯蔵など）や活用に向けた研究開発（高レベル放射性廃棄物の地層処分の研究など）が行われています。これらの事業や研究開発の中で、山体の隆起量・侵食量の調査・評価技術の構築は、対象領域の地質環境の長期安定性を評価する上で重要な課題です。この隆起・侵食の調査・評価技術の構築のために、花崗岩などの深成岩の冷却過程や隆起過程の解明に係る研究が注目されています。それは深成岩に含まれる鉱物の化学組成や同位体組成の分析から、温度時間履歴（冷却史）が得られるためです。

以上のような課題を踏まえて、本研究グループでは温度時間履歴を高精度に把握するため、ジルコンという鉱物に着目し、その結晶化した年代と温度を微小領域の同一分析地点において決定することを試みました。既存研究においてもジルコン中のチタン濃度を利用した結晶化温度の推定や、U-Pb 年代測定から結晶化年代の決定が行われています（例えば Yuguchi et al., 2016）。しかし、これまでの研究では、それぞれのデータを取得するために異なる分析装置を利用していたため、ジルコン内部の同一地点においてそれらを同時に導出することは困難でした。そこで、本研究では LA-ICP-MS を用いたジルコンの U-Pb 年代測定とチタン濃度の定量が同時に実施できる分析手法の開発を行いました。

【研究手法・研究成果】

本研究には、学習院大学所有の LA-ICP 質量分析装置（LA：ESI 製 NWR213 (Nd:YAG laser)；ICP 質量分析装置（Agilent Technology 製 Agilent8800））および日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター所有の LA-ICP 質量分析装置（LA：Photon-machines 製 Analyte G2 (ATL Excimer laser)；ICP 質量分析装置 (Agilent Technology 製 Agilent7700x) の 2 種類の装置を使用しました。それぞれの装置に対して、分析条件を検討することで、微小領域の同一地点（直径 20-30 μm）から U-Pb 年代とチタン濃度、即ち当該微小領域が結晶化した際の年代とその時の温度を同時に評価することを可能にしました。

分析対象としたジルコンは、富山県の黒部川花崗岩、宮崎県の大崩山花崗岩、岐阜県の土岐花崗岩、岩手県の遠野複合深成岩体から採取したものを用いました。ジルコンに含まれるチタン濃度の情報は温度に換算することが可能です。複数のジルコンから得られる年代と温度の情報を、温度と時間を示す図にプロットすることで、高精度な温度時間履歴を得ることができます（図 2）。例えば、図 2 に示した黒部川花崗岩中のジルコンの分析結果からは、ジルコンの結晶化年代が 80-100 万年前であり、その結晶化温度が約 640-930°Cであったことが分かります。さらに、同じ花崗岩中の黒雲母の K-Ar 年代測定法※6 から得られる年代値（図 2 の右図中の白四角）と比較することで、黒

部川花崗岩は急冷の履歴を持つことが分かります。この温度時間履歴は、花崗岩など深成岩からなる山体の隆起過程の解明につながります。つまり、年代情報と温度情報の同時取得は、冷却過程や隆起過程の調査・評価技術の高度化という点で高い貢献をもたらします。今後はこの分析手法を様々な岩体に適用することで、深成岩の冷却過程や隆起過程を解明し、そこから地殻の発達・進化の理解や地質環境の長期安定性の評価手法の構築に繋げていきたいと考えています。

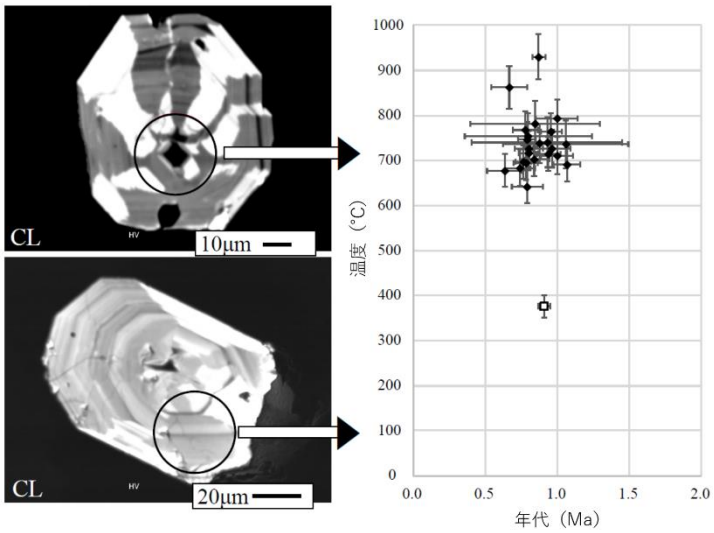

図2　黒部川花崗岩のカソードルミネッセンス像（左図）と温度時間履歴（右図：横軸の単位MaはMega annumで100万年前を示す）

※用語解説

1．深成岩：地下に貫入したマグマが地表まで到達せずに，地殻中にマグマ溜りとしてゆっくりと冷え固まった岩石。日本列島の地下には基盤岩として広い領域に分布。
2．LA-ICP-MS：レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析手法（Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry)。
3．U-Pb 年代測定：ウラン・鉛年代測定法。ウランの原子核が壊変し、鉛の原子核となることを利用することで、試料がどのくらい昔に形成された鉱物であるかを明らかにする手法。
4．温度時間履歴：マグマ溜りから花崗岩へと冷却するプロセスで，時間とともに温度がどのように変遷したかを示す。深成岩中の現象を時間と温度の推移とともに議論することを可能にする。
5．カソードルミネッセンス像：加速した電子を試料に照射した際に生じる発光量の違いを像としたもの。
6．K-Ar 年代測定法：カリウム・アルゴン年代測定法。カリウムの原子核が壊変し、アルゴンの原子核となることを利用する年代測定の手法。子孫核種であるアルゴンが貴ガスであるため、熱的擾乱を受けやすく、U-Pb 系と比較して閉鎖温度が低い（黒雲母 K-Ar 閉鎖温度：350-400°C)。

<付記>
各研究者の役割は以下の通りです。
研究の計画及び論文の作成：湯口（山形大学）、坂田（東京大学）、原子力機構・横山（原子力機構）、八木（蒜山地質年代学研究所）、大野（学習院大学）
試料の採取：湯口、石橋（山形大学）、坂田、小北（原子力機構）
ジルコンの SEM 分析：石橋、伊藤（山形大学）、小北
ジルコンの LA-ICP-MS 分析：湯口、石橋、坂田、横山、伊藤、小北、大野
黒雲母の K-Ar 年代測定：八木
解析結果に関する議論：共同研究者全員
研究の監督・指揮：湯口、坂田、横山、大野
統括：湯口

【論文情報】

雑誌名：Lithos, 372-373, 105682,(2020)
論文タイトル：Simultaneous determination of zircon U–Pb age and titanium concentration using LA-ICP-MS for crystallization age and temperature
著者名：湯口貴史[1]，石橋梢[2]，坂田周平[3]，横山立憲[4]，伊藤大智[2]，小北康弘[4]，八木公史[5]，大野剛[6]
所属：1. 山形大学学術研究院　2.山形大学大学院理工学研究科　3. 東京大学地震研究所　4.日本原子力研究開発機構　5. 蒜山地質年代学研究所　6. 学習院大学理学部
DOI：https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105682
公表：2020 年 11 月号（2020 年 7 月 16 日オンライン公開）

【特記事項】

本研究は、経済産業省資源エネルギー庁委託事業「平成 31 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業（地質環境長期安定性評価技術高度化開発）」の成果の一部です。

お問い合わせ先
(研究内容について)
国立大学法人山形大学 学術研究院　准教授　湯口貴史（地球科学）
TEL　023-628-4641　　メール　takashi_yuguchi@sci.kj.yamagata-u.ac.jp

国立大学法人東京大学地震研究所　助教　坂田周平
TEL　03-5841-5757　　メール　s-sakata1@eri.u-tokyo.ac.jp

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構　東濃地科学センター
ネオテクトニクス研究グループリーダー　石丸恒存
TEL　0572-53-0211（代表）メール　ishimaru.tsuneari@jaea.go.jp

株式会社蒜山地質年代学研究所　管理部長　八木公史
TEL　086-271-9318（代表）　　メール　yagi@geohiruzen.co.jp

学習院大学理学部化学科　准教授　大野剛
TEL　03-5904-9391　　メール　takeshi.ohno@gakushuin.ac.jp

(広報担当)
国立大学法人山形大学エンロールメント・マネジメント部広報室
TEL　023-628-4008　　メール　koho@jm.kj.yamagata-u.ac.jp

国立大学法人東京大学地震研究所　広報アウトリーチ室長　古村孝志
TEL　03-5841-2498　　メール　orhp@eri.u-tokyo.ac.jp

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構　東濃地科学センター　総務・共生課長　松浦幸夫
TEL　0572-53-0211（代表）メール　matsura.yukio@jaea.go.jp

株式会社蒜山地質年代学研究所（地質技術センター）管理部(総務)　小夜美知子
TEL　086-201-3131　　メール　sayo-michiko@geohiruzen.co.jp

学習院大学　学長室　広報センター
TEL　03-5992-1008　　メール　koho-off@gakushuin.ac.jp