東北大学 TOHOKU UNIVERSITY
JAMSTEC 国立研究開発法人 海洋研究開発機構 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
愛媛大学 EHIME UNIVERSITY

Press Release

2026 年 11 月 4 日

報道機関　各位

国立大学法人東北大学
国立研究開発法人海洋研究開発機構
国立大学法人愛媛大学
バイロイト大学

コロラド高原の地下深部で「水を運ぶ鉱物」が融解
―電子顕微鏡による解析で判明―

【発表のポイント】

- 米国コロラド高原のエクロジャイト捕獲岩（注 1、注 2）から、水を含む鉱物ローソン石（注 3）の脱水融解を示す痕跡を見いだしました。
- 透過型電子顕微鏡（以下、TEM）（注 4）などによる微細組織・結晶構造の解析と熱力学計算を組み合わせ、岩石が形成後に 800℃を超える急加熱を受けたことを示しました。
- 加熱と融解、急冷の記録から、沈み込んだプレートの断片がマグマによって地下の浅い場所へ運ばれ、その後、爆発的に地表へ到達したという二段階の上昇過程を提案しました。

【概要】

米国コロラド高原では、約 2800 万年前、沈み込んだファラロンプレートから放出された水を含む流体によって、地下のマントルが広く水和（注 5）したと考えられています。この「グレート・ハイドレーション（注 6）」は、地下深部の岩石を地表へ運んだ爆発的活動との関係が議論されてきました。しかし、深部で形成されたエクロジャイトが、爆発の起きる浅い場所まで、何によって運ばれ、どの程度加熱されたのかは十分に分かっていませんでした。東北大学、海洋研究開発機構、バイロイト大学、愛媛大学などによる国際共同研究チームは、米国コロラド高原のナバホ火山地域に産するエクロジャイト捕獲岩を調べ、ローソン石の分解に伴って岩石の一部が溶けたことを示す証拠を見いだしました（図 1）。ローソン石は結晶中に多くの水を含み、沈み込むプレートとともに地球深部へ水を運ぶ重要な鉱物です。本研究は、この鉱物が急激な加熱のもとで融解反応に関与し、メルト（岩石が溶けた液体）が生じ、その後に冷えて固まった履歴を、微小な鉱物の集合体から読み解いたものです。

本成果は、2026 年 10 月 29 日に岩石学の国際学術誌 Journal of Petrology に公開され、注目論文としてエディターズチョイス（Editor's Choice）に選定されました。

【詳細な説明】

研究の背景

地表で採取できる岩石の中には、地下深部で経験した圧力や温度の履歴を記録しているものがあります。ナバホ火山地域のエクロジャイト捕獲岩は、かつて北米大陸の下へ沈み込んだファラロンプレートに由来する、高圧変成岩の断片です。これらは蛇紋岩を主体とする角礫岩中に取り込まれて地表へ到達しました。先行研究では、約 2800 万年前、沈み込んだファラロンプレートから放出された水を含む流体が、コロラド高原の地下のマントルに広く浸透したと考えられています。この大規模な水和はグレート・ハイドレーションと呼ばれ、高原の隆起や岩石を地表へ運んだ爆発的な活動との関係が議論されてきました。これまで、この捕獲岩の上昇には水を含むマントル岩石の爆発が重要と考えられてきました。しかし、より深い場所にあった高圧変成岩が、爆発の起こりうる浅い場所まで、何によって運ばれ、どの程度加熱されたのかは十分に分かっていませんでした。研究チームは、その手がかりを鉱物の微細組織と結晶構造に求めました。

研究成果

研究チームは、通常の岩石記載や化学分析に加え、集束イオンビームで作製した極薄の試料を TEM で観察し、鉱物内部の微細な構造を調べました。エクロジャイトの主要な鉱物であるオンファス輝石からは、結晶中の陽イオン配置が不規則になっていることと、微小な珪酸塩ガラスが列状に残っていることを確認しました。これらは、エクロジャイトが形成された後に約 800℃を超える加熱を受け、局所的に融解したことを示します。また今回の試料には、ローソン石が元の形を残したまま別の鉱物に置き換わったローソン石仮像（注 7）が含まれています。その内部を詳しく調べた結果、ゾイサイト、雲母に加え、低圧条件で安定する斜長石や、変質した珪酸塩ガラスと解釈される非晶質物質を見いだしました。さらに、仮像に包まれたオンファス輝石の周囲から、ナトリウムに富む雲母の一種であるソーダ金雲母を確認しました。観察された組織と熱力学計算を組み合わせると、ローソン石とオンファス輝石が反応し、ゾイサイトやソーダ金雲母とともに、水に富むメルトと流体を生じる過程が考えられます。研究チームは、ローソン石仮像の形成に、脱水融解（注 8）、急冷、そして後の熱水による変質が関与したと解釈しました。ローソン石の脱水融解を示す天然の記録としては、研究チームが把握する限り初めての報告です。

また、ざくろ石の化学組成の境界が拡散によってどの程度緩和されたかを計算し、加熱の期間を推定しました。800℃を仮定すると加熱は 1 万年未満に制約

され、深部由来の高温マグマと直接接触して 1100℃に加熱された場合には、10 年未満という短い期間が示唆されます。

研究の意義

これらの結果から研究チームは、沈み込んだプレートの断片がまずマグマに取り込まれて急加熱され、地下約 60 km より浅い場所へ運ばれた後に冷却されて、最終的に爆発的な過程で地表へ到達したという履歴を提案しました。最初のマグマによる輸送と最後の爆発が連続して起きたのか、地下で一定期間とどまったのかは、今後の研究課題です。

本研究は、従来の岩石学的アプローチに、TEM によるナノスケール観察、結晶構造解析、熱力学計算、拡散モデリングを組み合わせることで、地下深部における短時間の出来事まで復元できることを示しており、ファラロンプレートの沈み込み終盤に起きた加熱と物質移動を理解するうえで、新たな制約を提供するものです。

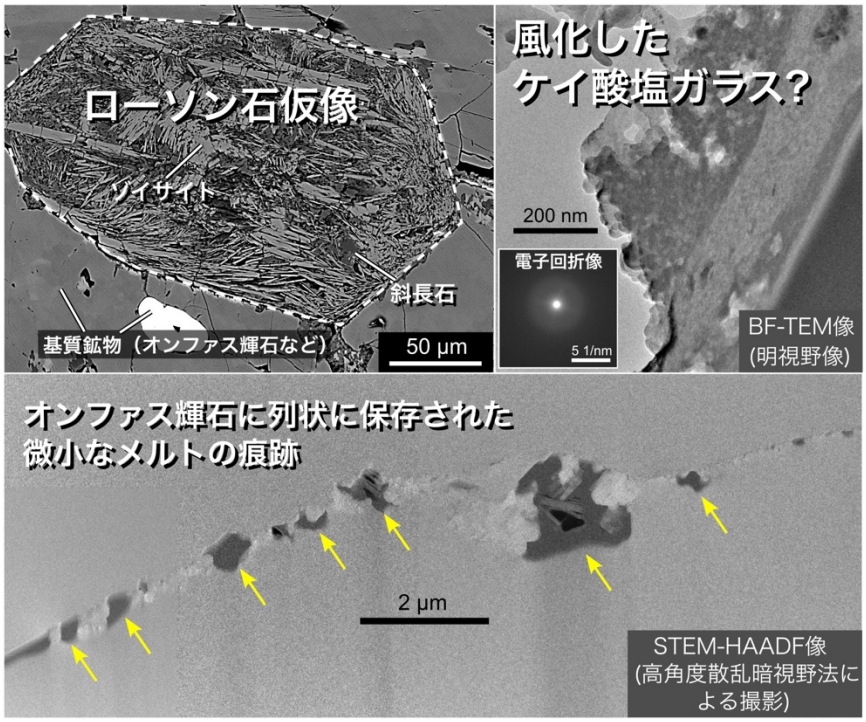


図 1. コロラド高原産エクロジャイト捕獲岩から発見された、ローソン石の分解と岩石の融解を示した微細組織。TEM を使用した微小領域の観察により、ローソン石仮像（上段）およびオンファス輝石（下段）からメルトの急冷組織を発見した。

【謝辞】
本研究はJSPS科研費（課題番号：JP22KJ0304、JP25KJ0433、JP21H01174）、東北大学環境・地球科学国際共同大学院（GP-EES）、ならびに愛媛大学先進超高圧科学研究拠点（PRIUS）の助成・支援を受けたものです。

【用語説明】

注1. エクロジャイト：主にざくろ石とオンファス輝石からなる高圧変成岩。地下深部の高い圧力のもとで形成される。

注2. 捕獲岩：周囲とは異なる岩石の断片が、マグマや噴出物などに取り込まれたもの。本研究では、地下深部の変成岩の断片を指す。

注3. ローソン石：結晶中に約 11.5 重量%の水を含む鉱物。沈み込み帯の低温・高圧環境で形成される。

注4. 透過型電子顕微鏡（TEM）：極めて薄い試料に加速した電子を透過させて、拡大像や回折図形を観察し、微細な組織や結晶構造を調べる装置。光学顕微鏡では見えないナノスケールの特徴を解析できる。

注5. 水和：岩石や鉱物が水と化学反応し、水の成分を結晶構造に取り込むこと。この反応によって、水を含む鉱物（含水鉱物）が形成される。

注6. グレート・ハイドレーション（Great hydration）：先行研究で提案された、約 2800 万年前のコロラド高原地下における大規模な水和イベント。沈み込んだファラロンプレート由来の流体が、上部にあるマントルの岩石へ広く浸透したと考えられている。

注7. 仮像：元の鉱物の外形を保ちながら、内部が別の鉱物などに置き換わったもの。元の鉱物が失われても、反応の履歴を読み取れる場合がある。

注8. 脱水融解：水を含む鉱物の分解を伴ってメルトが生成する過程。本研究では、ローソン石とオンファス輝石が関与する反応として検討している。

【論文情報】

タイトル：Melting of a lawsonite eclogite xenolith in the Colorado Plateau: Micropetrological constraints on the Oligocene thermal pulse

著者：Ryo Fukushima[1,2*], Tatsuki Tsujimori[2], Nobuyoshi Miyajima[3], Sayako Inoué[4], Tiziana Boffa-Ballaran[3], Giacomo Criniti[3,5]

[1] 海洋研究開発機構物質地球科学研究部門 高知コア研究所

[2] 東北大学大学院理学研究科地学専攻

[3] バイロイト大学バイエルン地球科学研究所
[4] 愛媛大学先端研究院地球深部ダイナミクス研究センター
[5] ミュンヘン大学地球環境科学科
*責任著者：
海洋研究開発機構物質地球科学研究部門 高知コア研究所
福島 諒 ポストドクトラル研究員（日本学術振興会特別研究員 PD）
（研究開始時：東北大学大学院理学研究科地学専攻 大学院生）
掲載誌：Journal of Petrology
DOI：10.1093/petrology/egag092
URL：https://doi.org/10.1093/petrology/egag092

【問い合わせ先】
（研究に関すること）
東北大学大学院理学研究科地学専攻
教授　辻森 樹（つじもり たつき）
Email：tatsukix［at］tohoku.ac.jp

海洋研究開発機構物質地球科学研究部門
高知コア研究所
ポストドクトラル研究員　福島 諒（ふくしま りょう）
Email：ryofuku［at］jamstec.go.jp

愛媛大学先端研究院
地球深部ダイナミクス研究センター
講師　井上 紗綾子（いのうえ さやこ）
Email：inoue.sayako.nr［at］ehime-u.ac.jp

（報道に関すること）
東北大学大学院理学研究科
広報・アウトリーチ支援室
TEL：022-795-6708
Email：sci-pr［at］mail.sci.tohoku.ac.jp

海洋研究開発機構
企画部門 事業推進部 報道室
TEL：045-778-5690
Email：press［at］jamstec.go.jp

愛媛大学
総務部広報課
TEL：089-927-9022
Email：koho［at］stu.ehime-u.ac.jp