

PRESS RELEASE (2026/06/10)

深発地震とプレート弱化、2つの謎を世界で初めて统一的に解明

— 相転移ナノ粒子が支配する地下 600km の岩石変形メカニズム —

ポイント

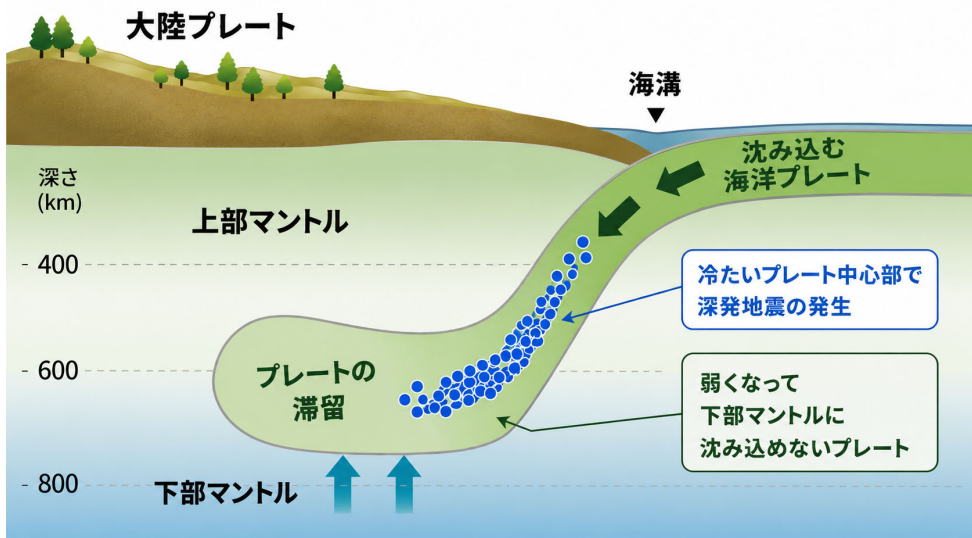
- ① 深発地震(※1)と岩石の弱化は、地球深部プレートにおける相反する2つの謎だった
- ② 相転移ナノ粒子が温度によって「地震性すべり」と「安定な変形」を切り替えることを発見
- ③ 地球独自のプレート運動とマントル対流の理解に貢献

概要

地球深部に沈み込む海洋プレートでは、深さ 400~700 km 付近で「深発地震」と「プレートの弱化」という2つの相反する現象が起きていることが知られています。しかし、超高压下の固いプレートが割れて地震を起こす仕組みや、同時に弱くなる理由は十分に説明されていませんでした。本研究は、これら2つの現象が、鉱物の相転移に伴って形成されるナノ粒子の面状構造とその変形によって统一的に説明できることを、世界で初めて実験的に明らかにしました。

九州大学大学院理学府博士課程（研究当時、現在は京都大学地球熱学研究施設非常勤研究員）の本田陸人氏と理学研究院の久保友明教授らの研究グループは、広島大学大学院先進理工系科学研究科の宮原正明准教授、東北大学大学院理学研究科の鈴木昭夫准教授、高エネルギー加速器研究機構(KEK)物質構造科学研究所の柴崎裕樹助教らと共同で、地下 600 km に相当する約 20 GPa の高压条件下でカンラン石の変形実験を行い、放射光その場観察とアコースティック・エミッション (AE) (※2)測定を組み合わせ解析しました。その結果、カンラン石がリングウッドイト(※3)へと相転移する際にナノ粒子の面状構造が形成され、そこに変形が集中することを発見しました。さらに、この相転移ナノ粒子は温度によって性質が変化し、低温では地震性すべりを引き起こし、高温では安定な変形によって岩石を弱化させることを明らかにしました。

本研究の結果は、深発地震の発生とプレート弱化を统一的に説明するものであり、地球独自のプレートテクトニクス型マントル対流の理解に大きく貢献します。本研究成果は、2026年4月16日に国際学術誌「Nature Communications」に掲載されました。



(図1) 深発地震の発生とプレートの滞留 (スタグネーション)

…沈み込んだ海洋プレート内では、深さ約 400~700 km にわたり、冷たい中心部に沿って深発地震が分布する。一方、プレートは約 600 km 付近で折れ曲がり、下部マントル上部で滞留する。このように、同じ深さ領域で地震の発生とプレートの弱化・滞留という相反する現象が同時に起こっている。

本田博士からひとこと：

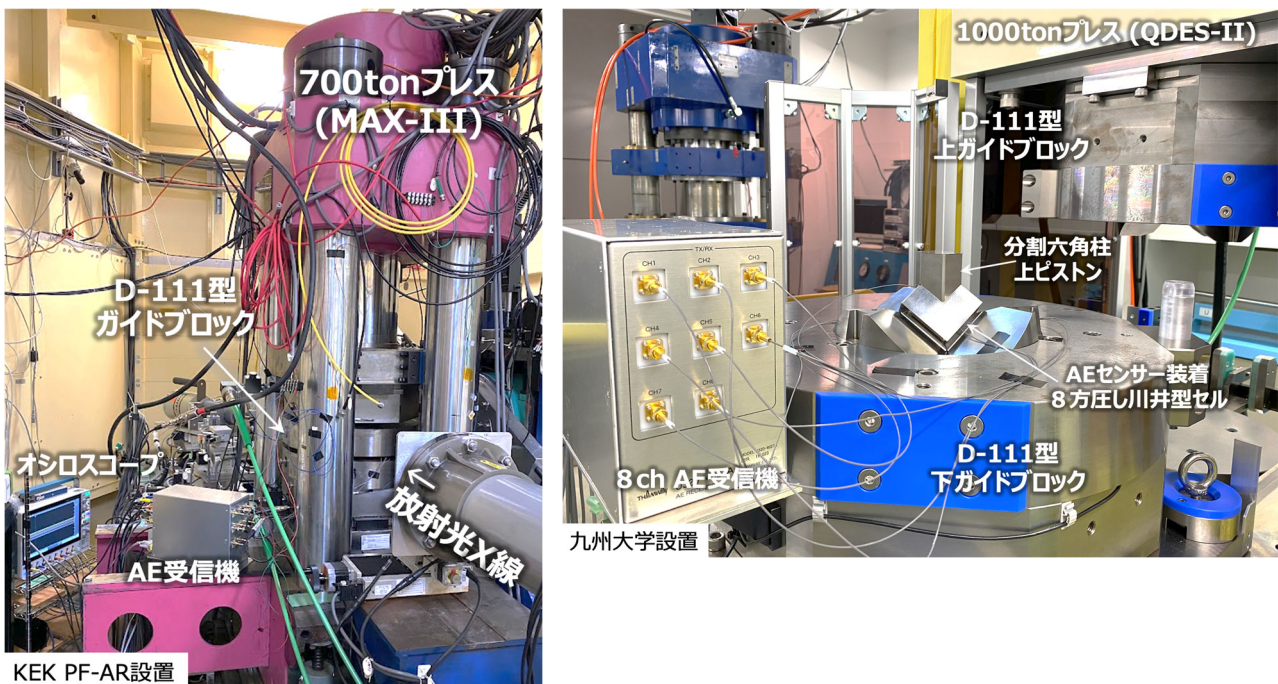
初めて AE と応力降下を同時に観測した瞬間は、本当に深発地震を実験室で再現できたのではないかと大きな驚きと興奮がありました。今後は、深さによって深発地震の発生メカニズムがどのように変化するかをさらに詳しく調べていきたいと考えています。

【研究の背景と経緯】

地球では、火星や金星などの他の岩石惑星と異なり、表層で冷やされた海洋プレートがそのまま内部に沈み込んでいます。このような地球深部のプレート運動には、2つの大きな謎がありました(図1)。一つは、深さ 600 km 付近で最も多く発生する深発地震です。通常の岩石破壊が起こり得ないような高圧環境で発生する地震のため、1920 年代に発見されて以来、そのメカニズムは長年の謎とされてきました。一方、同じ領域ではプレートが大きく折れ曲がり滞留する現象が、1990 年代よりとくに日本の下で顕著に観測されてきました(プレートのスタグネーション(※4))。冷たくて硬いはずのプレートが、なぜ弱くなって変形できるのか。これもまた、もう一つの大きな謎です。これまで、プレートを構成するカンラン石の相転移が、深発地震やプレート弱化に関与すると考えられてきましたが、両者を統一的に説明する実験的証拠は得られていませんでした。

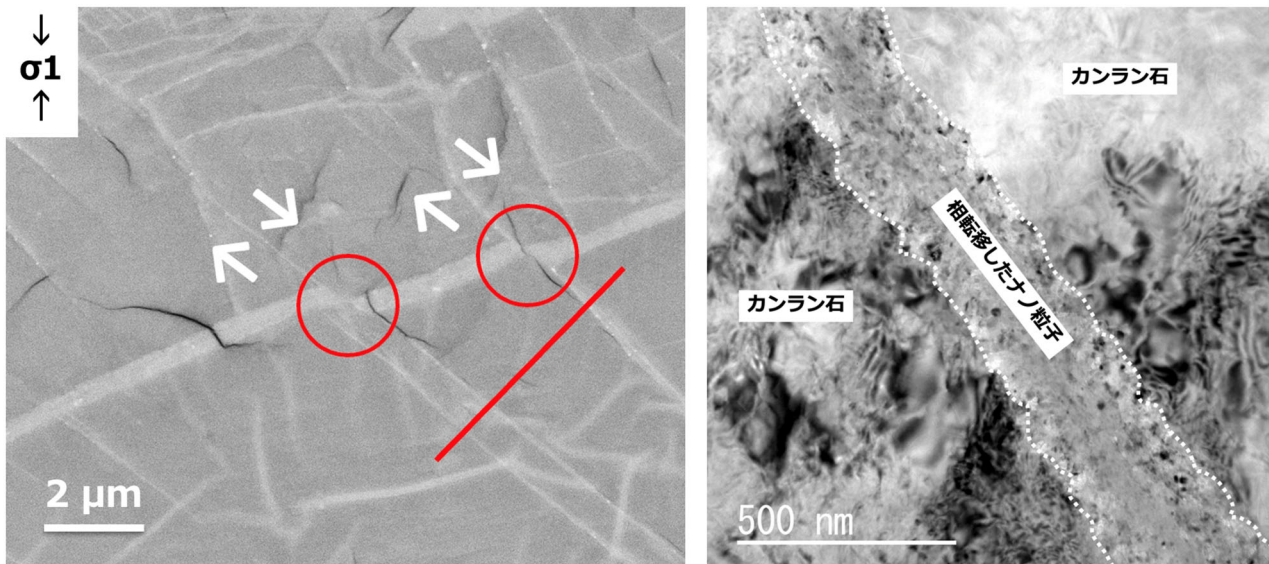
【研究の内容と成果】

九州大学および KEK 放射光施設 (PF-AR) のビームライン NE7A に設置された D-111 型高圧変形装置(※5)を用い、深さ約 600 km に相当する約 20 GPa の高圧下でカンラン石の変形実験を行いました(図2)。このとき生じる変形と相転移の関係を、放射光 X 線によるその場観察(※6)と AE 測定に加え、回収試料の電子顕微鏡観察によって詳しく調べました。その結果、カンラン石がリングウッドイトへと相転移する際に、数十ナノメートルの粒子からなる面状構造が形成されることが明らかになりました。この構造は周囲のカンラン石に比べて非常に弱く、そこに変形が集中して相転移断層が形成されることが観察されました(図3)。



(図2) D-111 型高圧変形装置と AE 測定システム

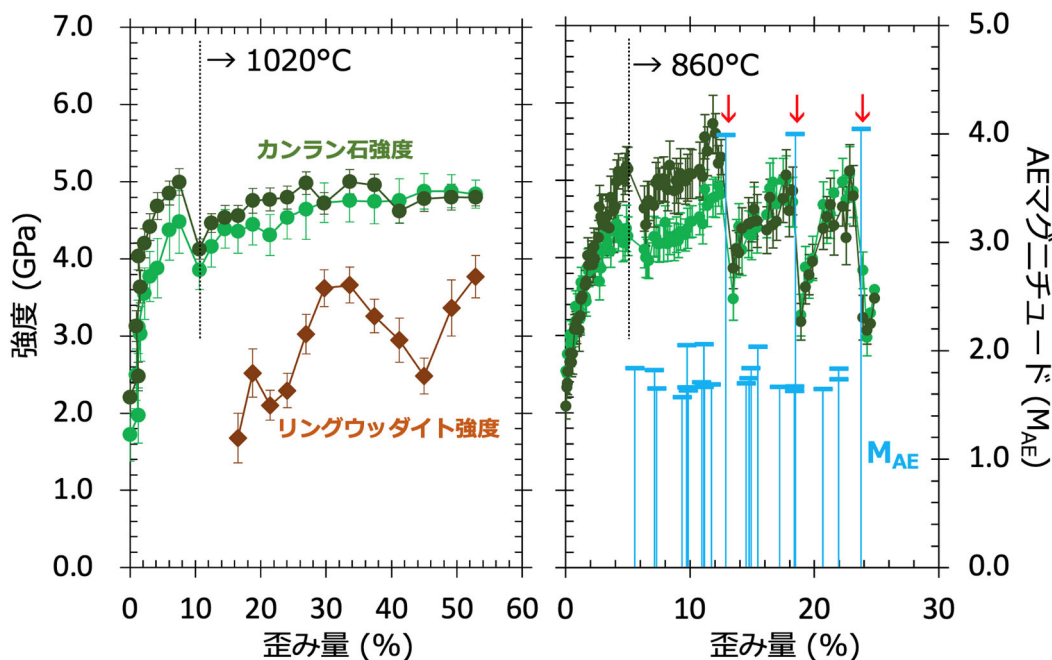
深発地震が発生するような高圧環境を再現し、放射光 X 線によるその場観察と AE 測定を同時に行う実験システム。試料は 8 方向から加圧され、上下方向から変形を与えるセル内に配置される。変形中の力学挙動と微小破壊に伴う AE 信号を同時に記録できる。



(図3) 相転移に伴って形成されるナノ粒子の面状構造と変形集中の様子 (電子顕微鏡観察)
 左図は、カンラン石中に形成された面状構造 (白い帯状部分) に沿って変形が集中し、断層が生じている様子を示す (白矢印、赤丸)。右図は、その面状構造 (左図赤線部分) の拡大像であり、カンラン石から相転移して形成されたリングウッドタイトのナノ粒子からなることが分かる。このようなナノ粒子の面状構造は周囲の結晶に比べて弱く、変形が局所的に集中する弱化帯として働く。

さらに重要なのは、この相転移ナノ粒子の振る舞いが温度によって大きく変化する点です。約 760~860°C では、岩石強度の急激な低下と AE が同時に繰り返し発生し、地震に対応する現象 (地震性すべり) が観測されました (図4)。一方、より高温では応力降下や AE は見られず、相転移ナノ粒子が試料全体に広がることで変形は安定化し、岩石全体が弱くなります。

これらの結果は、相転移ナノ粒子が深発地震とプレート弱化を引き起こす共通の要因であり、相転移と変形の相互作用が温度によって変化することで、両者を統一的に説明できることを示しています。



(図4) 温度によって変化する岩石の変形挙動と地震性すべりの発生
 低温条件 (860°C、右) では、カンラン石の強度 (緑) が急激に低下すると同時に大きな AE (水色) が発生し、地震に対応する不安定なすべりが観測される (赤矢印)。一方、高温条件 (1020°C、左) ではそのような応力降下や AE は見られず、変形は安定に進行し、強度の低いリングウッドタイト (茶) の生成が卓越する。圧力は約 20 GPa, 変形速度は約 $4.1-8.5 \times 10^{-5}$ /s。

【今後の展開】

本研究で明らかになった深部プレートの変形メカニズムは、表層の地質活動や地球内部の物質循環とも密接に関係しており、その理解に重要な手がかりを与えます。こうした現象を解明するためには、地球深部環境を再現し、その場で観察する実験技術のさらなる発展が不可欠です。近年では、放射光を用いたサブ秒スケールでの高速その場観察も可能になりつつあり、プレート地震やマントル対流といった地球内部の動的現象の理解が今後さらに大きく進展することが期待されます。

【用語解説】

(※1) 深発地震

沈み込んだプレートの内部、深さ約 400~700 km で発生する地震 (図 1)。震源はプレートの中でも特に冷たい部分に面状に分布する特徴があり、「深発地震面」と呼ばれる。マグニチュード 8 クラスの大規模な地震が発生することもある。

(※2) アコースティック・エミッション (AE)

物質の微小破壊に伴って発生する高周波の弾性波。本研究では、高圧装置に取り付けた圧電素子によって検出し、オシロスコープで記録することで、試料内部で起こる微小破壊や地震性すべりを調べた。

(※3) リングウッドイト

地下約 520~660 km の高圧環境で安定な、カンラン石の高圧相鉱物。沈み込むプレート内部でカンラン石が高圧下で相転移することによって形成され、深発地震やプレートの変形との関係が注目されている。

(※4) プレートのスタグネーション

沈み込んだプレートが深さ約 400~700 km で大きく折れ曲がり、水平に広がって滞留する現象 (図 1)。特に西太平洋の下で顕著に観測される。下部マントルからの抵抗や海溝の後退など複数の要因が考えられ、冷たいプレート自身が想定以上に弱くなっていることが指摘されている。

(※5) D-111 型高圧変形装置

岩石試料を 8 方向から圧縮し、さらに 2 方向から力を加えて、高圧下で変形させることができる実験装置。試料は mm スケールと小さいが、地球深部のような高圧条件での実験に適している。放射光を用いることで、変形中の試料の様子をその場で観察できる。

(※6) 放射光 X 線によるその場観察

放射光とは、加速器から発生する高輝度・高エネルギーの光で、物質の内部構造や状態を詳しく調べることができる。本研究では、試料の強度や変形の様子をその場で観察するために用いた。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 (JP18H05232, JP25247089, JP24H00274, JP23KJ1743) の助成を受けたものです。PF-AR での放射光利用実験は、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所放射光共同利用実験課題 (課題番号: 2018G591 および 2020G672) にて実施しました。

【論文情報】

掲載誌: Nature Communications

タイトル: The olivine-ringwoodite transformation triggers deep slab seismicity and rheological weakening

著者名: Rikuto Honda, Tomoaki Kubo, Masaaki Miyahara, Takuya Iwasato, Yuichiro Mori, Yuji Higo, Yumiko Tsubokawa, Yuta Goto, Akio Suzuki & Yuki Shibazaki

DOI : 10.1038/s41467-026-71661-z

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学 大学院理学研究院 教授 久保友明 (クボ トモアキ)

TEL : 092-802-4195

Mail : kubo.tomoaki.037@m.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報課

TEL : 092-802-2130 FAX : 092-802-2139

Mail : koho@jimu.kyushu-u.ac.jp

広島大学 広報グループ

TEL : 082-424-4518 FAX : 082-424-6040

Mail : koho@office.hiroshima-u.ac.jp

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

Mail : sci-pr@mail.sci.tohoku.ac.jp

高エネルギー加速器研究機構 広報室

TEL : 029-879-6047

Mail : press@kek.jp