

2023年4月6日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学
大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構
国立大学法人秋田大学

プレートの沈み込み帯の短期的な流体移動の痕跡を
上盤マントルで発見
—沈み込み帯における地震活動と流体との関係を示唆—

【発表のポイント】

- 沈み込むプレートの上盤に位置していたマントルの岩石を分析し、沈み込むプレートから上盤に供給された流体が亀裂を通して移動した痕跡を発見しました。
- 上盤マントルを通過した流体移動は流速が大きく、短期的であったことを発見しました。
- 沈み込み帯で観測される地震活動と上盤への流体移動との関係を示唆する成果です。

【概要】

沈み込み帯^(注1)で観測される地震活動は流体と密接に関係していると推測されてきました。しかし沈み込み帯での流体活動の継続時間や速度について直接的な物的証拠を得ることは難しく、よくわかっていませんでした。

東北大学大学院環境科学研究科大学院生の吉田一貴氏と岡本敦教授、国土舘大学の柳良介講師、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の木村正雄教授、オランダ・ユトレヒト大学のオリバー・プランパー准教授、秋田大学大学院理工学研究科の福山繭子准教授は、過去に沈み込み帯の上盤を構成したマントルの岩石から、特徴的な反応帯^(注2)を伴う鉱物脈^(注3)のネットワークを発見しました。微量元素分析により、この鉱物脈は沈み込むプレートから供給された流体の痕跡であることを示しました。さらに熱力学的解析及び物質移動モデリングにより、その流体活動の継続時間が非常に短期間（数ヶ月～数年）であり、流速が大きい（秒速0.1～1cm）ことを見出しました。本研究で明らかにされた流体活動は、現在の沈み込み帯で観測されている微小地震の継続時間や震源の移動速度とも類似し、沈み込み帯における地震発生過程と流体活動との関連を示唆しています。本成果は、沈み込むプレートの上盤マントルで生じている流体活動を岩石学的アプローチから初めて解明したものであり、プレート境界地震のメカニズムの解明に貢献できると期待されます。

本成果は、2023年4月6日、科学誌 Science Advances に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

これまで地球物理学的観測から、地震が起こる場所には流体が存在することが指摘されてきました。沈み込み帯において、沈み込むプレートから放出された流体がプレート境界に蓄積されると、高い流体圧力が生まれます。一方、その流体はプレート境界や上盤の地殻・マントルの中を通過して浅部に排水されると考えられます。このような流体の蓄積と移動は、プレート境界の流体圧を変化させ、プレート境界の地震発生や再来周期を制御している可能性があります。

そのため、過去に沈み込み帯に存在した岩石中に残されている流体移動や流体との反応の痕跡についての研究が注目されています。しかし、残された痕跡を精緻に解析して情報を引き出す科学的アプローチが無く、岩石から、地震活動などに対比される、短期間の流体活動の時間スケールや流速を制約することは困難でした。

今回の取り組み

本研究では、中東のオマーン国に露出している地殻、マントルの岩石からなる地質体（オマーンオフィオライト^(注4)）に注目し、掘削した岩石コア試料の精密な分析を行いました。この地質体は、過去に沈み込み帯の上盤に位置していたものが、地殻変動により地表に露出したものです。観察により、変質したマントル岩（蛇紋岩^(注5)）には、高温型蛇紋石の鉱物脈がネットワーク状に発達していることを発見しました（図1A, B）。この鉱物脈は、ケイ素に乏しい特徴的な反応帯を伴っています（図1C, D）。電子顕微鏡によるナノメートル（nm）スケールからマイクロメートル（ μm ）スケールの反応組織の観察や化学組成分析、マイクロフォーカスX線CT^(注6)による3次元構造解析などから、この反応帯は、亀裂を流体が流れることで周囲から元素の溶脱が起こり、元の鉱物が新たな別の鉱物に置き換わることで形成されたことがわかりました。また鉱物脈の微量元素分析により、この鉱物脈は沈み込むプレートから放出された流体が関与していることがわかりました。さらに、熱力学的平衡計算と物質移動モデリングを行った結果、鉱物脈は数か月から数年かけて形成されたこと、その際に流れた流体の平均流速は秒速0.1~1 cm程度であることを明らかにしました。本研究で明らかになった流体活動は、年間に数cmでゆっくりと動く通常のプレート運動から考えると非常に短期的なイベントであったと考えられます。一方、推定された流体活動の継続時間や流速は、現在の沈み込み帯の地震研究で注目されているスロー地震の継続時間や震源の移動速度とよく似ています（図2）。これらの結果は、沈み込むプレートから発生した流体が上盤プレートへの移動する短期的なイベントが、沈み込み帯の地震活動に影響を与える可能性を示唆しています（図3）。

今後の展開

本研究は、沈み込み帯で起こる流体移動の継続時間や速度について、物質反応を考慮した岩石学的アプローチで解明できることを示しました。近年、地震学的観測は著しく高精度化しており、本研究のような流体活動の物質科学的解析と結びつけることで、流体の移動と結びついたプレート境界地震の発生メカニズムを明らかにする新たな展開が期待されます。

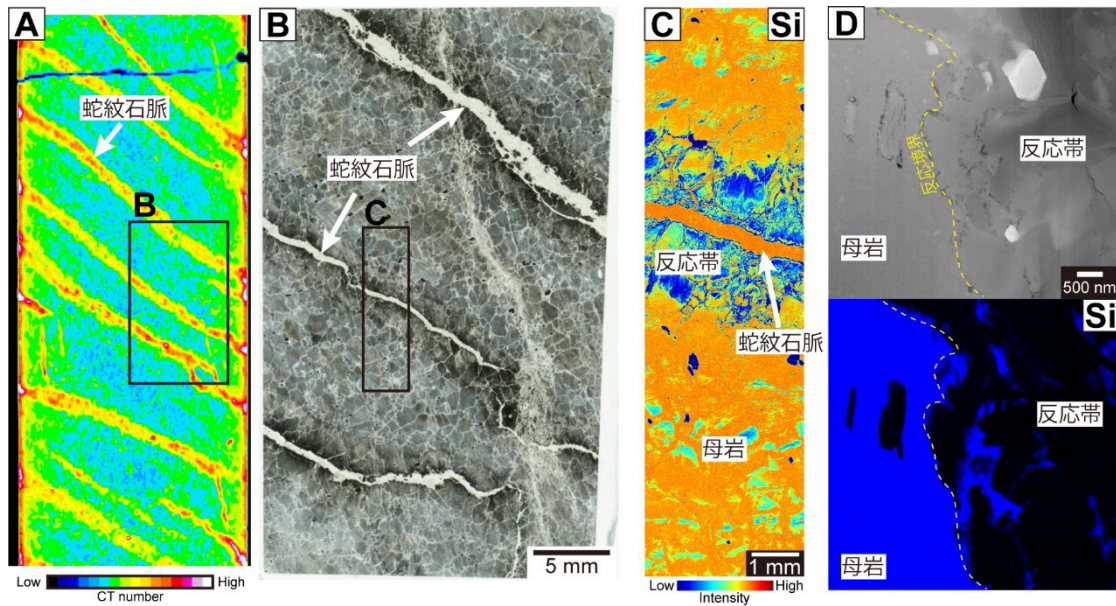


図 1. 本研究で分析したオマーンオフィオライトの変質マントル（蛇紋岩）の掘削コア試料の観察結果。(A) 蛇紋岩の X 線 CT 像。黄色～赤色部分が蛇紋石脈。(B) 図 1 B の領域の薄片写真。(C) 図 1 C の領域のケイ素の元素マップ。蛇紋石脈の両側にケイ素に乏しい反応帯が形成されている。(D) 透過型電子顕微鏡による反応帯と母岩の境界のナノメートルスケール微細構造。反応帯と母岩との境界がシャープであることがわかる。

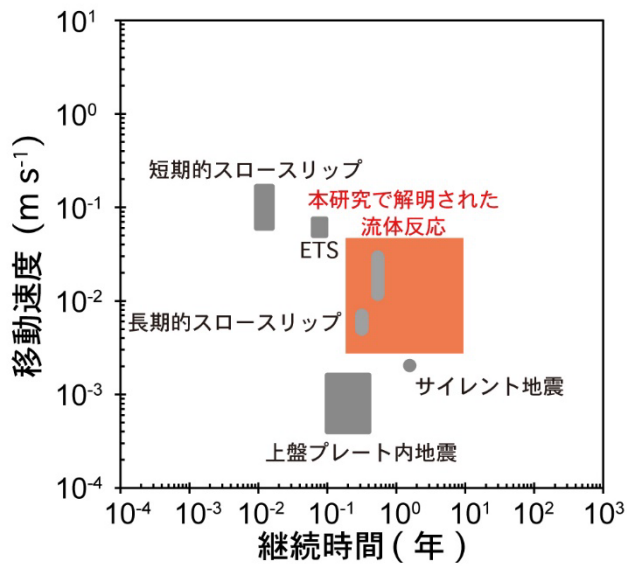


図 2. 本研究で推定された上盤マントルでの流体の移動速度と継続時間（朱色の領域）。現在の沈み込み帯で観測される様々なスロースリップ地震の震源移動速度と継続時間（灰色の領域）と類似していることがわかる。

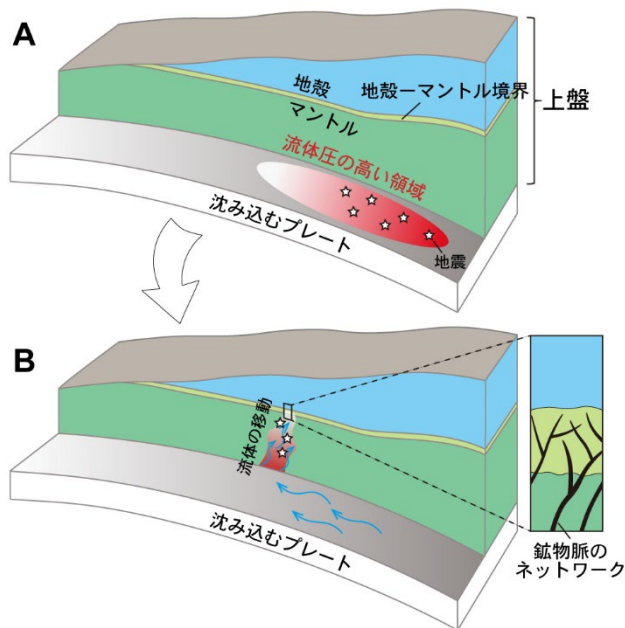


図 3. 沈み込み帯における流体活動の模式図。(A) 沈み込むプレートから放出された流体の蓄積によりプレート境界の流体圧が増加する。流体圧が高まったプレート境界では地震が発生する。(B) 地震活動によって亀裂ネットワークが形成され、流体が沈み込むプレート上盤のマントルを通過し浅部へ移動していく。亀裂内に流体から鉱物が析出し、鉱物脈が形成される。

【謝辞】

本研究は、JSPS 科研費（JP21J20281、JP17H02981、JP18KK0376、JP21H01189、JP22H04932、JP22H05295、JP22H05109）、European Research Council (ERC) starting grant (nanoEARTH; 852069)、および東北大学 環境・地球科学国際共同大学院プログラム（GP-EES）の助成を受けて行われました。

【用語説明】

注1. 沈み込み帯

2つのプレートが互いに近づく境界で、一方のプレートが他方のプレート（上盤プレート）の下に沈み込む場所。

注2. 反応帯

亀裂の周囲に、流体により局所的な元素やイオンの移動と反応が起こり、母岩とは別の鉱物が形成した領域。

注3. 鉱物脈

岩石の亀裂に流体が流れ、流体から析出した鉱物により亀裂が充填されたもの。流体移動の痕跡。

注4. オフィオライト

過去に海洋底を構成していた海洋プレートの断片が地殻変動により陸上に乗り上げたもの。

注5. 蛇紋岩

マントルかんらん岩が水を吸収する反応によって生成する、変質マントル岩石。

注6. マイクロフォーカス X 線 CT（Computed Tomography；コンピュータ断層撮影法）

数 um 程度に絞った X 線を試料に照射し、試料を回転させながら透過像を二次元検出器で測定する。その二次元像から計算により三次元イメージを構築する。非破壊かつ高い分解能で鉱物内の三次元組織を観察可能で、反応の痕跡の精密解析が可能。

【論文情報】

タイトル：Geological records of transient fluid drainage into the shallow mantle wedge

著者：Kazuki Yoshida*、Ryosuke Oyanagi、Masao Kimura、Oliver Plümper、Mayuko Fukuyama、Atsushi Okamoto*

*責任著者：東北大学大学院環境科学研究科 教授 岡本敦、大学院生 吉田一貴

掲載誌 : *Science Advances*

DOI : 10.1126/sciadv.ade6674

URL : <http://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.ade6674>

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学大学院環境科学研究科

教授 岡本 敦

TEL: 022-795-6334

E-mail:

atsushi.okamoto.d4@tohoku.ac.jp

高エネルギー加速器研究機構

物質構造科学研究所

教授 木村 正雄

TEL: 029-864-5608

Fax: 029-864-3202

E-mail: masao.kimura@kek.jp

秋田大学大学院理工学研究科

准教授 福山 繭子

TEL: 018-889-2456

E-mail: mayuko@gipc.akita-u.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学大学院環境科学研究科

情報広報室

TEL: 022-752-2241

E-mail:

kankyo.koho@grp.tohoku.ac.jp

高エネルギー加速器研究機構

広報室

TEL: 029-879-6047

E-mail: press@kek.jp

秋田大学広報課

TEL: 018-889-3019

E-mail : kouhou@jimu.akita-u.ac.jp