


沈み込み帯のCO₂流体の発生とマントル炭酸塩化の実態

	研究代表者	東北大学・環境科学研究所・教授 岡本 敦 (おかもと あつし) 研究者番号:40422092
	研究課題 情報	課題番号: 22H04932 研究期間: 2022年度~2026年度 キーワード: CO ₂ 固定、マントル、岩石-流体相互作用、沈み込み帯

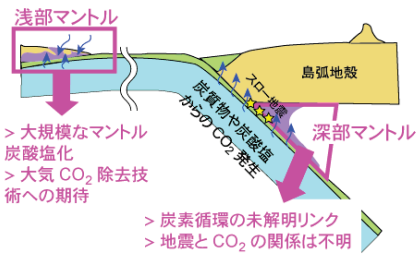
なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

● 研究の全体像

毎年 1 兆モルにも達する炭素が、プレートの沈み込みにより地球内部に持ち込まれる。この大規模な炭素循環は、地球表層環境やプレート境界に大きな影響を与える。中でも、固体地球の 7 割を占めるマントルは CO₂ をスポンジのように吸収できるため、地球温暖化の観点からも重要な岩石である。しかし、地表付近を除いて、マントルがどれほど CO₂ を固定 (炭酸塩化) するのかはよくわかっていない。私たちは、地質調査により地下深部 30km においてもマントルが炭酸塩化している証拠を見出した。この発見をもとに、表層 (<5km) と深部 (~20-50km) における CO₂ 流体-岩石の反応と、そのプレート境界への力学的影響を明らかにする本研究を構想した。本研究では、沈み込み帯起源の炭酸塩化・蛇紋岩化したマントル岩体の地質調査、および表層近傍と深部条件でのマントル炭酸塩化の実験を行う (図 1)。溶液化学を軸に、破壊や物質移動を伴うマントルへの CO₂ 固定の本質的なメカニズムを明らかにするとともに、CO₂ 反応とのカップリングによる断層挙動の変化を読み解き、物質循環とプレート境界地震をつなぐ現象モデルを提案したい。

本質的な問い

1. 地球表層の炭素はどのようなメカニズムでマントル岩石に固定されるのか?
2. CO₂ 流体は、沈み込みプレート境界での反応・物質循環や地震現象にどのような影響を与えるのか?



仮説 1
反応-破壊-物質移動フィードバックにより CO₂ 固定が促進する?

仮説 2
CO₂ や H₂O 流体とマントルの反応がプレート境界でスロージョイントを引き起こす?

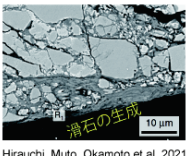
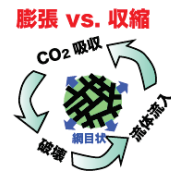
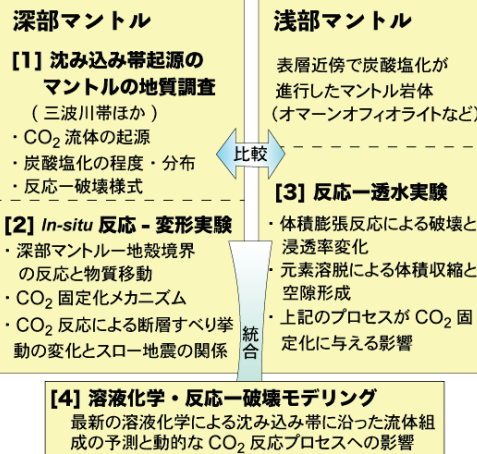


図1 研究全体のイメージ図

本研究の目的

沈み込み帯における CO₂ 流体発生とマントルへの CO₂ 貯蔵メカニズムと、そのプレート境界への力学的影響を明らかにする。

研究内容



溶液組成を軸に、表層から深部への物質輸送と沈み込み帯の力学プロセスを結ぶ動的な地球物質科学の方法論の構築

波及効果

自然に学ぶ効果的な CO₂ 地下固定化技術の探索

● 岩石への CO₂ 固定化のパラドックス

マントルが CO₂ を固定する反応には、流体が持続的に供給されることが不可欠である。しかし、CO₂ を吸収すると岩石の体積が膨張するため、流路が目詰まりして CO₂ の供給が阻害されてしまう。私たちは、天然ではこれを 2 つの方法で解決しているという仮説をもっている。1 つ目は体積膨張が応力不均質を生み出し、岩石を破壊して流路を形成する (図 2)、2 つ目は CO₂ 以外の元素溶解により体積収縮が起こり、新たな亀裂や空隙を形成するというものである。本課題では、天然、実験、モデリングの複数のアプローチで、このパラドックスの解明にチャレンジする。

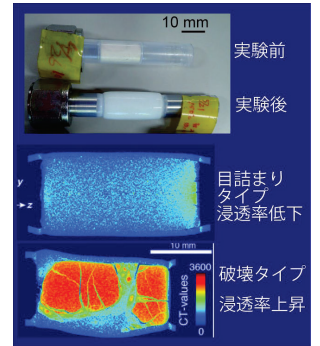


図2 アナログ物質(MgO)の加水膨張反応による目詰まりと破壊実験 (Uno, Okamoto et al. 2022)

● 沈み込みプレート境界での岩石-流体反応と断層プロセス

地震現象は主に断層の水圧や摩擦係数などの力学的要因のみで説明されてきた。本研究では、沈み込み帯のマントル-地殻境界で起こる、CO₂ を含む流体を介した特徴的な化学反応に注目し、反応生成物によって、プレート境界の断層すべりがゆっくりになる (スロージョイントとの関連性) という仮説を検証する。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

● 沈み込み帯のマントルの炭酸塩化の実態の解明

オマーン国で見られるように表層近傍のマントル岩体は著しく炭酸塩化することが知られているが、沈み込み帯の島弧下の深部マントルでの炭酸塩化の程度や普遍性は、ほとんどわかっていない。本研究では、数多くの沈み込み帯起源のマントル岩体が産する三波川帯を調査し、炭酸塩化の進行度や、地殻-マントル境界での物質移動を評価するとともに、炭素と酸素の安定同位体に基づいて CO₂ 流体の起源を調べる (図 3)。

● 亀裂や空隙形成を伴うマントルの CO₂ 固定化のメカニズムの解明

H₂O や CO₂ 流体が流通すると、マントル岩石は膨張するか、収縮するか? 元素はどのように溶解・固定されるか? 亀裂形成は起こるのか? このような問いに応えるために、反応による体積の時間変化を詳細にモニターしながら水熱条件下で反応-透水実験を行う装置を新たに開発し、初期流体 (pH, イオン、錯体) や反応させる岩石を変化させた系統的な実験を行い、マントル炭酸塩化のメカニズムに迫る (図 4)。

● CO₂ 流体反応が断層のすべり挙動に与える影響の解明

沈み込み帯のマントルウェッジ条件を再現した反応-変形実験を行う。まず、地殻-マントル物質境界を設定して、H₂O-CO₂ 流体を介した反応-物質移動-体積変化を静岩圧の実験で明らかにする。その上で、差応力をかけた変形実験を行い、プレート境界断層において H₂O-CO₂ 流体が関与する反応がすべり挙動に与える影響を調べ、天然の産状とも比較しながら CO₂ 流体反応がスロージョイントの要因となり得るかを検討する。

● 沈み込み帯に沿った溶液組成のモデリングに基づく統合

最新の溶液化学データに基づいて表層から深部まで流体組成を計算する。流体組成を軸として、室内実験と天然の観察を統合して、元素移動・固定と地震現象をも結びつける CO₂ 循環モデルを構築を目指す。

● 波及効果: 天然の仕組みに学ぶ CO₂ 地中固定技術への展開

天然でのマントル中の CO₂ の鉱物への固定化の仕組み、特に亀裂・空隙形成メカニズムを理解することで、流体組成をコントロールして持続的な CO₂ 流体の供給と固定化反応を制御する、効果的な CO₂ 地中固定技術へと展開したい。



図3 沈み込み帯起源のマントル岩石の炭酸塩脈とその剪断変形

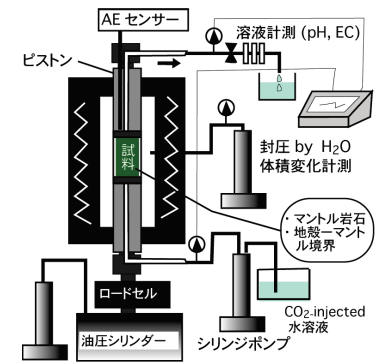


図4 新しく作成する反応-透水実験装置