

2025年9月2日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

マントルを構成するかんらん岩体を利用した 新たなCO₂固定技術を開発

— 地球全域で大気中CO₂の大幅な削減に期待 —

【発表のポイント】

- 植物由来・生分解性キレート剤の適用による地下かんらん岩体を利用した新たな二酸化炭素（CO₂）鉱物固定法を提案しました。
- キレート剤水溶液を岩体に注入し、鉱物溶解（孔隙形成）により浸透性を改善しつつ、地上に回収して鉱物固定に利用することができます。
- さらにその後、この岩体にCO₂を溶け込ませたキレート剤含有海水を貯留することで、CO₂を鉱物固定することができます。

【概要】

マントルを構成するかんらん岩は、マグネシウムや鉄などの2価の金属イオンを豊富に含んでおり、地殻変動により地表付近に移動してきたかんらん岩体を利用したCO₂の炭酸塩鉱物化（CO₂鉱物固定）が期待されています。しかしCO₂の貯留を阻害する岩石の緻密さ・浸透性の低さが課題となっています。

東北大学大学院環境科学研究科のLuis Salalá 特任助教、渡邊則昭教授、王佳婕助教、岡本敦教授は、鉱物の溶解を促進し、金属イオンを捕捉する植物由来で生分解性のキレート剤を用いて、この課題を解決するとともに、上記金属イオンを地上での鉱物固定にも利用する新技術を提案しました。本技術ではまず、キレート剤を含む水を地下に注入して、孔隙形成・浸透性改善を行いつつ、上記イオンを溶かしこんだ水を地上に回収して鉱物固定に利用します。その後、CO₂を溶かし込んだキレート剤含有海水を地下に貯留します。このCO₂は最終的に、キレート剤の生分解による金属イオンの放出にともなって鉱物に固定されます。本研究では、キレート剤水溶液による鉱物溶解（孔隙形成）にともない浸透性が大きく改善されることを実証し、本技術の実現可能性を示しました。地球上に豊富に存在するかんらん岩によるCO₂の大規模削減が期待されます。

本研究成果は2025年8月21日付で科学誌 Communications Earth & Environment に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

大気中の CO₂ 濃度の増加は、地球温暖化の大きな要因のひとつとされています。CO₂ の大規模削減技術として、CO₂ を地下の岩石中の孔隙に貯留する地中貯留技術の実用化が期待されています。しかし CO₂ を流体のまま長期間貯留する方法では、日本のような地震の多い地域の場合、断層からの漏洩などのリスクの懸念が生じます。

そこで、CO₂ を炭酸塩鉱物として固定化する「CO₂ 鉱物固定」が、より安定的かつ長期的な方法として期待されています。岩石中のマグネシウムや鉄などの 2 価の金属イオンは、CO₂ と反応し、炭酸塩鉱物として析出します。特にマントルを構成するかんらん岩は、マグネシウムや鉄などの 2 価の金属イオンを豊富に含むため、CO₂ との反応性が最も高い岩石として知られています。しかし、かんらん岩は孔隙が少なく、浸透性が低いうえ、炭酸塩化によって岩石が変形（膨張）してしまう性質があります。そのため、地下のかんらん岩体への CO₂ を含む流体の継続的注入は困難であり、このことがこの岩体の大規模利用に対する大きな障壁となっていました。

今回の取り組み

東北大学大学院環境科学研究科の Luis Salalá 特任助教、渡邊則昭教授、王佳婕助教、岡本敦教授は、これまでに研究開発を進めてきた鉱物の溶解を促進し、金属イオンを捕捉する植物由来・生分解性キレート剤（GLDA）を用いた複数の技術（特許 7115692；特許 7345791；特許 7726549）を応用して、この課題を解決するとともに、上記金属イオンを地上での鉱物固定にも利用する新技術を提案しました（図 1）。本技術ではまず、キレート剤を含む水を地下に注入して、孔隙形成・浸透性改善を行いつつ、上記イオンを溶かしこんだ流体を地上に回収して鉱物固定に利用します。その後、CO₂ を溶かし込んだキレート剤含有海水を地下に貯留します。貯留された CO₂ は最終的に、キレート剤の生分解による金属イオンの放出にともない鉱物固定されます。本研究では、キレート剤水溶液による鉱物溶解（孔隙形成）にともない浸透性が劇的に改善されることを以下の通り室内実験により実証し、本技術の実現可能性を示しました。

北海道の幌満（ほろまん）岩体から採取したかんらん岩のコアサンプル（直径 25 mm、長さ 25 mm）を用いて、流通実験を行いました。ひとつ目のスリット実験では、半割したかんらん岩コアの中央に厚さ 400 μm のスリットを導入し、GLDA 水溶液の流通により生じる鉱物の溶解挙動を観察しました（図 2）。二つ目の亀裂実験では、かんらん岩コアに引張亀裂を導入したものに GLDA 水溶液を流通させて、溶解による流路の発達と浸透性の変化を評価しました（図 3）。どちらの実験も温度 200°C、封圧 15 MPa の条件下で実施し、水素イオン濃度指数 pH 4 の 20% GLDA 水溶液を流通させました。

スリット実験の結果、GLDA 水溶液は、かんらん岩から CO₂ 鉱物固定に有効な金属イオンを効率的に溶出させることがわかりました。また、かんらん岩には複数の鉱物（かんらん石、蛇紋石や輝石など）が含まれているものの、最も多く含まれるかんらん石が選択的に溶解し、岩石表面に凹凸が形成されることがわかりました。

亀裂実験では、岩石コアの上流と下流の差圧（流動抵抗）が GLDA 水溶液流通開始後に急激に減少して、その後少し上昇しました。この差圧から浸透率（浸透性の指標）を計算すると、最初の 20 分で浸透率は初期値の 21 倍に増加したことがわかりました。GLDA 水溶液によるかんらん石の選択的溶解が浸透性改善に効果的であることがわかりました。実験前後の亀裂間隙を X 線 CT で観察したところ、かんらん石の選択的溶解によって中央部分で特徴的に間隙が増大していました。また、X 線 CT から得られた間隙構造を用いて流体流動シミュレーションを行うと、虫（worm）が土を掘って作る穴（hole）ワームホール（wormhole）のような卓越流路が形成されたことが示されました。ワームホールの形成は、流動抵抗の小さな流路上の鉱物が優先的に溶解し、その流路への流れの集中が生じることで、その流路上での鉱物溶解が一層進行するという正のフィードバックにより形成されたと考えられます。また、溶解しやすいかんらん石のほかに溶解しにくい蛇紋石や輝石があり、この蛇紋石や輝石が形成された流路の崩壊を防止したことも、GLDA 水溶液による鉱物溶解が浸透性の持続的な大幅改善につながった要因と考えられます。

今後の展開

本研究は、植物由来・生分解性キレート剤 GLDA が、非常に効果的にマントルかんらん岩体の溶解を促進し、浸透性を劇的に改善させることを示しました。マントルから地表近くへと移動してきたかんらん岩は多くの場合、変質により蛇紋岩に変わっているため、その変質の程度によって岩石の溶解挙動や浸透性改善効果がどのように変化するのかを調べるのが重要になります。かんらん岩、蛇紋岩などのマグネシウムや鉄を豊富に含む岩石を超塩基性岩といいますが、日本や世界各地に様々な規模で地表付近に存在しています。これらの岩体に対して、岩体外部（ex-situ）および内部（in-situ）における CO₂ 鉱物固定を進めていくことで、大量の CO₂ を長期的かつ安定的に固定できると期待されます。

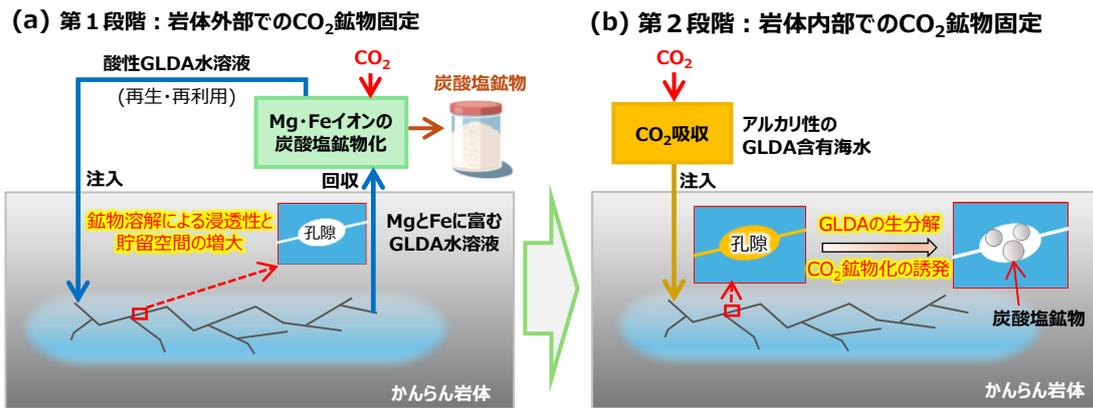


図 1. 植物由来・生分解性キレート剤 GLDA 水溶液によるかんらん岩の溶解を利用した (a) 岩体外部・地上 (ex-situ) と、(b) 地下の岩体内部 (in-situ) での二段階 CO₂ 鉱物固定の概念図

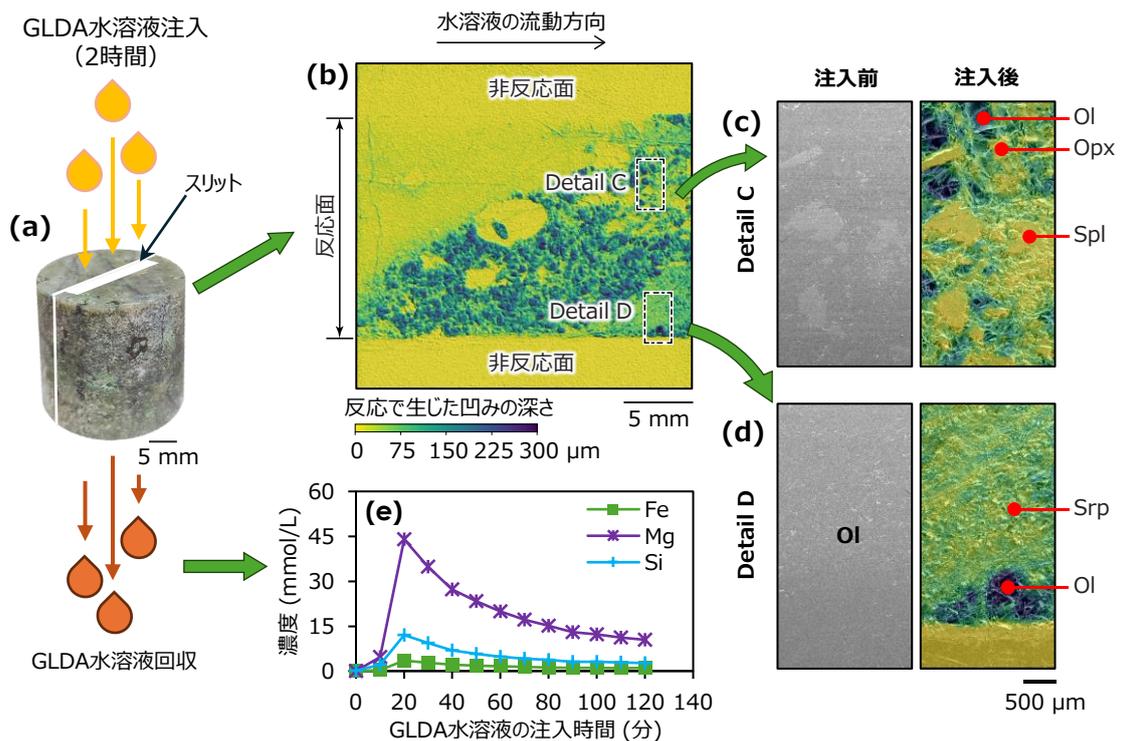


図 2. スリット実験の概要。(a) スリットを導入したかんらん岩コアサンプル、(b) X線CTにより得られた反応で生じた凹みの深さの分布、(c)および(d)SEMによる GLDA 水溶液注入前後の反応面の凹凸の比較、(e) GLDA 水溶液注入中の溶出元素濃度。Ol : かんらん石 (Olivine)、Opx : 斜方輝石 (Orthopyroxene)、Spl : スピネル (Spinel)、Srp : 蛇紋石 (Serpentine)。

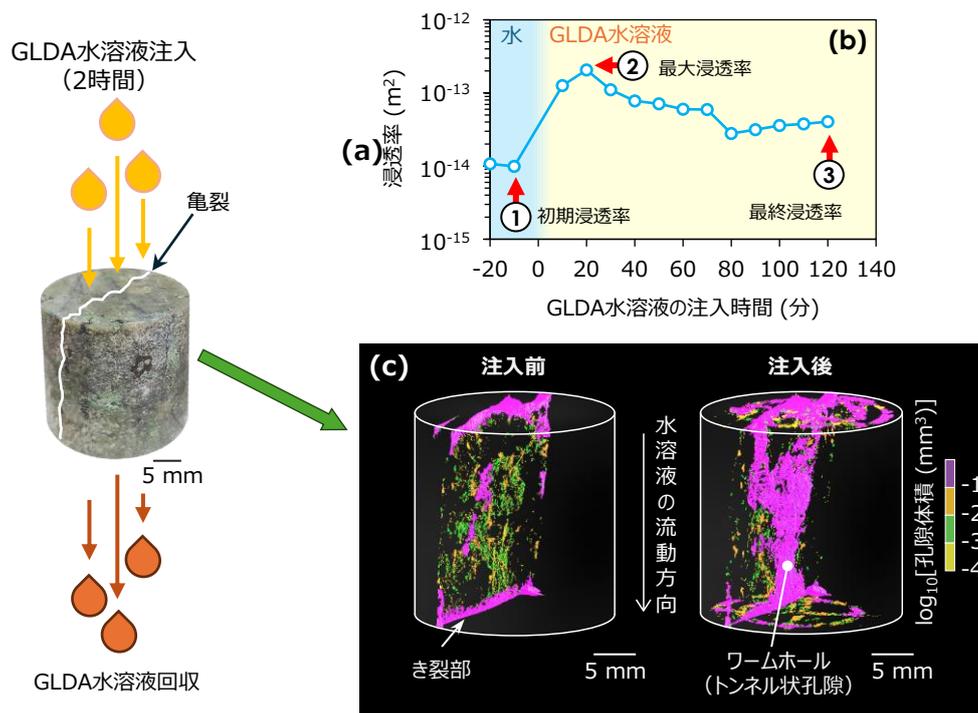


図 3. 亀裂実験の概要。(a) 亀裂を導入したかんらん岩コアサンプル、(b) GLDA 水溶液注入中の浸透性改善挙動、(c) X 線 CT による注入前後の孔隙分布の比較。

【謝辞】

本研究は、日本学術振興会（JSPS）科学研究費助成事業、「基盤研究（S）（JP22H004932）」、「学術変革領域研究（A）（JP22H05295、JP24H01011、JP22H5109）」、「基盤研究（A）（21H04937）」、「基盤研究（B）（22H02015、23K23283、23H01903、23K26596、24K01412）」、「挑戦的研究（開拓）（21K18200）」の支援により実施されました。また本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）および国際協力機構（JICA）の共同プログラムである地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）（課題番号：JPMJSA1703）の支援を受けました。なお本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のフロンティア育成事業「超塩基性岩からの天然水素回収・生成増進に関する研究開発」とも密接に関係したものです。

本論文は「東北大学 2025 年度オープンアクセス推進のための APC 支援事業」の支援を受け、Open Access となっています。

【論文情報】

タイトル : Biobased biodegradable chelating agents enhance coupled ex situ and in situ carbon dioxide mineralization via peridotite dissolution and wormholing

著者 : Luis Salalá*, Noriaki Watanabe*, Jiajie Wang*, Atsushi Okamoto*

*責任著者 : 東北大学大学院環境科学研究科 特任助教 Luis Salalá

東北大学大学院環境科学研究科 教授 渡邊 則昭

東北大学大学院環境科学研究科 助教 王 佳婕

東北大学大学院環境科学研究科 教授 岡本 敦

掲載誌 : Communications Earth & Environment

DOI : 10.1038/s43247-025-02687-2

URL : <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02687-2>

【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

Email: atsushi.okamoto.d4@tohoku.ac.jp

教授 渡邊 則昭

TEL: 022-795-7384

Email: noriaki.watanabe.e6@tohoku.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

Email: kankyo.koho@grp.tohoku.ac.jp