

2024年11月18日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

## 植物由来・生分解性物質を利用した CO<sub>2</sub> 削減技術を発明 —CO<sub>2</sub> 地中貯留・鉱物固定をよりいっそう安全・安心・効率的に—

### 【発表のポイント】

- 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<sup>(注1)</sup>を利用した二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 地中貯留・鉱物固定<sup>(注2)</sup>の促進法を発明しました。
- 地下の岩石層の鉱物を溶解して孔隙を形成し、孔隙の量と連結性 (CO<sub>2</sub> 貯留空間) を増大させるとともに浸透性 (CO<sub>2</sub> の圧入性) を改善できます。
- キレート剤を含む海水に CO<sub>2</sub> を溶け込ませて貯留すれば、孔隙を形成しながら、CO<sub>2</sub> と同時に炭酸塩鉱物の形成に必要な金属イオンも貯留できます。

### 【概要】

地球温暖化の原因物質である大気中 CO<sub>2</sub> の削減に向けて、近年、CO<sub>2</sub> と反応して炭酸塩鉱物を形成するカルシウム等の金属元素に富む玄武岩などの岩石層を用いた CO<sub>2</sub> 地中貯留が世界的に注目されています。しかし、CO<sub>2</sub> 地中貯留の地下環境は通常、低温で反応性に乏しいうえ、地下の孔隙の量や連結性あるいは浸透性も十分に大きいとは限りません。これらの課題を解決する技術が必要です。また CO<sub>2</sub> を水に溶かしこんで貯留する方式では、海水の使用が望まれますが、海水中の金属イオンと CO<sub>2</sub> の反応を CO<sub>2</sub> の貯留が完了するまで一時的に抑制する技術も必要です。

東北大学大学院環境科学研究科の王佳婕 (オウ・カシヨウ) 助教、堰合涼太大学院生 (研究当時)、田村諒太大学院生、渡邊則昭教授は、鉱物の溶解を促進し、金属イオンを捕捉する植物由来・生分解性キレート剤を利用してこれらの課題を解決する技術を考案し、室内実験によりその実現可能性を実証しました (PCT/JP2023/033026)。本技術は、安全・安心・効率的な CO<sub>2</sub> 地中貯留・鉱物固定の実現を通じて、世界の低炭素化へ貢献することが期待されます。

本研究成果は2024年11月15日付で Science Advances に掲載されました。

## 【詳細な説明】

### 研究の背景

地球温暖化による気候変動の急速な進行・影響の顕在化にともない、カーボンニュートラル<sup>(注3)</sup>の実現に向けた大気中CO<sub>2</sub>の大規模かつ迅速な削減が急務となっており、CO<sub>2</sub>と反応して炭酸塩鉱物を形成するカルシウム(Ca)等の金属元素に富む玄武岩などの岩石層を用いたCO<sub>2</sub>地中貯留が近年、世界的に注目されています。しかし、そのような岩石層は、CO<sub>2</sub>貯留層としてのポテンシャルを有するものの、その温度は通常20°C~50°C程度と比較的低温であり、鉱物の溶解速度(Ca等の溶出速度)が小さいという問題があります。加えて、岩石層の孔隙の量や連結性または浸透性は常に十分大きいとは限りません。

CO<sub>2</sub>地中貯留は、探査・調査・開発・圧入・モニタリングにかかる時間や費用が莫大であり、社会受容性の獲得も容易でないことも懸念されるため、CO<sub>2</sub>の貯留に利用可能な岩石層を発見した場合には、それを最大限効率的かつ安全・安心に利用すべきです。そのためには、岩石層の反応性や孔隙の特性および浸透性を改善する技術が必要となります。また、鉱物の溶解およびCO<sub>2</sub>の炭酸塩鉱物化は、水中で生じるため、炭酸塩鉱物化を優先する場合には、CO<sub>2</sub>を水に溶け込ませて貯留する方式が有効ですが、この方式では水資源の大量消費が懸念されるため、海水の利用が望まれます。しかし、海水にはCO<sub>2</sub>と反応して炭酸塩鉱物を形成する金属イオンが既に存在しているため、CO<sub>2</sub>と金属イオンとの反応をCO<sub>2</sub>の貯留完了まで一時的に抑制する技術が必要です。

### 今回の取り組み

東北大学大学院環境科学研究科の王佳婕助教、堰合涼太大学院生(研究当時)、田村諒太大学院生および渡邊則昭教授は、鉱物の溶解を促進し、金属イオンを捕捉するL-グルタミン酸二酢酸(GLDA)などの植物由来・生分解性キレート剤に着目。このキレート剤を利用してこれらの課題を解決する技術を考案し(図1)、室内実験によりその実現可能性を実証しました(特許の国際出願番号:PCT/JP2023/033026)。

本技術では、反応性の高い酸性(レモンのpH程度)のキレート剤水溶液を井戸から岩石層へ圧入して、この岩石層の鉱物を溶解して孔隙を形成し、孔隙の量と連結性(CO<sub>2</sub>貯留空間)を増大させるとともに浸透性(CO<sub>2</sub>の圧入性)を改善します(図1の①)。CO<sub>2</sub>のみを貯留する方式の場合には、その井戸からCO<sub>2</sub>を岩石層へ圧入します。圧入されたCO<sub>2</sub>はやがて地下水に溶け込み、岩石から溶出てきたカルシウム等の金属イオンと反応して炭酸塩鉱物として固定されます。圧入したキレート剤は、生分解前は金属イオンの溶出に、生分解後は補足していた金属イオンを放出して炭酸塩鉱物の形成に部分的に寄与します。

CO<sub>2</sub>を水に溶け込ませて貯留する方式の場合(図1の②)には、まずキレート剤を加えてCO<sub>2</sub>を吸収しやすい強アルカリ性にした海水にCO<sub>2</sub>を吹き込んで

溶解させます。海水中には  $\text{CO}_2$  と反応して炭酸塩鉱物を形成するカルシウム等の金属のイオンが含まれますが、これらの金属イオンはキレート剤に補足されているため、キレート剤が岩石層内で生分解されるまでは、 $\text{CO}_2$  との反応が抑制されます。また  $\text{CO}_2$  を吸収することでキレート剤を含む海水の pH は元の海水の pH 程度（8 程度）かつ炭酸塩鉱物の形成に適した pH となっています。この  $\text{CO}_2$  が溶け込んだキレート剤含有海水を井戸から岩石層へ圧入します。岩石層へ圧入された  $\text{CO}_2$  が溶け込んだキレート剤含有海水は、鉱物を溶解して孔隙を形成しつつ、貯留されます。この間も金属イオンはキレート剤に補足されており、炭酸塩鉱物や他の鉱物の析出が抑制されているため、 $\text{CO}_2$  が溶け込んだキレート剤含有海水を安定的に圧入できます。

岩石層に貯留された  $\text{CO}_2$  が溶け込んだキレート剤含有海水中のキレート剤は、やがて生分解されて補足していた金属イオンを放出します（図 1 の③）。これにより  $\text{CO}_2$  が炭酸塩鉱物として固定されます。

本研究では、植物由来・生分解性キレート剤 L-グルタミン酸二酢酸（GLDA）、海水、玄武岩（これまで反応性に極めて乏しいと考えられていた変質玄武岩を含む）そして  $\text{CO}_2$  を用いた室温程度の温度での室内反応実験および反応一流動連成実験を実施し、植物由来・生分解性キレート剤を利用した  $\text{CO}_2$  地中貯留・鉱物固定促進法の実現可能性を実証しました。本技術は、安全・安心・効率的な  $\text{CO}_2$  地中貯留・鉱物固定の実現を通じて、世界の低炭素化へ貢献することが期待されます。

## 今後の展開

本研究により、革新的な  $\text{CO}_2$  地中貯留・鉱物固定促進法が誕生しましたが、実際の  $\text{CO}_2$  地中貯留・鉱物固定の時空間スケールでどのような現象が生じるか、詳細に予測することはまだできません。この課題を解決するため、実際の時空間スケールでの現象を予測可能なシミュレータの開発が必要です。また、このシミュレータ開発に必要なキレート剤と  $\text{CO}_2$  を含む水中での鉱物の反応に関する基礎データの拡充も必要です。渡邊教授の研究グループは近年、キレート剤による鉱物の加速溶解現象を利用した地熱・天然ガス資源の開発生産技術（特許 7115692）や、燃焼排ガス中  $\text{CO}_2$  と産業廃棄物を利用した炭酸カルシウムの製造技術（特許 7345791）も発明しています。このような基礎データおよびシミュレータは、これらの技術にも応用可能です。植物由来・生分解性キレート剤を利用した  $\text{CO}_2$  地中貯留・鉱物固定促進法に関する研究の進展が、低炭素エネルギー資源の利用拡大や、 $\text{CO}_2$  および産業廃棄物の資源化の促進につながると期待できます。

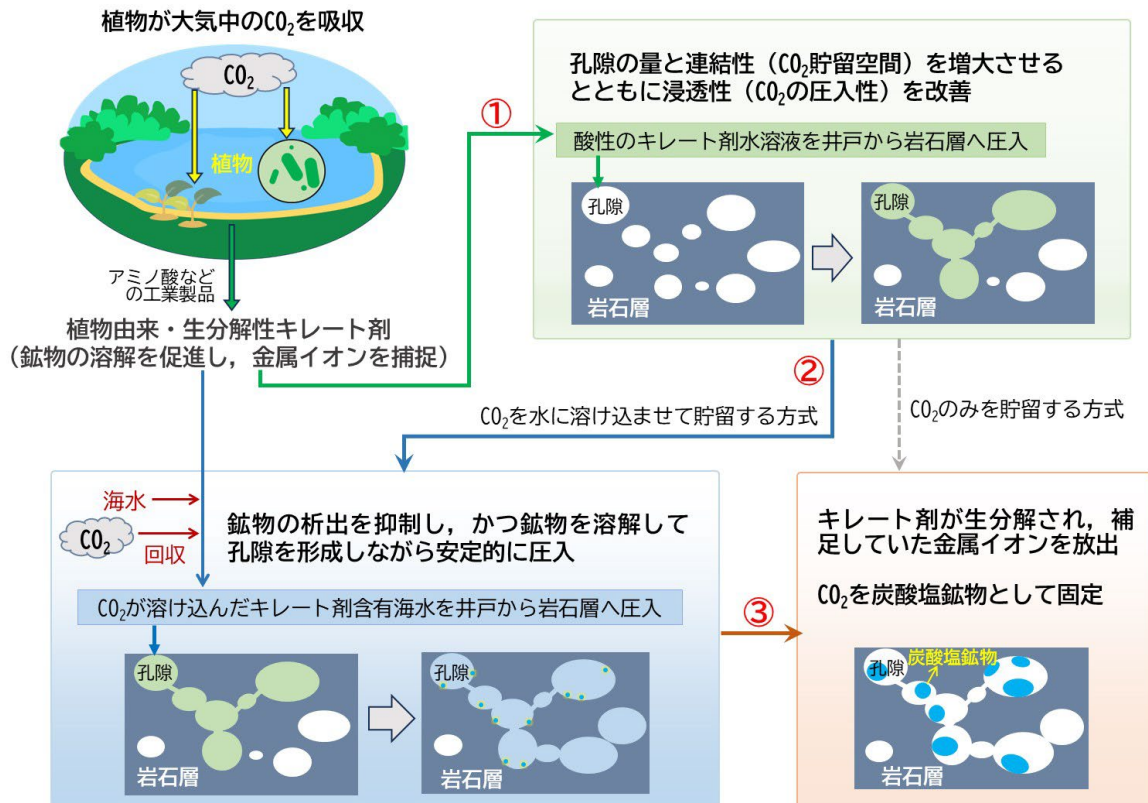


図 1. 植物由来・生分解性キレート剤を利用した CO<sub>2</sub> 地中貯留・鉱物固定促進法。

### 【用語解説】

注 1 キレート剤：金属錯体の形成に用いる配位子の一種。配位子は、配位原子と呼ばれる酸素や窒素のような非共有電子対を持った原子を含み、この配位原子が金属イオンと直接結合する。配位原子を一つだけ持つ配位子を単座配位子、複数個持つものを多座配位子と言ひ、後者がキレート剤。金属イオンとの結合の安定性は、単座配位子よりも多座配位子であるキレート剤の方が安定。

注 2 二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 地中貯留・鉱物固定：発電所や化学工場などから排出された CO<sub>2</sub> を分離して集め、地中深くの岩石層中の孔隙に圧入・貯留し、さらに、岩石中の鉱物と水ならびに CO<sub>2</sub> が関与して炭酸塩鉱物が形成される化学反応を利用して CO<sub>2</sub> を鉱物として固定すること。

注 3 カーボンニュートラル：CO<sub>2</sub> などの地球温暖化の原因とされる温室効果ガスの排出量を実質ゼロにすること。人間の日常生活や経済活動による温室効果ガスの排出量から、植林や森林管理、新技術などによる吸収量を差し引いて、合計をゼロにすることを指す。日本政府は 2020 年、2050 年までにカーボンニュートラルを目指すと宣言した。

**【謝辞】**

なお本研究の一部は、JSPS 科研費（21H04664、21K18200、21K14571、22H02015、22H04932、23H01903、23K23283、23K26596、24K01412）の支援を受けて実施されました。

**【論文情報】**

タイトル：CO<sub>2</sub> capture, geological storage, and mineralization using biobased biodegradable chelating agents and seawater

著者： Jiajie Wang\*、 Ryota Sekiai、 Ryota Tamura、 Noriaki Watanabe\*

\*責任著者： 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 渡邊則昭

掲載誌： Science Advances

DOI： 10.1126/sciadv.adq0515

URL： <https://doi.org/10.1126/sciadv.adq0515>

**【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 渡邊 則昭

TEL: 022-795-7384

Email: [noriaki.watanabe.e6@tohoku.ac.jp](mailto:noriaki.watanabe.e6@tohoku.ac.jp)

助教 王 佳婕

TEL: 022-795-4859

Email: [wang.jiajie.e4@tohoku.ac.jp](mailto:wang.jiajie.e4@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](mailto:kankyo.koho@grp.tohoku.ac.jp)