

2022年10月19日
早稲田大学
北海道大学
京都府立大学

2022年ムーンショット型開発研究事業に採択 大気からCO₂を効率的に回収・固定化する 新たな風化促進技術“A-ERW”の開発

発表のポイント

- カーボンニュートラル達成のため、岩石を粉碎・散布し、風化の過程（炭酸塩化）のもとで大気中のCO₂を回収・固定化していく風化促進技術が注目されています。しかし、その活動による炭素収支の定量化、実際の固定化量の測定が不十分でした。
- 新技術 A-ERW は適用地域の土地に適した方法で風化促進を行うことで、①大気中のCO₂を除去、②地域に資源循環・コベネフィットをもたらす、の双方を同時に実現することが可能です。
- 岩石ごとの鉱物化率をデータ化・蓄積し情報基盤を整備することで、精度の高い炭素会計 LCA を国内外に示し、日本発となる炭素会計の方法論の国際的コンセンサス醸成を目指します。

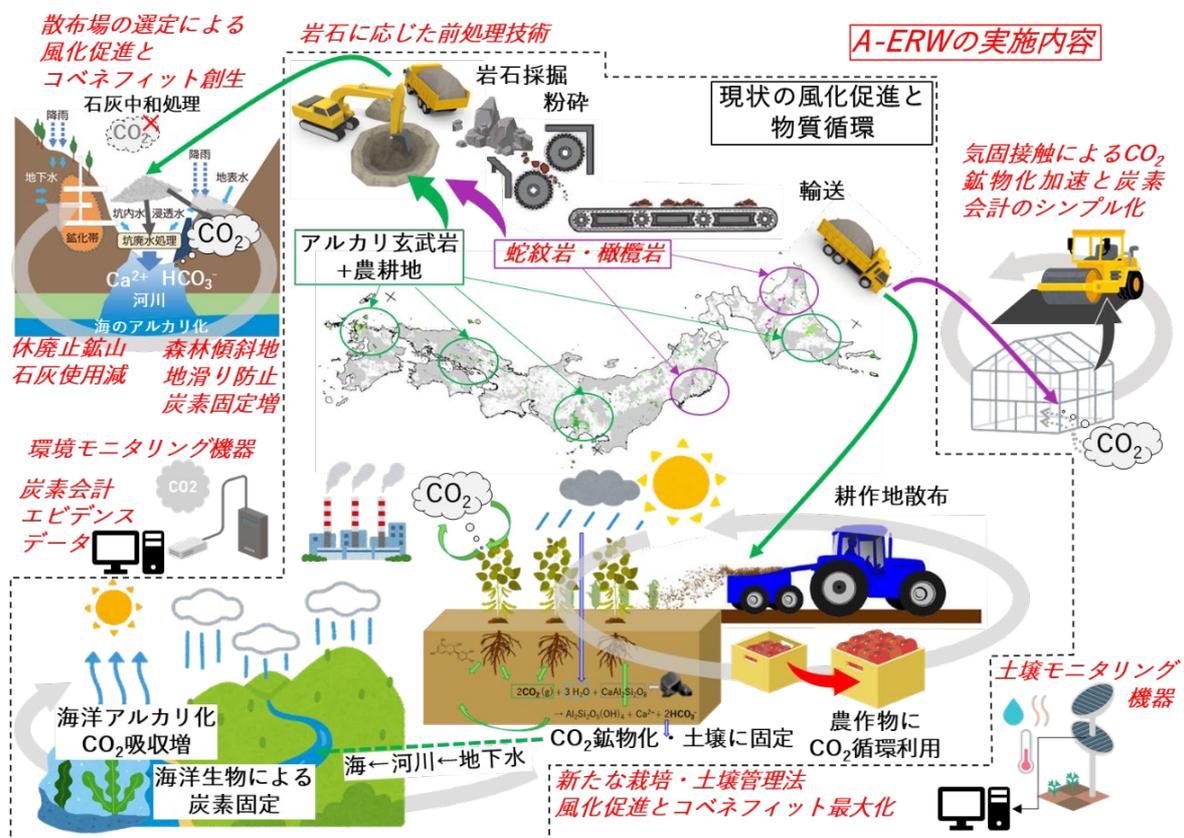


図1: A-ERW の全体像



2022年9月26日、学校法人早稲田大学（東京都新宿区、理事長：田中愛治）の中垣隆雄（なかがきたかお）教授をPM（プロジェクトマネージャー）とし、三菱重工エンジニアリング株式会社（神奈川県横浜市、取締役社長 CEO：寺沢賢二）、国立大学法人北海道大学（北海道札幌市、総長：寶金清博）、および京都府公立大学法人京都府立大学（京都府京都市、学長：塚本康浩）のグループによる提案が、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術開発機構（以下、NEDO とする）によるムーンショット型開発研究事業^{*1}「ムーンショット目標4：2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」において、プロジェクト「**岩石と場の特性を活用した風化促進技術“A-ERW”の開発**」として採択されました。

気候安定化とカーボンニュートラルに必要な不可欠な Negative Emission Technologies（以下、NETs とする）^{*2}として、日本の岩石との散布場の特性を生かし、大気から CO₂ を効率的に回収・固定化する先進的な風化促進技術“A-ERW”を開発します。また、実環境場での試験を通じたデータを基に、炭素会計 LCA^{*3} のエビデンスとして情報基盤を整備して、国内外に発信するとともに国際認証の取得を目指します。

※A-ERW は Advanced Enhanced Rock Weathering の略ですが、“A”には、Accelerated、Active、Agro-industrial、Advantageous、Accurate Accounting の意味を含ませています。

(1) これまでの研究で分かっていたこと（研究の背景）

日本をはじめ、多くの国で 2050～60 年ごろまでに温室効果ガスの排出量を実質ゼロとするカーボンニュートラルの達成を宣言しています。そのためには、2050 年時点でも再生可能エネルギーの主力化だけでは解決困難な航空機や重量車の液体燃料、リサイクル不能な廃棄物の焼却処分、セメントや製鉄副原料の石灰石などから排出される人為起源 CO₂ の大気への放散を、何らかの手段で回避、あるいはオフセットする必要があります。さらに、気候安定化のためには過去に排出された大気中の CO₂ も回収・固定化していく技術が求められ、これらの対策として NETs が注目されています。

NETs のうち、本プロジェクトでは天然の岩石を用いて大気中の CO₂ を回収・鉱物化させる風化促進技術（Enhanced Rock Weathering、以下、ERW とする）^{*4} を対象とします。ERW は海外を中心に玄武岩などの苦鉄質岩を人工的に粉砕・微粉化し、耕作地散布などを実施、風化の過程（炭酸塩化）で CO₂ を吸収しようとしています。しかし、その適用によって新たに放出される CO₂ や、自然循環も含む複雑な炭素収支は定量化が不十分で、日本で実施した場合の地層や岩石ごとに異なる総固定量^{*5} や実際の正味固定量^{*6} は不明でした。

このような背景の下、経済産業省はムーンショット目標4として、「2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」を掲げ、クールアースとして「2030年までに、温室効果ガスに係る循環技術を開発し、Life Cycle Assessment（LCA）の観点からも有効であることをパイロット規模で確認する」との目標が明記されています。

(2) 今回のプロジェクトで新たに実現しようとすること

日本はプレートの沈み込み帯に位置する地震火山大国ですが、様々な種類の天然岩石が容易に入手可能な利点もあります。そこで、日本の岩石との散布場の特性を生かし、大気から CO₂ を効率的に回収・固定化する先進的な風化促進技術“A-ERW”を開発することを目指します。

これまでの ERW では、対象は主に玄武岩のみ、粉砕して耕作地に散布することを想定していました。そのため、雨水中に溶解した大気中の CO₂（炭酸イオン、炭酸水素イオンを含む）が散布した岩石に作用する

のに時間がかかり、正味固定量も多くなく、実際の証拠となる炭素会計に資するデータもほとんどありませんでした。そこで本プロジェクトでは、ERWを「物理的な比表面積拡大（物理的な風化）」×「物質輸送と化学反応によるCO₂ 鉱物化」として捉え直し、可能な限りの少ない追加エネルギーでそれぞれのプロセスの加速法を適用していきます。耕作地散布においても、土壌に合わせた管理法や栽培法を組み合わせることで実質の固定量を増大させます。また、試験データと数値計算モデルによる高度な予測を基に、岩石ごとのCO₂ 鉱物化ポテンシャルと前処理エネルギー^{*7}、散布方法ごとのCO₂ 鉱物化速度や所定時間経過後の鉱物化率などをデータ化していきます。さらに、効率的なモニタリング法の開発と実環境場での試験を通じて予測モデルの妥当性を確認していくとともに、得られたデータを蓄積し、炭素会計 LCA のためのエビデンスとして情報基盤（図2）のひな形を整備します。

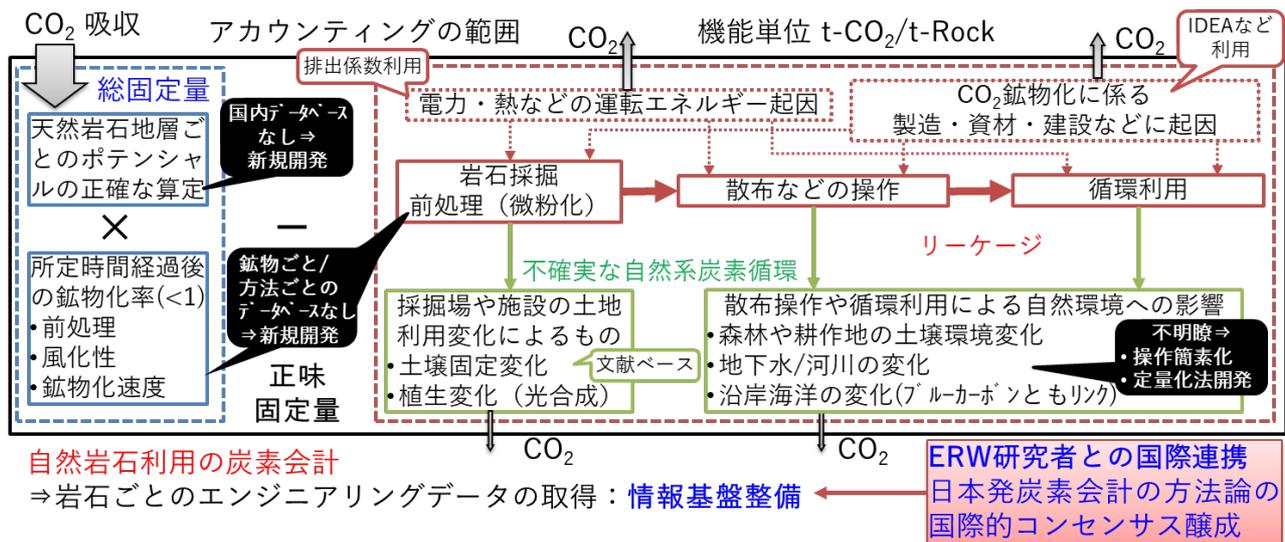


図2：炭素会計 LCA の方法と情報基盤整備

(3) このプロジェクトにより期待される波及効果

A-ERWでは、地質調査データが豊富な北海道をモデル地域として選定します。各地で得られるA-ERWに適した岩石を効率的に粉砕し、その土地に適した方法で風化促進させることで、大気中のCO₂を除去するNETsでありながら、同時に地域に資源循環・コベネフィットをもたらします。

たとえば、耕作地に散布すれば農作物の収量アップ、養分供給、土壌の物理性改善および有機炭素の貯留量増加をもたらします。休廃止鉱山や森林傾斜地への散布では、中和剤用途の石灰から脱却でCO₂の発生を抑え、森林傾斜地の地滑りの防止によって結果的に炭素固定量を増加させます。さらには、散布岩石に含まれるCa、Mg、Kなどは、河川を通じて近海のアルカリ化に寄与し、海水中のCO₂の保持力向上が期待されます。一方、蛇紋岩など開放地への散布が不適当な岩石は、工業的に大気中のCO₂を高速に鉱物化^{*8}させます。

また、シンプルかつ確度の高い炭素会計 LCA を国内外に示すことで、国際的なコンセンサスを得つつ、CO₂削減クレジットによる早期の社会実装を目指します。

(4) 各機関の役割

本プロジェクトは岩石ごとの前処理エネルギーとCO₂ 鉱物化ポテンシャルを共通データとして、農・工



学(Agro-industrial)の強力な連携の下で ERW の炭素会計 LCA を明らかにしようとする初の試みであり、次のような分担となっています。

早稲田大学

(再委託) ソブエクレイ株式会社

- 研究統括、気固接触による鉱物化率のモデリングと炭素会計法開発
- 岩石ごとの前処理エネルギー、鉱物化ポテンシャルデータベース作成、

三菱重工エンジニアリング

(共同実施) 三菱重工パワー環境ソリューション

- 鉱物化ハウスによる実環境場試験、大規模化の概念設計と経済性評価

北海道大学 (工学系)

(再委託) 国土防災技術株式会社、北海道立総合研究機構、森林総合研究所、QJサイエンス株式会社

- 北海道をケーススタディとした地質学的調査、事業環境調査、効率的なモニタリング法開発、散布場選定風化のラボ試験とモデリング、休廃止鉱山および溶脱優勢な森林傾斜地における実環境場試験、自然環境を含む炭素会計法開発

京都府立大学、北海道大学 (農学系)

(再委託) 農業・食品産業技術総合研究機構、東京大学、国際農林水産業研究センター、琉球大学

- 耕作地散布風化促進のラボ試験とモデリング、北海道・関東・南西諸島の異なる土壌での実環境場試験、栽培・土壌管理法・モニタリング法開発、大規模実証試験の概念設計、土壌炭素収支と自然環境を含む炭素会計法開発

(5) 中垣 PM(プロジェクトマネジャー)のコメント

気候安定化とカーボンニュートラル実現のために必要となる NETs として、CO₂削減のコストと国内の総ポテンシャルの観点で ERW は現実的な解の一つですが、炭素会計に難がありました。また、受動的な自然作用だけでは進行が遅く、人為的に加速してもそれに伴う追加的な CO₂排出によって正味固定量が大幅に悪化しては元も子もありません。本プロジェクトは、幸いにも農・工学の当該分野において日本を代表する研究者・技術者に恵まれ、専門知が集結したオールジャパンチームでこれらの難課題の解決に挑戦して行きます。科学的根拠に基づいて炭素会計が明確になり、国際的にコンセンサスが得られれば、クレジットでビジネス化も可能です。A-ERW がもたらすコベネフィットと併せて地域を豊かにするとともに、ギガトン (10 億トン) の CO₂固定化で貢献していきたいと考えています。

(6) 研究助成情報

助成名称: NEDO ムーンショット型研究開発事業

目標 4 「2050 年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」

研究開発内容: 「炭酸塩化による CO₂ 吸収: 玄武岩などの岩石を粉碎・散布するなど、人為的に風化を加速させる技術 (風化促進)」

タイトル: 岩石と場の特性を活用した風化促進技術“A-ERW”の開発

Advanced enhanced rock weathering (A-ERW) technology actively combined with site characteristics



実施期間：2022 年度から 2024 年度までの 3 年間

(参考) NEDO ムーンショット型研究開発事業で、新たに 5 件のプロジェクトを採択

—自然の CO₂ 吸収能力を人為的に加速させる技術の見極めに着手—

https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101573.html

(7) 参画 (共同研究) 基幹・研究者情報

早稲田大学 理工学術院創造理工学部総合機械工学科 中垣隆雄 教授

北海道大学 大学院工学研究院 佐藤努 教授、大学院農学研究院 信濃卓郎 教授、当真要 教授

三菱重工エンジニアリング株式会社 荒川宜彬 (プロジェクト担当窓口)

京都府立大学 生命環境科学研究科 中尾淳 准教授

(8) 用語解説

*1: ムーンショット型開発研究事業

- 日本発の破壊的イノベーションの創出を目指し、従来技術の延長にない、より大胆な発想に基づく挑戦的な研究開発 (ムーンショット) を推進する新たな制度で、内閣官房、内閣府、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、経済産業省が連携し、研究開発を推進します。総合科学技術・イノベーション会議で決定された 7 つのムーンショット目標について、各目標における研究開発全体責任者であるプログラムディレクターの下、プロジェクトマネージャーは、ムーンショット目標達成および研究開発構想実現に至るシナリオの策定、研究開発プロジェクトの設計、研究開発体制の構築、研究開発プロジェクトの実施管理などを行います。

*2: Negative Emission Technologies

- 大気中の CO₂ を回収・吸収し、貯留・固定化することで大気中の CO₂ 除去(CDR, Carbon Dioxide Removal)に資する技術。自然の CO₂ 吸収・固定化の過程に、人為的な工程を加えることで加速させる技術やプロセスを差します。

*3: 炭素会計 LCA

- 評価バウンダリを決定し、A-ERW の活動全体の炭素収支をライフサイクルアセスメントとして正確に算定すること。風化促進では、岩石の総固定量から、採掘・粉碎・散布までにかかるエネルギーやその機材の生産による CO₂ 排出量などを差し引く必要がある。さらに、植物の呼吸と光合成だけでなく、土壌中の微生物による有機物の増減やメタン・亜酸化窒素など地球温暖化係数 (GWP) の高い GHG の大気放散、地下水や河川を通じた岩石由来のミネラル分の流出による近海のアルカリ化による CO₂ 吸収量の増加などが全て含まれる必要がある。

*4: 風化促進技術 (Enhanced Rock Weathering)

- 天然の岩石を粉碎、比表面積を拡大することで、岩石に含まれるカルシウム (Ca) やマグネシウム (Mg) などが炭酸塩として大気中の CO₂ を鉱物化・半永久的に固定化する自然作用を人工的に促進させる技術。



*5: 総固定量

- 岩石や地層ごとに異なる CO₂ 鉱物化ポテンシャル（無限時間経過後の理論最大量）と1年などの所定時間経過後の CO₂ 鉱物化率の積で表される。

*6: 正味固定量

- ERW の活動によって排出される工学的に算定可能な CO₂ や、土地利用の変化・土壌中の炭素収支の変化など農学的に算定される CO₂ を含む GHG などを総固定量から差し引いた正味の固定量。

*7: 前処理エネルギー

- 天然岩石を重機で採掘・輸送し、ミルなどで風化促進に適した粒子径（ μm ）になるまで粉碎・微粉化するために必要な電力など、施用前の処理にかかるエネルギー。

*8: 工業的に大気中の CO₂ を高速に鉱物化

- Corey A. Myers and Takao Nakagaki, "Direct mineralization of atmospheric CO₂ using natural rocks in Japan", Environmental Research Letters, Volume 15, Number 12 2020 で発表済み。2021年11月 ICEF 発行の Carbon mineralization roadmap の中では、当該論文が Box3-1 に大きく取り上げられました。

【本研究内容に関するお問い合わせ先】

早稲田大学理工学術院 教授 中垣隆雄

Tel: 03-5286-2497 E-mail: takao.nakagaki@waseda.jp

北海道大学 大学院工学研究院 教授 佐藤努

Tel: 011-706-6305 E-mail: tomsato@eng.hokudai.ac.jp

京都府立大学 生命環境科学研究科 中尾淳 准教授

Tel: 075-703-5652 E-mail: na_4_ka_triplochiton@kpu.ac.jp

【本プレスリリースに関するお問い合わせ先】

早稲田大学 広報室広報課（猪俣・志熊）

Tel: 03-3202-5454 E-mail: koho@list.waseda.jp

北海道大学 社会共創部広報課広報・渉外担当

Tel: 011-706-2610 E-mail: jp-press@general.hokudai.ac.jp

京都府立大学 企画・地域連携課（鍋岡・高橋）

Tel: 075-703-5212 E-mail: kikaku@kpu.ac.jp