

2024 年 1 月提出

学籍番号 54220050-0

研究科	環境・エネルギー	氏 名	劉 瑞琪	指 導 教 員	中垣 隆雄
研究指導	エクセルギー工学				
研 究 題 目	岩石と場の特性を活用した風化促進技術“A-ERW”の開発 ～湿度制御による CO ₂ 鉱物化率の向上～				

1. 緒言

地球温暖化に対処するため、世界中で温室効果ガスの排出削減が急務となっている。この背景の下、直接空気回収や植物による炭素回収・貯留などの負の排出技術が重要な手段となっている。本研究は、岩石風化促進 (ERW) という負の排出技術に焦点を当てている。この技術は、自然岩石の風化過程を加速させ、大気中の CO₂ を効果的に固定する。ERW の効率化には、適切な岩石選択、岩石の表面積削減、環境条件調整が重要である。本研究では、ERW 技術の効率化に向けて、特に効果的な岩石の選択と湿度の調整に重点を置き、CO₂ 鉱化速度を高めるための方法を検討した。

2. 岩石選定と CO₂ 鉱物化率の解析

先行研究において、玄武岩、斑レイ岩、橄欖岩、蛇紋岩という四種類の主要岩石を対象に鉱物化試験が行われた。この実験結果から、蛇紋岩と橄欖岩が CO₂ 鉱物化において優れた効果を示すことが明らかになり、本研究はこの発見に基づいて、これら二つの岩石の鉱物化過程における具体的な作用とメカニズムをさらに探求した。

橄欖岩は Mg と Fe から成るケイ酸塩鉱物で、密集した晶体構造が CO₂ 反応の効率に影響を及ぼすことが分かっている。一方、橄欖岩が水で変化した蛇紋岩中に含まれる蛇紋石は Mg₃Si₂O₅(OH)₄ の化学式を持ち、層状の晶体構造が柔軟性と良好な可裂性を持ち、CO₂ 鉱物化において優位性を示す。特に、蛇紋石表面の活性水酸基(OH⁻)が CO₂ の吸着と炭酸塩への変換を促進し、生成された H₂O が表面化学に影響し、CO₂ 鉱物化反応を加速する。

これらの知見に基づき、本研究では特定の実験条件下で蛇紋岩と橄欖岩の CO₂ 鉱物化反応をさらに詳細に調査した。実験条件は、温度 30 °C、湿度 95%、CO₂ 濃度 20% で、岩石の粒径は 25 μm に統一した。この条件下で、両岩石をインキュベーター内で 14 日間反応させる試験を実施し、CO₂ 鉱物化量として評価した (図 1)。この実験から、蛇紋岩における CO₂ 鉱物化反応率には明らかな違いがあることが確認された。

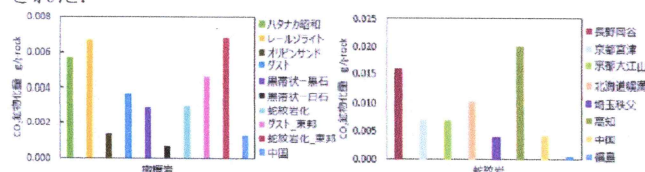


図 1. 天然岩石の CO₂ 鉱物化データ

また、水の吸着量と CO₂ 鉱物化量との関係を探求した。図 2 に H₂O の吸着量の増加に伴い、鉱物化量の関係を示す。

実験結果から、水の吸着量の増加と CO₂ 鉱物化量の増加には相関があることが示唆された。これは、水の吸着量の増加が CO₂ の鉱物化プロセスを促進する可能性があり、これは水分子が CO₂ の溶解と輸送の媒介として機能し、鉱物化反応を加速する

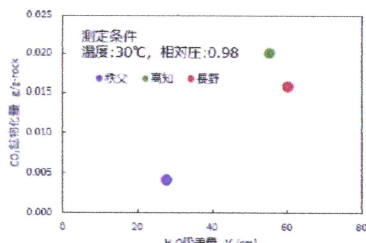


図 2. 蛇紋岩の H₂O の吸着データと CO₂ 鉱物化量の関係

ためと考えられる。本結果より、CO₂ 鉱物化過程で優れた効果を示す高知県の蛇紋岩と長野県の蛇紋岩が実環境場の試験対象の候補とした。

3. 蛇紋岩の CO₂ 鉱物化効率への湿度の影響

CO₂ 鉱物化効率化において湿度の影響を考慮し、前項で選定した高知県産と長野県/岡谷市産の蛇紋岩に焦点を当てて、CO₂ 鉱物化において異なる反応特性を解析すべく、化学組成と物理的特性を分析し、H₂O の添加による湿度変化が CO₂ 鉱物化反応に与える影響を試験と理論で探求した。H₂O の添加によって水膜が形成され、CO₂ の溶解度が増し、金属イオンとの反応過程が促進されると推察され、CO₂ の水膜内での Fick 則に基づく拡散や、岩石の可溶性と化学反応動力学が CO₂ 鉱物化反応に重要な影響を及ぼすことが考えられる。

上記の推論に基づき、異なる H₂O 添加量 (0wt%, 20wt%, 40wt%, 60wt%, 80wt%) で CO₂ 鉱物化試験を実施した。結果として、高知県の蛇紋岩は、80wt% の H₂O 添加量で CO₂ 鉱物化率が顕著に向上し、反応抵抗が小さくなることが示された。これは、塩基性を示す岩石表面の水膜中への CO₂ 溶解濃度に依存して、水中の CO₂ 分子の効率的な拡散が影響していると見られる。一方、長野の蛇紋岩は 40wt% の H₂O 添加量で最大の鉱物化率を示し、これは水膜中の岩石表面での金属イオンの溶解に依存すると同時に、その層状構造の特性によるものであると考えられる。

特定の湿度条件を設定し、適切な厚さの水膜を岩石表面に形成することで、CO₂ 鉱物化効率が大幅に向上することが確認された。図 3 は湿度の増加が CO₂ 鉱物化率を顕著に向上させることを示しており、H₂O の添加によって形成される水膜は、塩基性を示す岩石表面における CO₂ の溶解濃度を高めるため、溶解した CO₂ の濃度が増加し、それに伴い初期の反応速度を増加させると予想される。

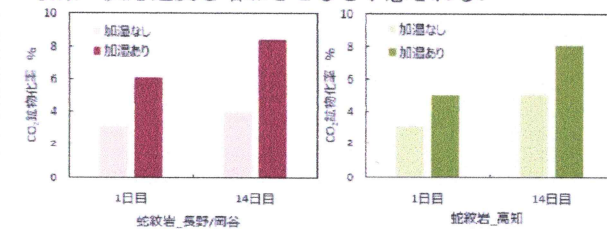


図 3. 湿度の影響における蛇紋岩の CO₂ 鉱物化データ

CO₂ 鉱物化試験から得られた拡散係数 D を基に、未反応核モデルから導出された速度式 (式 3.1) を用いて、自然条件下での天然岩石の CO₂ 鉱物化プロセスを予測した。図 4 は大気環境下での 1 年間の CO₂ 鉱物化率の推移の予測を示しており、湿度の影響により CO₂ 鉱物化率が顕著に増加していることが示された。

$$v = \frac{6 \cdot C_{CO_2} \cdot D \cdot R}{\delta^2 \cdot \rho_{Ca} \cdot \rho_{Mg} \cdot (3R - 2\delta)} \quad (3.1)$$



図 4. 蛇紋岩の CO₂ 鉱物化予測