

2024 年度
創発的研究支援事業 年次報告書【公開版】

研究担当者	宇野 正起
研究機関名	国立大学法人東北大学
所属部署名	大学院 環境科学研究科
役職名	准教授
研究課題名	化学反応による岩石破壊が拓く加速度的 CO ₂ 鉱物固定
研究実施期間	2024 年 4 月 1 日～2025 年 3 月 31 日

研究成果の概要

本年度は、前年度に実験的に実現した CO₂ 鉱物固定に伴う反応誘起破壊について、追加実験および生成物の詳細解析とともに、地化学モデリングによる定常状態解析、および 1 次元反応輸送モデリングをおこない、反応誘起破壊プロセスとその発現条件を検討した。

追加実験では、前年度に引き続きブルース石に富む蛇紋岩を反応させ、CO₂ 飽和水では生成物の目詰まりで反応が停止するのに対して、NaHCO₃ 溶液では反応誘起破壊を再確認した。生成物の解析からは、反応誘起破壊により有意に炭酸塩化反応が促進されていることを明らかにした。

これらの実験条件を模擬した地化学モデリングにより、ブルース石 [Mg(OH)₂] の溶解速度とマグネサイト [MgCO₃] の沈殿速度が釣り合う準定常状態を解析した。CO₂ 飽和水では Mg 濃度が高く、反応による Mg 消費速度と溶液中の Mg 拡散速度が同程度であり、試料外面へのマグネサイト析出組織を説明できる。NaHCO₃ 溶液では Mg 濃度が低く拡散が遅いため、沈殿反応速度が拡散速度を約 800 倍上回り、試料内部でのマグネサイト析出組織を説明できる。上記の考察より、反応速度と拡散速度の競合が、マグネサイトの析出位置を決定し、マクロな反応誘起破壊の発現を支配することが示唆された。

1 次元反応輸送モデリングでは、ブルース石溶解速度とマグネサイト沈殿速度に温度および pH、CO₃²⁻ 活量依存性を導入し、反応の時空間発展をモデリングした。さらに、溶液中のマグネサイト過飽和度に基づいて、発生しうる結晶化応力を見積もる方法論を新たに開発した。その結果、溶解速度に対して沈殿速度が遅く、拡散速度がさらに遅い場合に限って、溶解フロント周囲に高い過飽和度が出現し、数百 MPa から GPa に達する極めて高い結晶化応力が発生しうるということが分かった。

以上より、溶解速度、沈殿速度および拡散速度の競合が、反応誘起破壊の発現を支配することを示しつつあり、これに基づいた反応誘起破壊発現条件に関するスケーリング則を構築しつつある。