

二酸化炭素地中貯留に向けた玄武岩の溶解実験

Experimental Study on Basalt Dissolution for Carbon Dioxide Underground Sequestration

片山 智弘^{1*}, 鹿園 直建¹, 高谷 雄太郎², 加藤 泰浩²

Tomohiro Katayama^{1*}, Naotatsu Shikazono¹, Yutaro Takaya², Yasuhiro Kato²

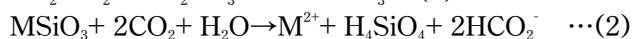
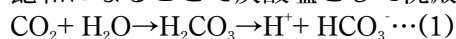
¹慶應義塾大学大学院, ²東京大学大学院

¹Graduate School, Keio University, ²Graduate School, University of Tokyo

1. 序論

地球温暖化が世界的な環境問題となるなか、その主要な原因と考えられているCO₂の排出削減へ向け様々な対策が考案・実施されている。この中でも近年、CO₂地中貯留技術に注目が集まっている。

CO₂地中貯留技術に関しては多くの研究が行われているものの、圧入したCO₂の挙動には未だ不明な点が多い。特に、圧入されたCO₂の地表への漏洩といった安全面で大きな課題が残されている。現在、貯留安全性の向上を目的として、化学反応を利用したCO₂のトラッピングが提案されている。これはCO₂が地下水に溶解し、帯水層を構成する岩石と反応(溶解トラッピング; (1), (2)式)した後、重炭酸イオンとM²⁺(Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺などの2価の金属イオン)が炭酸に関して過飽和になることで炭酸塩として沈殿する(鉱物トラッピング; (3)式)というものである。



(3)式によってCO₂は炭酸塩として安全に固定できるが、そのためには(2)式に示した岩石の溶解反応の進行が重要である。また、この反応速度は貯留地の母岩によっても異なる。

そこで、本研究では2価イオンになる金属元素(Ca, Mg)を多く含み、我が国にも広く分布する玄武岩を貯留地の母岩として想定し、過去に例のないCO₂圧入系による玄武岩の溶解実験を行い、反応速度の指標である溶解反応速度定数を算出した。また、溶解反応速度定数を用いてCO₂地中貯留の長期シミュレーションを行ない、玄武岩帯水層が圧入CO₂量に対してどの程度のCO₂量を鉱物として固定可能かという検討を行った。

2. 試料・分析・実験方法

試料には、富士、八丈島、北松浦、ハワイで採られた玄武岩をそれぞれ試料1~4として用いた。各試料は、蛍光X線分析法(XRF)および粉末X線回折法(XRD)でその主成分化学組成と構成鉱物の分析を行い、走査型電子顕微鏡(SEM)にて画像を撮影した。

溶解実験は、水と岩石試料を耐圧容器に入れCO₂ガスを6.0~7.0MPaで圧入し行った。反応後は吸引ろ過し、固相と液相に分離した。液相はpHを測定し、誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)で主成分元素濃度の測定を行った。また、固相は乾燥させ、再度XRF, XRD分析を行った。

そしてそのデータから溶解反応速度定数を解析的に計算し、これを用いて溶解速度則に基づく長期シミュレーションを行った。

3. 結果および考察

XRFとXRDの結果から玄武岩の鉱物組成は斜長石が約半分を占め、この他にかんらん石、輝石

などを含むことが分かった。

次に、玄武岩の溶解反応速度式を解析的に微分方程式として計算し一般解を算出した。本研究で用いた玄武岩中に最も多く含まれていた斜長石を構成鉱物として代表させ、斜長石の結晶構造を作り、溶解反応を律則するSiを用いて計算を行い、溶解反応速度定数 k ($\text{Si mol/m}^2 \cdot \text{s}$)を算出した。

結果、試料1で $\log k = -9.93$ と求められた。同試料(富士玄武岩)の、水のみでの溶解実験の結果(原田, 2005遠藤, 2004)と、本研究と同条件で花崗岩を用いた先行研究(伊藤, 2008)、玄武岩質ガラスの溶解実験を行ったGislason et al. (2003)の結果を比較したところ(Fig. 2)、本研究で得られた溶解反応速度は花崗岩($\log k = -11.14$)に対して10倍程度大きな値になっていることが分かった。また、Gislason et al. (2003)の結果は反応温度が 50°C にも関わらず遠藤(2004)と同程度の高い溶解速度を示した。これはGislason et al. (2003)の試料が火山灰から採取した玄武岩質ガラスであり、急激に冷え固まったものであることが考えられる。火山灰は、急冷されるため構成鉱物の結晶構造がしっかりと形成されず、構成鉱物の多くが溶解速度の速いガラス質(非晶質)の玄武岩であるため、溶解速度が非常に速くなったと考えられる。

最後に、溶解実験から求めた鉱物の溶解速度定数を用いて、玄武岩質帯水層への CO_2 貯留を想定した場合の長期シミュレーションをPATHARCを用いて行なった。この結果、試料1では約25年後に CO_2 が炭酸塩鉱物であるCalciteやDolomiteとして固定され始め、約300年後には圧入された CO_2 の94.41%が鉱物として固定された。これは原田(2005)における玄武岩の CO_2 を圧入しなかった溶解実験での速度定数を用いたシミュレーションよりも75年程速い結果であった。以上より、理論計算ではあるが、玄武岩は母岩として CO_2 を安全に貯留できると考えられる。

キーワード: 二酸化炭素地中貯留, 玄武岩, 溶解反応速度定数, シミュレーション

Keywords: carbon dioxide underground sequestration, basalt, the dissolution rate constant, simulation