

炭酸塩鉱物を用いた深部地下環境の長期安定性に関する解析例

Study on long-term stability of geochemical environments using fracture-filling calcite at deep underground

水野 崇 [1]; 岩月 輝希 [1]

Mizuno Takashi[1]; Teruki Iwatsuki[1]

[1] 原子力機構 東濃

[1] JAEA Tono

日本原子力研究開発機構では、地下深部の地球化学環境の長期的変遷を把握するための調査研究および技術の開発を行っている。これまでの研究の結果、地下水の滞留時間を越える時間スケールでの長期的変遷を推察するための指標として、水-岩石反応時における地下水の化学的環境を反映した二次鉱物が有効であることがわかっている。特に炭酸塩鉱物(主に方解石)は岩石中に一般的に産出する鉱物であり、低温環境下においても沈殿を形成するため、方解石が沈殿した時代の地下水の化学環境(pH, 酸化還元状態および化学組成)を推察するための指標として利用できる可能性がある。

本研究では、地下水の化学環境について、その変遷を推察するための手法を確立することを目的として、方解石を対象とした結晶形とカソードルミネッセンス(CL)像の観察および流体包有物の塩濃度解析を行った。研究対象とした試料は、土岐花崗岩を対象として掘削したボーリング孔(垂直孔、掘削深度約1,012m)のボーリングコアであり、花崗岩中の割れ目に産する方解石を10深度から採取した。

微視的な観察の結果、方解石は地下水の化学環境の変化に応じて沈殿が4世代におよんでおり、それらが結晶内によく保存されていることが確認できた。各世代の方解石を古い順にGeneration IからIVとした。それぞれの世代の方解石について、Generation Iについては明瞭な結晶形を示さないこと、母岩の碎屑物を多く含むこと、結晶の割れ目に沿って産出することから、断層運動等による割れ目の活動に伴う熱水から沈殿した方解石である可能性が考えられる。これ以降の方解石は自形を示し、世代によって結晶形が変化している。従来の研究結果に基づくと、Generation IIおよびIVが示す板状もしくは多面体の結晶形は、淡水系の地下水が存在する環境下で沈殿したと考えられ、Generation IIIが示す伸長した結晶形は塩濃度が高い環境下で沈殿したと推測できる。このことは、それぞれの方解石が沈殿する過程で、地下水の化学環境が変化した可能性を示唆する。他方、流体包有物がGeneration IIおよびIIIにのみ認められ、それらの塩濃度は0.47wt% NaCl Eq. ~ 4.53 wt% NaCl Eq. の範囲を示した。Generation IIIの流体包有物がわずかに高い塩濃度を示すものの、分布範囲に顕著な差はなく、それぞれの世代において最も高い濃度が概ね海水程度の塩濃度(3wt% NaCl Eq. が概ね海水の30,000ppm NaClに相当)を示す。ただし、どちらの世代においても多くの流体包有物は1wt% NaCl Eq. 未満の値を示し、塩濃度の低い地下水が支配的であったと考えられる。これらのことは、Generation IIおよびIIIが沈殿する過程で、塩濃度の高い地下水と低い地下水の両方が存在した可能性を示唆するものの、上で述べた様に、Generation IIの方解石の結晶形は淡水系の地下水から沈殿したことを示唆していることから、Generation IIの方解石は塩濃度の低い地下水から、Generation IIIの方解石は塩濃度の高い地下水から沈殿したと考えられる。

以上の方解石の観察および流体包有物の解析の結果からは、化学環境の異なる3つの地下水が存在していたことが推察される。すなわち、1) Generation Iを沈殿させた断層活動に伴うと考えられる地下水、2) Generation IIおよびIVの方解石を沈殿させた淡水と考えられる地下水、3) Generation IIIを沈殿させた塩濃度の高い地下水、である。1)の地下水については、それ以降の方解石中に同様の産状を示す方解石が認められないことから、Generation Iの沈殿後はほとんど存在しなかったと考えられる。2)と3)については、流体包有物の解析において多くの結果が1% NaCl Eq. 未満の低い塩濃度を示したことから、支配的に存在していたのは2)の地下水であったと考えられる。Generation IVはGeneration IIと同様の結晶形を示すことから、Generation IIIが塩濃度の高い3)の地下水から沈殿した後、再び2)と同様の化学環境を持つ地下水から沈殿したと考えられる。

一方、これらの変遷を地史的な視点から検討した場合、土岐花崗岩の上位に分布する第三系の堆積岩は、下位から湖成層、海成層、湖成層と堆積環境が変化していることから、方解石の結晶形や流体包有物の塩濃度がこの履歴を反映しているとも考えられ、海成層の堆積と塩濃度の高い地下水からのGeneration IIIの沈殿が同じイベントの結果である可能性が考えられる。

本研究の結果は、方解石の微視的観察と流体包有物の解析により、過去の地下水の化学環境の変化の変遷を把握できる可能性を示すものである。今後は、各世代の方解石とそれらを沈殿させた地下水の対比を行い、これまでに存在した地下水の起源等を把握することによって、本手法をより確実なものにしていく予定である。