

## 断層破砕帯における物質移動：破砕による影響と母岩の組成の影響 Mass transport in a fault zone: effects of fracturing and host rock lithology

丹羽 正和<sup>1\*</sup>, 黒澤 英樹<sup>1</sup>, 水落 幸広<sup>2</sup>, 棚瀬 充史<sup>3</sup>  
Masakazu Niwa<sup>1\*</sup>, Hideki Kurosawa<sup>1</sup>, Yukihiko Mizuochi<sup>2</sup>, Atsushi Tanase<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 日本原子力研究開発機構, <sup>2</sup> 住鉱資源開発, <sup>3</sup> 地圏総合コンサルタント  
<sup>1</sup> Japan Atomic Energy Agency, <sup>2</sup> SRED, <sup>3</sup> Chi-ken Sogo Consultants Co., Ltd.

断層破砕帯の発達には岩盤の透水構造を大きく変化させる場合が多いので、しばしば地下水流動に影響を及ぼす(例えば, Caine et al., 1996, *Geology*)。地下での物質移動は地下水流動に大きく依存することから、放射性廃棄物の地層処分における安全評価などでは、断層活動と物質移動との関係を明らかにすることが非常に重要である。これらの安全評価では、対象となる地質環境をモデル化し、核種移行解析などが行われるが、現状では、断層活動に伴う物質移動のモデル構築に必要な実測データが十分とは言えない。そこで本研究では、詳細な露頭記載のある岐阜県の阿寺断層の破砕帯を対象に、断層岩の蛍光X線分析及び誘導結合プラズマ質量分析による全岩化学組成分析を行い、断層活動に伴う物質移動について検討を進めた。

調査地域では、北西-南東走向の断層を挟んで西側に濃飛流紋岩の溶結凝灰岩、東側に苗木-上松花崗岩が分布する(Niwa et al., 2009, *Island Arc*)。破砕帯露頭は西側から、溶結凝灰岩の断層角礫からなるダメージゾーン、溶結凝灰岩や花崗岩の断層角礫及びガウジを主体とする断層コア、花崗岩のカタクレーサイトからなるダメージゾーンの順に分布する。X線回折分析からは、断層コアや溶結凝灰岩の断層角礫はスメクタイトに非常に富む。花崗岩のカタクレーサイトは一般に粘土鉱物に乏しいが、若干のカオリナイトが認められる。断層コアには、上野玄武岩起源と想定される苦鉄質岩の黒色の角礫や、単斜輝石の鉱物片も含まれる。苦鉄質岩の角礫は、炭酸塩鉱物でコーティングされているのが特徴である。化学分析結果のうち、希土類元素(REE)やU, Thについて着目すると、特に重希土類元素(HREE)やUが、断層コアに濃集する傾向が認められた。

断層活動に伴う破砕粒子の細粒化による反応表面積の増大やフリーラジカルの新生が、粘土鉱物形成を引き起こす水-岩石反応を促進させることは既に指摘されており(Wintsch et al., 1995, *JGR*; Kameda et al., 2003, *GRL*)、本露頭でも、断層岩の産状と粘土鉱物組成から、同様の傾向が見えている(Niwa et al., 2009)。HREEやUの断層コアへの濃集が断層活動に伴って起こったとすると、その濃集メカニズムとして、粘土鉱物への吸着が考えられる。粘土鉱物への吸着反応としては主に、イオン交換反応と鉱物表面への錯体反応がある。イオン交換反応に関しては、軽希土類元素(LREE)の方がHREEよりイオン半径が大きいために水和半径が小さく、スメクタイトのような2:1型粘土鉱物中に選択的に固定されやすいとされている(大谷ほか, 2005, *資源地質*)。一方、表面錯体反応については、REEは炭酸塩や有機物と錯体を作りやすいが、これらの錯体は、HREEの方がLREEよりも安定であるとされている(鹿園ほか, 2006, *資源地質*)。断層コアでは前述の通り、苦鉄質岩の角礫への炭酸塩鉱物の濃集が顕著であり、それに伴いHREEも移動した可能性がある。なお、粘土鉱物とは別に、鉄酸化物や鉄水酸化物による吸着(赤川ほか, 2004, *地質雑*)も考えられるが、本露頭ではHREEやUとFeの間に明瞭な正の相関は見られない。

REE, U, Thの濃集メカニズムとしては吸着の他に、これらの元素を含む鉱物の溶解・沈殿が挙げられる。苗木-上松花崗岩はジルコンやモナザイト等の放射性鉱物に富むが(Ishihara and Wu, 2001, *地質調査研究報告*)、HREE, UとZrやPとの間に明瞭な正の相関は無く、放射性鉱物の偏在性がHREEやUの濃集の主要因となっている可能性は低い。また、4価のCeを除き、HREEはLREEよりも低いpHでしか沈殿しないため(鈴木, 1998, *希土類の話*, 裳華房)、HREEの濃集の主要因は、沈殿によるとは考えにくい。一方、Th/U-Ce/Uプロットからは、断層コアは相対的にCeに乏しくUに富み、還元的な環境を示す。断層コアでは、苦鉄質岩の角礫へのCaの濃集に加え、Sの濃集も認められる。地下水中のUが炭酸イオンや硫酸イオンと結合して錯イオンを形成し、還元環境下の断層コアで沈殿(小林, 1989, *鉱山地質*)した可能性がある。

以上の検討より、本地域では、粘土鉱物を形成するような破砕に伴う水-岩石反応に加え、破砕帯に沿って苦鉄質岩の角礫が混入しているという母岩の不均質性が、REEの表面錯体反応やUの溶解・沈殿というイベントを通じて、断層活動における物質の濃集に大きく影響していることが示唆される。

キーワード: 断層破砕帯, 物質移動, 希土類元素, 粘土鉱物, 炭酸塩鉱物

Keywords: fault zone, mass transport, rare earth element, clay mineral, carbonate