断層粘土のK-Ar年代測定
～自生鉱物の高純度分離手法と研究例～

山崎誠子*・山田国見*・田上高広**・H. Zwingmann***

K-Ar dating of fault clays
– Case studies and precise separation of authigenic clay minerals–

Seiko Yamasaki*, Kunimi Yamada*, Takahiro Tagami** and H. Zwingmann***

* 日本原子力研究開発機構，Japan Atomic Energy Agency
** 京都大学大学院理学研究科，Graduate School of Science, Kyoto University
*** 豪州連邦科学産業研究機構，Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization

はじめに

断層の活動性を評価する上で，活動時期の推定は最も重要な課題の一つである．一般的に活動時期の推定は，断層により変位している層と被覆層の年代で挟み込むという層序学的な手法や，断層により形成される地形の年代推定による．しかし，適切な層がない場合や周辺の情報が充分得られない場合には，断層内物質そのものを使って活動性を評価する必要がある．その一つの方法として，1970年代頃から試みられてきた断層ガウジの年代測定（例えば，Lyons and Snellenberg, 1971）がある．これは，断層活動直後に割れ目に沿って上昇した熱水により晶出した粘土鉱物の年代が，断層の活動年代とほぼ同じとみなすことができるのではないかという考えに基づいている．国内では，中央構造線等を対象に数例（例えば，柴田・高木，1988）実施されているが，推定年代よりも古い年代値が得られる場合があった．その原因は，原岩の砕屑物の混入と考えられ，前処理の重要性が指摘されてきた．近年，従来用いられてきた<2μmより細かくサイズ分離し，各フラクションの鉱物学的解析を併せて年代値を解釈する試みが行なわれている（例えば，Zwingmann et al., 2010）．東濃地科学センターにも分離・測定システムを確立することを目指し，技術修得のために豪州連邦科学産業研究機構（CSIRO）に１ヶ月間滞在する機会を得たため，そこで実施されている分離法と得られた成果について紹介する．

自生鉱物の高純度分離と鉱物学的解析

分離と解析の流れを図1に示す．まず乾燥させたガウジ試料の一部（5mm大程度）をステージに固定し，走査型電子顕微鏡（SEM）で表面構造を観察する．粘土化が進んだ試料は滑らかな表面を持ち，鉱物端から粘土鉱物が成長している様子が観察できることもある．付属のエネルギー分散形分光器（EDS）を用いて化学組成分析を行な

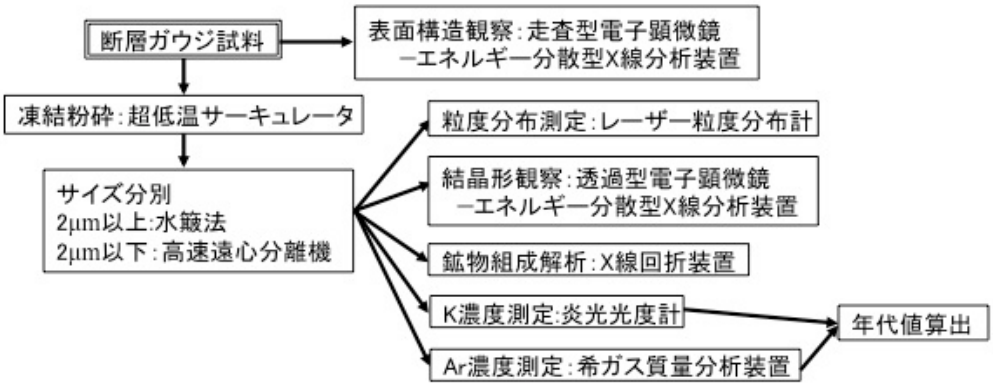

図1．断層ガウジ試料の分離と解析の流れ

い，カリウムを含むイライトが充分含まれているか，年代測定が可能かの目安をつけるためにも用いられる．

自生鉱物を高純度で分離するためには，粉砕（分散）の過程で人工の破砕物を作らないことが重要である．超音波や乳鉢による従来の粉砕法より丁寧に粘土鉱物粒子をばらばらにするために，5cm大程度に粗く砕いた試料を純水とともにボトルに入れ，鉱物層間の水の凍結・融解を数時間ごと繰り返す．数週間から数ヶ月で粘土が沈殿した懸濁液になる．

<2μm以上のフラクションは水篩法，より細かいフラクションは高速遠心分離により分離する．分離精度はレーザー分散型粒度分布計で確認するとともに，カーボンメッシュ上で乾燥させ，透過型電子顕微鏡（TEM）を用いて含まれる粒子サイズと形状等を観察する．一般的にイライトは成長速度が長いと板状に，断層運動に伴う熱水活動により晶出するときのように短い時間では針状に成長すると考えられている．また，自形でシャープな境界を持つ自生鉱物と，破砕物が区別できる．

分離フラクションの鉱物組成はX線回折法（XRD）により求められる．多くの場合，より細かいフラクションにイライト，スメクタイトなど粘土鉱物が濃集され，<2μmフラクションには原岩由来の石英や長石の混入が見られる．また，イライトは主に晶出温度により結晶構造のタイプ（ポリタイプ）が異なることを利用し，XRDで得られた高温型と低温型の量比により年代値を解釈する方法（Illite Age Analysis; IAA; Hunziker et al., 1986）も提案されている．

土岐花崗岩中の断層ガウジの年代測定

原子力機構瑞浪超深地層研究所の立坑壁面にほぼ垂直に存在する土岐花崗岩中の断層から採取されたガウジ試料についての研究例（Yamasaki et al., 2013）を紹介する．花崗岩地域であるため原岩にイライトが含まれず解釈が単純であることと，新鮮部についてフィッション・トラック（FT）年代などの既報年代も多く，また地表露頭に比べて坑道からは地表水による変質を受けていない新鮮な試料が得られるため，年代値を評価する上で有利である．この断層は土岐花崗岩を覆う瑞浪層群を変位させていないため，20Maより古いことがわかっていたが，詳細な活動時期はこれまでわかっていなかった．試料を<0.1，<0.4，<2，2-6，6-10μmサイズに分離し，それぞれについて年代を測定した結果，細粒フラクションほど若い年代が得られ，より最近の活動で生成された自生鉱物を多く含むという従来の仮説と整合的であった（図2）．<2μm以上の試料の年代は約53Maでほぼ一致し，年代値に影響するような原岩物質も含まれていなかったため，断層の活動開始時の大規模な粘土化の年代と考えられる．最も細粒のフラクションのTEM観察では針状のイライトも確認され，断層運動に伴う熱水活動は少なくとも43Maまで続いていたと考えられる．ただし，より低温で生成されるスメクタイトも含まれており，カリウムを含まないスメクタイトの年代はK-Ar法では検出できないため，43Maを直接この断層の最終活動と言い切ることは困難であろう．また，原岩新鮮部のジルコンFT年代（約65Ma）とアパタイトFT年代（約40Ma）の間の年代を示すことは，土岐花崗岩の冷却史において300℃以下の脆性破壊を起こしうる段階，またイライトが安定に存在する温度帯（約100～200℃）とも整合する．一方で，花崗岩中の断層であるにもかかわらず，これまでは続成作用によるイライトと解釈されてきた高温型のイライトも含まれていることがXRD分析で明ら

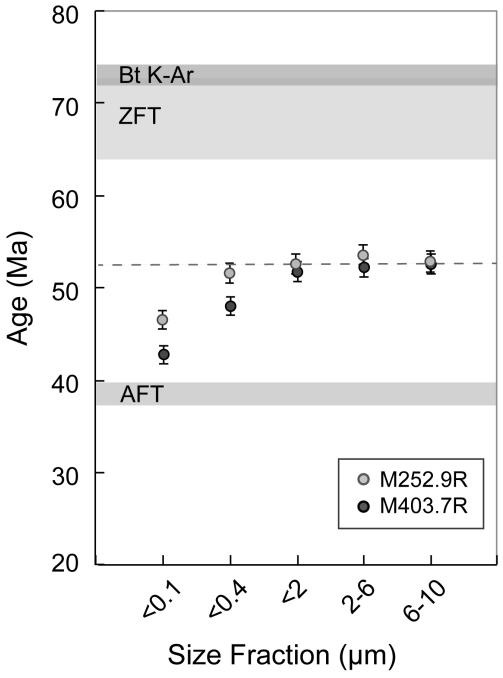

図2．土岐花崗岩中の断層ガウジの年代測定結果（Yamasaki et al., 2013）．試料は252.9m（M252.9R），403.7m（M403.7R）から採取．グレーで示した年代幅は原岩新鮮部の各種年代測定結果（山崎・梅田，2012）．

かになり，断層活動でも条件が揃えば高温型のイライトも生成されることが示された．解釈には未だ難しさが残るものの，細粒まで分離を行なうことで，より若い活動を検出でき活動時期を幅で捉えることが可能である．生成条件のモデル計算や鉱物成長実験等も併せて，今後さらに検討していく必要がある．

文献

Lyons, J., Snellenberg, J., 1971, Dating faults. Geological Society of America Bulletin 82, 1749 – 1752.

Hunziker, J.C., Frey, M., Clauer, N., Dallmeyer, R.D., Friedrichsen, H., Flehmig, W., Hochstrasser, K., Roggwiler, P., Schwander, H., 1986, The evolution of illite to muscovite: mineralogical and isotopic data from the Glarus Alps, Switzerland. Contributions to Mineralogy and Petrology 92, 157–180.

柴田賢，高木秀雄，1988，中央構造線沿いの岩石および断層内物質の同位体年代—長野県分杭峠地域の例—. 地質学雑誌, 94, 35-50.

Yamasaki, S., Zwingmann, H., Yamada, K., Tagami, T., Umeda, K., 2013, Constraining the timing of brittle deformation and faulting in the Toki granite, central Japan. Chemical Geology, 351, 168-174.

山崎誠子，梅田浩司，2012，山陽帯東部，土岐花崗岩体の冷却史. 岩石鉱物科学, 41, 39-46.

Zwingmann, H., Yamada, K., Tagami, T., 2010, Timing of brittle faulting within the Nojima fault zone, Japan. Chemical Geology, 275, 176–185.