

断層運動が石英の水和層厚さに及ぼす影響：SIMSによる分析

Influence of fault activity to hydration thickness of quartz: Application of SIMS analysis

*丹羽 正和¹、島田 耕史¹

*Masakazu Niwa¹, Koji Shimada¹

1. 日本原子力研究開発機構

1. Japan Atomic Energy Agency

断層の活動性評価は一般に、断層によって変位を受けた地層と断層を被覆する新しい地層の年代とから断層運動の時期を推定する上載地層法によって行われるが、断層を被覆する若い年代の地層との関係が露頭で欠如している場合も多く、上載地層法が適用できない断層も数多く存在する。一方、基盤岩中の破碎帯の新鮮な露頭が侵食によって露出している場合、破碎帯の物質科学的解析から直接的に断層運動の有無やその時期が特定できれば、断層の活動性評価の充実度が格段に増すことが期待される。

過去の地震性すべりの物質科学的な痕跡としては、摩擦溶融によるシュードタキライトの形成に加え、断層ガウジの流動化や粘土鉱物の分解などが主張されているが、断層面でのシリカの水和・ゲル化もそのうちの一つである (Faber et al., 2014)。考古学分野では、石像や石斧などの材料となる黒曜石 (ガラス) の年代を推定する手法として、水和層の厚さ測定が適用されている (勝井・近堂, 1967; Stevenson et al., 1989)。火山ガラスについても、偏光顕微鏡観察による屈折率の違いから水和層を認定し、その厚さと堆積時期との相関関係が見出されている (山下・檀原, 1995; 生田ほか, 2016)。堆積環境にもよるが、火山ガラスの水和速度は概ね $1 \mu\text{m}/\text{千年}$ のオーダーである。一方、石英はガラスと比べて水和速度が非常に遅く、室温での拡散係数にすると、前者は $10^{-21} \text{ cm}^2/\text{s}$ 程度、後者は $10^{-17} \text{ cm}^2/\text{s}$ 程度である (Ericson et al., 2004)。ただし、天然試料の観察や実験的研究からは、断層面において、水和したシリカの潤滑が地震性滑りに大きく寄与している可能性のある証拠が得られており (Hayashi and Tsutsumi, 2010; Kirkpatrick et al., 2013)、断層運動が水和層の成長を促進させている可能性がある。

そこで本研究では、断層運動が石英の水和層厚さに及ぼす影響を評価するため、二次イオン質量分析装置 (SIMS) によってイオンビームを石英表面に照射し、発生する二次イオンを分析することによって水和層の厚さを推定することを試みた。SIMS分析は材料科学技術振興財団において実施し、用いた装置はPhysical electronics PHI 6650またはPHI ADEPT 1010である。一次イオンとしてCsイオンを照射し、二次イオンとしてH, Si, O, Alイオンの強度の試料表面からの深さ $10 \mu\text{m}$ までのプロファイルを取得した。石英標準試料も併せて計測し、規格化处理により、水和層の発達の指標としてHイオンの濃度の深さ分布を計算した。一次加速電圧は5.0 kV、検出領域は約 $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ である。

本研究ではまず、付加体チャート試料 (カリフォルニアのFranciscan Complexおよび日本の美濃帯) を用いてSIMS分析を行った。チャートの定常的な水和層の形成速度に対し、断層運動の影響により水和層がどれだけ成長しているかを評価するため、同じ岩石試料において、1) 鏡肌の明瞭な断層面、2) 断層運動を被っていない自然の岩石表面で凹凸のほとんど無い部分、3) 研磨した岩石内部の面、のそれぞれについて二次イオンの深さプロファイルを取得して比較した。その結果、1) では、少なくとも試料表面 (汚れや微妙な凹凸の影響が無視できない部分は除く) から深さ $1 \mu\text{m}$ 程度まではそれ以深よりもHイオン濃度が数倍大きくなっているのに対し、断層すべり面と関係のない2)や3)では、Hイオン濃度が深度方向にほとんど変化していないことが明らかとなった。既往の研究では黒曜石の水和層の厚さの分析でSIMSが適用された例はあるが (Liritzis and Laskaris, 2009)、本研究により、断層面の石英の水和層厚さの推定にもSIMSが適用できる見通しが得られた。今後は、水和層の厚さの違いと断層の活動時期との関係を検討するため、さらに多くの試料に対して測定を試していきたい。

キーワード：断層、石英、水和、二次イオン質量分析

Keywords: Fault, Quartz, Hydration, SIMS

野島断層トレンチ破砕部の石英ルミネッセンス測定

Luminescence measurement of quartz from Nojima Fault Trench

*三浦 知督¹、長谷部 徳子¹、鷹澤 好博²、田上 高広³、林 愛明³

*Kazumasa Miura¹, Noriko Hasebe¹, Yoshihiro Ganzawa², Takahiro Tagami³, Aiming Lin³

1. 金沢大学、2. 北海道教育大学、3. 京都大学

1. Kanazawa University, 2. Hokkaido University of Education, 3. Kyoto University

1. はじめに

1995年1月17日の兵庫県南部地震では、六甲・淡路島断層帯の一部である淡路島西岸の野島断層で断層の南東側が北西側に比べ最大1.4m隆起し、南西の方向へ最大2.1mのずれが生じた。本研究では、野島断層を対象とした2015年のトレンチ調査から得た破砕部の石英試料を用いて、断層活動によるルミネッセンスシグナルへの影響と蓄積線量を調査した。

2. ルミネッセンス測定

ルミネッセンス法には、熱ルミネッセンス (TL) 法、光励起ルミネッセンス (OSL)法などが知られている。本研究では、花崗岩由来の石英試料を年代測定する際に用いる青色熱ルミネッセンス (BTL) 法と、OSL法と同じ発光波長を用いる紫外線領域熱ルミネッセンス (UV-TL) 法を用いた。これらのシグナルは、加熱や光曝により蓄積シグナルがリセットされる特性を持つ (小畑ほか, 2015)。シグナルリセットに必要な温度・時間条件を考える際には、ある温度におけるシグナルの減衰に必要な時間の指標として平均寿命 τ 値を算出する。この温度・時間条件はESR法やK-Ar法と比較して非常に低温、短時間であることから断層の最終活動時期を特定することができる可能性を持っている (鷹澤ほか, 2013)。

3. TLシグナルのピーク温度

六甲花崗岩類の母岩試料 (Host rock) と破砕部から5m程度離れた位置から採取した花崗岩試料 (E1) を用いて、TLシグナルのピーク温度を決定するために、10°C刻みのT-Tmax法を用いた測定を行った。実験結果はBTL、UV-TLでほぼ同様となり、ピーク温度は200°C、270°C、320°C付近と確定した。

4. 花崗岩類のルミネッセンス発光曲線

Host rock試料、E1試料、破砕部に近接するトレンチ内部の花崗岩由来の試料 (S1~S6) および断層ガウジ (Gouge) 試料から石英のみを分離し、TL測定を行いそれぞれの発光曲線を得た。それぞれの発光形状、発光強度ともに差異が見られた。

また、それぞれの試料にx線を段階的に照射して得た発光シグナルのピーク分離を行い求めた線量に対するピーク成長率を求めた。ピーク成長率に関しても、規則性は見られないという結果となった。

5. トレンチ試料の蓄積線量

各試料の蓄積線量 (Gy) を、発光シグナルのピーク分離を行い算出した。いずれの試料においても各温度ピークによって異なった蓄積線量値となり、200°Cピークの蓄積線量の値が最小値を示した。

キーワード：ルミネッセンス年代測定、石英、活断層

Keywords: luminescence dating, quartz, active fault

断層破砕物質を用いた断層の活動性評価手法の整備

Development of direct dating methods of fault gouges focused on the latest fault slip event

*宮脇 昌弘¹、内田 淳一¹

*Masahiro Miyawaki¹, Jun-ichi Uchida¹

1. 原子力規制庁 技術基盤グループ

1. Regulatory Standard and Research Department, Secretariat of Nuclear Regulation

我々は断層破砕物質から直接的に断層活動年代を測定するための手法の整備に着手した。本手法は、上載地層がない場合の断層の活動性評価に用いるものである。断層の最新活動時の年代値を得るためには、断層活動時の摩擦熱が年代のリセット温度に達した断層破砕物質を用いて年代測定をする必要がある。地表付近で採取した試料を用いて年代を測定すると、断層活動時に受けた摩擦熱が低いため年代が十分にリセットされず、年代値は実際よりも古く見積もられることがある。そこで、最新活動時期が分かっている断層を対象として、大深度（300～1,500m）の断層破砕物質を対象とした調査を行うこととした。

本研究は、以下のように1)～3)の項目からなる。1)リセット条件の検証：活動時期が分かっている断層を対象として破砕帯を貫く大深度のボーリング掘削を行い、信頼できる年代試料が採取できる温度・圧力条件、地質条件等を検証する。現在、1995年の兵庫県南部地震で活動した野島断層を対象として、年代のリセット条件等を把握するための複数の深度のボーリングを掘削している。2)ルミネッセンス年代測定法及び電子スピン共鳴（ESR）年代測定法による年代測定：採取した断層破砕物質を用いた最新活動面付近でのルミネッセンス年代測定法及びESR年代測定法による年代測定を行う。3)室内摩擦実験：採取した断層破砕物質を用いた水圧環境下での高速せん断摩擦実験を行い、断層の摩擦特性や年代のリセット条件の特定について整理する。これら1)～3)の複数の手法から得られた結果を比較・検証し、断層の活動性に関する総合解釈を行う。この研究を通じて精度の高い断層の最新活動時期を求めるための年代評価手法を確立する。

キーワード：断層破砕物質、断層活動、年代測定、大深度ボーリング掘削、高速せん断摩擦実験、断層破砕帯
Keywords: fault gouge, fault activity, dating, deep borehole drilling, high-velocity friction test, fault damage zone

New authigenic illite age and hydrogen isotope data to constrain the geochronological and geochemical framework of brittle faulting within the Nojima fault zone, Japan.

*Horst Zwingmann¹, Andreas Mulch², Takahiro Tagami¹

1. Department of Geology and Mineralogy, Kyoto University, 606-8502 Kyoto, Japan, 2. Institute of Geoscience, Goethe University Frankfurt, 60438 Frankfurt, Germany and Biodiversity and Climate Research Centre (BiK-F) and Senckenberg Research Institute, 60325 Frankfurt, Germany

Numerous recent case studies have successfully constrained the timeframe of brittle faulting through dating of clay-size fault gouge fractions. However, the involved fluids sources are not well constrained. K-Ar dating of fault rocks coupled with hydrogen isotope analysis allows to both constraining the timing of brittle faulting and to constrain the influx of variable fluids sources into such fault systems. We present a novel application of hydrogen isotope-based analyses that explores the hydrogen isotope values of fluid sources in Paleocene to Miocene clay gouge-bearing faults from outcrops and drill core samples from the Nojima fault (Awaji island, Japan; [1]). K-Ar ages provide have an age range from 63.4 ± 1.3 Ma (Early Palaeocene) to 42.2 ± 1.0 (Palaeogene–Middle Eocene). Several <0.1 and $<0.4 \mu\text{m}$ fractions in proximity to a pseudotachylyte zone are thermally influenced with loss of radiogenic Ar. The illite age data support a model that the Nojima fault zone was initiated ~ 55 Ma ago by ZFTA data [2]. Hydrogen isotope (δD) values of -119 to -97 for fault gouges and cataclasite zones and document meteoric fluids infiltrating the upper crustal brittle fault zones. The data document elevated temperatures and a heterogeneous thermal history within the study area and influence of a secondary thermal heating event probably caused by circulation of hot fluids within the fault zone about 31–38 Ma ago and even a potential influence of Quaternary faulting.

[1] Zwingmann et al., 2010. *Chemical Geology* doi:10.1016/j.chemgeo.2010.05.006

[2] Murakami and Tagami, 2004. *GRL* 31. doi:10.1029/2004GL020211.

Keywords: brittle fault, authigenic illite, K-Ar dating, Hydrogen isotopes, Nojima fault, Japan