

## Fluid flow, detachment kinematics, and core complex formation in the extensional Basin and Range Province

\*Katharina Methner<sup>1</sup>, Andreas Mulch<sup>1,2</sup>, Christian Teyssier<sup>3</sup>, Michael A. Cosca<sup>4</sup>, Aude G ebelin<sup>5</sup>, C. Page Chamberlain<sup>6</sup>

1. Senckenberg Biodiversity and Climate Research Centre and Senckenberg Research Institute, Frankfurt, Germany, 2. Goethe University, Frankfurt, Germany, 3. University of Minnesota, Minneapolis, USA, 4. U.S. Geological Survey, Denver, USA, 5. Plymouth University, Plymouth, UK, 6. Stanford University, Stanford, USA

Metamorphic core complexes (MCCs) are crustal-scale structural features in the North American Cordillera that result from exhumation of middle crust through large extensional detachment systems. They contribute to thermal and mechanical re-equilibrium of the orogenic crust after and during the Cenozoic extensional collapse of the Cordilleran orogen and thus, record the kinematic boundary conditions during the late stage(s) of orogenic evolution of western North America. The interplay among various parameters such as strain localization, fluid-rock interaction, and surface processes dominates the evolution of these detachment systems. In particular, localized synextensional interaction of fault zone rocks with surface-derived fluids appears to be a common feature that directly impacts the conditions of crustal flow, mineral recrystallization, elemental and isotopic exchange, and temperature gradients of actively extending crust.

To resolve the temporal and kinematical relationship between core complex formation and fluid flow from the Earth's surface to the actively extending middle crust, we used a multi-disciplinary approach, including (1) observation of microstructures, (2)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  thermochronology, and (3) oxygen isotope thermometry ( $\text{D } \delta^{18}\text{O}$ ), and (4) hydrogen isotope analyses ( $\delta \text{D}$ ) of syntectonic hydrous minerals. The hydrogen isotopic composition of recrystallized hydrous minerals allows us to track the infiltration of meteoric water into brittle fault zones (e.g. clay gouges) and strongly localized fluid flow down to the brittle-ductile transition (e.g. mica-bearing mylonites) at mid-crustal levels.

One key example to resolve the structural evolution and multiphase synkinematic fluid-rock interaction of a detachment system is the Raft River MCC (Utah, USA). Combined microstructural,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronological, and stable isotopic evidence from exhumed mylonitic footwall rocks of the Raft River MCC suggest that very low- $\delta \text{D}$  surface-derived fluids penetrated through brittle faults in the upper crust down to the brittle-ductile transition as early as the mid-Eocene during a first phase of exhumation. Thus, Eocene extension within the Cordilleran hinterland not only occurred at more northerly latitudes, but most likely also characterized regions of the northeastern Basin and Range Province. In the eastern part of the core complex, prominent top-to-the-east ductile shearing, mid-Miocene  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages, and higher  $\delta \text{D}$  values of recrystallized white mica, indicate Miocene structural and isotopic overprinting of Eocene fabrics. Miocene shearing in the western Raft River MCC seems to be a reactivation and/or continuation of an Eocene top-to-the-east shear zone with accompanied localized rather than pervasive fluid flow. Moreover, a significant component of cooling of the core complex might be due to fluid-induced refrigeration rather than exclusively to rock uplift and circulating fluids appear to have actively influenced the kinematic of the detachment and as a consequence the exhumation history of the core complex.

Collectively, combined geochronological and stable isotope geochemical studies in MCCs along strike of the North American Cordillera document that meteoric fluid flow was an integral component of crustal extension and surface-derived water was able to penetrate extending upper crust down to the

brittle-ductile transition. We therefore argue that meteoric fluid flow in extensional fault and detachment systems may be more common than previously assumed which permits to export this approach to extensional settings in other orogens.

Keywords: meteoric fluid infiltration, hydrogen isotopes, metamorphic core complex formation

## A new method to estimate fault activity based on the fraction of saturation of quartz luminescence and ESR signals in fault rocks

\*塚本 すみ子<sup>1</sup>、Guralnik Benny<sup>2</sup>、大橋 聖和<sup>3</sup>、大坪 誠<sup>4</sup>

\*Sumiko Tsukamoto<sup>1</sup>, Benny Guralnik<sup>2</sup>, Kiyokazu Oohashi<sup>3</sup>, Makoto Otsubo<sup>4</sup>

1. Leibniz Institute for Applied Geophysics, 2. Wageningen University, 3. 山口大学, 4. 産業技術総合研究所

1. Leibniz Institute for Applied Geophysics, 2. Wageningen University, 3. Yamaguchi University, 4. Geological Survey of Japan/AIST

The activity of faults is usually estimated from the fault-displaced Quaternary sediments, containing both measurable displacement markers as well as dateable materials (Research Group for Active Faults of Japan, 1991). However, geologically- or geomorphologically-recognized faults especially in erosion area are not always cutting, or covered by, dateable Quaternary units. For such faults, there is currently no available method to evaluate their activity. The same problem also arises for the detection and dating of seismic slip events from borehole cores. In this presentation, we introduce a new concept to evaluate fault activity using the fraction of saturation of trapped charge in quartz –specifically, of the optically stimulated luminescence (OSL), thermoluminescence (TL) and electron spin resonance (ESR) signals. These signals, alone or in combination, have the potential to quantify the activity of faults with presently unknown slip rates, in Japan and elsewhere.

Active faults in Japan are categorised according to their slip rates into three classes (A, B, and C-classes) (Matsuda, 1975). An A-class fault experiences more frequent and larger-energy earthquakes than B- and C-class faults, contributing to a greater removal of trapped charge in quartz by frictional heating.

Therefore, our working hypothesis is that the fraction of trapped charge saturation of A-class faults should be significantly lower than that of B-class faults, which themselves are lower than those of C-class; i.e. the fraction of trapped charge saturation is a function of the fault activity. By inverting the fractions of saturation using their corresponding trap kinetic parameters, one can estimate one of the following: the frequency, the temperature, or the duration of the resetting events (earthquakes), if the other two parameters are independently constrained.

In this presentation, we share our preliminary results from the Atotsugawa Fault, central Japan (including experimental data, modelling and inversion), and discuss the method's potential contribution to understanding fault mechanics (flash heating, in particular) and to estimate fault activity.

### References:

Matsuda, T., 1975, Magnitude and recurrence interval of earthquakes from a fault. *Zisin (2nd ser.)*, 28, 3, 269-283.

Research Group for Active Faults of Japan, 1991. Active Faults in Japan. University of Tokyo Press, Tokyo.

キーワード：ルミネッセンス、電子スピン共鳴、熱年代学、断層活動度

Keywords: luminescence, electron spin resonance, thermochronology, fault activity

## Geochronology and thermochronology of fault zones: an overview

\*田上 高広<sup>1</sup>

\*Takahiro Tagami<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科

1. Graduate School of Science, Kyoto University

Thermal signatures as well as timing of fault motions can be constrained by thermochronological analyses of fault-zone rocks (e.g., Tagami, 2012). Fault-zone materials suitable for such analyses are produced by tectonic and geochemical processes, such as (1) mechanical fragmentation of host rocks, grain-size reduction of fragments and recrystallization of grains to form mica and clay minerals, (2) secondary heating/melting of host rocks by frictional fault motions, and (3) mineral vein formation as a consequence of fluid advection associated with fault motions. The geothermal structure of fault zones are primarily controlled by the following three factors: (a) regional geothermal structure around the fault zone that reflect background thermo-tectonic history of studied province, (b) frictional heating of wall rocks by fault motions and resultant heat transfer into surrounding rocks, and (c) thermal influences by hot fluid advection in and around the fault zone. Thermochronological methods widely applied in fault zones are K-Ar ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ), fission-track (FT), and U-Th methods. In addition, OSL, TL, ESR and (U-Th)/He methods are applied in some fault zones, in order to extract temporal information related to low temperature and/or very recent fault activities. Here I briefly review the thermal sensitivity of individual thermochronological systems, which basically controls the response of each method against faulting processes. Then, the thermal sensitivity of FTs is highlighted, with a particular focus on the thermal processes characteristic to fault zones, i.e., flash and hydrothermal heating. On these basis, representative examples as well as key issues, including sampling strategy, are presented to make thermochronologic analysis of fault-zone materials, such as fault gouges, pseudotachylytes and mylonites, along with geological, geomorphological and seismological implications. Finally, the thermochronologic analyses of the Nojima fault are overviewed, as an example of multidisciplinary investigations of an active seismogenic fault system.

### References:

T. Tagami, 2012. Thermochronological investigation of fault zones. *Tectonophys.*, 538-540, 67-85, doi:10.1016/j.tecto.2012.01.032.

キーワード：熱年代学、断層帯、年代測定、摩擦発熱、熱水

Keywords: thermochronology, dating, fault zone, shear heating, hot fluid

# 高速摩擦実験に基づく、石英ガウジのOSL/TLタイムゼロイング検証

## An investigation of coseismic OSL / TL time zeroing of quartz gouge based on high-velocity friction experiments

\*赤瀬川 幸治<sup>1</sup>、大橋 聖和<sup>1</sup>、長谷部 徳子<sup>2</sup>、三浦 知督<sup>2</sup>

\*Akasegawa Koji<sup>1</sup>, Kiyokazu Oohashi<sup>1</sup>, Noriko Hasebe<sup>2</sup>, Kazumasa Miura<sup>2</sup>

1. 山口大学、2. 金沢大学

1. Yamaguchi University, 2. Kanazawa University

OSL法/TL法は、石英や長石が微弱な自然放射線や宇宙線を浴びて捕獲電子を蓄積していくことを利用した年代測定法であり、主に堆積物に用いられてきた。近年、鷹澤ほか（2013）では、活断層の年代測定法としての有用性を見出している。OSL法/TL法で古地震イベントを決定するための背後となる考え方は、蓄積された自然放射線による損傷が摩擦発熱または破碎によってゼロになる（タイムゼロイング）ことである。しかし、断層運動とルミネッセンス信号の消滅（タイムゼロイング）の関係性は十分に解明されていない。この関係性を解明できれば、活断層年代測定にOSL法やTL法の測定年代範囲が加わり、活断層評価に大いに貢献できる。そこで本研究では、OSL法/TL法を用いた断層年代測定法確立のため、低速～高速摩擦実験に基づいたタイムゼロイングの実証を行い、そのための物理条件（速度、垂直応力、変位量、含水率など）の解明にあたった。

試料は、兵庫県淡路島北部浅野断層近傍の都志川花崗岩より採取・分離した石英粒子（粒径150  $\mu\text{m}$ 以下）を用いた。高速摩擦実験では、粒径150  $\mu\text{m}$ 以下の石英1.0 gに対して速度依存性と変位量依存性を調べた。なお、破碎の影響を考慮するために、実験後の試料を75  $\mu\text{m}$ 以下及び75～150  $\mu\text{m}$ に粒径調整した。

我々は2つの一連の実験を行った。（1）OSL/TL信号のリセットに対する速度依存性を見るための様々なすべり速度での実験、（2）OSL/TL信号のリセットに対する変位量依存性を見るための様々な変位量での実験である。

我々は、破碎の効果を考慮するために、回収された試料を<75  $\mu\text{m}$ および75-150  $\mu\text{m}$ の2つの粒子サイズに分離した。

OSL測定の結果では、（1）せん断によって細粒化したガウジ（<75  $\mu\text{m}$ ）が、プレスリップのみ行った試料よりもfast成分比が高いこと、（2）すべり速度の200  $\mu\text{m}/\text{s}$ から0.13 m/sまでの増加に伴い粒径75  $\mu\text{m}$ 以下の粒子のfast成分比が増加すること、（3）0.65 m/sで剪断された実験では、OSL信号がゼロになることが分かった。比較的低いすべり速度の実験で見られるfast成分比の増加は、電離した電子（粉碎中に新たに形成された破断表面から電子捕獲中心の電子が放出される）の添加によって引き起こされた可能性がある。高速摩擦実験で観測されたタイムゼロイングは、温度測定によって600°Cまで急激に上昇した摩擦発熱に起因する。0.65m/sの摩擦実験に加えた摩擦エネルギーの計算に基づいて、天然の地震条件（変位1.6m）の深度を117mに推定した。

キーワード：浅野断層、ルミネッセンス、高速摩擦実験、タイムゼロイング

Keywords: Asano fault, luminescence, high-velocity friction experiment, time-zeroing

## ESR法による断層活動性評価ー浅野断層トレンチ掘削試料を用いた摩擦実験によるアプローチ

### ESR technique for the assessment of fault activity; an approach from frictional tests using the Asano fault gouge collected by a trenching survey

\*福地 龍郎<sup>1</sup>、宮川 千絵<sup>1</sup>、早川 綾子<sup>1</sup>、堤 昭人<sup>2</sup>、中野 龍二<sup>2</sup>、並木 由香<sup>2</sup>、飯田 大貴<sup>2</sup>

\*Tatsuro Fukuchi<sup>1</sup>, Chie Miyakawa<sup>1</sup>, Ayako Hayakawa<sup>1</sup>, Akito Tsutsumi<sup>2</sup>, Ryuji Nakano<sup>2</sup>, Yuka Namiki<sup>2</sup>, Hirotaka Iida<sup>2</sup>

1. 山梨大学大学院総合研究部教育学域、2. 京都大学大学院理学研究科

1. Graduate Faculty of Interdisciplinary Research, University of Yamanashi, 2. Graduate School of Science, Kyoto University

断層岩の年代から断層活動性評価を行う手法の一つとして、ESR（電子スピン共鳴）年代測定法がある（福地，2004）。ESR法では、断層岩中に含まれるESR信号が断層摩擦熱によりリセットされることを仮定して最新活動年代を求めるが、ESR信号が不完全にリセットされている場合には実際の活動年代よりも古い年代値が得られてしまう。ESR信号の不完全リセットの問題は、摩擦熱温度が上昇しやすい地下深部から断層岩試料を採取することで解決できると考えられるが、ボーリングの掘削深度が大きい程コストが掛かるので、ESR信号が完全にリセットされる深度を明らかにすることが重要である。そこで今回、浅野断層のトレンチ掘削調査で採取された断層ガウジを用いて摩擦試験を実施し、試験後のガウジ試料のESR解析を実施し、ESR信号が完全にリセットされる条件について検討を行った。また、試験後のガウジ試料から得られるESRスペクトルと浅野断層トレンチ及びボーリング掘削で採取された断層ガウジから検出されるESRスペクトルを比較し、天然における断層摩擦熱によるリセット現象の考察を行った。

摩擦試験に用いた断層ガウジ試料は、浅野断層トレンチ北壁の断層中軸部において花崗岩と大阪層群が接する部分に発達する幅～10 mmの灰白色ガウジである。自然乾燥後粉碎した灰白色ガウジは、直径24.98 mmに整形した一對の円柱状斑レイ岩試料の間に挟み、一方の円柱を回転させて剪断摩擦を与えた

（堤・他，2016）。摩擦試験は、dry及び蒸留水で浸したwet条件下において、垂直応力2 MPa、すべり速度1.3 m/sで実施した（堤・他，2016）。総変位量30mの時のガウジ内の最高到達温度は、dry条件下で380℃程度、wet条件下で340℃程度に達していたと推定される。摩擦試験後は、dry及びwet条件とも剪断面の中心を基準（=0mm）として、ガウジ試料を0～9mm（中心部）、9～16mm（中間部）、16～25mm（円周部）に三分割し、各々の部分についてESR測定を行った。その結果、dry条件下では、三分割した部分全てから摩擦熱により生成するFMR（フェリ磁性共鳴）信号が検出され（Fukuchi，2012）、中心部から円周部に向かって信号強度が著しく増大しているのが確認された。また、中間部および円周部では、ESR年代測定に使用できる石英E'中心やモンモリロナイト（Mo）四重信号がリセットされているのが確認された。これに対して、wet条件下では、円周部において弱いFMR信号が検出されたが、E'中心やMo四重信号はほとんどリセットされていなかった。従って、浅野断層ガウジのESR信号がリセットされる時にはFMR信号の著しい増大が起こっている可能性が高いことが判明した。一方、浅野断層300m掘削コア試料の深度200m付近に位置するfa-5断層破砕帯のガウジ試料からは、wet条件下の円周部と同様のFMR信号が検出され、浅野断層ではwet条件下で断層摩擦熱が上昇した可能性が示唆される。

#### 引用文献

福地龍郎，2004，ESR（電子スピン共鳴）法による断層活動年代測定ーその原理と実践ー。深田研ラ イブ ラリー，63，45pp.

T. Fukuchi, 2012, ESR Techniques for the Detection of Seismic Frictional Heat. In: Earthquake Research

and Analysis: Seismology, Seismotectonics and Earthquake Geology (ed. D'Amico Sebastiano).  
InTech-Open Access Publisher, 285-308.

堤 昭人・他, 2016, 野島断層の分岐断層 (浅野断層) 中軸部物質の高速摩擦特性と摩擦発熱過程. 日本地質学会第123年学術大会講演要旨, T1-P-7.

キーワード : ESR年代測定、電子スピン共鳴、浅野断層、断層ガウジ、断層活動性評価、摩擦試験

Keywords: ESR dating, Electron spin resonance, Asano fault, Fault gouge, Assessment of fault activity,  
Frictional test

地震時に断層破碎帯における粉砕になった断層破碎物の貫入と天水・海水を含む流体の流動

## Repeated coseismic injection of pulverized fault rocks and infiltration of fluids including meteoric and sea-waters within fault damage zones

\*林 愛明<sup>1</sup>

\*Aiming Lin<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物理学教室

1. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University

In the past decades, increasing geological evidence has emerged that faults and shear zones within the middle to upper crust play a crucial role in controlling the architecture of crustal fluid migration and seismic faulting process. It is also well known that fluid can be released by dehydration reaction caused by seismic frictional heating during large earthquakes within both intracontinental faults and subduction zones that contain abundant hydrous minerals (Lin et al., 2003, 2013). Such rapid dehydration reaction would induce a sudden increase in fluid pressure that would simultaneously act to reduce the effective normal stress and markedly weaken the dynamic strength of seismogenic faults during seismic faulting, thereby facilitating seismic slip during large earthquakes. For an integrated multidisciplinary study on the assessment of activity of active faults involving active tectonics, rock-fluid interactions, geochemistry and geochronology of active fault and seismogenic fault zones, recently, a new project of “Drilling into Fault Damage Zone” has been conducted by Kyoto University on the Nojima Fault again after 20 years of the 1995 Kobe earthquake.

In this presentation, I will review the previous studies and report the recent progresses on the fluid infiltration concerning with coseismic faulting and recent activity on two seismogenic faults that recently triggered the large earthquakes, one from the active faults of the Longmen Shan Thrust Belt that triggered the 2008  $M_w$  7.9 Wenchuan earthquake in the Sichuan basin, China, the other is the Nojima Fault that triggered the 1995  $M_w$  7.2 Kobe earthquake. Circulating fluids deposit fine-grained sediments including clay and carbonate material and pulverized rock materials into cracks within the fault zones. Such crack-fill fine-grained materials, calcite veins, and oxidized/weathered open cracks have well been observed in the drill cores, from both the Nojima Fault and the active faults of the Longmen Shan Thrust Belt. 3D micro-X-ray scanning data and powder X-ray diffraction analyses show that the fault core zone contains a numerous of veinlets which are composed of fine-grained materials, carbonate material and clay minerals. Isotopic analyses of carbonate material within the fine-grained materials and calcite veins reveal that the calcite veins are sourced from typical meteoric and seawater.  $^{14}\text{C}$  dating ages of 10 calcite vein samples range from 35.0 to 58.4 kyr B.P. Geological, petrological, stable isotopic, and  $^{14}\text{C}$  data suggest that these crack-fill fine-grained materials and calcite veins and brown open cracks were developed by the repeated infiltration of  $\text{O}_2$ - and  $\text{CO}_2$ -bearing meteoric and seawater downward into the deep fault zone during the last 35–60 kyr. We propose a seismic fault suction-pumping model to interpret the infiltration of subsurface waters being carried down into the deep fault zone by rapid potential change during episodes of seismic faulting.

### References

- Lin et al. (2003). Repeated coseismic infiltration of meteoric and seawater into deep fault zones: a case study of the Nojima fault zone, Japan. *Chem. Geol.*, 202, 139-153.
- Lin et al. (2013). Coseismic dehydration of serpentinite during large earthquakes: Evidence from high-velocity friction experiments. *Chemical Geology*, 344, 50-62.



キーワード：地震断層岩の注入脈、地震時の断層帯の流体流動、地震断層の流体吸引モデル

Keywords: coseismic injection of pulverized fault rocks, coseismic infiltration of fluid, seismic fault suction-pumping model

## 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<sup>1</sup>、島田 耕史<sup>1</sup>

\*Masakazu Niwa<sup>1</sup>, Koji Shimada<sup>1</sup>

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<sup>1</sup>、長谷部 徳子<sup>1</sup>、鷹澤 好博<sup>2</sup>、田上 高広<sup>3</sup>、林 愛明<sup>3</sup>

\*Kazumasa Miura<sup>1</sup>, Noriko Hasebe<sup>1</sup>, Yoshihiro Ganzawa<sup>2</sup>, Takahiro Tagami<sup>3</sup>, Aiming Lin<sup>3</sup>

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  $\tau$  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<sup>1</sup>、内田 淳一<sup>1</sup>

\*Masahiro Miyawaki<sup>1</sup>, Jun-ichi Uchida<sup>1</sup>

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に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 Zwingmann<sup>1</sup>, Andreas Mulch<sup>2</sup>, Takahiro Tagami<sup>1</sup>

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  $63.4 \pm 1.3$  Ma (Early Palaeocene) to  $42.2 \pm 1.0$  (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  $\sim 55$  Ma ago by ZFTA data [2]. Hydrogen isotope ( $\delta\text{D}$ ) 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