

熱年代学と地震学とのリンク - 跡津川断層のフィッション・トラック温度履歴解析による断層強度推定 Thermal Anomaly and Strength of Atotsugawa Fault, Central Japan, Inferred from Fission-Track Thermochronology

山田 隆二^{1*}, 溝口 一生²YAMADA, Ryuji^{1*}, MIZOGUCHI, Kazuo²¹ 防災科学技術研究所, ² 電力中央研究所¹NIED, ²CRIEPI

熱年代学の応用分野の一つとして、断層の活動史の復元と断層周辺の熱異常の検出がある。断層活動に伴う時間と温度の情報を読み出すことで、破壊に伴うエネルギー収支等に対する制約が得られる。これまでフィッション・トラック (FT) 法を用いた熱年代学的解析によって、いくつかの断層周辺の熱異常の検出が行われている。ここではもう一步進めて、断層を構成する物質の物性値に制約を与えることを試みた。

跡津川断層系の断層破砕帯露頭にて採取した試料から分離したジルコン・アパタイトのフィッション・トラック年代測定を行ったところ、一つの断層粘土試料において熱異常が検出された (Yamada et al., 2009)。跡津川と高原川の合流点から約 1.5 km 上流で、神岡鉱山・佐古西構造坑道の抗口 (海拔約 370 m) 付近の跡津川右岸約 20 m の間に、飛騨変成岩類を原岩とする 6 個の雁行する断層破砕帯が確認された。各破砕帯の幅は約 20-30 cm で、中心部には 1-3 cm 厚の断層ガウジが分布するが目立つ pseudotachylite 層はみられない。年代測定試料は、各ガウジ部と約 10 cm 離れた破砕岩部および、比較対象として破砕の少ない離れた 2 地点から得た。年代測定の結果、ほとんどのジルコン FT 年代値 (120-150 Ma) とアパタイト FT 年代値 (44-60 Ma) は飛騨帯に貫入した花崗岩類の定置年代と一致した。一つのガウジ試料のアパタイト FT は、統計的に有意に若い年代 (32.1 ± 3.2 Ma) とユニモーダルな長さ分布を持ち、2 次的な加熱による熱異常の影響を示唆する。熱異常が認められたのは約 2cm と非常に狭い範囲で採取されたガウジ試料であるため、熱源としては、破砕帯が高温流体に満たされたのではなく、おそらくアパタイト年代頃にガウジを生じさせた最初の断層運動による摩擦発熱の可能性が高い。

上記の熱異常の原因として単一の断層摩擦発熱を想定し、摩擦による仕事は全て熱に変換されると仮定して発熱・拡散モデリングによって摩擦係数と試料の初期深度を評価した。摩擦熱の拡散に要する時間は断層活動間隔に比べて十分短いため、複数回の発熱の蓄積は無視できる。FT データと露頭における試料の配置から、摩擦発熱中心部のアパタイト FT 年代はリセットするが、10 cm 地点ではどちらもありセットしないと言う制約が得られる。1 次元の熱拡散モデルを用いて、ガウジの内部と外部における温度の経時変化を計算した。モデル空間は、10 cm 厚の発熱部と 1000 cm の周辺の岩石から構成される。初期条件は、一定の深度における均等な温度分布を与える。地温勾配、岩石密度、熱容量、熱伝導率およびすべり速度はそれぞれ 30 °C/km、1000 J/kg K、3.0 W/m K、1 m/s の定数を与えた。総すべり量は 1858 飛越地震の規模が Mw7.0-7.9 と見積もられることを考慮し 5 m とした。計算の結果、実効加熱時間はスリップ時間よりも有意に長く、特定の地点において最高温度に到達するには発熱から遅延が生じる。中心部と 10cm 地点における最高温度は摩擦係数と初期深度により異なるが、その継続時間はそれぞれ約 100 秒間と約 10000 秒間とほぼ一様な値となった。これらを実効加熱時間とし、ジルコン・アパタイト FT の annealing kinetics を用いて温度条件に変換すると、中心部の最高到達温度は 400 - 750 °C、10 cm 地点では 250 °C 以下の範囲となる。これらの制約条件を満たす初期深度と摩擦係数の組み合わせを求めた結果、深度 2km では 0.6 以上、3km では 0.4 - 0.8 と推定された。この値は、跡津川断層から採取したガウジ試料を用いて行った室内摩擦実験によって得られた値 (約 0.6) とほぼ同じである。今回は間隙水の影響を考慮していないが、間隙水がある場合、温度上昇は上記の計算よりも低くなるためより大きな強度が必要となる。従って、これらの見積りは下限値と見なされる。

Yamada, R. et al, 2009, In: Thermochronological Methods: From Paleotemperature Constraints to Landscape Evolution Models, Lisker, F., Ventura, B., Glasmacher, U. A. (Eds.), 331-337, The Geol. Soc., London, 324.

キーワード: 熱年代学, FT, 断層強度, 摩擦発熱, 跡津川断層

Keywords: Thermochronology, Fault strength, Frictional heat, FT, Atotsugawa Fault

花崗岩の摩擦実験によるアルゴンの放出と年代の若返りの可能性

Experimental study for argon release and possibility of rejuvenated age after frictional heating granite

佐藤 佳子^{1*}, 廣瀬 丈洋², 熊谷 英憲¹, 田村 肇¹, 坂口 真澄³, 鈴木 勝彦¹

SATO, Keiko^{1*}, HIROSE, Takehiro², KUMAGAI, Hidenori¹, TAMURA, Hajimu¹, Masumi Sakaguchi³, SUZUKI, Katsuhiko¹

¹ 海洋研究開発機構, 地球内部ダイナミクス領域, ² 海洋研究開発機構, 高知コア研究所, ³ マリンワークジャパン

¹IFREE, JAMSTEC, ²KCC, JAMSTEC, ³Marine Works, JAPAN

Isotope ratios of noble gas in certain minerals are believed to be modified easily by their ambient reservoirs when the minerals reach higher temperatures than their closure temperature. The thermal history of a rock or a geologic event, even a fault movement, can therefore be determined quantitatively by applying radiometric dating methods to a set of different minerals. However, neither traditional K-Ar nor Ar-Ar dating methods can be applied easily to faulted rocks because, in the case of faulting, it is difficult to prove that the temperature of an event was greater than the closure temperatures of minerals.

Frictional heating experiments performed on fine grain homogeneous gabbros with high temperatures induced by frictional heating using a high-velocity friction apparatus were used to test whether rapid fault movement can rejuvenate the argon isotope ratio of fault rocks by the Argon released. The temperature on the artificial fault plane is flashing and above the closure temperature of the K-Ar system, as expected from the calculated cooling age. The anticipated rapid equilibration of volatiles during the frictional heating of rocks implies that the Argon isotope composition/ratio was released to an atmospheric value during this experiment.

Previous result of gabbroid analysis, we could observed that the reset was occurred only frictional plane, and we setted that second fuse enviroment (stable melted and pseudotachylyte was made) at the time. Rejuvenation and/or apparent increases in the K-Ar ages were only observed in a narrow, 3-mm-wide zone around the fault plane that appears thermally altered and mechanically fractured in thin sections.

In this study, for the granite friction experiment, the Argon gas released timing is faster, which called "first fuse" (Hirose et al., 2005) in the time. The granitoid, which is composed upper crust, include the potassium rather gabbroid, which composed lower crust, because the radiogenic Ar is more abundant in the nature. After granite friction experiment, Argon and other gases released by the sample were collected in a small aluminum tube in a nitrogen atmosphere before and after the frictional heating granite experiment, also. Therefore, we could not observe glass and glassy material after granite experiment, but the argon gas released at "first fuse" stage. We report that the measured noble gas isotopes in an Aji granite sample analysis, compared with gabbroid analysis.

キーワード: K-Ar 年代, Ar 同位体, 摩擦加熱, 花崗岩類, 玄武岩類

Keywords: K-Ar age, Ar isotope, frictional heating, granit, gabbro

海底熱水性重晶石の ESR 年代測定の方法と課題 The method and issues of ESR dating of hydrothermal barite

豊田 新^{1*}, 佐藤 文寛¹, 金光 真弘¹, 内田 乃¹, 石橋 純一郎², 中井 俊一³, 賞雅 朝子³

TOYODA, Shin^{1*}, SATO, Fumihiko¹, KANAMITSU, Masahiro¹, UCHIDA, Ai¹, ISHIBASHI, Jun-ichiro², NAKAI, Shun'ichi³, TAKAMASA, Asako³

¹ 岡山理科大学理学部, ² 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, ³ 東京大学地震研究所

¹ Okayama University of Science, ² Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Kyushu University, ³ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

海底熱水活動についての研究の初期段階では、熱水活動の時間変動についてはあまり議論されなかった。しかしながら、海底熱水活動が生物圏に与える影響について議論されるようになって熱水活動の時間変動の詳細を明らかにすることは、重要な課題となってきた。そこで、重晶石の ESR 信号を用いて年代測定を行う方法を開発してきた。

重晶石の電子スピン共鳴 (ESR: Electron Spin Resonance) 年代測定の可能性については、Kasuya et al. (1991) によって指摘されていた。実際の ESR 年代測定は、Okumura et al. (2010) によって海底熱水性硫化物沈殿物の中の重晶石を用いて初めて試みられたが、この研究では、年代としての数値は求められたものの、基礎的な信号の特性や年間線量率についての検討が不足していた。その後、Toyoda et al. (2011), Sato et al. (2011) によって信号の測定条件や、信号の熱安定性についての基礎的な研究が行われた。次の課題は、年間線量率の正確な見積もりである。

他の試料に ESR 年代測定法を適用する場合に比べて、海底熱水性硫化物沈殿物の中の重晶石の場合には年間線量率の考慮を慎重にしなければならない。特徴的な点は次の通りである。

(1) 重晶石のバリウムを置き換えてラジウムを取り込むため、ラジウムから始まる壊変系列の核種からの放射線のみが問題になる。

(2) 重晶石以外の硫化物からの放射線は無視できる。

(3) 重晶石内部からのアルファ線による寄与が大きい (40-60%程度)

(4) 硫化物沈殿物 (チムニー) の形状を考慮する必要がある。

上記の最初の 2 つの項目を考慮することは簡単である。(3) については、タンデム加速器によって He イオンを加速して重晶石に照射する実験を行い、アルファ線による欠陥生成効率の、ガンマ線による先生効率に対する割合を、0.043 と決めた (Toyoda et al., submitted)。しかし、この実験ではデータのばらつきが大きいため再実験が必要であろう。(4) については、沈殿物 (チムニー) の半径が 20cm 以下であるか、試料を中心部から採取していない場合には、形状の考慮が必要であることがわかった。具体的な補正について発表する予定である。海水中からのガンマ線の寄与は、通常無視できる程度であることが、実際の熱水域の海水中でのガンマ線の測定からわかった。また、重晶石からラジウムの娘核種であるラドンが漏れ出ているという報告 (White and Rood, 2001) があったため、調べたところ、海底熱水域の重晶石についてはそのようなことはないことがわかった。

得られた年代は同じ試料についての U-Th 年代測定結果と大きく異なっていないが、以前に行われた ²²⁶Ra-²¹⁰Pb 年代とは大きく異なる結果となった。再度 ²²⁶Ra-²¹⁰Pb 年代測定を行った結果についても発表する予定である。

キーワード: 電子スピン共鳴, 年代測定, 重晶石, 海底熱水, 自然放射線

Keywords: ESR, dating, barite, sea floor hydrothermal activity, natural radiation

フィリピン共和国ルソン島ザンバレスオフィオライトに産する方解石脈の熱ルミネセンス年代測定 Thermoluminescence Dating of Calcite Veins in the Zambales Ophiolite, Luzon, Philippines

小形 学^{1*}, 長谷部 徳子¹, 藤井 直樹², 山川 稔², 佐藤 努³, 藤田 健太³

OGATA, Manabu^{1*}, HASEBE, Noriko¹, FUJII, Naoki², YAMAKAWA, Minoru², SATO, Tsutomu³, Fujita Kenta³

¹ 金沢大学, ² (公財) 原環センター, ³ 北海道大学

¹Kanazawa University, ²RWMC, ³Hokkaido University

原子力発電に伴って発生する放射性廃棄物の地層処分システムにはセメントやベントナイトが使用されている。セメント系材料から溶出する高アルカリ地下水とベントナイト緩衝材の相互作用によって、緩衝材の膨潤性の低下や亀裂が発生し、人工バリアシステムが劣化するという指摘があり、評価が必要である。地質時間にわたる相互作用の評価のためには自然界に存在する類似現象を研究する。

フィリピン共和国ルソン島では、オフィオライトとベントナイト層が近接している。オフィオライトを起源とする高アルカリ地下水が岩盤の割れ目に沿って上昇しベントナイト層と接触する。このような地層処分システムに類似の現象の時間スケールを決めるため、高アルカリ水から沈殿した方解石の年代測定を熱ルミネセンス法で行った。

蓄積線量測定実験では、まず試料の発光色の確認をした。その結果最も発光量が多い赤色ルミネセンスを測定することとした。方解石で生じる感度変化を評価できる SARA (single-aliquot regeneration and added-dose) 法を用いて蓄積線量測定を行った。

年間線量測定実験では、XRF, EPMA, LA-ICP-MS 分析を用いて方解石とその周囲の岩石の放射性元素濃度を測定し、年間線量を算出した。宇宙線量率は Prescott(1994) の式より算出した。

本研究で用いた試料は不均質な岩石であるが大きさが小さいため正確な岩石分布が分からず、正確な年間線量を測定することは困難であった。そこで周囲の岩石と方解石の岩石比を 8 対 2 から 2 対 8 まで仮定し年間線量を見積もり、年代の算出を行った。その結果、年代のオーダーは 10ka であることが分かった (10 万年より若く 2-3 万年より古い)。より正確な年代決定を行うためには追加照射の誤差を考慮すること、サンプル周囲の正確な岩石分布情報、不均質岩石の年間線量計算法の精密化が必要である。

なお、本報告は経済産業省資源エネルギー庁の委託事業平成 23 年度「放射性廃棄物重要基礎技術研究調査」により実施した研究成果の一部である。

キーワード: 熱ルミネセンス年代測定, 方解石脈

Keywords: Thermoluminescence dating, calcite vein

茨城県日立鉱床の Re-Os 年代 : 日本列島最古の鉱床

Re-Os geochronology of the Hitachi VMS deposit, Ibaraki Prefecture: The oldest sulfide deposit in the Japanese Island

野崎 達生^{1*}, 加藤 泰浩², 鈴木 勝彦¹, 加瀬 克雄³

NOZAKI, Tatsuo^{1*}, KATO, Yasuhiro², SUZUKI, Katsuhiko¹, Katsuo Kase³

¹ 海洋研究開発機構, ² 東大・工, ³ 岡大・理

¹JAMSTEC/IFREE, ²Univ. of Tokyo, ³Okayama Univ.

We applied the Re-Os isotope dating method to the Fudotaki and Fujimi sulfide ores from the Hitachi Deposit in the Ibaraki Prefecture. The Re-Os isochron of the Fudotaki sulfides yielded ca. 540 Ma which is the oldest age among the all other metal deposits in the Japanese Island. This isochron exhibited excellent linearity and the Re-Os age of the Fudotaki sulfides is much older than a timing of contact metamorphism by the Irishiken Granites (Late Cretaceous). Thus, we interpreted this Re-Os age as a primary depositional age of the Fudotaki sulfides on a paleo-seafloor. On the other hand, the Re and Os isotope compositions of the Fujimi Deposit showed no correlation in the $187\text{Re}/188\text{Os}$ vs. $187\text{Os}/188\text{Os}$ space. The Fujimi sulfides underwent higher grade metamorphism than that of the Fudotaki sulfides up to epidote-amphibolite facies or granulite facies, and the Re-Os isotope system of the sulfide ores was disturbed by metamorphism. Since the Hitachi Deposit is a syn-genetic sulfide deposit, the eruption age of the wallrock (basic volcanic rock) is also estimated to be ca. 540 Ma. This Re-Os age obtained here will be an important age constraint to clarify the geological history of the Japanese Island.

キーワード: Re-Os 年代, 火山性塊状硫化物鉱床, 日立鉱山, 不動滝鉱床, 日立変成帯, 日本列島

Keywords: Re-Os age, VMS deposit, Hitachi Mine, Fudotaki Deposit, Hitachi metamorphic belt, Japanese Island