

海底熱水鉱床の硫化鉱物のウラントリウム放射非平衡について

U-Th radioactive disequilibria in sulfide minerals from sea floor hydrothermal systems

*中井 俊一¹、賞雅 朝子¹、藤原 泰誠²、豊田 新²、石橋 純一郎³、浦辺 徹郎⁴、吉住 亮人⁴

*Shun'ichi Nakai¹, Asako Takamasa¹, Taisei Fujiwara², Shin Toyoda², Jun-ichiro Ishibashi³, Tetsuro Urabe⁴, Ryoto Yoshizumi⁴

1.東京大学地震研究所、2.岡山理科大学、3.九州大学、4.東京大学理学系研究科

1.Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2.Okayama University of Science, 3.Kyushu University, 4.Faculty of Science, the University of Tokyo

海底熱水鉱床の活動の持続時間は、鉱床の規模やそのエネルギーを利用する生物群集の進化に大きな影響を与える点で重要であるが、体系的な研究は少数である。拡大速度の大きな中央海嶺の中軸谷で採取された硫化鉱物には短寿命の核種が用いられ、たとえば²¹⁰Pb-Pb年代が報告されている。また中軸谷から外れた場所からの試料や拡大速度の遅い大西洋中央海嶺の試料では²³⁴U-²³⁰Th年代が報告されている例がある。ここでは²³⁴U-²³⁰Th放射非平衡を利用した年代測定と、他の方法主にESR年代測定の結果の比較を紹介する。

熱水鉱床を沈殿させた鉱液の起源と考えられる海水は、ウランを1ppb程度含むが、トリウムをほとんど含まない。これから沈殿した鉱物は高いU/Th比を持つ。²³⁰Th/²³⁴Uの放射能比は条件の良い場合、沈殿時には殆ど0であるが、²³⁴Uの壊変により²³⁰Thが増加し、50万年程度で放射平衡に達する。閉鎖系が保たれていれば、この間の年代は²³⁰Th/²³⁴Uの放射能比から決定できる。

分析は以下の手順で行う。試料に同位体希釈分析用に²³⁶U、²²⁹Thのトレーサーを添加した後、硝酸で加熱分解し、eichrom社の溶媒抽出クロマトグラフィー樹脂U-TEVAによりU、Thを主成分元素から分離し、Uは更にUTEVA樹脂で、Thは陰イオン交換樹脂AG1-X8を用い二度目の生成を行う。MC-ICP-MSにより、²³⁴U/²³⁸U同位体比、²³⁶U/²³⁵U同位体比、²³⁰Th/²³²Th同位体比、²²⁹Th/²³²Th同位体比などを測定し、(²³⁰Th/²³⁴U)放射能比を算出する。MC-ICP-MSを分析に用いれば、数百mg程度の試料で分析が可能である。

南部マリアナトラフでは、4地域の熱水系の試料を分析し、ほぼ0年から1万年の年代が得られ、拡大軸から離れた熱水サイトほど古い年代を示す試料があることが分かった。またERS年代とも整合的な結果が多かった。

沖縄トラフの試料は、これより若い物が多かった。しかしコア試料には古い年代を示す試料があり、ESR年代と一致しないものが見られた。

また、いくつかの地域では硫化鉱物の、UやThの濃度が3桁にもわたり大きく変動している。UやThが開放系になっていることを示唆する結果も得られた。

発表ではリーチング実験の結果も合わせ、熱水系でのUやThの挙動について考察する。

キーワード：U-Th放射非平衡、海底熱水鉱床

Keywords: U-Th radioactive disequilibrium, seafloor hydrothermal vent

年代表の年代数値に関する問題とは？

Problems related to the numerical age in a time table

*兼岡 一郎¹

*Ichiro Kaneoka¹

1. 東京大学地震研究所

1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo

地球史における各種の現象の年代を参照するためにはさまざまな種類の年代表が用いられており、それらには年代数値が与えられている。しかしそれらの年代数値の表記は年代表によって異なり、有効数値に対応した数値になっているとは限らない。

地質年代表では地質層序などに基づいて年代表が作成され、相対年代としての地質年代が定義される。地質年代境界の年代数値は、当初各層に属する岩石・鉱物などの放射年代測定値を基に推定されてきた。しかし地質年代境界の年代数値は、時代とともに少しずつ変化している。現在用いられている地質年代表(ICS, 2009)では、地質年代範囲によって境界の年代数値を定めた定義が異なっており、それぞれで年代数値の信頼性の意味が異なっていることに注意すべきである。先カンブリア紀以前の地質年代境界は年代数値によって定義されるので、年代数値の誤差はない。一方、新第三紀以降の年代境界に対する年代数値は天文年代が採用され、誤差は表示されている年代数値の桁数未満であるとして誤差はつけられていない。しかし天文年代は、ミランコビッチサイクルが地球表面の平均的温度を支配しているとの前提で求められたモデル年代であるので、さらに検討される必要がある。古第三紀からカンブリア紀までの地質年代境界の年代値は、各層に含まれている岩石・鉱物などの放射年代測定値を基に推定されているので年代数値に誤差がつけられている。地質年代表で採用されている年代数値は4桁であるが、これは放射年代測定などの確度などを基準として採用されている。

また連続した海洋底堆積物が示す古地磁気の正磁極、逆磁極のパターンから、古地磁気層序年代表がつくられている。層序境界に対する年代数値は、基準となる複数の境界値を放射年代測定値に基づいて設定し、それらの間は堆積速度一定として年代数値を定めている。Cande and Kent (1995)による古地磁気層序年代表では、5桁から6桁までの数値が与えられているが、基準となる放射年代測定値の有効数値は3桁で、測定誤差はないものとして扱われている。そのため、与えられている年代数値に関しての有効数値としては、3桁程度の信頼性しか保証されていない。

同様に各種の年代層序に基づいた年代表がつくられているが、それらにつけられている年代数値に関しても、基準となる年代数値として放射年代測定値を採用している限り、有効数値としては3桁から高々4桁までしか保証されていないことに、十分注意する必要がある。

キーワード：年代表、年代数値、有効数値

Keywords: time table, numerical age value, effective numerical value

Brittle fault dating –looking through a clutter of ages

*Horst Zwingmann¹, Takahiro Tagami¹, Neil Mancktelow², Giulio Viola³, Seiko Yamasaki⁴, Andreas Mulch⁵

1.Department of Geology and Mineralogy, Kyoto University, 606-8502 Kyoto, Japan, 2.Department of Earth Sciences, ETH Zurich, 8092 Zurich, Switzerland, 3.Geological Survey of Norway, 7491 Trondheim, Norway and Department of Geology and Mineral Resources Engineering, NTNU, 7491 Trondheim, Norway, 4.Geological Society of Japan, AIST, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567, Japan, 5.Institute of Geoscience, Goethe University Frankfurt, 60438 Frankfurt, Germany and Biodiversity and Climate Research Centre (BiK-F) and Senckenberg Research Institute, 60325 Frankfurt, Germany

There have been numerous case studies in the last few years that successfully constrained the timeframe of brittle faulting through dating of clay-size fault gouge fractions. However, the radiogenic isotope systematics of fault rocks are complex due to the intimate mixture of minerals of different origins such as detrital phases, potentially from a variety of sources, as well as authigenic/synkinematic minerals. Consequently, it is often difficult to unambiguously interpret measured ages. Special sample preparation techniques involving freeze-thaw disaggregation to avoid overcrushing and extensive size separation to reduce the amount of detrital phases can address these issues [1]. Progressive size reduction down to submicron size fractions ($<0.1 \mu\text{m}$) increases the proportion of authigenic clay phases in the clay component and minimizes contamination suggesting that the most reliable isotopic ages for authigenic clay minerals are obtained for the finest size fractions.

Brittle fault illite K-Ar age data and δD from several studies in Europe, Scandinavia and Japan will be presented. All study areas are located within igneous or metamorphic rocks collected from tunnel or drill core samples, which offer a unique advantage as no detrital illite is present in the host rock, thus reducing potential contamination and weathering sources. The age data were obtained using a simplified and standardized method described by Zwingmann *et al.* (2010) [2]. Ages range from the Mesoproterozoic ($1240 \pm 26 \text{ Ma}$) for the Finland to the Neogene ($6.0 \pm 2.1 \text{ Ma}$) for the European Alps study. Fault gouges in Japan scatter around the Paleogene –early Eocene.

The illite ages decrease with grain size, and are consistent with the cooling history of host rocks as bracketed by Ar-Ar, AFTA and ZFTA ages. The data indicates that the fault-rock samples formed within the stability field of illite and the main temperature field of brittle deformation ($< \sim 300^\circ\text{C}$). The internal consistency of the illite K-Ar ages of fault gouges from samples, as well as their consistency with independent constraints from field relationships and existing geochronological data, demonstrate the potential of this simplified method for providing reliable data to constrain absolute timing of brittle deformation.

[1] Liewig *et al.*, 1987. *AAPG Bulletin* 71, 1467-1474.

[2] Zwingmann *et al.* 2010. *Geology*, v. 38, no 6, 487-490; doi10.1130/G30785.1

Keywords: brittle faults, illite clay dating and tracing, K-Ar and hydrogen stable isotopes

鉱物中の拡散と開放温度：球状拡散

Diffusion in a mineral and unclosure temperature: sphere

*兵藤 博信¹*Hironobu Hyodo¹

1.岡山理科大学自然科学研究所

1. Research Institute of Natural Sciences, Okayama University of Science

Dodson (1973)が定義した閉止温度の概念はその後の同位体年代の解釈に広く適用され多くの地質学的な解釈に役立ってきた。しかしその具体的な温度の導出には熱水実験による拡散パラメーターの測定など厳密な物理化学的実験をベースにしながらい定義の部分にはあいまいさが残っていた。Dodsonが用いたある特定の温度で拡散係数が急激に減少するために同位体時計が実質的にスタートするという表現を拡散現象から見ると、一体どの程度の数値なのかという点が実は具体的でない。閉止温度の決定には冷却速度という不定性が残るので $\pm 50^{\circ}\text{C}$ 程度の誤差であっても解釈によって異なってくる。このことが拡散定数に具体的な数値を与えない一つの原因である。閉止温度は岩体の冷却にともなう同位元素の実質的蓄積という観点から定義されたが、ここでは $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法における段階加熱過程のように二次的な熱事象が鉱物の拡散過程に影響を及ぼす場合を考える。

一様に分布した元素がある温度で拡散する過程を記述する方程式は様々な拡散形状に対して厳密解が求まっている(たとえばCrank, 1975)。ここでは熱的事象に対して一番抵抗性の大きい等方的な球状の拡散をとりあげる。仮にある温度で99%のガス損失を受けた場合はほぼ完全リセットとみなすことができる。これは開放温度(unclosure temperature)の上限をきめる。球状の拡散では全体の20%を超えるガス損失があった場合、段階加熱の結果において真の年代からのずれが大きくなることが分かっている(Turner, 1968)。つまり20%以上のガス損失では真の年代に近い値を保持することができない。この関係で定義される温度を下限とすることができる。すなわちこれ以上の値では部分リセットをおこすという温度である。これらは拡散現象としておきるので加熱温度の継続時間 t との一定の関係がきまる。古地磁気学の緩和時間(Pullaiah, *et al.*, 1976)と対比されるものである。岩体の冷却過程における閉止温度と冷却速度という概念に比べ、二次的な熱事象における鉱物の拡散に対する開放温度と緩和時間という考え方で地質事象における「温度」の意味がより明確になった。

参考文献

Crank, J. (1975) *The mathematics of diffusion*, 2nd ed. Oxford Univ. Press, New York.

Dodson, M.H. (1973) Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems. *Contrib. Mineral. Petrol.* 40, 259-274.

Pullaiah, G. Irving, E. Buchan, K.L. and Dunlop, D.J. (1975) Magnetization changes caused by burial and uplift. *Earth Planet. Sci. Lett.* 28, 133-143.

Turner, G. (1968) The distribution of potassium and argon in chondrites. in *Origin and distribution of the elements* (ed. L.H. Ahrens), pp. 387-398. Pergamon, London.

キーワード：拡散、開放温度、閉止温度、球、緩和時間

Keywords: diffusion, unclosure temperature, closure temperature, sphere, relaxation time

海底熱水の希ガス同位体測定のための前処理装置開発とスタンダード測定の試み

Trial data of noble gas analysis using new preparation system to measure submarine hydrothermal fluids: comparison for STD gas

*佐藤 佳子¹、熊谷 英憲¹、岩田 尚能²、岡村 慶³、鈴木 勝彦¹

*Keiko Sato¹, Hidenori Kumagai¹, Naoyoshi Iwata², Kei Okamura³, Katsuhiko Suzuki¹

1.独立行政法人海洋研究開発機構 海底資源研究開発センター、2.山形大学理学部地球環境学科、3.高知大学教育研究部総合科学系複合領域科学部門

1.Research and Development Center for Submarine Resources, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Science, Yamagata University, 3.Research and Education Faculty, Multidisciplinary Science Cluster, Interdisciplinary Science Unit, Kochi University

今回JAMSTEC海底資源研究開発センターでは、現代の成因論に基づく海底熱水鉱床の調査法構築のため、海底熱水に含まれる溶存希ガスの測定が出来る前処理装置の製作を試みた。これは、海水中を移流拡散していくブラックスモーカーなどから放出される熱水プルームの追跡に、溶存した希ガスを用いるという考えに基づいている(例えば、Baker et al., 1995)。

この前処理装置には、少なくとも平衡蒸気圧程度の気体が導入されることから、固体試料を扱う場合に比べて遙かに高い圧力下での活性ガス除去能力が必要である。また、海底熱水は温泉水と海水双方の要素をあわせ持つような性質と予想されるため、岩石中には比較的乏しいハロゲンや多様な硫黄化合物の除去能力が極高真空の下で求められる。このため、通常のTi-ZrGetter・SORB-ACポンプに加えて、ハロゲンGetter・硫黄化合物Getterを追加し、より多くの活性ガスを取り除く必要に対応した。この硫黄化合物Getterの能力を十分に発揮させるためには、予めハロゲンGetterを作用させる必要があることが判った。また、熱水プルームの追跡には多点分析が必要になることから、オールメタルフランジを用いた前処理装置として、可能な限りコンパクトなラインを構成し、2-5cc程度の試料液量での測定を可能とした。全希ガス同位体測定を行うため、クライオジェニックポンプやチャコールトラップを備えており、岩石中の希ガスと同程度の精度で同位体比測定可能とした。この前処理装置は特許出願中である(特願2015-234839)。

今回、2011年11月に上山温泉(山形県上市)の源泉から採取した硫黄を多く含む温泉水と塩素を多量に含む環境水試料を、1984年に上山温泉源泉から採取され山形大学で作成された上山ガスのスタンダード試料(KS≒5.7Ra, Tamura et al., 2005、岡山理大保管)および、大阪大学で作成されたヘリウムスタンダード試料(HESJ(HJ≒20.6Ra, Tamura et al., 2005)と共に測定し、そのヘリウム同位体を決定した。

ここで得られた2011年11月に採取された上山温泉の温泉水試料のヘリウム同位体比は約7Raとなり、Horiguchi et al., (2010)の報告による2006年に採取した蔵王山周辺の遠刈田温泉試料のヘリウム同位体比(Togatta≒6.1Ra)より高い値を示した。今回得られたヘリウム同位体比は、1984年に得られた上山ガスのスタンダード試料のそれよりも有意に高い。1984年から2011年にかけてのヘリウム同位体比の上昇は、東北地方太平洋沖地震、もしくは地震以降活発化している蔵王火山の活動と関連づけることができるかもしれない。また、今回作成した前処理装置は、硫黄を多く含む温泉水と塩素を多量に含む環境水試料のヘリウム同位体比分析に有効であることが確認できた。

キーワード：海底熱水、希ガス、Getter剤

Keywords: submarine hydrothermal fluids, noble gas, gettering system

^{14}C 年代測定法における炭化物試料の信頼性の検証

An assessment of the reliability of carbon samples for ^{14}C dating.

*渥美 晋¹

*Shin Atsumi¹

1.千葉大学

1.Chiba University

木炭試料は放射性炭素年代測定法において最も信頼できる試料の一つと考えられている。同時にワラや小麦などの炭化物も年輪が無いため、より確実な試料として見られている。ところがそれらの化学的組成や処理条件に着目した信頼性の検証基準は整備されていない。本研究では広く一般に用いられている基本的な酸-アルカリ-酸前処理法のアルカリ処理段階の化学的処理条件、および試料中の炭素/窒素含有比に着目して、炭化物試料の質の検証を行った。その結果、1. 外気にさらされ光化学反応の進んだ木炭は1 MのNaOH水溶液に溶解してしまう、2. (1 MのNaOH水溶液には溶解してしまうが、) 低濃度NaOH溶液では溶け残る木炭のC/N比は土壌学で定義されるリター分解によって生じる森林土壌の分解性生物が示す10~30程度の値を示す、3. 上記に該当する試料の年代値は1文化亜層分の誤差が生じる、という現象を発見した(渥美2010)。上記の条件は年代測定用炭化物試料の検証基準として有用である。即ち、1. 炭化物試料は必ず1 Mの濃度のNaOH溶液に溶け残るべきである。2. 炭化物試料のC/N比は30以上の値を示すべきである(渥美2010)。今回は採集と試料選択について技術論として体系的に論じる。なお、前述の3つの理由から、1 MのNaOH溶液に溶解する、またはC/N比30以下の値を示す小麦、ワラは年代測定用試料として信頼性に欠けることが導き出される。

キーワード：放射性炭素年代測定法、酸-アルカリ-酸前処理法、炭化物

Keywords: Radiocarbon Dating, ABA method, Charcoal

樹木年輪の酸素同位体比データから復元する過去100年間の梅雨前線活動

Reconstruction of past Baiu activity using oxygen isotope ratio of tree rings in central Japan

*栗田 直幸¹、中塚 武²*Naoyuki Kurita¹, Takeshi Nakatsuka²

1.名古屋大学、2.総合地球環境学研究所

1.Nagoya University, 2.Research Institute for Humanity and Nature

古環境試料に記録されている酸素同位体比は、地球史を精密に復元するための指標（酸素同位体プロキシ）として古気候研究分野で一般的に使われている。一般的には、「降水の酸素同位体比は降水量や気温と相関関係を示す」という経験則に基づき、酸素同位体プロキシは降水量や気温の復元に用いられている。近年では、降水同位体観測の急増によって降水同位体比と気候変動の関数に関する理解が進み、その波及効果が酸素同位体プロキシの解釈にも及んでいる。例えば、「熱帯域における降水同位体比は、降水をもたらす積乱雲群の大きさに依存しており、降水量との相関はその結果である」という観測結果は、熱帯域における酸素同位体プロキシを「降水量」から「対流活動の活動度」の指標へと変化させた。日本においても、夏期の降水同位体比が梅雨前線の停滞位置と関係していることが明らかとなり、従来の古気候研究では取り扱われてこなかった情報を読み解くことが可能となっている。

本研究では、最新の水同位体研究の成果を古気候研究に応用し、中部日本で採取された樹木年輪の酸素同位体比（年輪同位体比）から過去の梅雨前線活動の復元に取り組んだ。年輪同位体比は、樹木が利用する水の同位体比および体内での生理作用によって決定されており、降水同位体比とは直接関係していない。そこで、年輪酸素同位体比を降水同位体比に変換する手法の検討を行った。まず、樹木年輪形成過程を考慮した数値モデル（プロセスモデル）を導入し、年輪同位体比から樹木が利用した水の同位体比（起源水の同位体比）の推定を行った。次に、過去17年間（1962-1979）東京で行われた月単位の降水同位体観測データを用い、推定した起源水同位体比との比較を行った。結果、起源水の同位体比は、6月の降水同位体比と最も高い相関関係を示した。そして、起源水の同位体比と降水同位体比の差は、6月の日照時間を使って再現できることをつきとめた。本研究では、日照時間の関数を使って過去100年間にわたる降水同位体比の復元（6月の平均値）を行った。

復元結果は、10年規模振動といった長期変化は小さいが、顕著な年々変動がみられた。そして、広域気象データが存在する1958年以降においては、同位体比の年々変化が梅雨前線活動と密接に結びついていることが明らかとなった。具体的には、(1) 降水同位体比と東海地方における梅雨入り日には有為な逆相関がみられる ($R=-0.37$, $p<0.01$)、(2) 梅雨入り時期の長期トレンドに対応した降水同位体比のトレンドがみられる、(3) 降水同位体比が平均値よりも顕著に高い（低い）年は、梅雨前線が太平洋沿岸から離れた（付近に）場所に停滞していることが明らかとなった。これらの結果から、復元した過去100年間にわたる降水同位体比は、梅雨入り時期や梅雨前線の停滞位置の指標であると結論できた。

キーワード：樹木年輪酸素同位体、降水酸素同位体、梅雨前線

Keywords: Tree-ring oxygen isotope ratio, Oxygen isotope ratio in precipitation, Baiu frontal zone

現世の海洋性島弧・島弧衝突帯花崗岩類のジルコン酸素同位体組成

Oxygen isotopic compositions of zircons from modern intra-oceanic arc and arc collision zone granites

*谷 健一郎¹、牛久保 孝行²

*Kenichiro Tani¹, Takayuki Ushikubo²

1.国立科学博物館地学研究部、2.海洋研究開発機構高知コア研究所

1.Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science, 2.Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC

The Izu-Bonin-Mariana (IBM) Arc is an active intra-oceanic arc, where silicic to intermediate granitic crust is being generated through subduction zone magmatism (e.g. Tani et al., 2015 EPSL). It has been active since ~52 Ma and for the last 15 million years has been colliding end-on with the Honshu Arc at the Izu collision zone (ICZ). As a result of this collision, voluminous syn-collisional granitic plutons are exposed in the ICZ that have attained geochemical features more akin to average continental crust through crustal modifications during the arc collision (e.g. Saito et al., 2007 J. Pet.; Tani et al. 2010, Geology). The collective understanding of silicic crust formation in modern intra-oceanic arcs and their successive modification during arc-arc collision is important, as they may be the modern analogue for continental crust formation during the early Earth history.

Since oxygen isotope ratios are sensitive to low-temperature geological processes and zircon is one of the most robust crystals to preserve initial isotopic and trace element compositions of the coexisting melt, zircon oxygen isotopic compositions are commonly used as a key tool to estimate the onset and degree of crustal recycling in the Archean crust (e.g. Valley 2003 RMG). However, it is unclear whether the zircon oxygen isotope systematics of the modern intra-oceanic arcs and arc collision zones are concordant with what is assumed for juvenile crustal formation and successive crustal modification in the Archean.

We have conducted zircon oxygen isotope analyses of representative IBM and ICZ granitic rocks using the CAMECA IMS-1280HR installed at the Kochi Institute, JAMSTEC. The analyzed IBM granitic rocks range from Eocene (~49 Ma, Torishima forearc tonalite) to modern (<1 Ma Niijima tonalite xenolith, Tani et al., 2011 EPSL) and ICZ granitic rocks range from 15 Ma (Kaikomagatake granite, Saito et al., 2012 CMP) to 4 Ma (Tanzawa tonalite, Tani et al., 2010). The average $\delta^{18}\text{O}$ values of IBM granites are generally low from 4.93 to 5.26, except for one diorite sample from Oligocene Omachi Seamount (~38 Ma) that has high $\delta^{18}\text{O} = 7.03$. ICZ granitic rocks, on the other hand, show a wider range of $\delta^{18}\text{O}$ values from 4.77 to 6.40, which most likely reflects various degrees of incorporation of mature sediments from the Honshu Arc and/or interactions with meteoric water during the emplacement of the granitic magma at shallow levels during the arc collision. These data will provide important geochemical constraints on the crustal development processes in intra-oceanic arcs and arc collision zones and whether crustal development in intra-oceanic arcs and arc collision zones is a modern geochemical analogue of Archean crustal formation.

キーワード：ジルコン酸素同位体、海洋性島弧、島弧衝突帯

Keywords: Zircon oxygen isotope, intra-oceanic arc, arc collision zone

重晶石を用いたESR年代測定における SO_3^- ラジカルの α 線による生成効率

The alpha effectiveness of the dating ESR signal in barite: a revision

*藤原 泰誠¹、豊田 新¹、内田 乃¹、西戸 裕嗣¹、石橋 純一郎²*Taisei Fujiwara¹, Shin Toyoda¹, Ai Uchida¹, Hirotsugu Nishido¹, Jun-ichiro Ishibashi²

1.岡山理科大学、2.九州大学

1.Okayama University of Science, 2.Kyusyu University

The temporal change of submarine hydrothermal activities has been an important issue in the aspect of the evolution of hydrothermal systems which is related with ore formation Urabe (1995) and biological systems sustained by the chemical species arising from hydrothermal activities (Macdonald et al., 1980). Takamasa et al. (2013) and Fujiwara et al. (2015) showed that ESR (Electron Spin Resonance) dating of barite (BaSO_4) is useful for investigation of history of hydrothermal activities.

Barite crystals formed by sea-floor hydrothermal activities contains large amount of Ra which replaces Ba in the crystal lattice where the internal alpha dose rate in barite contributes 40 to 60 % of total dose rate (Okumura et al., 2010). As the LET of alpha particles is much larger than beta and gamma rays, causing high-density ionization, the probability of recombination which do not contribute to the generation of the signal is larger, therefore, generating smaller amount of signals. Determination of alpha effectiveness is thus the one of the essential factors for improving the precision of dating of barite by ESR.

Toyoda et al. (2012) investigated the alpha effectiveness for the ESR signal due to SO_3^- in barite by comparing the dose responses of the signal for gamma irradiation and for He^+ ion implantation with an energy of 4 MeV, to obtain a value 0.043 ± 0.018 . However, the dose response was far from "good", where the number of points is not sufficient. The experiments of He^+ ion implantation was repeated in the present study for several samples to determine the precise alpha effectiveness.

A sample of hydrothermal barite, taken by the NT12-06 research cruise operated by Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) was used for the present study. The values were obtained to be 0.025 ± 0.002 for synthetic barite, and to be $0.102(+0.014/-0.013)$ for barite extracted from a sea-floor hydrothermal sulfide deposit, being four times larger than the former. For the latter sample, it is possible that the slopes of the dose responses of the signal intensities around the zero dose value may not be estimated appropriately due to the extrapolation of the dose response curve. Tentatively, the value for the synthetic sample should be adopted.

キーワード：重晶石、海底熱水活動、電子スピン共鳴年代測定、アルファ効果

Keywords: barite, hydrothermal activities, ESR dating, alpha effectiveness

南アルプス北東縁に位置する糸魚川－静岡構造線のESR年代測定

ESR dating of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line located at the northeast edge of Japan South Alps

*福地 龍郎¹*Tatsuro Fukuchi¹

1.山梨大学大学院総合研究部教育人間科学域

1.Graduate School of Education & Human Science, University of Yamanashi

糸魚川－静岡構造線（糸静線）活断層系の一部である牛伏寺断層は、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震（M9.0）以降、その活動性がさらに高まっている可能性が指摘されている。南アルプス及び周辺地域で東北地方太平洋沖地震前後に発生した地震の震源分布を見ると、地震活動が活発な牛伏寺断層の南東延長地域では、糸静線活断層系沿いでほとんど地震が発生しておらず、糸静線とは無関係にほぼ北北西－南南東ラインに並んでおり、将来このライン沿いで巨大地震が発生する可能性がある（福地・他、2016）。また、牛伏寺断層の南東延長部に位置する鳳凰山断層のさらに南方では、地質構造線としての糸静線の分布と震源分布が一致しており、地質境界である糸静線が地震発生に何らかの影響を与えている可能性が高い（福地・他、2016）。一方、鳳凰山断層石空川露頭の断層岩を用いたESR年代測定では、 0.6 ± 0.1 Ma以降に活動したという結果が得られている（福地、2015）。そこで今回、鳳凰山断層石空川露頭の約10km南方に位置するドンドコ沢露頭における糸静線から採取した断層ガウジを用いてESR年代測定を実施した。

断層のESR年代測定では、理論的にはESR年代値（ T_e ）は実際の最新活動年代（ T_a ）の上限値を与えるので、 $T_a \leq T_e$ という関係式が成り立つ（福地、2015）。ドンドコ沢露頭では、中期中新世の鳳凰型花崗岩がマイロナイト化しているが、糸静線の断層面沿いには最近の断層活動により黒色の断層ガウジが形成されている。X線回折分析では、黒色ガウジからスメクタイトが検出されており、黒色ガウジは比較的浅所で生成されたと推定される。スメクタイトは、天然では110°Cよりも低い温度で安定的に存在できると考えられる（吉村、2001）ので、ドンドコ沢露頭（高度約1,395m）周辺の地温勾配を3°C/100m、平均隆起速度を2~3mm/yと仮定すると、黒色ガウジ中のスメクタイトの生成年代は約170~250万年以降と見積もられ、ドンドコ沢露頭では第四紀に糸静線が活動した可能性が高いことが判明した。一方、黒色ガウジ中の石英から検出されるAl中心の超微細構造（ $g=2.0187$ ）を利用してESR年代測定を行った結果、 0.55 ± 0.12 Ma（決定係数R値91.2%）という年代値が得られた。従って、ドンドコ沢露頭周辺の糸静線の最新活動時期は、 0.55 ± 0.12 Ma以降と推定される。

引用文献

福地龍郎、2015、ESR年代測定法による断層活動性評価。日本地球惑星科学連合2015年大会講演要旨、SGL39-01。

福地龍郎・他、2016、南アルプス及び周辺地域の活断層分布と地震活動変化。山梨大学教育人間科学部紀要、第17巻、p.219-226。

吉村尚久編著、2001、粘土鉱物と変質作用、地学双書32、293pp。

キーワード：南アルプス、糸魚川－静岡構造線、ESR年代測定、電子スピン共鳴、断層岩、スメクタイト

Keywords: Japan South Alps, Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, ESR dating, Electron spin resonance, Fault rock, Smectite

原子間力顕微鏡を用いたジルコンにおけるアルファリコイルトラック法確立に向けた観察
Observation of zircon by atomic force microscope for establishing Alpha Recoil Track
method

*早坂 怜¹、長谷部 徳子¹、松木 篤¹、福間 剛士¹、田村 明弘¹

*Rei Hayasaka¹, Noriko Hasebe¹, Atsushi Matsuki¹, Takeshi Fukuma¹, Akihiro Tamura¹

1.金沢大学

1.Kanazawa University

アルファリコイルトラック(ART)は²³⁸Uやその娘核種(²³⁴Uや²³⁰Th等)が α 崩壊をする際に生じた運動エネルギーにより、残った原子核がその反動で動き残す損傷のことをいう。ART法はART数が時間に比例することを用い、ART数とウラン・トリウム濃度を測定することで年代値を算出する方法である。ジルコンにおけるART法ではウラン・トリウム濃度により異なるが、おおよそ数百から数万年前の年代測定が可能になる。ARTはFTよりも非常に小さいことから光学顕微鏡での観察が困難であったが、ナノオーダーの高い分解能を持つ原子間力顕微鏡(AFM)を用いることで観察が可能となった。伊藤D論(2014)ならびに小坂他(2015)ではジルコンにおいてFTとは明らかに異なるARTらしきトラックが確認された。小坂他(2015)では実際にAFMを用いて年代値5万8000年のジルコン(HKS08)のART数の計測を行った。

LA-ICP-MSにてHKS08のウラン・トリウム濃度を測定したところ、単一粒子内でウラン濃度150~270ppm、トリウム濃度86.5~210ppmとばらつきが確認できた。ART数の計測を行ったところと最も近傍のウラン・トリウム濃度を利用して年代値を計算したところ1万4000年となり、期待値よりかなり若い年代値となった。

別の試料においても同様の結果が得られるのかを調べるべく、新たに始良入戸火砕流のジルコンの観察、測定を行った。町田他(1992)によると本試料は2万2000~2万5000年の年代値を持つ。観察の結果ARTトラック密度は0.001個/²から0.116個/²とばらついた。別のジルコンでウラン・トリウム濃度を測定したところ、それぞれ130~270ppm、60~160ppmとなり、それを元に計算した年代は期待される年代より若い値を示すという結果となった。この原因としてARTサイズが小さく年代式が適切でない可能性、もしくはARTの認定基準に問題があり本来のART密度が得られていないことなどが考えられる。さらに試料の長時間の段階エッチングを通じて挙動を観察することや他の試料の観察を通してART法の確立へと繋げていきたい。

伊藤健太郎(2014), Improvement and development of dating methods using radiation damage for reconstructing Quaternary volcanic history, D論, 金沢大学

小坂明弓, 長谷部徳子, 松木 篤, 伊藤健太郎(2015), Observation of alpha recoil track in zircons by atomic force microscope; An attempt, フィッション・トラックニュースレター, 28, 13-15

町田洋, 新井房夫(1992), 火山灰アトラス[日本列島とその周辺], 東京大学出版社

キーワード: アルファリコイルトラック、ジルコン、原子間力顕微鏡

Keywords: Alpha Recoil Track, Zircon, Atomic Force Microscope