

## レーザ加熱 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法によるプレート沈み込み開始プロセスに関する研究 Application of laser-heating $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating to the studies of subduction initiation process

石塚 治<sup>1\*</sup>

Osamu Ishizuka<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan/AIST

Submarine volcanic rocks are known to give ages different from their true eruption ages in some cases (e.g. Seidemann 1977). This is due to the existence of excess  $^{40}\text{Ar}$  in the rapidly quenched glass or Ar loss and K remobilization caused by reaction with seawater or hydrothermal fluids. Stepwise-heating analysis in  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating is particularly useful for dating submarine volcanics because: 1) it can provide means of detecting contribution of non atmospheric component (isochron plot), 2) extensive pre-analysis sample treatment (i.e., acid leaching, pre-heating of samples at relatively high temperature before analysis) is possible to reduce contribution from alteration phases, 3) by combined with laser-heating procedure, it can be applied on very limited amount of suitable material for dating.

We are applying this dating technique to reveal time scale and timing of process of subduction initiation along the Philippine Sea Plate, i.e., initiation of Izu-Bonin-Mariana arc. Dating of forearc crustal section of this arc revealed that the first basaltic magmatism at subduction initiation was produced by decompression melting of the mantle and took place at 51-52 Ma. The change to flux melting and boninitic volcanism took 2-4 m.y., and the change to flux melting in counterflowing mantle and more normal arc magmatism took 7-8 m.y.

These dating results also provide implication about the location and cause of subduction nucleation. The 51-52 Ma age of subduction nucleation in the IBM system strongly implies that the IBM arc initiated before the onset of sea-floor spreading in the West Philippine Basin. The potential location of subduction nucleation could be along the Mesozoic-aged arc terrane that is now found along the margins of the West Philippine Basin. This implication could be significant when along-strike variation of crustal structure and geochemical characteristics of arc magma are considered.

The contemporaneousness of IBM forearc magmatism with the major change in plate motion in Western Pacific at ca. 50 Ma suggests that the two events are intimately linked. Published numerical models of subduction initiation require at least 100km of convergence before a subduction zone nucleates, and self-sustaining subduction occurs (Hall et al., 2003). During the earliest stage of subduction, rapid trench retreat causes extension and decompression melting to generate forearc basalts from asthenospheric mantle. If this is correct, then 51-52 Ma age for onset of the basaltic magmatism can be considered as the age of initiation of slab sinking followed by self-sustaining subduction.

This age nearly coincides with the best estimate of the change in motion of the Pacific Plate deduced from the age of the Hawaiian-Emperor bend (c. 50 Ma: Sharp and Clague, 2006). Because the volcanism appears to be nearly synchronous with the change in plate motion, it appears that it was the onset of subduction that changed the plate motion. But it is still too early to reach this conclusion since we need to understand the period of subduction nucleation along the entire length of western Pacific margin with better precision. Systematic chronological study of ophiolite sequence (corresponding to early arc crustal section) in this area as well as the submarine forearc section will provide critical constraints to this discussion, and could contribute to finalize the discussion about whether subduction initiation is spontaneous or induced (e.g., Stern, 2004).

Keywords:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating, subduction initiation, Izu-Bonin-Mariana arc

## 火山岩中の軽同位体に富むアルゴン同位体質量分別作用 Argon isotope mass fractionation to light isotope enrichment in volcanic rocks

板谷 徹丸<sup>1\*</sup>, 柳 善榮<sup>1</sup>  
Tetsumaru Itaya<sup>1\*</sup>, Ryu, Sunyoung<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 岡山理科大学

<sup>1</sup> Okayama University of Science

The basalt magma generated in the upper mantle must be in excess argon environment by the radiogenic  $^{40}\text{Ar}$  derived from  $^{40}\text{K}$  decay in the upper mantle as suggested from mantle-derived materials reported by Kaneoka and Takaoka (1980). In fact, the submarine basalts from the crest of the East Pacific rise give the older K-Ar ages up to 460 Ma (Funkhouser et al., 1968). The submarine pillow basalt lavas from Kilauea volcano, Hawaii give the extremely old K-Ar ages (43 Ma) in the quickly cooled rim part in comparison with the ages (1 Ma) in the slowly cooled core part (Dalrymple and Moore, 1968). Ryu et al. (2011) reported the coarse-grained olivine phenocrysts in the basalts from the central part of Korean Peninsula were extremely older (38 Ma) than the groundmass feldspar (0.5 Ma). These results suggest the source magma had the excess argon, which has remained in the quickly cooled pillow lavas and the coarse-grained olivine phenocrysts.

The island arc type magma is produced through the partial melting of mantle wedge peridotite (Tatsumi, 1986). This suggests that the magma were also in excess argon environment because the magma formed in the wedge mantle. The argon diffusion process from magma during the eruption makes more excess argon environments. However, the historical lavas have experienced the argon isotope mass fractionation to light isotope enrichment (Matsumoto et al., 1989) and the late Pleistocene volcanic rocks in Japan, New Zealand, Hawaii and China have frequently the ratios of  $^{38}\text{Ar}$  and  $^{36}\text{Ar}$  lower than the atmospheric ratio (0.187). This confirms the mass fractionation to light isotope enrichment is common in volcanic rocks.

When, where and how the mass fractionation from the atmospheric argon isotopes takes place during the magma generation and eruption process? Itaya and Nagao (1988) and Itaya et al. (1989) pointed out that the most likely location for the mass fractionation from the atmospheric argon could be in the magma reservoir in the earth crust, probably in the shallow reservoir where the magma may easily interact with the atmospheric argon transported from out of the reservoir through underground water or seawater based on Ueda and Sakai (1984) who revealed that there was a significant interaction between magma and seawater in the magma reservoir of Satsuma Iwojima volcano, south of Kyushu, Japan. We have a working hypothesis that the magma just before eruption has already the mass fractionated isotopes. Itaya and Nagao (1988) and Itaya et al. (1989) reported that the post caldera stage lava of Aso volcano has significantly different  $^{36}\text{Ar}$  content and the same ratio of  $^{38}\text{Ar}$  and  $^{36}\text{Ar}$  in the slowly cooled part and in the quickly cooled basement part. This shows that the mass fractionation did not take place during the degassing process in the lava flowing and the isotopic ratio in the magma reservoir did not change in the process. On the basis of this hypothesis, we propose a mixing model for the mass fractionation to light isotope enrichment. We interpret that the mass fractionation to light isotope enrichment takes place during infiltration of groundwater or seawater with the atmospheric argon isotopes into the magma reservoir with the mass fractionation law analyzed numerically (Ryu et al., 2010). When the water with mass fractionated argon isotopes interact sufficiently with the magma having the excess argon isotopes in the reservoir, the magma will have the argon isotopic ratios on the fractionation line. In this case, the mass fractionation correction is valid to get reliable ages. The insufficient interaction makes the isotopic ratios above the mass fractionation line, giving unreliable ages.

キーワード: 火山岩, アルゴン, 質量分別作用, 軽同位体, 質量分別補正年代

Keywords: volcanic rocks, argon, mass fractionation, light isotopes, mass fractionation correction age

## 水月湖 93 年および 06 年コアから得られた陸上の放射性炭素年代較正用データセット ト Terrestrial radiocarbon calibration dataset from Lake Suigetsu 1993 and 2006 varved sediment cores

中川 毅<sup>1\*</sup>, クリストファー ブロンク ラムジー<sup>2</sup>, リチャード スタッフ<sup>2</sup>, シャルロット ブライアント<sup>3</sup>, ゴードン シュロラウト<sup>4</sup>, マイケル マーシャル<sup>5</sup>, アヒム ブラウアー<sup>4</sup>, ヘンリー ラム<sup>5</sup>, パヴェル タラソフ<sup>6</sup>, 原口 強<sup>7</sup>, 五反田 克也<sup>8</sup>, 米延 仁志<sup>9</sup>, 多田 隆治<sup>10</sup>, 横山 祐典<sup>10</sup>, Suigetsu Varves 2006 project members<sup>11</sup>  
Takeshi Nakagawa<sup>1\*</sup>, BRONK RAMSEY, Christopher<sup>2</sup>, STAFF, Richard<sup>2</sup>, BRYANT, Charlotte<sup>3</sup>, SCHLOLAUT, Gordon<sup>4</sup>, MARSHALL, Michael<sup>5</sup>, BRAUER, Achim<sup>4</sup>, LAMB, Henry<sup>5</sup>, TARASOV, Pavel<sup>6</sup>, HARAGUCHI, Tsuyoshi<sup>7</sup>, GOTANDA, Katsuya<sup>8</sup>, YONENOBU, Hitoshi<sup>9</sup>, TADA, Ryuji<sup>10</sup>, YOKOYAMA, Yusuke<sup>10</sup>, Suigetsu Varves 2006 project members<sup>11</sup>

<sup>1</sup> ニューカッスル大学 (英), <sup>2</sup> オックスフォード大学, <sup>3</sup> NERC 放射性炭素実験施設 (環境学), <sup>4</sup> ポツダム地質学研究所, <sup>5</sup> アペリストウィス大学, <sup>6</sup> ベルリン自由大学, <sup>7</sup> 大阪市立大学, <sup>8</sup> 千葉商科大学, <sup>9</sup> 鳴門教育大学, <sup>10</sup> 東京大学, <sup>11</sup> www.suigetsu.org  
<sup>1</sup> University of Newcastle, <sup>2</sup> University of Oxford, <sup>3</sup> NERC Radiocarbon Facility (Environment), <sup>4</sup> GeoForschungsZentrum, Potsdam, <sup>5</sup> Aberystwyth University, <sup>6</sup> Free University Berlin, <sup>7</sup> Osaka City University, <sup>8</sup> Chiba University of Commerce, <sup>9</sup> Naruto University of Education, <sup>10</sup> University of Tokyo, <sup>11</sup> www.suigetsu.org

水月湖の放射性炭素年代データセットは、Kitagawa and van der Plicht によって 1998 年に最初に報告された。だが当時研究に用いられた堆積物コア (SG93) は完全な連続試料ではなく、欠落分の見積りも不正確であったため、水月湖のポテンシャルは広く認識されるようになったものの、そのデータセットは放射性炭素年代の較正用データセットとして国際的に広く用いられることはなかった。

水月湖 2006 年コアを用いた研究プロジェクトは、93 年コアから得られた教訓をすべて踏まえ、完全な連続サンプルにもとづいて実施された。絶対年代の基になる年縞の計数は、二つの研究機関で別々の方法で実施した後、数学的な手法で単一のモデルに統合した。蓄積性の計数誤差は、U-Th 年代の与えられた鍾乳石のデータに対して、ベイズ統計モデルを用いたきわめて保守的なウィグルマッチングを施すことで最小限に押さえた。この点は Bronk Ramsey et al. (2012) でも難解な部分であると思われるので、とくに丁寧に解説することを試みる。

以上のような改善の結果、水月湖の絶対年代モデルの誤差は 1 万年で 30 年弱、5 万年でも 170 年弱に押さえることができた。このデータセットは完全に陸上の試料のみから得られているため、海洋のリザーバー効果や石灰岩由来の炭素の影響を考慮する必要がなく、樹木年輪の届かない古い時代の放射性炭素年代較正データセットとして理想的である。2013 年に発表される予定の新しい IntCal には、水月湖のデータセットが中心的に採用される予定である (2013 年 2 月 3 日現在)。

キーワード: 水月湖, SG06, 放射性炭素, IntCal, 年縞

Keywords: Lake Suigetsu, SG06, Radiocarbon, IntCal, Varve

## 海底熱水鉱床の硫化鉱物のウラン - トリウム放射非平衡年代測定 - 他の年代測定法との比較 -

### U-Th dating of sulfide minerals from a hydrothermal vent -comparisons with other dating methods-

賞雅 朝子<sup>1</sup>, 中井 俊一<sup>1\*</sup>, 豊田 新<sup>2</sup>, 佐藤 文寛<sup>2</sup>, 藤原 泰誠<sup>2</sup>, 石橋 純一郎<sup>3</sup>

Asako Takamasa<sup>1</sup>, Shun'ichi Nakai<sup>1\*</sup>, Shin Toyoda<sup>2</sup>, Fumihito Sato<sup>2</sup>, Taisei Fujiwara<sup>2</sup>, Jun-ichiro Ishibashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 岡山理科大学, <sup>3</sup> 九州大学

<sup>1</sup>ERI, University of Tokyo, <sup>2</sup>Okayama University of Science, <sup>3</sup>Kyushu University

海底熱水鉱床の活動の持続時間は、鉱床の規模やそこに生活する生物群集の進化に大きな影響を与える。熱水活動の年代測定はこれまで主に、<sup>210</sup>Pb(半減期 22.6 年) など <sup>238</sup>U 壊変系列の短寿命放射性核種を利用して行われてきた。例えば Lalou et al. (1985) は、放射能測定を用い、拡大速度の大きな東太平洋中央海嶺の中軸谷で採取された硫化鉱物の <sup>210</sup>Pb/Pb 年代は 100 年以下であり、<sup>234</sup>U-<sup>230</sup>Th 系は <sup>230</sup>Th(半減期 75,000 年) が検出できなかったことを報告している。また中軸谷から外れた場所からの試料では、<sup>234</sup>U-<sup>230</sup>Th 年代を報告している。一方、拡大速度の小さな大西洋中央海嶺の TAG 地域では、You and Bickle(1998) が表面電離型質量分析計を用い硫化鉱物の、<sup>234</sup>U-<sup>230</sup>Th 年代を報告している。本研究では、比較的拡大速度の大きな南部マリアナトラフの Archaean site から採取された、熱水を放出している硫化鉱物を主体とするクラストの詳細な、<sup>234</sup>U-<sup>230</sup>Th 年代測定を ICP 質量分析計を用いて行った。得られた年代を同じクラスト中の硫酸塩鉱物の重晶石の ESR 年代と硫化鉱物の <sup>226</sup>Ra-<sup>210</sup>Pb 年代と比較した。

クラストの一部を切り取り、さらに 13 分割にしたものを、U-Th 法と ESR 法により年代測定を行った。クラストの各部分は二つの年代測定法で 270 ~ 2200 年の年代を示した。U-Th 年代と ESR 年代は多くは誤差範囲で一致する。特に U-Th 年代は連続的に分布しており、クラストが連続的に成長したことを示唆している。一方、Noguchi et al.(2011) は、同じクラスト試料(切り出し部分は異なる)を用いて、30-40 年の若い <sup>226</sup>Ra-<sup>210</sup>Pb 年代測定を報告している。この年代の不一致の原因は次のように考えられる。

クラストは連続的に成長しており、それぞれの部分の年代は一種の平均年代を示すと考えられる。1) 熱水鉱物のクラストが一定期間等速度で連続的に成長していく、2) 鉱物沈殿時に親核種の <sup>234</sup>U と <sup>226</sup>Ra を含むが、娘核種の <sup>230</sup>Th と <sup>210</sup>Pb を含まず、3) 鉱物形成後各部分は閉鎖系に保たれる、4) 分析時には各部分を均質にサンプリングするようなモデルを考える。例えば、2,000 年間連続成長した鉱物を、すべて均一に混ぜて測定した場合、<sup>234</sup>U-<sup>230</sup>Th (娘核種の <sup>230</sup>Th の半減期は 75,000 年) 法では本当の平均年代 1,000 年とほぼ等しい 997 年の結果が得られるが、<sup>226</sup>Ra-<sup>210</sup>Pb (娘核種の <sup>210</sup>Pb の半減期は 22.6 年) では 85 年となり、最後に成長した部分の年代の影響を受けやすい。地下水から沈殿したオパール年代でもこのような現象が報告されている (Neymark et al., 2000)。

本研究の結果は一つの熱水活動が数千年以上継続することを明らかにした。また成長時期の異なる部分を分離して年代測定することが難しい現状では、連続成長した試料の年代の解釈には注意が必要であることを示唆している。最後にマルチコレクター型の ICP-MS を用いることにより、U, Th 濃度によっては 50 年以上経過していれば、<sup>234</sup>U-<sup>230</sup>Th 非平衡年代が測定が可能であることを確認しており、この年代測定法は、海底熱水鉱床の形成過程や大きさの進化を考えると非常に有用であるといえる。

キーワード: 海底熱水鉱床, ウラン - トリウム放射非平衡年代測定, ESR 年代測定, 年代不一致  
Keywords: hydrothermal vent, U-Th radioactive disequilibrium dating, ESR dating, inconsistent age

## マルチ年代学による白山火山活動史研究 History of Hakusan volcano studied by multi-chronology

長谷部 徳子<sup>1\*</sup>, 中野靖幸<sup>1</sup>, 宮本光<sup>1</sup>, 東野外志男<sup>2</sup>, 田村明弘<sup>1</sup>, 荒井章司<sup>1</sup>  
Noriko Hasebe<sup>1\*</sup>, Yasuyuki Nakano<sup>1</sup>, Hikaru Miyamoto<sup>1</sup>, Toshio Higashino<sup>2</sup>, Akihiro Tamura<sup>1</sup>, Shoji Arai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学, <sup>2</sup> 石川県白山自然保護センター

<sup>1</sup>Kanazawa University, <sup>2</sup>Hakusan Nature Conservation Center, Ishikawa

石川県, 福井県, 岐阜県の県境に位置する白山火山では、地下にマグマだまりの存在が確認されており、将来の起こりうる噴火に警鐘を鳴らす火山性地震も報告されている(平松 2006)。白山火山は、加賀室火山、古白山火山、新白山火山、うぐいす平火山で構成され(石川県白山自然保護センター, 1992), 各火山の噴出年代は主として K-Ar 法により年代決定されている(東野ほか 1984 など)。しかし加賀室火山以外の年代は K-Ar 法が適用できる年代範囲に比較して相対的に若いため、他の年代測定法により多角的に年代を決定することは白山火山の噴出史を再構築するのに役立つはずである。本研究では、熱ルミネッセンス年代測定法の適用年代域が白山火山の噴出年代を知るのに適しているにもかかわらずこれまで試されることがないことに着目し、石英を抽出して年代決定を行った。また加賀室火山にはフィッショントラック年代測定を適用した。さらにマグマだまりでの滞留時間について情報を得るために鉱物晶出年代を U-Th 法および U-Pb 法により見積もり、同火山下のマグマプロセスについて考察した。その結果、噴出年代はおおむね K-Ar 法による既報と一致し、晶出年代はそれよりも 5 ? 1 0 万年若いという結果となった。

キーワード: ルミネッセンス年代測定, U-Th 年代測定, フィッショントラック年代測定, U-Pb 年代測定  
Keywords: Luminescence dating, U-Th dating, Fission track dating, U-Pb dating



## サブミクロン CHIME 年代測定法の開発 Development of submicron CHIME dating

加藤 丈典<sup>1\*</sup>

Takenori Kato<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学年代測定総合研究センター

<sup>1</sup>Center for Chronological Research, Nagoya University

EPMA を用いた CHIME 年代測定 [1][2][3] では、数ミクロンの領域の U-Th-Pb 系の年代測定が可能である。通常 15 から 25keV のエネルギーの電子を用いるため、1 ミクロン以下の微小粒子や、累帯構造をもつ鉱物の 1 ミクロン以下の細い領域を測定することは不可能である。そこで、1 ミクロン以下の高空間分解能の CHIME 年代測定法を開発した。その結果、サブミクロン領域の CHIME 年代測定は、EPMA で入射電子のエネルギーを小さくすることで実現可能であることが明らかになった。

モンテカルロシミュレーションにより鉱物内部の X 線発生領域を求め、電子ビームの大きさを考慮した空間分解能を検討した。Kato (2007)[4] のシミュレーションモデルを用いた。その結果、入射電子のエネルギーを 5keV にすると、タングステンフィラメントでも通常の分析と同じ 200nA の照射電流で分析領域が 1 ミクロン未満になることが明らかになった。また、X 線強度のシミュレーション結果から、入射電子のエネルギーを 5keV とし、照射電流を 200nA とした場合の検出限界は閃ウラン鉱で 7Ma、モナズ石で 150 から 450Ma (化学組成に依存) であることが予想される。

次に、補正計算モデルについて検討した。5keV の条件では、発生関数の形状が 15keV の条件と大きく異なる。低エネルギーでも正確な発生関数モデルでなければ正しい化学組成を得ることができない。double Gaussian[5][6]、PAP[7]、surface-center Gaussian[8] 及び conventional ZAF について、閃ウラン鉱及び方トリウム鉱を用いて実際に X 線強度を測定して比較した。その結果、double Gaussian と PAP は 15keV と 5keV で得られる年代がよく一致しているが、surface-center Gaussian と conventional ZAF では、15keV で得られる年代と 5keV で得られる年代が大きく異なることが明らかになった。したがって、5keV の入射電子を用いたサブミクロン CHIME 年代測定では、double Gaussian 又は PAP により補正計算を行う必要がある。

[1] Suzuki, K. & Adachi, M. (1991) *J. Earth Planet. Sci. Nagoya Univ.*, 38, 11 - 37.

[2] Suzuki, K. & Adachi, M. (1991) *Geochem. J.*, 25, 357 - 376.

[3] Suzuki, K. & Kato, T. (2008) *Gondwana Res.*, 14, 569 - 586.

[4] Kato, T. (2007) *Geostandard Geoanal. Res.*, 31, 89 - 94.

[5] Merlet, C. (1994) *Mikrochim. Acta*, 114/115, 363 - 376.

[6] Merlet, C. (1995) *Microbeam Anal.*, 4, 239 - 253.

[7] Pouchou, J.L. and Pichoir, F. (1991) In: *Electron Probe Quantitation*, Heinrich, K.F.J. & Newbury, D.E. (eds), Plenum Press, New York, 31 - 75.

[8] Armstrong, J.T. (1991) In: *Electron Probe Quantitation*, Heinrich, K.F.J. & Newbury, D.E. (eds), Plenum Press, New York, 261 - 315.

キーワード: CHIME 年代測定, U-Th-Pb 年代測定, サブミクロン年代測定, EPMA 定量分析, マトリクス補正

Keywords: CHIME dating, U-Th-Pb dating, submicron dating, quantitative electron probe microanalysis, matrix correction

## 多数の U-Pb 年代測定データから明らかになった飛騨山脈での多段階花崗岩質マグマの貫入

### Incremental granitic magma emplacements in the Hida Mountain Range as revealed by comprehensive zircon U-Pb data

伊藤 久敏<sup>1\*</sup>, 山田 隆二<sup>2</sup>, 田村 明弘<sup>3</sup>, 荒井 章司<sup>3</sup>, 堀江 憲路<sup>4</sup>, 外田 智千<sup>4</sup>  
Hisatoshi Ito<sup>1\*</sup>, Ryuji Yamada<sup>2</sup>, Akihiro Tamura<sup>3</sup>, Shoji Arai<sup>3</sup>, Kenji Horie<sup>4</sup>, Tomokazu Hokada<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 電力中央研究所, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所, <sup>3</sup> 金沢大学, <sup>4</sup> 国立極地研究所  
<sup>1</sup> CRIEPI, <sup>2</sup> NIED, <sup>3</sup> Kanazawa University, <sup>4</sup> National Institute of Polar Research

飛騨山脈は日本で最も高い山脈であるとともに第四紀の隆起・削剥が激しい地域である。飛騨山脈には花崗岩が広く分布しており、中生代から第四紀にかけての複数回の貫入イベントが知られている。これらは比較的閉鎖温度が低い K-Ar 法やフィッショソ・トラック法に基づいているため、正確な貫入年代は不明であった。

本研究では黒部川花崗岩とその周辺から採取した 34 個の花崗岩質岩試料について、LA-ICP-MS によるジルコンの U-Pb 年代を求めた。いくつかの試料についてはジルコン粒子の中心部と縁辺部での測定を行い、また SHRIMP による U-Pb 年代測定も行った。その結果、信頼性の高い U-Pb 年代が得られたことが確認できた。

年代測定の結果、飛騨山脈には 65 Ma 頃に生成した花崗岩が広く分布すること、10 Ma から複数回の貫入イベントがあることが明らかになった。そのうち最も若い貫入イベントは約 0.8 Ma であり、黒部川花崗岩が地球上で最も若い地表露出花崗岩であることが分かった。

キーワード: U-Pb 年代測定, ジルコン, 花崗岩質マグマ, 飛騨山脈

Keywords: U-Pb dating, zircon, granitic magma, Hida Mountain Range

## 南海トラフ付加プリズムの熊野海盆泥火山噴火のメカニズム Mechanism of eruption of Kumano mud volcano, Nankai accretionary prism

西尾 嘉朗<sup>1\*</sup>, 井尻 暁<sup>1</sup>, 土岐 知弘<sup>2</sup>, 諸野 祐樹<sup>1</sup>, 稲垣 史生<sup>1</sup>  
Yoshiro Nishio<sup>1\*</sup>, Akira Ijiri<sup>1</sup>, Tomohiro Toki<sup>2</sup>, Yuki Morono<sup>1</sup>, Fumio Inagaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 琉球大学

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>Ryukyu Univ.

付加プリズムの深部流体は、海溝型地震の発生において重要な役割を演じる。前弧泥火山の流体試料は、その流体の起源や付加プリズム深部における水-堆積物の相互作用に関して有用な情報をもたらしてくれることが期待できる。しかし、海水汚染のために、水の水素・酸素同位体比といった伝統的指標を用いては、泥火山の間隙水試料から深部流体情報を探ることは難しかった。最も軽いアルカリ金属元素であるリチウム (Li) は極めて流体相に入りやすい元素の一つである。堆積物と流体が共存する系においては、流体に分配される Li 量は温度と共に増加する。加えて、一度でも高温を経験して流体に分配された Li は冷却過程においても鉱物相に取り込まれずに流体相に留まる。また、Li は <sup>6</sup>Li (92.5%) と <sup>7</sup>Li (7.5%) といった2つの安定同位体を持つため、この安定同位体比は流体の起源等において重要な指標となる。流体と堆積物等の固体が共存する場合、流体の <sup>7</sup>Li/<sup>6</sup>Li 比は、共存する堆積物の <sup>7</sup>Li/<sup>6</sup>Li 比より常に高いが、その差は温度が上昇するにつれ小さくなる。これらの特徴から、Li 同位体指標が深部流体の生成温度 (つまり生成深度) に関する情報をもたらしてくれる事が期待される。このような深部流体の優れた指標として期待される Li 同位体比であるが、これまで分析が困難であったことから、その報告例は極めて限られていた。本研究では、2009年3月に地球深部探査船「ちきゅう」を用いて採取された熊野トラフ前弧海盆の泥火山掘削コア試料 (C9004 [泥火山中央], C9005 [泥火山端]) を用いた。紀伊半島南東沖の熊野トラフは前弧海盆であり、南西方向から 4cm/yr でフィリピン海プレートが沈み込んでいる。この熊野トラフには、約 10 ほどの泥火山が確認されている。その結果、測定した熊野海盆泥火山流体の <sup>7</sup>Li 値は +5.5 ‰ から +10.6 ‰ の間であった ( ${}^7\text{Li} = \left[ \frac{{}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}}{\text{sample}} / \frac{{}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}}{\text{L-SVEC standard}} - 1 \right] \times 1000$ )。この <sup>7</sup>Li 値は Rb/Li 比と正の相関を示すことから、この <sup>7</sup>Li 値のばらつきは 2 成分混合の結果であって、より高温を経験した深部起源流体端成分の <sup>7</sup>Li 値は +5.5 ‰ より低いと推定される。南海トラフのデコルマ流体の <sup>7</sup>Li 値である +10 ‰ (You et al., 1995, *Geology* 23, 37-40) より有意に低い。今回測定した熊野泥火山流体も前述の南海デコルマ流体も、海水より Cl/Li 比が有意に低いことから、両者ともに得られた <sup>7</sup>Li 値に海水混入の影響はない。つまり、本研究で明らかとなった熊野泥火山流体の方が南海デコルマ流体より、高温を経験した深部に起源をもつ可能性を示唆する。Li 同位体温度計は、熊野泥火山流体が約 300 °C を経験してきた可能性を示唆する。この結果を基に、熊野泥火山噴火のメカニズムについても議論する。

キーワード: リチウム同位体, 泥火山, 南海, 地震, 付加プリズム, 深部流体

Keywords: lithium isotope, mud volcano, Nankai, earthquake, accretionary prism, deep-rooted fluid



## 32-31 億年前の海底環境復元: DXCL 掘削コアに含まれる微小球殻状黄鉄鉱の硫黄同位体局所分析

Restoration of the 3.2-3.1 Ga sea floor: Local analysis of S isotope of micro-scale spherical shell pyrite in DXCL core.

三木 翼<sup>1\*</sup>, 清川 昌一<sup>1</sup>, 高畑 直人<sup>2</sup>, 伊藤 孝<sup>3</sup>, 池原 実<sup>4</sup>, 山口 耕生<sup>5</sup>, 坂本 亮<sup>6</sup>, 佐野 有司<sup>2</sup>

Tsubasa Miki<sup>1\*</sup>, Shoichi Kiyokawa<sup>1</sup>, Naoto Takahata<sup>2</sup>, Takashi Ito<sup>3</sup>, Minoru Ikehara<sup>4</sup>, Kosei E. Yamaguchi<sup>5</sup>, Ryo Sakamoto<sup>6</sup>, Yuji Sano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>東京大学, <sup>3</sup>茨城大学, <sup>4</sup>高知大学, <sup>5</sup>東邦大学, <sup>6</sup>三井石油開発株式会社

<sup>1</sup>Kyushu University, <sup>2</sup>Tokyo University, <sup>3</sup>Ibaraki University, <sup>4</sup>Kochi University, <sup>5</sup>Toho University, <sup>6</sup>Mitsui Oil Exploration Co.,Ltd.

西オーストラリア・ピルバラ海岸グリーンストーン帯には 32~30 億年前の低変成度のデキソンアイランド層及びクリバービル層が露出している。この堆積岩中には初期地球の地質・生物学的進化を読み解く上で非常に重要な太古代の地球表層環境の情報と初期生命の痕跡が残されている。

デキソンアイランド層はクリバービル海岸とデキソンアイランドの北西に位置する。下位からコマチアイト・流紋岩質凝灰岩部層(約 250m), 黒色チャート部層(7~20m), 多色チャート部層(約 150m) からなり, 約 400m の層厚を持つ。多色チャート部層上部には黒色頁岩の層があり, 非常に細かなラミネーションを持つ黄鉄鉱を含む。デキソンアイランド層の南側には層序的上位のデキソン枕状溶岩が整合的に接し, さらにその南側にはクリバービル層が整合している。クリバービル層は下部の黒色頁岩部層(約 130m) 及び上部の BIF(約 300m) からなり, 約 430m の層厚を持つ。

本地域において過去の堆積環境の変化の高解像度復元を目的として 2007 年と 2011 年に DXCL 陸上掘削 (Kiyokawa et al., 2012) が行われ, 岩石コア試料 DX, CL1, CL2, CL3 の 4 本が取得された。

DX, CL1, CL2 については岩相の分類分けや生物源の痕跡を解読するための炭素, 硫黄の同位体測定がなされているが, <sup>34</sup>S は非常に重い値 (-1.9~+26.8 ‰; 坂本, MS2010) が出ており, 通常見られるような生物源の負の方向の同位体分別の様子とは異なる。特に DX コアでは値の変動が大きかった。DX の鏡下観察の結果, 数十~数百 μ m の黄鉄鉱の自形結晶の層や直径約 10 μ m で中がシリカなどで充填されている微小球殻状黄鉄鉱の層があることが分かった。自形のもは他の層を切った産状が見られることから, 微小球殻状黄鉄鉱が最も初期に形成したことが明らかになっている。

本研究ではこの微小球殻状黄鉄鉱を対象に, 空間的にどの程度細かく分別が起きているのか, またその成長のし方を類推することを目的として面的に硫黄同位体測定を行い, その局所変動の観察を行なった。

(微小球殻状黄鉄鉱の分類) 測定した黄鉄鉱はその形態により, A タイプ(1 サンプル):球殻の中にシリカのみが充填しているもの, B タイプ(7 サンプル):球殻の中にシリカが充填し, 中心部に黄鉄鉱球を含むもの, C タイプ(3 サンプル):中が黄鉄鉱で充填しているもの, の 3 つに分類した。A, B タイプの球殻の厚さはいずれも 1~3 μ m ほどであった。この形態分けから, A B C と球殻が成長していったことを推測している。

(方法) 球殻状黄鉄鉱を含む DX124.34 の薄片とスタンダードを共に包埋した樹脂を用意し, 東京大学大気海洋研究所所有の NanoSIMS を用いてイメージング分析を行なった。A タイプは内部が全てシリカなので, 測定時間の無駄を省くために球殻の一部を拡大して約 3x3 μ m の範囲を測定した。B, C タイプは粒子全体が収まるように約 10x10 μ m の範囲を測定した。領域によって測定時間が異なるが, 表示 pixel 数を 4x4, 8x8, 16x16 のいずれかに調整してどれも同じ精度で比べられるようにした。

(測定結果) スタンダード:均質な組成を持つスタンダードの測定で同位体比の絶対値は安定しなかったが, 一度の分析領域内での値のばらつきは小さく, 均質性は十分に見ることができた。そのため今回のマッピングでは, 同位体比の絶対値がどうであるかというのに特別な意味はなく, かわりに分析領域内での同位体比の差を見るのが非常に重要になる。

微小球殻状黄鉄鉱:一つの領域内で 20~50 ‰ほどの大きな同位体比の差が見られた。A タイプは球殻の内部で斑のような分布を示し, 数 μ m の差で 10 ‰もの値の差が見られた。B タイプでは全体的に外殻の内縁部の方が外縁部よりも 10~20 ‰ほど高く, 同心円のような構造が見られた。しかし一部 A タイプのような斑も見られた。また中心部が外殻よりも 4~12 ‰重いことが分かった。C タイプでは, リング状に周りより 10 ‰ほど重い領域が見られた。

(まとめ) A タイプでは 1 つの球殻の中で同位体比は斑な分布をしていた。

B タイプでは大部分で外殻の内縁部が外縁部より重くなっていた。これは球殻が形成して閉じられた空間の中でさらに重い方向に同位体分別が進み, 球殻が内側に成長したためと考えられる。また中心部に重い黄鉄鉱が存在するのも同様の理由によると考えられる。外殻に A タイプのような斑部分も見られたことは, A B と成長した可能性を示唆している。

C タイプでは中心部と外縁部が軽く, その間を埋めるリング状に重い値を示す部分が見られた。これは外殻の内縁部と中心部の双方から重い値の黄鉄鉱が成長し, ついには最も重い黄鉄鉱が球殻の内部の空間を充填してしまうためと考えられる。このことから B C と成長した可能性が示唆される。

以上 ~ をまとめた結果, 微小球殻状黄鉄鉱はその形成の後, A B C と成長していったことが推測される。

# Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SGL40-09

会場:201A

時間:5月19日 16:30-16:45

キーワード: 微小球殻状黄鉄鉱, 硫黄同位体, 局所分析, 硫酸還元菌, 太古代, ピルバラ

Keywords: micro-scale spherical shell pyrite(=MSSP), sulfur isotope, local analysis, sulfate reduction bacteria, Archean, Pilbara

## 变成碳酸塩岩における Sm-Nd 同位体組成から見る Gondwana 衝突以前の海洋の記録 Sr and Nd isotope systematics of metacarbonate rocks as proxies for extinct oceans in continental collision zones

大辻 奈穂<sup>1\*</sup>, Madhusoodhan Satish-Kumar<sup>1</sup>, 亀井 淳志<sup>2</sup>  
Naho Otsuji<sup>1\*</sup>, Satish-Kumar Madhusoodhan<sup>1</sup>, Atsushi Kamei<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 新潟大学, <sup>2</sup> 島根大学

<sup>1</sup>Niigata University, <sup>2</sup>Shimane University

Geochemistry of chemically deposited sedimentary rocks, especially neodymium isotopes, is often used as an indicator to understand paleo-oceans, its relationship with continents and so on. Because of the infinitely low concentration of neodymium in sea water than that of continental material and a very short residence time in the seawater, the Nd budget of the ocean is dominated by continental source and sedimentary rocks record its local differences. In particular carbonate rocks are good indicator for understanding the relationship between continents and surrounding oceans, because it is commonly deposited in a platform environment surrounding a continent.

The Sor Rondane Mountains, located in the Neoproterozoic to Early Cambrian East African-Antarctic collisional orogen, are the best location for understanding the Gondwana amalgamation, and recently lots of new information on these mountains have been generated in terms of its geology, lithological variations, tectonic evolution, geophysics and so on. These mountains are composed of medium- to high-grade metasedimentary, metaigneous and intrusive rocks of diverse composition (Osanaï et al., 2013 and references therein). Within the metasedimentary rocks, the metacarbonate rocks are considered to have deposited chemically in the so-called the "Mozambique Ocean" that separated the continental blocks East Antarctica and southern Africa that amalgamated to form Gondwana. It is possible that the metacarbonate rocks record geochemical signatures of contemporaneous seawater. Metasedimentary rocks distribute in Northeastern area of the Sor Rondane Mountains, and the southwestern area is dominated by metaigneous rocks that were derived from the subduction of young hot oceanic crust. Recently, Otsuji et al. (2013) reported 880-850 Ma and 820-790 Ma (late-Tonian and early-Cryogenian age) depositional ages of the metacarbonate rocks by using strontium and carbon isotopic stratigraphy. However, there exist regional variations in the Sr isotopic composition and it is necessary to understand the relation with surrounding continental blocks. To achieve this, we analyzed Nd isotopic composition in pure and impure metacarbonate rocks from the Sor Rondane Mountains, East Antarctica and discuss about the relationship with continent and depositional basin of carbonate sediments before the Gondwana amalgamation. Combining the reported Nd isotopic ratio from various rock units from the Sor Rondane Mountains (e.g. Kamei et al., 2013; Nakano et al., 2013; Shiraishi et al., 2008 and reference therein), we evaluate the possible source characteristics of Nd in the platforms that potentially surrounded the Sor Rondane Basin of the Mozambique ocean.

The epsilon values of Sr and Nd from pure carbonate rocks are lower than metaigneous rocks from the southeastern area in the Sor Rondane Mountains. A clear trend is also visible in the order from metaigneous rocks (rocks in the southeastern area), through impure carbonate to pure carbonate rocks in the Sor Rondane Mountains, suggesting a potential mixing of continental and oceanic source. Additionally, impure carbonate rocks show a narrow range, while pure ones have wide and various distributions in each region. There is also a marked variation in Nd model ages ( $T_{2DM}$ ) for pure carbonate rocks in the Sor Rondane Mountains. These imply that the age of continents that acted as sources to the surrounding sea water during timing of carbonate deposition, were possibly different. In our presentation we attempt to discuss the pros and cons of using metacarbonate rocks which can lead to review the process during continental collision, and before and after that.

### References

Kamei et al., 2013. Precambrian Research (in press); Nakano et al., 2013. Precambrian Research (in press); Otsuji et al., 2013. Precambrian Research (in press); Shiraishi et al., 2008. Geological Society, London, vol. 308, pp. 21-67.

Keywords: Sm-Nd isotopic composition, metacarbonate rocks, chemostratigraphy

## 飛騨帯及び宇奈月地域における変成作用の年代 Timing of regional metamorphism in the Hida Belt and Unazuki area

堀江 憲路<sup>1\*</sup>, 竹原 真美<sup>2</sup>  
Kenji Horie<sup>1\*</sup>, Mami Takehara<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 九州大学大学院理学府  
<sup>1</sup>NIPR, <sup>2</sup>Graduate School of Sciences, Kyushu University

The Hida Belt is one of crucial sites for deciphering the Permo-Triassic orogeny in East Asia and is important for discussing the eastern extension of the Triassic continental collision between North and South China Cratons in the Japanese Islands. The Hida Belt consists of granitoids and metamorphic complex which consists mainly of paragneisses, orthogneisses, amphibolite and marble with multiple episodes of metamorphism evident, as based on petrography. However, the timing and duration of the regional metamorphism is still controversial, because radiometric ages mainly determined by Rb-Sr and K-Ar methods are scattered from 240 Ma to 220 Ma. The Unazuki area, situated at the northeastern part of the Hida Belt, has experienced the kyanite-sillimanite type metamorphism characterized by a clockwise P-T path. Radiometric ages of the Unazuki schists, previously determined by Rb-Sr and K-Ar methods, are scattered from 248 Ma to 175 Ma primarily because of multi-phase metamorphism and deformation. In this study, U-Pb zircon geochronology was applied to Hida gneiss in the Kagasawa area and the Unazuki schists to discuss about timing of the regional metamorphism in the Hida Belt and the Unazuki area.

Zircon grains of the Hida gneiss sample are rounded to well-rounded in habit. Cathodoluminescence images of zircon revealed that overgrowth rim surrounds oscillatory zoning core. The oscillatory zoning core yielded ca. 251 +/- 2 Ma. U-Pb age of the overgrowth rim with low Th/U ratio is ca. 247 +/- 1 Ma, which suggests that the regional metamorphism started between 251 and 247 Ma in the Kagasawa area.

On the other hand, in the Unazuki area, U-Pb data of quartzo-feldspathic schist derived from felsic volcanics yield an eruption age of 258 +/- 2 Ma, indicating that regional metamorphism occurred after 258 Ma. U-Pb age of a granite in north part of the Unazuki area is 253 +/- 1 Ma. The granite contains some xenoliths of the Unazuki schist, in which staurolite is replaced by andalusite and cordierite due to thermal flux from granitic magma. Therefore, regional metamorphism occurred between 258 and 253 Ma, suggesting a rapid metamorphic progression. 251 +/- 1 Ma of gneissose quartz diorite containing the Unazuki schists supports the timing of the regional metamorphism.

キーワード: ジルコン, U-Pb, 飛騨帯, 宇奈月, SHRIMP  
Keywords: zircon, U-Pb, Hida Belt, Unazuki, SHRIMP

## 西南日本白亜紀花崗岩類・塩基性岩類の U-Pb 年代とその地質学的意味 U-Pb ages of Cretaceous granitic and mafic rocks of SW Japan and their geological implication

中島 隆<sup>1\*</sup>

Takashi Nakajima<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>産総研地質調査総合センター

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan

The Cretaceous granitic province in Southwest Japan has been subdivided into San-yo zone in back-arc side and Ryoke zone in fore-arc side. The granitoids in the Ryoke zone are classified into Younger Ryoke granitoids and Older Ryoke granitoids.

It has been noticed since old days that the granitoids from the eastern part of SW Japan (Chubu district) give relatively young ages compared to those from the western part (Yanai district). Since 1990s, eastward younging along-arc age variation of these granitoids and a ridge subduction model has provoked hot discussion. But they are based on classical K-Ar and Rb-Sr ages because U-Pb dating had not been done in Japan, then.

After middle 1990s, U-Pb ages of the granitoids and accompanied mafic rocks using ion microprobe and ICP-MS have been documented. They gave the following results.

1) The U-Pb ages of the San-yo zone granitoids and Younger Ryoke granitoids show the polarity of eastward younging from cc.95Ma to 70Ma.

2) The ages of the Older Ryoke granitoids are nearly constant with rather broad range of 98-85Ma all the way from west to east of SW Japan.

3) The ages of mafic rocks including MMEs, synplutonic dikes and layered gabbros in the Chubu and Kinki districts are distinctly younger than the associated Ryoke granitoids. The ages of mafic rocks are similar to those of the San-yo zone granitoids of similar along-arc positions, seemingly following their along-arc polarity.

Along-arc age variation of the San-yo granitoids is clearly shown by also CHIME ages on the Chubu and Yanai districts (Suzuki and Adachi, 1998).

The results 1) to 3) above lead us to another view that we have not seen.

1. The San-yo and Ryoke granitoids should be re-categorized. The Younger Ryoke granitoids have to be re-defined or re-named in another grouping. Or it may be better to quit the name of San-yo and Ryoke granitoids at least in the meaning so far used.

2. Two types of magmatism took place at the site of the Cretaceous Japanese Islands. One is 95-85Ma plutono-metamorphism which prevailed whole SW Japan. Another one is along-arc traveling magmatism which is now exposed in the erosion level of volacano-plutonic complexes.

3. The mafic rocks now exposed in the Ryoke belt were product of the along-arc traveling magmatism.

Mafic rocks are exposed much less in the San-yo zone compared to those in the Ryoke zone. Mafic magma that intruded in the present San-yo zone may have contributed as a source material of the granitoids of the San-yo zone. Next, we need a tectonic model that allows the apparently crossing two age trends of magmatism in a single geologic site in the tectonic setting of a continental margin.

キーワード: 花崗岩類, U-Pb 年代, 西南日本, 白亜紀, 領家帯/山陽帯, 塩基性岩

Keywords: granitic rocks, U-Pb age, SW Japan, Cretaceous, Ryoke/San-yo, gabbro