

## 敦賀地域江若花崗岩中に分布する破砕帯の冷却史：複数の熱年代学的手法による制約

### Cooling history of a fracture zone in the Kojyaku granite, Tsuruga area: Constraints from multi-system thermochronology

末岡 茂<sup>1\*</sup>; 安江 健一<sup>1</sup>; 丹羽 正和<sup>1</sup>; 島田 耕史<sup>1</sup>; 石丸 恒存<sup>1</sup>; 梅田 浩司<sup>1</sup>; 山田 隆二<sup>2</sup>; 檀原 徹<sup>3</sup>; 岩野 英樹<sup>3</sup>; 郷津 知太郎<sup>4</sup>

SUEOKA, Shigeru<sup>1\*</sup>; YASUE, Ken-ichi<sup>1</sup>; NIWA, Masakazu<sup>1</sup>; SHIMADA, Koji<sup>1</sup>; ISHIMARU, Tsuneari<sup>1</sup>; UMEDA, Koji<sup>1</sup>; YAMADA, Ryuji<sup>2</sup>; DANHARA, Tohru<sup>3</sup>; IWANO, Hideki<sup>3</sup>; GOUZU, Chitaro<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 原子力機構, <sup>2</sup> 防災科技研, <sup>3</sup> 京都 FT, <sup>4</sup> 蒜山地質

<sup>1</sup>Japan Atomic Energy Agency, <sup>2</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, <sup>3</sup>Kyoto Fission-Track Co., Ltd., <sup>4</sup>Hiruzen Institute for Geology and Chronology Co., Ltd.

通常、断層の活動年代は、断層変位を受けた地形面や地層、または人工物などの変位指標の年代から推定される。しかし、基盤岩中の断層など、変位指標を持たない断層についてはこのような変動地形学的手法は適用できない。上記のような断層に対しては、断層活動時の摩擦発熱や岩石破砕に伴う放射年代のリセット（例えば、Ikeya et al., 1982; Murakami and Tagami, 2004; Yamada et al., 2013; 雁沢ほか, 2013）や、断層活動後に形成された粘土鉱物や熱水脈の形成年代（例えば、Zwingmann et al., 2004; Watanabe et al., 2008; Siebel et al., 2009; Yamasaki et al., 2013）に基づいた、地球年代学的なアプローチが試みられてきた。しかし、断層帯近傍における熱現象や物質移動は単純ではなく、決定的な方法は未だに確立されていない。同手法の今後の発展のためには、さらなる基礎研究と、様々な地形・地質条件と年代測定手法の組み合わせにおける事例研究の蓄積が必要である。

本講演では、敦賀半島北西部の露頭で見られた基盤岩中の断層破砕帯に対し、フィッション・トラック法 (FT法)、K-Ar法、U-Pb法といった熱年代学的手法を適用して冷却史を求め、活動年代の推定を試みた事例について紹介する。近畿三角帯の北頂部にあたる湖北地域～敦賀湾沿岸には、湖北山地断層帯や野坂・集福寺断層帯をはじめとした北東-南西または北西-南東方向の横ずれ断層が多数分布する（地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2003a, b）が、山間部を通過する横ずれ断層では上載地層を利用した変動地形学的手法の適用は困難なことが多い。本研究で対象とした断層も江若花崗岩敦賀岩体（栗本ほか, 1999）中に形成された横ずれ断層で、人工改変の影響もあり上載地層や変動崖は認められない。年代測定は、1) 断層破砕帯を充填する粘土状物質、2) 断層破砕帯から10数m離れた断層破砕を受けていない花崗岩新鮮部、3) 断層破砕帯から数mの位置に貫入した玄武岩脈、の3グループについて行った。破砕帯試料と花崗岩試料では、ジルコンU-Pb年代 (66.8±1.0Ma, 68.5±0.7Ma) とジルコンFT年代 (58.7±11.2Ma, 71.6±4.8Ma) では有意な差が見られず、ジルコンFT長 (11.04±0.71 μm, 10.84±0.66 μm) にも共に短縮は認められなかった。これは、約68Maの花崗岩貫入以降、花崗岩がジルコンFT法の閉鎖温度 (210~350 °C) 付近に冷却されるまでの間、両者は冷却史を共有していたことを示している。一方、アパタイトFT年代 (閉鎖温度: 90~120 °C) では、花崗岩で50.8±18.5Maに対して破砕帯で28.4±13.6Maという若い値が得られており、年代値の誤差が大きいため断定はできないが、破砕帯のみがより最近に被熱している可能性が否定できない。熱源の候補としては、新第三紀以降の断層摩擦発熱と、中新世の玄武岩脈の貫入 (斜長石K-Ar年代と全岩K-Ar年代で19.1~18.8Ma) が挙げられるが、いずれの場合もイベント年代よりアパタイトFT年代が古く、partial annealingの状態である可能性が考えられ、イベントとの対応には慎重な検討が必要である。講演当日は、FT長測定の結果も踏まえた検討結果を報告予定である。

キーワード: 断層帯の年代測定, フィッション・トラック法, K-Ar法, U-Pb法, 江若花崗岩

Keywords: dating of a fault, fission-track thermochronology, K-Ar dating method, U-Pb dating method, Kojyaku granite

## 西南日本における有馬型温泉の探索と検証 Chemical and isotopic examinations of Arima-type high saline hot spring water in south-west Japan

田中 秀実<sup>1\*</sup>; 照沢 秀司<sup>1</sup>; 菅井 秀翔<sup>1</sup>; 角森 史昭<sup>2</sup>; 村上 雅紀<sup>3</sup>; 川端 訓代<sup>2</sup>  
TANAKA, Hidemi<sup>1\*</sup>; TERUSAWA, Shuji<sup>1</sup>; SUGAI, Shuto<sup>1</sup>; TSUNOMORI, Fumiaki<sup>2</sup>; MURAKAMI, Masaki<sup>3</sup>; KAWABATA, Kuniyo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科, <sup>2</sup> 東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設, <sup>3</sup> 応用地質株式会社  
<sup>1</sup>School of Science, University of Tokyo, <sup>2</sup>Geochemical Research Center, Graduate School of Science, University of Tokyo, <sup>3</sup>OYO Corporation

日本には 30000 点近くの源泉が存在し、古くからその成分や熱源、水源を探る研究が多数行われてきた。Matsubaya et al.,(1974) は、温泉水中の水素と酸素の同位体比及び地質から日本中の温泉の起源を (1) 火山温泉型, (2) 有馬温泉型, (3) 海岸温泉型, (4) グリーンタフ型の 4 つに分類した。この中で, (2) 有馬型温泉は深部流体を起源とした温泉で水素・酸素同位体比は起源が天水とマグマ水の混合であることを示唆している。また, He 同位体比は有馬温泉では 10Ra 程度で深部起源のガスが上昇してきていると言える。

杉本 (2012) は、日本全国の温泉 6058 点のデータを温泉分析書から収集し、微量元素を用いて約 180 点の有馬型温泉と思われる温泉を抽出した。この中で用いられた Li/Cl, Br/Cl はそれぞれ、水が経験した最高温度 (You et al., 1996), 海水や生物の影響 (Hurwitz et al., 2005 上村ら 1999) の指標となっており、より高温を経験し、海水・生物の影響の少ない温泉を有馬型温泉の候補としている。しかし、温泉分析書をもとにした議論であるため、元々の定義付けに用いられた水素・酸素同位体比に関する議論は行われていない。

そこで、本研究では杉本 (2012) での基準を踏襲し、データ数を約 9887 件に増やした上で、有馬型温泉の再抽出をした。その結果全国で 185 点の候補を抽出し、その中から西日本を中心に 67 点を現地に赴き、採水、水素・酸素同位体比及び溶存イオン濃度測定を行った。

その結果、四国中央構造線沿い、鹿塩、石仏を含む近畿中央構造線沿いで有馬温泉と同様に同位体シフトのある温泉が見つかった。水素・酸素同位体比におけるそれぞれでの天水と起源水との混合線を外挿すると 1 点に収束し、これを有馬型温泉の起源水とした。塩化物イオン濃度と水素同位体比の関係でも 1 点に収束することから、起源水の組成を  $\delta D = -35\text{‰}$ ,  $\delta^{18}O = 5\text{‰}$ ,  $Cl^- = 42\text{g/l}$  と見積もった。今までの最も塩濃度の高い温泉での水素・酸素同位体比を起源水のものであるという起源水の決め方に比べ、複数地域からの同位体シフト線が 1 点に集まった今回の結果は起源水の組成にかなり強い成約を与える。

キーワード: 有馬温泉, 酸素同位体, 水素同位体, 塩水, 起源組成

Keywords: Arima hot spring, Oxygen Isotope, Hydrogen Isotope, Brine fluids, original composition