

熱年代学的手法に基づく谷川岳地域の熱史・削剥史の推定

南 沙樹*・末岡 茂**・福田将真**・長田充弘**・Barry P. Kohn***
横山立憲**・鏡味沙耶**・梶田侑弥*・田上高広*

Estimation of thermal/denudation histories in the Tanigawa-dake area
based on thermochronological methods

Saki Minami*, Shigeru Sueoka**, Shoma Fukuda**, Mitsuhiro Nagata**,
Barry, P. Kohn***, Tatsunori Yokoyama**, Saya Kagami**,
Yuya Kajita* and Takahiro Tagami*

* 京都大学, Kyoto University

** 日本原子力研究開発機構, Japan Atomic Energy Agency

*** メルボルン大学, Melbourne University

はじめに

一般的に花崗岩は、地下数km~数十kmの地殻深部で形成される。よって、形成年代の若い花崗岩が現在地表に露出する地域は、極めて急速な隆起・削剥を受けている可能性がある。約5 Maより若い花崗岩の分布は、世界的に見ると変動帯に集中している (Harayana, 1992)。変動帯に属する日本列島でも、飛騨山脈の黒部川花崗岩や南部フォッサマグナ地域の丹沢トータル複合岩体などで、ジルコンU-Pb年代測定 (閉鎖温度 > 900°C; Cherniak and Watson, 2000) により、それぞれ約0.8 Ma (Ito et al., 2013), 約4.0 Ma (Tani et al., 2010) の若い形成年代の花崗岩が報告されている。

本研究の対象地域である谷川岳地域は、東北日本弧南部の背弧側にあり、新潟-神戸ひずみ集中帯付近に位置する。この地域の地質は主に、後期白亜紀~古第三紀の花崗岩類 (例えば、後期白亜紀水上石英閃緑岩; 茅原ほか, 1981) と、これらに貫入する後期中新世~鮮新世頃の谷川岳花崗岩類 (赤湯岩体・谷川岩体・巻機岩体; 茅原ほか, 1981) で構成され、周辺に苗場山・飯土山などの第四紀火山が分布する (Figure 1)。筆者らのは、谷川岳花崗岩類の巻機岩体や谷川岩体で若いジルコンU-Pb年代 (約4.0~3.2 Ma; Minami et al.,

2021) が報告されている。ほかにも先行研究では、形成年代を表す全岩Rb-Sr年代 (5.27 ± 1.28 Ma; 大平・本多, 1999) や、約280~400°C付近の冷却年代を表すジルコンフィッション・トラック (ZFT) 年代と黒雲母K-Ar年代 (3.9~2.9 Ma; 川野ほか, 1992; 大平・本多, 1999; 佐藤, 2016), 閉鎖温度が約90~120°Cのアパタイトフィッション・トラック (AFT) 年代 (約 2.4 ± 0.3 Ma; 大平・本多, 1999) が報告されている。東西約35km, 南北約25km (佐藤, 2016) の大規模に露出する谷川岳花崗岩類について、ジルコンU-Pb年代の分析地点は3地点のみであり、岩体を構成する貫入年代データは不十分である。また、黒雲母K-Ar年代とZFT年代の閉鎖温度を考えると、280°C以上の高温側の熱史は比較的制約されている。一方で、低温側についてはAFT年代が1地点で報告されているのみであり、熱史は不明である。よって本研究では、谷川岳花崗岩類およびこれらに貫入される後期白亜紀水上石英閃緑岩について、次の2つの分析を実施した。(1) Minami et al. (2021)の未分析地点について高精度に岩体の形成年代を推定するためにジルコンU-Pb年代測定, (2) 山地全体について、約200°C以下の低温側の熱史・削剥史を推定するためにジルコンとアパタイトの(U-Th)/He年

代測定 (ZHe年代: 閉鎖温度160~200°C, AHe年代: 閉鎖温度55~80, Reiners, 2005) .

測定手法

ジルコンU-Pb年代測定について, まずジルコン成長構造に相当するカソード・ルミネッセンス (CL) 像を撮影するために, 日本原子力研究開発機構 (JAEA) の電子プローブマイクロアナライザ (JEOL JXA-8530F) と京都大学岩石学研究室所有の電子プローブマイクロアナライザ (JEOL JXA-8105) を用いてジルコンのCL像撮影を行った. U-Pb同位体分析には, JAEAのLA-ICP-MS (LA: Analyte G2; Photon Machines, ICP-MS: Neptune-Plus, Thermo Fisher Scientific) を用いた. 各試料20~30粒子ずつのジルコンについて, CL像で同定されたリム部分のU-Pb同位体分析をすることで, 花崗岩類の貫入年代の推定を行った. また年代値は, コンコーディア年代を採用した. ZHe, AHe年代測定は, メルボルン大学に分析を依頼した. ZHe, AHe年代測定は, メルボルン大学で定量分析をおこなった. HeはPrisma QMS 200で定量し, U, Th, SmはCoherent Quattro FAP 820nmダイオードレーザーとICP-MS (Agilent 7700X) を組合わせたLA-ICP質量分析法にて定量した. 年代値は, 各試料3~6粒子の単粒子年代の加重平均年代を採用した.

結果とその解釈

ジルコンU-Pb年代測定より, 赤湯岩体と谷川岩体最西部 (TNG20-02, 01), 谷川岩体中央部 (TNG20-03, 10), 巻機岩体南部 (TNG20-04, 05, 06) の年代値は, それぞれ 2σ の誤差範囲で有意差が認められない (Figure 2). よって谷川岳花崗岩類は, 赤湯岩体と谷川岩体最西部が約6.0~5.5 Ma, 巻機岩体南部が約4 Ma, 約3.3~3.2 Ma, の少なくとも3回の貫入で形成されたことが明らかになった. ジルコンU-Pb年代, ZHe, AHe年代の温度-年代パスをプロットすると, ジルコンU-Pb

年代の閉鎖温度 (約900°C) からZHe年代の閉鎖温度 (約180°C) までのパスは初期冷却を反映したと考えられる (Figure 2). よって, 最近の山地形成に関連した削剥を最も反映したと期待される, AHe年代の閉鎖温度から地表温度 (10°C) の平均冷却速度を計算すると, 山頂稜線の東側に位置する巻機岩体 (TNG20-05, 06) と水上石英閃緑岩 (貫入年代109.4 Ma (TNG20-09); Minami et al., 2021) で13~36°C/Ma, 稜線西側の谷川岩体の1地点 (TNG20-10) で36~60°C/Maと推定された. さらに稜線東側では, AHe年代が約3~2 Ma頃に集中しており (Figure 2), この時期に古い岩体と若い岩体が一様に急速に削剥されたことが示唆される. 地温勾配が時空間変化せず一定であること (約40~50°C; Tanaka et al., 2004) を仮定し, AHe年代から得られた削剥速度について, 飛騨山脈 (Spencer et al., 2019) や丹沢山地 (Yamada & Tagami, 2008) や東北日本弧 (Sueoka et al., 2017) と同じ計算方法と比較すると, 谷川岳地域の削剥速度は約0.5~1.1 mm/yrが得られ, 島弧-島弧衝突帯の丹沢山地や, 歪の集中で知られる奥羽脊梁山地のような地殻変動が活発な地域に匹敵することが示唆された (Figure 3).

結論

谷川岳地域の鮮新世谷川岳花崗岩類と, 後期白亜紀水上石英閃緑岩について, ジルコンU-Pb, ZHe, AHe年代測定を実施した. その結果, 次のことが明らかになった; 1) 谷川岳花崗岩類は, 少なくとも3回の貫入で形成された, 2) 谷川岳の稜線東側は, 約3~2 Ma頃に古い岩体と若い岩体が一様に削剥された, 3) 谷川岳地域は, 地殻変動が活発な丹沢山地や東北日本弧の奥羽脊梁山脈に匹敵する削剥速度であった.

謝辞

本研究は経済産業省資源エネルギー庁委託事業「令和3年度高レベル放射性廃棄物等の地層

処分に関する技術開発事業（地質環境長期安定性評価技術高度化開発）（JPJ007597）」の成果の一部である。本研究は文科省科研費21K03730によって助成された。CL像の撮影は、JAEAの小北康弘氏、京都大学の鈴木康太氏にご助力いただいた。

引用文献

- Cherniak, D.J., Watson, E.B. (2000) Pb diffusion in zircon. *Chem. Geol.*, 172, 5–24.
- 茅原一也ほか (1981) 「越後湯沢地域の地質」地域地質研究報告 5万分の1図幅 新潟 (7) 第75号.
- Harayama, S. (1992) Youngest exposed granitoid pluton on Earth: Cooling and rapid uplift of the Pliocene-Quaternary Takidani Granodiorite in the Japan Alps, central Japan. *Geology*, 20, 657-660.
- Ito, H. et al. (2013) Earth's youngest exposed granite and its tectonic implications: the 10–0.8 Ma Kurobegawa Granite. *Scientific Reports*. 3:1306.
- 川野 良信ほか (1992) 谷川岳深成岩体のK-Ar年代. *岩鉱*, 87, 221-225.
- Minami, S. et al. (2021) Two pulse intrusive events of the Pliocene Tanigawa-dake granites revealed from zircon U–Pb dating. *EPS*, 73:231.
- 大平 寛人・本多 照幸 (1999) 北部フォッサマグナ谷川岳深成岩体のフィッション・トラック年代とジルコンのTh/U比, *FTNL*, 12, 61-63.
- Reiners, P.W. & Ehlers, T.A. eds. (2005) *Low-Temperature Thermochronology: Techniques, Interpretations, and Applications*. Mineralogical Society of America.
- 佐藤 興平 (2016) 谷川岳花崗岩体の年代とフォッサマグナ地域における新第三紀の珪長質火成活動. *群馬県立自然史博物館研究報告*, 20, 85-104.
- Spencer, C. et al. (2019) Rapid Exhumation of Earth's Youngest Exposed Granites: Driven by Subduction of an Oceanic Arc. *Geophys. Res. Lett.*, 10.1029
- Sueoka, S. et al. (2017) First report of (U–Th)/He thermochronometric data across Northeast Japan Arc: implications for the long-term inelastic deformation. *EPS*, 69:79.
- Tanaka, A. et al (1999) Complication of thermal gradient data in Japan on the basis of the temperatures in boreholes (in Japanese with English abstract). *Bull. Geol. Surv. Jpn.*, 50, 457– 487.
- Tanaka, A. et al. (2004) Geothermal gradient data in and around Japan, digital geoscience map DGM P-5. *Geol. Surv. Japan*, Tsukuba.
- Tani, K. et al. (2010) Syncollisional rapid granitic magma formation in an arc-arc collision zone: Evidence from the Tanzawa plutonic complex, Japan. *Geology*, 38, 215-218.
- Yamada, K. & Tagami, T. (2008) Postcollisional exhumation history of the Tanzawa Tonalite Complex, inferred from (U–Th)/He thermochronology and fission track analysis. *Jour. Geophys. Res.*, 113, B03402.

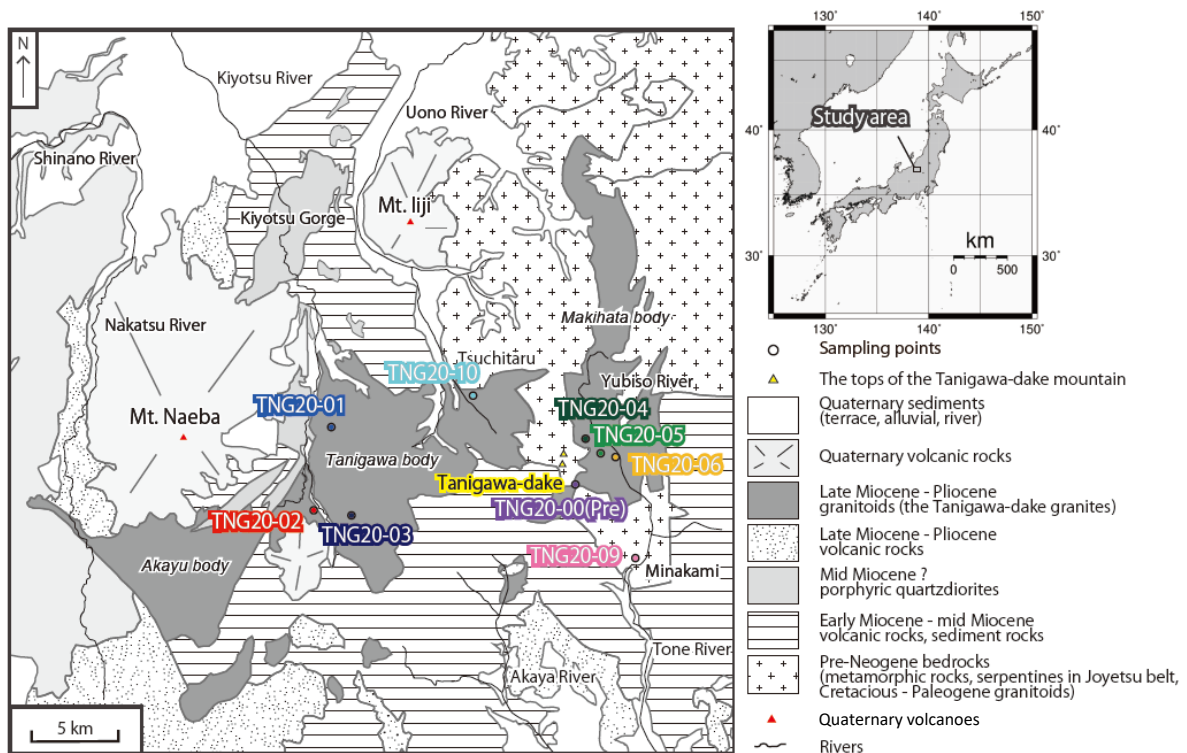


Figure 1. 地質概略図と試料採取地点
 佐藤 (2016) と産総研のシームレス地質図V2を引用した(<https://www.gsj.jp/license/license.html>). ○が試料採取地点を示す.

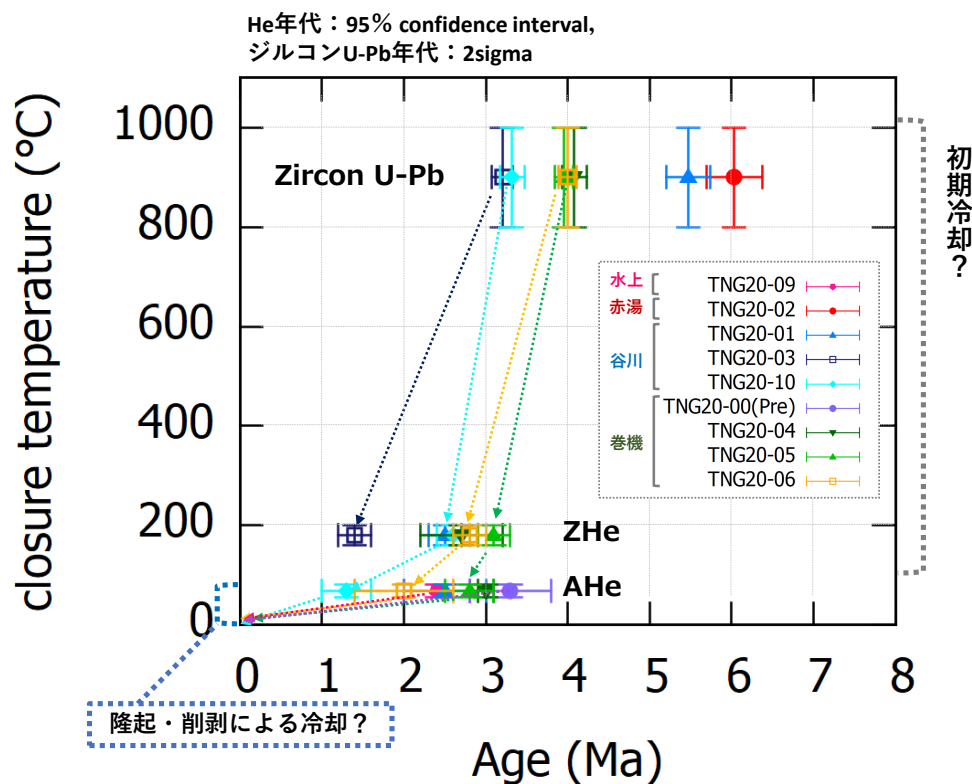


Figure 2. 谷川岳地域の温度-年代パス
 縦軸が各測定手法の閉鎖温度で、横軸が年代値を表す。但し、TNG20-03, 05, 09, 10のジルコンU-Pb年代は、Minami et al. (2021)から引用した。

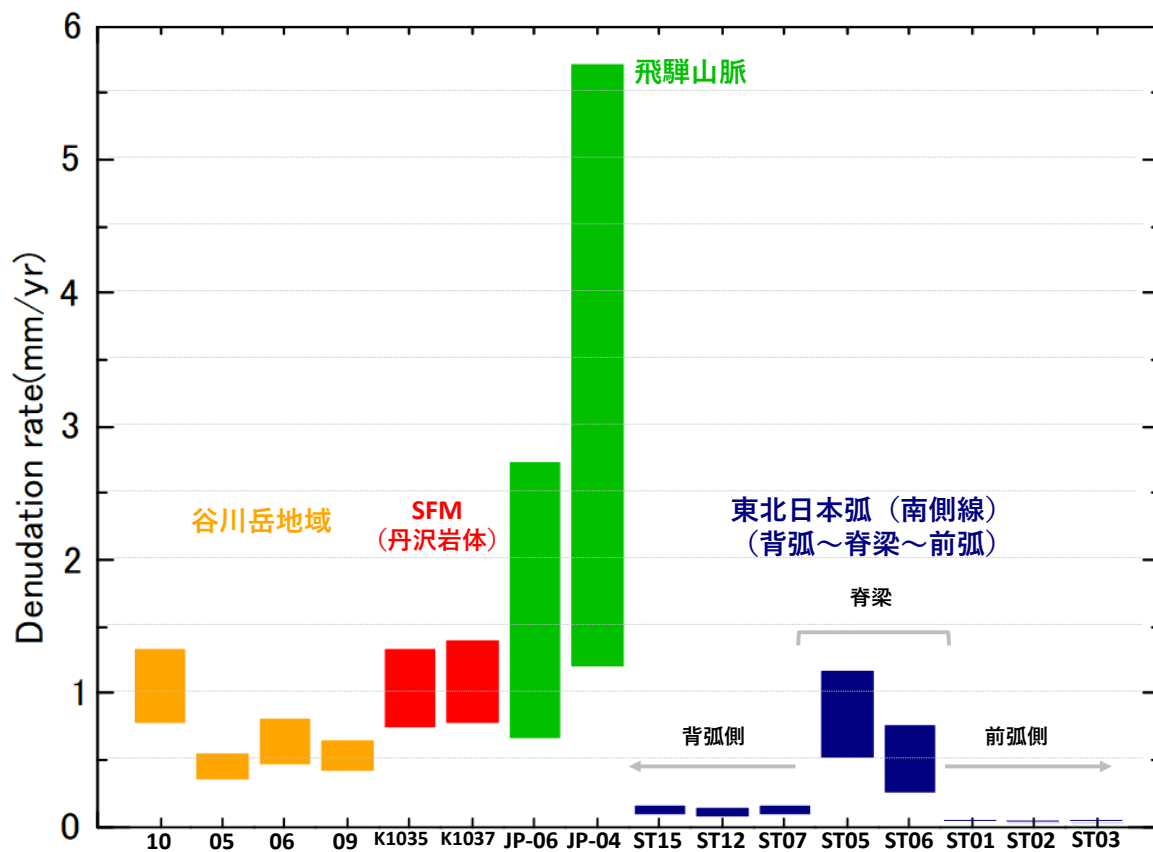


Figure 3. 他の地域との平均削剥速度の比較

AHe年代と各地域の地温勾配を用い、同一の計算方法で平均削剥速度を算出した。AHe年代と地温勾配の引用は次の通り：飛驒山脈 (Spencer et al., 2019; Tanaka et al., 2004) , 丹沢山地 (Yamada & Tagami, 2008; Tanaka et al., 1999) , 東北日本弧南側線 (Sueoka et al., 2017; Tanaka et al., 2004) .