

Thermal/exhumation histories of Pliocene granitoid in the Tanigawa-dake area, central Japan revealed by thermochronology combined with 1D heat numerical modeling and Al-in-hornblende geobarometry

(熱年代学、1次元熱数値モデリングおよびAl-in-hornblende 地質圧力計に基づく中部日本谷川岳地域に露出する鮮新世花崗岩類の熱/削剥史)

南 沙樹

花崗岩は一般的に数 km 以深の地殻深部で固結するため、固結年代の若い花崗岩が露出する地域では、極めて急速な隆起、削剥が起きている可能性がある。特に過去 500 万年以内に固結した花崗岩は、活発な地震や火成活動で特徴づけられるプレート収束境界に集中している。しかし、これらの花崗岩の隆起・削剥速度やプロセスに関する知見は限られている。近年では若い花崗岩へ熱年代学的手法や地質圧力計を適用することにより、高確度な固結年代や削剥史の推定が試みられてきた（例えば黒部川花崗岩など）。熱年代学的手法に基づく削剥史は、岩石の経験した冷却史に地温勾配を仮定することで推定される。しかし、固結年代の若い花崗岩の場合、固結してから露出するまでの期間が短いため、冷却年代が花崗岩自身の初期冷却と削剥の両方を反映している可能性がある。つまり古典的な熱年代学的なアプローチで推定された削剥速度は過大評価されている可能性がある。よって、高確度な削剥速度を求めるためには、熱年代学的手法に加えて初期冷却の影響を判別するための新たな手法を適用する必要がある。

本研究の対象地域である谷川岳地域は沈み込み帯の一つである日本列島にあり、島弧—島弧会合部北東かつ東北日本弧の背弧域に位置している。この地域には白亜紀～古第三紀花崗岩類および後期中新世～鮮新世谷川岳花崗岩類が分布している。谷川岳花崗岩類は、全岩 Rb-Sr 年代 (5.27 ± 1.28 Ma) や黒雲母 K-Ar 年代やジルコンフィッション・トラック (ZFT) 年代 (3.9–2.9 Ma) などの既報年代に基づいて、600–300 万年前に固結したと考えられてきた。また黒雲母 K-Ar 年代や ZFT 年代より、これらの手法の閉鎖温度である 400–280 度付近では谷川岳地域の広い範囲で一様に岩体が冷却されていることが明らかになっている。一方で、固結年代と解釈される全岩 Rb-Sr 年代の誤差が大きいことや、黒雲母 K-

Ar 年代や ZFT 年代は冷却年代であり固結年代を直接示さないため、谷川岳花崗岩類の正確な固結年代は不明である。また、 ~ 280 °C以下の低温側すなわち地殻浅部の年代や削剥史は明らかになっていない。本研究では、谷川岳地域に露出する花崗岩類の貫入～露出までの削剥史を高確度に推定することを目的に次の3つの手法を適用した：(1) ジルコン U-Pb 年代測定(ZU-Pb, 閉鎖温度 $T_c > \sim 900$ °C)による高確度な固結年代の推定 およびジルコン・アパタイト (U-Th) /He 年代測定 (ZHe, $T_c \sim 160\text{--}200$ °C; AHe, $T_c 55\text{--}80$ °C) に基づく低温側の熱史/削剥史の推定、(2) 地温構造の1次元数値モデリングに基づく貫入プルトンのモデル熱史の生成および、熱年代データに整合的な削剥速度の推定、(3) Al-in-Hbl 地質圧力計に基づく花崗岩の定置深度の推定および岩体定置以降の平均削剥速度の算出。手法 (2)は、熱年代学的手法の問題点である初期冷却の影響を考慮しており、手法 (3) は冷却年代に依らない手法であるため、地質学的に意味のある削剥速度の推定が期待される。これらの3つの手法から推定された削剥速度を比較することで、信頼性の高い削剥速度の推定および、モデリングの有用性・適用限界について議論した。

ZU-Pb 年代測定により、谷川岳花崗岩類は少なくとも4回のパルス状の貫入イベント ($\sim 6.0\text{--}5.5$ Ma、 ~ 4.6 Ma、 ~ 4.0 Ma、 $\sim 3.3\text{--}3.2$ Ma) により形成されたことが示唆された。ZU-Pb、ZHe、AHe 年代より得られた冷却史は採取地点によって異なり、単純冷却を示すものと、 ~ 3.3 Ma 頃の花崗岩の貫入による再加熱と考えられるものが得られた。再加熱が疑われない AHe 年代と地温勾配の仮定により、谷川岳地域の平均削剥速度は $0.3\text{--}1.8$ mm/yr であると推定された。削剥速度の東西分布は、谷川岳南北主稜線より西側に当たる谷川岳中央部でより早い削剥を示した。この速い削剥速度は、島弧-島弧衝突帯にある丹沢山地や歪の集中で知られる奥羽脊梁山脈のような地殻変動の激しい地域と同程度である。

数値モデリングの結果、谷川岳地域中央部に分布する ~ 3.3 Ma と ~ 4.0 Ma のプルトンについて、実測の熱年代データに整合的なモデル冷却史を生成することができた。この時のモデル削剥史は、(1) 貫入以降の一定速度の削剥速度、(2) 貫入後～変曲点までの極めて

急速な削剥速度およびそれ以降の相対的に遅い削剥速度で特徴づけられる 2 段階削剥史である。少なくとも上記の 2 地点では ~ 2.3 Ma 以降は $0.9\text{--}1.5$ mm/yr で削剥されたと考えられる。これらのモデル削剥速度は、AHe 年代と地温勾配から推定された削剥速度 ($0.5\text{--}1.8$ mm/yr) と同程度であるため、AHe 年代は初期冷却ではなく削剥を反映した冷却年代であることが示唆された。一方で、ZHe $\sim$ AHe 年代の間で急冷傾向のある ~ 4.0 Ma プルトンに適用した結果、2 段階削剥史を仮定した場合のみ、年代データに一致する冷却史を生成することができた。しかしこのモデル削剥史は貫入 $\sim$ 変曲点までの削剥量が $3\text{--}6$ km と大きく、その削剥プロセスは考えづらい。このサンプルの ZHe, AHe 年代は、 ~ 3 Ma の貫入による再加熱を反映した可能性がある。

Al-in-Hbl 地質圧力計の適用により、谷川岳地域中央部における固結時圧力は $1.7\text{--}1.8$ kbar と算出された。花崗岩の平均密度 (2.7 g/cm³) を仮定すると、 $6.1\text{--}6.5$ km の固結深度が得られた。

地質圧力計から推定された定置深度 (~ 6 km) が 2 段階の削剥史を仮定した場合のモデル定置深度 ($5\text{--}7$ km) と整合的であることより、 3.3 Ma プルトンは 2 段階削剥史を経験したことが示唆される。谷川岳地中央部に位置する 4.0 Ma プルトンのモデル削剥速度と併せて、本地域は少なくとも ~ 2.3 Ma 以降に $0.9\text{--}1.4$ mm/yr で急速に削剥されたことが明らかになった。

本研究では、数値モデリング手法を若い花崗岩に適用することにより、複数の年代データで制約された信頼性の高い削剥史が推定された。このモデル削剥史は、地質圧力計より得られた定置深度と比較することにより、更に高確度な貫入以降の削剥史が推定された。今後の課題としてモデルを 2 次元に拡張することで、再加熱の影響を考慮しながら地質学的に意味のある削剥速度の推定が可能になることが期待される。