

熱年代学的手法に基づく木曾山脈の隆起・削剥史  
末岡 茂\*・堤 浩之\*・田上高広\*・長谷部徳子\*\*・山田国見\*\*\*  
田村明弘\*\*\*\*・荒井章司\*\*\*\*\*

Uplift and denudation history of the Kiso Range, central Japan, based  
on thermochronometric methods

Shigeru Sueoka\*, Hiroyuki Tsutsumi\*, Takahiro Tagami\*, Noriko Hasebe\*\*,  
Kunimi Yamada\*\*\*, Akihiro Tamura\*\*\*\* and Shoji Arai\*\*\*\*\*

\* 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University

\*\* 金沢大学環日本海域環境研究センター, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University

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

\*\*\*\* 金沢大学フロンティアサイエンス機構, Frontier Science Organization, Kanazawa University

\*\*\*\*\* 金沢大学理工学域自然システム学類, School of Natural System, College of Science and Engineering, Kanazawa University

#### はじめに

ある地域の真の隆起量を得るためには、地表面の見かけの隆起量のみならず、侵食などによる削剥量を評価する必要がある (England & Molnar, 1990)。しかし、削剥によって、岩屑は原位置から運搬され失われてしまうため、削剥量 (あるいは速度) を見積ることは一般に容易ではない。

日本の地形学の分野では、従来、山地の隆起量・速度は侵食小起伏面の分布高度から求められてきた (例えば、第四紀地殻変動研究グループ, 1968)。この手法は、山頂などに分布する平坦面は、第三紀末までに海水準付近で形成された侵食平坦面が、第四紀の地殻変動によって現在の高度まで隆起した隆起準平原であるという仮定に基づいている。これに対し大森 (2001) は、四国山地において、標高約1,500m以上の地域では隆起準平原の保存が困難である可能性を示した。また須貝 (1995) は、木曾山脈・赤石山脈・美濃三河高原の標高約1,500m以上に分布する侵食小起伏面の大半は、周水河作用により形成された高位削剥面であると結論付けた。これらの報告は、侵食小起伏面を用いた手法の高高度地域における適用の限界を示すと同時に、これらの山地では、隆起前の地形面を留めないほど削剥が進行しており、真の隆起量を評価する際に削剥の影響が無視できないことを示唆している。

一方、日本の山地域の削剥速度は、これまで主

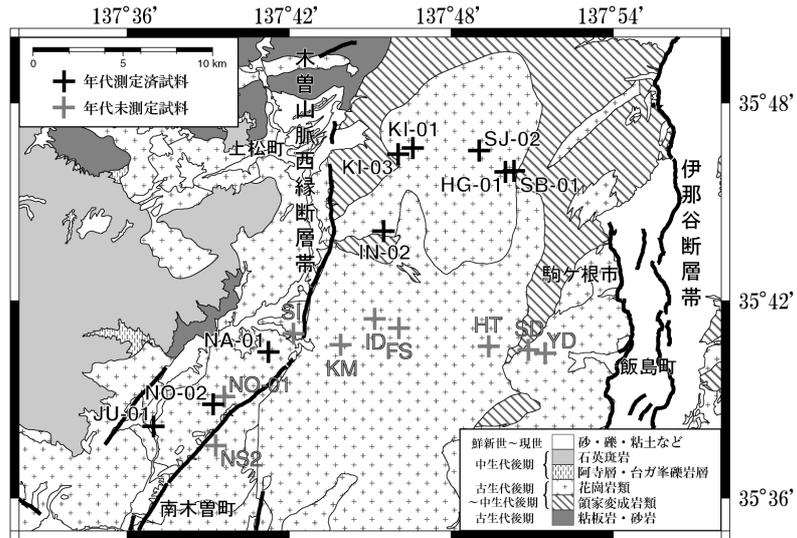
に堆積盆や貯水池の堆積量から求められてきた (例えば、Yoshikawa, 1974)。これらの手法の適用範囲は、空間スケールは上流の流域面積、時間スケールは堆積開始年代によってそれぞれ制約を受ける。したがって、山地スケールにおける削剥速度分布や、山地の隆起開始以降の削剥史を議論するには、充分とは言いがたい。

本研究では、試料採取地点ごとに削剥速度の推定が可能な熱年代学的手法を用いて、木曾山脈の隆起・削剥史の推定を試みた。

#### 地形・地質

木曾山脈は、飛騨山脈・赤石山脈とともに日本アルプスと呼称される、糸魚川-静岡構造線西方に雁行して分布する3,000m級の山脈である。木曾山脈・赤石山脈とその周辺地域の地史については、松島 (1995)、森山 (2001) などの先行研究が知られている。これらによると、赤石山脈は、鮮新世から周辺の低地に礫を供給しており、当時既に地形的高まりとして存在していたことがうかがえる。一方で、伊那盆地でも木曾谷でも、更新統下部 (伊那層、上松礫層など) には木曾山脈起源の花崗岩礫は認められておらず、また現在では木曾山脈以西にしか分布しない濃飛流紋岩起源の礫が、木曾山脈以東の更新統下部 (伊那層) に含まれることから、当時は木曾山脈の位置に大規模な地形的高まりは存在しなかったと考えられている。木曾山脈が伊那盆地・木曾谷に対して隆

図1. 木曽山脈主要部の地質図と試料採取地点. 地質図は, 村山・片田 (1956), 片田・磯見 (1958) を簡略化した. 活断層 (太線) は, 中田・今泉編 (2002) による. 十字は試料採取地点, 添え字は試料名を表す.



起を開始したのは, 伊那盆地へ花崗岩礫 (田切礫層) の供給を開始した約0.8Maと推測されている. このように, 木曽山脈は, 日本の山地の中では, 隆起開始時期が比較的詳細に制約されている山地のひとつである. しかし隆起量あるいは削剥量に関する情報は他の山地同様に限られている.

木曽山脈周辺では, 地形断面とブーゲ異常が良い一致を示しており, また東西両山麓には活断層帯が分布していることから, 木曽山脈は主に断層活動によって隆起していると考えられている (例えば, 池田, 1990). これらの断層帯のうち, 伊那谷断層帯は, 重力測定や反射法地震探査などにより, 低角の逆断層であることが示されてきた (例えば, 阿部・池田, 1987). 池田 (1990) は, この低角逆断層が比較的浅部で水平なデコルマに収斂する地下構造を推定し, 木曽山脈の隆起を伊那谷断層帯の活動で説明した. 一方, 木曽山脈西縁断層帯は, 変位地形の保存が悪いため, 同断層帯の活動と木曽山脈の隆起の関係について議論されてこなかった. 本研究では, 木曽山脈西縁断層帯を横断するようにサンプリングを行い, 木曽山脈の隆起・削剥史を定量的に解明することと, 木曽山脈の隆起における木曽山脈西縁断層帯の寄与を評価することを目指した.

### 年代測定結果と解釈

本研究では, 木曽山脈において, ジルコンフィッション・トラック年代 (ZFT年代), ジルコン(U-Th)/He年代 (ZHe年代), アパタイトフィッション・トラック年代 (AFT年代) の測定

を行った (図1). ZFT年代は, およそ60-50Maを示し, 既報の普通角閃石K-Ar年代 (Yuhara et al., 2000) および全岩-鋳物アイソクロンRb-Sr年代 (柚原・加々美, 2006) と調和的な結果となった. 一方, AFT年代は, 木曽山脈の東西両斜面で年代の若返りが認められた. ZHe年代は, 測定機器の不調のため再現性に乏しく, 参考値としたが, 少なくともAFT年代で見られたような顕著な若返りは見られなかった.

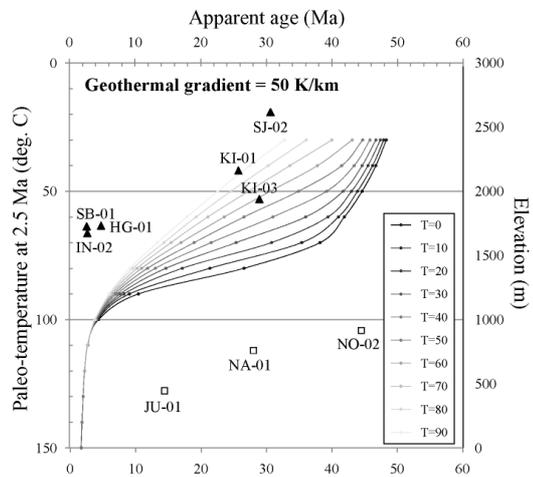


図2. AFT年代と標高の関係および, 順計算から推定したかつてのPartial annealing zone (Paleo-PAZ). ▲は木曽山脈西縁断層帯より東側, □は西側の試料を示す. 試料の年代-標高プロットと, 推定Paleo-PAZの傾きが一致するように左右の縦軸を調節し, 地温勾配を見積った. 図に示したのは, 50-2.5Maの冷却量 $\Delta T$ が30°Cで, その後地表温度 (20°C) まで冷却されたと仮定したときのPaleo-PAZに傾きを合わせた場合で, 地温勾配は50°C/kmと見積られる.  $\Delta T$ を小さくし, 2.5Ma以降の冷却量を増やすほど, 見積られる地温勾配は低くなる.

横軸にAFT年代、縦軸にサンプリング地点の標高を取ると、木曾山脈西縁断層帯の東西それぞれについて、右肩上がりの傾向が見られた(図2)。なお、予察的なデータではあるが、トラック長測定の結果も年代値と調和的な結果を示し、また追加採取した試料のAFT密度もこれらと矛盾しなかった。したがって、本研究では、今回得られた最も若いAFT年代(IN-02)である約2.5Maの時点で同じ深度にあった領域が、それ以降の断層活動によって、現在では木曾山脈西縁断層帯を挟んで1.0-1.5kmの比高を伴って分布していると推定した。このモデルを、適当な仮定を用いてHeFTy (Ketcham, 2005)を用いた順計算で検討したところ、ほぼ一般的な地温勾配の範囲内で、本研究で得られた年代の若返りが説明できることがわかった(図2)。また、この時推定される地温勾配から計算される削剥速度の値(例えば、地温勾配50°C/kmのとき、IN-02で約0.7mm/yr、NA-01で<0.2mm/yr)も、他の手法から求めた理論的な予測値(木曾山脈で0.788mm/yr、美濃三河高原で0.363mm/yr;藤原ほか, 1999)と調和的であった。ただし、以上の結果は予察的なものであり、正式な解釈は、追加採取試料の年代測定結果と、トラック長解析および逆計算の結果に従って、近日中に行う予定である。なお、トラック長測定用のマウントは、HCT密度を増やすため、2009年12月現在、メルボルン大学にて252Cf照射中である。

## 謝辞

試料の採取方針に関して、及川輝樹氏(独)産業技術総合研究所)から貴重な御助言をいただいた。試料の採取にあたっては、西川泰平氏、石村大輔氏、垣内佑哉氏(京都大学・院)、八木雅広氏(京都大学)にお世話になった。ZHe年代測定の際には、(独)日本原子力研究開発機構東濃地科学センターの研究員および職員の方々にお世話になった。また、本研究には、科学研究費補助金(挑戦的萌芽研究「日本の山地地形研究への熟年代学の適用」、研究代表者:堤浩之)の一部を使用した。ここに記して感謝いたします。

## 文献

阿部 一・池田安隆, 1987, 伊那盆地北部における活断層のネットスリップ速度. 地理学評論Ser. A, 60, 10, pp. 667-681.  
第四紀地殻変動研究グループ, 1968, 第四紀地

殻変動図. 第四紀研究, 7, pp. 182-187.  
England P. and Molnar P., 1990, Surface uplift, uplift of rocks, and exhumation of rocks: *Geology*, 18, pp. 1173-1177.  
藤原 治・三箇智二・大森博雄, 1999, 日本列島における侵食速度の分布. サイクル機構技報, 5, pp. 85-93.  
池田安隆, 1990, 侵食と隆起: 山脈形成論の観測的基礎. 地震第2輯, 43, 1, pp. 137-152.  
片田正人, 磯見 博, 1958, 5萬分の1地質図幅説明書「上松」, 38 p, 地質調査所.  
Ketcham R. A., 2005, Forward and inverse modeling of low-temperature thermochronometry data. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 58, pp. 275-314.  
松島信幸, 1995, 飯田市美術博物館調査報告書3「伊那谷の造地形史—伊那谷の活断層と第四紀地質—」. 145 p, 飯田市美術博物館.  
森山昭雄, 2001, 中部山岳地域における山地形成の時代性. 米倉伸之・岡田篤正・森山昭雄編「変動地形学」, 古今書院, pp. 87-109.  
村山正郎, 片田正人, 1957, 5萬分の1地質図幅説明書「赤穂」, 38 p, 地質調査所.  
中田 高, 今泉俊文編, 2002, 「活断層詳細デジタルマップ」, 68 p, 東京大学出版会.  
大森博雄, 2001, 四国山地の第四紀地殻変動と地形. 米倉伸之・岡田篤正・森山昭雄編「変動地形学」, 古今書院, pp. 60-86.  
須貝俊彦, 1995, 木曾山脈・美濃三河高原北部における山頂小起伏面の起源. 東京大学人文科学紀要(人文科学XII), 101, pp. 1-40.  
Yoshikawa T., 1974, Denudation and tectonic movement in contemporary Japan. *Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo*, 6, pp. 1-14.  
Yuhara M., Kagami H. and Nagao K., 2000, Geochronological characterization and petrogenesis of granitoids in the Ryoke belt, Southwest Japan Arc: constraints from K-Ar, Rb-Sr and Sm-Nd systematic. *The Island Arc*, 9, pp. 64-80.  
柚原雅樹, 加々美寛雄, 2006, 伊那領家変成帯, 木曾駒花崗閃緑岩および市田花崗岩の年代学的, 同位体岩石学的研究. 福岡大学理学集報, 36, 2, pp. 37-61.