フィッション・トラック　ニュースレター　第32号　12 - 16　2019年

高空間解像度の熱年代マッピングによる奥羽脊梁山地の隆起形態の推定：アパタイトフィッション・トラック法による展開

福田 将眞*・末岡 茂**・長谷部 徳子***・田村 明弘***・森下 知晃***・田上高広*

Estimating the uplift pattern of the Ou Backbone Range from dense thermochronometric mapping: Insight from the apatite fission-track method

Shoma Fukuda*, Shigeru Sueoka**, Noriko Hasebe***, Akihiro Tamura***, Tomoaki Morishita*** and Takahiro Tagami*

* 京都大学，Kyoto University
** 日本原子力研究開発機構，Japan Atomic Energy Agency
*** 金沢大学，Kanazawa University

はじめに

東北日本弧の中央を走る奥羽脊梁山地は，日本海溝に平行な地形配列を有する大山脈であり，火山性・非火山性の山地を胚胎し，両縁には山地側隆起の逆断層が断続的に分布する．奥羽脊梁山地に代表されるような多くの山地は，海洋プレートの沈み込みによって，東西圧縮応力場下で隆起してきたとの見方が一般的である．また，地形学的知見から奥羽脊梁山地の本格的な隆起開始時期はおよそ3 ～ 2 Ma頃 (太田ほか，2010) と見積もられていた．最近の熱年代学的研究 (Sueoka et al., 2017; Fukuda et al., in press) により，奥羽脊梁山地は速い所で1 mm/yrを超える削剥速度が検出されており，造山運動が活発な地域であることが定量的にも明らかとなってきた．一方，奥羽脊梁山地がどのような隆起形態で現在の姿に至ったのかという点に関しては，地質学的研究成果によって大きく分けて2つのモデル (Hasegawa et al., 2005; Nakajima, 2013) が提唱されていたが，これまで検証が困難であった．

そこで本研究では，奥羽脊梁山地の隆起形態を制約する目的で，東北日本弧の南部において1～5 km間隔の稠密な熱年代マッピングを実施し (Fig. 1)，閉鎖温度が90 ～ 120 ℃と比較的低温の領域にあるアパタイトフィッション・トラック (AFT) 法を適用した．また，既往の2つの隆起モデルについて，予想される削剥の分布パターンを平野 (1972) による斜面発達モデルを用いてFortranで計算し，AFT年代の空間分布と比較した．熱年代学の基本概念として，削剥が速ければ若い年代が得られるため，2つの隆起モデルに予想される削剥パターンを，熱年代値の空間分布によって検証し，より適当な隆起形態の決定を狙いとしている．

結果①： 斜面発達モデル計算

平野 (1972) による斜面発達モデルを用いた数値計算の結果を，Figure 2に示す．このモデルでは，以下の移流拡散方程式を差分法で解くことにより，基盤速度パターンから，タイムステップ毎の地表隆起（地形）および削剥パターンを計算している；

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \mathrm{a}\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - b\left|\frac{\partial h}{\partial x}\right| + u(x,t)$$

ただし，hは標高，tは時間，xは水平距離，aとbは地形変化に関する定数項（従順化係数および後退係数），uは基盤隆起速度を表し，全ての変数は平野 (1972) に則り無次元化した．

Figure 2を見ると，傾動隆起モデルとドーム状隆起モデルの基盤隆起パターンは異なっているのにも関わらず，地表隆起（現地形）からは両者は類似形となり判別が困難であることがわかる．一方で，削剥パターンを見ると，両者は明瞭に異なっており，傾動隆起モデルでは山麓側で，ドーム状隆起モデルでは山頂に向かって削剥が大きくなる傾向が観察された．つまり，熱年代の空間分布が，外側に向けて若返る傾向であれば前者の隆起モデルが，中心に向かって若返る傾向であれば後者が適当であることが推定される．

結果②：AFT年代測定

本研究地域におけるAFT年代測定の結果を，Figure 3に示す．年代値は 29.8 ~ 4.7 Maの値が得られ，中央にデータのない空白域は見られるものの，全体の結果としては山地両縁で古く，山地中央に向かって若返る傾向が見られた．

考察：奥羽脊梁山地の隆起モデル

結果①,②より，本地域における隆起モデルは傾動隆起モデルよりも，ドーム状隆起モデルの方が尤もらしいことが明らかとなった．これらのモデルは，隆起の駆動力として東西圧縮応力場を仮定している点では共通だが，奥羽脊梁山地の変形応答が異なっており，前者では脆性的なブロック状の隆起が卓越するのに対して，後者では地下の高温領域における塑性変形の伝播が支配的である．結果として，本研究は塑性変形が卓越する可能性を示唆している．

また，貝塚・鎮西（1986）で逆断層地塊に分類される地域では，山地の隆起の主要因は断層運動と結びつけて考えられることが多かった（例えば，小池ほか，2005）が，今回の熱年代学的検討は断層によるポップアップ隆起を支持しない結果となった．ただし，冒頭でも述べた通り，奥羽脊梁山地は南北に長い山地であり，隆起形態が地点によって異なる可能性は否定できない．しかし，断層が不明瞭な地点や，火山が集中している地域（いわゆるHot finger: Tamura et al., 2002）では，今回対象としたような断層が明瞭な地域よりも既存のドーム状隆起モデルが支配的だと予想される．したがって，今回のテストケースから奥羽脊梁山地の多くの地域はドーム状隆起で説明可能かもしれない．

今後の展望

今後は，Figure 3に見られる年代プロットの空白域を埋めるために，新たな測定点を追加することが喫緊の課題である．また，AFT年代だけでなく，アパタイトの(U-Th)/He法などの更に低温の閉鎖温度を持つ熱年代計を導入し，より浅部での熱史/削剥史の復元も検討している．加えて，奥羽脊梁山地の地点における隆起形態の違いを検討するために，奥羽脊梁山地内での他の地域にも同様のアプローチを適用することも予定している．また，現在は北上山地～奥羽脊梁山地～太平山地を通る東北日本弧北部側での東西測線における熱年代学的研究が進行中である．これまでの南部の研究成果と併せて，島弧平行方向の熱史/削剥史の傾向を検討し，テクトニクスモデルや隆起モデルの詳細な推定に貢献したい．

謝辞

本研究は，平成26年～30年科学研究費補助金助成事業「異なる時空間スケールにおける日本列島の変形場の解明」（代表：鷺谷　威，課題番号26109003）および金沢大学環日本海域環境研究センター（若手研究者育成共同研究プログラム，課題番号18041）の助成を受けた．また，（株）京都フィッション・トラックには，鉱物分離を実施していただいた．

引用文献

Hasegawa, A., Nakajima, J., Umino, N., Miura, S., 2005. Deep structure of the northeastern Japan arc and its implications for crustal deformation and

shallow seismic activity. Tectonophysics 403, 59–75. doi:10.1016/j.tecto.2005.03.018

平野 昌繁，1972. 平衡系の理論. 地理学評論 45，703-714

Fukuda, S., Sueoka, S., Hasebe, N., Tamura, A., Arai, S., Tagami, T., in press. Thermal history analysis of granitic rocks in an ar-trench system based on apatite fission-track thermochronology: a case study of the Nourtheast Japan Arc. J. Asian Earth Sciences X.

貝塚 爽平，鎮西 清高，1986. 日本の自然2 日本の山，岩波書店

小池 一之，田村俊和，鎮西清高，宮城豊彦，2005. 日本の地形3 東北，東大出版会.

Nakajima, T., 2013. Late Cenozoic Tectonic Events and Intra-Arc Basin Development in Northeast Japan. INTECH 153–189.

太田陽子，小池一之，鎮西清高， 野上道男，町田洋，松田時彦，2010. 日本列島の地形学， 東大出版会.

Sueoka, S., Tagami, T., Kohn, B.P., 2017. First report of (U–Th)/ He thermochronometric data across Northeast Japan Arc: implications for the long-term inelastic deformation. Earth, Planets Sp. 1–18. doi:10.1186/s40623-017-0661-z

Tamura, Y., Tatsumi, Y., Zhao, D., Kido, Y., 2002. Hot fingers in the mantle wedge: new insights into magma genesis in subduction zones. Earth Planet. Sci. Lett. 197, 105–116.

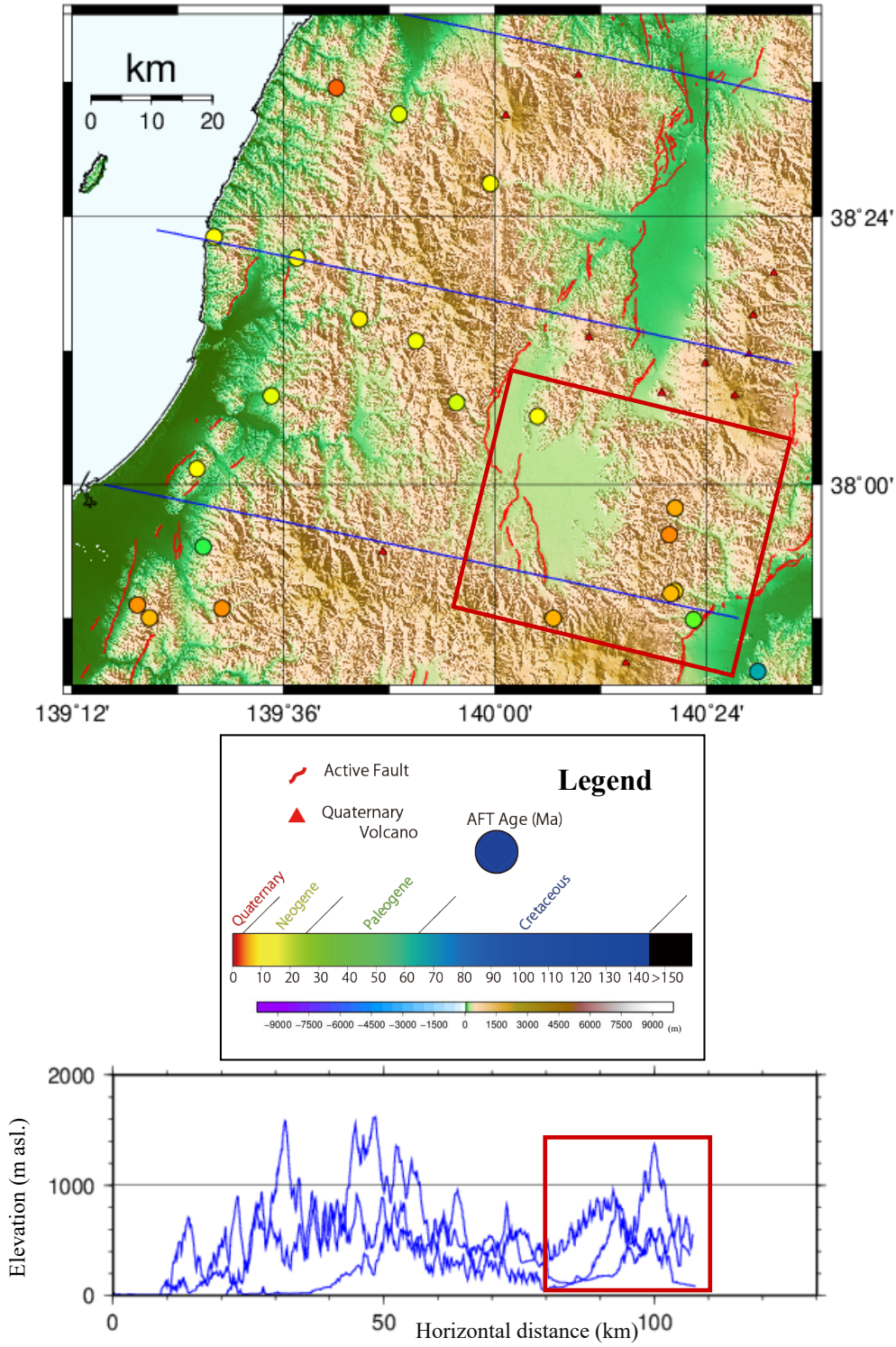

Figure 1: Index map and the cross-section of the Ou Backbone Range (OBR)

Cross-section was drawn along the blue lines in the upper map. Red box indicates our focused study area shown in Fig. 3.

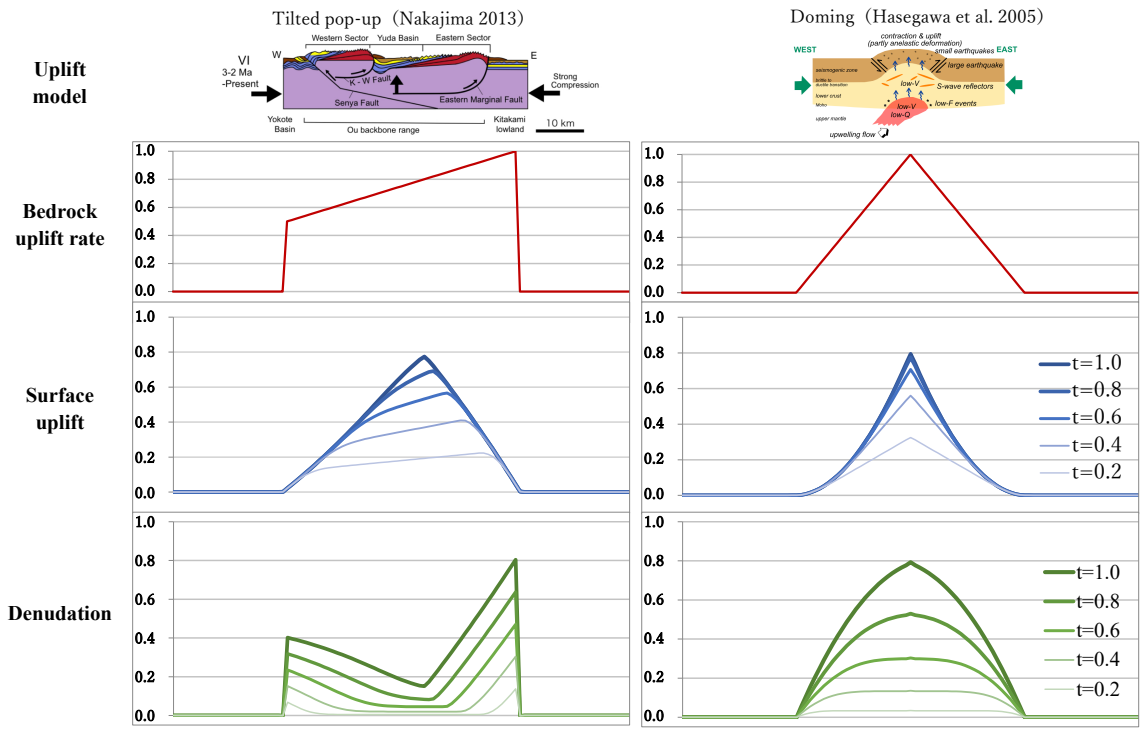

Figure 2: Results of the topographic development modeling.
All valuables were normalized by the method of Hirano (1972). The x-axis shows a horizontal distance.

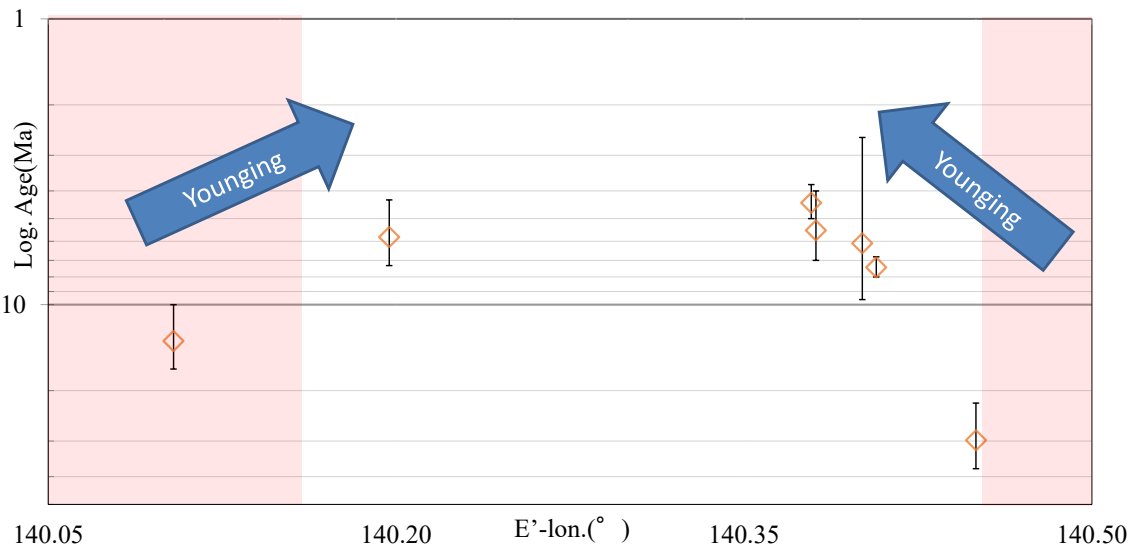

Figure 3: AFT age plot along the E-W traverse.
The sampling localities were projected onto the 2nd blue profile in Fig. 1. All error bars show 1 sigma.