

低温領域の熱年代学的手法を用いた
東北日本弧における隆起・削剥史の解明
福田将真*・末岡 茂**・長谷部徳子***・田村明弘***・
荒井章司***・田上高広*

Elucidating uplift/denudation history of the NE Japan Arc
by using low-temperature thermochronology
Shoma Fukuda*, Shigeru Sueoka**, Noriko Hasebe***, Akihiro Tamura***,
Shoji Arai*** 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

本研究では、島弧の形成史の解明を目的に、典型的な島弧として知られる東北日本弧の山地形成史に焦点を当てた。近年は、GPS観測や水準測量などの測地学的手法によって短期間の歪速度は精密に求められている。しかし、これらの手法から求めた歪速度は、山地形成にあたる長期的なスケールでの変動にはそのまま外挿できない。その一方で、長期的なスケールでの歪速度は、地形・地質学的手法によって求めることが可能である。本研究では、東北日本弧における鉛直方向の長期的な歪速度を求めするために、熱年代学的手法を適用した。

近年、低温領域の熱年代学の発展は著しく、日本列島の比較的若く小規模な山地においても隆起・削剥史を推定することが可能となってきた(e.g., Yamada & Tagami, 2008; Sueoka et al., 2012)。熱年代学の詳細や最近の発展に関しては、Tagami (2012) や末岡ほか (2015), Sueoka et al. (2016)を参照のこと。今回は、熱年代学的手法の中でも閉鎖温度が低温側にある(U-Th)/He法およびフィッシュン・トラック法(順に、He

法, FT法)を用いて、東北日本弧の長期的なタイムスケールでの熱史および削剥史を推定した。研究地点はSueoka et al. (2017)によってアパタイトおよびジルコンHe年代(順に、AHe・ZHe年代)が報告されている阿武隈山地(前弧側)～奥羽脊梁山地～朝日山地(背弧側)を対象とし、アパタイトFT法(AFT法)による年代測定とFT長の測定および、これらに基づいた熱史逆解析を実施した。

地形・地質

東北日本弧の山地は、日本海溝に対して平行方向に分布しており、主にプレート沈み込みによる圧縮応力場で形成されたことが示唆される。このような山地の形成には、3 Ma以降の強い東西圧縮応力が寄与したと考えられている(Sato, 1994; Nakajima, 2013)。また、本研究地域の地質は中新世のグリーンタフ堆積物や、白亜紀～古第三紀の花崗岩類等から成っている。筆者らは、島弧の構成单元における隆起形態や山地形成時期には系統的な違いがあると考え、島弧横断方向に約20地点にて花崗岩試料を採取した。これらの試料から、アパタイトを

Table. 1 南測線におけるAFTデータおよび年代値

Sample code	Locality		Grains (zero track grains)	N _s	Area (μm^2)	ρ_s (10%/cm ²)	²³⁸ U (ppm)	T _{pooled} ± 1 σ (Ma)	P(χ^2) (%)
	E-lon. (deg.)	N-lat. (deg.)							
ST01	140.496	37.719	22 (0)	274	7000	0.42	12.3	66.0 ± 4.4	12.4
ST03	140.814	37.781	14 (0)	109	2400	0.48	11.8	79.5 ± 8.0	58.5
ST04	140.374	37.797	18 (8)	15	2280	0.07	4.6	29.8 ± 7.7	94.5
ST05	140.110	37.800	18 (0)	35	3850	0.10	32.8	5.8 ± 1.0	95.0
ST06	140.340	37.964	32 (24)	17	8880	0.02	7.3	5.5 ± 1.5	11.3
ST08	140.079	38.102	10 (1)	18	3710	0.05	7.5	13.4 ± 3.4	59.1
ST07	139.926	38.122	17 (1)	77	6860	0.12	12.2	19.1 ± 2.4	91.3
ST13	139.624	38.338	3 (0)	3	350	0.10	8.5	21.0 ± 12.2	61.8
ST15	139.468	38.369	5 (0)	17	1220	0.15	16.4	17.6 ± 6.6	25.4

青は前弧側，赤は脊梁山，緑は背弧側を表す。左から，サンプルコード，位置情報，計測粒子数（括弧内はゼロトラック粒子数），計測した自発トラック数，自発トラック計測領域のグリッド数，自発トラック密度，ウラン²³⁸濃度，AFT年代値とその誤差，カイ二乗検定の確率。ST13の年代値は，計測トラック数が少なく年代の誤差範囲が大きいため，議論には用いない。

抽出して，FT分析を行った。

結果・解釈

AFT年代測定の結果として，前弧側で79.5~66.0 Ma，奥羽脊梁山で29.8~5.5 Ma，背弧側で21.0~17.6 Maの年代値が得られ(Table 1)，各構成单元において年代の傾向が異なることが推定された(Fig. 1)。これらのAFT年代値は，先行研究のAFT年代値(後藤 2001; Ohtani et al., 2004)と整合的な値を示している。また，熱史逆解析では，前弧で80 Ma以降徐冷のパターン，奥羽脊梁山で約1 Ma以降の急冷パターン，背弧で6~5 Ma以降の急冷パターンが得られた。この結果をもとに，東北日本弧の既知の構造史(e.g., Sato, 1994; Nakajima, 2013)との比較検討を行った。

前弧側では，>50 Maの古い年代値と60

Ma以降徐冷の冷却パターンが得られた。この結果は，Sueoka et al. (2017)によりAHe年代から求められた白亜紀後期以降の平均削剥速度 (<0.1 mm/yr) と整合的である。これらのことより，新生代を通じて安定的な削剥環境であることが推定された。つまり前弧側では，25 Maから始まる日本海拡大以降のテクトニクスの影響は比較的少なかったことが推測される。その一方で，<10万年スケールの削剥速度や隆起速度(e.g., Suzuki, 1989; Regalla et al., 2013)は約一桁大きいことから，第四紀後期に隆起・削剥が加速した可能性が示唆される。

奥羽脊梁山脈では，中心部で約6 MaのAFT年代が得られた。この結果は，約2 MaのAHe年代(Sueoka et al., 2017)と合わせて，6 Ma頃から始まる東西方向の圧縮や

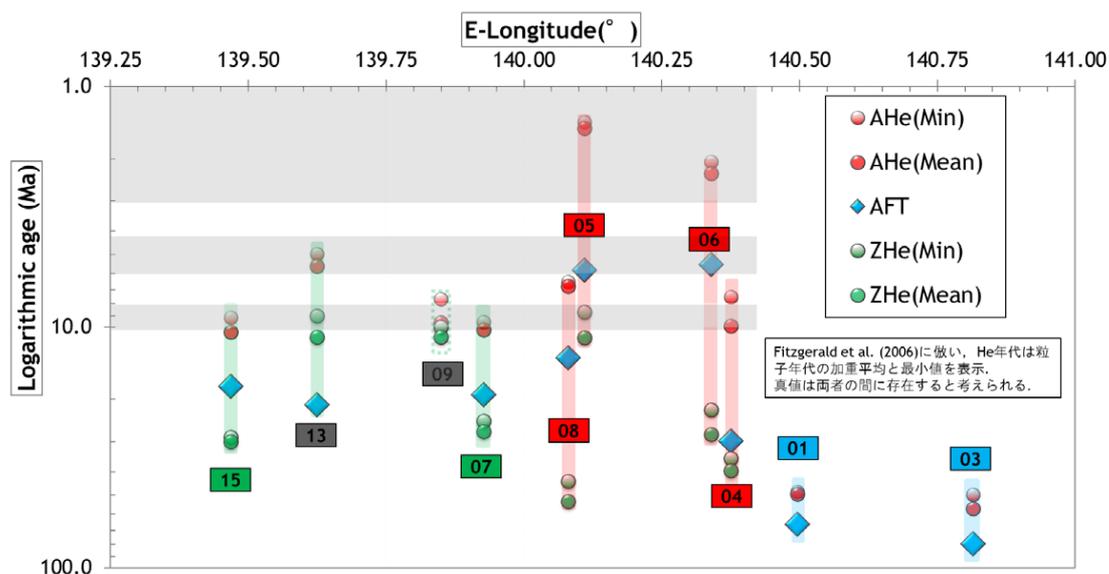


Fig. 1 南測線における低温領域の熱年代値の経度プロファイル. 垂直の白い破線によって、各構成単元を分けている。右側が前弧側，中央が脊梁山地，左側が背弧側にあたる。灰色のボックスは、守屋ほか(2008)およびNakajima (2013)による脊梁・背弧側の隆起イベントに従って、 ~ 3 Ma, ~ 6 Ma, ~ 10 Maを示している。

3~2 Ma頃から始まる強圧縮に対応していると解釈できる。一方、山脈縁辺部ではそれよりも古いおよそ30~13 MaのAFT年代が得られた。奥羽脊梁山脈での削剥速度は0.1~1.0 mm/yrという値が得られており (Sueoka et al., 2017)，山地の中心部に向かって削剥速度が大きくなる傾向が見られた。この結果から、穏やかな削剥環境が推定された前弧側とは対照的に、脊梁山脈では最近のテクトニクスを反映したと思われる数Ma以降の激しい隆起・削剥が推定された。

背弧側では、6~5 Ma以降の急冷パターンが得られた。また、全てのAHe年代が10 Maを切っており (Sueoka et al., 2017)，日本海拡大以降の東西圧縮による影響で隆起を開始したと考えるのが妥当である。削剥速度は、0.1~0.3 mm/yr (Sueoka et al., 2017) であり、段丘面の分布高度から求められた隆起速度 (~ 0.5 mm/yr) (e.g., 伊倉 太田, 2003;

宮内ほか, 2004) とほぼ一致している。

一方で、脊梁山地や背弧側では $>20\sim 30$ Ma を示す古い年代も一部で得られている。これらの古い年代の解釈としては、日本海拡大以前の熱史を反映している可能性のほか、日本海拡大期のグリーンタフ変動に伴う火成活動や海進等の影響による沈降、拡大終了以降の火成活動による Partial Resetの可能性が考えられる。さらなる議論のためには今後の追加測定が望まれる。

謝辞

本研究は、平成26年~30年科学研究費補助金助成事業 (新学術領域研究 地殻ダイナミクス A02: 変形班 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: 鷲谷 威) の助成を受けた。また、(株) 京都フィッシュン・トラックには、鉍物分離を実施していただいた。Melbourne大学の Barry Kohn教授には、アパタイト試料のFT

長測定のために、 ^{252}Cf 照射処理を実施していただいた。

引用文献

- Fitzgerald, P. G. et al. (2006). Interpretation of (U-Th)/He single grain ages from slowly cooled crustal terranes: A case study from the Transantarctic Mountains of southern Victoria Land, *Chemical Geology*, 225, 91-120.
- 後藤 篤 (2001). 日本列島の隆起準平原の平坦化の時期—フィッショソ・トラック年代学からのアプローチ—. 科研費報告書. 10440144.
- 伊倉 久美子・太田 陽子. (2003). 朝日山地西縁の完新世海成段丘と地殻変動, *地学雑誌*, 112(3), 394-405.
- 宮内 崇裕ほか (2004). 長井盆地西縁断層帯の第四紀後期活動性と地形発達, *活断層研究*, 24, 53-61.
- 守屋ほか (2008). 山形県新庄盆地西縁部の鮮新世古地理の変遷—出羽丘陵の隆起時期と隆起過程—, *地学雑誌*, 114(8), 389-404.
- Nakajima, T. (2013). Late Cenozoic Tectonic Events and Intra-Arc Basin Development in Northeast Japan. *INTECH*, 153-189.
- Ohtani, T. et al. (2004). Geochronological constraint on the brittle-plastic deformation along the Hatagawa Fault Zone, NE Japan. *Earth, Planets and Space*, 56(12), 1201-1207.
- Regalla, C. et al. (2010). Timing and magnitude of shortening within the inner fore arc of the Japan Trench. *Journal of Geophysical Research*, 115, 1-14.
- Sato, H. (1994). The relationship between late Cenozoic tectonic events and stress field and basin development in northeast Japan stress. *Journal of Geophysical Research*, 99(11), 261-274.
- Sueoka, S. et al. (2012). Denudation history of the Kiso Range, central Japan, and its tectonic implications: Constraints from low-temperature thermochronology. *Island Arc*, 21(1), 32-52.
- 末岡 茂ほか (2015). 低温領域の熱年代学の発展と日本の山地の隆起・削剥史研究への応用, *地球科学*, 69(1), 47-70.
- Sueoka, S. et al. (2016). New approach to resolve the amount of Quaternary uplift and associated denudation of the mountain ranges in the Japanese Islands. *Geoscience Frontiers*, 7(2), 197-210.
- Sueoka, S. et al. (2017). First report of (U-Th)/He thermochronometric data across Northeast Japan Arc: implications for the long-term inelastic deformation. *Earth, Planets and Space*. 69-79.
- Suzuki, T. (1989). Geomorphic Development of the Late Pleistocene Terraces and Buried Valleys in Southern Joban Coastal Region, North Kanto, Japan. *Geographical Review of Japan*, 62A(7), 475-494.
- Tagami, T. (2012). Thermochronological investigation of fault zones. *Tectonophysics*, 538-540, 67-85.
- Yamada, K., & Tagami, T. (2008). Postcollisional exhumation history of the Tanzawa Tonalite Complex, inferred from (U-Th)/He thermochronology and fission track analysis. *Journal of Geophysical Research*, 113(3), 1-10.