

地殻の高温領域と山地の隆起形態の関連性：飯豊山地における事例 Verifying the relationship between high-temperature zones of crust and uplift patterns of mountains: A case study of the Iide Mountains

福田将真*¹・末岡 茂*¹・中嶋 徹*^{1,2}・Barry Kohn*³・田上高広*⁴
Shoma Fukuda*¹, Shigeru Sueoka*¹, Toru Nakajima *^{1,2},
Barry Kohn*³ and Takahiro Tagami*⁴

*¹ : 日本原子力研究開発機構, Japan Atomic Energy Agency

*² : 富山大学, University of Toyama

*³ : メルボルン大学, University of Melbourne

*⁴ : 京都大学, Kyoto University

はじめに

東北日本弧は、太平洋プレートの沈み込み帯に形成された島弧で、活発な地殻変動や火山・火成活動で特徴付けられる。東北日本弧の火山弧より背弧側には、第四紀火山が指状のクラスターとして分布していることが知られ、マントルウェッジ中の高温の上昇流の分布 (Hot finger: Tamura et al., 2002) とよく対応する。この高温の上昇流は、背弧側の上部マントルから火山フロント直下の下部地殻にかけて連続的に浅くなっていき

(Hasegawa et al., 2005)、これら地域の第四紀火山の分布域とよく対応することから、火山活動の原因となるメルトの供給源だと考えられている。第四紀火山の周辺では、高い地温勾配や、地震発生層の下限深度の浅部化、P波減衰領域の分布が見出されており、浅部地殻における高温流体の賦存域の存在が推定されている (例えば、芝崎・篠島, 2019)。

一方でホットフィンガー上にありながらも、第四紀火山が分布しない地域も存在する。その一例である飯豊山地は、電磁探査や地震波トモグラフィーの結果および、高³He/⁴He比の温泉の湧出から、地下にマグマと考えられる高温流体の存在が推定されている (例えば、Umeda et al., 2006; 2007)。本研究では、飯豊山地

の隆起メカニズムと地下の高温流体の関係について検討するため、山地横断方向に数 km 間隔で白亜紀～古第三紀花崗岩を採取し (図 1)、低温領域の熱年代法を適用することで、熱年代値の空間的傾向と高温領域の対応関係の検証を試みた。

熱年代測定結果

本研究では、約 60°C～200°C の閉鎖温度を有する低温領域の熱年代法を適用した。具体的には、アパタイト(U-Th-Sm)/He 法、アパタイトフィッション・トラック法、ジルコン(U-Th)/He 法 (以下、順に、AHe 法、AFT 法、ZHe 法) である。先行研究で報告されている各 1 点の AHe 年代 (3.4 ± 0.7 Ma) および AFT 年代 (4.6 ± 0.7 Ma) (Fukuda et al., 2019) (以降、誤差範囲は 2 σ 表記) に、本研究で新たに得られた年代値を加えると、 $33.7 \pm 2.1 \sim 2.7 \pm 0.2$ Ma (n = 12) の AHe 年代、 $39.2 \pm 7.8 \sim 3.6 \pm 3.0$ Ma (n = 3) の AFT 年代、 $43.2 \pm 3.1 \sim 4.4 \pm 0.3$ Ma (n = 10) の ZHe 年代が得られた。

解釈と地質学的知見

これらの熱年代データの東西断面における空間的傾向に着目すると、山地中央

に向かって年代値が減少する傾向がみられた(図2)。山麓の逆断層による傾動隆起の場合、木曾山脈での既往研究

(Sueoka et al., 2012)のように、年代値は逆断層が分布する山麓に向かって減少する傾向を示すはずであり、本研究の結果と逆の傾向となる。むしろ、奥羽脊梁山地の南部(Fukuda, 2020)や南部フォッサマグナ・関東山地(Sueoka et al., 2022)と同様に、山地中央に向かって年代値が減少するパターンと類似している。いずれも第四紀火山を含む山地であることから、ドーム状の隆起パターンは、高温領域に変形が集中した結果生じる隆起形態である可能性が考えられる。したがって、飯豊山地も同様に、ドーム状に隆起している可能性が推定された。

東北日本弧の山地の隆起メカニズムについては、近年、温度構造とレオロジーを仮定した地球物理学的モデリングが報告され、奥羽脊梁山地の現地形の分布や形成過程は、東西圧縮応力場において火山フロントに沿った高温領域に応力が集中したことで説明されることが示された(Shibazaki et al., 2016)。飯豊山地におけるドーム状隆起を示唆する熱年代分布は、深畑ほか(2022)で議論されているように、高温領域の分布は火山・火成活動のみならず、歪が集中する場とも関連するという仮説を補強する結果となった。

また、年代が山地中央部方向への減少を示す領域は、地磁気地電流法で推定された低比抵抗領域(Umeda et al., 2006)と概ね同様の範囲で観察された(図2)。すなわち、高温領域の分布範囲においては、地質時間スケールで隆起・削剥が卓越していた可能性を支持する。熱年代学に基づく地質学的スケールの隆起パターンと現在のスナップショットである地球物理学的観測に基づく高温領域の分布範囲に関連性があると仮定すれば、本地域では少なくとも約3 Ma以降から高温領域が現在とほぼ同じ位置に安定に存在していたのかもしれない。今後は飯豊山地における更なる熱年代データの拡

充に加え、高温流体の賦存域を有する他の非火山性山地の隆起・削剥についても情報収集を進めたい。

謝辞

本報告は「令和6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(JPJ007597)(地質環境長期安定性総合評価技術開発)」で得られた成果の一部を使用した。サンプリングにおいては、東濃地科学センターの小松哲也博士、京都大学大学院理学研究科の工藤駿平氏、(株)アルティメックの岩田君彦氏にお世話になった。感謝申し上げます。

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.
- 深畑幸俊・岡崎智久・西村卓也, 2022, GNSS データに基づく日本列島の歪み速度場と島弧間および島弧内変動. *地学雑誌*, 131, 479-496.
- Fukuda, S., Sueoka, S., Hasebe, N., Tamura, A., Arai, S., Tagami, T., 2019, Thermal history analysis of granitic rocks in an arc-trench system based on apatite fission-track thermochronology: A case study of the Northeast Japan Arc. *Journal of Asian Earth Sciences*: X, 1, 100005.
- Fukuda, S., 2020, Thermochronometric investigations of the northeast Japan Arc. Doctoral theses of Kyoto University.

- Shibazaki, B., Okada, T., Muto, J., Matsumoto, T., Yoshida, T., Yoshida, K., 2016, Heterogeneous stress state of island arc crust in northeastern Japan affected by hot mantle fingers. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **121**, 3099-3117.
- 芝崎文一郎・篠島僚平, 2019, 不均質レオロジー構造を考慮した島弧地殻における変形と応力場のモデル化. *地学雑誌*, **128**, 813-834.
- Sueoka, S., Kohn, B. P., Tagami, T., Tsutsumi, H., Hasebe, N., Tamura, A., Arai, S., 2012, Denudation history of the Kiso Range, central Japan, and its tectonic implications: Constraints from low-temperature thermochronology. *Island Arc*, **21**, 32-52.
- Sueoka, S., Kobayashi, Y., Fukuda, S., Kohn, B. P., Yokoyama, T., Sano, N., Hasebe, N., Tamura, A., Morishita, T., Tagami, T., 2022, Low-temperature thermochronology of active arc-arc collision zone, South Fossa Magna region, central Japan. *Tectonophysics*, **828**, 229231.
- Tamura, Y., Tatsumi, Y., Zhao, D., Kido, Y., Shukuno, H., 2002, Hot fingers in the mantle wedge: new insights into magma genesis in subduction zones. *Earth and Planetary Science Letters*, **197**, 105-116.
- Umeda, K., Asamori, K., Negi, T., Ogawa, Y., 2006, Magnetotelluric imaging of crustal magma storage beneath the Mesozoic crystalline mountains in a nonvolcanic region, northeast Japan. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **7**.
- Umeda, K., Asamori, K., Ninomiya, A., Kanazawa, S., Oikawa, T., 2007, Multiple lines of evidence for crustal magma storage beneath the Mesozoic crystalline Iide Mountains, northeast Japan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **112**.

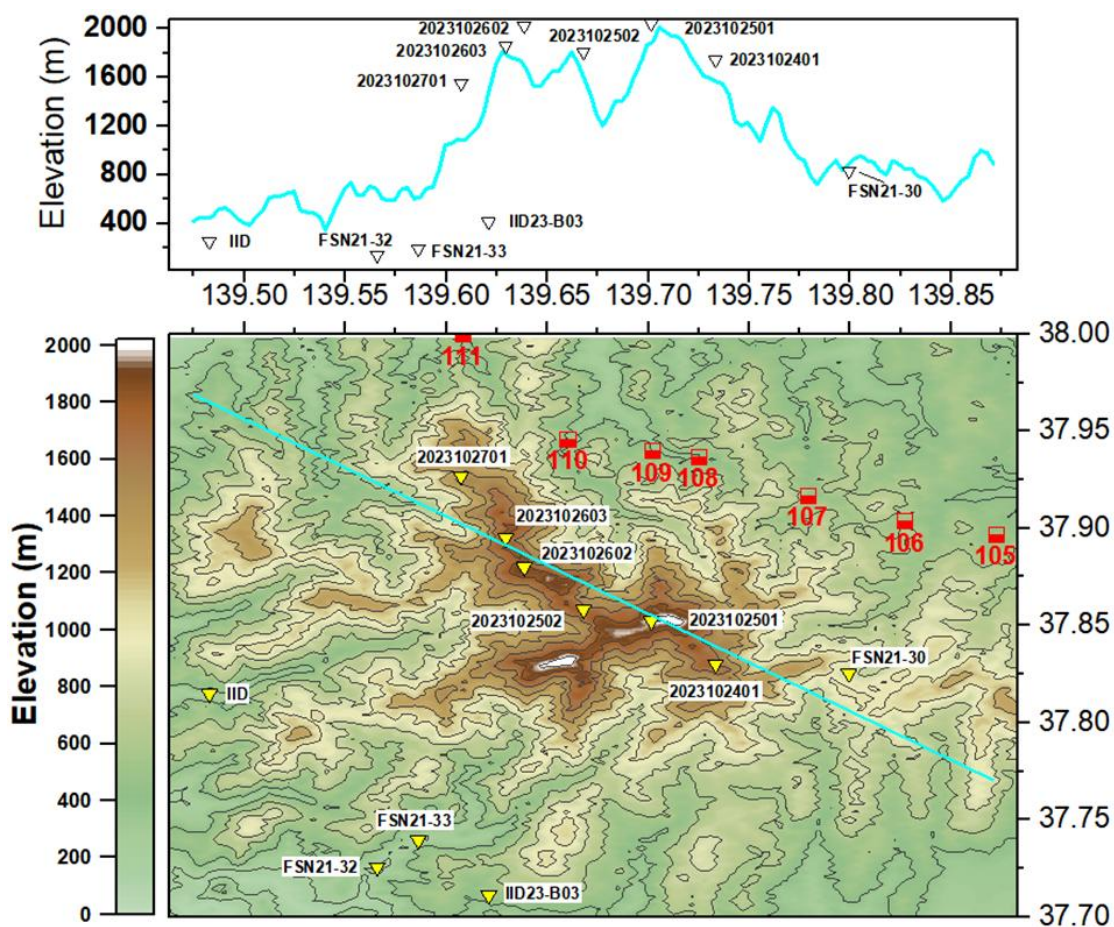


図1 飯豊山地における試料採取地点および標高プロファイル。
 国土地理院発行の50 mメッシュ数値標高モデルを基に作図。
 赤四角の凡例は Umeda et al. (2006)で実施された電磁探査地点。

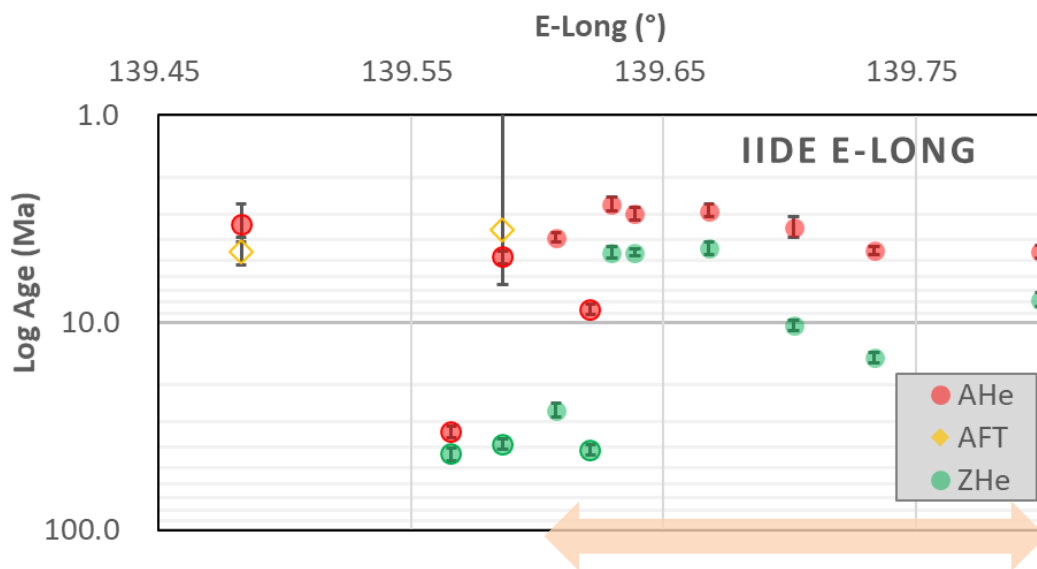


図2 飯豊山地における東西断面の熱年代プロット。すべての誤差範囲は 2σ 。中塗りのプロットは図1中の水色の測線付近にある山地中央部のデータを示し、中抜けのプロットは山麓部でのデータを示す。橙色の両矢印は Umeda et al. (2006)において 20 km 以浅に低比抵抗体が分布している範囲。