

(U-Th)/He 熱年代に基づいた佐渡島の花崗岩類の冷却・削剥史 Cooling/exhumation history of granitic rocks in the Sado Island, central Japan, based on (U-Th)/He thermochronometry

末岡 茂*・福田将眞*・Kohn, B.P.**・田上高広***
Shigeru Sueoka*, Shoma Fukuda*, Barry P. Kohn** and Takahiro Tagami***

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

** : メルボルン大学地理・地球・大気科学研究科, School of Geography, Earth and Atmospheric Sciences, University of Melbourne

*** : 京都大学地球惑星科学専攻, Division of Earth & Planetary Sciences, Kyoto University

はじめに

日本海東縁には多数の海底活断層が発達しM7級の巨大地震が繰り返し発生しており, 日本海東縁変動帯(または日本海東縁ひずみ集中帯)と呼ばれている. この地域の地震活動が活発な理由として, 第四紀の中頃に北海道中部から日本海東縁に北米-ユーラシアプレート境界が移動したという説が提唱されている(中村, 1983). しかし, 本説の是非については様々な議論があり(衣笠, 1990; Kato et al., 2004), 境界が移動したと考える研究者の間でも, プレート境界の通過位置や移動時期などについて複数の見解が示されている(Seno, 1985; Sagiya et al., 2000; Heki and Miyazaki, 2001; 深畑ほか, 2022). このように意見が分かれる理由の一つとして, 本地域が海域であり調査手法が限定されることが考えられる.

佐渡島は東北日本背弧側に位置する離島で, 日本海東縁変動帯の数少ない陸上露出部である. 佐渡島は, 東北日本弧の多くの山地・盆地と同様, 日本海拡大時に形成された正断層が, 鮮新世~第四紀の圧縮応力場で逆断層として再活動したインバージョンテクトニクス(Okamura et al., 1995)によって大局的には形成されたと考えられている(佐渡ジオパーク

推進協議会, 2022). したがって, 日本海東縁変動帯のプレート境界問題を含めた, 東北日本弧のネオテクトニクスの研究には好適な地域である.

佐渡島の沿岸部には, 多段の更新世海成段丘が発達している(太田, 1964; 太田ほか, 1992). これらの離水年代と分布高度に基づく, 大佐渡と小佐渡は約30~40万年前以降, 南東方向に傾動しながら隆起してきたと推測される(太田ほか, 1992). 一方, 山地の分水嶺は南東側に偏って分布しており, 100万年スケールでは逆に北西方向に傾動していた可能性が示唆されている(太田ほか, 1992). 本研究では, 佐渡島の100万年スケールでの隆起・削剥史の解明, 特に北西傾動の有無と, 北西から南東に傾動方向が変化した原因を検討するために, 佐渡島の花崗岩類を対象に, (U-Th)/He熱年代法を適用して冷却・削剥史を復元した.

試料採取

本研究では計4地点で岩石試料を採取した(図1). 大佐渡の1地点(北鶴島)と小佐渡の2地点(川茂, 岩首)では後期白亜紀の花崗岩類を採取した. 北鶴島の花崗閃緑岩体では, 約109~105 Maのジルコン U-Pb年代(早坂ほか,

2014; Yokoyama et al., 2016), 約 99 Ma の黒雲母 K-Ar 年代 (通産省, 1987), 約 74 Ma のジルコンフィッション・トラック年代 (雁沢, 1982) が報告されている. 川茂と岩首の花崗岩体では, それぞれ約 96 Ma と約 95 Ma の黒雲母 K-Ar 年代が得られている (通産省, 1987). また, 大佐渡の 1 地点 (片辺) では前期中新世の凝灰角礫岩 (片辺礫岩) に含まれる花崗岩礫を採取した. 片辺礫岩の花崗岩礫は, 約 106~101 Ma のジルコンおよびモナザイトの U-Pb 年代を示し (早坂ほか, 2014; Yokoyama et al., 2016), 阿武隈帯の花崗岩に対比されると解釈されている (早坂ほか, 2014). 採取した岩石試料は, 京都フィッション・トラック株式会社に依頼し, ふるい掛け・重液分離等の一般的な手順を用いて, 分析対象鉱物 (アパタイト, ジルコン) を分離した.

(U-Th)/He 分析とその結果・解釈

(U-Th)/He 年代の測定は, メルボルン大学で実施した. 分析の手順・条件の詳細は, Nakajima et al. (2023)などを参照のこと. 北鷓島, 川茂, 岩首のジルコン (U-Th)/He 年代は, 白亜紀~古第三紀初頭の古い年代を示しており (図 1), 深成岩体の初期冷却ないし日本海拡大以前の大陸縁時代における削剝を主に反映していると考えられる. 一方, アパタイト (U-Th)/He 年代は中新世~鮮新世の比較的若い年代を示し (図 1), 日本海拡大以降のイベントを反映していると解釈される. 片辺礫岩の花崗岩礫では, ジルコンとアパタイトの (U-Th)/He 年代がいずれも中新世を示し誤差範囲で重なることから, 日本海拡大時に再加熱を経験した可能性がある.

熱史逆解析とその結果・解釈

得られた単粒子年代を基に熱史逆解析ソフトの QTQt (Gallagher, 2012) を用いて熱史をより詳細に検討した. QTQt では四種類の統計量に基づいた冷却パスが計算されるが (図 1), 本研究では QTQt

のマニュアルで推奨されている期待値最大モデルを基に熱史を解釈した.

小佐渡の 2 地点 (川茂, 岩首) では約 10 Ma 以前に漸進的な加熱を被った後, 数 Ma 以降に急冷されるという温度変化が共通して得られた. これらはそれぞれ, 中新世のリフティングに伴う沈降・堆積と, 鮮新世以降の東西圧縮による隆起・削剝を反映していると考えられる. 数 Ma 以降の冷却は, 南東側の岩首でより顕著に観られたが, これは 100 万年スケールでは小佐渡が北西傾動していたというモデルと整合的である.

一方, 大佐渡の 2 地点 (北鷓島, 片辺) では, 最近数 Ma の急冷は不明瞭であった. この原因として, 試料を採取した 2 地点がいずれも北西側の沿岸部であったため, 北西傾動に伴う隆起・削剝量が少ないことに加えて, 最近の南東傾動をもたらしている逆断層 (外海府断層系) から見ても下盤側に当たるため, 総じて鮮新世以降の隆起・削剝が顕著ではなかったことが考えられる.

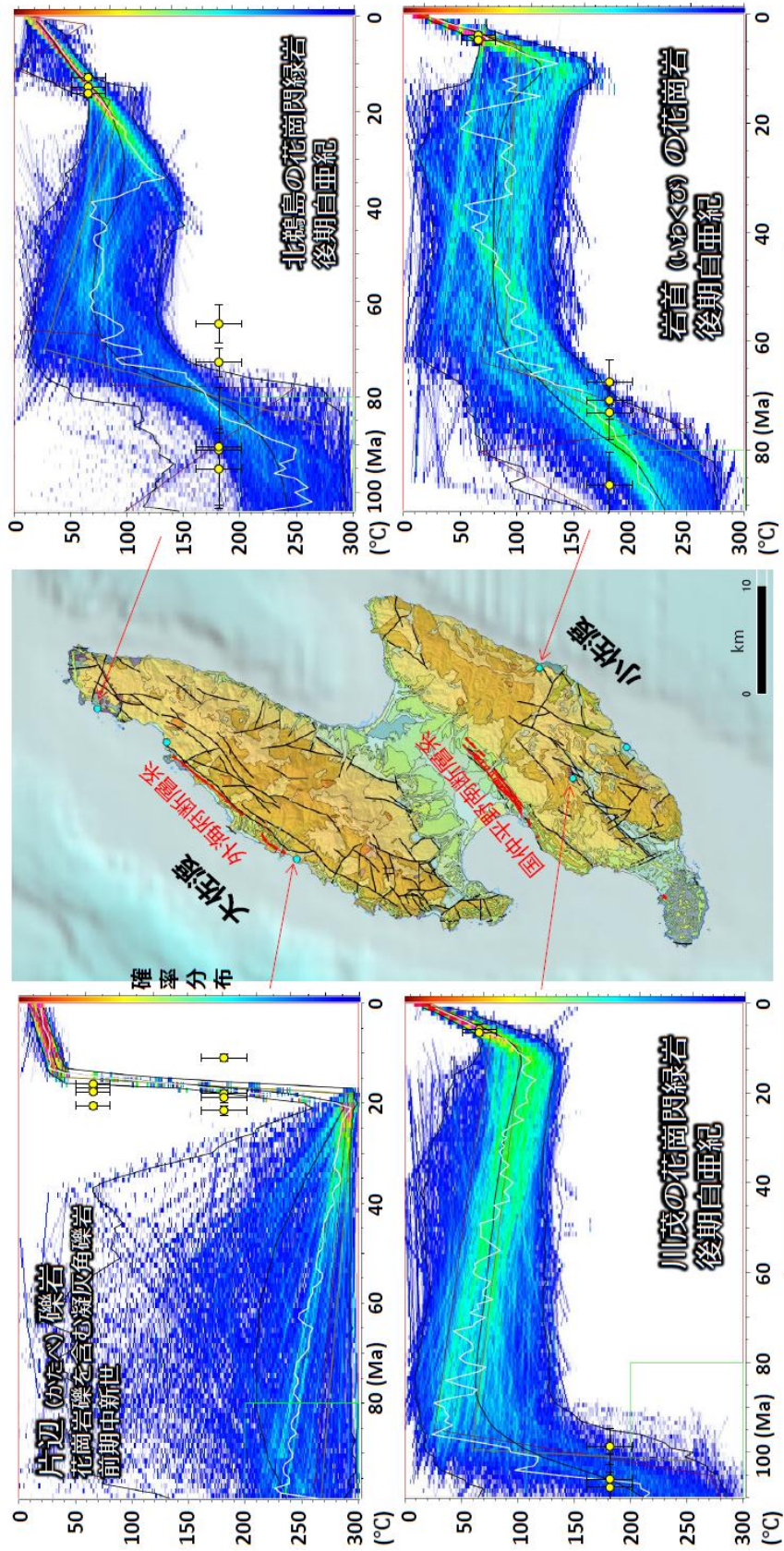
おわりに

大佐渡における北西傾動の有無の確認と, 小佐渡における北西傾動のより確実な証拠の提示のためには, 測定地点数を増やすことが望まれる. しかし, グリーン・タフに覆われた佐渡島では, 少なくとも地質図スケールでは, 花崗岩類の露出地域は極めて限られている (図 1). 佐渡島の花崗岩露頭の情報 (特に大佐渡) をお持ちの方がいれば, 著者らに情報提供いただければ幸甚である.

引用文献

- 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.

- Gallagher, K., 2012, Transdimensional inverse thermal history modeling for quantitative thermochronology. *Journal of Geophysical Research*, **117**, B02408.
- 雁沢好博, 1982, フィッション・トラック法によるグリーン・タフ変動の年代区分: その1 佐渡地域. *地質学雑誌*, **88**, 943-956.
- 早坂康隆・木村光佑・勝部亜矢, 2014, 佐渡島基盤岩類のジルコン年代学からみた地体構造対比. *日本地質学会第121年学術大会講演要旨*, 448.
- Heki, K. and Miyazaki, S., 2001, Plate convergence and long-term crustal deformation in central Japan. *Geophysical Research Letters*, **28**, 2313-2316.
- Kato, N. Sato, H., Orito, M., Hirakawa, K., Ikeda, Y., Ito, T., 2004, Has the plate boundary shifted from central Hokkaido to the eastern part of the Sea of Japan? *Tectonophysics*, **388**, 75-84.
- 衣笠善博, 1990, 東北日本北米プレート説再考: 地形・地質から. *地学雑誌*, **99**, 13-17.
- Nakajima, T., Sueoka, S., Nagata, M., Kohn, B. P., Ramos, N. T., Tsutsumi, H., Tagami, T., 2023, First report of geo- and thermochronological results from the Cordillera Central, Luzon, Philippines. *Earth, Planets and Space*, **75**, 176.
- 中村一明, 1983, 日本海東縁新生海溝の可能性. *地震研究所彙報*, **58**, 711-722.
- Okamura, Y., Watanabe, M., Morijiri, R., Satoh, M., 1995, Rifting and basin inversion in the eastern margin of the Japan Sea. *Island Arc*, **4**, 166-181.
- 太田陽子, 1964, 大佐渡沿岸の海岸段丘. *地理学評論*, **37**, 226-242.
- 太田陽子・宮脇明子・塩見美奈子, 1992, 佐渡島の海成段丘をきる活断層とその意義. *地学雑誌*, **101**, 205-224.
- 佐渡ジオパーク推進協議会・編, 2022, よくわかる佐渡ジオパーク: 自然と人の暮らし, 171p.
- Sagiya, T. Miyazaki, S., Tada, T., 2000, Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan. *Pure and Applied Geophysics*, **157**, 2302-2322.
- Seno, T., 1985, "Northern Honshu microplate" hypothesis and tectonics in the surrounding regions: When did the plate boundary jump from central Hokkaido to the eastern margin of the Japan Sea? *Journal of the Geodetic Society of Japan*, **31**, 106-123.
- 通商産業省資源エネルギー庁, 1987, 昭和61年度広域地質構造調査報告書, 佐渡地域, 239p.
- Yokoyama, S., Tani, K. Tsutsumi, Y., 2016, Petrological study of Cretaceous granitoids and Triassic sandstones in Sado Island. *Memoirs of the National Science Museum, Tokyo*, **51**, 53-58.



— 尤度最大モデル、— 事後確率最大モデル、— 期待値最大モデル±95%CI、— 頻度最大モデル

図1 試料採取地点と熱史逆解析結果. 基図には産総研の1/20万日本シームレス地質図を使用. 熱史逆解析結果との比較のため, (U-Th)/He 単粒子年代の値をアパタイトは50~80°C, ジルコンは160~200°Cの位置にプロットした.

Fig. 1 Sampling sites and thermal inversion results. AIST 1:200,000 seamless digital geological map of Japan was used as the base map. Single-grain (U-Th)/He dates for apatite and zircon are plotted at 50-80°C and 160-200°C, respectively, for comparison with the thermal inversion results.