ISSN 1340-900X

フィッション・トラック ニュースレター

第３４号（２０２１年１２月）
日本フィッション・トラック研究会

第４５回フィッション・トラック研究会
（２０２１年２月２０日　オンライン討論セッション）
（オンライン発表公開　２月１５日–２月２２日）

第四紀黒部川花崗岩：傾動隆起した岩体それとも再生プルトン？
伊藤久敏 ---------- 1

ジルコンU-Pb年代測定による谷川岳地域に露出する中新世〜鮮新世花崗閃緑岩の貫入年代の推定
南　沙樹・長田充弘・末岡　茂・福田将眞・梶田侑弥・小北康弘
横山立憲・鏡味沙耶・田上高広 ---------- 4

ジルコン(U-Th)/He法の年代標準試料の探求：仁左平デイサイトにおける年代学的検討
福田 将眞・末岡 茂・菅野 瑞穂・Barry P. Kohn・田上 高広---------- 9

アパタイトフィッション・トラック熱年代学に基づく北上山地の削剥史の推定
梶田侑弥・末岡 茂・福田将眞・横山立憲・鏡味沙耶・長田充弘・田上高広 ---------- 14

アパタイトフィッション・トラック年代測定における#4000SiC耐水研磨紙の利用
梶田侑弥・南　沙樹・田上 高広 ---------- 17

ジルコンのアルファリコイルトラック年代測定に向けた取り組み：アメリシウム線源の吟味
中島大輝・長谷部徳子・山田記大・横山明彦 ---------- 19

レーザーパラメータがLA-ICP-MS分析結果に及ぼす影響
伊藤陽平・田村明弘・長谷部徳子 ---------- 22

17th International Conference on Thermochronologyの参加報告
中嶋 徹・福田将眞・小形 学・末岡 茂 ---------- 25

学 会 記 事 ---------- 27

ISSN 1340-900X

FISSION TRACK NEWS LETTER

No. 34 (December 2021)

Fission Track Research Group in Japan

Extended abstracts of 45th Meeting of the Fission Track Research Group in Japan
(20 February, 2021 : Online Session, 15-22 February, 2021: Video presentation available online)

The Quaternary Kurobegawa Granite: a tilted and uplifted block or a resurgent pluton?
Hisatoshi Ito ---------- 1

Estimation of intrusion ages in the Miocene-Pliocene granodiorite around the Tanigawa-dake based on zircon U-Pb dating
Saki Minami, Mitsuhiro Nagata, Shigeru Sueoka, Shoma Fukuda, Yuya Kajita, Yasuhiro Ogita, Tatsunori Yokoyama, Saya Kagami and Takahiro Tagami ---------- 4

Exploration of the age standard zircon for (U-Th)/He method : Chronometric investigations of the Nisatai Dacite
Shoma Fukuda, Shigeru Sueoka, Mizuho Kanno, Barry P. Kohn and Takahiro Tagami ---------- 9

Estimation of denudation history of the Kitakami Mountains based on apatite fission-track thermochronology
Yuya Kajita, Shigeru Sueoka, Shoma Fukuda, Tatsunori Yokoyama, Saya Kagami, Mitsuhiro Nagata and Takahiro Tagami ---------- 14

Use of #4000SiC grinding sheet in the procedure of polishing in fission-track dating
Yuya Kajita, Saki Minami and Takahiro Tagami ---------- 17

Towards the zircon alpha recoil track dating : Test of americium radiation source
Taiki Nakashima, Noriko Hasebe, Norihiro Yamada and Akihiko Yokoyama ---------- 19

Effect of laser parameters on LA-ICP-MS analysis
Yohei Ito, Akihiro Tamura and Noriko Hasebe ---------- 22

Report on the 17th International Conference on Thermochronology
Toru Nakajima, Shoma Fukuda, Manabu Ogata, and Shigeru Sueoka ---------- 25

NEWS ---------- 27

第四紀黒部川花崗岩：傾動隆起した岩体それとも再生プルトン？

伊藤久敏*

The Quaternary Kurobegawa Granite: a tilted and uplifted block or a resurgent pluton?

Hisatoshi Ito*

* 電力中央研究所，Central Research Institute of Electric Power Industry

はじめに

北アルプスに分布する黒部川花崗岩体と滝谷花崗閃緑岩体は，世界で最も若い地表に露出するプルトンである（Harayama，1992；Ito et al., 2013）．地下深部で生成されたプルトンが地表で最も若い年代を示すことから，北アルプスが世界的にもまれな，第四紀に激しい隆起・削剥を受けた地域であることが示唆される（Ito et al., 2013）．北アルプスのこれらの第四紀プルトンの隆起・削剥のメカニズムとして，プレートの東西圧縮による傾動隆起説が提示されている（原山ほか，2003；原山，2015）．特に，黒部川花崗岩体は，傾動隆起により，東側に80度回転したとされている．今回，この点について，新たな説を提示したい．

黒部川花崗岩体北西縁部の性状

傾動隆起の根拠の一つとして，黒部川花崗岩体西縁のマイロナイトの存在が指摘されている（原山ほか，2000，2003）．すなわち，マイロナイトの変形構造から，東側の黒部川花崗岩体が急上昇したと推定されている．これを確認した地点は，黒部川花崗岩体北西縁部の阿曽原小屋北方水平歩道（標高960m）（原山ほか，2000）とされる．同様に，黒部川花崗岩体北西縁部にあたる，欅平－祖母谷温泉間の道路沿いにもマイロナイトと判断される変形構造を示すプルトンが存在すると指摘されている（原山ほか，2010）．Fig. 1に，この道路沿いで得られたプルトンのジルコンU-Pb年代測定結果と代表的な薄片写真を示す．ここでは，黒部川花崗岩と約10 Maを示す花崗岩が接するが，境界の性状は露頭からは良く分からなかった．原山ほか（2000）で示される変形組織を有する岩体は，Fig. 1の9.8±0.3 Maを示す花崗岩の西側に分布している．この変形構造を有する岩体中の花崗岩やさらにその西側の花崗岩からは，それぞれ，9.0±0.1 Ma，9.7±0.3 Maが得られている．9.8±0.3 Maを示す花崗岩とそのごく近傍の1.0±0.1 Maを示す黒部川花崗岩はともに，鏡下では変形構造を示す組織は観察されない（Fig. 1）．これらのことから，マイロナイトを伴う変形構造が生じた時期は，10 Maよりも古く，約10 Maを示す花崗岩体や第四紀黒部川花崗岩体は，既に存在した弱線（=高瀬川断層）沿いに貫入したものと推定される．

再生プルトンとしての黒部川花崗岩体

黒部川花崗岩体は，それと接する爺ヶ岳火山岩類と火山・深成複合岩体をなしている．原山ほか（2003）は，黒部川花崗岩体が，爺ヶ岳火山岩類の噴出により生じた陥没カルデラ下のマグマ溜りにマグマが再注入することにより生じた可能性を指摘している．これは，再生プルトンであり，わが国でも，ともに約15 Maに生じた熊野カルデラや石鎚カルデラの形成後に生じたカルデラ内のプルトン（Miura，1999; Takehara et al., 2017）が再生プルトンに相当すると思われる．再生プルトンが地表浅部で生じた場合には，顕著なドーム状の隆起を生じ，例えば，インドネシアのトバカルデラでは，再生ドームの隆起速度として，700 m/33,000 y（= 21 mm/y）が報告されている（de Silva

et al., 2015）．黒部川プルトンが生じた深度は，地下約6 kmと推定される（Ito et al., 2021）ので，100万年で地表に露出したとしても隆起・削剥速度は6 mm/yであり，再生プルトンのみのメカニズムで黒部川花崗岩体を露出させることは可能と思われる．すなわち，黒部川花崗岩体の隆起・削剥は，東西圧縮による傾動隆起ではなく，再生プルトンが要因と考えられる．

文献

de Silva, S.L., Mucek, A., Gregg, P., and Pratomo, I., 2015. Resurgent Toba–field, chronologic, and model constraints on time scales and mechanisms of resurgence at large calderas. Front. Earth Sci., 3, Article 25.

Harayama, S., 1992. Youngest exposed granitoid pluton on earth: Cooling and rapid uplift of the Pliocene-Quaternary Takidani Granodiorite in the Japan Alps, central Japan. Geology, 20, 657–660.

原山　智，2015．北アルプス鹿島槍ヶ岳-爺ヶ岳に露出する，直立した第四紀陥没カルデラ–黒部川花崗岩コンプレックス： 短縮テクトニクスによる傾動山脈隆起の典型例．地質雑，121，293–308.

原山　智，大薮圭一郎，深山裕永，足立英彦，宿輪隆太，2003．飛騨山脈東半部における前期更新世後半からの傾動・隆起運動．第四紀研究，42，127–140.

原山　智，高橋　浩，中野　俊，苅谷愛彦，駒沢正夫，2000，立山地域の地質．地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所，218p.

原山　智，高橋正明，宿輪隆太，板谷徹丸，八木公史，2010．黒部川沿いの高温泉と第四紀黒部川花崗岩．地質雑，116　補遺，63–81.

Ito, H., Adachi, Y., Cambeses, A., Bea, F., Fukuyama, M., Fukuma, K., Yamada, R., Kubo, T., Takehara, M. and Horie, K., 2021. The Quaternary Kurobegawa Granite: an example of a deeply dissected resurgent pluton. Sci. Rep., 11, 22059.

Ito, H., Spencer, C.J., Danišík, M., and Hoiland, C.W., 2017. Magmatic tempo of Earth's youngest exposed plutons as revealed by detrital zircon U-Pb geochronology. Sci. Rep., 7, 12457.

Ito, H., Yamada, R., Tamura, A., Arai, S., Horie, K., and Hokada, T., 2013. Earth's youngest exposed granite and its tectonic implications: the 10–0.8 Ma Kurobegawa Granite. Sci. Rep., 3, 1306.

Miura, D., 1999. Arcuate pyroclastic conduits, ring faults, and coherent floor at Kumano caldera, southwest Honshu, Japan. J. Volcanol. Geotherm. Res., 92, 271–294.

Spencer, C.J., Danišík, M., Ito, H., Hoiland, C., Tapster, S., Jeon, H., McDonald, B., and Evans, N.J., 2019. Rapid exhumation of Earth's youngest exposed granites driven by subduction of an oceanic arc. Geophys. Res. Lett., 46, 1259–1267.

Takehara, M., Horie, K., Tani, K., Yoshida, T., Hokada, T., and Kiyokawa, S., 2017. Timescale of magma chamber processes revealed by U–Pb ages, trace element contents and morphology of zircons from the Ishizuchi caldera, Southwest Japan Arc. Island Arc., 26, e12182.

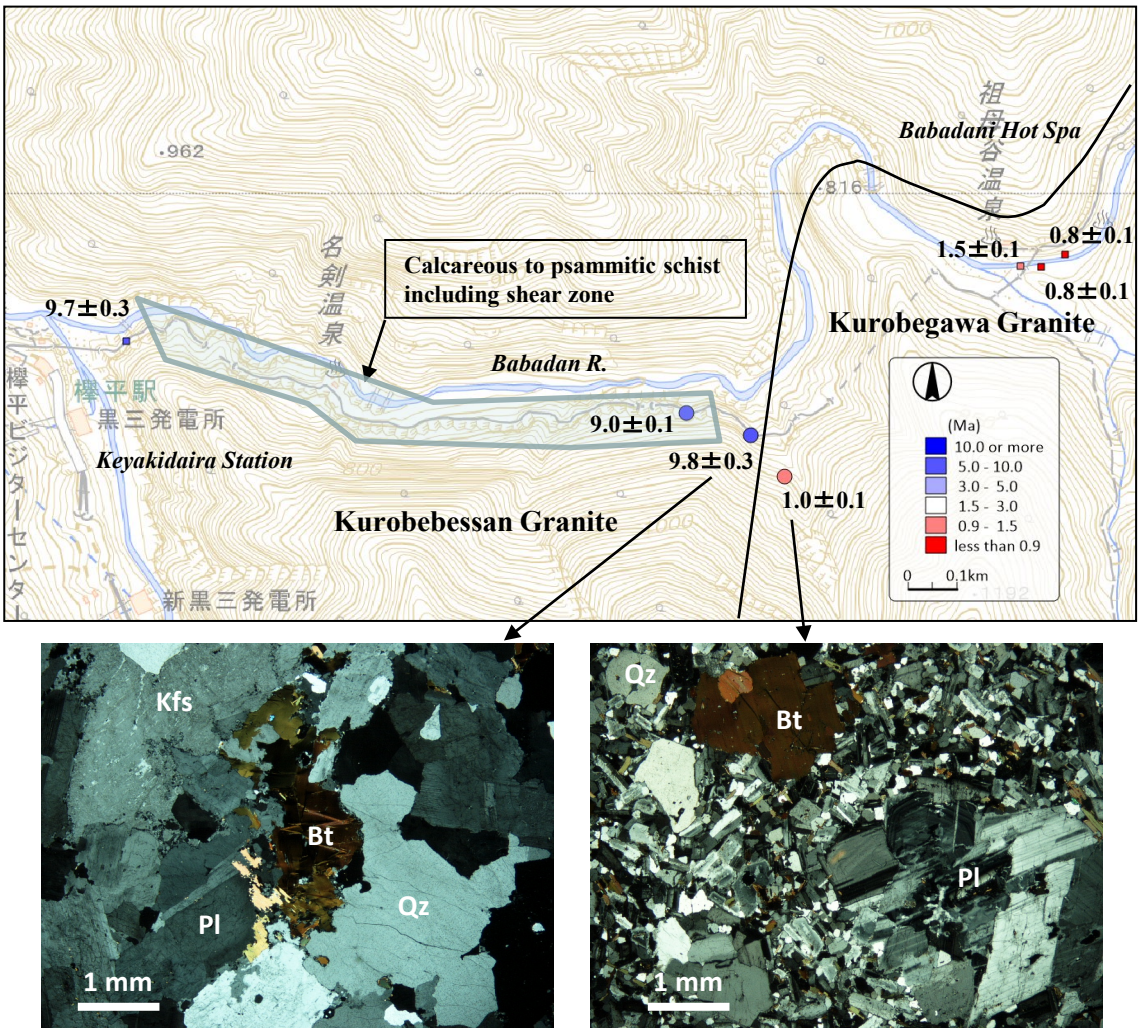

Fig. 1. Zircon U-Pb ages (shown in Ma with 2σ error) from a pass along the Babadan River (from Keyakidaira Station to Babadani Hot Spa) in the northwestern rim of the Kurobegawa Granite. Large circles and small squares indicate ages from Ito et al. (2021) and the literature (Ito et al., 2013; 2017; Spencer et al., 2019), respectively. Granite names and geological descriptions are modified from Harayama et al. (2010). Photomicrographs (taken in cross-polarized light) of a ~10 Ma granite and the Kurobegawa Granite show no signs of shearing. Qz: quartz, Pl: plagioclase, Kfs: potassium feldspar, Bt: biotite.

ジルコンU-Pb年代測定による谷川岳地域に露出する中新世〜鮮新世花崗閃緑岩の貫入年代の推定

南　沙樹*・長田充弘**・末岡　茂**・福田将眞**・梶田侑弥*
小北康弘**・横山立憲**・鏡味沙耶**・田上高広*

Estimation of intrusion ages in the Miocene-Pliocene granodiorite around the Tanigawa-dake based on zircon U-Pb dating

Saki Minami*, Mitsuhiro Nagata**, Shigeru Sueoka**,
Shoma Fukuda**, Yuya Kajita*, Yasuhiro Ogita**, Tatsunori Yokoyama**,
Saya Kagami** and Takahiro Tagami*

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

はじめに

一般的に花崗岩は，地下数km〜数十kmの深さで形成される．数Maに形成された若い花崗岩が，現在地表に露出する地域では，極めて急激な隆起・削剥が起きている可能性がある．このような若い花崗岩は，世界的にプレート収束帯の各所に集中している (Harayama，1992)．特に日本国内では，北アルプスの飛騨山脈，南部フォッサマグナ地域の丹沢山地，そして本研究の対象地域である谷川岳地域などにおいて約5 Maより若い花崗岩が分布するとされている（原山, 2006）．北アルプスの黒部川花崗岩では約0.8 Ma (Ito et al., 2013), 滝谷花崗閃緑岩では約1.4 Ma (Sano et al., 2002), 南部フォッサマグナ地域の丹沢岩体で約4.0 Ma (Tani et al., 2010), 小烏岩体で約3.8 Ma（Sawaki et al., 2020）のジルコンU-Pb年代が得られている．一方で，谷川岳地域では花崗岩の固結年代は全岩Rb-Sr年代測定より，5.27 ± 1.27 Ma（大平・本多，1999）が得られているが，1地点の分析に留まる．ほかにも比較的閉鎖温度の高い黒雲母K-Ar年代測定で約3.9 〜 3.1 Ma (川野ほか，1992；佐藤，2016)，ジルコンのフィッション・トラック（ZFT）年代測定で約3.3 〜 2.9 Ma（大平・本多，1999）などが得られていることから，谷川岳地域には若い花崗岩が分布していると考えられている．しかし，全岩Rb-Sr年代は，誤差が大きく1地点のみであるため，谷川岳地域に分布する花崗岩類を代表する年代とは言えない．また黒雲母K-Ar年代やZFT年代は冷却年代のため，貫入年代を直接示さない．そこで，本研究では，谷川岳地域に分布する花崗岩類について，ほかの手法に比べ，より高温の情報を得られるジルコンU-Pb年代測定を実施し，貫入年代を推定した．

地形・地質概略と測定手法

谷川岳地域は，東北日本弧内の背弧側に位置し，この地域最高峰の谷川岳（標高1977 m，オキノ耳）は，非火山性山地である．周囲には苗場山，飯士山，武尊山といった第四紀火山が分布し，世界的にも有数の豪雪地帯である．また最終氷期に形成されたとされる氷河地形が分布している（小疇, 2002）．

地質は主に，後期白亜紀〜古第三紀の花崗岩類，後期中新世〜鮮新世の花崗閃緑岩，鮮新世〜第四紀の火山岩で構成されている（佐藤，2016；図1）．水上地域に分布する後期白亜紀の花崗岩類は，水上石英閃緑岩と呼ばれ，既往研究では，70 Maの全岩K-Ar年代が得られている(久保ほか，2013)．谷川岳地域に広く分布する中新世〜鮮新世の花崗閃緑岩は，大きく3つの岩体で構成されており，西から赤湯岩体，谷

川岩体，巻機岩体と呼ばれている（茅原ほか，1981）．既往研究では谷川岩体と巻機岩体について，黒雲母K-Ar年代（閉鎖温度350 ～ 400℃；Harrison et al, 1985; Grove and Harrison, 1996），ZFT年代（閉鎖温度250 ～ 300℃；Yamada et al., 2007; Ketcham, 2019）などが得られており，特に黒雲母K-Ar年代とZFT年代が2 sigmaの誤差範囲でまとまりがあることから，400 ～ 250℃の温度帯で，一様に冷却されたと考えられている．本研究では，谷川岩体2地点 (TNG20-03, TNG20-10)，巻機岩体1地点 (TNG20-05)，水上石英閃緑岩1地点（TNG20-09）について採取を行い，ジルコンU-Pb年代測定を実施した．

一連の測定は，日本原子力研究開発機構東濃地科学センターにて実施した．測定前に，EPMA（FE-EPMA, JEOL JXA-8530F）を用いてジルコンのカソード・ルミネッセンス（CL）像撮影を行った．測定には，LA-ICP-MS（LA: Analyte G2; Photon Machines, ICP-MS：Neptune-*Plus*, Thermo Fisher Scientific）を用いた．各試料20粒子ずつのジルコンについて，リム部分のU-Pb同位体分析をすることで，花崗岩類の貫入年代の推定を行った．年代標準試料としてOD-3（Iwano et al., 2013; reference age: 33.0 ± 0.1 Ma）を測定することで，年代値の真度と精度を確かめた．年代値は，まずコンコーディア図を描き，コンコーディア曲線に重なるものをコンコーダント，重ならないものをディスコーダントとした．TNG20-03,とTNG20-09は，1粒子ずつディスコーダントな粒子を除外し，コンコーディア年代を算出した．

結果とその解釈

測定結果を表1にまとめた．各試料と同時に分析したOD-3のジルコンU-Pb同位体分析により得られた年代値は，33.4 ± 2.8 Ma，33.1 ± 1.8 Ma（誤差範囲は2 sigma）であり，reference age（33.0 ± 0.1 Ma）と2 sigmaの誤差範囲で有意差はなかった．各試料の年代値は，TNG20-03；3.19 ± 0.15 Ma，TNG20-05；3.95 ± 0.14 Ma，TNG20-09；109.3 ± 3.2 Ma, TNG20-10；3.32 ± 0.15 Maであった（誤差範囲は2 sigma）．まず，本研究で得られたジルコンU-Pb年代と，採取地点付近の既報年代である黒雲母K-Ar年代，ZFT年代，参考までに全岩K-Ar年代を比較する（図2）．各測定地点では，2 sigmaの誤差範囲でジルコンU-Pb年代が既報年代より有意に古いため，閉鎖温度の関係を考えると整合的な結果が得られた．水上石英閃緑岩 (TNG20-09) の年代値は，谷川岳北東に分布する足尾帯にみられる只見川花崗岩類のジルコンU-Pb年代で最も古い年代値106.7±0.6 Ma（Wakasugi et al., 2020）と2 sigmaの誤差範囲で有意差がない．よって水上石英閃緑岩は，只見川花崗岩類と一連の岩体の可能性がある．次に谷川岩体（TNG20-03，TNG20-10）内で年代値を比較すると，2 sigmaの誤差範囲で一致し，3.3 ～ 3.2 Maのまとまった年代を示し

表1　試料採取地点と測定結果の概要

		Locality		U-Pb Ages (Ma)		Number
Sample	Lithology	Longitude	Latitude	Concordia Age	± 2 sigma	of grains
TNG20-03	Granodiorite	138°47'39.93"E	36°48'28.31"N	3.19	0.15	19
TNG20-05	Granodiorite	138°57'7.45"E	36°50'27.19"N	3.95	0.14	20
TNG20-09	Quartzdiorite	138°58'34.44"E	36°47'6.50"N	109.3	3.2	19
TNG20-10	Granodiorite	138°52'16.74"E	36°52'5.04"N	3.32	0.15	20
OD-3		Reference age: 33.0 ± 0.1 Ma (2 sigma)		33.4	2.8	5
OD-3		Reference age: 33.0 ± 0.1 Ma (2 sigma)		33.1	1.8	5

た．一方，谷川岩体と巻機岩体（TNG20-05）の年代値を比較すると，巻機岩体が約70万年ほど谷川岩体より有意に古い（図3）．よって谷川岳地域に分布する後期中新世-鮮新世花崗岩類は，巻機岩体が貫入した約70万年後に谷川岩体が貫入した可能性がある．

結論

谷川岳地域に分布する後期中新世－鮮新世花崗岩類（谷川岩体と巻機岩体）と後期白亜紀に形成された水上石英閃緑岩についてジルコンU-Pb年代測定を実施した．水上石英閃緑岩（TNG20-09）は109.3 ± 3.2 Maであり，谷川岩体は，3.19 ± 0.15 Ma（TNG20-03），3.32 ± 0.15 Ma（TNG20-10），巻機岩体は，3.95 ± 0.14 Ma（TNG20-05）の年代値を得た（誤差の範囲は2 sigma）．水上石英閃緑岩は北東に分布する只見川花崗岩の最も古い年代と2 sigmaの誤差範囲で有意差がないことより，足尾帯の基盤岩に相当する可能性がある．また，若い花崗岩類については，巻機岩体が約400万年前に貫入し，その約70万年後に谷川岩体が貫入した可能性があり，一連の岩体をジルコンU-Pb年代によって細分化することができた．

謝辞

本研究は，経済産業省資源エネルギー庁委託事業「令和3年度高レベル放射性廃棄物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評価技術高度化開発）」の成果の一部である．（株）京都フィッション・トラックの岩野英樹博士と檀原徹博士には，鉱物分離を実施していただいた．炭素蒸着では，京都大学の山崎あゆ氏にご助力いただいた．

引用文献

Harayama, S. (1992) Youngest exposed granitoid pluton on Earth: Cooling and rapid uplift of the Pliocene-Quaternary Takidani Granodiorite in the Japan Alps, central Japan. Geology, 20, 657-660.

原山 智 (2006)「世界一若い花崗岩の発見と北アルプスの成り立ち」,中津川鉱物博物館ミュージアムレクチャー.

Ito, H. et al. (2013) Earth's youngest exposed granite and its tectonic implications: the 10–0.8 Ma Kurobegawa Granite. Scientific Reports. 3:1306.

Sano, Y. et al. (2002) Ion microprobe U-Pb dating of Quaternary zircon: implication for magma cooling and residence time. J. Volcanol. Geotherm. Res., 117, 285-296.

Tani, K. et al. (2010); Syncollisional rapid granitic magma formation in an arc-arc collision zone: Evidence from the Tanzawa plutonic complex, Japan. Geology, 38, 215-218.

Sawaki, Y. et al. (2020) U–Pb ages of granitoids around the Kofu basin: Implications for the Neogene geotectonic evolution of the South Fossa Magna region, central Japan. Island Arc, e12361.

川野 良信ほか (1992) 谷川岳深成岩体のK-Ar年代，岩鉱，87, 221-225.

佐藤 興平 (2016) 谷川岳花崗岩体の年代とフォッサマグナ地域における新第三紀の珪長質火成活動，群馬県立自然史博物館研究報告, 20, 85-104.

大平 寛人・本多 照幸 (1999) 北部フォッサマグナ谷川岳深成岩体のフィッション・トラック年代とジルコンのTh/U比，FTNL, 12, 61-63.

小疇 尚 (2002) 越後山地の氷河作用に関する研究，明治大学人文科学研究所紀要，50, 163-175.

久保 誠二ほか (2013) 谷川岳南東麓域の地質とみなかみ花崗閃緑岩およびマチガ沢花崗斑岩のK-Ar年代，群馬県立自然史博物館研究報告, 17, 119-130.

茅原 一也ほか (1981) 「越後湯沢地域の地質」地域地質研究報告 5万分の1図幅 新潟 (7) 第75号.

Harrison, T.M. et al. (1985) Diffusion of 40Ar in biotite. Temperature, pressure and compositional effects. Geochim. Cosmochim. Acta, 49, 2461–2468.

Grove, M. and Harrison, T.M. (1996) 40Ar* diffusion in Fe-rich biotite, American Mineralogist (1996) 81 (7-8): 940–951.

Yamada, R. et al. (2007) Statistical modelling of annealing kinetics of fission tracks in zircon; Reassessment of laboratory experiments, Chemical Geology, 236, 75-91.

Ketcham, R.A. (2019): Fission-track annealing: From geologic observations to thermal history modeling. *in Fission-Track Thermochronology and its Application to Geology* edited by Malsà, M.G. and Fitzgelard, P.G., Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment.

Wakasugi, Y. et al. (2020) A chronological and geochemical study of the Tadamigawa older-stage granites: Igneous activity in the west of the Tanakura Tectonic Line (TTL) of northeastern Japan. Geochem. Jour., 54, 203- 220.

末岡 茂・田上 高広 (2019) 低温領域の熱年代学の原理と地殻浅部のテクトニクスへの応用, 地学雑誌 128, 5, 707-730.

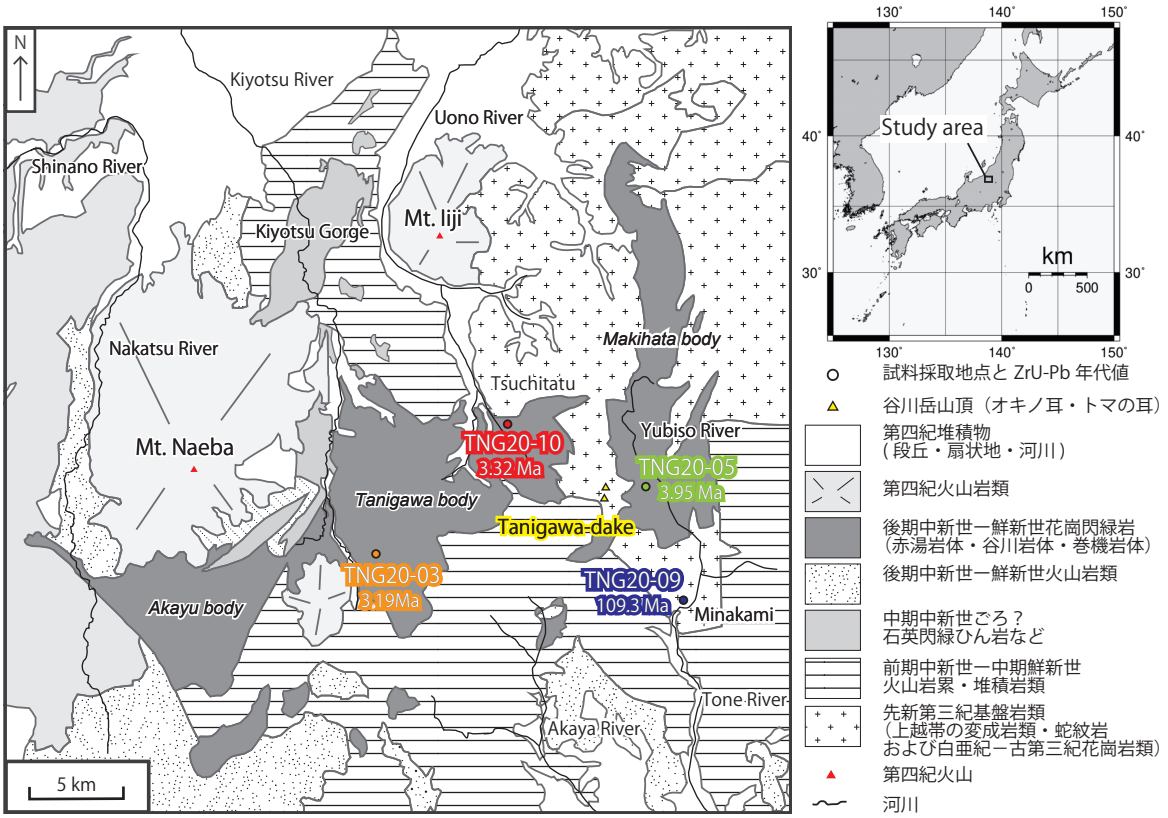

図1．地質概略図と試料採取地点
佐藤(2016)と産総研のシームレス地質図V2を引用した(https://www.gsj.jp/license/license.html).
○が試料採取地点を示し，年代値は本研究で得られたジルコンU-Pb年代である.

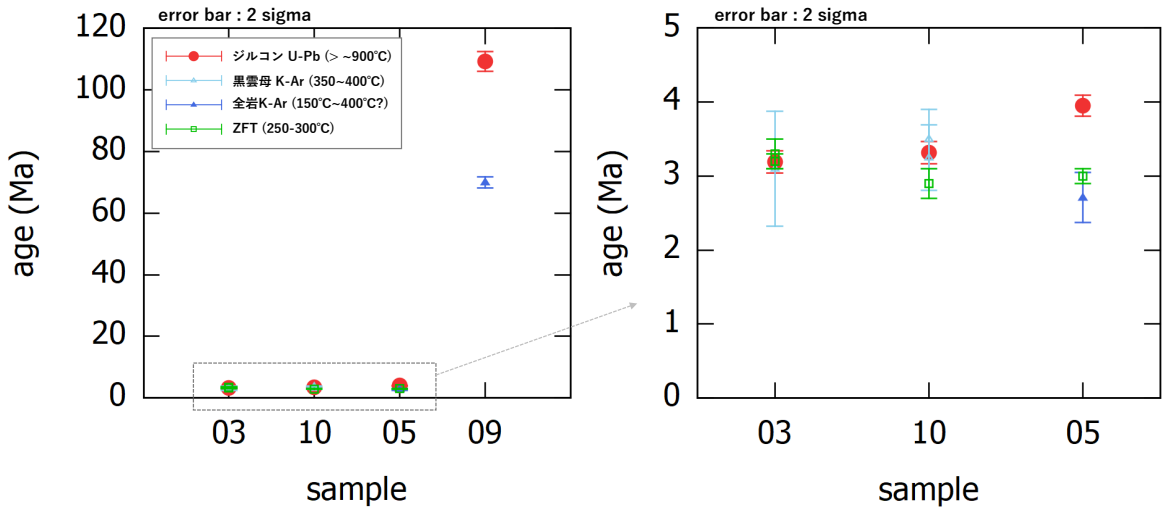

図2．谷川岳地域に分布する花崗岩類のジルコンU-Pb年代と既報年代との対比
本研究で得られたジルコンU-Pb年代（●）と，その付近の既報年代を地点ごとに比較した．左図は全地点の年代データについて比較したものであり，右図は後期中新世－鮮新世花崗岩類のみを取り出したデータを比較したものである（黒雲母K-Ar年代（△）；川野ほか（1992），佐藤（2016），全岩K-Ar年代（▲）；久保ほか（2013），ZFT年代（□）；大平・本多（1999））．全岩K-Ar年代は一般的に閉鎖温度を定義することはできないが，含まれている鉱物とK-Ar（Ar-Ar）年代測定の組み合わせ（末岡・田上，2019）　より，閉鎖温度を150-400℃として参考までにプロットした．

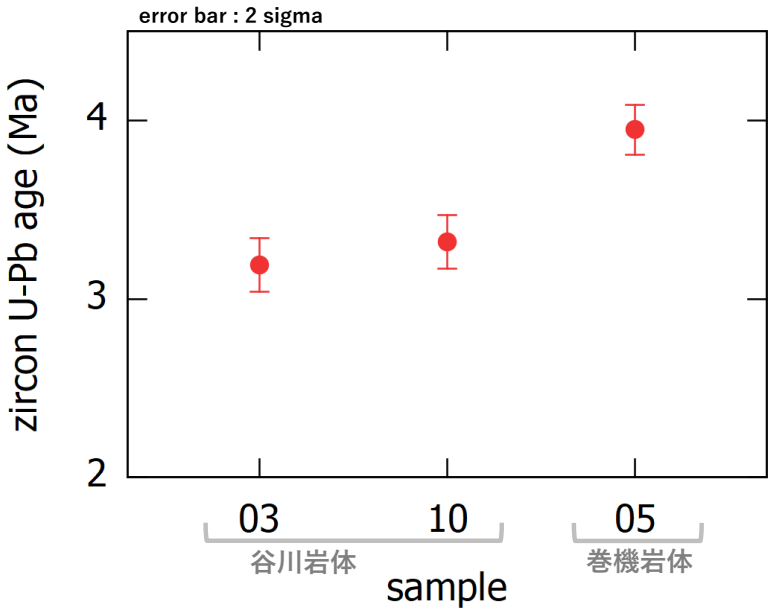

図3．谷川岩体と巻磯岩体のジルコンU-Pb年代の比較

ジルコン(U-Th)/He法の年代標準試料の探求：仁左平デイサイトにおける年代学的検討

福田 将眞*・末岡 茂*・菅野 瑞穂*・
Barry P. Kohn**・田上 高広***

Exploration of the age standard zircon for (U-Th)/He method: Chronometric investigations of the Nisatai Dacite

Shoma Fukuda*, Shigeru Sueoka*, Mizuho Kanno*,
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，University of Melbourne
*** 京都大学，Kyoto University

はじめに

放射年代測定における年代標準試料とは，対象とする年代測定法について，年代値が正確に決定・吟味され，分野内で広く受け入れられている試料を指す．年代標準試料は複数の厳格な基準（例えば，Hurford，2019）に則って認定される．年代値が既知であるため，未知試料の年代測定時の基準となるほか，分析条件の妥当性の評価や，ラボ間でのデータ比較，測定者バイアスの補正など多くの用途が存在する．

熱年代学的手法の一つである(U-Th)/He法（以下，He法）のうち，アパタイトやジルコンなどを対象とした場合は閉鎖温度が低温（<200℃）の部類に分類される．したがって，地殻浅部から地球表層における比較的低温の熱イベントの検出に用いられ（例えば，Ault et al.，2019），今日では世界中の広い地域において山地の隆起・削剥や，堆積盆地の進化史などの推定に応用されている．一方で，He年代は鉱物中の親核種濃度の不均質や包有物（Farley et al.，2011; Danišík et al.，2017），放射線損傷（Shuster et al.，2006; Guenthner et al., 2013），結晶の粒径・形状（Farley，2000），などの複数の要因によりばらつくことが知られる．このように年代のばらつきに寄与する要因が多様であることや，フィッション・トラック（FT）法と対象鉱物が共通であることも相まって，He法における年代標準試料は明確には定められておらず，FT法の年代標準試料を流用している現状にある．ただし，FT法の年代標準試料として認定されているFish Canyon Tuff（FCT）ジルコンであっても，単一粒子内の親核種濃度の不均質（200～3500 ppm）によってジルコンHe（ZHe）年代がばらつくことが報告されている（Dobson et al.，2008）．このような事態を憂慮し，最近ではHe法の標準試料の候補となる新たなアパタイト（Wu et al.，2019; 2021）やジルコン（Tian et al.，2017; Li et al.，2017; Kirkland et al.，2020; Yu et al.，2020）の探求が進められている．これらの鉱物試料はcmスケールの巨晶であり，測定時には粒子を粉砕した破片を用いる．一方，He年代測定の対象となる未知試料は，一般に数十～百μmスケールの粒子をgrain-by-grainで分析するため，これらの試料が未知試料の分析に即しているとは言い難い．本研究では，ZHe法の年代標準試料の候補として仁左平デイサイト中のジルコンに着目した．

試料・手法

仁左平デイサイトは，岩手県二戸市周辺に分布する中新世流紋岩質凝灰岩である．長らく「仁左平デイサイト」と呼称されてきたが，近

年，辻野ほか（2018）による岩石学的検討の結果，流紋岩質に分類され，下部の中新世堆積岩と共に仁左平層として再定義された（本稿では，便宜上，旧定義の仁左平デイサイトを使用する）．仁左平デイサイトは年代学的検討が豊富な地質試料であり，従来からFT法の年代標準ジルコンの候補として見なされ（角井，1993），豊富な年代学的検討が加えられてきた．これまでにジルコンFT（ZFT）年代（Tagami et al., 1995; Hasebe et al., 2013）はもちろん，黒雲母のK-Ar年代（Sudo et al., 1996）やジルコンU-Pb年代（Hasebe et al., 2013）などの手法によって年代学的検討が行われ，すべての手法において22〜21 Maの年代値を示している．また，ZFT長の分布から急冷試料と推定されている（Yamada et al., 1995）ため，年代標準試料としての潜在性が期待される．

本研究では，2019年に採取した仁左平デイサイト（NST19）から分離したジルコンを用いて，ZHe年代測定を実施した．本研究における年代分析は，日本原子力研究開発機構東濃地科学センターおよびメルボルン大学の2か所で実施し，両研究室のデータの比較を試みた．加えて，2020年に再サンプリングを実施した仁左平デイサイト2試料（NST20，NST20b）に対してアパタイトフィッション・トラック（AFT）年代測定を試みた．

結果・考察

まず，本研究で得られたNST19のZHe年代について，東濃で得られたデータは加重平均年代で20.7 ± 0.2 Ma（以降，誤差範囲は2σ），メルボルン大で得られたデータは23.1 ± 0.6 Maとなり，先行研究で報告された年代値の範囲である22〜21 Maとは誤差範囲を考慮しても重複しない．一方で，これらのデータ全てを合算すると，21.5 ± 0.2 Maとなる（図1）．外れ値を除いた単粒子年代は15〜40 Ma程度まで広くばらつく（図1）が，測定粒子数を増やすと既報値と整合的であることから，系統誤差ではないランダムな誤差に起因していると推察される．

次にAFT分析の予察的な結果を報告する．NST20で28.1 ± 6.0 Ma，NST20bで30.4 ± 6.0 Maとなり，試料間で有意な年代値の差異は認められない．一方で，閉鎖温度のより高い他の年代計と比べて有意に古い年代値となった．

ZHe年代のばらつきおよび，AFT年代値の逆転の要因について年代学的考察を加える．FCTの例では，年代のばらつきの原因は粒子内の親核種濃度の不均質が寄与していると解釈されており（Dobson et al., 2008），仁左平デイサイト中のジルコンでも同様の可能性がある．一方で，LA-ICP-MSによるU濃度の測定結果や，U-Pb分析（長田ほか，2021）を実施した際のカソードルミネッセンス像から，親核種濃度の不均質は比較的小さく（100〜900 ppm），大半の粒子では明瞭なゾーニングは確認されなかった．加えて，先行研究で報告されたFCT（24〜35 Ma: Dobson et al., 2008）より年代のばらつきも明らかに大きい．したがって，これらの結果から仁左平デイサイトのZHe年代のばらつきは親核種濃度の不均質のみでは説明できないと解釈される．次に薄片観察の結果から，仁左平デイサイトには異質岩片が混入していることが明らかとなった（図2）．この異質岩片は仁左平デイサイトの給源となる火山の噴火時に取り込んだ岩石の可能性がある．しかし，仁左平層下位の堆積岩の年代や，噴出時の火道位置・噴火の時期や規模などについては不明である（辻野ほか，2018）．また，既往研究のZFT分析からは外来結晶の影響は考えにくいため，ZHe年代やAFT年代も噴出時の加熱によって年代がリセットされていると期待されるが，実際にはZHe年代のばらつきやAFT年代の逆転などが観測され，予想に反する結果となった．冒頭で述べたように，年代標準試料の認定基準は多数の厳格な条件を満たす必要があり，異質粒子の混入は年代の解釈が複雑化するため，そのような可能性のある地質試料は推奨されない（Hurford，2019）．したがって仁左平デイサイトは年代がばらつくZHe法の年代標

準試料としては不適切であると結論付けた．ただし，ジルコンのU-Pb年代やZFT年代などは単粒子年代のまとまりが良く，これらの分析においては応用できる可能性がある．また，トラック長の分布は典型的な単峰性の急冷パターンを示す（Yamada et al., 1995）ため，同様にトラック長分析時の標準試料としての適性は認められる．

今後の展開として，Tagami et al. (2003)においてZHe法の予察的分析が実施され，単粒子年代のまとまりが良いジルコン試料で検討を行う予定である．具体的には兵庫県と鳥取県の県境付近に分布する歌長流紋岩（宇都ほか，1994）やZFT法の年代標準試料であるBuluk Tuff（Hurford & Watkins, 1987）やU-Pb法の標準試料であるOD-3（Iwano et al., 2013）などを対象とし，ZHe年代標準試料の候補の探求を継続する．

謝辞

本報告は経済産業省資源エネルギー庁委託事業「令和2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評価技術高度化開発）」の成果の一部である．

引用文献

Hurford, A.J., 2019. An historical perspective on fission-track thermochronology, in: Malusa, M.G., Fitzgerald, P.G. (Eds.), Fission-Track Thermochronology and Its Application to Geology. Springer, pp. 3–23.

Ault, A.K. et al., 2019. Innovations in (U–Th)/He, Fission Track, and Trapped Charge Thermochronometry with Applications to Earthquakes, Weathering, Surface-Mantle Connections, and the Growth and Decay of Mountains. Tectonics 38, 3705–3739.

Farley, K.A. et al., 2011. U and Th zonation in apatite observed by laser ablation ICPMS, and implications for the (U-Th)/He system. Geochem. Cosmochim. Acta, 75, 4515-4530.

Danišík, M. et al., 2017. Seeing is believing: Visualization of He distribution in zircon and implications for thermal history reconstruction on single crystals. Sci. Adv. 3, 1–9.

Shuster, D. et al., 2006. The influence of natural radiation damage on helium diffusion kinetics in apatite. EPSL, 249, 148-161.

Guenthner, W.R. et al., 2013. Helium diffusion in natural zircon: radiation damage, anisotropy, and the interpretation of zircon (U-TH)/He thermochronology. Am. J. Sci. 313, 145–198.

Farley, K.A., 2000. Helium diffusion from apatite: General behavior as illustrated by Durango fluorapatite. J. Geophys. Res. 105, 2903–2914.

Dobson, K.J. et al., 2008. U and Th zonation in Fish Canyon Tuff zircons: Implications for a zircon (U-Th)/He standard. Geochim. Cosmochim. Acta 72, 4745–4755.

Wu, L. et al., 2019. MK-1 Apatite: A New Potential Reference Material for (U-Th)/He Dating. Geostand. Geoanalytical Res. 43, 301–315.

Wu, L. et al., 2021. Reappraisal of the applicability of MK-1 apatite as a reference standard for (U–Th)/He geochronology. Chem. Geol. 575, 1–6.

Tian, Y. et al., 2017. LGC-1: A zircon reference material for in-situ (U-Th)/He dating. Chem. Geol. 454, 80–92.

Li, Y. et al., 2017. A Potential (U-Th)/He Zircon Reference Material from Penglai Zircon Megacrysts. Geostand.

Geoanalytical Res. 41, 359–365.

Kirkland, C.L. et al., 2020. Dating young zircon: A case study from Southeast Asian megacrysts. Geochim. Cosmochim. Acta 274, 1–19.

Yu, S. et al., 2020. Further Evaluation of Penglai Zircon Megacrysts as a Reference Material for (U-Th)/He Dating. Geostand. Geoanalytical Res. 44, 763–783.

辻野ほか，2018. 一戸地域の地質．地域地質研究報告（5万分の 1 地質図幅），産総研地質調査総合センター，161 p.

角井,1993. 年代標準試料設定プロジェクトについて. FTNL第6号，66-67.

Tagami, T. et al., 1995. K-Ar biotite and fission-track zircon ages of the Nisatai Dacite, lwate Prefecture, Japan: A candidate for Tertiary age standard. Geochem. J. 29, 207–211.

Hasebe, N. et al., 2013. Zeta equivalent fission-track dating using LA-ICP-MS and examples with simultaneous U-Pb dating. Isl. Arc 22, 280–291.

Sudo, M. et al., 1996. Calibration of a new Ar analytical system for the K-Ar dating method and analytical method results of K-Ar age known samples. Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ. Ser. Geol. Mineral. 58, 21–40

Yamada, R. et al., 1995. Annealing kinetics of fission tracks in zircon: an experimental study. Chem. Geol. 122, 249–258.

Vermeesch, P., 2018. IsoplotR: A free and open toolbox for geochronology. Geosci. Front. 9, 1479–1493.

長田ほか，2021. マルチ鉱物年代スタンダードの可能性：東北日本仁左平層NSTジルコンの予察分析. JpGU2021, SGL22-P04.

Tagami, T. et al., 2003. (U-Th)/He geochronology of single zircon grains of known Tertiary eruption age. Earth Planet. Sci. Lett. 207, 57–67.

宇都ほか，1994. 山陰地方東部，鮮新統照来層群火山岩類のK-Arおよびフィッショントラック年代, 地質学雑誌, 100, 787-798.

Hurford, A.J., Watkins, R.T., 1987. Fission-track age of the tuffs of the Buluk member, Bakate formation, Northern Kenya: A suitable fission-track age standard. Chem. Geol. Isot. Geosci. Sect. 66, 209–216.

Iwano, H. et al., 2013. An inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon for use as a secondary U-Pb dating standard. Isl. Arc 22, 382–394.

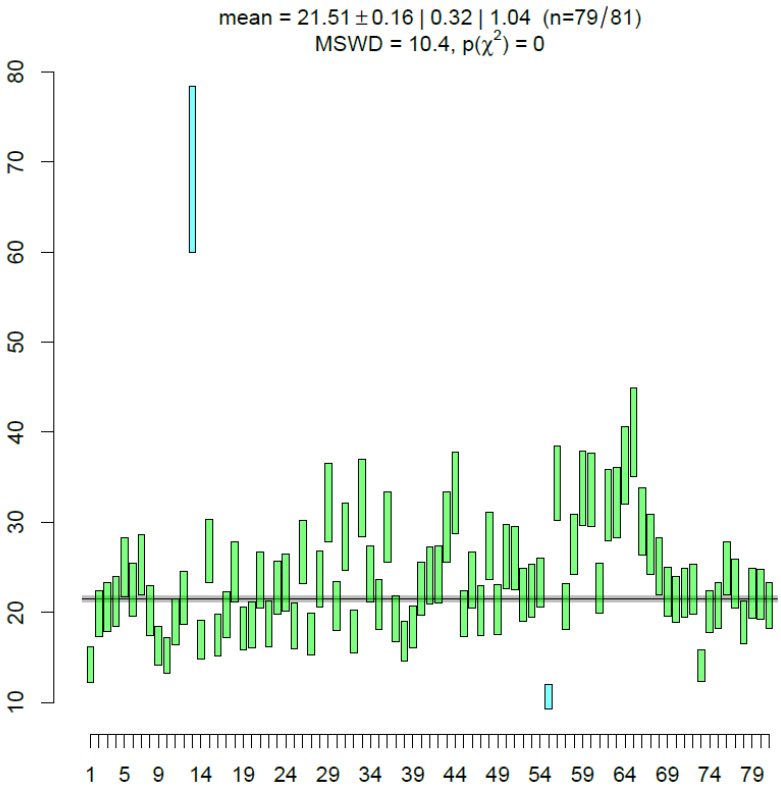

図1．東濃地科学センターとメルボルン大学で測定した仁左平デイサイトのZHe年代一覧．IsoplotR (Vermeesch，2018)で描画．縦軸は粒子年代（Ma），横軸は測定番号．すべての単粒子年代の幅は2σであり，水色の測定粒子は外れ値を示す．中央の灰色の線は加重平均年代とその誤差を示す．

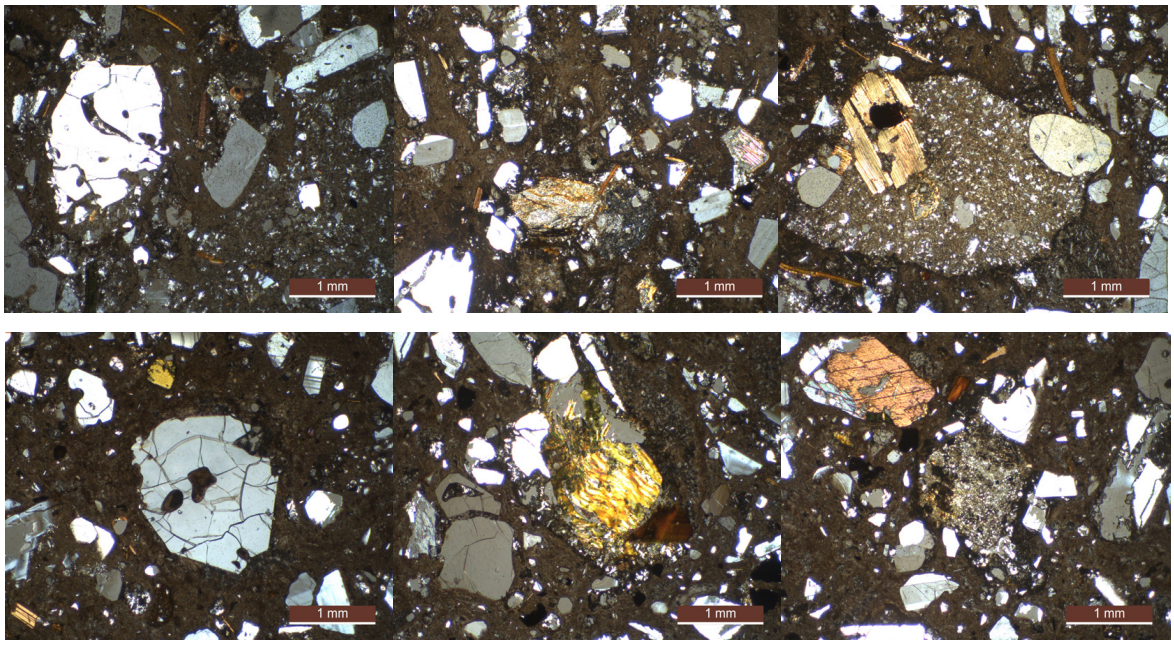

図2．NST20（上段）およびNST20b（下段）の薄片写真．両試料ともに流紋岩質凝灰岩の組織を示すが（左），薄片内には変質した黒雲母（中央）や異質岩片（右）がみられる．

アパタイトフィッション・トラック熱年代学に基づく北上山地の削剥史の推定

梶田侑弥*・末岡 茂**・福田将眞**・横山立憲**
鏡味沙耶**・長田充弘**・田上高広*

Estimation of denudation history of the Kitakami Mountains based on apatite fission-track thermochronology

Yuya Kajita*, Shigeru Sueoka**, Shoma Fukuda**, Tatsunori Yokoyama**, Saya Kagami**, Mitsuhiro Nagata** and Takahiro Tagami*

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

はじめに

東北日本弧前弧域のテクトニクスは，日本海溝における太平洋プレートの沈み込みの影響を強く反映すると考えられる．この前弧域では，プレート沈み込みに伴う歪の蓄積と海溝型地震サイクルを介した弾性歪解放のプロセスによって，脊梁山地や背弧域とは異なり，時間スケールに依存して垂直変動（隆起・沈降）の傾向が変化する（池田ほか，2012）．しかし，段丘の情報に基づく地質学的時間スケールの垂直変動については，特に本地域は河成段丘の分布が乏しく，内陸部を含めた山地全域での定量的議論が十分とは言えない．したがって，他手法による地質学的時間スケールの隆起・削剥データに基づく，前弧域の詳細な隆起・削剥史の推定が重要となる．本研究では熱年代学を用いて北上山地の削剥史の推定を試みた．

手法

北上山地に産する白亜紀花崗岩類について，岩体の形成年代と地殻浅部における冷却・削剥史の解明を目的に，ジルコンウラン－鉛(Z U-Pb) とアパタイトフィッション・トラック（AFT）年代測定を行った．加えて北上山地東縁の浄土ヶ浜に露出する古第三紀流紋岩について，その熱影響評価と活動時期推定を目的にZ U-Pb年代測定を実施した．また，北上山地中央部に位置する早池峰山付近の試料についてはHeFTy（Ketcham，2005）を用いてトラック長分布による熱史逆解析を行った．これらの結果を踏まえて，熱年代学による解釈のもと北上山地の隆起・削剥史を推定した．

結果・考察

白亜紀花崗岩類については156.8～70.3 MaのAFT年代（15試料），122.7～117.3 Ma (2試料) のZ U-Pb年代が得られた．また，浄土ヶ浜の古第三紀流紋岩については，44.3 ± 1.1（2σ，n=30） MaのZ U-Pb年代が得られた．また北上山地中央部における本研究および先行研究で得られたAFT年代を東経に対してプロットしたところ，西方への若返りが見られた（図1）．この原因には火山フロントの移動（Yoshida et al., 2014）に伴う熱影響の可能性が考えられるが，浄土ヶ浜で生じた44 Ma頃の火成活動が周辺の白亜紀花崗岩のAFT年代値に影響したと仮定すると，浄土ヶ浜流紋岩体の中心部に向かってAFT年代値は若返ると期待される．しかしながら，北上山地で得られているAFT年代からはこのような結果は得られなかった．また，トラック長分布を利用した熱史逆解析結果は単純な徐冷パターンを示

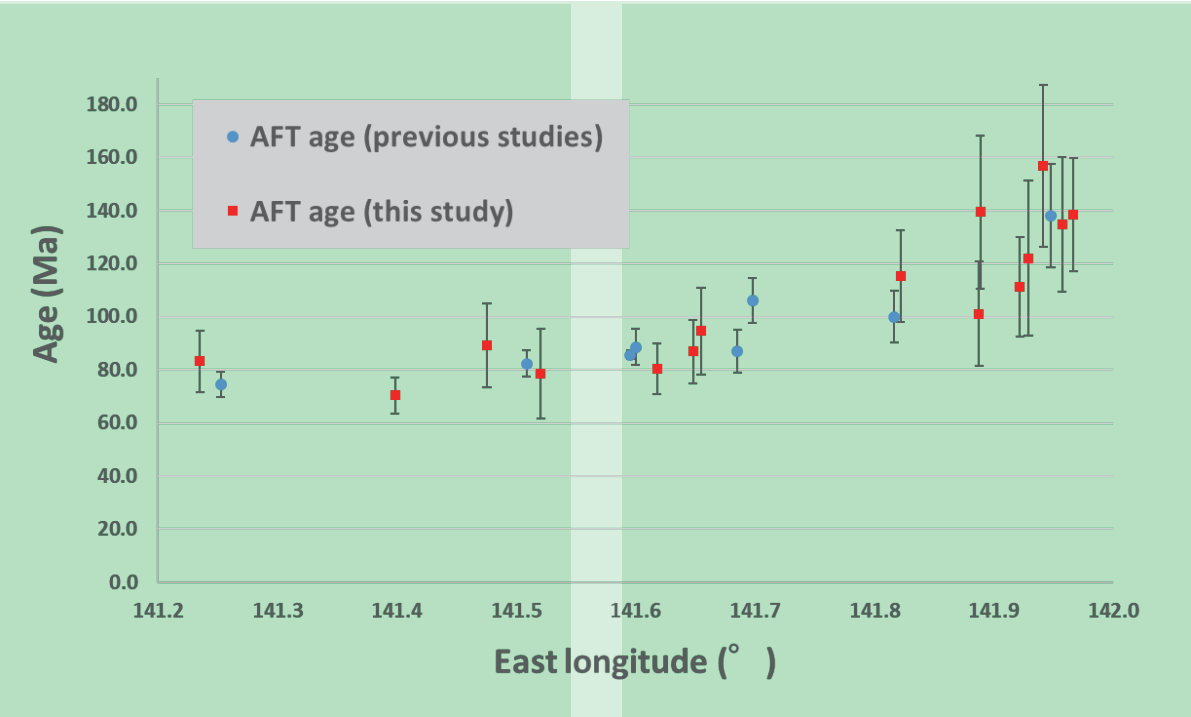

図1．北上山地における東経VS.年代プロット
AFT年代の既報値は後藤（2001）と福田 未公表による．

し，再加熱を示唆する結果は得られなかった．したがって，AFT年代においては火山フロントの移動に伴う熱イベントの影響は無視できると考えられる．以上より，北上山地の地温勾配が一様で年代値の西方若化が山地の削剥によるものとすると，西側が比較的速い平均削剥速度を持っていると考えられる．この削剥史は，白亜紀深成岩よりも浅部に存在するはずの白亜紀火山岩類の分布が主に東部にまとまっており，西部では見られない（削剥された可能性）という地質学的な特徴と整合的である．　今後の課題として，より詳細な東西傾向の議論を行うために①追加分析による各年代データの精度や確度の向上，②分析地点数の増加，また異なる時間スケールに関して③AFT法に閉鎖温度の地塊アパタイトHe法による地質学的検討，④超低温熱年代計（ESR法（King et al., 2020）など）の適用，などが挙げられる．

謝辞
本報告は経済産業省資源エネルギー庁委託事業「平成30-令和2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（地質環境長期安定性評価技術高度化開発）」の成果の一部である。また、本研究は平成26-30年度文部科学省新学術研究領域「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）によって助成された。

引用文献

後藤篤，2001，日本列島の隆起準平原化の時期—フィッション・トラック年代学からのアプローチ—，科研費報告書，10440144.

池田安隆・岡田真介・田力正好，2012，東北日本島弧− 海溝系における長期的歪み蓄積過程と超巨大歪み解放イベント，地質学雑誌，118(5), 294-312

King, G. E., Tsukamoto, S., Herman, F., Biswas, R. H., Sueoka, S., Tagami, T., 2020, Electron spin resonance (ESR) thermochronometry of the Hida range

of the Japanese Alps: validation and future potential. Geochronology, 2(1), 1-15

Ketcham, R. A., 2005, Forward and inverse modeling of low-temperature thermochronometry data. Reviews in mineralogy and geochemistry, 58(1), 275-314

Yoshida, T., Kimura, J. I., Yamada, R., Acocella, V., Sato, H., Zhao, D., Nakajima, J., Hasegawa, A., Okada, T., Honda, S., Ishikawa, M., Prima, O.D.A., Kudo, T., Shibazaki, B., Tanaka, A., Imaizumi, T., 2014, Evolution of late Cenozoic magmatism and the crust–mantle structure in the NE Japan Arc, Geological Society, London, Special Publications, 385(1), 335-387

アパタイトフィッション・トラック年代測定における#4000SiC耐水研磨紙の利用

梶田侑弥*・南　沙樹*・田上 高広*

Use of #4000SiC grinding sheet in the procedure of polishing in fission-track dating

Yuya Kajita*, Saki Minami* and Takahiro Tagami*

* 京都大学，Kyoto University

はじめに

フィッション・トラック（FT）年代測定は^{238}Uの自発核分裂の際に固体中に残される線状損傷（FT）を利用する年代測定手法である．FTは本来，電子顕微鏡等を用いなければ観察できないが，化学処理（エッチング）によって光学顕微鏡で観察可能となる．年代は光学顕微鏡下で計数されたFT数から計算されるが，その特性上，観察面の確保が重要となる．そのため各laboratoryでルーティン化された研磨手順が存在する．従来，京都大学でのアパタイトFT法における研磨手順では，まず#1200SiC耐水研磨紙（粒度13 μm）により4π面を確保した後に，15 μmm，2.5 μmのダイヤモンドペースト（DP）研磨を行い観察面を仕上げる．しかし，15 μmのDPにより#1200SiC耐水研磨紙の傷を完全に消すためには時間が掛かってしまい，また15 μmのDPの研磨盤は劣化しやすく，粒子によっては研磨効率を大きく引き下げてしまう要因となっていた．そこで今回15 μmDPの代わりとなりえる#4000SiC耐水研磨紙（粒度 5 μm）の利用について検討した．

実験と結果

アパタイトFT法の年代標準試料であるDurango Apatite（31.4±0.5 Ma（2σ); Green(1985)）について，#4000SiC耐水研磨紙を用いて研磨したマウントの自発FTの計数を行ったところ，0.16 × 10^6/cm^{2}のトラック密度が得られた．これは従来の研磨方法で得られた値（0.13～0.16 × 10^6）と整合的である．またLA-ICP-MS法により算出した年代値は29.2 ± 4.7（2σ）Maとなり，標準年代と一致する．したがってアパタイトFT年代測定において#4000耐水研磨紙を用いた研磨には問題が無いと考えられる．

次に#4000SiC耐水研磨紙，15 μmDP，2.5 μmDPを用いた研磨について同一粒子にて比較実験を行った．研磨は回転研磨台を使用し，試料マウントを錘で押さえながらの研磨と

表1．#4000SiC耐水研磨紙，15 μmDP，2.5 μmDPを用いて研磨を行った場合のそれぞれの利点および欠点

	研磨効率（錘）	研磨効率（手）	利点	欠点
#4000SiC	◎	○	・小さい粒子など慎重に研磨する必要があるときに有効 ・研磨剤のコンタミが無い	・紙なので破れやすい （実際何枚か破れてしまった）
15 μmDP	× ほぼ研磨できない	◎	・試料を強く抑えることで素早く研磨ができる	・強い力で試料を抑える必要があるため調整が難しい（実験に個人差） ・小さい粒子を削り飛ばす可能性
2.5 μmDP	○	○	・安定して傷の少ない観察面を作ることができる	・研磨に時間が掛かる

直接手で押さえながらの研磨の2通りで行った．錘を用いた場合，#4000SiC耐水研磨紙では良く研磨された．また#4000SiC耐水研磨紙に比べ時間は掛るものの2.5 μmDPでも十分に研磨された．一方で，15 μmDPでは上手く研磨できず傷が多く残った．しかし，手で直接押さえた場合には,同じ研磨時間で比較すると15 μmDPが最も良く研磨される結果となった．これは，15 μmDP用の研磨盤が特殊で，試料と研磨盤間の摩擦力が大きく試料を抑えるのに大きな力が必要であることが原因と推定される．

結論

アパタイトFT年代測定において#4000SiC耐水研磨紙を用いることに問題が無いことが分かった．また#4000SiC耐水研磨紙，15 μmDP，2.5 μmDPの研磨について比較すると，試料を強く押さえることができるなら15 μmDPでの研磨が最も効率良く研磨可能であったが，試料を強く押さえられない場合には#4000SiC耐水研磨紙が最も良く研磨できることが判明した．以上のことから試料の粒径が小さく研磨で弾き飛ばしてしまう可能性のあるとき等には#4000SiC耐水研磨紙が有効であると考えられる（表1）．

今後の課題として，①試料をおさえる力についての定量的議論，②#4000SiC耐水研磨紙の使用時間に対する劣化具合の検討などが挙げられる．

引用文献

Green, P. F., 1985, Comparison of zeta calibration baselines for fission-track dating of apatite, zircon and sphene. Chemical Geology: Isotope Geoscience section, 58(1-2), 1-22.

ジルコンのアルファリコイルトラック年代測定に向けた取り組み：アメリシウム線源の吟味

中島大輝*・長谷部徳子*・山田記大*・横山明彦*

Towards the zircon alpha recoil track dating : Test of americium radiation source

Taiki Nakashima*, Noriko Hasebe*, Norihiro Yamada* and Akihiko Yokoyama*

* 金沢大学, Kanazawa University s

1. はじめに

地球科学において年代値は過去の現象に対し時間軸を与える最も基礎的なデータの一つである．放射壊変を利用した年代測定法のひとつに，アルファ壊変時に親核種が反跳して形成される放射線損傷を利用するアルファリコイルトラック法 (ART法) がある．

早坂ほか (2018) では，ジルコンでART年代測定を行った．しかし，年代既知のジルコンでARTを数え，年代測定を行ったところ，期待される年代よりも若く見積もられた．その原因として，ARTの認定の不正確さによるART数の過小評価やARTの形成過程が不明なため経過時間に比例してARTが増加しているのかどうかがわからないことが考えられる．そのことを確認するためには，ジルコンに人工的にARTを発生させ，観察することが必要である．本研究ではARTが時間とともに増加するか確認する最初のステップとして，鉱物に人工的にARTを作る方法を確立することを目的とする．

2. 人工的なARTの発生

ARTを人工的に発生させるためには，アルファ崩壊する重元素を鉱物表面に作用させる必要がある．放射性元素はアルファ壊変を行うものを用い，アルファ壊変によって動いた原子核が鉱物の方へ移動することによって，ARTを形成する．^{252}Cfを利用した実験 (Hashimoto et al., 1980) では，白雲母に人工的にARTを発生させることに成功しているが，^{252}Cfはアルファ壊変だけでなく，自発核分裂するため，スパッタリング現象により周辺を汚染してしまう危険がある．そこで本研究では^{241}Amを利用して，同様の実験が可能であるか検証した．線源としては，金沢大学アイソトープ理工研究施設所蔵の3 MBqの線源と，^{241}Am溶液から金属板に電着させたものの二つを使用した．その後，線源の上に真空下で照射したい試料をのせ，一定時間放置し，エッチングを行ってARTができているかを確認する．今回は照射試料として，白雲母を用いて観察を行った．白雲母は劈開面を観察することにより，ノイズや研磨の影響を考慮する必要がなく，またエッチングによりARTを大きくできるため，顕微鏡で容易にARTを観察することができる (Gogen and Wagner, 2000).

3. 実験

白雲母に元から存在するトラックをなくすため，Hashimoto (1980) に基づき，500 ℃で5時間のアニーリングを行った．電着板は952.8 Bq/g の^{241}Am溶液から1 ml 採取しイソプロピルアルコールに溶解させ，直径2センチの薄い金属プレートに400Vの電圧を1時間かけて作成した．その後線源の上に白雲母をのせ，真空下で一定時間放置し，エッチングを行った後，顕微鏡で観察した．1 mm四方20カ所観察し，トラックを計数し平均をとった．今

回，真空容器としてハンドポンプを用いた小型デシケータ，ドライポンプを用いた大型デシケータ，ロータリーポンプが接続された炭素蒸着装置の3種類を用いた．

4. 結果と考察

4.1. 電着板のアメリシウムの分布

アルファ線スペクトロメーターで測定したところ，電着板の放射能は4.5 cpsであった．また作成した電着板に均質にアメリシウムが分布しているかイメージングプレートを使用して確認した (図1)．比較的均質に電着できているが，上部は放射能の検出率が悪いことがわかる．これはアメリシウムの電着後，表面を乾燥させる際にアルコールの蒸発速度にムラがあったためだと考えられる．照射を行う際は電着板の下部に白雲母を置くようにした．

4.2. 白雲母のアニーリング

500℃で6時間を行ったが，エッチングして顕微鏡で観察を行うとトラックが見られる箇所がいくつもあり，うまくアニーリングを行うことができなかったため，温度を650℃に設定し，6時間アニーリングを行った．しかし，500℃の場合と変化が見られず，トラックの数が減少している様子も見られなかった．したがって，今回の研究では照射していない白雲母に存在しているトラックの平均値を取り，照射後のトラックの個数と比較することとした．

4.3. アメリシウムの照射とARTの計数

白雲母を1 mm四方で20カ所観察し，ARTを計数し平均をとった (表1,表２)．ARTとして，図２の写真に示されているひし形のトラックを計数した．線源，照射時間，真空容器を変え，様々なパターンで照射を行ったが，照射時間に比例してトラックが増加しなかった．作成した4.5 cpsの電着板は，付着しているアメリシウム濃度が低いこと，3 MBqの金属板は表面が金やパラジウムで覆われていることもあり，娘核種が空気中へ飛び出しにくくなっているのではないかと考えられる．

5. まとめ

^{241}Amを利用した人工的なART作成のために様々な方法で検討を行ったが，うまくいかなかった．この結果をもとに，より濃度の高い電着板を作成する方法，最適な照射方法，真空条件を考えていく必要がある．Singh et al. (2010) などを参考に計数する ARTを認定したが，アニーリングをしても無くならなかったことから，白雲母でのARTの認定についても今後議論する必要があると思われる．

文献

Gogen and Wagner (2000) Alpha-recoil track dating of Quaternary volcanics. Chemical Geol. Isot. Geosci., 166, 127-137

Hashimoto et al. (1980) Alpha-recoil track fromation on muscovite and measurement of recoil-range using ^{252}Cf-sources. Nucl. Tracks, 4, 263-269

早坂ほか (2018) 原子間力顕微鏡を用いたジルコンのαリコイルトラック年代測定．フィッショントラックニュースレター，31, 20-22

Singh et al. (2010) Morphology of heavy ions irradiated mica. Rad. Phy. Chem., 79, 1180-1188

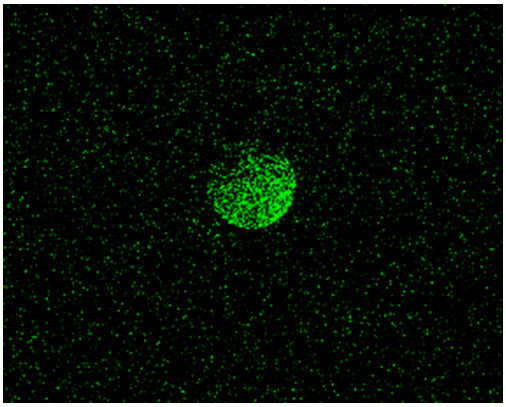

図1. イメージングプレートの結果

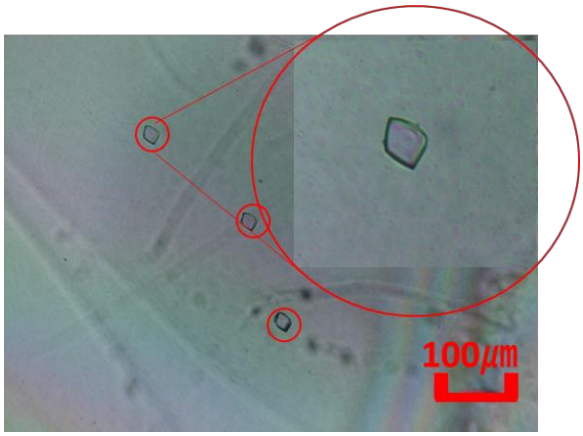

図2. 観察したトラックの外形

表1. ART係数結果（線源から1 mm離して照射）

使用した容器	線源		照射時間	平均(個/mm²)	標準偏差(個/mm²)	標準誤差(個/mm²)
	4.5cps	3MBq				
照射なし				3.3	1.4	0.6
大型デシケータ	○		15時間	3.9	1.4	0.6
		○	19時間	2.7	1.9	0.8
炭素蒸着装置		○	2時間	2.8	1.5	0.6
		○	18時間	2.5	1.3	0.6

表2. ART係数結果（線源に直接置いて照射）

使用した容器	線源		照射時間	平均(個/mm²)	標準偏差(個/mm²)	標準誤差(個/mm²)
	4.5cps	3MBq				
照射なし				3.3	1.4	0.6
真空なし		○	10分	4.4	1.3	0.6
		○	20分	4.5	1.5	0.6
小型デシケータ	○		14時間	7.4	2.4	1.0
	○		4日	3.2	1.3	0.6
大型デシケータ	○		14時間	4.3	2.0	1.0
		○	1時間	3.0	1.4	0.6
炭素蒸着装置		○	1時間	2.9	1.2	0.6
		○	2時間	3.4	1.1	0.4

レーザーパラメータがLA-ICP-MS分析結果に及ぼす影響

伊藤陽平*・田村明弘*・長谷部徳子*

Effect of laser parameters on LA-ICP-MS analysis

Yohei Ito*, Akihiro Tamura* and Noriko Hasebe*

* 金沢大学, Kanazawa University

はじめに

一般的にLA-ICP-MS分析では，(1) 試料エアロゾル生成のためのレーザーアブレーション，(2) エアロゾルの輸送，(3) ICPトーチ内のエアロゾルのイオン化の3つの段階を経て同位体が測定される．試料の分析結果の確度および精度は，それらの各段階プロセスの最適化，および粒径や調製方法などによる試料の状態に依存している．金沢大学ではこれまでエキシマレーザー（波長193 nm）(Morishita et al., 2005) を利用していたが，装置の老朽化に伴いYAGレーザー (New Wave Research社，UP-213) を導入した．本研究ではYAGレーザー（波長213 nm）への変更に伴い，LA-ICP-MS測定結果がどのように影響を受けるか評価するために，レーザーアブレーション段階でのレーザーパラメータの影響の理解に焦点を置き，単一結晶試料および粉末試料ペレットのそれぞれでレーザースポットサイズ，フルエンス，照射速度を変更したLA-ICP-MS分析を行なった．ICP-MS分析はAgilent 7500sで行なった．また粉末試料のLA-ICP-MS分析に圧縮ペレットを利用した場合，広いスポットサイズや高い照射速度などのペレットへの衝撃が大きいレーザー設定では3回程度の分析でペレットの破損が確認された．そこで，先行研究の報告例は少ないが，複数回の分析が可能な強度を保有するLA-ICP-MS分析用の樹脂タブレットが，粉末試料の分析に利用可能かの調査を行った．

実験

LA-ICP-MS分析で得られた各同位体のカウントは外部標準・内部標準を用いてキャリブレーションを行い濃度に換算した．外部標準は目的元素の濃度が既知の参照物質を未知試料と共に分析しカウントの比から濃度を求めるために用い，内部標準は外部標準および未知試料の両方で既知量の同位体または元素を使用し質量分析系への試料の輸送量の違いを校正するために用いる．単一粒子試料のDurangoアパタイトと3Fジルコン (Hasebe et al., 2009)，粉末試料のBCR-2とJA-2を分析試料として使用した (Imai et al. 1995; Jochum and Nohl, 2008)．ウラン濃度を調整したシリカゲルペレットの分析からペレット分析確度を確認した．粉末試料ペレットの調製方法は以下である．粉末試料をメノウ乳鉢で入念に粉砕した後，アルミニウムリングの中央の穴に入れる．その後タングステンカーバイドで挟み，このブロックを300 kNで60秒間加圧し潰してペレットを作成した (Ito et al., 2009)．またタブレットの調製方法は以下である．粉末試料をシリコンケースに満たし真空下にて室温で固まる樹脂 (Struers社，EpoFix) を垂らし固める．真空下で樹脂を垂らすと質の良いタブレットができることが報告されている (Shaheen et al., 2017)．

レーザーの設定は，単一結晶試料ではスポットサイズ 15 ~ 30 μm，照射速度 3 ~8 Hz，フルエンス 4 ~ 12 J/cm²で変更した値で7つの設定を準備し，粉末試料ペレットではフルエンス 6 ~ 8 J/cm²で一定としてスポットサイズ 100 ~ 200 μm，照射速度 5または10 Hzで変更した4つの設定を適用し分析を行った (表1)．

結果と考察

分析誤差の相対値に基づき分析の精度を見積もったところ，単一結晶試料では広いスポットサイズと高いレーザー照射速度が，8 J/cm² 程度のフルエンスのレーザー設定において，比較的精度が高い分析に繋がった (図１)．粉末試料ペレットでは推奨値との比較から評価すると，スポットサイズは175 μm程度であること，また強度を考慮してレペティーションレートを設定することが質の高い分析に繋がった (図２)．エキシマレーザーを用いた実験 (Ito et al., 2009) よりマトリックス効果の影響を受けやすく，同じペレットを外部試料とすることが推奨された．樹脂タブレットでは，樹脂からの干渉の影響は誤差の範囲内ほどの小ささであったためカウントの点からペレットに代わる試料準備法としての可能性が認められた（図３）．

文献

Noriko Hasebe, Andrew Carter, Anthony J. Hurford, and Shoji Arai, The effect of chemical etching on LA-ICP-MS analysis in determining uranium concentration for fission-track chronometry. Geological Society Special Publication “Thermochronological methods: from palaeotemperature constraints to landscape evolution models” 324, 37-46, 2009

Imai, N., Terashima, S., Itoh, S. and Ando, A. 1994 compilation values for GSJ reference samples, “Igneous rock series”. Geochemical Journal, 91, 91-95, 1995

Ito, K., Hasebe, N., Sumita, R., Arai, S., Yamamoto, M., Kashiwaya, K. and Ganzawa, Y. LA-ICP-MS analysis of pressed powder pellets to luminescence geochronology. Chemical Geology, 262, 131-137, 2009

Jochum, K.P. and Nohl, U. Reference materials in geochemistry and environmental research and the GeoReM database. Chemical Geology, 253, 50-53, 2008

Morishita, T., Ishida, Y. and Arai, S. Simultaneous determination of multiple trace element compositions in thin (<30μm) layers of BCR-2G by 193 nm ArF excimer laser ablation-ICP-MS: implications for matrix effect and elemental fractionation on quantitative analysis. Geochemical Journal, 39, 327-340, 2005

Shaheen, M.E., Gagnon, J.E., Fryer, B.J. and Polat, A. A simple and rapid method for preparing a diversity of powdered materials for analysis by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. International Journal of Mass Spectrometry, 421, 104-115, 2017

表1. レーザーパラメータの設定

	Durangoアパタイト　3Fジルコン							BCR-2　JA-2（ペレット）			
設定	A	B	C	D	E	F	G	a	b	c	d
Repetition rate(Hz)	5	5	5	3	8	5	5	5	5	5	10
フルエンス(J/cm²)	8	8	8	8	8	4	12	6	8	6.5	7.3
レーザー直径(μm)	15	25	30	25	25	25	25	100	175	200	175

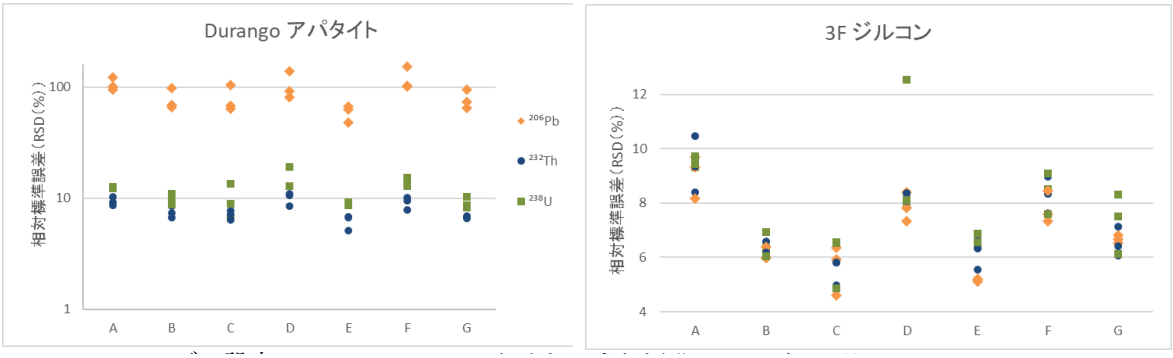

図1．7 つのレーザー設定での Durango アパタイト，3F ジルコンの内部標準とのカウント比の RSD．

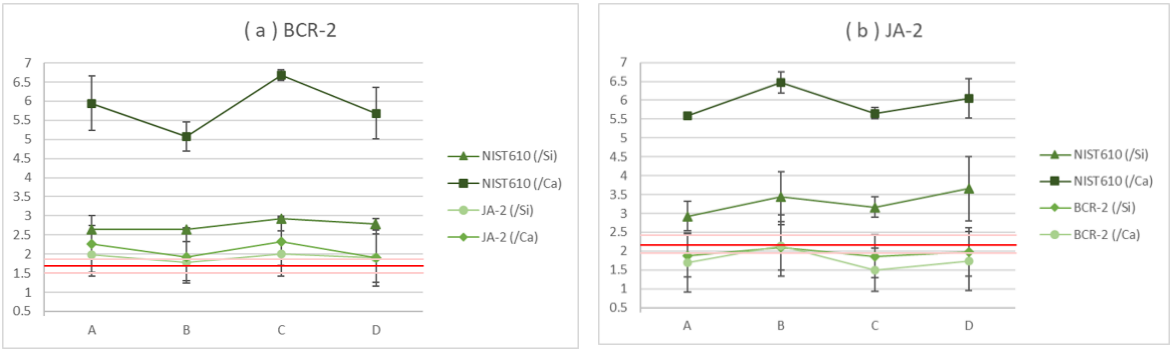

図2．4 つのレーザー設定での BCR-2 と JA-2 ペレットの238U 濃度．凡例は外部・内部標準を表している．

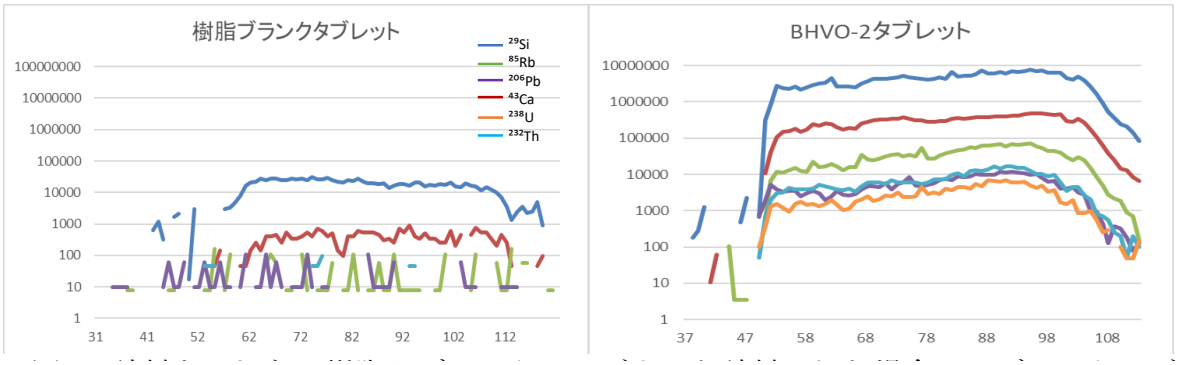

図3．試料を入れない樹脂タブレットのカウントと試料入りタブレットのカウントの比較．

17th International Conference on Thermochronologyの参加報告

中嶋　徹*・福田将眞*・小形　学*・末岡　茂*

Report on the 17th International Conference ons Thermochronology

Toru Nakajima*, Shoma Fukuda*, Manabu Ogata* and Shigeru Sueoka*

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

17th International Conference on Thermochronology (以下Thermo2021) が2021年9月12–17日にアメリカ、ニューメキシコ州Santa　Fe市街地のEldorado　Resortにて開催された。2020年開催予定の本大会であったが、新型コロナウイルスの蔓延と社会情勢を理由に延期となっていた。本大会に先立ってVirtual　Thermo2020/1と銘打ったオンラインセッションが開催されたこともあり、本大会は原則現地開催となったが、社会情勢の悪化により渡航を断念したグループも多く、発表はZoomを通して全世界と共有された。

本大会に投稿された要旨は88件、そのうち(U–Th)/He年代測定法に関連するものが65件、フィッション・トラック(FT)年代測定に関連するものが38件、ルミネッセンス(OSL/TL)、電子スピン共鳴(ESR)法に関連するものが４件であった(重複あり)。投稿数は前回のThermo2018 (ドイツ，Quedlinburg) の半数以下と、大幅に減少したが、これは社会情勢的に現地へのアクセスが困難であったことや、Virtual Thermo2020/1の開催による投稿者、参加者の分散などが直接の原因であったと考えられる。

希ガス年代測定法関連の発表、特に(U–Th)/He年代測定法の発表は多く、これまでマイナーであったモナズ石や緑簾石の(U–Th)/He年代測定法の開発、改良のような目新しい発表も見られた。また、既にメジャーな年代測定法となったジルコンやアパタイトの(U–Th)/He年代測定法についても、新しいHeの拡散実験、拡散モデルの提案やレーザーアブレーション法、誤差計算手法の改良に至るまで様々な発表が行われ、熱年代学に携わる多くの研究者の関心を集めた。(U–Th)/He年代測定のメッカであるアメリカ西部で開催された大会ということもあってか、他の手法に対して応用研究の数も突出して多く、前回の2018年大会に引き続き、(U–Th)/He年代の国際的な需要の高さが伺えた。

FT年代測定法関連では前回に引き続き、モナズ石のFT年代測定法に関連する発表が2件あった。モナズ石FT法は、閉鎖温度が50℃を下回ると言われており、従来法より低温を対象とした新たな熱年代系として期待されている。Sean　Jones博士による招待講演では、同氏が精力的に行ってきたモナズ石FTのアニーリング実験の成果が紹介され、地質学的タイムスケール (10^6–10^7年) における閉鎖温度は25–45℃とされた。また、Jepson et al. は同手法をCatalinaコアコンプレックスへ適用し、実際にジルコンやアパタイトのFT、(U–Th)/He年代 (>10 Ma) よりも有意に若い年代 (6.1　±　0.4　Ma) を報告した。OSL/TL、ESR関連の投稿数自体は少なかった(４件)が、断層の活動年代の制約や超低温熱年代学など近年の潮流を押さえた研究が紹介された。超低温熱年代学は現在も発展途上にあるが、実用化が着実に進められている現状を如実に表すラインナップであったと言えよう。FT法についてはアニーリングモデルの見直しや新しい

FT自動計測ソフトの開発など、手法の更なる成熟を感じさせる発表も見られた。

日本からは原子力機構東濃地科学センターの末岡 茂、小形 学、福田将眞、中嶋 徹が筆頭著者として投稿した。また金沢大の長谷部 徳子教授がThermo2025の招致講演を行った。Thermo2021は原則現地開催とされ、オンライン上での発表は行われなかったため、当初 5人は渡航予定であったが、日本国内における新型コロナウイルス蔓延と緊急事態宣言の発令を受けて渡航を断念した。運営側の便宜により急遽ポスターを掲示していただけることになったため、ポスターのデータを送り、現地で印刷、掲示していただくことにより、辛うじて発表は行われた。しかし、直接反応を目にすることができなかったこともあり、手ごたえが弱かったことは否めない。Thermo2025においても遠隔地からの発表者が同様の感想を抱く可能性が考えられ、聴取者とのコミュニケーションを促進するための対策の必要性を感じた。

一方、長谷部教授によるThermo2025の招致講演はオンラインで行われ、予定地である金沢やフィールドトリップの内容は広く参加者に周知されたものと感じる。Thermo2025は会場の借用費用やアクセスのしやすさなどから金沢での開催が予定されている。招致講演の際に用いた動画は以下のURLより鑑賞可能となっている。
https://www.youtube.com/watch?v=ziAtDrJtiOg

次回のThermo2023はイタリアのRiva del Gardaにて開催予定である。Thermo2025には金沢市が内定し、フィールドトリップは飛騨山脈、能登半島が予定されるなど、準備が着実に進められている。一方で大会のハイブリット化や不安定な国際情勢など、参加人数を予測しづらい要因が不安要素として残されている。また、運営に際して慢性的な人員不足状態にあることは否めない。今後FT研究会内、国際組織間のやり取りを通じて綿密な連携、準備を行ってゆく必要がある。

第 45 回日本フィッション・トラック研究会実施報告

伊藤久敏

第 45 回日本フィッション・トラック（FT）研究会は，ESR 応用計測研究会・ルミネッセンス年代測定研究会との合同研究会として，2021 年 2 月 20（土）の午後（13:00～16:40）に，オンラインにて開催されました．新型コロナウィルス感染症（COVID-19）のため，開催自体が危ぶまれましたが，岡山理科大学の豊田　新氏の声掛けにより，例年とは違う形での実施ではありましたが，無事に開催できたことに感謝申し上げます．

今回，発表者は，事前に発表動画を YouTube にアップロードすることとし，それらは岡山理科大学の古生物学・年代学研究センターの Web サイトでまとめて公開されました．参加者は発表動画を事前に見ることとし，本番では，神戸大学の谷　篤史氏に手配頂いた Zoom 上で，発表者による 3 分程度のフラッシュトークとその後の 4 分程度の質疑応答という形で進められました．Zoom のチャット機能を使って質問を受け付けるとともに，口頭での質問も受け付けました．

発表会は，3 つのセッションからなり（当日のプログラム参照），セッション 1 では 9 件の発表があり，全て FT 研究会関連の発表が行われました．内訳は FT 法，α リコイルトラック法に関する内容が 5 件で，以下，U-Pb 法 2 件，(U-Th)/He 法 1 件，LA-ICP-MS に関する基礎研究 1 件，でした．セッション 2 では 8 件の発表があり，主にルミネッセンス法を用いた年代測定に関する発表が行われました．セッション 3 では 7 件の発表があり，主に ESR 法による歯の放射線量測定や年代測定に関する発表がありました．

参加者人数は，Zoom のカウント数から，44 名程度でした．チャット等により，活発な質疑応答が行われ，充実した研究会であったと思います．なお，研究発表会に引き続き，FT 研究会の総会を行い，総会終了後には，オンライン飲み会を行い，お互いの近況報告などで親睦を深めることができました．

参考：　当日のプログラム（3rd Circular）

第 45 回日本フィッション・トラック研究会総会実施報告

伊藤久敏

第 45 回日本フィッション・トラック（FT）研究会総会は，2021 年 2 月 20（土）16:50～17:20 にオンラインにて，以下の内容で実施されました．

1. 出席会員数の確認：　普通会員 17 名の出席と委任状 12 名分が得られたことから，普通会員（64 名）の 1/5 以上の出席および委任状をもって，総会は成立することを確認した．
2. 今年度の活動報告：　①FTNL 第 33 号の Web 公開と発刊，②第 45 回 FT 研究会の開催，③FT 研究会の HP の更新（今年度は，FTNL の非公開文献の公開化に取り組んだこと）を報告した．また，3 名の新入会員（藤原　寛：富山大，南　沙樹：京大，岡本晃：京大）と 1 名の退会（小林侑生）を報告した（敬称略）．
3. 2019 年度の会計報告＆会計監査報告：　2019 年度の収入は繰越金を含め, 606,280 円, 支出は 34,442 円であり，差額の 571,838 円を次年度に繰り越すことが報告され，監査報告とともに承認された．
4. 次年度の執行部体制：　次年度（2021 年度）の執行部は，今年度と同じ体制とすることが承認された．
5. 次年度の活動計画：　以下の活動計画が承認された．①FTNL 第 34 号は 2021 年 10 月発行に向けて活動する，②第 46 回 FT 研究会は ESR 応用計測研究会・ルミネッセンス年代測定研究会と合同で開催する，③Thermo2020 に関する情報を会員に積極的に提供する．

総会出席者：
安間　了，伊藤久敏，猪又　竜，大平寛人，岡本　晃，梶田侑弥，末岡　茂，田上高広，谷篤史，田村明弘，中嶋　徹，長谷部徳子，福田将眞，藤原　寛，南　沙樹，山崎誠子，山田隆二（五十音順，敬称略）

以下の 12 名の方々から総会に関わる委任状をいただきました．ご協力いただき，有難うございました．
岩野英樹，臼杵昌子，雁沢好博，島田耕史，竹内圭史，檀原 徹，檀原有吾，中里裕臣，林広樹，松浦秀治，村松 敏雄，森本祐一郎（五十音順，敬称略）

FTニューレター投稿要領（２０２１年）

１．発刊は２０２１年１０月頃を予定しています.

２．原稿の締切りは，２０２１年８月末とします（ただし，年明けの限定冊子版の発刊を最終的な目処となる予定です）.

ただし，投稿される予定の方は早めに，掲載内容の種類（論説／総説／研究ノート／講演要旨／その他），タイトル，著者，刷り上り予定ページなどを編集委員（田村：aking826@staff.kanazawa-u.ac.jp）までお知らせください.
またその都合によっては，〆切を延期することもあり得ますのでご相談ください.

論説／総説／研究ノートにつきましては，査読を行います.

３．投稿原稿（論説／総説／研究ノート／講演要旨／その他）のスタイルの詳細につきましては，次の通りとします.

・文体，句読点，引用文献形式等の詳細は，添付書類および過去のFTNLをご参考ください（投稿の際は段組の必要はありません）.

過去のFTNLの論文や講演要旨は以下からご覧いただけます.
http://ftrgj.org/index.html

タイトル・著者・所属は日本語および英語でお願いします.
・投稿原稿は，
テキスト（タイトル・著者・所属・本文・図のキャプションなど）：Word/Pages/RTF/TXTなど
＊＊＊「図表はWord/Pagesファイル中に挿入しないでください」
図表は、以下の通りとしますが必要ならばご相談ください.
図：PDF形式またはTIFF形式
表：PDF形式を推奨（TIFF形式やEXCELでも可）

＊テキストファイルとは必ず別にする
＊カラーが可能です.
＊サイズの目安，幅の上限
１段の場合、6.7cm、2.6inch、800pixel
２段の場合、15cm、5.9inch、1750pixel
以上の条件ではっきりと読むことができること

◯ 研究会の講演要旨（Proceedings, Extended abstractsなど）につきましては以下のようにします.
＊刷り上りページ数は４ページ（A４サイズ）を目処とします．それ以上の分量になりそうな場合は，できるだけ論説，総説あるいは研究ノートなどとしてご投稿ください.
＊提出していただいた原稿は，編集委員会で簡単な査読を行います．内容やレイアウトの変更を求める場合もありますので，予めご了承ください.
＊基本的には段組等レイアウトの必要はありませんが，希望するレイアウトがある場合はお送りいただけると幸いです.

原稿作成・編集作業等に関しまして，質問等ありましたら遠慮なくどうぞ.

フィッション・トラック ニュースレター 投稿規定 (1997年8月1日改正, 2013年4月1日一部改正)

総則

(1) 本会会員または本会会員に紹介された非会員はニュースレターに投稿することができる.

(2) 原稿は編集委員会に提出するものとし，編集委員会は受け取った原稿の受付年月日を記録し，原稿を保管する.

(3) 編集委員会は必要に応じて，会員または非会員に原稿の査読を依頼し，また著者に修正を求めることができる.

(4) ニュースレターに掲載の著作物の著作権は本会に帰属する.

細則

(1) 掲載内容はフィッション・トラックに関連する幅広い分野を対象とする.

(2) 掲載内容の種類を以下の通りとする.

(a) 論説: オリジナルな研究論文で内容の主要な部分が学術論文として, 他に印刷発表されていないもの.

(b) 総説: ある分野に関して既存論文や学説などを総括・解説したもの.

(c) 研究ノート: 技術, 手法, 術語などについての報告または紹介.

(d) 日本フィッション・トラック研究会が開催・主催・共催した講演会などにおける講演内容をまとめたもの（Proceedings, Extended abstractsなど）.

(e) その他必要と思われるもの.

(3) 論説・総説・研究ノートに関しては, 複数の専門家による査読を行う.

(4) 原稿の書き方・提出方法・刷り上がりページ数の制限などについては, 別途定める.

FTNL編集委員
金沢大学　田村明弘 (email: aking826@staff.kanazawa-u.ac.jp)

フィッション・トラックニュースレター
第34号　冊子版（2021）
発行日　　２０２１ 年１2月１2日
編集　田村明弘 （aking826@staff.kanazawa-u.ac.jp）
〒920-1192 石川県金沢市角間町
金沢大学　地球学教室
発行　日本フィッション・トラック研究会
http://ftrgj.org/index.html
研究会問い合わせ先
伊藤久敏（ito_hisa@criepi.denken.or.jp）
〒270-1194　千葉県我孫子市我孫子1646
（一財）電力中央研究所
サステナブルシステム研究本部　地質・地下環境研究部門