フィッション・トラック
ニュースレター

第31号（２０１８年１２月）
日本フィッション・トラック研究会

研究ノート
U-Pb年代測定と元素分析のスタンダードとしてのBishop Tuffについて
伊藤久敏 ---------- 1

第４２回フィッション・トラック研究会
（２０１８年2月１０日ー2月１２日　東京都立川市　国立極地研究所）

茂住祐延断層のジルコンFT熱年代解析：熱史モデルによる再検討
末岡　茂・郁芳随徹・長谷部徳子・田上高広 ---------- 9

アパタイトFT法に基づいた東北日本弧における隆起・削剥史の推定：
島弧山地形成過程の解明を目指して
福田将眞・末岡 茂・長谷部徳子・田村明弘・荒井章司・田上高広 ---------- 13

U-Pb法を用いた東南極北東部の年代測定
西野紗也子・長谷部徳子・田村明弘・石川尚人 ---------- 17

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
早坂怜・長谷部徳子・松木篤・福間剛士・田村明弘 ---------- 20

フィリピンパラワン島における炭酸塩の熱ルミネッセンス年代測定
河原弘樹・長谷部徳子・小形学・福士圭介・田村明弘・藤井直樹・山川稔 ---------- 23

Thermo 2018 @ Quedlinburgの参加報告
福田 将眞・末岡 茂・田上 高広 ---------- 26

学 会 記 事 ---------- 30

FISSION TRACK NEWS LETTER
No. 31 (December 2018)
Fission Track Research Group in Japan

NOTE

Bishop Tuff as a reference material for U-Pb dating and elemental analyses
Hisatoshi Ito ---------- 1

Extended abstracts of 42nd Meeting of the Fission Track Research Group in Japan

(10 February - 12 February, 2018, National Institute of Polar Research, Tachikawa, Tokyo)

Thermal analysis along the Mozumi-Sukenobu fault, central Japan, based on zircon fission-track thermochronometry: Reexamination by using thermal history modeling
Shigeru Sueoka, Zuitetsu Ikuho, Noriko Haesbe and Takahiro Tagami ---------- 9

Estimation of uplift/denudation history of NE Japan Arc based on the apatite fission-track (AFT) method: Toward understanding of the mountain building process in an island arc
Shoma Fukuda, Shigeru Sueoka, Noriko Hasebe, Akihiro Tamura,
Shoji Arai and Takahiro Tagami ---------- 13

The dating of Northeast Antarctica by zircon U-Pb Method
Sayako Nishino, Noriko Hasebe, Akihiro Tamura and Naoto Ishikawa ---------- 17

Alpha recoil track dating on zircon by using atomic force microscope
Rei Hayasaka, Noriko Hasebe, Atsushi Matsuki, Takeshi Fukuma and Akihiro Tamura ---------- 20

Thermoluminescence dating of carbonates from Palawan island of the Philippines
Hiroki Kawahara, Noriko Hasebe, Manabu Ogata, Keisuke Fukushi,
Akihiro Tamura, Naoki Fuji and Minoru Yamakawa ---------- 23

Report on the International Conference on Thermochronology 2018 at Quedlinburg, Germany
Shoma Fukuda, Shigeru Sueoka and Takahiro Tagami ---------- 26

NEWS ---------- 30

研究ノート　　2018年4月26日投稿　2018年8月10日受理

U-Pb年代測定と元素分析のスタンダードとしてのBishop Tuffについて

伊藤久敏*

Bishop Tuff as a reference material for U-Pb dating and elemental analyses

Hisatoshi Ito*

* 電力中央研究所地圏科学領域，Geosphere Science Sector, Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI)

Abstract: The Bishop Tuff is well-known and well-studied as a widespread tephra that erupted just above the Matuyama-Brunhes geomagnetic boundary. To date many radiometric dating approaches and elemental analyses have been performed on the Bishop Tuff, therefore it should be useful to use the Bishop Tuff as a secondary standard for LA-ICP-MS analyses. Here zircon U-Pb dating and 35 elemental analyses on zircons and volcanic glass shards from the Bishop Tuff were performed using LA-ICP-MS system at CRIEPI. The obtained U-Pb age of 770±18 ka is in agreement with a TIMS U-Pb age of 767.1±0.9 ka (Crowley et al., 2007). The Ti content of 2.7±0.2 ppm and the REE pattern are similar with those of Reid et al. (2011). As for volcanic glass shards, concentrations of all elements except Sr and Ba are in agreement with results from previous literatures. Overall, the Bishop Tuff zircons and volcanic glass shards are found to be useful to check data reliability.

はじめに

Bishop Tuffは米国カルフォルニア州東部のLong Valley Caldera起源の広域テフラであり，Matuyama-Brunhes地磁気境界直上の広域テフラとしても有名である．最も良く引用されるジルコンのU-Pb年代はTIMSで決定された767.1±0.9 ka（2σ）（Crowley et al., 2007）であると思われる．この他にもBishop Tuffには主としてU-Pb法，Ar/Ar法による多くの年代測定例があり（例えば，Reid and Coath, 2000；Chamberlain et al., 2014；Ickert et al., 2015；Mark et al., 2017；Sakata et al., 2017），また，Long Valley Calderaについてもその成因等に関して，先駆的な研究を含め，多くの研究がなされている．著者は，昨年オレゴン州ポートランドで開催されたIAVCEI 2017のプレ巡検「Mammoth Mountain, Long Valley Caldera, and the Bishop Tuff」に参加し，Bishop Tuffを観察し，採取する機会を得た．採取したBishop TuffからジルコンをLA-ICP-MSにより，U-Pb年代測定を行うとともに，初めての試みとして，ジルコンと火山ガラスの多元素同時測定を実施した．ここではその結果をinitial reportとして報告するとともに，Bishop Tuffが第四紀のジルコンのU-Pb年代測定およびジルコンと火山ガラスの元素分析のスタンダードとして有用であることを述べる．なお，今回の巡検案内書にはBishop Tuffの詳細な記載があり，オープンファイルとして公開されている（Hildreth and Fierstein, 2017）．今回採取したBishop Tuffは，F8ユニットに相当し，Hildreth and Fierstein (2017)のp36に露頭写真が掲載されている．

ジルコンのU-Pb年代測定結果

Fig. 1, Table 1に電力中央研究所において2017年12月22日に実施したU-Pb (^{238}U-^{206}Pb）年代測定結果を示す．分析手順

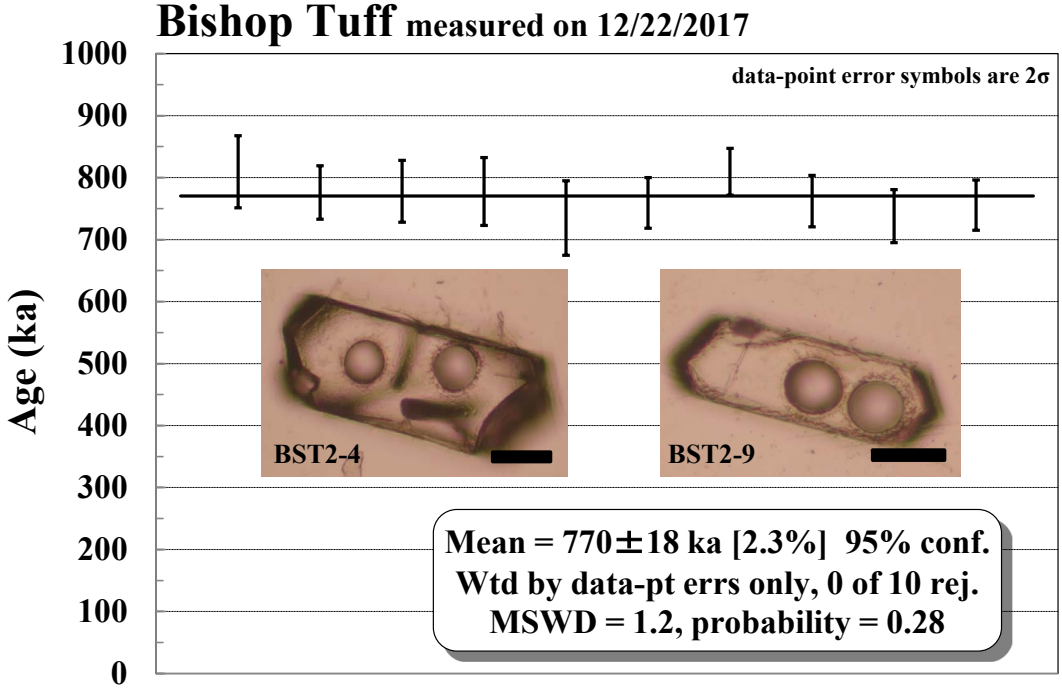

Fig. 1. LA-ICP-MS zircon U-Pb age of the Bishop Tuff collected from the F8 fall unit at Chalfant Valley pumice quarry (Hildreth and Fierstein, 2017). Transmitted light photograph of two zircons with two 30 μm laser beam holes (one for dating, the other for elemental analyses) are also shown. Scales in the photographs are 50 μm.

Table 1. LA-ICP-MS zircon U-Pb analytical results for the Bishop Tuff.

Sample name	Th	U	$^{232}Th/^{238}U$	f^a	$f_{206}\%^b$	Total						Radiogenic		Age [ka]^c		MSWD^d
	[ppm]	[ppm]				$^{207}Pb/^{206}Pb$	2σ	$^{207}Pb/^{235}U$	2σ	$^{206}Pb/^{238}U$	2σ	$^{206}Pb/^{238}U$	2σ	$^{206}Pb/^{238}U$	2σ	
Bishop Tuff (collected from the F8 fall unit at Chalfant Valley pumice quarry (location: 37.45958055, -118.36655); reference age: 767.1±0.9 ka; Crowley et al., 2007) measured on 12/22/2017																
BST2-1	1048	1643	0.64	0.23	-0.2	0.04485	0.02307	0.00078	0.00042	0.00013	0.00001	0.00013	0.00001	809	58	
BST2-2	895	1951	0.46	0.16	0.9	0.05322	0.01404	0.00089	0.00020	0.00012	0.00001	0.00012	0.00001	776	43	
BST2-3	866	1556	0.56	0.20	-0.1	0.04501	0.01727	0.00075	0.00030	0.00012	0.00001	0.00012	0.00001	778	50	
BST2-4	1158	2210	0.52	0.19	-1.3	0.03611	0.00993	0.00060	0.00016	0.00012	0.00001	0.00012	0.00001	778	55	
BST2-5	1218	2435	0.50	0.18	6.1	0.09399	0.01703	0.00157	0.00034	0.00012	0.00001	0.00011	0.00001	735	60	
BST2-6	1323	2558	0.52	0.18	-1.2	0.03648	0.00833	0.00059	0.00012	0.00012	0.00001	0.00012	0.00001	759	41	
BST2-7	1073	2037	0.53	0.19	0.3	0.04857	0.00652	0.00084	0.00013	0.00013	0.00001	0.00013	0.00001	809	38	
BST2-8	1284	2400	0.54	0.19	0.2	0.04730	0.00872	0.00077	0.00016	0.00012	0.00001	0.00012	0.00001	762	41	
BST2-9	1421	2632	0.54	0.19	-1.1	0.03716	0.00591	0.00059	0.00009	0.00011	0.00001	0.00011	0.00001	738	43	
BST2-10	995	2014	0.49	0.18	-0.1	0.04511	0.01171	0.00073	0.00018	0.00012	0.00001	0.00012	0.00001	756	40	
Number of grains=10	*1128*	*2144*	*0.53*										*Weighted mean*	*770*	*18*	*1.2*

[a] f = $(Th/U)_{zircon}/(Th/U)_{magma}$. $(Th/U)_{magma}$ of 2.8 was used.

[b] $f_{206}\%$ denotes the percentage of ^{206}Pb that is common Pb. Correction for common Pb was made using measured $^{206}Pb/^{238}U$ and $^{207}Pb/^{206}Pb$ ratios. Data calculated less than 0% were treated as 0%.

[c] Error of weighted mean is shown as 95% confidence level.

[d] MSWD: mean square weighted deviation.

30 μm laser beam with ~7 J/cm^2 fluence was used.

はIto et al. (2017)と同様である．なお，年代計算に用いたマグマ中のTh/U比はCrowley et al. (2007)の値（Th/U=2.8）を採用した．加重平均年代として770±18 ka (95% conf., MSWD=1.2, n=10)が得られ，Crowley et al. (2007)のTIMSによるU-Pb年代（767.1±0.9 ka）と一致した．良好な年代が得られることが確認できたので，今後，第四紀を対象としたジルコンのU-Pb年代測定の二次スタンダードとして活用する道が拓けたと考えられる．Bishop Tuffのジルコン U-Pb年代については，マグマ中のTh/U比を2.8とすることの妥当性に関する問題提起（Ickert et al., 2015；Mark et al., 2017）があるが，二次スタンダードとして利用する上で問題はないと思われる．

LA-ICP-MSを用いた多元素同時測定

U-Pb年代測定に使用しているLA-ICP-MSを用い，ジルコンと火山ガラスを対象に35個の元素を測定した（Table 2）．測定は，ジルコンの場合，スタンダード（ガラス：SRM 610,

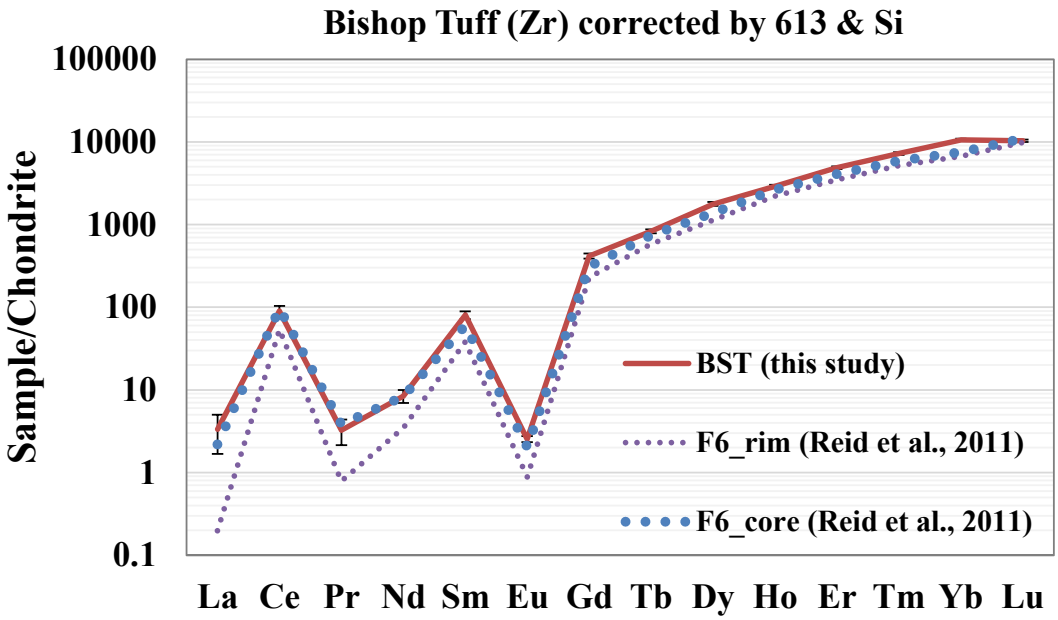

Fig. 2. Chondrite-normalized REE diagram for the Bishop Tuff zircons. Error bars are 1 standard error (number of analyses = 10). Chondrite values are from Sun and McDonough (1989).

613；ジルコン：91500）の測定の間に未知試料を10個測定するパターンを基本とした．火山ガラスの場合は，スタンダードとしてBCR-2GとATHO-G（Jochum and Stoll, 2008）を追加し，未知試料10個測定毎にスタンダードを測定するパターンを基本とした．なお，シグナルはジルコンの場合は，U-Pb年代測定と同様に，レーザー照射後10～20秒区間を採用した．火山ガラスの場合は，レーザー照射開始後10秒程度でレーザーが火山ガラスを貫通する場合があるため，レーザー照射開始後5～10秒区間をシグナルとして採用した．ジルコンと火山ガラスの測定結果をそれぞれTable 3とTable 4，5に示す．なお，採取したBishop Tuffには粒径500 μm程度のバブルウォール型火山ガラスが含まれており，これを樹脂（ペトロポキシ154）に埋め込み，ダイヤモンドペーストで1μmまで研磨したものを分析に用いた．今回示した5個の分析データ（Table 4，5）のうち，2個は同じ火山ガラス片で，他は異なる火山ガラス片のデータである．

ジルコンのTi含有量

ジルコン中のTi含有量はジルコンがマグマから晶出した時の温度と相関があるとされ，マグマの温度の推定に適用されている（例えば，Reid et al., 2011）．今回，スタンダードとして用いた91500ジルコンのTi含有量を6.0 ppmとし（Jochum and Stoll, 2008），Siを内標準（SiO_2: 32.7 wt%）にして未知試料のジルコンのTi含有量を求めた．Bishop Tuffについては，10個のジルコンから2.7±0.2 ppm （誤差は標準誤差）が得られた（Table 3）．この値は，Reid et al. (2011)のF6ユニット（F8ユニットとほぼ同じ層準）のジルコンの値（リム部で2.5±0.1 ppm；コア部で2.8±0.1 ppm）と誤差の範囲で一致する．

ジルコンの希土類元素組成

ジルコン中の希土類元素（REE）濃度はSRM 613ガラスをスタンダードとし（Jochum and Stoll, 2008），Siを内標準にして求めた．なお，91500をスタンダードにしない理由として，91500のLaやPrの濃度が0.1 ppm以下と低く，バックグラウンドを差し引いたシグナルがマイナスの値になる場合があり，スタンダードとして不適と判断したためである．C1コンドライトで規格化したREEパターンを

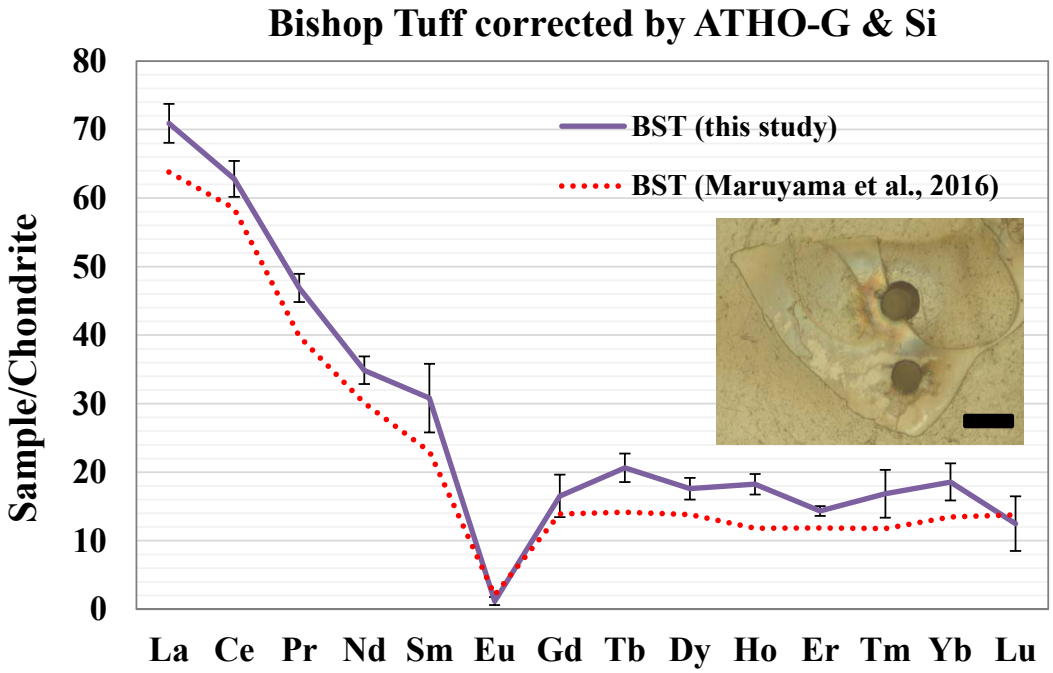

Fig. 3. Chondrite-normalized REE diagram for the Bishop Tuff glass shards. Error bars are 1 standard error (number of analyses = 5). Chondrite values are from Sun and McDonough (1989). Reflected light photograph of a glass shard with two 30 μm laser beam holes (upper for GB19-BST6, lower for GB19-BST2) is also shown. Scale in the photographs is 50 μm.

Reid et al. (2011)の値とともにFig. 2に示す．今回の測定結果はReid et al. (2011)のジルコンのコア部の値とほぼ一致する．

火山ガラスの元素濃度とREEパターン

Bishop Tuffの火山ガラス中の元素濃度を求めるために，組成の似た流紋岩質のガラスであるATHO-Gをスタンダードとして補正に用いた．また，内標準としてSiO_2が78 wt%（Maruyama et al., 2016）となるように補正した（Table 4）．さらに，SiO_2の補正前の値（wt%）をSiO_2の補正値（今回は78 wt%）で割った値が0.7～2.0の間にあるデータのみを採用した．C1コンドライトで規格化したREEパターンをMaruyama et al. (2016)の値とともにFig. 3に示す．全体的にMaruyama et al. (2016)の値よりやや高い傾向を示すが，Maruyama et al. (2016)の試料採取層準が不明であることと，今回の採取層準（F8ユニット）に近い層準のデータと推定されるGardner et al. (1991)の結果とは概ね整合している（Table 4）ため，REEの測定値の信頼性は高いと判断される．

REE以外の微量元素では，SrとBaの値がHildreth and Wilson (2007)とGardner et al. (1991)の値に比べ低いが，Maruyama et al. (2016) とは概ね整合している（Table 4）．Hildreth and Wilson (2007)とGardner et al. (1991)はSrとBaをXRFで求めており，Maruyama et al. (2016)は全ての元素をLA-ICP-MSで測定している．SrとBaの不一致は測定機器の種類の違いが影響している可能性が考えられる．あるいは，Hildreth and Wilson (2007)とGardner et al. (1991)は火山ガラスではなく，パミスを粉末化等により分析していることが不一致の生じた原因かもしれない．

Table 5に合計が100 wt%になるように再計算した火山ガラスの主要元素組成を示す．今回の結果は既存の結果と概ね整合する．

火山ガラスのTh/U比

テフラ中の火山ガラスのTh/U比は，テフラの噴出時のマグマのTh/U比を反映しており，

第四紀テフラのジルコンのU-Pb年代を求める際には，これをジルコンがマグマから晶出した時のマグマのTh/U比として用いる場合がある（例えばIto et al., 2017）．今回，火山ガラス5個からTh/U比として2.5±0.2が得られた（Table 4）．Crowley et al. (2007)はBishop Tuffの石英の流体包有物のTh/U比として2.81±0.32 (2σ)を報告し，ジルコンのU-Pb年代測定に用いている．また，Ickert et al. (2015)はBishop Tuffの火山ガラスのTh/U比として290個のデータから得られた2.71±0.57を推奨している．今回得られた火山ガラスのTh/U比はCrowley et al. (2007)やIckert et al. (2015)の値と誤差の範囲で一致している．なお，Th/U=2.5とした場合，U-Pb年代は768±18 kaと計算され，Th/U=2.8の場合（770±18 ka）との差は無視できる程度である．

まとめ

Bishop Tuffのジルコンと火山ガラスを対象に同一のLA-ICP-MS装置を用い，ジルコンのU-Pb年代，Ti濃度，REEパターンと火山ガラスのREEパターン，微量元素と主要元素の組成，Th/U比を求め，文献値と比較した．その結果，ジルコンについては各項目とも文献値と整合する結果が得られたので，Bishop Tuffを二次スタンダードとして活用する上で問題ないと思われる．火山ガラスについては，SrとBa以外は概ね文献値と誤差の範囲で一致した．不一致の生じた理由についてはさらなる検討が必要であるが，火山ガラスについても二次スタンダードとして利用する上で大きな問題はないと考えられる．

謝辞

Bishop Tuffの採取に当たっては，巡検案内者であったUSGSのWes Hildreth氏とJudy Fierstein氏に大変お世話になりました．LA-ICP-MSの多元素測定では，電力中央研究所（現：北海道大学）の足立佳子氏に大変お世話になりました．金沢大学の長谷部徳子氏と田村明弘氏にはそれぞれ原稿の編集と査読をして頂きました．ここに記して謝意を表します．

文献

Chamberlain, K.J., Wilson, C.J.N., Wooden, J.L., Charlier, B.L.A., and Ireland, T.R., 2014, New perspectives on the Bishop Tuff from zircon textures, ages and trace elements. Journal of Petrology, 55, 395–426.

Crowley, J.L., Schoene, B., and Bowring, S.A., 2007, U-Pb dating of zircon in the Bishop Tuff at the millennial scale. Geology, 35, 1123–1126.

Gardner, J.E., Sigurdsson, H., and Carey, S.N., 1991, Eruption dynamics and magma withdrawal during the plinian phase of the Bishop Tuff eruption, Long Valley caldera. Journal of Geophysical Research, 96, 8097–8111.

Hildreth, W., and Fierstein, J., 2017, Geologic field-trip guide to Long Valley Caldera, California: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2017–5022–L, 119 p., https://doi.org/10.3133/sir20175022L.

Hildreth, W., and Wilson, C.J.N., 2007, Compositional zoning of the Bishop Tuff. Journal of Petrology, 48, 951–999.

Ickert, R., Mundil, R, Magee, C.W., and Mulcahy, S.R., 2015, The U–Th–Pb systematics of zircon from the Bishop Tuff: A case study in challenges to high-precision Pb/U geochronology at the millennial scale. Geochimica et Cosmochimica Acta, 168, 88–110.

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. Scientific Reports, 7:12457, DOI:10.1038/s41598-017-12790-w.

Jochum, K.P., and Stoll, B., 2008, Reference materials for elemental and isotopic analysis by LA-(MC)-ICP-MS: successes and outstanding needs. In: Sylvester, P. (Ed.), Laser Ablation-ICP-MS in the Earth Sciences, Current Practices and Outstanding Issues. Mineralogical Association of Canada (MAC) Short Course Series, Vancouver, pp. 147–168.

Mark, D.F., Renne, P.R., Dymock, R.C., Smith, V.C., Simon, J.I., Morgan, L.E., Staff, R.A., Ellis, B.S. and Pearce, N.J.G., 2017, High-precision $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of pleistocene tuffs and temporal anchoring of the Matuyama-Brunhes boundary. Quaternary Geochronology, 39, 1–23.

Maruyama, S., Hattori, K., Hirata, T., and Danhara, T., 2016, A proposed methodology for analyses of wide-ranged elements in volcanic glass shards in widespread Quaternary tephras. Quaternary International, 397, 267–280.

Sakata, S., Hirakawa, S., Iwano, H., Danhara, T., Guillong, M., and Hirata, T., 2017, A new approach for constraining the magnitude of initial disequilibrium in Quaternary zircons by coupled uranium and thorium decay series dating. Quaternary Geochronology, 38, 1–12.

Sun, S.-S., and McDonough, W.F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes, in Magmatism in the Ocean Basins, Geol. Soc. Spec. Publ., edited by A. D. Saunders and M. J. Norry, pp. 313–345, Geol. Soc., London, U. K.

Reid, M.R., and Coath, C.D., 2000, In situ U-Pb ages of zircons from the Bishop Tuff: No evidence for long crystal residence times. Geology, 28, 443–446.

Reid, M.R., Vazquez, J.A., Schmitt, A.K., 2011, Zircon-scale insights into the history of a Supervolcano, Bishop Tuff, Long Valley, California, with implications for the Ti-in-zircon geothermometer. Contributions to Mineralogy and Petrology, 161, 293–311.

Table 2. LA-ICP-MS operating conditions for multi element analyses.

Laser ablation system	
Make, model & type	New Wave Research UP-213
Ablation cell & volume	NWR standard 1-volume cell, volume ~3cm^3
Laser wavelength	213 nm
Pulse width	4 ns
Energy density/fluence	~7 J/cm^2
Repetition rate	10 Hz
Ablation duration	30 s; 10–20 s from the start of ablation were used for zircon signal data; 5–10 s from the start of ablation were used for volcanic glass signal data
Spot size	30 µm
Sampling mode	Single hole drilling, laser beam focused at the surface
Carrier gas and flow	100% He, 0.6 l/min
ICP-MS Instrument	
Make, model & type	Thermo Fisher Scientific ELEMENT XR, SF-ICP-MS
Sample introduction	Ablation aerosol only
RF power	1375 W
Make-up gas flow	0.8 l/min Ar
Detection system	Single detector triple mode
Analysis mode	TRA (time resolved analysis) mode
ThO^+/Th^+ (oxide ratio)	~0.5% for zircon & ~1.5% for volcanic glass
Masses measured	^{23}Na, ^{25}Mg, ^{27}Al, ^{29}Si , ^{31}P, ^{39}K, ^{43}Ca, ^{49}Ti, ^{55}Mn, ^{57}Fe, ^{85}Rb, ^{88}Sr, ^{89}Y, ^{90}Zr, ^{93}Nb, ^{137}Ba, ^{139}La, ^{140}Ce, ^{141}Pr, ^{143}Nd, ^{147}Sm, ^{151}Eu, ^{158}Gd, ^{159}Tb, ^{163}Dy, ^{165}Ho, ^{166}Er, ^{169}Tm, ^{174}Yb, ^{175}Lu, ^{178}Hf, ^{181}Ta, ^{232}Th, ^{238}U, ^{248}Cm
Integration time per peak	10 ms
Total integration time per reading	~1.5 s
Detector deadtime	12 ns

Table 3. LA-ICP-MS elemental analyses for the Bishop Tuff zircons.

	P[a] ppm	Ti[a] ppm	Y ppm	Nb ppm	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm	Hf ppm	Ta ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	ThO/Th
Bishop Tuff collected from the F8 fall unit at Chalfant Valley pumice quarry (location: 37.45958055, -118.36655)																								
BST12ER	1145.1	2.5	4215.5	31.0	2.2	47.1	0.5	3.8	10.1	0.1	72.7	28.9	393.2	149.4	701.7	168.4	1681.3	237.3	10263.8	8.8	1538.7	2209.5	0.7	0.005
BST13ER	1117.2	2.2	3418.4	23.3	0.4	29.5	0.1	2.1	7.1	0.1	58.4	22.5	330.3	126.1	627.2	146.0	1470.6	206.8	11060.6	7.5	986.4	1750.3	0.6	0.005
BST14ER	1149.2	2.9	5022.4	32.4	0.0	45.1	0.2	4.1	15.3	0.2	95.2	35.2	500.9	188.5	857.3	199.1	1992.9	276.1	11061.7	9.3	1526.5	2315.2	0.7	0.005
BST15ER	781.4	3.4	4885.3	61.4	0.2	71.5	0.2	3.8	13.5	0.2	97.8	36.7	489.9	183.9	852.4	207.1	2043.6	291.4	12383.9	19.8	2333.3	3450.8	0.7	0.005
BST2-1E	631.7	2.2	5621.7	30.0	0.3	52.7	0.3	7.8	22.4	0.2	128.2	40.1	619.4	189.6	926.9	206.6	1851.5	279.8	13350.4	10.5	1586.0	2171.9	0.7	0.006
BST2-2E	1183.4	3.6	4607.0	36.7	0.2	34.7	0.1	2.3	10.7	0.1	78.1	27.4	461.1	155.0	809.0	188.4	1819.3	272.5	13810.0	11.9	1317.1	2277.7	0.6	0.004
BST2-3E	959.3	2.4	4478.3	38.2	0.1	56.3	0.1	2.7	10.9	0.2	80.6	25.1	444.5	140.3	703.6	165.1	1515.2	234.2	10975.3	10.6	1434.7	1991.4	0.7	0.005
BST2-E4	1306.8	2.1	5429.0	35.0	0.4	48.8	0.2	2.6	12.8	0.2	89.8	34.2	444.5	181.1	906.7	203.0	2006.0	295.5	13338.1	11.6	1656.5	2409.6	0.7	0.005
BST2-E5	1398.8	2.6	4752.9	34.5	3.9	120.8	1.2	8.1	9.7	0.1	78.1	29.8	419.2	163.6	818.6	180.1	1800.1	265.6	12267.0	11.2	1457.4	2318.7	0.6	0.004
BST2-E6	1057.0	2.5	4307.6	36.0	0.2	43.8	0.2	2.1	10.4	0.1	78.1	29.8	403.1	163.0	873.7	179.4	1779.7	269.9	13789.6	11.3	1502.9	2279.9	0.7	0.004
Average	*1073.0*	*2.7*	*4673.8*	*35.9*	*0.8*	*55.0*	*0.3*	*3.9*	*12.3*	*0.1*	*85.7*	*31.0*	*450.6*	*164.1*	*807.7*	*184.3*	*1796.0*	*262.9*	*12230.1*	*11.2*	*1534.0*	*2317.5*	*0.66*	*0.0049*
Standard error	*72.9*	*0.2*	*200.1*	*3.1*	*0.4*	*8.2*	*0.1*	*0.7*	*1.3*	*0.0*	*5.9*	*1.7*	*24.4*	*6.9*	*31.2*	*6.4*	*62.0*	*8.9*	*416.5*	*1.0*	*106.5*	*139.7*	*0.02*	*0.0001*

[a] Corrected using 91500, others are corrected using SRM 613 glass.

Table 4. LA-ICP-MS trace element analyses for the Bishop Tuff glass shards.

	Rb ppm	Sr ppm	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	Ba ppm	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm	Hf ppm	Ta ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	ThO/Th
Bishop Tuff collected from the F8 fall unit at Chalfant Valley pumice quarry (location: 37.45958055, -118.36655)																									
GB19-BST2	197.8	3.2	21.4	76.6	27.8	3.6	16.6	36.6	4.6	17.3	3.0	0.15	4.3	0.9	3.3	0.8	2.1	0.3	3.7	0.2	1.6	4.0	18.3	8.7	2.0	0.000
GB16-BST8	167.1	3.2	19.6	64.4	22.0	5.2	14.3	35.0	3.9	12.7	3.3	0.00	1.6	0.8	5.0	0.9	2.3	0.2	3.5	0.0	2.8	2.9	23.9	9.8	2.4	0.016
GB16-BST9	179.4	8.3	26.3	86.5	25.0	12.6	17.5	36.1	4.2	16.4	4.6	0.16	5.3	1.0	3.8	1.2	2.4	0.5	4.3	0.5	6.4	3.8	30.2	9.5	3.2	0.017
GB19-BST5	260.3	4.0	27.0	86.0	25.2	5.3	18.4	42.9	5.0	18.2	7.2	0.00	2.7	0.7	4.7	1.0	2.3	0.4	1.6	0.6	3.5	3.1	24.3	9.9	2.5	0.024
GB19-BST6	162.5	4.3	23.0	83.8	26.2	5.2	17.2	41.6	4.7	16.9	5.5	0.04	3.1	0.6	5.5	1.2	2.8	0.7	2.6	0.3	4.4	2.9	25.5	11.1	2.3	0.015
Average	*193.4*	*4.6*	*23.5*	*79.5*	*25.3*	*6.4*	*16.8*	*38.4*	*4.5*	*16.3*	*4.7*	*0.07*	*3.4*	*0.8*	*4.5*	*1.0*	*2.4*	*0.4*	*3.2*	*0.3*	*3.7*	*3.3*	*24.4*	*9.8*	*2.5*	*0.014*
Standard error	*17.8*	*0.9*	*1.4*	*4.2*	*1.0*	*1.6*	*0.7*	*1.6*	*0.2*	*0.9*	*0.8*	*0.04*	*0.6*	*0.1*	*0.4*	*0.1*	*0.1*	*0.1*	*0.5*	*0.1*	*0.8*	*0.2*	*1.9*	*0.4*	*0.2*	*0.004*
Hildreth and Wilson (2007)[a]																									
B-104: F6-F7	198.0	18.0	20.0	89.0	22.0	38.0																			
B-218: F6	176.0	17.0	28.0	92.0	22.0	21.0																			
B-244: F6	168.0	16.0	25.0	88.0	20.0	25.0																			
Average	*180.7*	*17.0*	*24.3*	*89.7*	*21.3*	*28.0*																			
Standard error	*9.0*	*0.6*	*2.3*	*1.2*	*0.7*	*5.1*																			
Gardner et al. (1991) at Chalfant Valley[a]																									
BT-20	178.0	14.0	26.0	75.0	22.0	31.0	17.3	41.0			4.4	0.03		0.6					2.7	0.4	3.9	2.5	20.6	7.9	2.6	
BT-15	181.0	14.0	27.0	75.0	21.0	37.0	20.2	48.0			4.7	0.04		0.7					2.8	0.4	4.2	2.5	21.7	7.9	2.7	
BT-13	170.0	16.0	29.0	85.0	22.0	43.0	23.1	51.0			4.6	0.05		0.6					2.9	0.4	4.3	2.6	21.9	8.4	2.6	
Average	*176.3*	*14.7*	*27.3*	*78.3*	*21.7*	*37.0*	*20.2*	*46.7*			*4.6*	*0.04*		*0.6*					*2.8*	*0.4*	*4.1*	*2.5*	*21.4*	*8.1*	*2.7*	
Standard error	*3.3*	*0.7*	*0.9*	*3.3*	*0.3*	*3.5*	*1.7*	*3.0*			*0.1*	*0.01*		*0.0*					*0.1*	*0.0*	*0.1*	*0.0*	*0.4*	*0.2*	*0.0*	
Maruyama et al. (2016)	184.5	2.1	20.1	65.5	21.6	2.3	15.1	35.8	3.8	14.1	3.5	0.12	2.9	0.5	3.5	0.7	2.0	0.3	2.3	0.4	3.1	1.9	18.8	7.9		

[a] Pumices were analysed instead of volcanic glass shards using either XRF or INAA.

Table 5. LA-ICP-MS major element analyses for the Bishop Tuff glass shards.

	SiO_2 wt%	TiO_2 wt%	Al_2O_3 wt%	FeO wt%	MnO wt%	MgO wt%	CaO wt%	Na_2O wt%	K_2O wt%	P_2O_5 wt%	Total
Bishop Tuff collected from the F8 fall unit at Chalfant Valley pumice quarry (location: 37.45958055, -118.36655)											
GB19-BST2	78.4	0.08	13.0	0.7	0.05	0.03	0.5	2.5	4.7	0.01	100.0
GB16-BST8	79.7	0.06	11.8	0.6	0.04	0.06	0.2	3.6	3.9	0.02	100.0
GB16-BST9	76.0	0.06	14.7	0.6	0.04	0.11	0.6	3.7	4.2	0.04	100.0
GB19-BST5	76.5	0.07	12.8	0.8	0.04	0.04	0.4	3.7	5.5	0.01	100.0
GB19-BST6	77.9	0.05	14.3	0.5	0.03	0.05	0.4	3.1	3.7	0.01	100.0
Average	*77.7*	*0.06*	*13.3*	*0.7*	*0.04*	*0.06*	*0.4*	*3.3*	*4.4*	*0.02*	*100.0*
Standard error	*0.7*	*0.01*	*0.5*	*0.1*	*0.00*	*0.01*	*0.1*	*0.2*	*0.3*	*0.01*	*0.00*
Hildreth and Wilson (2007)[a]											
B-104: F6-F7	76.8	0.09	12.7	0.8	0.04	0.11	0.6	3.6	4.8	0.08	99.6
B-218: F6	76.9	0.09	12.7	0.7	0.04	0.01	0.5	3.7	4.8	0.01	99.6
B-244: F6	77.1	0.08	12.6	0.7	0.04	0.01	0.5	3.8	4.7	0.05	99.6
Average	*77.0*	*0.09*	*12.7*	*0.8*	*0.04*	*0.04*	*0.5*	*3.7*	*4.8*	*0.05*	*99.6*
Standard error	*0.1*	*0.00*	*0.0*	*0.0*	*0.00*	*0.03*	*0.0*	*0.0*	*0.0*	*0.02*	*0.00*
Gardner et al. (1991) at Chalfant Valley[a]											
BT-20	77.4	0.14	12.5	0.7	0.04	0.07	0.6	3.2	5.4	0.02	*100.0*
BT-15	77.4	0.14	12.6	0.7	0.04	0.05	0.6	3.1	5.2	0.04	*100.0*
BT-13	77.6	0.14	13.1	0.8	0.04	0.03	0.6	3.0	5.0	0.03	*100.2*
Average	*77.5*	*0.14*	*12.7*	*0.7*	*0.04*	*0.05*	*0.6*	*3.1*	*5.2*	*0.03*	*100.1*
Standard error	*0.0*	*0.00*	*0.2*	*0.0*	*0.00*	*0.01*	*0.0*	*0.0*	*0.1*	*0.01*	*0.05*
Maruyama et al. (2016)	78.0	0.05	12.0	0.6	0.03	0.03	0.4	4.0	4.8	0.02	99.9

[a] Pumices were analysed instead of volcanic glass shards using either XRF or INAA.

茂住祐延断層のジルコンFT熱年代解析：熱史モデルによる再検討

末岡　茂*・郁芳随徹**・長谷部徳子***・田上高広****

Thermal analysis along the Mozumi-Sukenobu fault, central Japan, based on zircon fission-track thermochronometry: Reexamination by using thermal history modeling

Shigeru Sueoka*, Zuitetsu Ikuho**, Noriko Haesbe*** and Takahiro Tagami****

* 日本原子力研究開発機構，Japan Atomic Energy Agency
** 龍谷大平安高校，Ryukoku University Heian Senior High School
*** 金沢大学，Kanazawa University
**** 京都大学，Kyoto University

はじめに

断層の活動性の評価には，一般にはトレンチ調査などの上載地層法が用いられるが，上載地層に覆われていない断層の活動性を評価する方法は確立されていない．断層活動には摩擦により熱が生じるため，熱年代学の手法（ジルコンフィッション・トラック（ZFT）法など）に基づいた，活動年代の推定が試みられている（Tagami，2012）．しかし，断層近傍の熱異常の原因は，隆起・沈降，摩擦発熱，高温流体の滞留など多様であり（Tagami, 2012），摩擦発熱に伴う熱異常を精度よく検出するには，それ以外の要因による熱異常の特徴（温度，期間，被熱範囲など）の包括的理解が望ましい．

茂住祐延断層のZFT解析（郁芳，2011）

茂住祐延断層は，跡津川断層帯を構成する右横ずれ活断層で，平均変位速度は2～3mm/yrに達する（HERP，2004）．茂住祐延断層では，1995年兵庫県南部地震以降に，断層調査のための坑道が掘削されており，長さ約480の坑道内では2か所の主要な破砕帯が確認されている（伊藤ほか，1998）．

郁芳（2011）は調査坑道内の14地点でZFT解析を行い，約110～70Maの年代値と7～9μmの平均FT長を報告した（図1）．なお，試料の岩種は，いずれも白亜紀の非海成堆積物起源である手取層群の砂岩ないし頁岩である．2本の破砕帯間では，最も若い年代が得られ，特に強い熱異常を被ったと解釈された．2本の破砕帯間のZFTがトータルアニーリングされているという仮定と，熱水変質鉱物の存在等から，加熱の原因は約65Maの神岡鉱床形成時の熱水だと結論付けられた．

熱史モデルによる再検討

2本の破砕帯間のZFTがトータルアニーリングされているという上記の仮定は，7～9μmの平均FT長を考慮すると妥当性に疑問が残る．そこで本研究では，HeFTy ver. 1.9.3（Ketcham，2005）を用いた熱史逆解析に基づいて，加熱の時期や熱源の再検討を試みた．解析の結果，14地点中2地点を除く試料では，見掛け年代（110～70Ma）より若い，約30～15Maの最終冷却が推定された（図2）．すなわち，これらのZFT年代の若返りの原因は，日本海拡大時の火成活動と関連している可能性が高い．しかし，本地域に分布する漸新世～中新世の火山噴出物の層厚（例えば，高橋・周藤，1999）を考慮すると，地表に堆積した火山噴出物からの熱伝導により，地下300mの坑道内のZFT年代を若返らせるのは困難である（cf 松崎ほか，2004）．消去法

的には，高温流体の関与が有力だが，より確実に熱源を特定するためには，さらなる熱年代学的検討が望まれる．

引用文献

郁芳随徹（2011）断層帯のジルコン熱年代学～跡津川断層系茂住祐延断層と四国興津地域を例として～．京都大学理学研究科修士論文，87p.

伊藤谷生ほか（1998）活断層地下観測場：茂住祐延断層調査坑道(速報)．月刊地球，20，182-187.

地震調査研究推進本部（HERP）（2004）跡津川断層帯の長期評価について．http://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/47_atotsugawa.pdf, 28p.

Ketcham R.A. (2005). Forward and inverse modeling of low-temperature thermochronometry data. Rev. Min. Geochem., 58, 275-314.

松崎達二ほか（2004）大規模火砕流による基盤岩への熱的影響の検討―フィッション・トラック法による熱履歴解析―．応用地質，45，238-248.

Tagami T. (2012) Thermochronological investigation of fault zones. Tectonophysics, 538-540, 67-85.

高橋俊郎・周藤賢治（1999）富山県南部の中新統岩稲累層のアダカイト質安山岩，高マグネシア安山岩，カルクアルカリ系列安山岩およびソレアイト系列安山岩の成因．地質学雑誌，105，789-809.

Tanaka H. et al. (2007) Descriptions of meso- and microscopic structures of fault zone rocks obtained from tunnel penetrated across the Mozumi-Sukenobu fault, central Japan. Geodynamics of Atotsugawa Fault System. 103-121.

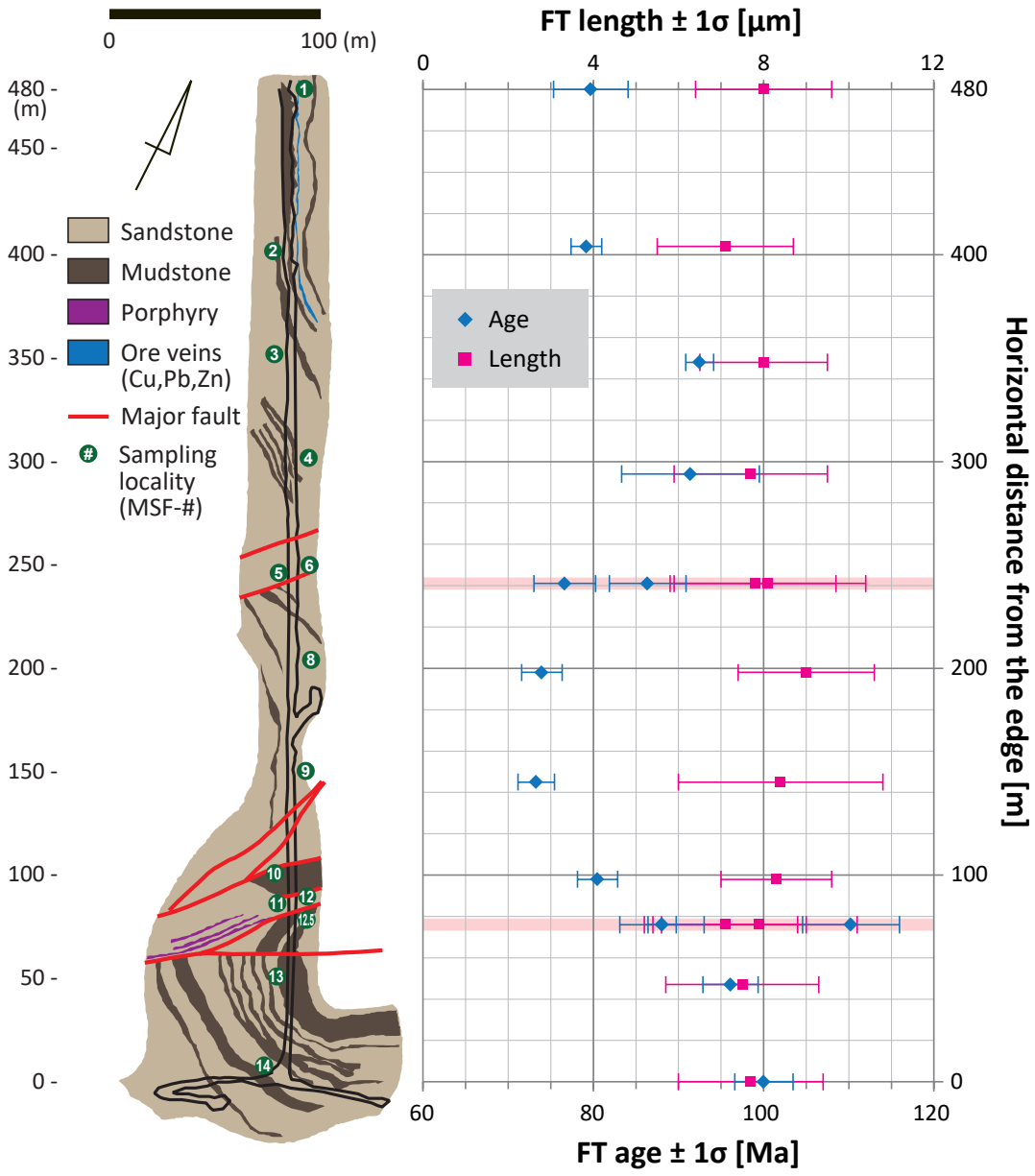

図1　茂住祐延断層調査坑道内の地質図およびジルコンFT解析結果（Tanaka et al., 2007を改変）.

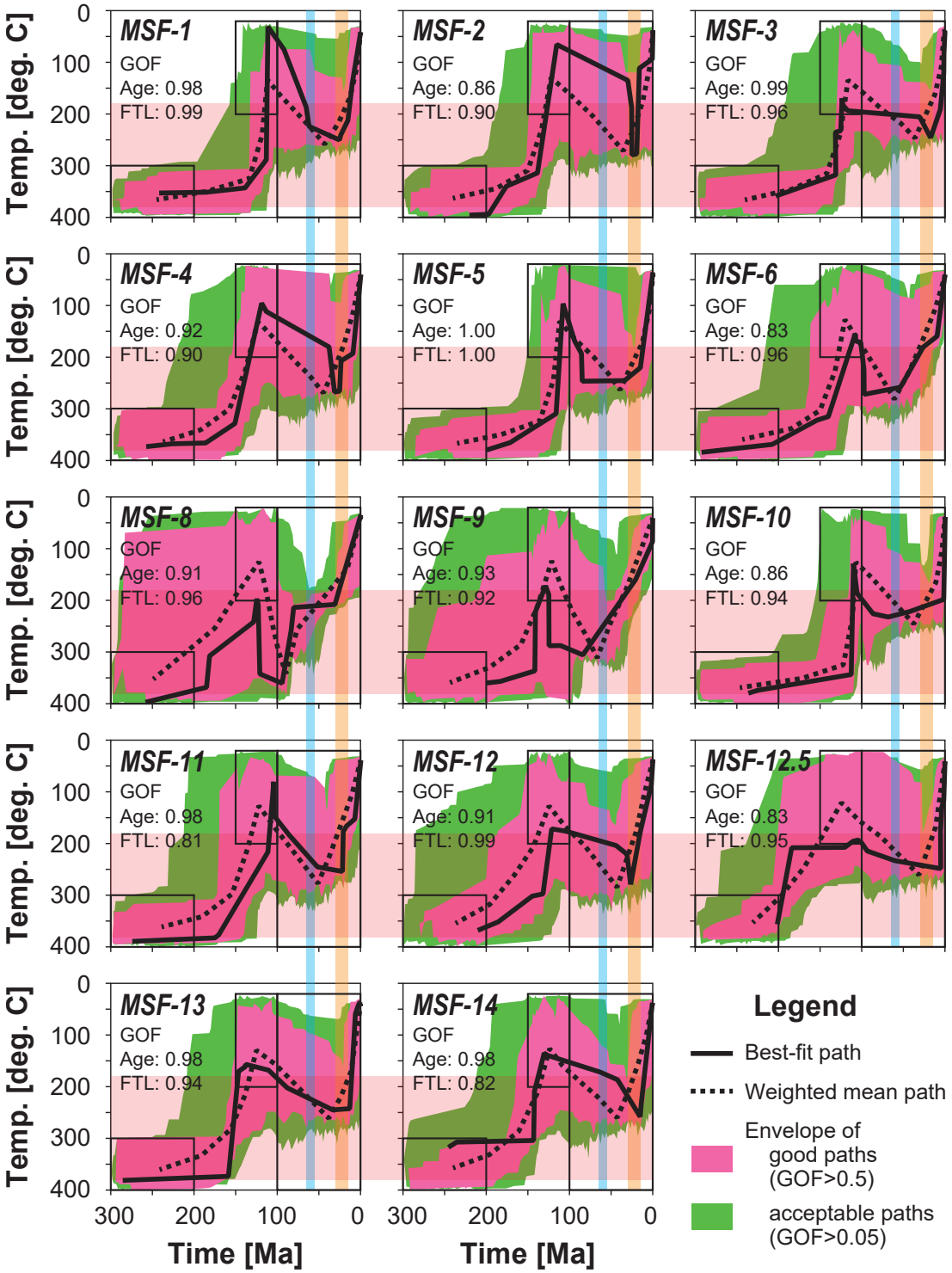

図2　熱史逆解析の結果．GOFはgoodness of fitの略で，FT年代とFT長分布のモデル値と実測値の適合度を表す（Ketcham. 2005）．水色とオレンジの縦帯は，神岡鉱床形成（65～55Ma）と日本海拡大（30～15Ma）のおよその時期を示す．薄赤の横帯は，ZFT系の準安定領域（partial annealing zone; 180～380℃）を表す．

アパタイトFT法に基づいた東北日本弧における隆起・削剥史の推定：島弧山地形成過程の解明を目指して

福田将眞*・末岡 茂**・長谷部徳子***・田村明弘***・
荒井章司***・田上高広*

Estimation of uplift/denudation history of NE Japan Arc based on the apatite fission-track (AFT) method: Toward understanding of the mountain building process in an island arc

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

本研究は，典型的な島弧地形を有する東北日本弧の山地を対象とし，その形成史を定量的に明らかにすることを目的としている．東北日本弧に分布する山地は海溝に平行な地形配列であり，これらは3 Ma以降のプレートの沈み込みに伴う東西圧縮応力場を主因として形成されたと考えられている(Sato，1994; Nakajima, 2013)．これまで，地形・地質学的な検討によって，東北日本弧の山地形成史や隆起イベントが解明されつつあるが，山地の隆起・削剥に関する定量的研究は数が限られるのが現状である．

近年の低温領域の熱年代学の発展により，日本列島の比較的若く小規模な山地の隆起・削剥史の推定が可能となってきた (末岡ほか, 2015; Sueoka, et al., 2016)．このような背景から，Sueoka et al. (2017)は東北日本弧の南部に分布する阿武隈山地（前弧側）～奥羽脊梁山地～朝日山地（背弧側）を対象に，初めて(U-Th)/He法（He法）を適用し，島弧横断方向には熱史および削剥史のコントラストが存在することを明らかにした．今回はSueoka et al. (2017)でHe分析に使用された同一試料（白亜紀～古第三紀の花崗岩類試料）を用い，アパタイトフィッション・トラック（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計算ソフトHeFTy (Ketcham，2005)を用いて実施し，削剥速度を計算した．これらの結果と地質学的意義を報告する．

熱史逆解析

熱史逆解析から推定される東北日本南部の最終冷却時期をFigure 1に示す．前弧側では年代値も古く，基本的に徐冷パターンだが，40～30 Ma頃に若干の変曲点が見られた．奥羽脊梁山地では，山地の中央に向かうにつれて急冷時期が新しくなる傾向が推定され，最も新しい地点で1 Maを切る値が得られた．背弧側では，朝日・飯豊山地の中心部で3～1 Ma前後の最終冷却が推定された．このように各構成単元内でも最終冷却の時期は異なり，3～2 Ma以降の東西圧縮(e.g.，Nakajima，2013)の影響は，空間的な不均質が存在することが示唆された．

削剥速度と考察

熱史逆解析から推定される最終冷却時期の温度や年代，地温勾配のデータベース (田中ほか, 2004；産総研，2009) を用いて，削剥速度を計算した (Figure 2).

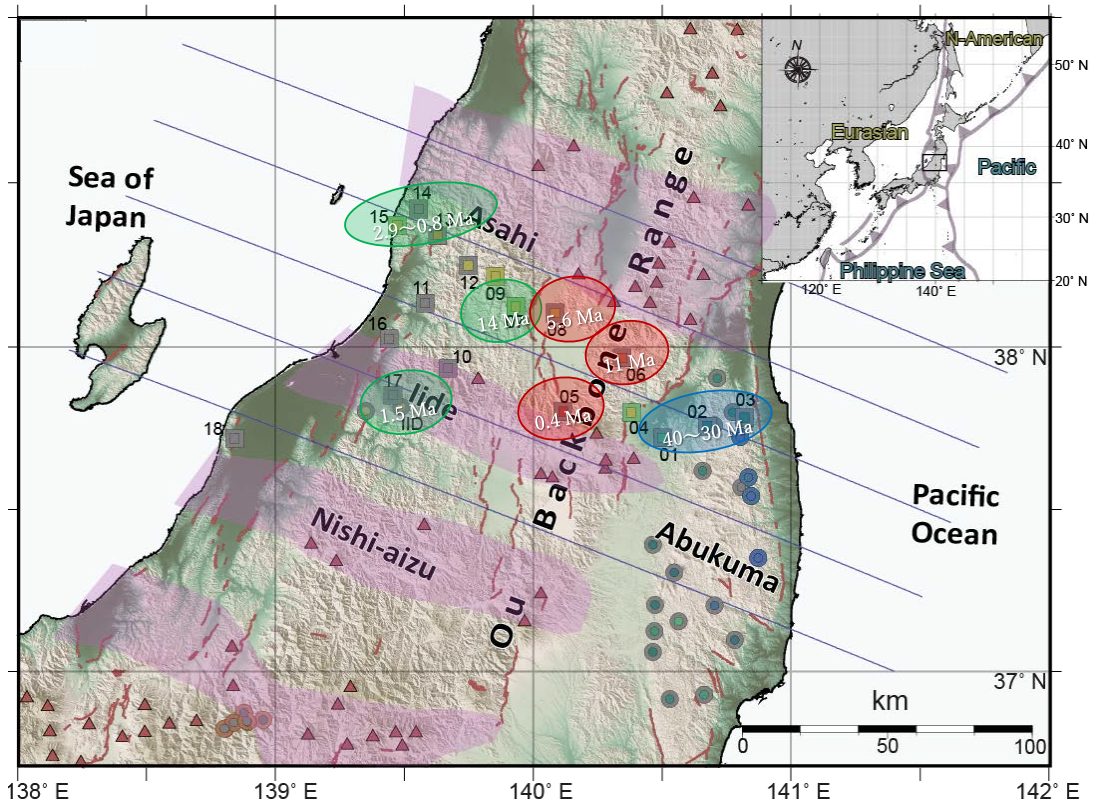

Figure 1. Last cooling episodes estimated from thermal inverse modeling using HeFTy in NE Japan Arc.

前弧側では新生代を通じて安定的な削剥環境にあり，アパタイトHe (AHe) 年代から求めた削剥速度 (Sueoka et al., 2017) とも整合的な < 0.05 mm/yrと比較的小さな値となった．しかしこの値は，海成段丘面の高度分布(Suzuki, 1989)や宇宙線生成核種 (e.g., Shiroya et al., 2010; Regalla et al., 2013) など，比較的短いタイムスケール (~10^5 yr) を対象とした地形学的手法から推定される隆起・削剥速度と比較して一桁小さい．このギャップは，古第三紀を通じて比較的安定的な削剥環境であった前弧側が，第四紀後期に入って隆起・削剥が加速したことに起因すると推察される．つまり，熱年代学から推定される削剥速度は，隆起・削剥が加速する前までの安定的な削剥環境を含む平均値であり，最終冷却からの削剥量は熱年代で検出できる削剥量 (約2 km) に満たないものと考えられる．これらの考察は，阿武隈山地に広く分布する隆起準平原 (木村, 1994) や，鮮新世末に隆起を開始したとする指摘 (太田ほか, 2010) からも支持される．

奥羽脊梁山地では，地点によって値に幅はあるが，AHe年代から計算した削剥速度 (Sueoka et al., 2017) とも整合的な0.1〜数 mm/yrの比較的大きな削剥速度が得られた．この値は，河成段丘による第四紀後期の隆起速度 (厳密には，やや北方の地点: 田力 池田, 2005) や，高度分散量を用いた短期間の削剥速度 (藤原ほか, 1999) とも調和的な値であり，第四紀の東西圧縮によって急激な隆起・削剥を被ったことが示唆される．ただし，最終冷却時期や年代の空間分布は，先行研究で指摘されるような逆断層による傾動pop-upモデル (e.g., Nakajima, 2013)では説明できず，むしろ山地の中心に向かって最終冷却時期が新しくなる傾向が見えてきた．

背弧側では，0.1~2.0 mm/yr程度の削剥速度が得られ，海成・河成段丘の分布高度から求められた隆起速度 (伊倉 太田, 2003; 宮内ほか, 2004) や，高度分散量を利用した削剥速度 (藤原ほか 1999) と整合的である．その一方で，同じ試料を用いたAHe年代による削剥速

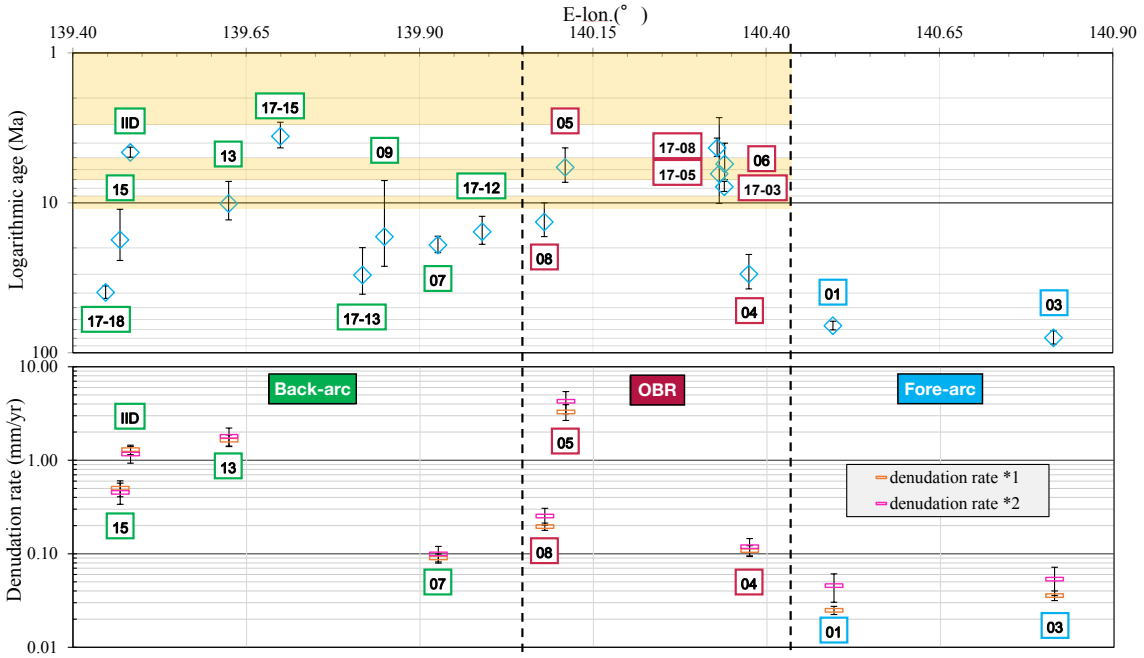

Figure 2. Previous and newer AFT ages, and denudation rates on S-profile. All error bars show 1 SE. Number boxes below the symbols indicate sampling codes skipped “A02-ST” or “A02-FST”. Uplift events at 3–1 Ma, 7–5 Ma, 12–9 Ma were plotted after Moriya et al. (2008) and Nakajima (2013) in the upper figure. In lower figure, *1: calculated using the data of Tanaka et al. (2004); *2: calculated using the data of AIST (2009).

度とは，誤差範囲を考慮しても一致しない地点が見られる．これは，冷却開始時の古地温がAHe法のPartial Retention Zone (PRZ) 内を始点としたため，冷却時期より古い見かけ年代が得られた可能性が考えられる．また，背弧側のテクトニクスモデルとして，Sato (1994) やAcocella et al. (2008)は，5〜3.5 Maに背弧側で著しく変形し，その後2〜1 Maに変形場が遷移するモデルを提唱した．しかし，最終冷却時期が奥羽脊梁山地と同様の時期である (Figure 1) ため，従来のモデルとは異なる結果となった．

高空間分解能の熱年代マッピング：予察

これまで述べてきたように，奥羽脊梁山地と背弧側では，熱年代学的な検討によって，先行研究との相違点が明らかになってきた．そこで筆者らは，さらに稠密な熱年代マッピングを行うことにより，隆起モデルやテクトニクスモデルを制約可能であると考え，奥羽脊梁山地と背弧側を対象に，新たにAFT分析を実施した．

予察的な結果ではあるが，奥羽脊梁山地では7.8〜4.3 Ma，背弧側では 39.6〜3.6 Maといったの AFT年代が得られた (Figure 2)．これまでに得られているAFT年代や熱史逆解析結果と総合すると山地の中心部でより急速な削剥が推定され (Figure 2)，奥羽脊梁山地では Nakajima (2013) などが指摘するような逆断層による傾動pop-upモデルよりむしろ，Hasegawa et al. (2005) から推定されるドーム状の隆起形態という推定を補強する結果となった（c.f. 末岡ほか，2015のFig. 12）．背弧側では，奥羽脊梁山地での変形と同時期と思われるような比較的若いAFT年代が得られ，Sato (1994) やAcocella et al. (2008) のモデルを再検討する必要性が示唆される結果となった．

ただし，これらの結果は，あくまでも見かけAFT年代にのみ依存して推定した結果であることに注意したい．今後はトラック長の測定と熱史逆解析を行うことで，より高精度な熱史の推定を目指す予定である．また，He法やZFT法などの複数の熱年代計の適用も課題である．

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：鷺谷 威）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．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

Acocella, V. et al., 2008. Structural control on late Miocene to Quaternary volcanism in the NE Honshu arc, Japan. Tectonics 27, 1–24.

藤原 治ほか，1999．日本列島における侵食速度の分布．サイクル機構技報, 5, 85–93.

地質調査総合センター 2009．全国地熱ポテンシャルマップ.数値地質図, GT-4

Hasegawa, K., Wakamatsu, K., Matsuoka, M., 2005. Mapping of Potential Erosion-Rate Evaluated from Reservoir Sedimentation in Japan. Japan Soc. Nat. Disaster Sci. 24, 287–301.

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, 394–405.

Ketcham, R.A., 2005. Forward and Inverse Modeling of Low-Temperature Thermochronometry Data. Rev. Mineral. Geochemistry 58, 275–314.

宮内嵩裕ほか, 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. 53–61.

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

太田陽子ほか，2010．日本列島の地形学．東大出版. P 220

Regalla, C., et al., 2013. Active forearc shortening in Tohoku, Japan: Constraints on fault geometry from erosion rates and fluvial longitudinal profiles. Geomorphology 195, 84–98.

Sato, H., 1994. The relationship between late Cenozoic tectonic events and stress field and basin development in northeast Japan stress. J. Geophys. Res. 99, 261–274.

Shiroya, K et al., 2010. Quantitative determination of long-term erosion rates of weathered granitic soil surfaces in western Abukuma, Japan using cosmogenic 10 Be and 26 Al depth profile. Geochemical Journal 44, e23–e27.

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 Sp. 1–18.

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. Geosci. Front. 7, 197–210.

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, 47–70.

Suzuki T., 1989. Late Quaternary crustal movements deduced from marine terraces and active faults, Joban coastal region, northeast Japan. Geograph. Rep. Tokyo Metro. Univ. 24, 31-42.

田力 正好, 池田 安隆, 2005. 段丘面の高度分布から見た東北日本弧中部の地殻変動と山地・盆地の形成． 第四紀研究． 44, 229–245.

田中 明子ほか，2004．全国地熱ポテンシャルマップ.数値地質図. DGM P-5.

U-Pb法を用いた東南極北東部の年代測定

西野紗也子*・長谷部徳子*・田村明弘*・石川尚人**

The dating of Northeast Antarctica by zircon U-Pb Method

Sayako Nishino*, Noriko Hasebe*, Akihiro Tamura*
and Naoto Ishikawa**

* 金沢大学，Kanazawa University
** 京都大学，Kyoto University

はじめに

南極大陸は地形と地質構造によりウェッデル海とロス湾を境にして東南極と西南極に分けられる．東南極楯状地は先カンブリア時代～古生代前期の岩石で成り立っている．このうちエンダービーランドは東南極の中でも非常に古い始生代の岩石が分布する範囲である．約7-10億年前にロディニア大陸の誕生に伴うグレンビルイベントが起こり，約5–6億年前にゴンドワナ大陸形成に伴うパンアフリカンイベントが起こった．東南極・オーストラリア・インド大陸から東ゴンドワナ大陸が，アフリカ・南アメリカ大陸から西ゴンドワナ大陸が形成された．しかし，約1億8000万年前に分裂し始め，現在の大陸配置となった(国立極地研究所，2004).

目的

高岡他(2013)と山本(2015)はアパタイトを用いたフィッショントラック法により，ゴンドワナ大陸が西ゴンドワナと東ゴンドワナ大陸に分裂して以降の冷却過程についていくつかの岩体について報告した(リュツォ・ホルム岩体(西側)；176–467Ma，リュッツォホルム岩体(東側) ； 350–380Ma，やまとベルジカ岩体；243Ma，ナピア岩体；268–425Ma)．本研究では同じ試料のジルコンでU-Pb測定を行い，この地域におけるゴンドワナ大陸やロディニア大陸形成の影響を調べ，より詳細な熱履歴を明らかにする．

U-Pb年代測定既報紹介

リュッツォホルム岩体西側では520–550Maや，1000Maという年代が報告されている（Shiraishi et al. 2003)．リュッツォホルム岩体の日の出岬では，西側とは異なり500Ma前後の値は見られないが約1000Maの年代が報告されている(本吉他，2005)．やまとベルジカ岩体からはリュッツォホルム岩体西側と同様の年代が出された(Shiraishi et al., 2003)．ナピア岩体では3500–3800Maに岩体が完成し，2800–3000Maに超高温変成を受け，約2500Ma以後は大きな変成は受けていないと考えられている(Harley and Black, 1997).

本研究ではリュツォ・ホルム岩体から8試料(E01，LANG1，SV1B，SV3，RK2，ARP04，HND01，NO2)，やまとベルジカ岩体から1試料(Y1)，ナピア岩体から4試料(0112101A，0112120A，0112901A，FH03)，全13試料についての分析を行った．

実験

ジルコンを写真撮影の後テフロンシートもしくは樹脂に埋め込み，中心くらいまで研磨した．研磨後，透過光による顕微鏡写真およびカソードルミネッセンス(CL)画像を取得し，ジルコンの内部構造を明らかにしたうえでLA-ICP-MSを用いてU，Pb濃度の測定を行った(Hasebe et al., 2013)．例を図1に示す.

算出した値を，コンコーディアダイアグラムにプロットし，コンコーディアにのったもの

のみをラディアルプロットで示した (図2).

結果と考察

ラディアルプロットで得られた年代はリュッツォホルム岩体西側で550–650Ma，日の出岬で970–1000Ma，やまとベルジカ岩体で550Ma，ナピア岩体で2500–2700Maとなり先行研究の結果と整合的だった（表1）.

リュッツォホルム岩体西側ではすべての試料でゴンドワナ大陸形成による影響（500–650Ma）が見られた．約1000Maのロディニア大陸形成による影響はリュッツォホルム岩体西側の全粒子中53％で見られたが，SV1Bの試料では確認することができなかった．リュッツォホルム岩体東側の日の出岬では西側と異なりゴンドワナ大陸形成の影響は見られず，約1000Maの年代が得られた．やまとベルジカ岩体についてはュッツォホルム岩体西側のSV1B，ARP04とよく似た結果が得られた．ナピア岩体では2500Ma以降の年代は出されず，原生代以降は安定していたことが分かった.

引用文献

Harley and Black. 1997. A revised Archaean chronology for the Napier Complex, Enderby Land, from SHRIMP ion-microprobe studies. Antarctic Science, 9, 74-91.

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

国立極地研究所. 2004. 南極・北極の百科事典. pp 518.

Shiraishi et al. 2003. Timing of thermal events in eastern Dronning Maud Land, East Antarctica. Polar Geosci. 16, 76-99.

本吉他. 2005. 東南極リュツォ・ホルム岩体，日の出岬変成岩類の帰属について．日本岩石鉱物鉱床学会講演要旨集，https://doi.org/10.14824/jampeg.2005.0.47.0.

高岡他. 2013. 南極・昭和基地周辺の岩石のアパタイトフィッショントラック年代測定. FTNL, 34-36.

山本. 2015. アパタイトーフィッショントラック法を用いた東南極北東部の年代測定，金沢大学卒業論文.

表1　結果

岩体名	採集地点	試料ID	粒子数	分析数	コンコーディアにのった分析数	年代（Ma）			
						パンアフリカンイベント	グレンビルイベント	その他	
リュッツォホルム岩体(西側)	東オングル島	E01	60	145	129	585±10	910±23		
	ラングホブデ	LANG1	28	97	55	593±16	802±44		
	スカルブスネス	SV1B	34	92	53	557±5			
	スカルブスネス	SV3	38	90	86	648±18	954±26		
	ルンドボークスコラネ	RK2	38	99	88	574±21	896±20		
リュッツォホルム岩体(東側)	明るい岬	ARP04	19	93	59	536±8			
	日の出岬	HND01	33	86	82		995±7		
	日の出岬	NHD06	18	92	79		972±8		
やまとベルジカ岩体	やまと山脈C群	Y1	33	111	32	548±4			
ナピア岩体	リーセルラルセン山地域	0112101A	12	35	32			2510±11	
	リーセルラルセン山地域	0120102A	7	61	42			2506±17	2696±39
	リーセルラルセン山地域	0112901A	18	91	48			2585±16	
	ファイフヒルズ	FH03	15	93	41			2559±35	2721±15

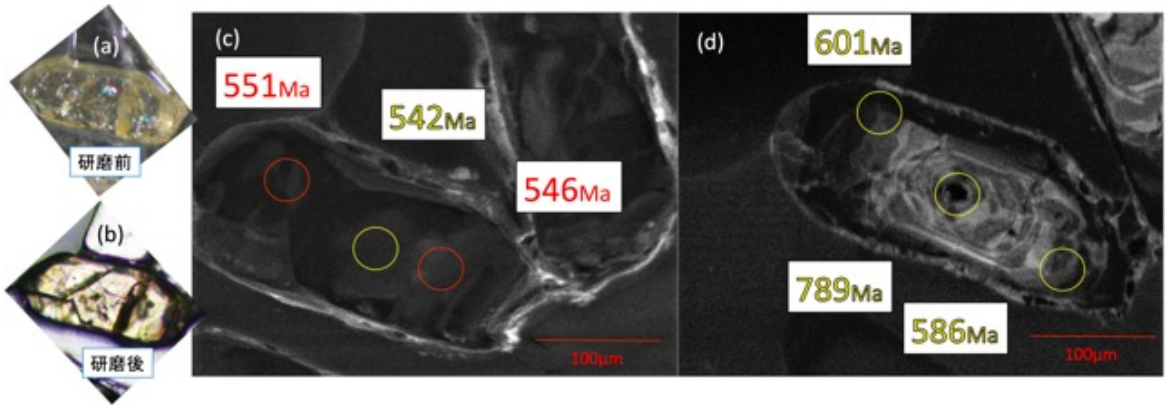

図１．Y1（やまとベルジカ岩体）のジルコン粒子を例として示す分析手順（a）　研磨前のジルコンの実体顕微鏡写真，（b）マウント後研磨したジルコンの透過光顕微鏡写真，（c）研磨1回目のCL画像と$^{206}Pb/^{238}U$年代，　赤丸はコンコーディアにのった測定点，黄丸はコンコーディアにのらなかった測定点．（d）研磨2回目のCL画像と$^{206}Pb/^{238}U$年代測定．

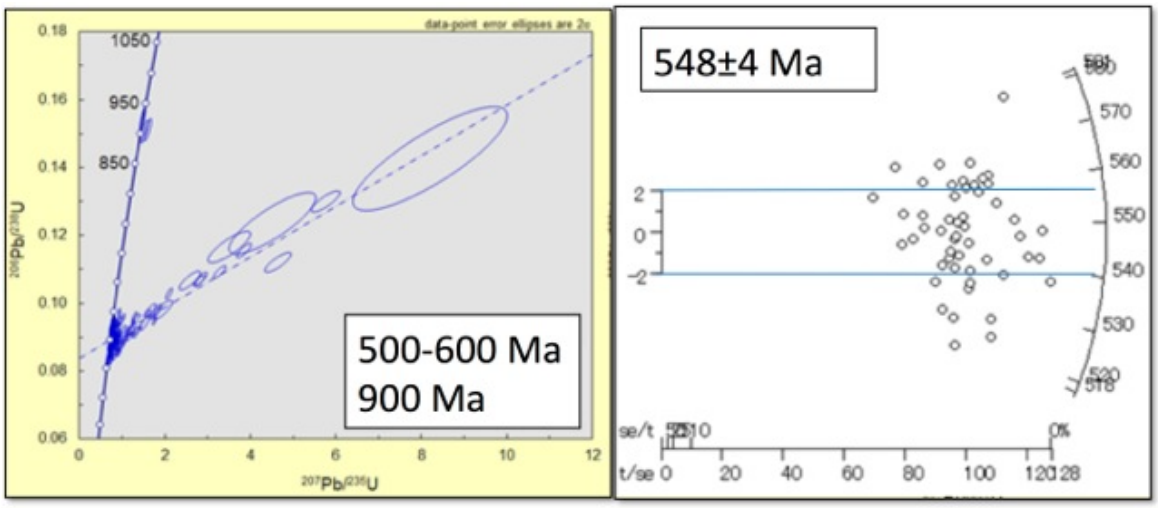

図２．Y1（やまとベルジカ岩体）を例にして示すコンコーディア図とラディアルプロットによる年代値．左図の数字はディスコーディアとコンコーディアの交点の年代，右図の数字はラディアルプロットによる中央値．

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

早坂怜*・長谷部徳子*・松木篤*・福間剛士*・田村明弘*

Alpha recoil track dating on zircon by using atomic force microscope

Rei Hayasaka*, Noriko Hasebe*, Atsushi Matsuki*,
Takeshi Fukuma* and Akihiro Tamura*

* 金沢大学，Kanazawa University

はじめに

ART（Alpha Recoil Track）は^{238}Uやその娘核種（^{234}Uや^{230}Th等）がα崩壊をする際に生じた運動エネルギーにより，残った原子核がその反動で動き残す損傷のことをいう．ART法はα崩壊によって生じるART数が時間とともに増えることを用い，ART数とウラン・トリウム濃度を測定することで年代値を算出する方法である．ウラン・トリウム濃度が高いジルコンにおけるART法では，第四紀に相当するおおよそ数百から数万年前の比較的若い試料の年代測定が可能になると考えられており，従来の年代測定法と併用することでクロスチェックにも貢献できると期待される．また第四紀は人類が出現し始めた時代である．例えば第四紀の広域テフラ中のジルコンから年代を決定することができれば，海洋堆積物や湖沼堆積物の層序の理解が深まり，歴史時代の環境変動について考察が深まると予想される．また土器中のジルコンの年代測定を行うことができれば，土器の作られた年代を求めることができるとも考えられる．ジルコンにおけるART法が確立されることで，地学を始めとした多岐にわたる学術分野の発展が見込まれる．

ARTはFT（Fission Track）よりも非常に小さいことから光学顕微鏡での観察が困難であったが，近年ナノオーダーの高い分解能を持つAFM（Atomic Force Microscope）を用いることで観察が可能となった．早坂他 (2016) では実際にジルコンにおいてARTを計数し年代測定を行ったが，得られた年代値は期待される年代よりかなり若くなってしまった．本研究では引き続き，年代既知のジルコンを用いてARTの観察ならびにART法への適用を行い，得られたデータや課題からART法の確立に向け考察を深めていくことを目的とした．とくにARTの段階エッチング挙動を観察し，ARTのエッチングに関する基礎を深めることを試みた．

研究手法

広域テフラTo-H (年代値約1万3000年；町田・新井,1992) およびU-Oki (年代値約1万年；町田・新井,1992) の給源から採集したジルコン (ToH3とUO302) を観察した．また早坂ほか (2016)で観察した，ATテフラの給源である入戸火砕流のジルコン（22ka~25ka ；町田・新井，1992，もしくは ~29ka ：Miyairi *et al.*，2004）（ITO）については段階エッチングを通したARTの形状観察を行った．

結果と考察

ART計数に基づく年代決定

ＡＦＭ観察の結果，ＴｏＨ３からは0.046個/μm^2，UO302からは0.009個/μm^{2}のARTトラック密度が得られた．しかしToH3ジルコンには顕微鏡での観察でFTが多く認められたため，基盤から混入したものである可能性がある．

ウラン・トリウム濃度測定を行い，年代を計算したところ，やはりどの粒子も期待年代の10~40%の値となり若くなった．小坂ほか（2015）による白山火山等の結果も合わせ，図1となった．年代値が若く見積もられる原因としてARTの認定基準や年代式に入るARTのサイズに依存する係数の問題が挙げられる．またART面密度にはばらつきが見られ，ART観察領域とウラン・トリウム濃度測定領域がうまく一致しないと年代測定結果に大きな誤差をもたらすことになることも懸念される．

段階エッチングによるART形状変化

本研究では観察に際し試料に10時間のエッチングを施しているが，ITO試料に追加エッチング（合計20時間，および合計30時間）を施し，ARTの形状がどのように変化するかAFM観察を行った（図２）．同一のARTを追加エッチング前後で比較したところ，計20時間エッチングでは直径が0.047μm/h，深さが0.49nm/hの速さで，計30時間エッチングでは直径が0.025μm²/h，深さが1.41nm/hの速さで大きくなった．計20時間エッチングと計30時間エッチングの両方においてARTのサイズが大きいほど，直径や深さの延長率が高くなる傾向がみられた．直径は10~20時間のエッチングの際に高い伸長率を持つ傾向があり，これはART生成時に周辺のジルコン構造に損傷が加わりその領域のエッチングが起こりやすくなったためと考えられる．直径が小さく深さが非常に浅いARTは10~20時間のエッチングを通じて直径は大きくなるものの深さはあまり変わらない．このことから，小さなARTのエッチングでは，直径を大きくする初期段階があり，直径が大きくなることでエッチング液がトラックに入り込み易くなり，深さ方向のエッチングが発生すると考えられる．

段階エッチングを通じ，FTが分散してプロットされる一方でARTが直線的に分布することが分かった（図３）．このことから，この直線にプロットされるトラックをARTとして認定に用いることができると考えられる．また当初はARTと認定されたが，段階エッチングを通じ他のARTとは異なる挙動を示したトラックも確認され，トラックに段階エッチングを行い同一トラックが直線的にプロットされるかを確認することで，ARTではないトラックを除くことができる可能性が示された．

むすび

ART法を用いた年代測定では年代値が若く見積もられる傾向が見られた．この原因としてARTの認定基準や年代式の誤りが考えられる．また段階エッチングを通じARTが直線的に分布することが分かった．これはFTとは異なる挙動であり，ARTの認定に用いることができると考えられる．ジルコンにおけるART法にはまだまだ不明な点が多いが，ARTの研究をすることは，年代学的・鉱物学的に非常に重要であると思われる．引き続きデータ数を増やしARTの基準や年代式などを考えていくことで，今後の研究発展に大きな期待ができる．

参考文献

早坂ほか. 2016. 原子間力顕微鏡による入戸火砕流ジルコンの観察．フィッショントラックニュースレター，29, 16-19.

小坂ほか. 2015. 原子間力顕微鏡を用いたジルコン中のアルファリコイルトラック観察の試み．フィッショントラックニュースレター, 28, 13-15.

町田・新井. 1992. 火山灰アトラス，東京大学出版.

Miyairi et al. 2004. Improved ^{14}C dating of a tephra layer (AT tephra, Japan) using AMS on selected organic fractions. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 223–224, 555–559.

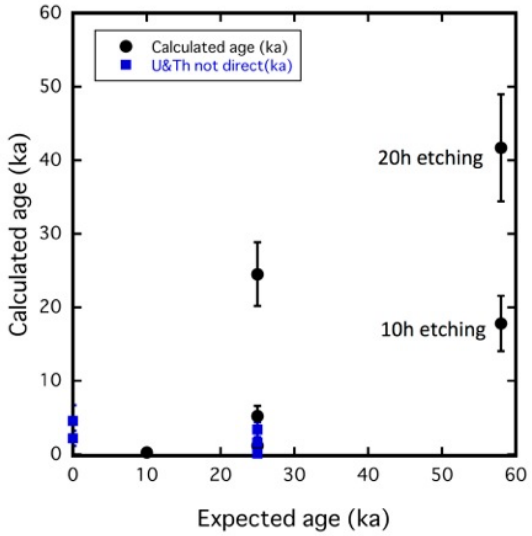

図1．AFM年代測定結果の期待年代に対するプロット．■は直接U・Th測定ができなかったため，平均的な試料のU・Th濃度を利用して年代を計算したもの．白山火山の結果のみ20hエッチング後の値も載せてあるが他は10hエッチング後の観察結果に基づいている．

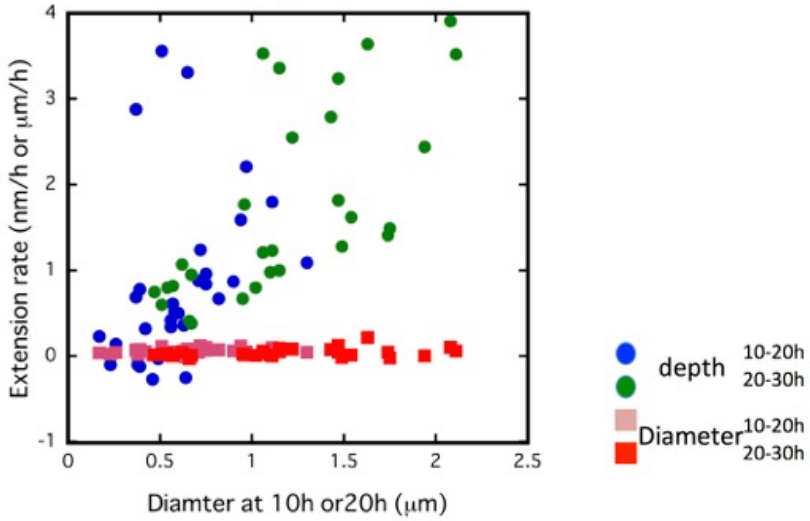

図２．ITOの段階エッチングでみられたエッチピット（ART）の伸張率．

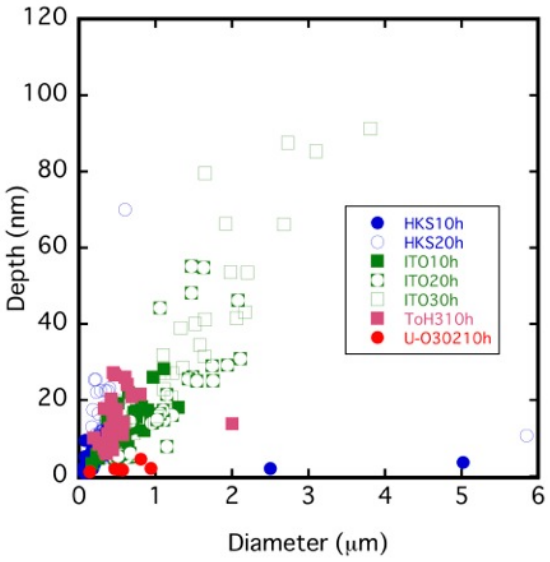

図３．観察されたエッチピット（ART)の直径と深さの関係．

フィリピンパラワン島における炭酸塩の熱ルミネッセンス年代測定

河原弘樹*・長谷部徳子*・小形学*・福士圭介*・田村明弘*・藤井直樹**・山川稔**

Thermoluminescence dating of carbonates from Palawan island of the Philippines

Hiroki Kawahara*, Noriko Hasebe*, Manabu Ogata*, Keisuke Fukushi*, Akihiro Tamura*, Naoki Fuji** and Minoru Yamakawa**

* 金沢大学，Kanazawa University
** 原子力環境整備促進・資金管理センター, RWMC

はじめに

原子力発電に伴って発生する放射性廃棄物の人工バリアでは，セメント系材料から溶出する高アルカリ水とモンモリロナイトを主成分とするベントナイト緩衝材との相互作用により，サポナイトという鉱物が生成される可能性がある．モンモリロナイトからサポナイトへの変質は同じスメクタイト族の粘土鉱物への変質であり，人工バリアの緩衝材に安定性をもたらすとされ，その反応プロセスと反応時間の評価が必要とされている．

フィリピン，パラワン島ではオフィオライトを起源とする高アルカリ地下水が岩盤の割れ目に沿って上昇し，サポナイトを含む砕屑性堆積物と接触する．砕屑性堆積物の直上に堆積した炭酸塩層の年代を熱ルミネッセンス年代測定により算出することで高アルカリ地下水が湧出した時期を調べ，高アルカリ地下水と砕屑性堆積物との反応時間を設定し，アルカリ環境下でのサポナイトの安定性を評価することを目的に研究を行った．また，炭酸塩試料の熱ルミネッセンス特性を調べることも研究目的とする．

試料と実験

試料について

フィリピンパラワン島ナラ地区の炭酸塩に掘られたトレンチ壁より垂直方向に異なる層準で採取した４試料（上からPWT01-15-Rc-001，PWT01-15-Rc-004，PWT01-15-Rc-007， PWT01-15-Rc-010A) を対象に年代測定を試みた．なお，XRD分析により試料は方解石からなると同定された．本試料は方解石であるにも関わらず，その発光曲線の形状はアラゴナイトの標準試料（サンゴ:GSJ CRM JCp-1)の発光曲線と類似している（図１）．そこで，その要因を調べるために以下の実験を行った．

①合成試料との発光曲線の比較

方解石の発光量を増加させるMnを添加した合成方解石と無添加の合成アラゴナイトを用いてTL測定を行い，発光曲線の比較を行った．

②結晶度測定

試料の結晶度を調べるために，Scherrerの式(Scherrer,1918)を用いて本試料とMn添加合成方解石の結晶子サイズを調べ，比較を行った．

③微量元素濃度の比較

小形（2014）にて使用された天然方解石と本試料の微量元素濃度を比較し，熱ルミネッセンスに影響を与える微量元素を調べた．

④粒径や乾燥法の違いによる熱ルミネッセンスの変化

粒径によって粒子の起源や結晶度が違うのではないかと想定し，250μm以下のものと250μm以上のものをふるい分けし，発光曲線を比較した．また，試料調整法が影響している可能性を考え，様々な乾燥法 (77℃乾燥，100℃乾燥，凍結乾燥) で乾燥した本試料のTL測定を行い，発光曲線を比較した．

年代測定

蓄積線量測定には試料から一つのアリコート(試料皿)を取り出し，放射線照射とTL測定を繰り返し行い検量線を引く方法であるSAR (Single-aliquot regeneration) 法を使用するのが一般的とされている．しかし，パラワン島の方解石は繰り返しの加熱により熱ルミネッセンスの形状が大きく変化してしまうので，SAR法は適用できない．そこで，試料をいくつかのアリコートに分割し，異なる量の放射線を与えてからTL測定を実施するMAAD (Multi-aliquot additive dose) 法を用いて蓄積線量測定を行った．

結果と考察

合成アラゴナイトの発光曲線をみると，放射線未照射にも関わらず十分な発光を示す．X線を合成アラゴナイトに100Gy照射してもシグナル強度はあまり増えない (図１)．このことから，アラゴナイトの熱ルミネッセンスのほとんどは放射線欠損由来でなく，構造欠陥由来の発光であると考えられる．本試料の発光曲線はアラゴナイト型を示すことから構造欠陥由来の発光を含んでいる可能性がある．

結晶成長が不十分であるために構造欠陥が増えた可能性を吟味するために，結晶子サイズを算出した結果，合成方解石と本試料とでは結晶子サイズの大きさにあまり差が見られなかった．微量元素濃度の比較を行った結果，測定試料においてNa，Al，Mo，Ba，Pbが最も高い値を示した．これらが構造欠陥を招き熱ルミネッセンスに影響を与えている可能性はあるが，確証は得られなかった．また，測定試料準備の際の粒径，乾燥法の違いは，発光量に多少の差をもたらしたものの，発光曲線の形状に大きな違いは見られなかった．したがって，今回様々な観点から構造欠陥の要因を調査したが，決定するに至らなかった．

MAAD法により得られたPWT01-15-Rc-007の発光曲線を図２に示す．放射線応答性の見られる200～280℃シグナルを用いて蓄積線量を求めて年代を算出したところ，上位の試料の方が下位の試料に比べて年代値が大きくなるなど矛盾した結果となった．またどの試料も10万年を大きく上回る結果となった．しかし本試料は現在も湧出しているアルカリ水が沈積したもので，比較的若い年代が期待されている．同地域から採取された炭酸塩やそれに含まれる有機物の^{14}C年代測定から年代は2000～10000年程度とみられており，その予想に反する．これは200～280℃の間に存在するピークが構造欠陥による発光の影響を受けてしまい，過大評価されていることが考えられる．そこで，典型的な方解石の発光曲線のピーク位置を参考に本試料の発光曲線を4つのピークに分離した (図3)．その結果を利用して計算した年代はどの試料においても若くなったが依然10万年を超える値であった．この原因としては200～280℃に存在するピークにも構造欠陥が含まれている可能性が考えられる．より正確な蓄積線量を測定するためには，本試料の正確なルミネッセンスサイトの特定や構造欠陥由来の発光に関するさらなる研究が必要である．

謝辞：本研究は経済産業省資源エネルギー庁の「平成29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（TRU廃棄物処理・処分技術高度化開発）」の一環として行った．

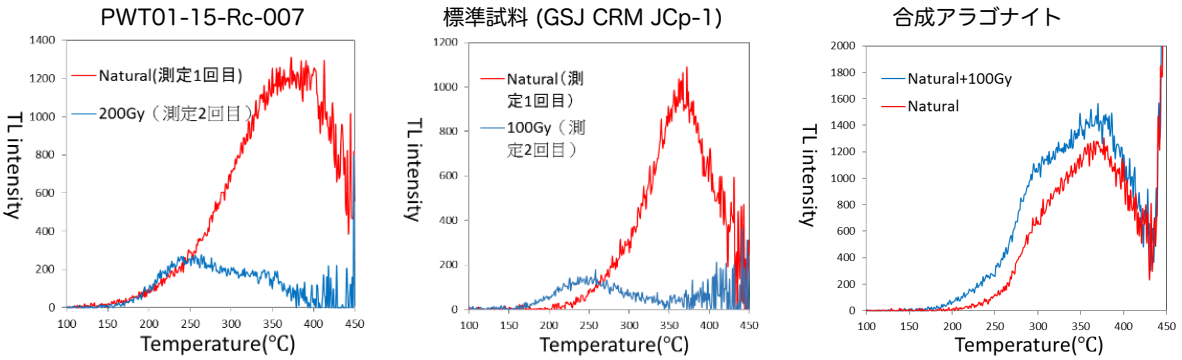

図１．本研究で分析した試料の代表的な熱ルミネッセンスグローカーブとアラゴナイトの標準試料，および合成アラゴナイトの熱ルミネッセンスグローカーブとの比較

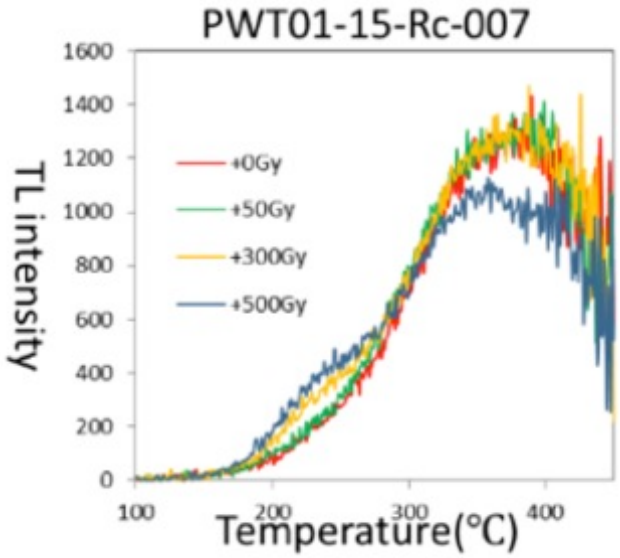

図２．MAAD法による熱ルミネッセンスグローカーブの例

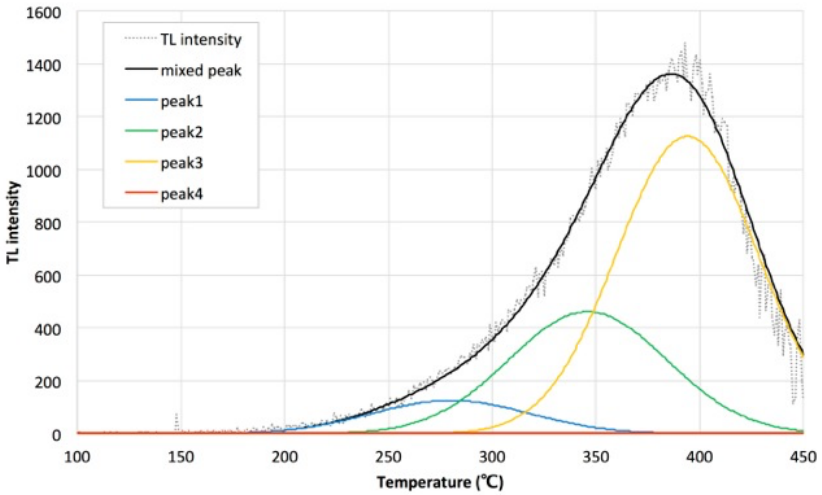

図３．ピーク分離の例 (PWT01-15-Rc-001)

フィッション・トラック　ニュースレター　第 31 号　26-29　2018 年

Thermo 2018 @ Quedlinburg の参加報告

福田 将眞*・末岡 茂**・田上 高広*

Report on the International Conference on Thermochronology 2018 at Quedlinburg, Germany

Shoma Fukuda*, Shigeru Sueoka and Takahiro Tagami***

*京都大学大学院理学研究科，Graduate School of Science, Kyoto University
**日本原子力研究開発機構，Japan Atomic Energy Agency

概要

第 16 回熱年代国際会議（Thermo2018）が，2018 年 9 月 16〜21 日にドイツ，ザクセン＝アンハルト州の Quedlinburg で開催された．ハルツ山地の北西に位置する Quedlinburg は，世界文化遺産に登録される古い街並みであり，9 世紀ごろまで遡る建造物が残る歴史のある地域である．宿泊地は多くがアパートメントスタイルで，共同研究者同士や教員と学生の組み合わせなど，他の参加者と共同で宿泊することも少なくなかった．プログラムは，1，4 日目が基礎研究中心，3 日目が field trip，2，5 日目が応用研究中心という構成であった．

参加人数は，主催者発表によると，計 29 ヶ国から約 250 人（＋15 人の招待講演者）が出席し，うち 31％が学生となった．Thermo2016（ブラジル）の約 150 人に比べると，ヨーロッパでの開催というのも幸いし，Thermo2014（フランス）に並ぶ規模であった．国別の内訳は，欧米主要各国の参加が大半であり，前回までと比較すると特に中国からの参加者が増加したと思われる．近年，科学技術の進歩の目覚ましい中国が業界を席巻する日も近いかもしれない．日本からの参加者は，福田 将眞・田上 高広（京都大），末岡 茂（原子力機構），長谷部 徳子・田村 明弘（金沢大），岩野 英樹（京都 FT）の 6 名となった．

今回の会議では，ランチタイムが 1 時間の上，ポスターセッションの発表時間とも組み合わせており，他の会議と比較してタイトなスケジュールだと感じた．会場周辺には参加者の人数をカバーできる数の飲食店がなく，昼食後の午後の講演に遅れて聴講する人もしばしば見られた．その一方で，長蛇の列を作るものの会場内で昼食が提供されるのは大変に魅力的で，参加者は昼食を取りながら和気藹々と議論や会談を楽しんでいたように思う．

講演

講演件数は，口頭発表が 69 件（内，keynote 4 件）と，ポスターが 150 件の計 219 件と盛況であった．ポスター会場は，小さい部屋を複数組み合わせた特殊な構造になっていたために，連日すし詰め状態になっていた．掲示期間は 2 日間と長めに確保されており，比較的じっくりと眺めることができたと思われる．発表は基礎研究よりも応用研究の発表件数が圧倒的に多い印象があり，大陸進化の議論から気候と地形との

interaction まで幅広い研究背景の発表が行われた．研究対象も passive continental margin から衝突山地，堆積盆や断層帯まで様々であり，各国の多様な地形的・地質的背景を反映していた．開催国ドイツの発表は，応用研究が中心であり，研究対象はヨーロッパに限らず南アメリカや中東アジア，アフリカなど様々な地域で実施している印象を持った．また，超低温熱年代計として期待される OSL/TL や ESR，宇宙線生成核種などの講演も登場し，今後の国際会議では新しい手法による研究成果の発表にも期待したい．

以降，筆者が今大会を通じて印象に残った発表を紹介する．また，筆者の専門は FT 法であるため，FT 法の講演に多くの関心があったことを付記しておく．

（1）新しい熱年代計の検討

Flowers et al. では，He の拡散実験をもとに rutile や titanite を用いた(U-Th)/He 法を検討しており，閉鎖温度はそれぞれ 70～200℃，200～300℃と推定された．他にも spinel の He 法の検討（Emily et al.）や，Cf トラックから monazite の FT 法のアニーリング特性を調べた研究（Sean et al.）など，今後新しい熱年代計の開発が期待される．

（2）断層熱年代

Alexis Ault 氏は，断層鏡肌の hematite の (U-Th)/He 年代測定を試みていた．断層運動による局所的な加熱により，hematite の再結晶化が起き，その際の熱リセット（脱ガス）を利用するという方法であった．対象鉱物が hematite である以上，適用できる地域・地質は限定されるものの，断層の活動年代を推定する手法の一つとして有効である．

（3）FT 法関連

Paul O’Sullivan 氏は，年代標準試料を用いて EDM と LA-ICP-MS から FT 単粒子年代プロットの比較を行っていた．結果は，加重平均年代で両者は整合的な値となるものの，LA-ICP-MS 法では単粒子年代のばらつきが大きくなり，カイ二乗検定に失格しやすいというものだった．Paul Green 氏は，AFT 法を堆積環境に適用した場合，得られる熱史（埋没史）は最大被熱温度と時期が推定されるのみで，複雑な天然の現象と単純化されたモデルとの間には不一致があることを主張した．更に，kinetic parameter として全粒子で Cl 濃度の測定の必要性を強調し，D_{par} の使用を懐疑的に捉えていた．他にも，エッチング条件を変えながら測定者間での FT 長・D_{par} 測定の比較を行った研究（Ling et al.）や，FT の形状からトラック長測定に適格なトラックを選別するべきという主張（Jonckheere et al.）など，FT 法の研究の幅広さ・奥深さを感じた．

（4）日本アルプス関連

世界で最も若い花崗岩が報告されている飛騨山脈の黒部地域では，第四紀の氷河に削られてできた地形が広く見られる．そのため，気候変動やテクトニクスと隆起・削剥の関係性が注目されており，超低温領域の熱年代学の適用が期待されていた．今回の講演で，ZHe 年代測定（Ahadi et al.）や，OSL・ESR の熱史解析（King et al.），地質圧力計の適 (Sueoka et al.)により，1~10 mm/yr に至る冷却・削剥速度が検出されるという目覚ましい成果が得られつつある．

Mid-conference field trip

ドイツの北方に分布するハルツ山地への

野外巡検が行われた．巡検スポットは，① Devil's wall，② Witches' Dancing Place，③ Brocken mountain 山頂であった．ハルツ山地はその複雑な形成史に伴って，地質も複雑な様相を見せる．大まかには，デボン紀の堆積岩類に対して，白亜紀後期に花崗岩類が貫入し，ホルンフェルスなどの変成岩が形成した．その後，プレートの北進によって砂岩層がめくれ上がるように変形し，現在の様子に至っている．今回は参加人数 200 人以上と多いためか，前日に Witches' Dancing Place までの登山は急遽希望制（6 割）となり，残りの参加者は負担の少ない旧市街への観光とショッピングへと変更になった．筆者のグループは巡検の案内人がほぼ機能しておらず，時間の都合でストップ①を省略した．他の班でも，同様のことが確認されており，時間配分や下見の重要性，案内人との綿密な連携の必要性を強く感じた．最後のストップ③では，蒸気列車の中から道中の風景や山頂での記念撮影を楽しんだ様子だった．

Short Course

6 日目は希望者のみで，熱年代学の応用研究の要となる各種ソフトウェアの講習が行われた．参加者数はおよそ 50 人程度で，多くは学生ないし若手研究者であったが，ベテラン研究者の姿も少なくなかった．今回は 4 つの講習で予め希望者を募り，同時並行の形式で進行した．1 つ目は，Melbourne 大学の Barry Kohn 氏による Fast Track を使った自動計測システムの紹介であった．顕微鏡で撮影した一定深度ごとの画像から一定基準でトラックを認定するというもので，FT 法の効率化および半自動化が図れる優れたソフトである．そのほかの講演は現在では応用研究で広く用いられている各種ソフトウェアに関して，製作者自ら基本理念や操作方法等の解説が行われた．講演者は，HeFTy 製作者の Richard Ketcham 氏，QTQt 製作者の Kerry Gallagher 氏，Pecube 製作者の Jean Braun 氏の 3 名であり，各ソフトの操作方法から結果の解釈まで懇切丁寧に指導をしてもらえる貴重な経験となった．一般的に，ソフトウェアの操作を 0 から学習するのは難しく，良い機会に恵まれた．

表彰

Dodson Award には Andrew Carter 氏，Laslett Award には Günther Wagner 氏，今年から新設の Charles & Nancy Naeser Award には Alexis Ault 氏と Marissa Tremblay 氏が選ばれた．また，学生の発表についても，口頭とポスターそれぞれに 1 名ずつ表彰され，副賞として 2018 年に刊行された FT 法の教科書が贈呈された．

次回以降の開催地

次回の Thermo2020 は，アメリカの Santa Fe で開催予定である．2022 年開催国のイタリアからもプレゼンがあり，開催都市や field trip の案などの紹介があった（表 1）．2024 年開催予定国は日本とカナダが名乗りを上げた．現在 200 人強の参加者は今後ますます増えると思われ，全参加者を収容可能な会場や field trip など，今後は LOC を中心としたメンバーによる綿密な連携と準備の必要性を強く感じた．

表 1　Thermo 開催予定国一覧

年度	開催国	都市	責任者	Mid-conf. field trip
2020	アメリカ	Santa Fe	D. Stokli, R.A. Ketcham	Fish Canyon
2022	イタリア	Riva del Garda	M.L. Balestrieri, M. Zattin	The dolomites, adamello
2024	日本？	京都＆金沢	長谷部 徳子 田上 高広	野島断層博物館？
	カナダ？	Banff	D. Schneider, E. Enklemann	Canadian Rockies?

会場の様子@Palais Salfedt

Award Ceremony@Baumannshöhle

Brocken mountain 山頂

次回開催国はアメリカ

第 42 回日本フィッション・トラック研究会実施報告

末岡　茂

第 42 回日本フィッション・トラック研究会は，2018 年 2 月 10 日（土）～12 日（月）の 3 日間にわたり，東京都立川市の国立極地研究所で開催されました．ここ数年，もはや恒例となっていますが，今回も 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でした．参加者は 60 名に達し，ここ数年では最大の人数となりました．研究発表件数は 33 件（うちポスター3 件，特別講演 2 件）で，例年に劣らぬ活発な発表と質疑が行われました．

今大会の特色のひとつは，岡山理科大の豊田　新先生の肝煎りで，「線量計測セッション」が開催されたことでした．近年は年代測定にスポットが当たりがちですが，元来 ESR 応用計測では年代測定と線量計測が 2 本柱であったことや，両者には共通する課題が少なくないことなどが，本セッションの開催に至った理由のようです．翻って見ると，FT 法も中堅以下の世代には当然のように年代測定法として認識されていますが，FT 年代測定法の黎明期である 1960 年代後半～1970 年代の文献を見ますと，国内でも線量計測を含めた様々な応用研究が模索されていたことがわかります（例えば，坂上正信（1973）「粒子トラックとその応用」，南江堂）．

また今大会では，今年度で退職を迎えられる岡山理科大の蜷川清隆先生と，北海道教育大の雁沢好博先生には，特別講演と称して，これまでの研究人生についてご講演をいただきました．各人 50 分という長めの持ち時間でしたが，ユーモアをたっぷり交えた語り口に引き込まれ，終わってみればあっという間の 50 分×2 でした．お二人とも紆余曲折な研究人生でしたが，様々な工夫や出会いを通じて新たな成果を創出していく様は，特に若い方々には勉強になったのではないかと思います．

研究会の準備と開催にあたっては，奈良女子大の高田将志先生，日本電子の島田愛子さん，極地研の三浦英樹さん，奥野淳一さん，外田智千さんには，大変お世話になりました．開催地である極地研は，研究所周辺は閑静な環境ながら，立川駅周辺の繁華街まではモノレールで数分という恵まれた立地でした．日中の研究会はもちろん，宿泊施設や夜の懇親会を含めて，満足度の高い研究会だったのではないかと思います．また，1 日目には，巡検として，南極・北極科学館の見学も開催され，同館所有の貴重な資料の数々を楽しむことができました．次年度の合同研究会は，広島での 12 月開催（ただし AGU 期間は避ける）を目標に，他の研究会の会長と調整中です．

出席者（所属）：
浅田瑞枝（自然科学研究機構），天野英樹（岡山大），五十嵐雄大（金沢大），郁芳隨徹（龍谷大平安高），伊豆本幸恵（量研機構），伊藤一充（産総研），伊藤久敏（電中研），井上一

彦（鶴見大），Udaanjargal Uyangaa（金沢大），大橋聖和（山口大），岡　壽崇（東北大），小形　学（金沢大），小川原　亮（量研機構），奥野淳一（極地研），小畑直也（蒜山地質），上口　椋（金沢大），河原弘樹（金沢大），雁沢好博（北教大），菊池龍太（北教大），三寶 真琴（金沢大），宍倉　愛（京都大），下岡順直（立正大），島崎達也（熊本大），島田愛子（日本電子），白井（水上）香奈江（丹沢 T 探究会），新正裕尚（東経大），末岡　茂（原子力機構），高田将志（奈良女大），田上高広（京都大），田中桐葉（東北大），谷　篤史（神戸大），田村明弘（金沢大），檀原　徹（京都 FT），寺井　周（北海道電力），徳安佳代子（地域地盤），豊田　新（岡山理大），中井康博（香川大），中村敏和（分子科学研），西戸裕嗣（岡山理大），西野紗也子（金沢大），西村周作（原子力機構），仁田祐輔（岡山理大），蜷川清隆（岡山理大），長谷部徳子（金沢大），早坂　怜（金沢大），廣田誠子（広島大），福田将眞（京都大），外田智千（極地研），三浦知督（金沢大），三浦英樹（極地研），水田幸男（日本電子），箕輪健太郎（北海道電力），三宅　実（香川大），宮脇昌弘（原子力規制庁），村橋美香（岡山理大），村松敏雄（新潟大），山口一郎（保健医療科学院），山崎誠子（産総研），山中千博（大阪大），吉井　裕（量研機構）
（計 60 名，敬称略，五十音順）

第 42 回フィッション・トラック研究会総会報告

2018 年 2 月 14 日
文責：末岡　茂

1. 普通会員 13 名の出席と委任状 14 名分が得られたことから，普通会員 1/5 以上の出席および委任状をもって，総会は成立した．
2. 今年度の活動状況について報告した．
3. 2016 年度の会計報告，会計監査報告を行い，承認された．
4. 来年度の執行部体制は現執行部から，庶務を安間　了氏から山田隆二氏に変更して臨むことが提案され，承認された．
5. 2018 年度の活動計画を提示し，承認された．
6. Thermo2018（ドイツ）に関する諸連絡が行われた．

以下の計 16 名の方々からは総会に関わる委任状をいただきました．ご協力いただき，ありがとうございました．猪又　竜，岩野英樹，木村純一，宍倉　愛，竹内圭史，檀原　徹，檀原有吾，中里裕臣，西村　進，林　広樹，星　博幸，松浦秀治，三浦知督，森本祐一郎，山田隆二，湯口貴史（五十音順，敬称略）

※ 宍倉　愛さんと檀原　徹さんは，総会に出席されましたので，上記 1.では委任状提出者ではなく，総会出席者として集計しています．

日本フィッション・トラック研究会の皆様

フィッション・トラック ニュースレター第３１号（２０１８年）の原稿を募集いたします.
例年のとおり，東京，国立極地研究所での第４２回フィッション・トラック研究会（ESR応用計測研究会・ルミネッセンス年代測定研究会　合同研究会）で講演された方は講演要旨（Proceedings, Extended abstracts）としての原稿をお願いいたします．投稿期限を「７月中旬」とし，編集作業をはじめたいと思います．もちろん早ければ早いほどありがたく存じます。
研究会に参加されていない方も査読付きの「論説／総説」や「研究ノート」としての投稿をお待ちしております.

本誌はウエブサイト（http://ftrgj.org/index.html）でのPDFによる発刊・配布とし，基本的に冊子としての刊行はありません.
原稿の準備につきましては下記のとおりとなっております.

原稿の投稿の際は，テキスト（本文，文献，図の説明）と図表（カラー可）は，それぞれ別のファイルとしてお送りいただけるようお願いいたします（基本的にはレイアウトの必要はありません）.

以下に投稿規定および投稿要領を掲載します.

ーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーー

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.

FTニューレター投稿要領（２０１８年）

１．発行は，２０１８年１０月頃を予定しています．

２．原稿の締切りは，２０１８年７月中旬とします．
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．

＊基本的には段組等レイアウト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等のワープロソフト
＊＊＊「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．内容や図表の改訂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（こちらでの最終的な編集原稿の校正の際にもレイアウト等の変更が可能です）．

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．

２０１８年３月

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３１号（2018）
発行日　２０１８年１２月１５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
末岡　茂（sueoka.shigeru@jaea.go.jp）
〒509-5102　岐阜県土岐市泉町定林寺959-31
国立研究開発法人　日本原子力研究開発機構