

## 十和田火山, 先カルデラ期～カルデラ形成期テフラの放射年代測定

工藤 崇<sup>1,\*</sup>・小林 淳<sup>2</sup>

Takashi Kudo and Makoto Kobayashi (2013) Radiometric Dating of tephtras from Pre-caldera and Caldera-forming stages, Towada volcano, Northeast Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 64, p. 305-311, 2 figs, 2 tables.

**Abstract:** Towada volcano is an active volcano located in the northern part of the Northeast Japan arc. We carried out fission-track (FT) and AMS radiocarbon (<sup>14</sup>C) dating of tephtras from Towada and Hakkoda volcanoes to establish a detailed eruptive history during the Pre-caldera and Caldera-forming stages of Towada volcano. The obtained FT ages were 0.23 ± 0.05 Ma for Shirobeta tephra (WP), 0.19 ± 0.05 Ma for T-6 tephra, 0.08 ± 0.03 Ma for Zarame 1 tephra (ZP1), and 0.09 ± 0.03 Ma for Okuse Pyroclastic Flow Deposits. Although these FT ages are consistent with stratigraphy, they have large error ranges of several tens of thousands of years. Therefore, further examinations including application of other chronological dating methods are necessary to obtain more precise estimates of the eruptive age of these tephtras. The obtained <sup>14</sup>C age was 17,730 ± 70 BP for Biscuit 2 tephra (BP2). Based on stratigraphical consistency, this <sup>14</sup>C age is appropriate for the eruptive age of BP2.

**Keywords:** Towada volcano, tephtras from Pre-caldera and Caldera-forming stages, Shirobeta tephra (WP), Kamikita Plain, Middle to Late Pleistocene

### 要 旨

十和田火山先カルデラ期～カルデラ形成期のより詳細な噴火史編年を目的として、十和田火山及び八甲田火山起源テフラを対象に、フィッション・トラック (FT) 及び放射性炭素 (<sup>14</sup>C) 年代測定を行なった。その結果、白ベタテフラ (WP) より 0.23 ± 0.05 Ma, T-6 テフラより 0.19 ± 0.05 Ma, ザラメ 1 テフラ (ZP1) より 0.08 ± 0.03 Ma, 奥瀬火砕流堆積物より 0.09 ± 0.03 Ma の FT 年代が得られた。得られた FT 年代は、いずれも層序と矛盾はしないものの、誤差が数万年と大きい。そのため、より精度良く噴火年代を見積もるためには、他の年代測定法の適用も含めて、今後さらなる検討が必要である。一方、BP2 からは 17,730 ± 70 BP の <sup>14</sup>C 年代が得られた。この年代は、層序と良く調和しており、BP2 の噴出年代を示すものとして妥当と判断される。

### 1. はじめに

十和田火山は東北日本弧北部に位置し、直径約 11 km のカルデラを有する活火山である (第 1 図)。十和田火山の噴火活動史は、Hayakawa (1985)、松山・大池 (1986)、中川ほか (1986) などにより明らかにされてきた。それら

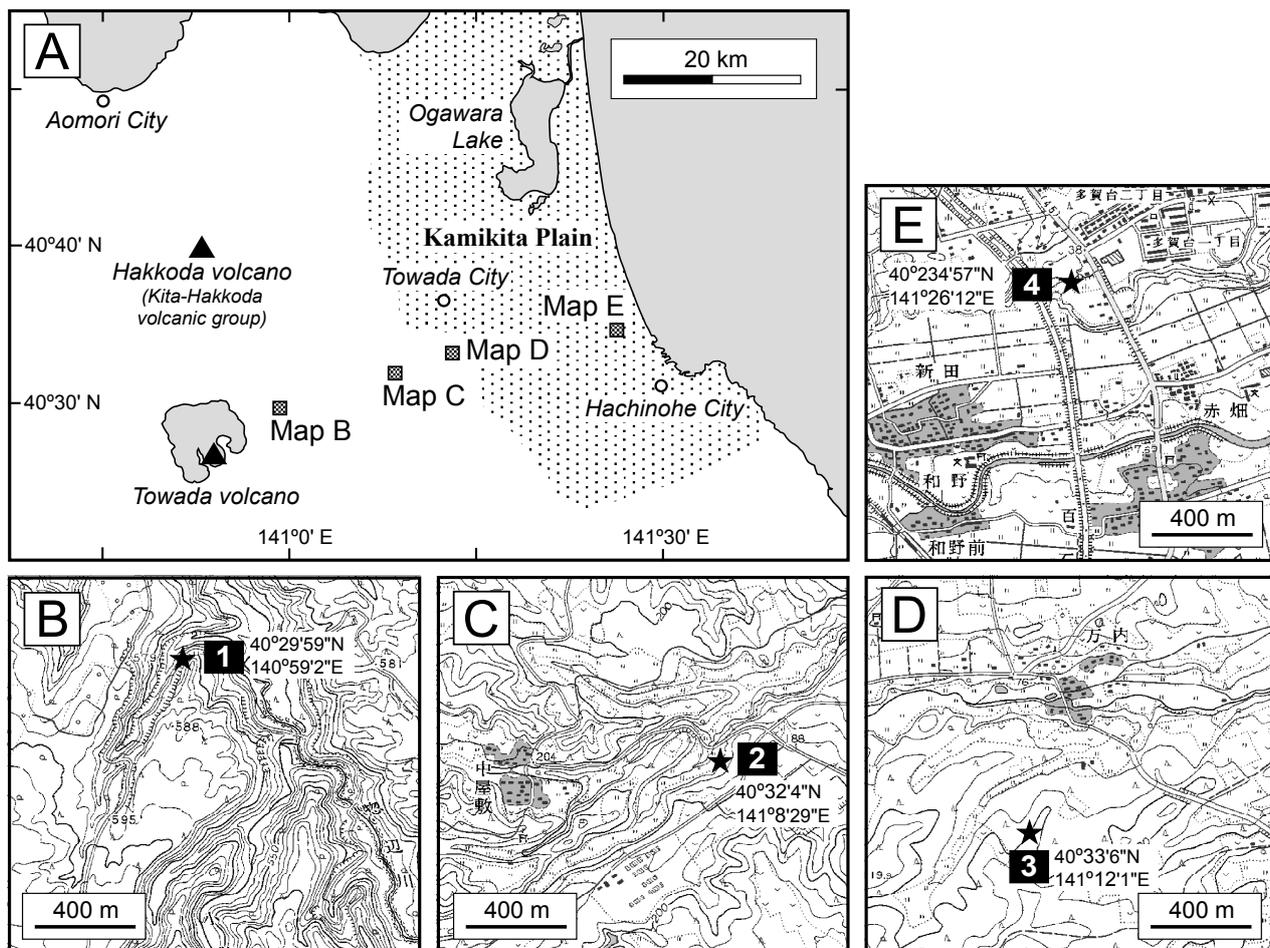
によれば、十和田火山の活動は、先カルデラ期 (55 ka 以前)、カルデラ形成期 (55 ~ 15.5 ka)、後カルデラ期 (15.5 ka ~ 現在) の 3 つの活動期に区分される。このうち、最新の後カルデラ期については、近年の研究によって、より詳細な噴火活動履歴が明らかにされつつある (久利・栗田, 2003; 工藤・佐々木, 2007; 工藤, 2008, 2010a, b など)。一方、先カルデラ期～カルデラ形成期に関しては、一部の大規模な噴火を除いて年代データに乏しく、活動履歴の把握が十分になされているとは言い難い。将来の噴火を予測するためには、過去の噴火履歴をできるだけ正確に把握しておく必要がある。その中でも噴火年代に関する情報は、噴火の発生頻度や周期性を知るための重要な基礎データとなる。そこで今回、十和田火山の先カルデラ期～カルデラ形成期のより詳細な噴火史編年を目指して、これまで放射年代が未報告のテフラを中心に、フィッション・トラック (FT) 及び放射性炭素 (<sup>14</sup>C) 年代測定を行なった。

### 2. 試料採取地点とテフラの産状

年代測定用の試料を、青森県十和田市奥瀬、十和田市中屋敷、十和田市万内<sup>まんない</sup>の 3 ヶ所の露頭で採取した。各露頭の位置を第 1 図に、柱状図を第 2 図に示す。以下に、

<sup>1</sup> 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation) Email: kudo-taka@aist.go.jp

<sup>2</sup> 株式会社ダイヤコンサルタント (Dia Consultants Co., Ltd. 2-272-3 Yoshino-cho, Kita-ku, Saitama, Saitama 331-0811, Japan)



第1図 試料採取地点の位置図. 国土地理院発行2万5千分の1地形図「十和田湖東部」「切田」「百石」を使用.

Fig. 1 Locality map showing the sampling sites. A part of 1:25,000 topographic maps “Towadako-toubu”, “Kirita” and “Momoishi” published by the Geographical Survey Institute is used.

試料採取を行った地点毎にテフラ層序の概要と、測定対象としたテフラの産状について記載する。

### 2.1 十和田市奥瀬(地点1)

本地点は十和田火山の北東約8 kmの林道沿いに位置する(第1図A, B)。ここでは、下位より奥瀬火砕流堆積物(大池・中川, 1979; Hayakawa, 1985), ローム層と1枚の火山灰層を挟んで、ピケット1テフラ(BP1: 東北地方第四紀研究グループ, 1969)とその直上に大不動火砕流堆積物(東北地方第四紀研究グループ, 1969; Hayakawa, 1985)が認められる(第2図)。いずれも十和田火山起源のテフラである。FT年代測定用試料として、奥瀬火砕流堆積物からスコリアを採取した(第2図)。

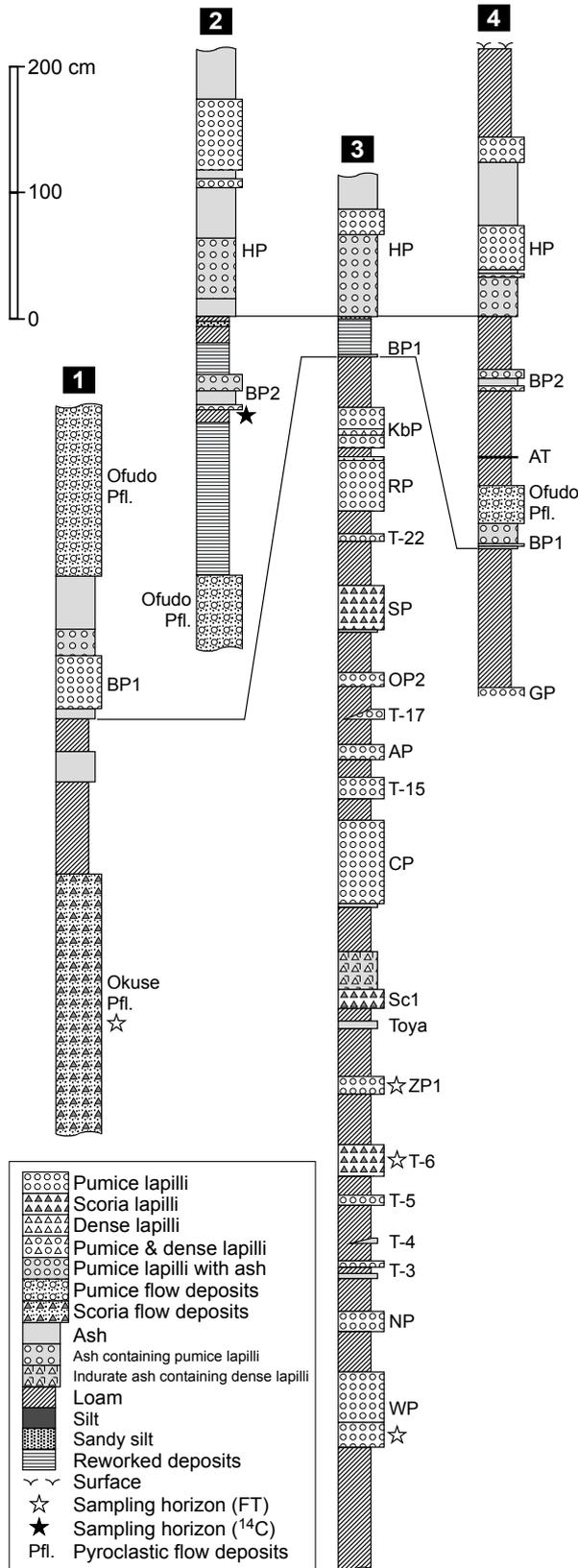
#### 奥瀬火砕流堆積物

安山岩質の非溶結スコリア堆積物であり、層厚は10 m以上である。径40 cm以下のスコリアを主体とし、岩

片を伴う。スコリアは亜角礫で、表面は発泡度が悪く淡灰色～暗灰色を示すが、内部は発泡度が良く黒色を示す。スコリアは無斑晶質であるが、稀に3 mm以下の斜長石斑晶を含む。岩片は、安山岩及び玄武岩を主体とし、変質した火山岩、凝灰岩及び堆積岩を伴う。基質は褐色～淡褐色を呈する火山礫及び粗粒～細粒火山灰からなる。

### 2.2 十和田市中屋敷(地点2)

本地点は十和田火山の東北東約22 kmに位置する(第1図A, C)。ここでは、下位より大不動火砕流堆積物、再堆積物層・ローム層を挟んで、ピケット2テフラ(BP2: 東北地方第四紀研究グループ, 1969), さらに再堆積物層・ローム層を挟んで、八戸降下軽石(HP: 大池・中川, 1979)とその直上に八戸火砕流堆積物(中川ほか, 1972; Hayakawa, 1985; 第2図では省略)が観察される(第2図)。いずれも十和田火山起源のテフラである。このうち、<sup>14</sup>C年代測定用試料として、BP2直下のローム層を採取した。



第2図 試料採取地点における地質柱状図。各露頭の位置を第1図に示す。

Fig. 2 Stratigraphic columns at the sampling sites. Locality of each section is shown in Fig. 1.

### ビスケット2テフラ (BP2)

BP2は上部、中部、下部の3枚の降下ユニットで構成される(第2図)。層厚は、上位からそれぞれ13 cm, 11 cm, 4 cmである。上部ユニットは塊状で淘汰の悪い軽石火山礫層である。径1.5 cm以下の白色軽石からなり、軽石の間隙を火山灰が充填している。中部ユニットは淡褐灰色を呈する火山灰層であり、径1 cm以下の白色軽石をまばらに含み、弱い成層構造が見られる。下部ユニットは淘汰の良い軽石火山礫層で、径5 cm以下の白色軽石からなる。

### 2.3 十和田市万内(地点3)

本地点は十和田火山の東北東約30 kmに位置する(第1図A, D)。ここでは、降下テフラとローム層からなる厚さ12 m以上の互層が観察され、下位よりWP, NP, T-3, T-4, T-5, T-6, ZP1, Toya, Sc1, CP, T-15, AP, T-17, OP2, SP, T-22, RP, KbP, BP1, HPの少なくとも20枚の降下テフラが認められる(第2図)。各テフラの命名・定義は、Toyaが町田ほか(1987)、WP, NP, RP, BP1が東北地方第四紀研究グループ(1969)、その他が大池・中川(1979)による。これらのうち、WPが八甲田火山起源(松山・大池, 1986)、Toyaが洞爺カルデラ起源(町田ほか, 1987)、その他が十和田火山起源である(松山・大池, 1986; 工藤, 2005)。ただし、T-3の一部は八甲田火山に起源を持つ可能性も指摘されている(工藤ほか, 2004)。

以上のテフラのうち、WP, T-6, ZP1からFT年代測定用試料を採取した(第2図)。WPは八甲田火山起源とされているが、十和田火山起源のテフラがWPよりも上位の層準で出現すること(岩崎, 1983; 松山・大池, 1986; 工藤, 2005)に加え、WPが上北平野で広域に分布し、かつ海成段丘との関係が明確な指標テフラの1つであること(宮内, 1985; 桑原, 2004)から、十和田火山の活動下限の年代を推定するのに適したテフラと考え、測定対象とした。

#### 2.3.1 白ベタテフラ (WP)

白ベタテフラ (WP) は、上部と下部の2枚の降下ユニットで構成される。上部ユニットは層厚40 cmの淡褐灰色～乳褐灰色を呈する軽石火山礫層である。軽石は粒径数cm程度であり、著しい粘土化を受けている。長径2 cm以下の岩片を多く含み、やや不均質な岩相を示す。下部ユニットは層厚20 cmの黄白色～白灰色を呈する軽石火山礫層である。軽石は粒径数cm程度で、著しい粘土化と圧密を受けて扁平化している。長径2 cm以下の暗色岩片を少量伴う。今回は下部より年代測定用試料を採取した。

#### 2.3.2 T-6テフラ (T-6)

T-6は上部と下部の2枚の降下ユニットから構成され、上部ユニットは膠結した火山礫凝灰岩層、下部ユニット

第1表 ジルコン・フィッション・トラック年代測定結果.

Table. 1 Results of zircon fission-track dating.

Stratigraphic position <sup>(1)</sup>	Locality <sup>(2)</sup>	Sample name	n	Spontaneous $\rho_s$ (cm <sup>-2</sup> ) (Ns)	Induced $\rho_i$ (cm <sup>-2</sup> ) (Ni)	Dosimeter $\rho_o$ (cm <sup>-2</sup> ) (Nd)	P( $\chi^2$ ) (%)	r	U (ppm)	Age ( $\pm 1\sigma$ ) (Ma)
Okuse Pfl.	1	101024-3	66	1.61×10 <sup>4</sup> (12)	9.88×10 <sup>6</sup> (7367)	14.60×10 <sup>4</sup> (4380)	99	0.506	560	0.09 ± 0.03
ZP1	3	100902-1 ZP1	58	9.78×10 <sup>3</sup> (5)	6.67×10 <sup>6</sup> (3412)	13.86×10 <sup>4</sup> (4159)	26	0.238	400	0.08 ± 0.03
T-6	3	100902-1 T-6	60	2.70×10 <sup>4</sup> (18)	7.32×10 <sup>6</sup> (4880)	13.90×10 <sup>4</sup> (4170)	21	0.221	440	0.19 ± 0.05
WP	3	100902-1 WP	60	1.95×10 <sup>4</sup> (20)	4.38×10 <sup>6</sup> (4494)	13.97×10 <sup>4</sup> (4142)	25	0.521	260	0.23 ± 0.05

<sup>(1)</sup>See Fig. 2. <sup>(2)</sup>See Fig.1. Pfl, pyroclastic flow deposit. n, number of grains.  $\rho$  and N, density and total number of counted tracks, respectively. Analyses were made by using the external detector method that applied to external surface of zircon (ED2: Danhara *et al.*, 1991). NIST-SRM612 standard glasses were used as a dosimeter. P( $\chi^2$ ), probability of obtaining the  $\chi^2$  value for  $\nu$  degrees of freedom ( $\nu$  = number of crystals - 1) (Galbraith, 1981). r, correlation coefficient between  $\rho_s$  and  $\rho_i$ . U, uranium content calculated based on the induced track densities (Iwano *et al.*, 2000). Zircon grains were irradiated using the pneumatic tube of reactor unit JRR-3 at the Japan Atomic Energy Agency, Japan. Ages were calculated by using a zeta calibration factor of  $\zeta_{ED2} = 371 \pm 3$  (1 $\sigma$ ) for HI with DAP detectors (Danhara and Iwano, 2009).

は淘汰の良いスコリア火山礫層からなる(工藤, 2005). 地点3では下部ユニットのみが認められる. 層厚は25 cmで, 長径3 cm以下の風化した褐色~黄褐色スコリアで構成される.

### 2.3.3 ザラメ1テフラ(ZP1)

ザラメ1テフラ(ZP1)は, やや粘土化した淡黄色~橙色軽石を主体とし, 灰色~暗灰色岩片を伴う降下軽石火山礫層である. 層厚は14 cmであり, 軽石・岩片の最大粒径は7 mmである.

## 3. 年代測定手法

### 3.1 フィッション・トラック年代測定

測定を株式会社京都フィッション・トラックへ依頼した. 年代測定手順はDanhara *et al.* (1991, 2003)に準拠し, ゼータ校正による外部ディテクター法(ED 2)を用いた. ジルコン中の自発トラックのエッチングは, KOH-NaOH共融液(225°C)で44~45時間行った. 誘導トラックの外部ディテクターにはDAP (diallyl phthalate) 樹脂を用いた. 熱中性子照射は日本原子力研究開発機構のJRR-3号炉気送管(Auに対するCd比は24)で行った. その際, 熱中性子線量測定用の標準ガラスとしてNIST-SRM612を用いた. 年代校正はゼータ法(Hurford and Green, 1983)で行った. ゼータ値は371 ± 3である(Danhara and Iwano, 2009).

### 3.2 放射性炭素年代測定

測定を株式会社加速器分析研究所に依頼した. 前処理として酸-アルカリ-酸洗浄を行い, ヒューミンを測定

対象とした. 試料は調整後, 3MVタンデム加速器(NEC製Pelletron 9SDH-2)をベースとした<sup>14</sup>C-AMS専用装置を用いて測定した. 得られた<sup>14</sup>C濃度については, 同位体分別効果の補正を行い, <sup>14</sup>C年代を算出した. <sup>14</sup>C年代値はLibbyの半減期5568年を用いて算出し, 西暦1950年から遡った年数をBPで記した. 測定結果の暦年校正には, <sup>14</sup>C年代-暦年代校正曲線IntCal09 (Reimer *et al.*, 2009), 校正プログラムCALIB 6.1.0 (Stuiver and Reimer, 1993)を用いた.

## 4. 年代測定結果

### 4.1. フィッション・トラック年代測定

#### 4.1.1 白ベタテフラ(WP)

本試料は1 kgあたり40個程度のジルコン結晶を含む. 抽出したジルコン結晶の90%は, 無色~桃色の自形結晶で, 自発FT密度が低い. 残りの10%は, 褐色の半自形結晶で, 自発FT密度が前者の100倍程度高い. ここでは, 本質結晶と考えられる前者を測定対象とした. 測定を行った60粒子のFT年代データは,  $\chi^2$ 検定(有意水準: 5%)に合格し, 統計上外来結晶の混入を示す要素は認められない. そこで, 全粒子を単一年代集団に属するものとして, 0.23 ± 0.05 Maの年代を得た(第1表).

#### 4.1.2 T-6テフラ(T-6)

本試料は1 kgあたり110個程度のジルコン結晶を含む. 抽出したジルコン結晶の80%は, 無色透明の細粒な自形結晶で, 自発FT密度が低い. 残りの20%は, 無色透明であるが短縮化したFTを多く含むため, 再加熱を受けた外

第2表 AMS <sup>14</sup>C年代測定の結果.

Table. 2 Result of AMS <sup>14</sup>C dating.

Stratigraphic position <sup>(1)</sup>	Locality <sup>(2)</sup>	Lab. no.	Material	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	<sup>14</sup> C date <sup>(3)</sup> ( $\pm 1\sigma$ )	Cal. range (2 $\sigma$ ) <sup>(4)</sup> (probability, %)
below BP2	2	IAAA-102008	loam (humin)	-22.03 $\pm$ 0.43	17,730 $\pm$ 70	20,563-20,649 cal BP (6.7) 20,818-21,485 cal BP (93.2)

<sup>(1)</sup>See Fig. 2. <sup>(2)</sup>See Fig.1. <sup>(3)</sup>The Libby's half-life of 5568 years was used. <sup>(4)</sup>Based on the calibration curve IntCal09 (Reimer *et al.*, 2009) using the computer program CALIB 6.1.0 (Stuiver and Reimer, 1993).

来結晶と判断される。よって、本質結晶と考えられる前者を測定に供した。測定を行った60粒子のFT年代データは、 $\chi^2$ 検定に合格し、統計上外来結晶の混入を示す要素は認められない。そこで、全粒子を単一年代集団に属するものとして、0.19  $\pm$  0.05 Maの年代を得た(第1表)。

#### 4.1.3 ザラメ1テフラ(ZP1)

本試料は1 kgあたり20個程度のジルコン結晶を含む。ジルコン結晶は、無色透明で自形のものと同形度がやや不良なものからなるが、測定の際に区別は行なわなかった。測定した60粒子のFT年代データは、大きくばらつき、 $\chi^2$ 検定に失格した。そのため、年代の古いものから順に除外し、2粒子を除いたところで $\chi^2$ 検定に合格した。そこで、残りの58粒子を単一年代に属するものとして、0.08  $\pm$  0.03 Maの年代を得た(第1表)。

#### 4.1.4 奥瀬火砕流堆積物

本試料は火砕流堆積物中の本質黒色スコリアのみを採取したものである。スコリアを水洗し、基質を除去した上で粉碎し、ジルコン結晶の抽出を行った。本試料は1 kgあたり30個程度のジルコン結晶を含む。ジルコン結晶の色調、形状、晶癖、自発FT密度などから判断すると、80%は本質結晶と推定される無色透明の自形結晶であり、残りの20%は褐色あるいは紫色の摩耗した外来結晶である。よって、本質結晶と考えられる前者を測定に供した。FT年代データは、若い試料のためばらつくものの、 $\chi^2$ 検定に合格し、統計上外来結晶の混入を示す要素は認められない。そこで、全粒子を単一年代集団に属するものとみなし、0.09  $\pm$  0.03 Maの年代を得た(第1表)。

#### 4.2 放射性炭素年代測定

ビスケット2テフラ(BP2)直下ロームから、17,730  $\pm$  70 BP (IAAA-102008)の<sup>14</sup>C年代値が得られた(第2表)。この年代を暦年較正すると、20.5~21.5 kaとなる(第2表)。

## 5. 年代値の評価

### 5.1 白ベタテフラ(WP)

WPより0.23  $\pm$  0.05 MaのFT年代が得られた。この年代は、WPの上位にあるToyaの年代が酸素同位体比層序により0.112 Ma (白井ほか, 1997)、WPの下位にあるTE-1の年代がK-Ar年代やFT年代から約0.40 Maと考えられること(工藤ほか, 2004)と調和する。WPの放射年代としては、これまでに0.28  $\pm$  0.05 MaのFT年代が得られているが(桑原, 2007)、今回得られたFT年代とは誤差の範囲で重複する。他方、WPの年代は、年代が得られているテフラとローム層の層厚との関係から0.17~0.20 Ma(宮内, 1985)あるいは0.27 Ma (工藤ほか, 2004)と推定されており、今回得られたFT年代とは誤差の範囲で重複する。

上北平野に分布する海成の天狗岱段丘(大池ほか, 1959; 中川, 1961)は、酸素同位体比ステージ(MIS) 7 (0.19~0.24 Ma: Lisiecki and Raymo, 2005)の段丘とされており(桑原, 2004, 2009)、WP以上のテフラに覆われることが判明している(宮内, 1985; 桑原, 2004)。このことから、WPは少なくとも0.24 Maよりも若いと考えられ、上記2つのFT年代とも調和する。一方、ローム層の植物珪酸体分析結果(桑原, 2009)によれば、WP付近の層準を境に温暖帯を示す群集から冷温帯~亜寒帯下部を示す群集に変化することが判明している。このことから、WPの年代はMIS7・6境界にあたる0.19 Ma付近である可能性も考えられる。しかし、この場合には今回得られたFT年代とは調和するものの、桑原(2007)のFT年代とは矛盾する。いずれにしても、これらのFT年代は誤差が数万年と大きいため、今後、他の年代測定法と併せてクロスチェックを行ない、年代を絞り込むことが必要である。

### 5.2 T-6テフラ(T-6)

T-6より0.19  $\pm$  0.05 MaのFT年代が得られた。この年代は、誤差が大きいものの、T-6の上位にあるToyaの年代が0.112 Ma (白井ほか, 1997)、T-6の下位にあるWPのFT年代が0.23  $\pm$  0.05 Ma (本研究)、0.28  $\pm$  0.05 Ma (桑原, 2007)であることと矛盾しない。

### 5.3 ザラメ1テフラ (ZP2)

ZP1より $0.08 \pm 0.03$  MaのFT年代が得られた。この年代は、誤差が大きいものの、ZP1がT-6よりも上位、Toyaよりも下位であることと矛盾しない。

### 5.4 奥瀬火砕流堆積物

奥瀬火砕流堆積物より $0.09 \pm 0.03$  MaのFT年代が得られた。この年代は、奥瀬火砕流堆積物がBP1 (暦年代で36.2-36.9 ka: 小岩ほか, 2007)の下位, Aso-4 (87 ka: Aoki, 2008)の上位に位置する層序関係と矛盾しない。

奥瀬火砕流堆積物の発生直前に降下したレッドテフラ (RP)については、これまでいくつかの間接的な手法により年代が見積もられてきた。年代が得られているテフラとローム層の層厚との関係からは、55 ka (Hayakawa, 1985)もしくは50~70 ka (宮内, 1985)と推定されている。ただし、これらの推定年代は、暦年代未校正の $^{14}\text{C}$ 年代スケールによるものである。他方、ローム層の植物珪酸体分析結果(佐瀬・細野, 1999)からは、RPの挟在する層準はTG-E帯に区分され、MIS 5a (82 ka前後: Lisiecki and Raymo, 2005)に対比されている。また、上北平野における海成段丘との層位関係から、RPはMIS5aとされる柴山段丘(東北地方第四紀研究グループ, 1969)を覆うことが判明している(宮内, 1985; 桑原, 2009)。以上のように、間接的に推定されたRPの年代は、おおよそ50~82 kaの範囲にある。

今回得られたFT年代は、上記の海成段丘との関係、植物珪酸体分析から推定される年代とほぼ調和し、ローム層の層厚から見積もられた宮内(1985)による年代幅とも一部重複する。しかしながら、これまで火山研究者の中で広く受け入れられてきたHayakawa (1985)の推定年代(55 ka)と比較すると、やや古い結果となった。

奥瀬火砕流堆積物とRPについては、 $^{14}\text{C}$ 年代測定法の適用が難しい時代範囲にあり、得られたFT年代も誤差が3万年と大きいため、未だ精度の良い年代決定には至っていない。奥瀬火砕流堆積物とRPは、十和田火山の活動史においてカルデラ形成期最初の噴火(噴火エピソードQ)とされている(Hayakawa, 1985)。そのため、その噴火年代を精度良く求めることは、十和田火山活動史のさらなる理解、それを基にした長期的な火山活動予測のために必要不可欠なものである。奥瀬火砕流堆積物とRPの年代については、この時代範囲にも有効とされるルミネセンス年代測定法(塚本・岩田, 2005)の適用も含め、今後様々な面での検討が必要である。

### 5.5 ビスケット2テフラ (BP2)

BP2直下のロームから20.8-21.5 kaの $^{14}\text{C}$ 年代値(暦年代換算値)が得られた。BP2は、HPの下位、始良Tnテフラ(AT) (町田・新井, 1976)の上位の層準に挟在し(早川, 1993)、地点4においてその層序関係を確認できる(第2

図)。今回得られた $^{14}\text{C}$ 年代は、上位のHPが $^{14}\text{C}$ 年代(暦年代)で15.5 ka (Horiuchi *et al.*, 2007)、下位のATが酸素同位対比層序で約28 ka (池原ほか, 2006)であることと調和する。また、HPとATの年代と地点4におけるローム層の厚さを用い、堆積速度を一定と仮定してBP2の年代を算出すると約21 kaとなり、得られた $^{14}\text{C}$ 年代とほぼ一致する。以上のことから、今回得られた $^{14}\text{C}$ 年代は、BP2の噴出年代を示すものとして妥当であると判断される。

**謝辞:** 本研究は、産総研とリサイクル燃料貯蔵株式会社の共同研究(産総研側の研究代表者: 山元孝広)として実施された。関係各位に深く感謝申し上げる。野外調査の際には明治大学の近藤玲介氏にご協力いただいた。(株)京都フィッシュン・トラックの檀原 徹氏には、FT年代測定に関してご相談・ご助言頂いた。本論を執筆するにあたり、産業技術総合研究所の柳堀 昭氏、山川 弘氏、清水卓也氏のご協力を得た。匿名査読者および編集委員の川邊禎久氏には、本論を改善する上でお世話になった。記して感謝申し上げます。

## 文 献

- Aoki, K. (2008) Revised age and distribution of ca. 87ka Aso-4 tephra based on new evidence from the northwest Pacific Ocean. *Quaternary International*, **178**, 100-118.
- Danhara, T. and Iwano, H. (2009) Determination of zeta values for fission-track age calibration using thermal neutron irradiation at the JRR-3 reactor of JAEA, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **115**, 141-145.
- Danhara, T., Iwano, H., Yoshioka, T. and Tsuruta, T. (2003) Zeta calibration values for fission track dating with a diallyl phthalate detector. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **109**, 665-668.
- Danhara, T., Kasuya, M., Iwano, H. and Yamashita, T. (1991) Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **97**, 977-985.
- Galbraith, R. F. (1981) On statistical models for fission track counts. *Jour. Math. Geol.*, **13**, 471-478.
- Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst.* **60**, 507-592.
- 早川由紀夫(1993)火山の地質巡検案内2: 十和田湖. 群馬大学教育学部紀要 自然科学編, **41**, 53-78.
- Horiuchi, K., Sonoda, S., Matsuzaki, H. and Ohyama, M. (2007) Radiocarbon analysis of tree rings from a 15.5-cal kyr BP pyroclastically buried forest: a pilot study. *Radiocarbon*, **49**, 1123-1132.
- Hurford, A. J. and Green, P. F. (1983) The zeta age calibration of fission-track dating. *Isotope Geoscience*, **1**, 285-317.
- 池原 実・村山雅史・多田井修・外西奈津実・大道修宏・

- 川幡穂高・安田尚登(2006) 四国沖から採取された2本のIMAGESコアを用いた第四紀後期におけるテフラ層序. 化石, **79**, 60-76.
- 岩崎孝明(1983) 青森県東部の火山灰. 駒沢大学大学院地理学研究, **13**, 33-39.
- 岩野英樹・吉岡 哲・檀原 徹(2000) フィッション・トラック法による年代およびウラン濃度算出式の再検討: 次世代年代測定システムに向けて. フィッション・トラックニュースレター, no. 13, 1-10.
- 小岩直人・柴 正敏・葛西優貴(2007) 青森県屏風山砂丘地帯, 館岡層中の十和田大不動テフラのAMS<sup>14</sup>C年代. 第四紀研究, **46**, 437-441.
- 工藤 崇(2005) 十和田地域の地質. 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, 79 p.
- 工藤 崇(2008) 十和田火山, 噴火エピソードE及びG噴出物の放射性炭素年代. 火山, **53**, 193-199.
- 工藤 崇(2010a) 十和田火山, 御倉山溶岩ドームの形成時期と噴火推移. 火山, **55**, 89-107.
- 工藤 崇(2010b) 十和田火山, 御門石溶岩ドームの形成時期に関する考察. 地質調査研究報告, **61**, 477-484.
- 工藤 崇・佐々木寿(2007) 十和田火山後カルデラ期噴出物の高精度噴火史編年. 地学雑誌, **116**, 653-663.
- 工藤 崇・宝田晋治・佐々木実(2004) 東北日本, 北八甲田火山群の地質と火山発達史. 地質学雑誌, **110**, 271-289.
- 久利美和・栗田 敬(2003) 十和田火山二の倉スコリア群の層序区分の再検討—二の倉スコリア期の噴火活動の推移—. 火山, **48**, 249-258.
- 桑原拓一郎(2004) 青森県東部上北平野における海成段丘堆積物の層序と相対的海面変化. 地質学雑誌, **110**, 93-102.
- 桑原拓一郎(2007) 青森県上北平野に分布する白ベタテフラ(WP)のジルコン・フィッション・トラック年代. 第四紀研究, **46**, 433-436.
- 桑原拓一郎(2009) 青森県上北平野で掘削された中期更新世後半以降のテフラ—土壌累積層の植物珪酸体群集に基づく環境変遷と段丘の対比. 第四紀研究, **48**, 405-416.
- Lisiecki, L.E. and Raymo, M.E. (2005) A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}\text{O}$  records. *Paleoceanography*, **20**, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071.
- 町田 洋・新井房夫(1976) 広域に分布する火山灰—始良Tn火山灰の発見とその意義—. 科学, **46**, 339-347.
- 町田 洋・新井房夫・宮内崇裕・奥村晃史(1987) 北日本を広く覆う洞爺火山灰. 第四紀研究, **26**, 129-145.
- 松山 力・大池昭二(1986) 十和田火山噴出物と火山活動. 十和田科学博物館, no. 4, 1-64.
- 宮内崇裕(1985) 上北平野の段丘と第四紀地殻変動. 地理学評論, **58** (Ser. A), 492-515.
- 中川久夫(1961) 本邦太平洋沿岸地方における海水準静的変化と第四紀編年. 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, no. 54, 1-61.
- 中川久夫・松山 力・大池昭二(1986) 十和田火山噴出物の分布と性状. 東北農政局計画部, 48p.
- 中川久夫・中馬教允・石田琢二・松山 力・七崎 修・生出慶司・大池昭二・高橋 一(1972) 十和田火山発達史概要. 岩井淳一教授退官記念論文集, 7-18.
- 大池昭二・中川久夫(1979) 三戸地域広域農業開発基本調査「地形並びに表層地質調査報告書」. 東北農政局計画部, 103p.
- 大池昭二・七崎 修・松山 力・松山 洋(1959) 青森ロームの問題点. 青森地学, **1**, 3-9.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E. (2009) IntCal09 and marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, **51**, 1111-1150.
- 佐瀬 隆・細野 衛(1999) 青森県八戸市, 天狗岱のテフラ—土壌累積層の植物珪酸体群集に記録された氷期—間氷期サイクル. 第四紀研究, **38**, 353-364.
- 白井正明・多田隆治・藤岡換太郎(1997) ODP日本海試料との対比に基づく男鹿半島安田海岸更新世中—後期テフラの同定と年代. 第四紀研究, **36**, 183-196.
- Stuiver, M. and Reimer, P.J. (1993) Extended <sup>14</sup>C data base and revised CALIB 3.0 <sup>14</sup>C age calibration program. *Radiocarbon*, **35**, 215-230.
- 東北地方第四紀研究グループ(1969) 東北地方における第四紀海水準変化. 地団研専報, no. 15, 37-83.
- 塚本すみ子・岩田修二(2005) ルミネッセンス年代測定法の最近の進歩—適用年代の拡大と石英のOSL成分について—. 地質学雑誌, **111**, 643-653.

( 受付: 2013年7月9日; 受理: 2013年11月14日 )

