十和田火山後カルデラ期噴出物の高精度噴火史編年

工 藤 崇* 佐々木 寿**

High-precision Chronology of Eruptive Products during the Post-caldera Stage of Towada Volcano, Northeast Japan

Takashi KUDO* and Hisashi SASAKI**

Abstract

Towada volcano is an active caldera volcano located at the northern part of the Northeast Japan arc. We re-examined the tephra stratigraphy of the post-caldera stage (15 ka to present) of Towada volcano, and carried out AMS radiocarbon dating of six soil samples taken from directly below the tephra layers. The most suitable ages of eruptive episodes A, B, C, D, D', E, F, G and Ninokura Scoria are estimated to be 1.1, 2.8, 6.2, 7.6, 8.3, 9.4, 10.1, 10.6, and 11–15 ka, respectively, on the basis of the thickness of soil layers between tephtras and the radiocarbon ages determined by present and previous studies. This result shows that the eruption intervals have become longer with time, and the frequency of eruptions has decreased with time. Although the cause of this change is not known as yet, these are important data for predicting long-term eruptive activity of Towada volcano.

Key words : Towada volcano, post-caldera stage, tephra stratigraphy, AMS ^{14}C dating, chronology of eruptive history, eruption frequency

キーワード：十和田火山，後カルデラ期，テフラ層序，AMS ^{14}C 年代測定，噴火史編年，噴火頻度

I. はじめに

十和田火山は青森・秋田県境に位置する火山活動度ランク B (気象庁, 2005) の活火山である (図 1)。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 ka)、後カルデラ期 (15 ka ~ 現在) の大きく 3 つのステージに区分されている (Hayakawa, 1985)。十和田火山は他の活火山と比較して噴火の発生頻度は低いものの、最新の後カルデラ期では、数百年~数千

年以下の間隔で比較的規模の大きな爆発的噴火を繰り返している。そのため、十和田火山は将来の火山災害の危険性を考慮すべき重要な火山の 1 つと言える。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。特に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に重要な基礎データとなる。したがって、可能な限り高精度な時間スケールに基づく詳細な噴火活動史の構築が必要不可欠となる。

* 産業技術総合研究所地質調査総合センター

** 国際航業株式会社

* Geological Survey of Japan, AIST

** Kokusai Kogyo Co., Ltd.

図 1 十和田火山の位置図。緯度・経度は日本測地系による。

Fig. 1 Locality map of Towada volcano. Latitude and longitude refer to Tokyo Datum.

十和田火山後カルデラ期の地質・テフラ層序については、これまで大池 (1972), 大池・中川 (1979), 斎藤・大池 (1984), Hayakawa (1985), 松山・大池 (1986), 中川ほか (1986), 久利・栗田 (2003) などの報告があり, 比較的詳細な噴火活動史が構築されてきた。しかし, 噴火年代に関するデータは一部の噴出物でしか得られておらず, 高精度な噴火史を編年するには不十分であった。そこで本研究では, 十和田火山の後カルデラ期噴出物について, テフラ層序の再検討を行なうとともに, テフラ直下土壌の AMS ^{14}C 年代測定を行ない, より高精度な噴火史の編年を行なうことを目指した。

II. 調査地域と研究手法

調査地域と露頭の位置を図 2 に示す。調査地

域は十和田湖の周辺とその東方のおおよそ南北 20 km, 東西 27 km の地域である (図 2)。本研究では以下の手法により調査・研究を行なった。まず野外地質調査を実施し, 後カルデラ期全体のテフラ層序を把握するとともに, 従来の層序について再検討を行なった。この際に, 状態の良い露頭からはテフラ直下層準の土壌を採取した。土壌試料の採取時には, その直上のテフラが土壌動物や植物根などで攪乱されていないことを確認している。土壌試料については, これまで放射年代が報告されていないものを中心に試料を選択し, 計 6 点について加速器質量分析 (AMS) 法による ^{14}C 年代測定を行なった。測定は株式会社パレオ・ラボに依頼した。試料はいずれも前処理として酸-アルカリ-酸洗浄を行ない, ヒューミンを測定対象とした。試料は調整後, 加速器質量分析計 (パレオ・ラボ, コンパクト AMS: NEC 製 1.5SDH) を用いて測定した。得られた ^{14}C 濃度については同位体分別効果の補正を行なった後, ^{14}C 年代を算出した。 ^{14}C 年代値は Libby の半減期 5568 年を用いて算出し, 1950 年から遡った年数を BP で記した。測定結果の暦年較正には, 較正プログラム CALIB 5.0.1 (Stuiver *et al.*, 2005) を用いた。 ^{14}C 年代-暦年代較正曲線には IntCal04 (Reimer *et al.*, 2004) を用いた。なお, 本報告では ^{14}C 年代を「BP」, 較正暦年代を「cal BP」と表記する。また, 西暦 2000 年より遡った暦年スケールに基づく年代単位として「ka (1000 年前)」を用いる。

III. テフラ層序

代表的な露頭のテフラ柱状図を図 3 に示す。十和田火山後カルデラ期のテフラは, Hayakawa (1985) によって, 噴火休止期を示す土壌層を境として 1 回の「噴火エピソード」毎に整理され, 新しい方から A, B, C とアルファベットを用いて区分されている。本研究でも Hayakawa (1985) によるテフラ層序とおおむね一致する結果が得られたので, この区分に従ってテフラ層序を記載する。

後カルデラ期初期のテフラ群は, 二の倉スコリ

図 2 調査地域と露頭の位置. 緯度・経度は日本測地系による.

Fig. 2 Survey area and localities of outcrops. Latitude and longitude refer to Tokyo Datum.

ア (Hayakawa, 1985) と呼ばれている。二の倉スコリアは玄武岩質安山岩の複数の降下スコリア火山礫層・降下火山灰層の総称であり、間に挟まれる土壌層の発達が悪く、詳細な区分が難しいために、一括した名称が与えられている。なお、久利・栗田 (2003) は二の倉スコリアを NK-a ~ NK-k の 11 層に細分しているが、今回観察されたテフラ層との対応はできていない。

二の倉スコリアより上位には、下位より順に G, F, E, D, D', C, B および A が観察された (図 3)。これらのテフラ層の間には明瞭な土壌層が認められ、対比や区分は比較的容易である。

G は新郷軽石 (Hayakawa, 1985) と呼ばれる

1 枚の降下軽石火山礫層からなる。

F は下位から夏坂スコリア、^{なつざか} 柵山火山灰の 2 つのユニットから構成される (Hayakawa, 1985)。夏坂スコリアは降下スコリア火山礫層、柵山火山灰は成層した降下火山灰層およびスコリア火山礫を混じえる降下火山灰層からなる。柵山火山灰はしばしば膠結して堅くなっている。

E は下位から南部軽石、^{なんぶ} 貝守火山灰の 2 つのユニットから構成される (Hayakawa, 1985)。Hayakawa (1985) は、南部軽石が厚さ数 cm 程度の火山灰層を挟んでさらに 2 枚の主要な降下軽石火山礫層から構成されることを報告している。今回、Hayakawa (1985) による南部軽石

図 3 代表的な露頭の地質柱状図。各露頭の位置は図 2 に示す。

Fig. 3 Geological columnar sections of representative outcrops. Location of each outcrop is shown in Fig. 2.

上部の降下軽石火山礫層が、薄い火山灰層を挟んでさらに2枚の降下軽石火山礫層に区分されることがわかった(図3の地点5)。貝守火山灰は主に成層した降下火山灰層からなり、しばしば膠結して堅くなっている。十和田カルデラ内の露頭では火砕サージ堆積物が認められる。

地点6(図3)では、EとDの間に淡青灰色を呈する最大層厚4cmのレンズ状火山灰層が観察された。この火山灰層は今回初めて見出されたものであるが、層厚が薄く、1ヶ所でしか認められない。この火山灰層が十和田火山の噴火を示すものかどうかについては、今後の詳しい検討が必要である。

Dは小国軽石と呼ばれる降下軽石火山礫層からなる(Hayakawa, 1985)。今回、この降下軽石火山礫層の直上に新たに成層した降下火山灰層を見出した(図3の地点5, 6)。小国軽石が給源から南東方向に指向性を持った分布を示す(Hayakawa, 1985)のに対し、今回発見された降下火山灰層は給源から西方に広く分布している。この降下火山灰層の詳細な岩相と分布については、別稿で報告する予定である。

D'はHayakawa(1985)によって初めて記載された小規模な火山灰層であり、これまで堆積物の詳細な岩相や分布については不明であった。今回、このD'の分布を広域で確認し、岩相の詳細な記載を行なうことができた。D'は成層した降下火山灰層から構成され、給源近傍(図3の地点7)では下部に層厚5cm程度の降下軽石火山礫層を挟む。D'の詳細な岩相と分布については、別稿で報告する予定である。

Cは下位から中振軽石、金ヶ沢軽石、宇樽部火山灰の3つのユニットから構成される(早川, 1983; Hayakawa, 1985)。中振軽石は降下軽石火山礫層からなり、広域に分布するため多数の露頭で観察される(図3)。金ヶ沢軽石は、岩片や灰色軽石を多く含む降下軽石火山礫層、ほぼ緻密な岩片からなる降下火山礫層、およびそれらに挟在される薄い降下火山灰層から構成される。宇樽部火山灰は主に成層した降下火山灰層からなり、しばしば火山豆石や層厚数cm以下の薄い降下軽石

火山礫層を伴う。宇樽部火山灰の最上部は膠結していることが多い。十和田カルデラ内では火砕サージ堆積物を伴う。

Bは下位から迷ヶ平軽石、惣辺火山灰の2つのユニットから構成される(Hayakawa, 1985)。迷ヶ平軽石は降下軽石火山礫層、惣辺火山灰は成層した降下火山灰層からなる。

Aは下位から大湯1軽石、大湯2火山灰、大湯3軽石、毛馬内火砕流の4つのユニットから構成される(Hayakawa, 1985)。大湯1軽石と大湯3軽石はそれぞれ1枚の降下軽石火山礫層からなる。大湯2火山灰は火山灰を主体とするが、しばしば軽石火山礫をまばらに含み、淘汰の悪い岩相を示す。地点3(図3)の大湯2火山灰には、軽石火山礫から火山灰へと正級化する少なくとも3枚のユニットが認められる。また、地点5(図3)では側方に尖滅する層厚数cm程度の軽石火山礫層が火山灰層中に認められる。よって、大湯2火山灰の少なくとも一部については、火砕サージ堆積物である可能性が高いと考えられる。毛馬内火砕流は数cm以下の軽石火山礫と火山灰の基質から構成され、しばしば黒曜石火山礫を含む。

IV. ^{14}C 年代測定結果

十和田火山後カルデラ期の噴出物のうち、B, D', D, F, Gの直下から採取された土壌試料について ^{14}C 年代測定を行なった。測定結果と較正暦年代をまとめて表1に示す。なお、較正暦年代幅は 1σ で示した。

Bについては、地点4(図2)の迷ヶ平軽石直下の土壌(図3)から、 2550 ± 20 BP (PLD-6376)の年代値が得られた。D'については、地点5(図2)の降下火山灰層直下の土壌(図3)から、 6670 ± 25 BP (PLD-6374)の年代値が得られた。Dについては、地点5(図2)の小国軽石直下の土壌(図3)から、 6830 ± 25 BP (PLD-6375)、地点12(図2)の降下火山灰層直下の土壌から、 7420 ± 25 BP (PLD-6378)の年代値が得られた。Dに関しては同一の噴火エピソードの堆積物であるにも関わらず、両者で異なる結果となった。F

表 1 AMS ^{14}C 年代測定の結果.Table 1 Results of AMS ^{14}C dating.

層準 ⁽¹⁾	試料番号 ⁽¹⁾	採取地点 ⁽²⁾	測定番号	試料	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C 年代 ⁽³⁾ ($\pm 1\sigma$)	暦年代幅 (1σ) ⁽⁴⁾ (probability, %)
B (迷ヶ平軽石) 直下	1	4	PLD-6376	土壌 (ヒューミン)	-28.29 ± 0.13	2550 ± 20 BP	2619–2632 BP(23.5) 2708–2740 BP(76.5)
D' (降下火山灰) 直下	2	5	PLD-6374	土壌 (ヒューミン)	-26.41 ± 0.12	6670 ± 25 BP	7513–7540 BP(64.3) 7560–7575 BP(35.7)
D (小国軽石) 直下	3	5	PLD-6375	土壌 (ヒューミン)	-25.12 ± 0.14	6830 ± 25 BP	7623–7639 BP(26.7) 7652–7683 BP(73.3)
D (降下火山灰) 直下	4	12	PLD-6378	土壌 (ヒューミン)	-27.21 ± 0.12	7420 ± 25 BP	8187–8215 BP(31.4) 8243–8253 BP(9.7) 8256–8303 BP(58.9)
F (樺山火山灰) 直下	5	12	PLD-6379	土壌 (ヒューミン)	-25.96 ± 0.15	8110 ± 30 BP	9002–9032 BP(70.3) 9055–9079 BP(29.7)
G (新郷軽石) 直下	6	11	PLD-6377	土壌 (ヒューミン)	-24.63 ± 0.12	9330 ± 35 BP	10497–10582 BP(100)

⁽¹⁾ 図 3 を参照. ⁽²⁾ 図 2 を参照. ⁽³⁾ Libby の半減期 5568 年を使用. ⁽⁴⁾ 較正曲線は IntCal04 (Reimer *et al.*, 2004), 較正プログラムは CALIB 5.0.1 (Stuiver *et al.*, 2005) を使用.

については, 地点 12 (図 2) の樺山火山灰直下の土壌 (図 3) から, 8105 ± 30 BP (PLD-6379) の年代値が得られた。G については, 地点 11 (図 2) の新郷軽石直下の土壌 (図 3) から, 9330 ± 35 BP (PLD-6377) の年代値が得られた。

V. 各噴火エピソードの年代

十和田火山の噴火で古文書の記録が残されているのは最新の噴火エピソード A のみであり, 西暦 915 年に噴火が起こったと考えられている (町田ほか, 1981; 早川・小山, 1998)。これより古い噴火については, テフラの層序関係と放射年代で噴火年代を決定する必要がある。ここでは, 本研究で得られたテフラ層序と ^{14}C 年代のデータに, 既存の ^{14}C 年代データを加えて検討を行ない, 現時点でもっとも妥当と考えられる各噴火エピソードの年代を提示する。

1) 噴火エピソード B

噴火エピソード B に関する ^{14}C 年代としては, 大池・庄子 (1974) によって迷ヶ平軽石直下の土壌から 2220 ± 100 BP (GaK-4763) の年代

値が報告されている。この年代値と本研究で得られた年代値: 2550 ± 20 BP を比較すると, 後者で約 300 年古くなっている。これは, 前者がフミン酸, 後者がヒューミンを測定対象としていること, 前者が同位体分別無補正であることに起因する可能性がある。特にフミン酸は可溶性で可動性を持つため, 二次的に上部堆積層から若い年代の有機物が浸透して付加されれば, 年代の若返りが起こる (中井・中村, 1988; ボウマン, 1998)。したがって, 噴火エピソード B の年代としては, ヒューミンを測定対象とした本研究による年代値がもっとも妥当であると判断される。この年代値の較正暦年代幅 (表 1, 図 4) から, 本報告では噴火エピソード B の暦年代をおおよそ 2.8 ka とする。

2) 噴火エピソード C

噴火エピソード C に関する ^{14}C 年代はこれまでにいくつかの報告がある。その中でも 1980 年代以降に測定されたものとしては, 早川 (1983) によって中郷軽石中の炭化木片から報告された 5390 ± 140 BP (GaK-9761), 工藤ほか (2003)

図 4 各噴火エピソードの暦年校正 ^{14}C 年代幅 (1σ)。校正曲線は IntCal04 (Reimer *et al.*, 2004), 校正プログラムは CALIB 5.0.1 (Stuiver *et al.*, 2005) を使用。* $\delta^{13}\text{C}$ を -25% と仮定して校正した年代幅。A ~ G のアルファベットは各噴火エピソード名を示す。年代値の引用: ⁽¹⁾ 町田ほか (1981), ⁽²⁾ 工藤ほか (2003), ⁽³⁾ Hayakawa (1985)。

Fig. 4 Ranges of calibrated ^{14}C ages (1σ) for each eruptive episode based on the calibration curve IntCal04 (Reimer *et al.*, 2004) using the calibration program CALIB 5.0.1 (Stuiver *et al.*, 2005). Alphabets A to G indicate the name of each eruptive episode. * Age ranges calibrated on the assumption that the $\delta^{13}\text{C}$ value is -25% . References of ages: ⁽¹⁾ Machida *et al.* (1981), ⁽²⁾ Kudo *et al.* (2003), ⁽³⁾ Hayakawa (1985)。

によって中振軽石直下の土壌から報告された 5250 ± 90 BP (NUTA-5696) および 5320 ± 90 BP (NUTA-5790) の年代値がある。これらの年代値は測定対象や測定手法が異なるにも関わらず良く一致している。ここでは、AMS 法によって測定され、同位体分別補正がなされている工藤ほか (2003) による 5320 ± 90 BP の年代値を噴火エピソード C の年代として採用する。この年代値を CALIB 5.0.1 (Stuiver *et al.*, 2005) を用いて暦年校正すると、 1σ の範囲で $5993\text{--}6206$ cal BP (100%) となる (図 4)。以上より、本報告では噴火エピソード C の暦年代をおおよそ 6.2 ka とする。

3) 噴火エピソード D'

噴火エピソード D' に関する ^{14}C 年代としては、本研究による 6670 ± 25 BP の年代値が初の報告である。この年代値は層序関係とも良く調和しており、おおむね妥当であると判断できる。この

年代値の校正暦年代幅 (表 1, 図 4) から、本報告では噴火エピソード D' の暦年代をおおよそ 7.6 ka とする。

4) 噴火エピソード D

噴火エピソード D に関する ^{14}C 年代としては、本研究による 6830 ± 25 BP および 7420 ± 25 BP の年代値が初の報告である。校正暦年代では前者はおおよそ 7.7 ka, 後者はおおよそ 8.3 ka となる (表 1, 図 4)。前者は小国軽石直下, 後者は降下火山灰層直下から採取されたものである。両者の間には土壌層が認められないため (図 3), 同一の噴火エピソードであることは確実である。しかし、両者の年代は誤差の範囲を越えて不一致である (図 4)。ここでは、どちらの年代が妥当であるかを検証するために、噴火エピソード D' と噴火エピソード E の暦年代を用いて、間に挟まれる土壌の厚さから噴火エピソード D の年代を見積もった。D', D および E の三者が観察さ

れる 14 ヶ所の露頭で得られた層厚データから見積もと、D の暦年代は 7.9–8.8 ka であり、平均値は 8.2 ka となる。この結果より、ここでは層序から予想される年代に近い 7420 ± 25 BP の年代値を噴火エピソード D の年代として採用する。この年代値の較正暦年代幅（表 1, 図 4）から、本報告では噴火エピソード D の暦年代をおおよそ 8.3 ka とする。原因は不明であるが、もう一方の年代値は実際よりも若く出ている可能性がある。

5) 噴火エピソード E

噴火エピソード E に関する ^{14}C 年代としては、大池・高橋（1970）によって南部軽石に含まれる炭化木片から報告された 8600 ± 250 BP (GaK-2613), Hayakawa (1985) によって報告された 8370 ± 170 BP (GaK-10650) の年代値がある。後者については、試料の種類と採取した層準が原著に未記載であったため不明であったが、学習院大学理学部（2005）によって年代測定試料に関する資料が Web 上で公開され、この試料が南部軽石に含まれる炭化木片であったことが判明している。両者の年代値は降下堆積物中の炭化木片から得られたものであり、誤差の範囲で良く一致し、層序とも調和的であることから、おおむね妥当であると判断できる。ここでは、より誤差の小さい Hayakawa (1985) による 8370 ± 170 BP の年代値を噴火エピソード E の年代として採用する。この年代値は同位体分別補正がなされておらず、そのままでは較正暦年代を算出できない（例えば、中村, 2001）。そこで、この試料の $\delta^{13}\text{C}$ を、炭化木片の典型値である -25% (Stuiver and Polach, 1977) と仮定して同位体分別補正を行い、CALIB 5.0.1 (Stuiver *et al.*, 2005) を用いて暦年較正を行なった。その結果、 1σ の範囲で $9136\text{--}9180$ cal BP (10%), $9199\text{--}9227$ cal BP (6%), $9232\text{--}9527$ cal BP (84%) となった（図 4）。以上より、本報告では噴火エピソード E の暦年代をおおよそ 9.4 ka とする。ただし、この年代値は誤差が比較的大きく、同位体分別補正がなされていないので、今後新たな ^{14}C 年代データの取得が望まれる。

6) 噴火エピソード F

噴火エピソード F に関する ^{14}C 年代としては、本研究による 8110 ± 30 BP の年代値が初の報告である。しかし、この年代は Hayakawa (1985) による上位の噴火エピソード E の年代 (8370 ± 170 BP) よりも若い（図 4）。E–F 間には 15–25 cm の土壤層が存在することから、これは層序と矛盾することになる。ここで仮に、E の年代を無視して今回測定された 8110 ± 30 BP の年代値（暦年代ではおおよそ 9.1 ka）を採用すると、F 前後の土壤の堆積速度は、D–F 間では 0.05 cm/年（8 露頭での平均値）、F–G 間では 0.009 cm/年（6 露頭での平均値）となる。すなわち、この年代値を採用すると、噴火エピソード F を境に土壤の堆積速度が 5 倍以上に増加することになる。噴火によって裸地が広がり、風成塵の生産が増えれば、土壤の堆積速度が増加する可能性はある。しかし、噴火エピソード F は後カルデラ期の中でも比較的小規模な噴火であり (Hayakawa, 1985), 他の噴火エピソードよりも際立って裸地が拡大したとは考えづらい。また、D–F 間と F–G 間の土壤層を比較しても、岩相や色調などの違いは特に認められない。噴火に起因しない環境変動によって土壤の堆積速度が変化したことも否定はできないが、今回測定された年代値は実際よりも若く出ている可能性が考えられる。この年代値の妥当性を判断するためには、今後年代測定値を増やすなどのさらなる検討が必要と思われる。したがって、ここではこの年代値を採用せず、噴火エピソード E と噴火エピソード G の暦年代を用い、間に挟まれる土壤の厚さから噴火エピソード F の年代を見積もることにした。E, F および G の三者が観察される 5 ヶ所の露頭で得られた層厚データから見積もと、F の暦年代は 10–10.2 ka, 平均値は 10.1 ka となる。以上より、現段階では噴火エピソード F の暦年代をおおよそ 10.1 ka としておく。

7) 噴火エピソード G

噴火エピソード G に関する ^{14}C 年代としては、本研究による 9330 ± 35 BP の年代値が初の報告である。この年代値は層序関係と良く調和して

おり、おおむね妥当であると判断できる。この年代値の較正暦年代幅（表 1, 図 4）から、本報告では噴火エピソード G の暦年代をおおよそ 10.6 ka とする。

8) 二の倉スコリア

二の倉スコリアに関する ^{14}C 年代はこれまで報告されていない。二の倉スコリアの堆積は、噴火エピソード L の直後から始まったと考えられている（Hayakawa, 1985; 久利・栗田, 2003）。噴火エピソード L の年代は、青木・新井（2000）によって酸素同位体比層序から 14.9–15.3 ka と推定され、 ^{14}C 年代の較正暦年代とも調和的であることが示されている。したがって、二の倉スコリアの噴出開始時期はおおよそ 15 ka と判断できる。一方、二の倉スコリアと G の間には 2–14 cm の土壌層が存在する。E–G 間の土壌の堆積速度は 5 ヶ所の露頭の層厚データからおおよそ 0.03 cm/年と見積もられるので、この堆積速度を用いると二の倉スコリアと G の時間間隔は 70–470 年と算出される。土壌層の厚さが場所により大きく異なるため、確実な時間間隔の算出は困難ではあるが、二の倉スコリアと G の時間間隔は少なくとも 500 年を越えないものと推測される。G の暦年代は 10.6 ka であるから、二の倉スコリアの上限はおおよそ 11 ka 付近と考えて良いであろう。以上より、本報告では二の倉スコリアの噴出時期をおおよそ 15–11 ka とする。Hayakawa（1985）は二の倉スコリアの噴出期間を約 2000 年間と考えたが、今回噴火エピソード G に年代尺度が入ったことにより、二の倉スコリアの噴出期間は約 4000 年間と見積もられる結果となった。

VI. 十和田火山後カルデラ期における噴火発生頻度

前章で提示した噴火年代を用いて編年した十和田火山後カルデラ期の噴火活動史を図 5 に示す。ここでは後カルデラ期噴火活動史の概要について述べるとともに、時代による噴火発生頻度の変化について考察を行なう。

十和田火山では 15 ka に起こった噴火エピソード

図 5 十和田火山後カルデラ期の噴火史編年。

Fig. 5 Chronology of eruptive history during the post-caldera stage of Towada volcano.

ド L（十和田八戸火砕流の噴出イベント）により、現在見られる直径約 11 km の十和田カルデラの原形が形成された（Hayakawa, 1985）。後カルデラ期の噴火活動は、その直後から十和田カルデラ内において開始された。初期の活動は、断続的なスコリア火山礫・火山灰の噴出および溶岩流の流出で特徴づけられ、これらの活動により小規模な成層火山体が形成された（Hayakawa, 1985）。この一連の活動は、おおよそ 11 ka まで約 4000 年間続いたと考えられる。

久利・栗田（2003）は、二の倉スコリアが土

壤層によって区分される 11 枚のテフラからなることを報告している。このことは、主要な火砕噴火が少なくとも 11 回あったことを示す。ただし、二の倉スコリアに挟在される土壤層はスコリア火山礫や火山灰がしばしば混在しており、小規模な噴火を含めると実際の火砕噴火の回数はさらに多かったものと推測される。また、溶岩流の流出も複数回起こっているの、これらも加えると、この時期にはかなりの高頻度で噴火活動が起こっていたと考えられる。久利・栗田(2003)は、二の倉スコリア中に挟在される土壤層の厚さから、11 回の主要な火砕噴火がほぼ等間隔で発生していたと考えた。4000 年間で 11 回の噴火がほぼ等間隔で起こったとすると、噴火発生頻度は 400 年に 1 回となる。すなわち、15-11 ka には少なくとも 400 年以下の短い時間間隔で噴火が頻発していたと考えられる(図 5)。噴火発生頻度は 1000 年あたり 2.8 回以上となる。

二の倉スコリア以後には、10.6 ka に噴火エピソード G, 10.1 ka に噴火エピソード F, 9.4 ka に噴火エピソード E, 8.3 ka に噴火エピソード D, 7.6 ka に噴火エピソード D' が起こった(図 5)。これらの噴火は 500-1100 年間隔で発生している。噴火発生頻度は 1000 年あたり 1.7 回となる。この時期以降では、以前と比較して土壤層が明瞭になる。このことも、二の倉スコリア期よりも噴火頻度が確実に低下したことを支持する。

その後、6.2 ka に噴火エピソード C, 2.8 ka に噴火エピソード B, 西暦 915 年(1.1 ka)に噴火エピソード A が起こった(図 5)。これらの噴火は 1400-3400 年間隔で発生している。噴火発生頻度は 1000 年あたり 0.4 回となる。7.6 ka 以前と比較すると、噴火間隔はより長期化し、噴火発生頻度は減少しているように見える(図 5)。なお、噴火エピソード A 以後は、現在(2007 年)までの間に 1092 年が経過している。

以上のように、十和田火山後カルデラ期では、時代とともに噴火間隔が長期化し、噴火発生頻度が低下する傾向が認められる。なお、噴火発生頻度と噴火の規模の関連性については、各噴火エピソードの噴出量を再検討した上で、別稿で詳しく

議論する予定である。

VII. まとめと今後の課題

今回の調査・研究では、十和田火山後カルデラ期におけるテフラ層序の再検討とテフラ直下土壤の ^{14}C 年代測定を行なった。その結果、従来よりも高精度な時間スケールに基づく噴火活動史の編年を行なうことができた。特に、十和田火山後カルデラ期においては、時代とともに噴火静穏期が長期化し、噴火発生頻度が低下していることが判明した。この要因については現時点では不明だが、これらは十和田火山の中・長期活動予測をする上で重要な資料となる。今後、年代データのさらなる充実を図るとともに、噴火発生頻度と噴火規模の関係についても考察を進め、得られた層序データを基に噴火推移確率樹や噴火シナリオの作成を行い、防災対応に役立つ基礎データの構築を目指していく予定である。

謝 辞

本研究は平成 18 年度東京地学協会研究・調査助成金を用いて行われた。本研究を実施するにあたって、産業技術総合研究所の及川輝樹氏には ^{14}C 年代の測定方法およびその結果について議論していただいたほか、原稿を読んでいただき有益なコメントをいただいた。産業技術総合研究所の中野 俊氏、星住英夫氏には本研究を進めるにあたって格別なるご配慮をいただいた。編集委員の下司信夫氏には原稿を改善する上で有益なコメントをいただいた。ここに記して深く感謝申し上げます。

文 献

- 青木 かおり・新井 房夫 (2000): 三陸沖海底コア KH94-3, LM-8 の後期更新世テフラ層序. 第四紀研究, **39**, 107-120.
- ボウマン, S. 著, 北川浩之訳 (1998): 年代測定. 大英博物館双書, 古代を解き明かす, 3, 学藝書林.
- Bowman, S. (1990): *Radiocarbon Dating*. British Museum Press.
- 学習院大学理学部 (2005): 学習院大学年代測定室の測定結果と文書資料.
http://www.gakushuin.ac.jp/univ/sci/top/nendai_data/ [Cited 2007/04/01].
- 早川由紀夫 (1983): 十和田火山中振テフラ層の分布, 粒度組成, 年代. 火山, **28**, 263-273.
- Hayakawa, Y. (1985): *Pyroclastic geology of Towada*

- volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **60**, 507-592.
- 早川由紀夫・小山真人 (1998): 日本海をはさんで 10 世紀に相次いで起こった二つの大噴火の年月日—十和田湖と白頭山—. 火山, **43**, 403-407.
- 気象庁 (2005): 日本活火山総覧 (第 3 版). 気象庁.
- 工藤 崇・奥野 充・中村俊夫 (2003): 北八甲田火山群における最近 6000 年間の噴火活動史. 地質学雑誌, **109**, 151-165.
- 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.
- 町田 洋・新井房夫・森脇 広 (1981): 日本海を渡ってきたテフラ. 科学, **51**, 562-569.
- 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, **4**, 1-64.
- 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.
- 中井信之・中村俊夫 (1988): 放射性炭素年代測定法. 地質学論集, **29**, 235-252.
- 中村俊夫 (2001): 放射性炭素年代とその高精度化. 第四紀研究, **40**, 445-459.
- 大池昭二 (1972): 十和田火山東麓における完新世テフラの編年. 第四紀研究, **11**, 228-235.
- 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.
- 大池昭二・庄司貞雄 (1974): 十和田 b 降下火山灰の ^{14}C 年代—日本の第四紀層の ^{14}C 年代 (96) —. 地球科学, **28**, 99-100.
- 大池昭二・高橋 一 (1970): 南部浮石の ^{14}C 年代—日本の第四紀層の ^{14}C 年代 II (62) —. 地球科学, **24**, 232-233.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C.J.H., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Ramsey, C.B., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C.E. (2004): IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 26-0 ka BP. *Radiocarbon*, **46**, 1029-1058.
- 斎藤仁子・大池昭二 (1984): 十和田新期火山の地質と岩石—十和田火山 (カルデラ) 発達史に関連して—. 地球科学, **38**, 75-83.
- Stuiver, M. and Polach, H.A. (1977): Discussion: Reporting of ^{14}C data. *Radiocarbon*, **19**, 355-363.
- Stuiver, M., Reimer, P.J. and Reimer, R. (2005): *CAL-IB 5.0.1 radiocarbon calibration program*. <http://calib.qub.ac.uk/calib/> [Cited 2006/04/01].