

十和田火山, 先カルデラ期溶岩の K-Ar 年代

工藤 崇^{1,*}

Takashi Kudo (2016) K-Ar ages of lavas from the pre-caldera stage, Towada volcano, Northeast Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.67 (6), p.209–215, 4 figs, 1 table.

Abstract: Towada volcano is an active volcano located in the northern part of the Northeast Japan arc. K-Ar ages of lavas exposed at the Towada caldera wall were determined to establish a detailed eruptive history during the pre-caldera stage of Towada volcano. The obtained K-Ar ages were 0.26 ± 0.07 and 0.13 ± 0.06 Ma for Ohanabeyama Lava and 0.09 ± 0.06 and 0.09 ± 0.06 Ma for Hakka Lava and Pyroclastics. Although these K-Ar ages have large error ranges, they are consistent with stratigraphy. Distal tephra stratigraphy at the Kamikita Plain suggests that the main volcanic activity of Towada volcano have started at no earlier than ca.0.22 Ma. The newly obtained K-Ar ages of proximal lavas are consistent with the onset age of the volcanic activity estimated from the distal tephra stratigraphy.

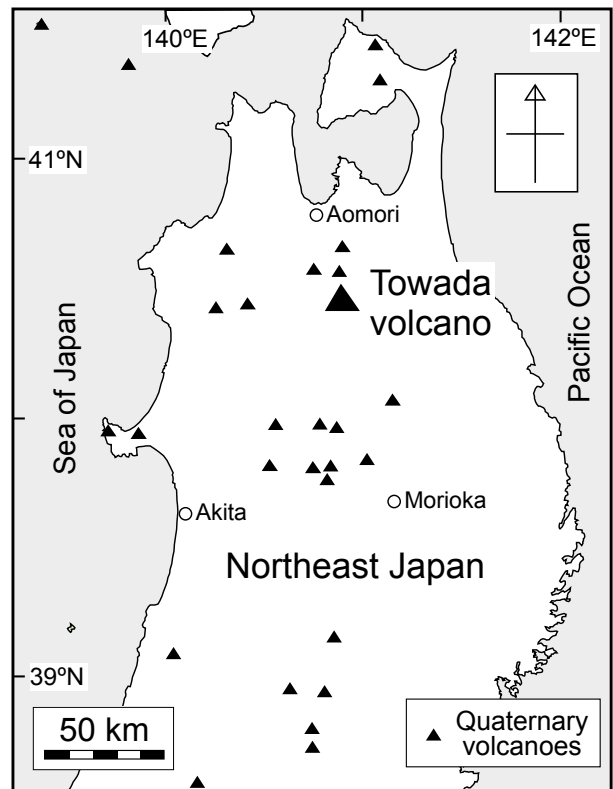
Keywords: Towada volcano, pre-caldera stage, K-Ar age, eruptive history, Pleistocene, Northeast Japan

要 旨

十和田火山先カルデラ期のより詳細な噴火史編年を目的として、給源近傍に分布する溶岩を対象に、K-Ar年代測定を行った。その結果、御鼻部山溶岩より 0.26 ± 0.07 及び 0.13 ± 0.06 Ma、発荷溶岩・火砕物より 0.09 ± 0.06 及び 0.09 ± 0.06 Maの年代が得られた。得られたK-Ar年代は、比較的誤差が大きいものの、いずれも層序と矛盾しない。給源遠方の上北平野におけるテフラ層序からは、十和田火山の主要な活動は約0.22 Ma以降に開始したと推定される。今回、給源付近の溶岩から得られたK-Ar年代は、上記の活動開始時期とは矛盾しない。

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。なお、ここでの各活動期の年代は、Hayakawa (1985) 及びHoriuchi *et al.* (2007) による。十和田火山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

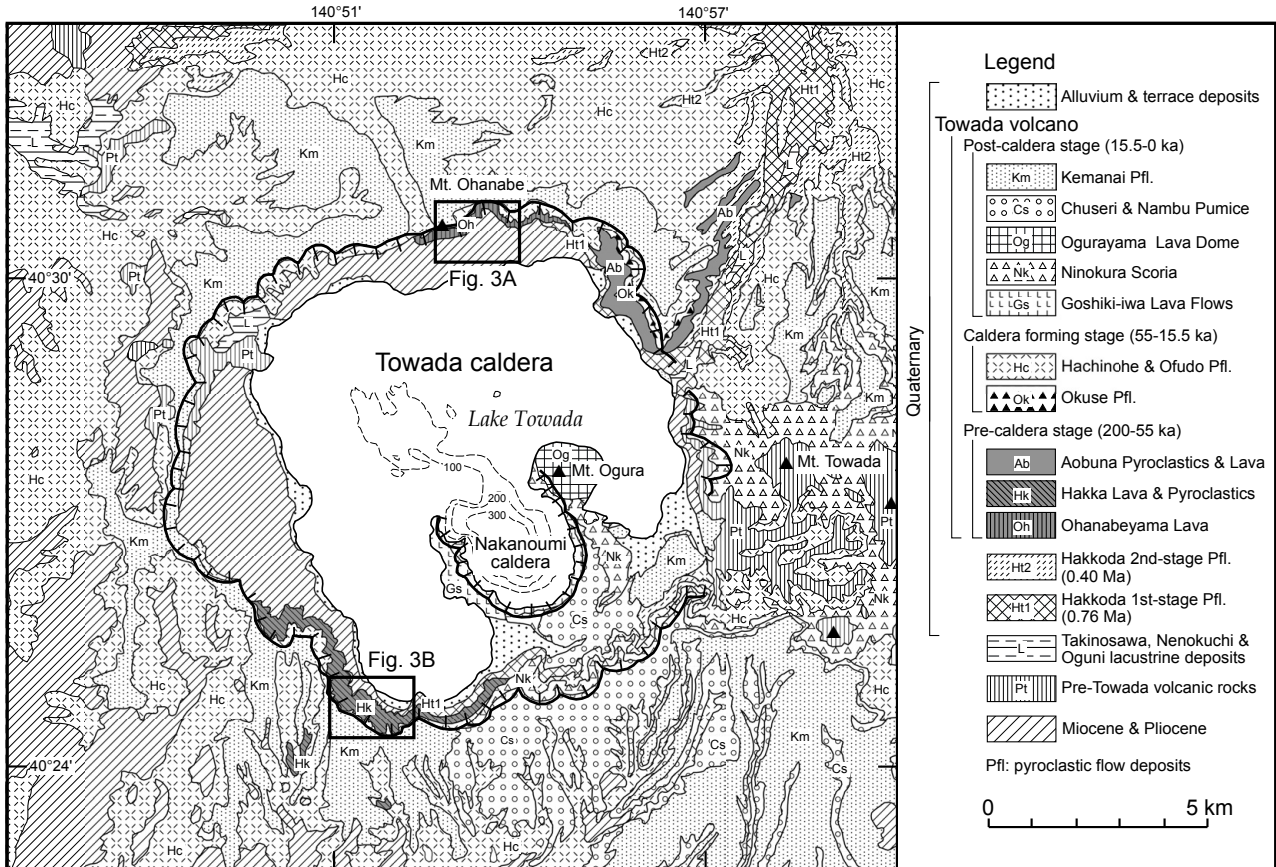


第1図 十和田火山の位置図。

Fig. 1 Location map of Towada volcano.

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

*Corresponding author: T. Kudo, Central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan, Email: kudo-taka@aist.go.jp



第2図 十和田火山の地質図。Hayakawa (1985), 村岡・高倉(1988)をコンパイル及び一部改変した。

Fig. 2 Geological map of Towada volcano, compiled and partly modified from Hayakawa (1985) and Muraoka and Takakura (1988).

木, 2007; 工藤, 2008, 2010a, b; 広井ほか, 2015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イベントを除いて, 活動履歴の把握が十分になされているとは言い難い。このうち, 先カルデラ期の噴出物については, 給源近傍で溶岩を主体とする噴出物(第2図; Hayakawa, 1985など)が, 給源遠方の上北平野では降下テフラ群(松山・大池, 1986; 中川ほか, 1986; 工藤, 2005; 工藤・小林, 2013)が認められている。後者については, 詳細なテフラ層序がほぼ確立している。その一方, 前者については詳細な層序が未だ不明であり, 放射年代データも佐々木ほか(1998)による学会講演要旨において2点のK-Ar年代が報告されているのみである。そのため, 給源近傍相と遠方相の対比も明らかにされていない。

長期的な噴火活動予測のためには, 過去の噴火履歴をできるだけ詳細に把握しておくことが必要である。特に, 十和田火山の先カルデラ期は, 大規模カルデラ噴火に先行するステージとして位置づけられる。そのため, 詳細な噴火活動史を構築し, その時間変化傾向を把握することは, カルデラ噴火の長期的将来予測を行うためにも重

要である。そこで筆者は, 十和田火山先カルデラ期より詳細な噴火活動史の構築を目指して, 目下調査・研究を進めているところである。その調査・研究の過程で, 給源近傍に分布する先カルデラ期の溶岩類を対象としてK-Ar年代測定を実施した。本論では, その結果について報告するとともに, 十和田火山の活動開始時期について考察を行う。

2. 先カルデラ期噴出物の地質記載

十和田火山の先カルデラ期噴出物は, 給源近傍において, 御鼻部山溶岩, 発荷溶岩・火砕岩, 青樺山火砕岩・溶岩の3つの地質ユニットに区分されている(第2図; Hayakawa, 1985; 村岡・高倉, 1988; 宝田・村岡, 2004)。これら三者の層序関係は, それぞれの分布域が離れているため不明である。いずれも, 十和田火山カルデラ形成期噴出物(55-15.5 ka)よりも下位, 八甲田第2期火砕流堆積物(0.40 Ma; 村岡・高倉, 1988)よりも上位とされている(Hayakawa, 1985; 村岡・高倉, 1988; 宝田・村岡, 2004)。以下に, 各地質ユニットについて概要記

載を行う。

御鼻部山溶岩

地層名は Hayakawa (1985) による。Hayakawa (1985) は、本溶岩を南八甲田火山群起源としたが、村岡・高倉 (1988)、宝田・村岡 (2004) は十和田火山起源とした。その理由は明記されていないが、本溶岩の分布が十和田カルデラの北壁に限られること (第2図)、南八甲田火山群の火山体末端から 6 km 離れていること、地形的にも南八甲田火山群から流れてきたとは考えにくいことから、本論においても十和田火山起源と判断する。本溶岩は、十和田カルデラの北壁、御鼻部山付近に分布し (第2図)、複数枚の安山岩溶岩から構成される。本溶岩は、中新統を覆い、十和田火山カルデラ形成期噴出物に覆われる。層厚は最大で 250 m 程度である。

発荷溶岩・火砕物

地層名は Hayakawa (1985) による「発荷火山」に由来する。ただし、「発荷火山」という名称は地層名としてふさわしくないため、本論ではこれを「発荷溶岩・火砕物」とする。本溶岩・火砕物は、十和田カルデラの南西壁付近に分布し (第2図)、主に玄武岩質安山岩-安山岩の溶岩から構成され、降下火砕堆積物及び火砕流堆積物を伴う。これらは小規模な成層火山体 (発荷火山) を構成していたと推定されている (Hayakawa, 1985)。本溶岩・火砕物は、中新統及び八甲田第1期火砕流堆積物 (約 0.76 Ma: 村岡・高倉, 1988; Suzuki *et al.*, 2005) を覆い、十和田火山カルデラ形成期噴出物に覆われる。層厚は最大で 200 m 程度である。

青樫山火砕物・溶岩

地層名は Hayakawa (1985) による「^{あおふな}青樫火山」に由来し、その後、宝田・村岡 (2004) により「青樫山火砕物・溶岩」に改称された。本火砕物・溶岩は、十和田カルデラの北東壁付近に分布し (第2図)、主に降下火砕堆積物及び火砕流堆積物から構成され、複数枚の玄武岩質安山岩-安山岩溶岩流を伴う。これらは小規模な成層火山体 (青樫火山) を構成していたと推定されている (Hayakawa, 1985)。本火砕物・溶岩は、八甲田第1期・第2期火砕流堆積物を覆い、十和田火山カルデラ形成期の奥瀬火砕流堆積物 (大池・中川, 1979; Hayakawa, 1985) に覆われる。また、中部付近では広域テフラである洞爺火山灰 (Toya: 町田ほか, 1987) を挟在する (Hayakawa, 1985; 早川, 1993)。層厚は最大で 150 m 程度である。

3. K-Ar 年代測定対象の選定

今回、御鼻部山溶岩 1 試料、発荷溶岩・火砕物 1 試料について、K-Ar 年代測定を実施した。これらの試料を選定した理由は、以下の通りである。

御鼻部山溶岩

本溶岩からは、佐々木ほか (1998) により 0.19 ± 0.10 Ma の K-Ar 年代が報告されている。しかし、学会講演要旨のため、試料採取地点、層準、詳細な分析データが示されていない。本溶岩については、テフラとの層序関係が不明なため、噴出時期を知るためには溶岩自体の放射年代値を得る必要がある。そこで、今回測定対象として選定した。

発荷溶岩・火砕物

本溶岩・火砕物からは、これまで放射年代の報告はない。本溶岩・火砕物も、テフラとの層序関係が不明なため、噴出時期を知るためには溶岩自体の放射年代値を得る必要がある。そこで、今回測定対象として選定した。

青樫山火砕物・溶岩

本火砕物・溶岩を構成する溶岩からは、佐々木ほか (1998) により 0.06 ± 0.06 Ma の K-Ar 年代が報告されている。本火砕物・溶岩に関しては、広域テフラである Toya との層序関係が判明していること、火砕物を主体としていることから、今後、上北平野に分布するテフラとの対比を進めることで、詳細な噴火史を編年できる可能性がある。また、既存の K-Ar 年代値から、本火砕物・溶岩は年代が若過ぎて十分な精度の年代が得られない可能性があると考えた。そのため、今回測定対象として選定しなかった。

4. 試料採取地点と産状・岩石記載

青森県十和田市御鼻部山の地点 1 (第3図A) 及び秋田県小坂町発荷の地点 2 (第3図B) で採取した試料 (試料番号 13091710 及び 13052509) を、K-Ar 年代測定に供した。前者は御鼻部山溶岩、後者は発荷溶岩・火砕物から得られた試料である。以下、各試料について、それぞれ産状・岩石記載を行う。

試料 13091710

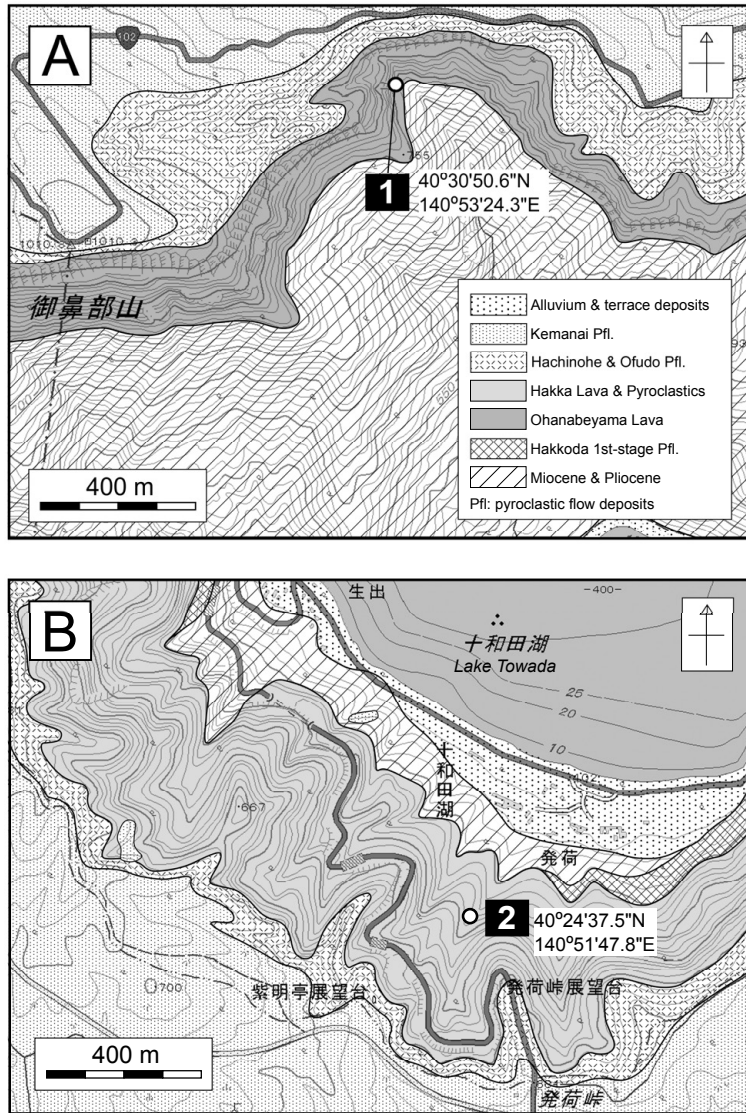
地層名 御鼻部山溶岩。

採取地点 地点 1 (第3図A)。

産状 地点 1 では、2 枚の溶岩流と、降下火砕物、シルト層の互層が観察される (第4図)。本試料は、下位に位置する層厚 5.3 m の溶岩流の塊状部から得られた。この溶岩流は、塊状部と上下のクリンカー部で構成される。この溶岩流は、地点 1 付近で認められる御鼻部山溶岩の中では最下位の溶岩流である。直接の層序関係を見ることはできないが、地点 1 より下流側では中新統が露出する (第3図A)。

岩石名 単斜輝石斜方輝石安山岩。

記載岩石学的特徴 斑状組織を示す。斑晶鉱物として



第3図 試料採取地点の位置及び地質図。それぞれの区域の位置は第2図に示してある。地質図は著者のオリジナルな調査結果に基づく。基図は国土地理院発行の2万5千分の1地形図(陸奥焼山及び小坂鉾山)を使用。凡例はAとBで共通。

Fig. 3 Locality and geological map showing the sampling sites. Location of each area is shown in Fig. 2. Geological maps are based on the author's original geological survey. Base maps are 1:25,000 topographic maps (Mutsu-yakeyama and Kosakakouzan) published by the Geospatial Information Authority of Japan. Legends are common in A and B.

斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 不透明鉱物を含む。これらの斑晶はしばしば集斑晶を構成する。斜長石斑晶は長径4.5 mm以下で, 自形-半自形を呈する。斜方輝石斑晶は長径1.5 mm以下で, 自形-半自形を呈し, そのほとんどが外縁部に単斜輝石の薄いリムを有する。単斜輝石斑晶は長径2 mm以下で, 自形-半自形を呈する。不透明鉱物斑晶は長径0.4 mm以下で自形-他形を呈する。石基はインターサータル組織を示し, 針状の斜長石と単斜輝石, 粒状の不透明鉱物で構成される。石基は完晶質で, ガラスはほとんど認められない。石

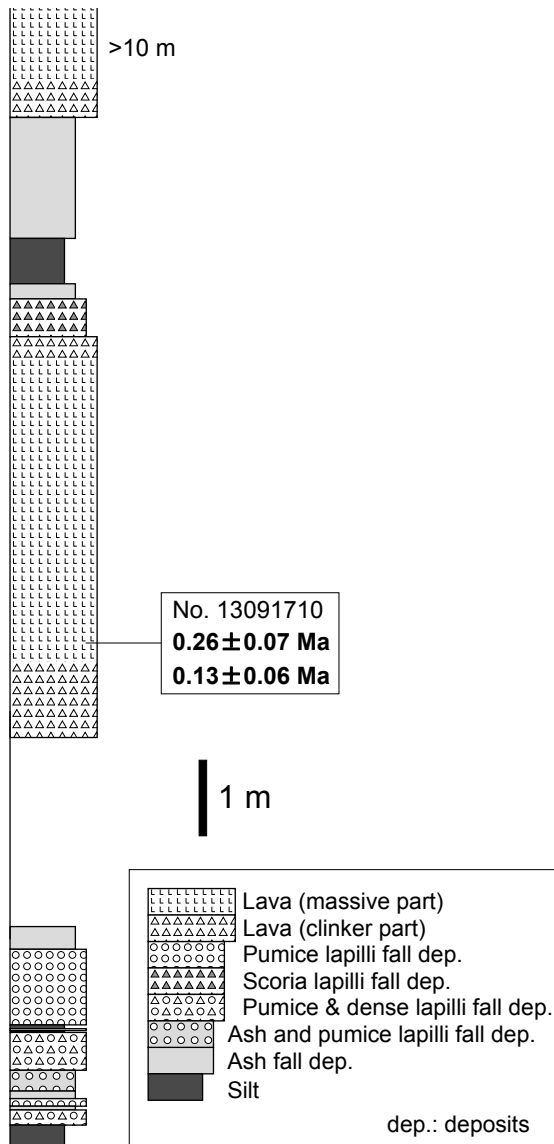
基部分に変質は認められない。

試料 13052509

地層名 発荷溶岩・火砕物。

採取地点 地点2 (第3図B)。

産状 地点2では, 鉛直方向2 m, 側方向1 mほどの小規模な露頭であるが, 層厚2 m以上の溶岩流が観察される。上部1 mがクリンカー部, 下部1 mが塊状部からなる。試料は塊状部から採取した。この溶岩流は, 発荷溶岩・火砕物の中では相対的には中部付近の層準



第4図 地点1における地質柱状図。
 Fig. 4 Stratigraphic columnar section at the location 1.

にあたる(第3図B)。

岩石名 かんらん石含有斜方輝石単斜輝石安山岩。

記載岩石学的特徴 斑状組織を示す。斑晶鉱物として斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石, 不透明鉱物, かんらん石を含む。斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石, 不透明鉱物斑晶は, しばしば集斑晶を構成する。斜長石斑晶は長径3.5 mm以下で, 自形-半自形を呈する。単斜輝石斑晶は長径1.5 mm以下で, 自形-半自形を呈する。斜方輝石斑晶は長径2 mm以下で, 自形-半自形を呈する。不透明鉱物斑晶は長径1 mm以下で自形-他形を呈する。かんらん石斑晶は薄片中に1個認められるのみであり, 長径0.5 mmで自形を呈する。石基はインターサタル組織を示し, 長柱状-粒状の斜長石, 単斜輝石, 不

透明鉱物で構成される。石基は完晶質で, ガラスはほとんど見られない。石基部分に変質は認められない。

5. K-Ar年代測定手法

K-Ar年代測定は, 株式会社蒜山地質年代学研究所に依頼した。測定対象は石基とし, 分離方法は八木(2006)に従った。年代測定方法は, 長尾ほか(1984), 長尾・板谷(1988), Itaya *et al.* (1991)に従った。Kの定量は炎光分光法により行った。Arの定量には ^{38}Ar をトレーサーとした同位体希釈法を用いた。Ar同位体の測定は2回行い, それぞれの測定値を用いて年代を計算した。年代値の計算にはSteiger and Jäger (1977)による壊変定数を用いた。

6. K-Ar年代と年代値の評価

K-Ar年代測定結果を第1表に示す。御鼻部山溶岩からは, 0.26 ± 0.07 Ma, 0.13 ± 0.06 Ma (誤差は1 σ , 以下全て同様)の年代が得られた。これらの加重平均を求めると 0.19 ± 0.05 Maとなる。ただし, 両者のデータは, 1 σ を越える差が認められることから, 統計学的にはつじつまの合わないデータと判断され, 扱いには注意を要する。先行研究においては, 御鼻部山溶岩より 0.19 ± 0.10 MaのK-Ar年代が報告されている(佐々木ほか, 1998)。今回得られたK-Ar年代は, 先行研究による年代とは誤差の範囲で矛盾しない。また, これらの年代は, 御鼻部山溶岩が中新統を覆い, 十和田火山カルデラ形成期噴出物に覆われる層序関係と調和する。年代値の誤差がやや大きいものの, 現時点では, 御鼻部山溶岩の噴出時期はおおよそ20万年前と推定される。

発荷溶岩・火砕物からは, 2回のAr測定により, いずれも 0.09 ± 0.06 Maの年代が得られた。これらの加重平均は 0.09 ± 0.04 Maとなる。年代値に対して誤差が大きなものとなったが, その原因としては, 年代の若い試料であることに加え, K含有量が低いことが挙げられる。この年代は, 発荷溶岩・火砕物が中新統及び八甲田第1期火砕流堆積物(村岡・高倉, 1988)を覆い, 十和田火山カルデラ形成期噴出物に覆われる層序関係と調和する。発荷溶岩・火砕物については, これまで放射年代が未報告であり, テフラとの関係も不明であったため, 年代に関して不明な点が多かった。今回, 誤差が大きいとはいえ, 年代が得られた意義は大きい。

青楓山火砕物・溶岩の溶岩からは, 0.06 ± 0.06 MaのK-Ar年代が報告されている(佐々木ほか, 1998)。青楓山火砕物・溶岩は, 中部に0.112 Ma(白井ほか, 1997)のToyaを挟在し, 層序関係から約0.055 Ma(Hayakawa, 1985)とされる奥瀬火砕流堆積物に覆われる。これらの年代・層序関係から, 少なくとも青楓山火砕物・溶岩の一部については12-6万年前の産物と考えられる。以上の年代デー

第1表 K-Ar年代測定結果.
Table 1 Results of K-Ar age determination.

Sample name	Geological unit	Occurrence	Locality*	Latitude (N)	Longitude (E)	K (wt.%)	Rad. ⁴⁰ Ar (10 ⁻⁸ cc STP/g)	K-Ar age (Ma)	Non rad. ⁴⁰ Ar (%)
13091710	Ohanabeyama Lava	Andesite lava	1	40°30'50.6"	140°53'24.3"	0.388 ± 0.008	0.39 ± 0.10	0.26 ± 0.07	94.0
							0.20 ± 0.09	0.13 ± 0.06	96.7
							weighted average: 0.19 ± 0.05		
13052509	Hakka Lava & Pyroclastics	Andesite lava	2	40°24'37.5"	140°51'47.8"	0.616 ± 0.012	0.22 ± 0.14	0.09 ± 0.06	97.3
							0.22 ± 0.13	0.09 ± 0.06	97.2
							weighted average: 0.09 ± 0.04		

*See Fig. 3. The decay constants used in the present study are $\lambda_e(^{40}\text{K})=0.581\times 10^{-10}/\text{year}$, $\lambda_\beta=4.962\times 10^{-10}/\text{year}$ and $^{40}\text{K}/\text{K}=1.167\times 10^{-4}$ (Steiger and Jäger, 1977). Errors are given at the 1 σ uncertainty level. Rad.: radiogenic.

タより、青樫山火砕物・溶岩と発荷溶岩・火砕物の一部は、ほぼ同時期の火山活動による産物である可能性が指摘される。

7. 十和田火山の活動開始時期について

十和田火山の活動開始時期については、Hayakawa (1985) が約20万年前と推定している。ただし、その具体的な根拠は示されていない。十和田火山東方の上北平野において、十和田火山起源のテフラはWPテフラ(東北地方第四紀研究グループ, 1969)より上位の層準で出現する(岩崎, 1983; 松山・大池, 1986; 工藤, 2005)。WPの放射年代としては、 0.28 ± 0.05 MaのFT年代(桑原, 2007), 0.23 ± 0.05 MaのFT年代(工藤・小林, 2013)が得られている。一方、工藤・小林(2013)は、ローム層の植物珪酸体分析結果(桑原, 2009)に基づき、WPの年代をMIS(海洋酸素同位体ステージ)7/6境界にあたる0.19 Ma付近と推定している。さらに最近、Matsu'ura *et al.* (2014)は、海洋コアの酸素同位体層序よりWPの年代を約0.22 Maと見積もった。この年代は、上北平野における海成段丘面の編年及びローム層の植物珪酸体分析結果(桑原, 2004, 2009など)とも矛盾がなく、現時点ではWPの年代として最も妥当と判断される。以上のように、上北平野に分布するテフラからは、十和田火山の主要な活動は約0.22 Ma以降に開始されたと推定される。今回、給源付近の溶岩から得られたK-Ar年代は、誤差が大きなものではあるが、上記の活動開始時期とは矛盾しない。

謝辞：本報告で公表した年代値は、原子力規制庁からの受託研究において実施した「平成26年度 火山影響評価に係る技術的知見の整備」により得られたものである。本研究を行うにあたり、活断層・火山研究部門の山元孝広氏には諸般にわたってお世話になった。地質標本館室地質試料調製グループの大和田 朗氏、佐藤卓見氏、福田和幸氏、平林恵理氏には岩石薄片を製作していただいた。

査読者の山崎誠子氏、編集担当の田中明子氏には、本論を改善する上で大変有益なご意見をいただいた。関係各位に深く感謝申し上げる。

文 献

- 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.
- 広井良美・宮本 毅・田中倫久(2015) 十和田火山平安噴火(噴火エピソードA)の噴出物層序及び噴火推移の再検討。火山, **60**, 187–209.
- 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.
- Itaya, T., Nagao, K., Inoue, K., Honjou, Y., Okada, T. and Ogata, A. (1991) Argon isotope analysis by a newly developed mass spectrometric system for K-Ar dating. *Mineral. Jour.*, **15**, 203–221.
- 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.
- 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・小林 淳(2013) 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。地質調査

- 研究報告, **64**, 305-311.
- 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.
- 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構成物の層序と相対的海面変化. 地質雑, **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・フィッシュン・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との対比. 第四紀研究, **48**, 405-416.
- 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.
- Matsu'ura, T., Furusawa, A., Shimogama, K., Goto, N. and Komatsubara, J. (2014) Late Quaternary tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy of deep-sea sequences (Chikyu C9001C cores) as tools for marine terrace chronology in NE Japan. *Quaternary Geochronology*, **23**, 63-79.
- 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.
- 村岡洋文・高倉伸一(1988) 10万分の1 八甲田地熱地域地質図説明書. 特殊地質図 no. 21-4, 地質調査所, 27 p.
- 長尾敬介・板谷徹丸(1988) K-Ar法による年代測定. 地質学論集, no.29, 5-21.
- 長尾敬介・西戸裕嗣・板谷徹丸・緒方惟一(1984) K-Ar法による年代測定. 岡山大学蒜山研究所研究報告, no. 9, 19-38.
- 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.
- 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.
- 佐々木 実・茂貫雅祥・西岡孝尚・梅田浩司(1998) 八甲田火山群及び十和田火山溶岩類のK-Ar年代と岩石学的特徴. 日本岩石鉱物鉱床学会平成9年度学術講演会講演予稿集, 65.
- 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.
- Steiger, R. and Jäger, E. (1977) Subcommission on geochronology, convention on the use of decay constants in geo- and cosmo-chronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- Suzuki, T., Eden, D., Danhara, T. and Fujiwara, O. (2005) Correlation of the Hakkoda-Kokumoto Tephra, a widespread Middle Pleistocene tephra erupted from the Hakkoda Caldera, northeast Japan. *The Island Arc*, **14**, 666-678.
- 宝田晋治・村岡洋文(2004) 八甲田山地域の地質. 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, 86p.
- 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.
- 八木公史(2006) K-Ar年代測定のための鉱物分離マニュアル. 地質技術, 創刊準備号(蒜山地質年代学研究所創立10周年記念特集), 19-25.

(受 付 : 2016年8月16日 ; 受 理 : 2016年11月29日)

