

## 十和田火山, 御門石溶岩ドームの形成時期に関する考察

工藤 崇<sup>1,\*</sup>

Takashi Kudo (2010) Considerations on the formation age of Mikadoishi Lava Dome at Towada volcano, Northeast Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 61 (11/12), p. 477-484, 5 figs, 2 tables.

**Abstract:** The formation age of Mikadoishi Lava Dome at Towada volcano was estimated based on the petrological features of eruptive rocks during the post-caldera stage in Towada volcano. The lava dome has dacite compositions (66.4 wt.% SiO<sub>2</sub>) and contains plagioclase, clinopyroxene, orthopyroxene and Fe-Ti oxide phenocrysts. The petrological features show that the lava dome does not correlate with any tephra from the post-caldera stage. This indicates that the lava dome eruption was not accompanied with notable pyroclastic eruptions. The formation age of the Mikadoishi Lava Dome can be estimated to be sometime within 11.7-2.7 cal kyr BP on the basis of the temporal change of magma compositions in the post-caldera stage.

**Keywords:** Towada volcano, Mikadoishi Lava Dome, formation age, petrography, modal composition, whole-rock chemical composition, temporal change of magma

### 要 旨

十和田火山後カルデラ期噴出物の岩石学的特徴を用いて、御門石溶岩ドームの形成時期の推定を試みた。御門石溶岩ドームは全岩 SiO<sub>2</sub>量が66.4 wt.%のデイサイトであり、斑晶鉱物として斜長石、単斜輝石、斜方輝石及び鉄チタン鉱物を含む。岩石学的特徴からみると、御門石溶岩ドームは現時点で知られている後カルデラ期のどのテフラとも対比されない。このことは、御門石溶岩ドームを形成した噴火が顕著な火砕噴火を伴わなかったことを示す。後カルデラ期におけるマグマ組成の時間変化傾向から考えると、御門石溶岩ドームの形成は11.7-2.7 cal kyr BPの間のいずれかの時期に起こったと推定される。

### 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a, b)。十和田火山の噴火活動史はHayakawa (1985)、松山・大池(1986)、中川ほか(1986)などによりその詳細が明らかにされている。これらの研究によれば、十和田火山の噴火活動史は、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

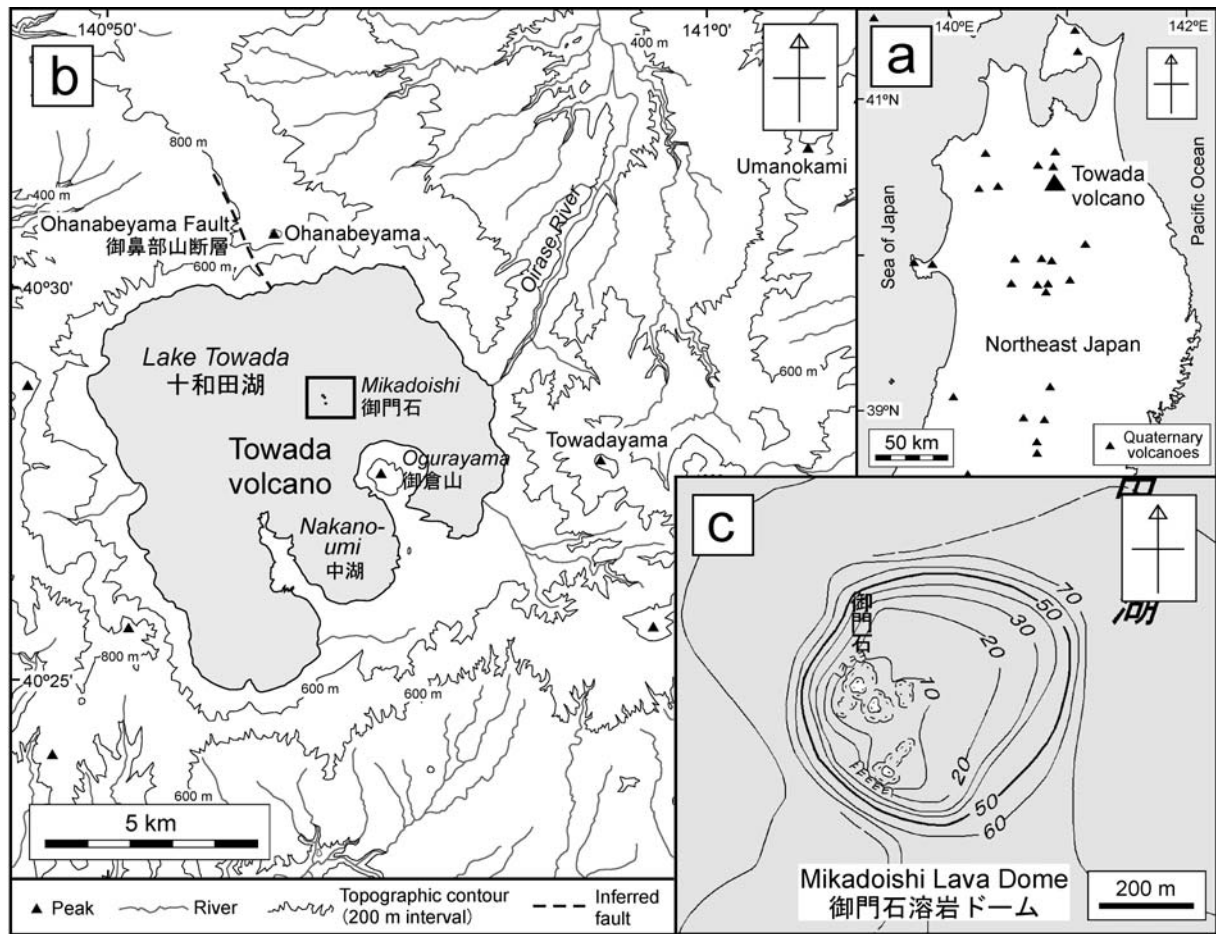
3つのステージからなり、個々の噴火イベントは噴火休止期を示す土壌層を境として「噴火エピソード」毎に区分され、新しい方からA, B, Cの順にアルファベットを用いて命名・整理されている。

十和田火山の中心部には、後カルデラ期に形成された御倉山溶岩ドームと御門石溶岩ドームの2つのデイサイト質溶岩ドームが存在する(第1図b)。なお、御門石の読み方については「ごもんいし」あるいは「ごもんせき」とする報告が多いが(大池, 1977a; Hayakawa, 1985; 松山・大池, 1986; Hunter and Blake, 1995など)、正しくは「みかどいし」であり、本報告ではこの読み方を用いる。このうち御倉山溶岩ドームについては、西暦915年に起こった噴火エピソードAの末期に形成されたと考えられてきた(大池, 1976; Hayakawa, 1985など)。しかし最近、工藤(2010)による詳細な地質学的・岩石学的検討により、御倉山溶岩ドームは約7.5 cal kyr BPの噴火エピソードD'で形成されたことが明らかとなった。一方、御門石溶岩ドームについては大部分が湖中に没しているため(第1図c)、その形成時期については未解明なままである。

御門石溶岩ドームは湖底面からの比高70 m、直径約620 mのドーム状地形を呈し(第1図c)、その体積は0.013 km<sup>3</sup>と見積もられる。溶岩ドームのごく一部が湖面すれすれに露出するのみであり(第1図c; Hayakawa, 1985

<sup>1</sup>地質情報研究部門(AIST, Geological Survey of Japan, 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1図 (a) 十和田火山の位置図. (b) 十和田火山の地形図. 御鼻部山断層は大池 (1976) による. (c) 御門石溶岩ドームの地形図. 国土地理院発行 2万5千分の1地形図「十和田湖東部」を使用.

Fig. 1 (a) Location map of Towada volcano. (b) Topographic map of Towada volcano. Ohanabeyama Fault is from Oike (1976). (c) Topographical map of Mikadoishi Lava Dome. A part of 1: 25,000 topographic map "Towadako-tobu" published by the Geographical Survey Institute is used.

による写真を参照), 地表調査により層序学的手法で形成時期を解明することは困難である. また, 形成時期が 15.5 cal kyr BP 以降と若く, 熱ルミネッセンス年代測定に有効な石英を含まないため, 現状では放射年代測定も困難である.

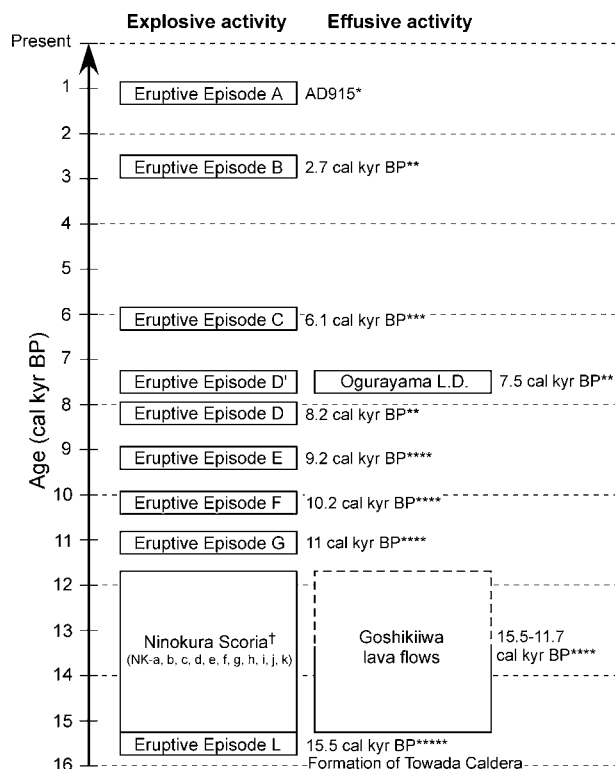
十和田火山後カルデラ期では, ほとんどの噴火が中湖<sup>なかのうみ</sup>火口 (第1図b) で発生してきたと考えられている (Hayakawa, 1985; 工藤, 2010). 一方, 噴火エピソードD'と御門石溶岩ドームの噴火は中湖火口以外で発生しており, 例外的と言える. このような主要な中心火口以外において, どのような頻度・タイミングで噴火が発生し, 火口の位置が変動するのかを把握することは, 十和田火山の長期的な噴火活動予測のために重要である.

工藤 (2010) は十和田火山後カルデラ期において, 噴火エピソード毎に異なる岩石学的特徴を持つマグマが噴出していることを示した. そして, 御倉山溶岩ドーム

の形成時期を特定する際に, その特徴を有効に活用した. 御門石溶岩ドームの場合, 現状では層序学的・年代学的手法によって形成時期を決めることはほぼ不可能である. そこで今回, 御門石溶岩ドームから得られた岩石試料について, 薄片の観察, モード測定, 全岩化学組成分析を行い, それらの岩石学的データを用いて後カルデラ期のテフラとの対比を行い, マグマ組成の時間変化傾向から形成時期を絞り込むことを試みたので, 結果を報告する.

## 2. 十和田火山後カルデラ期活動史の概要

第2図に十和田火山後カルデラ期活動史の概要を示す. 十和田火山では15.5 cal kyr BP (Horiuchi *et al.*, 2007) に発生した噴火エピソードLにより, 火砕流の発生とカルデラ陥没を伴い, 十和田カルデラの原形が形



第2図 十和田火山後カルデラ期の噴火活動史。Hayakawa (1985), 久利・栗田 (2003) 及び工藤 (2010) に基づく。†二の倉スコリアは噴火エピソードH, I, J, K 噴出物 (Hayakawa, 1985) を含み, これらは久利・栗田 (2003) によってNK-a ~ k に細分された。年代値: \*町田・他 (1981) 及び早川・小山 (1998); \*\*工藤・佐々木 (2007); \*\*\*工藤ほか (2003); \*\*\*\*, 工藤 (2008); \*\*\*\*\*Horiuchi *et al.* (2007)。

Fig. 2 Eruptive history during the post-caldera stage of Towada volcano, compiled from Hayakawa (1985), Kuri and Kurita (2003) and Kudo (2010). †Ninokura Scoria contains eruptive deposits from eruptive episodes H, I, J and K (Hayakawa, 1985). These were subdivided into NK-a to NK-k by Kuri and Kurita (2003). Ages: \*Machida *et al.* (1981) and Hayakawa and Koyama (1998); \*\*Kudo and Sasaki (2007); \*\*\*Kudo *et al.* (2003); \*\*\*\*Kudo (2008); \*\*\*\*\*Horiuchi *et al.* (2007)。

成された (Hayakawa, 1985)。後カルデラ期の噴火活動はその直後から開始した (Hayakawa, 1985)。初期の活動は、主に玄武岩質安山岩マグマによる度重なるスコリア・火山灰の噴出 (二の倉スコリア) 及び溶岩流 (五色岩溶岩流) の流出による成層火山の形成で特徴づけられる (Hayakawa, 1985; Hunter and Blake, 1995; 久利・栗田, 2003, 2004)。これら一連の活動は、およそ11.7 cal kyr BPまで約3800年間続いたとみられる (工藤, 2008)。

11.7 cal kyr BP以後は、マグマ組成がデイサイト主体に変化し (Hunter and Blake, 1995; 久利・栗田,

1999; 工藤, 2010), プリニー式噴火やマグマ水蒸気噴火が卓越するようになった (Hayakawa, 1985)。このステージでは, 11 cal kyr BP (工藤, 2008) の噴火エピソードGから, 最新の西暦915年 (町田ほか, 1981; 早川・小山, 1998) の噴火エピソードAまで, 少なくとも8回の火砕噴火が認識されている (Hayakawa, 1985)。このうち, 約7.5 cal kyr BPの噴火エピソードD'では, 御倉山溶岩ドームの形成を伴った (工藤, 2010)。

### 3. 御門石溶岩ドームの形成時期についての従来の見解

御門石溶岩ドームを扱った地質学的・岩石学的研究としては以下のものがあり, そのいくつかでは噴出時期について言及されている。ただし, 御門石溶岩ドームが主対象になっている研究報告は少なく, 大池 (1977a, b) の学会講演要旨のみである。河野 (1939) は, 御門石溶岩ドームが最新の噴火活動によるものであり, 御倉山溶岩ドームと同時期に形成されたと考えた。富田 (1929) 及び井上・蜂屋 (1962) は, 御倉山溶岩ドームと御門石溶岩ドームが元々は同一の溶岩であり, 後で分離したと考えた。一方, 谷口 (1972) は両者で岩石学的特徴に違いが見られることから, 同時期噴出であったとする説に疑問を呈している。その後, 大池 (1977a, b) は御門石溶岩ドームが二の倉スコリア・五色岩溶岩流 (第2図) より以前に形成されたと推測したが, その明確な根拠は示されていない。後カルデラ期のテフラ層序をほぼ確立したHayakawa (1985) は, 御門石溶岩ドームの現地調査も行っているが, 層序や年代を決定するには至らなかった。松山・大池 (1986), 中川ほか (1986) は, 「御門石溶岩ドームの形成時期を特定する資料はまだ得られていないが, 中振軽石噴出 (噴火エピソードC) より遅い時期であることは確かである」と記述しているが, その根拠については示されていない。以上のように, 御門石溶岩ドームの形成時期については, 言及している報告がいくつかあるものの, いずれも証拠は不十分であり, 良くわかっていないのが現状である。

### 4. 試料と分析手法

分析に用いた試料は産業技術総合研究所地質標本館に登録されている地質標本GSJ R51450である。この試料は1956年8月27日に元地質調査所の一色直記氏によって御門石溶岩ドームの頂部より採取されたものである。この試料について岩石薄片を作成し, 偏光顕微鏡による観察及びモード組成 (vol. %) の測定を行なった。モード組成はポイントカウンターを用いて計3800点カウントして求めた。モード組成のデータを表1に示す。また,

この試料について主成分元素全岩化学組成を分析した。分析には産業技術総合研究所所有の蛍光X線分析装置 PHILIPS社製PW1404を使用し、1:10希釈のガラスビードを用いた。第2表に分析結果を示す。なお、以下では全て無水100 wt.%に再計算した値を用いて記載・議論を行なう。

### 5. 記載岩石学的特徴

GSJ R51450は灰色を呈し、斑状組織を持つ斜方輝石単斜輝石デイサイトである。斑晶鉱物として、斜長石 (13.9 vol.%), 単斜輝石 (1.9 vol.%), 斜方輝石 (1.6

第1表 御門石溶岩ドームのモード組成。

Table 1 Modal compositions of the Mikadoishi Lava Dome.

Unit name	Mikado Ishi L.D.
Sample no.	GSJ R51450
(vol. %)	
Plagioclase	13.91
Orthopyroxene	1.55
Clinopyroxene	1.91
Fe-Ti Oxides	1.47
Phenocryst	18.84
Groundmass	81.16

第2表 御門石溶岩ドームの主成分全岩化学組成。

Table 2 Whole-rock major element compositions of the Mikadoishi Lava Dome.

Unit name	Mikadoishi L.D.
Sample no.	GSJ R51450
(wt.%)	
SiO <sub>2</sub>	65.86
TiO <sub>2</sub>	0.74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	5.50
MnO	0.125
MgO	1.79
CaO	5.27
Na <sub>2</sub> O	3.81
K <sub>2</sub> O	0.90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16
Total	99.80
LOI	0.44

\*Total Fe as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. L.D.: lava dome. LOI: loss on ignition.

vol.%), 鉄チタン鉱物 (1.5 vol.%) を含む (第1表)。これらはしばしば集斑晶を形成する。総斑晶量は18.8 vol.%である。斜長石斑晶は長径2.5 mm以下で、自形～他形を呈する。単斜輝石斑晶は長径2 mm以下で自形～半自形を呈する。斜方輝石斑晶は長径1 mm以下で自形～半自形を呈する。鉄チタン鉱物斑晶は長径1.5 mm以下で自形～他形を呈する。石基は針状の斜長石、隠微晶質物質及びガラスから成るハイアロオフィティック組織を示す。また、長径2 cm以下の包有物をしばしば含む。包有物は楕円球～アメーバ状の形状を示し、内部は長径1 mm以下の短冊状の斜長石、長径0.5 mm以下の粒状～長柱状の単斜輝石、斜方輝石及び粒状の不透明鉱物が網状構造を形成し、その隙間を褐色ガラスが埋めている。

御門石溶岩ドームと噴火エピソードA～G噴出物のモード組成を比較した棒グラフを第3図に示す。後者のデータは工藤 (2010) による。御門石溶岩ドームは、斑晶量、各鉱物の含有量、斑晶組み合わせから見ると、噴火エピソードCの宇樽部火山灰中の軽石、金ヶ沢軽石、中 振軽石、噴火エピソードEの南部軽石、噴火エピソードFの椋山火山灰、噴火エピソードGの新郷軽石に類似する (第3図)。

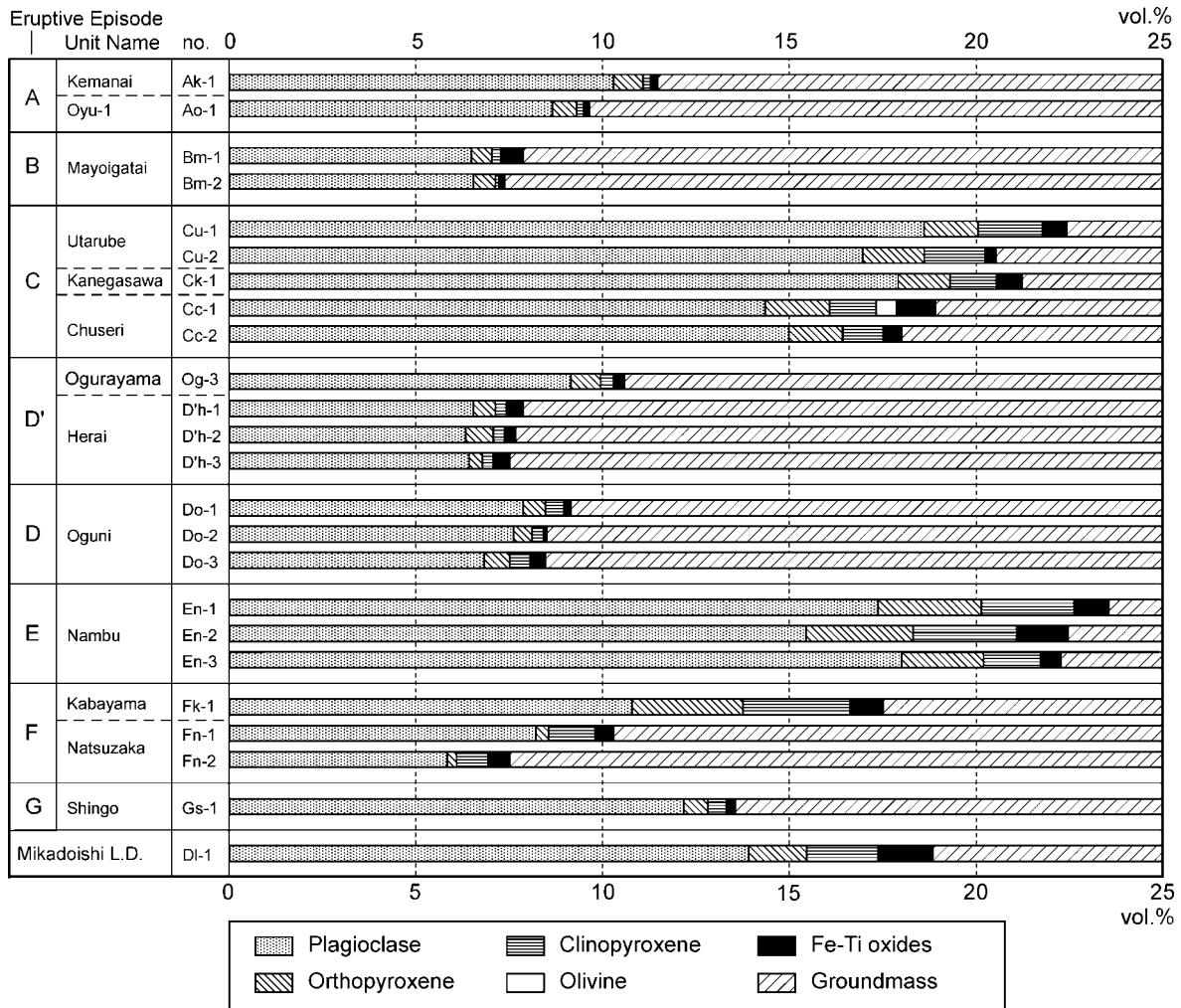
### 6. 全岩化学組成

GSJ R51450は全岩SiO<sub>2</sub>含有量が66.4 wt.%のデイサイト組成を示す (第2表)。御門石溶岩ドーム及び噴火エピソードA～G噴出物の全岩化学組成をプロットしたハーカー図を第4図に示す。後者のデータは工藤 (2010) による。これらを比較すると、御門石溶岩ドームは噴火エピソードC, E, G噴出物に近い組成を示す (第4図)。しかし、細かく見るといずれとも一致はせず、独自の組成を示す。MnOのハーカー図においては、御門石溶岩ドームは噴火エピソードGと組成が一致する (第4図)。しかし、TiO<sub>2</sub>のハーカー図では噴火エピソードGよりもTiO<sub>2</sub>が低く、顕著な組成差が認められる (第4図)。また、TiO<sub>2</sub>のハーカー図では、御門石溶岩ドームは噴火エピソードEの珪長質側延長上にプロットされる (第4図)。しかし、K<sub>2</sub>Oのハーカー図では噴火エピソードEの延長線上よりもK<sub>2</sub>Oが低く、MnOがわずかに高いため区別される (第4図)。

### 7. 考察

御門石溶岩ドームは、モード組成では類似する噴出物があるものの、全岩化学組成と合わせて比較すると噴火エピソードA～G噴出物のいずれとも一致せず、独自の組成を有する (第4図)。また、噴火エピソードG以前の二の倉スコリアと比較しても岩質が玄武岩～玄武岩質安山岩 (Hunter and Blake, 1995; 久利・栗田, 2004)

十和田火山，御門石溶岩ドームの形成時期（工藤）



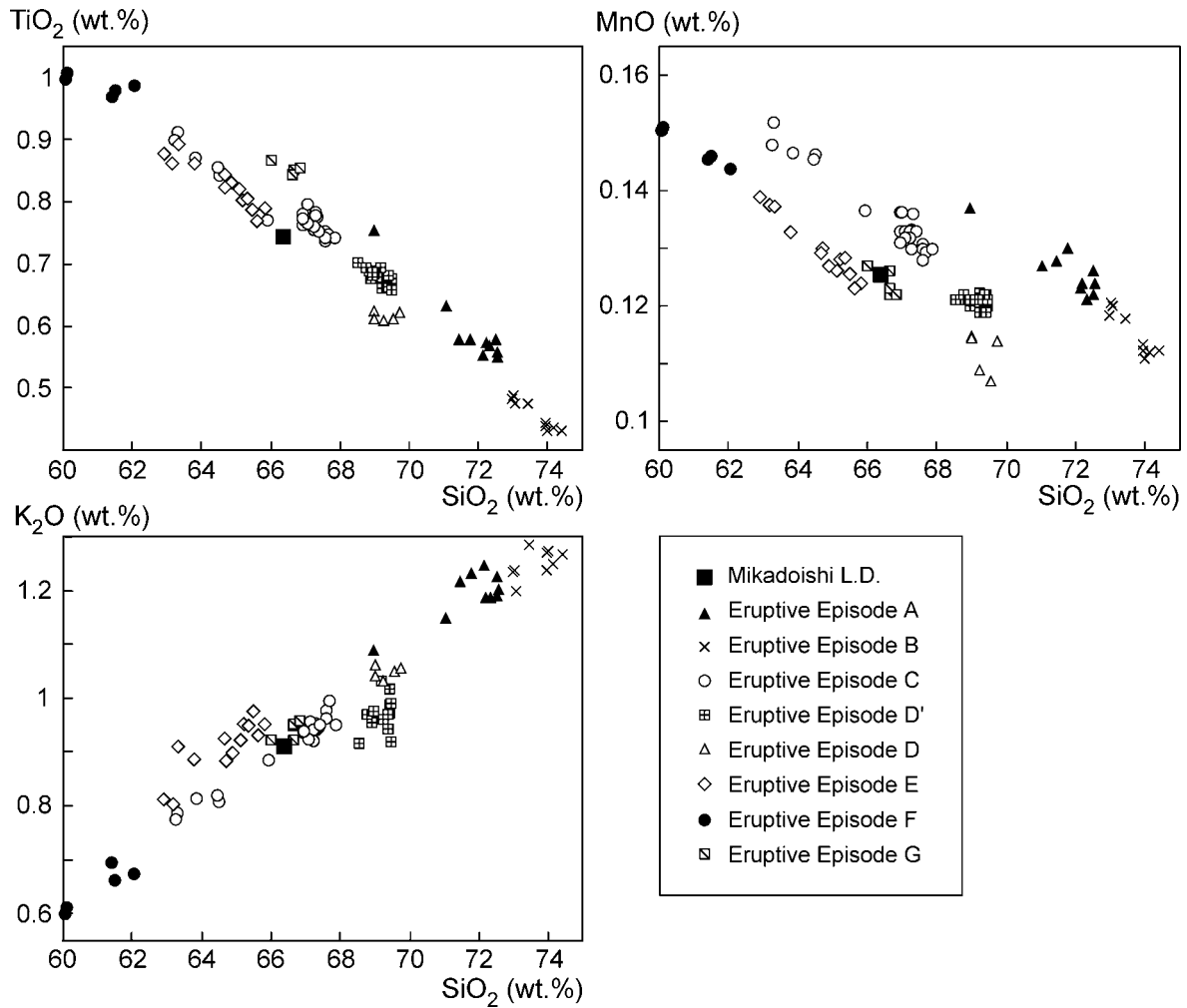
第3図 御門石溶岩ドーム及び噴火エピソード A ~ G 噴出物のモード組成. 噴火エピソード A ~ G 噴出物のデータは工藤 (2010) による.

Fig. 3 Modal compositions of the Mikadoishi Lava Dome and eruptive rocks from the eruptive episodes A to G. Data for the eruptive episodes A to G are from Kudo (2010).

であるため、一致しない。したがって、少なくとも現時点で知られている後カルデラ期テフラとはどれとも対比されない。これは Hayakawa (1985) と同様の見解であり、いずれの後カルデラ期テフラのアイソパックも御門石付近に収斂しないこと (Hayakawa, 1985; 工藤, 2010) と調和する。御門石溶岩ドーム周辺を地形的に見ても、平坦な湖底面と溶岩ドームの単純な地形の組み合わせであり、火砕丘などの地形も見当たらない (第1図c)。以上のことから、御門石溶岩ドームを形成した噴火は、顕著な火砕噴火を伴わなかったか、あるいは火砕噴火が起こったとしても地形・地層として残るような規模ではなかったと考えられる。

十和田火山後カルデラ期のマグマについては、時代とともに玄武岩から流紋岩へと珪長質化する傾向が指摘されている (斎藤・大池, 1984; Hunter and Blake, 1995;

久利・栗田, 1999)。第5図に後カルデラ期噴出物の全岩 SiO<sub>2</sub> 時間変化図を示す。この図に示したように、後カルデラ期のマグマは時折苦鉄質側に逆行する時期があるものの、全体としては時代とともに徐々に珪長質化している (第5図)。この時間変化はマグマ系の進化を反映していると考えられ、この時間変化傾向から御門石溶岩ドームの噴出時期をある程度絞り込むことが可能である。初期の二の倉スコリア及び五色岩溶岩流を噴出したステージはマグマの SiO<sub>2</sub> 量が 51.6-58.3 wt.% であり (Chiba, 1966; 谷口, 1972; Hunter and Blake, 1995; 第5図)、噴火様式も断続的なスコリア・火山灰の噴出と溶岩流流出による成層火山の形成であることから (Hayakawa, 1985)、この時期に御門石溶岩ドームが形成されたとは考え難い。その後、噴火エピソード G から C まではデイサイト主体の活動となり (第5図)、御門



第4図 御門石溶岩ドーム及び噴火エピソード A ~ G 噴出物の全岩化学組成. 噴火エピソード A ~ G 噴出物のデータは工藤 (2010) による.

Fig. 4 Whole-rock chemical compositions of the Mikadoishi Lava Dome and eruptive rocks from the eruptive episodes A to G. Data for the eruptive episodes A to G are from Kudo (2010).

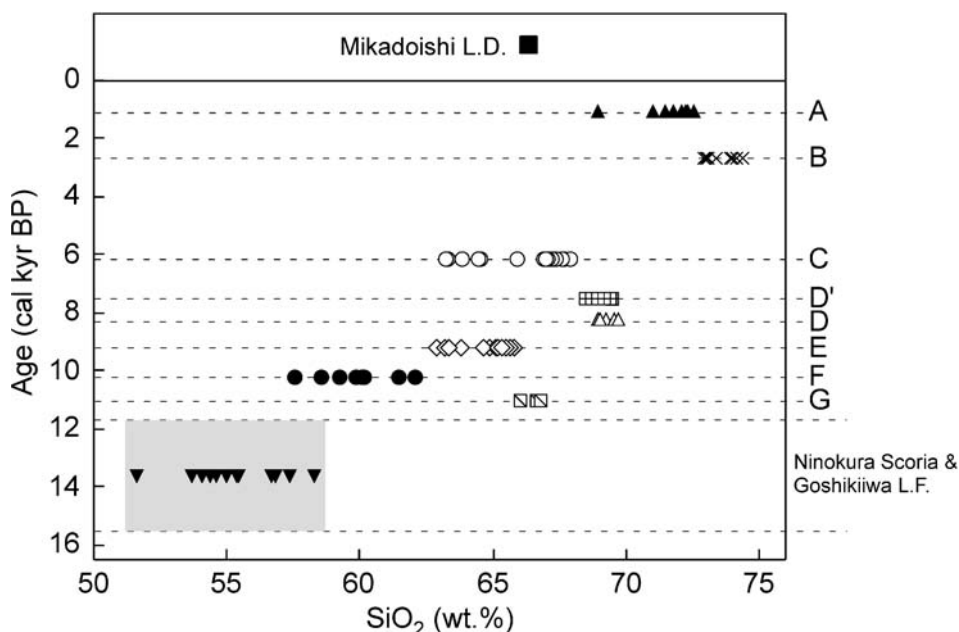
石溶岩ドームに似た全岩化学組成及びモード組成を有するデイサイトマグマ (噴火エピソード G, E 及び C) が噴出している (第3図及び第4図). その後, 噴火エピソード A 及び B では流紋岩主体となり (第5図), 斑晶量は 11.5 vol.%以下と少なくなる (第3図). このような岩石学的特徴の時間変化を考慮すると, 御門石溶岩ドームの形成は, 少なくとも二の倉スコリア・五色岩溶岩流の噴出以降, 噴火エピソード B 以前であり, 11.7-2.7 cal kyr BP の間のいずれかの時期に起こったと推定される.

11.7-2.7 cal kyr BP の時期には, 中心火口 (中湖火口) 以外の場所で御倉山溶岩ドームを形成する噴火 (噴火エピソード D') も起こっている (工藤, 2010). 従来より, 御倉山溶岩ドームと御門石溶岩ドームは御鼻部山断層 (大池, 1976; 第1b図) に規制されて噴出した可能性が指摘されてきた (谷口, 1972; 松山・大池, 1986). 御

鼻部山断層の形成・活動時期は今のところ不明であるが, 断層活動とこれらの噴出時期の関連性は今後検討すべき課題の1つである.

## 8. おわりに

今回, 十和田火山後カルデラ期噴出物の岩石学的特徴を用いて, 御門石溶岩ドームの形成時期の推定を試みた. 具体的な形成時期を特定することはできなかったが, マグマ組成の時間変化傾向から考えると, 11.7-2.7 cal kyr BP の間のいずれかの時期と推定される. これ以上の精度で御門石溶岩ドームの形成時期を特定するためには, 実現コスト上で可能かどうかは別として, 湖底の地質調査・掘削調査の実施や, 1万年以内の若い火山岩の放射年代測定技術の開発を待たなければならないであろう.



第5図 後カルデラ期噴出物における全岩 SiO<sub>2</sub> 量の時間変化. 噴火エピソード A ~ G 噴出物のデータは工藤 (2010), 二の倉スコリア及び五色岩溶岩流のデータは Chiba (1966) 谷口 (1972) 及び Hunter and Blake (1995) による.

Fig. 5 Temporal change of whole-rock SiO<sub>2</sub> contents of the eruptive rocks from the post-caldera stage. Data for the eruptive episodes A to G are from Kudo (2010). Data for the Ninokura Scoria and Goshikiwa Lava Flows are from Chiba (1966), Taniguchi (1972) and Hunter and Blake (1995).

謝辞：元地質調査所の一色直記氏には貴重な御門石溶岩ドームの岩石サンプルを分析に供することを快く承諾していただいた。匿名査読者の方には本論を改善する上で有益なご意見をいただいた。ここに記して深く感謝申し上げます。

## 文献

Chiba, M. (1966) Genesis of magmas producing pumice flow and fall deposits of Towada Caldera, Japan. *Bull. Volcanol.*, **29**, 545-558.

Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst.* **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.

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.

Hunter, A. G. and Blake, S. (1995) Petrogenetic evolution of a transitional tholeiitic-calc-alkaline series: Towada volcano, Japan. *J. Petrol.*, **36**, 1579-1605.

井上 武・蜂屋可典 (1962) 十和田湖地形・地質調査報告. 青森県水産商工課, 12p.

河野義礼 (1939) 十和田火山噴出物の化学的研究. *岩鉱*, **22**, 224-239.

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 (2010) 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・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*, **116**, 653-663.

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. *地質雑*, **109**, 151-165.

久利美和・栗田 敬 (1999) 十和田火山後カルデラ期降下火砕物の推移. *地質調査所月報*, **50**, 699-710.

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.

久利美和・栗田 敬 (2004) 十和田火山二の倉期のマグマプロセス. *火山*, **49**, 367-381.

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, no.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, 48p.
- 大池昭二 (1976) 十和田湖の湖底谷—水底の謎を探る—. 十和田科学博物館, no.2, 65-73.
- 大池昭二 (1977a) 十和田湖の湖底地形発達史における2・3の問題. 日本第四紀学会講演要旨集, no.6, 4.
- 大池昭二 (1977b) 十和田火山の新期カルデラ (中湖), 御門石ドームの形成年代について—テフラ層序と湖底地形による考察—. 日本地質学会東北支部会報, no.7, 5-6.
- 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.
- 谷口宏充 (1972) 十和田火山の岩石学的研究. 岩鉱, 67, 128-138.
- 富田 達 (1929) 十和田湖の地質. 天然記念物調査報告, 地質鉱物の部, no.4, 1-25.
- (受付: 2010年3月11日; 受理: 2010年9月6日)