

## 十和田火山，御倉山溶岩ドームの形成時期と噴火推移

工 藤 崇\*

(2009年3月27日受付，2010年3月23日受理)

Eruption Age and Sequence of Ogurayama Lava Dome  
at Towada Volcano, Northeast Japan Arc

Takashi KUDO\*

Towada volcano is an active volcano located in the northern part of the Northeast Japan arc. Ogurayama Lava Dome (OLD), which is a dacitic lava dome located near the center of Towada volcano, has been regarded as a product of the latest eruptive episode A. In this paper, the author reports that the OLD is older than previously thought and that it was formed at the end of eruptive episode D'.

The OLD overlies pyroclastic deposits of the eruptive episode E and is overlain by pyroclastic deposits of the eruptive episode C. These stratigraphic relations restrict the eruption age of the OLD to 9.2–6.2 cal kyr BP. Within this time interval, two eruptive episodes (D' and D) are recognized as tephra fall deposits in the distal area. The distribution of Herai Ash from the eruptive episode D' shows that the source vent is located in the vicinity of the OLD. Furthermore, the petrological features of the OLD closely resemble those of the Herai Ash. These observations indicate that the OLD is the product of the eruptive episode D' (7.5 cal kyr BP).

The probable eruption sequence of the eruptive episode D' is as follows. Intermittent phreatomagmatic eruptions occurred in the earliest stage. These eruptions produced the lower part of the Herai Ash. Subsequent lava eruptions formed the OLD and accompanied intermittent vulcanian eruptions produced the main part of the Herai Ash.

The source vent of the eruptive episode A is not the Ogurayama, because the Ogurayama was formed before this episode. Since the only crater topography currently recognized in the Towada volcano is the Nakanoumi crater (NC), the source vent of the eruptive episode A is considered to be the NC.

Since the NC has been the main crater throughout the post-caldera stage, future eruptions will probably occur in the NC. There is the current NC at the bottom of the lake of 320 m in depth. A detailed examination of probable eruption style in the future will be required for predicting volcanic hazard of Towada volcano.

**Key words:** Towada volcano, Ogurayama Lava Dome, stratigraphy, eruption age, eruption sequence, eruptive episode D', eruptive episode A

## 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(図1a, b)。十和田火山の噴火活動史はHayakawa (1985)、松山・大池(1986)、中川・他(1986)などによって、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つのステージに区分される。また、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、上位から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(Hayakawa, 1985)。

本論で対象とする御倉山溶岩ドーム(Hayakawa, 1985)は、十和田湖中心付近の御倉山半島突端部を構成するデイサイト質の溶岩ドームである(図1a, c)。十和田火山の地質学的研究はこれまで数多く行われてきたが、そのほとんどは御倉山溶岩ドームを十和田火山最新の噴出物であると考えている(Hayakawa, 1985; 井上・蜂屋, 1962;

\* 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7  
産業技術総合研究所地質情報研究部門  
AIST, Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan, Central 7, Higashi 1-1-1,

Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan.

Corresponding author: Takashi Kudo  
e-mail: kudo-taka@aist.go.jp

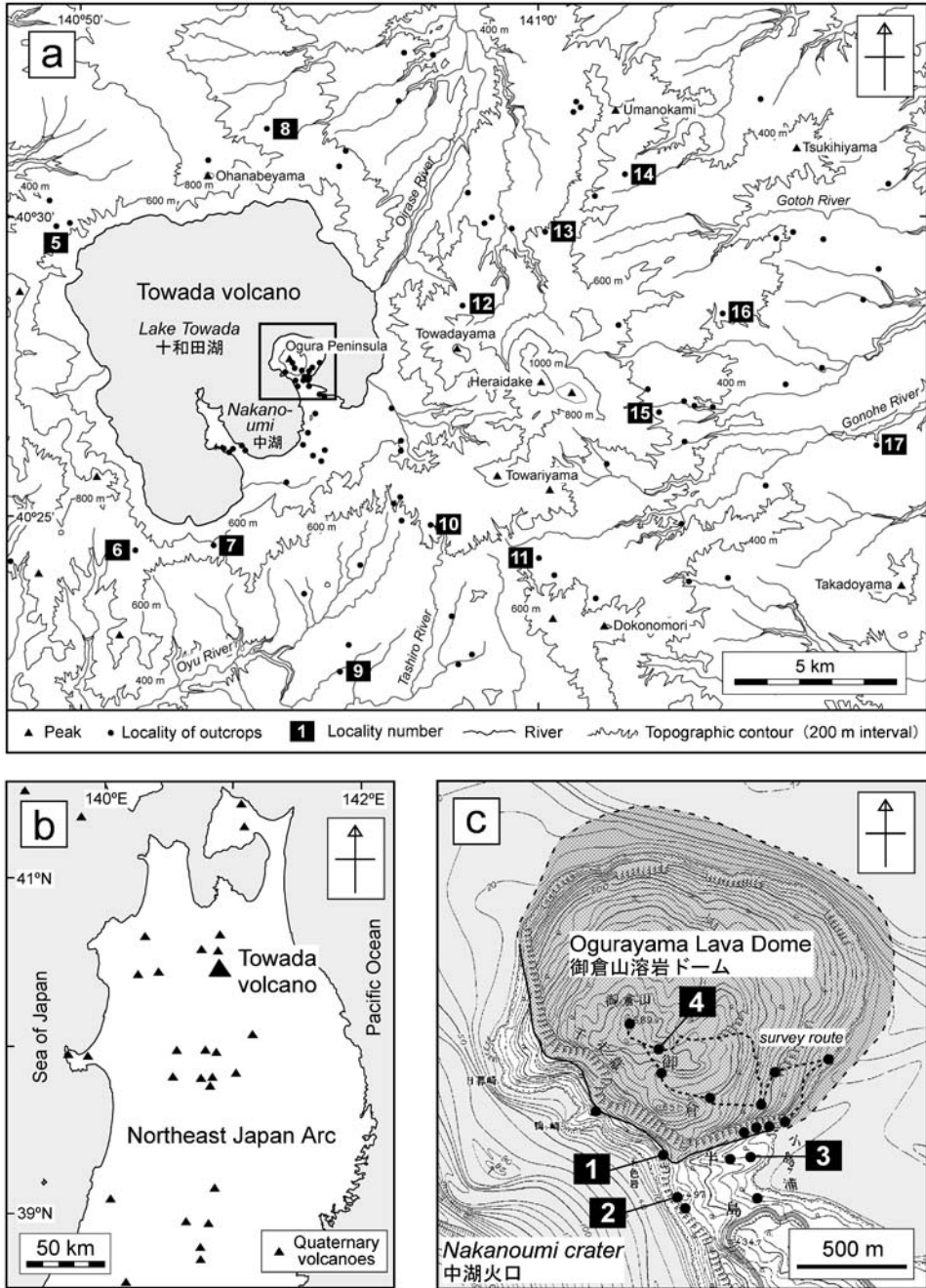


Fig. 1. (a) Topographical map of Towada volcano showing the locality of outcrops. (b) Location map of Towada volcano. (c) Topographical map of Ogurayama Lava Dome showing a survey route and the locality of outcrops. A part of 1: 25,000 topographic map "Towadako-toubu" published by the Geographical Survey Institute is used.

図 1. (a) 十和田火山の地形図。調査した露頭の位置を示す。(b) 十和田火山の位置図。(c) 御倉山溶岩ドームの地形図。調査したルートと露頭の位置を示す。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。

河野, 1939; Kuno *et al.*, 1964; 松山・大池, 1986; 宮城・大池, 1970; 中川・他, 1986; 大池, 1976; 斎藤・大池, 1984; 谷口, 1972). このうち, 大池 (1976) および Hayakawa (1985) は, 御倉山溶岩ドームが最新の西暦 915 年噴火 (噴火エピソード A) の末期に形成されたと考えた. この考えは一般書籍等 (例えば, 早川, 1997; 松山, 2003; 高橋, 1999) にも記載され, 現在ほぼ定説化している. 一方, 富田 (1929) および中川・他 (1972) は御倉山溶岩ドームを最新の噴出物ではないと考えたが, その明確な根拠は示されていない.

従来の研究が御倉山溶岩ドームを最新の噴出物とした根拠は, 溶岩ドームの上面にそれよりも新しい火山噴出物が見つからなかったことにある (斎藤・大池, 1984; Hayakawa, 1985). しかし, 調査ルート上で新しい火山噴出物がたまたま見つからなかった可能性や, 侵食により失われ現存していない可能性もある. このような上位層との関係の不明確性に加え, 御倉山溶岩ドームと下位層の層序関係についても, その詳細を具体的に報告した例はこれまで存在しなかった. 以上のことから, 御倉山溶岩ドームを最新と判断するための証拠は不十分であったと言わざるを得ない.

十和田火山は他の活火山と比較すると噴火の発生頻度は低いものの, 後カルデラ期では数百年~数千年以下の間隔で VEI=4~5 の比較的規模の大きな爆発的噴火を繰り返している (Hayakawa, 1985; 工藤, 2008; 工藤・佐々木, 2007). このことから, 十和田火山は将来の噴火災害の危険性を考慮すべき火山の 1 つであると言える. 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する必要がある. 御倉山溶岩ドームの形成時期を解明することは, 十和田火山のより精密な火山発達史モデルを構築するためだけではなく, 長期的な噴火活動予測や防災対策のためにも重要である.

そこで本研究では, 御倉山溶岩ドームの形成時期を明らかにするため, 以下のような検討を行なった. まず, 御倉山溶岩ドーム周辺の詳細な地質調査を実施し, 溶岩ドームとその他の地質ユニットの層序関係を明確にした. また, 御倉山溶岩ドームに関連するテフラの有無とその分布を調べるため, 後カルデラ期のテフラについて層序学的再検討を行なった. なお, 噴出物の確実な層序対比のためには, 露頭で得られた層序・岩相の情報に加え, 本質物質の岩石学的情報を併用することが有効である. そこで本研究では, 本質物質のモード組成および全岩化学組成の分析を行ない, それらのデータを層序対比に活用した. それらの結果を基に, 御倉山溶岩ドームの形成時期とその噴火推移について考察を行なった.

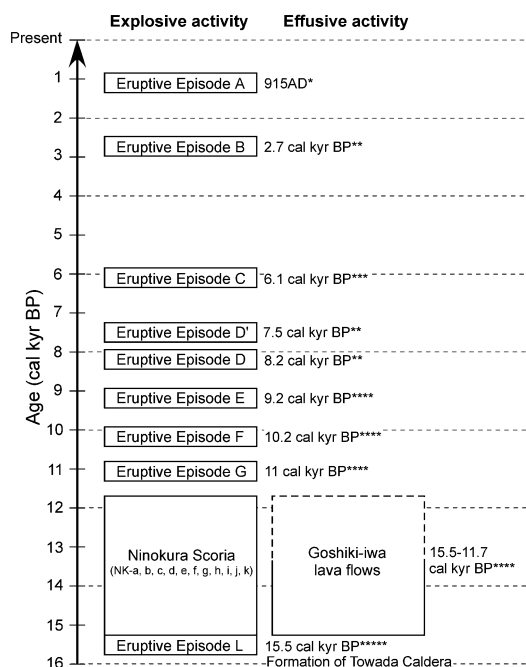


Fig. 2. Eruptive history during the post-caldera stage of Towada volcano. Ages: \*Machida *et al.* (1981) and Hayakawa and Koyama (1998); \*\*Kudo and Sasaki (2007); \*\*\*Kudo *et al.* (2003); \*\*\*\*Kudo (2008); \*\*\*\*\*Horiuchi *et al.* (2007).

図 2. 十和田火山後カルデラ期の噴火活動史. 年代値: \*町田・他 (1981) および早川・小山 (1998); \*\*工藤・佐々木 (2007); \*\*\*工藤・他 (2003); \*\*\*\*工藤 (2008); \*\*\*\*\*Horiuchi *et al.* (2007).

## 2. 十和田火山後カルデラ期活動史の概要

図 2 に十和田火山後カルデラ期活動史の概要を示す. 以下では較正暦年代に基づく年代値を「cal kyr BP」と表記する. 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) および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; 久利・谷口, 2007), プリニー式噴火やマグマ水蒸気噴火が

Table 1. Modal compositions of eruptive rocks from the eruptive episodes A to G in Towada volcano.

表 1. 十和田火山噴火エピソード A~G 噴出物のモード組成.

Episode	Unit Name	Number	Sample*	Method**	vol. %	Pl	Opx	Cpx	OI	Opq	Phenocryst	Groundmass
A	Kemanai	Ak-1	WP	B	10.28	0.80	0.18	-	0.21	11.47	88.53	
A	Oyu1	Ao-1	WP	B	8.68	0.62	0.21	-	0.16	9.67	90.33	
B	Mayoigatai	Bm-1	OB	A	6.46	0.55	0.25	-	0.58	7.84	92.16	
B	Mayoigatai	Bm-2	WP	B	6.51	0.61	0.08	-	0.15	7.35	92.65	
C	Utarube	Cu-1	WP	B	18.60	1.47	1.70	-	0.65	22.41	77.59	
C	Utarube	Cu-2	WP	B	16.95	1.66	1.62	-	0.31	20.55	79.45	
C	Kanegasawa	Ck-1	WP	B	17.91	1.40	1.21	-	0.70	21.22	78.78	
C	Chuseri	Cc-1	GP	B	14.36	1.75	1.21	0.54	1.06	18.92	81.08	
C	Chuseri	Cc-2	WP	B	15.01	1.42	1.11	tr	0.43	18.02	81.98	
D'	Herai	D'h-1	GP	A	6.51	0.62	0.29	-	0.43	7.84	92.16	
D'	Herai	D'h-2	GP	A	6.34	0.75	0.27	-	0.29	7.65	92.35	
D'	Herai	D'h-3	GP	A	6.43	0.36	0.28	-	0.46	7.53	92.47	
D	Oguni	Do-1	WP	B	7.85	0.63	0.46	tr	0.20	9.14	90.86	
D	Oguni	Do-2	WP	B	7.65	0.48	0.30	tr	0.12	8.55	91.43	
D	Oguni	Do-3	GP	A	6.84	0.71	0.51	-	0.40	8.45	91.55	
E	Nambu	En-1	WP	B	17.37	2.78	2.49	-	0.92	23.55	76.45	
E	Nambu	En-2	WP	B	15.45	2.86	2.77	-	1.41	22.49	77.51	
E	Nambu	En-3	WP	B	18.02	2.17	1.53	-	0.56	22.27	77.73	
F	Kabayama	Fk-1	SC	A	10.80	2.97	2.85	-	0.92	17.54	82.46	
F	Natsuzaka	Fn-1	SC	A	8.23	0.33	1.26	-	0.50	10.32	89.68	
F	Natsuzaka	Fn-2	SC	A	5.84	0.26	0.84	tr	0.58	7.52	92.48	
G	Shingo	Gs-1	WP	B	12.18	0.63	0.50	-	0.26	13.57	86.43	
	Pumices at loc. 3	Pm-1	WP	B	15.12	2.00	1.50	-	0.86	19.48	80.52	
	Ogurayama	Og-1	Lava	A	9.40	0.69	0.40	-	0.69	11.18	88.82	
	Ogurayama	Og-2	Lava	A	9.54	0.56	0.34	-	0.37	10.80	89.20	
	Ogurayama	Og-3	Lava	A	9.16	0.80	0.32	-	0.32	10.60	89.40	
	Ogurayama	Og-4	Lava	A	8.80	0.58	0.37	-	0.26	10.01	89.99	
	Dacite gravels (layer E) at loc. 3	Dg-1	Block	A	9.33	0.58	0.35	-	0.49	10.74	89.26	
	Dacite gravels (layer L) at loc. 3	Dg-2	Block	A	8.22	0.47	0.40	-	0.40	9.49	90.51	
	Dacite lapilli (layer F) at loc. 3	DI-1	DL	A	9.59	0.64	0.35	-	0.54	11.12	88.88	
	Dacite lapilli (layer F) at loc. 3	DI-2	DL	A	8.73	0.67	0.74	-	0.54	10.68	89.32	

\*Sample type: WP, white pumice; GP, gray pumice; SC, scoria; OB, Obsidian; DL, dense lapilli. \*\*Methods for measuring modal compositions, see text in detail. Abbreviations: Pl, plagioclase; Opx, orthopyroxene; Cpx, clinopyroxene; OI, olivine; Opq, opaque minerals; tr, trace; -, absent.

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 (早川・小山, 1998; 町田・他, 1981) 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, 噴火エピソード E もしくは C においては, 中央火口が拡大して外湖と連結して湖水が流入し, 直径約 3 km の中湖 (図 1a, c) が形成されたと推定されている (Hayakawa, 1985; 松山・大池, 1986; 大池, 1976). また, 後カルデラ期には御門石溶岩ドーム (Hayakawa, 1985) と御倉山溶岩ドームが形成されているが, これらの具体的な形成時期は, 前者は大部分が湖中にあるため不明であり, 後者も前述したように不明確である.

### 3. 研究方法

#### 3-1 野外地質調査

御倉山溶岩ドームの層序関係を明らかにするため, 溶岩ドーム周辺およびドーム上面の地質調査を実施した

(図 1c). また, 御倉山溶岩ドームに関連するテフラの有無とその分布を調べるため, 十和田湖周辺のおよそ東西 28 km × 南北 22 km の地域についてテフラ層序の再検討を行なった (図 1a). 調査は二の倉スコリアよりも上位の層準を対象とした.

#### 3-2 モード組成

噴火エピソード G 以降の本質物質について薄片を作成し, モード組成 (vol.%) の測定を行なった. 溶岩, スコリア, 発泡の悪い軽石等の比較的緻密なものについては, 通常の岩石薄片を用い, ポイントカウンターで 1 試料につき計 3000~4000 点カウントして求めた (方法 A).

一方, 発泡の良い軽石については上記の方法では計測が困難であるため, 以下の手法を用いた (方法 B). 重さ 10~30 g 程度の 1 個~数個の軽石を準備し, 乾燥させて重さを計測した. それらの軽石は乳鉢を用いて粉碎した後, 水簸してガラス部分を捨て, 結晶だけを残した. 結晶は乾燥させて重さを計り, 全体の重さから結晶分を引いてガラス部分の重さを算出した. 結晶は篩を用いて径

Table 2. Representative whole-rock major element compositions for eruptive rocks from the eruptive episodes A to G in Towada volcano.

表 2. 十和田火山噴火エピソード A~G 噴出物の代表的な試料の主成分全岩化学組成.

Episode	Unit Name	Number	Sample**	wt.%	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total	LOI
A	Kemanai	Ak-2	WP		70.84	0.63	14.51	3.67	0.127	1.10	3.62	4.27	1.14	0.16	100.07	1.4
A	Kemanai	Ak-3	GP		68.41	0.75	14.87	4.47	0.136	1.36	4.21	4.14	1.08	0.20	99.62	1.5
A	Oyu 2	Ao-2	WP		72.36	0.55	14.26	3.10	0.122	0.80	3.20	4.37	1.19	0.13	100.08	2.6
A	Oyu 1	Ao-3	WP		71.83	0.57	14.33	3.16	0.123	0.81	3.24	4.41	1.18	0.14	99.79	2.0
B	Mayoigatai	Bm-1	OB		73.74	0.43	13.83	2.45	0.111	0.58	2.62	4.62	1.24	0.07	99.70	1.2
B	Mayoigatai	Bm-3	WP		72.80	0.47	14.47	2.76	0.120	0.69	2.91	4.42	1.19	0.09	99.92	2.3
C	Chuseri	Cc-3	WP		67.01	0.75	15.56	4.91	0.129	1.46	4.84	3.89	0.96	0.18	99.67	2.0
C	Chuseri	Cc-4	WP		66.28	0.79	15.65	5.10	0.131	1.51	5.00	3.80	0.93	0.18	99.36	1.7
C	Chuseri	Cc-5	GP		61.90	0.88	16.33	6.67	0.145	2.18	6.00	3.54	0.76	0.17	98.58	1.4
D'	Herai	D'h-3	GP		67.87	0.70	15.84	4.31	0.120	1.11	4.35	4.12	0.91	0.15	99.47	2.4
D'	Herai	D'h-4	GP		68.35	0.68	15.59	4.14	0.119	1.07	4.27	4.20	0.96	0.14	99.51	2.3
D'	Herai	D'h-5	GP		68.26	0.68	15.38	4.18	0.120	1.11	4.29	4.29	0.97	0.15	99.42	2.2
D	Oguni	Do-3	GP		68.72	0.61	15.41	3.68	0.106	0.96	4.29	4.24	1.04	0.13	99.18	1.6
D	Oguni	Do-4	GP		68.82	0.61	15.30	3.69	0.112	0.92	4.19	4.22	1.04	0.13	99.03	2.0
D	Oguni	Do-5	GP		68.36	0.60	15.60	3.75	0.108	1.00	4.43	4.09	1.02	0.13	99.10	1.7
E	Nambu	En-4	WP		64.36	0.82	16.07	6.34	0.126	1.97	5.60	3.51	0.89	0.16	99.83	2.3
E	Nambu	En-5	WP		63.95	0.83	16.09	6.40	0.129	2.03	5.60	3.44	0.87	0.16	99.50	2.1
E	Nambu	En-6	WP		64.45	0.81	15.76	6.20	0.125	1.99	5.68	3.52	0.91	0.16	99.60	2.2
F	Kabayama	Fk-2	SC		57.59	0.91	16.88	8.87	0.144	3.78	7.77	2.61	0.56	0.15	99.26	2.1
F	Kabayama	Fk-3	SC		56.84	0.89	16.58	9.24	0.149	4.02	8.68	2.67	0.50	0.13	99.69	0.1
F	Natsuzaka	Fn-3	SC		59.02	0.98	16.65	8.63	0.143	2.72	7.59	3.02	0.59	0.15	99.49	0.5
F	Natsuzaka	Fn-4	SC		61.51	0.98	16.18	8.02	0.143	2.19	6.80	3.31	0.67	0.17	99.97	0.3
G	Shingo	Gs-1	WP		66.31	0.85	15.64	5.48	0.125	1.48	5.13	3.91	0.92	0.19	100.03	1.4
G	Shingo	Gs-2	WP		65.90	0.84	15.63	5.42	0.121	1.43	5.14	3.84	0.94	0.20	99.45	1.8
G	Shingo	Gs-3	GP		65.94	0.84	15.45	5.50	0.122	1.53	5.12	3.88	0.94	0.18	99.51	1.4
	Pumices at loc. 3	Pm-2	WP		67.23	0.74	15.45	4.81	0.129	1.37	4.82	3.93	0.94	0.16	99.59	3.2
	Pumices at loc. 3	Pm-3	WP		66.46	0.77	15.71	4.94	0.128	1.44	4.91	3.87	0.93	0.17	99.33	3.2
	Pumices at loc. 3	Pm-4	WP		66.90	0.74	15.57	4.80	0.127	1.42	4.83	3.99	0.95	0.16	99.50	3.2
	Pumices at loc. 4	Pm-5	WP		66.50	0.75	15.72	4.98	0.132	1.49	4.82	3.96	0.93	0.16	99.45	2.6
	Pumices at loc. 4	Pm-6	WP		66.65	0.76	15.79	4.99	0.131	1.49	4.86	3.94	0.92	0.16	99.67	2.3
	Pumices at loc. 4	Pm-7	WP		66.22	0.76	15.85	4.97	0.130	1.48	4.84	3.93	0.91	0.16	99.24	2.6
	Pumices at loc. 2	Pm-8	WP		64.90	0.78	15.32	5.90	0.122	1.89	5.48	3.70	0.94	0.15	99.18	1.6
	Pumices at loc. 2	Pm-9	SC		64.75	0.76	15.54	5.87	0.121	1.85	5.65	3.63	0.92	0.16	99.26	1.6
	Ogurayama	Og-4	Lava		68.55	0.66	15.04	4.03	0.120	1.04	4.29	4.33	0.96	0.14	99.16	0.2
	Ogurayama	Og-5	Lava		68.98	0.65	15.06	4.09	0.119	1.07	4.33	4.26	0.98	0.15	99.69	0.3
	Ogurayama	Og-6	Lava		68.88	0.67	15.03	4.13	0.119	1.15	4.33	4.25	0.96	0.17	99.69	0.2
	Dacite gravels (layer E) at loc. 3	Dg-1	Block		68.61	0.67	15.10	4.09	0.119	1.11	4.26	4.15	0.91	0.15	99.15	0.5
	Dacite gravels (layer L) at loc. 3	Dg-2	Block		68.80	0.67	15.25	4.15	0.121	1.12	4.34	4.05	0.93	0.16	99.60	0.9
	Dacite lapilli (layer F) at loc. 3	DI-1	DL		68.92	0.68	15.17	4.04	0.118	1.07	4.28	4.26	1.01	0.14	99.68	1.1
	Dacite lapilli (layer F) at loc. 3	DI-2	DL		68.60	0.67	15.28	4.11	0.118	1.11	4.32	4.20	0.95	0.16	99.53	1.0
	Dacite lapilli (layer F) at loc. 3	DI-3	DL		68.65	0.69	15.34	4.25	0.120	1.13	4.30	4.04	1.02	0.14	99.69	1.9
	Standard deviation			2σ	0.158	0.006	0.097	0.030	0.001	0.060	0.028	0.097	0.007	0.005		

\*Total Fe as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. \*\*Sample type: WP, white pumice; GP, gray pumice; SP, streaky pumice; SC, scoria; OB, Obsidian; DL, dense lapilli. LOI: loss on ignition.

\*\*Standard deviation was calculated from the result of repeated 10 times measurements of JB-1a, which is one of GSJ (Geological Survey of Japan) Reference Samples.

0.5 mm 以上および 0.5–0.355 mm に振り分け, それぞれについて樹脂を用いて固め, 薄片を作成した. それらの薄片を用いて, ポイントカウンターでそれぞれ計 800~1500 点カウントし, 各鉱物の体積量比を算出した. ガラスと結晶全体の重さは Lipman (1967) によるガラスと結晶全体の推定密度を用いて体積に換算し, それらの体積量比と各結晶の体積量比を用いてモード組成を算出した. 全データを表 1 に示す.

なお, 方法 A と方法 B の違いによる測定値の差については, 本研究では十分な統計学的検証を行っていない. しかし, 2つの手法を用いて求めた噴火エピソード B および D 噴出物の測定結果を見る限り, 両者は 1 vol.

% を越える差が生じていないことから (表 1), 測定方法の違いによる差はほぼ無視できると考えられる.

### 3-3 全岩化学組成

噴火エピソード G 以降の本質物質計 94 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 PW 1404 を使用した. 分析には 1:10 希釈のガラスビードを用いた. 表 2 に代表的な試料の分析結果を示す. 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. なお, 表 2 に示した各元素の標準偏差 (2σ) は, 産業技術総合研究所の岩石標準試料 JB-1a を 10 回繰り返し測定したときの分析誤差を示す.

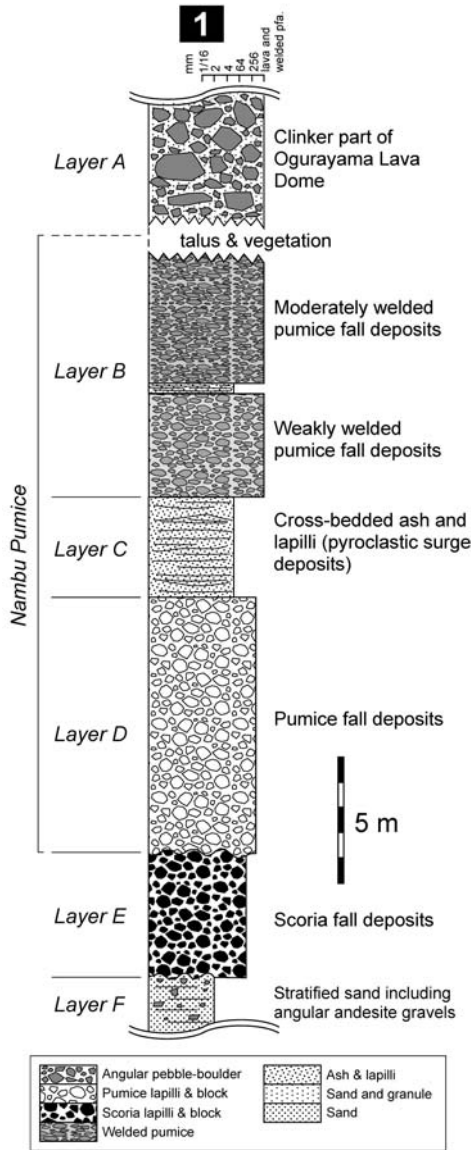


Fig. 3. A stratigraphic columnar section at the crater wall of Nakanoumi (loc. 1). Its location is shown in Fig. 1c.

図3. 中湖火口壁(地点1)における地質柱状断面。位置を図1cに示す。

#### 4. 御倉山溶岩ドーム周辺の調査結果

##### 4-1 中湖火口壁で見られる層序関係

###### 4-1-1 地質記載

御倉山溶岩ドーム南縁、中湖火口壁の地点1(図1c)では、御倉山溶岩ドームと下位層の関係が観察される(図3)。ここで見られる堆積物を、便宜的に上位よりA~

Fの6層に区分した(図3)。

F層は長径2m以下の安山岩角礫をまばらに含む厚さ15m以上の成層した細粒~中粒砂層である(図3)。この堆積物は火砕物や溶岩を母材とした二次堆積物と思われる。

E層は長径20cm以下の発泡の良い赤褐色スコリアで構成される。最大層厚は5mで、F層を不整合に覆う(図3)。礫支持で淘汰が良く、粒径が比較的揃っていることから降下堆積物と判断される。E層の上面は侵食によって削られており、北方へと層厚を減じて尖滅する。

D層は長径30cm以下の軽石、50cm以下の石質岩片で構成される。厚さは約10mで、E層を不整合に覆う(図3)。礫支持で淘汰が良く、粒径が比較的揃っていることから降下堆積物と判断される。軽石は高温酸化のため全体がピンク色を呈する。

C層は厚さ4mの成層した粗粒火山灰~火山礫層であり、D層を整合的に覆う(図3)。各単層の厚さは5cm以下である。一部で斜交層理が認められることから、火砕サージ堆積物であると考えられる。

B層は厚さ9m以上の溶結した軽石堆積物であり、C層を整合的に覆う(図3)。下部では最大径10cmの軽石の外形が確認できる。溶結度の弱い部分を見ると、礫支持で粒径が比較的揃っていることから降下堆積物と考えられる。上部へ向かって溶結度が増し、軽石の外形は不明瞭になる。中間には厚さ40cmの成層した非溶結粗粒火山灰~火山礫層を挟在する(図3)。

A層は厚さ10m以上の御倉山溶岩ドームのクリンカー部である。長径数十cm~数mのデイサイト角礫で構成される。A層とB層の直接の境界は崖錐と植生のため確認できない(図3)。

###### 4-1-2 層序対比

B層、C層およびD層は整合的であり、間に土壤などの噴火休止期を示す堆積物は見つからない(図3)。したがって、これらは1回の噴火イベントによる産物とみられる。比較的細粒な層を挟んで複数の降下軽石ユニットから構成され、溶結相が存在し、高温酸化の顕著な軽石を含む特徴は、噴火エピソードEの南部軽石(Hayakawa, 1985)と一致する。

図4に十和田火山噴出物の全岩化学組成ハーカー図を示す。十和田火山噴出物は噴火エピソード毎にハーカー図上で特徴的な組成領域を示し、特にTiO<sub>2</sub>とMnOで顕著である(図4)。これらの特徴を利用することでテフラの対比をより確実にこなうことが可能である。地点1で観察されたB~D層は、その南方でもカルデラ壁に沿って断続的に露出しており、地点2(図1c)では厚さ8m以上の非溶結の降下軽石堆積物となる。地点1の軽石は

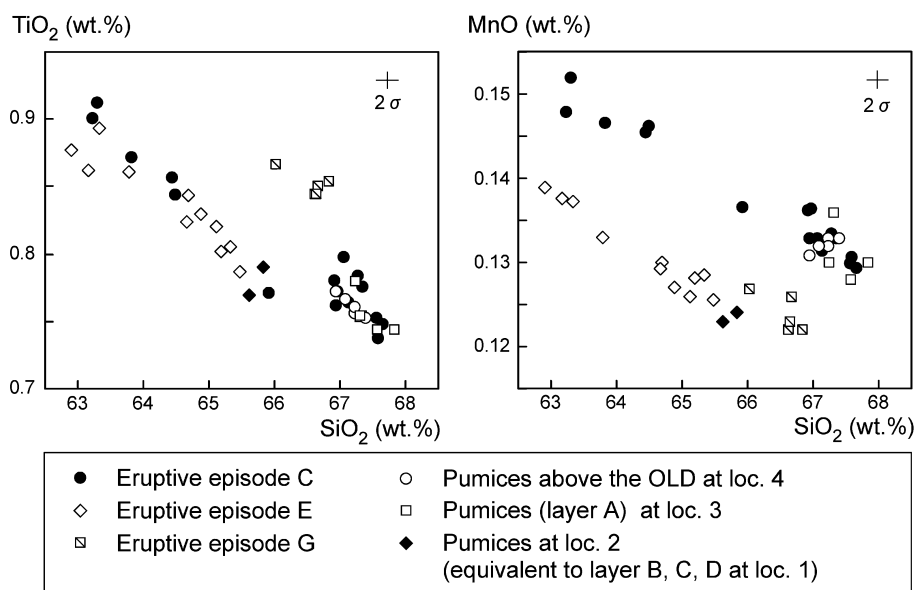


Fig. 4. Whole-rock  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  and  $\text{MnO-SiO}_2$  diagrams for eruptive rocks from the eruptive episodes C, E and G. The other eruptive rocks during the post-caldera stage of Towada volcano are plotted in the outside of these frames.

図 4. 噴火エピソード C, E および G 噴出物の全岩  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  および  $\text{MnO-SiO}_2$  図. 十和田火山後カルデラ期における他の噴出物はこれらの枠の範囲外にプロットされる.

変質が進行しているため、地点 2 で得られた軽石 2 個を分析に供した。これらの軽石はハーカー図上において、噴火エピソード E が示す組成トレンドの最も珪長質側にプロットされる (図 4)。一方、他の噴火エピソードとは組成が一致しない (図 4)。前述した岩相の特徴と合わせて考えると、B~D 層は噴火エピソード E の南部軽石に対比される (図 3)。

一方、E 層については岩石学的検討を行っていないが、スコリア質であることから、少なくとも噴火エピソード F あるいは二の倉スコリア (Hayakawa, 1985) の一部に相当すると考えられる。

#### 4-2 御倉山溶岩ドーム南方で見られる層序関係

##### 4-2-1 地質記載

御倉山溶岩ドーム南方、小島ヶ浦付近の地点 3 では、複数枚のデイサイト角礫層、降下火砕堆積物および二次堆積物の互層が観察される (図 5)。ここで見られる堆積物を、便宜的に上位より A~L の 12 層に区分した (図 5)。

L 層, J 層, G 層および E 層はデイサイト角礫層である。層厚は側方に変化するが、それぞれ最大で 60 cm 以上、20 cm, 33 cm, 75 cm である (図 5)。いずれも塊状で、長径 40~10 cm のデイサイト角礫と基質の砂~細礫サイズのデイサイト片で構成される。L 層には長径 1 m に達

する岩塊も含まれる。いずれの層も礫支持構造を示し、礫含有率はおおよそ 80% である。礫種は単一岩種のデイサイトで、酸化のため淡赤~紫灰色を呈する。

L~G 層のデイサイト角礫層の間には、下位から厚さ 7 cm の成層したシルト・砂・細礫層 (K 層)、厚さ 27 cm のシルト・砂・細礫からなる淘汰の悪い層 (I 層; 下部に厚さ 5 mm のシルト層を挟む)、最大層厚 10 cm のレンズ状のシルト・砂・細礫互層 (H 層)、厚さ 32 cm の降下火山礫堆積物 (F 層) が観察される (図 5)。K 層, I 層および H 層は、層厚の側方変化が激しく、礫種がデイサイト角礫層 (L, J, G, E 層) と同様であることから、デイサイト角礫層を母材とした二次堆積物と推定される。これらの堆積物は東南東から南東方向へ 12~18° で傾斜する (図 5)。

F 層の降下火山礫堆積物は、上位から a~h の 8 枚のユニットに細分される (図 5)。火山礫は多角形の緻密なデイサイトと少量の発泡の悪い灰色デイサイト軽石で構成される。ユニット a, d, f, h は塊状で青灰色を呈する淘汰の良い層で、長径 4 cm 以下の火山礫で構成される。ユニット a は上位の E 層によってやや削り込みを受けている (図 5)。ユニット h は G 層の凹凸を埋めるように堆積しており、層厚変化が激しい (図 5)。ユニット b

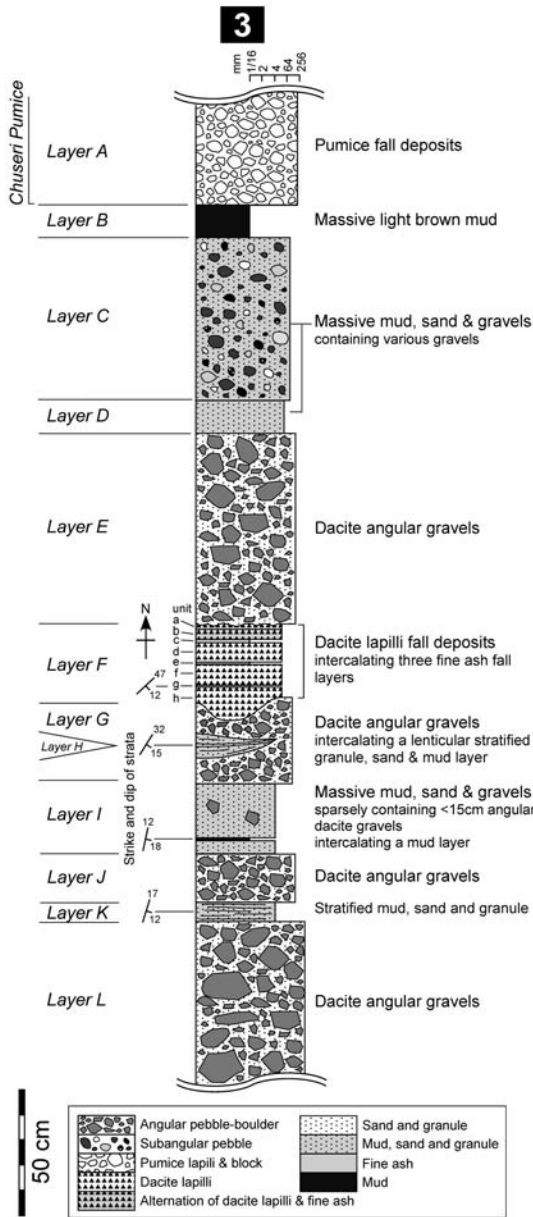


Fig. 5. A stratigraphic columnar section at the southeast of Ogurayama (loc. 3). Its location is shown in Fig. 1c.

図 5. 御倉山南東（地点 3）における地質柱状断面。位置を図 1c に示す。

は火山礫と細粒火山灰の細互層であり、全体として灰色を呈する。ユニット c, e, g はいずれも層厚 1 cm 以下の黄褐色細粒火山灰層であり、火山礫をまじえる。いずれのユニットも淘汰が良く、ユニット h を除いてマントルベディングしていることから、降下堆積物と考えられ

る。ユニット h は凹凸の激しい G 層の上面に堆積したため、堆積時に再移動し、凹地で厚化した可能性がある。

E 層の上位には、層厚 13 cm の塊状で淘汰の悪い淡褐色シルト・砂・細礫層 (D 層)、層厚 65 cm の塊状で淘汰の悪い淡褐色シルト・砂・細～中礫層 (C 層) が認められる (図 5)。いずれも雑多な種類の亜角礫を含み、基質支持で淘汰が悪い。これらは土石流などの二次堆積物であると推定される。C 層の上位には厚さ 13 cm の淡褐色塊状粘土層 (B 層) があり、これを厚さ 3 m 以上の塊状の降下軽石堆積物 (A 層) が覆う (図 5)。降下軽石堆積物は、長径 20 cm 以下の白色軽石および少量の岩片で構成される。サイズの大きな軽石は中心部分が高温酸化でピンク色を呈することがある。

#### 4-2-2 層序対比

地点 3 で観察されたデイサイト角礫層 (E 層および L 層)、降下火山礫堆積物 (F 層) および降下軽石堆積物 (A 層) について、モード組成および全岩化学組成を用いて層序対比を行なった。

モード組成の棒グラフを図 6 に示す。いずれの噴出物も共通して斜長石、斜方輝石、単斜輝石、鉄鋳物を斑晶として含むが、噴火エピソード C, D および F の一部はかんらん石を少量含むことがある (表 1)。斑晶量は噴火エピソード毎、あるいはユニット毎に異なる傾向がある (図 6)。これらと地点 3 の各堆積物を比較すると、デイサイト角礫層および降下火山礫堆積物中のデイサイト礫は、斑晶量、鋳物組み合わせ共に御倉山溶岩ドームと良く一致する (図 6)。一方、最上位の降下軽石堆積物 (A 層) 中の軽石は、かんらん石を含まないものの噴火エピソード C の軽石と良く一致する (図 6)。

図 7 に御倉山溶岩ドーム、デイサイト角礫層、降下火山礫堆積物の全岩化学組成をプロットしたハーカー図を示す。モード組成と同様、全岩化学組成においても三者の組成は良く一致する (図 7)。したがって、これらは御倉山溶岩ドームに起源を持つ堆積物であると判断される。デイサイト角礫層は、単一岩種で礫含有率が高く、全て角礫で構成されることから、溶岩ドーム周縁部に発達する崖錐堆積物とみられる。デイサイト角礫層に挟在する二次堆積物の走向・傾斜も御倉山方面からの堆積物の供給を示唆する (図 4)。一方、降下火山礫堆積物は御倉山溶岩ドームの一部を破壊した爆発的噴火による産物と推定される。

最上位の降下軽石堆積物 (A 層) は、全岩化学組成においても噴火エピソード C と良く一致する (図 4)。厚さが 3 m 以上と比較的厚いことから、噴火エピソード C の中 搬軽石 (早川, 1983) に対比されると判断される。



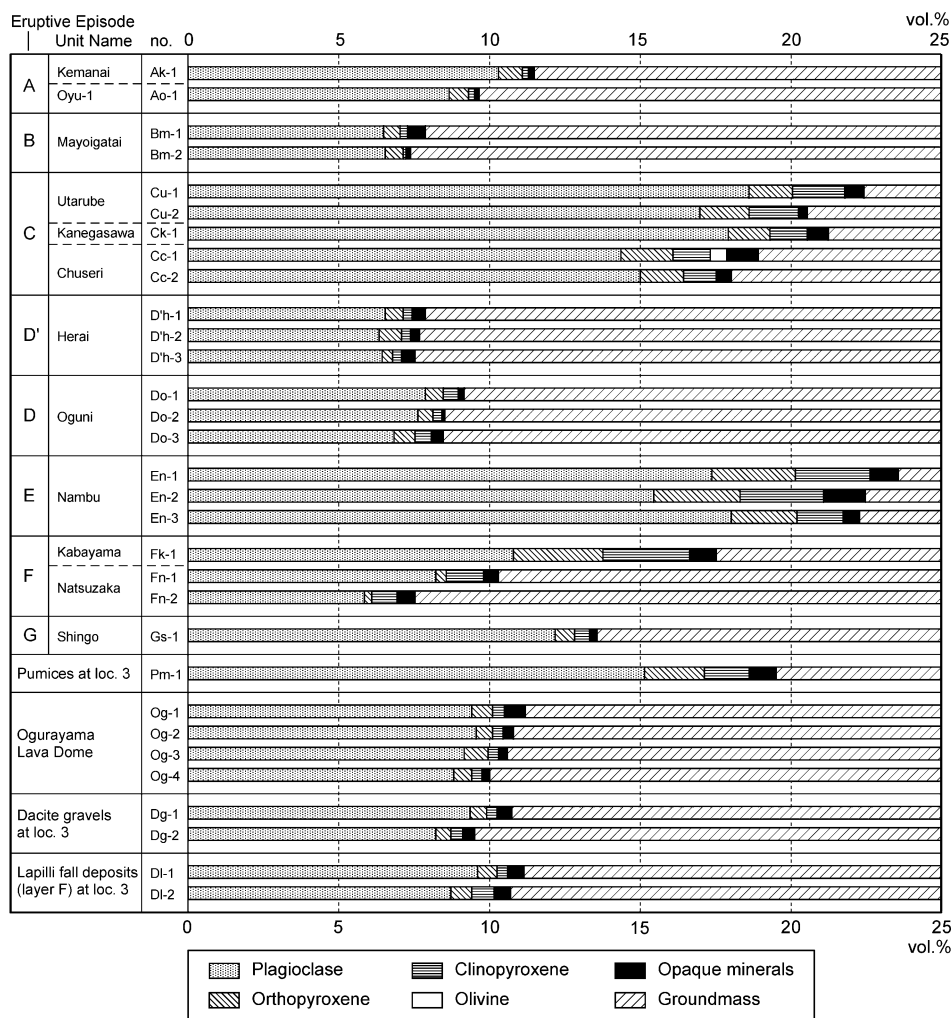


Fig. 6. Modal compositions of eruptive rocks from the eruptive episodes A to G in Towada volcano.

図 6. 十和田火山噴火エピソード A~G 噴出物のモード組成。

### 4-3 御倉山溶岩ドーム上面の調査結果

溶岩ドーム上面では，ドームを覆う堆積物の有無に注目して調査を行なった。調査ルートを図 1c に示す。調査の結果，御倉山山頂近くの尾根上に位置する地点 4 (図 1c) において，溶岩ドームを覆う火山堆積物が発見された。地点 4 では，幹径 40 cm 程度の倒木が観察された (図 8)。この倒木は根とその隙間を埋める土壌ごと横倒しの状態であった (図 8)。傍らには根が収まっていたとみられる窪地が存在する (図 8)。この倒木根の隙間に保持される土壌中から，大量の軽石が発見された (図 8)。軽石の直径は最大で 8 cm である。軽石は土壌中に散在して産することから，植物根の擾乱を受け土壌化した軽

石堆積物もしくは再堆積層であると考えられる。もし仮に再堆積層だとしても，地点 4 は御倉山山頂近くの尾根上に位置しており (図 1c)，溶岩ドーム上面以外の他の場所から移動してきたものとは考え難い。したがって，これらの軽石は御倉山溶岩ドームの上面に堆積した火山堆積物に起源を持つと判断できる。軽石の全岩化学組成が噴火エピソード C の珪長質側と良く一致することから (図 4)，これらは噴火エピソード C 起源であると判断される。今のところ地点 4 以外で同様な軽石は見つかっていないが，これは侵食により失われたためと考えられる。

### 4-4 層序関係から見た御倉山溶岩ドームの形成時期

地点 1 の層序関係は，御倉山溶岩ドームが噴火エピソード

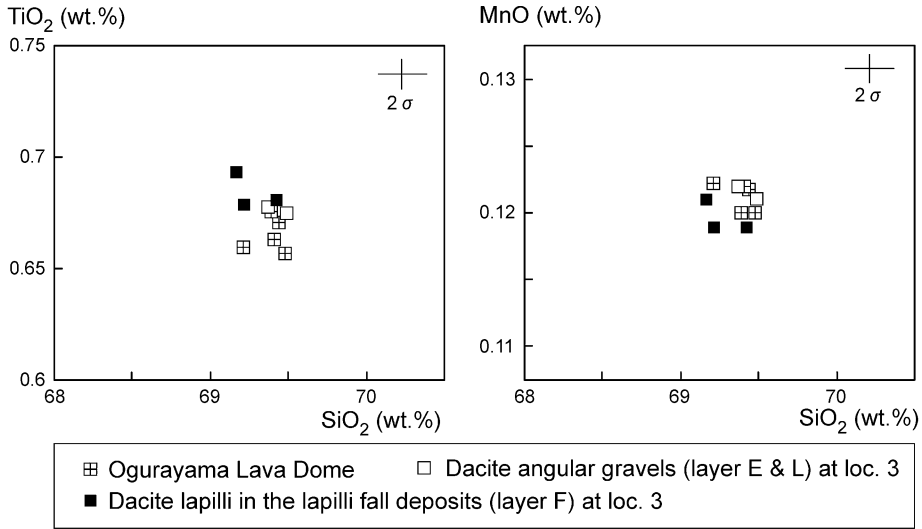


Fig. 7. Whole-rock TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> and MnO-SiO<sub>2</sub> diagrams for the Ogurayama Lava Dome and related rocks.

図 7. 御倉山溶岩ドームおよび関連する岩石の全岩 TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> および全岩 MnO-SiO<sub>2</sub> 図.

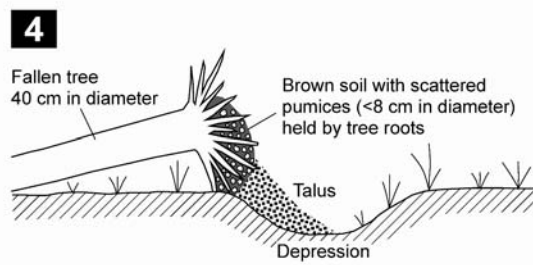


Fig. 8. A sketch of a fallen tree near the summit of Ogurayama (loc. 4). Its location is shown in Fig. 1c.  
図 8. 御倉山山頂付近 (地点 4) で見られた倒木のスケッチ. 位置を図 1c に示す.

ソード E の南部軽石よりも上位であることを示す。一方、地点 3 においては、御倉山溶岩ドームを母材とする崖錐堆積物と降下火山礫堆積物が、噴火エピソード C の中礫軽石よりも下位に存在する。これは噴火エピソード C よりも前に御倉山溶岩ドームが存在していたことを示す。さらに、地点 4 での観察結果は、御倉山溶岩ドームの形成が噴火エピソード C よりも前であることを直接的に示している。以上のことから、御倉山溶岩ドームの形成時期は、約 9.2 cal kyr BP (工藤, 2008) の噴火エピソード E よりも後で、約 6.1 cal kyr BP (工藤・他, 2003; 工藤・佐々木, 2007) の噴火エピソード C よりも前に限定できる。

#### 5. 噴火エピソード D' および D テフラの調査結果

御倉山溶岩ドームの形成時期には、テフラ層序学的研究により約 8.2 cal kyr BP (工藤・佐々木, 2007) に噴火エピソード D が、約 7.5 cal kyr BP (工藤・佐々木, 2007) に噴火エピソード D' が発生したことが判明している (Hayakawa, 1985)。そこで次に、御倉山溶岩ドームがこれらの噴火で形成されたのかどうか、それともこれとは別の未知の噴火エピソードで形成されたのかどうかを検証する必要がある。しかしながら、噴火エピソード D と D' の堆積物については、D の降下軽石ユニットを除いてこれまで詳細な地質記載がほとんどなされていない。そこで以下では、検証に必要な基礎情報として、噴火エピソード D と D' のテフラについて詳しい記載を行う。図 9 にテフラ対比柱状図、図 10 に噴火エピソード D と D' の模式地における柱状図、図 11 に等層厚線図を示す。

##### 5-1 噴火エピソード D によるテフラ

###### 小国<sup>おくに</sup>軽石

これまで噴火エピソード D のテフラとしては、降下軽石堆積物の小国軽石 (Hayakawa, 1985) が知られてきた。今回得られた層厚データと Hayakawa (1985) による層厚データを合わせて描いた等層厚線図を図 11 に示す。小国軽石は黄白色を呈する軽石礫で構成され、発泡の悪い灰色軽石および石質岩片を伴う。上部には厚さ 0.5 mm 以下の薄い細粒あるいは粗粒火山灰層を挟み、給源近傍ではこれを境に 2 枚の降下軽石ユニットに区分され

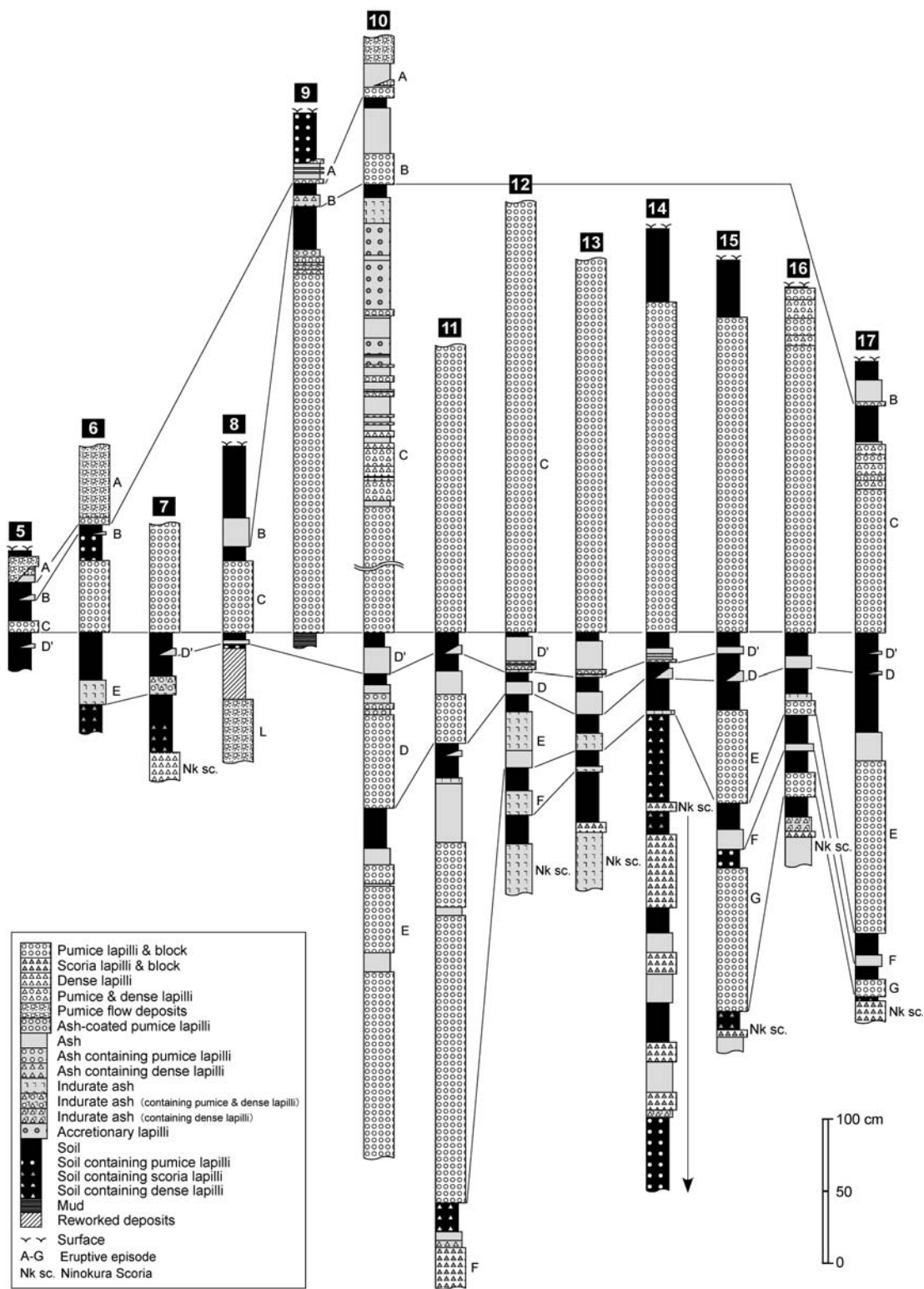


Fig. 9. Correlative stratigraphic columns for representative sections. Locations of each section are shown in Fig. 1a.

図 9. 代表的な露頭における地質対比柱状図。各断面の位置を図 1a に示す。

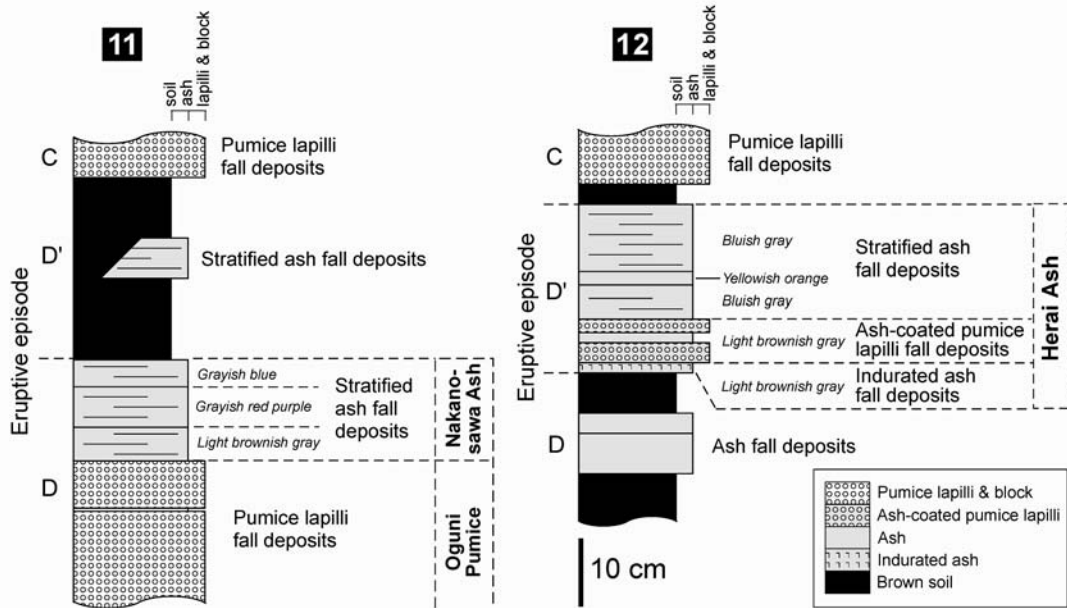


Fig. 10. Stratigraphic columns for Nakanosawa Ash and Herai Ash at each type locality.

Locations of each section are shown in Fig. 1a.

図 10. 中ノ沢火山灰および戸来火山灰の各模式地における地質柱状図。各断面の位置を図 1a に示す。

る (図 10)。遠方ではこれらのユニット境界は不明瞭となる。中湖火口を給源としたと推定され (Hayakawa, 1985), 給源から南東方向に強い指向性を持って分布する (図 11)。見かけの体積は  $0.34 \text{ km}^3$  であり, DRE (Dense Rock Equivalent) 換算体積は  $0.08 \text{ km}^3$  である (Hayakawa, 1985)。

#### 中ノ沢火山灰 (新称)

工藤・佐々木 (2007) は, 小国軽石の直上に降下火山灰ユニットを新たに見いだした。両者の間には土壌層や再堆積層などが認められないことから, 両者は同一の噴火エピソードによる堆積物と判断される。本論ではこのユニットを「中ノ沢火山灰」と命名する。中ノ沢火山灰の模式地を, 青森県<sup>さんのへ</sup>三戸町中ノ沢付近の地点 11 とする (図 1a)。

中ノ沢火山灰は, 岩相から下部, 中部, 上部の 3 つのユニットに区分される (図 10)。いずれのユニットも弱く成層した細粒~粗粒火山灰層で, 下部ユニットは淡褐色, 中部ユニットは赤紫灰色, 上部ユニットは青灰色を呈する。上部および中部ユニットは細粒火山灰を主体とするが, 下部ユニットは粗粒火山灰の割合が多く, 5 mm 以下の軽石をししばしば含む淘汰が悪い。いずれのユニットも長径 5 mm 以下の球状~楕円球状の気泡を多く含む。中ノ沢火山灰は遠方ではししばしば成層構造やユ

ニット境界が不明瞭となり, レンズ状の層となる (図 9)。

中ノ沢火山灰を構成する物質は, スポンジ状の白色軽石, 微晶が多く白色~淡灰色半透明状を呈するブロック状~フレーク状ガラス片, 新鮮なブロック状の灰色~暗灰色デイサイト岩片, 変質岩片および鉱物片である (図 12)。いずれのユニットもこれら全てを含んでいるが, 量比はユニット毎に異なる。下部ユニットはスポンジ状軽石が最も多く, 次いでブロック状~フレーク状ガラス片と新鮮なデイサイト岩片が多く含まれる。中部ユニットはブロック状~フレーク状ガラス片が最も多く, 次いで新鮮なデイサイト岩片が多く含まれる。上部ユニットは新鮮なデイサイト岩片が最も多い。

上記のように中ノ沢火山灰は, 細粒火山灰を主体とし, ブロック状~フレーク状のガラス片を多く含み (図 12), 堆積物中に気泡を多く含む特徴を示す。これらの特徴は, マグマ水蒸気噴火による堆積物 (例えば, Houghton *et al.*, 2000; Self and Sparks, 1978; Walker, 1981) と一致する。したがって, 中ノ沢火山灰はマグマ水蒸気噴火による堆積物であると推定される。

等層厚線図から判断すると, 中ノ沢火山灰の給源は小国軽石と同じ中湖火口と考えて矛盾は生じない (図 11)。中ノ沢火山灰は給源から東方に分布軸を持ち, 小国軽石とは軸方向が異なる (図 11)。

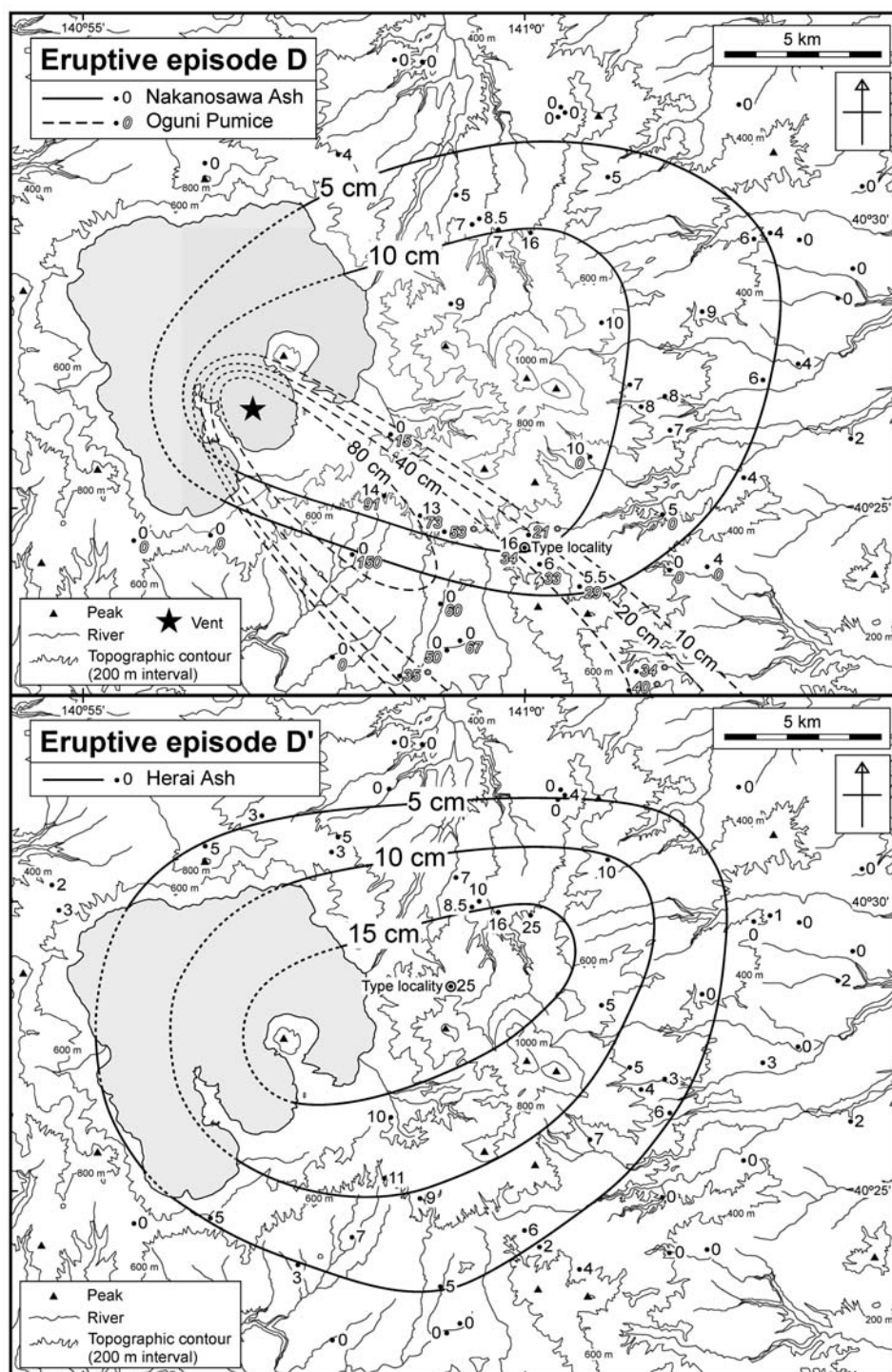


Fig. 11. Isopach maps for tephra from the eruptive episode D (upper) and D' (lower). Numerals show the thickness of tephra in centimeters. A part of thickness data for Oguni Pumice (marked by \*) is quoted from Hayakawa (1985).

図 11. 噴火エピソード D (上図) および D' (下図) 起源テフラの等層厚線図. 数字は層厚 (cm) を示す. 小国軽石の一部の層厚データ (\*をつけて記す) は Hayakawa (1985) を引用した.

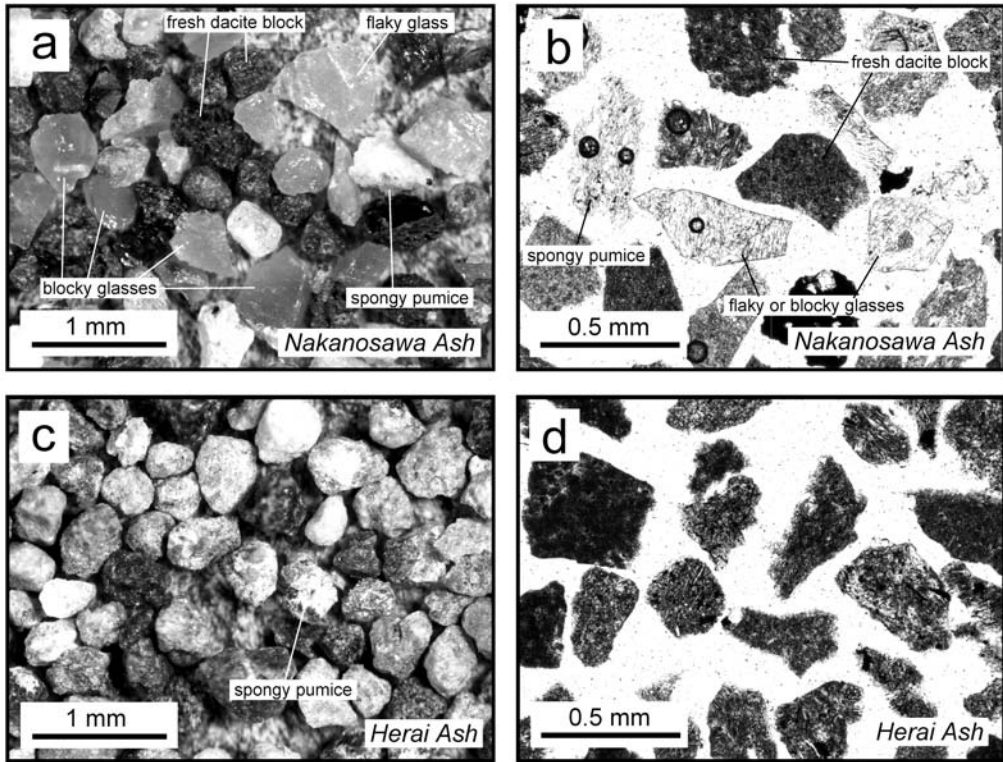


Fig. 12. Photomicrographs of grains in tephra samples. (a) The middle unit of Nakanosawa Ash. It contains blocky and flaky glass fragments, spongy pumices and fresh dacite blocks. (b) Thin section of the middle unit of Nakanosawa Ash (open nicol). (c) Herai Ash. Most grains are fresh dacite blocks. It contains small amount of spongy pumices. (d) Thin section of Herai Ash (open nicol). All grains are fresh dacite blocks.

図 12. テフラ構成粒子の顕微鏡写真。(a) 中ノ沢火山灰中部ユニット、ブロック状～フレーク状ガラス片、スポンジ状軽石、新鮮なデイサイト岩片を含む。(b) 中ノ沢火山灰中部ユニットの薄片(オープンニコル)。(c) 戸来火山灰。ほとんどの粒子は新鮮なデイサイト岩片である。わずかにスポンジ状軽石を含む。(d) 戸来火山灰の薄片(オープンニコル)。すべての粒子が新鮮なデイサイト岩片である。

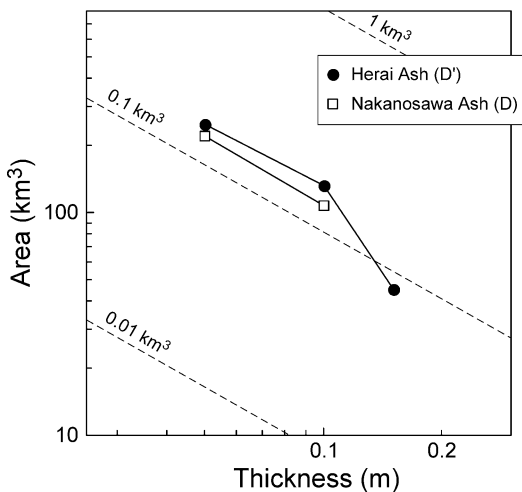


Fig. 13. Relation between the area enclosed by isopachs (S) and the thickness (T), for Nakanosawa Ash and Herai Ash. Broken lines are iso-volume lines assuming a relation  $V=12.2 TS$  presented by Hayakawa (1985) (see text in detail).

図 13. 中ノ沢火山灰および戸来火山灰のアイソパックに囲まれる面積(S)と層厚(T)の関係図。破線はHayakawa (1985)による $V=12.2 TS$ の関係を仮定したときの等体積線を示す(本文参照)。

中ノ沢火山灰の体積を Hayakawa (1985) の経験式  $V=12.2TS$  ( $V$ : 降下テフラの体積,  $T$ : 層厚,  $S$ : 等層厚線が囲む面積) を用いて見積もった. 層厚と分布面積の関係図を図 13 に示す. 中ノ沢火山灰の層厚-面積曲線は Hayakawa (1985) の等体積線とほぼ平行する. 2本の等層厚線から求めた体積の平均値は  $0.13\text{ km}^3$  である.

中ノ沢火山灰の堆積物密度を, ガラスビーズ法 (佐々木・勝井, 1981) により求めた. その結果, 下部ユニットは  $1.4\text{ g/cm}^3$ , 中部ユニットは  $1.7\text{ g/cm}^3$ , 上部ユニットは  $1.4\text{ g/cm}^3$ , 平均値は  $1.5\text{ g/cm}^3$  となった. 岩石密度を  $2.5\text{ g/cm}^3$  と仮定し, 平均密度を用いて求めた DRE 換算体積は  $0.08\text{ km}^3$  となる.

## 5-2 噴火エピソード D'によるテフラ

### 戸来火山灰 (新称)

Hayakawa (1985) は, 噴火エピソード D'の堆積物として, 成層した青灰色火山灰層を記載した. ただし, 1露頭の簡単な記載のみであり, 詳細な分布, 岩相, 構成物については不明であった. この火山灰層はこれまで名称が付けられていなかったが, 本論ではこれを「戸来火山灰」と命名する. 戸来火山灰の模式地を, 青森県十和田市十和田山北方約  $1.3\text{ km}$  に位置する地点 12 とする (図 1a).

戸来火山灰は降下堆積物であり, 大きく最下部, 下部, 主部の 3つの岩相に区分できる (図 10). 最下部および下部は, 分布軸沿いのみで観察される. 最下部は淡褐色を呈する堅く締まった細粒火山灰層である. 層厚は薄く, 模式地付近で  $1.5\sim 2\text{ cm}$  程度である. 下部は細粒火山灰にコーティングされた軽石火山礫層と, それに挟在される 1枚の淡褐色細粒火山灰層からなる (図 10). 軽石火山礫層は, 発泡の悪い淡灰色～灰色軽石, 石質岩片およびそれらをコーティングし空隙を充填する淡褐色細粒火山灰で構成され, 淘汰が悪い. 軽石・岩片の長径は最大で  $5\text{ cm}$  に達するが, 大多数は  $2\text{ cm}$  以下である. 軽石火山礫層の上部では粒径が  $5\text{ mm}$  以下となり, 岩片の量が相対的に増加する. 主部は淡青灰色～青灰色を呈する成層した細粒～粗粒火山灰層であり, 中間に橙灰色～褐色を呈する薄い細粒火山灰層を挟むことがある (図 10). 主部の構成物質は明灰色～暗灰色を呈するブロック状の新鮮なデイスサイト岩片を主体とし, 少量の白色スポンジ状軽石, 変質岩片および鉱物片を伴う (図 12). 主部は長径  $5\text{ mm}$  以下の球状～楕円球状の気泡を多く含む. 遠方では成層構造が不明瞭となり, しばしばレンズ状の層となる (図 9).

上記のように, 戸来火山灰の最下部および下部は細粒火山灰を主体とし, 堅く締まった火山灰層および細粒物にコーティングされた軽石礫 (armored lapilli) を伴う. これらの特徴はマグマ水蒸気噴火による堆積物にしばし

ば認められる (藤野・小林, 1992; Houghton *et al.*, 2000; Self and Sparks, 1978; Walker, 1981 など). 一方, 主部は細粒火山灰を主体とするが, 構成粒子の大部分はブロック状の新鮮なデイスサイト岩片である (図 12). このような特徴は固結～半固結状態の溶岩が破碎されるブルカノ式噴火による堆積物 (例えば, 井村, 1995; 小林, 1986; 工藤・他, 2003; Morrissey and Mastin, 2000) と一致する. 以上のことから, 戸来火山灰の最下部と下部はマグマ水蒸気噴火, 主部はブルカノ式噴火による堆積物であると推定される.

戸来火山灰は東北東に分布軸を持ち, 軸方向に延びた楕円状の分布を示す (図 11). 等層厚線図から判断すると, 戸来火山灰の給源は中湖火口よりもやや東側と推定され, 御倉山溶岩ドーム付近である可能性が高い (図 11).

戸来火山灰の体積を Hayakawa (1985) の経験式を用いて見積もった. 戸来火山灰の層厚-面積曲線は  $15\text{ cm}$  の等層厚線を除き, Hayakawa (1985) の等体積線とほぼ平行する (図 13). 比較的精度良く描かれた  $10\text{ cm}$  と  $5\text{ cm}$  の等層厚線から求めた体積の平均値は  $0.16\text{ km}^3$  である.

戸来火山灰の主部 2試料の堆積物密度をガラスビーズ法 (佐々木・勝井, 1981) により求めた. その結果, それぞれ  $1.5\text{ g/cm}^3$ ,  $1.6\text{ g/cm}^3$ , また平均値は  $1.6\text{ g/cm}^3$  となった. 岩石密度を  $2.5\text{ g/cm}^3$  と仮定し, 平均密度を用いて求めた DRE 換算体積は  $0.1\text{ km}^3$  となる.

## 6. 御倉山溶岩ドームを形成した噴火エピソード

噴火エピソード D'の戸来火山灰は, 給源位置が御倉山付近に推定され (図 11), 噴火様式も一部がブルカノ式噴火であったと考えられることから, 御倉山溶岩ドームを形成した噴火の最有力候補である. ここでは噴出物の岩石学的特徴を用いてさらなる検証を行なう.

図 14 に噴火エピソード G 以降の本質物全岩化学組成をプロットしたハーカー図を示す. これらの図において, 御倉山溶岩ドームは噴火エピソード D'の戸来火山灰下部の軽石に類似した組成を示す (図 14). 御倉山溶岩ドームで  $0.5\text{ wt.}\%$  程度  $\text{SiO}_2$  量が高い傾向にあるが, 他の噴火エピソードとの組成ギャップや噴火エピソード毎の組成幅を考慮すると, 両者の差はそれほど顕著ではなく, 一連の組成領域を構成すると見なされる (図 14). 両者は斑晶鉱物組み合わせも一致する (表 1). 斑晶量は御倉山溶岩ドームが  $10\text{ vol.}\%$  前後, 戸来火山灰の軽石がおおよそ  $8\text{ vol.}\%$  で若干の差が認められるものの, 噴火エピソード A や C のように同じ噴火エピソードでも  $4\sim 2\text{ vol.}\%$  程度の差が普通に認められることから, それほど顕著な差ではない (図 6). 一方, 御倉山溶岩ドームと噴火エピソード D の小国軽石を比較すると, 記載岩石学

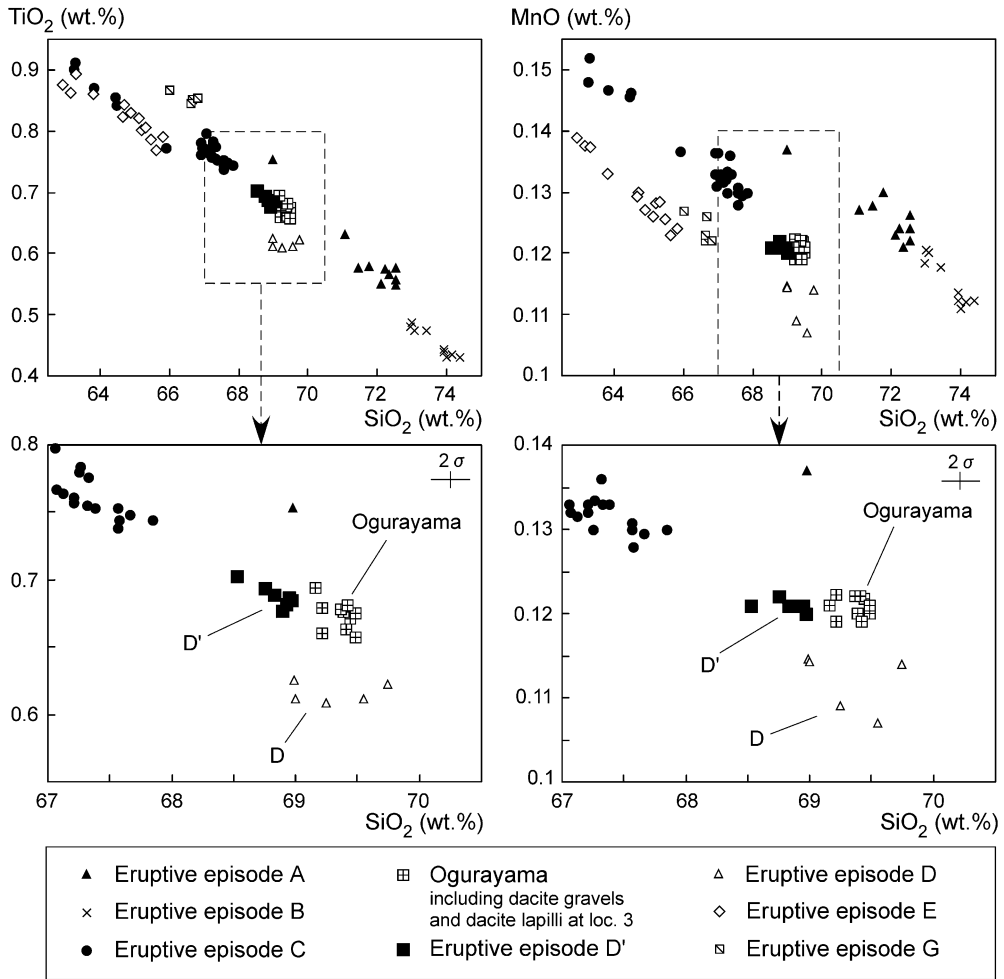


Fig. 14. Whole-rock  $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$  and  $\text{MnO}$ - $\text{SiO}_2$  diagrams for the eruptive rocks from the post-caldera stage of Towada volcano.

図 14. 十和田火山後カルデラ期噴出物の全岩  $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$  および全岩  $\text{MnO}$ - $\text{SiO}_2$  図.

的には類似するものの (図 6), ハーカー図上においては  $\text{TiO}_2$  や  $\text{MnO}$  量に有意な差が認められる (図 14).

十和田火山噴出物は噴火エピソード毎に異なる組成領域を示す (図 14). これは噴火エピソード毎に異なる特徴を有するマグマが噴出していることを示す. 御倉山溶岩ドームと戸来火山灰の軽石の岩石学的特徴は類似しており, 層準的にも両者は同時期で, 推定される給源位置についても矛盾が認められない. 以上のことから, 本研究では御倉山溶岩ドームは噴火エピソード D' で形成されたと結論する.

### 7. 噴火エピソード D' の噴火推移

戸来火山灰下部の軽石と御倉山溶岩ドームの岩石学的

特徴の類似 (図 14), 等層厚線図から推定される給源位置 (図 11) は, 両者が同一の給源からもたらされたことを示す. また, 戸来火山灰主部に含まれる新鮮なデイサイト岩片 (図 12) は, その石基組織が御倉山溶岩ドームと類似しており, 同一給源からの産物であることを示唆する. 現在, 御倉山溶岩ドームの上面には火口地形は認められないことから, 少なくとも御倉山溶岩ドームが噴火エピソード D' の最終生成物であると考えて差し支えない. 以上をふまえ, 噴火エピソード D' の考えられ得る噴火推移を図 15 に示す.

現在の御倉山溶岩ドーム直下に当時の火口が存在したと仮定し, 溶岩ドーム出現前の地形を復元すると, 火口の位置は現在の湖面から 0~50 m の高さで推定される.



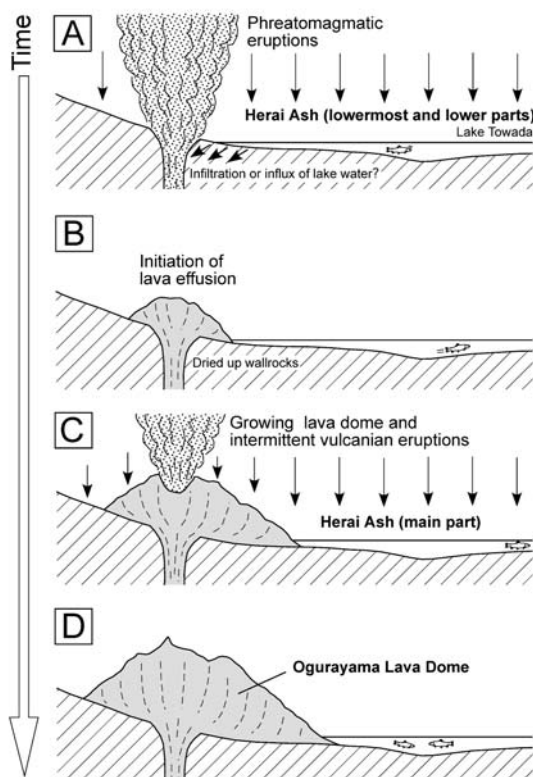


Fig. 15. Schematic diagrams showing the eruption sequence of the eruptive episode D'. (A) Initial phreatomagmatic eruptions and sedimentation of the lowermost and lower parts of the Herai Ash. (B) Initiation of lava effusion. (C) Growth of the Ogurayama Lava Dome and intermittent vulcanian eruptions that produced the main part of the Herai Ash. (D) After the eruption.

図 15. 噴火エピソード D'の噴火推移。(A) 最初のマグマ水蒸気噴火と戸来火山灰最下部および下部の堆積。(B) 溶岩の噴出開始。(C) 御倉山溶岩ドームの成長と断続的なブルカノ式噴火による戸来火山灰主部の堆積。(D) 噴火後。

当時の湖面が現在と一致していた保証はないが、少なくとも湖水が火口にアクセスしやすい環境であったと推定される。上昇してきたマグマは湖水と接触し、マグマ水蒸気噴火を起こしたと考えられる(図 15A)。マグマ水蒸気噴火の最初のフェーズは比較的小規模であり、薄い降下火山灰層(戸来火山灰最下部)を堆積させた。その後、一時的に噴火強度が増加し、降下軽石火山礫層(戸来火山灰下部)を堆積させたと考えられる(図 15A)。

噴火の進行によって火道周辺がドライな環境になると、溶岩ドームが成長を開始し(図 15B)、それに伴っ

て、周囲には崖錐堆積物を供給したとみられる。一方、溶岩ドームの成長とともに、ドーム内部のガス圧の上昇によって断続的にブルカノ式噴火が発生し、周囲に成層した火山灰層(戸来火山灰主部)を堆積させたと考えられる(図 15C)。地点 3 で認められる降下火山礫堆積物(図 5)は、戸来火山灰主部と構成物が類似していることから、主部の火口近傍相の 1 つに相当する可能性が考えられる。これらの断続的なブルカノ式噴火により形成された火口は、引き続き溶岩ドームの成長によって、埋積あるいは変形して原形を失い、現在の姿になったと推定される(図 15D)。

御倉山溶岩ドームの体積は  $0.23 \text{ km}^3$  であり、DRE 換算体積では  $0.19 \text{ km}^3$  となる(Hayakawa, 1985)。戸来火山灰を含めた噴火エピソード D'の総噴出量は  $0.39 \text{ km}^3$ 、DRE 換算では  $0.29 \text{ km}^3$  となる。噴出量から見ると噴火エピソード F や B と同程度の規模であったとみられる。

#### 8. 西暦 915 年噴火(噴火エピソード A)の給源火口

大池(1976)、Hayakawa(1985)、松山・大池(1986)、中川・他(1986)は、噴火エピソード A の給源火口を御倉山であると考えた。これは御倉山溶岩ドームが最新の噴出物とされてきたことによる。しかし、本研究により御倉山溶岩ドームは噴火エピソード D'で形成されていたことが判明した。したがって、御倉山は噴火エピソード A の給源火口にはなり得ない。

一方、町田・他(1981)、町田(1995)、町田・白尾(1998)は、噴火エピソード A の給源を中湖火口(図 1)であると考えた。今回、噴火エピソード A では溶岩の噴出を伴っていないことが判明した。つまり、噴火エピソード A は爆発的噴火で終始したことになる。現在、十和田火山で認められる唯一の火口地形は中湖である。したがって、町田らの考えと同様に、噴火エピソード A の給源は中湖火口であったと考えるのが最も妥当である。

中湖火口は十和田火山後カルデラ期における最も主要な火口である。一時的に御門石溶岩ドームの噴出(形成時期不明)および噴火エピソード D'では火口の位置が移動したものの、D'以降では再び中湖火口に戻っている。このような履歴から、将来の噴火も中湖火口で起きる可能性が高いと考えられる。

現在、中湖の最大水深は  $320 \text{ m}$  であり、外湖と連結して豊富な湖水が湛えられている(図 1)。中湖が現在のような深い水域になったのは、噴火エピソード E の時(松山・大池, 1986; 大池, 1976)、あるいは噴火エピソード C の時(Hayakawa, 1985)と推定されてきた。しかし、その後発生した噴火エピソード B と A は、どちらも水の積極的な関与の見られないプリニー式噴火で開始して

いる。このことは、噴火エピソード A の開始時までは火口が陸域（あるいはごく浅い水域）であり、噴火エピソード A によって現在の中湖火口が完成した可能性を示唆している。この可能性については今後さらなる検討を要する。いずれにしろ、近い将来中湖火口で噴火が起るとすれば、深い水域での水底噴火となるであろう。このような深い水域では、Kano *et al.* (1996) が示したように、爆発的噴火が発生しても噴煙柱が水と混ざって冷却し崩壊するため、空中には達しない可能性もある。将来中湖火口で起こり得る噴火のタイプについては、今後詳しい検討が必要である。

## 9. ま と め

本研究により以下の結論が得られた。

1. 御倉山溶岩ドームは、噴火エピソード E の堆積物を覆い、噴火エピソード C の堆積物に覆われる。この層序関係より、御倉山溶岩ドームの形成時期は噴火エピソード E 以降～噴火エピソード C 以前 (9.2～6.1 cal kyr BP) に限定される。
2. 噴火エピソード D' のテフラ（戸来火山灰）の分布は、給源火口が御倉山付近にあったことを示す。また、御倉山溶岩ドームの岩石学的特徴は、噴火エピソード D' のテフラと類似する。これらのことから、御倉山溶岩ドームは約 7.5 cal kyr BP の噴火エピソード D' で形成されたと考えられる。
3. 噴火エピソード D' では、まず最初にマグマ水蒸気噴火が発生し、戸来火山灰最下部および下部が降下堆積した。その後、引き続き噴火で溶岩が噴出し、御倉山溶岩ドームが形成された。また、溶岩ドームの成長に伴って断続的にブルカノ式噴火が発生し、周囲に戸来火山灰主部が降下堆積した。
4. 御倉山は噴火エピソード D' で既に形成されており、噴火エピソード A の給源火口にはなり得ない。現在、十和田火山で認められる唯一の火口地形は中湖であることから、噴火エピソード A の給源火口は中湖であったと考えられる。
5. 後カルデラ期を通して中湖火口は主要な給源であり続けており、将来の噴火も中湖火口で起こる可能性が高い。現在の中湖火口は水深 320 m にある。将来中湖火口で起こり得る噴火のタイプについては、今後詳しい検討が必要である。

## 謝 辞

十和田火山の研究を進めるにあたり、国際航業株式会社の佐々木寿氏には日頃からご議論いただいた。産業技術総合研究所の小笠原正継氏、御子柴真澄氏、中野俊氏

には蛍光 X 線分析の際にお世話になった。本研究は平成 18 年度東京地学協会研究・調査助成金の供与を得たことが契機となって始められたものであり（工藤・佐々木, 2007）、野外地質データの一部は上記調査の際に得られたものである。編集担当の宮城磯治氏、査読を担当された萬年一剛氏、大野希一氏には、本論を改善する上で多数の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。

## 引用文献

- 藤野直樹・小林哲夫 (1992) 開聞岳起源のコラ層の噴火・堆積様式。鹿児島大学理学部紀要（地学・生物学）, no. 25, 69-83.
- 早川由紀夫 (1983) 十和田火山中嶺テフラ層の分布、粒度組成、年代。火山, 28, 263-273.
- Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst.* 60, 507-592.
- 早川由紀夫 (1997) 十和田湖の成立ちと平安時代に起こった大噴火。日本の自然 地域編 2 東北, 岩波書店, 58-60.
- 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.
- Houghton, B.F., Wilson, C.J.N., Smith, R.T. and Gilbert, J.S. (2000) Phreatoplina eruptions. In *Encyclopedia of Volcanoes* (Sigurdsson, H. ed.), 513-525, Academic Press.
- Hunter, A.G. and Blake, S. (1995) Petrogenetic evolution of a transitional tholeiitic - calc-alkaline series: Towada volcano, Japan. *J. Petrol.*, 36, 1579-605.
- 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.
- 井村隆介 (1995) 小噴火の累積で作られた堆積物。火山, 40, 119-132.
- Kano, K., Yamamoto, T. and Ono, K. (1996) Subaqueous eruption and emplacement of the Shinjima Pumice, Shinjima (Moeshima) Island, Kagoshima Bay, SW Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 71, 187-206.
- 河野義礼 (1939) 十和田火山噴出物の化学的研究。岩鉱, 22, 224-239.
- 小林哲夫 (1986) 桜島火山の断続噴火によって形成された火山灰層。鹿児島大学南科研資料センター報告特別号, no. 1, 1-12.
- 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・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.
- Kuno, H., Ishikawa, T., Katsui, Y., Yagi, K., Yamasaki,

- M. and Taneda, S. (1964) Sorting of pumice and lithic fragments as a key to eruptive and emplacement mechanism. *Japan J. Geol. Geogr.*, **35**, 223-238.
- 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.
- 久利美和・谷口宏充 (2007) 十和田火山後カルデラ期新郷軽石噴火にみるサブプリニアン噴火の噴火推移. 東北アジア研究, no. 11, 159-172.
- Lipman, P.W. (1967) Mineral and chemical variations within an ash-flow sheet from Aso caldera, Southwestern Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **16**, 300-327.
- 町田 洋 (1995) 古代の大災害を語る八郎太郎伝説. 速水 融・町田 洋編「講座 文明と環境 第7巻 人口・疫病・災害」, 朝倉書店, 114-118.
- 町田 洋・白尾元理 (1998) 写真でみる火山の自然史. 東京大学出版会, 204p.
- 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 (2003) 十和田湖 十和田火山のおいたち. 青森県地学教育研究会編「新訂版日曜の地学2 青森の自然をたずねて」, 築地書館, 2-13.
- 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.
- 宮城一男・大池昭二 (1970) 地質研究 十和田・八甲田火山. 日本火山学会 1970 年度秋季大会地質見学案内書, 41p.
- Morrissey, M.M. and Mastin, L.G. (2000) Vulcanian eruptions. In *Encyclopedia of Volcanoes* (Sigurdsson, H. ed.), Academic Press, 463-475.
- 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, 48 p.
- 中川久夫・中馬教允・石田琢二・松山 力・七崎 修・井出慶司・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 (1976) 十和田湖の湖底谷. 十和田科学博物館, no. 2, 65-73.
- 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.
- 佐々木龍男・勝井義雄 (1981) ガラスビーズを使った軽石の密度測定法. 火山, **26**, 117-118.
- Self, S. and Sparks, R.S.J. (1978) Characteristics of wide-spread pyroclastic deposits formed by the interaction of silicic magma and water. *Bull. Volcanol.*, **41**, 196-212.
- 高橋正樹 (1999) 十和田火山 巨大噴火のエネルギーを秘めた伝説のカルデラ湖. 高橋正樹・小林哲夫編「フィールドガイド 日本の火山—4 東北の火山」, 築地書館, 7-22.
- 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.
- Walker, G.P.L. (1981) Characteristics of two phreatoplinian ashes, and their water-flushed origin. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **9**, 395-407.

(編集担当 宮城磯治)