

# 屈斜路・三瓶・鬼界・十和田・鬱陵島・白頭山火山の大規模噴火の前駆活動と噴火推移

金田泰明・宝田晋治・下司信夫  
Yasuaki Kaneda, Shinji Takarada and Nobuo Geshi

地質調査総合センター活断層・火山研究部門  
Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, Geological Survey of Japan, AIST

Kaneda Y., Takarada, S. and Geshi, N. (2021) Volcanic activities and eruption sequences of the large-scale eruptions at Kikai, Kutcharo, Towada, Sambe, Ulleung and Changbaishan Volcanoes. Open-File Report of the Geological Survey of Japan, AIST, no. 728, p. 1-100

## Abstract

大規模噴火による噴出物の特徴、噴火推移、長期・短期的前駆活動、後カルデラ活動を取りまとめた。ここでは、屈斜路火砕流 IV 噴火 (120 ka)、三瓶木次噴火 (100 ka)、鬼界-長瀬噴火 (95 ka)、十和田大不動噴火 (36 cal ka BP)、ウルルン隠岐噴火 (11 cal ka BP)、白頭山 10 世紀噴火 (946 AD) について報告する。

The characteristics of ejecta and eruption sequence of large-scale volcanic eruptions, and the activities before and after these eruptions are compiled. Included are 7 caldera forming-eruptions which are the following: Kikai-Nagase eruption (95 ka) and Kutcahro IV eruption (120 ka), Towada-Ofudo eruption (36 cal ka BP), Sambe-Kisuki eruption (100 ka), Ulleung-Oki eruption (11 cal ka) and Changbaishan Millennium eruption (946 AD).

## 1. はじめに

カルデラ形成を伴うような大規模噴火は、数 10~1,000 km<sup>3</sup> の火砕物を噴出し、火砕流や降下火砕物等により、広域に甚大な被害を及ぼす事が想定される (例えば、Tatsumi and Suzuki-Kamata, 2014)。大規模噴火の活動推移、短~長期的な前駆活動の詳細を把握することは、火山活動の理解だけでなく、防災面においても重要である。そこで、産総研地質調査総合センターでは、数年前より大規模噴火に由来する噴出物の特徴、噴火推移、短・長期的前駆活動および後カルデラ活動等を取りまとめ、大規模噴火データベースの構築を進めている (例えば、西野ほか, 2019; 金田ほか, 2020; Table 1-1)。本研究資料集では、これらのうち、VEI 7 (火山爆発指数; Newhall and Self, 1982) の鬼界-長瀬噴火、屈斜路火砕流 IV 噴火、白頭山苦小牧噴火、VEI 6 の十和田大不動噴火、三瓶木次噴火、ウルルン隠岐噴火について報告する。

Table 1-1. 大規模噴火データベースの対象リスト。

No	年代	噴火	給源	VEI	みかけ体積 (km <sup>3</sup> )	体積引用文献
1	1815 AD	Tambora1815AD噴火	タンボラ火山	7	100	Self et al. (2004)
2	1257 AD	Samalas1257AD噴火	リンジャーニ-サマラス複合火山	7	91*	Vidal et al. (2015)
3	946 AD	白頭山-苔小牧噴火	白頭山	7	77-115	Horn and Schmincke (2000)
4	1.6 cal ka	Minoan噴火	サントリーニ火山	7	123	Johnston et al. (2014)
5	4.2 cal ka	Cerro, Blanco4.2 ka噴火	セロ・ブランコ火山	7	>100	Fernandez-Turiel et al. (2019)
6	6.4 cal ka	池田カルデラ形成噴火	池田火山	5	5.0	橋本ほか (2014)
7	7.3 cal ka	鬼界-アカホヤ噴火	鬼界火山	7	>170	町田・新井 (2003), Maeno and Taniguchi (2007)
8	7.6 cal ka	Mazama噴火	クレーターレイク火山	7	120*	Bacon et al. (2006)
9	7.6 cal ka	摩周主カルデラ形成噴火	摩周火山	6	18.6	岸本ほか (2009)
10	7.6-7.7 cal ka	KO噴火	クリル火山	7	100-120	Braitseva et al. (1995)
11	10-12 cal ka	Moekeshiカルデラ形成噴火	萌消火山	6	70-80	Melikestsev et al. (1988)
12	11 cal ka	ウルルン-隠岐噴火	ウルルン火山	6	>10	Machida and Arai (1983)
13	14.6 ka	濁川火砕流噴火	濁川火山	6	>12	黒島・土井 (2003)
14	15 cal ka	十和田-八戸火砕流噴火	十和田火山	6	56	山元 (2014)
15	30 cal ka	始良-入戸火砕流噴火	始良火山	7	700	Kobayashi et al. (1983)など
16	36 cal ka	十和田-大不動火砕流噴火	十和田火山	6	46	Hayakawa (1985)
17	40 cal ka	屈斜路I火砕流噴火	屈斜路火山	7	225-310	宝田ほか (2018)
18	46 cal ka	支笏火砕流噴火	支笏火山	7	225	山縣 (2000)
19	60 ka	大山-倉吉噴火	大山火山	6	40-80	山元ほか (2015)
20	60 ka	箱根-東京噴火	箱根火山	6	10-100	町田・新井 (2003)
21	89 ka	阿蘇4火砕流噴火	阿蘇火山	7	600	町田・新井 (2003)
22	95 ka	鬼界-長瀬火砕流噴火	鬼界火山	7	>150	町田・新井 (2003)
23	100 ka	御嶽第1噴火	御嶽火山	6	50	町田・新井 (2003)
24	100 ka	三瓶火砕流噴火	三瓶火山	6	20	町田・新井 (2011)
25	106 ka	洞爺火砕流噴火	洞爺火山	7	190-270	宝田ほか (2018)
26	108 ka	阿多火砕流噴火	阿多火山	7	>300	町田・新井 (2003)
27	120 ka	屈斜路IV火砕流噴火	屈斜路火山	7	720-1060	宝田ほか (2018)
28	123 ka	阿蘇3火砕流噴火	阿蘇火山	7	130	橋本ほか (2007)

西野ほか (2019), 金田ほか (2020) で報告された噴火を青字, 本研究で報告する噴火を赤字で示す。

\*見かけ体積を DRE から換算したもの。

## 第1章 参考文献

金田泰明・後藤義瑛・西野佑紀・宝田晋治・下司信夫 (2020) 支笏・洞爺・濁川・大山火山の大規模噴火の前駆活動と噴火推移. 産総研地質調査総合センター研究資料集. no. 699, 産総研地質調査総合センター, 75p.

Newhall, C. G. and Self, S. (1982) The volcanic explosive index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *J. Geophys. Res.*, **87**, 1231-1238.

西野佑紀・宝田晋治・下司信夫 (2019) 始良・鬼界・阿多・屈斜路・十和田・摩周・池田火山の大規模噴火の前駆活動と噴火推移. 産総研地質調査総合センター研究資料集. No.680, 産総研地質調査総合センター, 126p.

Tatsumi, Y. and Suzuki-Kamata, K. (2014) Cause and risk of catastrophic eruptions in the Japanese Archipelago. *Proc. Jpn. Acad., Ser. B*, **90**, 347-352.

## 2. 屈斜路火砕流 IV 噴火

噴出源：屈斜路カルデラ

年代：ca. 115-112 ka (層位関係から; 町田・新井, 2003)

---

総噴出量：720～1,060 km<sup>3</sup> (見かけ体積, 宝田ほか, 2018)

370～560 km<sup>3</sup> (DRE, 宝田ほか, 2018)

\* 復元分布からの推定堆積

---

構成要素：※層位順に記載

### 後カルデラ活動期

- ・ 中島火山
- ・ 摩周火山
- ・ アトサヌプリ火山

### カルデラ形成期

- ・ 屈斜路降下軽石堆積物 I (Kpfall I; 勝井・佐藤, 1963)
- ・ 屈斜路火砕流堆積物 I (Kp I; 勝井・佐藤, 1963)
- ・ 屈斜路降下軽石堆積物 II (Kpfall II; 勝井・佐藤, 1963)
- ・ 屈斜路降下軽石積物 III (Kpfall III; 勝井・佐藤, 1963)
- ・ 屈斜路火砕流堆積物 II/III (Kp II/III; 奥村ほか; 1985)
- ・ 屈斜路降下軽石積物 IV (Kpfall IV; 勝井・佐藤, 1963)
- ・ 屈斜路降下軽石堆積物 V (Kpfall V; 勝井・佐藤, 1963)
- ・ 屈斜路火砕流堆積物 IV (Kp IV; 勝井・佐藤, 1963) } 対象噴火
- ・ Pre Kp IV (Hasegawa *et al.*, 2016)
- ・ 屈斜路火砕流堆積物 V (Kp V; 勝井・佐藤, 1963)
- ・ 屈斜路火砕流堆積物 VI (Kp VI; 勝井・佐藤, 1963)
- ・ 屈斜路降下軽石堆積物 VI (Kpfall VI; 勝井・佐藤, 1963)
- ・ 屈斜路火砕流堆積物 VII (Kp VI; 勝井・佐藤, 1963)
- ・ 屈斜路火砕流堆積物 VIII (Kp VI; 勝井・佐藤, 1963)
- ・ 古梅溶結凝灰岩 (FWT; 勝井, 1962)

### 先カルデラ活動期

- ・ 屈斜路外輪山溶岩類 (Ks; 勝井, 1962)

---

本噴火の推移：

マグマ水蒸気噴火→大規模火砕流→小規模スコリア流

分布：

屈斜路火砕流 IV は、屈斜路カルデラの北方～北西北方向、南方に広域に分布する (Fig. 2-1)。本噴火に伴い発生した降下テフラは、北海道東部に広く分布する (Fig. 2-2)。

---

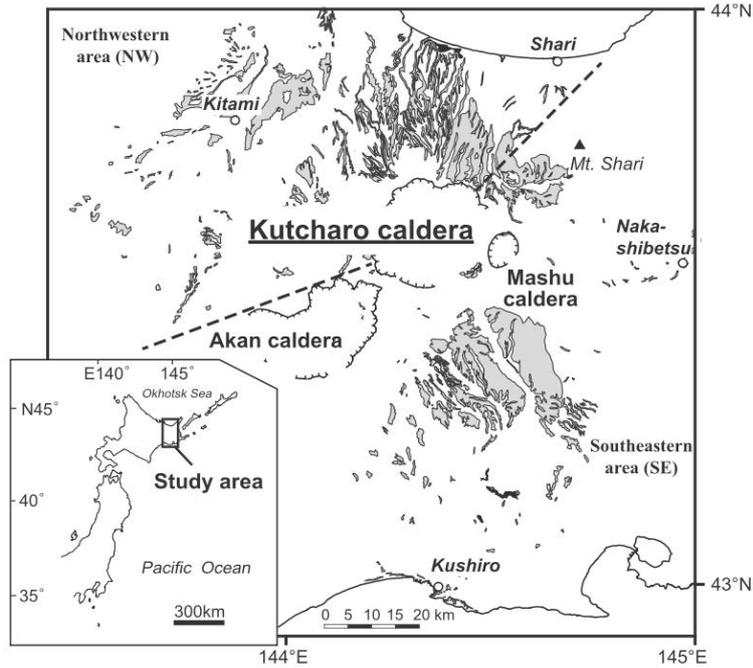


Fig. 2-1. 屈斜路火砕流 IV の分布図 (Matsumoto *et al.*, 2018).

灰色部が本噴火堆積物の分布域を示す。図中の点線は、Fig. 2-7 の NW エリアと SE エリアの境界を示す。

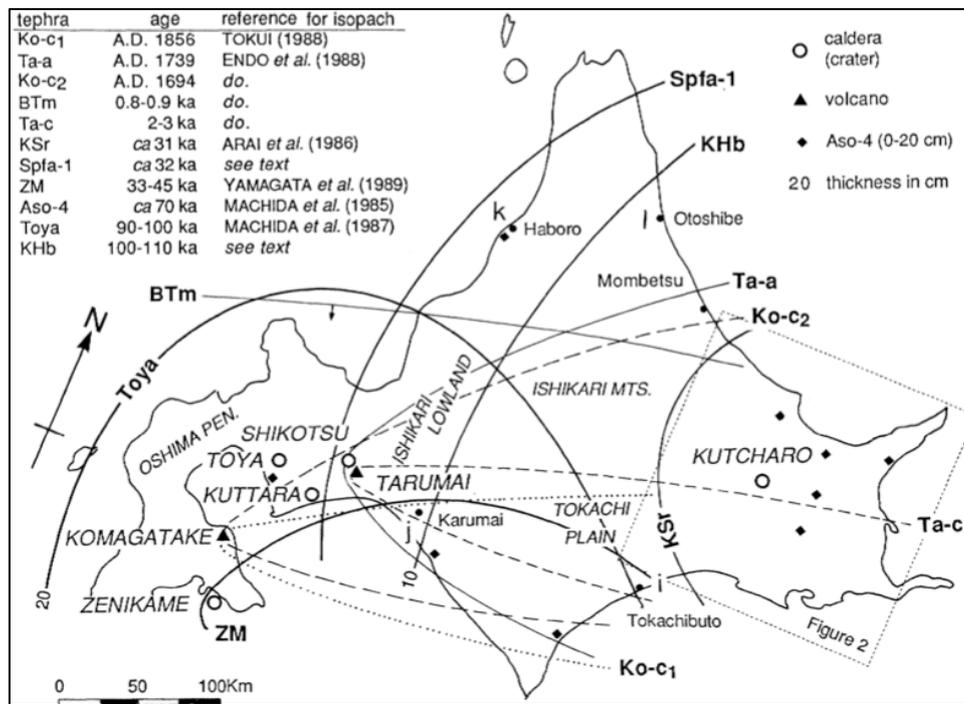


Fig. 2-2. 屈斜路火砕流 IV に伴い発生した降下テフラの分布範囲 (奥村, 1991).

屈斜路火砕流 IV に伴い発生した降下テフラ (KHb: クッチャロ羽幌テフラ) を示す。



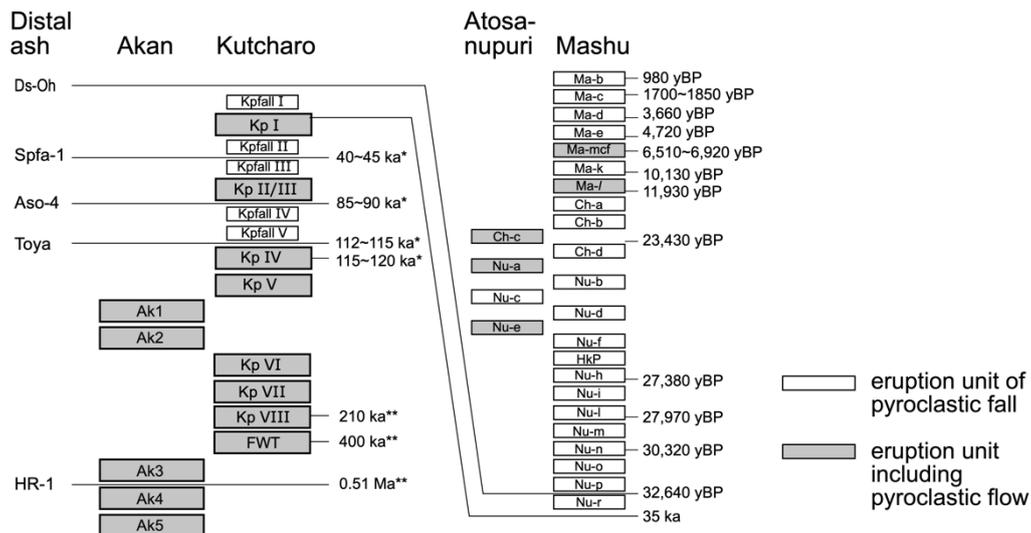


Fig. 2-4. 屈斜路火山と周囲の火山の噴出順序を示したブロックダイアグラム (after Hasegawa *et al.*, 2012).

#### 屈斜路外輪山溶岩類 (Ks; 勝井, 1962)

屈斜路火山のカルデラ壁を構成する溶岩類。一部火砕堆積物も認められる。これらは、いくつかの成層火山（藻琴山・サマツカルヌプリ・コトニヌプリ等）を形成した。尾札部層を覆い、屈斜路火砕堆積物によって覆われる。

岩 質：玄武岩～輝石安山岩（勝井・佐藤, 1963）

岩 相：多くの溶岩流は、水平もしくはカルデラ壁の外側に傾斜している。このことから、勝井・佐藤（1963）では、噴出中心が、カルデラ内にあったとした。指交関係にある火砕物は、溶岩流と比べ薄い。溶岩流と火砕物の総計層厚は最大 350 m である。

分 布：主に屈斜路カルデラの北方～西方に分布し、一部東方にも認められる。

年 代：1.84～0.84 Ma (K-Ar 年代; 広瀬・中川, 1995)

噴出量：詳細不明

#### 古梅溶結凝灰岩 (FWT; 勝井・佐藤, 1963)

本層は、勝井（1962）により定義された溶結凝灰岩である。第 1 期軽石流堆積物（勝井, 1958）、屈斜路溶結凝灰岩古梅型（勝井, 1962）、第 1 展望台溶結凝灰岩・屈斜路溶結凝灰岩（国府谷ほか, 1962）に相当する。

岩 質：単斜輝石含有直方輝石デイサイト（勝井・佐藤, 1963）

岩 相：灰白色～淡褐色を呈する溶結凝灰岩で、淡紅色を呈する場合もある。女満別川において非溶結部がわずかに認められる。溶結部は全体的に 3～4 m 間隔の柱状節理を呈する。層厚は小清水峠において約 40 m であるが、ほとんどの地域では、基底部が確認できない。

分 布：屈斜路カルデラ西方の古梅地域から上里地域、カルデラ北西斜面の標高約 400 m 前後にあたる丘陵地から女満別川の河床、カルデラ東部のポンヤベツ川やヤンベツ

川の河床, 小清水峠の屈斜路カルデラ内壁に認められる. 藻琴山を避けるように分布する (勝井・佐藤, 1963).

年代:  $0.40 \pm 0.10$  Ma (フィッシュン・トラック年代; 長谷川ほか, 2011)

噴出量: 約  $50 \text{ km}^3$  (Hasegawa *et al.*, 2012, 2016)

#### **屈斜路火砕流堆積物 VIII (Kp VIII; 勝井・佐藤, 1963)**

本層は, 勝井・佐藤 (1963) により定義された火砕流堆積物である. 本層は, 砂礫層を挟み, 古梅溶結凝灰岩を覆う (勝井・佐藤, 1963).

岩質: 単斜輝石含有直方輝石デイサイト (勝井・佐藤, 1963)

岩相: 黄灰白色の非溶結火砕流堆積物である. 淘汰は極めて悪い.

分布: モウテンベツ川中流, 浦士別川神の浦, および東藻琴東二線沿いにおいて認められる. 層厚は特に東藻琴東二線沿いで厚く, 9 m を越える (勝井・佐藤, 1963).

年代:  $0.21 \pm 0.18$  Ma (フィッシュン・トラック年代; 長谷川ほか, 2011)

噴出量: 見かけ体積 約  $38 \text{ km}^3$  (Hasegawa *et al.*, 2012, 2016)

#### **屈斜路火砕流堆積物 VII (Kp VII; 勝井・佐藤, 1963)**

本層は, 勝井・佐藤 (1963) により定義された火砕流堆積物である.

岩質: 単斜輝石含有直方輝石安山岩 (勝井・佐藤, 1963)

岩相: 非溶結火砕流堆積物である. 約 1 m 間隔の節理が一部で認められる. 含まれる軽石は低発泡であり, 亜角~亜円を示す.

分布: 東藻琴東二線沿いにおいてのみ認められる (勝井・佐藤, 1963).

年代: ca. 0.2 Ma \*階段図 (Hasegawa *et al.*, 2012) から読み取り

噴出量: 見かけ体積約  $13 \text{ km}^3$  (Hasegawa *et al.*, 2012, 2016)

#### **屈斜路降下軽石堆積物 VI (Kpfall VI; 勝井・佐藤, 1963)**

本層は, 屈斜路火砕流堆積物 VI と屈斜路火砕流堆積物 VII の間に土壌を挟み堆積する降下火砕堆積物である (Figs. 2-5, 2-6).

岩質: 単斜輝石含有直方輝石デイサイト (勝井・佐藤, 1963)

岩相: 淘汰の良い軽石層と火山灰層からなる (勝井・佐藤, 1963).

分布: 東藻琴東二線を西限として, それ以東に分布する. 東方に向かい層厚が増す (勝井・佐藤, 1963).

年代: 詳細不明

噴出量: 詳細不明

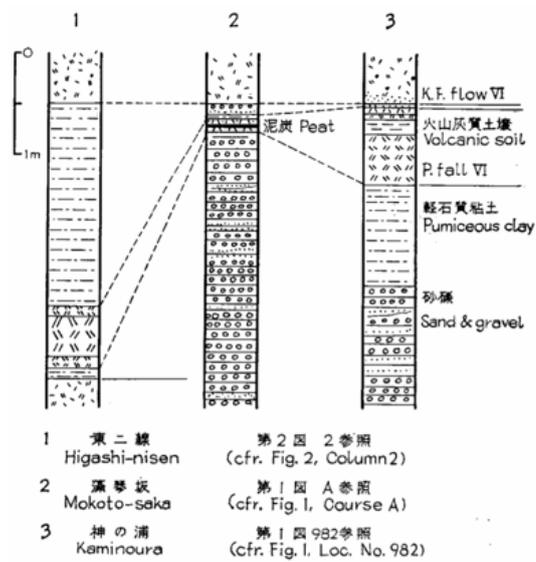


Fig. 2-5. 屈斜路降下軽石堆積物 IV の柱状図 (勝井・佐藤, 1963).

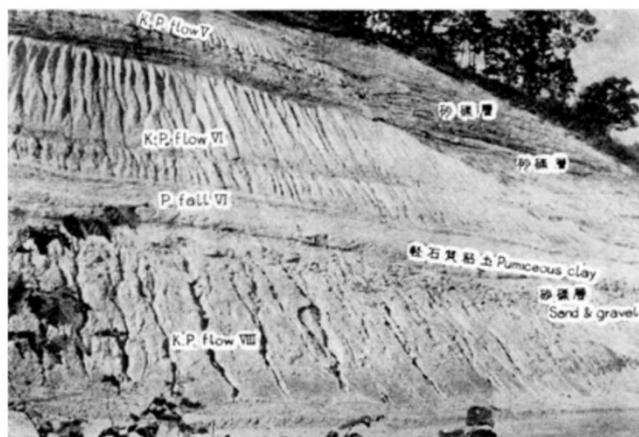


Fig. 2-6. 屈斜路火砕堆積物の露頭写真 (勝井・佐藤, 1963).

神の浦地点の写真。屈斜路火砕流 VIII, VI および屈斜路降下軽石 VI が認められる。

### 屈斜路火砕流堆積物 VI (Kp VI; 勝井・佐藤, 1963)

本層は、勝井・佐藤 (1963) により定義された火砕流堆積物である。

岩 質：単斜輝石含有直方輝石デイサイト (勝井・佐藤, 1963)

岩 相：非溶結火砕流堆積物である。後述する屈斜路火砕流堆積物 V と比べ細粒の軽石を含む。下部に細粒の軽石からなるミガキ砂状基質の層が認められ、モウテシベツ川においてその層厚が約 3 m に達する (勝井・佐藤, 1963)。

分 布：東藻琴東二線沿いからモウテシベツ川沿いに認められる (勝井・佐藤, 1963)。特にモウテシベツ川で厚く、層厚は約 15 m である。

年 代：ca. 0.19 Ma \*階段図 (Hasegawa *et al.*, 2012) から読み取り

噴出量：見かけ体積 約 75 km<sup>3</sup> (Hasegawa *et al.*, 2012, 2016)

### 屈斜路火砕流堆積物 V (Kp V; 勝井・佐藤, 1963)

本層は、勝井・佐藤 (1963) により定義された火砕流堆積物である。

岩 質：単斜輝石含有直方輝石デイサイト

岩 相：非溶結の火砕流堆積物である。屈斜路火砕流堆積物 V や屈斜路火砕流堆積物 IV と比べ粗粒な軽石を含む (モウテシベツ川に向う道路沿いの露頭で平均直径約 10 cm)。神の浦において上部が砂礫層によって削剥されている。

分 布：藻琴坂から砥草原西方の台地にかけて認められる (勝井・佐藤, 1963)。

年 代：ca. 136 ka \*階段図 (Hasegawa *et al.*, 2012) から読み取り

噴出量：見かけ体積 約 38 km<sup>3</sup> (Hasegawa *et al.*, 2012, 2016)

### 短期的前駆活動

屈斜路火砕流堆積物 IV の直下には、古土壌の薄層 (<5 cm) を挟み火砕堆積物が認められる。また、本堆積物の岩石学的特徴が屈斜路火砕流堆積物 IV と類似する。以上の特徴から Hasegawa *et al.*, (2016) は、本堆積物を Pre Kp IV と命名し、屈斜路火砕流 IV に先行して発生した噴火によるものと考えた。

### Pre Kp IV (Hasegawa *et al.*, 2016)

岩 質：単斜輝石含有直方輝石流紋岩 (Matsumoto *et al.*, 2018)

岩 相：降下軽石堆積物とそれを覆う火砕流堆積物からなる。降下軽石堆積物は逆級化を示す。いずれも本質物質として白色軽石を含む。火砕流の分布域から屈斜路火山北東に給源があると考えられる (Hasegawa *et al.*, 2016)。

分 布：カルデラより北東方に分布する (Hasegawa *et al.*, 2016)。

年 代：詳細不明

噴出量：見かけ体積 <2 km<sup>3</sup> (Hasegawa *et al.*, 2016)

## 本噴火

### [各噴出物の特徴]

#### 屈斜路火砕流堆積物 IV (Kp IV; Hasegawa *et al.*, 2016)

Pre Kp IV との間に古土壌を挟み堆積する火砕流堆積物。Hasegawa *et al.* (2016) により 4 ユニット (下位から Unit 1, 2, 3, 4) に細分された (Fig.2-7)。本堆積物は、屈斜路岩滓流堆積物 (KSfl; 奥村, 1991) に相当する。なお後述するスコリアは、石基火山ガラスの  $P_2O_5$  値から 3 タイプに細分される (high-P, HP; medium-P, MP; low-P, LP; Hasegawa *et al.*, 2016)。

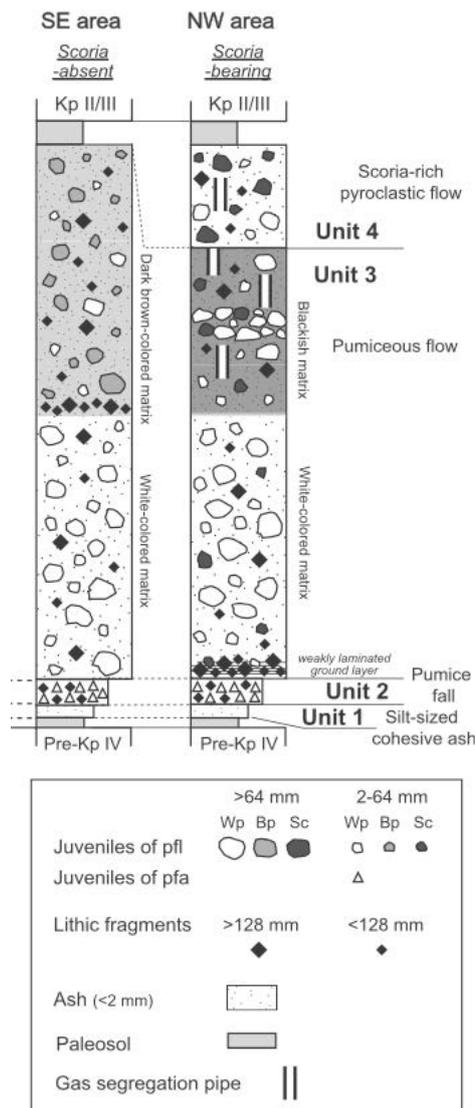


Fig. 2-7. 屈斜路火砕流堆積物 IV の総合柱状図 (Matsumoto *et al.*, 2018).

層位・層相により 4 ユニットに区分される。Unit 3 は、下部・上部で層相が異なる。上部の基底には、岩片濃集部が存在し、明瞭に区別される。また、Unit 3 は、給源より南東方向、北西方向で異なる層相・構成要素を示す。

### Unit 1

岩 相：シルトサイズの白桃色の凝集性火山灰である。Kp IV の基底部に一般的に認められる。広域に分布しカルデラより 50 km 離れた地点においても認められる。火山豆石を含む。

構成物：シルトサイズの火山灰，白色軽石，火山豆石

分 布：カルデラの周囲に広域に分布する。主軸は北東である。

噴出量：詳細不明

### Unit 2

岩 相：白色軽石と火山灰からなる降下軽石堆積物である。2層の弱く成層した火砕サージ堆積物を挟在する。降下軽石層の淘汰はやや良い。含まれる白色軽石の円磨度は角礫である。3層の降下軽石層は，上位に向かって，軽石と岩片の粒径が小さくなる。火砕サージ層は，層厚変化が激しく，淘汰が悪い。

構成物：白色軽石，火山豆石，石質岩片（両輝石安山岩質）

分 布：カルデラより北東方向に分布する。

噴出量：見かけ体積 $<0.2 \text{ km}^3$  (Hasegawa *et al.*, 2016)

### Unit 3

広域に分布する火砕流堆積物。岩相の違いから下部 (Unit 3-L) と上部 (Unit 3-U) に細分される。Unit 3-L と Unit 3-U に，侵食間隙は認められず，整合的に堆積したと考えられる。Unit 3-U は，後述する Unit 4 と共に，屈斜路スコリア流 (Ksfl; 勝井・佐藤, 1963) に相当する。また Unit 3 は，南東地域と北西地域で，岩相や含まれる本質物質の組み合わせが異なる。

#### Unit 3-L

岩 相：白色で塊状の火砕流堆積物。石質岩片に乏しい ( $<10 \text{ wt.}\%$ )。北西地域では，少量のスコリア (LP-type) を含むほか，基底部に弱く成層した層が認められる。基底部の成層した層は，細粒物に乏しく，石質岩片と遊離結晶から構成されることからグランドレイヤーであると解釈される。含まれる岩片の形状は亜角礫であり，主に両輝石安山岩からなる。南東地域では，上述のスコリア，グランドレイヤーは認められない。

構成物：軽石，スコリア，火山ガラス，遊離結晶，石質岩片（両輝石安山岩）

分 布：カルデラより南東方向および北西方向に広く分布する。

噴出量：詳細不明

#### Unit 3-U

岩 相：暗色の塊状の火砕流堆積物である。少量の石質岩片を含む。Unit 3-U の基底部には，変質した岩片を含む岩片濃集部が認められる。岩片濃集部は，主に南西地域でよく認められる。いずれの地域においても主な本質物質は軽石であり，スコリア (HP-type $>$ MP-type) をわずかに含むが，軽石や基質の色調，岩片種，堆積構造に違

いが認められる。北西地域では、暗灰色の基質をもち、軽石は白色である。石質岩片は、主に赤色または灰色の比較的新鮮な輝石安山岩からなる。吹き抜けガスパイプ構造や軽石レンズ構造が一般的に認められる。一方、南東地域は、褐色の基質をもち、軽石も褐色である。石質岩片は、主に、褐色でやや変質しポーフィリティックな輝石安山岩と強く熱水変質を受けた緑色変質岩からなる。吹き抜けガスパイプ構造や軽石レンズ構造は認められない。

構成物：軽石（白色，褐色），スコリア，火山ガラス，石質岩片（輝石安山岩，ポーフィリティック輝石安山岩，緑色変質岩）

分 布：カルデラより南東方向および北西方向に広く分布する。

噴出量：詳細不明

#### **Unit 4**

Unit 3-U との間に侵食面をはさみ堆積する火砕流堆積物。Unit 3-U で認められる吹き抜けガスパイプは、この侵食面により切られている。数値計算による脱ガスモデルから、少なくとも数日～数ヶ月の時間間隙があったと考えられる（長谷川ほか, 2018）。

岩 相：スコリア (MP-type) に富む黄褐色の火砕流堆積物である。石質岩片に乏しい (<5 %)。石質岩片は、主に新鮮な輝石安山岩からなる。吹き抜けガスパイプ構造が認められる。

構成物：白色軽石，スコリア，石質岩片（輝石安山岩）

分 布：カルデラより北東方向に限定的に分布する。

噴出量：見かけの体積 1 km<sup>3</sup> (Hasegawa *et al.*, 2016)

## [噴火推移]

### 水蒸気プリニー式噴火の発生 (Unit 1~2)

屈斜路火砕流噴火 IV は、水蒸気プリニー式噴火から始まり、広域に細粒火山灰 (Unit 1) を堆積させた。その後、水蒸気プリニー式噴火に引き続き発生したマグマ水蒸気噴火が発生し、Unit 2 を堆積させた。Unit 2 は、降下軽石堆積物中に火砕サージの薄層が挟在することから、不安定で湿った噴煙柱が、部分的に崩壊したことが推察される。

Unit 2 は、明瞭な時間間隙を示すような地質学的証拠が認められず、また、全体に占める噴出量の割合が小さいことから、Unit 2 は、限定的な噴出であり、その後すぐに大規模な火砕流に推移したと考えられる。

### 複数火口からの大規模火砕流の発生 (Unit 3)

Unit 3 は、Unit 2 に引き続き発生した大規模な火砕流堆積物である。屈斜路火砕流 IV の中で最も規模が大きい。Unit 3 は北西・南東地域において異なる岩相を示すほか、スコリアの有無や石質岩片種に違いが認められる。これは北西地域と南東地域のものが、同時期に異なる噴出物が噴出したことを示しており、同時期に複数の異なる火道からの噴火であったと考えられる。スコリアは、北西地域で認められることから、それらを供給した苦鉄質マグマは北西地域の地下に存在していたと考えられる。

### 小規模なスコリア流の発生 (Unit 4)

Unit 3 に噴出後、短い静穏期を経てスコリア流が発生した。Unit 3 に認められる吹き抜けガスパイプ構造は、Riehle *et al.* (1995) のモデルから、脱ガスに少なくとも数日~数ヶ月要すると見積もられる (Hasegawa *et al.*, 2016)。よって、Unit 3 堆積後、スコリア流が発生するまでに短い休止期があったと推察される。

Unit 4 噴出後、屈斜路火砕流 IV の活動は収束した。

## 大規模噴火後の活動

屈斜路火山では、屈斜路火砕流 IV 発生後、複数回にわたり大規模な火砕流と降下火砕物を噴出するする発生した。これらの火砕噴火後、屈斜路火山の後カルデラ火山として、アトサヌプリ、摩周火山、屈斜路中島火山が活動した。アトサヌプリと屈斜路中島火山はカルデラ内に、摩周火山は外輪山上に位置し、これらは西北西-東南東方向に配列する。

以下、屈斜路火砕流 IV 発生後の屈斜路火山および後カルデラ火山（アトサヌプリ火山、摩周火山、屈斜路中島火山）の活動についてまとめる。

### 屈斜路火砕流 IV 発生後の屈斜路火山で発生した爆発的噴火

#### 屈斜路降下軽石噴火 V および IV (Kpfall V・IV; 勝井・佐藤, 1963)

屈斜路火山では、屈斜路火砕流 IV 発生後、単斜輝石含有直方輝石デイサイトの降下軽石を堆積させる噴火が起った。屈斜路火砕流堆積物 IV の上位にそれぞれ軽石質粘土を介し堆積することから、これらの活動は休止期をはさんだ活動であると考えられる (Fig. 2-8)。これらの降下軽石は、他の屈斜路火山を起源とする降下軽石同様、東藻琴東二線を西限とし、それ以東に分布する。

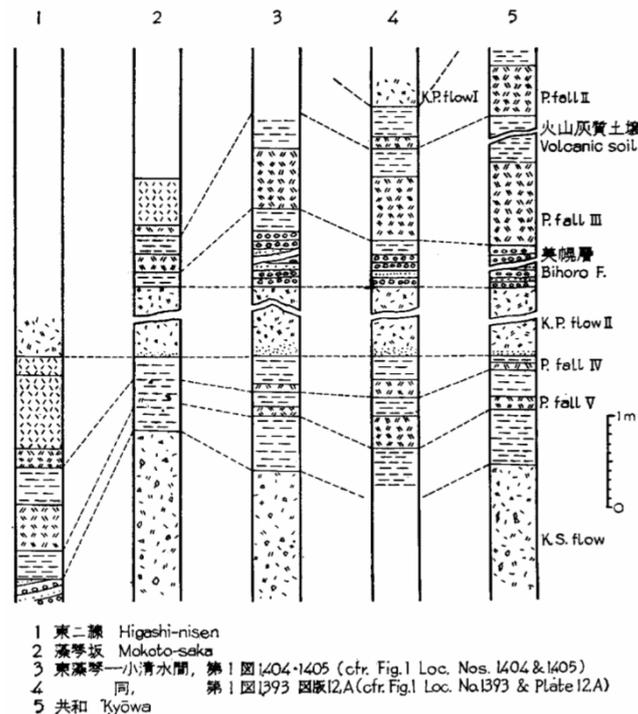


Fig. 2-8. 屈斜路降下軽石堆積物 II・III・IV・V の柱状図 (勝井・佐藤, 1963).

### 屈斜路火砕流 II/III (Kp II/III; 勝井・佐藤, 1963)

屈斜路火山では、屈斜路降下軽石噴火 IV 発生後、休止期を挟み火砕流が発生した。本火砕流は、単斜輝石含有直方輝石デイサイトの軽石と火山灰からなる非溶結の火砕流堆積物をもたらした。主にカルデラより北方に分布し、オホーツク海沿岸まで到達している（奥村, 1991）。直下に Aso-4 が認められることから、約 90 ka と考えられる（山元ほか, 2010）。見かけ体積は約 25 km<sup>3</sup> と見積もられている（Hasegawa *et al.*, 2012, 2016）。

### 屈斜路降下軽石噴火 III および II (Kpfall III・II; 勝井・佐藤, 1963)

屈斜路火山では、屈斜路火砕流 II/III 噴出後、降下軽石をもたらす噴火が 2 回発生した。これらの軽石は、単斜輝石含有直方輝石デイサイトを示す。屈斜路火砕流堆積物 II/III と屈斜路降下軽石堆積物 III、屈斜路降下軽石堆積物 II および III の間には、軽石質粘土層が存在し、これらの活動には休止期があったと考えられる。

### 屈斜路火砕流 I (Kp I; 勝井・佐藤, 1963)

屈斜路火山では、35 cal ka BP に屈斜路火砕流 I が発生した。屈斜路火砕流 I は、屈斜路-庶路テフラ (KSr; 奥村, 1991, 1996) と屈斜路火砕流堆積物 I を噴出した。

屈斜路-庶路テフラは、カルデラより南南東に軸をもち広範囲に分布する降下軽石・火山灰の互層であり、少なくとも噴火初期は、水蒸気プリニー式噴火が発生したと考えられる。

屈斜路-庶路テフラの堆積後、大規模な火砕流が発生し、屈斜路火砕流堆積物 I がカルデラより東-北-西方の広範囲に堆積した。奥村（1996）は、本火砕流中に粗粒な軽石層と火山豆石を含み淘汰の良い火山灰層が挟在することを明らかにし、繰り返しマグマ水蒸気爆発が発生したことを示唆した。

### 屈斜路降下軽石噴火 I (Kpfall I; 勝井・佐藤, 1963)

屈斜路火山では、屈斜路火砕流 I 噴出後、休止期を挟み降下軽石をもたらした噴火が発生した。本噴火によりもたらされた降下軽石は、屈斜路火砕流堆積物 I および河岸段丘堆積層を覆い、東藻琴より東方に分布している（勝井・佐藤, 1963）。

## 屈斜路後カルデラ火山の活動

屈斜路カルデラ形成後、同地域では、アトサヌプリ・中島火山と摩周火山の活動に移行した。35～27 ka では、摩周火山で大小の珪長質な火砕噴火が頻発し、斜里平野や根釧原野に、降下軽石層 Nu-r や Nu-p, Nu-u (宮田ほか, 1988) などが堆積した (Fig. 2-9)。一方、アトサヌプリ・中島火山では安山岩質の溶岩が噴出し外輪山が形成された。27～13 ka では、アトサヌプリ・中島火山で爆発的噴火が少なくとも 10 回発生した。このうち Nu-e, Nu-a, Ch-c (宮田ほか, 1988) では火砕流が発生している。比較的規模の大きいこれら火砕噴火は、アトサヌプリカルデラの形成に関与したと考えられている。一方で摩周火山では、見かけ噴出量が 1 km<sup>3</sup> を超える珪長質の火砕噴火が数回発生した軽石噴出期 (20～17 ka あるいは 16 ka) を挟み、スコリアやスコリア質火山灰を噴出する小規模噴火の卓越期が 2 度 (27～20 ka, 17 または 16～13 ka) 繰り返された。このうち、17～16 ka 以降の小規模噴火卓越期では、数千年にわたり安山岩～玄武岩質溶岩が噴出する活動が継続し、成層火山が形成された (成層火山形成期; Katsui *et al.*, 1975)

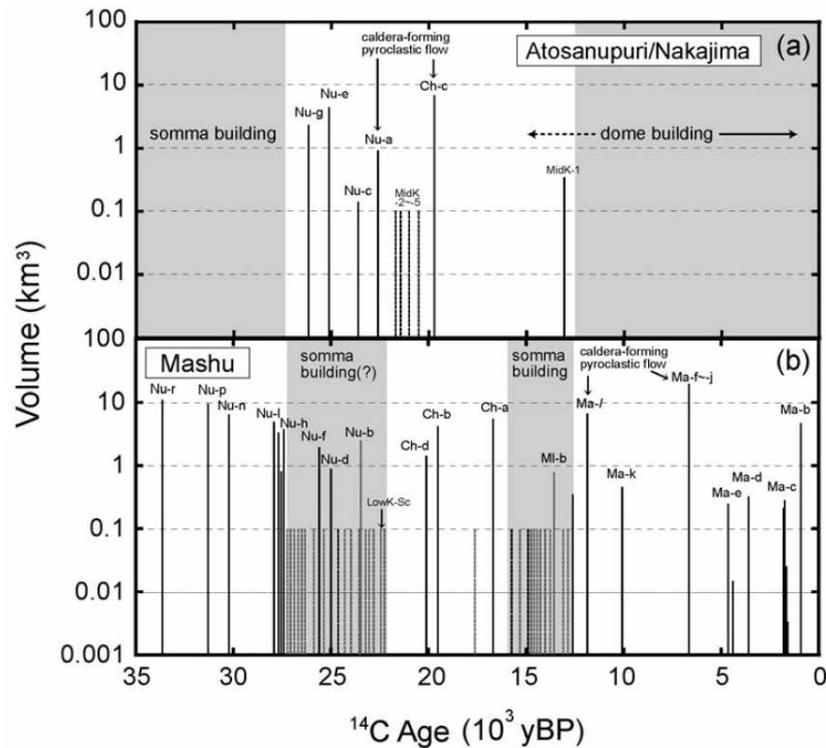


Fig. 2-9. 屈斜路火山における後カルデラ火山の噴火年代及び噴出量 (長谷川ほか, 2009).

(a) アトサヌプリ/中島火山の爆発的噴火史. (b) 摩周火山の爆発的噴火史.

©日本地質学会

## 第2章 参考文献

- 長谷川健・岸本博志・中川光弘・伊藤順一・山元孝広 (2009) 北海道東部, 根釧原野および斜里平野における約3万5千~1万2千年前のテフラ層序と後屈斜路カルデラ火山の噴火史. 地質雑, **115**, 369-390.
- 長谷川健・中川光弘・伊藤順一・山元孝広 (2011) 北海道東部, 釧路地域に分布する第四紀の年代: 高分解能テフラ層序に基づく対比と編年. 地質雑, **117**, 686-699.
- Hasegawa, T., Nakagawa, M. and Kishimoto, H. (2012) The eruption history and silicic magma systems of caldera-forming eruptions in eastern Hokkaido, Japan. *J. Mineral. Petrol. Sci.*, **107**, 39-43.
- Hasegawa, T., Matsumoto, A. and Nakagawa, M., (2016) Evolution of the 120 ka caldera-forming eruption of Kutcharo volcano, eastern Hokkaido, Japan: Geologic and petrologic evidence for multiple vent systems and rapid generation of pyroclastic flow. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **321**, 58-72.
- 長谷川健・望月伸竜・大岩根尚 (2018) 堆積物から超大規模噴火の継続時間を読みとる方法. 地学雑, **127**, 273-288.
- 広瀬 亘・中川光弘 (1995) 北海道東部, 屈斜路カルデラ地域の新生代火山岩類の K-Ar 年代と第四紀火山活動史. 地質雑, **101**, 99-102.
- 勝井義雄 (1958) 阿寒・屈斜路火山群 (火山シリーズ 2). 地球科学, **39**, 19-29.
- 勝井義雄 (1962) 5 万分の 1 地質図幅「屈斜路」および同説明書. 北海道開発庁, 42p.
- 勝井義雄・佐藤博之 (1963) 5 万分の 1 地質図幅「藻琴山」および同説明書. 北海道開発庁, 42p.
- Katsui, Y., Ando, S. and Inaba, K. (1975) Formation and Magmatic Evolution of Mashu Volcano, East Hokkaido, Japan. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ.*, **16**, 533-552.
- 国府田盛明・松井公平・長谷川潔・安藤久男 (1962) 5 万分の 1 地質図幅「摩周湖」および同説明書. 北海道開発庁, 45p.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス-日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 94-95.
- Matsumoto, A., Hasegawa, T. and Nakagawa, M., (2018) Petrology of the 120 ka Caldera-Forming Eruption of Kutcharo Volcano, Eastern Hokkaido, Japan: Coexistence of Multiple Silicic Magmas and their Relationship with Mafic Magmas. *J. Petrol.*, **59**, 771-793.
- 宮田雄一郎・山口昇一・矢崎清貫 (1988) 5 万分の 1 地質図幅「計根別地域の地質」および同説明書. 地質調査所, 77p.
- 奥村晃史 (1991) 北海道地方の第四紀テフラ研究. 第四紀研究, **30**, 379-390.
- 奥村晃史 (1996) 北海道小清水周辺の屈斜路火砕流堆積物 I. 第四紀露頭集—日本のテフラ, p. 25.
- Rifhle, J. R., Miller, T. F. and Bailey, R. A. (1995) Cooling, degassing, and compaction of rhyolitic ash flow tuffs: A computational model. *Bull. Volcanol.*, **57**, 319-336.

宝田晋治・宮城磯治・東宮昭彦（2018）洞爺及び屈斜路火砕流の分布と噴出量推定. 日本火山学会講演予稿集 2018 年度秋季大会, 116.

山元孝広・伊藤順一・中川光弘・長谷川健・岸本博志（2010）北海道東部，屈斜路・摩周カルデラ噴出物の放射炭素年代値. 地質調査研究報告書, **61**, 161-170.

### 3. 三瓶-木次噴火

噴出源：三瓶火山

年代：100±20 ka (フィッシュン・トラック年代; 木村ほか, 1999)

---

総噴出量：見かけ体積: 20 km<sup>3</sup> (町田・新井, 2003)

---

#### 構成要素：

##### 後カルデラ活動期

- ・ Stage VIII (小規模水蒸気噴火?)
- ・ Stage VII (溶岩円頂丘, Block and ash flow およびブルカノ式噴火の発生)
- ・ Stage VI (小規模 Block and ash flow を伴った火砕噴火の発生)
- ・ Stage V (小規模ブルカノ式噴火の発生)
- ・ Stage IV (デイサイト質溶岩および Block and ash flow, 火砕噴火の発生)
- ・ Stage III (大規模な火砕噴火の発生)

##### カルデラ形成期

- ・ Stage II (大規模な火砕噴火とカルデラの形成)
  - ・ Stage I
    - ・ 三瓶<sup>きすき</sup>木次テフラ
    - ・ 粕淵<sup>かすぶち</sup>火砕流
- } 対象噴火

##### 先カルデラ活動期

- ・ 古期三瓶溶岩?
  - ・ 神戸川<sup>かんとがわ</sup>降下軽石?
  - ・ 森田山溶岩
- 

#### 本噴火の推移：

小規模火砕流→プリニー式噴火

---

#### 分布：

三瓶火山より北東に広く分布し、遠方では、東北地方にまで認められる (Fig. 3-1).

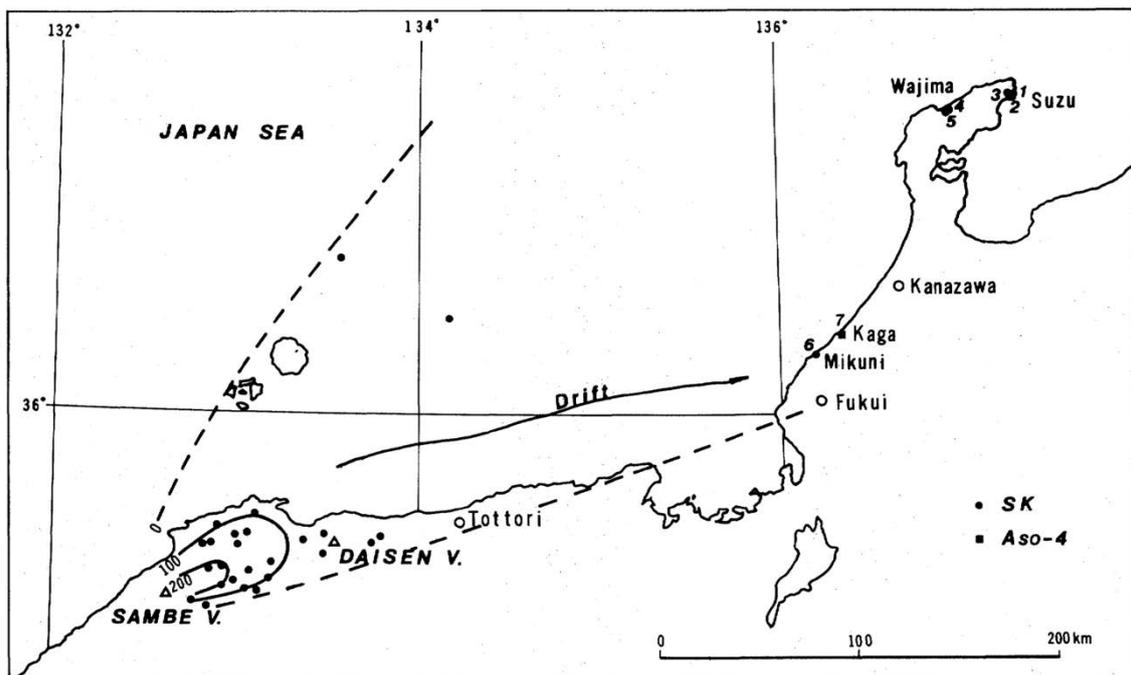


Fig. 3-1. 三瓶木次テフラの分布 (豊蔵ほか, 1991).

給源と考えられる三瓶火山より北東方に広く分布する。

## 長期的前駆活動

三瓶火山の活動は、過去複数回にわたって噴火活動を繰り返している (Fig. 3-2). 福岡・松井 (2004) は、松井・井上 (1971) および福岡・松井 (2002) に自身の知見を加えることで、三瓶火山の活動を 8 ステージに区分した (古いものより Stage I, II, III, … VIII). 本章の対象である三瓶木次噴火は、このステージ I に該当する。松井・井上 (1971) は、三瓶木次噴火以前に神戸川降下軽石が発生したとしているが、噴出量や年代などに多くの不明点を残す。また、ステージ II 以降の噴出物には、黒雲母流紋岩の溶岩片が多量に含まれている。このことから、ステージ I において溶岩の噴出があったと考えられ、服部ほか (1983) では、これを古三瓶溶岩とした。

Stage	Deposit names	<sup>14</sup> C age (yBP) (* : Conventional <sup>14</sup> C age)	Pyroclastic flow deposit			Volcanic surge	Fall deposit			Lava	Eruptive style
			Pumice-flow	Ash-flow	Block&ashflow		Pumice	Ash	Distal locations (k m)		
VIII	Summit Black Soil 山頂黒色土	*500 ± 60 <sup>1</sup>									
	Summit Ash Deposit 山頂火山灰堆積物						?	Summit of Mt.Sanbe <sup>c</sup>			Phreatic?
VII	First Black Soil 第1黒色土	*1390 ± 60 <sup>1</sup> , *2340 ± 60 <sup>1</sup> , *2710 ± 60 <sup>11</sup>									
	Ibidani Debris Avalanche 伊比谷岩層なだれ堆積物										
	Taiheizan Pyroclastic Deposit 太平山火砕堆積物	※1		○	◎	○		◎	Tottori Pref. (120) <sup>14</sup>		Merapi&Vulcanian
	Sanbe Dome Lava 三瓶山頂丘溶岩	3530 ± 100 <sup>1</sup> (paleomagnetic age)								○	
VI	Tateishi Debris Avalanche 立石岩層なだれ堆積物	※2									
	Shitsumi Ash Fall 志津見降下火山灰堆積物								○		
	Second Black Soil 第2黒色土	※3									
	Tsunoi Ash Fall 角井降下火山灰堆積物								○	Matsue City (55) <sup>16</sup>	
V	Shigaku Pyroclastic Flow 志学火砕流堆積物	4780 ± 100 <sup>1</sup> , 4480 ± 110 <sup>1</sup> , *4850 ± 70 <sup>11</sup>			○						?
	Shigaku Ash Flow 志学降下火山灰堆積物	*4670 ± 80 <sup>1</sup> , *4750 ± 60 <sup>11</sup>							○		
	Third Black Soil 第3黒色土	*5730 ± 70 <sup>11</sup> , *6560 ± 60 <sup>11</sup> , *9050 ± 70 <sup>14</sup>									
IV	Kiriwari Ash Fall 切割降下火山灰堆積物	*4870 ± 50 <sup>11</sup>							○	Near Mt.Sanbe <sup>c</sup>	Vulcanian?
	Fourth Black Soil 第4黒色土	9570 ± 240 <sup>11</sup> , 9900 ± 200 <sup>11</sup>									
	Ukinuno Ash Fall 浮布降下火山灰堆積物	*10970 ± 70 <sup>11</sup> , *10830 ± 70 <sup>11</sup>								○	
	Midorigaoka Pyroclastic Flow 緑ヶ丘火砕流堆積物				○						
III	Ukinuno Pumice Fall 浮布降下軽石堆積物							◎			
	Oda Pyroclastic Flow 小田火砕流堆積物	16000 ± 400 <sup>1</sup>		○							
	Oda Surge 小田サージ堆積物								○		
	Hatasedani Pyroclastic Flow 果瀬谷火砕流堆積物	16400 ± 190 <sup>1</sup> , 14780 ± 350 <sup>1</sup>						○			
	Hikageyama Lava 日影山溶岩									○	
II	Ikedo Paleosol 池田淡色古土壌										
	Ikedo Pumice 池田降下軽石堆積物		○							○	Shizuoka Pref. (560) <sup>16</sup>
I	Paleosol 古土壌										
	Koyahara Ash Fall 小原降下火山灰堆積物									○	
	Onda Pumice Flow 大田軽石流堆積物	>37800 <sup>1</sup> , 70ka <sup>11</sup> (Fission-track age)			◎						
I	Utsunomiya Pumice Fall 雲南降下軽石堆積物									○	Off the Tottori (180) <sup>11</sup>
	Paleosol 古土壌										
	Kosanbe Lava 古三瓶溶岩									○	
I	Kisuki Pumice Fall 木次降下軽石堆積物	100 ± 20ka <sup>11</sup> (Fission-track age)							◎		Iwate Pref. (880) <sup>11</sup>
	Kasubuchi Pyroclastic Flow 柏瀬火砕流堆積物	100 ± 30ka <sup>11</sup> (Fission-track age)			○						

Fig.1 三瓶火山の層序と噴火様式 (◎: 卓越している ○: 認められる)

※ 1 : 3600 ± 75<sup>1</sup>, 3530 ± 100<sup>1</sup>, 3710 ± 100<sup>1</sup>, 3710 ± 130<sup>1</sup>, \*3316 ± 40<sup>1</sup>, \*3790 ± 35<sup>1</sup>, \*3680 ± 30<sup>1</sup>, \*3690 ± 40<sup>1</sup>, \*3690 ± 60<sup>1</sup>  
 ※ 2 : \*3550 ± 50<sup>1</sup>, \*3750 ± 40<sup>1</sup>, \*3660 ± 35<sup>1</sup>, \*3740 ± 30<sup>1</sup>, \*3500 ± 60<sup>1</sup>, \*3710 ± 60<sup>1</sup>, 3450 ± 150<sup>1</sup> (三瓶小豆原堆積物の立石岩層なだれ中に堆積された立木の<sup>14</sup>C年代を含む)  
 ※ 3 : \*3870 ± 40<sup>1</sup>, \*3910 ± 50<sup>1</sup>, \*4220 ± 40<sup>1</sup>, \*3760 ± 40<sup>1</sup>, 4090 ± 290<sup>1</sup>, \*3600 ± 40<sup>11</sup>, \*3720 ± 40<sup>11</sup>, \*3990 ± 30<sup>11</sup>, \*4120 ± 30<sup>11</sup>, \*4850 ± 40<sup>11</sup>, \*4180 ± 50<sup>11</sup>, \*3990 ± 40<sup>11</sup>, \*4220 ± 40<sup>11</sup>

1) Fukuoka and Matsui (2000), 2) Hayashi and Miura (1987), 3) Matsui (1998), 4) Shimane Pref. (2000), 5) Shimane Pref. (2002), 6) Fukuoka et al. (2002), 7) Sawada et al. (1999), 8) Fukuoka and Matsui (2002), 9) Matsui and Inoue (1970), 10) Matsui (2002), 11) Hattori et al. (1983), 12) Sago and Machida (1996), 13) Kimura et al. (2000), 14) Kimura et al. (1999), 15) This work, 16) Katoh et al. (1996), 17) Miura (1988), 18) Machida and Arai (1992), 19) Kato et al. (1998), 20) Nakamura (1998), 21) Matsui and Fukuoka (2003)

Fig. 3-2. 三瓶火山の活動区分 (福岡・松井, 2004).

**森田山溶岩 (服部ほか, 1983)**

カルデラ形成以前に存在した火山体の一部と考えられる。Taneda (1952), 松井・井上 (1971) の先三瓶火山岩類に相当する。一般的に露出不良であり, 各地点で岩相の変化が激しい。服部ほか (1983) はこれらを一括して森田山溶岩とした。

岩 質: 角閃石デイサイト (松浦・土井, 2003)

岩 相: 太田市多根では, 板状節理の発達した溶岩流の岩相を示す。本溶岩は, 流離構造が発達し, また, 1 cm 以下の細粒花崗岩の捕獲岩が稀に認められる。水滝南方では灰白色を呈する溶岩で, 汚濁帯が多く認められる。また, 権現山の旧石切場では, 赤みを帯びた灰色を呈する溶岩で, 捕獲岩が認められる。

分 布: 北の原北方の森田山を中心として北東-南西にかけて約 2 km にわたり分布する (Fig. 3-3; 服部ほか, 1983)。

年 代:  $1.01 \pm 0.03$  Ma (K-Ar 年代; 松浦・土井, 2003)

$0.9 \pm 0.2$  Ma (フィッシュン・トラック年代; 松浦・土井, 2003)

噴出量: 詳細不明

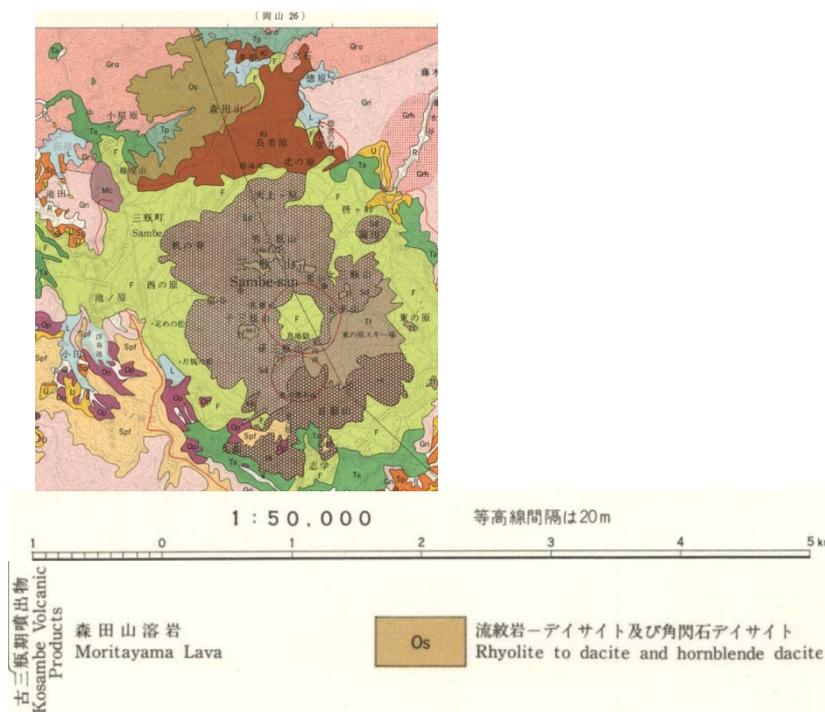


Fig. 3-3. 森田山溶岩の分布図 (服部ほか, 1983).

神戸川降下軽石 (K<sub>1</sub>; 松井・井上, 1971)

岩 質：詳細不明

岩 相：灰白色～黄褐色の降下火砕堆積物である。軽石層と細粒火山灰層の互層からなる。

給源より東方約 10 km の地点で少なくとも 20 層の fall unit が認識される。軽石層は、流紋岩質の岩片と花崗岩片を含む。細粒火山灰層は、有色鉱物に乏しく火山豆石を含む。遠方では、風化した軽石濃集層となり、上部は粘土質火山灰に漸移する。

分 布：三瓶火山の周囲および東方に分布する (Fig. 3-4)。

年 代：詳細不明

噴出量：詳細不明

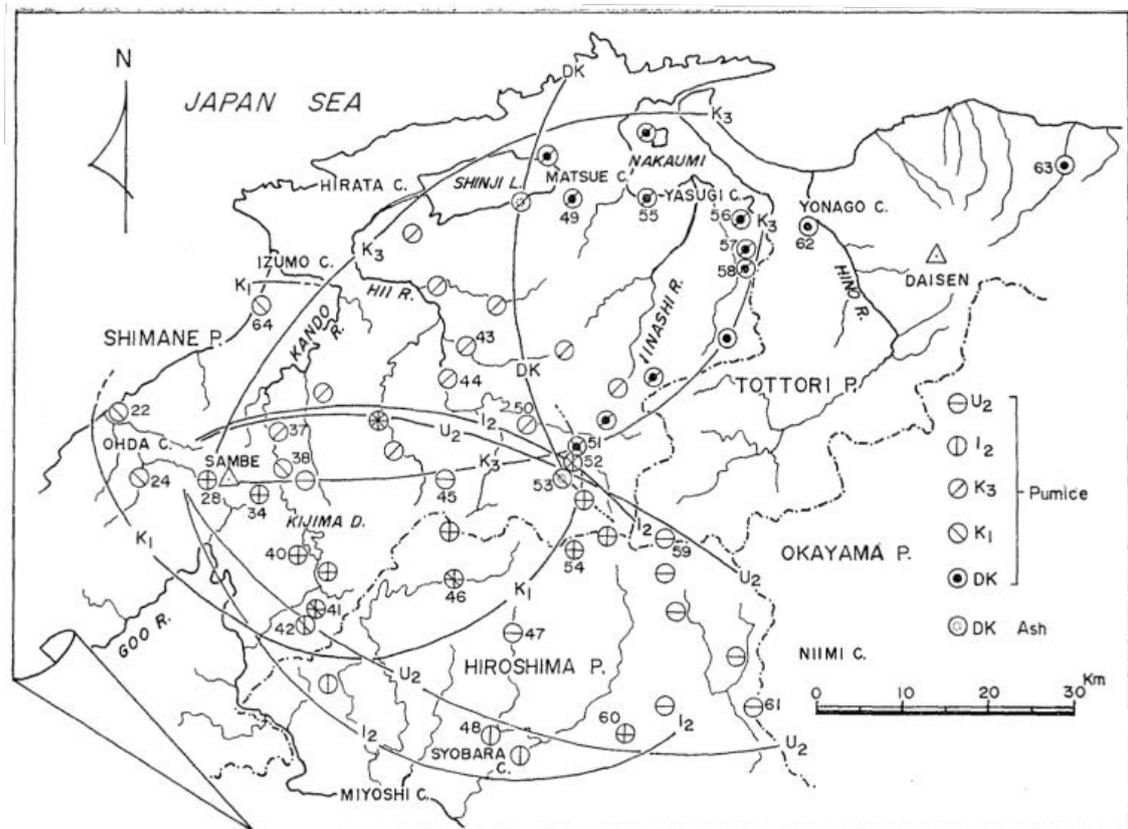


Fig. 3-4. 三瓶神戸川降下軽石の分布域 (松井・井上, 1971).

K1: 神戸川降下軽石を示す。給源の周囲及び東方に分布する。

古三瓶溶岩 (服部ほか, 1983)

Stage II 以降の噴出物に特徴的に含まれる溶岩片から、その存在が示唆される溶岩である。溶岩片の元となる岩体は現在認められない。

岩 質：黒雲母流紋岩 (服部ほか, 1983)

岩 相：白色を示す溶岩片であり、流理構造が顕著に認められる。径 2 mm 以下の斑晶を含む。(服部ほか, 1983)

分 布：詳細不明である。服部ほか (1983) では、三瓶火山のカルデラ壁などに岩体が全く

露出していないことから、カルデラ内に小型火山体が存在していたとした。

年 代：詳細不明。三浦・林（1987）では、岩片に含まれる鉱物から Stage I に活動したものであるとした。

噴出量：詳細不明

## **短期的前駆活動**

三瓶火山において、三瓶木次噴火の直前に活動があったことを示唆する堆積物は報告されていない。

## **本噴火**

三瓶木次噴火の詳細な噴出物記載は、先行する火砕流の発生とそれ伴うプリニー式噴火が発生した。

### **[各噴出物の特徴]**

#### **粕淵火砕流 (K<sub>2</sub>; 松井・井上, 1971)**

三瓶木次降下軽石に先行して発生した青灰色の火砕流堆積物である。

岩 質：詳細不明

岩 相：細粒火山灰を基質にもち、軽石を少量含む。表面は黄褐色を呈するが、その内部は、青灰色を示す。この色調の変化は、磁性鉱物の酸化還元環境を反映していると考えられる（松井・井上, 1971）。軽石のレンズ状濃集が認められる（木村ほか, 1999）。

構成物：細粒火山灰、軽石、石質岩片（花崗岩）

分 布：分布の詳細は不明である。給源より南西に約 5 km の地点（<sup>おおち</sup>邑智群邑智町）において層厚 6 m である。

噴出量：詳細不明

#### **三瓶木次降下軽石 (K<sub>3</sub>, KS; 松井・井上, 1971)**

粕淵火砕流堆積物を直接覆う降下火砕堆積物である（Fig. 3-5）。

岩 質：黒雲母流紋岩（町田・新井, 2003）

岩 相：黄白色～黄褐色を呈する塊状無層理の降下軽石堆積物である。灰紫色の粗粒火山灰を基質にもち、白色軽石を含む。上部では、粘土質火山灰に漸移する。風化が進行しており、軽石は指で押すと簡単に変形する。斑晶として黒雲母、長石、石英を含む。

構成物：火山灰、軽石、花崗岩片、黒雲母、長石、石英。

分 布：給源より北東に広く分布し、東北地方においても数 cm の厚さで堆積する（Fig. 3-1）。

噴出量：20 km<sup>3</sup>（見かけ体積；町田・新井, 2003）

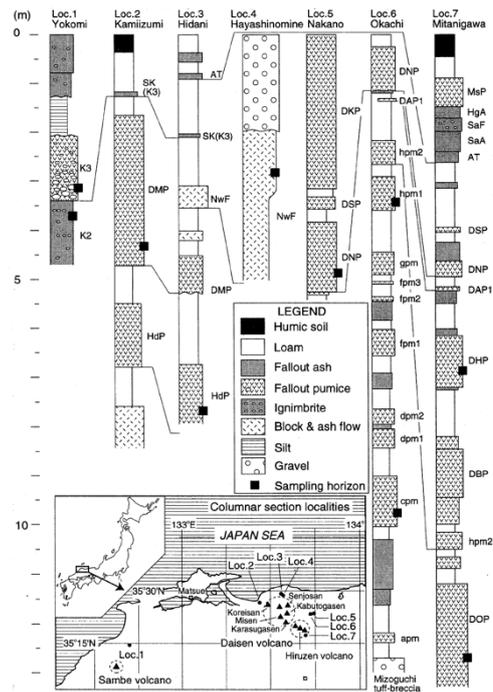


Fig. 3-5. 粕淵火砕流および三瓶木次降下軽石の柱状図 (木村ほか, 1999).

### [噴火推移]

三瓶木次噴火はその噴出量から、三瓶カルデラの形成に一部寄与したと考えられる。その一方で、噴火推移の詳細は不明点が多く残る。

### 小規模火砕流の噴出から大規模プリニー式噴火の発生 (粕淵火砕流の噴出)

三瓶木次噴火は、小規模火砕流の噴出から始まった。その後、プリニー式噴火に活動が推移し広範囲に火砕物を堆積させた。

## 大規模噴火後の火山活動

三瓶木次降下軽石噴出後、三瓶火山は休止期を挟みステージ II, III, IV, V, VI, VII, VIII と移行していく。

### Stage II 大規模な火砕噴火とカルデラの形成 (70 ka)

Stage II では、大規模火砕噴火が発生し、三瓶雲南降下軽石 (SU<sub>n</sub>; 林・三浦, 1986) と大田火砕流 (O<sub>2</sub>; 松井・井上, 1971; Fig. 3-6)、小屋原降下火山灰 (O<sub>3</sub>; 松井・井上, 1971) を噴出した。これらの堆積物は削剝を受けており、噴出量の推定が困難であるが、他の同程度の火砕流との比較から、その噴出量は、数 10 km<sup>3</sup> に及ぶと考えられる (服部ほか, 1983)。

太田火砕流は、淡桃灰色を呈する火砕流堆積物で、太田市の市街地に広く分布する (Fig.

3-7). 降下火山灰の薄層を挟み少なくとも4枚のフローユニットが認められる。また、各フローユニットの上部には、火山豆石が含まれる。また、服部ほか(1983)は、フローユニットの境界に岩片がレンズ状に濃集することを記載した。

小屋原降下火山灰は、複数の層理を持つ褐色の降下火山灰堆積物であり、太田火砕流堆積物を直接覆う。細粒火山灰と細粒火山礫を含む火山灰層、軽石礫を含む火山灰層の互層である。火山豆石が多産する。

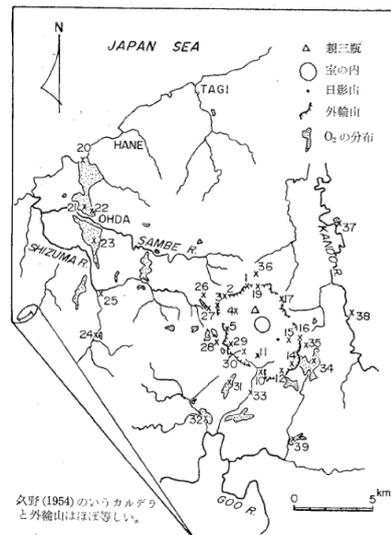


Fig. 3-7. 太田火砕流堆積物の分布 (松井・井上, 1971).  
三瓶火山の周囲及び、北西方向に分布が認められる。

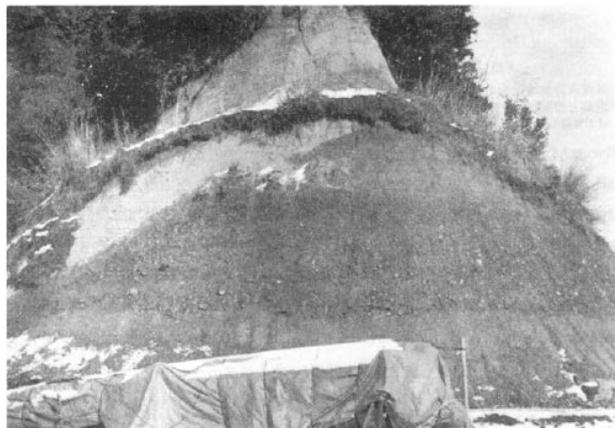


Fig. 3-6. 太田火砕流堆積物の露頭写真。

太田火砕流堆積物とそれを不整合で覆う上山ベースサージ堆積物 (服部ほか, 1983).

### Stage III 大規模な火砕噴火の発生 (35-40 ka)

Stage III では、降下火砕物および火砕サージが発生し、池田降下軽石、上山ベースサージを噴出した。本降下火砕物は、静岡県においても分布が認められる（佐護・町田, 1996）。上山ベースサージ堆積物は、カルデラ近傍に認められる淡黄白色の火砕サージ堆積物であり、白色軽石および石質岩片並びにそれらの細粒物質で構成される（Figs. 3-8, 9）。

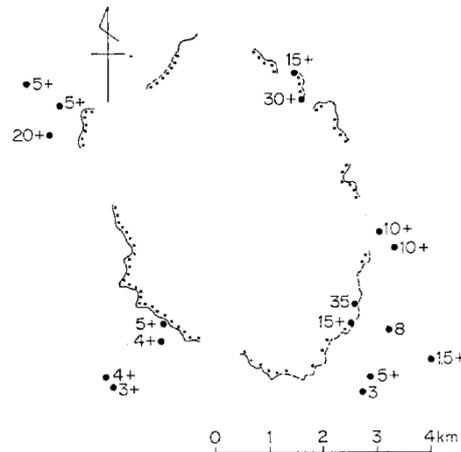


Fig. 3-8. 上山ベースサージ堆積物の層厚分布（服部ほか, 1983）。

図中の数字は層厚を表す。単位は m である。



第7図 志学展望広場脇の火山灰露頭

Fig. 3-9. 池田降下軽石堆積物の露頭写真（河野ほか, 2013）。

#### Stage IV デイサイト質溶岩および Block and ash flow, 火砕噴火の発生 (16 ka)

Stage IV の初期には、デイサイト質マグマが主に噴出し、日影山溶岩 (福岡・松井, 2002) や、Block and ash flow (果瀬谷火砕流; 福岡・松井, 2002) が発生した。その後、活動は爆発的噴火へと推移し、軽石質の小田サージ堆積物 (服部ほか, 1983; 福岡・松井, 2002), 小田火砕流 (服部ほか, 1983; 福岡・松井, 2002), 浮布降下軽石 (松井・井上, 1971; 福岡・松井, 2002) 等を発生させた。

#### Stage V 小規模ブルカノ式噴火の発生 (10 ka)

Stage V では<sup>きりわり</sup>切割降下火山灰 (Fig. 3-10) を南西部から東部にかけて噴出した (福岡・松井, 2002)。

切割降下火山灰は茶褐色～黄褐色の降下火砕物であり、岩相から下部中部上部に区分される。下部は、茶灰色の塊状火山灰層である。中部は、シルトサイズの火山灰と中～細粒砂火山灰からなる葉理が認められる。上部は、黄灰色の塊状火山灰であり、軽石質デイサイト質岩片を含む。

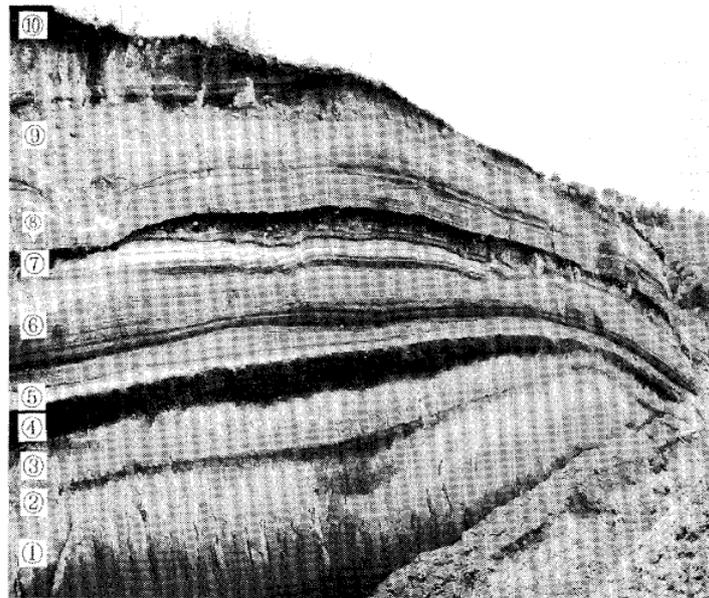


Fig. 3-10. 切割降下火砕物の露頭写真 (福岡・松井, 2002).

三瓶火山より南西に約 3 km である露頭の写真。③が切割降下火砕物に相当する。②, ④, ⑦, ⑩はそれぞれ土壌である。

#### Stage VI 小規模 Block and ash flow を伴った火砕噴火の発生 (5 ka)

Stage VI では、Block and ash flow (志学<sup>しがく</sup>火砕流堆積物) とそれに先行する降下火砕物 (志学降下火山灰堆積物), そしてブルカノ式噴火による降下火砕物 (角井<sup>つのい</sup>降下火山灰堆積物) が発生した。

志学火砕流堆積物は、白色から淡黄灰色の軽石質デイサイトと同質の基質火山灰からなる Block and ash flow 堆積物である。灰白色～灰色を呈するデイサイトの角礫を含む。志学降下火山灰は、志学火砕流に伴って発生した降下火山灰であり、下部の極細粒砂サイズの火山灰と上部の粗粒砂サイズの火山灰からなる。角井降下火山灰堆積物は、志学火砕流を整合的に覆う降下火砕物である。三瓶火山南麓において、最下部に層厚 50 cm 程度の火砕サージが認められる。

### **Stage VII 溶岩円頂丘, Block and ash flow およびブルカノ式噴火の発生 (3.5-3.8 ka)**

Stage VII では、4つの岩石学的特徴が異なる溶岩ドーム (Fig. 3-11; 浅野ほか, 2018) が形成され、その後、Block and ash flow およびそれに伴う降下火砕物が発生した (太平山火砕物; Fig. 3-12). 太平山火砕流堆積物は、6つのフローユニットに区分される (下位より Th 1, 2, 3…6; 草野・中山, 1999).

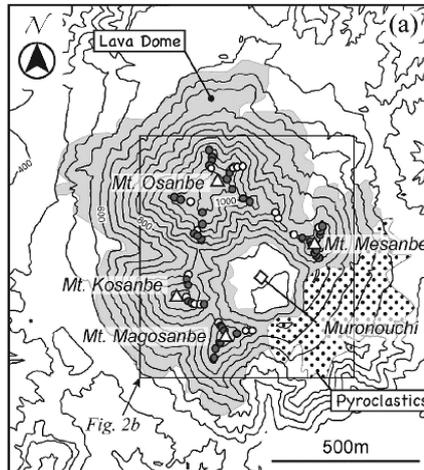


Fig. 3-11. Stage VII に形成された4つの溶岩ドームの位置関係 (浅野ほか, 2018).

©日本火山学会

### **Stage VIII 小規模な水蒸気爆発の発生 (0.5-1.4 ka ?)**

福岡・松井 (2000) は、三瓶火山山頂付近において、太平山火砕堆積物の上位に堆積する火山灰を報告した (Fig. 3-13). 本火山灰は、Stage VII の噴出物の再堆積である可能性が残されるが、その層相や黒雲母の含有率が太平山火砕堆積物と類似しており、三瓶火山 (男三瓶) の山頂にのみ認められることから、小規模な水蒸気爆発が発生していた可能性も指摘されている。

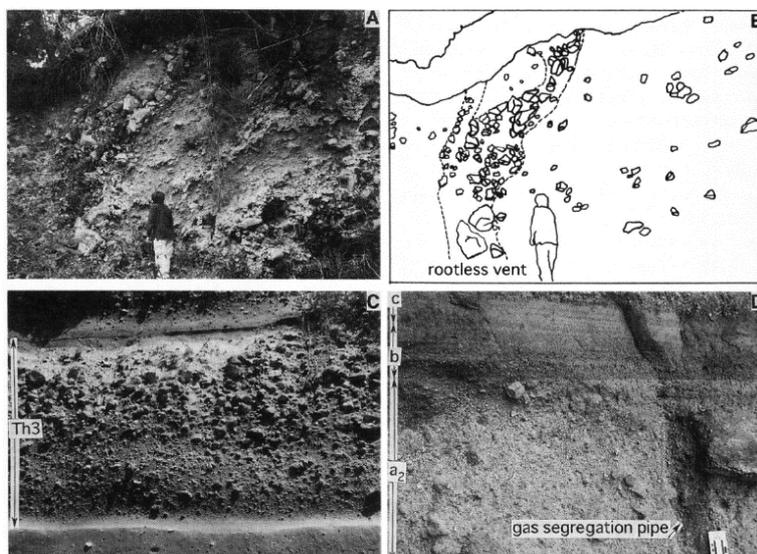


Fig. 3-12. 太平山火砕流堆積物の露頭写真 (草野・中山, 1999).

©日本火山学会



第2図 男三瓶山頂の露頭

Su-bs: 山頂黒色土, Su-ad: 山頂火山灰, 1st-bs: 第1黒色土, T-pd: 太平山火砕堆積物

Fig. 3-13. 三瓶火山 山頂火山灰の露頭写真 (福岡・松井, 2000).

### 第3章 参考文献

- 浅野一平・五井健登・清杉孝司・鈴木桂子・巽 好幸 (2018) 三瓶火山溶岩ドームの形成過程. 火山, **63**, 19-32.
- 福岡 孝・松井整司 (2000) 三瓶火山の山頂火山灰について, 島根大学地球資源環境学研究报告, **19**, 27-29.
- 福岡 孝・松井整司 (2002) AT 降灰以降の三瓶火山噴出物の層序. 地球科学, **56**, 105-122.
- 福岡 孝・松井整司 (2004) 三瓶火山の噴火様式の変遷. 島根県立三瓶自然館研究報告, **2**, 9-14.
- 服部 仁・鹿野和彦・鈴木隆介・横山勝三・松浦浩久・佐藤博之 (1983) 三瓶山地域の地質. 5万分の1地質図幅, 175 p.
- 林 正久・三浦 清 (1986) 三瓶雲南軽石層の鉱物特性と分布の広域性. 山陰地方研究, **2**, 17-26.
- 木村純一・岡田昭明・中山勝博・梅田浩司・草野高志・麻原慶憲・館野満美子・檀原 徹 (1999) 大山および三瓶火山起源のテフラのフィッシュン・トラック年代とその火山活動史における意義. 第四紀研究, **38**, 145-155.
- 河野重範・福岡 孝・草野高志 (2013) 三瓶火山とその噴出物. 地学団体研究会第 67 会総会講演要旨集, 171-176.
- 草野高志・中山勝博 (1999) ブロックアンドアッシュフローの堆積過程 (予察): 島根県三瓶火山の太平山火砕流堆積物の例. 火山, **44**, 143-156.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス-日本列島とその周辺-. 東京大学出版会, 336 p.
- 松井整司・井上多津男 (1971) 三瓶火山の噴出物と層序. 地球科学, **25**, 147-163.
- 松浦浩久・土井信之 (2003) 前期更新世森田山溶岩—古三瓶期火山—. 火山, **48**, 69-73.
- 三浦 清・林 正久 (1987) 火山活動史からみた三瓶火山のテフラの鉱物特性. 山陰地域研究 (自然環境編), **3**, 67-94.
- 佐護浩一・町田 洋 (1996) 愛鷹山麓の「含雲母グリース状火山灰」の給源: 三瓶山. 第四紀演旨集, **26**, 88-89.
- Taneda, S. (1952) Petrographic note on the volcanic rocks from Sambe, southwestern Japan. *Jap. Jour. Geol. Geogr.*, **22**, 1-26.
- 豊蔵 勇・大村一夫・新井房夫・町田 洋・高瀬信一・中平啓二・伊藤 孝 (1991) 北陸の海成段丘における三瓶木次テフラの同定とその意義. 第四紀研究, **30**, 79-90.

## 4. 鬼界-長瀬噴火

噴出源：鬼界カルデラ

年代：98±26 ka (ジルコンのフィッシュン・トラック年代; 檀原, 1995)

---

総噴出量：>150 km<sup>3</sup> (見かけ体積; 町田・新井, 2003)

---

構成要素: ※層位順に記載

### 後カルデラ活動期

- ・ 新規硫黄島
- ・ 稲村岳
- ・ 古期硫黄島

### カルデラ形成期

- ・ 鬼界アコホヤ火山灰 (K-Ah; 町田・新井, 1978)
- ・ 幸屋火砕流 (K-Ky; 宇井, 1973)
- ・ 船倉火砕流 (小野ほか, 1982)
- ・ 幸屋降下軽石 (K-KyP; 町田・新井, 2003)
- ・ プレ幸屋火山灰 (小林ほか, 2012)
- ・ 長浜溶岩 (小野ほか, 1982)
- ・ 籠港降下テフラ群 (K-Km; 小野ほか, 1982)
- ・ 鬼界葛原火山灰 (K-Tz; 町田・新井, 1992)
- ・ 西之表テフラ (Ns; 町田・新井, 1978; 長岡, 1988)
- ・ 鬼界-長瀬火砕流 (K-Ns; 小野ほか, 1982)
- ・ 崎ノ江鼻 (アビ山) 溶岩 (小野ほか, 1982)
- ・ 小アビ山火砕流 (小野ほか, 1982)
- ・ 小瀬田火砕流 (森脇, 1994)

} 対象噴火

### 先カルデラ活動期

- ・ 真米山
- ・ 高平山
- ・ 矢筈山 etc.

---

本噴火の推移：

マグマ水蒸気噴火→大規模火砕流・降下火山灰

## 分布

本火山由来の火砕流は、鬼界カルデラの周囲に堆積する。また、本火山由来の降下火砕物は鬼界カルデラより東方に広く分布する (Fig. 4-1)。

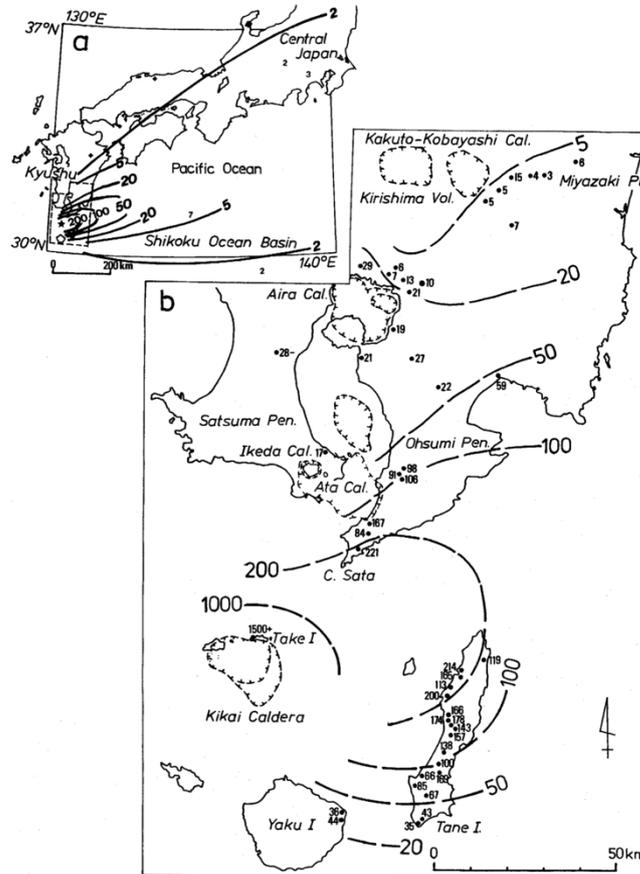


Fig. 46 Total thickness of the Nagase pyroclastic flow, Nishinoomote I and III pyroclastic surges and Kikai-Tz (Nishinoomote II) ash fall deposits (in cm)  
Abyssal data from Arai and Machida (1983).

## Fig. 4-1. 鬼界長瀬火砕流及び鬼界葛原火山灰の分布図 (Nagaoka, 1988).

長瀬火砕流堆積物とそれに対比される西之表テフラの分布図. 海底のデータは Arai and Machida (1983) からコンパイルしたものの。

## 長期的前駆活動

鬼界火山では、鬼界-長瀬噴火に先行して、140 ka に小アビ山火砕流噴火（小野ほか, 1982）が、140~98 ka に崎ノ江鼻溶岩流がそれぞれ発生した。鬼界火山の活動史を示したブロックダイアグラムを Fig. 4-2 に示す。

以下、鬼界-長瀬噴火以前に発生した噴火による堆積物を古い順に記述する。

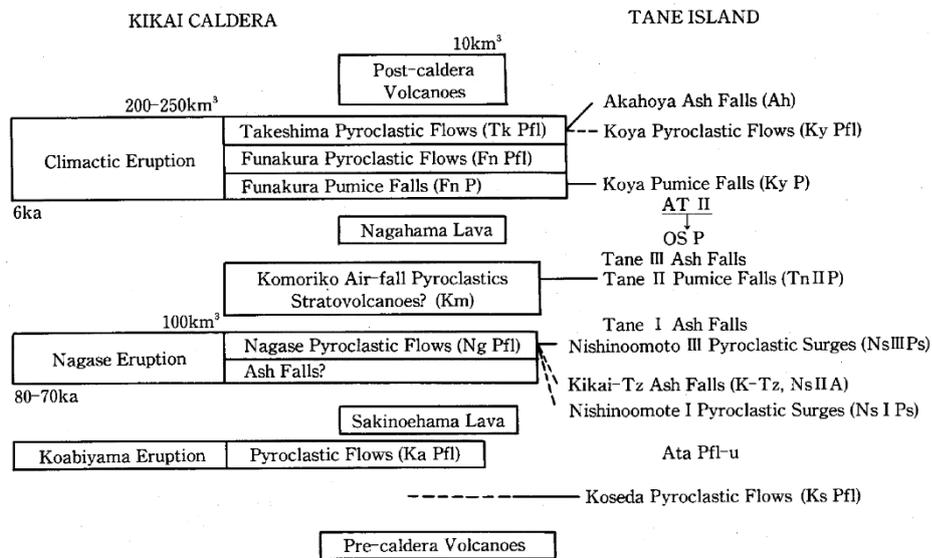


Fig. 4-2. 鬼界カルデラのブロックダイアグラム (Nagaoka, 1988).

本火山では、鬼界-長瀬噴火以前に、小アビ山火砕流噴火、崎ノ江鼻溶岩流が発生した。

### 小アビ山火砕流 (Kob; 小野ほか, 1982)

岩 質：単斜輝石直方輝石流紋岩（小野ほか, 1982）

岩 相：多数の薄いフローユニットから成る火砕流堆積物である（Fig. 4-3）。竹島付近では、>20 m と厚く強溶結を示すが、硫黄島付近では、数~30 m で溶結の程度が弱くなる。坂本南方では、非溶結の火砕流として認められる。非溶結部は、多量のガラス質火山灰を基質に持ち、淡~濃褐色の軽石礫を含む。

分 布：竹島および硫黄島のカルデラ縁北西方向に分布する（小野ほか, 1982）。

年 代：140±20 ka (K-Ar 年代; 町田・新井, 2003)

噴出量：詳細不明

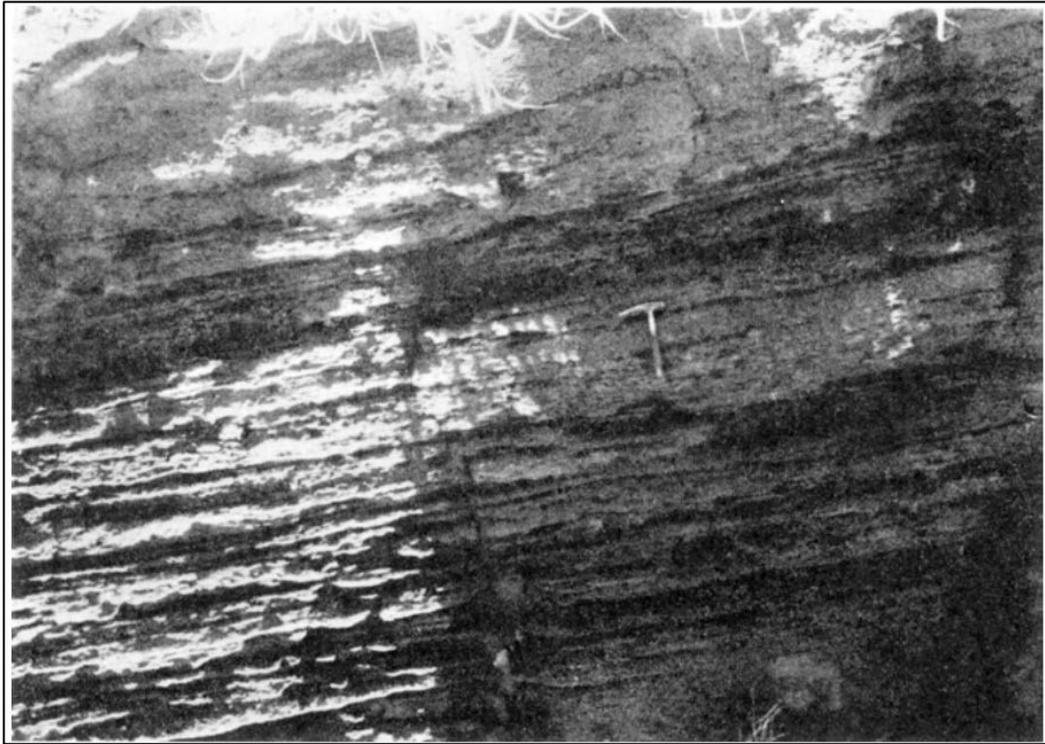


Fig. 4-3. 小アピ火砕流堆積物の露頭写真 (小野ほか, 1982).  
竹島東海岸における小アピ火砕流堆積物. 薄層の累層から成る.

#### 崎ノ江鼻溶岩 (小野ほか, 1982)

竹島において認められる流紋岩質溶岩である。真米山起源の赤色スコリア層を覆う。

岩 質：直方輝石単斜輝石流紋岩 (小野ほか, 1982)

岩 相：帯紫灰色から青灰色を示す流紋岩質溶岩である。しばしば流理構造が発達する。黒曜岩と伴う。一部で柱状節理が発達する。斜長石、直方輝石、鉄チタン酸化物からなる同源捕獲岩を含む。エーメ立神付近では、やや珪化変質し、黄色一橙黄色を呈する。

分 布：竹島中央部の南北両岸と南東端の海岸で認められる。層厚は、崎ノ江鼻付近で>50 m, アピ山直下で>100 m である。

年 代：140~95 ka (層位関係より推定)

噴出量：詳細不明

#### 短期的前駆活動

鬼界-長瀬噴火の直前 (数年~数百年内) に発生したと考えられる先駆的な噴火の存在を示唆する堆積物は確認されていない。

## **本噴火**

### **[各噴出物の特徴]**

#### **鬼界-長瀬噴火堆積物**

小アビ火砕流を不整合に覆う火砕流堆積物である。鬼界-長瀬火砕流堆積物の基底部に、白色のガラス質火山灰層が認められる (Fig. 4-4)。

岩 相：本層は、鬼界-長瀬火砕流堆積物の基底部に認められる白色火山灰層である。本層は、破碎度の高い細粒火山灰と軽石、火山豆石からなり、弱い級化構造が認められる。竹島東部において層厚 280 cm で、含まれる軽石の最大粒径は 2 cm である (長岡, 1988)。Kobayashi and Hayakawa (1984) の fine grained thin flow units に対比される。

火砕流本体は、基質支持で塊状である。基質は細粒のガラス質火山灰 (bubble-wall 型) であり、白色の軽石と石質岩片を含む。白色軽石は、発泡が良く長孔型の気孔を持つ。白色軽石は斑晶として、斜長石、単斜輝石、直方輝石、鉄鋳、石英を含む。石質岩片は、黒色でガラス質であり、斜長石斑晶を含む。また、火山豆石が多量に認められる (町田・新井, 2003)。長瀬港背後の海食崖では、谷を埋めるように堆積し、その層厚は 15 m 以上である。種子島・屋久島・大隅半島南部において、灰雲サージに由来する火山灰層が認められている。

構成物：ガラス質火山灰、白色軽石、黒色ガラス質岩片、火山豆石

分 布：竹島における一部の海食崖やカルデラ壁の上部において認められる。堆積物の露出は限られ、詳細な分布域は不明である。

噴出量：>150 km<sup>3</sup> (町田・新井, 2003) \* 鬼界葛原火山灰を含めた噴出量。

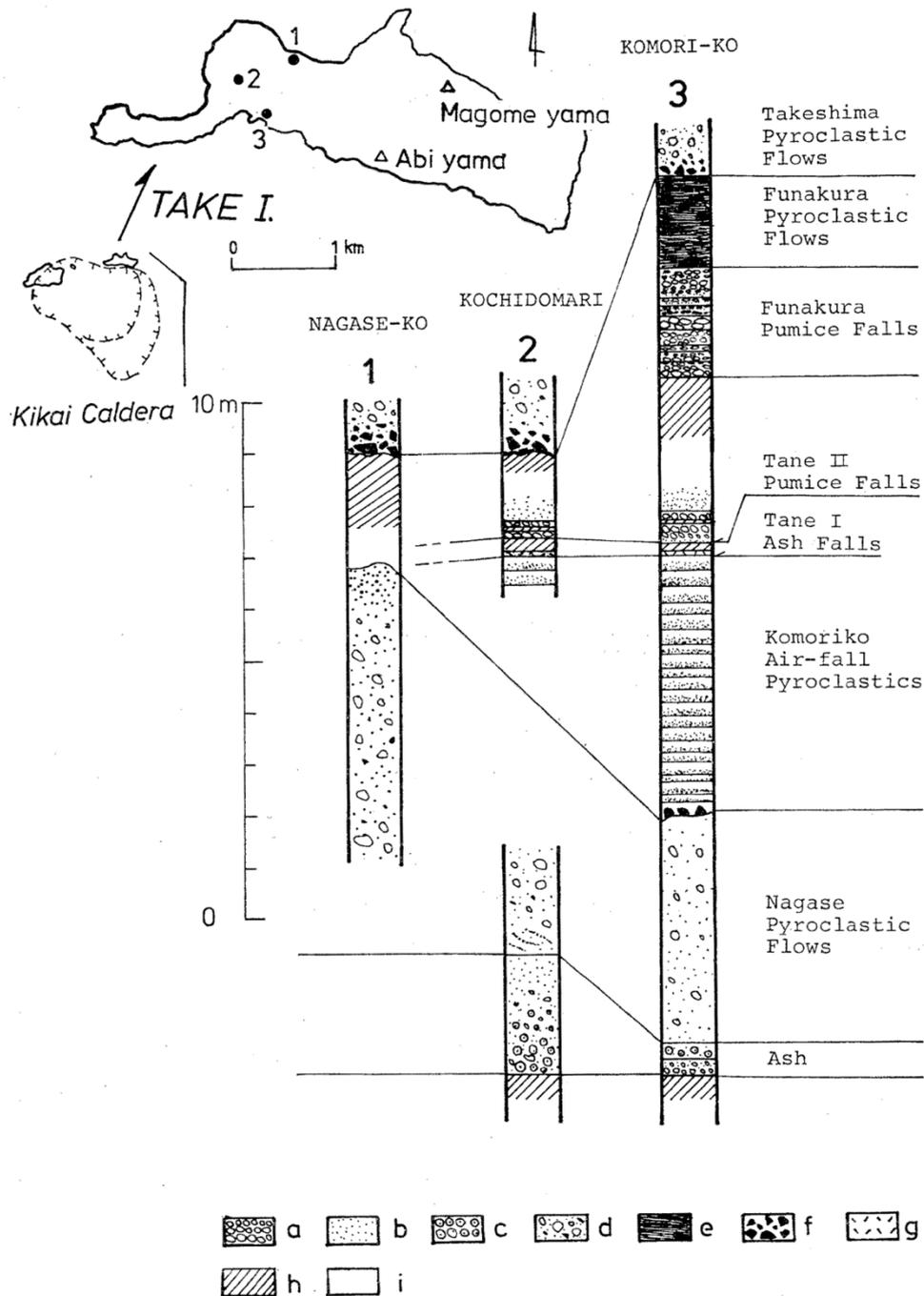


Fig. 7 Columnar sections of the Nagase pyroclastic flow deposit on Take Island. a: pumice falls; b: ash; c: accretionary lapilli; d: non-welded pyroclastic flow deposit; e: welded pyroclastic flow deposit; f: breccia; g: vitric ash; h: soil; i: weathered tephra.

Fig. 4-4. 長瀬火砕流とその基底部の火山灰層の柱状図 (長岡, 1988).

©東京地学協会

にしのおもて  
西之表テフラ層 (Ns-1, 2, 3; 町田・新井, 1978; 長岡, 1988)

南九州において、阿多火砕流堆積物、今泉火砕流堆積物、田代火砕流堆積物を覆う火砕物である。鬼界-長瀬火砕流と同じ噴火による堆積物である (長岡, 1988)。西之表テフラの一部 (後述する Ns-2) は、鬼界葛原火山灰に対比される。なお、その他の西之表テフラ (Ns-1, 3) の対応関係は不明である。

岩 相：橙色～黄橙色の風化粘土化の進んだ火砕物層である。堆積構造の違いから 3 ユニット (下位から Ns-1, 2, 3) に区分できる (Fig. 4-5)。各層間に土壌などの時間間隙を示すような堆積物や構造は認められない。

Ns-1 は、斜交層理の発達した火山灰を基質に持ち、軽石を含む火砕サージ堆積物である。構成物から 3 つのサブユニット (下位から L-u, M-u, U-u) に細分される。サブユニットはそれぞれ、粗粒な遊離結晶の濃集部 (L-u)、火山ガラス片、軽石塊および遊離結晶の混在部 (M-u)、細粒ガラス片の濃集部 (U-u) である。

Ns-2 は、火山豆石の卓越する降下火山灰層である。火山ガラスは、鬼界-長瀬火砕流堆積物と同形態のものを多く含む。火山豆石は淘汰が良く、逆級化構造をもつ。この逆級化構造は、カルデラより 50 km の範囲で 顕著であるが、より遠方では、火山灰が多くを占め、正級化構造を示すようになる。

Ns-3 は、斜交層理の発達する火砕サージ堆積物である、細粒火山ガラスを基質に持ち、粗粒な重鉱物を含む。1 mm 以下の平行葉理が発達する。また、大隅半島南端から種子島 北部では、Ns-3 の中程に火山豆石の挟在が認められる。

構成物：Ns-1 (L-u)：2 mm 以下の石英、斜長石、直方輝石、単斜輝石、少量の岩片

(M-u)：発泡の良い軽石、石英、直方輝石、単斜輝石、火山ガラス (bubble-wall 型)

(U-u)：細粒の火山ガラス

Ns-2：ガラス質火山灰、火山豆石

Ns-3：ガラス質火山灰、直方輝石、単斜輝石、磁鉄鉱など

分 布：Ns-1 は、種子島、屋久島および大根占以南の大隅半島南部に認められ、極めて薄く分布する (Fig. 4-6)。Ns-2 は、鬼界カルデラと大隅半島南部を結ぶ北東方向に主軸をもつ (Fig. 4-7)。また、これに加え種子島中部へ向う、東方の副軸も認められる。Ns-3 は、Ns-1 とほぼ同様に種子島、屋久島北部、大隅・薩摩半島南部に薄く分布する (Fig. 4-8)。

噴出量：Ns-1：3～4 km<sup>3</sup>

Ns-2：(鬼界-葛原火山灰に対比される)

Ns-3：2～3 km<sup>3</sup>

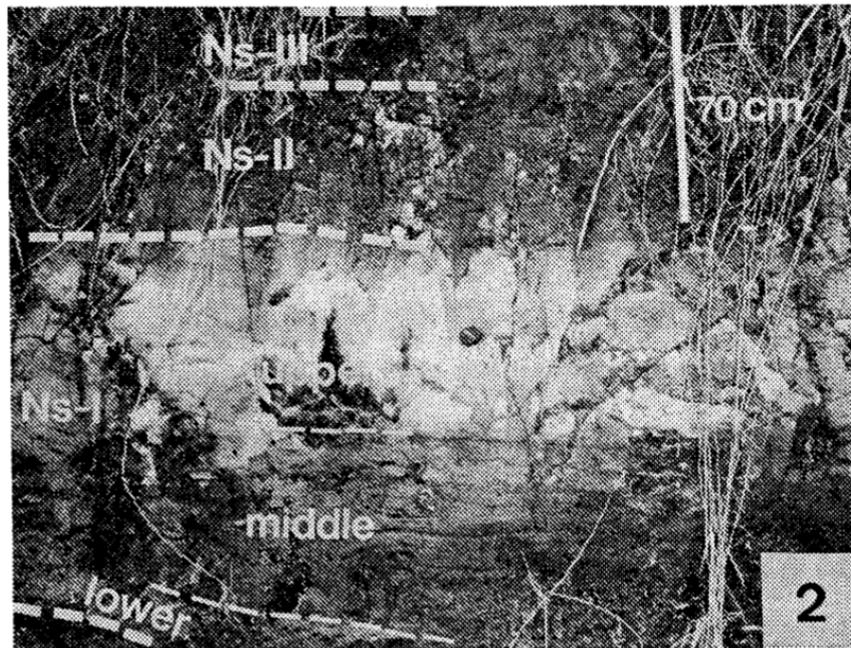


Fig. 4-5. 西之表テフラ層の露頭写真 (長岡, 1988). ©東京地学協会



Fig. 4 Isopach map for the Ns-1 pyroclastic surge deposit, in cm (contour interval : 200m).

Fig. 4-6. 西之表テフラ (Ns-1) の等層厚線図 (長岡, 1988).

種子島, 屋久島及び大根占以南の大隅半島南部に分布する.  
©東京地学協会

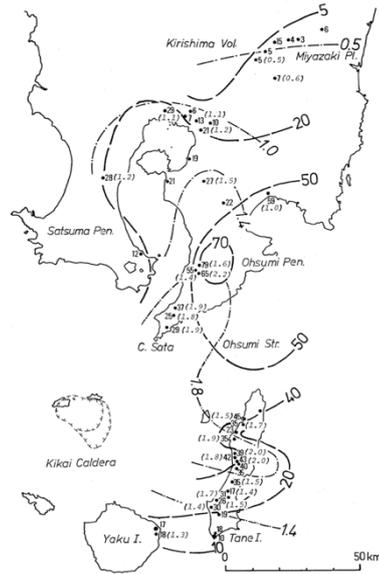


Fig. 5 Isopach map for the Ns-2 ash fall deposit, in cm (dashed line and bold-faced number), and isopleth map for maximum diameter of included accretionary lapilli, in cm (dash-dotted line and italic number).

Fig. 4-7. 西之表テフラ (Ns-2) の等層厚線図 (長岡, 1988). ©東京地学協会

Ns-2 は、鬼界-葛原火山灰と対比される。鬼界カルデラと大隅半島南部を結ぶ北東方向に主軸が認められる。副軸は、種子島中部へ向う、東方を指す。



Fig. 6 Isopach map for the Ns-3 pyroclastic surge deposit, in cm (dashed line), and dispersal map for fall-out accretionary lapilli included in Ns-3 (dotted line).

Fig. 4-8. 西之表テフラ (Ns-3) の等層厚線図 (長岡, 1988).

種子島、屋久島北部、大隅・薩摩半島南部に薄く分布する  
©東京地学協会

鬼界葛原火山灰 (K-Tz; 町田・新井, 1992)

鬼界-長瀬火砕流に発生に伴い噴出した広域テフラである。西之表テフラ層の一部 (Ns-2) と対比される。

岩 相：橙色～鮮黄色の降下火山灰層である (町田・新井, 2003)。下部は、成層構造を示す火山灰層で粗粒の斑晶鉱物を含む。一方上部は、塊状無層理を示すガラス質火山灰から成る (町田・新井, 2003)。給源近傍の薩南諸島および鹿児島県南部では、層厚 1~2 m である。遠方では、上記の成層構造は不明瞭となる。

構成物：詳細不明

分 布：東北東方に分布主軸をもつ。西南日本から東北地方を除く本州、四国海盆を含む北西太平洋を覆う (Fig. 4-9)。

噴出量：>150 km<sup>3</sup> (町田・新井, 2003)

\*長瀬火砕流を含めた噴出量。

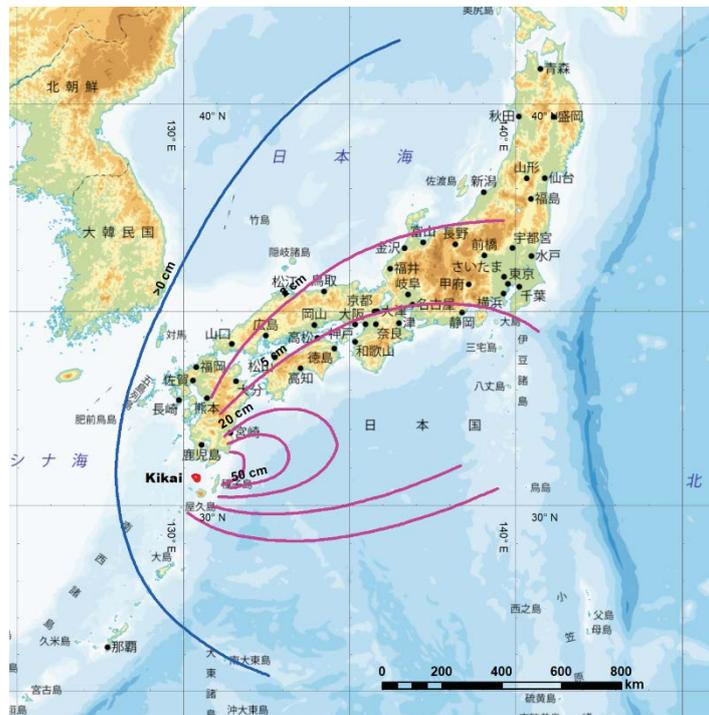


Fig. 4-9. 鬼界葛原火山灰の分布 (等層厚線は、町田・新井, 2003 に基づく)。

青・ピンク線は、K-Tz の等層厚線である。

[噴火推移]

マグマ水蒸気爆発 (水蒸気プリニー式噴火?) の発生

噴火発生時の鬼界カルデラは、現在と同様に周囲を海で囲まれた環境であった。最初期の噴火は、マグマ水蒸気噴火に始まり、鬼界-長瀬火砕流の基底層を構成する白色の細粒火山灰を堆積させた。

### 火砕流の発生—長瀬火砕流の発生—

鬼界-長瀬噴火の主要な噴出物である長瀬火砕流が発生した。基底部の細粒火山灰層との間に顕著な時間間隙を示す証拠は見いだされていないことから、マグマ水蒸気爆発に引き続き、マグマ噴出量が増加することにより、火砕流へと連続的に移行したものと考えられる。長瀬火砕流は多量の bubble-wall 型の火山ガラスを含むことから、ガスに富む流動性の高い流れであったと考えられる（長岡, 1988）。

長瀬火砕流堆積物は、土壌化したテフラ層を覆うことから、陸上に堆積した事が考えられる。一方、西之表テフラ（Ns-1,3）は、マグマと水の相互作用が想定される火砕サーージ堆積物であり、堆積時に水に飽和した状態であったことが示唆される。長岡（1988）は、長瀬火砕流が、発生後海面を流下する事で、希薄で密度の低い火砕サーージを発生させ、Ns-1,3 をもたらした可能性を示唆している。

### 鬼界-葛原火山灰の降下

鬼界-長瀬噴火によって噴出し、遠方まで飛散した降下火山灰を鬼界-葛原火山灰と呼ぶ。鬼界-葛原火山灰に対比される Ns-2 中の火山豆石が上方粗粒化を示すことから、噴火の規模が次第に大きくなり、噴煙柱が成長したことを示唆する（長岡, 1988）。

## 後カルデラ活動

鬼界カルデラでは、長瀬火砕流噴火後、比較的長い静穏期を挟み、複数回の火砕噴火が発生した。その後、流紋岩質の溶岩および降下火砕物を噴出し、鬼界-アカホヤ噴火の発生に至ったと考えられる。

以下、鬼界-長瀬噴火後の活動についてまとめる。

### 籠港降下テフラ群（K-Km；小野ほか, 1982）の噴出

鬼界カルデラでは、16~9 cal ka BP（奥野, 2002）頃、複数回にわたり降下火砕物を発生させた。本層は、スコリア層、軽石層、褐色風化火山灰層からなる互層であり、長瀬火砕流堆積物を不整合に覆う（Fig. 4-10）。本層は、竹島南海岸の籠港において認められ、層厚は10 m 程度である（小野ほか, 1982; Nagaoka, 1988）。

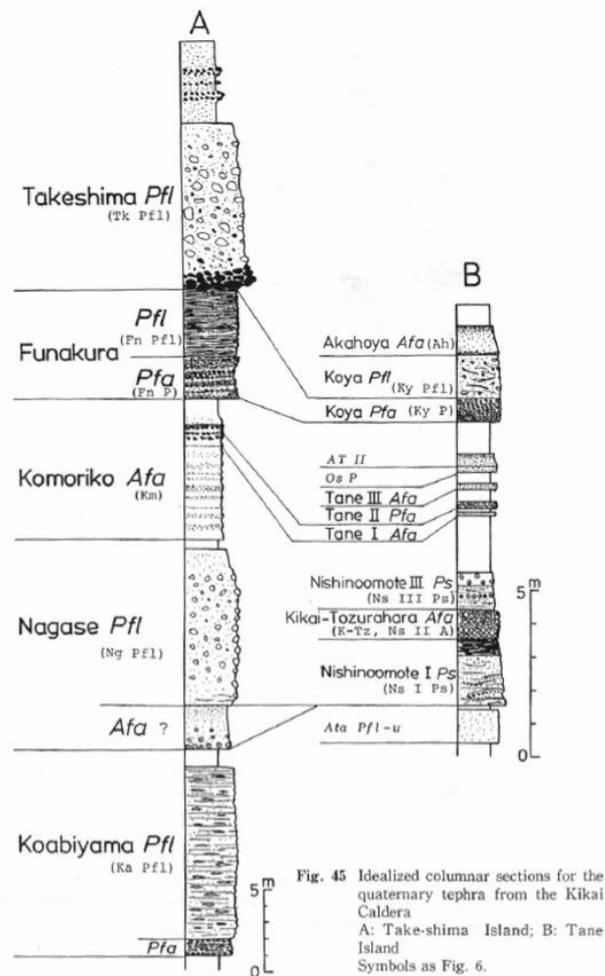


Fig. 4-10. 長瀬火砕流を覆い堆積する籠港テフラ群 (Nagaoka, 1988).

### 長浜溶岩およびプレ幸屋火山灰 (小野ほか, 1982; 小林ほか, 2012) の噴出

鬼界カルデラでは、8.3~7.3 cal ka BP (前野ほか, 2019) 頃、流紋岩質の長浜溶岩 (小野ほか, 1982) とそれに対比されるプレ幸屋火山灰 (小林ほか, 2012) が噴出した。長浜溶岩は、薩摩硫黄島西部、城ヶ原の部落の西方から南方永良部崎を経て小坂本西方に至る海岸沿いに露出する。層厚は、少なくとも 80 m 以上あり、海面付近では柱状節理が発達する。また、長浜溶岩に対比されるプレ幸屋火山灰は、白色の降下火山灰であり、結晶片と細粒~粗粒砂サイズのガラス質溶岩片を多く含む (長谷川・望月, 2016)。

### 鬼界-アカホヤ噴火 (K-Ah; 町田・新井, 1978) の発生

鬼界カルデラでは、7.3 cal ka BP (町田・新井, 2003) 頃、アカホヤ噴火が発生した。アカホヤ噴火は、複数回のプリニー式噴火から始まり、多量の降下軽石 (幸屋降下軽石; K-KyP) が発生した。最初は、小規模プリニー式噴火に始まり、降下軽石が堆積した後、噴煙柱の崩

壊により、火砕物密度流が発生した。その後、短い時間間隙を挟み、大規模プリニー式噴火が発生した。幸屋降下軽石の噴出量は、Maeno and Taniguchi (2007) により、 $40 \text{ km}^3$  ( $2 \times 10^{13} \text{ kg}$ ) と推定される。

その後、幸屋降下軽石をもたらした噴煙柱が崩壊し、火砕流（船倉火砕流堆積物；小野ほか, 1982）が発生した。船倉火砕流堆積物中に、急冷縁をもつ火山弾が認められることから、本フェーズでは、マグマと海水の接触に伴うマグマ水蒸気爆発が発生した可能性がある (Maeno and Taniguchi, 2007)。本噴火は、火砕サージが発生するフェーズから、降下火砕物をもたらすフェーズに移行した。

その後、鬼界カルデラでは、浅海底で、水蒸気プリニー式噴火が発生し、巨大な噴煙柱が発生、それらの崩壊により大規模火砕流（幸屋火砕流；K-Ky; 宇井, 1967）が発生した。幸屋火砕流の噴出量は  $30 \sim 40 \text{ km}^3$  (DRE  $15 \sim 25 \text{ km}^3$ ) と推定される (Maeno and Taniguchi, 2007)。

噴煙柱と幸屋火砕流に伴って発生した細粒火山灰（鬼界-アカホヤ火山灰；K-Ah）は、九州、四国から東北地方南部にまでもたらされた。鬼界アカホヤ火山灰の噴出量は、その分布から  $100 \text{ km}^3$  以上と推定される (町田・新井, 2003)。

## 第4章 参考文献

- Arai, F. and Machida, H. (1983) A catalogue of abyssal tephra layers around Japanese Island. "Report of Grant in Aid no. 563900 for Co-Operative Research of the Ministry Educ. Sci. Cult.", 7-34.
- 壇原 徹 (1995) 第四紀テフラの高精度フィッシュン・トラック (FT) 年代測定—ジルコンとガラスを用いた測定法の確立に向けて—。第四紀研究, **34**, 221-237.
- 長谷川健・望月伸竜 (2016) 平成 27 年度原子力施設等防災対策等委託費「古地磁気方位決定による噴火間隔見積りに関する研究」調査報告書。原子力規制委員会, 29p.
- Kobayashi, T. and Hayakawa, Y. (1984) Geology of Kikai caldera (Souce of the Koya Ignimbrite), Japan. *A progress report of the U.S.-Japan Cooperative Science Program*, 13-14.
- 小林哲夫・奥野 充・長岡信治・宮縁育夫・井口正人・味喜大介 (2012) 大規模カルデラ噴火の前兆現象—鬼界カルデラと始良カルデラ—。京都大学防災研究所年報, **53**, 269-275.
- 町田 洋・新井房夫 (1978) 南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラ—アカホヤ火山灰。第四紀研究, **17**, 143-163.
- 町田 洋・新井房夫 (1992) 火山灰アトラス。東京大学出版会, 276p.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス—日本列島とその周辺。東京大学出版会, 94-95.
- 前野 深・中川光弘・松本亜希子 (2019) 鬼界カルデラ長浜溶岩の掘削と噴火年代推定。日本火山学会講演予稿集, 50.
- Maeno, F. and Taniguchi, H. (2007) Spatiotemporal evolution of a marine caldera-forming eruption, generating a low-aspect ratio pyroclastic deposit. *J. Volcanol. Geotherm Res.*, **167**, 212-238.
- 森脇 広 (1994) 屋久島における扇状地・斜面堆積物と長瀬火砕流との関係。鹿児島大学南西地域研究資料センター報告特別号, 鹿児島大学南西地域研究委員会総合研究 (平成 3・4 年度) 屋久島, **5**, 8-12.
- 長岡信治 (1988) 最終氷期末に起きた鬼界カルデラの珪長質火砕流噴火と火砕サージの形成。地学雑, **97**, 32-45.
- Nagaoka, S. (1988) The late quaternary tephra layers from the caldera volcanoes in and around Kagoshima bay, southern Kyushu, Japan. *Geogr. rep. Tokyo Metropol. Univ.*, **23**, 49-122.
- 奥野 充 (2002) 南九州に分布する最近約 3 万年間のテフラの年代学的研究。第四紀研究, **41**, 225-236.
- 小野晃司・曾屋龍典・細野武男 (1982) 薩摩硫黄島の地質。地域地質研究報告, 5 万分の 1 地質図幅, 86p.
- 宇井忠英 (1967) 鹿児島県指宿地方の地質。地質雑, **73**, 477-490.
- 宇井忠英 (1973) 幸屋火砕流—極めて薄く拡がり堆積した火砕流の発見。火山, **18**, 153-168.

## 5. 十和田-大不動噴火

噴出源：十和田カルデラ

年代：ca. 36 cal ka BP (<sup>14</sup>C年代; 小岩ほか, 2007の値を工藤ほか, 2019で暦年較正)

総噴出量：46 km<sup>3</sup> (見かけ体積; Hayakawa, 1985)  
22.1 km<sup>3</sup> (DRE; Umeda *et al.*, 2013)

構成要素：※層位順に記載

### 後カルデラ活動期

- ・ 噴火エピソード A (大湯火砕堆積物, 毛馬内火砕流, 十和田 a テフラ)
- ・ 噴火エピソード B (迷ヶ平軽石, 惣辺火山灰)
- ・ 噴火エピソード C (中撮軽石, 金ヶ沢軽石, 宇樽部火山灰)
- ・ 噴火エピソード D' (御倉山溶岩, 戸来火山灰)
- ・ 噴火エピソード D (小国軽石, 中ノ沢火山灰)
- ・ 噴火エピソード E (南部軽石, 貝守火山灰)
- ・ 噴火エピソード F (夏坂スコリア, 椴山火山灰)
- ・ 噴火エピソード G (新郷軽石)
- ・ 御門石溶岩
- ・ ニノ倉スコリア
- ・ 五色岩火砕岩
- ・ 中山崎溶岩

### カルデラ形成期

- ・ 噴火エピソード L (八戸火砕流・八戸降下テフラ)
- ・ 噴火エピソード M' (小惣辺沢火山灰)
- ・ 噴火エピソード M (ビスケットパミステフラ 2)
- ・ 雲井火砕流
- ・ 噴火エピソード N' (N'火山灰)
- ・ 噴火エピソード N (十和田大不動火砕流, 切田テフラ) } 対象噴火
- ・ 噴火エピソード O' (O'火山灰)
- ・ 噴火エピソード O (谷同テフラ)
- ・ 噴火エピソード P (キビダンゴテフラ)
- ・ 噴火エピソード Q (奥瀬火砕流, レッドパミステフラ)

### 先カルデラ活動期

- ・ 先カルデラ火山体

本噴火の推移：

火砕サージおよび降下火砕物の噴出→大規模火砕流

分布：十和田湖のほぼ全域に広く分布する (Fig. 5-1). 後に発生した八戸火砕流堆積物に広く覆われる為, 地表での分布は河川沿いの谷壁に集中する (工藤ほか, 2019).

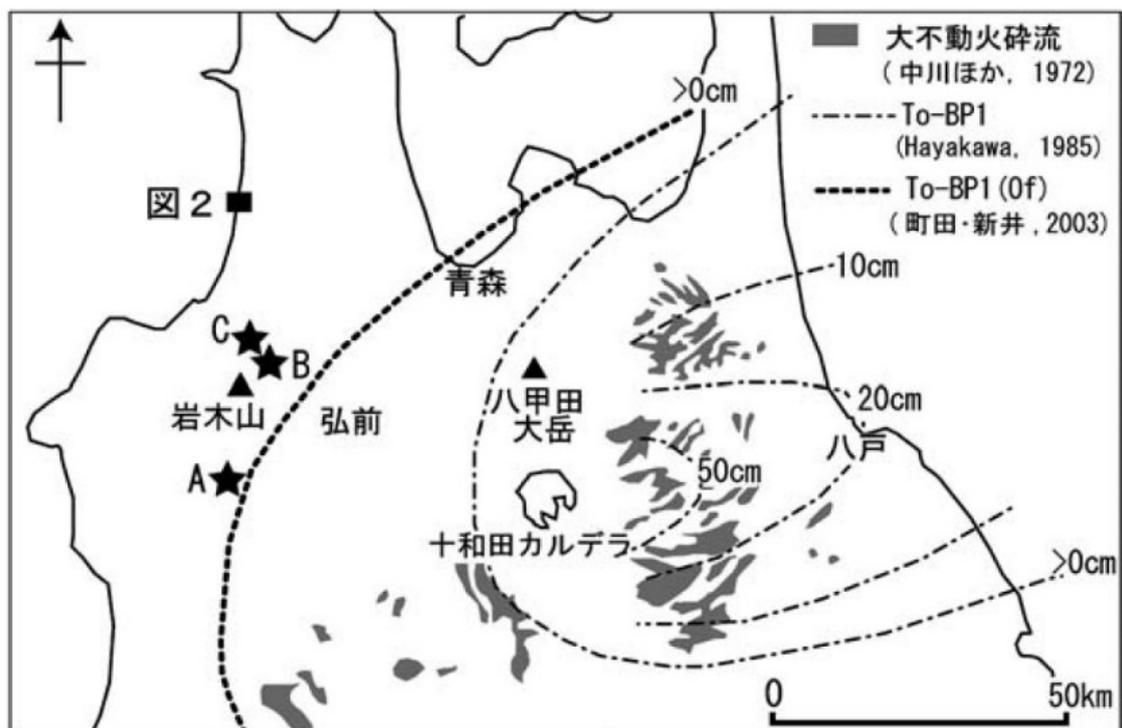


Fig. 5-1. 十和田大不動火砕流及び To-BP1 (本文中の切田テフラに相当) の分布図 (小岩ほか, 2007).

大不動火砕流は、中川ほか (1972) を元に作成した。To-BP1 (切田テフラに相当) は、Hayakawa (1985) を元に作成した町田・新井 (1992) を元に作成。図中の To-BP1 (Of; 町田・新井, 2003) は、火砕流を含んだ分布を示している。

### 長期的前駆活動

十和田火山の活動は、その活動様式の変遷から先カルデラ期 (220 ka~61 ka)、カルデラ期 (61 ka~15.5 ka)、後カルデラ期 (15.5 ka~現在) に大別される (Fig. 5-2; Hayakawa, 1985).

先カルデラ期の活動は、御鼻部山溶岩や発荷溶岩・火砕岩 (工藤, 2016)、青撫山火砕岩・溶岩 (宝田・村岡, 2004) が玄武岩質~安山岩質の小型成層火山群を形成したとされる (Hayakawa, 1985). 一方、工藤・小林 (2013) や工藤 (2016) は、青撫山火砕岩・溶岩と発荷溶岩・火砕岩の活動時期が一部重なることや、両噴出物の岩石学的特徴が一致することから、先カルデラ期噴出物は、元々は1つの火山体を構成していた可能性が示唆している。ここでは、工藤ほか (2019) に従い、これらの噴出物を先カルデラ期噴出物と一括し、その特徴について記述する。

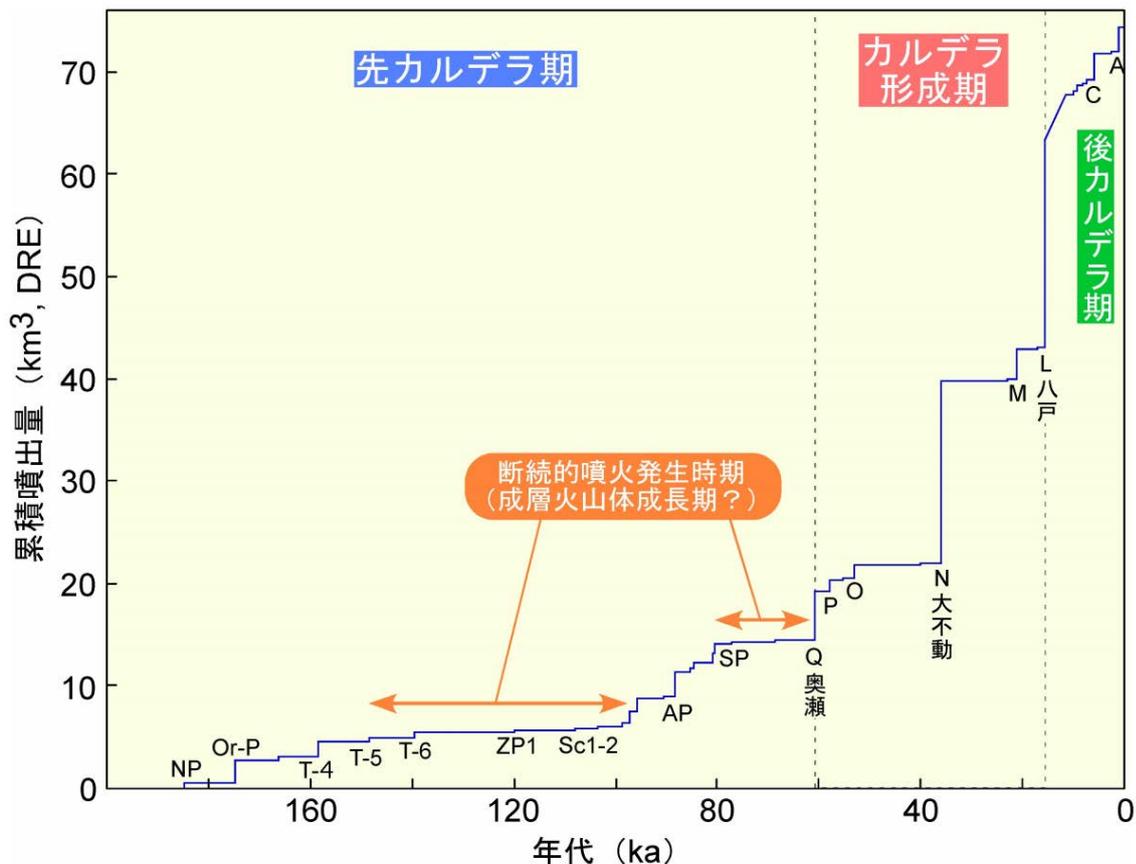


Fig. 5-2. 十和田火山の累積噴出量図 (原子力規制庁, 2018).

Hayakawa (1985), 中川ほか (1986), 工藤 (未公表データ) を用い作成した。

#### 先カルデラ期噴出物 (工藤ほか, 2019)

十和田火山のカルデラ形成期以前の活動による噴出物である。御鼻部山溶岩や発荷溶岩・火砕岩 (工藤, 2016), 青撫山火砕岩・溶岩 (宝田・村岡, 2004) が相当する。

岩質：玄武岩質安山岩～流紋岩 (工藤ほか, 2019)

岩相：主に玄武岩質安山岩～安山岩溶岩と玄武岩質安山岩～流紋岩質の火砕物で構成される。一部安山岩質の岩脈を伴う。溶岩の多くは、斑状組織を示す。また、溶岩は塊状部と上下のクリンカーからなり、塊状部は層厚 2～8 m、クリンカーは 2 m 以下のことが多い。溶岩の一部では、冷却節理が認められる。火砕物は、非溶結の多数の火砕流堆積物と降下火砕堆積物からなり、一部に火砕サージ堆積物が認められる。火砕流堆積物と降下火砕堆積物は互層を成し、火砕物間に礫層や古土壌が挟在する。火砕流堆積物は、軽石流堆積物、スコリア流堆積物、ブロックアンドアッシュフロー堆積物、火山灰流と多様なタイプが認められる。また、降下火砕堆積物は、軽石で構成されるもの、スコリアや本質岩片で構成されるものと多様である。本火砕物中には、洞爺火山起源の洞爺火山灰が挟在する (Hayakawa, 1985; 工藤, 2018)。

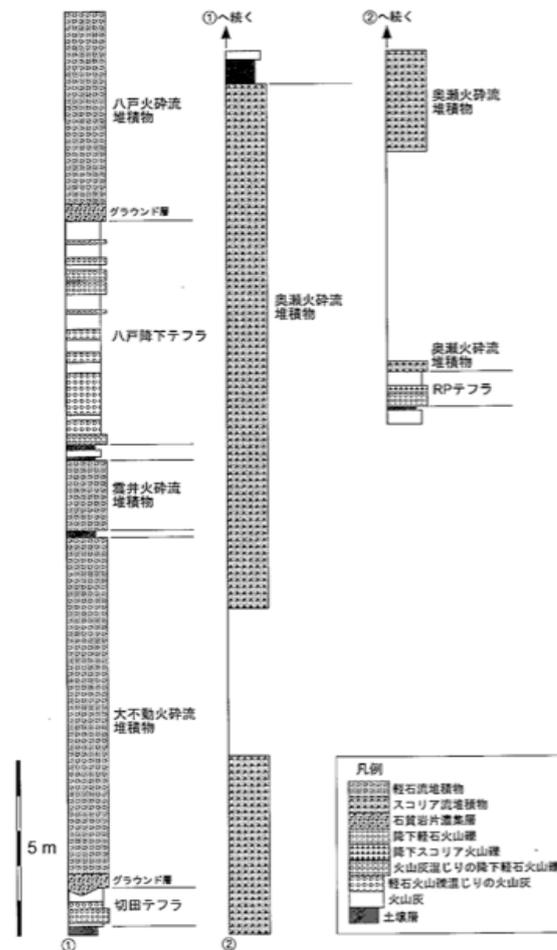
分布：主に十和田火山のカルデラ壁と奥入瀬溪谷の谷壁に露出する。カルデラ壁における

本噴出物は、カルデラ中心から外側に約 10 度傾斜しており、また溶結火砕岩が認められないことから、噴出中心は、カルデラ内部に存在したと考えられる（工藤, 2019）。  
 年代：220～61 ka（工藤, 2016; 佐々木ほか, 1998）  
 噴出量：詳細不明

### カルデラ形成期噴出物

カルデラ形成期の活動は、複数回に渡って大規模火砕噴火が発生した。主なカルデラ形成期の噴出物は、下位より奥瀬火砕流堆積物およびレッドパミステフラ、大不動火砕流堆積物および切田テフラ、雲井火砕流堆積物、八戸火砕流堆積物および八戸降下テフラである（Fig. 5-3）。また、これらの火砕物の間にも、複数の降下火砕堆積物が存在する。

ここでは、十和田大不動噴火以前に発生したとされる噴出物について下位より順に記述する。



第 7. 7 図 十和田火山カルデラ形成期噴出物の柱状図  
 十和田市惣遊沢枝沢の地点 7-10（付図 3）。

Fig. 5-3. 十和田カルデラ形成期の地質層序（工藤ほか, 2019）。

十和田カルデラ形成期の主な噴出物が認められる。

### 噴火エピソード Q (61±4 ka; Ito et al., 2017)

一連の大規模噴火が発生し、レッドパミステフラおよび奥瀬火砕流堆積物をもたらした噴火が発生した。

### レッドパミステフラ (RP; 大地・中川, 1979; 工藤, 2005)

奥瀬火砕流堆積物の直下に認められる降下火砕物である。赤色浮石（東北地方第四紀研究グループ, 1969）、十和田レッド (To-Rd; 町田・新井, 1992, 2003) に相当する。

岩質：安山岩～デイサイト（工藤ほか, 2019）

岩相：3つのユニット（上部・中部・下部）で構成される火砕堆積物である。下部ユニットは、無斑晶質の白色軽石で構成される降下軽石堆積物である。赤色酸化した軽石が認められる。中部ユニットは、低発泡で無斑晶質の黒色～暗灰色スコリアで構成される降下スコリア層である。放射状の冷却節理を持つ火山弾を含む。なお中部ユニットのスコリアは、後述する奥瀬火砕流堆積物中のスコリアとほぼ同質の岩質を示す。上部ユニットは、褐灰色の火山灰で構成される降下火山灰層である。直径 1 cm 以上の火山豆石を含む。

分布：北東方向に分布主軸を持ち、上北平野に広域に分布する（Fig. 5-4; 工藤, 2005）

年代：61±4 ka（光ルミネッセンス法; Ito et al., 2017）

噴出量：2.7 km<sup>3</sup>（見かけ体積; Hayakawa, 1985）

0.76 km<sup>3</sup>（DRE, 堆積物密度を軽石=0.7 g/cm<sup>3</sup>（Hayakawa, 1985）、岩石=2.5 g/cm<sup>3</sup>と仮定して換算）

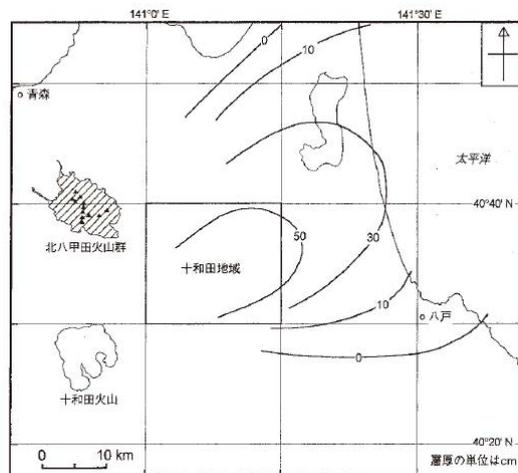


Fig. 5-4. レッドパミステフラの等層厚線（工藤, 2005）。

### 奥瀬火砕流堆積物 (Ok; 早川, 1993; 村岡・高倉, 1988)

十和田奥瀬火砕流堆積物 (Tu; 宝田・村岡, 2004), 高館 b 火山灰凝灰岩（中川ほか, 1972）, Okuse ignimbrite (Hayakawa, 1985) に相当する。

岩質：安山岩～デイサイト（工藤ほか, 2019）

岩相：非溶結で塊状のスコリア流堆積物である。スコリアは亜角を示し、発泡度は悪い。

一部のスコリアはカリフラワー状の表面形態を持つ。スコリアは無斑晶状で、稀に斜長石を含む。基質は、主に褐色～淡褐色の粗粒～細粒火山灰からなる（宝田・村岡, 2004; 工藤, 2005）。石質岩片は玄武岩質安山岩および安山岩が主体とし、変質を受けた火山岩、凝灰岩および堆積岩を伴う。含まれる礫の粒径および構成比により複数のフローユニットに区分される。

分 布：十和田湖の北東壁，北東方の十和田市片淵川流域，生内開拓付近，市川代付近で局所的に分布する（宝田・村岡, 2004; 工藤, 2005）。

年 代：61±4 ka（光ルミネッセンス法; Ito *et al.*, 2017）

噴出量：10 km<sup>3</sup>（見かけ体積; Hayakawa, 1985）

#### **噴火エピソード P (ca. 58 ka; Ito *et al.*, 2017)**

##### **十和田キビダングテフラ (KB; 大地・中川, 1979)**

岩 質：両輝石デイサイト（工藤, 2005）

岩 相：橙灰色またはオレンジ色を呈する軽石で構成される，降下軽石堆積物である（工藤, 2005）。中部に層厚十～数 cm の岩片に富む層が挟在する（工藤, 2005）。

分 布：分布主軸を北東方向に持ち，上北平野南半部に広く分布する。給源付近では，層厚 100 cm 以上である（工藤, 2005）

年 代：58±4 ka（光ルミネッセンス法; Ito *et al.*, 2017）

噴出量：4.3 km<sup>3</sup>（見かけ体積; Hayakawa, 1985）

1.2 km<sup>3</sup>（DRE; 工藤ほか, 2011）\*Hayakawa (1985) の値を引用し再計算。

#### **噴火エピソード O (57 ka; 工藤ほか, 2011)**

##### **十和田合同テフラ (GP; 東北地方第四紀研究グループ, 1969)**

岩 質：両輝石流紋岩（工藤, 2005）

岩 相：白色軽石および粗粒火山灰で構成される降下火砕堆積物層である。3ユニットに区分される。下部ユニットから，降下軽石層，粗粒火山灰層，降下軽石層である。これらの層厚は，模式地（十和田市荊窪）でそれぞれ，3 cm, 5 cm, 3 cm である（工藤, 2005）。

分 布：分布主軸を北東方向に持ち，上北平野南半部に分布する。

年 代：57 ka \*階段図（工藤ほか, 2011）から読み取り

噴出量：5 km<sup>3</sup>（見かけ体積; Hayakawa, 1985）

1.4 km<sup>3</sup>（DRE; 工藤ほか, 2011）\*Hayakawa (1985) の値を引用し再計算。

#### **噴火エピソード O' (ca. 41.1 ka; 工藤, 2018)**

##### **O'火山灰 (仮称; 工藤, 2018)**

噴火エピソード N 堆積物直下の土壌層に挟在する（工藤, 2018）。

岩 質：デイサイト～流紋岩

岩 相：青灰色を呈する降下火山灰層である。弱い成層構造が認められる場合がある。

分 布：カルデラ壁北東 9 km の範囲に分布する。最大層厚は 61 cm である（工藤, 2018）。  
年 代：41.1 ka (\*層位関係より推定; 工藤, 2018)  
噴出量：0.09 km<sup>3</sup> (DRE; 工藤ほか, 2011)

## **短期的前駆活動**

十和田大不動火砕流堆積物の直下には、その直前（約 100 年）の活動を示唆するような堆積物は認められない。

## **本噴火（噴火エピソード N）**

### **[各噴出物の特徴]**

#### **切田テフラ（工藤, 2005）**

奥瀬火砕流堆積物以下の堆積物を覆い、十和田大不動火砕流堆積物の直下認められる火砕堆積物である（Fig. 5-5）。バスケット浮石 1 (BP1; 東北地方第四紀研究グループ, 1969)、切田降下火砕堆積物（Kirida fallout deposits; Hayakawa, 1985）に相当する。なおここでは、工藤ほか（2019）に習い十和田大不動火砕流堆積物の直下に認められる火砕サージ堆積物についても切田テフラとする。

岩 質：デイサイト～流紋岩（工藤ほか, 2019）

岩 相：構成物および色調などの特徴から 4 つの降下ユニットに区分できる（下位より切田 1 火山灰, 切田 2 火山灰, 切田 3 軽石, 切田 4 火山灰; Fig. 5-6; Hayakawa, 1985）。切田 1 火山灰は、褐灰色～淡褐灰色～灰色～青灰色と様々な色調を呈する降下火山灰の互層である。切田 2 火山灰は、淡褐灰色を呈し、細かく成層した降下火山灰層である。切田 3 軽石は、白色軽石から成る降下軽石層である。切田 4 火山灰は、灰白色を呈する降下火山灰層であり、軽石礫を含む。また、切田 4 火山灰の層準には、火砕サージ堆積物が認められる場合がある。本火砕サージ堆積物は、白色軽石と灰色火山灰の互層から成り、斜交層理が認められる。含まれる軽石には、冷却節理を持つものが認められる。本火砕サージ堆積物と切田 4 火山灰は、しばしば互層を成す。また、切田 1, 2, 4 火山灰層には、火山豆石が含まれる（早川, 1983）。

構成物：褐灰色～青灰色火山灰、白色軽石、火山豆石

分 布：分布主軸は東北東から東方向である。下位の切田 1, 2 降下火山灰は主軸に対し分布域の幅が狭い傾向にあるが、切田 3 降下軽石と 4 降下火山灰はそれより広く分布する（Hayakawa, 1985）。

噴出量：約 6.1 km<sup>3</sup>（見かけ体積; Hayakawa, 1985）

約 1.9 km<sup>3</sup>（DRE; Hayakawa, 1985）

※各ユニットの見かけ体積と堆積物密度は、Hayakawa（1985）より引用し換算

### 十和田大不動火砕流堆積物 (To; 宝田・村岡, 2004)

奥瀬火砕流堆積物以下の堆積物を覆い、雲井火砕流堆積物以上の地層に覆われる火砕堆積物である (Fig. 5). 大不動浮石溶結凝灰岩層 (東北地方第四紀研究グループ, 1969), Ofudo ignimbrite (Hayakawa, 1985), 高市火砕流堆積物 (内藤, 1966) に相当する.

岩 質: デイサイト～流紋岩 (工藤ほか, 2019)

岩 相: 非溶結で塊状の火砕流堆積物である. 基質は, 淡褐灰色の細粒～粗粒火山灰であり, 軽石と少量の岩片を含む. しばしば, 炭化木片を含む. 軽石は, 発泡が良く, 垂角～垂円を示す. 軽石の大部分が白色だが, わずかに淡灰色のものを含む. 石質岩片は, 安山岩, 玄武岩質安山岩, デイサイトおよび変質火山岩から成る. また, 長径 2～3 cm の黒曜石岩片を含む. 本火砕流堆積物は, 軽石濃集部や岩片濃集部が認められる. 後者は, 角礫の石質岩片で構成されており, その産状からラグブレッチャと考えられる.

構成物: 淡褐灰色火山灰, 軽石 (白色>淡灰色), 黒曜石岩片, 石質岩片 (安山岩, 玄武岩質安山岩, デイサイト, 変質火山岩)

分 布: カルデラからほぼ全方向に分布する (Fig. 5-7). このイベントに伴う降下テフラは, 給源から 800 km 以上離れた北西太平洋の海底堆積物中からも見出されている (青木ほか, 2000).

噴出量: 40 km<sup>3</sup> (見かけ体積; Hayakawa, 1985)

46 km<sup>3</sup> (切田テフラと合わせた見かけ体積; 第四紀火山カタログ, 1999)

22.1 km<sup>3</sup> (DRE; Umeda *et al*, 2013)

※第四紀火山カタログ (1999) を引用して換算



十和田奥瀬火砕流堆積物

第 4.13 図 十和田大不動火砕流堆積物と十和田奥瀬火砕流堆積物の層序関係  
第 4.18 図に柱状図を示す. 十和田湖町仙ノ沢の第 4-24 地点 (付図 2).

Fig. 5-5. 切田テフラ及び大不動火砕流堆積物の露頭写真 (工藤, 2005).

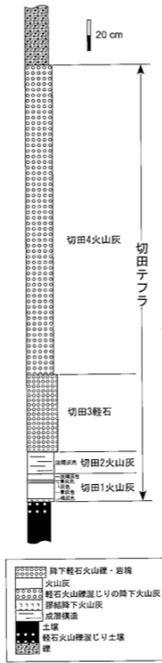


Fig. 5-6. 切田テフラの柱状図 (工藤ほか, 2019).

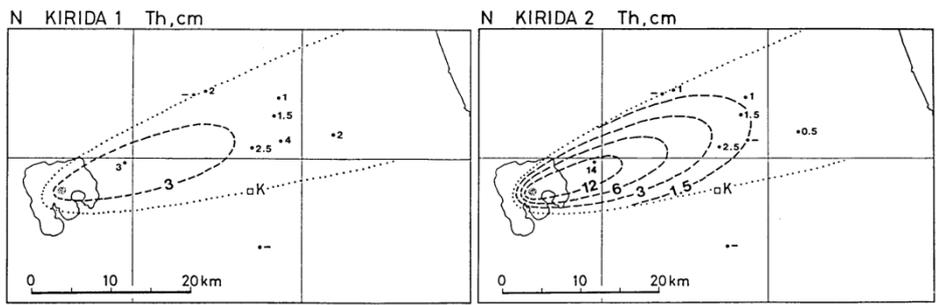


Fig. 29. (continued)

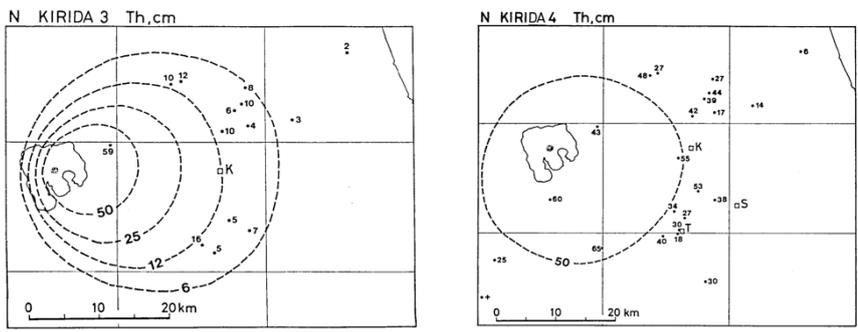


Fig. 29. Dispersal maps of N.

Fig. 5-7. 切田テフラの等層厚線 (Hayakawa, 1985).

## **[噴火推移]**

### **プリニー式噴火の発生—降下火砕物の噴出（切田テフラ）**

十和田大不動噴火は、切田テフラの噴出から始まった。切田テフラは、主に降下火山灰堆積物と降下軽石堆積物で構成され、火砕サージ堆積物と降下軽石層が互層することから、本噴火は、プリニー式噴火に始まり、それら一部が崩壊することにより火砕サージを発生させたと考えられる。切田テフラ中に火山豆石の存在することから、本噴火では、一部マグマ水蒸気噴火が発生した可能性がある。

### **大規模火砕流の発生（十和田大不動火砕流）**

切田テフラの噴出に引き続き、大規模な火砕流が発生した。本火砕流堆積物は、陸上で堆積した典型的な火砕流堆積物の特徴を示し、これらはローム層を覆うこと、また炭化木片を含むことから、主にドライな環境で堆積したと考えられる（工藤ほか, 2019）。

## **大規模噴火後の活動**

十和田火山では、十和田大不動噴火発生後、少なくとも2回の火砕流噴火が発生した。奥瀬火砕流噴火、十和田大不動噴火を含めたこれらの大規模噴火により、十和田カルデラの現在の外形が形成されたと考えられる。カルデラ形成後、十和田火山では、カルデラ南部において、成層火山の形成が始まった。十和田火山における後カルデラ活動期噴出物は、中山崎溶岩、五色火砕岩、二ノ倉スコリア、御門石溶岩、噴火エピソード G, F, E, D, D', C, B, A 噴出物からなる。

以下、十和田大不動噴火発生後の十和田火山の活動についてまとめる。

### **十和田大不動火砕流発生後のカルデラ形成期の活動**

#### **雲井火砕流噴火（Ku; 工藤ほか, 2019）**

十和田大不動噴火後に静穏期を挟み、雲井火砕流が発生した。発生時期は、層位関係から、36～15.5 ka 頃と考えられる。本火砕流は、非溶結の軽石流である。淡褐灰色～灰白色の火山灰を基質にもち、無斑晶質の流紋岩質軽石と石質岩片を含む。稀に、黒曜石岩片が認められる。分布は局所的であり、青撫山付近、惣辺川支流、十和田山北西、高山南東、神田川上流域、温川支流、根津塔沢川、平川市黒沢流域で認められる。

### **十和田八戸火砕流および八戸降下テフラの噴出（Hc; Hayakawa, 1985; 宝田・村岡, 2004）**

雲井火砕流発生後に静穏期を挟み、八戸降下テフラおよび十和田八戸火砕流が発生した。噴出時期は、堆積物中に含まれる炭化木片の  $^{14}\text{C}$  年代から 15.5 ka 頃と考えられる（Horiuchi *et al.*, 2007）。十和田火山では、本噴火以前に湖が存在しており、湖水とマグマが関与することで、水蒸気プリニー式噴火が発生し、八戸降下テフラが堆積したと考えられる（Figs. 5-8, 5-9）。その後、活動は大規模火砕流（十和田八戸火砕流）に推移した。本火砕流堆積物は、非溶結のデイサイト～流紋岩質軽石流堆積物である。本火砕流は、本質物質の粒径および含

有量の異なる2ユニットに区分される。

これらの噴火による噴出量は、見かけ体積  $40 \text{ km}^3$  (Hayakawa, 1985), DRE で平均  $19.7 \text{ km}^3$ , 最大  $26.7 \text{ km}^3$  (原子力規制庁, 2017) と見積られている。

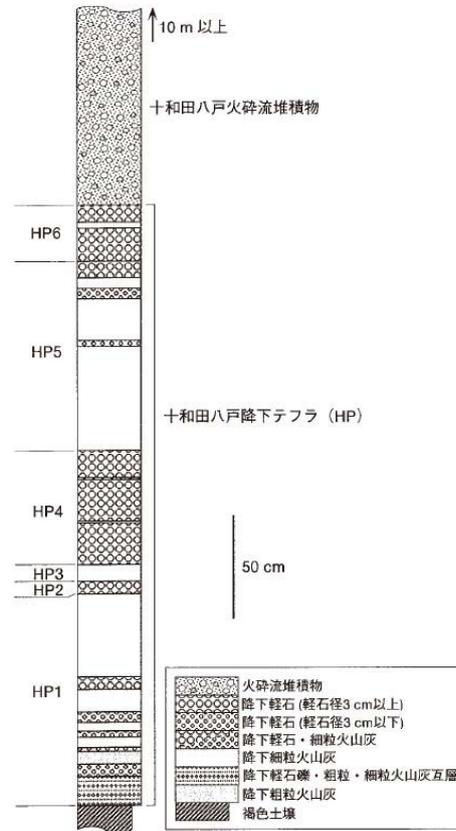


Fig. 5-8. 十和田八戸降下テフラの柱状図 (工藤, 2005).

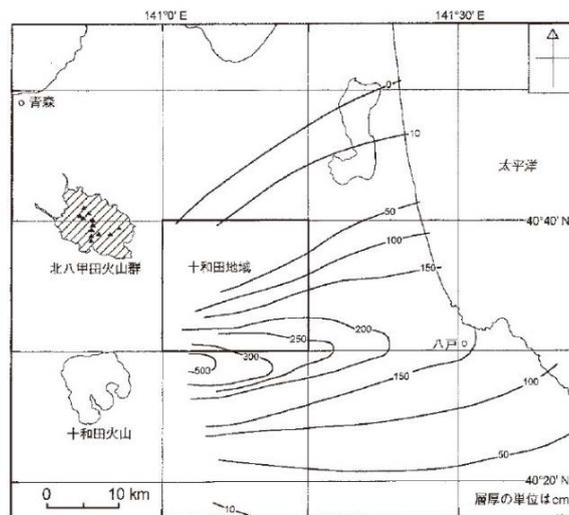
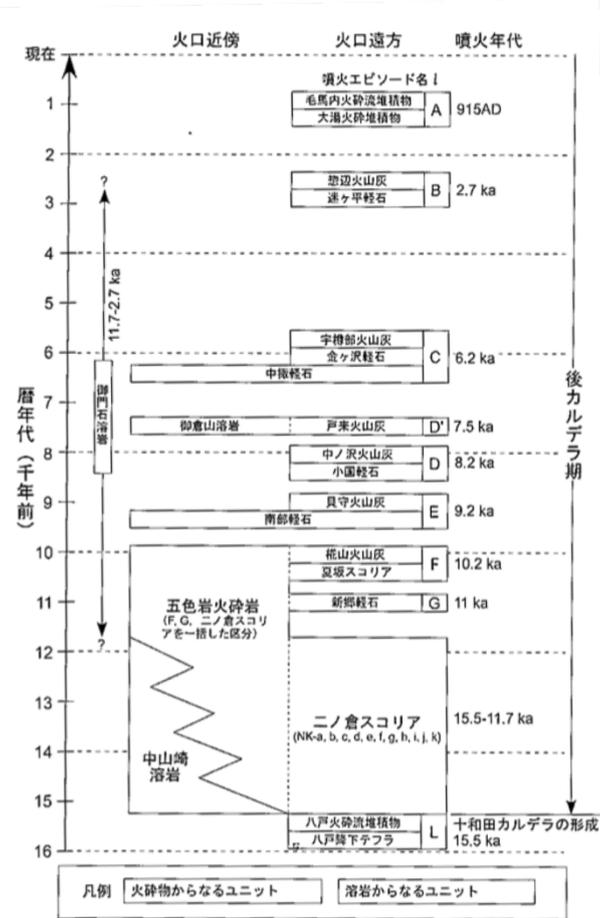


Fig. 5-9. 十和田八戸降下テフラの等層厚線 (工藤, 2005).  
中川ほか (1986) を基に作成したもの。

## 十和田火山，後カルデラ期の活動

十和田火山における後カルデラ火山活動を Fig. 5-10 に示す。十和田火山では，カルデラ形成後，中山崎溶岩，五色岩火砕岩，二ノ倉スコリア，御門岩溶岩，噴火エピソード G, F, E, D, D', C, B, A 噴出物からなる (Fig. 5-10)。



第7.11図 十和田火山後カルデラ期噴出物の層序と年代  
噴火年代は暦年代で示した。

Fig. 5-10. 十和田火山における後カルデラ期の噴出物層序 (工藤ほか, 2019).

## 中山崎溶岩の噴出 (Nk, Nki; 中川ほか, 1972)

15.5~11.7 ka 頃，十和田火山では玄武岩質安山岩～安山岩質の中山崎溶岩が噴出した。本溶岩は，中湖付近に噴出中心があったと推定される五色岩火山の山麓を構成する (Hayakawa, 1985)。なお本溶岩の一部は，後述する五色岩火砕岩の下部と指交関係にある。

現存する火山地形から，本溶岩の層厚は，200 m 以上あると推定される (工藤ほか, 2019)。本溶岩の多くは，高温酸化したクリンカーを伴い，陸上に堆積したと考えられる。一方，一部の溶岩は水冷破碎受けた産状を示すことから，溶岩の一部は，湖底に流入したと考えられる。

### 五色岩火砕岩の噴出 (Gs; 斎藤・大池, 1984; 工藤ほか, 2019)

15.5～10.2 ka 頃, 十和田火山では, 玄武岩～安山岩質を示す降下火砕物が噴出した。一部では降下スコリアが降下火山灰と互層を成す部分も認められる。本降下火砕堆積物は, 黒色～暗灰色のスコリアが主体であるが, 低発泡の暗灰色のガラス質本質岩片からなるものも認められる。本堆積物は一部溶結すること, 高温酸化した本質物質が認められることから, 五色岩火砕岩の多くは陸上のドライな環境で堆積したと考えられる。その一方, 本堆積物は湖水下へとその分布が続いていることから, 五色岩火砕岩の一部は湖底環境で堆積した可能性もある。

### 二ノ倉スコリアの噴出 (Gs; 斎藤・大池, 1984; 工藤ほか, 2019)

14 ka 頃, 十和田火山では, 二ノ倉スコリアが噴出した。二ノ倉スコリアは, 玄武岩～安山岩質の降下スコリアおよび降下火山灰の互層から成る。本降下火砕堆積物は, 層準によっては, 数 cm 以下の褐色土壌層を挟在することから, 静穏期を挟み断続的に噴火が発生したと考えられる。

### 御門石溶岩の噴出 (Gm; 谷口, 1972; Hayakawa, 1985)

十和田カルデラ形成後, 御門石溶岩ドームが形成された。その詳細な形成時期は不明だが, 後カルデラ期における十和田火山のマグマ組成の傾向から 11.7～2.7 ka 頃, 発生したと考えられる。御門石溶岩は, 直方輝石単斜輝石デイサイトを示す灰色の溶岩ドームである。本溶岩ドームは, 現在湖面上にわずかに露出するのみであり, その層序関係は不明である。工藤ほか (2019) では, 本溶岩ドームの地形が湖水深度 70 m まで続くことを指摘し, 湖底下で堆積したことを示唆している。

### 噴火エピソード G の発生 (新郷軽石; Hayakawa, 1985)

11 ka 頃, 十和田火山では, 新郷軽石が噴出した。新郷軽石は, 両輝石デイサイト質の降下軽石層である。本軽石層は, 下部から中部にかけて上方粗粒化し, 中部から上部にかけて上方細粒化を示す。工藤ほか (2019) は, 本軽石層を直接覆う降下火山灰層の存在を指摘したが, その詳細は不明である。

### 噴火エピソード F の発生 (夏坂スコリアおよび椛山火山灰; Hayakawa, 1985)

10.2 ka 頃, 十和田火山では, 夏坂スコリア, 椛山火山灰が噴出した。夏坂スコリアは, 安山岩質を示す黒色～暗灰色の降下スコリア層である。椛山火山灰は, 成層した褐色火山灰層であり, 夏坂スコリアを被覆する。これらの噴出物は, 給源付近では五色岩火砕岩の最上部を構成する。本降下火砕堆積物は, 瞰湖台～鳥帽子岩付近では, 強溶結の岩相を示し, 柱状節理が発達する。また, 五色岩付近では, 降下スコリアの最上部が弱溶結し, それ以外の箇所は赤色酸化した産状を示す。上位の椛山火山灰に火山豆石が含まれることから

(Hayakawa, 1985), エピソード F ではマグマ噴火からマグマ水蒸気噴火に推移した可能性が考えられる。この一連の活動で噴出したテフラの見かけの体積は、 $1.26 \text{ km}^3$ と推定される (Hayakawa, 1985).

#### 噴火エピソード E の発生 (南部軽石および貝守火山灰; 中川, 1963; Hayakawa, 1985)

9.2 ka 頃, 十和田火山では, 南部軽石, 貝守火山灰が噴出した。南部軽石は, 淡橙色～淡ピンク色を呈するデイサイト質の降下軽石層であり, 一部, 降下火山灰層および火砕サージ層を含む (工藤, 2010)。南部軽石は, 降下火山灰層により少なくとも 3 つ降下ユニットに区分できる。また, 火口近傍の南部軽石は, 溶結した岩相を示す。貝守火山灰は, 様々な色調を示す成層した降下火山灰層である。貝守火山灰の上部は, 火山豆石が含まれることから, エピソード E も F と同様に, マグマ噴火からマグマ水蒸気噴火に推移した可能性が考えられる (Hayakawa, 1985)。この一連の活動で噴出したテフラの見かけの体積は,  $2.51 \text{ km}^3$ と推定される (Hayakawa, 1985)。

#### 噴火エピソード D の発生 (小国軽石および中ノ沢火山灰; Hayakawa, 1985; 工藤, 2010)

8.2 ka 頃, 十和田火山では, 小国軽石, 中ノ沢火山灰が噴出した。小国軽石は, 白色を呈するデイサイト質の降下軽石層である。小国軽石は, 火山灰層の挟在により, 2 ユニットに区分できる。中ノ沢火山灰は, 弱く成層した降下火山灰層であり, 岩相により 3 ユニットに細分される。中ノ沢火山灰は, ブロック～フレーク状のガラス片を多く含む, 細粒火山灰が主体であり, 堆積物中に気泡を多く含む特徴から, マグマ水蒸気噴火によるものと考えられる (工藤, 2010)。したがって噴火エピソード D は, F や E と同様に, マグマ噴火からマグマ水蒸気噴火に推移した可能性が考えられる。この一連の活動で噴出したテフラの見かけの体積は,  $0.47 \text{ km}^3$ と推定される (小国軽石 =  $0.34 \text{ km}^3$ , Hayakawa, 1985; 中ノ沢火山灰 =  $0.13 \text{ km}^3$ , 工藤, 2010)。

#### 噴火エピソード D' の発生 (御倉山溶岩および戸来火山灰; 谷口, 1972; Hayakawa, 1985; 工藤, 2010)

7.5 ka 頃, 十和田湖中心付近の御倉半島突端部では, デイサイト質溶岩 (御倉山溶岩) および降下火山灰 (戸来火山灰) が噴出した (Hayakawa, 1985; 工藤, 2010)。戸来火山灰は, 岩相の特徴から 3 つ (最下部・下部・主部) に細分される (工藤, 2010)。

工藤 (2010) によれば, エピソード D' の噴火は, 上昇したマグマが湖水に接触したことによるマグマ水蒸気噴火から始まり, 戸来火山灰の下部を堆積させた。その後, 噴火が進行し, 火道周辺がドライな環境になると, 溶岩ドームと, それに伴う断続的なブルカノ式噴火が発生し, 周囲に戸来火山灰主部がもたらされたと考えられる (工藤, 2010)。

この一連の活動で噴出した溶岩とテフラの見かけの体積は,  $0.39 \text{ km}^3$ と推定される (御倉山溶岩ドーム =  $0.23 \text{ km}^3$ , Hayakawa, 1985; 戸来降下火山灰 =  $0.16 \text{ km}^3$ , 工藤, 2010)。

#### 噴火エピソード C の発生 (中擲軽石, 金ヶ沢軽石, 宇樽部火山灰; 大池ほか, 1972; 早川,

### 1983)

6.2 ka 頃、十和田火山中湖では、中擲軽石、金ヶ沢軽石、宇樽部火山灰が噴出した。中擲軽石は降下軽石から、金ヶ沢軽石は降下軽石、降下火山礫、およびそれらに挟在する薄い降下火山灰から、宇樽部火山灰は主に成層した降下火山灰と火砕サージから構成される (Hayakawa, 1985; 工藤・佐々木, 2007)。

宇樽部火山灰には火山豆石が含まれることから、エピソード C では、噴火の末期にマグマと湖水が接触し、E や F などと同様にマグマ噴火からマグマ水蒸気噴火に推移した可能性が考えられる (Hayakawa, 1985)。この一連の活動で噴出したテフラの見かけの体積は、9.18 km<sup>3</sup>と推定される (Hayakawa, 1985)。

### 噴火エピソード B の発生 (迷ヶ平<sup>まよがたい</sup>軽石, 惣辺<sup>そうべ</sup>火山灰; Hayakawa, 1985)

2.7 ka 頃、十和田火山中湖付近で、迷ヶ平軽石および惣辺火山灰が噴出した。迷ヶ平軽石は、複数の降下ユニットからなる降下軽石である。主に白色軽石で構成され、両輝石流紋岩質を示す。惣辺軽石は、青灰色を示す成層した火山灰層である。惣辺火山灰は火山豆石が含まれる (Hayakawa, 1985) ことから、本噴火は、マグマ噴火からマグマ水蒸気噴火に推移した可能性が考えられる。この一連の活動で噴出したテフラの見かけの体積は、0.84 km<sup>3</sup>と推定される (Hayakawa, 1985)。

### 噴火エピソード A の発生 (大湯火砕堆積物, 毛馬内火砕流, 十和田 a テフラ; 町田ほか, 1981; Hayakawa, 1985; 広井ほか, 2015)

AD915 (早川・小山, 1998) に、大湯火砕堆積物 (OYU), 毛馬内火砕流, 十和田 a テフラが、現在の中湖より噴出した。OYU は大きく 4 枚の火砕堆積物に細分される (下位より OYU-1, 2, 3, 4)。降下軽石の OYU-1, 3 は、下位より Hayakawa (1985) の大湯 1 軽石, 大湯 3 軽石にそれぞれ対比される。Hayakawa (1985) の大湯 2 火山灰に対比される OYU-2 は、さらに 2 ユニットに細分され、下位 (OYU-2a) は降下火山灰, 上位 (OYU-2b) はベースサージ堆積物と解釈されている (広井ほか, 2015)。OYU-4 はベースサージ堆積物と解釈されている (広井ほか, 2015)。降下火山灰の十和田 a テフラは、毛馬内火砕流の co-ignimbrite ash が主体であると解釈されている (広井ほか, 2015)。

広井ほか (2015) によれば、エピソード A は中湖において、マグマと外来水との接触を伴う中でマグマ噴火から開始した。そして、OYU-1~4 をもたらしたマグマ噴火とマグマ水蒸気噴火のサイクルを 2 度繰り返した後、毛馬内火砕流を噴出して終息したと考えられる (広井ほか, 2015)。一連の活動は 1 日程度の短時間のうちに終始したと考えられ (広井ほか, 2015), その見かけの体積は、Hayakawa (1985) で約 6.5 km<sup>3</sup>, 広井ほか (2015) で約 5.3 km<sup>3</sup>と推定される。

さらに十和田カルデラ周辺では、火砕流の噴出後にラハールが発生した。カルデラ南西の大湯川~米代川流域では、ラハール堆積物に埋没した建物が複数発見されている (秋田県教育委員会, 1970; 赤石, 1999; 小野ほか, 2017)。

## 第5章 参考文献

- 赤石和幸 (1999) 十和田火山, 毛馬内火砕流に伴う火山泥流堆積物中から平安時代の埋没家屋の発見. 地質雑, **105**, XXIII-XXIV.
- 秋田県教育委員会 (1970) 胡桃館埋没建物遺跡第3次発掘調査報告書. 秋田県教育委員会, 61p.
- 原子力規制庁 (2017) 平成29年度原子力規制庁委託成果報告書「火山影響評価に係る技術知見の整備」, 560p.
- 原子力規制庁 (2018) 平成30年度原子力規制庁委託成果報告書「火山影響評価に係る技術知見の整備」, 486p.
- 早川由紀夫 (1983a) 火山豆石として降下堆積した十和田八戸火山灰. 火山, **28**, 25-40
- 早川由紀夫 (1983b) 十和田火山中擲テフラ層の分布. 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 (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**, 53-57.
- 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.
- 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., Matsuzaka, 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.
- Ito, K., Tamura, T., Kudo, T. and Tsukamoto, S. (2017) Optically stimulated luminescence dating of Late Pleistocene tephric loess intercalated with Towada tephra layers in northeastern Japan. *Quat. Int.*, **456**, 154-162.
- 小岩直人・柴 正敏・葛西優貴 (2007) 青森件屏風山砂丘地帯, 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, 79p.
- 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 (2016) 十和田火山, 先カルデラ期溶岩の K-Ar 年代. 地質調査研究報告, **67**, 209-215.
- 工藤 崇 (2018) 十和田火山カルデラ形成期の発生した小規模ブルカノ式噴火. 日本火山学会講演予稿集 2018年度秋季大会, 21.
- 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・小林 淳・山元孝広・岡島靖司・水上啓治 (2011) 十和田火山における噴火活動

- 様式の時代変遷と長期的予測. 日本第四紀学会講演要旨集, **41**, 82-83.
- 工藤 崇・小林 淳 (2013) 十和田火山, 先カルデラ期～カルデラ形成期のテフラの放射年代測定. 地質調査研究報告, **64**, 305-311
- 工藤 崇・内野隆之・濱崎聡志 (2019) 十和田湖地域の地質. 地域地質調査報告 (5 万分の 1 地質図幅). 産総研地質調査総合センター, 192p.
- 町田 洋・新井房夫 (1992) 火山灰アトラス-日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 267p.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編 火山灰アトラス-日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 336p.
- 村岡洋文・高倉伸一 (1988) 10 万分の 1 八甲田地熱地域地質図幅説明書. 特殊地質図 (21-4), 地質調査所, 27p.
- 中川久夫・中馬教允・石田啄二・松山 力・七崎 修・生出慶司・大池昭二・高橋 一 (1972) 十和田火山発達史要. 岩井淳一教授記念論文集. 7-18.
- 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.
- 小野映介・小岩直人・高橋未央・藤根 久 (2017) 米代川流域で発見された十和田火山 AD915 噴火後のラハール堆積物と埋没建物. 第四紀研究, **56**, 169-173.
- 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」. 東北農政局計画音区, 103p.
- 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.
- 佐々木実・茂貫雅祥・西岡孝尚・梅田浩司 (1998) 八甲田火山群およ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.
- 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.
- 谷口宏充 (1972) 十和田火山の岩石学的研究. 岩鉱, **67**, 128-138.
- 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, **15**, 37-83.
- Umeda, K., Ban, M., Hayashi, S. and Kusano, T. (2013) Tectonic shortening and coeval volcanism during the Quaternary, Northeast Japan arc. *J Earth Syst. Sci*, **122**, 137-147.

## 6. ウルルン-隠岐噴火

噴出源：ウルルン火山

年代：11cal ka BP ( $^{14}\text{C}$ 年代; Okuno *et al.*, 2010)

---

総噴出量： $>10 \text{ km}^3$  (見かけ体積; Machida and Arai, 1983)

---

構成要素：※層位順に記載

後カルデラ活動期

- ・ Stage V (中央火口丘形成期)

カルデラ形成期

- ・ Stage IV (爆発的噴火期)
  - ・ Unit 1 (N-1)
  - ・ Unit 2 (N-2)
  - ・ Unit 3 (N-3)
  - ・ Unit 4 (U-Ok; N-4) } 対象噴火
  - ・ N-5
  - ・ Unit 5
  - ・ Unit 6
  - ・ Unit 7
  - ・ ウルルン-大和テフラ (U-Ym)
  - ・ ウルルン-佐渡沖テフラ (U-Sado)

先カルデラ活動期

- ・ Stage III (成層火山形成期)
- ・ Stage II (成層火山形成期)
- ・ Stage I (成層火山形成期)

---

本噴火の推移：

小規模なマグマ水蒸気噴火の発生→大規模プリニー式噴火→火砕物密度流の発生とカルデラ形成.

---

分布：

鬱陵島に厚く堆積するほか、降下火砕物は、日本海南部から近畿地方にかけて分布する (Fig. 6-1).

---

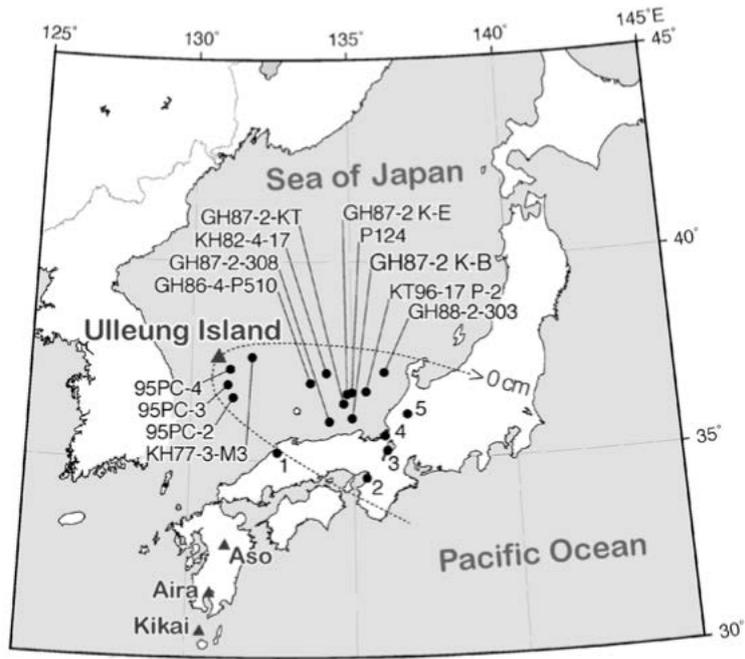


Fig. 6-1. ウルルン隠岐テフラ (U-Oki) の分布域 (椎原ほか, 2013).

## 長期的前駆活動

鬱陵島火山の活動は、岩質・層序から 5 つのステージに分けられる（下位からステージ I, II, III, IV, V）。カルデラ形成前の活動は、ステージ I~III であり、成層火山を形成する活動であった。なお、ステージ IV, V はそれぞれ、カルデラ形成期、中央火砕丘形成期に相当する（Table 6-1; Kim *et al.*, 1999）。なお、噴出物中に含まれる石質岩片から、これらステージ 1 以前にアルカリ玄武岩質の活動があった事が示唆されるが、その詳細は不明である（金, 1985）。

また、日本海や日本で採取されたポーリングコアからは、鬱陵島由来と考えられる複数の降下火砕物が認められる。これら降下火砕物は、鬱陵島で発生した爆発的噴火に由来するものと考えられるが、鬱陵島の火砕堆積物との対応関係は不明である。

Table 6-1. 鬱陵島の火山活動期 (Kim *et al.*, 1999).

Eruptive stage	K-Ar age (Ma)		Rock type
Central cone	Stage 5	(0.01)	Leucite bearing trachyandesite
Caldera	Stage 4	9300-6300BP*	Pyroclastics, tuff bolck, pumice and ash
Stratovolcano	Stage 3		
	Upper 3U	0.47-0.24	Trachyte with basalt inclusion and trachyandesite
	Lower 3L	0.73-0.60	Trachyte, trachyandesite and phonolite
	Stage 2	0.83-0.77	Trachyte, trachybasalt and trachyte agglomerate
	Stage 1	1.37-0.97 (1.8-2.7, Min <i>et al.</i> , 1982)	Basaltic agglomerate, basaltic lava, picritic basalt and trachyte
Joedong formation			Tuffaceous sandstone, tuffaceous conglomerate and poorly consolidate alluvial conglomerate

### ステージ I (Harumoto, 1970; 金, 1985a, b)

主に火砕流堆積物で構成され、それに伴う溶岩流も認められる。これらステージ I の堆積物中には、粗面玄武岩質岩脈の貫入が認められる（金, 1985a, b）。

岩 質：粗面玄武岩質、ピクライト質玄武岩およびアルカリ玄武岩（金, 1985a）

岩 相：火砕流堆積物は、本質の粗面玄武岩質岩片を含む粗面玄武岩質集塊岩である。溶岩流は、層厚 2-4 m で、連続性が悪い。本質岩片は、発泡し丸みをおびている。岩脈は、東西方向のものが多い。

分 布：南陽洞、沙洞から臥達里に至る海岸、玄圃洞および台霞洞の海岸底地に分布する。

<sup>Jeodong Wadalri</sup> 亭洞-臥達里の海岸では高さ 150 m の絶壁として認められる。

年 代：1.37-0.97 Ma (K-Ar 年代; Kim *et al.*, 1999)。

噴出量：詳細不明。

### ステージ II (Harumoto, 1970; 金, 1985a, b)

主に火砕堆積物で構成され、それに伴う溶岩や岩脈が認められる。風化したステージ I を覆う。

岩 質：粗面安山岩質（ステージ II 上部下部; 金, 1985a）

粗面岩質（ステージ II 中部; 金, 1985a）

岩 相：粗面岩質集塊岩のなかに連続性の悪い粗面岩質溶岩が認められる。ステージ II の下部には、稀に多孔質な玄武岩質岩片が含まれる。竹岩、<sup>Tachadong</sup>台霞洞では、ステージ II の下部に粗面安山岩質溶岩が認められる。この溶岩は、下部上部で層相が異なり、下部が塊状である一方、上部では、気孔が増加する。ステージ II では、粗面岩質の岩脈は、全体で 70 本程度認められ、これらの岩脈は、黒雲母の有無で 2 タイプに区分できる。

分 布：光岩、台霞洞、竹岩、南陽洞、沙洞、道洞、苧洞等に分布する。露出部分の層厚は、50-150 m である。

年 代：0.83-0.77 Ma (K-Ar 年代; Kim *et al.*, 1999)

噴出量：噴出物の下限が認められないことが多く、噴出量の詳細は不明である。

### ステージ III (Harumoto, 1970; 金, 1985)

主に溶岩流で構成され、それに伴う降下火山灰、火山礫を含む。ステージ III の噴出物は、降下火砕物の薄層により 3 つのサブステージ（前期、中期、後期）に区分できる。

岩 質：いずれのサブステージも粗面岩質の活動が認められる。中期後期は、これに加え、フォノライト質の活動が認められる（金, 1985a）。

岩 相：全てのサブステージにおいて溶岩流の活動が卓越する。前期・中期溶岩の上部には、淘汰度の良い降下火砕物（層厚 2~4 m）が認められる。これらの降下火砕物は、ステージ III のサブユニットの境界となっている。いずれのサブユニットにおいても、斑晶鉱物として、アルカリ長石、単斜輝石を含む。前期およびカルデラ壁下の中期噴出物はこれに加え、斜長石、スルケート角閃石を含む。また、フォノライト質噴出物の石基には、カスミ石が認められる。

分 布：前期の噴出物は、竹島の東部、天府洞および香木洞等、鬱陵島の北部海岸に露出する。中期の噴出物は、島の東斜面の除く全域に分布する。後期の噴出物は、外輪山の頂部および島の東斜面に広く分布している（金, 1985）。

年 代：0.73-0.24 Ma (K-Ar 年代; Kim *et al.*, 1999)

噴出量：詳細不明

### ウルルン-佐渡沖テフラ (U-Sado; Lim *et al.*, 2013)

池原ほか (2004), 中嶋ほか (1996) で U-Ym として火砕物, Chun *et al.* (2007) の SKP-II tephra に相当する.

岩 質: フォノライト質 (火山ガラス組成; McLean *et al.*, 2020)

岩 相: 無層理から弱い逆級化が認められる降下火砕物である (Chun *et al.*, 2007). 主に火山灰からラピリサイズの軽石からなり少量のスコリア, 石質岩片および遊離結晶を含む. スコリアと遊離結晶は, 海底コアの基底層によく認められる. 火山ガラスは, 軽石型, バブルウォール型が認められる.

分 布: 鬱陵島の周辺 (Fig. 6-2) および日本海佐渡沖のコアに認められる (GH89-2-25, GH89-2-26, GH89-2-28; Lim *et al.*, 2013).

年 代: ~67.6 ka (層序; Lim *et al.*, 2013)

噴出量: 詳細不明

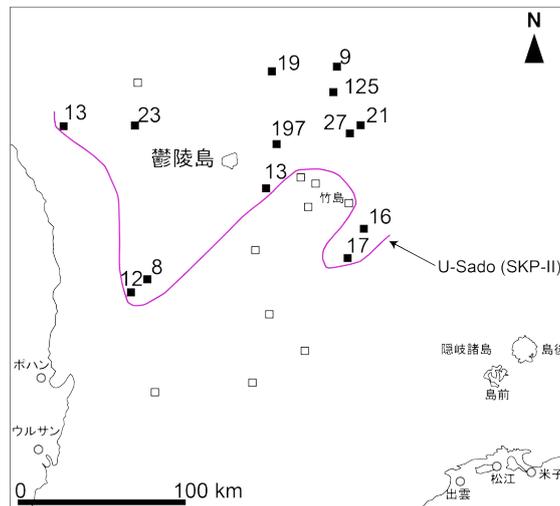


Fig. 6-2. ウルルン-佐渡沖テフラの分布域 (分布は, Chun *et al.*, 2007 に基づく).

ピンク線は, ウルルン-佐渡沖テフラの分布限界を示す. 四角(白抜き)は, ウルルン-佐渡沖テフラが認められない地点.

### ウルルン-大和テフラ (U-Ym; 新井ほか, 1981)

Chun *et al.* (2007) の SKP-I tephra に相当する。

岩 質：粗面岩質~フォノライト質 (火山ガラス組成; McLean *et al.*, 2020)

岩 相：逆級化が認められる降下火砕物である。多量の粗粒な軽石で構成され、少量の細粒なスコリア、石質岩片、遊離結晶を含む。遊離結晶は、アルカリ長石、角閃石、黒雲母を含む (新井ほか, 1981)。本火砕物の基底は、スコリア、石質岩片および遊離結晶が卓越する (Chun *et al.*, 2007)。

分 布：日本海や日本の近畿地方から東北地方にかけて広く分布する (Fig. 6-3)。

年 代：ca. 40.1 ka ( $^{14}\text{C}$  年代; Mclean *et al.*, 2020)

噴出量：詳細不明

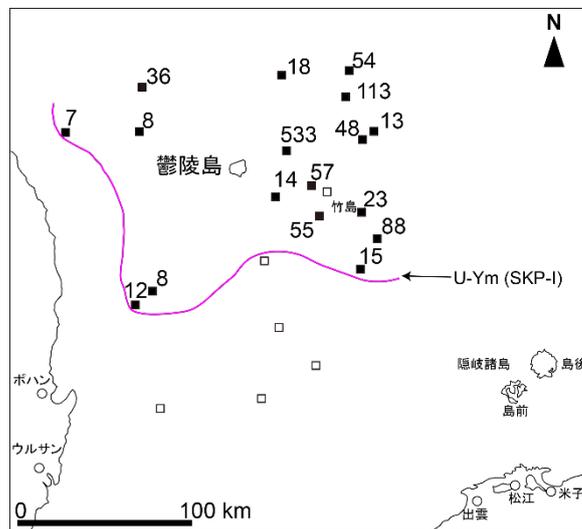


Fig. 6-3. ウルルン-大和テフラの分布域 (分布は, Chun *et al.*, 2007 に基づく)。

ピンク線は、ウルルン-佐渡沖テフラの分布限界を示す。四角 (白抜き) は、ウルルン-大和テフラが認められない地点。

ステージ IV (Harumoto, 1970; 金, 1985a, b)

本ステージの噴出物は、カルデラ形成に伴って噴出した多量の軽石、火山灰、火山礫からなる。町田ほか (1984) は、鬱陵島において野外調査を行い、少なくとも7枚の火砕堆積物を記載した (Fig. 6-4)。

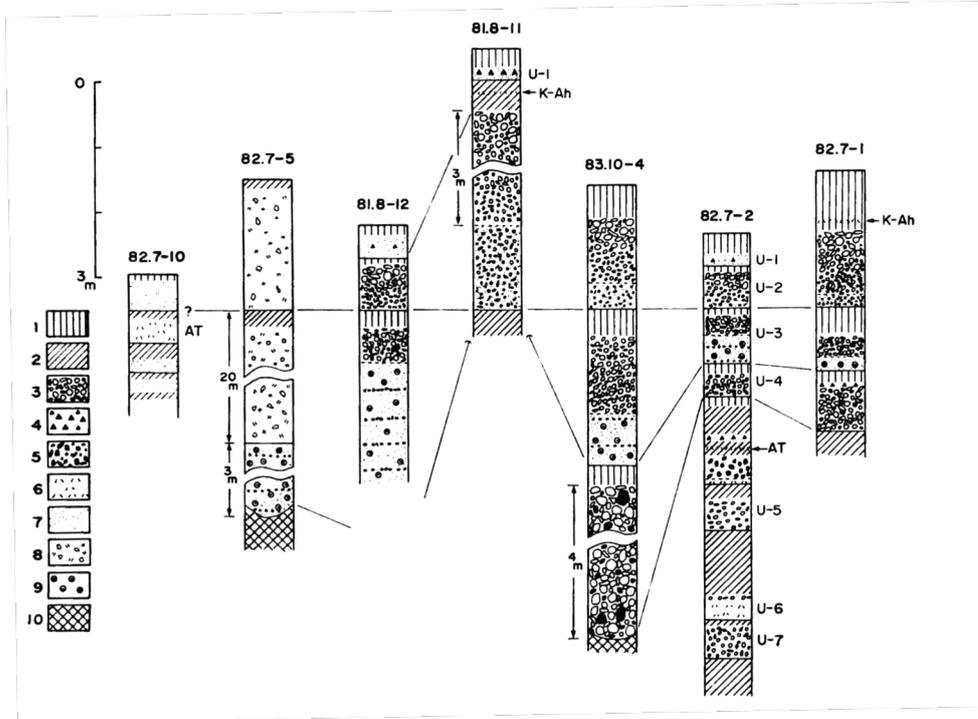


Fig. 6-4. 鬱陵島における降下火砕物の対比柱状図 (町田ほか, 1984).

凡例は以下の通りである。1, 黒色腐食土; 2, 褐色土壌; 3, 降下軽石; 4, 降下スコリア; 5, 石質岩片; 6, ガラス質火山灰; 7, 石質岩片及び軽石質火山灰; 8, 火砕流堆積物; 9, 火山豆石; 10, 基盤岩。

©東京地学協会

### Unit 5～7 (町田ほか, 1983)

始良-丹沢テフラ (30 cal ka BP; Smith *et al.*, 2013) の下位に認められる降下火砕堆積物である。土壌を挟み堆積する3つに区分される (下位から Unit 7, 6, 5; Fig. 6-4)。これらは類似した層相を示すことから、ここではまとめて紹介する。Unit 7, 6, 5のいずれかがウルルン-大和テフラと対比される可能性が高い (町田ほか, 1984)。

岩 質：粗面岩質 (火山ガラス組成; 町田ほか, 1984)

岩 相：黄色～橙色を呈する風化した降下火砕堆積物である。いずれのユニットも角閃石、磁鉄鉱、アルカリ長石を斑晶に含む。また、Unit 5は角閃石斑晶をより多く含み、これらに加え単斜輝石、黒雲母が認められる。Unit 6においても、黒雲母が認められる。Unit 7は、軽石の斑晶量が極めて少ない特徴がある。

分 布：詳細不明。中央火口丘から東北東へ約5 kmの地点 (石圃洞国校校庭<sup>Sokpo-dong</sup>) において認められる。

年 代：いずれも30 cal ka BPより古い (層位関係から)。

噴出量：詳細不明

## **短期的前駆活動**

鬱陵島火山では、ウルルン-隠岐噴火 (U-Oki, N-4) の約 7 千年前に、N-5 をもたらす火砕噴火が発生した (Kim *et al.*, 2014). N-5 噴火は、マグマ水蒸気爆発に始まり、内成溶岩ドームの破碎を伴うマグマ噴火に移行した (Kim *et al.*, 2014).

### **N-5 (Kim *et al.*, 2014)**

岩相により 5 つのサブユニットに細分される (下位から N-5A~D, N-5R).

岩 質：粗面岩質・フォノライト質 (Kim *et al.*, 2014; Brenna *et al.*, 2014)

岩 相：いずれのサブユニットも粗面岩質の軽石と石質岩片を含む。軽石は、発泡度が低く、アルカリ長石に富んだ石基組織をもつことで特徴づけられる。

N-5A は、下位層をマントルベディングする火山豆石を含む無層理な火砕堆積物であり、弱く成層した軽石質火山礫凝灰岩をレンズ状に含む。N-5A は、全体の層厚が 1-1.5 m 程である。

N-5B は、弱く成層した軽石質火山礫凝灰岩からなり、礫支持の軽石層を含む。本質物質は、明灰色から暗灰色を呈し、フォノライト質の組成をもつ。また、本質物質は、(1) 1 mm 以下の微小な気泡をもつもの、(2) 発泡していないもの、の 2 つに区分できる。

N-5C は、細粒物に富む無層理の軽石質火山礫凝灰岩である。N-5B との境界には低角な侵食面が認められる。含まれる軽石の大半は、変質を受け、オレンジ~褐色を呈する。基底部付近では、50 cm を越える異質岩片がサグ構造を形成している様子が認められる。中部から上部にかけては、弱い成層構造が局所的に認められる。

N-5D は、層厚 6 m 程度の火砕堆積物であり、マントルベディングした火山豆石凝灰岩、様々な火山灰付着度合いを示す無層理の軽石質火山礫凝灰岩、岩片を含む無層理の軽石質火山礫凝灰岩と遷移する。

N-5R は、下位のサブユニットを削り込み堆積する岩屑なだれ堆積物である。N-5R は、淘汰度が小さく、不明瞭なインブリケーションが認められる。N-5R の上部は、準平行層理の発達する泥層である。砂礫から泥質のレンズが挟在する。

分 布：詳細不明

年 代：19 ka BP (<sup>14</sup>C 年代; Kim *et al.*, 2014)

噴出量：詳細不明

## 本噴火

### [各噴出物の特徴]

#### N-4A (Kim *et al.*, 2014)

岩 質：粗面岩質，フォノライト質 (Brenna *et al.*, 2014)

岩 相：下部の細粒火山灰に富んだ火砕物密度流堆積物と，上部の降下降下火砕堆積物からなる (Fig. 6-5). N-4A の下部は，層理が発達し，石質岩片に富む．基底部では，1 m を越えるような石質岩塊がサグ構造を形成する．

構成物：軽石，細粒火山灰，石質岩片

分 布：Nari カルデラ内に分布する．

噴出量：詳細不明

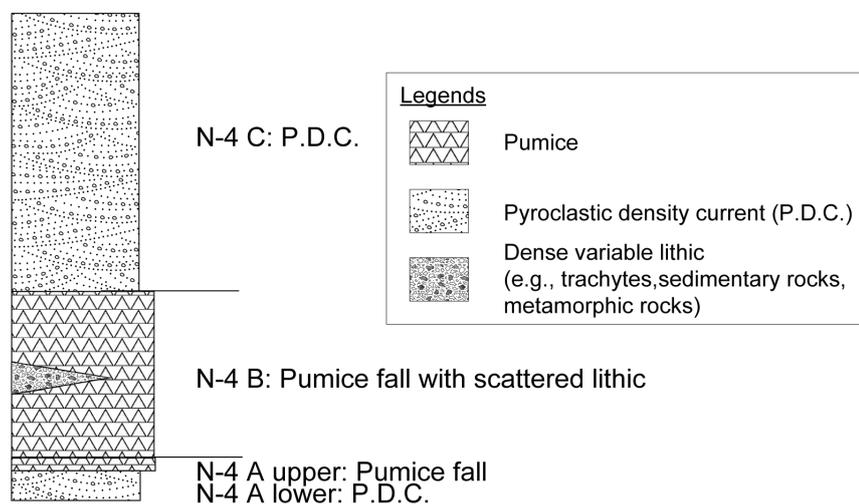


Fig. 6-5. ウルン-隠岐噴火の総合柱状図 (層相は Kim *et al.*, 2014 に基づく).

#### **N-4B (Unit 4; U-Oki; Kim *et al.*, 2014)**

本ユニットは、最も規模が大きく、遠方のウルルン-隠岐テフラ (U-Oki) と対比される。

岩 質：粗面岩質，フォノライト質 (Brenna *et al.*, 2014)

岩 相：細粒物に欠如し，主にラピリサイズの軽石礫，石質岩片からなる降下火砕堆積物である (Fig. 6-5)。中部には，淘汰度の低い，凝灰角礫岩層がレンズ状に挟在する。Nariカルデラ外で認められる本ユニットは，その構成物から，上部下部に細分される (Shihara *et al.*, 2011; Okuno *et al.*, 2010)。下部は石質岩片と灰白色の軽石からなり，上部は，灰色を呈し，正級化する層相を示し，石質岩片とスコリアを含む。

構成物：軽石，スコリア，石質岩片 (粗面岩，閃長岩，堆積岩，変成岩等)

分 布：鬱陵島，日本の近畿地方から東北地方にかけて分布する。

噴出量：10 km<sup>3</sup>以上 (見かけ体積; 町田・新井, 2003)

#### **N-4C (Kim *et al.*, 2014)**

岩 質：粗面岩質，フォノライト質 (Brenna *et al.*, 2014)

岩 相：N-4C は石質岩片に富む火砕物密度流堆積物である。N-4B を整合的に覆い，岩屑なだれ堆積物に覆われる。斜交層理もしくは平行層理が発達する。各単層は，層厚 1~2 m で，無層理もしくは，弱い層理が発達する。

構成物：軽石，石質岩片，火山灰

分 布：詳細不明

噴出量：詳細不明

## **[噴火推移]**

### **小規模なマグマ水蒸気噴火の発生 (N-4A)**

ウルルン-隠岐噴火では、最初期にマグマ水蒸気噴火が発生し、細粒物に富む火砕サージ (N-4A) が堆積した。N-4A は、上部に向うにつれ石質岩片に富む層相から細粒物に欠ける軽石支持の層相へと変化する (Fig. 6-5) ことから、急速に火道の拡大が進行したこと、噴火様式がマグマ水蒸気噴火からマグマ噴火へと推移したことが考えられる。

### **大規模なプリニー式噴火 (N-4B; U-Oki)**

その後、ウルルン-隠岐噴火は、プリニー式噴火に移行し広域に降下火砕物 (N-4B, Unit 4, U-Oki; Fig. 6-5) を堆積させた。N-4B 中部には、淘汰度の低い凝灰角礫岩層がレンズ状に挟在することから、噴煙柱の部分崩壊、もしくは火道が拡大する噴火イベントが発生したと考えられる。

### **火砕物密度流の発生と Nari caldera の形成 (N-4C)**

その後、ウルルン-隠岐噴火では、噴煙柱の崩壊が発生し、石質岩片に富む火砕物密度流が発生した (N-4C; Fig. 6-5)。また、この噴煙柱の崩壊に伴い、火道の急速な拡大が起った。N-4C は、カルデラ壁近傍において、斜面を上がるように堆積した様子が認められることから、本火砕物密度流は、石質岩片をカルデラ壁上部にまで輸送するのに十分なエネルギーを持っていたと考えられる。また、N-4C は層相、構成物等にばらつきがあり、リング断層構造周辺の複数の場所から噴出した可能性がある。

## **大規模噴火後の火山活動**

ウルルン-隠岐噴火後、鬱陵島火山では、休止期を挟み、爆発的噴火が複数回発生し、その後、溶岩ドームが形成された。

### **N-3 の噴出 (9 ka; Kim *et al.*, 2014)**

約3千年の短い休止期を挟み、鬱陵島では、噴火活動が再開した。本噴火は、マグマ水蒸気爆発に始まり、火山豆石を含む降下火砕物 (N-3A) を堆積させた。その後、活動はマグマ噴火へ移行し、火砕物密度流 (N-3B) や火砕サージ (N-3C) が発生した。下位の降下火砕物と火砕物密度流堆積物の境界には、侵食間隙が認められ、活動初期のマグマ水蒸気爆発とその後のマグマ噴火との間には、少なくとも数日から数週間の時間間隙があったと推定される。

### **N-2 の噴出 (5.6 ka; Kim *et al.*, 2014)**

N-3 から約3千年の短い休止期を挟み、爆発的なマグマ水蒸気噴火で再開した。本噴火の堆積物は、降下軽石と火山豆石含有の降下火山灰層の互層からなる。このことは、噴火様式がドライなプリニー式噴火とウェットなマグマ水蒸気爆発で変動していたことを示す。その後活動は、湧出的な噴火へと推移し、黒色軽石と黒曜石岩片を放出した。これらは、カルデラ近傍においてアグルチネートとして認められる。

### **N-1 の噴出 (<5.6 ka; Kim *et al.*, 2014)**

鬱陵島火山の最新期の噴火は、マグマ水蒸気噴火により始まり、希薄な火砕物密度流 (N-1) を発生させた。本堆積物は、正級化・逆級化を交互に繰り返す級化構造が顕著に認められる。本堆積物の分布は Nari カルデラ内に限られる。

また、Nari カルデラの北部において、溶岩ドームと火砕丘が認められることから、マグマ水蒸気噴火の後に、複数回に渡り、火砕噴火と溶岩ドームの形成が起ったことが示唆される。

## 第6章 参考文献

- 新井房夫・大場忠道・北里 洋・堀部純男・町田 洋 (1981) 後期第四紀における日本海の古環境—テフクロノロジー, 有孔虫群集解析, 酸素同位体比法による—. 第四紀研究, **20**, 209-230.
- Brenna, M., Price, R., Cronin, S. J., Smith, I. E., Sohn, Y. K., Kim, G. B. and Maas, R. (2014) Final magma storage depth modulation of explosivity and trachyte-phonolite genesis at an intraplate volcano: a case study from Ulleung Island, South Korea. *J. Petrol.*, **55**, 709-747.
- Chun, J. H., Cheong, D., Ikehara, K. and Han, S. J. (2007) Age of the SKP-I and SKP-II tephros from the southern East Sea/Japan Sea: implications for interstadial events recorded in sediment from marine isotope stage 3 and 4. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **247**, 100-114.
- Harumoto, A. (1970) Volcanic rocks and associated rocks of Utsuryoto Island, (Japan Sea). *Dept. Geol. Min., Kyoto Univ*, 39p.
- 池原 研・吉川清志・Chun, J. H. (2004) 日本海中部大和海盆から採取された酸素同位体ステージ3に噴出した3枚の火山灰. 第四紀研究, **43**, 201-212.
- 金 允圭 (1985a) 韓国, 鬱陵火山島の岩石学\*—その1. 地質—. 岩鉱, **80**, 128-135.
- 金 允圭 (1985b) 韓国, 鬱陵火山島の岩石学\*—その2. 岩石記載及び全岩化学組成—. 岩鉱, **80**, 292-303.
- Kim, K. H., Tanaka, T., Nagao, K. and Jang, S. K. (1999) Nd and Sr isotopes and K-Ar ages of the Ulreungdo alkali volcanic rocks in the East Sea, South Korea. *Geochem. J.*, **33**, 317-341.
- Kim, G. B., Cronin, S. J., Yoon, W. S. and Sohn, Y. K. (2014) Post 19 ka BP eruptive history of Ulleung Island, Korea, inferred from an intra-caldera pyroclastic sequence. *Bull. Volcanol.*, **76**, (802).
- Lim, C., Toyoda, K., Ikehara, K. and Peate, D. W. (2013) Late Quaternary teprostratigraphy of Baegdusan and Ulleung volcanoes using marine sediments in the Japan Sea/East Sea. *Quat. Res.*, **80**, 76-87.
- Machida, H. and Arai, F. (1983) Extensive Ash Falls in and Around the Sea of Japan from Large Late Quaternary Eruptions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **18**, 151-164.
- 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.
- 町田 洋・新井房夫・李 柄高・森脇 広・古田俊夫 (1984) 韓国鬱陵島のテフラ. 地学雑, **93**, 1-14.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編 火山灰アトラス—日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 336p.
- McLean, D., Albert, P., G., Suzuki, T., Nakagawa, T., Kimura, J., Chang, Q., Macleod, A., Blockley, S., Staff, R. A., Yamada, K., Kitaba, I., Haraguchi, T., Kitagawa, J., Smith, V. C. and SG14 project members (2020) Refining the eruptive history of Ulluengdo and Changbaishian volcanoes (East Asia) over the last 86 kyrs using distal sedimentary records.

*J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **389**, 1-16.

中嶋 健・吉川清志・池原 研・片山 肇・木川栄一・上嶋正人・瀬戸浩二 (1996) 日本海  
南東部における海底堆積物と後期第四紀層序—特に暗色層の形成時期に関連して—。地  
質雑, **102**, 125-138.

Okuno, M., Shiihara, M., Torii, M., Nakamura, T., Kim, K., Domitsu, H., Moriwaki, H. and  
Oda, M. (2010) AMS radiocarbon dating of Holocene tephra layers on Ulleung Island,  
South Korea. *Radiocarbon*, **52**, 1465-1470.

椎原美紀・堂満華子・鳥井真之・長橋良隆・奥野 充 (2013) 日本海とその周辺に分布する  
鬱陵島起源の完新世テフラ。第四紀研究, **52**, 225-236.

Shiihara, M., Torii, M., Okuno, M., Domitsu, H., Nakamura, T., Kim, K., Moriwaki, H. and  
Oda, M. (2011) Revised stratigraphy of Holocene tephras on Ulleung Island, South Korea,  
and possible correlatives for the U-Oki tephra. *Quat. Int.*, **246**, 222-232.

Smith, V. C., Staff, R. A., Blockley, S. P. E., Ramsey, C. B., Nakagawa, T., Mark, D. F.,  
Takemura, K., Danhara, T. and Suigetsu 2006 Project Members (2013) Identification and  
correlation of visible tephras in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan:  
chronostratigraphic markers for synchronizing of east Asian/west Pacific palaeoclimatic  
records across the last 150 ka. *Quat. Sci. Rev.*, **67**, 121-137.

## 7. 白頭山-苦小牧噴火

噴出源：Changbaishan (Tianch 火山; Fig. 1)

年代：946 AD ( $^{14}\text{C}$  年代 Hakozaiki *et al.*, 2018; Oppenheimer *et al.*, 2017)

\*  $^{14}\text{C}$  スパイク年代法

---

総噴出量：96 ± 19 km<sup>3</sup> (見かけ体積; Horn and Schmincke, 2000)

24 ± 5 km<sup>3</sup> (DRE; Horn and Schmincke, 2000)

---

構成要素：※ここでは Tianchi 火山起源の噴出物を層位順に記載

後カルデラ活動期

- ・ 1903 AD 噴火
- ・ 1702 AD 噴火
- ・ 1688 AD 噴火
- ・ 1403 AD 噴火

カルデラ形成期

- ・ Millennium eruption (Fig. 2) } 対象噴火
- ・ Pre-Millennium eruption

先カルデラ形成期

- ・ 火砕丘形成期
  - ・ 楯状火山形成期
- 

本噴火の推移：

プリニー式噴火→火砕流→小休止→プリニー式噴火→火砕流→小休止→プリニー式噴火・イントラ火砕流→サブプリニー式噴火→火砕流→ベースサージ

---

分布：

天池カルデラの周囲に厚く分布する。また、本噴火による降下テフラは東方に広く分布し、北海道および北東北においても数 cm の堆積が認められる (Fig. 7-1)。

---

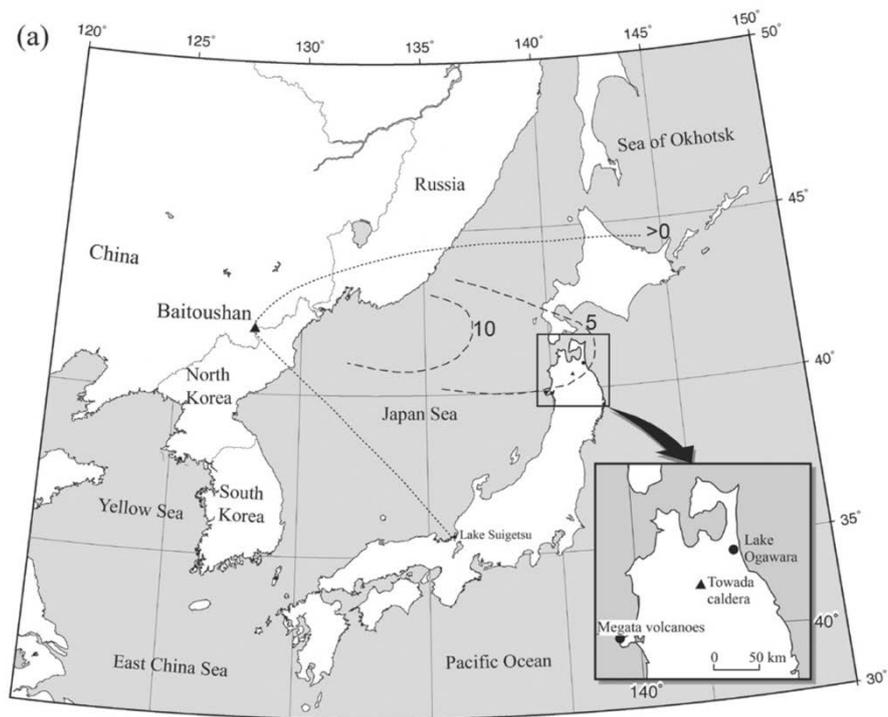
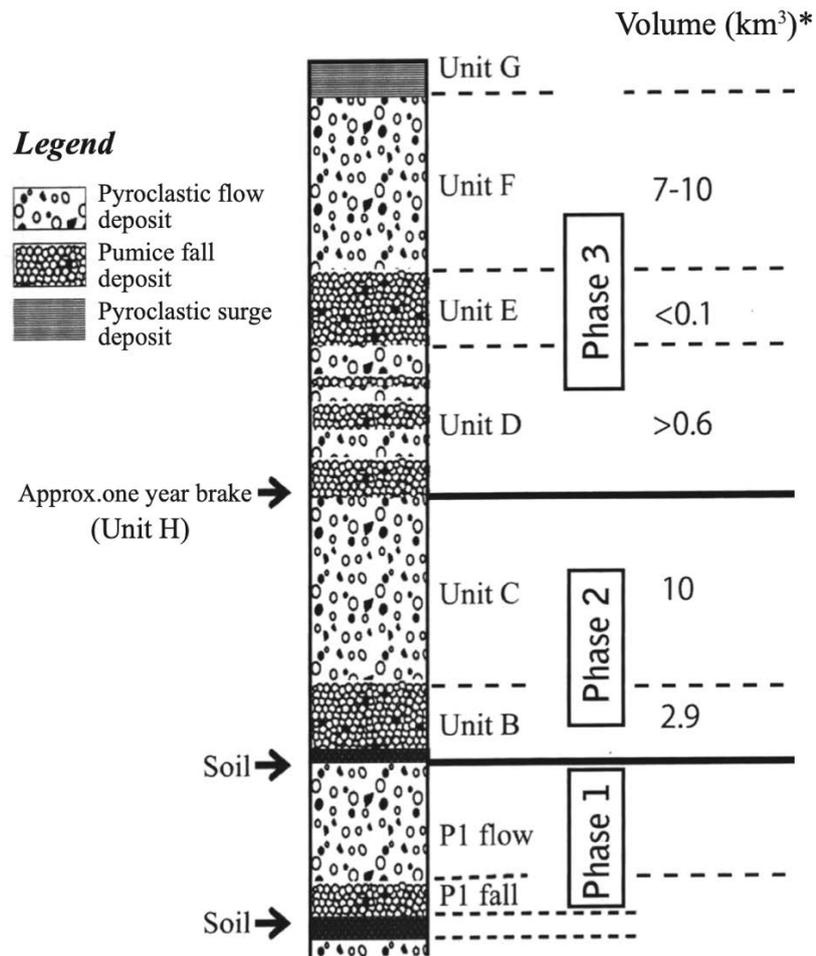


Fig. 7-1. Millennium 噴火の噴出物の分布図 (澤田ほか, 2018).

図中の数字は等層厚線線の層厚を示す. Machida *et al.* (1990) の分布図を元に作成.



**Fig. 2.** Idealized columnar section of the 10th century eruption (modified from Nishimoto et al., 2010). \* Volume of each unit was estimated by Miyamoto et al. (2004).

**Fig. 7-2.** Millennium 噴火の総合柱状図 (澤田ほか, 2018).

西本ほか (2010) の柱状図を改変したもの。噴出量は、宮本ほか (2004) による。

## **長期的前駆活動**

Changbaishan 火山は、主に 3 つの複成火山 (Tianchi, Wangtian'e, Namphothe) と無数の単成火山で構成される。これらのうち Millennium 噴火の給源と考えられるのは、Tianchi 火山である。Tianchi 火山の活動は、噴火様式および化学組成から、楯状火山形成期 (5.02-1.05 Ma)、火砕丘形成期 (1.37-0.01 Ma)、カルデラ形成期 (0.01 Ma-964AD)、後カルデラ形成期 (964 AD-現在) に区分される (Wei *et al.*, 2007; Wei *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2018)。しかし、火砕丘形成期とカルデラ形成期の噴出物は、その年代値や噴火様式に関して不明点を多く残し、両者の境界はあいまいとなっている (Wei *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2018)。

ここでは、Tianchi 火山の活動に絞り、噴出物を古いものから順に記述する。

### **楯状火山形成期 (5.02-1.05 Ma)**

Tianchi 火山では、中央火口からの粗面玄武岩質～粗面安山岩質の溶岩流、山腹からの割れ目噴火が発生した。これらの溶岩流は、K-Ar 年代から、5.02-1.05 Ma 頃活動したとされている (Wei *et al.*, 2007; Wei *et al.*, 2013; Kuritani *et al.*, 2009)。これらの溶岩流は、地形、分布、年代値から、Taudao 溶岩、Baishan 溶岩といくつかの溶岩流に区分されている。しかし、これら個々の溶岩に対する詳細な記載はされていない。

岩 質：粗面玄武岩～粗面安山岩 (Kuritani *et al.*, 2009)

岩 相：複数枚の溶岩流で構成される。いずれも溶岩流も、パホイホイ溶岩の特徴を示す。

分 布：Tianchi 火山の周辺に厚く堆積し、Tianchi 火山の周辺 7,200 km<sup>3</sup> を覆う。

年 代：Taudao 溶岩: 2.77-1.99 Ma (K-Ar 年代; Wei *et al.*, 2007)

Baishan 溶岩: 1.64-1.11 Ma (K-Ar 年代; Wei *et al.*, 2007)

噴出量：詳細不明

### 火砕丘形成期 (1.37-0.01 Ma)

本ステージは、粗面岩質、コメンダイト質の溶岩および火砕物の噴出と、中央火口からの粗面岩質溶岩の噴出に特徴づけられる (Wei *et al.*, 2013). Wei *et al.* (2013) は、火砕丘形成期の噴出物を層序関係から4つに区分し、下位から Laofangzixishan 層, Baitoushan I 層, Baitoushan II 層, Baitoushan III 層とした. Zhang *et al.* (2018) は、Qixiangzhan 層の噴火様式およびその規模から火砕丘の形成に大きく関与したと考え、これらを火砕丘形成期の噴出物に加えた.

また、日本海でのボーリングから得られた海底コアからは、Changbaishan 由来と考えられる火砕物が複数認められており、爆発的な噴火を複数回発生させたことが示唆される.

### Laofangzixiaoshan 層

岩 質：玄武岩

岩 相：パホイホイ溶岩の形態を示す、溶岩流である。楯状火山形成期の溶岩と比べ、流走距離が短く、アスペクト比が小さい特徴がある (Wei *et al.*, 2007).

分 布：詳細不明

年 代：1.17-0.75 Ma (Wei *et al.*, 2013)

噴出量：詳細不明

### Baitoushan I 層

岩 質：粗面岩

岩 相：粗面岩質の火砕丘.

分 布：カルデラより南西方向に分布する.

年 代：0.61-0.53 Ma (Wei *et al.*, 2013)

噴出量：詳細不明

### 白頭山-男鹿テフラ (B-Og; 町田・新井, 1992)

北里 (1975) により記載, 町田・新井 (1992) により白頭山-男鹿テフラと命名された.

岩 質：粗面岩 (\*火山ガラス組成)

岩 相：無色の火山ガラスやアルカリ長石を含む降下火砕物層である。火山ガラスは軽石型、繊維型に富み、バブル・ウォール型をわずかに含む.

分 布：秋田県、男鹿半島北岸において認められる。含まれる鉱物、火山ガラスの化学組成から Changbaishan 起源と考えられる.

年 代：448 ka (層位関係から; 白井ほか, 1997)

噴出量：詳細不明

### Baitoushan II 層

岩 質：粗面岩，玄武岩

岩 相：粗面岩質の火砕丘および火砕流堆積物.

分 布：カルデラより南方～西方，および北北東に分布する.

年 代：0.44-0.25 Ma (Wei *et al.*, 2013)

噴出量：詳細不明

### Baekdusan-Kita 2 (B-KY2; Fig. 7-3)

岩 質：コメンダイト，コメンダイト質粗面岩

岩 相：詳細不明

分 布：日本海北大和トラフに堆積が認められる.

年 代：196 ka (層位関係から; Chun *et al.*, 2006)

噴出量：詳細不明

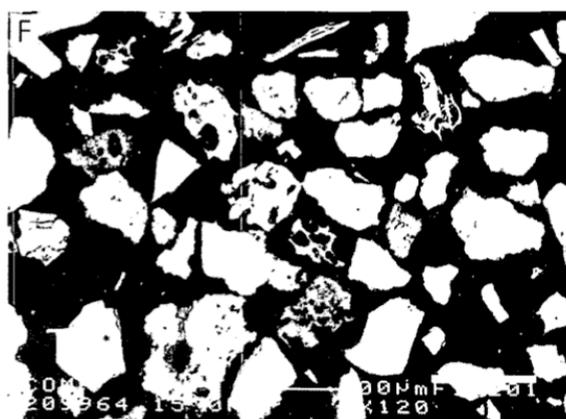


Fig. 7-3. B-KY2 の BSE 画像 (Chun *et al.*, 2006).

### Baitoushan III 層

岩 質：粗面岩，コメンダイト

岩 相：コメンダイトを含む粗面岩質火砕丘.

分 布：カルデラより西方から北方にかけて分布する.

年 代：0.22-0.02 Ma (Wei *et al.*, 2013)

噴出量：詳細不明

### Baekdusan-Kita 1 (B-KY1)

岩 質：コメンダイト，コメンダイト質粗面岩

岩 相：軽石型およびバブルウォール型の火山ガラスを含み，わずかに遊離結晶を含む降下火砕物層である (Fig. 7-4; Chun *et al.*, 2020).

分 布：日本海北大和トラフに堆積が認められる.

年 代：130 ka (Fig. 7-5; Chun *et al.*, 2006)

噴出量：詳細不明



Fig. 7-4. B-KY1 の BSE 画像 (Chun *et al.*, 2020).

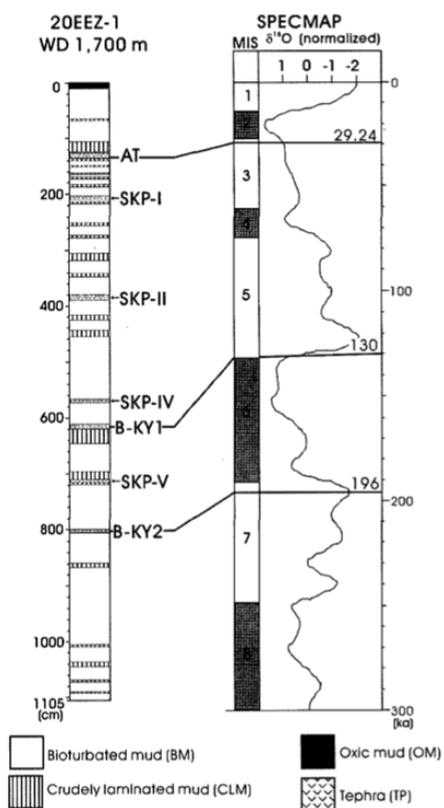


Fig. 6. Tephrostratigraphy in the core 20EEZ-1 obtained from the Kita-Yamato Trough.

Fig. 7-5. B-KY1, B-KY2 の層序関係 (Chun *et al.*, 2006).

### Baegdusan-Yamato (B-Ym; Lim *et al.*, 2013)

岩 質：コメンダイト質粗面岩

岩 相：日本海にクリプトテフラとして認められる。火山ガラスは軽石型、バブルウォール型の順に多く認められる。

分 布：日本海に堆積が認められる。

年 代：85.8 ka (層位関係から; Lim *et al.*, 2013)

### Baegdusan-Sado-Oki (B-Sado; Lim *et al.*, 2013)

岩 質：コメンダイト, コメンダイト質粗面岩

岩 相：日本海にクリプトテフラとして認められる。火山ガラスは軽石型、バブルウォール型の順に多く認められる。

分 布：日本海に堆積が認められる。

年 代：67.6 ka (層位関係から; Lim *et al.*, 2013)

### 白頭山-日本海盆火山灰 (B-J; 新井・町田, 1983)

富山沖火山灰 (To) に対比される。

岩 質：コメンダイト

岩 相：アルカリ長石を含む降下火山灰層である。含まれる火山ガラスは、軽石型、バブルウォール型のもを含む (Lim *et al.*, 2013)。また、含まれる火山ガラスの屈折率は、1.516-1.521 を示す (池原ほか, 2004)。

分 布：日本海に堆積が認められる (Fig. 7-6)。

年 代：50.6 ka ( $^{14}\text{C}$  年代; 池原ほか, 2004; Lim *et al.*, 2013)

噴出量：詳細不明

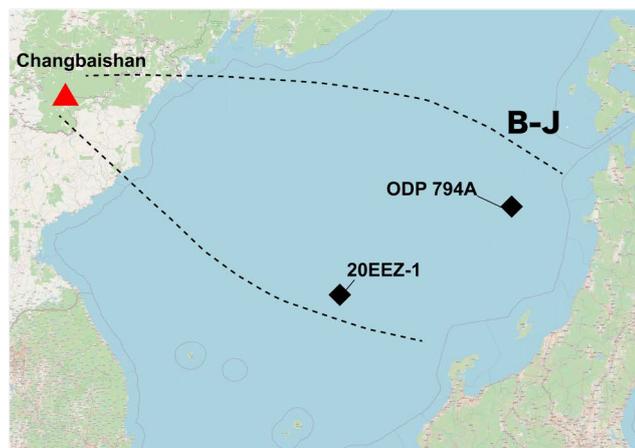


Fig. 7-6. 白頭山-日本海盆火山灰の分布域 (分布は Chun *et al.*, 2020 に基づく)。地形図は、OpenStreetMap を使用。

### 白頭山-ウラジオ沖 (B-V; 新井・町田, 1983)

岩 質：詳細不明

岩 相：火山ガラスと遊離結晶で構成される降下火山灰である。火山ガラスは、軽石型と、バブルウォール型が認められる。含まれる主な鉱物は、黒雲母、角閃石、単斜輝石、アルカリ長石を含む (町田・新井, 2003)。

分 布：日本海ウラジオストック沖海底コア St.6920 中に認められる。

年 代：24.5 ka (層位関係から; 町田・新井, 2003; Zhang *et al.*, 2018)

噴出量：詳細不明

### Qixiangzhan 層

岩 質：コメンダイト

岩 相：灰色の溶結した火砕物で構成される。Changbaishan 北頂では、層厚約 50~150 m, 横幅約 400~800 m, 距離約 5 km にかけて露出し、溶岩のような地形を形成する (Pan *et al.*, 2013; Sun *et al.*, 2018)。

分 布：カルデラより南東方向および北方に分布する。火砕物は、遠方にも広く分布し、日本の水月湖においても認められる (Sun *et al.*, 2018)。

年 代：8.1 ka (層位関係から; Sun *et al.*, 2018)

噴出量：詳細不明

## **短期的前駆活動**

Chiangbaishan では、Millennium 噴火堆積物の直下に土壌の薄層を挟み、火砕物が認められることから、Millennium 噴火の直前に火砕噴火が発生していたと考えられる。

### **カルデラ形成期 (10 ka-946 AD)**

本ステージは、大規模火砕噴火である Millennium 噴火とそれに先行して発生した火砕噴火 (Pre-Millennium 噴火) で構成される。ここでは、Millennium 噴火の短期的前駆活動として Pre-Millennium 噴火を取り上げ、その噴出物の記述を行う。

### **Pre-Millennium eruption (西本ほか, 2010; Chen *et al.*, 2016; Sun *et al.*, 2017)**

西本ほか (2010) は、Changbaishan 東方沢において、降下火砕物と火砕流堆積物を記載し、Chen *et al.* (2016), Sun *et al.* (2017) らは、Changbaishan 北頂において、降下火砕物を記載。これらは、岩石学的特徴により対比される (Kuritani *et al.*, 2020)。

岩 質：コメンダイト

岩 相：黄色～灰色の降下軽石層とその上位の火砕サージおよび火砕流堆積物から成る (Fig. 7-7)。近傍の降下軽石層は、色調、火山ガラスの化学組成から 2 つに細分され、下位から灰色を呈する NS-1、淡黄色を呈する NS-2 と呼ばれる (Sun *et al.*, 2017)。降下軽石層を構成する軽石は、主にパンテレライト質である。東方沢において層厚 220 cm であり、下部から中部にかけて上方粗粒化し、上部 60 cm 付近では、細粒化が認められる (西本ほか, 2010)。降下軽石層の上位に堆積する火砕サージ層は、淘汰の良い火山灰からなり、層理等は認められない。火砕流堆積物は、スコリアと軽石および火砕サージと同質の火山灰からなる。火砕流堆積物の上位には、熱雲サージと考えられる火山灰層が層厚 25 cm 以上堆積する。

分 布：詳細な分布域は不明だが、カルデラより北西方向に分布が認められる (西本ほか, 2010)。

年 代：～4 ka ( $^{14}\text{C}$  年代; Liu *et al.*, 1998;  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年代; Yang *et al.*, 2014)

噴出量：詳細不明

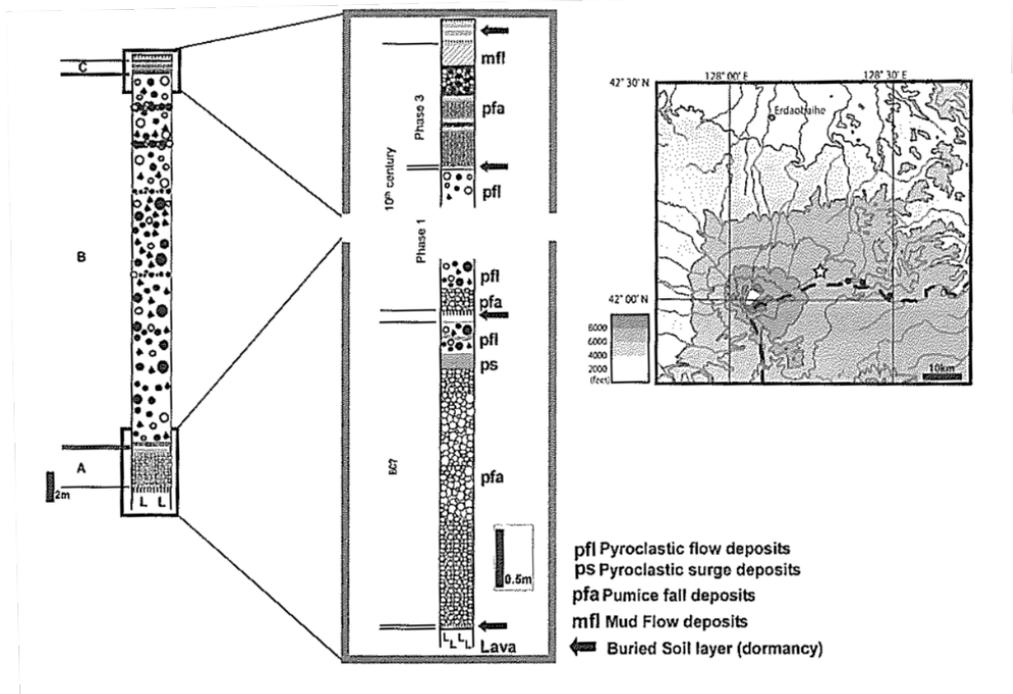


Fig. 7-7. Pre-Millennium 噴火堆積物露頭柱状図 (西本ほか, 2010).

図中の A が Pre-Millennium 噴火堆積物に、B が Millennium 噴火の P1-fall, P1-flow に、C が Millennium 噴火の Unit D 及び後カルデラ期の噴出物に相当する。

## 本噴火

Millennium 噴火の詳細な噴出物記載は、Machida *et al.* (1990) により初めて行われ、それ以降、Horn and Schmincke (2000), 宮本ほか (2004), 西本ほか (2010), Pan *et al.*, (2017) 等によって詳細噴火推移の復元や、噴火に伴うマグマ供給系の変遷が検討されている。ここでは、主に宮本ほか (2004), 西本ほか (2010) をもとに噴出物の記載を行う。

### [各噴出物の特徴]

Millennium 噴火の噴出物は、堆積様式の特徴から、8つにユニットに区分される (Fig. 7-8; 宮本ほか, 2004; 西本ほか, 2010)。P1 flow と Unit B との間には、薄い土壌が存在する。また、Unit C の上部には、侵食面が存在することから、Unit C 堆積後、Unit D 堆積までの間にわずかに時間間隙が存在すると考えられる。

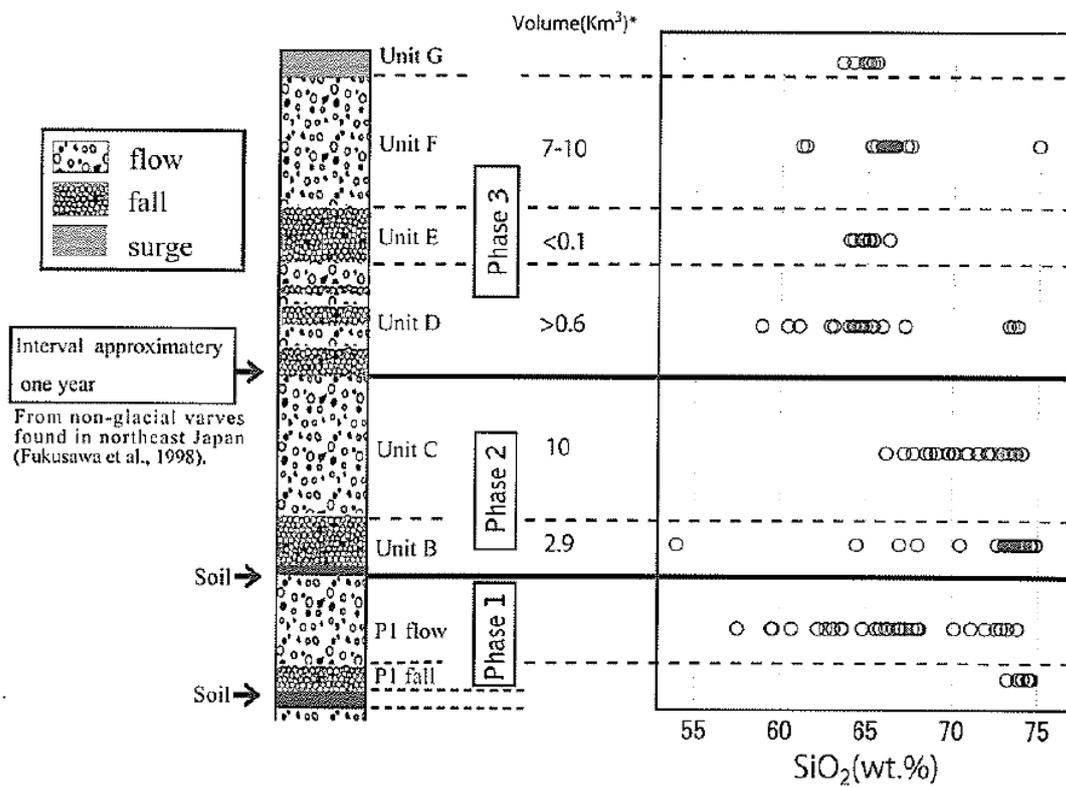


Figure 2. The schematic column showing revised eruptive deposits and units of the 10<sup>th</sup> century eruptions and temporal variation of whole-rock SiO<sub>2</sub> contents for essential materials from each unit. \*: Volume data by Miyamoto *et al.* (2004).

Fig. 7-8. Millennium 噴火の総合柱状図 (西本ほか, 2010).

噴出量は、宮本ほか (2004) による。

### P1 fall (西本ほか, 2010)

西本ほか (2010) で新たに記載された降下火砕堆積物である。

岩 質：粗面岩

岩 相：白色軽石と石質岩片からなる降下軽石堆積物である。軽石は発泡が悪く、その最大粒径は、東方沢の露頭で 3.5 cm である。

構成物：白色軽石，石質岩片

分 布：東方沢の露頭において堆積が認められる。

噴出量：詳細不明

### P1 flow (西本ほか, 2010)

西本ほか (2010) で新たに記載された火砕流堆積物である。P1 flow は、P1 fall を直接覆い堆積する。含まれる炭化木片得られた年代値は、953 cal AD である (八塚ほか, 2009)。

岩 質：粗面岩，コメンダイト

岩 相：複数のフローユニットで構成される火砕流堆積物である。東方沢の露頭における層厚は、20 m である。本火砕流堆積物は、スコリアと軽石、および同質の火山灰からなり、炭化木片を多く含む。層上部では、軽石の含有量が増える。

構成物：スコリア，白色軽石，灰色軽石，縞状軽石，石質岩片，炭化木片

分 布：東方沢の露頭において堆積が認められる。

噴出量：詳細不明

### Unit B (宮本ほか, 2004)

Machida *et al.* (1990) の白頭降下軽石 (B-pfa), Pan *et al.* (2017) の Gray Pumice, Sun *et al.* (2017) の NS-3, Chen *et al.* (2016) の C-3 に相当する。Unit B は、P1 flow との間に土壌の薄層を介し堆積する

岩 質：粗面岩，コメンダイト，玄武岩質粗面安山岩

岩 相：主に白色軽石からなる降下軽石堆積物である。大部分の白色軽石の発泡は悪い。一部チューブ状に発泡した白色軽石が認められる。また、東側国境沿いの円池の湖岸では、粒径の違いから 3 つのフォールユニットに細分される。最上部のフォールユニットでは、特徴的に縞状軽石が認められる。

構成物：白色軽石，縞状軽石，石質岩片（褐色～黒色の火山岩片，赤褐色・緑色の変質岩片，黒曜石，花崗岩片）

分 布：カルデラより南東方向に分布する。等層厚線と等粒径線は異なる分布の傾向を示す (Fig. 7-9)。等粒径線図では、少なくとも 2 つの分布軸を持つ。

噴出量：2.9 km<sup>3</sup> (見かけ体積; 宮本ほか, 2004) \* Pyle 法

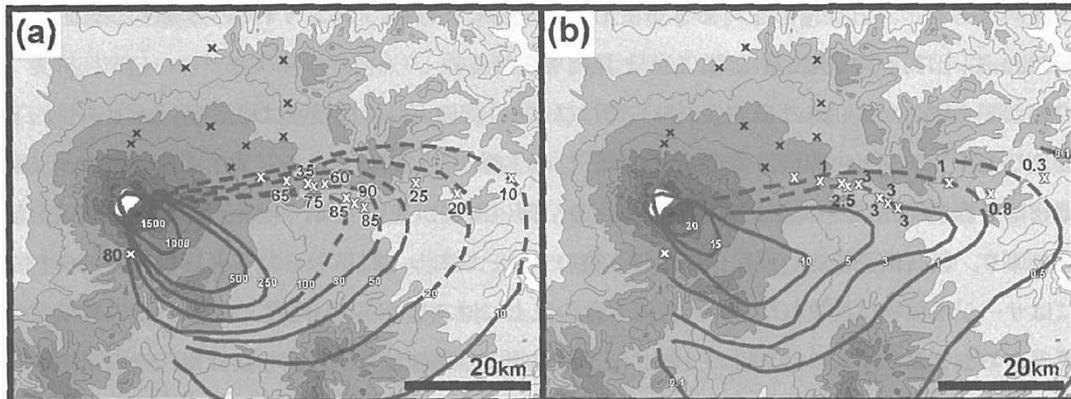


Fig. 7-9. 左: Unit B の等層厚線図, 右: 軽石の等粒径線図 (宮本ほか, 2004).

### Unit C (宮本ほか, 2004)

Machida *et al.* (1990) の長白火砕流 (C-pfl), Pan *et al.* (2017) の Gray ignimbrite に相当する。Unit B を直接覆う火砕物密度流堆積物である。

岩 質: 粗面岩, コメンダイト

岩 相: Unit B と同質の白色軽石とその火山灰からなる火砕流堆積物である。Unit C は、本噴火の中で最も規模が大きく、複数のフローユニットが認められる。カルデラ近傍では、スパッターを多く含み、アグルチネートのような岩相を示すことがあり、それらは、カルデラから離れるにつれ、火砕流に遷移する。カルデラより北東に 30 km 離れた露頭では、フローユニットが 3 枚認められ、それらは、弱い逆級化構造を示す。また尾根部では、基底に火砕サージを伴う。火砕サージ部は主に細粒の火山灰からなり、薄い層理が発達する。また、火砕流の直上には、細粒火山灰層が認められる。本細粒火山灰層は、その層位や、構成物が細粒なことから灰雲サージ層であると考えられる。この灰雲サージ層は、Unit C の最上部にのみ認められ、フローユニット間には存在しない (宮本ほか, 2004)。

構成物: 白色軽石, 火山灰

分 布: カルデラの周囲に広く分布する (Fig. 7-10)。Unit C は、カルデラより 30 km 以内では全方位に、30 km より遠方においても、谷地形に沿って分布している (最大 50 km 遠方でもその存在が認められる)。また、山麓部では、尾根部において認められる。

噴出量:  $10 \text{ km}^3$  (見かけ体積; 宮本ほか, 2004)

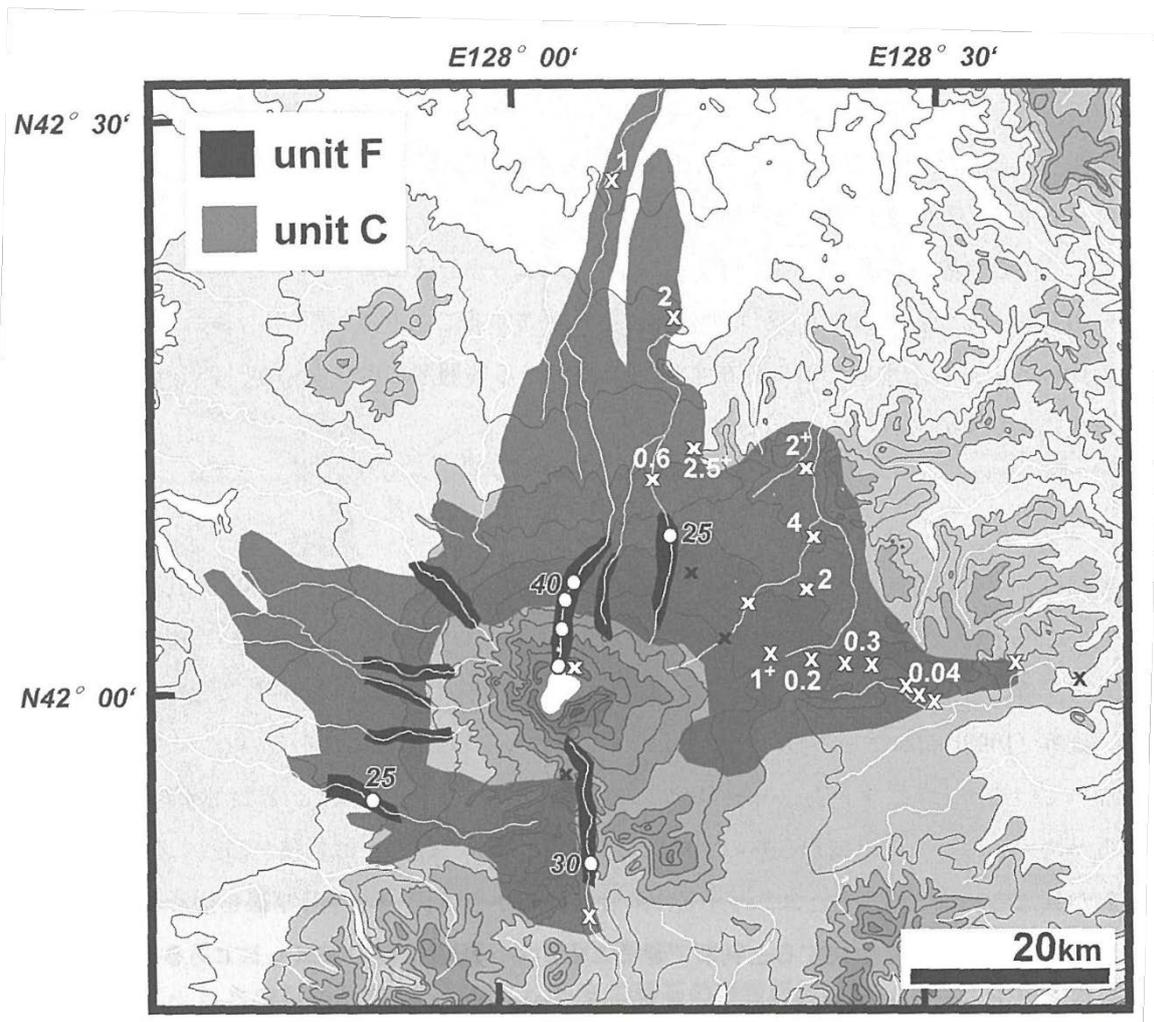


Fig. 7-10. Unit C, F の分布図 (宮本ほか, 2004).

#### Unit D (宮本ほか, 2004)

Machida *et al.* (1990) の円池降下軽石 (E-pfa), 町田・光谷 (1994) の 18 世紀噴火噴出物に相当する。Unit C 上部に侵食痕が認められる事から、Unit D と Unit C には短い時間間隙があったと推察される (西本ほか, 2010)。

岩 質：粗面岩, コメンダイト

岩 相：複数枚の降下軽石層と細粒火山灰層の互層からなる降下火砕物層である。降下軽石層は、主に黄褐色の軽石からなり、黒色～褐色のスコリアをわずかに含む。軽石の発泡は、Unit B と比べ悪い。軽石の粒径は、スコリアと比較し、大きい傾向にある。細粒火山灰層は、褐色を示し、多量のバブルウォール型の火山ガラスを含む。細粒火山灰層の淘汰は悪く、直径約 1 cm の軽石が認められる。

構成物：黄褐色軽石, 黒色～褐色スコリア, 細粒火山灰

分 布：カルデラより東方に分布軸を持つ。Unit B と異なり、分布域は、中国の限られた

地域に分布する (Fig. 7-11).

噴出量 : 0.6 km<sup>3</sup> (見かけ体積; 宮本ほか, 2004)

\* Pyle 法



Fig. 7-11. Unit D の等層厚線図 (宮本ほか, 2004).

#### Unit E (宮本ほか, 2004)

宮本ほか (2004) により初めて記載された降下火砕堆積物である。Pan *et al.* (2016) の Dark pumice, Sun *et al.* (2017) の NS-4, 5, Chen *et al.* (2016) の C-2, 1 に相当する。

岩 質 : 粗面岩

岩 相 : 灰白色の軽石層と黒色スコリア層の互層からなる降下火砕物層である。灰白色軽石と黒色スコリアは、いずれも粗面岩質で斑晶に富むなど類似した特徴を示す。下方より灰白色軽石層から黒色スコリア層へと変化し (もしくは軽石層, スコリア層が繰り返す), 粒径の特徴から複数のフォールユニットに区分できる。最下部の灰白色軽石層は、やや岩片に富み、Pre-Millennium 噴火噴出物の軽石が特徴的に含まれる。また、灰白色軽石層では、ガラス質溶岩片や緑色火山岩片が含まれる。これらの岩片は、黒色スコリア層に向かい量比が減少し、逆に黒曜石岩片の量比が増加する (宮本ほか, 2004)。

構成物 : 灰白色軽石, 黒色スコリア, 類質岩片 (Pre-Millennium 噴火の軽石), 石質岩片 (ガラス質溶岩片, 緑色火山岩片, 黒曜石岩片)

分 布 : 露出が限られており, 分布域の詳細は不明である。北側山腹においてのみ確認され, 北東麓では認められないことから, カルデラより北方から西方にかけて分布主軸をもつ可能性が指摘されている (宮本ほか, 2004; Fig. 7-12)。

噴出量 : <0.1 km<sup>3</sup> (見かけ体積; 宮本ほか, 2004)

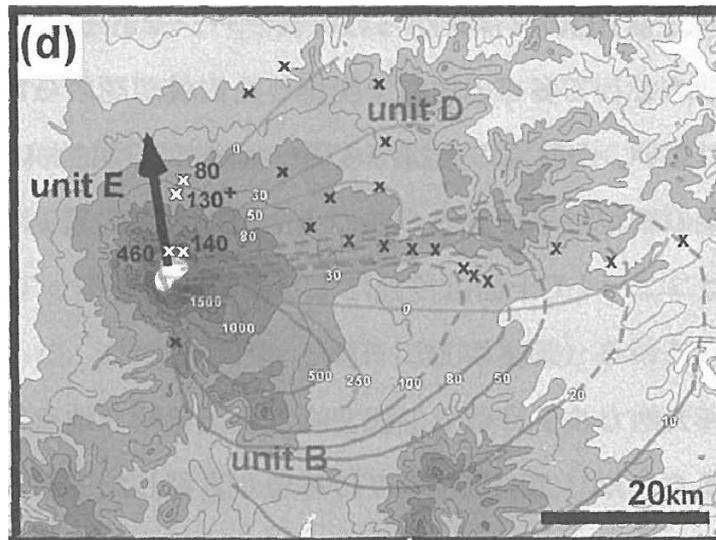


Fig. 7-12. Unit E の分布図 (宮本ほか, 2004).

#### **Unit F (宮本ほか, 2004)**

Machida *et al.* (1990) の白山火砕流 (F-pfa), Pan *et al.* (2017) の Black tuff に相当する。Unit E を直接被覆する。

岩 質：粗面岩

岩 相：粗面岩質の黒色スコリアと灰白色軽石，および同質の褐色火山灰からなる火砕流堆積物である。上記のスコリアと軽石は，Unit E と同質である。本火砕流堆積物は，複数枚のフローユニットが認められ，それぞれスコリア・軽石が逆級化を示し，まれに最上部にスコリア濃集部が認められる。本火砕流堆積物は，大部分が黒色～褐色を示すが，最表層のみ黄色である。宮本ほか (2004) では，これらが同質の構成物からなりことから，最表層の黄色部を酸化による変色としている。

カルデラより北に 15 km の二道白河沿いでは，Unit F は溶結している。またカルデラ近傍の谷部の Unit F は強溶結を示し，黒曜石レンズが顕著に認められる。

また，層上位に灰色～<sup>うぐいす</sup> 鶯色の淘汰の良い火山灰層が認められ，co-ignimbrite ash に相当すると考えられる。

構成物：灰白色軽石，黒色スコリア，褐色火山灰。細粒火山灰

分 布：カルデラ近傍の谷部に限定的に分布する (宮本ほか, 2004; Fig. 7-10).

噴出量：7-10 km<sup>3</sup>

#### **Unit G (宮本ほか, 2004)**

Unit F を直接被覆するベースサージ堆積物。

岩 質：粗面岩

岩 相：黒色～褐色のベースサージ堆積物である。層厚 1～2 cm の粗粒火山灰層で構成される。平行層理が認められる。またこれらの薄層には，降下スコリア層が挟在する。

上方に向かい色調が黒色から褐色へと変化し、細粒溶岩片の量比が増加する。また、ベースサージの噴出に伴い放出したと考えられる岩塊が多く認められる。

構成物：粗粒～細粒火山灰，スコリア片，溶岩片，花崗岩片

分 布：カルデラ北岸の非常に狭い範囲にのみ分布する。

噴出量：詳細不明

## [噴火推移]

Millennium 噴火は、Unit 間の堆積構造や、土壌の有無から、時間間隙を挟み 3 つの噴火サイクルを繰り返したと考えられる (Phase 1, 2, 3; 西本ほか, 2010). この事は、湖底コアから見積もられた白頭山-苦小牧テフラの堆積が 1 年以上継続した事が示唆される。

### Phase 1 (P1 fall, P1 flow の噴出)

Millennium 噴火は、プリニー式噴火に始まり、P1 fall の白色軽石が降下した。その後、噴火は火砕流の発生に移行し、P1 flow を堆積させた。P1 flow の記載がカルデラより東方の露頭に限られることから、火砕流はカルデラより東方に流下したと考えられる。

### Phase 2 (Unit B, Unit C の噴出)

Phase 2 は、Phase 1 の後、ある程度の時間間隙を挟み発生した噴火サイクルである。Phase 2 は、プリニー式噴火で始まり、Unit B を降下した。Unit B は、複数のフローユニットからなる事、複数の分布主軸をもつ事から、複数回の噴煙柱の形成、もしくは、噴煙柱の上空卓越風の大きな変化があったと推察される。その後、噴煙柱が崩壊し、大規模な火砕流が発生した。Unit C をもたらした火砕流は、50 km 遠方や尾根部にも存在することから、低アスペクト比の火砕流であると考えられる。また、宮本ほか (2004) では、フローユニット間に co-ignimbrite ash が存在せず最上部のみ認められることから、火砕流発生が短期間であり、複数の火砕流堆積後に灰神楽が堆積した可能性を指摘している。

### Phase 3 (Unit D, Unit E, Unit F, Unit G の噴出)

Phase 3 は Phase 2 発生後、短い休止期を挟み発生した噴火サイクルである。Phase 3 は Unit D の堆積から始まるがそれらは複数の降下軽石と淘汰の悪い火山灰層の互層であることから、intra-Plinian flow を伴いながら噴煙柱が形成されたと考えられる。Phase 3 における intra-Plinian flow は、礫の粒径が鉛直方向に変化することから、噴煙柱の部分崩壊ではなく、噴煙柱の形成と崩壊が繰り返し発生したことによると考えられる。この活動は、組成のわずかに異なる噴出物 (Unit E) の噴出が起った。その後、活動は火砕流 (Unit F) の噴出へ移行した。本火砕流は、大規模な噴煙柱の形成を伴っていないことから、沸き出し型であったと考えられる。Unit F 噴出後、活動は、カルデラ内におけるマグマ水蒸気爆発に推移し、収束していったと考えられる。

## **後カルデラ活動**

カルデラ形成後 Changbaishan では、1403 年、1668 年、1702 年、1903 年にそれぞれ小規模な爆発的噴火が発生したと考えられる。しかし、1403 年、1668 年、1702 年噴火については、その根拠が古記録に記された異常気象とするものが多く、噴火様式や分布等に議論の余地が残る。

### **1403 AD 噴火**

1403 年にプリニー式（準プリニー式）噴火が発生し、黄色軽石を降下した。露出や報告例に限られることから、詳細な分布は不明だが、カルデラより東方に堆積している。黄色軽石の火山ガラス組成は、Millennium 噴火の粗面岩質本質物質と同質である (Sun *et al.*, 2017)。

### **1668 AD 噴火**

1668 年には、爆発的噴火が発生し、灰色軽石を降下させた。本噴火による本質物質である灰色軽石は、Millennium 噴火のコメンダイト質軽石と同質の火山ガラスをもつ。

### **1702 AD 噴火**

1702 年噴火には、爆発的噴火が発生し、灰色軽石および粗粒火山灰を降下させた。本噴火は、後カルデラ活動の中では最も規模の大きい噴火であると推察される。本噴火堆積物の火山ガラスは、Millennium 噴火と同様に粗面岩質～コメンダイト質の比較的広い組成をもつ。

### **1903 AD 噴火**

1903 年には、マグマ水蒸気爆発が発生し、Liuhaojie Tuff Ring が形成された。本噴火による堆積物は、コメンダイト質の火山ガラスが含まれる。本堆積物の分布は、カルデラの北東壁付近に限られることから、噴火規模は比較的小規模であったと推察される。

## 第7章 参考文献

- 新井房夫・町田 洋 (1983) 日本列島周辺の深海底テフラ・カタログ. 日本列島周辺の深海底堆積物の分析を中心とした第四紀火山活動と気候変動の研究, 昭和 57 年度科学研究費補助金 (総合研究 A) 研究成果報告書, 7-34.
- Chun, J. H., Cheoung, D., Han, S. J., Huh, S. and Yoo, H. S. (2006) Tephrostratigraphy and Paleoenvironments of Marine Core in the Kita-Yamato Trough East Sea/Japan Sea. *Econ. Environ. Geol.*, **39**, 83-93.
- Chun, J. H. and Cheong, D. (2020) Origin of compositional diversity of marine tephra during the late middle Pleistocene B-KY 1 Baekdusan volcanic eruption. *Appl. Sci.*, **10**, 4469.
- Chen, X. Y., Blockley, S. P. E., Tarasov, P. E., Xu, Y. G., McLean, D., Tomlinson, E. L., Albert, P. G., Liu, J. Q., Müller, S., Wagner, M. and Menzies, M.A. (2016) Clarifying the distal to proximal tephrochronology of the Millennium (B-Tm) eruption, Changbaishan Volcano, northeast China. *Quat. Geochronol.*, **33**, 61-75.
- Hakozaki, M., Miyake, F., Nakamura, T., Kimura, K., Masuda, K. and Okuno, M. (2018) Verification of the annual dating of the 10th century baitoushan volcano eruption based on an AD 774-775 radiocarbon spike. *Radiocarbon*, **60**, 261-268.
- Horn, S. and Schmincke, H. U. (2000) Volatile emission during the eruption of Baitoushan Volcano (China/North Korea) ca. 969 AD. *Bull Volcanol.*, **61**, 537-555.
- 池原 研・吉川清志・Chun, J. H. (2004) 日本海中部大和海盆から採取された酸素同位体ステージ 3 に噴出した 3 枚の火山灰. 第四紀研究, **43**, 201-212.
- Machida, H. and Arai, F. (1983) Extensive ash falls in and around the Sea of Japan from large kate Quaternary eruptions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **18**, 151-164.
- 北里 洋 (1975) 男鹿半島上部新生界の地質および年代. 東北大地質古生物研邦報, **75**, 17-49.
- Kuritani, T., Kimura, J., Miyamoto, T., Wei, H., Shimano, T., Maeno, F., Jin, X. and Taniguchi, H. (2009) Intraplate magmatism related to deceleration of upwelling asthenospheric mantle: Implications from the Changbaishan shield basalts, northeast China. *Lithos*, **112**, 247-258.
- Kuritani, T., Nakagawa, M., Nishimoto, J., Yokoyama, T. and Miyamoto, T. (2020) Magma plumbing system for the Millennium Eruption at Changbaishan volcano, China: Constraints from whole-rock U-Th disequilibrium. *Lithos*, **366-367**, 105564.
- Lim, C., Toyada, K., Ikehara, K. and Peate, D. W. (2013) Late Quaternary tephrostratigraphy of Baegdusan and Ulleung volcanoes using marine sediments in the Japan Sea/East Sea. *Quat. Res.*, **80**, 76-87.
- Liu, R., Han, J. and Fyfe, W. S. (1998) The Recent Eruptions of Changbaishan Tianchi

- Volcano. *Sci. Press, Beijing*, 165p.
- Machida, H., Mariwaki, H. and Zhao, D. C. (1990) The recent major eruption of Changbaishan volcano and its environmental effects. *Geogr. Repor. Tokyo Metropol. Univ.*, **25**, 1-20.
- 町田 洋・新井房夫 (1992) 火山灰アトラスー日本列島とその周辺ー. 東京大学出版会, 276p.
- 町田 洋・光谷拓実 (1994) 中国・北朝鮮国境における長白山の噴火年代に関する樹木年輪年代学的研究 (中間報告). *地学雑*, **103**, 424-425.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編 火山灰アトラスー日本列島とその周辺ー. 東京大学出版会, 336p.
- 宮本 毅・中川光弘・田中勇三・吉田まき枝 (2004) 白頭山 10 世紀噴火の噴火推移. 東北大学東北アジア研究センター叢書, **16**, 15-43.
- 西本潤平・中川光弘・宮本 毅・谷口宏充 (2010) 白頭山 10 世紀噴火のマグマ供給系システム: 岩石学および地球化学的手法からの検討. 東北大学東北アジア研究センター叢書, **41**, 71-94.
- Oppenheimer, C., Wacker, L., Xu, J., Galvan, J. D., Stoffel, M., Guillet, S., Corona, C., Sigl, M., Cosmo, N. D., Hajdas, I., Pan, B., Breuker, R., Schneider, L., Esper, J., Fei, Jie., Hammond, J. O. S. and Büntgen, U. (2017) Multi-proxy dating the 'Millennium Eruption' of Changbaishan to late 946 CE. *Quat. Sci. Rev.*, **158**, 164-171.
- Pan, B., Fan, Q., Zhong, G., Xu, J. and Wan, Y., (2013) A discussion on the type of the Qixiangzhan eruption of Changbaishan Tianchi volcano Northeast China. *Seismol. Geol.* **35**, 542-552.
- Pan, B., de Silva, S., Xu, J., Chen, Z., Miggins, D. P. and Wei, H., (2017) The VEI-7 Millennium eruption, Changbaishan-Tianchi volcano, China/DPRK: New field, petrological and chemical constraints on stratigraphy, volcanology, and magma dynamics. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **343**, 45-59.
- 澤田恵美・木村勝彦・八塚慎也・中村俊夫・宮本 毅・中川光弘・長瀬敏郎・菅野均志・金旭・奥野充 (2018) 白頭山北麓, 10 世紀噴火のラハール堆積物の埋没樹木の <sup>14</sup>C ウィグルマッチング年代. 福岡大学理学集報, **48**, 43-48.
- 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ー後期テフラの同定と年代. *第四紀研究*, **36**, 183-196.
- Sun, C., Wang, L., Plunkett, G., You, H., Zhu, Z., Zhang, L., Zhang, B., Chu, G. and Liu, J. (2018) Ash from the Changbaishan Qixiangzhan Eruption: A New Early Holocene Marker Horizon Across East Asia. *J. Geophys. Res. Solid Earth.*, **123**, 6442-6450.
- Sun, C., Liu, J., You, H. and Nemeth, K., (2017) Tephrostratigraphy of Changbaishan volcano, northeast China since the mid-Holocene. *Quat. Sci. Rev.*, **177**, 104-119.
- Wei, H., Wang, Y., Jin, J., Gao, L., Yun, S.H. and Jin, B. (2007) Timescale and evolution of

the intracontinental Tianchi volcanic shield and ignimbrite-forming eruption, Changbaishan, Northeast China. *Lithos*, **96**, 315-324.

Wei, H., Liu, G. and Gill, J. (2013) Review of eruptive activity at Tianchi volcano, Changbaishan, northeast China: implications for possible future eruptions. *Bull. Volcanol.*, **75**, 705-719.

Yang, L., Wang, F., Feng, H., Wu, L. and Shi, W. (2014)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of Holocene volcanic activity at Changbaishan Tianchi volcano, Northeast China. *Quat. Geochrono.*, **21**, 106-114.

八塚慎也・奥野 充・中村俊夫・木村勝彦・澤田恵美・瀬戸間洋平・宮本 毅・金 奎漢・森脇 広・長瀬敏郎・金 旭・金 伯禄・高橋利彦・谷口宏充 (2009) 白頭山北東麓の埋没樹幹の  $^{14}\text{C}$  ウィグルマッピング. 日本火山学会講演予稿集, 50p.

Zhang, M., Guo, Z., Liu, J., Liu, G., Zhang, L., Lei, M., Zhao, W., Ma, L., Sepe, V. and Ventura, G. (2018) The intraplate Changbaishan volcanic field (China/North Korea): A review on eruptive history, magma genesis, geodynamic significance, recent dynamics and potential hazards. *Earth Sci. Rev.*, **187**, 19-52.