

阿蘇・御嶽・箱根・萌消火山の 噴火推移と大規模噴火の前駆活動

金田泰明^{1,2}・宝田晋治¹・河野裕希¹
Yasuaki Kaneda, Shinji Takarada and Yuhki Kohno

¹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

²現所属: 原子力規制庁
Nuclear Regulation Authority

Kaneda, Y., Takarada, S. and Kohno, Y. (2024) Volcanic activities and eruption sequence of the large-scale eruption at Aso, Ontake, Hakone and Moikeshi volcanoes. Open-File Report of the Geological Survey of Japan, AIST, no. 753, 50p.

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、後カルデラ活動を既存文献から取りまとめた。ここでは、阿蘇3噴火 (ca. 133 ka)、御岳第一噴火 (ca. 100 ka)、箱根東京噴火 (ca. 60 ka)、萌消噴火 (ca. 11 ka) について報告する。

The characteristics of ejecta and eruption sequence of large-scale volcanic eruptions, the long-term and short-term activities before and after these eruptions, and post-caldera activities are compiled from published papers. Four caldera forming-eruptions: the Aso-3 eruption (133 ka), the Ontake 1st eruption (100 ka), the Hakone-Tokyo eruption (66 ka), and the Moikeshi eruption (11 ka) are reported.

はじめに

大規模噴火は、数十 km³ を超える大量のマグマを爆発的に放出する自然現象である。ひとたび大規模噴火が発生すると、高温の火砕流や降下火砕物が広域に堆積し、甚大な被害を及ぼすことが想定される (たとえば, Tatsumi and Suzuki-Kamata, 2014; Self, 2015; Guillet *et al.*, 2017)。大規模噴火の発生プロセスを理解し、中長期的な活動予測を行うことは、火山学のみならず防災・減災上も非常に重要である。しかし、大規模噴火は発生頻度が低く、その発生プロセスの総合的理解や中長期的な発生予測のための知見は分散しており、利便性に乏しい。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 (たとえば, 西野ほか, 2019; 金田ほか, 2020, 2021)。本研究資料集では、Volcanic Explosivity Index (VEI: Newhall and Self, 1982) 7 の阿蘇3噴火、萌消噴火、VEI 6 の御岳第一噴火、箱根東京噴火について報告する。

阿蘇3噴火

噴出源：阿蘇カルデラ

年代：ca. 133 ka (長橋ほか, 2007)

総噴出量：見かけ体積 350–179 km³ (Table 1–1; 星住ほか, 2024)

マグマ噴出量 (DRE) 140–72 km³ (星住ほか, 2024)

Table 1–1. 阿蘇3噴火堆積物の体積推定(星住ほか, 2024 に基づく)

Aso-3 ignimbrite	Bulk Volume (km ³)	Tephra fall volume calculation methods		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
	DRE (km ³)	100	40	
Aso-3W pumice fall	Bulk Volume (km ³)	>4	4	40
	DRE (km ³)	>1.6	1.6	15
Aso-3 Ash	Bulk Volume (km ³)	>76	75	210
	DRE (km ³)	>30	30	85
Total	Bulk Volume (km ³)	>180	ca. 180	ca. 350
	DRE (km ³)	>70	ca. 70	ca. 140

references *a*: Legros (2000)

b: Fierstein and Nathenson (1992)

c: Segment integration method (Takarada et al., 2001)

阿蘇火山における主な噴出物

後カルデラ期

- ・ 阿蘇中央火口丘群
- ・ 後カルデラテフラ群

カルデラ形成期

- ・ 阿蘇4火砕流堆積物
- ・ 阿蘇4/3テフラ群
- ・ **阿蘇3火砕流堆積物**
- ・ 阿蘇3/2テフラ群
- ・ 阿蘇2火砕流堆積物

- ・ 阿蘇 2/1 溶岩・テフラ群
- ・ 阿蘇 1 火砕流堆積物

先カルデラ期

- ・ 古閑溶岩

本噴火の推移：プリニー式噴火→大規模火砕流

分布：火砕流堆積物が阿蘇カルデラ周辺に厚く堆積する。また火砕流に伴い放出された co-ignimbrite ash (Aso-3 Ash) は東北地方にまで分布する (Fig. 1-1)。



Figure 1-1. 阿蘇 3 火砕流堆積物および噴火に伴い放出された co-ignimbrite ash の分布域 (町田・新井, 1994). ©東京地学協会 (町田・新井, 1992)©東京大学出版会に基づく.

阿蘇火山の火山活動

古閑溶岩

古閑溶岩(Aso-KL；田島ほか, 2017)は、阿蘇カルデラの外輪山を構成する先阿蘇火山岩類(小野, 1965)の上位に土壌を介し堆積する溶岩である(Figs. 1-2, 1-3)。本溶岩の全岩化学組成は、先阿蘇火山岩類のそれと比べアルカリ元素に富み、他の阿蘇火山噴出物と類似する(田島ほか, 2017)。以上の特徴から、古閑溶岩は阿蘇火山の最初期の噴出物であると考えられる(田島ほか, 2017)。

岩 質：玄武岩質安山岩(全岩 $\text{SiO}_2=55$ wt.%; 田島ほか, 2017)

岩 相：斜長石の巨斑晶に富んだ溶岩である。本堆積物の下部・中央部は、それぞれ板状節理、柱状節理が発達する塊状溶岩で、上部はブロック状溶岩である。塊状溶岩の上部およびブロック状溶岩の部分には1-4 mm程度の気泡が多く認められる。ブロック状溶岩は、上部に向かい風化火山灰土に漸移する(田島ほか, 2017)。

分 布：カルデラ壁東部の坂梨付近で認められるも、詳細な分布域は不明である。溶岩の傾斜方向から、阿蘇カルデラ内に噴出源があったと考えられる(田島ほか, 2017)。

年 代：275±11 ka (K-Ar 年代；田島ほか 2017)

噴出量：詳細不明

阿蘇1火砕流堆積物

阿蘇1噴火の堆積物(Aso-1；小野・曾屋, 1968；田島ほか, 2017；星住ほか, 2017)は、降下火砕堆積物(Aso-1P)とそれを覆う火砕流堆積物(Aso-1A)からなる(Fig. 1-4)。火砕流堆積物は、デイサイト質軽石を含むAso-1Aと玄武岩質安山岩質スコリアを含むAso-1Bからなる(田島ほか, 2017)。また、活動末期には、降下軽石(Aso-1C)がカルデラ東方に堆積したと考えられる(星住ほか, 2017)。

岩 質：輝石デイサイト(全岩 $\text{SiO}_2=66-68$ wt.%; 小野ほか, 1977; 田島ほか, 2017)

玄武岩質安山岩(全岩 $\text{SiO}_2=55$ wt.%; 田島ほか, 2017)

岩 相：Aso-1Pは、複数のフローユニットからなる降下火砕堆積物である。下位から、黄白色～やや赤みを帯びた白色軽石からなる淘汰の良い層、細粒火山灰層、白色軽石層が認められる。軽石は粘土化が進んでいる。斜長石斑晶やガラス質岩片を含む。

Aso-1Aは、Aso-1Pを覆う火砕流堆積物である。火砕流の大部分は溶結している。溶結した火砕流は、脱ガラス化の進んだ本質レンズや先阿蘇火山岩類に由来する石質岩片を多く含む。カルデラ壁東部の坂梨地域では、非溶結のAso-1Aが認められる。非溶結部は複数のフローユニットからなり、それらの基底部には層厚5～10 cmの異質岩片濃集部が認められる(田島ほか, 2017)。

Aso-1Bは、Aso-1Aを覆う淘汰の悪い非～弱溶結の火砕流堆積物である。赤色火山灰を基質にもち、様々な色調のやや扁平したスコリアや本質レンズを含む。また、径5 mm以下の異質岩片がわずかに認められる。

Aso-1C は、カルデラ東方に堆積した降下軽石である。

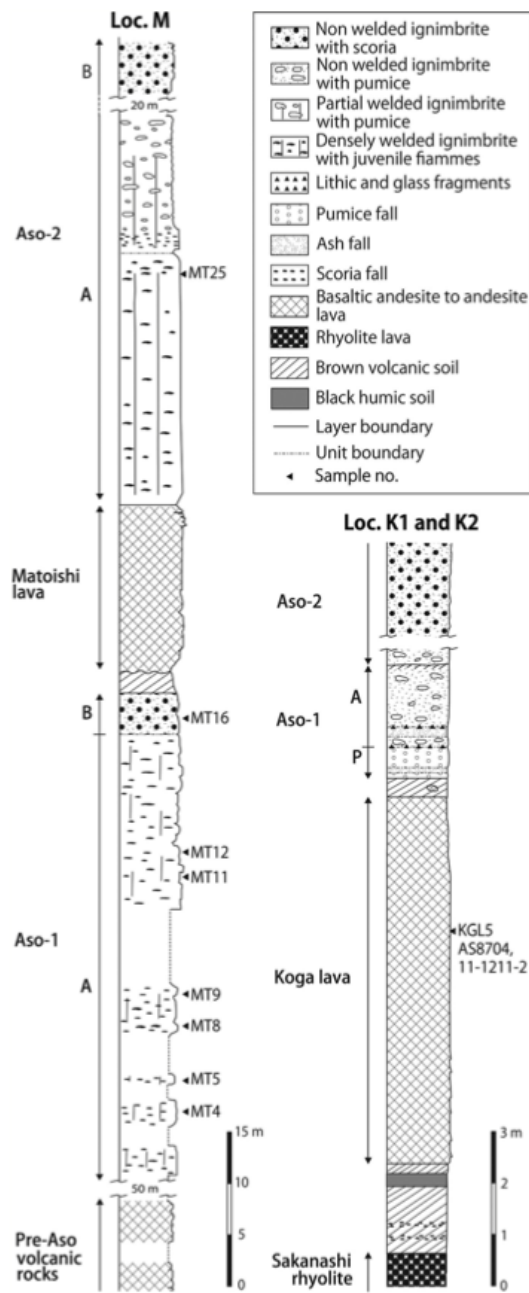


Fig. 2. Columnar section at Matoishi, northwestern Aso caldera wall and schematic columnar section compiled from localities K1 and K2 at Koga, eastern caldera wall. For locations see Fig. 1.

Figure 1-2. 古閑溶岩および阿蘇 1 火砕流堆積物を含む柱状図 (田島ほか, 2017).

分 布：カルデラ周囲に分布する (Fig. 1-5; 小野・渡辺, 1983).

年 代：266±14 ka (K-Ar 年代; 松本ほか, 1991)

噴出量：見かけ体積 50 km³ (日本の第四紀火山カタログ, 1999) (根拠不明)



Figure1-3. 古閑溶岩の露頭写真 (田島ほか, 2017).

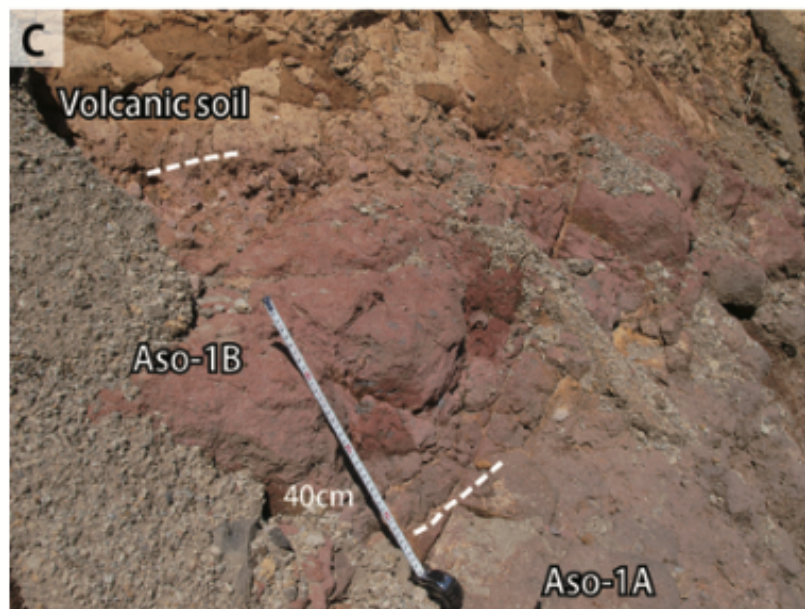


Figure 1-4. 阿蘇 1 火砕流堆積物の露頭写真 (田島ほか, 2017).

阿蘇 2/1 降下火砕物

岩 質：詳細不明

岩 相：著しく風化し土壌化の進んだ降下火山灰と降下軽石の互層である。部分的に水成堆積層や土壌を挟む。火山灰は黄褐色を呈し、土壌化が進んでいる。降下軽石は白色を呈し、粘土化が進んでいる(小野, 1965)。

分 布：石賀・宮城付近で認められる(小野ほか, 1977)。

年 代：詳細不明

噴出量：詳細不明

阿蘇 2/1 溶岩

阿蘇 1 噴火と阿蘇 2 噴火の間に噴出したと考えられる溶岩の総称である。^{まどいし} 的溶岩、象ヶ鼻溶岩、玉来川溶岩、秋田溶岩、岩戸溶岩、瀬田裏溶岩などが該当する。これらのうち、秋田溶岩、岩戸溶岩、瀬田裏溶岩は渡辺・小野(1969)により命名された。

岩 質：阿蘇 2/1 溶岩のうち、的溶岩は安山岩質である(田島ほか, 2017)

岩 相：的溶岩は、斑晶に富む安山岩質溶岩である(田島ほか, 2017)。玉来川溶岩は、黒～灰色を呈し、基底部が角礫化している。表層は、多孔質のスコリア状部を持つ。一般的に厚さが薄く、細粒の気泡を含む層相を示す。河原立西方では、緻密で結晶度が高く、灰色を呈する(小野ほか, 1977)。

分 布：カルデラ北西壁に的溶岩が、北壁に象ヶ鼻溶岩が分布する。玉来川溶岩は、カルデラ東方に広く分布するが、カルデラ縁には認められない。

年 代：145±8 ka, 223±34 ka (K-Ar 年代; 松本ほか, 1991)

噴出量：詳細不明

阿蘇 2 火砕流堆積物

阿蘇 2 噴火の堆積物(Aso-2; 小野・曾屋, 1968)は、主に 4 つのサブユニットからなる火砕堆積物である(下位から Aso-2R, Aso-2A, Aso-2B, Aso-2T; 鎌田, 1997)。なお、小野ほか(1997)では、Aso-2A の下位に、薄い降下スコリア堆積物(Aso-2V)を、Aso-2T の下位に降下軽石堆積物(Aso-2TL)を記載し、阿蘇 2 噴火の初期の堆積物としているが、その詳細は不明である。

ここでは、阿蘇 2 火砕流堆積物の主な構成要素である Aso-2R, Aso-2A, Aso-2B, Aso-2T についてその特徴を述べる。

岩 質：単斜輝石直方輝石含有デイサイト(鎌田, 1997)

無斑晶安山岩(全岩 SiO₂=56–60 wt.%; 鎌田, 1997; 小野ほか, 1977)

岩 相：Aso-2R は、玄武岩質～安山岩質の強溶結した火砕流堆積物である。レオモルフィックな特徴をもち、均質な溶岩のような層相を示す(小野・渡辺, 1974)。

Aso-2A は、強く溶結した火砕流堆積物である。無斑晶～極少量の斜長石斑晶を含む本質レンズを含む。層上部は弱～強溶結へと遷移し、灰色を呈する多孔質の岩相を示す。北に流下し層厚が薄くなるにつれ、後述の Aso-2B との区別が困難に

なる(鎌田, 1997).

Aso-2B は、非~弱溶結したスコリア流堆積物である。黒色細粒火山灰を基質にもち、黒色スコリアを本質物質とする。異質岩片に乏しい。黒色スコリアは、無斑晶質でよく発泡した岩相を示す。また、2 cm 以下の白色安山岩ゼノリスを特徴的に含む(鎌田, 1997).

Aso-2T は、比較的分級の良い赤褐色スコリアからなる降下スコリア堆積物である。明瞭な級化構造が認められる(鎌田, 1997).

分 布：カルデラの周囲に分布する (Fig. 1-5；小野・渡辺, 1983).

Aso-2T は、カルデラより東に分布主軸をもつ (Fig. 1-6; 小野ほか, 1977).

年 代：141±5 ka (K-Ar 年代; 松本ほか, 1991)

噴出量：見かけ体積 50 km³ (日本の第四紀火山カタログ, 1999) (根拠不明)

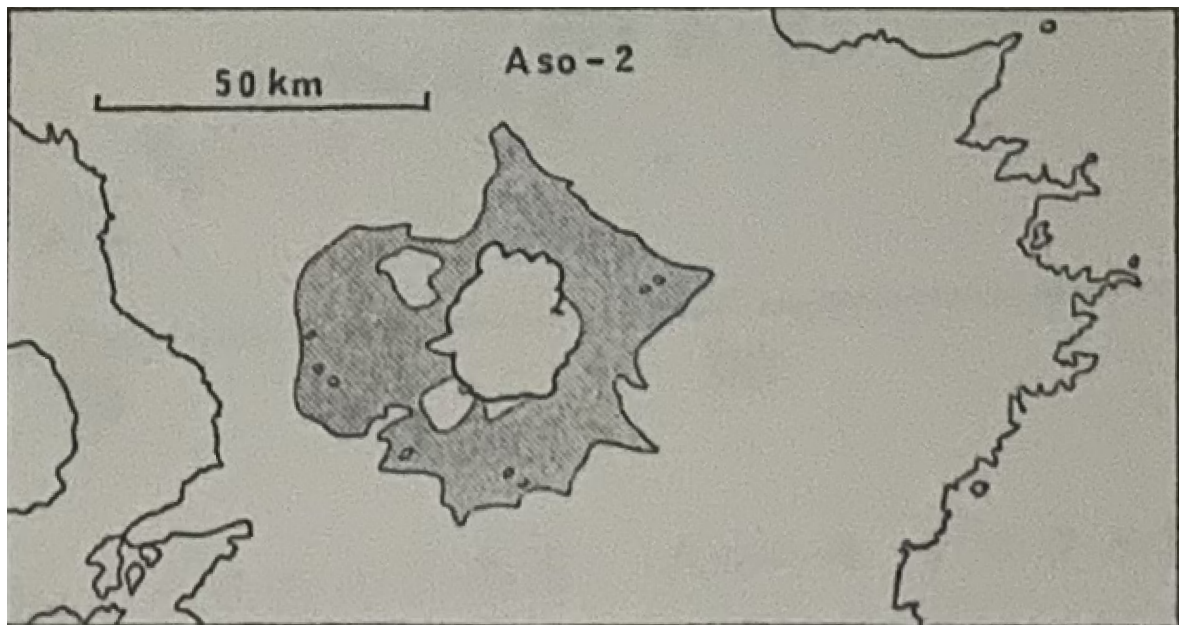


Figure 1-5. 阿蘇2火砕流堆積物の分布域(小野・渡辺, 1983).

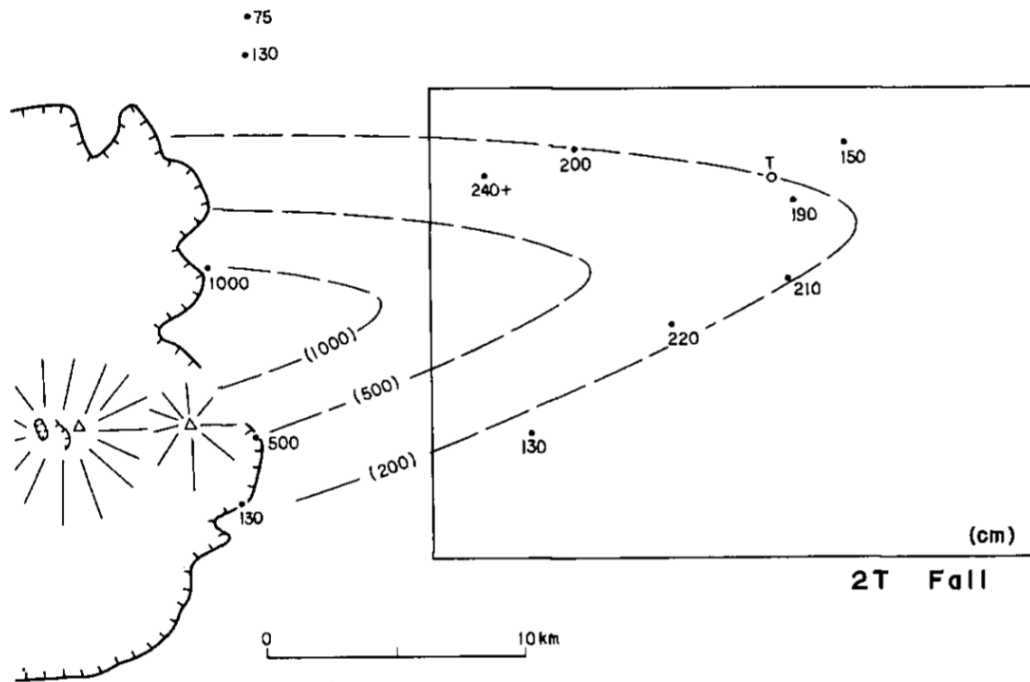


Figure 1-6. Aso-2T の等層厚線 (小野ほか, 1977).

図中の数値は層厚 (cm) を示す.

阿蘇 3/2 降下火砕堆積物

5つの降下火砕堆積物(下位から Aso-3/2S, Aso-3/2R, Aso-3/2OPQ, Aso-3/2U, Aso-3/2U')で構成される (Fig. 1-7; Aso-3/2; 小野ほか, 1977; 星住ほか, 2017). 上位の堆積物ほど, SiO_2 に富む傾向が認められる (星住ほか, 2017). これらのうち, Aso-3/2S, Aso-3/2R, Aso-3/2OPQ, Aso-3/2U は, 風化火山灰層を挟在し阿蘇 3 火砕流堆積物に覆われる (小野ほか, 1977).

岩 質: デイサイト (星住ほか, 2017)

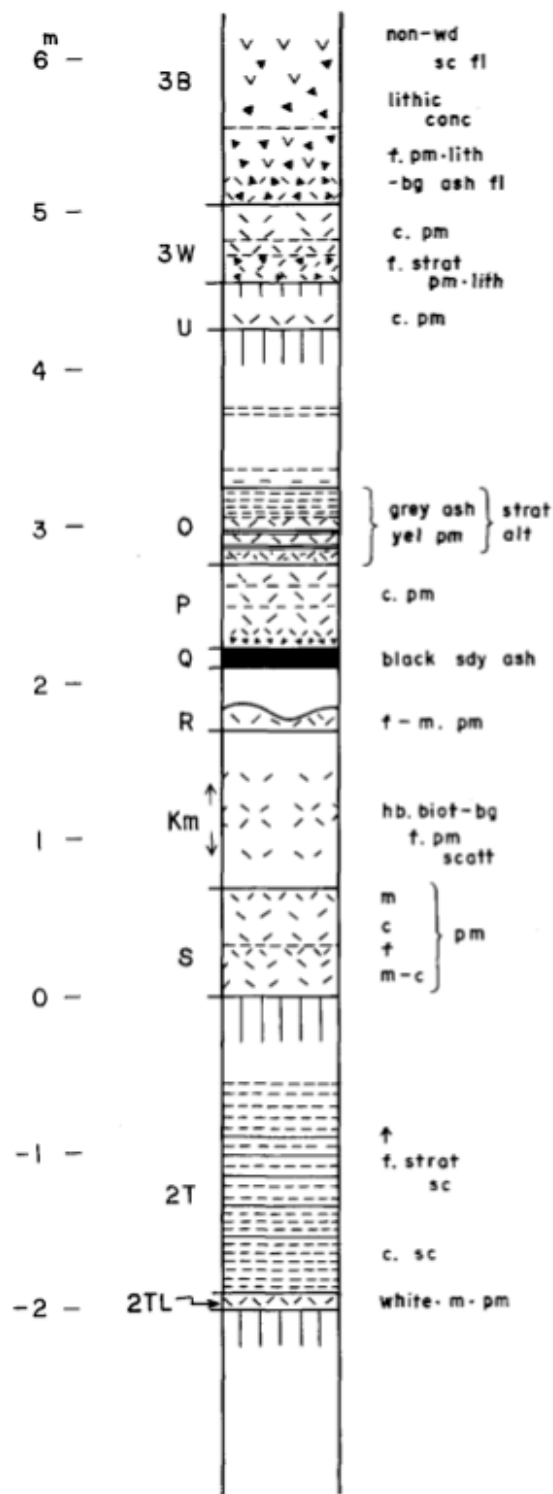
岩 相: Aso-3/2S, Aso-3/2R, Aso-3/2U は, 白~黄白色を呈する降下軽石層である.

Aso-3/2OPQ は, 降下軽石と降下火山灰の互層であり, 下部から灰色火山灰と黄白色細粒軽石の互層, 白~黄白色の降下軽石層, 黒色を呈するガラス質の中~細粒火山灰である (小野ほか, 1977).

分 布: Aso-3/2OPQ は, カルデラより東に分布主軸をもつ (Fig. 1-8; 小野ほか, 1977).

年 代: 詳細不明

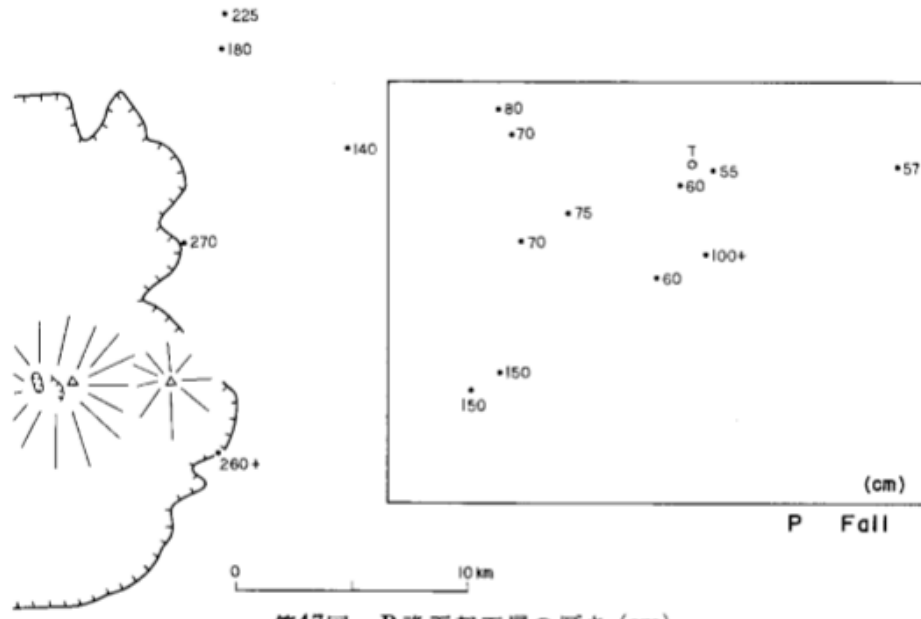
噴出量: 見かけ体積 0.24 km^3 (Aso-3/2OPQ の火山灰部分; 須藤ほか, 2007)



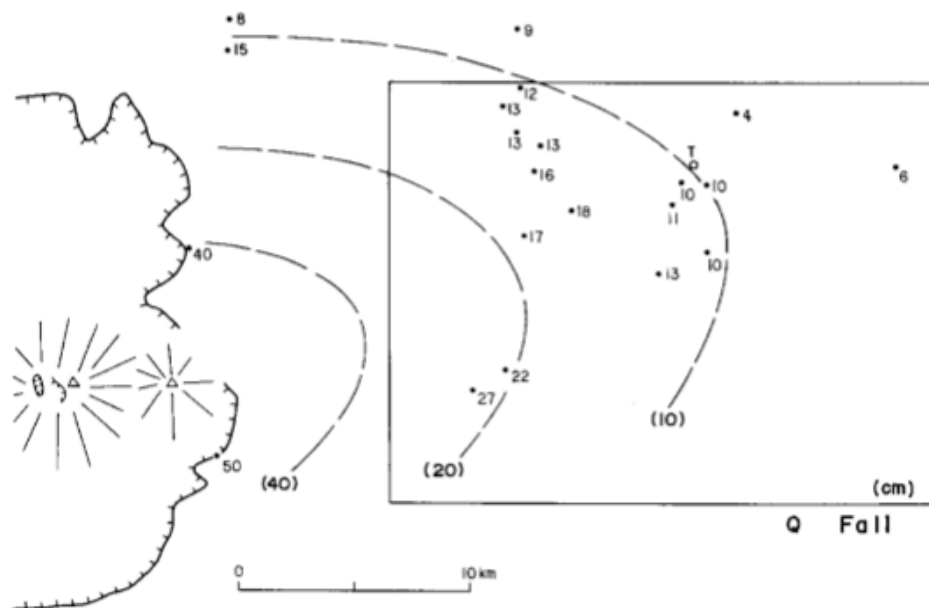
第46図 Aso-2, Aso-3 両サイクル間の降下火砕物の竹田市街における標準柱状図。2TL・2T; Aso-2 サイクル, S・R・Q・P・O・U; Aso-2 と Aso-3 との間各サイクル, 3W; Aso-3 サイクル, 3B; Aso-3B 火砕流, Km: 九重火山宮城火砕流の層厚。

Standard column of air-fall pyroclastics between Aso-2 and Aso-3 cycles at Taketa city. Pyroclastic falls; 2TL・2T: Aso-2, S・R・Q・P・O・U: cycles between Aso-2 and Aso-3, 3W: Aso-3, 3B: Aso-3B Pyroclastic Flow, Km: horizon of the Miyagi Pyroclastic Flow from Kuju Volcano.

Figure 1-7. 阿蘇 3/2 降下火砕堆積物の模式柱状図 (小野ほか, 1977).
 下位から Aso-3/2S, Aso-3/2R, Aso-3/2OPQ, Aso-3/2U の順で堆積する。図中の Km は、九重火山起源の宮城火砕流堆積物の末端相に対応する。また、Aso-3/2U' は、星住ほか (2017) の新称であり、本図中には記述されていない。



第47図 P 降下軽石層の厚さ (cm)
Thickness of P Pumice Fall in centimeters.



第48図 Q 降下火山灰層の厚さ (cm)
Thickness of Q Ash Fall in centimeters.

Figure 1-8. Aso-3/2OPQ の分布域 (小野ほか, 1977).

短期的前駆活動

阿蘇3 噴火の直前に発生したと考えられるような噴出物は認められていない。

阿蘇3噴火

[各噴出物の特徴]

阿蘇3火砕流堆積物

阿蘇3火砕流堆積物(Aso-3; 小野・曾屋, 1968; 小野ほか, 1977)は, 下位から降下軽石堆積物(Aso-3W), 火砕流堆積物(Aso-3A, Aso-3B, Aso-3C)で構成される(小野ほか, 1977). これらのサブユニット間には, 風化土壌などの時間間隙を示すものではなく, 一連の噴火による堆積物と考えられる(鎌田, 1997).

Aso-3W

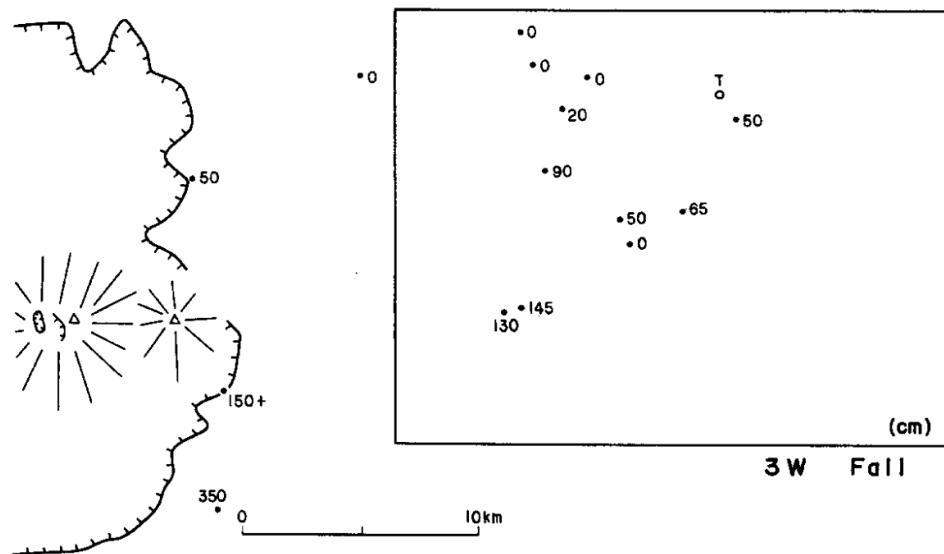
岩質: 輝石デイサイト(鎌田, 1997)

岩相: 白~桃白~淡灰色を呈する分級の良い軽石からなる降下軽石堆積物である. 下部はやや細粒で石質岩片を多く含み, 細かく成層している. 上部はより粗粒で石質岩片は少ない.

構成物: 白~桃白~淡灰色軽石, 石質岩片

分布: カルデラより東方に分布が認められる(Fig. 1-9; 小野ほか, 1977).

噴出量: 詳細不明



第50図 Aso-3W 降下軽石層の厚さ (cm)
Thickness of Aso-3W Pumice Fall in centimeters.

Figure 1-9. Aso-3W の層厚 (cm) と分布 (小野ほか, 1977).

Aso-3A

岩質: 直方輝石単斜輝石デイサイト(全岩 $\text{SiO}_2=63-66$ wt.%; 鎌田, 1997)

岩相: 非溶結~強溶結の火砕流堆積物である. 大部分は, 非溶結の層相を示すが, 大谷川上流の陽目谷付近では堆積物下部の弱溶結が, 竹田市南西部二俣では, 強溶結が認められる(小野ほか, 1977).

ガラス質火山灰を基質にもち、よく発泡した軽石を含む。基質には、径数 cm 以下の黒曜石岩片が顕著に認められる(鎌田, 1997)。大型の軽石は、しばしば内部に空隙が認められる。軽石とガラス質火山灰は、白(桃白～黄白)色または(帯紫灰)褐色を示す場合がある。阿蘇カルデラより西方の山鹿^{やまが}地域では、Aso-3A の下部が白色を、上部が褐色を示すが、両者の境界は、露出が欠如しており不明である(小野ほか, 1977)。

溶結部は、灰赤色～帯紫青灰色の脱ガラス化した基質を持ち、強く扁平した本質レンズを含む。本質レンズは、光沢のある黒色ガラスで斜長石斑晶をごく少量含む(小野ほか, 1977)。

構成物：ガラス質火山灰、軽石(白色～褐色、縞状)、黒曜石岩片、異質岩片(安山岩質溶岩・変質火山岩片)

分布：カルデラの周囲に厚く分布する。

噴出量：詳細不明

Aso-3B

岩質：無斑晶質安山岩(本質レンズ, 全岩 $\text{SiO}_2=63 \text{ wt.}\%$; 小野ほか, 1977)

岩相：非溶結～強溶結のスコリア流堆積物であり、阿蘇 3 火砕流堆積物の主体をなすサブユニットである。非溶結層は、灰褐～灰色火山灰を基質にもち、やや重くしまった層相を示す。暗褐～黒色のスコリア、非変質の安山岩片、黒色ガラス片を含む。スコリアは、無斑晶質で比較的発泡が良い(小野ほか, 1977)。中～弱溶結相は、灰黒色の基質に黒色の本質レンズを含む。一般的な柱状節理の他に、横臥した放射状の特徴的な節理が認められる(小野ほか, 1977)。強溶結相は、基質・本質レンズとも黒色の緻密なガラスからなる(Fig. 1-10)。風化面では、光沢を失い褐色を呈する。

Aso-3B に特徴的に含まれる黒色ガラス片は、緻密～やや発泡している無斑晶質安山岩を示す。この黒色ガラス片は、非溶結部においても扁平な形状を示すほか、強溶結部でもやや丸みを帯びており、著しく扁平している本質レンズとは、異なる粘性・温度であった本質(～類質)岩片であると考えられる。

Aso-3B の基底部には岩片濃集部が認められる。岩片濃集部は、黒色の無斑晶安山岩質ガラス片、類質の軽石、安山岩片(異質)で構成され、非溶結で基質火山灰の乏しい層相を示す。本質岩片濃集部は、成層した軽石層(Aso-3W あるいは、Aso-2 以降の降下堆積物)をブロック状に取り込んだ様子が認められる(小野ほか, 1977)。

構成物：スコリア、類質岩片(黒曜石岩片)、異質岩片(安山岩片)

分布：詳細不明

噴出量：詳細不明



Figure 1-10. Aso-3B の強溶結部の露頭写真 (小野ほか, 1977).
扁平度の高い本質レンズと丸みを帯びたあまり扁平していない黒曜石岩片が認められる.

Aso-3C

岩 質：直方輝石単斜輝石安山岩質 (全岩 $\text{SiO}_2=55 \text{ wt.}\%$, 鎌田, 1997)

岩 相：非溶結のスコリア流堆積物である。含まれるスコリアは斑晶質であることから、Aso-3B と区別することが可能である。スコリアは、発泡が良くなく、表面にはパン皮状の亀裂が認められる。スコリアの長径は、30 cm 以下で長円体形または、リボン状を示す。

構成物：スコリア (斑晶質)，類質岩片 (微文象石英閃緑斑岩)，異質岩片 (新第三紀火山岩)

分 布：阿蘇カルデラより北東方に分布する。

噴出量：詳細不明

[噴火推移]

プリニー式噴火の発生 (Aso-3W)

阿蘇3噴火は、プリニー式噴火から始まり、降下軽石 (Aso-3W) を堆積させた。Aso-3W の下部は、成層構造の発達した細粒火山灰であるのに対し、上部はより粗粒で石質岩片含有量も少なくなる傾向が見られる。噴出物層序から、本噴火は細粒火山灰を放出するフェーズから軽石主体の噴火へ推移したことが示唆される。

大規模火砕流の発生 (Aso-3A, Aso-3B, Aso-3C)

Aso-3A は、Aso-3W に引き続き発生した火砕流堆積物である。Aso-3W, Aso-3A 間に時間間隙を示す証拠がない事から一連の噴火である。両者の関係は不明である。

その後、大規模なスコリア流堆積物 (Aso-3B) が発生した。Aso-3B は、最も噴出量の大きいサブユニットであることから本噴火の最盛期にあたる。

その後、Aso-3B とは異なる岩石学的特徴を示すスコリア流堆積物 (Aso-3C) が発生した。

阿蘇 3 噴火後の火山活動

阿蘇火山では、阿蘇 3 噴火後、128 ka 以降、やや小規模な玄武岩～玄武岩質安山岩スコリアを噴出する活動が間欠的 (2–8 千年間隔) にあった。これらの噴火は VEI4 程度である (星住ほか, 2022)。108 ka 以降も、間欠的に火砕噴火が発生したが、噴火間隔が 1~2 千年と短くなり、輝石デイサイト質の軽石を噴出するように変化した。また噴火規模も大きく変化し (VEI4–5)、97.7 ka に最大規模のプリニー式噴火 (Aso-4/3ABCD) が発生した。その後、阿蘇火山は、約 1 万年の間比較的静穏となる。堆積物として残存しているのは、89.2 ka に発生した VEI4 の黒雲母デイサイト質の降下火砕物堆積物 (Aso-4/3Y) のみである。

88 ka (長橋ほか, 2007; 星住ほか, 2023) に、阿蘇 4 火砕流噴火が発生した。阿蘇 4 火砕流噴火は、小規模な降下軽石の噴出に始まり、小規模火砕流や降下火山灰の噴出に移行し、その後グランドレイヤーを含む大規模火砕流を噴出する噴火へ推移した。本噴火に伴い発生した降下火山灰は、日本全土に及ぶ (北海道東部で 15 cm ; 町田ほか, 1985)。

阿蘇 4 火砕流噴火後の阿蘇火山は、中央火口丘群の活動に移行する。少なくとも 17 の火砕流が存在するほか、ボーリングコアより、複数の火山岩類が埋没していることが明らかになっている (宇都ほか, 1994 ; 星住ほか, 1997)。中央火口丘群の活動は、主に玄武岩から玄武岩質安山岩が卓越する。

御岳第一噴火

噴出源：御嶽山

年代：100±18 ka (TL 年代；下岡ほか, 2009)

総噴出量：見かけ体積 50 km³ (町田, 1990)

御嶽火山の主な噴出物

後カルデラ期

- ・ 新期御岳上部テフラ群
- ・ 福島テフラ (Fk)
- ・ Pm-III'
- ・ Pm-III
- ・ Pm-II'

カルデラ形成期

- ・ Pm-II
- ・ **御岳第一軽石 (Pm-I)**
- ・ 大洞軽石流堆積物？
- ・ Pm-I'？

先カルデラ期

- ・ 古期御嶽火山活動

本噴火の推移：詳細な噴火推移は不明である。プリニー式噴火が発生した。

分布：御嶽火山より東方に分布主軸をもち、信州から関東にかけて広域に分布する (Fig. 2-1)。

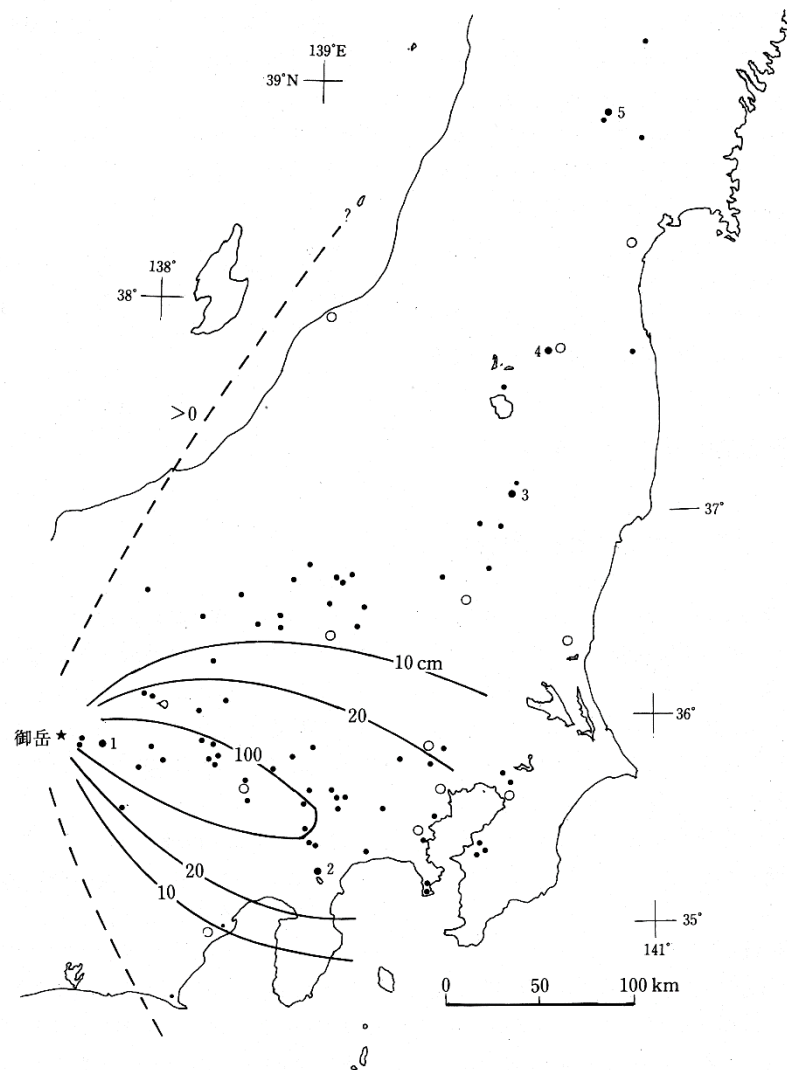


Figure 2-1. 御岳第一軽石の等層厚線図 (町田・新井, 2003).

各等層厚線の数値は cm である.

御嶽火山の長期的火山活動

御嶽火山では、御岳第一噴火発生以前に、玄武岩～安山岩質マグマにより、成層火山を形成する活動が起こった。この成層火山は、古期御嶽火山 (山田・小林, 1988) と呼ばれ、御岳第一噴火を含む新期御嶽火山とは異なる活動時期を示すことから、ここでは、古期御嶽火山の活動の概略を述べるに留める。

古期御嶽火山は、東部火山群、土浦沢火山、上俵山火山、三笠山火山の 4 つの火山体からなる (Fig. 2-2)。これらは、侵食や山体崩壊、後の火山活動などにより、山体中央部は失われている。現存する古期御嶽火山の体積は、約 40 km^3 と見積もられる (竹内ほか, 1988)。

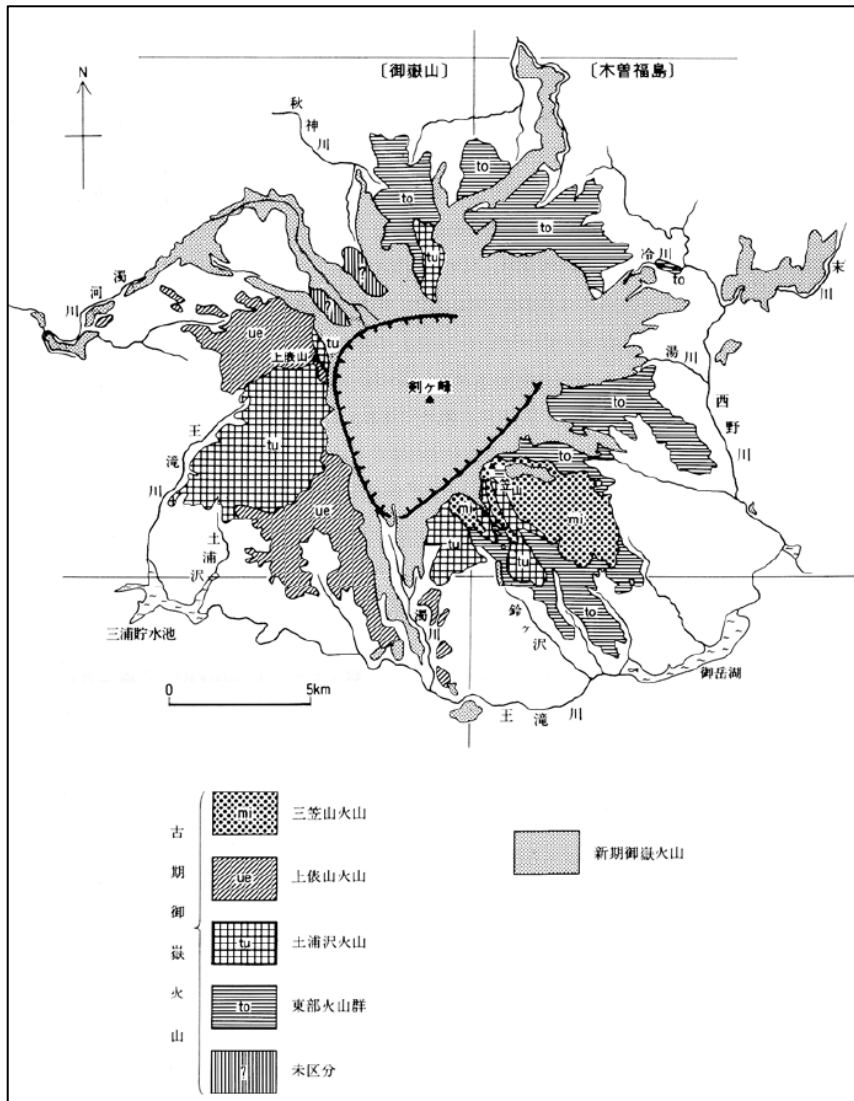


Figure 2-2. 古期御嶽火山を構成する火山群の分布図 (竹内ほか, 1998).

火山体の区分は、松本・小林 (1999) に基づく。

東部火山噴出物

東部火山噴出物 (小林, 1993) は、Fig. 2-2 のような南北方向に長く延びた分布域を示す事、南部、北部で噴出物に違い認められる事から、複数の噴出源があったと推定されている。小林 (1993) や竹内ほか (1998), 松本・小林 (1999) では、便宜的に東部火山噴出物を高根地区と王滝-三岳地区に細分している。

岩質：安山岩，一部玄武岩を含む。

岩相：いずれの地区においても溶岩および火砕物で構成される。高根地区は、山体を復元するとほぼ円錐に近い形体になり、継子岳東方に噴出中心があったと考えられる (竹内ほか, 1998; 松本・小林, 1999)。火砕物は成層構造が発達し、一部非溶結の

火砕流を含む (Fig. 2-3).

王滝-三岳地区は、残存する地形や分布から、剣ヶ峰南東付近に噴出中心があったと考えられる (竹内ほか, 1998; 松本・小林, 1999). 下部では安山岩と軽石片に富む土石流堆積物, 上部では角閃石安山岩溶岩 (Fig. 2-4) が広く分布する.

分 布 : 御嶽火山の北西-北東斜面 (高根地区) および東-南斜面 (王滝-三岳地区) にかけて分布する (Fig. 2-2).

年 代 : 750-650 ka (K-Ar 年代 ; 松本・小林, 1999)

噴出量 : 高根地区, 11.55 km³; 王滝-三岳地区, 11.13 km³ (小林, 1993)

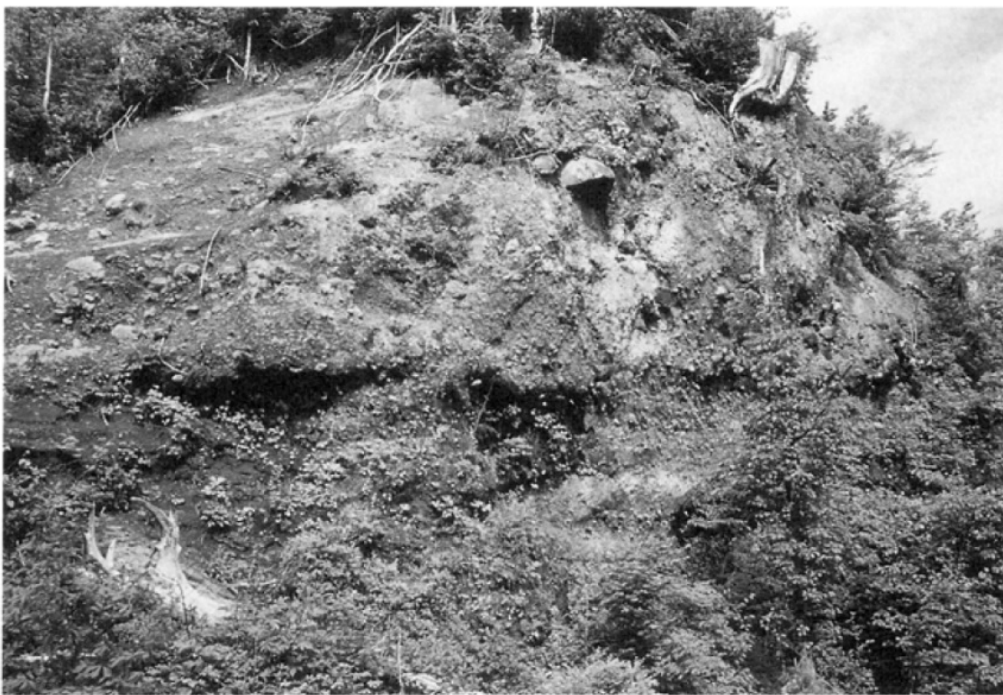


Figure. 2-3. 東部火山群, 高根地区の露頭写真 (竹内ほか, 1998).

冷川, 尾ノ島の滝の北西約 13 km の露頭. 弱い成層構造が発達する. 本質岩塊に富む非溶結の火砕流堆積物が卓越する.



Figure 2-4. 東部火山群，王滝-三岳地区の露頭写真 (竹内ほか, 1998).
王滝村，清滝の露頭．溶岩の層厚約 30 m 以上で板状節理が発達する．

土浦沢火山噴出物

土浦沢火山の火口は現在の剣ヶ峰付近と推定される．

岩 質：安山岩，デイサイト，玄武岩

岩 相：溶岩および火砕物からなる．溶岩には部分的に板状節理が発達する (Fig. 2-5).

分 布：御嶽火山の南西斜面，南東斜面の王滝川支流溝口川付近および継子岳の北斜面に分布する (Fig. 2-2; 小林, 1993).

年 代：680–570 ka (K-Ar 年代；松本・小林, 1999)

噴出量：7.7 km³ (松本・小林, 1999)



Figure 2-5. 土浦沢火山噴出物の露頭写真 (竹内ほか, 1998).
溝口川付近の林道沿いの露頭. 板状節理の発達した溶岩.

上俵山火山噴出物

上俵山火山の火口は継子岳付近と推定される.

岩 質：角閃石安山岩, 単斜輝石直方輝石安山岩

岩 相：溶岩および火砕物から成る.

分 布：御嶽火山西方山腹の上俵山を山頂とする北北西に傾斜する斜面, 南山腹の三浦山から南に延びる尾根部に分布する (Fig. 2-2; 小林, 1993).

年 代：540–520 ka (K-Ar 年代; 松本・小林, 1999)

噴出量：7.2 km³ (松本・小林, 1999)

三笠山火山噴出物

三笠山火山の火口は, 現在の三笠山のやや西北西付近と推定される. 東部火山噴出物および土浦沢火山噴出物を覆い堆積する.

岩 質：かんらん石含有角閃石単斜輝石直方輝石安山岩

岩 相：主に安山岩溶岩から成る. 露頭として確認できるのは, 10 m 程度であるが (Fig. 2-6), 三笠山付近における最大層厚は, 150 m に達する (小林, 1993).

分 布：御嶽火山南東斜面の三笠山から南東にかけて分布する (Fig. 2-2).

年 代：440–420 ka (K-Ar 年代; 松本・小林, 1999)

噴出量：3.2 km³ (松本・小林, 1999)



Figure 2-6. 三笠山火山噴出物の露頭写真 (竹内ほか, 1998).
三笠山山頂の南斜面の露頭. 露頭の高さは約 10 m に及ぶ.

短期的前駆活動

御嶽火山では、御岳第一噴火に先立ち、デイサイト～流紋岩質の降下火砕物 (Pm-I; Kobayashi and Shimizu, 1965) を噴出する活動が認められた。Pm-I' と御岳第一軽石との間には、他起源のテフラ (木祖火山灰; 竹本ほか, 1987) および土壌が挟在するが、Pm-I' の正確な噴出年代は不明である。本論では Pm-I' の活動を短期的前駆活動として記述する。

Pm-I'

2 枚のフォールユニットからなる降下火砕堆積物である (Kobayashi and Shimizu, 1965). 竹本ほか (1987) は、下部のフォールユニットを^{かみだれ}上垂軽石 (KmP)、上部のフォールユニットを Pm-I'-2 と呼んだ。

岩 質：デイサイト～流紋岩

岩 相：よく発泡した白色軽石および火山灰からなる (竹本ほか, 1987). 少量のジルコンが含まれる (小林ほか, 1975).

分 布：Pm-I' 下部 (上垂軽石) は、御嶽火山より東方に約 90 km, Pm-I' 上部 (Pm-I'-2) は、御嶽火山より東方に約 20 km 分布が認められる (Fig. 2-7).

年 代：詳細不明

乏しい。Pm-Iと同様に少量のジルコンを含む(小林ほか, 1975)。風化により白色
 漆喰化したものや黄~オレンジ色化しているものが認められる(小林ほか, 1967)。
 構成物：軽石、石質岩片(花崗岩類, デイサイト(濃飛流紋岩類?), 堆積岩類), 黒曜石
 分 布：給源より東方にかけて広く分布する。分布は関東にまで及ぶ(Fig. 2-1)。
 噴出量：見かけ体積 50 km³(町田, 1990)

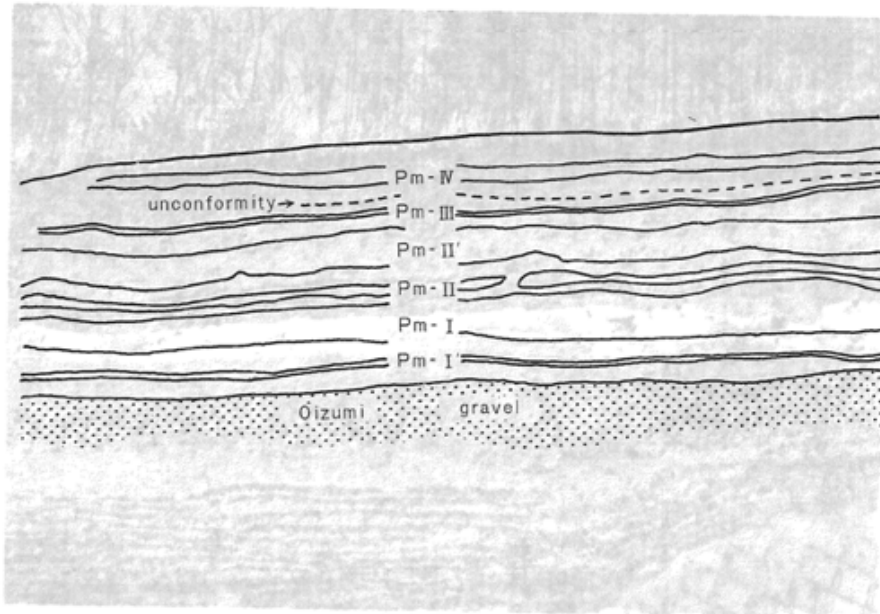


Figure 2-8. 御岳第一軽石の露頭写真 (Kobayashi and Shimizu, 1965).

[噴火推移]

大規模降下火砕物の噴出

御岳第一噴火は、プリニー式噴火による御岳第一軽石を噴出した。詳細な噴火推移は不明であるが、複数のフォールユニットが認められることから、断続的な噴煙柱の形成、もしくは噴煙高度の変化があった可能性がある。なお、古期御嶽火山の中心部に形成された直径 5–6 km のカルデラが、御岳第一噴火によってのみ形成されたかは不明であり、前後の爆発的噴火 (e.g., Pm-I', Pm-II, 大洞火砕流) による寄与も考えられる。

御岳第一噴火後の火山活動

御嶽火山では、御岳第一噴火後も流紋岩質～デイサイト質の活動が継続し、多数の降下火砕物、火砕流を堆積させた (大洞火砕流堆積物, Pm-II, Pm-II', Pm-III, Pm-III', 福島テフラ (Fk))。流紋岩質～デイサイト質マグマによる活動は、約 8 万年前まで継続し、現在の火山体の南西側を形成した (山崎ほか, 2023)。その後、8~5 万年前にかけては、安山岩質マグマの活動に移行した。この時期は噴出率が比較的高く、溶岩や多数の火砕物を噴出し、大規模な火山体を形成したと考えられる (竹本ほか, 1987; 山崎ほか, 2023)。その後、4~3 万年前には、継子岳および四ノ池付近を中心として、北麓に 10 km 以上分布する溶岩流を含む北～北東麓の安山岩の火山体が形成され、約 3~1 万年前には一ノ池を中心とし、剣ヶ峰を含む火山体が形成された (山崎ほか, 2023)。

最近 1 万年間の御嶽火山では、複数回の水蒸気噴火と少なくとも 5 回のマグマ噴火が発生している (たとえば, 山田・小林, 1988; 木股ほか, 1991; 及川, 2008; 鈴木ほか, 2007, 2009a, 2009b; Yamaoka *et al.*, 2016)。

箱根東京噴火

噴出源：箱根カルデラ（強羅カルデラ）

年代：66 ± 5.5 ka（酸素同位体層序；青木ほか，2008）

総噴出量：10–100 km³（見かけ体積；町田・新井，2003）

箱根火山の主な噴出物 長井・高橋（2008）の区分に従い層位順に記載。

- ・ 後期中央火口形成期（ステージ 7）
- ・ 爆発的噴火期（ステージ 6）
 - 箱根中央火口丘テフラ 1-7（下位から， 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,）
 - 箱根三色旗軽石
 - 先神山テフラ
 - 池尻溶岩，^{すわはら}諏訪原テフラ
 - **箱根東京軽石**
 - 三浦軽石
 - ^{あんじん}安針軽石
 - ^{おぼらだい}小原台軽石（火砕流）
 - 箱根 Da-5 軽石
- ・ 前期中央火口丘形成期（ステージ 5）
- ・ 古期カルデラおよび独立単成火山群形成期（ステージ 4）
- ・ 安山岩質成層火山群・独立単成火山群形成期（ステージ 3）
- ・ 玄武岩~安山岩質成層火山群形成期（ステージ 2）
- ・ 初期陸上火山活動期（ステージ 1）

本噴火の推移：プリニー式噴火→大規模火砕流

分布：箱根火山の周辺および東北東方向に広く分布する（Fig. 3-1）。

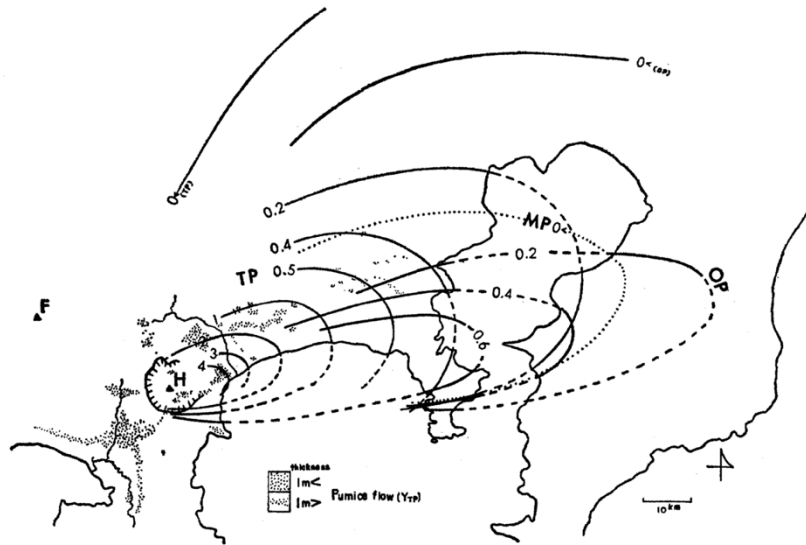


Fig. 7. Thickness contour map of the remarkable pumice layers in the upper Kissawa and the lower Musashino loam (OP; Obaradai pumice, MP; Miura pumice, TP; Tokyo pumice), and the distribution of the pumice flow erupted immediately after the TP. thickness in meter

Figure 3-1. 箱根東京軽石 (TP) の等層厚線とそれに伴う火砕流堆積物の分布域 (町田, 1971).

箱根東京軽石 (TP) は、箱根火山東北東に分布主軸をもち関東に広く分布する。図中の OP, MP はそれぞれ、箱根小原台軽石、箱根三浦軽石を示す。等層厚線の単位はメートルである。©日本第四紀学会

長期的火山活動

箱根火山の地質図を Fig. 3-2 に、鳥瞰図を Fig. 3-3 に示す。長井・高橋 (2008) は、箱根火山の活動史を 7 ステージに区分し、古いものからステージ 1, ステージ 2...ステージ 7 とした。本章の対象である箱根東京噴火はステージ 6 の活動にあたる。ここでは、古期火山体形成期から古期カルデラ形成期であるステージ 1-5 の活動については概要を述べるに留め、ステージ 6 の活動を主な前駆活動としてその特徴を示す。

箱根火山地域における陸域での火山活動は、0.70 Ma 以降から始まったと考えられる (長井・高橋, 2008)。ステージ 1 (0.65-0.35 Ma) は、主に玄武岩～玄武岩質安山岩質マグマによる成層火山・単成火山群を形成する活動が起こった (Fig. 3-3)。天昭山溶岩グループ、畑宿溶岩グループ、狩川溶岩グループ、天唐沢溶岩グループ、荻野溶岩グループ溶岩、湯河原火山体などがステージ 1 の噴出物に該当する。ステージ 1 は、比較的苦鉄質な火山活動による噴出物が主であるが、湯河原火山体から多賀火山地域には流紋岩質の溶岩ドームが存在するなど、珪長質な火山活動もわずかに認められる (長井・高橋, 2008)。

ステージ 2 (0.35-0.27 Ma) は、主にソレライト質の玄武岩～安山岩質マグマが噴出し、成層火山群を形成した。金時山溶岩グループ、乙女峠溶岩グループ、明星ヶ岳火山体、白

糸川溶岩グループ、山伏峠火山体、深良火山体、堀木沢溶岩グループなどが相当する。

ステージ3 (0.27–0.23 Ma) は、主にソレアイト質の玄武岩～安山岩質マグマが噴出し、成層火山および単成火山群を形成した。丸岳^{まるたけ}火山体、長尾峠溶岩グループ、明神ヶ岳火山体、板屋窪溶岩グループ、米神溶岩グループ、根府川溶岩グループ、江之浦溶岩グループ、海ノ平^{うみのたいら}火山体などが相当する。

ステージ4 (0.23–0.13 Ma) は、町田 (1977) の古期カルデラ形成期にあたる。本ステージは、主にソレアイト質の安山岩～流紋岩質マグマが噴出し、カルデラおよび独立単成火山を形成した。大猿山溶岩グループ、岩溶岩グループ、白磯溶岩グループ、本小松溶岩グループ、真鶴^{まなづる}溶岩グループ、幕山^{まくやま}溶岩、深沢^{ふかさわ}溶岩グループ、寒沢^{かんざわ}溶岩グループ、仙石火山体、東山溶岩^{とうやま}、神山溶岩などが相当する。

ステージ5 (0.13–0.08 Ma) は、前期中央火口丘形成期であり、従来の新期外輪山活動期に相当する。本ステージは、古期カルデラ形成後の活動であり、その活動位置が、カルデラ壁内部のみに限られるといった特徴がある (長井・高橋, 2008)。畑宿デイサイト溶岩、畑宿流紋岩質火砕流、真鶴軽石層、湯葉溶岩、湯本茶屋^{ゆもとちやや}溶岩、宮ノ下溶岩、鷹巣山山頂溶岩ドーム・火砕流堆積物、弁天山溶岩、浅間山^{せんげんやま}溶岩グループ、二子山下部溶岩、屏風山溶岩などが相当する。

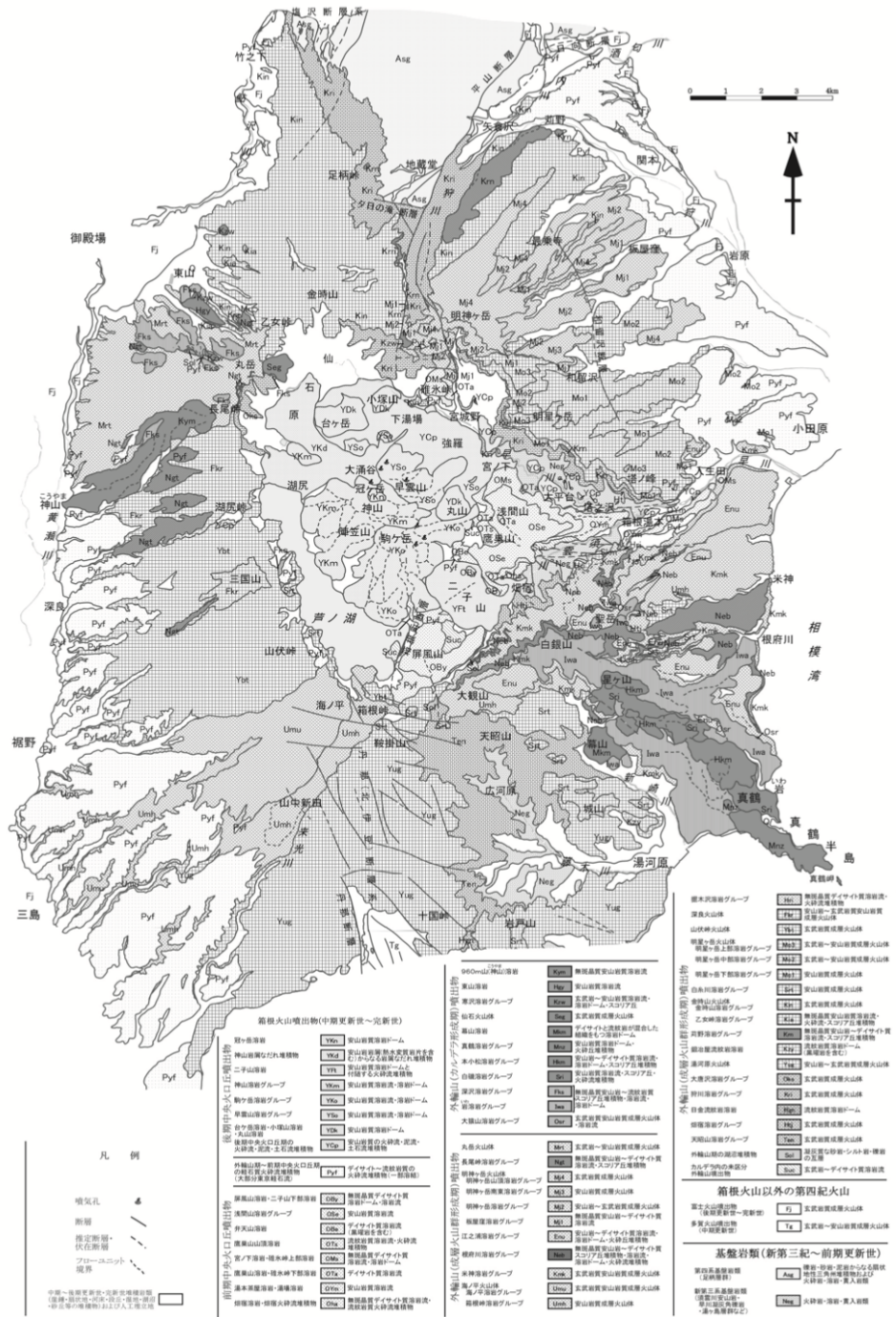


Figure 3-2. 箱根火山の地質図 (長井・高橋, 2008; 日本地質学会国立公園地質リーフレット1「箱根火山」編集委員会, 2007 ©日本地質学会)

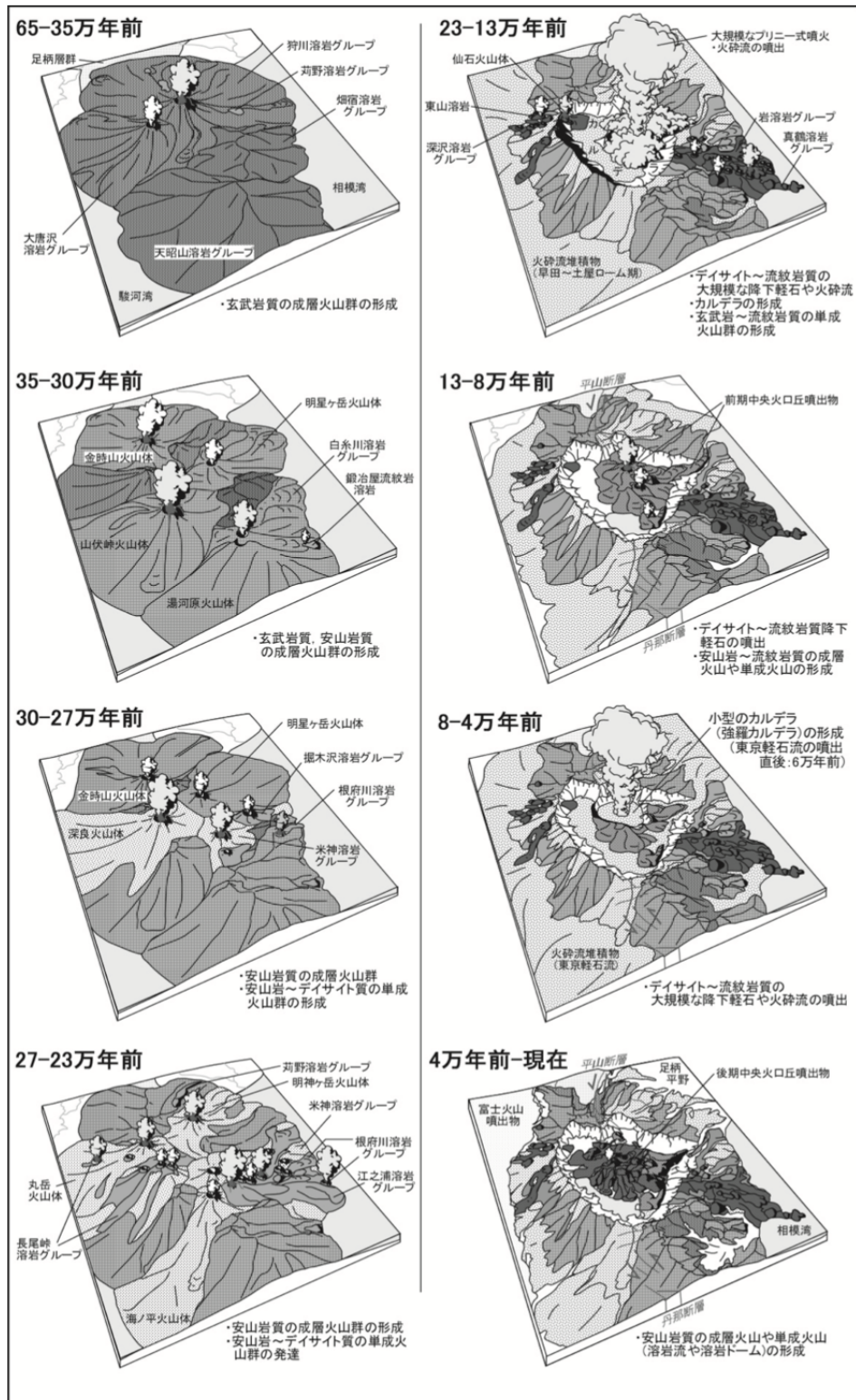


Figure 3-3. 各ステージにおける箱根火山の鳥瞰図 (長井・高橋, 2008; 日本地質学会国立公園地質リーフレット1「箱根火山」編集委員会, 2007 ©日本地質学会)

ステージ 6 は、本対象噴火である、箱根東京噴火を含み、複数の火砕噴火を発生させた (Fig. 3-4)。以下に、各噴火の堆積物を古い順に記述する。

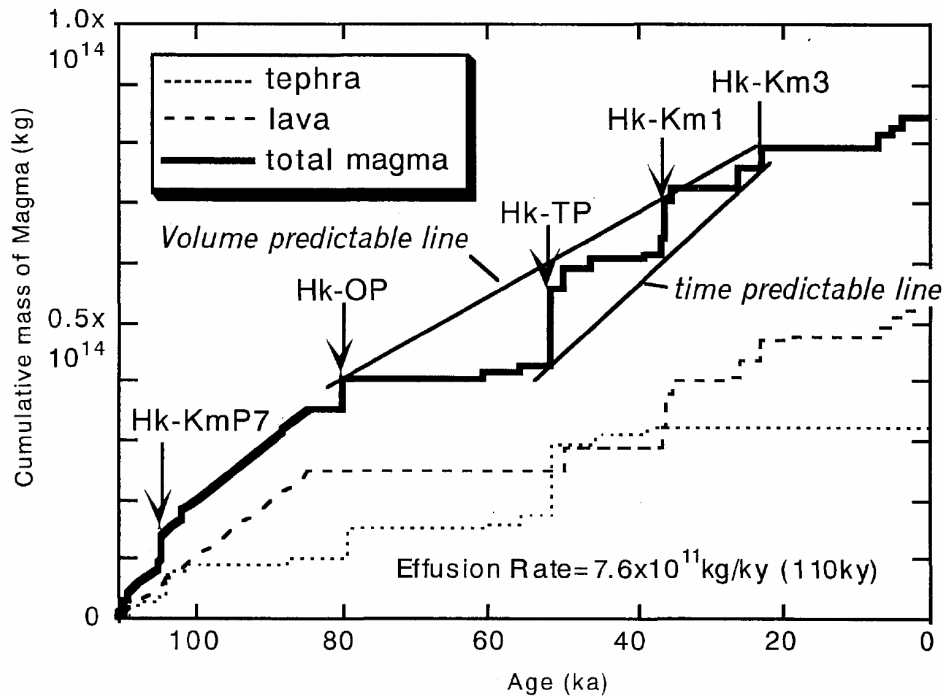


Figure 3-4. 箱根火山の最近 11 万年間の噴出量積算図. 小林 (1999) の Figure 7 より抜粋.
©日本第四紀学会

箱根 Da-5 軽石

白尾 (1981) が達磨火山北東麓で、小山ほか (1995) が東伊豆地域でそれぞれ記載した降下火砕堆積物である。葉室 (1978) のオレンジパミスに相当する。

岩 相：淘汰の良い黄色の降下軽石堆積物である。肉眼で認められる多量の斜長石斑晶を含む。斑晶鉱物として、斜長石、直方輝石、単斜輝石、カンラン石、磁鉄鉱を含む。

分 布：箱根火山より南方に分布主軸をもつ (Fig. 3-5；小林・小山, 1996)。大仁町、修繕寺町北部、中伊豆町において層厚 5-10 cm、最大粒径 4 mm である (小山ほか, 1995)。

年 代：88.5 ka (広域テフラと土壌の層厚から年代を内挿；小山ほか, 1995)

噴出量： 4.2×10^{11} kg (小林・小山, 1996)

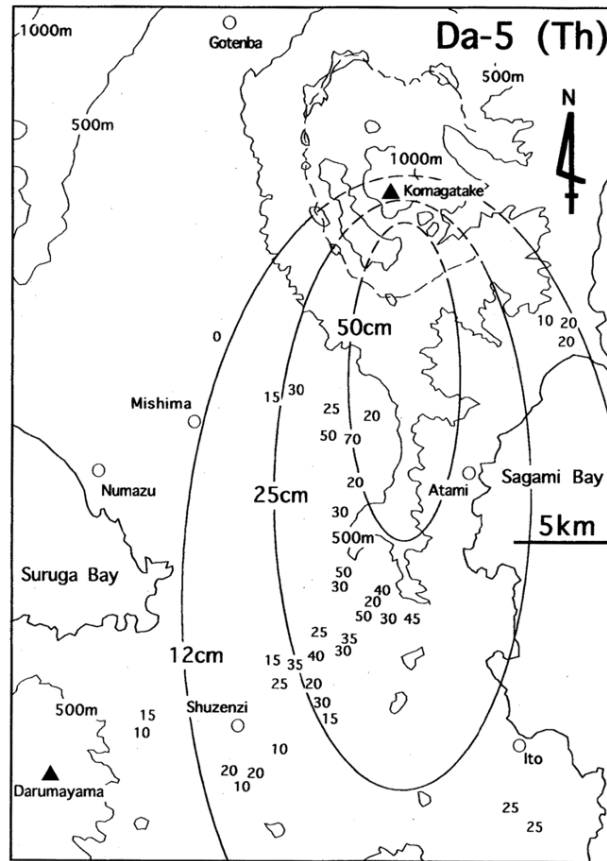


Figure 3-5. 箱根 Da-5 軽石の等層厚線図 (小林・小山, 1996). ©東京地学協会

箱根小原台軽石・火砕流堆積物

本堆積物は、広域テフラである阿蘇 4 の上位に認められる(OP/Hk-OP; 町田, 1971, 町田・新井, 1992). 町田・森田 (1968) の白パミス (WP), 走水グループ (1965) の小原台浮石, 関東ローム研究グループ (1965) の藤沢軽石, Kobayashi et al. (1968) のクリヨウカン軽石, 関東第四紀研究会 (1970) の Sp14, 上杉ほか (1983) の Y-58, 新井ほか (1977) の OPfl に相当する。

岩 相：複数のフォールユニットからなる降下火砕堆積物である。比較的石英岩片に富む。本質物質は良く発泡した白色軽石である (笠間, 2008)。最上部のフォールユニットは、褐色火山灰を基質に 2-3 cm 程度の軽石礫が含まれる (町田, 1971)。箱根小原台火砕流堆積物は、降下軽石に伴う火砕流であると考えられるが、分布が限られていることから、その詳細は不明である。

分 布：箱根東京軽石よりも南によった分布主軸をもち、三浦半島から房総北部に堆積する (Fig. 3-1)。なお最上部のフォールユニットは、上記の分布とはわずかに異なり、給源より北東方へ分布が認められる (町田, 1971)。箱根小原台火砕流堆積物は、少なくとも大磯丘陵まで到達していないと考えられるが、分布の詳細は不明である。

年 代：80-85 ka (町田・新井, 2003)

噴出量：1-100 km³ (町田・新井, 2003) *箱根小原台軽石，小原台火砕流を含めた体積

箱根^{あんじん}安針軽石

上杉ほか (1983) の Y-70 に相当する (AP/Ho-AP; 町田, 1971, 町田・新井, 1992).

岩 相：白色軽石を本質物質とする降下火砕物である。比較的細粒で大磯丘陵より遠方では保存状態が悪くなる。

分 布：小田原から横浜戸塚，座間丘陵，尼寺原付近に分布する (町田, 1971).

年 代：70 ka (町田・新井, 2003).

噴出量: 0.1-1 km³ (町田・新井, 2003)

箱根三浦軽石

箱根安針軽石を覆い，箱根東京軽石に覆われる降下火砕堆積物とそれに伴う火砕流堆積物である (MP/Hk-MP; 町田, 1971, 町田・新井, 1992). 関東ローム研究グループ (1965) の三浦軽石層，新井ほか (1977) の MPfl, 上杉ほか (1983) の Y-73 に相当する。

岩 相：黄色~橙色，黄白色の降下火砕物である。少なくとも 3 つのフォールユニットからなり，それぞれ構成粒子が異なる。下位から，ピンク色の粗粒軽石礫を多く含む黄白色降下軽石層，成層構造の発達した降下軽石層 (砂サイズの岩片，結晶片を含む)，成層構造の発達した赤褐色降下火山灰層である。大磯丘陵より東方では，最下部のフォールユニット以外の層厚が極端に薄くなる。

分 布：箱根火山より南西南に分布主軸をもつ (Fig. 3-6; 及川・石塚, 2011).

年 代：ca. 65 ka (Kobayashi, 2009).

噴出量：0.2-2 km³ (Kobayashi, 2009)

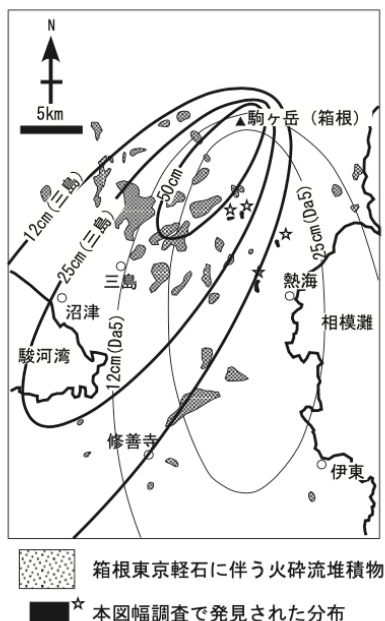


Figure 3-6. 箱根三浦軽石の等層厚線図および火砕流の分布域 (及川・石塚, 2011).

小林・小山 (1996) をもとに作成したもの。細線は，箱根 Da-5 軽石の等層厚線。

短期的前駆動

箱根東京噴火の直前(数年～数百年内)に発生したと考えられる先駆的な小規模噴火の存在を示唆する堆積物は確認されていない。

箱根東京噴火

箱根東京噴火に関する研究は、原田(1943)により東京浮石土と名付けられたことにより始まる。箱根東京噴火に関する研究は、貝塚・戸谷(1953)、関東ローム研究グループ(1956)、Kuno(1950)、久野(1952)、成瀬(1963)、町田・森田(1968)、町田(1971)、町田ほか(1974)、袴田・海野(1997)などがある。これらの研究により箱根東京噴火の噴出物が、複数のフォールユニットからなる降下火砕物とそれに伴う火砕流堆積物で構成されることが明らかにされた。

[各噴出物の特徴]

箱根東京噴火の噴出物は、箱根東京軽石(Hk-TP)とそれに伴う軽石流堆積物(Hk-T(pfl))からなる。この火砕流堆積物は複数のフローユニットからなるが、地域毎に層相が異なることから、噴出物層序の確立には至っていない。

箱根東京軽石

岩 質：流紋岩～デイサイト

岩 相：複数のフォールユニットからなる降下火砕堆積物である(Hk-TP; 町田・新井, 1992; 町田・森山, 1968)。粒度・構成粒子の違いから、8つのフォールユニット(下位からTP-①, -②…-⑧)に区分できる(笠間・山下, 2005; Fig. 3-7)。褐色火山灰を主とするTP-⑥を除き、いずれのサブユニットも風化した軽石礫を含む。軽石はサブユニット毎に色調が異なり、TP-①-⑤は白色・黄色、TP-⑦は橙色、TP-⑧は、橙色・灰色を呈する。また、TP-④は、細粒の石質岩片・結晶片に富む。上位のフォールユニットほど、見かけ密度、鉍物・岩片の含有率が上がる傾向が認められる(Fig. 4-8; 笠間・山下, 2005)。

構成物：軽石(白色, 黄色, 橙色, 灰色), 褐色火山灰, 石質岩片, 結晶片。

分 布：給源より東北東にかけて広く分布する。

噴出量：8.4 km³(見かけ体積; 町田, 1971)

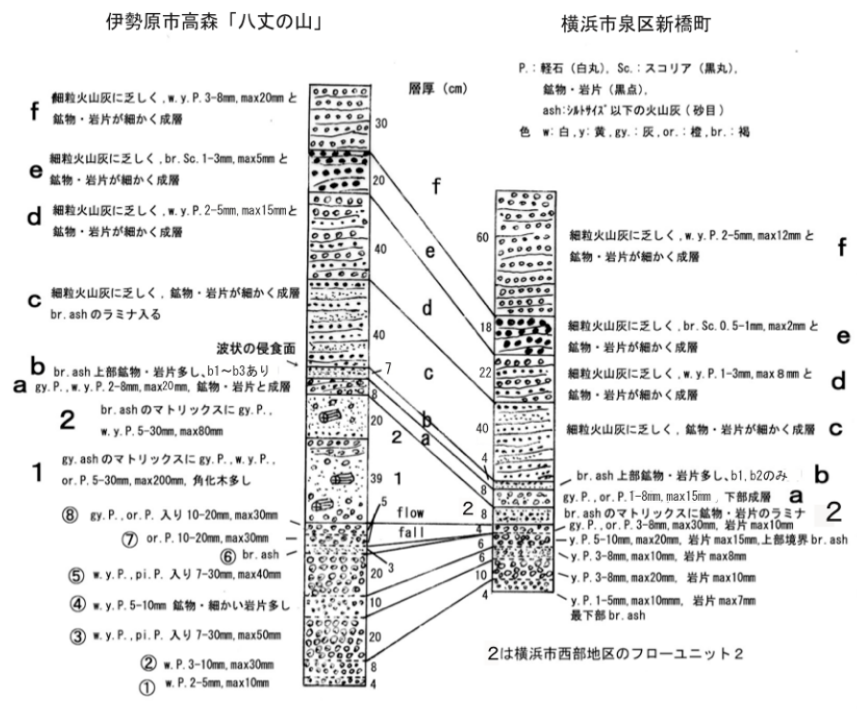


図9 伊勢原市高森「八丈の山」(地点7)と横浜市泉区新橋町(地点12)のHk-T(pf)の堆積形態および柱状図
1, 2はunit1, unit2を表す(以下同様)。

Figure 3-7. 伊勢原市高森・横浜市泉区新橋町における箱根東京軽石およびそれに伴う火砕流堆積物の柱状図(笠間・山下, 2005).

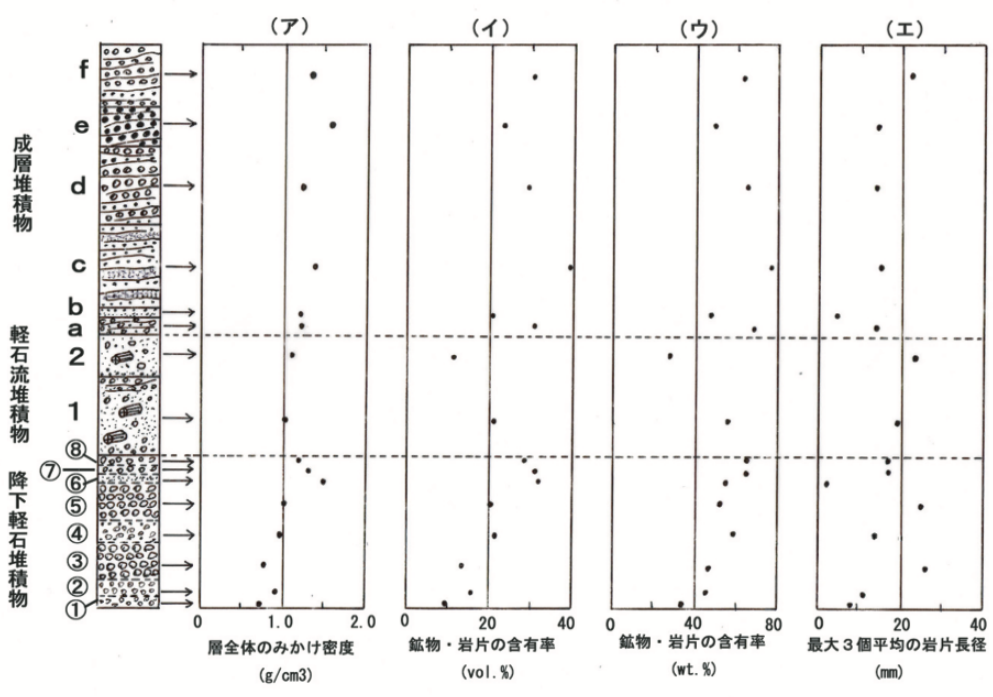


Figure 3-8. 箱根東京軽石およびそれに伴う火砕流堆積物中の構成物の垂直変化(笠間・山下, 2005).

主要構成物である軽石が粘土化していることから、鉱物・岩片の含有量は、水簸後の残渣で近似している。

箱根東京軽石流堆積物

岩 質：軽石（デイサイト）、スコリア（安山岩）（笠間・山下, 2008）

岩 相：箱根火山近傍では、火砕サージ堆積物、軽石流堆積物、石質岩片に富む火砕流堆積物が認められる（小林, 1999）。箱根東京軽石流堆積物は全体的に非溶結だが、小田原市風祭^{かざまつり}付近に認められる溶結凝灰岩の全岩化学組成が箱根東京軽石のそれと類似していることから、箱根東京軽石流堆積物の溶結部に相当する可能性がある（高橋ほか, 2006）。火砕サージ堆積物は、淡黄色の細粒火山灰を基質にもち斜交層理が発達した層相を示す。火砕サージ堆積物を覆う軽石流堆積物は、淡褐色の火山灰を基質にもつスコリアを含む。この軽石流堆積物は、類質岩片に富む暗灰色の火砕流堆積物に覆われる（小林, 1999）。火砕サージ堆積物と軽石流堆積物の境界には、いくつかの降下火砕物が認められるがその詳細は不明である（笠間・山下, 2008）。

構成物：火山灰、軽石、スコリア、石質岩片、遊離結晶、火山豆石（Fig. 3-9）

分 布：箱根火山の周辺に分布する（Hk-T (pfl); 町田・新井, 1992）。現存分布の東端は、横浜市保土ヶ谷区今井町（箱根火山中央火口丘から約 55 km）である。また、三浦半島南端部においてもその分布が確認されている。

噴出量：14 km³（見かけ体積；Kuno, 1953）

*他の火砕流堆積物を含めた体積



Figure 3-9. 箱根東京軽石流堆積物の露頭写真（笠間・山下, 2008）。

[噴火推移]

プリニー式噴火の発生

箱根東京噴火は、プリニー式噴火による噴煙柱の形成に始まり、箱根東京テフラ (Hk-TP) を堆積されたと考えられる。

噴煙柱崩壊と火砕流の発生

Hk-TP の噴出に伴い形成された噴煙柱が崩壊し、箱根東京軽石流が発生した。軽石流の前縁部が火砕サージとして側方に噴出した (小林, 1999)。その後、火口拡大 (カルデラの形成) に伴い、石質岩片に富む火砕流が噴出したと考えられる。

萬年 (2008) は、温泉井試料の記載や全岩化学組成から、箱根火山内に潜在カルデラ (強羅カルデラ) が存在することを指摘した。カルデラ内堆積物やそこに含まれる花粉化石の比較から、本カルデラは、箱根東京噴火により形成された可能性が示唆される (萬年, 2008)。

箱根東京噴火後の火山活動

箱根東京噴火が発生し強羅カルデラ形成後、しばらくの静穏期を挟み、降下軽石、溶岩、Block and ash flow が発生し、先神山を形成した (Fig. 3-10; 小林, 1999)。先神山はその後断続的に活動を続け降下軽石等を噴出した。特に 46-40 ka にかけては、比較的規模の大きな火砕噴火が発生し多量の軽石を噴出した (箱根三色旗テフラ、箱根中央火口丘 1-4 テフラ)。39 ka 以降は、噴煙柱を形成するような火砕噴火からブルカノ式噴火やマグマ水蒸気噴火などの細粒火山灰 (砂〜シルトサイズ) を噴出する様式に遷移した (箱根中央火口丘 5a-7 テフラ)。小林 (1999) は、箱根中央火口丘 6, 7 に多量の岩塊が含まれることから、この時期に先神山の大規模崩壊し、その一部が泥流となって早川に流れた (早川泥流堆積物) と考えた。

先神山崩壊後、箱根火山の主な噴火様式は、溶岩流の噴出へと変化し、台ヶ岳溶岩ドーム、小塚山溶岩ドーム、芦之湯溶岩ドーム群や駒ヶ岳などを形成した。溶岩流や溶岩ドームの形成に伴い Block and ash flow (箱根神山テフラ 1, 2, 3, 箱根芦之湯テフラ、箱根駒ヶ岳テフラ) を流下させた。駒ヶ岳は、その後も断続的な火山活動が起り山体を成長させた。19 ka ごろに Block and ash flow (箱根神山テフラ 4) を流下させた後、箱根火山は暫く静穏期になるが、約 7 ka に Block and ash flow (箱根神山テフラ 5) が発生した。5 ka 頃には二子山溶岩ドームとそれに伴う Block and ash flow (箱根二子山テフラ) が発生した。3.1 ka 頃神山北西部では、水蒸気爆発に伴い山体崩壊が起った。約 2.8 ka 頃、冠ヶ岳溶岩とそれに伴う Block and ash flow (箱根冠ヶ岳テフラ) が発生した。

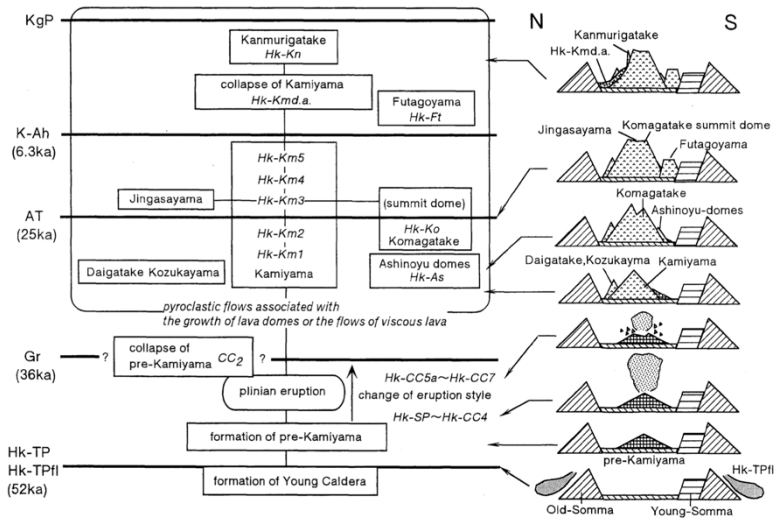


図 6 箱根火山中央火口丘の噴火様式の変遷
 Fig. 6 Change of eruption style in Hakone central cones

Figure 3-10. 箱根東京噴火以降の箱根火山の主な噴火堆積物と活動様式. 小林 (1999) の Figure 6 より抜粋. ©日本第四紀学会

萌消噴火

噴出源：萌消カルデラ (L'vinaya Past caldera)

年代：ca. 11 ka (中川ほか, 2013)

総噴出量：見かけ体積 170 km³ (Bazanova *et al.*, 2016)

萌消カルデラ形成噴火堆積物前後の主な堆積物

後カルデラ期

詳細不明

カルデラ形成期

- ・萌消カルデラ形成噴火
- ・カルデラ噴火 (名称不明)?

先カルデラ期

- ・溶岩流?

本噴火の推移：プリニー式噴火→火砕流

分布：詳細不明. カルデラより東方に分布軸を持ち、択捉島では広範囲に分布する可能性が高い (中川ほか, 2013).



Figure 4-1. 萌消カルデラの形状と周辺の地形図 (宝田, 2019). 地形図は, ESRI 社の ArcGIS のベースマップを使用.

長期的火山活動

詳細不明. 萌消カルデラ形成噴火以前は, 玄武岩質の溶岩流を流出する活動が主であったと考えられる (Bazanoba *et al.*, 2016). また, 40 ka BP に萌消カルデラ形成噴火と同様な大規模噴火が発生したと考えられるが, 噴出物の層相, 分布, 噴出量等は不明である (Bazanoba *et al.*, 2016).

短期的前駆活動

詳細不明.

萌消カルデラ形成噴火

[各噴出物の特徴]

萌消カルデラ噴出物

萌消カルデラ形成噴火の噴出物は, いずれも良く発泡した白色～明灰色の軽石を含む. 軽石はデイサイト質を示し, 斑晶鉱物として斜長石, 石英, 普通輝石, 直方輝石, 不透明鉱物, 普通角閃石を含む (Smirnov *et al.*, 2017). 本噴出物は, 構成物および堆積様式いずれから, 少なくとも 3 つのサブユニットに区分可能である (中川ほか, 2013). 各サブユニットの名称は明記されていないが, ここでは便宜的にこれらのサブユニットを下位から Unit 1, Unit 2, Unit 3 とする.

Unit 1

岩 質: デイサイト (67–68 wt.%; Smirnov *et al.*, 2017)

岩 相: 淘汰の良い軽石で構成される (中川ほか, 2013).

構成物: 白色～淡灰色軽石

分 布: 詳細不明

噴出量: 詳細不明

Unit 2

岩 質: デイサイト (67–68 wt.%; Smirnov *et al.*, 2017)

岩 相: 淘汰の悪い火山灰層である. 軽石を含む (中川ほか, 2013).

構成物: 火山灰, 白色～淡灰色軽石

分 布: 詳細不明

噴出量: 詳細不明

Unit 3

岩 質: デイサイト (67–68 wt.%; Smirnov *et al.*, 2017)

岩 相: Unit 2 と同様に淘汰の悪い火山灰層である. Unit 2 よりも軽石に富む (中川ほか,

2013).

構成物：火山灰，白色～淡灰色軽石

分 布：詳細不明

噴出量：詳細不明

[噴火推移]

Smirnov *et al.* (2017) は，12.3 ka と 13 ka に 2 回の大規模噴火が発生したとしているが，上記のサブユニットがこれらに対応するか否かは不明である。

プリニー式噴火 (Unit 1)

萌消カルデラ噴火は，プリニー式噴火から始まり，Unit 1 を堆積させた。

火砕流の発生 (Unit 2, Unit 3)

プリニー式噴火に引き続き火砕流が発生し，Unit 2 および Unit 3 を堆積させた。

萌消カルデラ形成噴火後の火山活動

詳細不明

謝辞

著作権を持つ機関（下記承認機関）が提示するポリシーに従い，図の掲載にあたっては，
転載についてご承諾いただきました。

この場を借りて感謝申し上げます。

図表番号	引用元文献	原典(引用元と異なる場合)	承認機関
阿蘇3			
1-1	町田 洋・新井房夫 (1994) 時間指標テフラ阿蘇 3 によって示唆される最終氷期直後 5d 期の海面低下. 地学雑, 103, 749-759.	町田 洋・新井房夫 (1992) 火山灰アトラス. 東京大学出版会. 276p.	東京大学出版会
1-2	田島靖久・星住英夫・松本哲一・廣田明成・小屋口剛博 (2017) 阿蘇火山, Aso-1 火砕流堆積物に関する新知見と Aso-1 噴火に先駆けて噴出した古閑溶岩. 火山, 62, 177-188.		火山学会*
1-3	田島靖久・星住英夫・松本哲一・廣田明成・小屋口剛博 (2017) 阿蘇火山, Aso-1 火砕流堆積物に関する新知見と Aso-1 噴火に		火山学会*

	先駆けて噴出した古閑溶岩. 火山, 62, 177-188.		
1-4	田島靖久・星住英夫・松本哲一・廣田明成・小屋口剛博 (2017) 阿蘇火山, Aso-1 火砕流堆積物に関する新知見と Aso-1 噴火に先駆けて噴出した古閑溶岩. 火山, 62, 177-188.		火山学会*
1-5	小野晃司・渡辺一徳 (1983) 阿蘇カルデラ. 月刊地球, 5, 73-82.		海洋出版株式会社
1-6	小野晃司・松本徭夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和 (1977) 竹田地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 145 p.		地質調査総合センター
1-7	小野晃司・松本徭夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和 (1977) 竹田地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 145 p.		地質調査総合センター
1-8	小野晃司・松本徭夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和 (1977) 竹田地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 145 p.		地質調査総合センター
1-9	小野晃司・松本徭夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和 (1977) 竹田地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 145 p.		地質調査総合センター
1-10	小野晃司・松本徭夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和 (1977) 竹田地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 145 p.		地質調査総合センター
御嶽			
2-1	町田 洋・新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス. 東京大学出版会, 336p.		東京大学出版会
2-2	竹内 誠・中野 俊・原山 智・大塚 勉 (1998) 木曾福島地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 94p.		地質調査総合センター
2-3	竹内 誠・中野 俊・原山 智・大塚 勉 (1998) 木曾福島地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 94p.		地質調査総合センター
2-4	竹内 誠・中野 俊・原山 智・大塚 勉 (1998) 木曾福島地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 94p.		地質調査総合センター
2-5	竹内 誠・中野 俊・原山 智・大塚 勉 (1998) 木曾福島地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 94p.		地質調査総合センター

2-6	竹内 誠・中野 俊・原山 智・大塚 勉 (1998) 木曾福島地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 94p.		地質調査総合センター
2-7	Kobayashi, K. and Shimizu, H. (1966) Significance of the Ikenotaira Interstadial indicated by moraines on Mt. Kumazawa of the kiso mountain range, Central Japan. Jour. Fac. Sci., Shinshu Univ., 1, 97-113.		信州大学
2-8	Kobayashi, K. and Shimizu, H. (1965) Classification and correlation of Shinshu Loam in the South Shinshu tephrogenetic region, Central Japan. Jour. Fac. Lib. Arts & Sci., Shinshu Univ., 15, 17-59.		信州大学
箱根			
3-1	町田 洋 (1971) 南関東のテフロクロロジー (I) — 下末吉期以降のテフラの起源および層序と年代について —. 第四紀研究, 10, 1-20.		日本第四紀学会
3-2	長井雅史・高橋正樹 (2008) 箱根火山の地質と形成史. 神奈川県博物館研究報告(自然) 13, 25-42.	日本地質学会国立公園地質リーフレット1「箱根火山」編集委員会 (2007) 国立公園地質リーフレット1「箱根火山」. 日本地質学会	日本地質学会
3-3	長井雅史・高橋正樹 (2008) 箱根火山の地質と形成史. 神奈川県博物館研究報告(自然) 13, 25-42.	日本地質学会国立公園地質リーフレット1「箱根火山」編集委員会 (2007) 国立公園地質リーフレット1「箱根火山」. 日本地質学会	日本地質学会
3-4	小林 淳 (1999) 箱根火山の最近5万年間のテフラ層序と噴火史. 第四紀研究, 38, 327-343.		日本第四紀学会
3-5	小林 淳・小山真人 (1996) 箱根火山西麓~南麓地域のテフラ層序と火山噴火史. 地学雑誌, 105, 431-447.		東京地学協会
3-6	及川輝樹・石塚 治 (2011) 熱海地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 産業技術総合研究所地質調査総合センター. 61p.		地質調査総合センター
3-7	笠間友博・山下浩之 (2005) 高森丘陵南西部で出現した特徴的な箱根新期軽石流堆積物 [Hk-T(pfl)] について~高森丘陵と多摩丘陵で発見されたスコリアを含む成層堆積物の共通層序~. 神奈川県博物館研究報告(自然), 34, 1-16.		神奈川県生命の星・地球博物館
3-8	笠間友博・山下浩之 (2005) 高森丘陵南西部で出現した特徴的な箱根新期軽石流堆積物 [Hk-T(pfl)] について~高森丘陵と多摩丘陵で発見されたスコリアを含む成層堆積物の共通層序~. 神奈川県博物館研究報告(自然), 34, 1-16.		神奈川県生命の星・地球博物館

3-9	笠間友博・山下浩之 (2008) いわゆる「東京軽石層」について. 神奈川県博物館研究報告 (自然), 13, 91-110.		神奈川県生命の星・地球博物館
3-10	小林 淳 (1999) 箱根火山の最近 5 万年間のテフラ層序と噴火史. 第四紀研究, 38, 327-343.		日本第四紀学会
萌消			
4-1	宝田晋治 (2019) 東・東南アジア地域のカルデラの形状 -G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 5/7 -. 地質調査総合センター研究資料集, 685.		地質調査総合センター
Table			
阿蘇 3			
1-1	星住英夫・宝田晋治・宮縁育夫・宮城磯治・山崎 雅・金田泰明・下司信夫 (2024) 阿蘇カルデラ阿蘇 3 火砕流堆積物分布図. 大規模火砕流分布図, no.4, 産総研地質調査総合センター, 27p.		地質調査総合センター

※本稿の場合は, 書面による手続きは不要であることを確認済

引用文献

- 青木かおり・入野智久・大場忠道 (2008) 鹿児島沖海底コア MD01-2421 の後期更新世テフラ層序. 第四紀研究, **47**, 391-407.
- 新井房夫・町田 洋・杉原重夫 (1977) 南関東における後期更新世の指標テフラ層. 第四紀研究, **16**, 19-40.
- Bazanov, L. I., Melekestsev, I. V., Ponomareva, V. V., Dirksen, O. V. and Dirksen, V. G. (2016) Late Pleistocene and Holocene Volcanic Catastrophes in Kamchatka and in the Kuril Islands. Part 1. Types and Classes of Catastrophic Eruptions as the Leading Components of Volcanic Catastrophism. *J. Volcanol. Seismology*, **10**, 151-169.
- 第四紀火山カタログ委員会 (1999) 日本の第四紀火山カタログ. 火山, **44**, 285-289.
- Fierstein, J., and Nathenson, M. (1992) Another look at the calculation of fallout tephra volumes. *Bulletin of volcanology*, **54**, 156-167.
- Guillet, S., Corona, C., Stoffel, M., Khodri, M., Lavigne, F., Ortega, P., Eckert, N., Sielenou, P.D., Daux, V., Churakova, Olga V., Davi, N., Edouard, J.-L., Zhang, Y., Luckman, Brian H., Myglan, V.S., Guiot, J., Beniston, M., Masson-Delmotte, V. and Oppenheimer, C. (2017) Climate response to the Samalas volcanic eruption in 1257 revealed by proxy records. *Nature Geoscience*, **10**, 123-128.
- 袴田和夫・海野 進 (1997) 箱根東京軽石中の斑晶鉱物の示すマグマ混合. 日本地質学会第104 会学術大会講演要旨, 282.
- 葉室和親 (1978) 大室山火山群の地質. 地質雑, **84**, 433-444.
- 原田正夫 (1943) 関東ロームの生成について. 東京帝大土壌肥料学教室報告, **3**, 1-138.
- 走水グループ (1965) 三浦半島小原台付近の第四系. 地球科学, **80**, 1-11.
- 星住英夫・宮縁育夫・宮城磯治 (2017) 阿蘇火砕流及び降下火砕物の層序. 日本火山学会 2017 年度秋季大会講演予稿集, A2-13, 26.
- 星住英夫・宮縁育夫・宮城磯治・下司信夫・宝田晋治 (2022) 阿蘇火山, 阿蘇 4/3 降下テフラ群の層序と噴火活動史—阿蘇 4 火砕流噴火への準備過程—. 火山, **67**, 91-112.
- 星住英夫・渡辺一徳・阪口圭一・宇都浩三・小野晃司・中村 武 (1997) 阿蘇カルデラ内の深部ボーリングコアで確認された阿蘇-4 火砕流堆積物. 日本火山学会 1997 年度秋季大会講演予稿集, A05, 5.
- 星住英夫・宝田晋治・宮縁育夫・宮城磯治・山崎 雅・金田泰明・下司信夫 (2023) 阿蘇カルデラ阿蘇 4 火砕流堆積物分布図. 大規模火砕流分布図, no.3, 産総研地質調査総合センター, 35p.
- 星住英夫・宝田晋治・宮縁育夫・宮城磯治・山崎 雅・金田泰明・下司信夫 (2024) 阿蘇カルデラ阿蘇 3 火砕流堆積物分布図. 大規模火砕流分布図, no.4, 産総研地質調査

- 総合センター, 27p.
- 貝塚爽平・戸谷 洋 (1953) 武蔵野台地東部の地形・地質と周辺諸台地の Tephrochronology. 地学雑, **62**, 9-68.
- 鎌田浩毅 (1997) 宮原地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅). 地質調査所, 127p.
- 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.
- 金田泰明・宝田晋治・下司信夫 (2021) 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. 産総研地質調査総合センター研究資料集, no. 728, 産総研地質調査総合センター, 100p.
- 関東第四紀研究会 (1970) 下末吉台地およびその周辺地域の地質学的諸問題. 地球科学, **24**, 155-166
- 関東ローム研究グループ (1956) 関東ロームの諸問題. 地質雑. **62**, 302-316.
- 関東ローム研究グループ (1965) 関東ローム—その起源と性状. 378p, 築地書館, 東京.
- 笠間友博 (2008) 大磯丘陵, 多摩丘陵に分布する箱根火山起源のテフラ. 神奈川県博物館研究報告 (自然) **13**, 111-134.
- 笠間友博・山下浩之 (2005) 高森丘陵南西部で出現した特徴的な箱根新期軽石流堆積物 [Hk-T(pfl)] について—高森丘陵と多摩丘陵で発見されたスコリアを含む成層堆積物の共通層序—. 神奈川県博物館研究報告 (自然), **34**, 1-16.
- 笠間友博・山下浩之 (2008) いわゆる「東京軽石層」について. 神奈川県博物館研究報告 (自然), **13**, 91-110.
- 木股文昭・山岡耕春・藤井直之 (1991) 木曾御岳火山における小規模な噴火 (1991 年 5 月). 日本火山学会講演予稿集, 168.
- Kobayashi, K. and Shimizu, H. (1965) Classification and correlation of Shinshu Loam in the South Shinshu tephrogenetic region, Central Japan. J. Fac. Lib. Arts & Sci., Shinshu Univ., **15**, 17-59.
- Kobayashi, K. and Shimizu, H. (1966) Significance of the Ikenotaira Interstadial indicated by moraines on Mt. Kumazawa of the kiso mountain range, Central Japan. J. Fac. Sci., Shinshu Univ., **1**, 97-113.
- 小林国夫・清杉英樹・北沢和男・小林武彦 (1967) 御嶽火山第一浮石層—御嶽火山第一浮石層の研究 その 1—. 地質雑, **73**, 291-308.
- Kobayashi, K. Minahawa, K., Machida, M., Shimizu, H., Kitazawa, K. (1968) The Ontake Pumice-Fall Deposit Pm-1 as Late Pleistocene Time-Marker in Central Japan. J. Fac. Sci., Shinshu Univ., **3**, 171-198.
- 小林 淳 (1999) 箱根火山の最近 5 万年間のテフラ層序と噴火史. 第四紀研究, **38**, 327-343.

- Kobayashi, M. (2009) Study of the Eruptive Activity of the Central Cones of the Hakone Volcano and its Volcanic Mechanism: Volcanic activity in the Plate Collision Field in the Northernmost Region of Izu-Ogasawara Arc. A doctoral dissertation submitted to Tokyo Metropolitan Univ., 71p.
- 小林 淳・小山真人 (1996) 箱根火山西麓~南麓地域のテフラ層序と火山噴火史. 地学雑, **105**, 431-447.
- 小林武彦 (1993) : 御嶽火山の活動史と噴出物の体積計算. 文部省科学研究費自然災害特別研究研究計画「火山災害の規模と特性」報告書. 87-96.
- 小林武彦・大森江い・大森貞子 (1975) 御岳火山噴出物の化学的性質. 地質調査所月報, **26**, 497-512.
- 小山真人・早川由紀夫・新井房夫 (1995) 東伊豆単成火山地域の噴火史 2: 主として 32 ka 以前の火山について. 火山, **40**, 191-209.
- Kuno, H. (1950) Geology of Hakone Volcano and adjacent areas, Part I. J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, sec, II, **7**, 257-279.
- 久野 久 (1952) 7万5千分の1地質図幅「熱海」及び同説明書. 141p. 地質調査所, 川崎.
- Kuno, H. (1953) Formation of calderas and magmatic evolution. EOS, Transactions American Geophysical Union, **34**, 2, 267-280.
- Legros, F. (2000) Minimum volume of a tephra fallout deposit estimated from a single isopach. Journal of Volcanology and Geothermal Research, **96**, 25-32.
- 松本哲一・小林武彦 (1999) 御嶽火山, 古期御嶽火山噴出物の K-Ar 年代に基づく火山活動史の再検討. 火山, **44**, 1-12.
- 町田 洋 (1971) 南関東のテフロクロノロジー (I) 一下末吉期以降のテフラの起源および層序と年代について一. 第四紀研究, **10**, 1-20.
- 町田 洋 (1977) 火山灰は語る一火山と平野の自然史一. 蒼樹書房, 東京, 324p.
- 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 (1994) 時間指標テフラ阿蘇 3 によって示唆される最終氷期直後 5d 期の海面低下. 地学雑, **103**, 749-759.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス一日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 336p.
- 町田 洋・森田昭雄 (1968) 大磯丘陵の tephrochronology とそれにもとづく富士および箱根火山の活動史. 地理学評論, **41**, 241-257.
- 町田 洋・新井房夫・百瀬 貢 (1985) 阿蘇 4 火山灰一分布の広域性と後期更新世示標層としての意義一. 火山, **30**, 49-70.
- 町田 洋・新井房夫・村田明美・袴田和夫 (1974) 南関東における第四紀中期のテフラ対比とそれに基づく編年. 地学雑, **83**, 22-58.
- 萬年一剛 (2008) 箱根カルデラー地質構造・成因・現在の火山活動における役割一. 神奈川

- 県博物館研究報告(自然), **13**, 61-76.
- 松本哲一・宇都浩三・小野晃司・渡辺一徳(1991)阿蘇火山岩類の K-Ar 年代測定-火山層序との整合性と火砕流試料への適応-. 日本火山学会 1991 年秋季大会講演予稿集, 73.
- 長橋良隆・佐藤孝子・竹下欣宏・田原敬治・公文富士夫(2007)長野県, 高野層ボーリングコア(TKN-2004)に挟在する広域テフラ層の層序と編年. 第四紀研究, **46**, 305-325.
- 長井雅史・高橋正樹(2008)箱根火山の地質と形成史. 神奈川県博物館研究報告(自然) **13**, 25-42.
- 中川光弘・古川竜太・松本亜希子(2013)北方四島, 択捉島中央部での萌消カルデラ(L'vinaya Past' caldera)形成噴火のテフラの発見. 日本火山学会 2013 年度秋季大会講演予稿集, A1-16, 16.
- 成瀬 洋(1963)関東地方の第四紀火山灰. 第四紀研究, **3**, 94-109.
- Newhall, C.G., and Self, S. (1982) The volcanic explosivity index (VEI) an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical Research, Oceans*, **87**, 1231-1238.
- 日本地質学会国立公園地質リーフレット 1 「箱根火山」編集委員会(2007)国立公園地質リーフレット 1 「箱根火山」. 日本地質学会.
- 西野佑紀・宝田晋治・下司信夫(2019)始良・鬼界・阿多・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.
- 及川輝樹(2008)御岳火山の歴史噴火記録の再検討と噴気活動の歴史記録 —存在しなかった 774, 1892 年噴火—. 地質調査研究報告, **59**, 203-210.
- 及川輝樹・石塚 治(2011)熱海地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅). 産業技術総合研究所地質調査総合センター. 61p.
- 小野晃司(1965)阿蘇カルデラ東部の地質. 地質雑, **71**, 541-553.
- 小野晃司・曾屋龍典(1968)阿蘇カルデラの火砕流の層序(演旨). 地質雑, **74**, 101.
- 小野晃司・渡辺一徳(1983)阿蘇カルデラ. 月刊地球, **5**, 73-82.
- 小野晃司・松本徭夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和(1977)竹田地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 145 p.
- Self, S. (2015) Chapter 16 - Explosive Super-Eruptions and Potential Global Impacts. In: J.F. Shroder and P. Papale (Editors), *Volcanic Hazards, Risks and Disasters*. Elsevier, Boston, 399-418.
- 下岡順直・長友恒人・小畑直也(2009)熱ルミネッセンス法による御岳第一テフラ(On-Pm1)噴出年代の推定. 第四紀研究, **48**, 295-300.
- 白尾元理(1981)伊豆半島達磨火山周辺の地質. 地質雑, **87**, 641-655.
- Smirnov, S.Z., Rybin, A.V., Sokolova, E.N., Kuzmin, D.V., Degterev, A.V. and Timina, T.Yu. (2017) Felsic Magmas of the Caldera-Forming Eruptions on the Iturup Island: the First

Results of Studies of Melt Inclusions in Phenocryst from Pumices of the Lvinaya Past and Vetrovuy Isthmus Calderas. *Russian J. Pacific Geology*, **11**, 46–63.

- 須藤 茂・猪股隆行・佐々木寿・向山 栄 (2007) わが国の降下火山灰データベース作成. 地質調査研究報告, **58**, 261–321.
- 鈴木雄介・田中倫久・千葉達郎・塩谷みき・伊藤達也 (2007) 御嶽山北西麓での約 5000 年前のスコリア流堆積物の発見とその意義. 日本地球惑星科学連合大会予稿集, V156-P030.
- 鈴木雄介・岸本博志・千葉達郎・小川紀一郎・岡本 敦 (2009a) 御嶽山における火山噴火緊急減災計画策定のための火山噴火履歴調査. 砂防学会研究発表概要集, 518–519.
- 鈴木雄介・千葉達郎・岸本博志・岡本 敦 (2009b) 御嶽山の新时期活動に関する新知見—マagma噴火を中心として—. 日本地球惑星科学連合大会予稿集, J237-005.
- 田島靖久・星住英夫・松本哲一・廣田明成・小屋口剛博 (2017) 阿蘇火山, Aso-1 火砕流堆積物に関する新知見と Aso-1 噴火に先駆けて噴出した古閑溶岩. *火山*, **62**, 177–188.
- 高橋正樹・内藤昌平・中村直子・長井雅史 (2006) 箱根火山前期・後期中央火口丘噴出物の全岩化学組成. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **41**, 151–186.
- 竹本弘幸・百瀬 貢・平林 潔・小林武彦 (1987) 新时期御岳テフラ層の層序と年代 1) —中部日本における編年上の意義—. *第四紀研究*, **25**, 337–352.
- 竹内 誠・中野 俊・原山 智・大塚 勉 (1998) 木曽福島地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 94p.
- 宝田晋治 (2019) 東・東南アジア地域のカルデラの形状 -G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 5/7 -. 地質調査総合センター研究資料集, 685, 33p.
- 宝田晋治・吉本充宏・北川淳一・平賀正人・山元孝広・川辺禎久・高田 亮・中野 俊・星住英夫・宮城磯治・西村裕一・三浦大助・廣瀬 亘・石丸 聡・垣原康之・遠藤祐司・八幡正弘・野呂田晋・新井田清信・石塚吉浩・工藤 崇・相沢幸治・本間宏樹・江草匡倫・石井英一・高橋 良 (2001) 有珠火山 2000 年噴火の降灰と火口近傍の状況. 地質調査研究報告, **52**, 167–179.
- Tatsumi, Y. and Suzuki-Kamata, K. (2014) Cause and risk of catastrophic eruptions in the Japanese Archipelago. *Proc. Jpn. Acad. Ser. B, Phys. Biol. Sci.*, **90**, 347–352.
- 上杉 陽・米澤 宏・千葉達郎・宮地直道・森 慎一 (1983) テフラからみた関東平野. *アーバンングボタ*, **21**, 2–17.
- 宇都浩三・阪口圭一・渋谷明貫・吉岡 恒 (1994) 阿蘇カルデラ内の深部ボリングコアの K-Ar 年代測定カルデラ形成直後の火山活動史の解明. 日本火山学会 1994 年度講演予稿集, PV23, 211.
- 渡辺一徳・小野晃司 (1969) 阿蘇カルデラ西部, 大峰付近の地質. *地質雑*, **75**, 365–374
- 山田直利・小林武彦 (1988) 御嶽山地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 136p.

Yamaoka, K., Geshi, N., Hashimoto, T., Ingebritsen, S.E. and Oikawa, T. (2016) Special issue
“The phreatic eruption of Mt. Ontake volcano in 2014”. *Earth Planets and Space*, **68**, 1–
8.

山崎誠子・及川輝樹・Miggins, D.P.・Koppers, A.A.P. (2023) 御嶽火山の $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ および
K-Ar 年代測定. 日本火山学会講演予稿集, P88, 204.