

箱根火山起源 TAm-1 テフラの噴火口の推定 —火山岩片の化学組成と火山体との比較から—

A Possible Eruptive Crater of TAm-1 Tephra of Hakone Volcano based on the Petrological analysis of its Volcanic Fragments

山下浩之¹⁾・笠間友博¹⁾

Hiroyuki YAMASHITA¹⁾ & Tomohiro KASAMA¹⁾

Abstract. The possible location of the eruptive crater of TAm-1 tephra of Hakone Volcano was presumed on the basis of petrological and geochemical analyses of its volcanic fragments. Bulk chemistry of the volcanic fragments was examined using XRF and four rock types were grouped: basalt, basaltic andesite, tuff breccia and andesite. Trace elements of those fragments were also analyzed. The rock types were geochemically compared with the lava of the old somma of Hakone Volcano. The assemblage of the rock types is similar to those of the lavas distributed around Mt. Byoubu-yama and Lake Ashi-no-ko of the southern part of the Hakone Volcano caldera. This suggests that the eruptive crater of TAm-1 tephra may have been located near southern part of the caldera, but there is no evidence of geomorphological features.

Key words: Hakone Volcano, TAm-1 tephra, volcanic fragments

1. はじめに

箱根火山の形成発達史は、久野（1972）によりわかりやすくまとめられた。その後、1990年代末になって高橋ほか（1999）や長井・高橋（2008）により新たなモデルが提唱された。大きな変更点は、久野（1972）では最初のステージで巨大な玄武岩質から安山岩質の成層火山を形成したことに対し、新しいモデルでは中～小規模の複数の成層火山を形成した点にある。長井・高橋（2007）や山下ほか（2008）は、これらの成層火山の化学組成を分析した。

一方、著者らは伊勢原市の高森丘陵南西部において、宅地造成に伴い出現した露頭から、TAI テフラ群から立川ローム層までの記載を行なった（笠間・山下, 2005）。この中で、箱根火山起源のテフラの TAm-1 (Tu-1) か

ら、巨大な火山岩片を大量に採集した。これらの火山岩片の化学組成を解析したところ、いくつかの岩石学的・地球化学的特徴を見出すことができた。本論では、これらの火山岩片の地球化学的特徴を、近年公表された中～小規模の成層火山の分布や化学組成と比較することで、TAm-1 の噴火口の位置の推定を試みた。

2. TAm-1 テフラ

TAm テフラ群の噴出時期には、大規模なプリニー式の噴火が複数起きたと考えられており、TAm-1 はその最初の噴火に位置付けられている（町田ほか, 1974）。TAm-1 テフラは、灰色降下火山灰層、白色降下軽石層（粗粒なピンク色の軽石を多く含む）と上部に軽石流堆積物を伴うことがある。神奈川県足柄上郡中井町比奈窪では層厚が4mにも達する（笠間, 2008）。TAm-1 テフラの推定噴出量は、>10km³（町田ほか, 1974）、>8km³（町田, 1977）、>5km³（高橋ほか, 1999）とされている。噴出年代は、磯ほか（1988）によるフィッシュトラック年代では約21万年前とされている。また、笠間（2008）では、

¹⁾ 神奈川県立生命の星・地球博物館
〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 499
Kanagawa Prefectural Museum of Natural History
499 Iryuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan
山下浩之 yama@nh.kanagawa-museum.jp

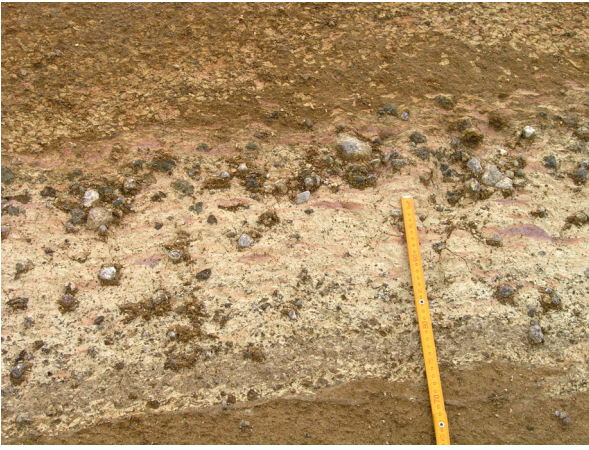


図1. 伊勢原市高森のTAm-1テフラに含まれる火山岩片の産状。

町田・新井 (2003) により示された噴出時期が海洋酸素同位体ステージ (MIS) が 7.1 直後であることを考慮し、地球軌道要素年代に当てはめて 18 万年前程度と見積もっている。また、長井・高橋 (2008) では、TAm-1 (Tu-1) を外輪山溶岩の本小松溶岩グループの活動中の噴出物と考えている。

伊勢原市高森の TAm-1 は、層厚が 50cm で、最大粒径が 150mm の軽石を含む。また、火山岩片は最大長径が 75mm にも及び、40mm に達するものも多数見られた (笠間・山下, 2005) (図 1)。今回、これらの火山岩片を

大量に採集し、岩石学的な検討を試みた。

3. 火山岩片の分類

採集した大量の火山岩片から、岩石プレパラートを作成し、かつ全岩化学分析を行なうのに十分な大きさの試料のみを 21 個抽出した。岩石の全岩化学分析には、神奈川県立生命の星・地球博物館設置の蛍光 X 線分析装置 (XRF) (島津製作所 XRF-1500) を用いた。全岩化学組成のうち、主要元素の分析は小出ほか (2000) に従った。火山岩片は、岩石プレパラートの検鏡の結果と全岩化学組成から、大きく 6 つに区分される。以下にそれぞれの特徴を記述する (表 1)。

- Type-1 玄武岩 (8 個)。斑晶鉱物が多い順に、斜長石、単斜輝石、斜方輝石、磁鉄鉱で、まれにカンラン石を含む。斜長石は 20 ~ 30mm 程度で、正累帯構造を示し、反応縁をもつものもある。石基はインターサタル。8 個の全岩化学組成の平均は、それぞれ重量パーセント (wt.%) で、SiO₂: 52.01、TiO₂: 0.82、Al₂O₃: 20.23、FeO: 10.45、MgO: 4.88、CaO: 9.15、Na₂O: 2.27、K₂O: 0.25 で Zr/Y は 2.74 であった。
- Type-1' 玄武岩 (1 個)。全岩化学組成のうち主要元素は Type-1 と似るが、斑晶鉱物をほとんど含まない無斑晶質溶岩であることから Type-1 とは区別した。石基はハイアロオフティックであった。全岩化学組成は、それぞれ重量パーセント (wt.%) で、SiO₂:

表 1. TAm-1 に含まれる火山岩片の特徴

	Type-1	Type-1'	Type-2	Type-2'	Type-3	Type-4
岩質	玄武岩	玄武岩	安山岩	安山岩	凝灰岩	安山岩
個数	8	1	4	2	2	4
斑晶	斑晶質	無斑晶質	斑晶質	斑晶質	捕獲岩もしくは集斑状鉱物多し	斑晶少なし
斜長石(max)	3mm		2mm	2mm		0.5mm
(vol%)	20-30		20-30	20-30		5-10
単斜輝石(max)	3mm		1.5mm	0.5mm		1.0mm
(vol%)	1-5		1-5	<1		1-5
斜方輝石(max)	2mm		1mm	1mm		0.5mm
(vol%)	<5		<5	1-5		<5
カンラン石(max)	0.5mm					
(vol%)	1-5					
石基	inters.	hyalo.	inters.	hyalo.		inters.
全岩化学組成 (代表値)						
分析試料	Shirayu-2	Arare3-10	Arare3-3	Shirayu-5		Arare3-12
主要元素 (wt.%)						
SiO ₂	51.94	51.83	56.72	55.02		61.01
TiO ₂	0.76	0.86	0.83	0.81		1.16
Al ₂ O ₃	20.80	19.39	19.30	19.67		16.16
FeO	9.26	9.55	7.49	9.54		8.87
MnO	0.17	0.18	0.13	0.19		0.18
MgO	5.01	4.70	3.65	4.44		2.39
CaO	9.17	9.46	7.19	7.50		6.20
Na ₂ O	2.13	2.41	3.03	2.47		3.50
K ₂ O	0.23	0.47	0.50	0.33		0.68
P ₂ O ₅	0.07	0.12	0.13	0.11		0.10
微量元素 (ppm)						
Ba	127	151	166	169		285
Cr	57	32	48	18		19
Nb	1.3	1.7	1.6	1.6		1.9
Rb	6.5	11	16	6.5		10
Sr	217	282	285	210		232
V	272	333	247	218		262
Y	13	16	14	19		21
Zn	88	101	88	99		95
Zr	38	45	63	44		68
Zr/Y	2.84	2.76	3.88	2.41		3.09

inters.: インターサタル hyalo.: ハイアロオフティック

51.83、TiO₂: 0.86、Al₂O₃: 19.39、FeO: 10.61、MgO: 4.70、CaO: 9.46、Na₂O: 2.41、K₂O: 0.47 で、Zr/Y は 2.76 であった。

- Type-2 安山岩 (4 個)。斑晶鉱物は多い順に、斜長石、単斜輝石、斜方輝石、磁鉄鉱を含む。斜長石は 20 ~ 30mm 程度で、正累帯構造を示し、反応縁をもつものもある。石基はインターサータル。4 個の全岩化学組成の平均は、それぞれ重量パーセント (wt.%) で、SiO₂: 55.91、TiO₂: 0.82、Al₂O₃: 20.20、FeO: 8.36、MgO: 3.76、CaO: 7.82、Na₂O: 2.90、K₂O: 0.38 で Zr/Y は 4.23 であった。
- Type-2' 玄武岩質安山岩もしくは安山岩 (2 個)。斑晶鉱物は多い順に、斜長石、斜方輝石、磁鉄鉱、単斜輝石であった。斜長石は 20 ~ 30mm 程度だが、累帯構造は見られない。石基はハイアロオフィティック。2 個の全岩化学組成の平均は、それぞれ重量パーセント (wt.%) で、SiO₂: 54.53、TiO₂: 0.82、Al₂O₃: 20.15、FeO: 10.63、MgO: 4.45、CaO: 7.63、Na₂O: 2.35、K₂O: 0.31 で、Zr/Y は 2.45 であった。
- Type-3 凝灰岩、もしくは凝灰角レキ岩 (2 個)。捕獲岩もしくは集斑状の鉱物を大量に含む。
- Type-4 安山岩 (4 個)。斑晶鉱物は多い順に、斜長石、単斜輝石、斜方輝石、磁鉄鉱を含む。斑晶は小さく、量も少ない。石基はインターサータル。4 点の全岩化学組成の平均は、それぞれ重量パーセント (wt.%) で、SiO₂: 61.39、TiO₂: 1.03、Al₂O₃: 16.77、FeO: 9.33、MgO: 2.40、CaO: 6.00、Na₂O: 3.32、K₂O: 0.72 で Zr/Y は 3.04 であった。

4. 全岩化学組成による火山岩片と外輪山溶岩との対比

4-1. 対比に用いた外輪山溶岩

長井・高橋 (2008) は、箱根火山の外輪山噴出物について、成層火山群形成期を 11 の溶岩グループと 9 の火山体に、カルデラ形成期を 7 つの溶岩グループと 1 つの火山体、3 つの溶岩に区分した。なお、長井・高橋 (2008) による溶岩グループとは、一定の岩相・岩質・層位・分布をもつ噴出物の集合体を指し、火山体は地層の傾斜や火口近傍相堆積物などから噴出の中心を推定可能な成層火山体を指す。TAm-1 の噴出年代は、磯ほか (1981) が約 21 万年前、笠間 (2008) が 18 万年前程度、長井・高橋 (2008) が本小松溶岩グループ (17 ~ 16 万年前; 長井ほか, 2006) の活動中の噴出物としている。これらのうち、長井・高橋 (2008) による活動年代が最も新しく見積もられている。そこで、本論では TAm-1 中の火山岩片を対比するにあたって、長井・高橋 (2008) に示された本小松溶岩グループと、それよりも古い火山体もしくは溶岩グループとの比較を行なうことにする。なお、比較に用いた火山体もしくは溶岩グループは、東から反時計回りに、明星ヶ岳火山体、明神ヶ岳火山体、狩川溶岩グループ、金時山火山体、荇野溶岩グループ、丸岳火山体、大唐沢溶岩グループ、深沢溶岩グループ、深良火山体、長尾峠溶岩グループ、山伏峠火山体、海ノ平火山体、湯河原火山体、白糸川溶岩グループ、天昭山溶岩グループ、江之浦溶岩グループ、米神溶岩グループ、

本小松溶岩グループ、根府川溶岩グループ、岩溶岩グループ、白磯溶岩グループである。比較に用いた全岩化学組成は、主要元素が長井・高橋 (2007) による 450 点と山下ほか (2008) による 130 点を、微量元素が山下ほか (2008) の 130 点を使用した。

比較を行なうにあたって、前述の火山体もしくは溶岩グループを地域ごとに 4 つに区分した。区分を行なうにあたっては、それぞれの火山体もしくは溶岩グループが隣接もしくは重なり合う可能性があるものを組み合わせた。組み合わせは次のとおり。

北部：狩川溶岩グループが最下位に分布し、その上に金時山火山体、明星ヶ岳火山体、明神ヶ岳火山体、荇野溶岩グループが存在する。

西部：大唐沢溶岩グループが最下位に分布し、北西部では金時山火山体、丸岳火山体、深沢溶岩グループが、南西部では深良火山体、山伏峠火山体、長尾峠溶岩グループが存在する。

南部：天昭山溶岩グループが最下位に分布し、南西部では湯河原火山体、海ノ平火山体、山伏峠火山体、白糸川溶岩グループが、南東部では湯河原火山体、白糸川溶岩グループ、江之浦溶岩グループ、米神溶岩グループが存在する。

南東部：天昭山溶岩グループが最下位に分布し、南東部では湯河原火山体、白糸川溶岩グループ、江之浦溶岩グループ、米神溶岩グループ、本小松溶岩グループ、岩溶岩グループ、白磯溶岩グループが、やや東部よりではさらに根府川溶岩グループが加わる。

4-2. 主要元素による対比

主要元素では火山体もしくは溶岩グループとの差が明確に見られないことから、まずは SiO₂-K₂O 図と FeO/MgO-SiO₂ 図で対比を行なった (図 2)。なお、SiO₂-K₂O 図の低カリウム-中間カリウムの値は、周藤・小山内 (2002) を、FeO/MgO-SiO₂ 図の、カルクアルカリ岩系とソレアイト岩系の境界は Miyashiro (1974) を使用した。これらの対比の結果から、可能性のある火山体もしくは溶岩グループについて微量元素による比較を行なった。

SiO₂-K₂O 図において、TAm-1 の岩片はすべて低カリウムの領域に区分される。中でも Type-1 や Type-2、Type-2' のカリウム含有量は、かなり低い値となっている。また、Type-1' のみが低カリウムの領域と中間カリウムの領域の境界付近にプロットされる。FeO/MgO-SiO₂ 図では、Type-2 のみがカルクアルカリ岩系とソレアイト岩系の境界付近からカルクアルカリ岩系にかけてプロットされ、それ以外はすべてソレアイト岩系にプロットされた。SiO₂-K₂O 図と FeO/MgO-SiO₂ 図による対比から、それぞれの岩片が火山体もしくは溶岩グループに対応する可能性があるかどうかを判断したものが図 3 である。

Type-1 は SiO₂ 含有量に対しやや低い K₂O 含有量と、ソレアイト岩系に区分されることで特徴づけられる (図 2)。このような特徴は、明神ヶ岳火山体の一部と金時山火山体、丸岳火山体の一部、山伏峠火山体、海ノ平火山体、湯河原火山体の一部、天昭山溶岩グループが該

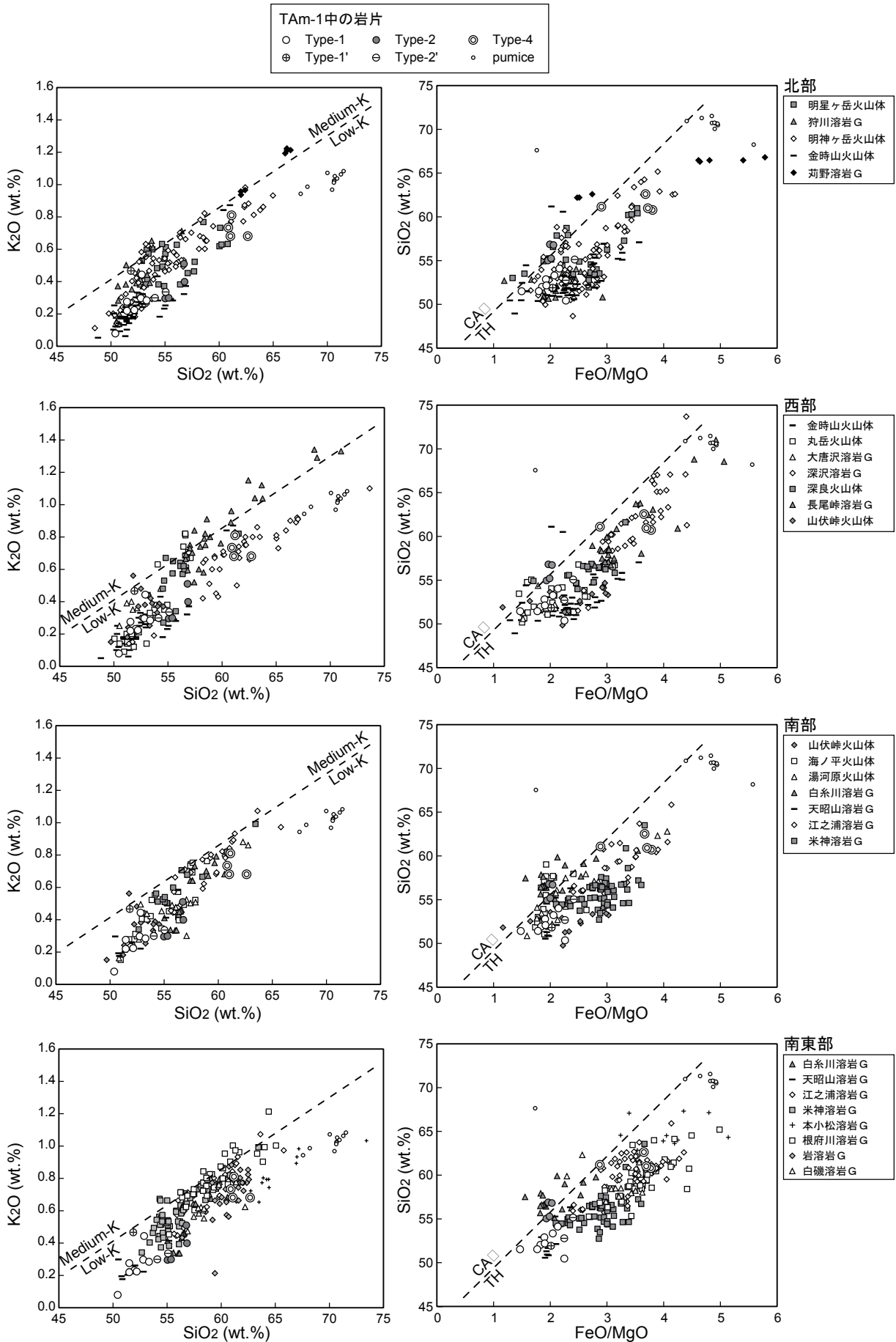


図2. TAm-1に含まれる火山岩片と箱根火山外輪山溶岩との対比。SiO₂-K₂O 図中の低カリウムと中間カリウムの領域は、周藤・小山内（2002）を、FeO/MgO-SiO₂ 図中のカルクアルカリとソレライトの領域は Miyashiro (1974) に基づく。

		北部				西部				南部				南東部								
		明星ヶ岳火山体	明神ヶ岳火山体	荻野溶岩 G	狩川溶岩 G	金時山火山体	丸岳火山体	大唐沢溶岩 G	深沢溶岩 G	深良火山体	長尾峠溶岩 G	山伏峠火山体	海ノ平火山体	湯河原火山体	白糸川溶岩 G	天昭山溶岩 G	江之浦溶岩 G	米神溶岩 G	本小松溶岩 G	根府川溶岩 G	岩溶岩 G	白磯溶岩 G
Type-1	SiO ₂ -K ₂ O	×	○	×	×	○	○	×	×	×	○	○	○	○	×	○	×	○	×	×	×	×
	FeO/MgO-SiO ₂	×	○	×	×	○	○	○	×	×	○	○	○	○	×	○	×	×	×	×	×	×
Type-1'	SiO ₂ -K ₂ O	×	○	×	○	×	×	×	×	×	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×
	FeO/MgO-SiO ₂	×	○	×	○	○	○	×	×	×	×	×	○	○	×	○	×	×	×	×	×	×
Type-2	SiO ₂ -K ₂ O	○	×	×	×	○	×	×	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×
	FeO/MgO-SiO ₂	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×
Type-2'	SiO ₂ -K ₂ O	×	○	×	×	○	○	×	×	×	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×
	FeO/MgO-SiO ₂	○	○	×	×	○	×	×	○	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	○	×	×
Type-4	SiO ₂ -K ₂ O	○	○	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○
	FeO/MgO-SiO ₂	×	○	×	×	×	×	○	×	○	×	×	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○

図3. SiO₂-K₂O 図および FeO/MgO-SiO₂ 図の対比による結果一覧。

当する (図2, 3)。

Type-1' は低カリウムの領域と中間カリウムの領域の境界付近にプロットされ、ソレアイト岩系に区分されることで特徴づけられる (図2)。このような特徴は、明神ヶ岳火山体の一部と狩川溶岩、湯河原火山体の一部が該当する (図2, 3)。

Type-2 は SiO₂ 含有量に対しやや低い K₂O 含有量と、カルクアルカリ岩系に区分されることで特徴づけられる (図2)。このような特徴は、明星ヶ岳火山体の一部と明神ヶ岳火山体の一部、深良火山体の一部、海ノ平火山体、湯河原火山体の一部、白糸川溶岩グループ、江之浦溶岩グループの一部、米神溶岩グループの一部が該当する (図2, 3)。

Type-2' は SiO₂ 含有量に対しやや低い K₂O 含有量と、ソレアイト岩系に区分されることで特徴づけられる (図2)。このような特徴は、明星ヶ岳火山体の一部と明神ヶ岳火山体の一部、金時山火山体の一部、丸岳火山体の一部、深良火山体の一部、山伏峠火山体、海ノ平火山体の一部、湯河原火山体の一部、白糸川溶岩グループの一部、天昭山溶岩グループの一部、米神溶岩グループの一部が該当する (図2, 3)。

Type-4 は SiO₂ 含有量に対しやや低い K₂O 含有量と、ソレアイト岩系に区分されることで特徴づけられる (1点のみ境界付近にプロット) (図2)。このような特徴は、明星ヶ岳火山体の一部と明神ヶ岳火山体の一部、深沢溶岩グループ、湯河原火山体の一部、江之浦溶岩グループの一部、米神溶岩グループの一部、本小松溶岩グループの一部、根府川溶岩グループの一部、岩溶岩グループの一部、白磯溶岩グループの一部が該当する (図2, 3)。

4-3. 微量元素による対比

図2 および図3の結果を基に、それぞれの Type と可能性のある岩体について微量元素に注目し、MORB で

規格化したスパイダーダイアグラム (Pearce, 1983) にて対比を行なった。対比に使用した元素は、ストロンチウム (Sr)、カリウム (K)、ルビジウム (Rb)、バリウム (Ba)、ニオブ (Nb)、リン (P)、ジルコニウム (Zr)、チタン (Ti)、イットリウム (Y) である。また、各々の火山体もしくは溶岩グループは幅広い化学組成を持つため、対比を行なうにあたっては、それぞれの Type とほぼ同量の SiO₂ 含有量をもつもののみを選んで比較を行った。すなわち SiO₂ 含有量が、Type-1 および Type-1' では 54wt.% 以下のもの、Type-2 および Type-2' では 54 ~ 57wt.% 程度のもの、Type-4 では 60 ~ 63wt.% 程度のものである。その結果、Type-1 における丸岳火山体、Type-2 および Type-2' における金時山火山体の対比試料は存在しなかった。

Type-1 においては、湯河原火山体と天昭山溶岩グループが最も類似する (図4)。また、P の含有量がやや低いものの明神ヶ岳火山体も類似している。Type-1' に該当するものは見当たらなかった (図4)。Type-2 においては、湯河原火山体と白糸川溶岩グループが最も類似した。また、ニオブの含有量がやや高いものの江之浦溶岩グループや、Y の含有量がやや低いものの明神ヶ岳火山体も類似している (図5)。Type-2' については、Type-2 と同様に湯河原火山体と白糸川溶岩グループのパターンが最も類似し、加えて海ノ平火山体もかなり類似する (図5)。Type-4 については、完全に一致するものは見られなかったが、P を除いて白磯溶岩グループと本小松溶岩グループが類似する (図6)。

5. 考察

5-1. 化学組成から見た TAM-1 の噴火口の推定

微量元素によるスパイダーダイアグラムの比較で類似点の見られた、Type-1 および Type-2、Type-2'、Type-4 に該当する火山体もしくは溶岩グループから噴火口の推定を行なった。溶岩の分布をふまえて推測される岩片の起

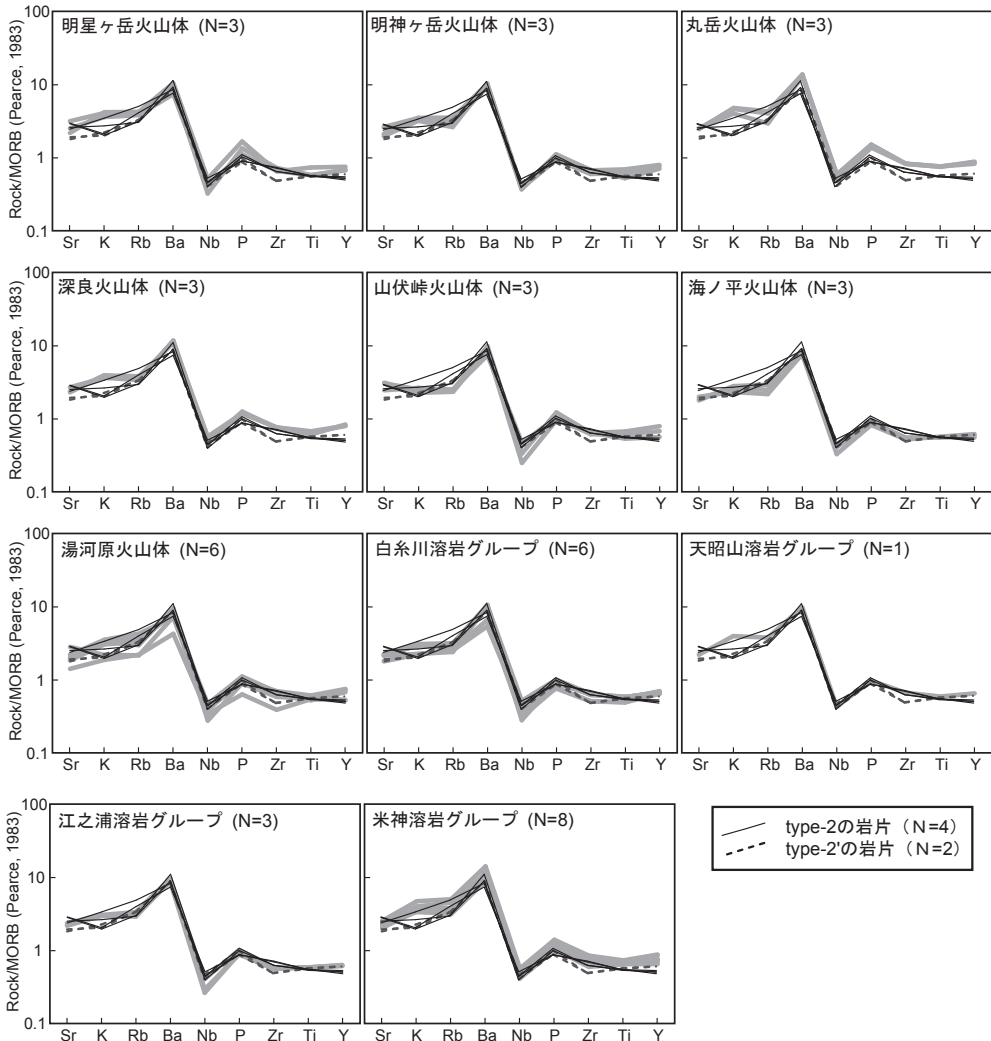
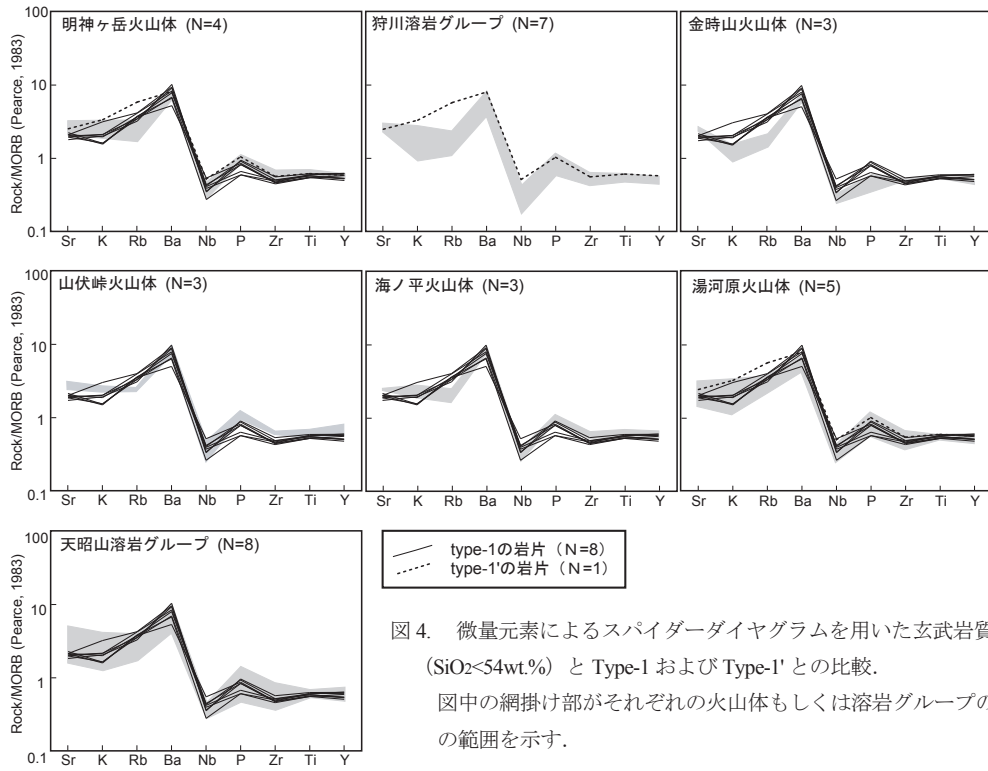


図5. 微量元素によるスパイダーダイアグラムを用いた安山岩質溶岩 ($\text{SiO}_2: 54 \sim 57\text{wt}\%$) と Type-2 および Type-2' との比較。
 図中の網掛け部がそれぞれの火山体もしくは溶岩グループの組成の範囲を示す。

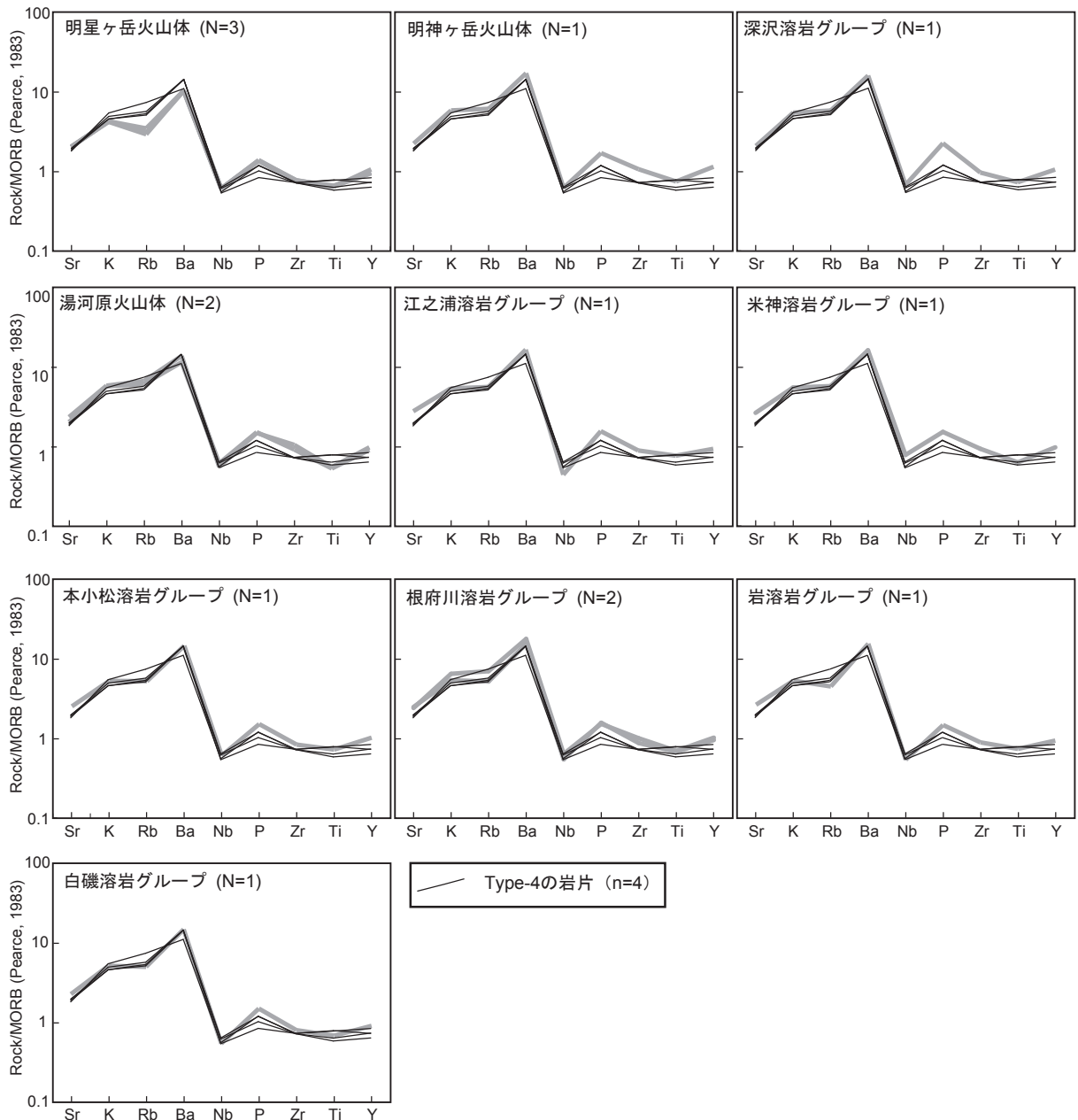


図6. 微量元素によるスパイダーダイアグラムを用いた安山岩質溶岩 (SiO_2 : 60 ~ 63wt.%) と Type-4 との比較。
 図中の網掛け部がそれぞれの火山体もしくは溶岩グループの組成の範囲を示す。

源は次のとおり。

北部においては、明神ヶ岳火山体が Type-1、Type-2、Type-2' とやや類似したが、いずれも他の岩体と比較すると類似性は低く除外される。また、Type-4 は説明できないことから北部の可能性は極めて低い。

南部では、Type-1 が湯河原火山体もしくは天昭山溶岩グループ、Type-2 および Type-2' が湯河原火山体もしくは白糸川溶岩グループ、海ノ平火山体が類似したが、北部地域同様に Type-4 は説明できないことから除外される。

南東部では、Type-1 が湯河原火山体もしくは天昭山溶岩グループ、Type-2 が湯河原火山体もしくは白糸川溶岩グループ、江之浦溶岩グループ、Type-2' が湯河原火山体もしくは白糸川溶岩グループ、Type-4 が白磯溶岩グループもしくは本小松溶岩グループが類似する。従って、すべての組み合わせを満たしたこの地域に噴火口があっ

た可能性が高い。

噴火口の位置を特定するにあたり Type-4 に注目することにする。Type-4 が現在の地表で隣接する溶岩グループは、Type-1 は存在せず、Type-2 では江之浦溶岩グループまたは白糸川溶岩グループが、Type-2' では白糸川溶岩グループが上げられる。天昭山溶岩グループの現在の地表での露出の東限は幕山周辺（新崎川右岸程度）となっている。しかし、天昭山溶岩グループは、活動時期にかなりの面積（あるいは体積）にわたって分布していたことが予想され（長井・高橋, 2008）、Type-4 に類似した溶岩グループの地下にも存在している可能性が高い。従って、Type-1 が天昭山溶岩グループであることを考慮すれば、TAM-1 の噴火口は、現在の星ヶ山周辺、特に星ヶ山の南西部あたりの可能性が最も高い。

5-2. 噴火口の位置と規模の問題点

6.5 万年前に噴出した箱根東京テフラ (Hk-TP) は、箱根火山のカルデラ内の強羅付近に長径 3 km 程度のカルデラを形成したと考えられている (萬年, 2008)。箱根東京テフラの噴火の規模は、TAm-1 と比較して同程度かやや小さいと考えられているので (町田, 1977)、TAm-1 の噴火によって、長径 3km 程度のカルデラを形成する可能性は十分にある。火山岩片から推定される TAm-1 の火口の位置は外輪山の南東斜面としたが、しかし現在、この地域にカルデラらしき痕跡、特に 3km にもわたるような大規模なカルデラ地形は残されていない。さらに、TAm-1 の噴火以降にこの地域に大規模な溶岩が流れた事実は無いことから、後の火山活動によって地形が改変された可能性は極めて低い。以上から、外輪山の南東斜面に噴火口があった可能性は疑問が残る。

5-3. カルデラ形成に関する問題点

TAm テフラ群は、TCu テフラ群、TB テフラ群、TAI テフラ群、TAu テフラ群と共に、箱根火山のカルデラ形成期の噴出物と考えられている (町田ほか, 1974)。箱根火山のカルデラの成因についてはいまだ問題点が多い。すなわち、Kuno (1953) ではグレンコー型カルデラを考えた。Kuno *et al.*, (1970) はボーリング試料などによる地下構造の解析から見出した矛盾点から、段階的な陥没モデルを考えた。その後、町田 (1977) は、比較的規模の大きいテフラの噴出とカルデラの陥没を関連させたモデルを考えた。最近では、比較的噴出量の大きいテフラの噴出によって形成した小型のカルデラが複数重なり合っ、見かけ上大きなカルデラができたと考えるモデルが考えられている (長井・高橋, 2008)。長井・高橋 (2008) に従って、TCu テフラ群から TAm-1 テフラ群までの、噴出量の大きいテフラを考慮すると、TAm-1 テフラは上位 3 番目までに入る巨大噴火である (町田, 1977)。これほどの噴火となれば、カルデラの形成に関与している可能性が高い。

5-4. 考えられる可能性

火山岩片の組み合わせからは、南東部の可能性が最も高かったが、ここで Type-4 を除外して噴火口を再推定する。念のために、南部の山体も同時に考慮すると、Type-1 が湯河原火山体もしくは天昭山溶岩グループ、Type-2 および Type-2' が湯河原火山体もしくは白糸川溶岩グループ、海ノ平火山体、江之浦溶岩グループ、Type-2' が湯河原火山体もしくは白糸川溶岩グループとなる。これらの組み合わせは、現在の屏風山周辺～芦ノ湖の南部で噴火が起きれば説明がつく組み合わせとなる。

長井・高橋 (2008) によれば、カルデラ形成期にあたる 23-13 万年前は、溶岩の噴出が外輪山の南東部と北西部 (仙石火山体はカルデラ内) で起こり、大規模なプリニー式の噴火がカルデラ内で起こったとしている。これは、仙石火山体を除くこのステージの溶岩がカルデラ内に存在しないことから導いた結果である。仮に TAm-1 の噴火が起きる前に Type-4 に相当する溶岩がカルデラ内に

噴出していた可能性は否定できない。

火山岩片から見た最適な組み合わせは外輪山南東部斜面であった。しかし、カルデラの痕跡がみつからないこと、TAm-1 はカルデラの形成に大きく関与している可能性があること、Type-4 を除く火山岩片は現在のカルデラ内の南部に噴火口があっても問題が無いこと、などから、TAm-1 の噴火口はカルデラ内の南部、特に屏風山周辺～芦ノ湖の南部あたりにあって、かつてそこには Type-4 の白礫溶岩グループもしくは本小松溶岩グループに類似する溶岩があった可能性が高い。

6. おわりに

本研究は、限られた外輪山溶岩類の化学分析値と、1 露頭で採集した TAm-1 に含まれる数点の火山岩片から導き出した結果である。今後、比較のための外輪山溶岩類の点数を増やすことで、さらなる議論が展開できると思われる。しかし、カルデラ内には、既に失われた山体が存在していた可能性もあり、その意味では本研究は 1 つの可能性を示したにすぎない。だが、過去のテフラが火山体の何処から噴出したかを知ることは難しいことから、火山岩片の組み合わせから噴出の中心を推定する方法は、唯一の方法かもしれない。

最後に、本研究を行なうにあたり、岩石プレパラートの作成および全岩化学分析のお手伝いをして頂いた神奈川県立生命の星・地球博物館地学ボランティアの、入江和夫氏、可知鋭治氏、新藤誠一郎氏、富田道恵氏、中村良氏、永井たまき氏、野村平二氏、深沢良子氏には記してお礼申し上げる。

引用文献

- 磯 望・福岡 久・遠藤邦彦・上杉 陽, 1988. 大磯丘陵中期更新世テフラの F.T 年代と鉱物特性. 第四紀学会講演要旨集, (11): 83.
- 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. 神奈川県博調査研報 (自然), (13): 111-134.
- 笠間友博・山下浩之, 2005. 伊勢原市の高森丘陵南西部, 通称「八丈の山」で出現したテフラについて. 神奈川自然誌資料, (26): 1-8.
- 小出良幸・山下浩之・川手新一・平田大二, 2000. 蛍光 X 線分析装置による岩石主要元素の分析精度の検証. 神奈川県博研究報告 (自然), (29): 107-125.
- Kuno, H., 1953. Formation of calderas and magmatic evolution. Trans. Amer. Geophys. Union, **34**: 267-280.
- Kuno, H., Y. Oki, K. Ogino & S. Hirota, 1970. Structure of Hakone Caldera as revealed by drilling. Bull. Volcanol., **34**, (3): 713-725.
- 久野久原著・箱根火山地質図再版委員会編, 1972. 箱根火山地質図説明書. 大久保書店, 52p.
- 町田 洋, 1977. 火山灰は語る. 324pp. 蒼樹書房, 東京.
- 町田 洋・新井房夫, 2003. 新編火山灰アトラス. 336pp. 東京大学出版会, 東京.
- 町田 洋・新井房夫・村田朋美・袴田和夫, 1974. 南関東における第四紀中期のテフラの対比とそれに基づく編年. 地学雑誌, **83**: 22-58.
- 萬年一剛, 2008. 箱根カルデラ—地質構造、成因、現在の火山活動における役割—. 神奈川県博調査研報 (自然), (13): 61-76.
- Miyashiro, A., 1974. Volcanic rock series in island arc and continental. Am. J. Sci., **274** (4): 321-355.

- 長井雅史・高橋正樹, 2007. 箱根火山外輪山噴出物の全岩主化学組成. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **42**: 71-95.
- 長井雅史・高橋正樹, 2008. 箱根火山の地質と形成史. 神奈川博調査研報 (自然), (13): 25-42.
- 長井雅史・高橋正樹・箱根団体研究グループ, 2006. 箱根火山南東麓の地質 (その4) -溶岩類の全岩化学組成と層序-. 関東の四紀, (27): 3-26.
- Pearce, J. A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In Hawkesworth, C. J. and M. J. Norry eds., *Continental basalts and mantle xenoliths*, pp. 230-249, Shiva Pub, Nantwich.
- 周藤賢治・小山内康人, 2002. 岩石概論上-記載岩石学-岩石学のための情報収集マニュアル. 272pp. 共立出版株式会社, 東京.
- 高橋正樹・長井雅史・内藤昌平・中村直子, 1999. 箱根火山の形成史と広域テクトニクス場. 月刊地球, **21**: 437-445.
- 山下浩之・笠間友博・神奈川県立生命の星・地球博物館地学ボランティア, 2008. 箱根火山の噴出物および基盤岩類の全岩化学組成データベース. 神奈川博調査研報 (自然), (13): 211-218.

摘 要

山下浩之・笠間友博, 2009. 箱根火山起源 TAm-1 テフラの噴火口の推定-火山岩片の化学組成と火山体との比較から-. 神奈川県立博物館研究報告 (自然科学), (38): 1-9. (Yamashita, H., & T. Kasama, 2009. A Possible Eruptive Crater of TAm-1 Tephra of Hakone Volcano based on the Petrological analysis of its Volcanic Fragments. *Bull. Kanagawa prefect. Mus. (Nat. Sci.)*, (38): 1-9.)

箱根火山のカルデラ形成期の噴出物にあたる TAm-1 テフラに含まれる火山岩片の岩石学的・地球化学的解析から、TAm-1 の噴火口位置の推定を試みた。TAm-1 テフラに含まれる火山岩片は、岩石学的・地球化学的解析からに 4 種類に区分された。このうち Type-3 のみが凝灰角礫岩で、他のものは火山岩であった。火山岩について、主要元素による対比を行なった結果、北部地域および南部地域、南東部地域に見られる火山体もしくは溶岩グループの組成と類似することがわかった。さらに、微量元素による対比の結果、火山岩片は外輪山南東部斜面のものと類似することがわかった。しかし、現在の外輪山南東部斜面には、TAm-1 を噴出させたようなカルデラ地形は残されていない。このことから、TAm-1 はカルデラ内の南部で噴火が起きた可能性が考えられる。

(受付 2008 年 11 月 30 日 ; 受理 2009 年 1 月 22 日)