八丈島, 東山火山のテフクロノロジー

杉 原 重 夫*

Tephrochronological Study of Higashiyama Volcano at Hachijojima, Izu Islands

Shigeo SUGIHARA *

Abstract

Hachijojima, one of the Izu Islands, is located on the Volcanic front of the Izu-Ogasawara (Bonin) Arc which lies south to north along the boundary of the Pacific plate and the Philippine Sea Plate. Hachijojima consists of two stratovolcanoes: Higashiyama and Nishiyama. There is a sharp contrast between Higashiyama, which is a well-dissected mountain, and Nishiyama, which is cone-shaped. It is topographically clear that Higashiyama was formed earlier than Nishiyama. The following is a summary of the results of this study.

1) The eruptive history of Higashiyama can be divided into six ages: Sokodo I (40-50 ka), Sokodo II (ca. 25-33 ka), Sueyoshi (ca. 17-25 ka), Nakanogo I (ca. 11-17 ka), Nakanogo II (ca. 5.8-11) and Mitsune (ca. 5.8 ka and later).

2) At Higashiyama, a large amount of dacitic magma erupted in the Sokodo I Age and the Sueyoshi Age, and formed a caldera. In the Sokodo I age, the early stratovolcanoes were subjected to landslides and collapsed, and the Higashiyama caldera emerged. In the Sueyoshi Age, the summit of Higashiyama stratovolcanoes were subject to landslides and collapsed to form the Nishihakuunzan caldera.

3) the Higashiyama stratovolcano (young stratovolcano I) was formed in the Sokodo II Age and Mihara stratovolcano (young stratovolcano II a, b) in the Nakanogo I Age by eruptions of basalt and andesite magma.

4) Higashiyama formed a central cone at the end of Nakanogo I Age and eruptions from the summit ended around ca. 11 ka. Thereafter, it transformed into a flank eruption which issued andesite magma in the Nakanogo II age. In the Mitsune age, volcanic activities of Higashiyama receded.

5) In the Nishiyama region, eruptions became active from the Nakanogo I Age and issued mainly basaltic tephra and pyroclastic surges. However, dacitic tephra was also issued. Occasional finding of pumice fall deposit suggest the generation of dacitic magma.

6) On Higashiyama, deposits Aira-Tn ash (ca. 24.5 ka) and Kikai-Akahoya ash (ca. 6.3 ka) were transported by westerlies from the Kyusyu area. They prove to be important marker tephra clarifying the tephra stratigraphy and eruptive history in this region.

* 明治大学地理学研究室

* Department of Geography, Meiji University

Key words : Hachijojima, Higashiyama, tephrochronology, tephra stratigraphy, eruptive history, Aira-Tn ash, Kikai-Akahoya ash

キーワード：八丈島，東山，テフロクロノロジー，テフラ層序，噴火史，始良 Tn 火山灰，鬼界アカホヤ火山灰

I. ま え が き

八丈島は伊豆・小笠原弧の火山フロント上に位置する伊豆諸島の中の一つの火山島で，南東側に東山（三原山），北西側に西山（八丈富士）と呼ばれる2つの成層火山が繭型に連なる。このうち，東山は低アルカリソレイト系列の玄武岩からデイサイトまでの変化に富む化学組成の噴出物が認められるのに対し，西山は玄武岩を主体とする噴出物で構成される（一色，1959 ほか）。開析が進んだ複雑な山体の東山と円錐形をした西山とは対照的で，東山が西山より古く形成されたことは地

形的に明らかである（図1）。

八丈島の地形・地質と噴火史については，一色（1959）の5万分の1地質図幅「八丈島」および同説明書がその後の研究の基礎となる。テフラに基づく八丈島の火山活動史の本格的研究は，津久井ほか（1991）の研究が最初である。この報告によって，東山の噴火活動は古い方から末吉，中之郷，三根の各ステージに区分され，過去22,000年間の噴火史の概要が明らかになった。その後，津久井（1993），津久井ほか（1993）は東山で識別されたテフラの層位や噴火様式に再検討を加えるとともに，層位的に明らかにされた噴出物の化

図1 八丈島地形概観図。

陸上は幅500mの谷埋め接峰面，海底の等深線は1/200,000 海底地形図（海上保安庁水路部）による。

学組成からマグマの供給系の変化や分化過程について考察した。また菅 (1993, 1994) は、東山における多数のテフラの等層厚線図を描き、西山方面を起源とする多数のテフラを確認した。しかし、テフロクロノロジー研究の基礎となるテフラの噴出源や対比、またカルデラの形成時期については、なお議論の余地が残されている。なかでも、東山において広範囲に分布する「末吉軽石流堆積物」(津久井ほか, 1991) の噴出源 (西白雲山カルデラか三原カルデラか) をはじめ噴火活動と火山体の形成史との関連性についての基本的な問題が解決に至っていない。

これまでに筆者は、八丈島において始良 Tn 火山灰 (町田・新井, 1976) や鬼界アカホヤ火山灰 (町田・新井, 1978) などの広域テフラを追跡・発見し (杉原・小田, 1989, 1990), 火山地形の形成過程や遺跡・遺物の編年学的研究を行ってきた。本稿は東山のテフラの再対比を行ない、テフラを基準として溶岩、岩屑なだれ堆積物、泥流堆積物および火山地形との層位関係を明らかにしたうえで噴火期を時代区分し、火山体発達史を具体的に記載しようとするものである。また西山方面を起源とする示標テフラを検索し、西山の噴火史についても検討する。各テフラの同定・対比にあたっては野外における堆積相を重視したうえで、鉍物分析、特定鉍物の屈折率測定¹⁾を行なった。テフラの噴出年代は、これまでに東山の火山噴出物や遺跡の調査で行なわれた多数の ¹⁴C 年代測定値²⁾のデータを整理・検討し、噴出年代が未詳のテフラについては、火山灰土の層厚から推定した。

II. 地形・地質の概観

1 万分の 1 空中写真 (建設省国土地理院発行) の判読と現地調査により、東山の主成層火山を古期成層火山と新期成層火山に大きく分類した。新期成層火山は I, IIa, IIb の 3 つの火山体から構成される (図 2)。

古期成層火山は、東山北東部の御正^{みしょうたいね}体根、白ママ、今根ヶ鼻にかけての海食崖から陸側に傾斜する山体 (御正体火山)、東山南東部の汐間付近の山体、同北西部の横間ヶ浦から鴨川上流部にか

けての山体 (横間ヶ浦火山)、同南西部の奈古ノ鼻付近の断片的な山体からなる。これらの山体には、内陸側に急傾斜するカルデラ壁と考えられる弧状の斜面が認められる。古期成層火山は異なる時期に形成された複数の山体からなると考えられ、その活動時期は K-Ar 年代測定から <0.14 Ma (Kaneoka *et al.*, 1970), または 25~45 万年前頃 (新エネルギー・産業技術総合開発機構: NEDO, 1993) とされている。

新期成層火山 I は、主に東山の東半部を占める半円錐形の山体で、山頂部に西白雲山-東台子山にかけて半円弧を描く西側に開いたカルデラ (推定最大径約 2.3 km) を持つ。これが津久井ほか (1991) の西白雲山カルデラにあたる。東山の側火山である東白雲山 (標高 607.9 m) からは、北東方向へ溶岩が流出する。なお、新期成層火山 I の山体は、標高 350 m より高い山体の傾斜が急で谷の発達も悪い。スパターや降下スコリアなどの碎屑物が厚く山頂部を覆っているためと考えられる。

新期成層火山 IIa は^{かしたて}檜立東部から中之郷にかけて、海側に広がる扇形の山麓斜面からなる。この山体は東山のなかでも最も緩傾斜地が認められ、そのうえ谷の発達も少なく (東京電力株式会社・東電設計株式会社, 1994), 周囲の開析された山体とはかなり対照的な地形をなす。菅 (1994) はこの東山南麓にカルデラ (中之郷カルデラ) の存在を考えた。この山体上に側火山である八幡山 (標高 225.3 m) の火砕丘が噴出している。新期成層火山 IIb は、三原山 (標高 700.9 m) を山頂とする円錐山体である。山頂には東西約 1.4 km, 南北約 0.9 km の凹地があり、津久井ほか (1991) は三原カルデラと呼んだ。この小規模なカルデラは 2~3 個の火口が複合した地形を呈し、カルデラ内には、中央火口丘のほか複数の火口が認められる。

西山火山 (標高 854.3 m) の山頂には直径約 400 m の火口が存在し、この山頂から見て全方向に多くの側火山が分布する。なかでも南東側と北西側の山腹では火砕丘や割れ目火口が放射状に配置されている。西山の南西山麓にある神止山 (標高

図 2 八丈島地形分類図。

1. カルデラ壁または火口壁, 2. カルデラ壁または火口壁の推定または滑落崖, 3. 火砕丘, 4. タフコーンまたはタフリング, 5. 明瞭な溶岩ロープ, 6. 溶岩流の末端崖, 7. 海食崖, 8. 谷底低地と段丘, 9. 西山火山, 10. 東白雲山火山, 11. 新期成層火山 IIb, 12. 新期成層火山 IIa, 13. 新期成層火山 I, 14. 古期成層火山

194.5 m) は、海底でのマグマ水蒸気爆発によって形成されたタフコーンである。

西山の主成層火山で注目されるのは、標高 500~600 m 付近で山体の傾斜が一旦緩くなることである。これについては、西山のカルデラが埋積された地形とされている（佐藤，1952；大島，1988；東京都防災会議，1990）。

III. 各示標テフラの記載

1) テフラグループの区分

東山におけるテフラグループを、下位から底土テフラグループ (SkG), 末吉テフラグループ (SyG), 東山テフラグループ (HyG), 三根テフラグループ (MtG) の 4 グループに区分した (図 3)。ただし底土テフラグループについては地層の露出が悪く、模式地以外での十分な調査は行っていない。

図 3 八丈島，東山のテフラグループ総合柱状図。

1. 降下スコリア（石質岩片少ない），2. 降下スコリア（石質岩片多い），3. 降下軽石，4. 火砕流堆積物，5. 降下火山灰・火山灰流，6. 広域火山灰，7. スコリア質サージ堆積物，8. 岩屑なだれ堆積物，9. 泥流堆積物，10. 溶岩，11. 火山灰土，12. 表土・埋没土壌，13. 黄色粘土質火山灰，14. 泥炭，15. 砂礫
MtG：三根テフラグループ，HyG：東山テフラグループ，SyG：末吉テフラグループ，SkG：底土テフラグループ，SKDA：底土岩屑なだれ堆積物，HMS：三原降下スコリア，SDA2：末吉火砕流堆積物 1，NGL：中之郷溶岩

〔地点図〕 Loc. 1：三根から登竜峠に至る地点標 45 と 46 の間，炭焼き小屋脇（通称よかき）。Loc. 2：登竜峠西約 500 m（地点標 41 から海側に分岐した道路沿い）。Loc. 3：三原山山頂。Loc. 4：末吉，象ノ沢（地点標 26 の北約 50 m）。Loc. 5：末吉，台ヶ路（宮ヶ路下，地点標 25 の東約 200 m）。Loc. 6：中之郷，NTT 前（地点標 11 付近）。

なお底土湾東岸などでは、ここに記載するテフラグループの下位に、デイサイト質の火砕流を主とする噴出物が認められる。これらは底土テフラグループ中の層位的に下部に属すると考えるが、地域間における層序関係が確定していない（IV章-1）で述べる）。各テフラグループは火砕物と火山灰土（風化した細粒火砕物と風成塵が混在したもので、通称「ローム」と呼ばれる）の累積した地層から構成される。底土・末吉・東山の各テフラグループの上限には厚い火山灰土（厚さ30~70 cm）が見られることが多く、なかでも末吉テフラグループ上限には黒褐色の埋没土壌が発達する。なお各テフラグループの間には侵食不整合が認められることがあるが、斜交関係は厚い火砕物の上面や下面にも観察できるので、噴火の休止期のほか噴火活動による斜面崩壊や植生破壊による侵食が関係する場合があると考えられる。

各テフラグループ中の示標テフラは、上下を火山灰土に挟まれた1輪廻の噴出物（中村ほか、1963）をできるだけ基本単位として命名した。その結果、東山における示標テフラとして、底土テフラグループ中に18枚（Sk1~Sk18）、末吉テフラグループ中に20枚（Sy1~Sy20）、東山テフラグループ中に27枚（Hy1~Hy27）、三根テフラグループ中に12枚（Mt1~Mt12）の計77枚を識別した。ここでは、津久井ほか（1991、1993）、津久井（1993）および菅（1993、1994）の論文によって記載されたテフラ名称との比較（表1）、および主な示標テフラの岩石記載的特性（表2）を示した。

2) 八丈島以外に給源を持つテフラ

八丈島には島内および近海を噴出源とする多数の粗粒テフラの間に、火山ガラスを主体とする流紋岩質火山灰や細粒の斑晶鉱物からなる流紋岩質~デイサイト質火山灰が挟まれていて、テフラ層序を確立するうえで極めて有効な示標テフラとなる。東山一帯で認められる始良Tn火山灰（略称：AT）と鬼界アカホヤ火山灰（略称：K-Ah）は、日本における第1級の示標テフラである（町田・新井、1992）。ATは末吉テフラグループの下部にあって、厚さ2~3 cmにすぎないが保存が良く、

白色の細粒火山灰層として、東山東部、末吉付近や東山北部、三根から登竜峠^{のぼりやとうげ}に至る都道沿いで認められる。K-Ahは東山テフラグループ最上部の褐色の火山灰土を水洗処理して火山ガラスを選別し、鏡下で観察することによって識別できる。

このほか、島外に起源を持つと考えられる示標テフラとして、新期成層火山を構成する噴出物の基底付近に挟する八丈ガラス質火山灰（略称：HGA）、東山テフラグループ下部の八丈流紋岩質火山灰（略称：HRA）、同中部の八丈黄色火山灰（略称：HYA）がある。このうちHRAとHYAは東山のほぼ全域で追跡でき、良い鍵テフラとなる。HGAは三根、泉の露頭（図12、図13、Loc. 2）でカメソウノ鼻火砕流堆積物1の下位に続く、厚さ約18 mに及ぶ火山灰土や火砕物の最下部に認められた新発見のテフラである。この示標テフラは灰黄褐色の細粒火山灰（層厚2~3 cm）で、パミス型の火山ガラス（屈折率 $n=1.502-1.504$ ）からなる。HRA³⁾は津久井ほか（1991）の流紋岩質白色火山灰（RWA）にあたる。この示標テフラは灰白色~白色の粘土質火山灰層（層厚1~2 cm）で、検出された含有鉱物は、いずれも細粒斑晶で緑色角閃石が多く、このほか斜方輝石、黒雲母が認められる。屈折率は斜方輝石が $\gamma=1.703-1.708$ 、角閃石が $n_2=1.670-1.674$ である。HYAは黄色の粘土質火山灰（層厚1~7 cm）で、斑晶鉱物は斜方輝石、単斜輝石からなる。斜方輝石の屈折率は $\gamma=1.714-1.717$ である。HYAは津久井（1993）のデイサイト質軽石層、津久井ほか（1993）のpumice layerにあたる。HGA、HRA、HYAの3枚のテフラの噴出源は、伊豆・小笠原弧に沿う諸火山や海底火口と考えられる。

3) 各示標テフラの記載

1. 底土テフラグループ

底土テフラグループの模式地を、登竜峠の西約500 mの露頭におく（図3、Loc. 2）。底土テフラグループは、かつて菅（1994）が登竜峠ステージの噴出物としたものである。しかし登竜峠周辺は、このステージとされた厚い降下スコリア層が、より新しい東山テフラグループの構成層（Hy8、Hy9など）であることが明らかになったことから、

表 1 テフラ名称の比較表。(層序の詳細は本文を参照)

津久井岩か (1991, 1993) 津久井 (1993)	菅 (1993, 1994)	本論文
		Mt 1, 2 (八重根火山段Ⅱ)
		Mt 1, 1 (八重根火山段Ⅰ)
	NS (西山降下スコリア群)	Mt 7~10
MA 7	MA 7	Mt 6
MA 7 P	M 2 P (水海山降下軽石)	Mt 5
OBP (尾端軽石)	MA 6 b	Mt 4
MA 6	MA 6 a	Mt 3
		Mt 2
	MA 5	Mt 1
MA 5	MA 5	K-Ah
MY P (妙法寺降下軽石)	MY P	Hy 27
K-Ah	K-Ah	Hy 26
八幡山溶岩流	HMS (八幡山降下スコリア)	Hy 24・25
MMF (三原泥流堆積物)	MHT (三原泥流降下火山礫)	Hy 23
MA 4	MA 4	Hy 20~22
HHP (東白雲山降下軽石)	HHP (東白雲山降下軽石)	Hy 19
MA 3	MA 3	Hy 18
MIP (三根降下軽石)	MIP (三根降下軽石)	Hy 17
MA 2	MA 2	Hy 16
MA 1	MA 1	Hy 15
Reddish ash	MRA (三原赤色火山灰)	Hy 14
NKS (奈古ノ鼻降下スコリア)	NKS (奈古ノ鼻降下スコリア)	Hy 13
	NKSt (奈古ノ鼻サージ)	Hy 12
	NGS 8	Hy 11
NK 9	NGS 7	HYA (八丈黄色火山灰)
NK 7・8	f a 火山灰	Hy 10
Pumice layer		Hy 9
NK 5・6	NGS 6	
NK 3・4	NGS 4・5	

表 2 東山における主な示標テフラの岩石記載的特徴.

地点 ¹⁾	テフラ ²⁾	タイプ ³⁾	色調 ⁴⁾	厚さ (cm)	最大粒径 ⁵⁾ (cm)		重鉱物組成 ⁶⁾	火山ガラス ⁷⁾	屈折率 ⁸⁾		
					軽石・スコリア	岩片			火山ガラス (n)	斜方輝石 (γ)	角閃石 (n ₂)
図 9 Loc. 2	MtG	Mt6 (最下部 の軽石)	pfa	灰	5	5	4	cpx>opx, mt	pm-gl	1.525-1.527	1.706-1.710
		Mt5	pfa	灰	0-90	5	3	opx≥cpx>mt	pm-gl		1.710-1.715
		Mt4 (上部)	(psr)	灰	120	5	3	opx≥cpx≥mt	pm-gl	1.528-1.531	1.710-1.715
		Mt4 (下部)	pfa	灰	110	8	7	opx≐cpx>mt	pm-gl	1.527-1.530	1.710-1.715
		Mt1 (軽石の上 部ユニット)	pfa	灰	10	3	2	opx>cpx>ol, mt	pm-gl	1.532-1.535	1.711-1.716
		Mt1 (軽石の下 部ユニット)	pfa	灰	12	5	4	opx≐cpx>mt	pm-gl		1.710-1.715
図 3 Loc. 1	HyG	K-Ah	afa	—	10	vf	—	—	bw-gl	1.510-1.512 (1.511)	
		Hy22 (上部ユ ニット)	pfa	橙	20	5	3	opx>cpx>mt			1.704-1.709
		Hy22 (下部ユ ニット)	pfa	黄	12	1	1	opx>cpx>mt			1.704-1.709
		Hy21 (上部ユ ニット)	pfa	黄	20	6	3	opx>cpx>mt			1.704-1.709
		Hy21 (下部ユ ニット)	pfa	黄	8	1	1	opx>cpx>mt			1.704-1.709
		Hy20	pfa	黄	20	6	2	opx>cpx>mt			1.704-1.709
図 3 Loc. 4	HyG	Hy18	pfa	黄	8	2	1	vp (opx, cpx)			1.715-1.720
		Hy12	sfa	赤橙	60	5	少ない	opx≫mt, (ol)			1.705-1.710
		Hy11	sfa	赤橙	110	5	4	opx>cpx, ol, mt			1.710-1.713
		HYA	afa	黄	2	vf	—	opx>cpx, mt			1.714-1.717
		Hy8	sfa	赤橙	90	2	少ない	vp (opx>ol, mt)			1.698-1.704
		HRA	afa	灰白	1-2	vf	—	gl-ho≫opx, ol, mt			1.703-1.708 1.670-1.674
図 3 Loc. 5	SyG	Hy1	pfa	黄褐	60	5	3	cpx>opx>mt			1.700-1.705
		Sy15	pfa	明褐	30	4	3	opx≐cpx>ol, mt			1.718-1.722
		Sy12	pfa	黄褐	20	2	1	opx≐cpx>ol, mt			1.714-1.720
		Sy11	pfa	褐	7	3	4	cpx, opx, (ol) (vp phe)			
		Sy9	pfa	明赤褐	15	5	少ない	opx>cpx>mt			1.709-1.713
		Sy7	pfa	明黄褐	110	8	7	cpx>opx>ol>mt			1.720-1.724 (1.721-1.723)
		Sy6	pfa	黄橙	20	1	1	opx≐ol>cpx>mt			1.721-1.726
		Sy5 (SPF-1)	pfl	暗黄灰	500	20	10	opx>cpx≐ol>mt	pm-gl	1.521-1.524	1.725-1.730
		Sy5 (基底の 降下軽石)	pfa	明黄褐	10	1.5	1	opx>cpx≐ol>mt			1.726-1.730
		AT	afa	灰白	5	vf	—	—	pm-gl	1.499-1.501 (1.500)	
		Sy3	pfa	黄橙	40	7	3	opx>cpx, ol, mt			1.725-1.730
		Sy2	pfa	赤橙	90	10	4	opx>cpx, ol, (mt)			1.726-1.731
		Sy1	pfa	明赤褐	120	8	2	opx>cpx, mt			1.714-1.720
図 3 Loc. 2	SkG	Sk4 (上部)	pfa	黄	30	3	3	opx≫cpx			1.735-1.739
		Sk4 (下部)	pfa	暗褐	40	1	1	opx>cpx, ol			1.734-1.739
		Sk2	pfa	褐	40	1	1	opx			1.698-1.701
		Sk1	pfa	褐	20	6	5	opx			1.700-1.737

示標テフラの記載は、底土～三根テフラグループの示標テフラに限る。主に杉原 (1995) による。

1) 試料採取地点は柱状図に示した。2) テフラ名称は表 1 と同じ。3) pfa: 降下軽石, psr: 火砕サージ, sfa: 降下スコリア, afa: 降下火山灰, pfl: 軽石流。4) 標準土色帳による。5) 最大 3 個の平均直径, vf: 極細粒。6) 斑晶鉱物の組み合わせ, opx: 斜方輝石, cpx: 単斜輝石, gr-ho: 緑色角閃石, ol: カンラン石, mt: 磁鉄鉱, vp phe: 斑晶鉱物が非常に少ない。7) pm-gl: 軽石型火山ガラス, bw-gl: バブル型火山ガラス。8) 屈折率のレンジを示す。カッコ内はモード。

模式地としてふさわしくない。

底土テフラグループ中に識別した示標テフラの大部分はスコリアで、軽石は少ない。降下スコリア層は下部～中部層準のSk1からSk9の間に粗粒で厚いものが多い。また底土テフラグループ中の降下スコリア層のうちSk3, Sk7, Sk13, Sk16は石質岩片に富む。またSk17は灰色を呈する固結した本質火山灰からなり、細粒の火砕流（火山灰流）として堆積したと考えられる。底土テフラグループのSk4, Sk8, Sk14は降下軽石である。このうちSk4は2枚のユニットからなり、扁平に変形した粘土質な粗粒軽石と石質岩片が混在するテフラである。鉱物組成は斜方輝石、単斜輝石を主体とし、斜方輝石は $\gamma=1.734\text{--}1.739$ の高屈折率を示す。Sk4のほかの降下軽石については粘土化が著しい。これらの降下軽石は島内や近海に噴出源が考えられる。模式地以外では、東山東南部の洞輪沢（都道地点標122⁴）付近で末吉軽石流の下位に認められるテフラグループ（層厚10m）も底土テフラグループに含まれるが、模式地の層序との対比は今後の課題である。

なお底土湾東岸などでは、ここで記載したテフラグループの下位に、軽石流を主とする噴出物が認められる。また三根、泉の露頭では軽石流の下位にHGAを介在するテフラ層が続く。これらはデイサイト質の火砕流が卓越した時代の噴出物であり、ここでは底土テフラグループに含めない（火砕流についてはIV章-1）で記載する）。

2. 末吉テフラグループ

末吉テフラグループの模式地を東山東麓の末吉、台ヶ路（図3, Loc. 5; 図4, Loc. 2）の露頭におく。しかし最近になって供養橋の北側（地点標26）に好露頭（図4, Loc. 1）ができたので、これを副模式地とする。

末吉テフラグループの大部分は、デイサイト質の降下軽石と火砕流から構成される。このうち津久井ほか（1991）の「末吉軽石流堆積物」はATの上位に認められているが、火山灰土を挟んでSy5やSy7の2枚の火砕流堆積物に分かれることが明らかになった。このうちSy5を末吉火砕流堆積物1（SPF1）、Sy7を末吉火砕流堆積物2

（SPF2）と呼ぶ。

台ヶ路における末吉火砕流堆積物1（層厚480cm）は、直下に降下軽石（層厚30cm）、上位に岩屑なだれ堆積物（層厚300～400cm）が重なる。なお、火砕流堆積物中に降下軽石を挟んだり、フローユニットの不鮮明な境界が認められることがあるが、これらは短時間に堆積した一連の噴出物と考えられる。最も厚い末吉火砕流堆積物1が観察できるのは石積ヶ鼻海岸（図4, Loc. 3）で、その厚さは約9m、白色、灰色、ときに白黒の縞状構造を呈する発泡の良い軽石と類質・異質火山岩礫からなり、下部2mの範囲の層準に炭化木が多数認められる。末吉火砕流堆積物1は、東山南東麓の末吉付近を中心に東山北麓にも分布し、断片的には西麓の東里付近でも認められる。また、北麓（登竜峠以西の都道沿い）での末吉火砕流堆積物1は1m以下の軽石質火山灰からなり火砕サージの構造を持つ。このことから、火砕流の主体部は東山の山頂付近から東または南東方向に流下し、これにはずれたところではアッシュクラウドサージとして堆積したと考えられる。

末吉西部の洞輪沢のほか、中之郷東部の堤ヶ沢や檜立西部の旧八中組プラント敷地内（図4, Loc. 7）で、末吉火砕流堆積物1に伴う岩屑なだれ堆積物の上位に認められる末吉火砕流堆積物2（層厚1～5m）は、層位的にも岩石記載的特性からも、末吉付近におけるSy7の降下軽石に対比できる。したがって、Sy7の噴火では東山の北東～東麓に降下軽石、南麓に火砕流が堆積したことになる。Sy5とSy7の火砕流の主要鉱物はいずれも斜方輝石、単斜輝石と風化カンラン石からなるが、斜方輝石の屈折率が前者が $\gamma=1.725\text{--}1.730$ 、後者が $\gamma=1.720\text{--}1.725$ であることから、両者の識別は可能である。

以下に末吉テフラグループ中の主要な降下テフラの堆積様式、層相、分布について記載する（図5）。

〈AT下位の示標テフラ〉

Sy1：鮮やかなオレンジ色を呈する粗粒な降下軽石である。層厚は登竜峠の西で6mに達し、末吉付近で1m前後、分布軸は東山の中央部から北

図 4 末吉テフラグループの柱状図 (Sy1~Sy20)。

1. 降下スコリア (石質岩片少ない), 2. 降下スコリア (石質岩片多い), 3. 降下軽石, 4. 火砕流堆積物, 5. 降下火山灰・火山灰流, 6. 広域火山灰, 7. スコリア質サージ堆積物, 8. 岩屑なだれ堆積物, 9. 泥流堆積物, 10. 溶岩, 11. アアクリンカー, 12. 変質火山岩塊, 13. 火山灰土, 14. 表土・埋没土壌, 15. 黄色粘土質火山灰, 16. 湖成堆積物 (粘土・シルト), 17. 湖成堆積物 (砂), 18. 火山灰土中の砂礫

SDA1: 末吉岩屑なだれ堆積物 1, SDA2: 末吉岩屑なだれ堆積物 2, SPF1: 末吉火砕流堆積物 1, SPF2: 末吉火砕流堆積物 2, SPF3: 末吉火砕流堆積物 3, IZL: 石積ヶ鼻溶岩

〔地点図〕 Loc. 1: 末吉, 供養橋の北約 100 m (地点標 26). Loc. 2: 図 3, Loc. 5 と同じ. Loc. 3: 末吉, 石積ヶ鼻海食崖. Loc. 4: 末吉, 神子尾 (地点標 22 の西約 250 m から入る林道脇). Loc. 5: 登竜峠西約 1 km (地点標 42). Loc. 6: 同西約 600 m (地点標 40 と 41 の間). Loc. 7: 樫立, 旧八中組プラント敷地内.

図 5 末吉テフラグループの降下テフラ・火砕流の分布と等層厚線図。
厚さの単位：cm。網目は SPF1, 2, 3 の分布範囲。Sy5, Sy7 の・印は SPF1, ×印は SPF2 の層厚，矢印は SDA2 の分布する方向。

麓方向に伸びる。上部に石質岩片が多い。

Sy2・Sy3：いずれもオレンジ色の降下軽石で、分布パターンは東山から東方に伸び、このうち Sy2 は末吉付近で層厚 1～2 m に達し、全体に類質の石質岩片を多量に含む。Sy3 には黒色ガラス質の安山岩角礫（最大粒径 3 cm）が目立つ。

〈AT 上位の示標テフラ〉

Sy7：複数のユニットで構成される黄色の降下軽石で、層厚は登竜峠付近で約 2 m，末吉付近で 1～1.5 m である。斜長石の遊離斑晶を多く含む。

Sy8：暗赤褐色を呈するスコリア質軽石の降下テフラで、末吉付近での層厚は約 40 cm である。上部が粗く石質岩片が多く混じる。

Sy9：発泡の良いオレンジ色の軽石で、ときに淡赤橙色（ハム色）を呈する粗粒軽石が混じる。

末吉付近での層厚は約 25 cm，上部に黄色の火山灰質粘土が重なる。

Sy10：末吉付近では薄い火山灰土を挟んで、Sy10A と Sy10B の 2 枚のテフラからなる。Sy10A は厚さ 6～7 cm，軽石を含む青灰色火山灰層である。また Sy10B は厚さ約 20 cm，黄色軽石層の上部に青灰色火山灰層が重なる。

Sy11：火山灰土中に認められる，いずれも粗粒な赤褐色軽石と青灰色石質岩片の散乱帯である。このテフラは，末吉付近のほか東山北麓，檜立西部でも広く追跡できる。

Sy12：末吉付近では厚さ 15 cm 前後の黄色降下軽石で，白色をした斜長石の遊離斑晶を含む。上部に薄い青灰色火山灰層が認められることがある。

Sy13：厚さの変化に富む青灰色火山灰層で，基

底部に粗粒な降下軽石（最大粒径 6 cm）を伴う。末吉付近での最大の厚さは 1.5 m、火山灰層中には本質火山角礫のほか類質の亜角礫が混じる。この噴火では、降下軽石噴出直後に火砕流が発生し、山麓の谷を埋めて堆積したと考えられる。Sy13 は津久井ほか（1991）の末吉泥流堆積物 2、菅（1994）の末吉火砕流堆積物 2 にあたり、末吉付近のほか東山北麓や檜立西部でも広く分布し、固結度が高く露頭では突出して目立つ。本稿では、火砕流の部分をも末吉火砕流堆積物 3（SPF3）と呼ぶ。

Sy14：末吉付近では黄色を呈する層厚 10 cm 前後の細粒降下軽石で、斜長石の遊離斑晶を含む。

Sy15：黄橙色の粗粒軽石と石質岩片からなり、末吉付近での層厚は 80 cm 前後である。上半部はマトリックスに軽石質火山灰を多量に含み、火砕流堆積物である可能性がある。

末吉付近では Sy15 より上位の厚い火山灰土中に降下スコリア（Sy18, Sy20）、スコリア質火山灰（Sy16）、灰色基質火山灰（Sy17, Sy19）が挟まる。これらのテフラの噴出火口や分布範囲は明らかでない。

3. 東山テフラグループ

東山テフラグループの模式地を東山東麓の末吉、象ノ沢（地点標 26 の北）の露頭におく（図 3, Loc. 4；図 6, Loc. 4）。東山テフラグループには津久井ほか（1993）の中之郷ステージと三根ステージ下部に挟まれる多数の降下スコリア層のほか、菅（1994）の末吉 II ステージ上部のスコリア層が含まれる。

示標テフラである HRA は Hy6 と Hy7 との間、HYA は Hy10（A・B）と Hy11（A・B）との間の層準に介在する。

HRA 以下のスコリア層のなかで Hy4 と Hy5 は、いずれも破碎された類質岩片を多量に含み、不明瞭な層理構造が認められるテフラである。末吉付近における Hy4 と Hy5 はそれぞれ厚さ約 20 cm に過ぎないが、中之郷方面で厚いので、東山南麓に噴出源が考えられる（図 8）。今回の調査で Hy4・Hy5 は、層位的に藍ヶ江の海食崖に露出する中之郷サージ堆積物（菅，1994）に対比できるこ

とが明らかになった（図 6, Loc. 4, 5, 8, 10）。HRA 以下には、このほか Hy3 や Hy6 のように粒径が細かい淘汰の良い細粒火山砂からなる降下スコリア層が認められる。東山東麓～北麓で広く分布し、東山山頂付近のサブプリニー式噴火またはストロンボリ式噴火によると考えられる（図 7）。

HRA と HYA の間の層準では、Hy8 と Hy9 の降下スコリア層が厚く、東山北東麓の登竜峠付近で合わせて 20 m 以上に達する。この 2 枚のスコリア層は成層構造が発達する複数のユニットが累積したものである。Hy8 と Hy9 の噴出源は、いずれも東山の山頂付近と考えられる。菅（1993）が登竜峠ステージの噴出物とした登竜峠付近の厚いスコリア層は、Hy8 と Hy9 にあたる。HYA を挟んで上下に介在する Hy10（A・B）と Hy11（A・B）は東山東麓～南東麓で認められる降下スコリアで、いずれも類質岩片が著しく、斜長石の遊離斑晶を多く含む特徴あるテフラである。これらは薄い火山灰土を挟む複数のユニットに分かれることがある。

HYA の上位では、Hy12 が石質岩片の少ない比較的発泡の良いスコリア層である。末吉、^{みこの}尾付近では厚さ 3 m 前後であるが、末吉西方の標高 300 m 付近（^{はすひがやえぼし}筈樋川烏帽子線終点）では厚さ 15 m、最大粒径 20 cm に及ぶ。その分布パターンから、東山山頂に噴出源があると考えられる（図 8）。

東山テフラグループ中の数枚の厚いスコリア層の上位にくる Hy15 は、赤褐色のスコリア質降下火山灰で、部分的に酸化鉄が固結しているため露頭では突出して見える。菅（1993, 1994）は三原赤色火山灰と呼んで噴出源を東山の山頂火口とし、その後、東山の北方海上と訂正した（菅ほか，1997）。この Hy15 は東山の北麓から北西麓に厚く分布すること、また乾陸上からの噴出物と考えられることから、西山方面に噴出源を考えるのが妥当である。

東山テフラグループではスコリア質噴出物が卓越するため、軽石質テフラは目立つ存在である。このうち Hy18 は発泡の悪いオレンジ色軽石で、津久井ほか（1991）の三根降下軽石層（MIP）にあたる。少量含まれる斑晶鉱物のうち、斜方輝石

図 6 東山テフラグループの柱状図，その 1 (Hy15 の下位)。

凡例は図 4 と同じ。HDA：東白雲山岩屑なだれ堆積物，HHL：東白雲山溶岩，NDA：中之郷岩屑なだれ堆積物，NGL：中之郷溶岩，NGSr：中之郷火砕サージ堆積物。

〔地点図〕 Loc. 1：登竜峠西約 200 m。Loc. 2, 3：登竜峠南東 1.5 km (地点標 32 と 33 の間)。Loc. 3：同 1.6 km (地点標 31 の 200 m 北東)。Loc. 4：図 3，Loc. 4 と同じ。Loc. 5：図 4，Loc. 4 と同じ。Loc. 6：中之郷 (地点標 19 の西 200 m)，Loc. 7：同 (地点標 15 の西 300 m)。Loc. 8：藍ヶ江漁港付近。Loc. 9：同，メカッチョ海岸。Loc. 10：樫立，湯浜温泉ホテル下の海食崖。

の屈折率は $\gamma = 1.715\text{--}1.720$ である。

津久井ほか (1991) の東白雲山降下軽石層 (HHP) は黄橙色を呈する複数の降下軽石で，東山北麓～北西麓の保存状態が良い露頭では，軽石粒が混在する火山灰土を挟んで Hy20，Hy21，Hy22 の 3 層が識別できる。Hy20 と Hy21 は 2～3 枚のユニットからなる淘汰の悪い粗粒軽石 (最大粒径 6 cm) からなる。Hy22 は下位から①細粒な火山砂状軽石→②淘汰の悪い粗粒軽石→③軽石質火山灰をマトリックスとする粗粒軽石の 3 枚のユニットから構成される。東山の南麓では Hy22 の①と②が一体となり，1 枚の逆級化層理の降下軽

石として観察できる。Hy20，Hy21，Hy22 の各ユニットの主要な鉱物組成は，斜方輝石>単斜輝石で，斜方輝石の屈折率はいずれも $\gamma = 1.704\text{--}1.709$ で，層位的な変化は認められない。Hy18 と Hy20，Hy21，Hy22 は，いずれも東山の北西麓で厚く，粒径分布から見ても，その噴出口は東山西麓が西山方面にあると考えられる。

東山テフラグループ中には，このほか側火山の噴出物が多く認められる。なかでも Hy13 の火砕

図 7 東山テフラグループの柱状図，その 2 (Mt1 の下位)。

凡例は図 4 と同じ。MLD: 三原層，MMF1: 三原泥流堆積物 1，MMF2: 三原泥流堆積物 2，HML: 八幡山溶岩。

〔地点図〕 Loc. 1: 三根，尾端観音堂の南約 300 m の尾根上。Loc. 2: 樫立，向里，地点標 7 の南東 150 m の道路（倉沢ケ線）を北に約 200 m 入った温室裏。Loc. 3: 三原カルデラ内，中央火口丘を刻む唐滝川谷頭部。Loc. 4: 同左。Loc. 5: 三原カルデラ内の登山道沿い。Loc. 6: 三原川上流部，三原橋付近。Loc. 7: 三原川火口。Loc. 8: 中之郷，水路観測所付近。Loc. 9: 樫立，八幡山東。Loc. 10: 樫立，乙千代ヶ浜。

サージ堆積物と Hy14 の降下スコリア層については，いずれも噴出源が樫立西部，奈古ノ鼻方面に求められ，分布軸は東山南麓を真東に伸びる。Hy26 は東山南麓の三原川の谷筋を噴出口（三原川火口）とし，東山南麓の中之郷一帯に分布する。主に爆発角礫岩と発泡の悪いスコリアが混在する成層した堆積物で，はっきりした本質物質が認められない。Hy27 は東山南麓の樫立で八幡山スコリア丘を形成した噴出物であるが，降下スコリアの分布範囲は狭い。唐滝川東岸の八幡山に近接する露頭（図 7，Loc. 9）では，Hy26 の約 45 cm 上位に黒色または暗赤褐色のスコリア礫（最大粒径 1.0 cm）からなる厚さ約 25 cm の Hy27 が認められ，直径 20 cm のパン皮状火山弾が混在する。東京都八丈町教育委員会（1987），菅（1993）は，

八幡山の噴火が三原川火口の爆発に先行すると考えたが，層位的に Hy27 は Hy26 の上位にある。

東山テフラグループ中には，固結した泥質火山灰からなるスコリア質の火砕サージ堆積物が認められる。これらは西山方面で発生したマグマ水蒸気爆発に由来することが明らかにされている（津久井ほか，1991；菅，1993）。

4. 三根テフラグループ

三根テフラグループの模式地は，東山北麓の三根，尾端観音堂のある尾根（図 9，Loc. 2）におく。

Mt1 および Mt6 の 2 枚は，基底部にデイサイト質の降下軽石層，それぞれ上位に降下スコリアとスコリア質サージ噴出物が重なる特徴的なテフラである。津久井ほか（1991）の妙法寺降下軽

図 8 東山テフラグループの降下テフラの等層厚線・平均最大粒径 (Md) の等値線。
Md は軽石 3 個の平均最大粒径。厚さと粒径 (Md) の単位: cm.

図 9 三根テフラグループの柱状図 (Mt1~12)。

凡例は図 4 と同じ。NKS: 六日ヶ原砂丘堆積物, K: 倉輪遺跡の遺物出土層位, Y: 湯浜遺跡の遺物出土層位。

〔地点図〕 Loc. 1: 横間ヶ浦海岸。Loc. 2: 図 7, Loc. 1 と同じ。Loc. 3: 図 3, Loc. 1 と同じ。Loc. 4: 登竜峠東約 1 km (地点標 34)。Loc. 5: 図 3, Loc. 3 と同じ。Loc. 6: 図 3, Loc. 4 と同じ。Loc. 7: 樫立, 湯浜遺跡。Loc. 8: 樫立北部, フェニックス畑。Loc. 9: 樫立, 六日ヶ原砂丘。Loc. 10: 樫立, 伊郷名。

石 (MYP) は Mt1, 菅 (1993) の水海山降下軽石 (MZIP) は Mt6 の, それぞれ最下部を占める軽石層を指す。Mt1 最下部の軽石層は東山南西麓で 60 cm 前後と最も厚い。樫立北部 (図 7, Loc. 2) では, 下位から①灰色火山灰を基底に類質岩片を多量に混在する発泡の良い粗粒軽石 (最大粒径 10 cm, 層厚 20 cm), ②軽石質火山灰で軽石粒間が充填された固結した細粒軽石 (層厚 25 cm), ③淘汰は良いが発泡の悪い砂状軽石 (層厚 13 cm) の 3 ユニットが識別できる。これらの軽石の鉱物組成は斜方輝石と単斜輝石が多く, カンラン石をわずかに含む。斜方輝石の屈折率は, いずれも $\gamma = 1.711\text{--}1.716$ で, ユニットによる変化はない。模

式地における Mt1 の軽石層の厚さは 20 cm 前後と薄く, 樫立付近の①, ②部層が追跡できる。降下軽石層の上位に重なる火砕サージ堆積物は, 固結した灰褐色の泥質火山灰とスコリア質火山砂礫との互層 (乾燥すると粗粒部分を境に板状に剥離する) で, 火山灰層中には火山豆石や木の葉の印象が認められる。Mt1 下部の軽石層は東山南西麓で厚く, 粒径も大きい。しかし, Mt1 上部のスコリア層は東山北部一帯で厚く, 分布パターンが軽石層とは異なる。これは, 火砕サージが地形的に高い部分より低い部分に厚く堆積したためと考えられる。Mt1 の降下軽石も火砕サージも, その噴出源は西山方面 (大賀郷付近) にあると考えられ

る（図10）。

模式地や登竜峠に至る都道沿い（図9, Loc. 3）のMt6は、基底部の6~7cmが石質岩片が混在する発泡の悪い灰白色軽石層（最大粒径10cmに及ぶ）で、この上位に平行層理のある降下スコリアが覆い、最上部が灰褐色の固結した火山灰層とスコリア質砂層が互層する火砕サージ堆積物となる。東山南麓の檜立から中之郷に至る地帯（例えば、図9, Loc. 7, 8, 9, 10）のMt6は、基底部に黄色軽石（最大粒径3cm）がパッチ状に介在する黒色の降下スコリア層である。軽石の鉱物組成は、単斜輝石が斜方輝石より多く認められるのが特徴で、斜方輝石の屈折率は $\gamma = 1.706\text{--}1.710$ である。Mt6基底の軽石層は東山東麓で厚く堆積するが、粒径は東山の北方に向かって大きくなる。またMt6の降下スコリア層や火砕サージ堆積物も東山北麓で厚い。これらの分布パターンからMt6の軽石とスコリアの噴出源は西山方面と考えられる。東山南麓でMt6の火砕サージ堆積物が薄いのは、噴出源から見て山陰側にあたるためと考えられる。

東山の北麓一帯では、Mt6直下にデイサイト質テフラからなるMt4とMt5が分布する。模式地や図9, Loc. 3の露頭ではMt4とMt5のテフラ層上面に斜交関係が認められ、なかでもMt5はMt4を切る浅い谷の中に堆積する。Mt4, Mt5, Mt6の間に挟まれる火山灰土は薄く、これらのテフラは、あまり期間をおかずに噴出したと考えられる。Mt4は発泡の悪い粗粒軽石と類質火山礫が混在する粗粒部分と軽石質火山灰からなる細粒部分が互層し、いずれも軽石粒間が灰褐色火山灰で充填されている。このテフラは軽石質火山灰が多く、円磨された軽石を含むこと、サージの構造が認められることから火砕サージとして堆積した可能性がある。Mt5は降下軽石（最大粒径2cm）が主体で石質岩片は少ない。Mt4とMt5の主要鉱物は、いずれも斜方輝石と単斜輝石で、斜方輝石の屈折率は $\gamma = 1.710\text{--}1.715$ である。

Mt4, Mt5の2枚のテフラについても、東山北麓で厚く、粒径も大きいことから、その噴出源は西山方面である。

Mt3は給源の位置が正確に把握できる数少ない火砕サージ堆積物である。Mt3の噴出口である横間ヶ浦火口周辺から東方に向かって火山角礫を含む固結した泥質火山灰が分布し、その分布パターンは、東山の山体が障害になって南麓に偏在する（図10）。

東山の北西麓に分布する降下スコリア層のうち、Mt2は類質岩片を含む暗赤褐色スコリアの降下テフラで、少なくとも8枚のユニットで構成される。Mt7, Mt8, Mt9, Mt10の4枚の降下スコリア層も複数のユニットからなり、最上部に泥質火山灰からなる火砕サージを伴うことが多い。

模式地や図9, Loc. 3のMt7は、Mt7AとMt7Bの2枚のスコリア層の組み合わせとして追跡できる。このうちMt7Aは類質岩片が混じるスコリア（最大粒径5cm）、Mt7Bは薄い黒色火山砂層を挟んで下位のスコリアが細粒（最大粒径3cm）、上位のスコリアが粗粒（最大粒径15cm）である。また粗粒スコリアは高温酸化により暗赤褐色を呈するものが含まれる。

Mt8には約6枚、Mt9とMt10には2~4枚のユニットが観察できる。スコリアは黒色また暗赤褐色を呈し、石質岩片は少ない。ときにトゲ状スコリアのユニットが挟まれる。Mt11とMt12は黒色~青灰色を呈する厚さ5cm前後の降下火山灰層で、Mt11は八重根火山灰I（杉原ほか、1993、噴出年代A.D. 300年頃）、Mt12は八重根火山灰II（同、噴出年代：16~17世紀）に対比できる。

このように、三根テフラグループではMt3を除くほとんどすべての噴出物が西山方面に火口があると考えられるが、現在では東山と西山の間の地帯が厚い溶岩流で覆われているため、正確な火口の位置は明らかでない。

4) 示標テフラの噴出年代

東山では湯浜・倉輪遺跡で遺物包含層の ^{14}C 年代や黒曜石水和層年代が測定されて以来、火山噴出物については多くの年代測定値がある（東京都教育委員会、1984；小嶋ほか、1993；杉原、1997など）。なかでも末吉軽石流1（Sy5）については複数の ^{14}C 年代測定結果があり、その年代値のレンジは21 ka~27 kaである。このように、 ^{14}C 年

図 10 三根テフラグループの降下テフラの等層厚線・平均最大粒径 (Md) の等値線。
Mt1, Pumice・Mt6, Pumice : 底部の降下軽石,
Mt1, Surge・Mt6, Surge : 上部の降下スコリア
および火砕サージ堆積物。他は図 8 と同じ。

代値にばらつきがある示標テフラ、または ^{14}C 年代値と層位が逆転している示標テフラが多く認められることから、噴出年代については火山灰土を用いたレスクロメトリーの手法による年代推定を行なった。この方法には多くの研究例 (早川・小山, 1992 ; 小山ほか, 1995 など) があるが、火山灰土の堆積速度が一定である限られた地域にのみ有効であると考ええる。ここでは東山のテフラ層序に関する ^{14}C 年代測定データ (表 3) をもとに、末吉 (図 3, Loc. 4, 5) における末吉テフラグループ以上の火山灰土の累積層厚と ^{14}C 年代値の

相関グラフ (図 11) を描き、示標テフラの噴出年代を推定した (火山灰土の平均堆積速度は $49.0 \text{ cm}/1,000 \text{ 年}$)。また、広域テフラについてはこのグラフを基準として、噴出年代を AT が 24.4 ka , K-Ah が 6.3 ka とした。三根テフラグループについては、テフラの噴出源が西山方面に移ったため、末吉付近における火山灰土の堆積速度が低下したと考えられる。そこで、火山灰土の堆積速度が現在まで一定であると考え、各示標テフラの層位から噴出年代を補正した。この方法によると、示標テフラの噴出年代は Sy1 が 25 ka , Sy15 が 20 ka , HRA が 14.7 ka , HYA が 12.6 ka , Hy12 が 11.4 ka , Hy15 が 10.5 ka , Mt1 が 5.8 ka , Mt6 が 3.7 ka である。底土テフラグループについては、最下部の火山灰土 (Sk1/Sk2 間) の ^{14}C 年代測定値があるが、測定結果が層位的にかなり新しい。そこで底土テフラグループの火山灰土についての層

表 3 東山のテフラ層序に関する¹⁴C年代測定値。

層 位	地 点	試料 No.	測定試料	測定 Code No.	¹⁴ C 年代 (年B. P.)	文 献
M t 6/M t 5間の 火山灰土	尾端観音の南約300m	Ha-44	炭化木片	GaK-17788	8,950±1130	杉原(1997)
M t 3	横間ヶ浦、大坂トンネル 手前防空壕内 (地点標5)	Ha-7 SC-5	炭化木片 炭化木片 炭化木片 炭化木片	GaK-557 GaK-1591 GaK-14292 TH-1210	3,860±80 4,690±100 4,080±80 4,370±120	一色ほか(1965) 一色(1969) 杉原(1997) 東京電力株式会社(1986)
M t 3直下の 火山灰土	樫立、倉輪遺跡 (縄文時代前期末 ～中期初頭)		炭化物	N-3505	4,110±95	東京都教育委員会(1986)
	中之郷、堤ヶ沢 (地点標16付近)	Ha-3	炭化物	GaK-14198	5,320±130	杉原(1997)
M t 1/H y 27間の 火山灰土 (K-A h層準)	樫立、湯浜遺跡 (縄文時代早期終末)	SC-7	炭化物 炭化物 炭化物 炭化物	GaK-686 N-3503 N-3504 TH-1231	5,840±100 6,570±130 6,660±75 6,870±220	杉原・戸沢(1967) 東京都教育委員会(1984) 東京都教育委員会(1984) 東京電力株式会社(1986)
	三原中学校の校門西側		炭化物	GaK-1592	7,710±130	一色(1969)
	末吉、象ノ沢 (地点標26付近)	Ha-1	炭化物	GaK-14196	8,600±150	杉原(1997)
	中之郷、峠ノ沢	Ha-32	炭化物	GaK-16847	6,560±140	杉原(1997)
三 原 層 (M t 1の直下)	三原カルデラ内 三原橋の北西約350m	Ha-28	木 片	GaK-16700	6,340±90	杉原(1997)
H y 26直下の 火山灰土	中之郷、妙法寺西 約200m	Ha-35	炭化木片	GaK-17181	6,870±110	杉原(1997)
H y 22直上の 火山灰土	末吉、象ノ沢 (地点標26付近)	Ha-2	炭化物	GaK-14197	7,120±130	杉原(1997)
H y 22/H y 21間の 火山灰土	末吉の北 (地点標35と36の間)	Ha-45	炭化木片	GaK-17789	8,780±170	杉原(1997)
H y 15直下の 火山灰土	末吉、象ノ沢 (地点標26付近)	Ha-18	腐植土	GaK-16172	12,160±380	杉原(1997)
H y A直上の 泥炭質粘土	中之郷、NTT前 (地点標11付近)	Ha-52 Ha-51	泥炭 泥炭	GaK-18353 GaK-18354	12,730±200 11,940±160	杉原(1997)
H y 8/H y 7間の 火山灰土	末吉、象ノ沢 (地点標26付近)	Ha-19	腐植土	GaK-16173	16,170±550	杉原(1997)
H y 4・5 (NGS r)	中之郷、藍ヶ江漁港	Ha-26	炭化木片	GaK-16698	17,740±340	杉原(1997)
H y 1/S y 20間の 火山灰土	末吉、台ヶ路 (地点標 25の東約200m)	Ha-20	腐植土	GaK-16174	17,870±650	杉原(1997)
S y 5 (S P F 1)	末吉、あかん田 (地点標26と27の間)	85-S-1	腐植土	N-5132	24,400±430	杉原・小田(1989)
	末吉、石積ヶ鼻海岸	85-S-2 SC-3	炭化木片 炭化木片	N-5133 TH-1212	21,600±230 22,800±1410	杉原・小田(1989) 東京電力株式会社(1986)
	登竜峠の西約600m (地点標40付近)	Ha-6	炭化木片	GaK-14256	21,310±370	杉原(1997)
	末吉、台ヶ路	Ha-15 Ha-27	炭化木片 炭化木片	GaK-16053 GaK-16699	22,210±670 27,720±840	杉原(1997) 杉原(1997)
A T	末吉、石積ヶ鼻海岸	Ha-4	炭化木片	GaK-14199	19,170±470	杉原(1997)
S k 2/S k 1間の 火山灰土	登竜峠の西約750mの 農道沿い	Ha-21	腐植土	GaK-16175	8,090±340	杉原(1997)

採取地点の詳細は、小崎ほか(1993)、杉原(1997)による。

杉原・能城(1993)による中之郷、峠ノ沢の¹⁴C年代測定値のうち、Ha-32の採取層位は本論文が正しい。

図 11 火山灰土の厚さと ^{14}C 年代値との相関グラフ。
実線は ^{14}C 年代値の相関グラフ、破線は K-Ah から地表まで火山灰土の堆積速度を一定として結んである。

厚から外挿すると、最下部の Sk1 の噴出年代は 33 ka 頃である。

IV. 東山の噴火ステージとその活動

東山における新期成層火山の噴出物が玄武岩質テフラが卓越するなかで、末吉テフラグループのデイサイト質の火砕流・降下軽石を多量に噴出した一連の噴火は注目に値する。ここでは、このデイサイト質テフラの噴出に特徴づけられる期間を末吉期とし、新期成層火山の噴火活動を、古い方から底土 I・II 期、末吉期、東山 I・II 期、三根期に区分して考察する。

1) 底土期の噴火活動

末吉期以前には底土テフラグループの降下スコリアを多量に噴出した火山活動が認められる。新期成層火山 I の成層火山体は、このスコリアと溶岩が累積することによって形成された。しかし、新期成層火山 I の山体基底付近には、底土テフラグループの下位にデイサイト質の火砕流が広範囲に分布する。ここでは、底土期初期にデイサイト

質火砕流を噴出した時期を I、底土テフラグループの安山岩～玄武岩質の火砕物や溶岩流を噴出した時期を II とする。

a) 底土 I 期

底土湾東岸のカメソウノ鼻では、底土テフラグループ直下に続く 3～4 枚の安山岩質溶岩（底土溶岩流：SKL）の下位に厚さ 4 m 以上のデイサイト質の火砕流堆積物が観察できる（一色，1959，p. 33）（図 12，Loc. 1；図 13）。火砕流堆積物は粗粒軽石と石質岩片・溶岩岩塊（最大平均粒径 30 cm）の混在物からなり、基質は褐色の軽石質火山灰である。この火砕流堆積物中には直径約 30 cm の炭化樹幹が横倒しの状態で挟まれていて、その ^{14}C 年代は >34,750 年 B.P. (GaK-16849) である。また、この火砕流直上の火山灰土（厚さ約 80 cm）中の炭化木片の ^{14}C 年代は 26,800 ± 710 年 B.P. (GaK-14255) である。三根，泉（調整池付近）では、発泡の良い粗粒軽石（最大粒径 20 cm）と直径 50 cm に及ぶ類質岩塊が混在する厚さ約 12 m の火砕流堆積物が認められる（図 12，Loc. 2；図 13）。大川上流の西白雲山カルデラ内では黄褐色、赤褐色、灰白色を呈する火砕流堆積物（東白雲山火砕流堆積物：NEDO，1993）が、三原山登山道から河床にかけて比高 20～25 m の谷壁で認められる（図 12，Loc. 3）。この火砕流堆積物の大部分は、最大直径が 7 cm に及ぶ軽石で、類質の石質岩片を多く含む。底土湾東，泉，大川上流に露出する火砕流堆積物は、軽石に含まれるパミス型火山ガラスの屈折率が似ていることから同一噴出物である可能性が高い。ここでは、この 3 地点で観察された軽石流を一括してカメソウノ鼻火砕流堆積物（KMPF）と呼ぶ。

横間ヶ浦の都道沿い（地点標 4～5，大坂トンネル入口付近）に露出する火砕流堆積物（一色，1959，p. 30）と、鴨川上流（鴨川林道の起点から約 400 m）の厚さ 20 m に及ぶ火砕流堆積物（鴨川火砕流堆積物：NEDO，1993）（KGPF）は、いずれも粘土化して扁平になった粗粒軽石を含み、含有鉱物として β -石英が認められること、斜方輝石の屈折率が一致することなどから、同一輪廻の噴出物であると考えられる（図 12，Loc. 4，5）。

図 12 底土 I ステージの火砕流の分布と岩石記載の特性。

A : カメソウノ鼻火砕流堆積物 (KMPF), B : 鴨川火砕流堆積物 (KMPF)。

Loc. 1 : 底土湾東岸, カメソウノ鼻。Loc. 2 : 三根, 泉 (調整池付近)。Loc. 3 : 大川上流, 三原山登山道沿い。Loc. 4 : 鴨川上流 (鴨川林道起点から約 400 m)。Loc. 5 : 横間ヶ浦の都道沿い (地点標 4 と 5 の間)。Loc. 6 : 末吉, 洞輪沢 (地点標 122 付近)。

それぞれの地点名の下には, 火砕流堆積物の鉱物組成の特徴 (上段) と屈折率 (下段) を示す。

横間ヶ浦で火砕流堆積物中に挟まれていた炭化木片の ^{14}C 年代は $>36,780$ 年 B.P. (GaK-16848) である。なお, 鴨川や大川上流部の火砕流堆積物は, 「末吉軽石流堆積物」に対比されている (津久井ほか, 1993)。しかし「末吉軽石流堆積物」に比べて軽石の発泡がやや悪いこと, 鉱物組成のうえでカンラン石が少ないこと, 斜方輝石の屈折率が低く火山ガラスの屈折率が高いことから, 両者を対比することはできない。

このほか東山東麓の洞輪沢では末吉火砕流堆積物 1 のさらに下位に厚さ 5 m 前後の火砕流堆積物 (図 12, Loc. 6) が認められる。また, 奈古ノ鼻と藍ヶ江港東側の海食崖では, 古期成層火山の山体が欠落した斜面に沿って岩屑なだれ-泥流堆積物と火砕流堆積物が互層するのが観察できる (図 14)。これらの火砕流堆積物も底土 I 期の噴出物に含まれると考えられるが, 火砕流の噴出過程や到達範囲の詳細は明らかでない。

図 13 カメソウノ鼻火砕流堆積物の柱状図。

凡例は図 4 と同じ。地点番号 1, 2 は図 12 の地点と同じ。

SKL : 底土溶岩流, KMPF : カメソウノ鼻火砕流堆積物。

Loc. 2 において KMPF 下位のスコリア層は地域的テフラと考えられるが, 詳細は不明である。

東山では古期成層火山のカルデラ壁を連ねた, 直径 4~6 km の「大カルデラ」が想定された (杉原・小田, 1989)。しかし津久井ほか (1991) はカルデラ壁が 1 つの円周上にのらないことから, カルデラが一時期の噴火でできたことに疑問を示した。古期成層火山体に残されたカルデラ壁の湾曲形からは, 直径約 3 km のカルデラが 2 個以上複合した凹陷地が復元でき, カメソウノ鼻火砕流堆積物や鴨川火砕流堆積物は, この凹陷地 (これを東山カルデラと呼ぶ) から噴出したと想定できる。

底土 I 期の年代は, ^{14}C 測定年代の範囲を超えて古いが, 層位的に 40~50 ka に遡ると考えられる。NEDO (1993) による, カルデラ内の末吉付近 (N1-HJ-3 など), 樫立-中之郷付近 (N1-HJ-2,

図 14 檜立西部—藍ヶ江間の海食崖沿いの地質柱状図。

1. 降下軽石・火砕流, 2. 降下スコリア, 3. 火砕サージ堆積物, 4. 岩屑なだれ・泥流堆積物, 5. 火山灰土, 6. 溶岩, 7. アアクリンカー, 8. 古期成層火山体。

①～④は ^{14}C 年代測定値 (年 B.P.)。①～③は火砕流の岩石記載的特性：上段は主要鉱物の組み合わせと特徴，下段は火山ガラスと斜方輝石の屈折率。a～j の地点は図 12 に示す。

N2-HJ-5, N3-HJ-7, 8), 東山山頂の東台子山 (N2-HJ-4) における深層ボーリングでは、底土 I 期に、古期成層火山に囲まれた凹陥地に海水が侵入した形跡はない。この時期は現在より海水面が低下していたためと考えられる。

b) 底土 II 期

底土 II 期は底土テフラグループ直下の岩屑なだれ (底土岩屑なだれ堆積物：SKDA) (図 3, Loc. 2) の発生に始まる。しかし、この岩屑なだれが起こった原因や、その規模については不明である。また、底土湾東岸で底土岩屑なだれ堆積物の下位に続く安山岩質溶岩も底土 II 期に含まれるかもしれない。底土テフラグループについては、地域的な観察に限られるものの、多数の降下スコリアが認められることから、この時期に多量の玄武岩質火砕物の噴出があったことは確実である。また底土湾東岸や末吉の北浦海岸では降下火砕物を介在する 3～4 枚の玄武岩溶岩が観察でき、この時期に新期成層火山 I の山体が急速に成長したことがわかる。また NEDO (1993) の深層ボーリングで

も、末吉付近 (N2-HJ-3) で玄武岩溶岩、火山岩滓、凝灰角礫岩が累積して新期成層火山 I の山体を構成しているのが確認できる。

石積ヶ鼻海岸で末吉火砕流の直下に見られる玄武岩質溶岩 (石積ヶ鼻溶岩：津久井ほか, 1991) (IZL) は、底土 II 期最後の火山活動による噴出物である。この溶岩は無色または赤色の灰長石の大晶を多く含む (Isshiki, 1958; 一色, 1959) ことが特徴である。この溶岩流を東山東方海上から観察すると、洞輪沢集落背後の崖から北浦にかけての海食崖沿いに追跡でき、陸上ではこん沢林道が大の川と交差する標高 420 m 付近の高度で認められる。東山北西部、御幸ノ滝の上流約 0.8 km の旧発電所跡で、河床に露出する玄武岩質溶岩 (一色, 1959, p. 37) も灰長石の大晶を有する。このような石積ヶ鼻溶岩の流出方向から、その噴出口は東山の山頂付近にあったと考えられる。

2) 末吉期の噴火活動

末吉期の噴火活動のなかで末吉火砕流 1 の噴出は最も大規模なもので、現在確認できる分布範囲

は約 12 km^2 であるが、噴出当初は東山全域を覆ったと考えられ、その噴出量は $0.2 \sim 0.3 \text{ km}^2$ と推測できる。津久井ほか (1991) は、「末吉軽石流」が西白雲山カルデラ内にも分布するとして、三原カルデラの噴出物と主張した。すでに述べたように、西白雲山カルデラ内の火砕流 (東白雲山火砕流堆積物と鴨川火砕流堆積物: NEDO, 1993) は底土 I 期時代の噴出物であることから、末吉火砕流堆積物 1・2 (SPF1・2) の噴出源を西白雲山カルデラとすることに矛盾はない。

末吉期初期の大規模な軽石噴出と岩屑なだれは 25 ka 頃に始まり、その後の活動を通じて山頂部が崩壊・陥没し西白雲山カルデラが形成された。この爆発の際に発生した岩屑なだれは、末吉テフラ層最下部 (Sy1 の直下) と末吉火砕流 1 直上に認められる。前者の岩屑なだれ堆積物 (末吉岩屑なだれ堆積物: SDA1) は、末吉北部や登竜峠西で厚く堆積する (厚さ約 6 m) 一方、石積ヶ鼻のように全く認められないところもある。後者の岩屑なだれ堆積物 (末吉岩屑なだれ堆積物: SDA2) は末吉の台ヶ路、檜立西部の旧八中組プラント敷地内、大賀郷の東里で観察でき、その厚さは 5 m 以下である。これらの岩屑なだれ堆積物は、いずれも安山岩塊や脆弱な火砕岩を含む凝灰質砂礫で、末吉火砕流堆積物 1 直上には粗粒軽石礫が多く含まれる。末吉期の噴火活動は、降下軽石の噴出 (Sy1~3)→[AT 火山灰の降下]→降下軽石の噴出 (Sy4)→降下軽石と大規模な軽石流 (末吉火砕流 1) の噴出 (Sy5)→軽石流 (末吉火砕流 2・3 など) を伴う降下軽石の噴出 (Sy6~15) といった経過を辿った。すなわち末吉期では、活動初期にプリニー式噴火が複数回発生した後、大規模な火砕流噴出が起こり、次いで連続的に軽石噴火を繰り返した後、次第に噴火間隔が大きくなり、やがて活動が終息したと考えられる。末吉期後半の 20 ka 以降は厚い火山灰土が堆積し、風化土壌が形成された。しかし、この間にも小規模ながら降下火砕物 (Sy16~20) の噴出が認められることから、末吉期末期に噴火活動が全く休止したわけではない。

3) 中之郷期の噴火活動

中之郷期には東山テフラグループに見られる多

量の降下スコリアを噴出した。この時代は玄武岩~安山岩質溶岩の噴出によって西白雲山カルデラ内に成層火山 (三原山) を形成した中之郷 I 期と噴火活動の中心が山頂から側火山に移った中之郷 II 期に分かれる。

a) 中之郷 I 期

檜立東部から中之郷にかけての新时期成層火山 IIa の山体を構成するのは、中之郷 I 期に噴出した火砕物や溶岩流である。藍ヶ江漁港背後の海食崖では、厚さ $10 \sim 20 \text{ m}$ の成層した黒色の粗粒スコリア層が露出する。スコリア層には溶結した部分が認められるほか、炭化樹木が挟まれる。この噴出物中には厚さ 1 m 以下の黄灰色の粘土質火山灰が $2 \sim 3$ 枚挟まれることから、噴火は断続的に複数回に及んだと考えられる。この噴出物は菅 (1994) の中之郷サージ堆積物 (NGSr) にあたる。しかし、明らかに火砕サージとしての堆積相は、藍ヶ江の西約 1.4 km の唐滝川河口付近で認められる。中之郷サージ堆積物の噴出源は藍ヶ江漁港に近い位置にあり、スコリア噴出と同時に海水と接触した部分で火砕サージが発生したらしい。湯浜温泉ホテル下の海食崖で、中之郷サージ堆積物を覆う中之郷溶岩流 (後述) との間に挟まる火山灰土中の灰白色火山灰層 (厚さ約 5 cm) は、その主要鉱物組成が $\text{gr-ho} \geq \text{mt}$, (opx) であること、角閃石の屈折率が $1.670 \sim 1.676$ であることから、HRA と同定できる (図 6, Loc. 10; 図 14)。したがって HRA の下に挟まれる Hy4・5 の類質岩片を多量に含むスコリア層は、中之郷サージ堆積物の遠隔相と考えられる。中之郷サージ堆積物や Hy4・5 に挟まれる粘土質火山灰は、この噴火がマグマ水蒸気爆発で、多量の水蒸気を発生し、泥水が地表を覆ったことが想定できる。

中之郷 I 期における東山山頂からの初期の噴出物には、Hy3, Hy6 のように淘汰の良い細粒の降下スコリアが認められる。これらは流動性が高い玄武岩質マグマの噴出と考えられ、西白雲山カルデラ内の地下で新たなマグマ供給が開始されたことを示している。中之郷 I 期で最も大規模な噴火は、HRA 降下直後における Hy8・9 のスコリア噴出である。この噴火活動は西白雲山カルデラ内

から連続的に数回の噴煙柱を上げる大規模なプリニー式噴火である。Hy8・9の噴火直前には、北東麓から東白雲山が成長した。東白雲山から流出した溶岩流（東白雲山溶岩：HHL）は、大根から今根ヶ浜にかけての古期成層火山体内側の低地帯を埋積し、その一部は登竜峠西側の谷へ流下した。東山北麓、登竜峠の西方（図6，Loc. 1）では、東白雲山溶岩の噴出と同時に発生した岩屑なだれ堆積物（東白雲山岩屑なだれ堆積物：HDA）が認められる。

中之郷I期の噴火活動によって西白雲山カルデラ内の三原山は成長し、噴出した大量の溶岩流（後述の中之郷溶岩流）は西白雲山カルデラ内を埋め、次いでカルデラ壁を越えて南麓一帯を覆った。一方、三原山北西麓でも、火山体を構成する溶岩流が西白雲山カルデラ壁の途切れた部分を越えて山麓末端まで達している。大川浄水場上流約1.2 kmのところでは、珪長質安山岩溶岩（一色，1959，p. 42）が大川左岸の比高数10 mの垂直岩壁で観察できる。

檜立東部から中之郷にかけての山体を形成し、藍ヶ江から奈古ノ鼻にかけての約2.5 kmの海食崖に連続して認められる溶岩流（玄武岩・安山岩）は中之郷溶岩流（菅，1994）と命名され、その一部は壺根溶岩流（津久井ほか，1991）とも呼ばれている。湯浜温泉ホテル下の海食崖では、HRAを挟む火山灰土の上位に少なくとも3枚の中之郷溶岩流（NGL）が重なる。藍ヶ江漁港で岬をなす安山岩質溶岩は三原溶岩流（津久井ほか，1991）（MHL）と呼ばれ、三原川の峡谷沿いに山頂から流下したとされている（津久井ほか，1991）。この溶岩流は中之郷溶岩流に重なり、両者の間には次に述べる中之郷岩屑なだれ堆積物が介在する（図14）。

東山の南東麓では、^{あんかわ}安川から中之郷にかけての一带で安川泥流堆積物（津久井ほか，1991）、または中之郷火砕流堆積物（菅，1994）と呼ばれているものは、火山砕屑物と溶岩岩塊（しばしばboulder大の円礫が含まれる）が混在した岩屑なだれ堆積物（本流からはずれたところや末端では泥流）である。ここでは一括して中之郷岩屑なだ

れ堆積物（NDA）と呼ぶ。この岩屑なだれ堆積物はHYAの直下、Hy10（A・B）が認められるところでは、さらにその下位にある。中之郷岩屑なだれ堆積物と、安山岩の類質岩片を多量に含むHy10（A・B）、Hy11（A・B）の噴出は、三原山山頂での複数回の爆発と南側火口壁（東台子山付近）の崩壊を示していると考えられる。

中之郷I期における最後の大噴火は、山頂火口からのHy12の噴出である。津久井ほか（1991）の三原降下スコリア層（MHS，図3，Loc. 3）や三原溶岩流（MHL）は、いずれもHy12と同一層準にある。三原山の山頂部分を構成する三原降下スコリア層は、直径1 mに及ぶ安山岩溶岩の岩塊やスパター（高温酸化で赤褐色を呈するものや、溶結部分が見られる）からなり、山頂から火口底までの比高約100 mの道路沿いに露出する。これらが一連の噴出物であるという確証はないが、三原山の山頂部が多量のスコリアの噴出により火砕丘として成長した可能性が高い。三原カルデラは、三原降下スコリア層やHy12を噴出した、少なくとも3つ以上の火口が複合して形成されたと考えられる。三原溶岩流は、Hy12噴火の際に山頂火口から南麓に流下した。

三原カルデラの西側火口内には、底辺からの比高約30 mの中央火口丘が認められる。この中央火口丘は山頂部が平坦で中央部が浅く窪む地形から、火砕丘とされている（一色，1959）。しかし、この小丘を刻む唐滝川谷頭部（図7，Loc. 4）の観察では、山体が硫気作用により変質した溶岩岩塊（MCC）から構成されることから、火砕丘を形成した溶岩が火口縁まで上昇したことが考えられるほか、溶岩円頂丘である疑いも残される。中央火口丘は山体を覆うテフラグループの最下部にHy15が挟まれていて、Hy12（三原降下スコリア層）の噴出直後に形成されたと考えられる。

以上をまとめると、中之郷I期の噴火活動は17ka頃に始まり、西白雲山カルデラ内に成層火山を形成した。この間、15ka頃には藍ヶ江付近を火口とする火砕サージを発生し、14ka頃には山頂噴火が続くなか、東麓で噴火が起こり東白雲山を形成した。また、東山の山頂部では12.5～13

ka 頃に爆発，山体崩壊が起こり，この際発生した岩屑なだれ堆積物が東山の南東麓を覆った。また，中之郷Ⅰ期末期の 11.0～11.5 ka には，三原山からの多量のマグマが噴出して山頂部に火砕丘が成長し，その火口が複合して三原カルデラの凹陷地となったと考えられる。

東山テフラグループ中には，Hy12 の噴出後，中之郷Ⅰ期の噴火活動が終息したことを示す厚い火山灰土や風化土壌の発達とは認められない。これは，東山における噴火が鎮静化した後も，引き続き西山方面からのテフラが山麓一帯に堆積したためと考えられる。

b) 中之郷Ⅱ期

中之郷Ⅱ期では山頂火口の噴火活動が終止し，東山南麓の側火山からスコリアを噴出した。

三原カルデラの東側火口内には，厚さ 15～20 m の成層した粘土・シルトと細砂からなる湖成堆積物が認められる（図 7，Loc. 5；図 15）。津久井ほか（1991），菅（1994）の三原層（MLD）である。この湖成堆積物には K-Ah が挟まれていて，最上部は乾陸上に堆積した Mt1 以上のテフラが覆う。この山頂火口湖は中央火口丘形成後，湖水を湛えるようになったが，Mt1 噴出直前に火口壁が三原川上流部で決壊し，排水されたと考えられる。ただし火口湖の決壊は Hy22 の堆積直前にもあり，これらの排水時に生じた泥流堆積物（MMF1・2）が，三原川に侵食された火口壁に残されている（図 7，Loc. 6）。

カルデラ内の湖成堆積物では，K-Ah の上位約 1 m の層準に直径数 10 cm～1 m の火山岩塊が集中する。カルデラ底から約 150 m 上方の三原山山頂でも，K-Ah 直上に溶岩礫を多量に含む泥流堆積物が認められる。これはカルデラ内で水蒸気爆発が起こり，破碎された爆発角礫岩が，湖底の堆積物とともに山頂付近まで吹き飛ばされたもので，同時に湖底には多量の火山岩塊が沈積した。ただし，この爆発ではマグマの噴出は行なわれなかった。

中之郷Ⅱ期における最も古い側火山の活動は，奈古ノ鼻付近からの火砕サージ（Hy13）と降下スコリア（Hy14）の放出で，その噴火年代は 11

図 15 三原カルデラ内の火砕丘と三原層（湖成堆積物）の分布。

空中写真判読と現地調査で作成。

1. 円錐形の火砕丘（中央火口丘），2. 環状または堤防状の火砕丘，3. カルデラ壁，4. 火口底，5. 崖錐。破線は確認できた三原層の分布範囲。

×印の地点は図 7 の Loc. 5 と同じ。

ka 頃である。ただし Hy13 と Hy14 の間には薄い火山灰土が挟まれることから，両者の噴火には若干の時間間隙が認められる。このうち Hy14 については奈古ノ鼻北西約 300 m 西側の海食崖上に陸側に傾斜するスコリア層の地層断面が観察でき，Hy14 を噴出した火砕丘の火口がこの海岸近くにあったことが推定できる。樫立西部の六日ヶ原砂丘では，Hy14 の黒色スコリア（NKS）が地表に沿って再堆積している（図 9，Loc. 9）。なお Hy13 の噴出源は奈古ノ鼻地先の海底で，火口的位置は Hy14 より沖合に位置すると考えられる。

東山の南麓の三原川火口は，三原滝の崖を北端として南北に 2 つ連なる爆裂火口である。この火口を中心とする三原川兩岸の比高 30 m 前後の小高い地形は，直径 0.3～1 m の爆発角礫岩（三原滝凝灰角礫岩層：菅，1993）からなり，この中に河床礫が混在する（図 7，Loc. 7）。この爆裂火口から放出されたのが Hy26 である。なお，この爆発の影響で三原カルデラの火口壁が崩壊し，その後の火口湖決壊の誘因となった可能性がある。八幡山の噴火ではスコリア（Hy27）の分布範囲は広くないが，多量の安山岩質溶岩（八幡山溶岩

流：津久井ほか，1991）（HML）が流出した（図7，Loc. 10）。この溶岩流は2つのローブ（lobe）となって南方に流れ，西側のローブは乙千代ヶ浜の海食崖から海中に達し，東側のローブは湯浜遺跡の北側で比高40m前後の急崖を形成する。湯浜遺跡では出土した石器にこの八幡山溶岩が使用されている（東京都教育委員会，1984）。また湯浜遺跡（図9，Loc. 7）では縄文時代早期終末期の遺物包含層中にK-Ahが認められている（杉原・小田，1989，1990）。湯浜遺跡の約200m南西の八幡山溶岩流上にある倉輪遺跡では，縄文時代前期終末から中期初頭にかけての住居址と多量の遺物が発見されていて（東京都教育委員会，1986；東京都八丈町教育委員会，1987，1994），遺物包含層は次の三根期に噴出したMt1とMt3の間にある。

このように，中之郷Ⅱ期には11.0ka頃に奈古ノ鼻海岸，7.5ka頃に三原川火口，7.0ka頃に八幡山が噴火した。中之郷Ⅱ期には山頂火道が途絶え，新たなマグマ供給系が南麓に形成されたと考えられる。

4) 三根期の噴火活動

三根期には東山の噴火活動が終息に向かうなかで，側火山噴火が西麓一帯で多数発生した。

このうちMt3を噴出した横間ヶ浦火口でのマグマ水蒸気爆発は，この時代の噴火としては例外的に激しいものであった。Mt3の噴出口である横間ヶ浦火口は，少なくとも3つの火口が南東-北西方向に連なった形をしている。この火口の周囲には厚さ20m以上の爆発角礫岩が堆積し，成層構造が発達する。また海浜や海底にあったと見られる玉石（楕円形の巨礫）が含まれていることから，噴火に際して海水との接触があったことは間違いない。大坂トンネル北側出口付近の防空壕（地点標5）内では，この火砕物に埋もれた直径約1mのスダジイ（*Castanopsis cuspidata* var. *sieboldii*）の樹幹が立木のまま周囲が炭化しているのが発見されている（一色，1959；一色ほか，1965；小嶋ほか，1993）。

横間ヶ浦火口の北側にあたる八重根漁港周辺では，少なくとも5個の爆裂火口やタフリングが認

められ，ここから噴出した爆発角礫岩や円礫を含む火砕サージ堆積物（八重根凝灰角礫岩層：津久井ほか，1991）はMt3の火砕サージ堆積物を覆う。八重根漁港のある爆裂火口底には西山からの玄武岩質溶岩が流入し，この溶岩流上に立地する八重根遺跡（東京都港湾局・八重根遺跡調査会，1993）では火山灰土中のMt11を挟んで，その下位からは弥生時代後期～古墳時代前期（3世紀末）の遺物，上位では古墳時代後期～奈良時代（4～6世紀）の遺物が，さらにMt12の直上から中・近世の遺物が発見されている。

防衛道路入口（東京電力八丈島発電所脇）付近の尾根上では，Mt4～6に覆われるスコリア丘が認められる。三根，供養橋の東250m付近（地点標47の西）では，底土降下スコリア層（津久井ほか，1991）が東山西麓で小丘をつくる。三根期には4.1ka頃に横間ヶ浦火口，2.0～2.5kaに八重根付近の火口群（杉原ほか，1993の3.5kaは少し古い），2.5ka頃に防衛道路沿いのスコリア丘が噴火した。東山と西山に挟まれた低地帯（三根・大賀郷地区）にも徳間トンブ（八丈島植物公園内），護神山（八丈町役場の北約100m）など，2.0ka以降に噴火したスコリア丘が分布する。三根期の火砕丘については，地理的には東山地域にあっても，岩石学的に西山系統の玄武岩質マグマが噴出したと見なされている（津久井ほか，1991；中野ほか，1991，1997）。したがって三根期は東山のマグマ供給が衰え，噴火活動の中心が西山方面に移行した時代と言える。

東山北西麓の三根から登竜峠にかけての三根テフラグループが厚く堆積した地帯では，Mt1，Mt4，Mt6などの降下テフラ上面に侵食間隙を示す斜交関係が認められる。これは多量のテフラ降下によって山麓が裸地化され，山体侵食が進んだためである。また東山における泥流の発生を示す堆積物が，山麓斜面や谷筋に認められる。このうち泉，中里，峠ノ沢の泥流は，Mt11との層位関係から1.3～2kaに発生したと考えられる（杉原・能城，1993）。

5) 東山の噴火過程と山体形成史

東山では，底土Ⅱ期に新期成層火山Ⅰの山体

(東山成層火山)、中之郷Ⅰ期に新期成層火山Ⅱa・bの山体(三原山成層火山)が形成された。この2つの山体は、いずれも玄武岩～安山岩質溶岩と火砕物からなる成層火山であり、このうち底土Ⅱ期末期の山頂高度は、約850 mに達していたと考えられる。底土Ⅱ期では新期成層火山Ⅰを構成する溶岩(石積ヶ鼻溶岩など)、中之郷Ⅰ期では新期成層火山Ⅱa・bを構成する溶岩(東白雲山溶岩、中之郷溶岩、三原溶岩など)は、いずれも玄武岩～安山岩質火砕物が卓越するステージに噴出し、溶岩と累積することによって成層火山を形成した。

東山における大規模な噴火とカルデラの形成は、底土Ⅰ期と末吉期に認められる。このうち底土Ⅰ期のデイサイト質～安山岩質火砕流(カメソウノ鼻火砕流堆積物・鴨川火砕流堆積物)の噴出は古期成層火山の山体崩壊を促進し、東山カルデラを形成した。また、末吉期では初期のデイサイト質火砕物を多量に噴出した大爆発によって新期成層火山Ⅰの山頂に西白雲山カルデラを形成した。東山山頂の崩壊によって発生した岩屑なだれは、最初の降下軽石(Sy1)の噴出直前(末吉岩屑なだれ堆積物1)と末吉火砕流1(Sy5)の噴出直後(末吉岩屑なだれ堆積物2)に認められる。

このほか中之郷Ⅰ期でも、類質岩片を多量に含むテフラ(Hy10・Hy11)の噴出や中之郷岩屑なだれの発生により三原山(新期成層火山Ⅱb)の山頂が崩壊し、その後の噴火活動(Hy12を噴出)で火口が複合して三原カルデラが形成された。底土Ⅱ期では底土テフラグループ基底(Sk1直下)、中之郷Ⅰ期では東白雲山溶岩流(HRA)の直上または直下に岩屑なだれ堆積物が認められる。

檜立東部から中之郷にかけての新期成層火山Ⅱaを囲む弧状の地形は、新期成層火山Ⅰの山体が滑落し、ここを中之郷Ⅰ期の溶岩流や火砕物が厚く堆積して形成されたと推定する。ただし、この崩壊発生の引き金になった噴火活動は認められていない。

西白雲山カルデラが大川によって深く侵食された谷底(鴨川林道の終点付近)では、新期成層火山Ⅱb(三原山)を構成する溶岩流の間に挟まれて、厚さ5～10 mの岩屑なだれ堆積物(大川岩屑

なだれ堆積物:ODA)が観察できる。鴨川上流部西岸には、この崩壊性堆積物を発生した噴火活動によって形成されたと考えられる火口壁が認められる。西白雲山カルデラ北西壁の崩壊は、三原山の噴火過程のなかでも注目でき、発生年代の解明が必要である。

V. 東山のテフラから見た西山方面の噴火活動

1) 噴火活動の開始時期

東山で観察されるテフラには、その層厚分布や粒径から明らかに西山方面に起源を持つと考えられる多数のテフラが存在する(菅, 1993など)。また、今回の調査で西山方面を起源とするデイサイト質テフラも発見された。かつて杉原・小田(1989)は西山方面の噴火活動が約10 ka頃に始まるとしたが、東山で発見される最も古い西山方面からの降下テフラはHy15(噴出年代は約10.5 ka)である。

西山南麓、大賀郷(標高121 m)におけるNEDOの深層ボーリング(N1-HJ-1)では、深度134.5 mまでが玄武岩溶岩と火山岩碎物の互層、同229.3 mまでが火砕サージ堆積物である。この火山噴出物基底(海面下-108 m)に挟まれる海成層中の貝化石(*アワビ* *Notohaliotis* spp.)の¹⁴C年代値は25,800±820年B.P.(Gak-15109)である。このことから東山の末吉期には、西山方面で噴火活動が開始していた可能性がある。

2) 噴火活動の経過

西山方面に噴出源が考えられるテフラのうちHy16(津久井ほか, 1991のMA1, 以下同じ)、Hy17(MA2)、Hy19(MA3)、Hy23(MA4)はスコリア質の火砕サージ噴出物である。このほか、東山テフラ層中にはHy18のほかHy20・Hy21・Hy22のように西山方面を噴出源とする降下軽石が認められる。これらのデイサイト質テフラの多くは発泡の良い軽石で、ユニットごとの級化層理が明瞭であることから乾陸上で噴出したと考えられる。このように10 ka以降、西山方面では海浜や海底での噴火が頻発する一方、海面上で山体の成長が急速になり、陸地の面積が拡大したことを示している。

Mt1 と Mt4~6 を噴出した一連の活動では、噴火サイクルの最後に大規模なマグマ水蒸気爆発を発生している。この噴火過程では、初期噴火の勢いが強いうちはプリニー式噴火によって降下テフラを放出し、爆発力が衰えるにつれて海水との接触が多くなり、マグマ水蒸気爆発に移行し、水分を多量に含んだ泥質火山灰や火山礫を噴出するといった噴火過程を辿っている。

Mt7 より上位の降下テフラには、しばしば高温酸化したスコリアが認められることから、西山で山頂火口が形成され、そこからプリニー式噴火が盛んに行なわれたと考えられる。また、これと同時に山麓ではマグマ水蒸気爆発やストロンボリ式噴火が頻発した。

西山と東山に挟まれた低地帯では、西山からの溶岩流が広く分布し（農林水産省関東農政局計画部，1988），Mt7~10 のテフラは認められない。これは、西山の溶岩流が、これらのテフラ噴出以降に流出したことを示している。

3) Mt1 と Mt6 の噴火活動

三根テフラ層中の Mt1 や Mt6 は、降下軽石層の上位に降下スコリア層や火砕サージ噴出物が重なり、この間に噴火間隙が全く認められない。津久井ほか（1991），津久井（1993）は軽石の噴火が東山、スコリア質の降下テフラやサージ堆積物の噴出源が西山と考えて、東山の噴火が西山の噴火のトリガー（trigger）になるシステムがあったと考えた。しかし、すでに述べたように Mt1 と Mt6 の基底にある軽石と上位のスコリア質堆積物は、いずれも西山方面から噴出したと考えられる。

このような噴火は1個のマグマ溜りが活動するのか、関連する複数のマグマ溜りが活動するのかについては、マグマ分化過程やマグマ供給システムについての検討が必要である。ただし Mt6 については、スコリア層中に直径 20 cm 大の軽石礫が単体で混入していることがあり（尾端観音および中之郷、粥倉など）、この軽石の鉱物組成や斜方輝石の屈折率（ $\gamma = 1.705\text{--}1.710$ ）は、Mt6 基底部の軽石と変わらない。このことは、マグマの噴出にあたりマグマ溜りの下部にあったマグマが噴出する際、火道壁に付着していたデイサイト質

マグマがスコリアの噴出とともに吹き上げられたと考えることができる。この場合、火道が1つであるがマグマ溜りが別個に存在する可能性がある。

VI. 東山と西山の噴火史

東山における噴火頻度を平均すると、底土Ⅱ期で約 450 年に 1 回、末吉期で約 400 年に 1 回、中之郷Ⅰ期で約 500 年に 1 回である。中之郷Ⅱ期以降の噴火は 5 回しか認められない。西山方面の噴火は中之郷Ⅱ期と三根期で約 500 年に 1 回で、この時代には噴火活動の中心が西山方面に移行したことが理解できる。ただし以上はテフラが識別できる比較的大きい噴火の回数だけで、地域的な噴火や小規模な溶岩流出は数えられていない。とくに西山方面の噴火では、東山山麓にテフラが到達しない場合があること、三根期についてはマグマの噴出システムの検討が要求される。

本稿では、津久井ほか（1993）の先末吉ステージ、菅ほか（1997）の主成層火山ステージ以前に東山カルデラを形成し、多量のデイサイト質マグマを噴出した底土Ⅰ期があること、また西白雲山カルデラが末吉期に形成されたことを明らかにした。今回の調査により、津久井ほか（1991，1993）の中之郷ステージ以前に火砕サージ（NGSr）や降下スコリアを噴出した活発な噴火活動が確認できたことから、これらの噴火期間を含めて中之郷Ⅰ期を設定した。中之郷Ⅰ期は三原カルデラ内の中央火口丘の形成で終わり、中之郷Ⅱ期の側火山噴火が開始する。その時期は津久井ほか（1991，1993）の中之郷ステージと三根ステージの境界より少し古い。また三根ステージを中之郷Ⅱ期と三根期に区分し、側火山噴火について前者は東山系統、後者は西山系統のマグマが噴出した時期として、東山における噴火活動は中之郷Ⅱ期で終わったと考えた。なお三根期の東山でも横間ヶ浦火口や八重根火口群で火砕サージ噴火が発生している。また今回の調査で、Mt1 および Mt4，Mt5，Mt6 のデイサイト質テフラは西山方面に噴出源があることが明らかになった。これらの噴火についてのマグマ系統やその供給システムについては今後の課題である。

図 16 八丈島における示標テフラの層序と噴火史。

東山において示標テフラとの層位関係から年代が明らかになった溶岩、岩屑なだれ、泥流、火山地形から火山体の地形発達史を示してある。東山の形成過程のなかで、太字は主成層火山体、他は側火山の噴火活動を示す。

中之郷Ⅱ期と三根期の境界にあたる東山テフラグループ上限に土壤化した火山灰土が発達する理由は、西山方面の噴火が一時静穏化したことと関係しているのかもしれない。三根期には西山方面において主成層火山が成長する一方、その山麓や周囲の海底で大規模なマグマ水蒸気爆発が発生し、神止山などの側火山が形成された。

VII. ま と め

1) 東山の噴火活動のステージを、底土Ⅰ期(40~50 ka)、底土Ⅱ期(25~33 ka)、末吉期(17~25 ka)、中之郷Ⅰ期(11~17 ka)、中之郷Ⅱ期(5.8~11 ka)、三根期(5.8 ka以降)に区分した。各ステージには、噴出物の性質、噴火様式、火口の位置、火山地形の発達過程に違いと変遷が認められる(図16)。

2) 東山では底土Ⅰ期と末吉期に大量のデイサイト質マグマの噴出があり、カルデラが形成された。このうち底土Ⅰ期には古期成層火山の山体崩壊で東山カルデラが、また末吉期には東山の山頂部が崩壊・陥没し西白雲山カルデラが形成された。

3) 東山では玄武岩質~安山岩質マグマの噴出で、底土Ⅱ期に新期成層火山Ⅰの山体、中之郷Ⅰ期に新期成層火山Ⅱa・bの山体が成長した。中之郷Ⅰ期末期には三原山山頂に三原カルデラと中央火口丘が形成された。

4) 中之郷Ⅱ期には東山南麓に玄武岩質~安山岩質マグマを噴出して側火山が形成された。この頃から西山方面の噴火が活発になり、玄武岩質テフラや火砕サージのほか、デイサイト質テフラを噴出して東山を覆った。

5) 三根期には東山西麓で玄武岩質マグマの噴出によって火砕丘が形成された。これは東山山麓で発生した西山の側火山噴火と見なされる。一方、西山では主成層火山が成長し、山体周辺では火砕サージ噴火が頻発した。

6) 東山ではATを噴出した始良カルデラの形成と前後して西白雲山カルデラの爆発があった。ATの保存が良いのは堆積直後に西白雲山カルデラから噴出した降下軽石と火砕流(末吉軽石流Ⅰ)がATを覆ったためである。

謝 辞

この論文を草するにあたり、多くの方々のお世話になった。群馬大学の新井房夫名誉教授には斑晶鉱物の屈折率測定をお願いした。学習院大学年代測定室の木越邦彦名誉教授には ^{14}C 年代の測定をお願いし、測定結果についてコメントをいただいた。東京都立大学の町田 洋名誉教授と学習院大学の福岡孝昭氏(現、立正大学)には現地討議の機会を設けていただき、この原稿内容について貴重なご意見をうかがった。明治大学の梅本 亨助教授には ^{14}C 年代測定値のデータ処理をお願いした。建設省国土地理院の関口辰夫氏には八丈島の火山地形分類図(未公表)を参考にさせていただいた。八丈町教育委員会および地元の方々には資料の入手について色々のご協力いただいた。明治大学非常勤講師の叶内敦子氏、同大学院博士後期課程の嶋田 繁氏、関口千穂氏には図表作成をお手伝いいただいた。ここにあわせて厚くお礼申し上げます。本研究には文部省科学研究費補助金、明治大学人文科学研究所研究費を使用した。なお、本論文は1989~1996年に日本地理学会、日本第四紀学会、日本火山学会で発表した内容に、修正・加筆したものである。

注

- 1) テフラ中の鉱物の屈折率測定は新井房夫氏により温度一定型屈折率測定法で行なわれた。このうち火山ガラスについては明治大学地理学研究室の温度変化型屈折率計(RIMS86、京都フィッシュン・トラック製)を使用して再度の屈折率測定を行なった。両手法による測定値に有意な違いは認められない。
- 2) 本稿に掲載した ^{14}C 年代値は学習院大学年代測定室の木越邦彦名誉教授によって行なわれた。年代値の算出には ^{14}C の半減期5,570年を使用している。また付記した誤差は β 線の計数値の標準偏差 σ に基づいて算出した年数で、標準偏差 1σ に相当する年代である。なお測定値については年輪年代などによる年代補正を行っていない。
- 3) HRAについて関東地方土木地質図編纂委員会(1996)は山陰の大山笹ヶ平火山灰(DSs)に対比される可能性を指摘した。斜方輝石の屈折率はHRAとDSsとほぼ同じであるが、角閃石の屈折率はDSs($n_2=1.674\text{--}1.678$)がHRAよりやや高い。また層位的に推定される噴出年代もDSsの方が古い。したがってHRAとDSsに対比することには問題が残る。
- 4) 八丈島では民俗資料館を起点に、都道に沿って500m間隔で石造りの地点標が設置されていて、目標を捜す際に役立つ。

文 献

- 早川由紀夫・小山真人 (1992): 東伊豆単成火山地域の噴火史 1: 0~32 ka の噴火について. 火山, **37**, 167-181.
- Isshiki, N. (1958): Notes on Rock-forming Minerals (3) Red Coloration of Anorthite from Hachijo-jima. *J. Geol. Soc. Japan*, **64**, 644-647.
- 一色直記 (1959): 5 万分の 1 地質図幅「八丈島」および同説明書. 地質調査所, 58p.
- 一色直記 (1969): 八丈島東山火山の末期の活動 (演旨). 火山, **14**, 151.
- 一色直記・小野晃司・平山次郎・太田良平 (1965): 放射性炭素 ^{14}C による年代測定. 地質ニュース, **133**, 20-27.
- Kaneoka, I., Issiki, N. and Zashu, S. (1970): K-Ar ages of Izu-Bonin Islands. *Geochem. J.*, **4**, 53-60.
- 関東地方土木地質図編纂委員会編 (1996): 関東地方土木地質図解説書. 国土開発技術研究センター, 768p.
- 小崎 尚・杉原重夫・叶内敦子 (1993): 東北日本における後期更新世以降の古環境と地形発達史の研究— ^{14}C 年代測定データとその意義—. 明治大学人文科学研究紀要, **33**, 107-246.
- 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.
- 町田 洋・新井房夫 (1976): 広域に分布する火山灰—始良 Tn 火山灰の発見とその意義—. 科学, **46**, 339-347.
- 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—日本列島とその周辺—. 東京大学出版会, 276p.
- 中村一明・荒牧重雄・村井 勇 (1963): 火山の噴火と堆積物の性質. 第四紀研究, **3**, 13-30.
- 中野 俊・山元孝広・一色直記 (1991): 八丈島, 西山火山噴出物の全岩化学組成. 岩鉱, **86**, 72-81.
- 中野 俊・山元孝広・一色直記 (1997): 八丈島火山群の全岩化学組成: 地表試料からみた東山火山と西山火山の比較. 地質調査所月報, **48**, 93-105.
- 農林水産省関東農政局計画部 (1988): 八丈島の地下水 I (伊豆七島の水文地質 II). 農業用地下水調査・地域開発調査・八丈北部地区報告書, 175p.
- 大島 治 (1988): 八丈島. 荒牧重雄・白尾元理・長岡正理編: 理科年表読本空からみる日本の火山. 丸善, 165-168.
- 佐藤 久 (1952): 伊豆諸島の火山地形. 科学, **22**, 252-255.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構: NEDO (1993): 八丈島地域. 地熱開発促進調査報告書 No. 32, 1202p.
- 菅 香世子 (1993): 過去 1 万年間の噴出物にみる八丈島東山火山後期の火山活動と西山火山の成長. 火山, **38**, 115-127.
- 菅 香世子 (1994): 八丈島東山火山の活動史. 火山, **39**, 13-24.
- 菅 香世子・川手新一・青池 寛 (1997): 八丈島火山の形成史に関する 2, 3 の知見. 火山, **42**, 227-231.
- 杉原重夫 (1995): 八丈島における過去 30,000 年間にわたるテフラのカatalog. 明治大学人文科学研究紀要, **37**, 273-290.
- 杉原重夫 (1997): 東日本における後期更新世・完新世の ^{14}C 年代測定データとその意義 (II). 明治大学人文科学研究紀要, **41**, 31-116.
- 杉原重夫・能城修一 (1993): 八丈島, 東山火山における泥流堆積物中の木材化石の ^{14}C 年代. 火山, **38**, 219-222.
- 杉原重夫・小田静夫 (1989): 八丈島東山 (三原山) 火山のテフラ層中の始良 Tn 火山灰・鬼界アカホヤ火山灰の発見とその意義. 日本火山学会 1989 年春季大会予稿集, 98.
- 杉原重夫・小田静夫 (1990): 伊豆諸島の八丈島・三宅島における鬼界アカホヤ火山灰の発見と縄文遺跡編年上の意義. 駿台史学, **79**, 35-46.
- 杉原重夫・田原 豊・増渕和夫・叶内敦子 (1993): 八丈島・八重根で発見された泥炭層の ^{14}C 年代と古環境. 駿台史学, **88**, 1-24.
- 杉原荘介・戸沢充則 (1967): 東京都八丈島湯浜の石器時代遺跡. 考古集刊, **16**, 23-35.
- 東京電力株式会社 (1986): 地熱エネルギーに関する調査研究—八丈島地域における地熱調査—. 昭和 61 年度上半期最終報告書 (社内資料), 280p.
- 東京電力株式会社・東電設計株式会社 (1994): 八丈島地熱地点に係る自然公園内環境基礎調査報告書. 416p.
- 東京都防災会議 (1990): 伊豆諸島における火山の特質等に関する調査・研究報告書 (八丈島編), 65p.
- 東京都八丈町教育委員会編 (1987): 東京都八丈町倉輪遺跡. 128p.
- 東京都八丈町教育委員会編 (1994): 倉輪遺跡—第 8 次・第 9 次発掘調査報告書—. 53p.
- 東京都港湾局・八重根遺跡調査会 (1993): 八重根 (東京都八丈島八丈町八重根遺跡発掘調査報告). 454p.
- 東京都教育委員会編 (1984): 八丈町湯浜遺跡. 東京都埋蔵文化財調査報告, 第 11 集, 82p.
- 東京都教育委員会編 (1986): 八丈町倉輪遺跡. 東京都埋蔵文化財調査報告, 第 13 集, 55p.
- 津久井雅志 (1993): 八丈島東山火山・西山火山の噴火史. 火山災害の規模と特性. (文部省科学研究費重点領域研究「自然災害の予測と社会の防災力」研究成果報告書), 79-86.
- 津久井雅志・森泉美穂子・鈴木将志 (1991): 八丈島東山火山の最近 22,000 年間の噴火史. 火山, **36**, 345-356.
- 津久井雅志・鈴木将志・佐野綾子 (1993): 八丈島東山火山の最近 30,000 年間のマグマ供給系の変遷. 火山, **38**, 199-212.

(1997 年 9 月 26 日受付, 1998 年 2 月 16 日受理)