

## 岩石残留磁気を用いたヴェスヴィオ火山 472 年火砕流の堆積温度の検討

鎌田桂子<sup>1)\*</sup>・新堀賢志<sup>2)</sup>・金子隆之<sup>2)</sup>・藤井敏嗣<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 神戸大学理学部・<sup>2)</sup> 東京大学地震研究所

## Emplacement Temperature of the Lithic-rich Pyroclastic Flow of Mt. Vesuvius 472AD Eruption: Paleomagnetic Measurement

Keiko Suzuki-Kamata<sup>1)\*</sup>, Kenji Niihori<sup>2)</sup>, Takayuki Kaneko<sup>2)</sup> and Toshitugu Fujii<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Faculty of Science, Kobe University, <sup>2)</sup> Earthquake Reserch Institute, University of Tokyo

### Abstract

The 472AD eruption of Mt. Vesuvius in Italy started from the explosive eruption which formed air-fall scoria, and was followed by pyroclastic-flows. The pyroclastic-flows changed from scoria flows in the early stage to pyroclastic surge, and lithic-rich pyroclastic flows at the last stage.

The emplacement temperature of the flow deposits were estimated applying the progressive thermal demagnetization experiments for essential fragments and lithic fragments. The experiments show that the most of specimens exhibit stable magnetizations composed commonly of one or two components. Temperatures recorded in essential fragments of pyroclastic flows could be separated into several groups; more than 590°C, around 300°C and normal ambient temperature. Some lithic fragments show 200°C indicating heating after entrapment within a flow. The estimated emlacement temperature of lithic-rich pyroclastic flow varies in different flow unit. It was presumed that the relatively cool lithic-rich pyroclastic flows were formed by the collapse of the eruption columns of explosive phreatomagmatic eruptions which eroded the volcanic conduit entraining a large amount of lithic fragments. Water-magma interaction during the eruption may have caused cooling of some essential fragments.

**Key words:** Vesuvius volcano, lithic-rich pyroclastic flow, phreatomagmatic eruption, remnant magnetization

### 1. はじめに

ヴェスヴィオ火山はイタリアを代表する活火山の一つで、約 2 万年前から活動を開始し、有史以降も大噴火を繰り返している。ヴェスヴィオ火山の周辺には、ポンペイやエルコラーノを始めとして、大噴火の噴出物で埋没した町が複数存在する。近年、ヴェスヴィオ火山北麓のソンマヴェスヴィアーナの初代ローマ皇帝アウグストゥスの別荘が埋没していると考えられていた遺跡で、日本とイタリアの共同考古学的チームによる大規模な再発掘が始められた。発掘の結果、遺跡を埋めている堆積物は

西暦 472 年の噴火による噴出物と推定された (Kaneko *et al.*, 2005). Niihori *et al.* (2007) は、ソンマヴェスヴィアーナの遺跡では、西暦 472 年噴火の降下火砕物が最初に遺跡を覆うように堆積し、その後、ヴェスヴィオ火山北麓斜面に堆積した火砕流堆積物からの二次的な土石流堆積物が遺跡を埋没したことを明らかにした。本報告では、ソンマヴェスヴィアーナ遺跡を埋没させた土石流の給源となった火砕流堆積物の残留磁化測定にもとづいて、その定置温度を推定し、噴出物の噴火堆積機構を議論する。

\*e-mail: kamata@kobe-u.ac.jp (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

## 2. 残留磁化測定による定置温度の推定

火山噴出物は磁鉄鉱などの磁性鉱物を含んでおり、噴出物が冷却すると磁性鉱物のブロッキング温度よりも低い温度で、熱残留磁化を獲得する。熱残留磁化は異なるブロッキング温度を持つ様々な磁性鉱物によって、様々な温度で生じる。Hobblitt and Kellogg (1979) は、特定の温度領域で岩石が獲得した部分熱残留磁化を用いて、4つのタイプの堆積物を区分した。

タイプⅠ: 最高のブロッキング温度より高い温度で堆積する場合で、岩石によって獲得された熱残留磁化（以下 TRM と称する）は堆積物中で均質で、地球磁場に平行な磁化方位を示す。

タイプⅡ: 常温で堆積する場合で、TRMを獲得した後に、移動・堆積することになるので、堆積後の磁化方位はバラバラになる。

タイプⅢ: 最高のブロッキング温度と常温の間で堆積した場合、磁化方向には高温成分と低温成分の2種類が存在することになる。高温成分は堆積前に最高のブロッキング温度で熱残留磁化を獲得したものであるため、磁化方位は岩石片ごとに異なる。低温成分は堆積後に獲得する磁化方位で、高温で堆積した後、常温まで冷却する間に獲得されるので、磁化方位は地球磁場と平行になる。高温成分がより大きいなら、磁化方位は点在し、低温成分がより大きければ、磁化方位はそろいやすくなる。高温成分と低温成分の磁化方位が屈折する温度が定置温度を示している。

タイプⅣ: タイプⅠ、Ⅱ、Ⅲが組合わさった場合で、複雑な冷却史を持ち、熱残留磁化も複雑になる。

従って、火山噴出物の残留磁化を測定し、噴出物の熱残留磁化や部分熱残留磁化の成分に着目することによって、その堆積物の堆積温度を推定することが可能になる。岩石は続成作用や風化のために化学残留磁化を獲得することがあるので、Hobblitt and Kellogg (1979) は新鮮な試料を採取することを勧めている。また、磁性体を磁場中に放置しておくと、その磁化が少しずつ外場の方向を向いてくる粘性残留磁化の効果が存在し、一般に地球上の岩石のすべてのものは、このような粘性残留磁化をもっていると考えられる。火山岩では熱残留磁化の方がはるかに大きいため、粘性残留磁化は無視できる場合が多い。本報告で取り上げる火山岩試料は噴出年代が若いことから粘性残留磁化を獲得するには若すぎると推定される。

## 3. ヴェスヴィオ 472 年噴火噴出物の概略

ヴェスヴィオ火山は活動開始以来、数百年～数千年毎に、大規模な噴火を繰り返してきた。広域に軽石やスコリアを噴出するプリニー式噴火は、BC1600 年（アベリノ噴火）、AD79 年（ポンペイ噴火）、および AD472 年（ポレナ噴火）(Rolandi *et al.*, 1998) に発生している。AD472 年噴火は、紀元 79 年の噴火以降最初の大規模噴火で VEI (Newhall and Self, 1982) は 4 である。AD472 年の噴火は 11 月 6 日に山頂カルデラでの水蒸気爆発で始まった。引き続いて起こったプリニー式噴火では火口近傍で 2 m, 1,200 km 離れたコンスタンチノーブルで 8 mm の降灰が確認されている (Rosi and Santacroce, 1983)。大規模な噴火であったにもかかわらず、472 年当時ローマ帝国は崩壊直前であったため山体近傍における噴火記録は残っていない。

472 年噴火は、初期には降下火砕物を堆積する噴火が主体であるが、後期には、サージを含む火砕流噴火が優

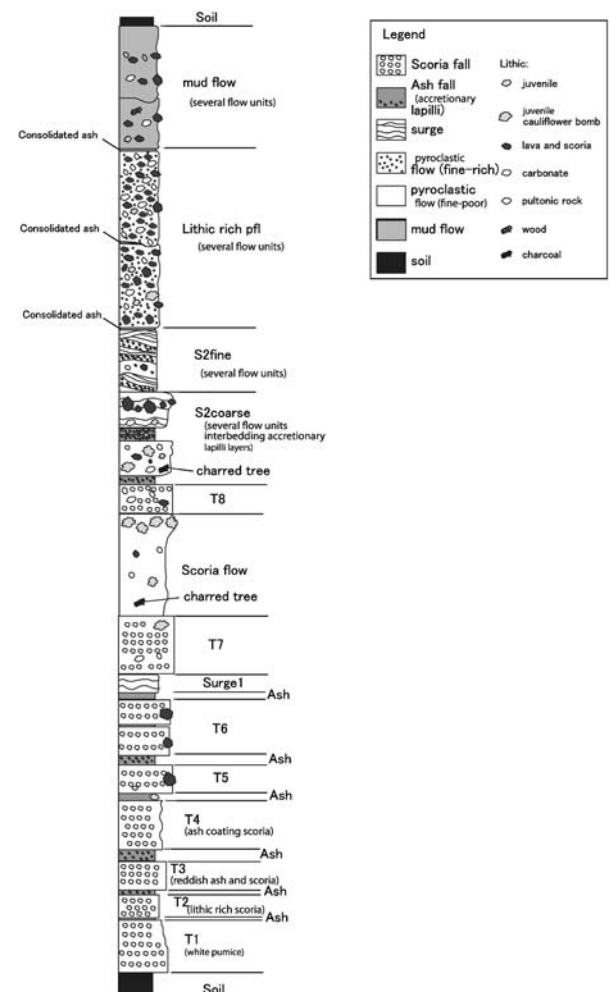


Fig. 1. Idealized columnar section of the deposit of AD472 eruption, Mt. Vesuvius.

勢となる。初期の噴火では7枚の降下スコリアが堆積し、降下スコリアの間に火山灰層やサージ堆積物を挟んでいる (Fig. 1)。スコリア放出の後、スコリア流やサージを噴出し、最後に、石質岩片を大量に含む火砕流を噴出している (Fig. 1)。スコリア流堆積物 (Fig. 1) はヴェスヴィオ火山の北側に分布する。本質岩片に富み、塊状の堆積構造を呈する。このスコリア流の上位に降下スコリアを挟んで、サージ堆積物が存在する。サージ堆積物は、構成物が粗粒で複数のフローユニットからなる下部の堆積物 (Fig. 1 の S2coarse) と細粒で斜交層理を示す上部の堆積物 (Fig. 1 の S2fine) からなる。サージ堆積物はヴェスヴィオ火山の北側と南東側に分布し、外来岩片として炭酸塩岩や深成岩片を含んでいる。石質岩片に富む火砕流の最大到達距離は 12 km、層厚は北方 5 km で、約 10 m である。噴出物の間に大きな時間間隙を示す構造は認められない。石質岩片に富む火砕流も北側と南東側に広く分布し、谷沿いに厚く堆積している。AD 472 年噴火の火砕流のうちでは最大規模である。石質岩片に富む火砕流堆積物の上位には土石流堆積物が分布している (Fig. 1)。ソマヴェスヴィアーナの遺跡には、石質岩片に富む火砕流堆積物は到達していないが、石質岩片に富む火砕流堆積物が土石流に移化したものが遺跡を埋没させている (Kaneko *et al.*, 2005)。この石質岩片に富む火砕流堆積物は、淘汰が悪く、本質岩片のほかに円磨度の低い粗粒な外来岩片を多く含む。少なくとも 2 枚以上のフローユニットからなり、各々は塊状の堆積構造を示し、級化構造は、全く認められない。

一連の火砕流堆積物の中で、本質岩片の量はスコリア流で最も多く、上位のサージ堆積物や石質岩片に富む火砕流堆積物では、減少している。

分布の最も広い石質岩片に富む火砕流堆積物がどのような噴火で発生した火砕流であるかを明らかにするために、ヴェスヴィオ火山の北西から北側の 7 地点における 9 露頭から本質岩片 85 試料、外来岩片の定方位試料 20 試料を採取して、残留磁化を測定した (Fig. 2)。Fig. 2 の地点 ① が最も火口に近い位置に相当する堆積物で、基底部に降下スコリア層が認められる。垂直方向に異なる 2 カ所から本質岩片を 10 試料ずつ、下方の 1 カ所からは更に外来岩片を 10 試料採取した。地点 ② は ① の地点下流側に位置し、基底部に火山豆石を含む火山灰層が認められた。火砕流堆積物の最下部は比較的本質岩片に富み、石質岩片は少ないが、上位の石質岩片に富む火砕流堆積物へと漸移している (Fig. 3a)。地点 ② では、最下部の石質岩片の少ないフローユニットとその上位の石質岩片の多いフローユニットからそれぞれ本質岩片を

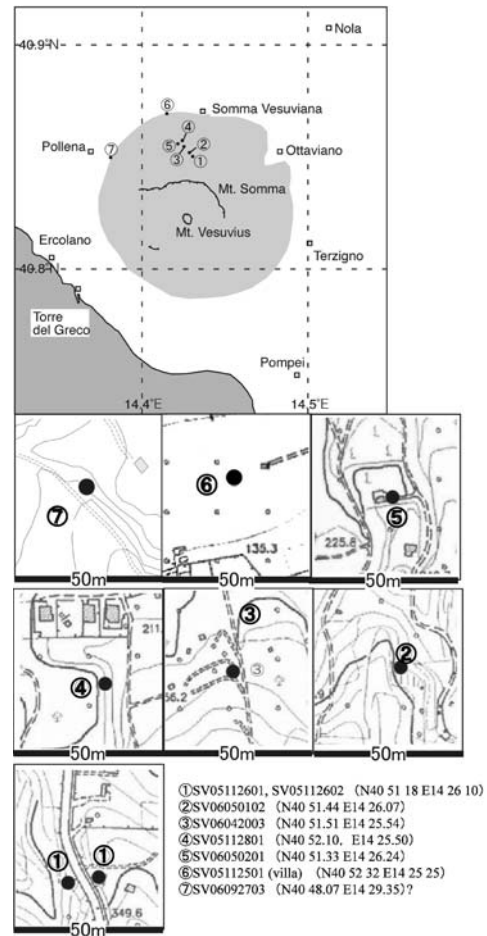


Fig. 2. Location map of sampling localities.

10 試料ずつ採取し、石質岩片の多いフローユニットからは外来岩片を 10 試料採取した。地点 ③、④、⑤ は、地点 ①、② が位置する谷の西側の谷筋に分布している。地点 ③ と ④ では、基底部が観察されず、塊状の 1 枚のフローユニットと認められる堆積物で地点 ③ (Fig. 3b) では ④ (Fig. 3c) よりも本質岩片に富み、炭化木片も認められた。地点 ⑤ では、下位に、降下スコリア層とスコリア流堆積物が認められる。地点 ③、④、⑤ のそれぞれの地点で本質岩片を 10 試料ずつ採取した。地点 ⑥ はソマ遺跡で、遺跡を埋めた土石流堆積物中に含まれている AD472 年噴火の本質岩片 5 試料を発掘現場から採取した。遺跡の土石流堆積物に含まれる本質岩片は粒径が小さいため、十分な試料数を得ることは出来なかった。地点 ⑦ はヴェスヴィオ火山の北西部の最も西よりに位置する堆積物で、下位にスコリア流堆積物が認められた (Fig. 3d)。本質岩片のみを 10 試料採取した。採取試料の大きさは直径 4 cm から最大約 20 cm までとした。



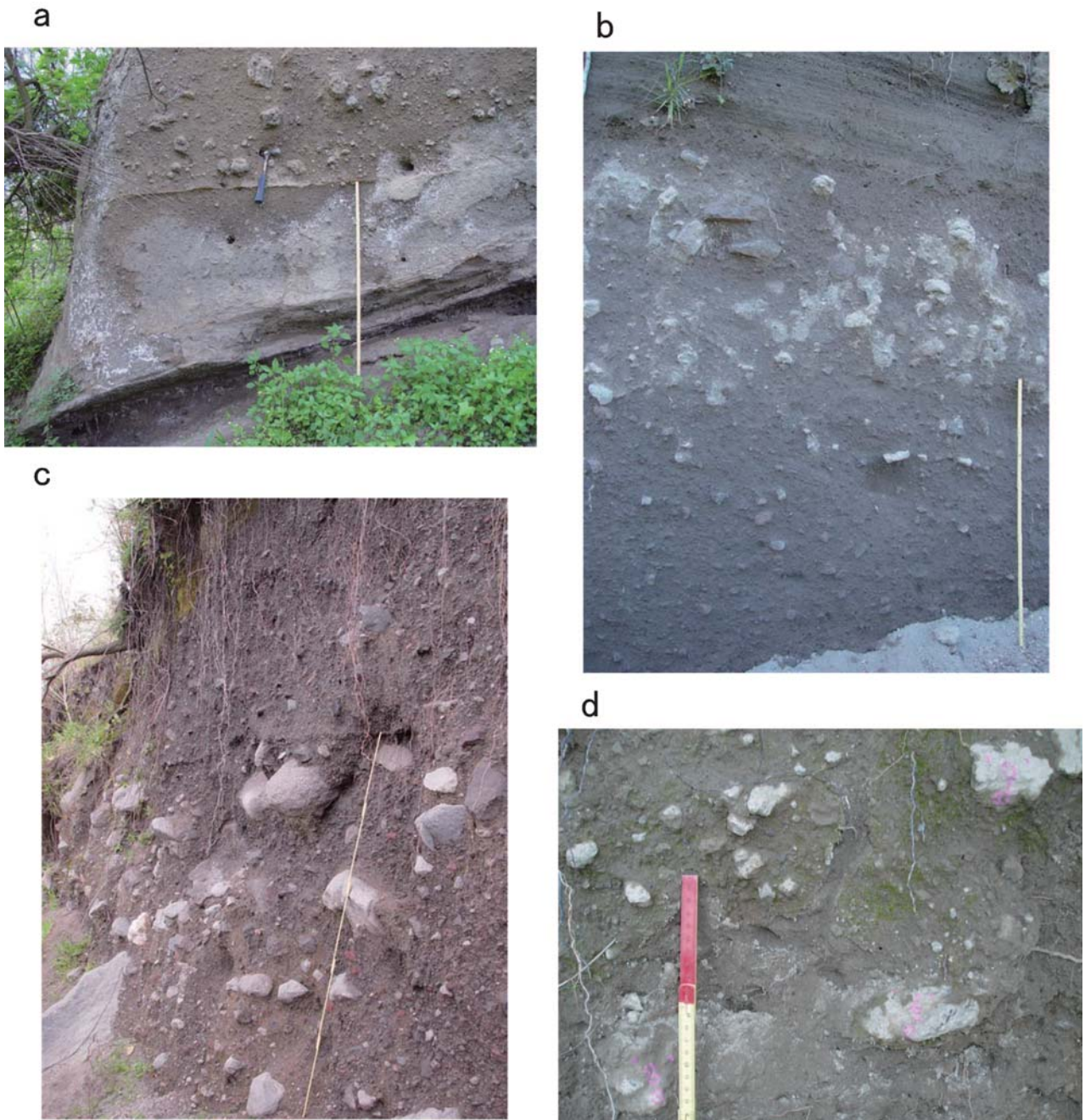


Fig. 3. Photographs of the sampled exposures at location ② (a), location ③ (b), location ④ (c) and location ⑦ (d).

#### 4. 定置温度の推定

##### 4-1 岩石磁気測定

定方位試料から直径 25 mm 高さ 22 mm の円柱形試料を切り出し、残留磁化の測定を行った。残留磁化の測定には神戸大学のスピナー磁力計（夏原技研 SMM-85）を使用した。全試料の自然残留磁化（natural remanent magnetization; NRM）を測定した結果、すべての本質岩片試料や外来岩片試料が、十分大きな残留磁化強度を保持していた。次に、空气中で段階熱消磁実験を 100℃

から 50℃ 間隔で 500℃ まで、500℃ からは 30℃ 間隔で最大 620℃ まで行った。段階熱消磁実験には神戸大学の夏原技研 TDS-1 を使用し、試料の残留磁化強度が NRM の 5% 以下になるまで消磁を続けた。なお同装置の加熱冷却部分の残留磁場強度は 5nT 以下である。段階熱消磁実験後、得られたデータをベクトル成分図（Zijderveld, 1967）に表した（Fig. 4）。磁化成分の方向は段階熱消磁実験のデータを用いて Kirschvink (1980) の主成分解析法により決定した。なお、直線性の目安となる最大偏

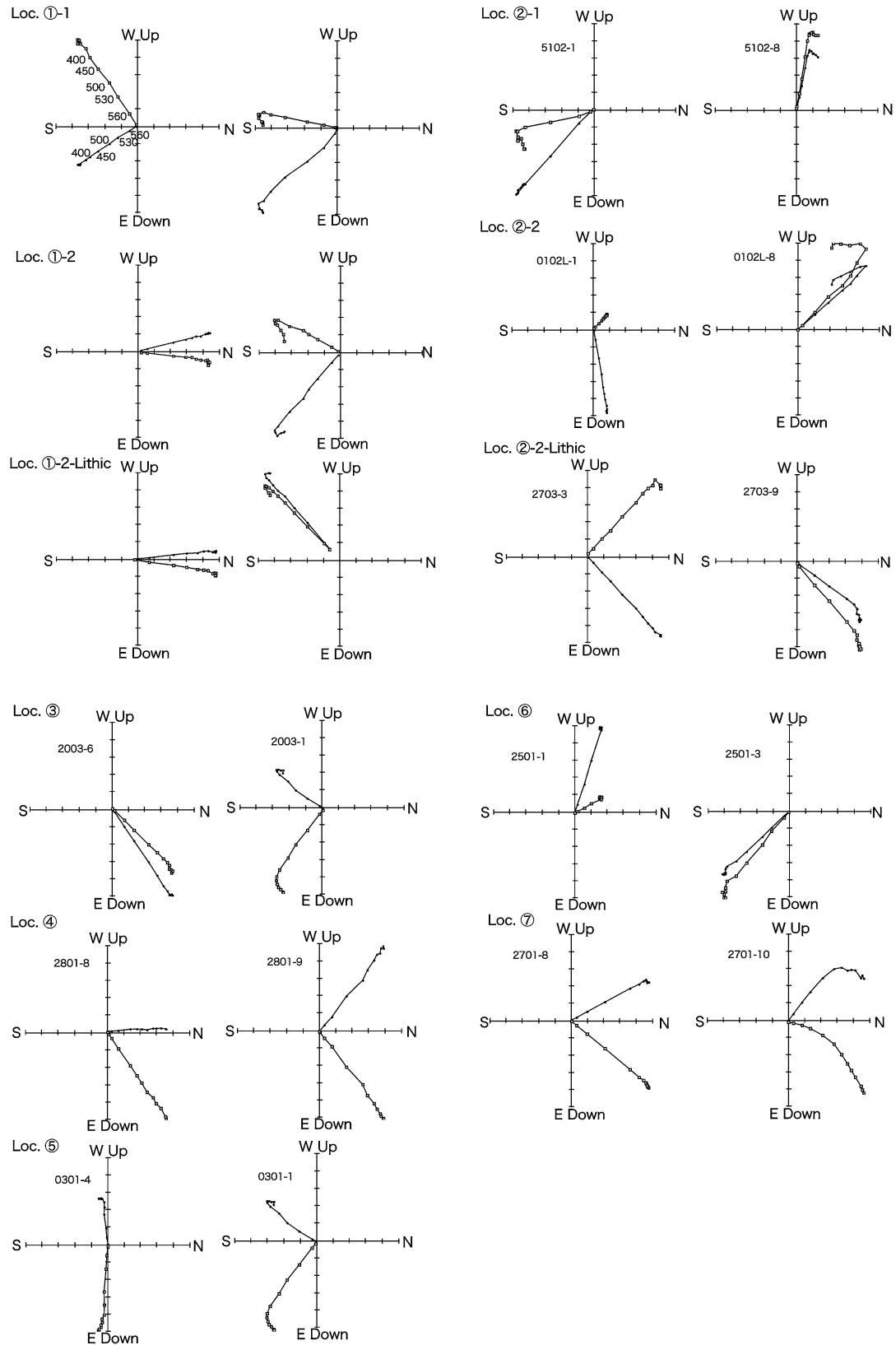


Fig. 4. Vector end-point diagram of the progressive thermal demagnetization results. The solid and open circles represent projection on the horizontal and vertical plane, respectively. Numbers adjacent to data points indicate temperature in degrees.

差角 MAD (Maximum Angular Deviation) は  $10.0^{\circ}$  に設定した。

#### 4-2 測定結果と堆積温度

AD472 年噴火の石質岩片に富む火砕流堆積物について行った段階熱消磁実験の結果を Table 1 とベクトル

成分図 (Zijderveld, 1967) (Fig. 4) に示す。なお, Table 1 からは試料整形中に破損した試料は除去してある。全試料のうち, 96 試料について測定を行った結果, 29 試料から安定した 1 成分磁化が分離された。60 試料からは 2 成分磁化が分離された。本質岩片には, 1 成分の残留磁

Table 1. Paleomagnetic results from the pyroclastic-flow deposit of 472AD eruption.

Location no.	sample no.	low-temperature component					high-temperature component				
		min	-	max	dec.	inc.	min	-	max	dec.	inc.
Essential fragment											
①-1	2601-1	100	-	200	354.0	36.8	500	-	590	265.2	69.4
①-1	2601-2						250	-	590	230.1	-16.6
①-1	2601-3	NRM	-	350	318.6	46.9	400	-	590	232.7	19.6
①-1	2601-4	NRM	-	250	331.9	86.2	300	-	590	148.3	-49.8
①-1	2601-5	NRM	-	300	76.1	55.1	350	-	590	118.1	75.5
①-1	2601-6	NRM	-	300	32.5	41.0	350	-	590	136.7	-7.8
①-1	2601-7	NRM	-	300	323.6	57.4	350	-	590	224.7	15.9
①-1	2601-8	NRM	-	300	343.0	51.1	350	-	590	146.3	-67.2
Essential fragment											
①-2	2602-1						250	-	590	347.6	6.3
①-2	2602-2						400	-	590	131.5	-19.1
①-2	2602-3	200	-	300	297.9	36.8	400	-	590	222.2	-16.1
①-2	2602-4						500	-	590	203.1	-13.3
①-2	2602-5						350	-	590	73.3	29.6
①-2	2602-6	NRM	-	200	345.4	57.8	500	-	590	115.0	-34.1
①-2	2602-7						500	-	590	126.4	-49.3
①-2	2602-8						400	-	590	129.8	-7.5
①-2	2602-9	NRM	-	300	7.4	52.1	450	-	590	346.2	-3.2
①-2	2602-10						450	-	590	64.8	10.8
Lithic fragment											
①-2	2602-L1	150	-	450	344.3	84.6	530	-	590	359.2	4.6
①-2	2602-L2	100	-	590	324.0	61.6					
①-2	2602-L3	NRM	-	200	341.3	57.5	300	-	590	225.9	-40.1
①-2	2602-L4	150	-	590	226.9	-33.0					
①-2	2602-L5						250	-	590	14.1	0.7
①-2	2602-L6						150	-	590	307.7	30.4
①-2	2602-L7						250	-	590	26.6	62.9
①-2	2602-L8						150	-	590	60.1	-55.2
①-2	2602-L9						350	-	590	235.3	28.5
①-2	2602-L10						350	-	590	354.9	8.9
Essential fragment											
②-1	5102-1	100	-	200	134.1,	10.3	400	-	590	133.1	7.5
②-1	5102-1B						350	-	560	133.7	11.4
②-1	5102-2	100	-	350	301.5,	33	500	-	590	268.0	45.9

化を示すものと 2 成分の磁化成分を示す試料が同一露頭内で混在している。磁化成分の方向は、露頭毎に異なる。磁化強度は、500℃を超えて急激に減少し、560～590℃の消磁段階での磁化強度が、ベクトル成分図の原点と区別できないほど減衰する試料がほとんどである。このこ

とから、磁化を担っている磁性鉱物はマグネタイトであると考えられる。ただし、数は少ないが、外来岩片の試料の中に 620～650℃で磁化が減衰する試料も存在したので、ヘマタイトを含む外来岩片も含まれていると思われる。

Table 1. (continued)

Location no.	sample no.	low-temperature component					high-temperature component				
		min	-	max	dec.	inc.	min	-	max	dec.	inc.
②-1	5102-3						350	-	560	251.2	32.1
②-1	5102-4	100	-	250	269.5,	79.6	450	-	560	71.5	-49.8
②-1	5102-5						300	-	560	4.2	-15.2
②-1	5102-6						350	-	590	345.4	31.7
②-1	5102-7						400	-	590	107.5	65.9
②-1	5102-8						300	-	590	282.3	-51.4
②-1	5102-10						300	-	590	33.7	34.7
Essential fragment											
②-2	2703-1	150	-	450	254.6	30.2	450	-	590	198.0	-34.8
②-2	2703-2						500	-	590	0.2	9.2
②-2	2703-3						200	-	590	46.0	-35.4
②-2	2703-6	100	-	250	10.3	28.4	500	-	590	255.0	-52.2
②-2	2703-7	200	-	350	102.7	80.9	450	-	590	164.2	16.1
②-2	2703-8	350	-	530	248.0	85.5	530	-	590	Magnet ite	
②-2	2703-8B	NRM	-	250	326.5	-41.9	530	-	590	158.7	-55.4
②-2	2703-9						350	-	590	34.5	42.8
②-2	2703-10	150	-	300	215.7	11.9	500	-	590	252.8	48.0
Lithic fragment											
②-2	0102-L1	150	-	590	80.1	-9.6					
②-2	0102-L2	200	-	590	4.4	24.7					
②-2	0102-L3	NRM	-	590	92.5	25.2					
②-2	0102-L4	NRM	-	300	337.2	-29.6					
②-2	0102-L5						300	-	590	88.7	41.3
②-2	0102-L6						250	-	590	332.7	14.0
②-2	0102-L8	100	-	250	155.3	-0.8	400	-	590	319.3	-38.3
②-2	0102-L9						250	-	590	69.0	35.0
②-2	0102-L10						500	-	590	27.9	-66.3
Essential fragment											
③	2003-1						350	-	590	214.5	46.2
③	2003-2	100	-	250	278.0	53.5	500	-	590	241.6	11.1
③	2003-3						300	-	590	354.9	57.0
③	2003-4	100	-	450	340.7	73.7	500	-	590	224.3	-31.7
③	2003-6	100	-	590	54.4	29.0	250	-	590		
③	2003-7	100	-	590	338.2	60.5	250	-	590		
③	2003-8						400	-	590	89.7	45.2

地点①-1の試料(2601)は高温成分は当時の地球磁場の方向を示さず、ばらばらであるが、100℃以下の低温成分は、当時の磁化方向に揃っている(Fig. 5). しかし、Pullaiah *et al.* (1975)によると、100℃以下の残留磁化は数時間以内に緩和されると推定されること(Fig. 6)

から、この低温成分は、本来の堆積当時の残留磁化方向ではなく、堆積後に獲得した磁化方位と推定される. このことから、地点①-1は、常温で堆積したと推定される. 地点①-2(2602)では、高温成分は地球磁場の方向に揃わないが、300℃以下の低温成分が当時の地球磁場

Table 1. (continued)

Location no.	sample no.	low-temperature component					high-temperature component				
		min	-	max	dec.	inc.	min	-	max	dec.	inc.
②-2	2703-9						350	-	590	34.5	42.8
②-2	2703-10	150	-	300	215.7	11.9	500	-	590	252.8	48.0
Lithic fragment											
②-2	0102-L1	150	-	590	80.1	-9.6					
②-2	0102-L2	200	-	590	4.4	24.7					
②-2	0102-L3	NRM	-	590	92.5	25.2					
②-2	0102-L4	NRM	-	300	337.2	-29.6					
②-2	0102-L5						300	-	590	88.7	41.3
②-2	0102-L6						250	-	590	332.7	14.0
②-2	0102-L8	100	-	250	155.3	-0.8	400	-	590	319.3	-38.3
②-2	0102-L9						250	-	590	69.0	35.0
②-2	0102-L10						500	-	590	27.9	-66.3
Essential fragment											
③	2003-1						350	-	590	214.5	46.2
③	2003-2	100	-	250	278.0	53.5	500	-	590	241.6	11.1
③	2003-3						300	-	590	354.9	57.0
③	2003-4	100	-	450	340.7	73.7	500	-	590	224.3	-31.7
③	2003-6	100	-	590	54.4	29.0	250	-	590		
③	2003-7	100	-	590	338.2	60.5	250	-	590		
③	2003-8						400	-	590	89.7	45.2
③	2003-9						450	-	530	85.3	10.2
③	2003-10	150	-	500	241.2	85.9	530	-	590	182.6	-23.3
Essential fragment											
④	2801-1	NRM	-	200	4.4	24.7	300	-	450	80.1	-9.6
④	2801-4	NRM	-	200	303.2	49.0	350	-	590	92.5	25.2
④	2801-5		-				300	-	590	337.3	38.6
④	2801-6	100	-	250	1.3	78.8	300	-	590	88.7	41.3
④	2801-7	400	-	590	355.1	54.9					
④	2801-8	NRM	-	150	2.3	61.4	200	-	590	319.3	-38.3
④	2801-9	100	-	250	309.9	38.3	400	-	590	155.3	-0.8
④	2801-55	100	-	250	35.5	45.6	300	-	590	69	35
Essential fragment											
⑤	0301-1	100	-	250	168.1	58.1	500	-	530	252.1	-55.9
⑤	0301-2	100	-	250	292.0	-8.7	300	-	530	293.8	-8.0
⑤	0301-3	NRM	-	200	198.7	33.9	530	-	590	230.3	-10.9



方向に揃う傾向にある (Fig. 5). 300°C で獲得した熱残留磁化の緩和時間は数十億年と十分に長い (Fig. 6) ので, ①-2 の地点の低温成分は堆積時に獲得したと推定さ

れ, 約 300°C で堆積したと見なせる. 同地点の外来岩片 (地点 ①-2 Lithic, 2602L) の, 300°C 以上の高温成分は, 地球磁場の方向には揃わず, 200°C 以下の低温成分が地

Table 1. (continued)

Location no.	sample no.	low-temperature component					high-temperature component				
		min	-	max	dec.	inc.	min	-	max	dec.	inc.
③	2003-9						450	-	530	85.3	10.2
③	2003-10	150	-	500	241.2	85.9	530	-	590	182.6	-23.3
Essential fragment											
④	2801-1	NRM	-	200	4.4	24.7	300	-	450	80.1	-9.6
④	2801-4	NRM	-	200	303.2	49.0	350	-	590	92.5	25.2
④	2801-5		-				300	-	590	337.3	38.6
④	2801-6	100	-	250	1.3	78.8	300	-	590	88.7	41.3
④	2801-7	400	-	590	355.1	54.9					
④	2801-8	NRM	-	150	2.3	61.4	200	-	590	319.3	-38.3
④	2801-9	100	-	250	309.9	38.3	400	-	590	155.3	-0.8
④	2801-55	100	-	250	35.5	45.6	300	-	590	69	35
Essential fragment											
⑤	0301-1	100	-	250	168.1	58.1	500	-	530	252.1	-55.9
⑤	0301-2	100	-	250	292.0	-8.7	300	-	530	293.8	-8.0
⑤	0301-3	NRM	-	200	198.7	33.9	530	-	590	230.3	-10.9
⑤	0301-4		-				350	-	590	263.5	56.0
⑤	0301-5	100	-	300	161.9	68.1	350	-	590	95.6	60.2
⑤	0301-7A	100	-	200	6.6	31.2	500	-	590	111.2	18.4
⑤	0301-7B	150	-	250	15.4	36.8	500	-	590	111.4	19.4
⑤	0301-8	100	-	250	308.1	22.0	450	-	590	44.8	52.6
⑤	0301-9		-				350	-	590	257.4	56.7
⑤	0301-10	100	-	250	18.6	65.5	500	-	590	166.9	13.0
Essential fragment											
⑥	2501-1	NRM	-	400	206.5	-11.5	450	-	590	289.4	-9.5
⑥	2501-2	NRM	-	150	150.3	-47.8	350	-	590	158.2	-64.1
⑥	2501-3	NRM	-	250	2.7	58.6	400	-	590	138.5	40.4
⑥	2501-4	NRM	-	300	260.9	-27.8	500	-	590	240.0	6.4
Essential fragment											
⑦	2701-1	100	-	250	298.0	6.8	500	-	590	280.9	-57.4
⑦	2701-2		-				400	-	590	338.2	42.3
⑦	2701-3	100	-	300	334.0	77.5	350	-	530	0.8	80.2
⑦	2701-4	200	-	350	96.1	60.7	350	-	530	239.1	-18.1
⑦	2701-5	250	-	590	11.8	58.2					
⑦	2701-6	NRM	-	200	11.8	58.2					
⑦	2701-7	NRM	-	300	27.7	55.0	300	-	530	18.4	-40.3
⑦	2701-8		-				300	-	590	333.0	34.8
⑦	2701-10	NRM	-	350	312.2	17.4	400	-	590	307.5	7.1

min-max : interval of demagnetization level used to calculating deirection of characteristic remanent magnetization (TRM). dec. : declination of TRM. Inc. : inclination of TRM. T : thermal demagnetizaion which level is shown in degree C. NRM : natural remanent magnetization.

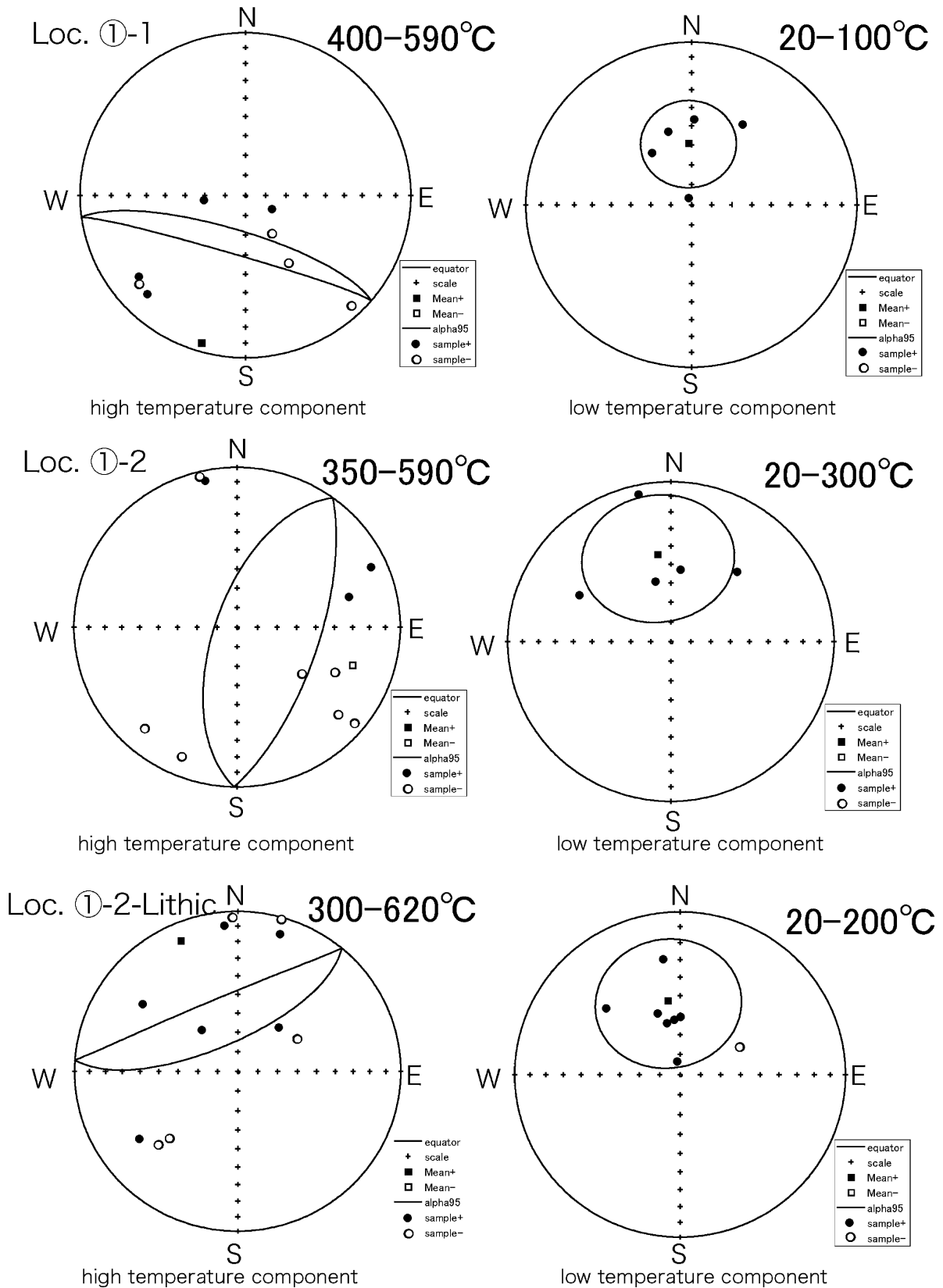


Fig. 5. Equal area projections showing site-mean directions of 11 exposures of 7 localities. Solid and double open circles represent projection on the lower and upper hemisphere, respectively. Squares and ovals represent the mean direction and the 95% confidence region with radius  $\alpha_{95}$ , respectively.

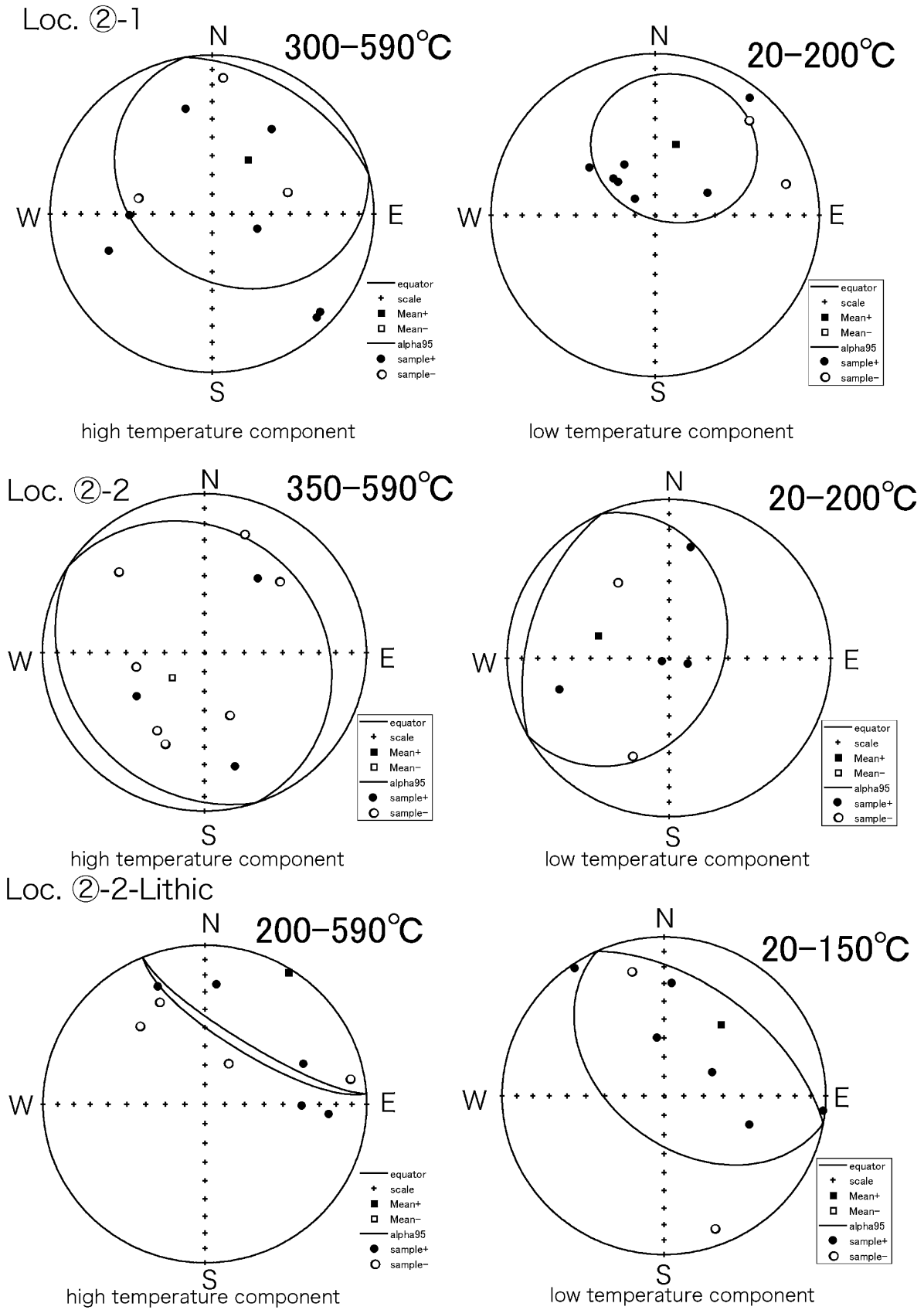


Fig. 5. (continued).

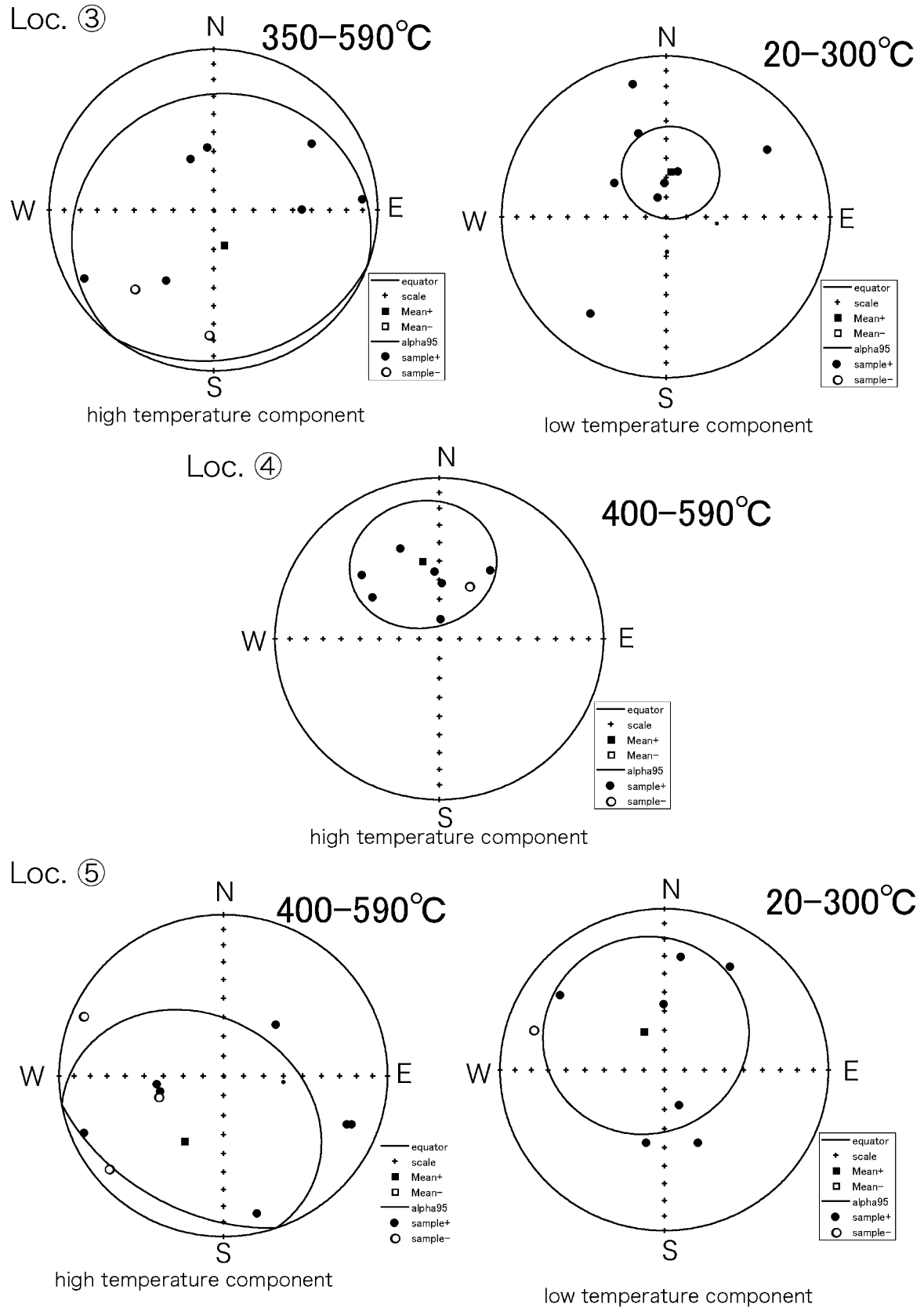


Fig. 5. (continued).



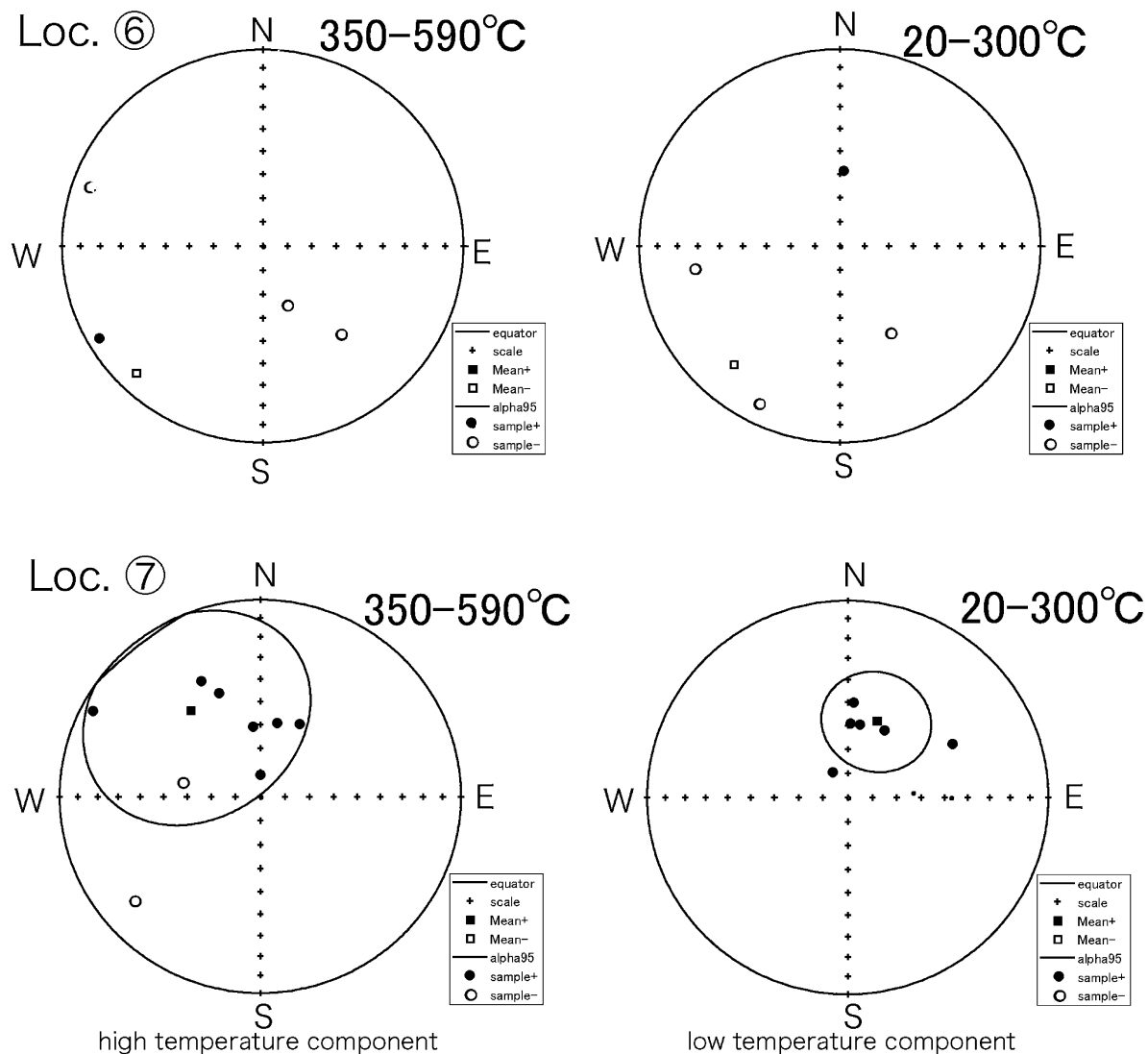


Fig. 5. (continued).

球磁場の方向に揃う傾向がある。200℃で獲得した熱残留磁化の緩和時間は数万年である (Fig. 6) ので、堆積時に獲得したものとみなせる。低温成分は外来岩片が火砕流に取り込まれた後に、200℃まで加熱されて獲得された磁化である可能性が高い。

地点②-1 (5102) は 1 試料を除き、2 成分の磁化方位を示し、200℃ 以下の低温成分は当時の地球磁場の方向に比較的揃う傾向がある (Fig. 5). 地点②-2 (2703) は 1 試料を除き、2 成分の磁化方位を示し、高温成分、低温成分ともに、当時の地球磁場方向には揃わない (Fig. 5). 同じ露頭から採取した外来岩片 (0102) は 1 成分を示す試料と 2 成分を示す試料がほぼ同数存在するが、いずれの試料も段階熱消磁実験において磁化方位が一定しており、その方位は当時の地球磁場の方向には揃わない。このことから、地点②では、最下部の本質岩片に富んだ

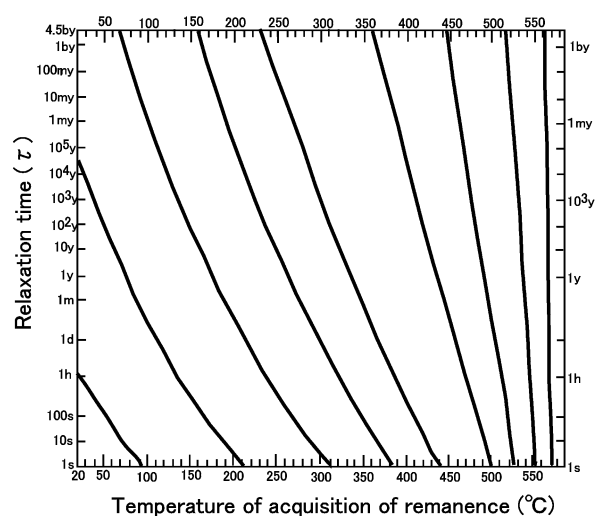


Fig. 6. Relaxation time vs Temperature of acquisition of remanence for magnetite after Pullaiab, Irving, Buchan and Dunlop (1975).

ローユニットが 200℃ で堆積し、その上位の石質岩片に富んだフローユニットは常温で堆積したと推定される。

地点③は、2 試料が 1 成分を示し、6 試料が 2 成分を示すが、1 成分を示す試料と 300℃ 以下の低温成分の磁化方位は当時の磁化方向と比較的揃うことから 300℃ で堆積したと推定される (Fig. 5)。

地点④は 1 成分を示す試料が 6、2 成分を示す試料が 1 つで、磁化方位は当時の地球磁場方向と比較的揃うことから 400℃ 以上の温度で堆積したと推定される (Fig. 5)。

地点⑤は 1 試料が 1 成分を示し、7 試料が 2 成分を示す。400℃ 以上の高温成分、300℃ 以下の低温成分のいずれもが当時の地球磁場方向には揃わないことから常温で堆積したと推定される (Fig. 5)。

地点⑥は遺跡の試料で、1 成分が 2 試料、2 成分が 2 試料であるが、いずれも当時の方位を示さない (Fig. 5)。試料数が少ないために統計的な検討は困難であるが、常温で堆積したことは確かであろう。

地点⑦は 4 試料が 1 成分、5 試料が 2 成分を示す。350℃ 以上の高温成分は、ばらばらであるが、1 成分の磁化方位と 300℃ 以下の低温成分の磁化方位は当時の地球磁場方向に揃っている (Fig. 5)。このことから、約 300℃ で堆積したと推定される。ただし、1 成分を示す試料の磁化が 590℃ まで当時の地球磁場の方向を示すことから全体としては 300℃ で堆積したものの、堆積物中には 590℃ 以上の温度を保っていた本質岩片も存在することが推定される。

## 5. 石質岩片に富む火砕流の定置温度

地点①の下位のフローユニットでは、堆積時、本質岩片が 300℃、外来岩片が 200℃ であったと推定されるが、上位のフローユニットは堆積時常温であった。地点②では、最下位の本質岩片に富むフローユニットが 200℃ で堆積したが、上位の石質岩片に富むフローユニットは本質岩片、外来岩片共に、常温で堆積した。地点③は、300℃ で、地点④は 400℃ 以上で、地点⑤は常温、地点⑥も常温、地点⑦は 300℃ で堆積したと推定される。地点③は、本質岩片に富み、直径 20 cm に達する本質岩片を含み、炭化木片も観察されるなど野外の産状も高温堆積を示唆する。

このように石質岩片に富んだ火砕流堆積物の堆積温度は、フローユニット毎に異なることが明らかになった。常温で堆積したと推定される火砕流堆積物は、300℃ 以上で堆積したと推定される高温の火砕流堆積物と、野外の産状で大きく異なる点は見つからず、土石流堆積物であることが明瞭な地点⑥の遺跡を除いて、土石流とみ

なせる産状は認められなかった。また、本質岩片の熱残留磁化が、多くの試料で 2 成分を示し、中には 3 成分を示す試料も存在する。高温成分は火砕流として堆積する以前に獲得していたと考えられるが、同一の露頭内で、1 成分の磁化方位を持つものと 2 成分の磁化方位をもつものが共存するということや地点③の 1 成分の磁化方位を持つ本質岩片が 590℃ 以上で堆積したことが示唆されることは、本質物質の中に異なる熱履歴を持つものが存在することを示唆する。

## 6. 測定結果から推定される噴火様式

熱残留磁化測定の結果、AD472 年噴火で発生した石質岩片に富む火砕流の本質物質には、590℃ 以上の高温のまま堆積したものと、一旦 300℃ 程度まで冷却したのち堆積したものに加え、常温で堆積したものが存在することが明らかになった。このようなさまざまな熱履歴を有する本質岩片が共存する噴火現象は、火口から破砕されたマグマ片が放出されるマグマ噴火による火砕流では考えにくく、火砕流になる前に、本質岩片が火道内または火口で一旦冷却されるメカニズムが必要である。例えば、マグマ水蒸気爆発のように、地下水などの流入によって火道内のマグマが冷却されるプロセスが考えられる。

AD472 年噴火で石質岩片に富む火砕流が発生する以前には、スコリア流からサージへと噴火様式が変化していた。すなわち、初期にマグマ噴火をした後、マグマ水蒸気噴火へと移行したと推定される。従って、サージを噴出したマグマ水蒸気爆発の後、一旦火道内に水が流入し、火道内を充填するマグマの表面が冷却したことが考えられる。その後、爆発的な噴火が発生して、噴煙柱を形成し、火砕流が発生したと考えられる。このような爆発的な噴火によって火道の浸食が進み、火砕流中に石質岩片が大量に取り込まれたと考えられる。このように、石質岩片に富む火砕流はマグマ水蒸気爆発によるものと考ええると堆積温度の多様性や石質岩片に富むという産状が合理的に理解できる。AD472 年噴火当時、ヴェスヴィオ火山の北側には外輪山が存在し、外輪山を超えなければ、北側に火砕流を流すことは出来なかった。現在、外輪山山頂部には、AD472 年噴火のマグマ水蒸気爆発による降下堆積物が観察される。噴煙柱高度が外輪山よりも高くなる噴火が起これば、火砕流が北麓に達することは容易である。

## 7. まとめ

イタリアヴェスヴィオ火山の AD472 年噴火で発生し

た火砕流噴火は降下火砕物の噴出に引き続き、スコリア流、サージ、石質岩片に富む火砕流の順で発生した。石質岩片に富む火砕流の堆積温度を堆積物中の本質岩片・外来岩片の残留磁化測定に基づき測定した結果、火砕流のフローユニット毎に堆積温度が異なり、590℃以上の高温堆積、300℃、200℃、常温の低温堆積まで、様々な堆積温度を示すことが明らかになった。このことから、石質岩片に富む火砕流は、先行したサージ噴火に引き続き、地下水の火道への流入により、一旦火道内で冷却された本質岩片を含むマグマが爆発的噴火を起こして、火道を浸食し、外来岩片を大量に取り込んで発生した火砕流であることが推定された。

## 謝 辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究(16089204)「火山噴火罹災地の文化・自然環境復元」の一環として行われたものである。研究を進めるにあたり、国立西洋美術館、青柳 正規博士、東京大学 松山聡博士にお力沿いを頂いた。東京大学地震研究所の中田節也博士、安田 敦博士、前野 深博士、北海道大学理学部吉本充宏博士にご議論いただいた。以上の方に心より御礼申し上げます。

## 引用文献

Dunlop, D. and Özdemir, Ö., 2001, *Rock Magnetism*, Cambridge University Press, 596 p.  
Hobblitt, R.P. and Kellogg, K.S., 1979, *Emplacement tempera-*

*tures of unsorted and unstratified deposits of volcanic rock debris as determined by paleomagnetic techniques. Geol. Soc. Am. Bull.*, **90**, 633–642.  
Kaneko, T., Nakada, S., Yoshimoto, M., Fujii, T., Yasuda, A., Yoneda, M. and Aoyagi, M., 2005, Determination of burial age of the “Augustus’ villa” (Italy). *Geochemical Journal*, **39**, 573–578.  
Kirschvink, J.L., 1980, The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, **62**, 699–719.  
Newhall, C.G. and Self, S., 1982, Volcanic explosivity index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *J. Geophys. Res.*, **87C2**, 1231–1238.  
Niihori, K., Nagai, M., Kaneko, T., Fujii, T., Nakada, S., Yoshimoto, M., Yasuda, A. and Aoyagi, M., 2007, Stratigraphy and geological characteristics of the volcanic deposits burying the Roman villa on the northern flank of Mt. Vesuvius (Italy). *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, in press.  
Pullaiah, G., Irvinng, E., Buchan, K. and Dunlop, D.J., 1975, Magnetisation changes caused by burial and uplift. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, **28**, 133–143.  
Rolandi, G., Petrosino, P. and Mc geehin, J., 1998, The interplinian activity at Somma-Vesuvius in the last 3500 years. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **82**, 19–52.  
Rosi, M. and Santacroce, R., 1983, The A.D.472 Pollena eruption: volcanological and petrological data for this poorly-known, Plinian-type event at Vesuvius. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **17**, 249–271.  
Zijderveld, J.D.A., 1967, A.C. demagnetization of rocks: Analysis of results, in *Methods in Paleomagnetism*, pp.254–286, eds Collinson, Creer & Runcorn, Elsevier, New York.  
(Received June 15, 2007)  
(Accepted October 15, 2007)