大分県日田～天ヶ瀬付近の溶岩類及び 火砕流堆積物と古地磁気¹⁾

古賀 修 一 郎²⁾

Lavas and Pyroclastic flow Deposits and their Paleomagnetism in Hita, Amagase and adjacent areas, Oita Prefecture¹⁾

Shuichiro KOGA²⁾

I. はじめに

大分県中西部地域は第四紀火山が多数存在し、九州中部における火山活動史を解明するのに好適な地域である。中でも、日田～天ヶ瀬地区は第四紀火山に加え、その基盤をなす中新世より鮮新世に至る種々の火山噴出物が分布する。調査地域中央部の玖珠川流域沿いには基盤の「変質火山岩類」³⁾を覆って「滝瀬層」, 「古期安山岩類」や「豊肥溶岩類」, 更に「日田層」の軽石流堆積物や水成層が分布する。耶馬溪火砕流堆積物⁴⁾や阿蘇火砕流堆積物(溶結凝灰岩)はこれらの堆積物を覆って高所や谷低地に広く分布する。従来、この地域の地質学的研究は北方の耶馬溪地区を含めてかなり広く行なわれてきた。それにも拘らず、各噴出物の古地磁気学研究は現在まで殆んど行なわれていない。本地域の地質の大部分については既に松本ほか(1972)の報告があるので、本論文では「古期安山岩類」, 「豊肥溶岩類」及び阿蘇火砕流堆積物(溶結凝灰岩)について古地磁気学的見地から予察的に検討する。本研究を行なうに当たり、建設省建築研究所大塚道男博士⁵⁾には岩石磁気測定に関して御協力をお願いした。筑波大学地球科学系鈴木淑夫教授には草稿を読んで頂いた。以上の方々に感謝する。

II. 自然残留磁気(NRM)の測定及び検討

調査及び試料採取地域は Figs. 1, 2 及び Table. 1 に示す通りである。地質及び層序に関しては松本ほか

(1972)を参考にし、筆者の調査結果を加味して作成した。これらに基づき、各溶岩流・火砕岩の活動時期や生成年代を推定するため、調査地域の21地点から新鮮な部分を選び定方位試料を採取した(Fig. 2)。なお、万年山溶岩、耶馬溪火砕流堆積物からは試料を採取していない。また、「変質火山岩類」に関しては試料自体の強度の変質のため測定は実施しなかった。

1. 測定結果

各試料のNRMの測定結果をTable 2に示す。測定試料数は合計48個である。Table中で、左端の番号は各溶岩類に大別して付与したが、鏡山溶岩には別個に付与した。また、「豊肥溶岩類」の岩石相互の新旧関係はほぼ同時期の噴出物と考えられるため番号は年代と対応し

Fig. 1. Locality map and surveying area.

1) 1980年11月28日受付。

2) 筑波大学地球科学系。Institute of Geoscience, The University of Tsukuba.

3) 「」で囲んだ地層名及び岩石名は松本ほか(1972)による。以下同じ。

4) 本火砕流は従来種々の名称で呼ばれていたが、ここでは耶馬溪火砕流堆積物と称する。但し、阿蘇火砕流堆積物に関しては括弧を付して溶結凝灰岩と併記し図表の説明などには後者を使用している。

5) 研究当時、熊本大学物理学教室。

Fig. 2. Geological map and cross sections in Hita, Amagase and adjacent areas.

Table 1 Columnar chart of Hita, Amagase and adjacent areas.
(Arrows indicate confirmed stratigraphic succession.)

	Hita-Oyama area	Amagase area	Kitayamada area	Tsukada area	Geological events	
Holocene	Alluvial deposits					
	Weathered surface soil, black loam and secondary tuff					
	Talus deposits					
Pleistocene				Kuju py.fl.dep.	Activities of volcanoes of the San-in and Ryukyu series (Matsumoto, 1977)	
	Aso pyroclastic flow deposits(welded tuff) (4)					
		Diluvial gravel beds				
	Yabakei pyroclastic flow deposits				Bungo volcanic activity(Matsu- moto.1977)	
	Haneyama lavas(including tuff and tuff breccia)					
	285m peak l.	Takao lavas	Maebanadai lavas			"Hōhi volcanic rocks"
		Kagamiyama lavas			Sotanodai l.	
			Kantodake l.			
			Entokuno lavas			
		Hita formation				
Mio-Pliocene	Older andesite complex(lavas and tuff breccias)				Kusugawa uncon- formity (Matsu- moto et al.1972)	
	Takize form.		Takize form.			
	Altered volcan- ic rocks					

Abbreviation: l.; lavas, form.; formation

Table 2 Results of N. R. M. measurement of Aso welded tuff(4), Hōhi volcanic rocks and Older andesite complex in Hita, Amagase and adjacent areas.

N ; number of oriented block samples, D and I ; mean declination and inclination of N. R. M., Jn ; relative intensity of magnetization

	N	D°	I°	Jn
Aso welded tuff(4)				
01 "	2	165°W	47°	0-0.7
Hōhi volcanic rocks				
02 Maebanedaï lavas	"	99°E	-1°	"
03 285m peak lavas	"	15°W	-22°	"
04 Kantodake lavas	"	38°W	69°	0.7-2.0
05 Sotanodai lavas	"	316°E	48°	0-0.7
06 Kagamiyama lava(7)	3	148°E	-60°	0.7-2.0
07 " (6)	"	20°W	60°	0-0.7
08 " (5)	"	9°E	40°	"
09 " (4)	"	7°E	38°	"
10 " (3)	"	3°E	37°	"
11 " (2)	"	34°E	39°	"
12 " (1)	"	13°E	45°	"
Older andesite complex				
13 Lava III(9)	2	337°E	52°	0.7-2.0
14 Tuff breccia III(8)	"	7°E	48°	0-0.7
15 " (7)	"	18°E	"	"
16 Lava II(6)	"	2°E	-74°	"
17 " (5)	"	29°W	-48°	0.7-2.0
18 " (4)	"	11°W	-9°	0-0.7
19 Tuff breccia II(3)	"	6°W	-7°	"
20 Lava I(2)	"	348°E	64°	"
21 " (1)	"	7°W	58°	"

ないが、「古期安山岩類」では下位から上位へ時期的に新しくなることを示している。

(1) 「古期安山岩類」(Older andesite complex)

本岩類は玖珠川流域に分布しており、試料はその溶岩流及び凝灰角礫岩の部分から採取した。溶岩流は3枚が確認され、その間に凝灰角礫岩が存在するが、測定の結果中位にある第2溶岩及び凝灰角礫岩から逆転磁化が確認された。一方、他の上・下位の溶岩、火砕岩等は正帯磁を示していることから、本岩類の活動期間中に少なくとも1回の地球磁場の逆転があったと考えられる。

(2) 「豊肥溶岩類」(Hohi volcanic rocks)

本地域の7種の溶岩中、5種(前万年台溶岩:ML,

かんたんだい
月出山岳溶岩:KnL, 285m 峰溶岩:285mL, 曾田台溶岩:SDL, 鏡山溶岩:KgL)について測定した。その結果、KnL, SDL 及び大部分の KgL の磁化方位は正帯磁であったが、285mL は逆帯磁を示した。また、ML は採取試料によって伏角がそれぞれ-1°, +2°(Table 2 には示していない。)の中間的な帯磁を示した。KgL では山頂部付近で採取した試料で磁化の逆転が見られた。特に、KgL に関しては山体の下位から上位へ向ってサンプリングを行なったが、山体が一枚の溶岩流の産状を示すため試料を採取した地点の新旧関係を容易に決定できなかった。しかし、溶岩流の上位から採取した試料が逆帯磁を示す事実より、KgL が噴出した最後期に地磁気の逆転が生じた可能性が予想される。本溶岩の磁気の安定性は後述の交流消磁によって確認されることから、磁化の反転が落雷等⁶⁾の他の原因に依るものではなく地球磁場そのものに由来していることが確められる。これから、「豊肥溶岩類」の活動時期には正帯磁から中間帯磁、更に逆帯磁を示すものまで3種類の地球磁場が生じたと考えられる。

(3) 阿蘇火砕流堆積物(溶結凝灰岩)

阿蘇火砕流堆積物については玖珠川右岸から採取した試料について測定を行なった。本火砕流堆積物は岩相・岩質から(斑晶角閃石の存在)、小野ほか(1977)の Aso-4 に相当すると考えられる。測定の結果、本溶結凝灰岩は正帯磁を示した。これは小野ほか(1977)のデータ(第1表, p 76)とも一致する。

2. NRM の安定性

NRM の安定性を検討するため、採取試料中から1~2個のパイロットサンプルを選択した。岩石のNRMを求めるにはその岩石自体の一次磁化から二次磁化成分を差引く必要があり、このため今回は交流消磁法を用いた。現在のNRMは殆んど熱残留磁気(TRM)起源であるため熱消磁試験を行なう必要があるが、今回は指標として交流消磁に対する安定性から判断した。各試料に最大交流磁場($\tilde{H}_{max}$)を300Oeまで作用させ、段階的な消磁を行なうとFig. 3に見られるような交流磁場消磁曲線が得られる。真鍋(1967)によれば、殆んどの岩石のTRMは交流磁場中ではかなり安定であることが知られている。 $\tilde{H}$ の強度を増加させると、Figs. 3, 4に見られるようなNRMの相対強度の変化曲線及び段階交流消磁に伴う磁化方向の変化が認められる。段階交流消磁の結果、300Oeまでの消磁に対して安定でかつ磁化方向に殆んど変化が認められない試料はNRMの

6) 自己反転残留磁化の可能性を考慮する必要があるが、ここではそれについて言及していない。

Fig. 3. Mode of variation of relative intensity after partial demagnetization in alternating magnetic field.

値をそのまま使用した。「古期安山岩類」の一部 (Nos. 72040506, 72040904) の溶岩流が不安定であった他は全般に安定であった。一次磁化の不安定なもの以下の議論より除外した。

3. 考察

上記測定結果に基づき、「古期安山岩類」、「豊肥溶岩類」及び阿蘇火砕流堆積物 (溶結凝灰岩) の対比や生成年代の推定を試みる。対比及び生成年代の推定には MANKINEN and DALRYMPLE (1979) の Geomagnetic Polarity time scale (Fig. 5) を使用した。

(1) 古期安山岩類

本岩類は岩相及び層序の検討から、松本ほか (1972) による第1瀬戸内期末期の火山活動の噴出物と考えられ、その活動時期は中新世末期～鮮新世初期 (約 1,000～500 万年前) に相当する。この時期の地球磁場は地磁気層序学的には Gilbert 期 (約 500～340 万年前) より以前に相当し、上記の Polarity time scale より古い。このため、「古期安山岩類」中の第2溶岩及び凝灰角礫岩が中新世末期～鮮新世初期間の地磁場変化の中でどの位置に該当するかは判定できない。しかし、本岩類は溶岩流と凝灰角礫岩の互層から成っており、しかも各層間に長い活動休止期を示すような浸蝕面や堆積物が殆んど見

られないことから、これらはほぼ一連の火山活動の産物であると考えることができる。この中で、第2溶岩・凝灰角礫岩のみが逆帯磁する現象は或る epoch 中で長期間 (約 2 万年～20 万年間) にわたって磁場が逆転したまま継続する "event" に依るものではなく、比較的短期間 (2 万年以下) で磁極が反転する極のエクスカージョンのような極性反転によって生じた可能性がある。これより、中新世末期から鮮新世初期にかけて少なくとも1回の地球磁場の反転が生じたと考えられる。真鍋 (1967) の福島盆地の第三紀火山岩の例では、後期中新世の赤川層中の流紋岩から逆帯磁現象が報告されており、鮮新世の例では Momose (1963) の鮮新統の地層の研究から、この時期のある期間にわたって地磁気の反転が生じたことが報告されている。「古期安山岩類」中に見られる磁化の反転現象はこれらのいずれかの表れである可能性がある。

(2) 豊肥溶岩類

「豊肥溶岩類」の生成年代は松本徹夫 (1979) によれば約 60～90 万年前であり、その中の一つの溶岩流 (285 mL) が逆帯磁、別の溶岩流 (ML) が中間的な帯磁、残りの溶岩流は全て正帯磁を示している。Fig. 5 の Polarity time scale によると、これらの溶岩類の活動時期

Fig. 4. Mode of change of directions after partial demagnetization in A-C magnetic field, (open circle ; upper hemisphere, solid circle ; lower hemisphere)

は Matuyama epoch 末期と Brunhes epoch 初期にわたる期間に相当する。この事実より、本溶岩類中、正帯磁を示すものは Brunhes 期初期に対比される可能性が強く、逆帯磁の溶岩流は Matuyama 期末期に、更に中間磁化を示す岩石は逆磁極期から正磁極期へ地磁気が変化する約 73 万年前の時点に該当すると考えられる。また、KgL の一部が逆転しているが、Brunhes 期にお

ける「豊肥溶岩類」の活動期間中にそれに該当するような逆転 event は現在まで知られていない。従って、KgL の野外における産状から考えて、溶岩流の正帯磁期から逆帯磁期へ変化する期間は前述の「古期安山岩類」の場合より短いと予想される。このため、KgL の一部の逆転磁化は恐らく「極のエクスカージョン」によって生じたと考えられる。

- 7) ここで、長期間（約 2～20 万年間）としたのは一つの event（反対磁極の発生から終了まで）の期間を指している。Gilbert～Brunhes epoch においてある event が生じ再び本来の極性に戻るまでの期間は MANKINEN DALRYMPLE (1979) の time scale によれば、最も短いもので Matuyama epoch の Réunion event (3.14 m. y. から 2.12 m. y. までの約 2 万年間)、最も長いもので同じく Matuyama epoch 中の Olduvai event の約 20 万年間である。一方、本論では比較的短期間（2 万年以下）で地球磁場が変化する事、つまり、反対極性の継続期間が短いことを極のエクスカージョンに似た極性反転と呼んだ。広岡 (1977) の Brunhes 期における polarity excursion の説明によれば、polarity excursion とは Brunhes 期だけに使用されるものであって既に Blake event などの固有名詞が付与されたもの以外のものを指すので、ここでは excursion の意味を他の epoch で表現するため上記のように記述した。しかし、同じ広岡 (1977) によれば、極のエクスカージョンでも磁極が元の位置へ戻るのに要する期間が $10^4 \sim 10^5$ 年であるから、必ずしも event と極のエクスカージョンの境界を 2 万年に置くことはできないようである。

Fig. 5. Magnetic polarity of lavas and pyroclastic rocks of Older andesite complex (a), Hôhi volcanic rocks and Aso welded tuff (4) (b) in Hita, Amagase and adjacent areas.

N ; Normal. R ; Reverse. I ; Intermediate. V. a. (v. a.) ; volcanic activity (Geomagnetic polarity time scale based on MANKINEN, E. A. and DALRYMPLE, G. B. (1979))

以上のように、同時代に属し時期的に一括された火山噴出物も岩石磁気測定により、或る程度その新旧関係を推定することが可能である。しかし、正確な時代的対比を行なう場合には絶対年代を含めた測定データが必要であろう。

(3) 阿蘇火砕流堆積物 (溶結凝灰岩)

本火砕流堆積物の測定結果は正常磁化を示した。また、角閃石斑晶の存在より本地域の阿蘇火砕流堆積物は Aso-4 に相当すると考えられる。Aso-4 の年代 (3.3 万年前 (松本僊夫, 1979), 4.3 万年前 (小野ほか, 1977)) や Lashamp event (BONHOMET, 1970) が 8,000—30,000 y. B. P. であることを考慮すると、Aso-4 は Brunhes 末期のうち Lashamp event より以前に該当するのである。

III. ま と め

大分県日田〜天ヶ瀬付近に分布する中新世から更新世の火山岩類の岩石磁気に関して予察的に検討し、以下のことが明らかになった。

1. 「古期安山岩類」、「豊肥溶岩類」及び阿蘇火砕流堆積物 (溶結凝灰岩) について NRM の測定を実施した。その結果、本地域の火山岩類は正帯磁、中間的な磁化及

び逆帯磁現象を示す。

2. 「豊肥溶岩類」中、鏡山溶岩の一部及び互層した「古期安山岩類」の第2溶岩・凝灰角礫岩に部分的に逆帯磁化が発見された。この原因として、前者は Brunhes epoch における極のエクスカージョンによって、後者は中〜鮮新世におけるエクスカージョンに似た比較的短期間の極性反転によって生じた可能性が考えられる。

3. 「豊肥溶岩類」では過半数の溶岩流は正帯磁を示すが、前万年台溶岩で中間的な帯磁、285 m 峰溶岩では逆帯磁化を示している。古地磁気層序学的には、正帯磁の溶岩流は Brunhes 期初期に、中間磁化のものは Matuyama 期から Brunhes 期へ地磁場が変化する時期、逆帯磁の岩石は Matuyama 期末期にそれぞれ相当する可能性がある。

4. 阿蘇火砕流堆積物 (溶結凝灰岩) は斑晶に角閃石を含むことから、小野ほか (1977) の Aso-4 に相当すると考えられ、測定の結果正帯磁を示した。これは年代を考慮すると Brunhes 末期に相当し、既報告 (小野ほか, 1977) と一致する。

引用文献

BONHOMET, N. (1970) Discovery of new event in the Brunhes period at Laschamp (France), Runcorn

- (ed.): Paleogeophysics, Academic press, p. 159—163.
- 広岡公夫 (1977) 第四紀後期の地磁気変化. 第四紀研究, **16**, p. 105—115.
- 真鍋健一 (1967) 福島盆地の新第三紀火山岩の古地磁気学的研究. 地質雑, **73**, p. 325—336.
- MANKINEN, E. A. and DALRYMPLE, G. B. (1979) Revised geomagnetic polarity time scale for the interval 0—5 m. Y. B. P., *Jour. Geophys.*, **84**, B2, p. 615—626.
- 松本徭夫 (1963) 北中部九州における後期新生代の火山活動. 九大生産研報, **34**, p. 1—10.
- 松本徭夫 (1973) 北・中部九州におけるグリーンタフ活動. 地質学論集, no. 9, p. 183—193.
- 松本徭夫 (1977) 九州におけるグリーンタフ変動と島弧変動の火山活動. 地団研専報, no. 20, p. 257—264.
- 松本徭夫 (1979) 本州弧・琉球弧会合部における火山活動. 地球科学, **33**, p. 192—199.
- 松本徭夫・宮地貞憲・宮地六美・西田民雄 (1972) 大分県玖珠川流域の火山地質. 九大教養地研報, no. 17, p. 7—14.
- MOMOSE, K. (1963) Studies on the variations of earth's magnetic field during Pliocene time, *Bull. Earthq. Res.*, **41**, p. 487—534.
- 小野晃司・松本徭夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和 (1977) 地域地質研究報告「竹田地域の地質」, 5万分の1地質図幅及び同説明書. 地質調査所, 145 p.