

愛媛県北部の中新世火山岩頸周辺部における岩石磁気物性の変化

森尻理恵¹・中川 充¹・牧野雅彦¹

Rie Morijiri, Mitsuru Nakagawa, and Masahiko Makino (2008) Variance of magnetic properties of the marginal part of Miocene volcanic conduits in northwest of Ehime Prefecture, Shikoku District, Japan. Bull. Geol. Surv. Japan, vol. 59 (3/4), p. 171-189, 30 figs, 2 tables.

Abstract: High susceptibility bands of about a few meters were shown at contact zones between ilmenite-series granite and andesite of Miocene volcanic conduits in northern part of Ehime Prefecture, southwest Japan. A profile of susceptibilities across the Senohana volcanic conduit in Nakajima, Matsuyama City clearly shows high susceptibility bands. Thirty-nine andesite and contacted granite samples were obtained from 11 sites of the Miocene volcanic conduits. Susceptibility, natural remnant magnetization and density were measured of 42 samples. Thermomagnetic and hysteresis measurements were carried out 15 samples of them. Natural remanent magnetization and susceptibility of marginal parts of volcanic conduits tend to be stronger than those of the inner part. Hysteresis parameters suggest that magnetites of marginal parts are smaller than those of inner parts. The granite in contact with andesites exceptionally had high susceptibility and natural remnant magnetization, although ilmenite-series granite had quite low susceptibility and natural remanent magnetization. A lot of fine magnetites were recognized in the granite in contact with andesite by microscope observation. They seem to be formed from biotites in the granite by contact metamorphism with intrusion of volcanic conduits.

Keywords: volcanic conduit, magnetic property, Ehime Prefecture, Miocene

要 旨

中新世の瀬戸内火山岩類が岩頸として花崗岩類に貫入した地質構造が明瞭に見られる, 松山市中島瀬の鼻で露頭の帯磁率プロファイルを取ったところ, 花崗岩と火山岩頸の境界部の数 m 程度の狭い範囲で高帯磁率帯が認められた. さらに, 松山市に分布する中新世の火山岩頸 11 サイトから 42 個の花崗岩と安山岩の試料を採取し, 帯磁率, 自然残留磁化, 密度を測定した. また, このうちの 15 試料について, 熱磁気分析およびヒステリシスパラメーター測定を行った. それらの結果, 火山岩頸の境界部分において帯磁率も自然残留磁化も強い傾向が見られた. ヒステリシスパラメーターでは, 火山岩頸の中心部に比べて縁辺部のマグネタイトのほうが粒子が小さい傾向にあることが分かった. また, ほとんど自然残留磁化を示さない花崗岩類が, 安山岩と接触している部分のみ, 自然残留磁化が強く, 帯磁率が高かった. これは, 安山岩と接触した熱で花崗岩類の黒雲母が変質し, 粘土鉱物とマグネタイトが生成された結果であると顕微鏡観察から認められた.

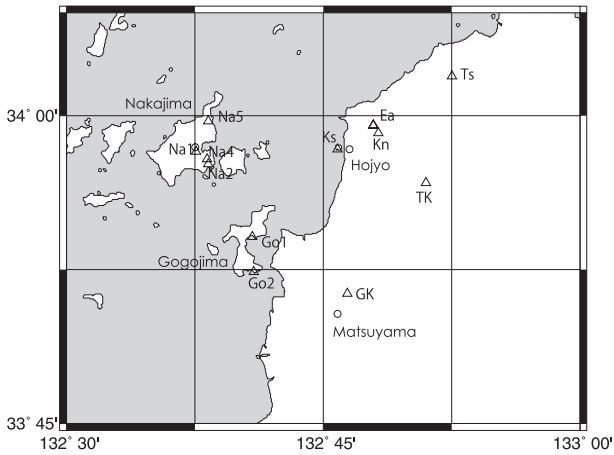
1. はじめに

火山岩頸が浸食から取り残されたと推定されている兵庫県西宮市の甲山(藤田・笠間, 1982)において,

牧野ほか(1997)は, 山体を横断するような複数の地上磁気探査を行い, 安山岩と花崗岩の境界部と予想される場所に局所的に環状の強い磁気異常が見られることを示した. さらに, モデル計算から火山岩頸の磁気的構造を推定した. このことは, 周辺地層による磁気異常がほとんど無い場合, 甲山で見られたような特徴的な磁気異常を探し出すことで, 堆積物に薄く覆われていても火山岩頸の境界を特定することが可能であることを示した.

八島・浜口(1986)は, 松山市の北西方一帯に分布する中新世の火山岩頸を調査し, 確認された 80 個余のうち, 明瞭な 9 個について記載を行った. これらの火山岩頸は, いずれも岩頸部が山体を形成する甲山のような状態で地形として残っているわけではないが, 花崗岩中に火山岩頸が貫入する地質環境は甲山と類似している. さらに, 産出する花崗岩はマグネタイトをほとんど含まないイルメナイトシリーズの領家花崗岩類に属する(Ishihara, 1977)ことから, 周辺地層による磁気異常の影響はほとんど無いと考えられた. そこで, 松山市において, 花崗岩と安山岩の接触面が明瞭に認められるような露頭の状態が比較的良い場所を選び, 岩石磁気的な検証を試みた. 筆者らは, 2000年と2002年に第1図に△で示す場所で岩石採取を行い, 熱磁気分析等の岩石磁気実験を行った. 現地では露頭の風化がかなり進んでおり, 決定的な証拠を得るのに十

¹地質情報研究部門 (Institute of Geology and Geoinformation, GSJ)



第1図 試料採取地点図. △は採取地点を示す. 灰色の部分
は海域を示す.

Fig. 1 Simplified location map of sampling sites. Open
triangles indicate sampling sites. A gray portion indicates
sea area.

分な試料を採取することが難しかった. しかしながら,
ここでは, これらの過程で極めて興味深い結果が得ら
れたので, 現段階で記載的な事実を報告することにした.

2. 露頭における帯磁率プロフィール

松山市中島のサイト Na2 (第1図参照) では, 南東
から北西方向に, 携帯型帯磁率計 (Kappameter) による
帯磁率測定を行った (第2図b). 測定方法は, 露頭
のある高さに巻尺を水平に用いてその上を, 基本的
には1m間隔, 境界部は10cm間隔で, 帯磁率を測定した.
自然の露頭では, 岩相の境界線は必ずしも直線ではな

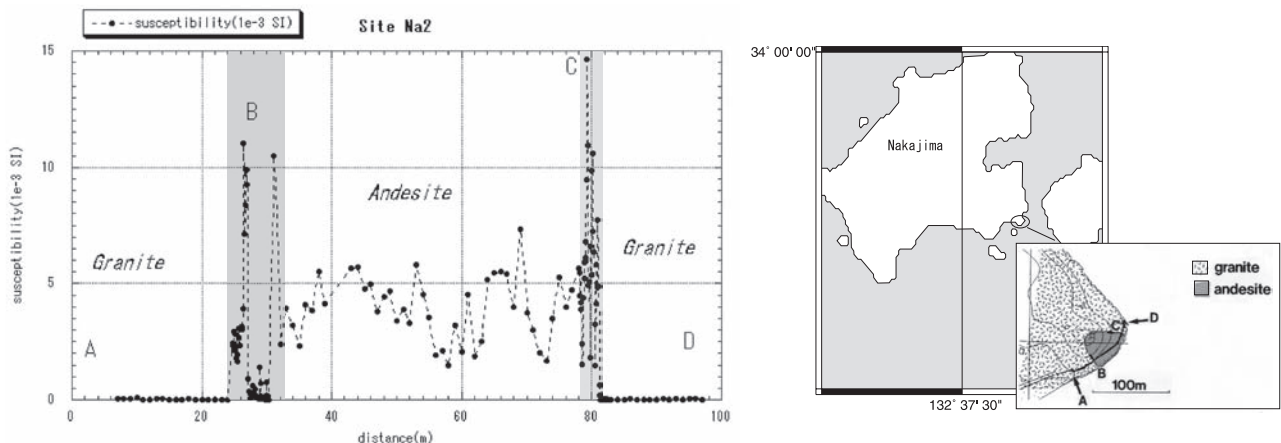
いが, ここでは直線上にプロフィールを得ることを優
先した. 第2図aにプロフィールを示すが, 図上に示
す境界は肉眼で観察した岩相の変化部分で幅を持たせ
てある.

八島・浜口 (1986) は火山岩頸を, A) 主に火山碎屑
物で充填されているもの, B) 貫入岩体 (火道溶岩) を
伴った火山碎屑物で充填されているもの, C) 貫入岩体
(火道溶岩) の3つのタイプに分類した. そのうち帯磁
率測定を行ったサイト Na2 はタイプCとして記載され
ている. これらは広島型の黒雲母花崗岩 (石橋, 1960)
を貫いて溶岩が噴出した火山岩頸 (八島・浜口, 1986)
で, その南東縁は海水に覆われて不明である. この中
島瀬の鼻の古火道を満たしていた溶岩の岩質は紫蘇輝
石かんらん石普通輝石安山岩である.

プロフィールを見ると, 花崗岩と安山岩溶岩の境界
部で, 帯磁率が急激に大きくなっている. 実際の露頭
では, 安山岩と花崗岩が直線的に接している訳ではな
く, 岩片の取り込みや割れ目への侵入など複雑な産状
を示している. ただし, 花崗岩に安山岩が混じること
によって帯磁率が上がったのではなく, 明らかに中心
部よりも帯磁率が大きいことが注目される. これは,
規模は異なるが, 牧野ほか (1997) が兵庫県西宮市甲
山で得た地上磁気探査の結果と調和的な帯磁率の変化
であるといえる. そこで, 接触部を中心に試料採取を
行い, 岩石磁気的な裏付けを試みた.

3. 試料及び測定方法

ここで, 火道とは, 八島・浜口 (1986) にしたがっ
て, 火山噴出物を地表に供給した火道管の上端部を言
う. 一般に火道部分は周囲の火山噴出物などに比べて



第2図 (a) サイト Na2 (中島瀬の鼻) における帯磁率プロフィール. 影をつけた部分は肉眼で岩相変化が認められるところ, (b)
プロフィールの位置. Aは測線の始点 (0 m).

Fig. 2 (a) The profile of susceptibilities at Site Na2 (Senohana in Nakajima). Shaded areas indicate transit zones of rock types. (b)
The survey line. A is the start point (0 m).

固くなる傾向がある。噴火活動後の浸食作用により、火道を覆っていた火山噴出物が取り除かれ、火道を作っている火山噴出岩や、内部の火道管がむき出しにされ、突出した地形が形成される。このようにして出来たものが火山岩頸とよばれている。

今回、岩石試料を採取したサイトのうち、Na1, Na2, Na5, Ks では、周囲の花崗岩が浸食されずに残っていた。そこで、なるべく、接触している花崗岩と安山岩、ならびに中心部の安山岩を組にして採取した。その他のサイトは、既に花崗岩の部分は浸食されてしまい、その地形的な特徴から、火道の縁辺部、中心部を判断した。このようなサイトでは、地形情報などから、できるだけ、火山岩頸の縁辺部と中心部の安山岩の両方を採取するようにした。採取した岩石は、全て方位づけはしていない。

採取した岩石試料から、直径約 25 mm の円筒形試料を複数本抜き、さらに高さ約 20 mm の大きさに切り揃えた。しかし、採取した岩石のうち、安山岩と花崗岩の接触部で採取された試料は、本研究にとって重要であるが、特に風化が進み、整形、加工が困難であった。そのため、必ずしも十分な数の試料は確保されていない。また、脆く測定中に崩れてしまうおそれのあるものは、接着剤を用いて貼り合わせている。その中でも、安山岩に接触した花崗岩はブロックサンプルとして採取することすら難しく、採取しても円筒形に整形する際に粉々に砕けてしまった。さらに、かろうじて整形できたとしても測定中に試料片が崩壊する可能性が高かった。そこで、予めラップフィルムで包んだものもある。接着剤を使ったものやラップフィルムで包んだ試料片には、加熱実験が行えず、測定項目には不備が生じている。

全ての試料片について自然残留磁化（NRM）強度と帯磁率が測定された。測定は国立極地研究所で行われた。NRM はスピナー磁力計（RM-254, テラテクニカ）、帯磁率は帯磁率計（Sapphire, Sapphire Instruments）を用いた。試料片のうち、測定に耐えられそうなものを選び、交流消磁と残留磁化測定には超伝導磁力計（MODEL755R, 2G Enterprise）を、熱消磁と残留磁化測定には極地研究所の熱消磁装置とスピナー磁力計（RM-254, テラテクニカ）を用いた。また、岩石試料の一部分についてヒステリシスパラメーターの測定と熱磁気分析を行った。これは振動型磁力計（理研電子製）を用いて真空中で行った。

密度の測定にはガス置換方式の密度計（Accupyc 1330, Micrometrics）を用いて測定した。サンプルケースが小さいので、円筒形に整形した残りの部分を粗く砕いた試料で測定した。そのため、整形試料の実際の密度よりも若干高めに出ている可能性がある。

4. 測定結果

4.1 自然残留磁化と帯磁率

4.1.1 全体の概観

今回採取した 42 試料について、NRM と帯磁率の測定結果を第 1 表にまとめてある。NRM 強度と帯磁率は、試料片の岩石ごとの平均値である。また、第 3 図は安山岩について横軸を帯磁率に、縦軸を自然残留磁化としてプロットしたもので、第 4 図は花崗岩について同様にプロットしたものである。安山岩は帯磁率と自然残留磁化に正相関が見られ、中央部（▲）のほうが縁辺部（●）よりも帯磁率が低い傾向にある。花崗岩は、磁性が強いものとほとんど磁性を持たないものに分かれる。安山岩と接触している部分から採取されたもの（●）の中には高い帯磁率を持つものがある。これは帯磁率と自然残留磁化は正相関を持つ。一方、安山岩と隣接していても、隣接していないもの（■）と同様に低い帯磁率を示すものもあったが、値が小さいために何ともいえない。

4.1.2 段階交流消磁

段階交流消磁は、31 試料について、5mT ずつ 50mT まで行われ、NRM の測定は超伝導磁力計で行われた。次に代表的なサイトについて結果を示す。

a) サイト Na2（松山市中島瀬の鼻）

サイト Na2 では、表層の帯磁率測定が行われ、第 2 図に示すような、花崗岩と安山岩の境界部のごく狭い範囲で帯磁率が高くなっている現象が認められている。そこで、接触している花崗岩と安山岩、接触していない花崗岩と安山岩をそれぞれ採取した。このうち、火山岩頸の縁辺部（第 2 図の 80 m 付近）より、花崗岩に接している安山岩 Na2a1、安山岩 Na2a1 に接している花崗岩 Na2g1、火山岩頸の中心付近（第 2 図の 50 m 付近）の安山岩 Na2a5 について交流消磁と NRM の測定を行った。

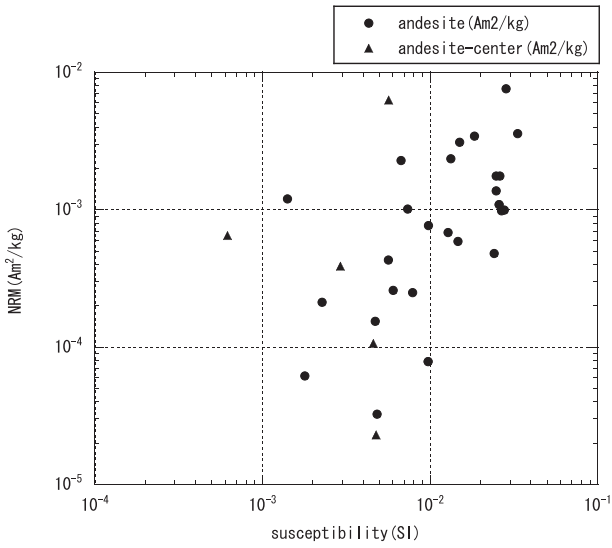
第 1 表に示したように、サイト Na2 で、安山岩と接触している花崗岩の Na2g1 は NRM の平均値は $2.79 \times 10^{-4} \text{ Am}^2/\text{kg}$ となり、安山岩と接していない花崗岩である Na2g5（第 2 図の 0 m 付近）は NRM が $1.62 \times 10^{-5} \text{ Am}^2/\text{kg}$ となる。帯磁率も、Na2g5 が $1.8 \times 10^{-4} \text{ SI}$ で、Na2g1 が $1.24 \times 10^{-3} \text{ SI}$ を示し、安山岩と接しているほうが大きい。一方、花崗岩と接触している安山岩の Na2a1 は、NRM が $6.82 \times 10^{-4} \text{ Am}^2/\text{kg}$ で帯磁率は $1.28 \times 10^{-2} \text{ SI}$ を示し、接触していない Na2a5 は NRM が $1.06 \times 10^{-4} \text{ Am}^2/\text{kg}$ となり、帯磁率が $4.59 \times 10^{-3} \text{ SI}$ で、同様に接触部のほうが、値が大きくなっていることに特徴がある。

これら 3 つのサンプルから得られた試料の交流消磁磁場に対する NRM の強度変化を交流消磁を行う前の NRM 強度を 1 として第 5 図に示した。また、等積投

第1表 42 サンプルについての自然残留磁化, MDF, 帯磁率, 密度

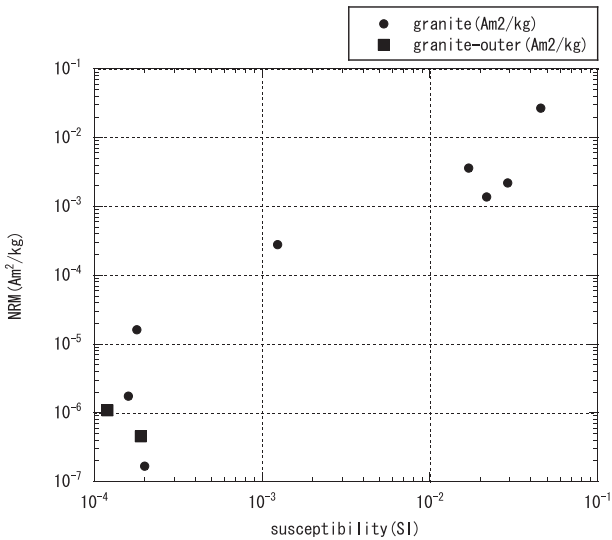
Table 1 Natural remanent magnetizations (NRM), MDF, initial susceptibilities and density of 42 samples are shown.

Site	Sample	Rock	Part	NRM (Am ² /kg)	MDF (mT)	susceptibility (e-3 SI)	density (g/cm ³)	Speci men
Ea	Ea1	andesite	inner	6.28E-03	15	5.67	2.79	5
	Ea2	andesite	margin	7.59E-03	>50	28.40	2.81	5
Ks	Kg01	granite	contact	2.20E-03		29.10	2.66	2
	Kg02	granite	contact	2.69E-02	15	45.80	2.67	4
	Ka01	andesite	contact	2.12E-04	20	2.27	2.81	2
	Ka02	andesite	contact	1.20E-03		1.41	2.86	9
	Ka03	andesite	contact	1.54E-04		4.71	2.82	11
Na1	Na1g1	granite	outer	1.68E-07	35	0.20	2.69	1
	Na1a1	andesite	margin	7.67E-04	25	9.78	2.82	11
Na2	Na2a1	andesite	contact	6.82E-04	20	12.80	2.77	7
	Na2g1	granite	contact	2.79E-04	25	1.24	2.73	2
	Na2a2	andesite	inner	6.48E-04	35	0.62	2.71	7
	Na2a3	andesite	contact	2.35E-03	30	13.30	2.51	3
	Na2g3	granite	margin	1.09E-06	>50	0.12	2.66	3
	Na2a4	andesite	margin	2.59E-04	15	6.02	2.74	3
	Na2a5	andesite	center	1.06E-04	15	4.59	2.72	13
Na4	Na2g5	granite	outer	1.62E-05	25	0.18	2.67	1
	Na4a1	andesite	margin	3.43E-03	35	18.40	2.80	1
Na5	Na4a2	andesite	margin	3.10E-03		15.00	2.80	2
	Na5g3	granite	outer	1.75E-06	45	0.16	2.69	2
	Na5a1	andesite	contact	2.49E-04	15	7.87	2.98	5
	Na5g1	granite	contact	3.62E-03		17.05	2.40	2
	Na5g4	granite	outer	4.56E-07	30	0.19	2.65	1
	Na5ag1	andesite	contact	1.42E-04	10	1.79	2.56	1
Kn	Na5ag2	granite	contact	1.67E-03	15	21.80	2.48	1
	Kn11a	andesite	margin	1.09E-03		25.80	2.81	2
	Kn11b	andesite	margin	1.37E-03	>50	24.80	2.70	2
	Kn11c	andesite	margin	9.82E-04		26.70	2.71	2
	Kn12a	andesite	margin	1.76E-03		24.80	2.73	2
	Kn12b	andesite	margin	1.76E-03		26.10	2.77	2
	Kn12c	andesite	margin	9.94E-04		27.70	2.91	1
GK	Kn13a	andesite	center	3.88E-04		29.20	2.50	2
	GK11	andesite	margin	1.01E-03	11	7.35	2.79	2
TK	GK12	andesite	margin	4.31E-04	11	5.64	2.74	2
	TK1	andesite	center	2.29E-05	26	4.77	2.66	9
Ts	TK2	andesite	margin	3.58E-03	10	33.27	-	12
	Ts1	andesite	margin	2.28E-03	10	6.71	-	8
Go1	Ts2	andesite	margin	5.88E-04	20	14.66	-	8
	Go1-1	andesite	center	3.25E-05	30	4.825	2.67	9
Go2	Go1-2	andesite	margin	7.85E-05	44	9.734	2.63	9
	Go2-1	andesite	margin	1.05E-03	35	4.89	2.68	4
	Go2-2	andesite	margin	1.88E-03	19	33.60	2.68	5



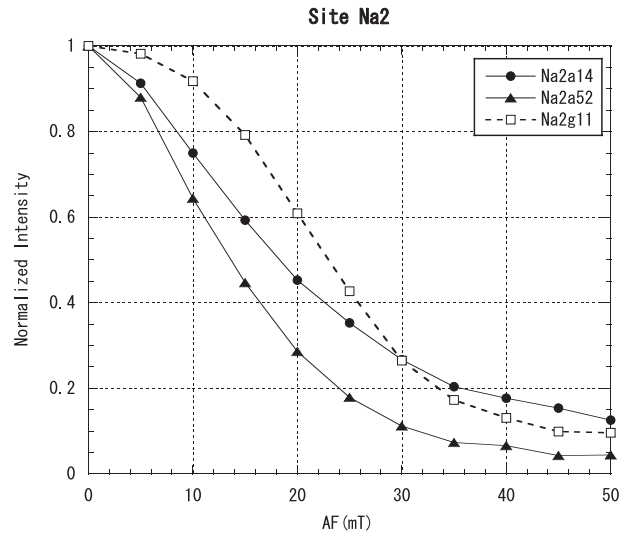
第3図 自然残留磁化と帯磁率のプロット。●は火山岩頸の縁辺部の安山岩, ▲は火山岩頸の中心部の安山岩

Fig. 3 Natural remanent magnetizations were plotted against susceptibilities. Solid circles indicate andesites obtained from marginal area of volcanic conduits; solid triangles indicate andesites obtained from central area of volcanic conduits.



第4図 自然残留磁化と帯磁率のプロット。●は火山岩頸に接触している花崗岩, ■は接触していない花崗岩

Fig. 4 Natural remanent magnetizations were plotted against susceptibilities. Solid circles indicate granites in contact with andesites; solid squares indicate granites from surroundings.



第5図 消磁磁場と残留磁化強度 (消磁前の値で規格化), サイト Na2 (中島瀬の鼻) の例。●は花崗岩と接触している安山岩 (Na2a14), ▲は火山岩頸の中央部の安山岩 (Na2a52), □は安山岩と接触している花崗岩 (Na2g11)。Na2a14 はサイト Na2 の安山岩 (a) の1 というサンプルの4番目の試料片の意味。

Fig. 5 Decay curves of the normalized NRM intensity against the demagnetization field. Solid circles indicate NRM intensity of an andesite in contact with a granite (Na2a14); solid triangles indicate NRM intensity of an andesite obtained from central part of a volcanic conduit (Na2a52); open squares indicate NRM intensity of a granite in contact with an andesite (Na2g11). The meaning of 'Na2a14' is Site Na2, andesite, sample-1, and specimen-4.

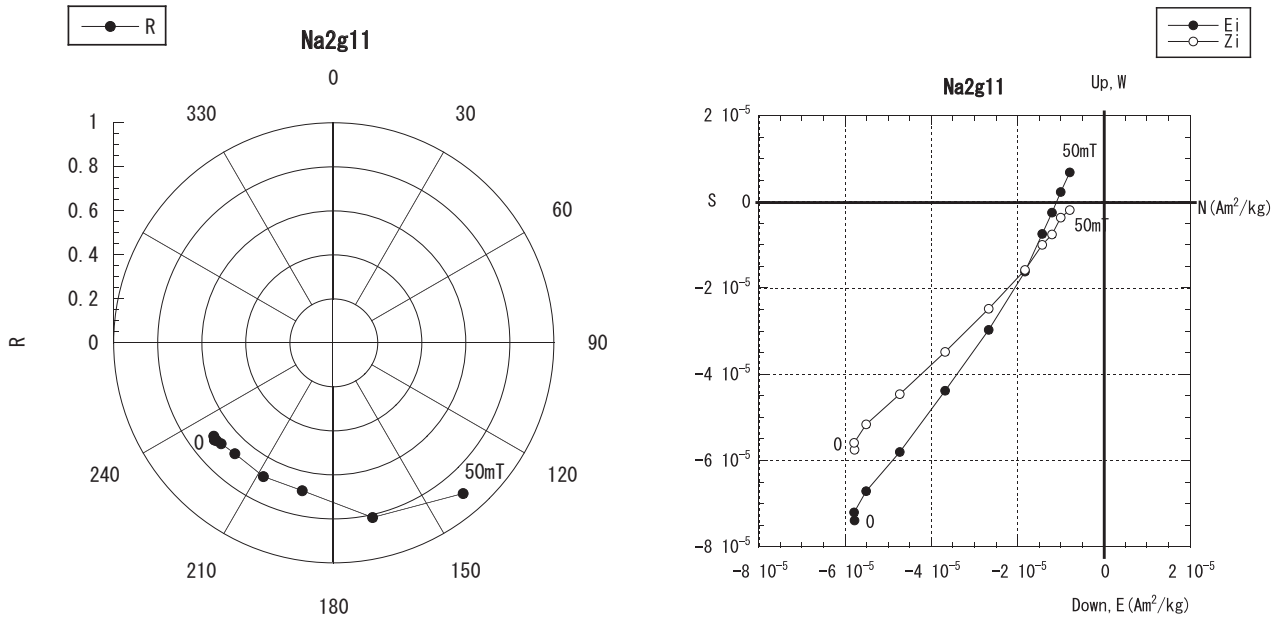
影図とザイダーベルド図 (Zijderveld, 1967) を第6図-第8図にそれぞれ示した。

b) サイト Na5 (松山市中島桑名)

一方, サイト Na5 でも, 花崗岩と安山岩が接触した部分と接触していない部分の試料採取を行った。ただし, 接触部の花崗岩の Na5g1 は, 風化が進んでいたため交流消磁は行っていない。また, 接触部分をそのままブロックサンプルとして1試料を採取し, 実験室で整形の際に切り分けた試料の安山岩側を Na5ag1, 花崗岩側を Na5ag2 としている。この試料については, 第1表に示されているように, NRM は安山岩側で $1.42 \times 10^{-4} \text{ Am}^2/\text{kg}$, 花崗岩側は $1.67 \times 10^{-3} \text{ Am}^2/\text{kg}$ となり, 帯磁率は安山岩側で $1.79 \times 10^{-3} \text{ SI}$, 花崗岩側は $2.18 \times 10^{-2} \text{ SI}$ となり, 花崗岩の方が NRM, 帯磁率ともに大きいのが特徴である。この2つの試料について, 交流消磁磁場による NRM の強度変化を第9図に, 等積投影図とザイダーベルド図を第10図-第11図にそれぞれ示した。

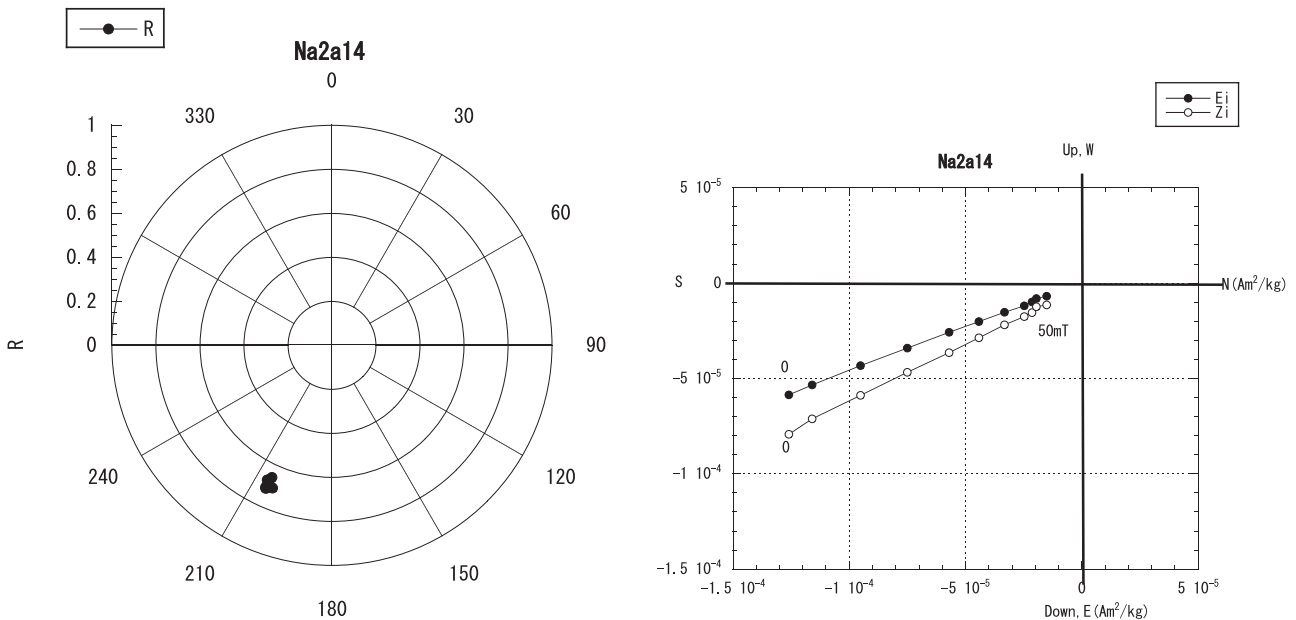
c) サイト Ea (松山市恵良山)

次に, サイト Ea (恵良山) について交流消磁結果を



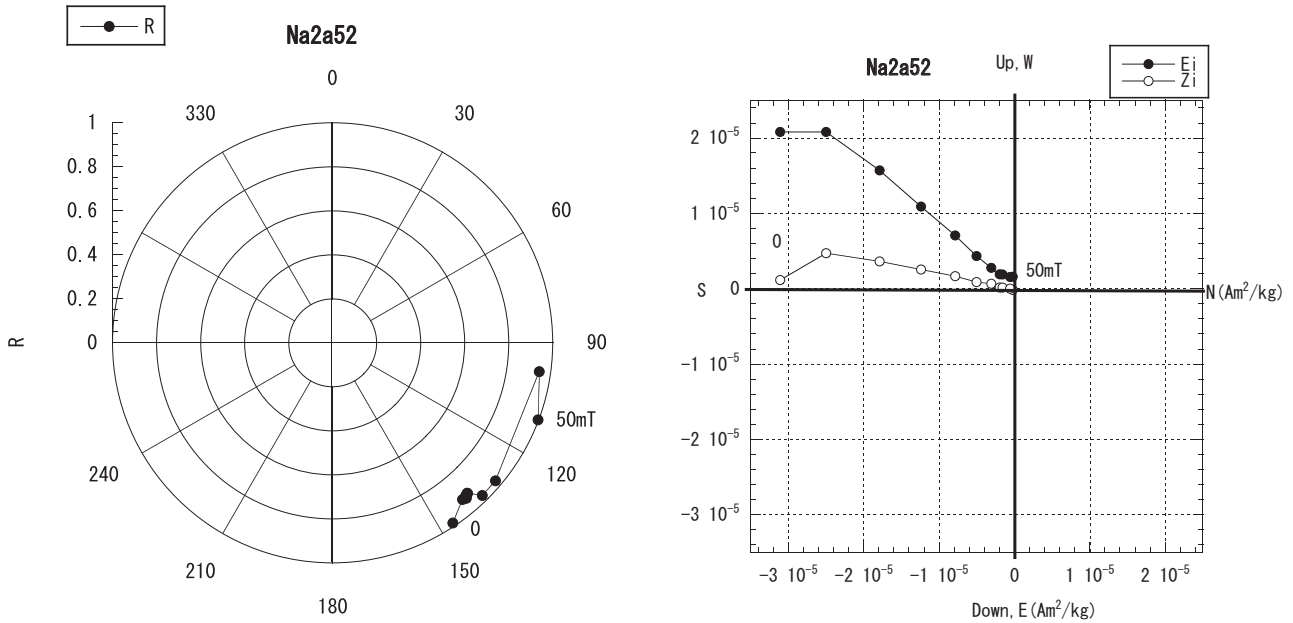
第 6 図 交流消磁結果, サイト Na2 (中島瀬の鼻) の安山岩と接触している花崗岩 (Na2g11). サンプルは方位付けされていない. (a) 等積投影図 (●は伏角 I が正), $R = \sqrt{2} \sin\left(\frac{\pi/2 - I}{2}\right)$ (b) ザイダーベルド図. Ei: 水平面投影 (●), Zi: 鉛直面投影 (○), 北が下.

Fig. 6 Alternating field demagnetization data of contacted granite (Na2g11) from Site Na2 (Senohana in Nakajima). The sample was not orientated. (a) Data are plotted on an equal area projection. Solid circles are projections onto the lower hemisphere. (b) An orthogonal projection of data plotted with North on the horizontal axis. Horizontal projection is plotted with solid circles and vertical (North down) projection is plotted with open circles.



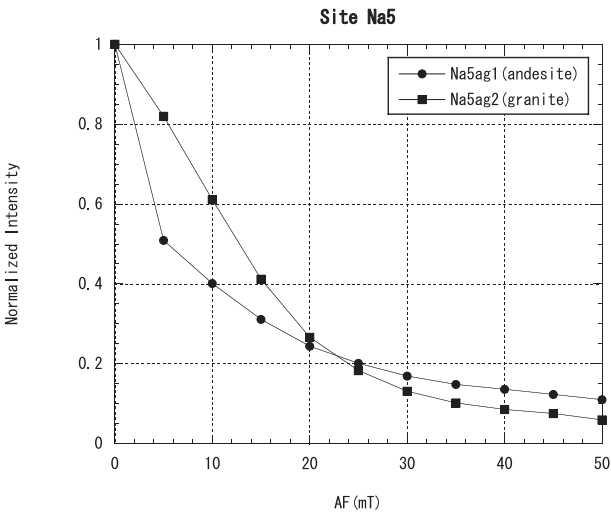
第 7 図 交流消磁結果, サイト Na2 (中島瀬の鼻) の花崗岩と接触している安山岩 (Na2a14). (a) 等積投影図 (●は伏角が正), (b) ザイダーベルド図. Ei: 水平面投影 (●), Zi: 鉛直面投影 (○), 北が下.

Fig. 7 Alternating field demagnetization data of an andesite (Na2a14) in contact with granites from Site Na2 (Senohana in Nakajima). The sample was not orientated. (a) Data are plotted on an equal area projection. Solid circles are projections onto the lower hemisphere. (b) An orthogonal projection of data plotted with North on the horizontal axis. Horizontal projection is plotted with solid circles and vertical (North down) projection is plotted with open circles.



第 8 図 交流消磁結果, サイト Na2 (中島瀬の鼻) の火山岩頸の中央部の安山岩 (Na2a52). サンプルは方位付けされていない.
(a) 等積投影図 (●は伏角が正), (b) ザイダーベルド図 .Ei: 水平面投影 (●), Zi: 鉛直面投影 (○), 北が下.

Fig. 8 Alternating field demagnetization data of an andesite from the central part of a conduit (Na2a52) on Site Na2 (Senohana in Nakajima). The sample was not orientated. (a) Data are plotted on an equal area projection. Solid circles are projections onto the lower hemisphere. (b) An orthogonal projection of data plotted with North on the horizontal axis. Horizontal projection is plotted with solid circles and vertical (North down) projection is plotted with open circles.



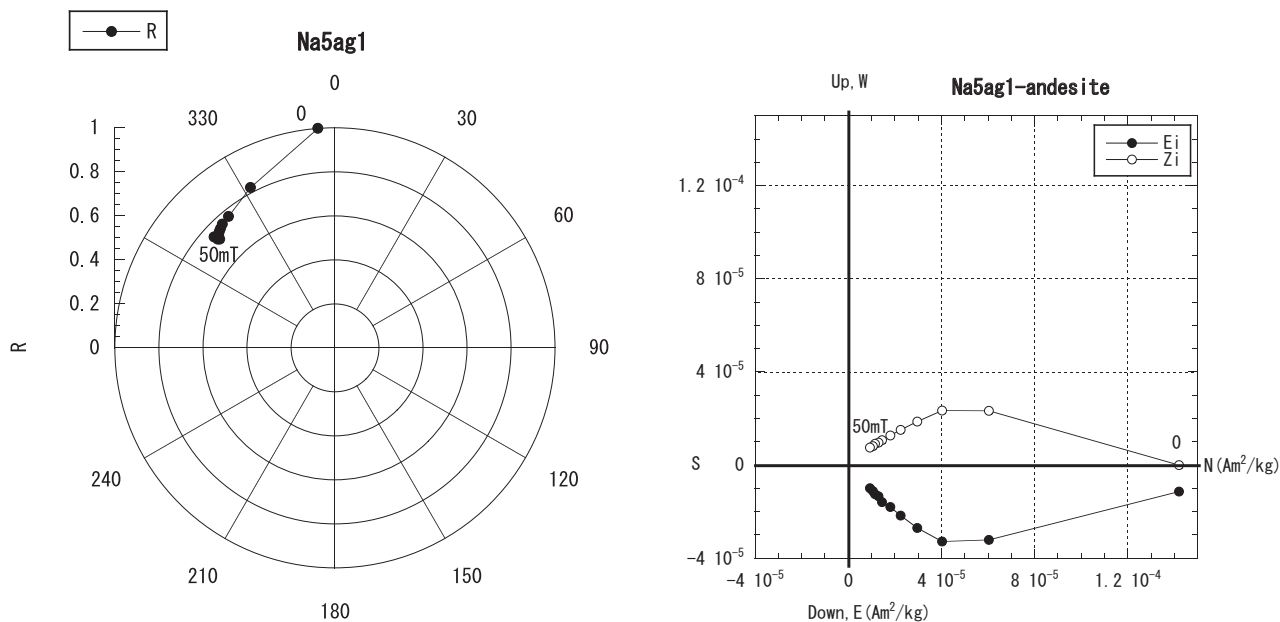
第 9 図 消磁磁場と残留磁化強度, サイト Na5 (中島桑名) の例. ●は花崗岩と接触している安山岩 (Na5ag1) の消磁磁場に対する残留磁化強度, ■は安山岩と接触している花崗岩 (Na5ag2) の消磁磁場に対する残留磁化強度.

Fig. 9 Decay curves of the normalized NRM intensity against the demagnetization field. Solid circles indicate data of an andesite in contact with granite (Na5ag1); solid squares indicate NRM intensity of granite in contact with an andesite (Na5ag2).

示す. ここは, 周囲の花崗岩が全て浸食されているため, 地形的特徴から, 急激に勾配が変わるところを縁辺部, 山頂付近を中心部と判断した火山岩頸である. 第 1 表に示されているように, NRM の平均値は縁辺部の安山岩 (Ea2) で $7.59 \times 10^{-3} \text{Am}^2/\text{kg}$, 中心部の安山岩 (Ea1) は $6.28 \times 10^{-3} \text{Am}^2/\text{kg}$ となり, あまり差はない. 帯磁率は縁辺部で $2.84 \times 10^{-2} \text{SI}$, 中心部は $5.67 \times 10^{-3} \text{SI}$ となり, 縁辺部の方が帯磁率は大きいのが特徴である. この 2 つの試料について, 交流消磁磁場による NRM の強度変化を第 12 図に, 等積投影図とザイダーベルド図を第 13 図—第 14 図にそれぞれ示した.

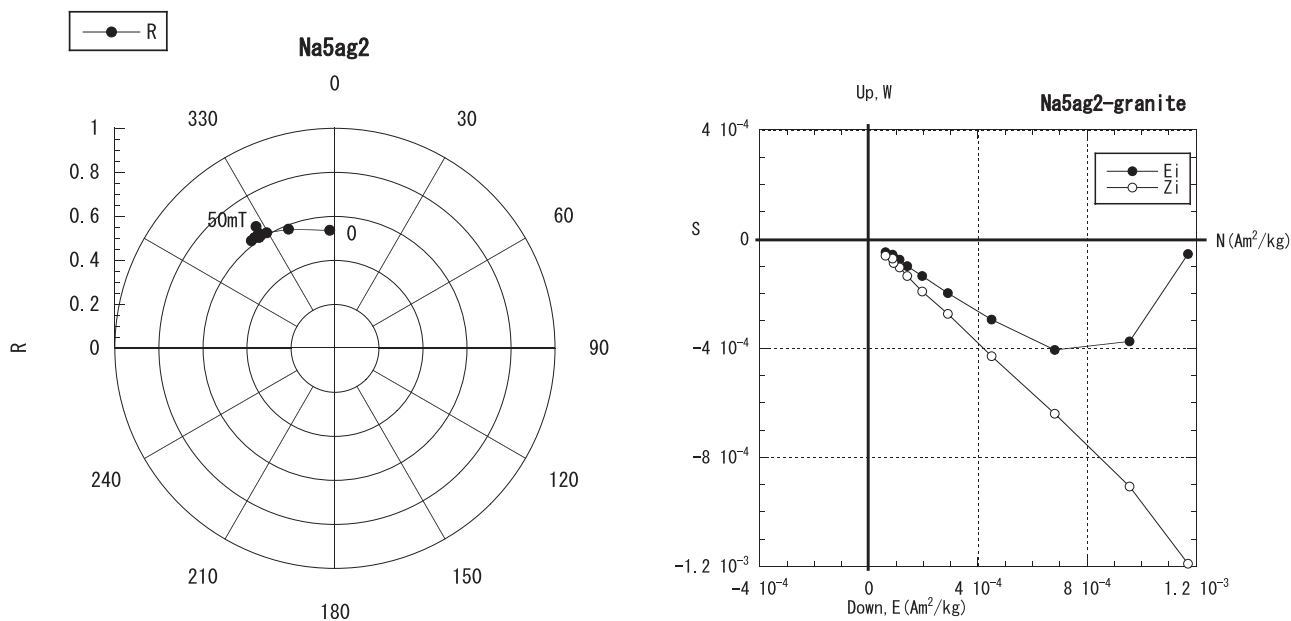
d) サイト Ks (松山市鹿島)

さらにサイト Ks (鹿島) の交流消磁結果を示す. 第 15 図は接触している花崗岩 (Kg01) と安山岩 (Ka01) の交流消磁磁場による NRM の強度変化, 第 16 図は Kg01 (花崗岩) の等積投影図とザイダーベルド図, 第 17 図に Ka01 (安山岩) のそれらを示す. サイト Ks (鹿島) では, 第 1 表に示されているように, NRM の平均値は花崗岩 (Kg01) で $2.20 \times 10^{-3} \text{Am}^2/\text{kg}$, 安山岩 (Ka01) は $2.12 \times 10^{-4} \text{Am}^2/\text{kg}$ となり, 花崗岩のほうが大きい. 帯磁率は花崗岩で $2.91 \times 10^{-2} \text{SI}$, 安山岩は $2.27 \times 10^{-3} \text{SI}$ となり, 帯磁率も花崗岩のほうが大きいのが特徴である.



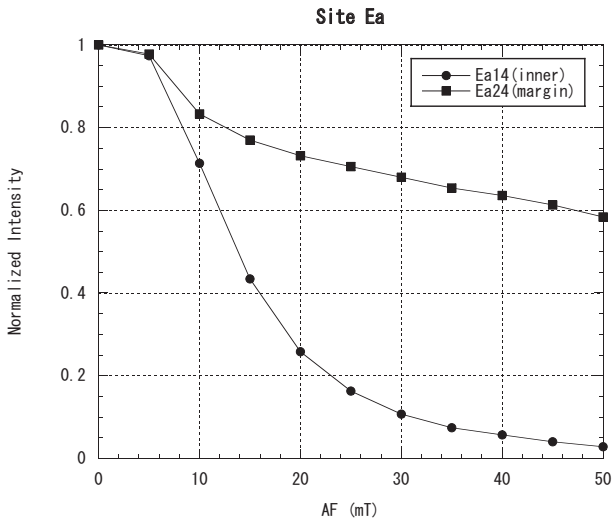
第10図 交流消磁結果, サイト Na5 (中島桑名) の安山岩と花崗岩が接触している試料の安山岩部分 (Na5ag1). (a) 等積投影図 (●は伏角が正), (b) ザイダーベルド図. Ei: 水平面投影 (●), Zi: 鉛直面投影 (○), 北が下.

Fig.10 Alternating field demagnetization data of a contacted andesite (Na5ag1) from Site Na5 (Kuwana in Nakajima). The sample was not orientated. (a) Data are plotted on an equal area projection. Solid circles are projections onto the lower hemisphere. (b) An orthogonal projection of data plotted with North on the horizontal axis. Horizontal projection is plotted with solid circles and vertical (North down) projection is plotted with open circles.



第11図 交流消磁結果, サイト Na5 (中島桑名) の安山岩と花崗岩が接触している試料の花崗岩部分 (Na5ag2). (a) 等積投影図 (●は伏角が正), (b) ザイダーベルド図. Ei: 水平面投影 (●), Zi: 鉛直面投影 (○), 北が下.

Fig. 11 Alternating field demagnetization data of contacted granite (Na5ag2) from Site Na5 (Kuwana in Nakajima). The sample was not orientated. (a) Data are plotted on an equal area projection. Solid circles are projections onto the lower hemisphere. (b) An orthogonal projection of data plotted with North on the horizontal axis. Horizontal projection is plotted with solid circles and vertical (North down) projection is plotted with open circles.



第12図 消磁磁場と残留磁化強度. サイト Ea (恵良山) の例. ●は火山岩頸中心部の安山岩 Ea14 (Ea1 の試料片 4) の基準化した残留磁化, ■は火山岩頸縁部の安山岩 Ea24 (Ea2 の試料片 4) の基準化した残留磁化.

Fig. 12 Decay curves of the normalized NRM intensity against the demagnetization field. Solid circles indicate normalized NRM intensity of an andesite obtained from a central part of a volcanic conduit (Ea14); open squares indicate normalized NRM intensity of an andesite obtained from a marginal part of a volcanic conduit (Ea24).

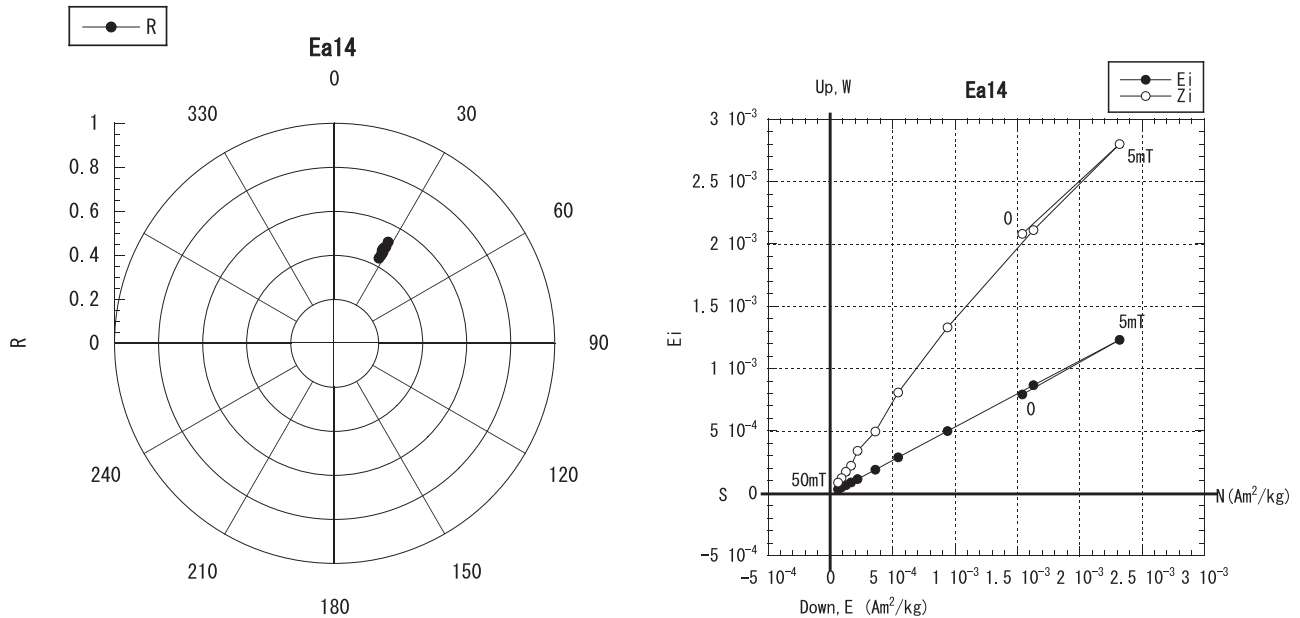
4.1.3 段階熱消磁

段階熱消磁は、今回得られたほとんどの試料で風化が激しく接着剤を用いて整形したため、実施できなかった。幸うじて、サイト Kn (松山市上難波) とサイト GK (御幸寺山) で得られた火山岩頸縁部の安山岩の 4 試料のみ行った。サイト GK のほうは、サイト Ea と同様に地形的な特徴から縁部であると判断されたもので、露頭で花崗岩と接触していたものではない。消磁前の NRM 強度は第 1 表に示すとおりである。

熱消磁は 50℃ ずつ 630℃ まで行われた。基本的に空気中で約 20 分加熱し、無磁場中で 20 分ほど冷却した後、スピナー磁力計で測定を行った。温度に対する NRM 強度変化は第 18 図に示す。サイト Kn で得られた試料 Kn11b と Kn12a は 500℃ 付近で、室温での NRM を 1 としたときの NRM 強度は 0.2-0.3 まで消磁されたが、サイト GK で得られた試料 GK11 と GK12 の方は 0.6-0.7 で、NRM 強度の比が 0.3 まで下がるのは 580℃ より高温時である。Kn11b について等積投影図とザイダーペルド図を第 19 図に、GK11 について第 20 図にそれぞれ示す。

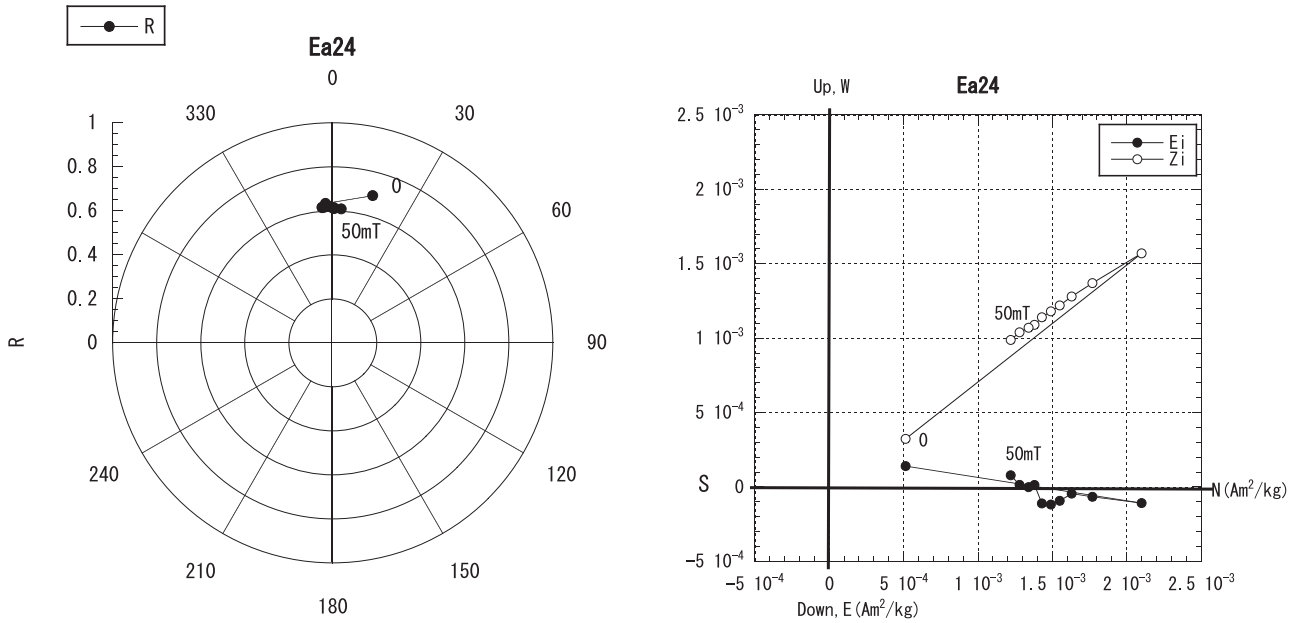
4.2 ヒステリシスと熱磁化曲線

さらに約 0.1g の小片試料を 15 個選び、ヒステリシスカーブと熱磁化曲線を、振動型磁力計 (理研電子製)



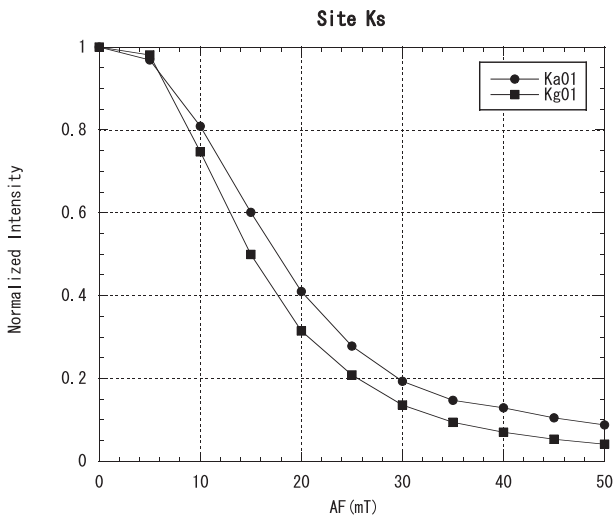
第13図 交流消磁結果, サイト Ea (恵良山) の火山岩頸中央部の安山岩 (Ea14). (a) 等積投影図 (●は伏角が正), (b) ザイダーペルド図. E_i : 水平面投影 (●), Z_i : 鉛直面投影 (○), 北が下.

Fig. 13 Alternating field demagnetization data of an andesite obtained from a central part of a volcanic conduit (Ea14) from Site Ea (Eryosan). The sample was not orientated. (a) Data are plotted on an equal area projection. Solid circles are projections onto the lower hemisphere. (b) An orthogonal projection of data plotted with North on the horizontal axis. Horizontal projection is plotted with solid circles and vertical (North down) projection is plotted with open circles.



第14図 交流消磁結果, サイト Ea (恵良山) の火山岩頸縁部の安山岩 (Ea24). (a) 等積投影図 (●は伏角が正), (b) ザイダーベルド図. E_i : 水平面投影 (●), Z_i : 鉛直面投影 (○), 北が下.

Fig. 14 Alternating field demagnetization data of an andesite obtained from a marginal part of a volcanic conduit (Ea24) from Site Ea (Eryo-san). The sample was not orientated. (a) Data are plotted on an equal area projection. Solid circles are projections onto the lower hemisphere. (b) An orthogonal projection of data plotted with North on the horizontal axis. Horizontal projection is plotted with solid circles and vertical (North down) projection is plotted with open circles.



第15図 消磁磁場と残留磁化強度. サイト Ks (鹿島) の例. ■は接触している花崗岩 (Kg01), ●は接触している安山岩 (Ka01)

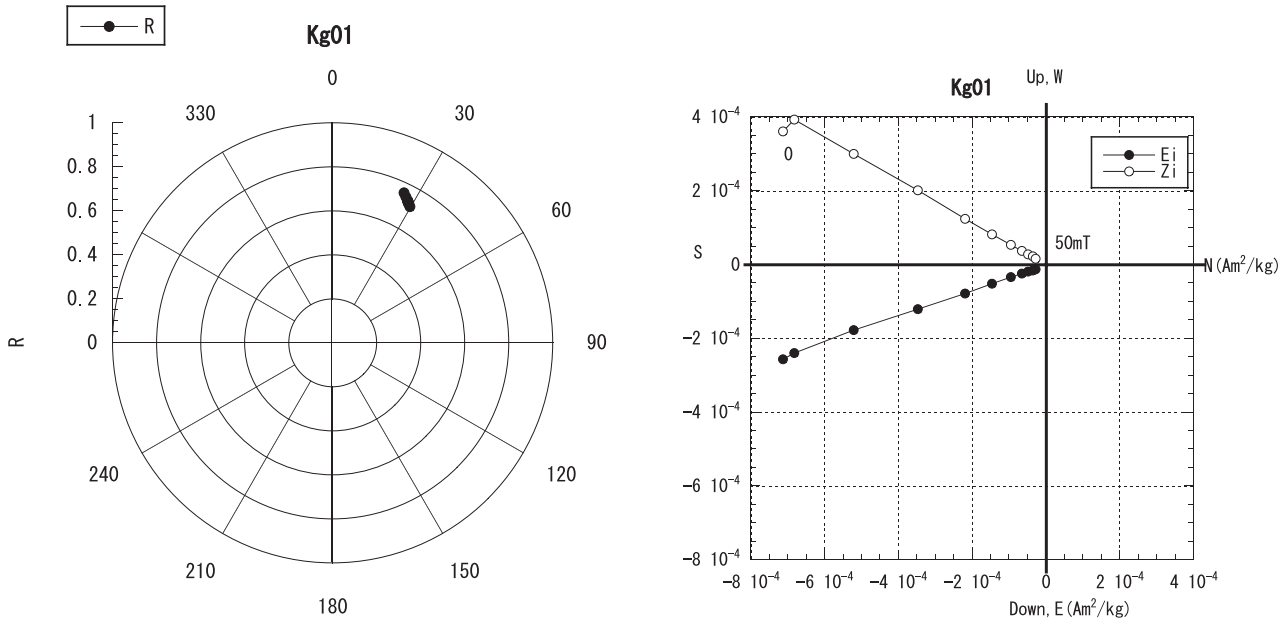
Fig. 15 Decay curves of the normalized NRM intensity against the demagnetization field. Solid circles indicate normalized NRM intensity of an andesite in contact with granite (Ka01); solid squares indicate normalized NRM intensity of granite in contact with andesite (Kg01).

を用いて測定した。ヒステリシスは室温中で測定され、熱磁化曲線はほぼ真空中で700℃まで加熱している。ヒステリシスパラメーターとキュリー点は第2表に示した。このうち2つは条件が悪くキュリー点を読み取れなかった。得られたヒステリシスパラメーターをDay-Plot (Day et al., 1976; 1977) で第21図に表現した。ただし、MDエリアの境界線はDunlop (2002) による。第21図には熱磁気曲線の条件の良かった13試料のみをプロットしてある。

第22図-第27図に、今回得られた代表的な試料である、a) 安山岩と接触部の強い磁化を持った花崗岩 (Na5g1 と Kg01), b) 花崗岩と接触している安山岩 (Na2a3 と Ka01), c) 花崗岩が浸食されたあとの火山岩頸の中心部 (Ea1) と縁部 (Ea2) に当たる安山岩について、ヒステリシスカーブとほぼ真空中での熱磁気曲線を示す。

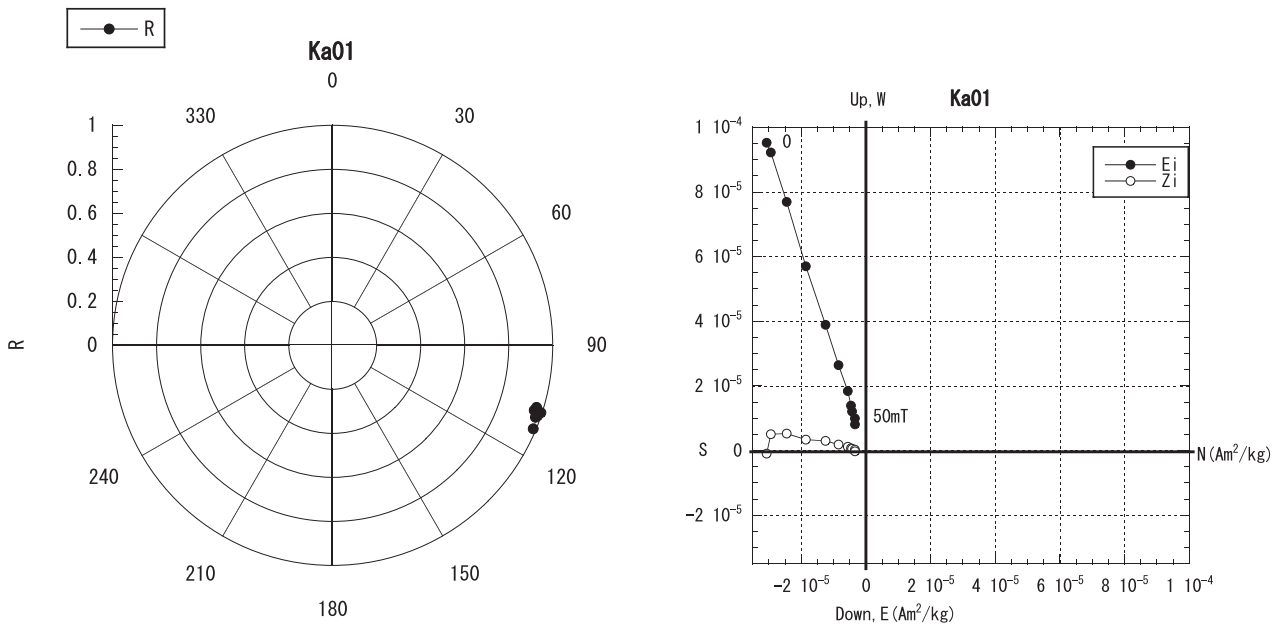
a) 安山岩に接触している花崗岩 (Na5g1 と Kg01)

第22図は、サイト Na5 (中島桑名) で採取された、安山岩に接触している花崗岩試料 (Na5g1) の結果を示す。aはヒステリシス、bは熱磁化曲線である。この試料は強いNRMを持つ。Day-Plot (第21図) に示すように、Na5g1は、PSD領域からはずれるが、ヒステリシスカーブの形状 (第22図a) は、PSDに近い例



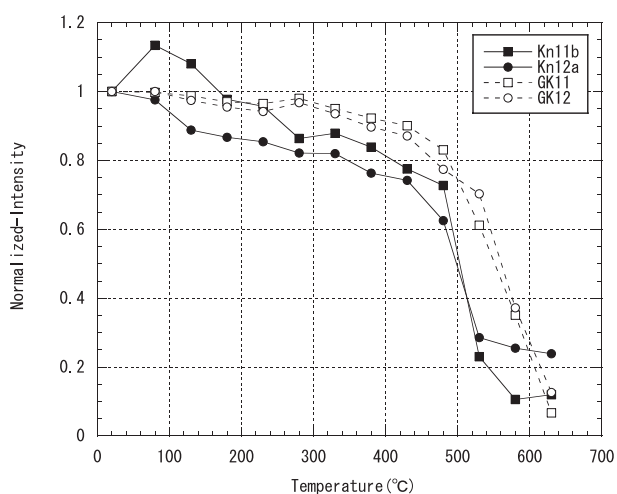
第16図 交流消磁結果, サイト Ks (鹿島) の安山岩と接触している花崗岩 (Kg01). (a) 等積投影図 (●は伏角が正), (b) ザイダーベルド図. Ei: 水平面投影 (●), Zi: 鉛直面投影 (○), 北が下.

Fig. 16 Alternating field demagnetization data of granite in contact with an andesite (Kg01) from Site Ks (Kashima). The sample was not orientated. (a) Data are plotted on an equal area projection. Solid circles are projections onto the lower hemisphere. (b) An orthogonal projection of data plotted with North on the horizontal axis. Horizontal projection is plotted with solid circles and vertical (North down) projection is plotted with open circles.



第17図 交流消磁結果, サイト Ks (鹿島) の花崗岩と接触している安山岩 (Ka01). (a) 等積投影図 (●は伏角が正), (b) ザイダーベルド図. Ei: 水平面投影 (●), Zi: 鉛直面投影 (○), 北が下.

Fig. 17 Alternating field demagnetization data of an andesite in contact with a granite (Ka01) from Site Ks (Kashima). The sample was not orientated. (a) Data are plotted on an equal area projection. Solid circles are projections onto the lower hemisphere. (b) An orthogonal projection of data plotted with North on the horizontal axis. Horizontal projection is plotted with solid circles and vertical (North down) projection is plotted with open circles.



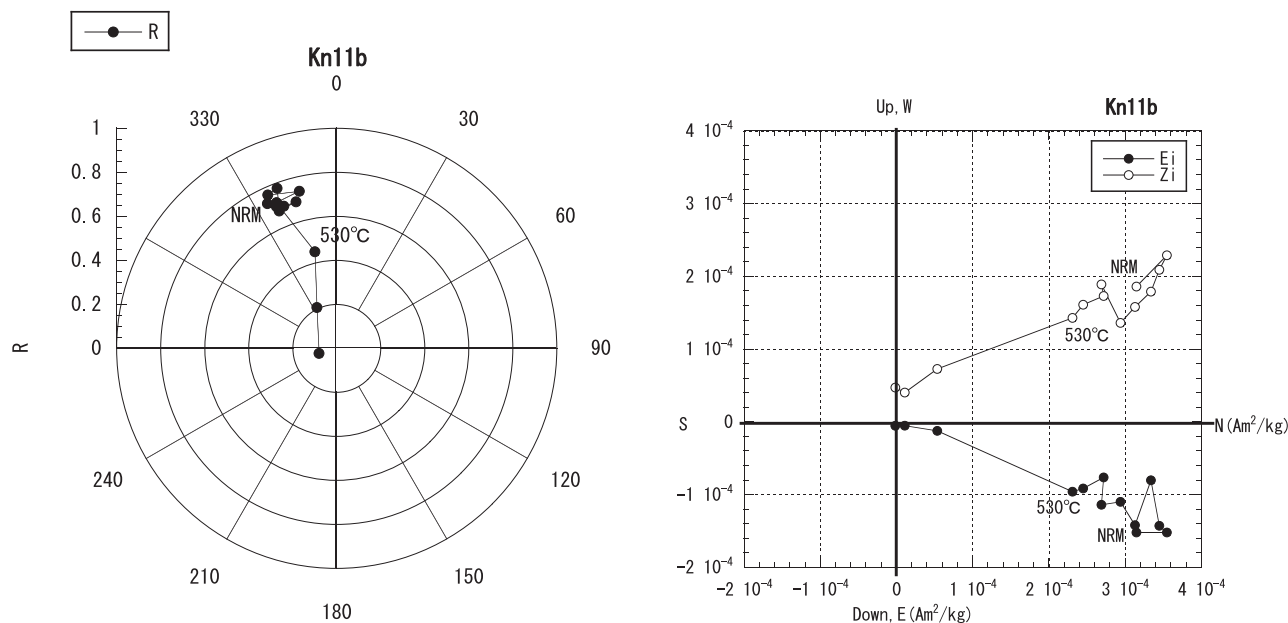
第18図 安山岩の温度と残留磁化強度。■と●はサイトKn(上難波), □と○はサイトGK(御幸寺山)の安山岩。いずれも火山岩頸の縁辺部と思われる。

Fig.18 Decay curves of the normalized NRM intensity against the temperature of andesites. Solid marks indicate data of andesites from Site Kn (Kaminanba); open marks indicate data of andesites from Site GK (Miyukiji-yama). Both sites locate on marginal parts of volcanic conduits.

えば Tauxe, 1998) ように見える。熱磁化曲線の形状を見るとほぼ可逆であり、キュリー点が 443°C と低いため、磁化を担う鉱物はβ相のチタノマグネタイトであると考えられる(第22図b)。

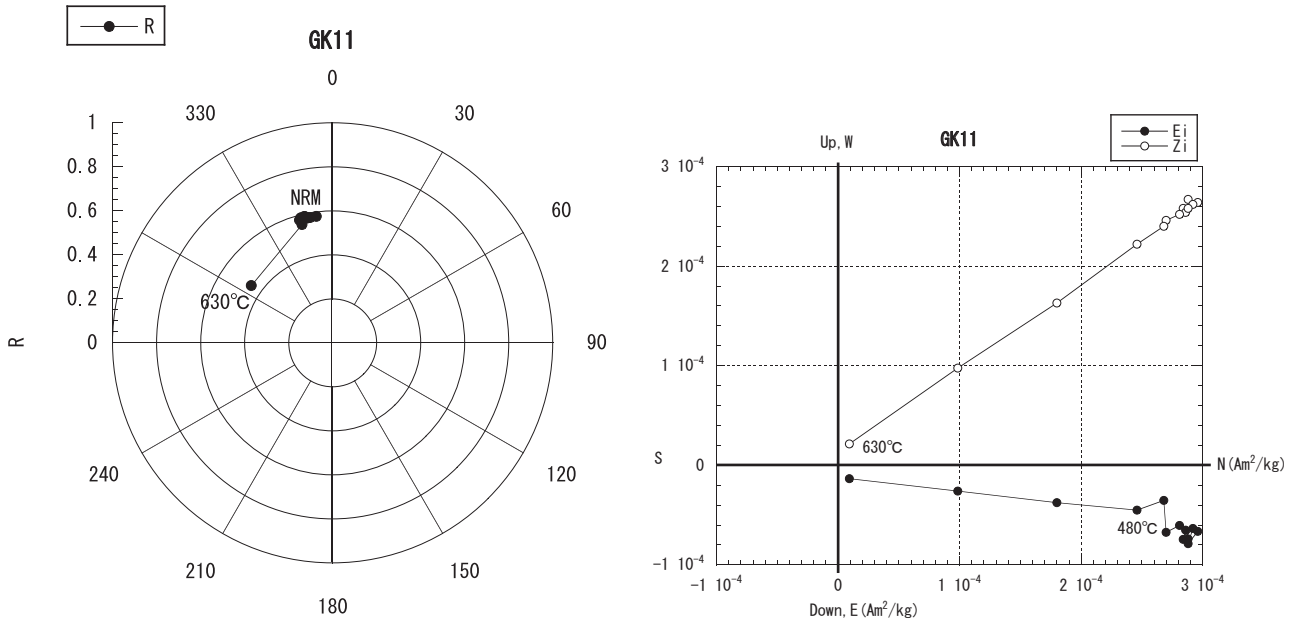
第23図は、サイトKs(鹿島)で採取された花崗岩試料(Kg01)のヒステリシスカーブと熱磁化曲線である。これも試料Na5g1と同様に、安山岩と接触していて、強いNRMを持つ。試料Kg01はDay-Plot(第21図)に示すように、PSD領域に含まれ、ヒステリシスカーブの形状(第23図a)も、PSDであると言える。熱磁化曲線(第23図b)から読み取れる磁性鉱物のキュリー点は525°Cであり、マグネタイトより低い。したがってチタノマグネタイトである可能性がある。さらに、磁化曲線の形状は、冷却時のキュリー点が加熱時のキュリー点よりも低く、かつ、常温に戻ったときの飽和残留磁化が当初よりも小さい。キュリー点の低下はβ相(チタノマグネタイト)と低温酸化を受けてできたγ相(チタノマグヘマイト)の混合体に見られる特徴を示す。

真空中で加熱することにより、γ相は還元または分解されβ相になる。この反応はキュリー点より低温で起こる。γ相はβ相よりも飽和磁化が小さい。β相は変化しないので、最終的に常温における飽和残留磁化強度の値は、少し大きくなるはずである。ただし、岩石中に含まれているγ相の量が少なければ、常温にお



第19図 熱消磁結果, サイトKn(上難波)から得られた安山岩(Kn11b). (a)等積投影図(●は伏角が正), (b)サイダーベルド図. Ei: 水平面投影(●), Zi: 鉛直面投影(○), 北が下.

Fig. 19 Thermal demagnetization data of an andesite (Kn11b) from Site Kn (Kaminanba). The sample was not orientated. (a) Data are plotted on an equal area projection. Solid circles are projections onto the lower hemisphere. (b) An orthogonal projection of data plotted with North on the horizontal axis. Horizontal projection is plotted with solid circles and vertical (North down) projection is plotted with open circles.



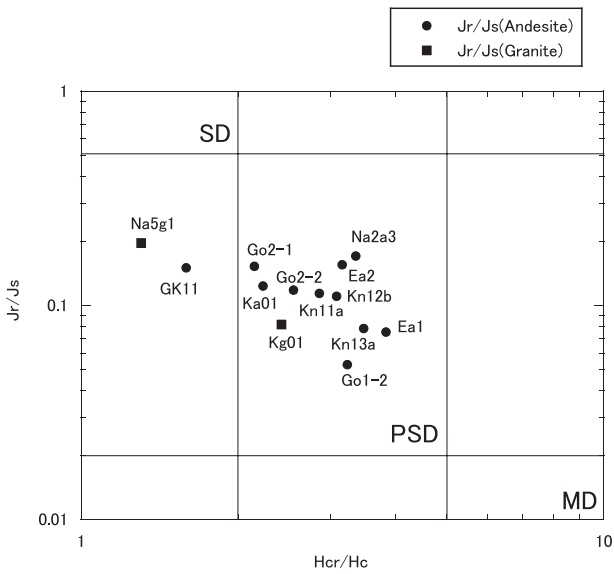
第20図 熱消磁結果, サイト GK (御幸寺山) から得られた安山岩 (GK11). (a) 等積投影図 (●は伏角が正), (b) ザイダーベルド図. Ei : 水平面投影 (●), Zi : 鉛直面投影 (○), 北が下.

Fig. 20 Thermal demagnetization data of an andesite (GK11) from Site GK (Miyukiji-yama). The sample was not orientated. (a) Data are plotted on an equal area projection. Solid circles are projections onto the lower hemisphere. (b) An orthogonal projection of data plotted with North on the horizontal axis. Horizontal projection is plotted with solid circles and vertical (North down) projection is plotted with open circles.

第2表 15 サンプルのヒステリシスパラメーター (Js,Jr,Jr/Js,Hc,Hcr,Hcr/Hc) とキュリー温度 (Tc). (A,in): 花崗岩と接触していない安山岩, (A,c): 花崗岩と接触している安山岩, (G,c): 安山岩と接触している花崗岩, (A,m): 火山岩頸の縁辺部から得られた安山岩.

Table 2 Magnetic hysteresis parameters (Js,Jr,Jr/Js,Hc,Hcr,Hcr/Hc) and Curie temperature(Tc) of 15 samples are shown. (A,in): andesite from inner part of a conduit, (A,c): andesite in contact with granite, (G,c): granite in contact with andesite, (A,m):andesite from marginal part of a volcanic conduit.

sample	Js (Am ² /kg)	Jr(Am ² /kg)	Jr/Js	Hc (mT)	Hcr (mT)	Hcr/Hc	Tc (°C)
Na2a2(A,in)	0.1207	0.0148	0.1229	2.7729	11.1383	4.0168	×
Na2a3(A,c)	0.5114	0.0793	0.1550	9.3904	29.6602	3.1586	543
Na5g1(G,c)	0.7605	0.1491	0.1960	10.0324	13.0734	1.3031	443
Go1-2(A,m)	0.0559	0.0030	0.0529	5.7846	18.6960	3.2320	530
Go2-1(A,m)	0.1535	0.0234	0.1523	11.0860	23.7930	2.1462	487
Go2-2(A,m)	0.3618	0.0427	0.1180	11.1340	28.3900	2.5498	522
Kn11a(A,m)	1.3040	0.1486	0.1140	9.1130	26.0400	2.8575	485
Kn12b(A,m)	1.2400	0.1370	0.1105	8.6640	26.7100	3.0829	410
Kn13a(A,m)	1.1180	0.0087	0.0078	7.5360	26.1800	3.4740	520
GK11(A,m)	0.1882	0.0282	0.1500	11.6900	18.5800	1.5894	470
GK12(A,m)	0.0016	0.0002	0.1060	11.6400	31.5200	2.7079	×
Kg01(G,c)	1.9051	0.1552	0.0815	4.9417	11.9520	2.4186	525
Ka01(A,c)	0.0648	0.0080	0.1234	9.0689	20.2180	2.2294	540
Ea1(A,in)	0.2156	0.0162	0.0752	5.6893	21.8004	3.8318	550
Ea2(A,m)	0.6158	0.1049	0.1703	11.0266	36.9995	3.3555	460



第21図 ヒステリシスパラメーターの Hcr (残留保磁力) と Hc (保磁力) に対して Jr (飽和残留磁化) と Js (飽和磁化) の Day-Plot (Day, 1976; 1977). ●は安山岩, ■は花崗岩. ただし, MD エリアの境界線は Dunlop(2002) による.

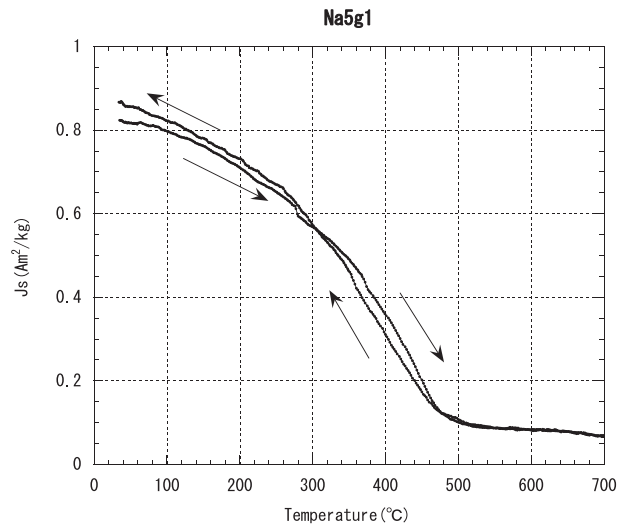
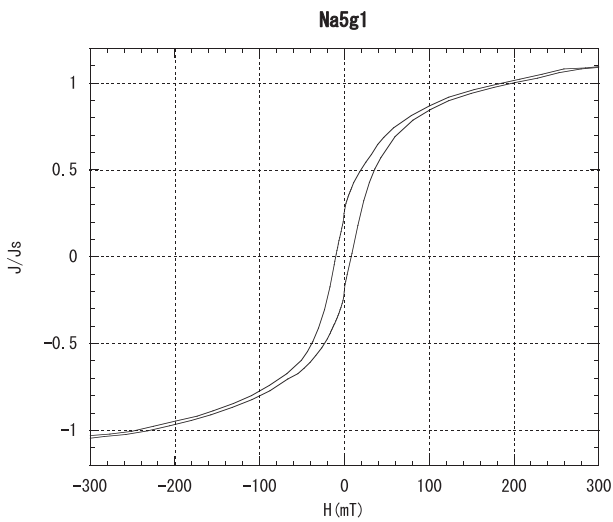
Fig. 21 Hysteresis parameters Jr (saturation remanent magnetization) and Js (saturation magnetization) as a function of Hcr (remanent coercivity) and Hc (coercivity) in andesites(●) and granites(■). MD area boundary was referred to Dunlop(2002).

ける飽和残留磁化強度の値に変化が少なく, キュリー点の低下のみ目立つことになる. また, 空気中であれば γ 相が分解されてできた β 相が酸化され, ほとんど磁化を持たない α 相になる (小嶋・小嶋, 1972). ここでは, 加熱前よりも冷却後に飽和残留磁化が小さくなっているため, $10^{-5} \sim 10^{-6}$ Torr の真空度でも, ごく一部では酸化作用が起きたのかもしれない.

b) 花崗岩に接触している安山岩 (Na2a3 と Ka01)

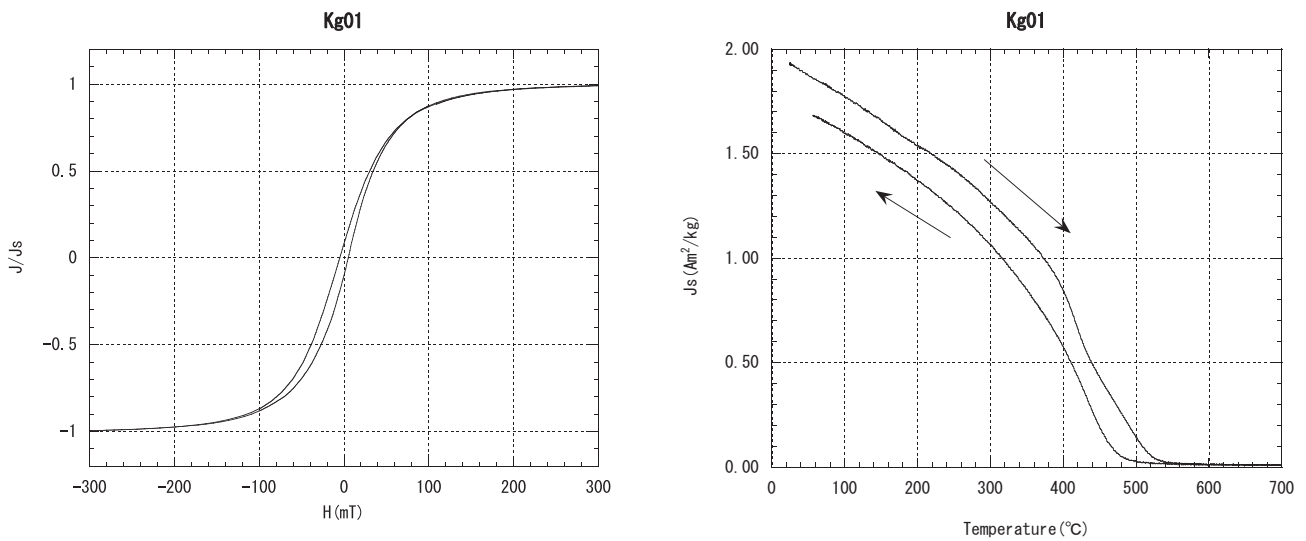
第24図は, サイト Na2 (中島瀬の鼻) で採取された安山岩試料 (Na2a3) のヒステリシスカーブ (第24図a) と熱磁化曲線 (第24図b) である. 花崗岩に接触している安山岩試料で, やや強い NRM を持つ. Day-Plot (第21図) に示すように, PSD 領域に含まれ, ヒステリシスカーブの形状 (第24図a) も, PSD であると言える. この試料のキュリー点は 543°C で, マグネタイトよりも低いのでチタノマグネタイトと考えられる. また, 冷却時のキュリー点が加熱時のキュリー点よりも低下していることから, β 相 (チタノマグネタイト) と低温酸化を受けてできた γ 相 (チタノマグヘマイト) の混合体であったと考えられる.

第25図は, サイト Ks (鹿島) で取得された, 花崗岩試料 Kg01 に接触している安山岩試料 (Ka01) である. NRM は, 接触している花崗岩 (Kg01) に比べて弱い. ヒステリシスパラメーターは, ほぼ PSD 領域に収まるが, ヒステリシスカーブの形状は高い磁場をかけても



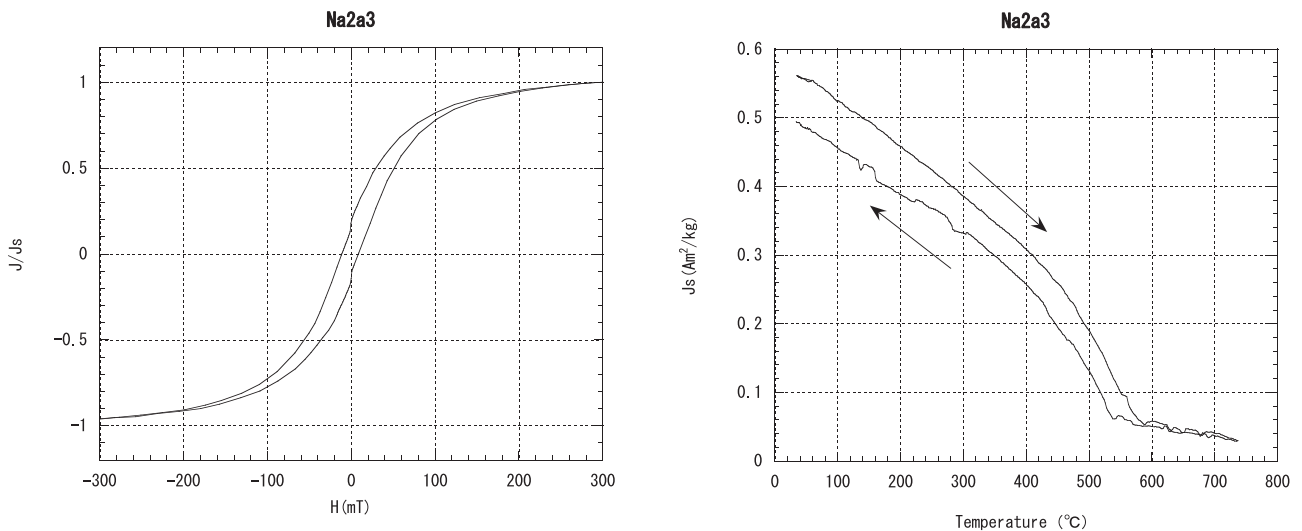
第22図 サイト Na5 (中島桑名) サイトで得られた安山岩と接触部の磁化の強い花崗岩 (Na5g1) のヒステリシスカーブと熱磁気曲線. (a) 室温でのヒステリシスカーブ. (b) 真空中での熱磁化曲線

Fig. 22 Examples of the hysteresis loop at room temperature (a) and the thermomagnetic (Js-T) curves (b) using a granite(Na5g1) in contact with andesite from Site Na5 (Kuwana).



第23図 サイト Ks (鹿島) で安山岩に接触している花崗岩試料 (Kg01) のヒステリシスカーブと熱磁気曲線. (a) 室温でのヒステリシスカーブ. (b) 真空中での熱磁化曲線

Fig. 23 Examples of the hysteresis loop at room temperature (a) and the thermomagnetic (Js-T) curves (b) using granite(Kg01) in contact with andesite from Site Ks (Kashima).



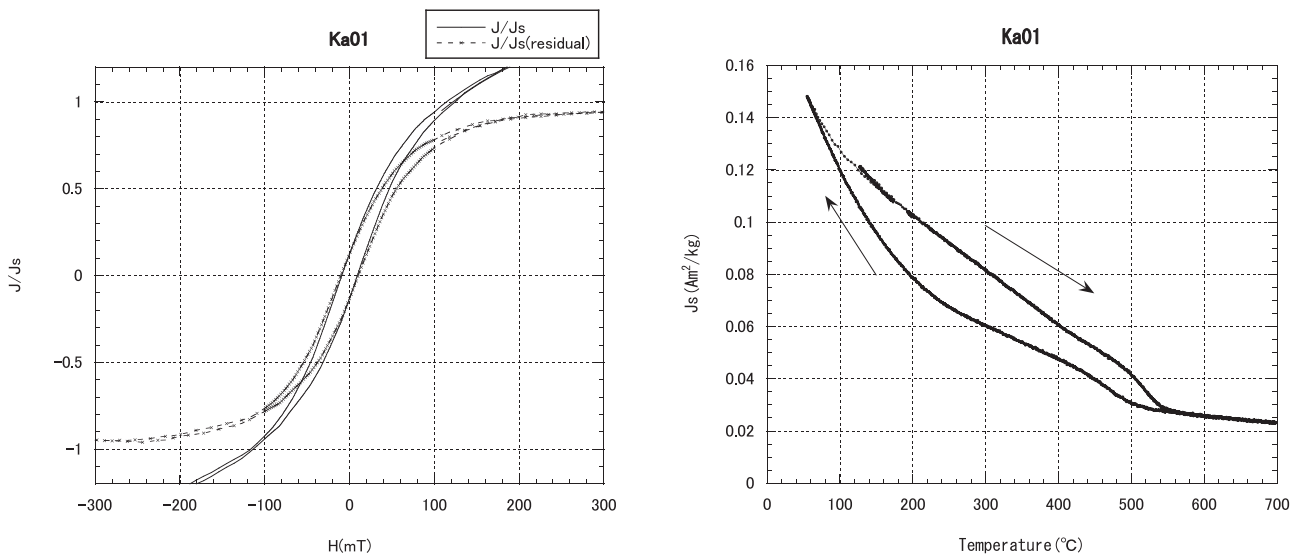
第24図 サイト Na2 (中島瀬の鼻) で花崗岩に接触している安山岩試料 (Na2a3) のヒステリシスカーブと熱磁気曲線. (a) 室温でのヒステリシスカーブ. (b) 真空中での熱磁化曲線

Fig. 24 Examples of the hysteresis loop at room temperature (a) and the thermomagnetic (Js-T) curves (b) using an andesite(Na2a3) in contact with granite from Site Na2 (Senohana).

残留磁化が飽和しない傾向が見られた (第 25 図 a の実線). これは, 常磁性鉱物と強磁性鉱物の混合体を示すと考えられるので, 高磁場でのリニアトレンド (常磁性体の影響) を除いたもの (第 25 図 a の破線) と並べて示した. 熱磁化曲線 (第 25 図 b) から読み取れる強磁性鉱物のキュリー点は 540°C である. さらに, 熱磁化曲線の形状は, 冷却時のキュリー点が加熱時のキュ

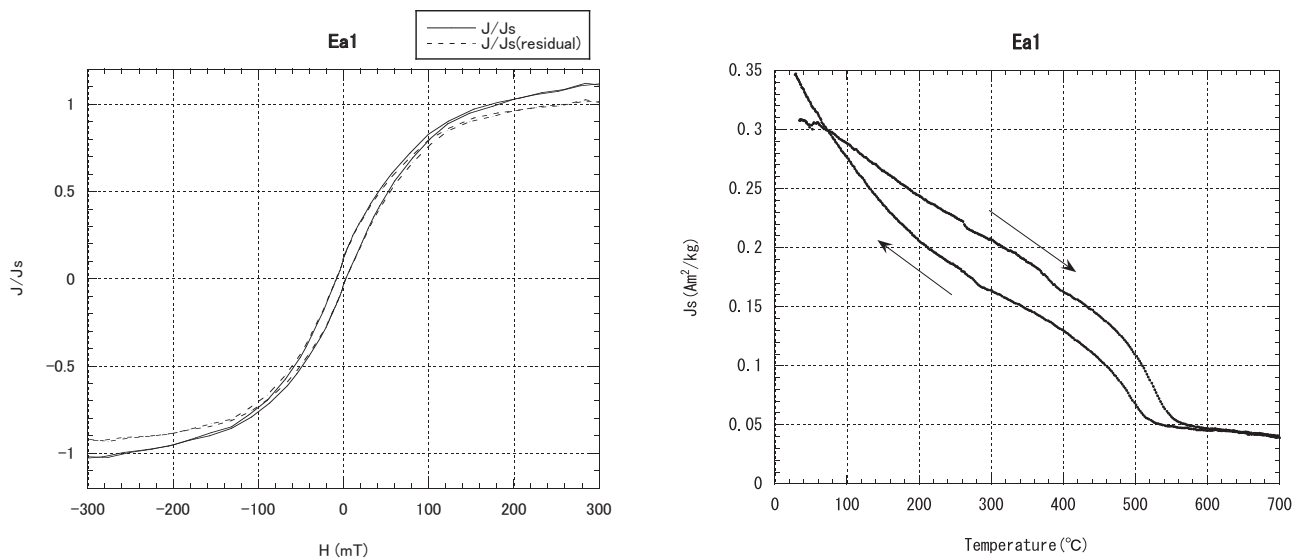
リー点よりも低く, かつ, 磁化強度が当初よりも大きい. これは今まで見てきたものと同様に β 相 (チタノマグネタイト) と低温酸化を受けてできた γ 相 (チタノマグヘマイト) の混合体が, 真空中で加熱され, γ 相が還元された結果 β 相が増加し, 飽和磁化強度が大きくなったものと考えられる.

c) 安山岩の火山岩類 (Ea1 と Ea2)



第25図 サイト Ks (鹿島) で花崗岩に接触している安山岩試料 (Ka01) のヒステリシスカーブと熱磁気曲線. (a) 室温でのヒステリシスカーブ. 実線はヒステリシスカーブの測定値, 破線はリニアトレンドを除いたもの. (b) 真空中での熱磁化曲線.

Fig. 25 Examples of the hysteresis loop at room temperature (a) and the thermomagnetic (J_s-T) curves (b) using an andesite (Ka01) from Site Ks (Kashima).



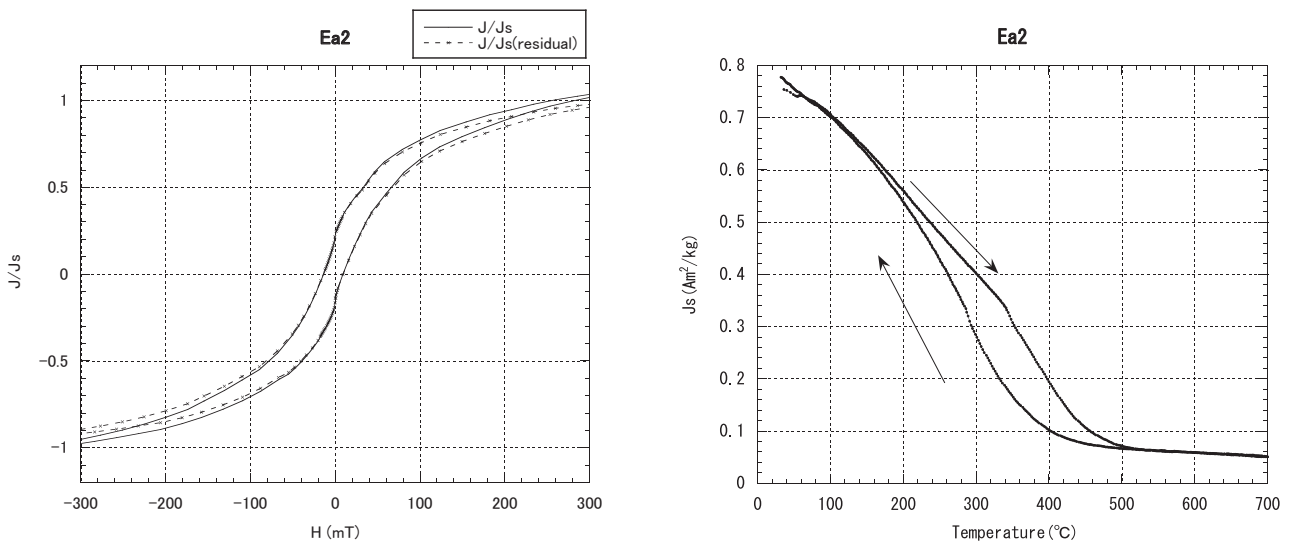
第26図 花崗岩が浸食されたあとの火山岩頸であるサイト Ea (恵良山) の火山岩頸の中央部の安山岩試料 (Ea1) のヒステリシスカーブと熱磁気曲線. (a) 室温でのヒステリシスカーブ. 実線はヒステリシスカーブの測定値, 破線はリニアトレンドを除いたもの. (b) 真空中での熱磁化曲線.

Fig. 26 Examples of the hysteresis loop at room temperature (a) and the thermomagnetic (J_s-T) curves (b) using a andesite sample Ea1 from central part of a volcanic conduit, Site Ea (Eryo-yama).

サイト Ea (恵良山) から採取された安山岩試料のうち、地形的特徴から、火山岩頸の内部の安山岩と推定される試料 Ea1 のヒステリシスカーブと熱磁化曲線を第 26 図に、縁辺部の安山岩と推定される試料 Ea2 の結果は第 27 図に示した。

試料 Ea1 のヒステリシスパラメーターは、ほぼ PSD

領域に収まる (第 21 図)。ヒステリシスカーブの形状は高い磁場をかけても残留磁化が飽和しない傾向が見られ、常磁性鉱物と強磁性鉱物の混合物を示すと考えられる (第 26 図 a の実線) ので、同様に高磁場でのリニアトレンドを除いたもの (第 26 図 a の破線) と並べて示した。熱磁化曲線 (第 26 図 b) から読み取れる強



第27図 花崗岩が浸食されたあとの火山岩類であるサイト Ea (恵良山) の火山岩類の縁辺部の安山岩試料 (Ea2) のヒステリシスカーブと熱磁気曲線. (a) 室温でのヒステリシスカーブ. 実線はヒステリシスカーブの測定値、破線はリニアトレンドを除いたもの. (b) 真空中での熱磁化曲線.

Fig. 27 Examples of the hysteresis loop at room temperature (a) and the thermomagnetic (J_s -T) curves (b) using an andesite sample Ea2 from marginal part of a volcanic conduit, Site Ea (Eryo-yama).

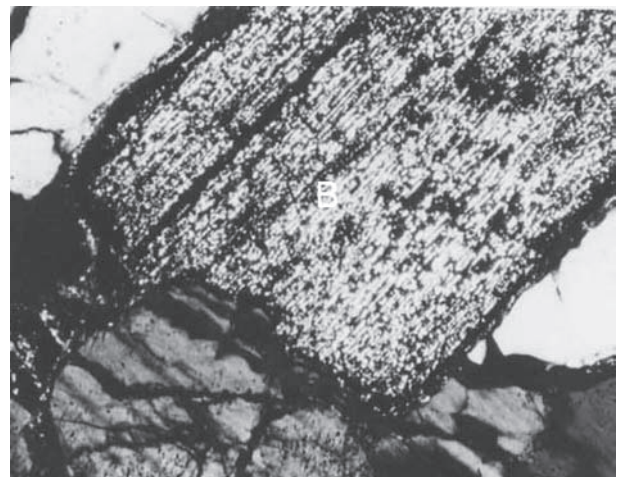
磁性鉱物のキュリー点は 550°C である. さらに, 熱磁化曲線の形状は, 今まで見てきたものと同様に β 相 (チタノマグネタイト) と低温酸化を受けてできた γ 相 (チタノマグヘマイト) の混合体であると考えられる. さらに, 冷却後の飽和残留磁化が大きくなることから, γ 相が多く含まれていたと考えられる.

試料 Ea2 のヒステリシスパラメーターは, PSD 領域に収まり, Ea1 よりも細粒である (第 21 図). ヒステリシスカーブの形状は常磁性鉱物と強磁性鉱物の混合体を示すと考えられる (第 27 図 a の実線) ので, 同様に常磁性体の影響を除いたもの (第 27 図 a の破線) と並べて示した. 保磁力は第 2 表に具体的な数値を示したが, Ea2 は Ea1 の約 2 倍である. また, ヒステリシスカーブの形状は Wasp-Waisted (Tauxe et al., 1996) に近く, 保磁力の大きな鉱物を含む試料であることを示唆する. 熱磁化曲線 (第 27 図 b) から読み取れる強磁性鉱物のキュリー点は 460°C である. さらに, 熱磁化曲線の形状は, 今まで見てきたものと同様に β 相 (チタノマグネタイト) と低温酸化を受けてできた γ 相 (チタノマグヘマイト) の混合体であると考えられる.

5. 顕微鏡観察結果

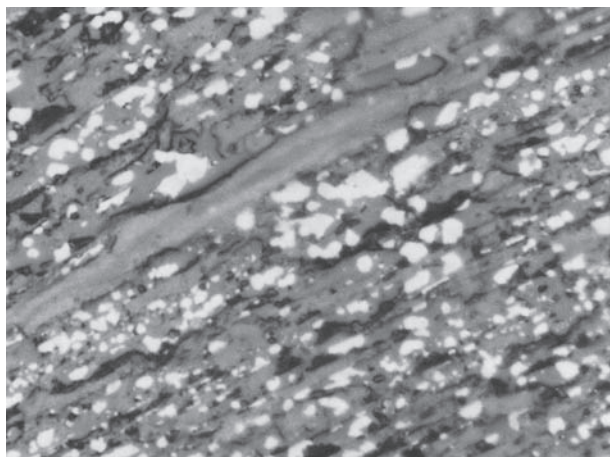
火山岩類と接している花崗岩は, 接触している数 m の狭い範囲のみでかなり強い NRM を持つことが認められた. そこで, これらの因果関係を探るために強磁性鉱物の顕微鏡観察を行った.

サイト Ks (鹿島) で得られた NRM の強い花崗岩 (Kg01) の顕微鏡観察によれば, 初生的に含まれる黒雲母がへき開に沿って細粒のマグネタイトと混合層粘土鉱物に置換されていることが観察された (第 28 図, 第 29 図). 同様に, サイト Na5 (中島桑名) で採取された安山岩と接しており, NRM の強い花崗岩試料である Na5g1 の黒雲母も SEM 観察により, 極めて細粒の



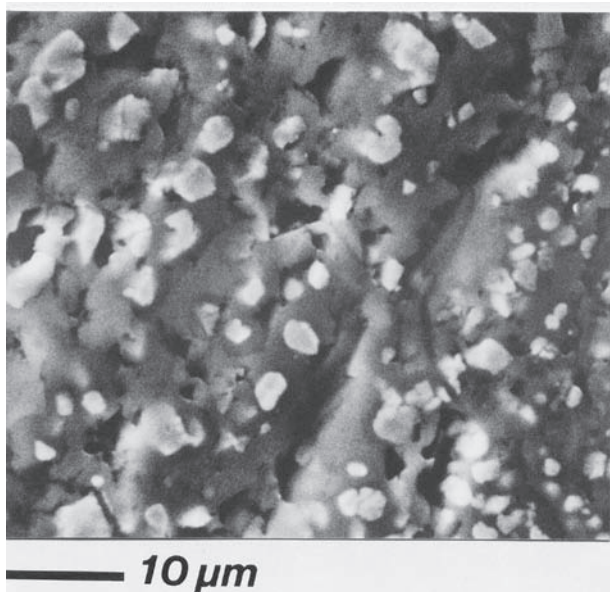
第28図 サイト Ks (鹿島) の花崗岩 (Kg01) の偏光顕微鏡写真. 長辺が 0.6mm. クロスニコル. B が仮像となった黒雲母の結晶で周囲は石英.

Fig. 28 Photomicrograph of granite (Kg01) from Site Ks (Kashima). Crossed nicols. Long side: 0.6 mm. White abbreviation B shows pseudomorphs of biotite surrounded by quartz.



第29図 サイト Ks (鹿島) の花崗岩 (Kg01) の反射顕微鏡写真. 長辺が1.0mm. 反射率の高い粒状結晶がマグネタイト.

Fig. 29 Photomicrograph of granite (Kg01) from Site Ks (Kashima). Reflected light. Long side: 1.0 mm. White small grains: magnetite.



第30図 サイト Na5 (中島桑名) から採取された花崗岩 (Na5g1) の黒雲母仮像のSEM画像. 淡灰色の粒状結晶がマグネタイトで, 暗灰色の板状結晶 (粘土鉱物) 上に散在する.

Fig. 30 SEM image of the biotite pseudomorphs of granite (Na5g1) from Site Na5 (Kuwana). Light gray grains of magnetite scattered on the sheeted clay minerals.

マグネタイトと混合層粘土鉱物に置換されていることが確認された (第30図). 接触部以外の花崗岩に含まれる黒雲母にはこうした変質作用が認められなかった.

初生的な黒雲母が接触変成による変質で緑泥石やマグネタイトが形成されるのは珍しいことではない (例えば橋本, 1987; 小林・吉川, 2005). ここでも, 安

山岩が貫入した際の熱的影響によって, 花崗岩に含まれる黒雲母のみが変質したと考えられる. しかも, 含水鉱物のみが粘土鉱物化していること, 変質で生じたマグネタイトが細粒であることから, このような反応は比較的短時間における局所的な活動であったと予測される. また, これらの他に強磁性鉱物が認められないため, 黒雲母の分解に伴って生じたマグネタイトが冷却する際に安定したNRMを獲得したことが明らかになった.

6. 考察

愛媛県北部に産する領家花崗岩類は, マグネタイトのような有色鉱物が少なく, ほとんどNRMを持たない (Ishihara, 1977). この花崗岩体に, 安山岩マグマが貫入した露頭において, 火山岩頸と接している数mの範囲で帯磁率が高くなる事実が認められた. サイトNa2 (中島瀬の鼻) で得られた表層の帯磁率プロファイルは, その特徴を表している. 岩石磁気的な裏付けを得るために, 花崗岩と安山岩の境界に着目して複数のサイトでNRMと帯磁率の測定を行った. サイトNa2では, プロファイル通りに, 花崗岩も安山岩も接触している試料のほうが接触していない試料よりもNRMと帯磁率が強いことを示した.

今回特に注目したサイトは, Na5 (中島桑名) とKs (鹿島) で, 安山岩と接触している花崗岩にきわめて強いNRMが見られたことである. サイトNa5 (中島桑名) に産出するのは広島型の黒雲母花崗岩 (石橋, 1960) であり, 元々は極めてNRMが弱い. サイトKs (鹿島) でも, 同じ領家花崗岩類に属す松山型の粗粒花崗閃緑岩で, 安山岩に接触していない部分ではNRMが極めて弱いことを確認した. しかし, この2サイトでは, 安山岩に接触している花崗岩は数mの狭い範囲でかなり強いNRMを持つ. これらは花崗岩に含まれる黒雲母が安山岩の貫入による熱的影響により局所的に分解し, NRMを担うマグネタイトと粘土鉱物が二次的に形成されたことによる.

一方, サイトEa (恵良山) で見られるような, 安山岩の火山岩頸の縁辺部 (Ea2) と中心部 (Ea1) でのNRMの違いは, マグマが花崗岩と接触して急冷された縁部では粒子サイズが小さい磁性鉱物が生成され, 強いNRMを獲得したことによる. それに対して, 中心部は磁性鉱物の粒子サイズが大きく獲得したNRMが不安定であったと考えられる上に, 低温酸化が縁辺部に比べて進んでいる. 以上のような理由で, 縁辺部のNRMが中心部に比べて強いと推察される. さらにサイトEaの場合, 火山岩頸を取り囲んでいた花崗岩が浸食されて残存していない. そのため火山岩頸の縁辺部で風化が一層進み保磁力の大きなヘマタイトのような鉱

物が生成されても矛盾はしない。

火山岩頸の磁氣的構造は、縁辺部の NRM が強く、中心部は相対的に弱い。現在のところ、その理由として、A) 火山岩頸を構成する安山岩の縁部は急冷により晶出した磁性鉱物の粒子サイズが小さく、結果として磁化が強い。B) 火山岩頸に接触している花崗岩が接触変成によって初生の黒雲母を置換してマグネタイトを得たために磁化が強い、の 2 通りがあることが分かった。ここでは A はサイト Ea (恵良山) が相当するが、このサイトには接触変成を受けた花崗岩が残っていない。また、B はここでは、サイト Ks (鹿島)、サイト Na5 (中島桑名) が相当する。これらは接触している安山岩の NRM は花崗岩よりも弱いのが特徴である。サイト Na2 は、花崗岩と安山岩の接触部で安山岩のほうが NRM は強い。しかし熱変成を受けた花崗岩は、周囲の花崗岩に比べて強い NRM を獲得していた。そこで両者の中間的な構造であると考えられる。

謝辞：本研究の前半は、旧・工業技術院地質調査所地殻物理部の経常研究として行われ、大熊茂雄博士、中塚正博士にご協力いただいた。本研究で行った岩石磁気測定のは多くは国立極地研究所で実施され船木實准教授にご指導いただいた。さらに東洋大学の土野直子教授にもお世話になった。また、密度の測定には、地質情報研究部門の池原研博士にお世話になった。また、同じく地質情報研究部門の小田啓邦博士、山口和雄博士には原稿を読んでいただき不備を指摘していただいた。謝意を表します。

一部の作図にはフリーソフトウェアの GMT (Wessel and Smith, 1991) を用いた。

文 献

Day, R., Fuller, M., Schmidt, V.A. (1976) Magnetic hysteresis properties of synthetic titanomagnetites. *Journal of Geophysical Research*, **81**, 873-880

Day, R., Fuller, M., Schmidt, V.A. (1977) Hysteresis properties of titanomagnetites: Grain-size and compositional dependence. *Physics of the Earth and*

Planetary Interiors, **13**, 260-267

Dunlop, D. J. (2002) Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Hcr/Hc) 1. Theoretical curves and tests using titanomagnetite data. *Journal of Geophysical Research*, **107**, B3, 2056, 10.1029/2001JB000486

藤田和夫・笠間太郎 (1982) 大阪西北部の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 112p.

橋本光男 (1987) 日本の変成岩。岩波書店, 東京, pp. 159.

石橋 澄 (1960) 愛媛県中島の地質。愛媛大学紀要第 II 部 D シリーズ, 4, 1, 15-27

Ishihara, S. (1977) The Magnetite-series and Ilmenite-series granite Rocks, *Mining Geology*, **27**, 293-305

小林まさ代・吉川和男 (2005) 群馬県川場村, 蛇紋岩メランジ露頭の岩石と鉱物。群馬大学教育学部紀要自然科学編, **53**, 29-49

牧野雅彦・大熊茂雄・森尻理恵・中塚 正 (1997) 西宮市甲山の磁気構造。火山, **42**, 213-222.

小嶋 稔・小嶋美都子 (1972) 岩石磁気学。共立出版, 東京, 226p.

Tauxe, L., Mullender, T.A.T. and Pick, T. (1996) Potbellies, wasp-waists, and superparamagnetism in magnetic hysteresis. *J.G.R.*, **101**, B1, 571-583

Tauxe, L. (1998) Paleomagnetic principles and practice. Kluwer academic publishers, Dordrecht/Boston/London, 299p.

Wessel, P. and Smith, W. H. F. (1991) Free software helps map and display data, *EOS Trans. AGU*, **72**, 441

八島隆一・浜口浩一 (1986) 古火山の復元—松山市北西部の第三紀火山岩頸—。福島大学理科報告, **37**, 29-43

Zijderveld, J.D.A. (1967) AC Demagnetization of rocks: Analysis of results. In Collinson, D.W., Creer, K.M., Runcorn, S.K., ed., *Methods in Paleomagnetism*, Elsevier, Amsterdam, 254-286.

(受付：2007 年 9 月 13 日；受理：2008 年 2 月 7 日)