

# 桜島の溶岩の岩石磁気学的性質

京都大学防災研究所 味喜大介

## 1. はじめに

磁場観測などの電磁気学的観測結果を解析、また解釈する際、火山体を構成する岩石の自然残留磁化強度やその熱消磁特性、また初帯磁率などの岩石磁気学的性質は有用な情報である。桜島においてもこれまでにいくつかの岩石磁気・古地磁気学的研究が行われている<sup>1)-3)</sup>などが、これらは古地磁気方位・強度測定が主眼で、上に挙げたような試料の岩石磁気学的性質がすべて示されているわけではない。そこで本稿では、筆者がこれまで古地磁気測定を行った地表溶岩や観測井ボーリングコア中の溶岩の岩石磁気学的性質を報告する。

## 2. 試料

図1に本報告の対象となる地表溶岩の分布と採取位置、および観測井の位置を示す。地表溶岩の分布と地層名は福山・小野(1981)<sup>4)</sup>に従った。これらの溶岩はいずれも安山岩質-デイサイト質である。昭和、大正、安永、および文明の各溶岩は、文書記録から歴史時代に噴出したことが明らかであり、また、長崎鼻溶岩は8世紀後半に噴出したと考えられる<sup>2), 5)</sup>。M4, M3, 観音崎、および宮元溶岩は南岳成層火山の山体を構成する溶岩である。また、桜島北部に露出する割石崎溶岩は北岳の活動期に噴出した溶岩で、安永溶岩に覆われる。

桜島では火山観測のために複数の観測井が掘削され、ボーリングコアが得られている。本報告では桜島北部の白浜観測井、桜島北東の新島観測井、桜島東部の黒神観測井、桜島南部の古里観測井、および桜島北西部のハルタ山観測井について述べる。白浜観測井では、深度約102-109mのコア未回収部分を挟んで上下が溶岩であり、上部が安永溶岩、下部が割石崎溶岩に対応すると考えられる<sup>6)</sup>。新島観測井では深度約332mまで火砕物層で、それ以深が溶岩である。この溶岩は安永噴火時に地中に貫入したものと考えられる<sup>3)</sup>。黒神観測井では深度約105mまでが溶岩で、地表の長崎鼻溶岩に対比することができる<sup>7)</sup>。古里観測井では深度約54-61mの堆積物層を挟んでその上下が溶岩で、上部の溶岩はM3溶岩に対応し、下部の溶岩は桜島の活動開始直後に噴出した溶岩である可能性がある<sup>7)</sup>。ハルタ山観測井では300m以上におよぶコアの全長が化学組成の様な4枚の溶岩流からなり、これらは北岳の活動期の噴出物であると考えられる<sup>3), 8)</sup>。

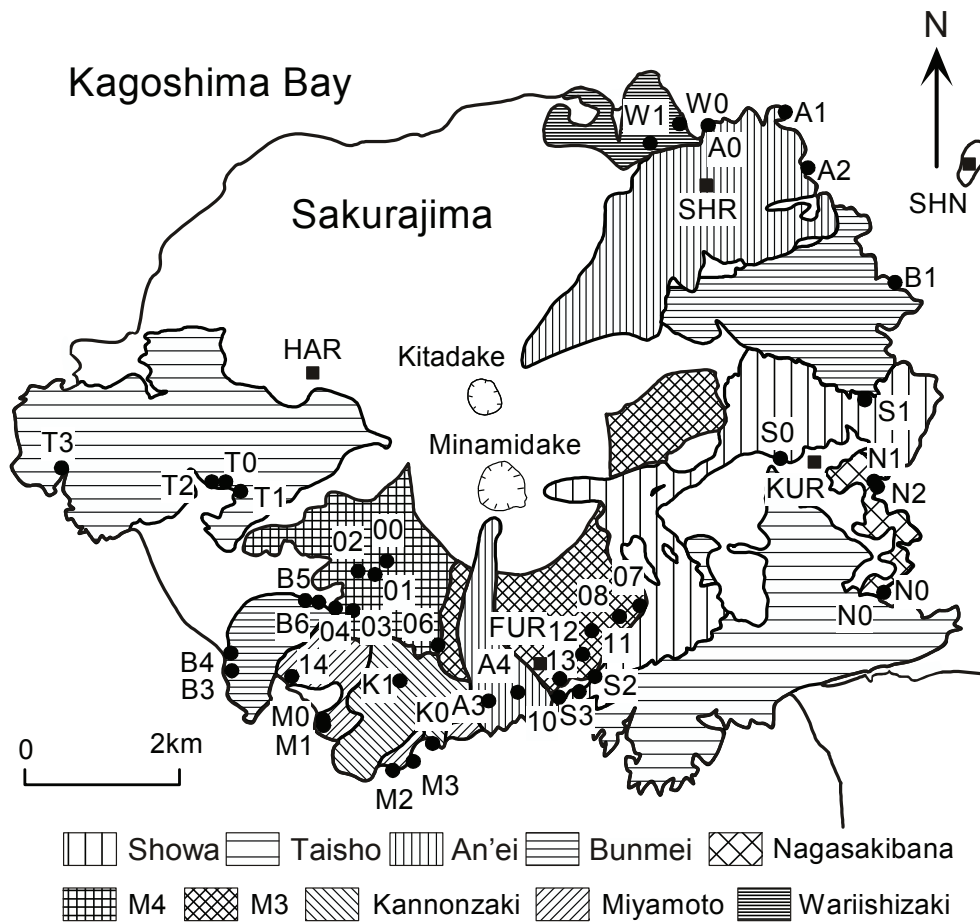


図1. 地表溶岩の分布(福山・小野, 1981<sup>4)</sup>を簡略化)と試料採取位置(●), および観測井の位置(■)  
 S0-3: 昭和溶岩, T0-3: 大正溶岩, A0-4: 安永溶岩, B1-6: 文明溶岩, N0-2: 長崎鼻溶岩, 00-06:  
 M4 溶岩, 07-08・11-13: M3 溶岩, K0-1: 観音崎溶岩, M0-3・14: 宮元溶岩, W0-1: 割石崎溶岩  
 SHR: 白浜観測井, SHN: 新島観測井, KUR: 黒神観測井, FUR: 古里観測井, HAR: ハルタ山観測  
 井

### 3. 桜島の溶岩の岩石磁気学的性質

以下では上述の溶岩の自然残留磁化強度, 初帯磁率, および自然残留磁化の熱消磁特性(自然残留磁化強度の温度に対する減衰特性)を報告する。測定・実験方法や古地磁気方位・強度などの測定結果については文献<sup>2-3), 6)-8)</sup>を参照されたい。また, 本報告にあたり, 雷や磁化獲得後の転動などの局所的要因によって自然残留磁化が溶岩冷却時の地磁気を正しく反映していないと考えられるものや, 熱消磁によって磁化方向が大きく変化するものは除いた。

#### 3. 1. 自然残留磁化強度

桜島の溶岩の自然残留磁化強度を表1に示す。表からわかるように, 桜島の溶岩の自然残留磁化強度は概ね1A/mのオーダーの前半である。全体として化学組成が塩基性のものほど自然

表 1. 桜島の溶岩の自然残留磁化強度

試料採取位置		磁化強度(A/m)			標準偏差 (%)	標本数
		平均	最大	最小		
昭和溶岩	S0	3.8	4.7	3.1	14	8
	S1	3.2	3.7	2.7	11	10
	S2	4.4	6.1	2.2	32	9
	S3	5.0	6.9	3.4	25	10
大正溶岩	T0	6.0	8.0	3.9	48	2
	T2	8.5	11	4.7	22	8
	T3	2.9	3.6	2.0	18	13
安永溶岩	A0	1.7	1.9	1.4	12	9
	A1	1.3	2.1	1.1	23	8
	A2	2.9	4.0	2.5	18	10
	A3	3.3	7.9	2.0	62	11
文明溶岩	A4	3.2	4.9	1.7	31	11
	B1	2.8	3.5	2.2	16	8
	B3	1.8	2.2	1.5	14	8
	B4	2.0	2.0	2.0	3	2
長崎鼻溶岩	B5	1.7	1.8	1.6	6	5
	B6	1.7	2.0	1.6	9	8
	N0	1.8	2.4	1.3	17	9
	N1	1.7	2.7	1.3	26	9
M4 溶岩	N2	6.3	9.3	4.2	25	12
	00	7.2	19	2.8	76	12
	01	4.6	9.0	3.3	44	7
M3 溶岩	02	3.7	5.0	1.9	29	11
	03	3.8	11	2.4	79	7
	04	3.9	7.3	1.8	48	10
	06	5.8	11	3.2	62	7
	07	5.0	6.5	3.0	22	10
	08	7.2	9.0	3.0	27	10
	10	9.3	16	5.4	31	11
	11	1.6	1.7	1.4	7	10
観音崎溶岩	12	7.0	9.7	4.0	27	10
	13	3.6	8.8	1.7	68	10
宮元溶岩	K0	6.2	6.6	5.8	9	2
	K1	5.2	6.7	3.5	24	10
割石崎溶岩	M0	2.1	2.3	1.9	13	2
	M1	2.2	5.8	1.4	62	9
	M2	2.5	3.2	2.0	21	6
	M3	4.7	12	2.4	66	8
	14	5.8	8.2	4.1	24	6
白浜観測井	W0	2.0	2.3	1.6	9	10
	W1	3.9	5.0	2.4	24	8
新島観測井	<102m	2.3	5.0	1.2	52	13
	>109m	1.8	2.8	1.2	48	3
黒神観測井	>332m	1.3	4.6	0.41	109	8
古里観測井	<105m	4.9	10	1.6	66	7
ハルタ山観測井	<54m	3.5	7.0	1.7	51	7
	>61m	1.6	3.2	0.71	69	6
		1.7	6.3	0.91	83	32

残留磁化強度が大きい傾向が認められるが、地点ごとあるいは試料毎のばらつきが大きい。

### 3. 2. 初帯磁率

表 2 に桜島の溶岩の初帯磁率を示す。初帯磁率の値は概ね 0.01-0.03 程度であり、自然残

表 2. 桜島の溶岩の初帯磁率

試料採取位置		体積あたり初帯磁率( $10^{-2}$ SI)			標準偏差 (%)	標本数
		平均	最大	最小		
昭和溶岩	S0	2.3	2.9	1.8	23	4
	S1	2.5	2.8	2.2	17	2
	S2	2.7	2.9	2.2	13	4
	S3	2.5	2.7	2.4	6	4
大正溶岩	T0	2.4	2.4	2.3	4	2
	T2	2.7	2.9	2.5	11	2
	T3	2.2	2.4	2.1	8	2
安永溶岩	A0	2.5	2.6	2.4	4	2
	A1	2.5	2.6	2.5	4	2
	A2	1.9	1.9	1.9	1	2
	A3	1.8	1.9	1.7	9	2
	A4	2.2	2.3	2.1	9	2
文明溶岩	B1	2.0	2.1	2.0	2	2
	B3	1.5	1.6	1.4	10	2
	B4	1.4	1.4	1.4		1
	B5	1.5	1.5	1.5		1
	B6	1.5	1.5	1.5		1
	長崎鼻溶岩	N0	2.0	2.2	1.8	13
N1		2.8	3.2	2.5	19	2
N2		2.7	2.7	2.7		1
M4 溶岩	00	2.1	2.3	1.7	15	3
	01	1.2	1.3	1.2	4	3
	02	1.9	2.9	1.3	22	11
	03	2.1	2.1	2.1		1
	04	1.8	1.9	1.6	7	3
	06	2.9	3.0	2.7	7	2
M3 溶岩	07	2.6	3.4	2.3	13	10
	08	1.6	2.4	0.93	33	10
	10	2.4	2.7	2.3	8	3
	11	3.0	3.3	2.8	5	10
	12	2.4	2.5	2.2	11	2
	13	1.9	2.6	1.2	25	10
観音崎溶岩	K0	1.8	2.0	1.7	11	2
	K1	2.9	2.9	2.9		1
宮元溶岩	M0	2.9	2.9	2.9		1
	M1	2.8	2.8	2.8		1
	M2	3.4	3.7	3.2	10	2
	M3	2.4	2.5	2.4	4	2
	14	2.8	3.1	2.3	13	5
割石崎溶岩	W0	1.0	1.3	0.75	32	3
	W1	1.7	1.7	1.6	2	2
白浜観測井	<102m	2.4	2.4	2.4	1	2
	>109m	2.7	3.0	2.3	14	3
新島観測井	>332m	3.8	4.1	3.1	9	7
黒神観測井	<105m	3.1	4.2	2.1	24	7
古里観測井	<54m	2.8	4.0	2.0	25	7
	>61m	1.5	1.9	0.79	28	6
ハルタ山観測井		1.1	2.2	0.30	49	21

留磁化強度と同様に化学組成が塩基性のものほど値が大きい傾向が認められるが、個々の値のばらつきは自然残留磁化強度ほど大きくない。これは、自然残留磁化強度が磁性鉱物粒子の粒子サイズや磁区構造の違いにより強く影響されるためであると考えられる。

なお、ここで示した初帯磁率は SI 単位系によるので、SI 慣用系表記によって誘導磁化を求める場合などにはその点留意されたい。例えば、初帯磁率を 0.02、地磁気強度を  $50 \mu\text{T}$  としたときの誘導磁化は約  $0.8\text{A/m}$  で、自然残留磁化の数%から同程度の値になる。

表 3. 桜島の溶岩の自然残留磁化の熱消磁特性

試料採取位置		熱消磁によって消磁される磁化(消磁前の値に対する百分率)						
		消磁温度(°C)						
		<100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	>600
昭和溶岩	S0	6	21	27	19	20	8	
	S1	6	29	27	17	14	7	
	S2	3	13	22	17	34	11	
	S3	8	46	19	11	11	5	
大正溶岩	T0	9	63	20	3	3	2	
	T2	5	60	25	4	4	2	
	T3	7	37	22	14	17	3	
安永溶岩	A0	5	8	45	14	23	5	
	A1	8	55	26	5	3	3	
	A2	8	44	26	6	10	5	
	A3	14	24	27	8	12	14	
	A4	5	11	21	23	27	14	
文明溶岩	B1	8	14	22	15	19	20	2
	B3	3	25	28	7	26	10	
	B4	5	27	51	5	8	4	
	B5	4	14	61	11	6	4	
	B6	7	23	66	-2	3	2	
長崎鼻溶岩	N0	11	19	26	18	14	11	1
	N1	6	11	20	23	24	15	1
	N2	10	36	19	21	9	5	
M4 溶岩	00	8	30	18	10	15	17	2
	01	5	18	19	11	15	30	2
	02	4	12	16	11	21	31	3
	03	3	10	22	16	26	23	0
	04	12	35	25	12	11	4	0
	06	1	4	6	7	21	58	4
M3 溶岩	07	3	8	11	17	32	29	1
	08	1	3	5	8	31	49	2
	10	1	3	3	4	20	63	6
	11	8	17	17	17	23	15	2
	12	0	2	2	4	27	61	4
	13	1	3	4	4	20	63	6
観音崎溶岩	K0	2	4	6	4	16	62	5
	K1	7	18	19	16	27	12	1
宮元溶岩	M0	3	11	29	12	27	16	2
	M1	7	21	28	11	17	15	2
	M2	7	17	30	14	17	16	
	M3	5	14	23	17	24	16	2
	14	3	6	8	5	22	54	2
割石崎溶岩	W0	2	4	7	11	16	54	6
	W1	5	7	12	17	22	35	3

表 3(続き)

試料採取位置		熱消磁によって消磁される磁化(消磁前の値に対する百分率)						
		消磁温度(°C)						
		<100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	>600
白浜観測井	<102m	1	6	7	13	19	51	4
		5	18	16	37	21	2	
	>109m	1	4	3	6	16	57	13
		3	11	16	22	26	22	1
新島観測井	>332m	-2	0	3	17	26	42	15
		-6	5	-27	18	78	30	1
黒神観測井	<105m	15	44	20	15	3	3	0
		9	16	18	17	19	20	1
古里観測井	<54m	0	4	11	12	18	52	4
		8	38	25	7	10	11	1
	>61m	-1	12	16	15	21	31	5
		12	25	22	17	11	12	1
ハルタ山観測井		12	15	24	18	11	16	2
		5	8	11	19	36	20	1
		1	4	6	8	12	33	36

### 3. 3. 自然残留磁化の熱消磁特性

自然残留磁化の熱消磁特性を示すにあたっては、段階熱消磁実験の結果から 100°Cごとの温度範囲で消磁される磁化の、消磁前の値に対する比を求めた。この際、熱消磁による磁化方向の変化が少ないことから、各消磁温度における磁化強度をスカラー量として扱った。また消磁温度のとり方が温度範囲の境界をまたぐ場合は前後の消磁温度によって比例配分した。表 3 にこのようにして求めた自然残留磁化の熱消磁特性を示す。地表溶岩についてはそれぞれの試料採取場所の露頭レベルで消磁特性に顕著な違いは認められなかったが、観測井コアでは深度によって異なるパターンの熱消磁特性が認められた。このため、表 3 には、地表溶岩について各 1 試料、観測井コアについて 2-3 試料の消磁特性を示した。

Tanaka(1980)<sup>1)</sup>は、桜島の歴史溶岩の熱磁気分析の結果から、自然残留磁化を担う主要な磁性鉱物はキュリー点が 300-400°C のチタン磁鉄鉱と、キュリー点が 400-600°C の磁鉄鉱であると示した。表 3 に示した熱消磁特性は 500-600°C で磁化の大部分が消去されるもの、および 500-600°C と 400°C 以下の 2 つの消磁のピークをもつものが大半で、Tanaka の分析結果と調和的である。個々の試料の消磁特性の違いは、磁性鉱物の量比や酸化の程度の違いに起因するものであろう。

また、一部の試料で 300°C 程度以下の狭い温度範囲で磁化強度が増加する現象がみられた。これは自己反転磁化の一種と考えられる。新島観測井コアの試料でこの現象が顕著であることは、この溶岩が地中において冷却速度が遅かったため、冷却過程で岩体の周縁部と中心部に大きな温度差を生じたことによるのかもしれない。

#### 4. まとめ

ここまで述べてきたことをまとめると以下ようになる。

- 1) 桜島の溶岩の自然残留磁化強度は概して 1A/m のオーダーの前半であるが、同じ溶岩であっても場所ごとのばらつきが大きい。
- 2) 桜島の溶岩の初帯磁率は 0.01-0.03 程度である。
- 3) 桜島の溶岩の自然残留磁化は、熱消磁に対して 500-600°C と 400°C 以下の 2 つの消磁のピークをもつがそれぞれのピークの大きさは場所ごとに異なる。

本稿で示した溶岩の岩石磁気学的性質が、電磁気学的観測結果の解析・解釈に参考になれば幸いである。

#### 謝 辞

本研究を進めるにあたり、京都大学防災研究所附属火山活動研究センターの職員諸氏や産業技術総合研究所の宇都浩三博士との議論は有益であり、また、試料採取や測定・実験のさまざまな面でご助力いただきました。ここに記して深く感謝いたします。

#### 参 考 文 献

- 1) Tanaka, H. (1980): Paleointensities of the geomagnetic field determined from recent four lava flows of Sakurajima volcano, West Japan, J. Geomag. Geoelectr., 32, 171-179.
- 2) 味喜大介 (1999): 古地磁気方位・強度測定による桜島の溶岩流の年代推定, 火山, 第 44 巻, 111-122.
- 3) 味喜大介・宇都浩三・周藤正史・石原和弘 (2003): 古地磁気と全岩化学組成からみた桜島火山観測井ボーリングコア中の溶岩の対比, 京都大学防災研究所年報, 46B, 835-840.
- 4) 福山博之・小野晃司 (1981): 桜島火山地質図, 地質調査所.
- 5) 小林哲夫 (1986): 桜島火山の形成史と火砕流, 文部省科学研究費自然災害特別研究計画研究「火山噴火に伴う乾燥粉体流(火砕流等)の特質と災害」報告書, 137-163.
- 6) 味喜大介・宇都浩三・内海茂・石原和弘 (2001): 桜島火山白浜観測井ボーリングコアの古地磁気, 日本火山学会講演予稿集 2001 年度秋季大会, 132.
- 7) 宇都浩三・味喜大介・内海茂・石原和弘 (2003): 桜島火山ボーリングコアの K-Ar 年代と古地磁気測定—火山活動史解明への複合的取り組み—, 京都大学防災研究所年報, 42B-1, 27-34.
- 8) 味喜大介・宇都浩三・内海茂・石原和弘 (1995): 桜島火山ボーリングコアの K-Ar 年代と古

地磁気測定(続報), 京都大学防災研究所年報, 43B-1, 1-6.

(Received on March 11, 2008)