

三宅島火山の地磁気・電気抵抗変化

東京大学地震研究所 中川 一郎・歌田 久司
笹井 洋一・石川 良宣
小山 茂
気象庁地磁気観測所 大地 洸・徳本 哲男

1. まえがき

1983年10月3日、三宅島火山は南西部を中心とする山腹割れ目噴火を行なった。1980年には火山集中観測が行なわれており、噴火前後の電気比抵抗、及び地磁気の変化を調査すべく、我々地球電磁気観測班は、噴火直後を含め4回にわたり現地で観測を行なった。

噴火後の観測は、次の5項目に大別できる。

- (1) VLF法による噴火割れ目周辺の見かけ比抵抗繰り返し測定
- (2) VLF・ELF-MT法による電気比抵抗観測
- (3) 島内全域での地磁気測量
- (4) 島内基準点における全磁力連続観測
- (5) 割れ目北端部での全磁力繰り返し測定

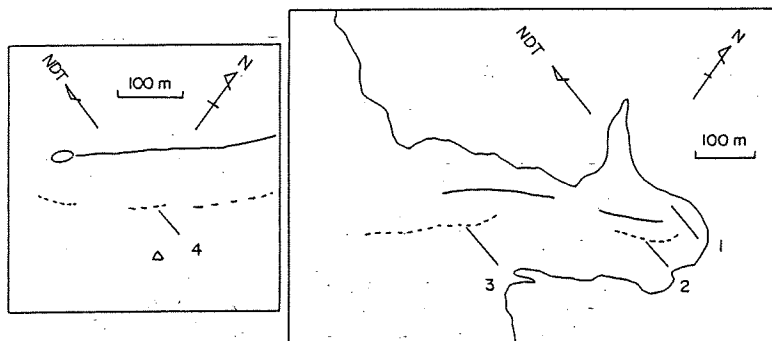
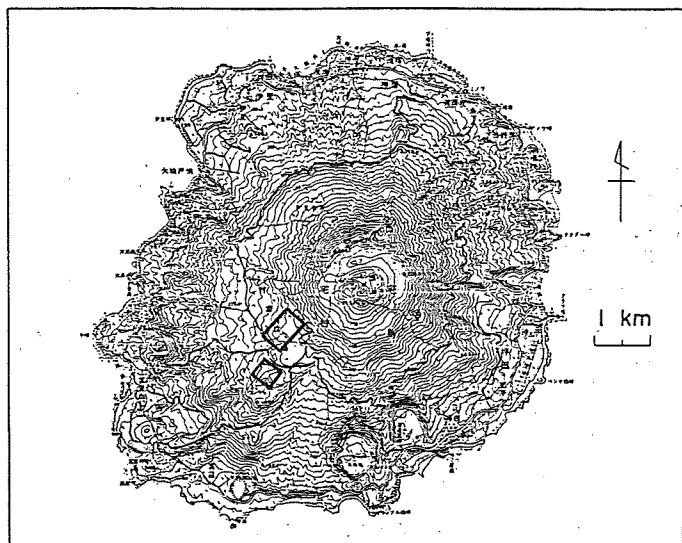
以下、各項目における観測結果について、詳述する。

2. VLF法による噴火割れ目周辺の見かけ比抵抗変化

岩石の比抵抗は、温度と含水率に大きく依存する。特に融点付近では、比抵抗の温度依存性は著しい事が知られている。¹⁾

今回の噴火による噴出物は、噴火割れ目北部については、北西側斜面で溶岩流となる一方、南東側では厚さ数mないし10m程度のスコリア丘を形成した。噴火直後、このスコリア丘には数本の小さな割れ目があり、内部をのぞくと赤熱した岩石が表面下数10cm程度の深さに存在し、その温度は800℃以上にも達していた(鍵山、私信)。この温度変化を、VLF法によって見かけ比抵抗の変化としてとらえ、スコリア丘の冷却過程をモニターするのがこの観測の目的である。

測定は第1図に示した4本の測線について行った。測線の方向は、再現性と観測の容易さを考え、電波の到来方向、つまりN70°Wとした。測線1は、噴火割れ目北端の延長部に位置し、厚さ数cmないし数10cm程度のスコリアが堆積している。

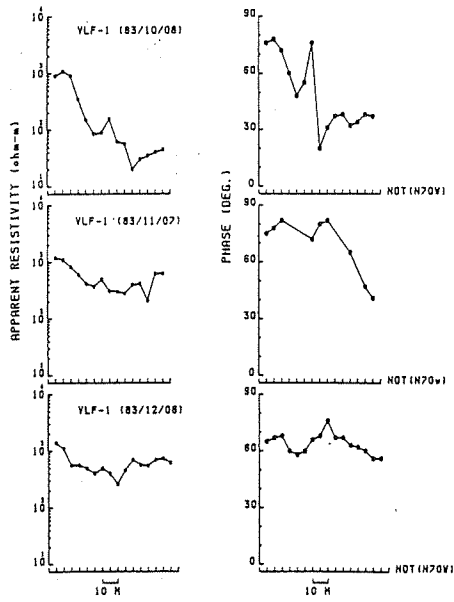


第1図 VLF法による見かけ比抵抗測線

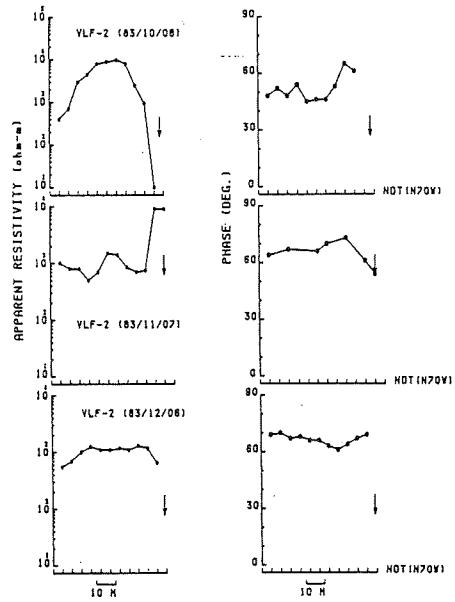
測線2及び測線3は、スコリア丘の頂上を北西側の端点とし、赤熱した岩石の見える小さな割れ目直上でも測定を行なった。測線4は、七島展望台と呼ばれている高台の西斜面に位置し、噴火が最も激しかった地点の一つである。堆積したスコリアは、付近の電柱が1m程頭を出している事から、10m程度はあると思われる。

測定は、噴火直後の10月8日、11月7日、12月6日の3回実施している。測線1から4についての見かけ比抵抗と位相の変化を、それぞれ第2図から第5図に示した。各図の左側が見かけ比抵抗、右側が位相である。測線は、右側に電波の到来方向($N 70^{\circ} W$)をとってあるので北側から見た事になる。

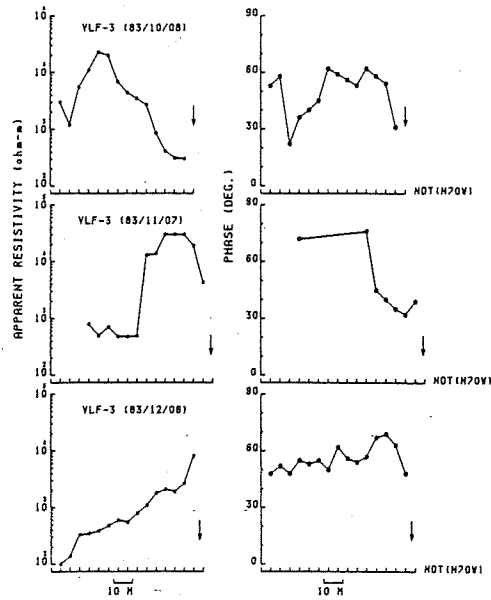
また、各測線での測定間隔は5mである。矢印で示した位置は、スコリア丘の頂上付近にある小さな割れ目のある地点である。



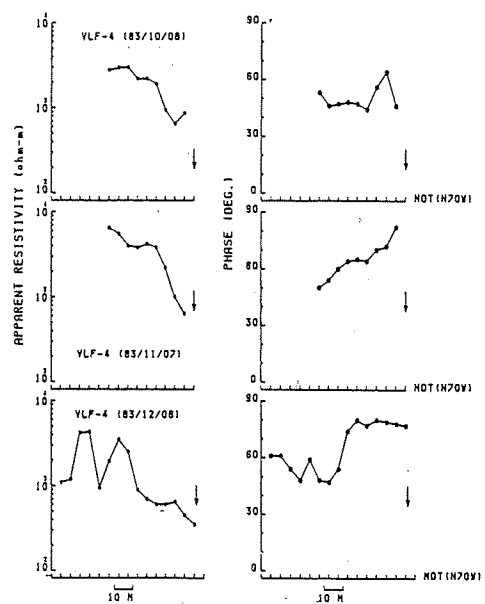
第2図 測線1における見かけ比抵抗と位相の変化



第3図 測線2における見かけ比抵抗と位相の変化



第4図 測線3における見かけ比抵抗と位相の変化



第5図 測線4における見かけ比抵抗と位相の変化

測線1は噴出物の最も少ない場所であり、第2図を見てもわかるように、時間的な変化は小さい。噴火直後の10月の時点で、北西側(右側)がやや低比抵抗であったが、12月にはほぼ様な比抵抗を示している。これは、噴火後約2ヶ月の間で冷却した事を意味するものと思われる。

第3図に示した測線2では、非常に大きい比抵抗変化が見られた。特に矢印の位置にあたるスコリア丘頂上部では、噴火直後には、 $10.0 \cdot m$ 以下という結果が得られた地点もある。比抵抗値は、割れ目から離れるにつれ急激に増大し $10 k\Omega \cdot m$ 程度になり、再び $3 k\Omega \cdot m$ 程度に減少していく。この $10 k\Omega \cdot m$ という高比抵抗は、噴火直後の時点ですでにスコリア丘斜面内部まで冷却が進んでいるためであると思われる。再び $3 k\Omega \cdot m$ 程度まで減少するのは堆積したスコリアの厚さが薄くなって、下部の腐食土の影響が現われているものと考えられる。このように大きな凹凸のあった測線が、11月にはほとんど冷却し、12月の時点ではほぼ一様に $1 k\Omega \cdot m$ 程度になってしまったのは、今度は含水によって結合度が高まったのではないかと思われる。

測線3(第4図)についても測線2と同様に、噴火直後は高温を反映して非常に低比抵抗であった地点は、約1ヶ月の間にほとんど冷却したと考えられる。12月の時点では、冷却した高比抵抗のスコリアの厚さを反映したためか、厚い地点程高比抵抗になっている。

4本の中で最もスコリアの厚いと思われる測線4(第5図)は、噴火直後の10日は割れ目側に近いほど低比抵抗であった。他の3測線と異なり、11月、12月になっても、ほとんど変化が認められない。これは、スコリア丘の冷却が、まだ内部まで進んでいない事を意味すると考えられる。

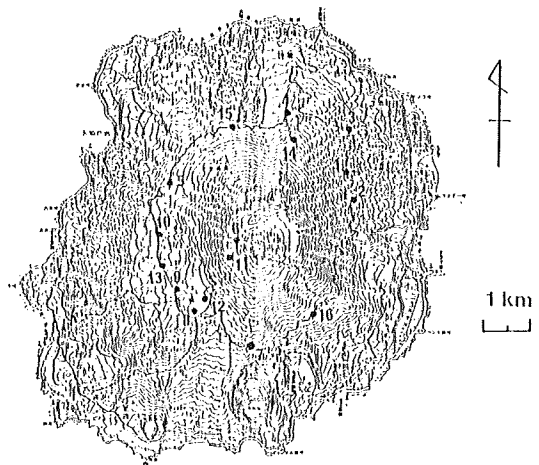
3. VLF・ELF-MT法による電気比抵抗観測

1980年10月三宅島火山集中観測では、第6図に写した島内16点で測定を実施した。噴火前後の比抵抗変化を明らかにする目的で、11月4日から11月9日にかけて、既存の各点における再測を行なった。しかしながら、悪天候のため測定できたのは第7図に示した点についてのみである。

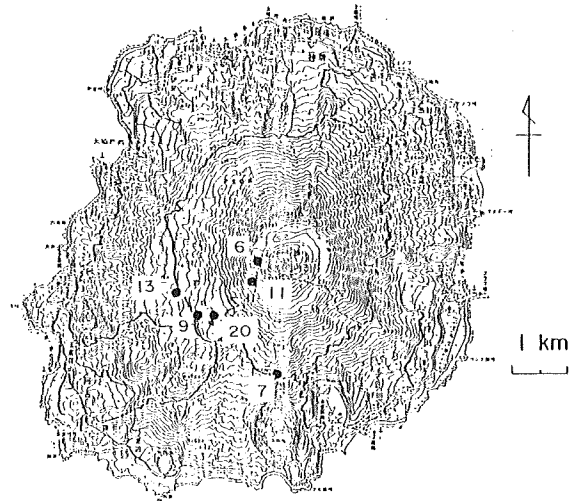
特に噴火割れ目周辺では、噴火前後での温度変化や熱水の流入による大規模な比抵抗変化が期待できる。過去においても三宅島では山腹噴火に継続して山頂噴火を行なった事もあり、1962年の噴火では噴火後に山頂の熱異常が広がった事が知られている。²⁾

これらの事実や推察をふまえ、割れ目付近と雄山の4点について再測を行ない測点20を新設した。ここでは、観測値から求まる構造の変化について議論する。

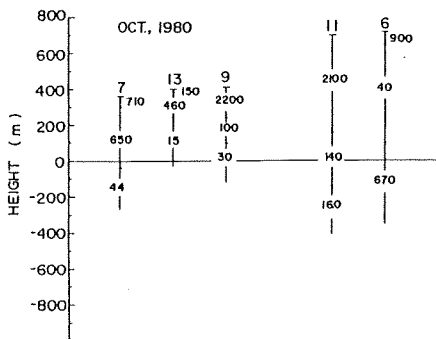
第8図に、1980年の測点のうち、今回再測した点についての層構造を示した。層に書かれた数字はその比抵抗である。この解釈については、行武他³⁾を参照されたい。これらと同一地点での1983年の観測結果から得られた層構造を示したのが、第9図である。



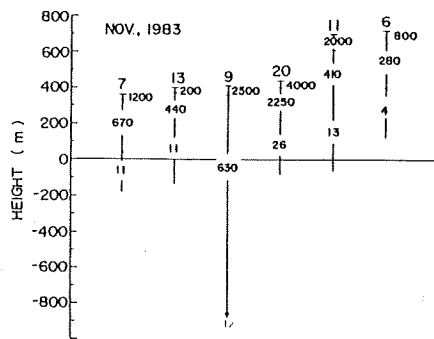
第6図 1980年10月ELF・VLF-MT法実施測定点分布図



第7図 1983年11月ELF・VLF-MT法実施測定点分布図



第8図 1980年10月での各測点の比抵抗構造



第9図 1980年11月での各測点の比抵抗構造

測点7及び測点13は、噴火割れ目からそれぞれ1.5 Km及び1.2 Kmに位置するが有意な変化は見られない。測点9は、割れ目と測点13のはぼ中間であるが、大きく変化している。1980年の時点では海面よりやや高い深さに低比抵抗層があるが、1983年の噴火後には見あたらなくなっている。これらから、少なくとも割れ目から1.2 Kmの幅でマグマの影響が数100mないし、数Kmの深さで及んでいると考えられる。測点9の結果は、マグマの熱によって地下水が消失したのではないかと推察される。

雄山山頂の噴気孔付近の測点6では、1980年に低比抵抗層の下に見られた高比抵抗部分が消失している。これは深部から熱水の供給が行なわれたためであると考えられる。測点6から南西に下がった測点11では同様の变化があるが、測点6ほど顕著ではない。これらから、山頂部の変化は高々数100m程度の水平的な広がりであると思われる。

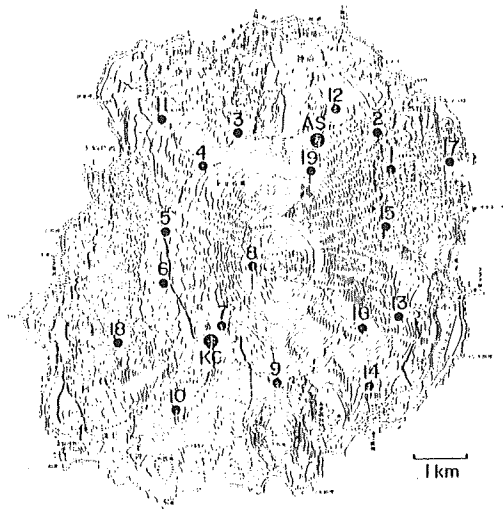
4. 島内全域での地磁気測量

1940年の噴火では、噴火後の数日間で島の南部で鉛直成分が500 nTも増加し、さらにその5ヶ月後には、元に戻る変化が報告されている。⁴⁾ また、1962年の噴火については、北東部割れ目付近で噴火直後伏角が $80'$ 減少し、山体北部では $80'$ の増加があった。⁵⁾ 類似の火山として、伊豆大島では1950年の噴火に伴ない、 $30'$ 以上にも及ぶ伏角の減少があった。⁶⁾

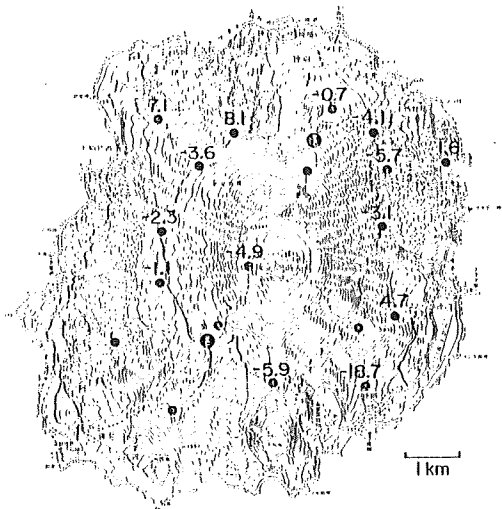
しかし、これらの観測結果は、測器の精度や測定方法に厳密な再現性を伴わなかった可能性が考えられ、現在ではその真偽が問われている。

磁気測量は、噴火直後の10月9日から10日12日にかけて、第10図に示した1980年の集中観測で決められた磁気点⁷⁾について、再測を行なった。1980年には、島内基準点としてA S(無線中継所)とK C(研修センター)の2点が設けられたが今回の噴火により、K Cはスコリアの下になり測定不能のため、今回の測量基準点はA Sのみである。磁気点は全部で19点設けられたが、磁気点7はスコリアに埋没、磁気点10, 16及び18は道路寸断など交通手段の問題があり再測不能であった。磁気点19は杭が紛失したため、それと思われる地点に新たに杭を設け、測定を行なった。島の南東部に位置する磁気点14は、降灰が著しく、その影響も考慮する必要がある。

全磁力測量結果を第1表に、また第11図には(各測点)-(島内基準点A S)の1980年から1983年にかけての変化を示した。単位はnTである。噴火前後の全磁力変化は、火山灰の影響を大きく受けた磁気点14を含めたとしてもただか20nT以下であり、1962年の噴火に伴なう地磁気変化が伏角であった事を考慮に入れても、今回の変化は非常に小さい。



第10図 全磁力測量実施点，ASは島内基準点



第11図 噴火前後の各磁気点での全磁力変化

再測は、測器は全く同一、センサー高も2mで同じであり、再現性は現在の測量ではこれ以上は望めないものである。1980年には、水平方向の全磁力gradientを測定して磁気点を設置している。センサー位置の再現性は、水平方向で数cm、鉛直方向で数mm、再設置誤差の全磁力測定への影響は、1nT以内であろう。

しかし、第1表を見ると、変化が大きい点では、そのgradientも大きいようにも見られる。この様子を示したのが、第12図である。縦軸には変化の絶対値、横軸には鉛直方向の全磁力gradientの絶対値及び、水平方向の平均gradientの絶対値をとってある。火山灰の影響を受けた磁気点14を除いたとしても、全磁力の変化は、鉛直方向のgradientと相関があるように見える。これは火山のような全磁力gradientの大きい地域での磁気測量の大きな問題点の一つである。もう一つの問題は、磁気点の状態変化である。磁気点14は火山灰の影響を受け、大きく変化している。また、磁気点3と11は土砂流出などの変化が認められ、その分を反映したためか、磁気点14に次ぐ大きな変化となっている。水平、鉛直方向のgradientは小さく、杭を新たに設けた磁気点19は、1980年の点との距離が数10cm以内にあるはずなのに、200nT以上の変化が見られる。この場所は道路際であり土砂流出が著しい。

以上のような問題点もあるが、今回の再測結果は、第11図に示したように信頼度の高い

第1表 全磁力測量結果

No.	Survey point Station Name	Date	Time	$\Delta F(1983)$	$\Delta F(1980)$	$\Delta F(1983-1980)$	Field gradient(1980) (1983)		Remark		
							(V)	(NS)		(EW)	(V)
1	極楽団地入口	1983 Oct 11	14 ^h 48 ^m -14 ^h 57 ^m	241.7	247.4	-5.7	110	79	64	118	
2	下馬野尾下り口	1983 Oct 11	14 13 -14 22	-1196.2	-1192.1	-4.1	32	47	46	30	
3	比抵抗基線中点	1983 Oct 10	16 29 -16 38	-869.1	-877.2	+8.1	112	----	----	----	状態変化あり
4	伊豆見橋西	1983 Oct 12	14 25 -14 34	-2504.5	-2500.9	-3.6	104	35	82	-104	
5	村宮牧場北	1983 Oct 12	13 57 -14 06	-1686.6	-1684.3	-2.3	90	15	-12	98	
6	" 中央	1983 Oct 12	13 30 -13 39	-746.8	-745.7	-1.1	-56	44	-40	-52	
7	" 西	-----	-----	-----	445.7	-----	-120	6	2	-----	測定不能
8	雄山西	1983 Oct 12	11 27 -11 36	-1065.1	-1060.2	-4.9	-130	98	26	-125	
9	大路池北	1983 Oct 9	11 30 -11 49	-1668.5	-1662.6	-5.9	-224	-2	-13	-217	
10	新霽池北林道入口	-----	-----	-----	1212.8	-----	-118	25	-79	-----	測定不能
11	伊豆	1983 Oct 11	17 17 -17 26	-368.7	-375.8	+7.1	184	15	37	176	状態変化あり
12	三の宮林道	1983 Oct 11	13 35 -13 44	-1108.5	-1109.2	-0.7	2	-4	-1	4	
13	坪田林道	1983 Oct 13	15 48 -15 57	-2974.6	-2979.3	+4.7	126	98	41	127	状態変化あり
14	坪田	1983 Oct 12	16 56 -17 05	-856.9	-838.2	-18.7	-288	49	32	----	火山灰の影響あり
15	三池浜西	1983 Oct 11	15 35 -15 44	-1906.8	-1903.7	-3.1	16	11	-82	16	
16	雄山林道継巻交点	-----	-----	-----	-1331.8	-----	40	-45	-30	----	測定不能
17	三七山	1983 Oct 11	16 32 -16 41	-1266.9	-1268.5	+1.6	32	-15	-30	33	
18	牧場(阿古)	-----	-----	-----	-1836.1	-----	-48	2	-16	----	
19	雄山東	1983 Oct 10	15 04 -15 13	-665.4	-691.8	-40	-29	-14	117	杭紛失,付近で測定

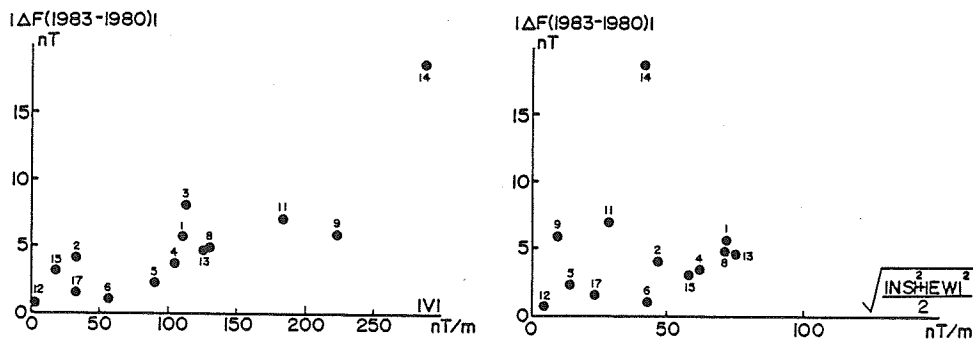
(1) $\Delta F(1983), \Delta F(1980)$: Difference of total intensity between survey point and reference station in 1983 and 1980.

(2) $\Delta F(1983-1980)$: Variation of the total intensity difference in 1983 and 1980. Given are (1983-1980).

(3) (V) : Vertical gradient indicates the difference of total intensity at 2.0m that at 1.5m. Given are (1.50m-2.00m) reduced in nT/m.

(4) (NS), (EW) : Lateral gradient is the difference of total intensity between 1.0m north(east) and 1.0m south(west) of the survey point at the height of 2.00m, reduced in nT/m.

(5) ----- : Denotes no data.

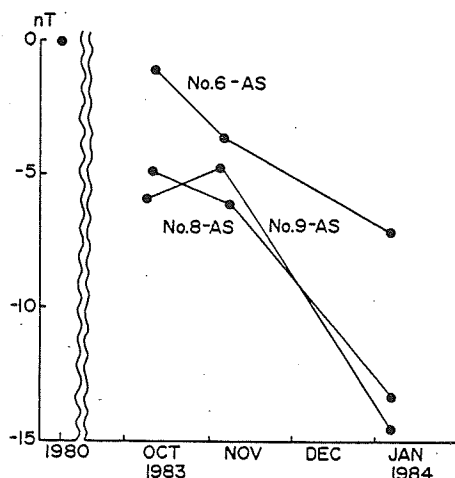


第 1 2 図 各測点の全磁力 gradient と全磁力変化

磁気点についてのみ見れば、減少した点が多い。これは、噴火後山体内部のマグマ溜りが消磁した事によって定性的に説明できる。

噴火割れ目を囲む磁気点 6, 8, 9 の 3 点については、1 月 6 日と 1 月 7 日に再測を行なった。第 1 3 図に各点の時間変化の様子を示す。1980 年 10 月の時点をもとにしたものである。

噴火割れ目より北にある磁気点 6, 8 については、噴火後 1 ヶ月間の間で数 nT の減少が見られ、また磁気点 9 については若干増加している。これは噴火割れ目そのものの帯磁によって説明がつく。しかし、さらに 2 ヶ月後には、各点とも減少、特に磁気点 8, 9 は 10 nT に近い減少が認められる。各点とも周囲の状態変化は全くありそうもない場所であり、この減少傾向は十分有意である。これは、山体中心部の消磁された部分の拡大によって定性的に説明できる。



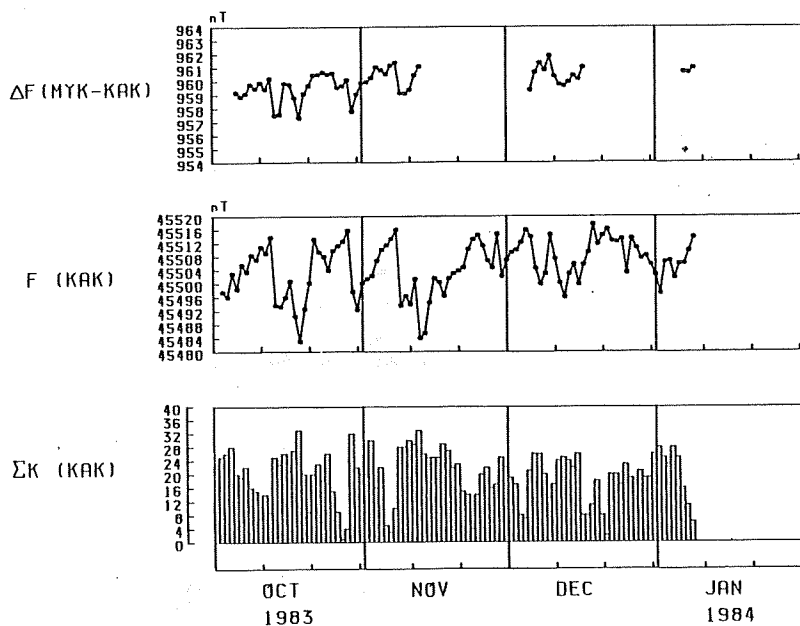
第 1 3 図 磁気点 6, 8, 9 での噴火後の全磁力変化

5 島内基準点における全磁力連続観測

噴火直後、最初に設置したのがこの島内基準点である。磁気測量の基準点でもあり、毎分の連続観測を行なった。厳密には1980年のASとは異なるが、1980年の基準点ASとの差も測定してあるので磁気測量の上では問題はない。連続観測を行なうにあたっては、マグマ溜りの帯磁領域変化の推移を顕著に示すであろうと考えられ、なおかつ1940年の噴火で500nTにも及ぶ鉛直成分の変化が報告された山体南斜面に設置するのが望ましいが、南部では商用電源のとれる場所がないので、止むを得ずこの地点で行なった。

観測は10月5日から始められたが、途中接地不良や長期停電のため、測定不能の期間もある。観測結果を第14図に示す。最上段で、MYKとなっているのが、この島内基準点ASである。島外基準点としては柿岡(KAK)を用いた。

図に示したのは、最上段がASとKAKの毎分値の差の日平均、中段は、KAKの毎分値の日平均、最下段が、KAKでのK-indexの一日の和である。MYK-KAKは急激に減少する日があるが、これらはKAKの日平均の減少、及び一日のK-indexの和の増加から見て、外部磁場(Dstであろう)の地域差が現われているものと思われる。このような地域差が顕著に現われている日のデータを除けば、噴火後、全磁力は約3ヶ月の間に4nT程度徐々に増加している。この微少な変化の原因としては、海流ダイナモ、外部磁場の季節変動、火山内部の帯磁領



第14図 島内基準点での全磁力変化

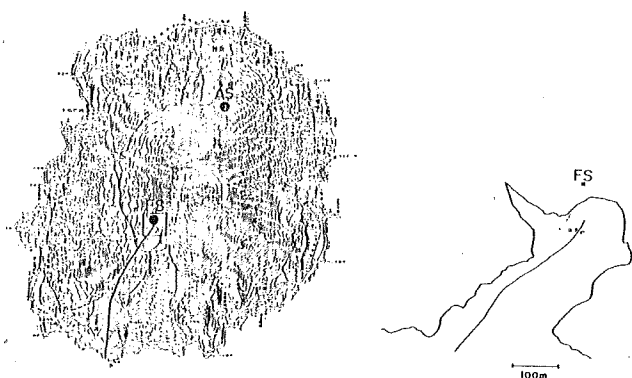
域の変化などが考えられるが、これだけのデータでは判然としない。もし、火山内部を起源とすれば、山体中心部が数ヶ月の間に徐々に消磁した事になる。これは、前項の磁気点 6, 8, 9 の再測結果と調和的である。島外基準点として現在は柿岡を用いているが、距離的に近い野増(伊豆大島)や八丈島を基準とし、海流の影響を評価する事は、今後の課題である。

6. 割れ目北端部での全磁力繰り返し測定

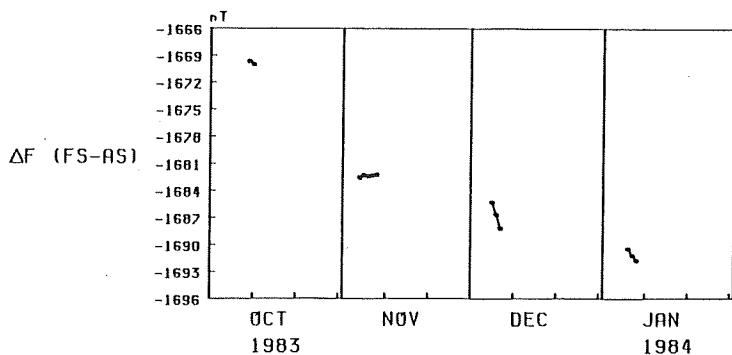
噴火割れ目北端部は、割れ目の冷却による帯磁によって磁場変化が期待できる。測定は、プロトン磁力計のセンサーのみを固定し、観測期間中、測定を行なった。第 15 図に示したのは、噴火割れ目と測点の位置関係である。

測点 FS は、噴火割れ目から約 70 m 北に位置する。基準点として島内基準点 AS をとり、毎分値の差の日平均を示したのが、第 16 図である。

噴火後の 1 ヶ月の間に全磁力は約 10 nT、その後は毎月 3 nT 程度の割合で減少が認められる。磁気点 FS は、磁気点 6, 8, 9 に囲まれた点であり、11 月から 1 月にかけての減少は島南部で広範囲に生じた現象であると思われる。



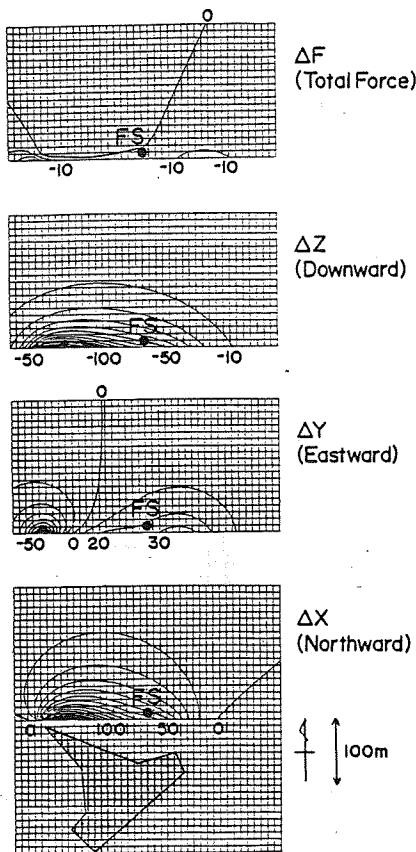
第 15 図 全磁力繰り返し測定点



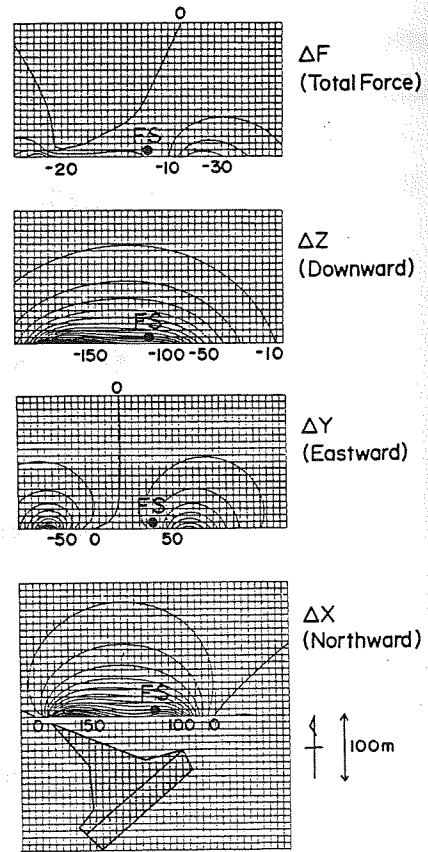
第 16 図 繰り返し測定点での全磁力変化

しかし、噴火直後の10月から11月にかけての約10nTの減少は、割れ目特有のものである。VLF法による見かけ比抵抗繰り返し測定の結果から割れ目北端部での急激なスコリア丘の冷却が示唆されており、この全磁力の減少を噴火割れ目付近のスコリア丘と溶岩流の冷却によって説明すべく、モデル計算を行なった。

第17図、第18図に示したのが、モデル計算の結果で、上方から見たものである。第17図は、割れ目北端部付近の表層2mが噴火後1ヶ月の間に冷却し、TRMによって帯磁したモデルである。ハッチングで示したのが、帯磁した厚さ2mの溶岩流ないし、スコリア丘である。FSと示したのは、繰り返し測定を行なった磁気点である。残留磁化は、実際の溶岩流のサンプルから、 $2.9 \times 10^{-2} \text{ emu/cc}$ (浜野, 私信)とした。また、帯磁の向きは、主磁場方向である。このモデルでは、x成分で約50nTの増加、Z成分で約50nTの減少となるが、全磁力の減少はほとんど見られない。



第17図 表層帯磁モデルによる地磁気変化



第18図 表層及び割れ目帯磁モデルによる地磁気変化

地表噴出物の帯磁モデルでは、10 nTの全磁力の減少を説明できないため、さらに噴火割れ目そのものも冷却して帯磁したのが、第18図に示したモデルである。噴火割れ目として幅2 mの貫入岩を考え、深さ100 mまで冷却したものが、第17図に示したモデルに加わっている。残留磁化、帯磁の方向は同じである。このモデルでは、全磁力の10 nTの減少はかなり良く説明できる。しかし、測点と割れ目との位置関係は必ずしも正確ではないし、幅2 mの冷却した貫入岩の深さや厚さは過大評価かもしれない。10 nTの減少は、ほかにもピエゾ磁気効果によっても実現が可能である。⁸⁾ 測点は1点しかないため、これ以上の定量的な解釈は困難である。

謝 辞

噴火直後の観測においては、東京都三宅島支庁、三宅村役場の方々に、交通手段の確保など、大変お世話になった。感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) Presnall, D.C., C.L. Simmons, and H. Porath, Changes in Electrical Conductivity of a Synthetic Basalt during Melting, *J. Geophys. Res.*, 77, 5665 - 5672, 1972.
- 2) 田中康裕・古田美佐夫, 三宅島, 気象研究所技術報告第2号, 主要火山の地殻変動並びに地熱状態の調査研究, 182-186, 1979.
- 3) 行武 毅・吉野登志男・歌田久司・河村謙・大地洸・小池捷春・O.A. Veliz Castillo・田中良和・三品正明, 三宅島における電気抵抗測定, 三宅島集中観測報告, 43-53, 1982.
- 4) Takahasi R. and K. Hirano, Changes in the Vertical Intensity of Geomagnetism that Accompanied the Eruption of Miyakezima, in 1940, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 19, 82-103, 1941.
- 5) Kato Y. and I. Moroi, The Changes of the Earth's Magnetic Field Accompanying the Volcanic Eruption of Miyake-shima, *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, Geophys.*, 15, 33-44, 1963.
- 6) Rikitake T, The Distribution of Magnetic Dip in Ooshima (Ooshima) Island and its Change that Accompanied the Eruption of Volcano Mihara, 1950,

- 7) 河村謙・大地洗・小池捷治・O.A Veliz Castillo 行武 毅・吉野登志男・歌田久司,
三宅島における地磁気観測, 三宅島集中観測報告, 31-42, 1982
- 8) 笹井洋一, 岩脈貫入に伴なうピエゾ磁気変化, 本報告.