

# 1991年雲仙岳火山活動に伴う全磁力変化

中禮正明・仲谷 清・中島新三郎・山崎 明・角村 悟  
山本哲也・石井美樹・菅原政志  
(地磁気観測所)

Changes of Geomagnetic Total Intensity associated with  
volcanic activity at Unzen Volcano in 1991.

M. CHUREI, K. NAKAYA, S. NAKAJIMA, A. YAMAZAKI, S. TSUNOMURA,  
T. YAMAMOTO, Y. ISHII and M. SUGAWARA  
( Kakioka Magnetic Observatory )

## 1. はじめに

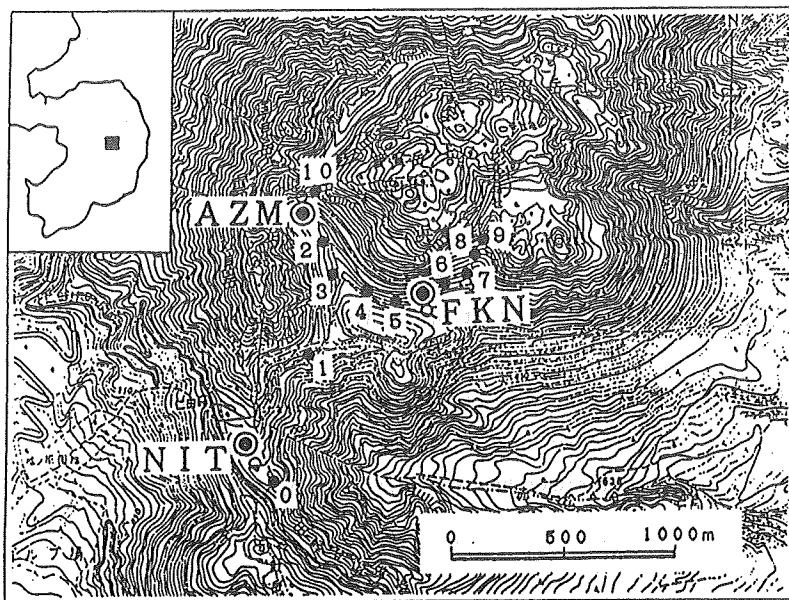
三宅島、伊豆大島、阿蘇山、草津白根山等で火山活動に伴う顕著な地磁気変化が観測され、火山噴火のメカニズムや活動予測のための重要な情報を提供してきた(中川・他, 1984; 山本・他, 1987; Yukutake et al, 1990; Sasai et al, 1990; 中禮・他, 1991)。これらの変化は火山体内部の主に熱的状态の変化を反映していると考えられ、地磁気観測から得られる情報は火山噴火のメカニズムを解明する上で最も本質的なものの一つといえる。

1990年11月17日に始まった雲仙岳の噴火活動は1991年に入って本格化し、1991年5月20日には山頂地獄跡火口に溶岩ドームが出現、ドームの崩壊に伴い頻繁に火砕流が発生するなど活発な火山活動が続いている。1992年1月末現在6回にわたりドームの形成を繰り返しているが、それぞれの溶岩ドーム形成時には山頂付近の群発地震活動を伴っていることが特徴的である。

地磁気観測所では、1991年2月18日から全磁力の連続観測と繰り返し観測を行ってきたが、火山活動に伴う顕著な全磁力変化が得られている。本論では、観測データと溶岩ドームの出現や地震活動等他の地球物理学的観測結果と対比しながら全磁力変化のメカニズムについて preliminary な議論を行う。

## 2. 観測の概要

第1図に観測点の配置を示す。今回の噴火活動の中心は雲仙岳山頂普賢岳の東約600m付近にある地獄跡火口で、ここから大量の溶岩を噴出し続けている。全磁力連続観測は、地獄跡火口から南西約1.7kmにある仁田峠(NIT)、同南西約0.8kmの地点(FKN)および地獄跡火口の西約1kmの地点(AZM)の3地点で行っている。NITは火口付近の熱的効果による消磁の影響はないと推定される地点にあり、FKNとAZMは火山活動に伴う全磁力変化が期待される地点にある。NITとFKNは1991年2月18日から、AZMは1991年8月28日からそれぞれ観測を開始した。各観測点ではプロトン磁力計により5分間隔で全磁力測定が



第1図 雲仙岳における全磁力観測点分布。 ○連続観測点、●繰り返し観測点。

行われ、得られたデータは1991年8月28日以降地磁気観測所（柿岡）までテレメータされている。観測は、1991年6月30日夜の時間雨量70mmに達する豪雨を伴った雷でプロトン磁力計が被害に遭い7月17日まで欠測した以外、1992年1月現在まで順調に行われている。

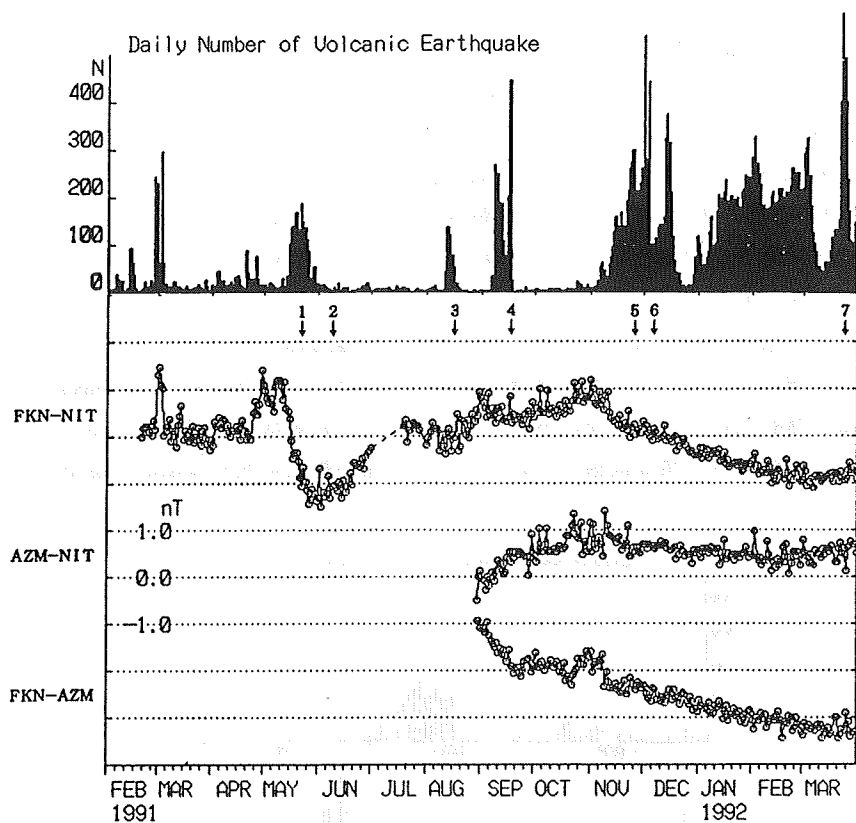
全磁力の繰り返し観測は、携帯型プロトン磁力計により12地点で行っている（第1図参照）。センサーの高さは地上2.3mで、計測は毎正分前後に5回行いその平均を分値とし、5分間行っている。観測誤差は1nT程度以内と推定される。

### 3. 連続観測結果と地震活動

第2図には、NITを基準としたFKNとAZMおよびAZMを基準としたFKNの全磁力夜間値相互差（00h-02h、以下それぞれFKN-NIT、AZM-NIT、FKN-AZMと呼ぶ）と火山性地震の日発生回数（雲仙岳測候所による）及び溶岩ドームの出現を示す。図に示した相互差は、鹿屋のH成分を用いて外部磁場変動の影響を補正したものである。図中11月以前に見られる単発的に約0.7nTギャップしたデータは、運行日誌による補正はしてあるものの、ロープウェイの客車の停止位置による補正（0.7nT）が不十分である可能性が含まれている（中禮・他、1991）。従って、ここではトレンドを議論の対象とする。

#### 3.1 第1溶岩ドーム出現前後の全磁力変化

FKN-NITをみると、4月下旬から5月上旬にかけて約1nT増加した後、5月13日頃から急激に減少し始め、同月20日に最初の溶岩ドーム出現が確認され、同月下旬には減少量は約3nTに達した。雲仙岳測候所によれば最初の火砕流発生は5月24日であるが、FKN-NITはこの頃から減少が止まり横ばい状態になった。43名の犠牲者を出した6月3日の火砕流や6月8日の規模の大きい火砕流、そして6月11日のやや爆発的な噴火など大きなイベントはいずれもこの横ばい状



第2図 雲仙岳の火山性地震日発生回数（雲仙岳測候所による）と仁田峠（NIT）を基準とした普賢岳南（FKN）、薊谷（AZM）及びAZMを基準としたFKNとの相互差の時間的変化（全磁力夜間値00時～02時の平均値を地磁気観測所鹿屋出張所のH成分を用いて外部磁場擾乱の影響を補正したもの）。矢印は溶岩ドームの確認された時を示す。同印の数字はドームの番号。

態の時期に発生している。そして爆発的噴火のあった6月11日頃からFKN-NITは増加に転じ、同月末には観測を開始した2、3月のレベル近くまで回復した。この間の地震活動は、4月下旬頃やや地震、微動の発生が多かったが、5月13日頃から山頂付近を震源とする火山性地震が群発し始めた。地震活動はさらに活発化したが、同20日地獄跡火口に溶岩ドーム出現後は急激に衰退した。

### 3. 2 第3及び第4溶岩ドーム出現前後の全磁力変化

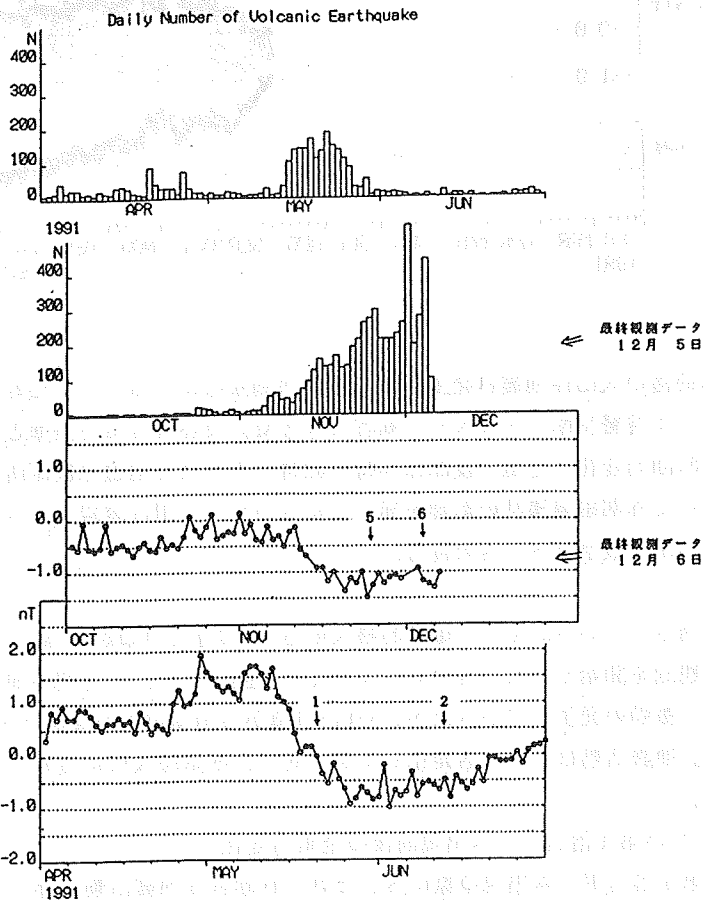
第3及び第4溶岩ドーム出現の際にも、それぞれ顕著な地震活動を伴った。FKN-NITはいずれもドーム出現前にやや減少傾向がみられる。FKN-AZMは、第4ドームの出現した9月中旬を境にして、それまでの大きな減少傾向が横ばい状態に変わった。

### 3. 3 第5及び第6溶岩ドーム出現前後の全磁力変化

第5ドームは1991年11月20日に出現が確認されたが、その前後のFKN-NITには非常に顕著な変化が観測された。第3図には、第1溶岩ドーム出現時と第5溶岩ドーム出現時のFKN-NITの変化と火山性地震の日発生回数を適当に時間軸を合わせて示してある。ここで注目したいのは、FKN-NITの時間的変化の様子に相似性がみられるだけでなく地震活動の消長の様相もよく似ていることである。すなわちそれぞれの溶岩ドーム出現前後のFKN-NITの変化には次のようなプロセス、すなわち

増加過程=>顕著な減少過程=>横ばい状態=>回復過程

があるように推察される。また第5溶岩ドーム出現時におけるFKN-NITと地震活動をみると、地震活動は、FKN-NITの増加過程においてやや活発化、顕著な減少過程に入ると一段と活発化し、横ばい状態でも活発な状態が続いているが、増加傾向に転じる頃から低下している。



第3図 第1溶岩ドーム出現時と第5溶岩ドーム出現時における雲仙岳の火山性地震日発生回数(雲仙岳測候所による)と仁田峠(NIT)を基準とした普賢岳南(FKN)との相互差の時間的変化(補正は図3に同じ)の比較。

第1ドーム出現時にも同様な傾向が見られるが、この時にはFKN-NITが横ばい状態になる頃から低下している。但し、5月中旬以前の地震には山頂付近以外の地震も含まれている。

これまで述べて来たように、地磁気の時間的変化と火山性地震発生の時間的変化とにより対応がみられる。もし、両者に関連性があるとすれば次の2つが考えられる。すなわち、

1) 地磁気変化と火山性地震の発生に因果関係がある、あるいは

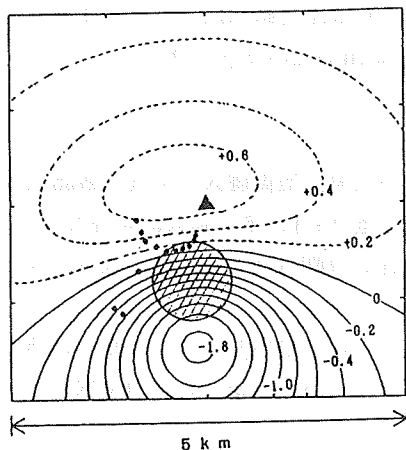
2) 地磁気変化をもたらしているものと火山性地震を発生させているものとは同じである。

1)の可能性がある物理的解釈としては、例えば地震活動で岩石が破壊されたところに高温の火山ガスや熱水が入り込み熱消磁を引き起こす、という場合が考えられる。2)は両者が同じ原因による、例えばマグマが岩盤を押しこむことで地震を発生させ、一方では岩盤の磁気を変化させる、場合である。

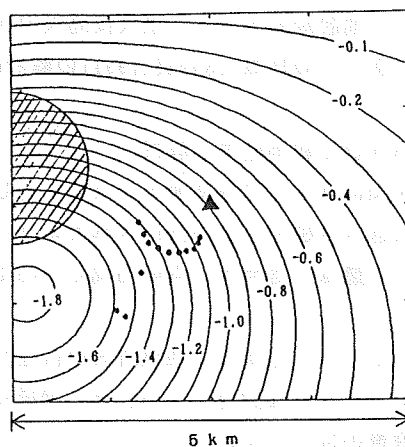
### 3. 4 ピエゾ磁気効果により期待される全磁力変化のパターン

京大桜島火山観測所では、雲仙岳において水準測量と辺長測量を実施し、その観測結果から地殻変動モデル(茂木モデルによる)を提案している(桜島火山観測所、石原私信)。モデルは2つの圧力源をもち、一つは地獄跡火口の南南西約600m付近の深さ約2kmにあり((A))、他の一つは同火口の西北西約2kmの深さ4.5km((B))にある。第4図には、2つの圧力源での圧力変化による全磁力変化のパターンを示す。計算はSasai(1991)による解析解(TYPE II)を用いた。Okubo et al(1985)によれば雲仙付近のCurie point depthは約7kmであるので、圧力源は帯磁層の中にあることになる。図の中心が地獄跡火口で、圧力源(A)は半径500m、圧力源(B)は半径1,000mとしてある。圧力変化は1kbarの減圧としてあるが、増圧の場合は全磁力変化のセンスが逆になり、また変化量は圧力の変化量に比例する。用いたパラメータは第1表に示す。前節で述べたFKN-NITの変化は、圧力源(A)、(B)の圧力変化を適当に組み合わせることにより説明は可能である。パラメータの吟味が十分でないものもあるので、ここでは議論の参考として図示しておく。

a)



b)



第4図 地殻変動モデル(京大桜島火山観測所による)の圧力源(A)、(B)による全磁力変化パターン例。Sasai(1991)の解析解による。a) 深さ2kmの圧力源(A)の減圧による全磁力変化。b) 深さ4.5kmの圧力源(B)の減圧による全磁力変化。斜線部分は圧力源を示す。

(A)

(PMHOGIA )21<40>001-1

```

-----*-----1-----*-----2-----*-----3-----*-----4-----*-----5-----*-----6-----*-----7-----
2000.0 D      DEPTH OF SPHERE (m)
500.0  A      RADIUS OF SPHERE (m)
-1000.0 DELTAP PRESSURE IN SPHERE (bar)  + POSITIVE  - NEGATIVE
2.0E-4 BETA   STRESS SENSITIVITY (bar-1)
3.0E+5 RA     LAME'S CONSTANT RAMUDA
3.0E+5 MU     LAME'S CONSTANT MYU (RIGIDITY)
6000.0 H      DEPTH OF CURIE POINT ISOTHERM
46.0  IO      INCLINATION
-6.0  DO      DECLINATION
2.0   JH      INTENSITY OF MAGNETIZATION (A/M)
5000.0 WSIZ   WIDTH OF CALCULATION
-1000.0 XPOS  N-S POSITION OF SPHERE (m)  + NORTH  - SOUTH
-200.0 YPOS  E-W POSITION OF SPHERE (m)  + EAST   - WEST
13    N      NUMBER OF CALCULATION POINT
-----*-----END OF TEXT-----

```

(B)

(PMHOGIB )21<40>001-079 NUTRL

```

-----*-----1-----*-----2-----*-----3-----*-----4-----*-----5-----*-----6-----*-----7-----
4500.0 D      DEPTH OF SPHERE (m)
1000.0 A      RADIUS OF SPHERE (m)
-1000.0 DELTAP PRESSURE IN SPHERE (bar)  + POSITIVE  - NEGATIVE
2.0E-4 BETA   STRESS SENSITIVITY (bar-1)
3.0E+5 RA     LAME'S CONSTANT RAMUDA
3.0E+5 MU     LAME'S CONSTANT MYU (RIGIDITY)
6000.0 H      DEPTH OF CURIE POINT ISOTHERM
46.0  IO      INCLINATION
-6.0  DO      DECLINATION
2.0   JH      INTENSITY OF MAGNETIZATION (A/M)
5000.0 WSIZ   WIDTH OF CALCULATION
500.0  XPOS  N-S POSITION OF SPHERE (m)  + NORTH  - SOUTH
-2500.0 YPOS  E-W POSITION OF SPHERE (m)  + EAST   - WEST
13    N      NUMBER OF CALCULATION POINT
-----*-----END OF TEXT-----

```

第1表 地殻変動モデル(京大桜島火山観測所による)の圧力源(A)、(B)による全磁力変化パターンの計算(Sasai(1991)の解析解による)に用いたパラメータ。

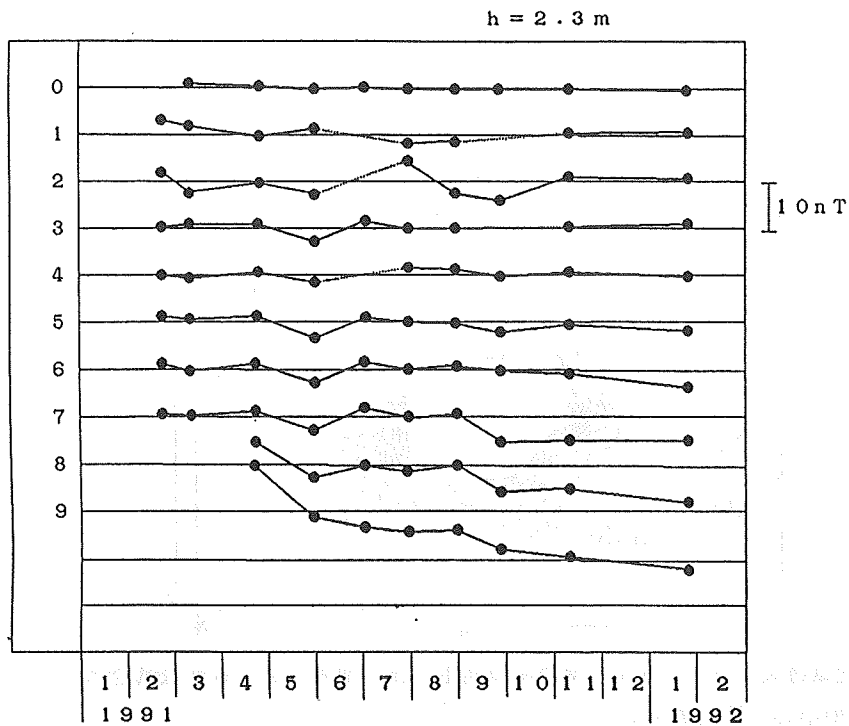
#### 4. 繰り返し観測結果と解析

第5図にはNITを基準とした繰り返し観測結果を示す。地獄跡火口に近い観測点8、9では大きな全磁力変化が検出されており、後者の変化量は9月末までに20nTに達している。全磁力変化量は、溶岩ドームの出現した地獄跡火口に近い観測点ほど変化量が大きくなっている。

溶岩ドームの出現した地獄跡火口付近及びその直下では、噴出したマグマ貫入に伴う熱消磁があったことは間違いない。そこで繰り返し観測データから、単一の熱消磁球モデルによる消磁量の推定を試みた。

[仮定]

- ・地獄跡火口直下に熱消磁球がある。
- ・火山体の帯磁強度を $2 \times 10^{-3}$  emu/cc.



第5図 雲仙岳繰り返し観測結果 (NITを基準)。

[結果]

- ・4月を基準とした5月末までの変化

地獄跡火口直下海拔約900mに半径130mの熱消磁球があるとすれば観測データを説明できる。その時の体積は約920万 $m^3$ 。

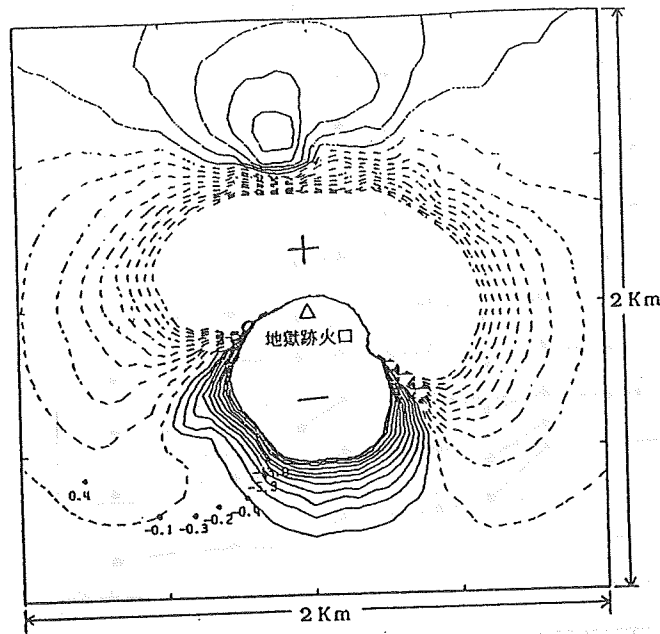
- ・4月を基準とした6月末までの変化

地獄跡火口直下海拔約1,100mに半径170mの熱消磁球があるとすれば観測データを説明できる。その時の体積は約2,000万 $m^3$ 。

第6図には、4月を基準とした6月末までの変化について計算値(コンター)と観測値(各観測点に示した数字、単位nT)を示す。インバージョンは7、8、9の観測点に重みをおいて行った。なお、地磁気変化図の作成にあたっては、国土地理院作成による「雲仙岳数値標高データ」を使用した。ここで算出した消磁球の大きさは、もちろん火山体内部のマグマの量を意味するものではないが、その後のマグマの流出量とオーダ的には調和的である。

田中・他(1991)によれば、地獄跡火口の南側の観測点では100nTにおよぶ全磁力の減少を、一方北側の観測点では増加を観測しており、同火口直下で100m規模の熱消磁が起こっていると推定されている。

これらの結果から地獄跡火口直下付近で大規模な熱的消磁が発生していることは間違いないと考えられる。



第6図 地獄跡火口下170mの熱消磁球発生に伴う地表における地磁気変化

図の中心：地獄跡火口

図の範囲：2 km四方

コンター：2 n T、実線は減少、破線は増加、

黒点：繰り返し観測点（値は観測された磁場変化量）。

## 5. 考察

第1溶岩ドームと第5溶岩ドーム出現前後にみられる全磁力相互差の、増加=>減少=>横ばい=>回復、のプロセスをどのように評価すべきか、重要かつ大きな問題である。これまで述べて来たように、普賢岳南から西部における全磁力の繰り返し観測結果や山頂火口近くの全磁力観測結果から、溶岩ドームの出現した地獄跡火口直下付近で、約1~2千万 $m^3$ もの規模に相当する熱消磁があったことは間違いないと考えられ、FKN-NITの変化もこの熱消磁による可能性もある。しかし、もしFKN-NITの変化が熱消磁に起因するとすれば、火口南側の観測点における全磁力の減少はマグマの上昇などによる熱消磁で説明可能であるが、4月下旬から5月上旬にかけての約1nTの増加あるいは8月から10月にかけての約1nTの増加を熱消磁で説明することは困難である。すなわち、地獄跡火口直下に熱消磁の原因を求めるとすればそれぞれ約1千万 $m^3$ の量の岩石の帯磁が必要となる。この増加を具体的に説明するためには、火山体内部物質を冷却し帯磁させる過程が必要になるが、そのような物理的モデルについては、マグマの噴出が続いていることを考えると、なかなか困難である。

一方、ピエゾ磁気効果にその原因を求めるにしても全磁力観測データだけから一義的にモデルを決定することは難しい。いずれにしても現在得られつつある全磁力変化は、溶岩ドーム形成のプロセスにおける火山体内部の状態変化、すなわち熱的变化や内部圧変化を反映したものと考えられる。その原因については今後観測を続けるとともに地殻変動等の観測データと合わせて総合的に解析する必要がある。



## 謝辞

本観測を実施するにあたっては、九州大学島原地震火山観測所太田所長、清水助手、京都大学桜島火山観測所加茂所長及び大学合同観測班電磁気グループの方々には多くのお世話を頂きました。また、陸上自衛隊第四師団には機器の設置等多くの協力を頂きました。記して心から御礼申し上げます。

## 引用文献

- 中禮正明・山崎明・角村悟：草津白根山で観測された顕著な全磁力変化について，CA研究会1991年論文集，69-75 (1991).
- 中禮正明・仲谷清・中島新三郎：マグマ活動に関する研究—全磁力連続観測—，雲仙岳噴火活動に関する緊急研究成果報告書，15-22 (1991).
- 中川一郎・笹井洋一・歌田久司・石川良宣・小山茂・大地洗・徳本哲男：1983年10月三宅島噴火に関連した地磁気変化，火山，29, 101-112 (1984).
- Okubo, Y., R. J. Graph, R. O. Hansen, K. Ogawa, and H. Tsu: Curie point depths of the island of Kyushu and surrounding areas, Japan, *Geophysics*, Vol. 53, No. 3, 481-494 (1985).
- Sasai, Y., T. Shimomura, Y. Hamano, H. Utada, T. Yoshino, S. Koyama, Y. Ishikawa, I. Nakagawa, Y. Yokoyama, M. Ohno, H. Watanabe, T. Yukutake, Y. Tanaka, T. Yamamoto, K. Nakaya, S. Tsunomura, F. Muromatsu, and R. Murakami: Volcanomagnetic Effect Observed during the 1986 Eruption of Izu-Oshima Volcano, *J. Geomag. Geoelectr.*, 42, 291-317 (1990).
- Sasai, Y.: Piezomagnetic field associated with the Mogi model revisited: analytic solution for finite spherical source, *J. Geomag. Geoelectr.*, 43, 21-64 (1991).
- 田中良和・橋本武志・増田秀晴・半田駿・歌田久司・笹井洋一：1991年雲仙岳噴火にもなう地磁気変化，日本火山学会1991年度秋季大会，(1991).
- 山本哲也・中川一郎・笹井洋一・歌田久司・下村高史：三宅島における全磁力測定，第2回三宅島集中総合観測報告，29-34 (1987).
- Yukutake, T., H. Utada, T. Yoshino, H. Watanabe, Y. Hamano, Y. Sasai, E. Kimoto, K. Otani, and T. Shimomura: Changes in the Geomagnetic Total Intensity Observed before the Eruption of Oshima Volcano in 1986, *J. Geomag. Geoelectr.*, 42, 277-290 (1990).