

三宅島における全磁力繰り返し観測

気象庁地磁気観測所 山本哲也, 山崎明, 中禮正明
東京大学地震研究所 笹井洋一, 歌田久司, 川瀬隆治
パスコ 中川一郎

Repetition Survey of Geomagnetic Total Intensity in Miyakejima

Tetsuya YAMAMOTO¹, Akira YAMAZAKI¹, Masaaki CHUREI¹,
Yoichi SASAI², Hisashi UTADA², Takaharu KAWASE²,
and Ichiro NAKAGAWA³

¹Kakioka Magnetic Observatory, JMA

²Earthquake Research Institute, University of Tokyo

³Pasco

1. はじめに

三宅島は東京の南約200kmに位置する、直径約8kmの島である。玄武岩質の活動的な火山からなる島で、昭和以後では、1940年、1962年、1983年と20年余の間隔で噴火を繰り返している。これら3回の噴火の形態はいずれも北東(1940年、1962年)または南西(1983年)山腹の割れ目噴火で(1940年の噴火では山腹割れ目噴火のあと、中央火口の噴火をともなった)、山腹から溶岩を流出した。噴火割れ目が海岸線付近まで延びたときには、マグマ水蒸気爆発をおこし爆発的な噴火となった。山腹割れ目からの噴火は約15時間から約30時間の短時間で終息した。

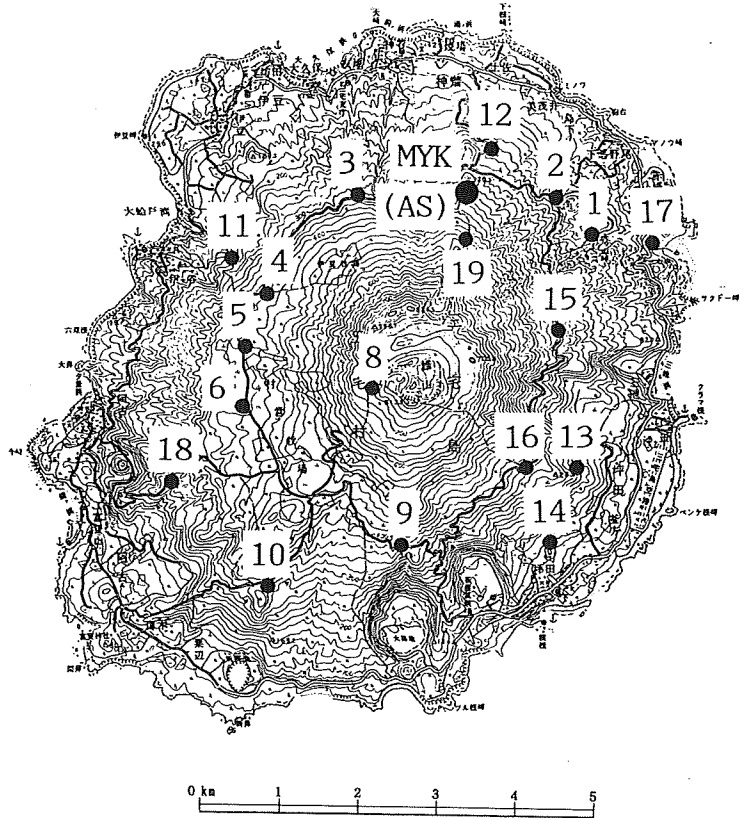
三宅島における地磁気観測は火山の状態、噴火の推移をしるのに有効な観測だとみなされている。それは、三宅島が玄武岩質の火山で、山体の帯磁の変化が大きな地磁気変化をつくると予想されるためである。近年の3回の噴火の際にも、それぞれ地磁気観測が行われた。噴火活動にともなう地磁気変化をとらえたとの報告もなされている^{1), 2)}。

三宅島の火山活動にともなう地磁気の時間的、空間的变化をとらえるために、われわれが実施している地磁気全磁力繰り返し観測は、1980年に始められた³⁾。この観測によって、1983年の噴火の際には、噴火後に顕著な地磁気変化が検出された。この変化の原因は山体の温度上昇による熱消磁と推定された。

三宅島は、1983年の噴火以後10年間静穏を保っている。静穏時には、噴火によって上昇した山体の温度が低下すると考えられ、温度低下は地磁気変化という形で現れると予想される。これを検出することが、現在の観測目的のひとつとなっている。

また、過去3回の噴火の間隔からすると早ければ10年後に次の噴火となる可能性があり、次の噴火にそなえて静穏時のデータを蓄積することも重要な目的である。静穏時のデータがなければ、噴火時の状況を正確に評価することはむずかしい。

われわれの実施している観測については、すでに多数の報告がある^{3), 4), 5)}。特に、



第1図. 三宅島の全磁力観測点の配置. 連続観測点および基準点: MYK(AS), 繰り返し観測点: 1-19.

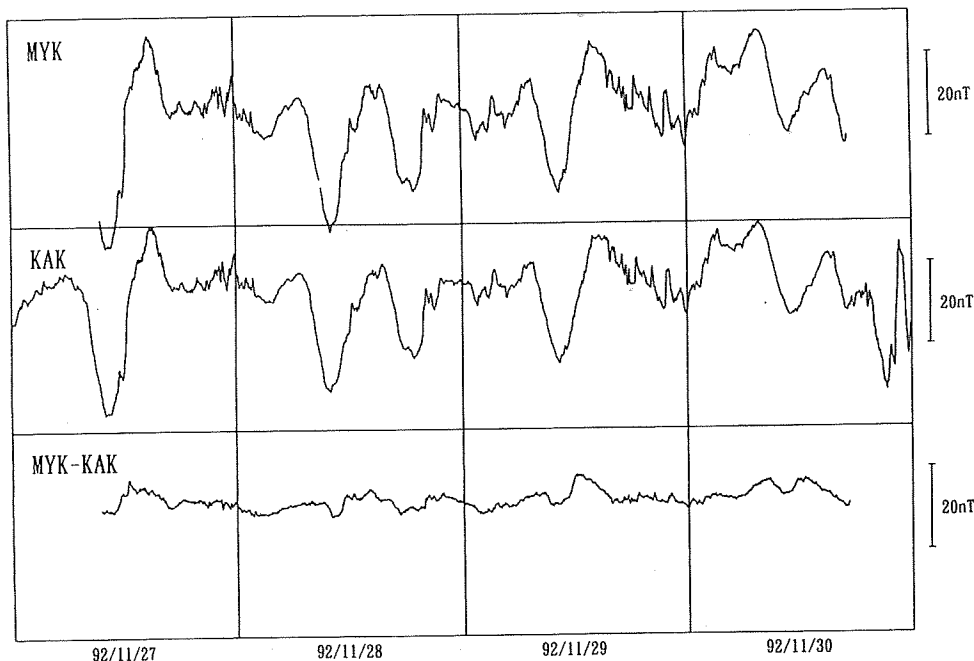
1984年3月以前の地磁気変化については中川ほか⁴⁾に詳細に述べられているので、ここでは、主として1984年以後の地磁気変化について報告する。

2. 方法

われわれは三宅島において全磁力繰り返し観測を実施している。全磁力観測は、測器の再設置誤差の影響が小さく、簡便な測器で高い精度がえられるので、繰り返し観測に適している。

この繰り返し観測は、1980年の火山集中総合観測を契機に始められた³⁾。第1図に示した全磁力観測点 (No. 1-No. 19) は、このとき地磁気観測所、地震研究所ほかの共同でつくられた。観測点は、三宅島中腹を一周している環状林道付近に多い。地面に打ち込んだ真鍮杭、合成樹脂杭を観測点としている。

各観測点では、杭上2.00mの高さで、1分間5回の割合で10分間全磁力を測定している。測定器はGeometrics社製のプロトン磁力計G816 (1980年-1990年), G856 (1992



第2図. 三宅島の連続観測点(MYK)と柿岡(KAK)の全磁力値, およびそれらの差(MYK-KAK).

年)を使っている。

1980年10月から1992年11月にかけて13回の全観測点または一部の観測点の全磁力観測を行った。1983年の噴火直後には、1ヶ月ほどの間隔で観測が行われたこともあるが、それ以外では2-3年に1回の間隔で繰り返し観測を実施している。

現在の観測点は1980年から現在まで12年以上にわたって利用しているが、さまざまな原因で観測ができなくなる点もあった。No. 7は、1983年の噴火で噴出したスコリアに厚くおおわれたため、1983年以後は観測が行われていない。No. 5は草が密生し、観測点がみつけれなくなった(1985年から)。No. 2は沢の拡大により、周囲の植林とともに流失した(1992年)。No. 6は牧場の中にあるが、整地によって擾乱をうけた(1992年)。三宅島のように温暖で降水量の多い場所では、2-3年に1度は保守をしないと観測点の維持がむずかしい。

全磁力繰り返し観測の結果は、地域的な永年変化や地磁気擾乱の影響を緩和するために、基準点との地点差としてあらわす。火山の地磁気観測では、火山活動を正確にとらえるために観測の基準点は火山活動の影響を受けない場所とすることが望ましい。しかし、三宅島では、1) 離島という条件のため付近に適当な場所がないこと、2) 海流(黒潮)のつくる磁場の影響があり、島外に基準点を設けた場合この影響をうけること、から島内に設置せざるをえない。われわれが基準点としているのは、雄山(三宅島の最高部、中央火口丘)の北北東のMYK(AS)(杭上2.065m)である。この点は、火山活動にともなう地磁気変化をうけると予想されるので、以下のデータにみられる各観測点の経年変化には、MYK(AS)自身の変化が含まれることに注意が必要である。

各観測点での測定は同時に行われるわけではないので、地磁気日変化や地磁気擾乱などのいわば短周期の地磁気変化の影響をとりぞく必要がある。このような地磁気変化は、電離層（上空60km以上）やさらに上空の電流に原因があり、それらの高度に比べて充分近い測点どうしであれば地磁気擾乱は同一とみなせる。三宅島の大きさは直径約8kmなので、短周期の地磁気変化の影響が島内で同じであるとみなし、連続観測点をMYK(AS)付近に設けて補正に使っている。連続観測点では繰り返し観測を行っている期間、地磁気全磁力毎分値を測定している。各観測点と基準点の差は、各観測点と連続観測点の観測値の差および基準点と連続観測点観測値の差から計算される。

連続観測の観測値の例を第2図に示す。図では、50nT近い地磁気変化（日変化やそのほかの地磁気擾乱）がみられる。柿岡で観測された全磁力値との差には、日変化の極小となる正午ころの数時間に、10nT近い変動がみられる。この図から柿岡の観測値で短周期の地磁気変化の補正を行ったのでは、10nT以下の地磁気変化を議論することはできないことがわかる。

1983年噴火の際の観測結果⁴⁾からすると、火山活動にともなう変化をとらえるには数nTの地磁気変化を正確に観測する必要がある。そのためには、島内の連続観測点の測定値を用いて、地磁気擾乱の補正をする必要がある。基準点（または連続観測点）と島内の各観測点の短周期の地磁気変化が実際にどの程度同一とみなせるのかは把握されていないが、過去の観測データのばらつきからすると短周期の地磁気変化の差は数nTよりは小さいだろう。

3. 結果

第3図に1983年10月の噴火直後から1992年11月までの各観測点の地磁気変化を示す。

1980年から噴火後の1984年3月頃までの地磁気変化については中川ほか⁴⁾に詳しいが、その後の地磁気変化を考えるために不可欠な要素なので簡単にふりかえる。

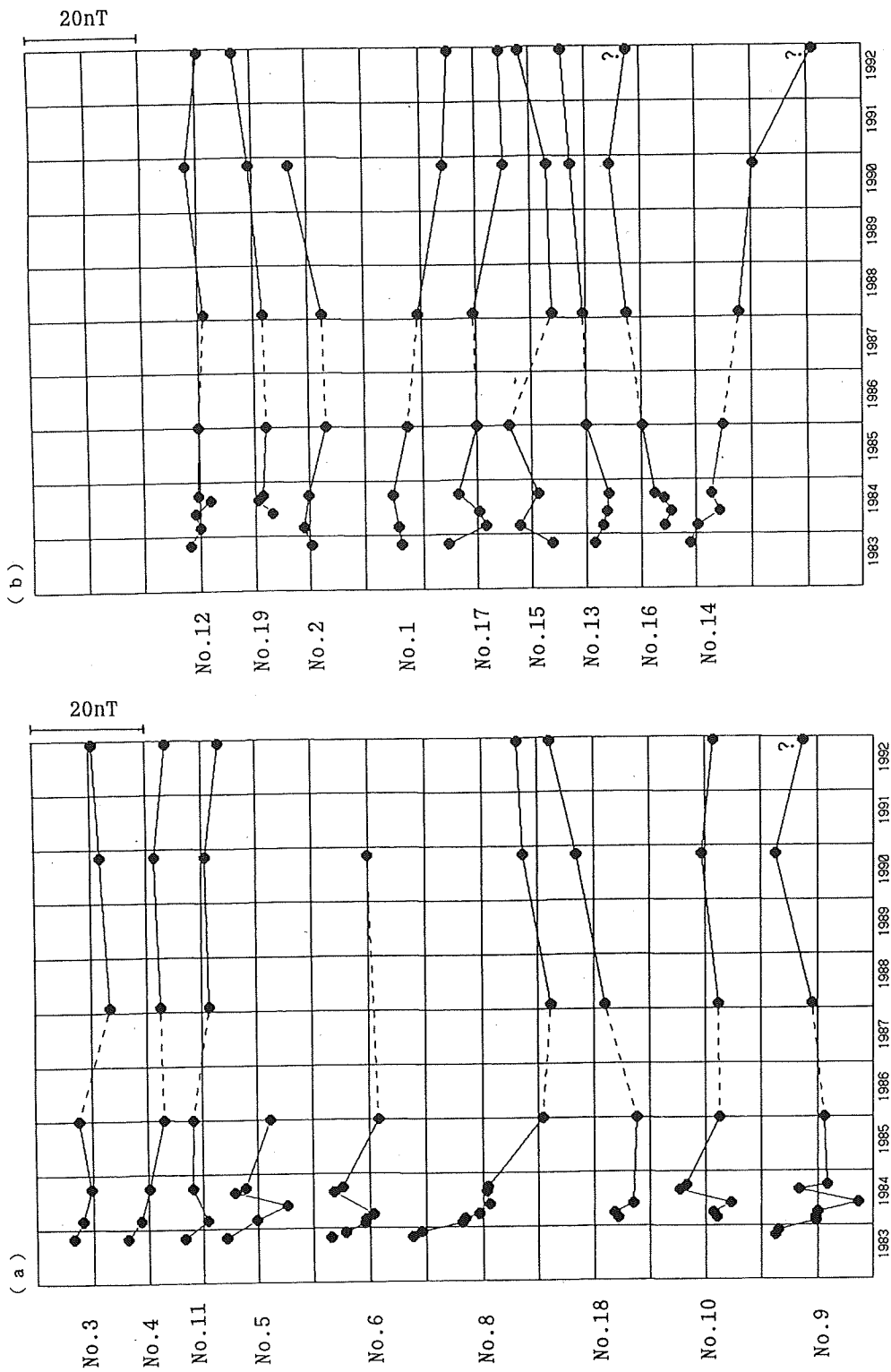
第3図からわかるように、1983年10月3日の噴火後、1984年3月頃までの期間に、いくつかの観測点で顕著な地磁気変化があった。変化が大きかったのは、No. 5, 6, 8, 9で、雄山の西部から南部にかけての地域だった。観測点によっては10nTをこえるような減少がみられた。顕著な減少は、噴火と同時に起こったわけではなく、噴火後数カ月かけて起こった。特に1983年11月から2ヶ月ほど期間の変化が大きかった。

ダイポールモデルで解釈すると、観測された1983年10月から1984年3月の地磁気変化をつくるためには、雄山北西部の海面下2.5kmに地球の磁場と逆向きのダイポールをおけばよいことがわかった。このダイポールは山体の消磁を意味する。ダイポールの位置が割れ目噴火をおこした島の南西部や雄山直下ではなく、雄山の北西部の地下になる点がこのモデルの特徴である。

この位置は、1983年の噴火の際は地震発生はなかったものの、1962年の噴火後に激しい地震活動があった場所である。このことから、消磁は、マグマではなく、おそらくはもっと粘性の低い熱水が、1962年の地震活動で破碎された領域へ浸透したために発生したのだと推定されている^{4), 6)}。

次に、1984年よりあとは、どのような地磁気変化があったのかをみる。

第3図の各観測点の変化では、1985年12月と1988年1月の間は、どの観測点でも破



第3図. 各観測点における全磁力値の経年変化. (a)は西側の観測点について、
(b)は東側の観測点について示した。

線になっている。これは補正をほどこしたために、この間のデータの連続性に多少の問題があることを表している。

補正前のデータでは、1988年以後の観測結果は、1985年12月の結果に比べてどの観測点でも20nT以上増加していた。その増加量は、基準点MYK(AS)に近い点でも、遠い点でも大差はなかった。基準点をのぞく20点近い観測点すべてで同程度の増加があったというのは不自然なので、基準点MYK(AS)だけがこの期間に何らかの原因で減少したと判断している。観測点全体の経年変化が、この期間もなるべくなめらかにつながるようにして推定したMYK(AS)の減少量は25nTだった。第3図では、1988年以後のデータにこの量を補正した。

基準点で、このような減少がなぜ生じたかは重要な問題である。基準点に数100mの距離のNo. 19, No. 2などでは減少がないとみられることから、減少が局所的なものであることは明らかである。火山活動との関連を完全に否定しきることはできないが、火山活動が静穏な時期に突然このような変化があるのはいかにも不自然である。観測の際にみまわった範囲では、基準点付近に減少の原因になりそうな人工擾乱の形跡はなく、また、周辺の地形に大きな変化もなかった。落雷がごく付近にあり、地面が帯磁した可能性はあるが、近くの落雷は確認されていない。このようにいくつかの可能性は考えられるものの、減少の原因は解明されていない。

第3図の1992年の結果ではNo. 9, 14, 16に?印がついている。これは、測定器の不調のため、測定精度が充分でなかったことをあらわしている。

1983年の噴火後、顕著な地磁気の減少が観測された事はすでに述べたが、第3図をみると、No. 5, 6, 9の全磁力は1984年2, 3月から8, 9月頃まで(おそらくは1984年の5月から8月頃まで)の期間には、一転して増加したらしい。

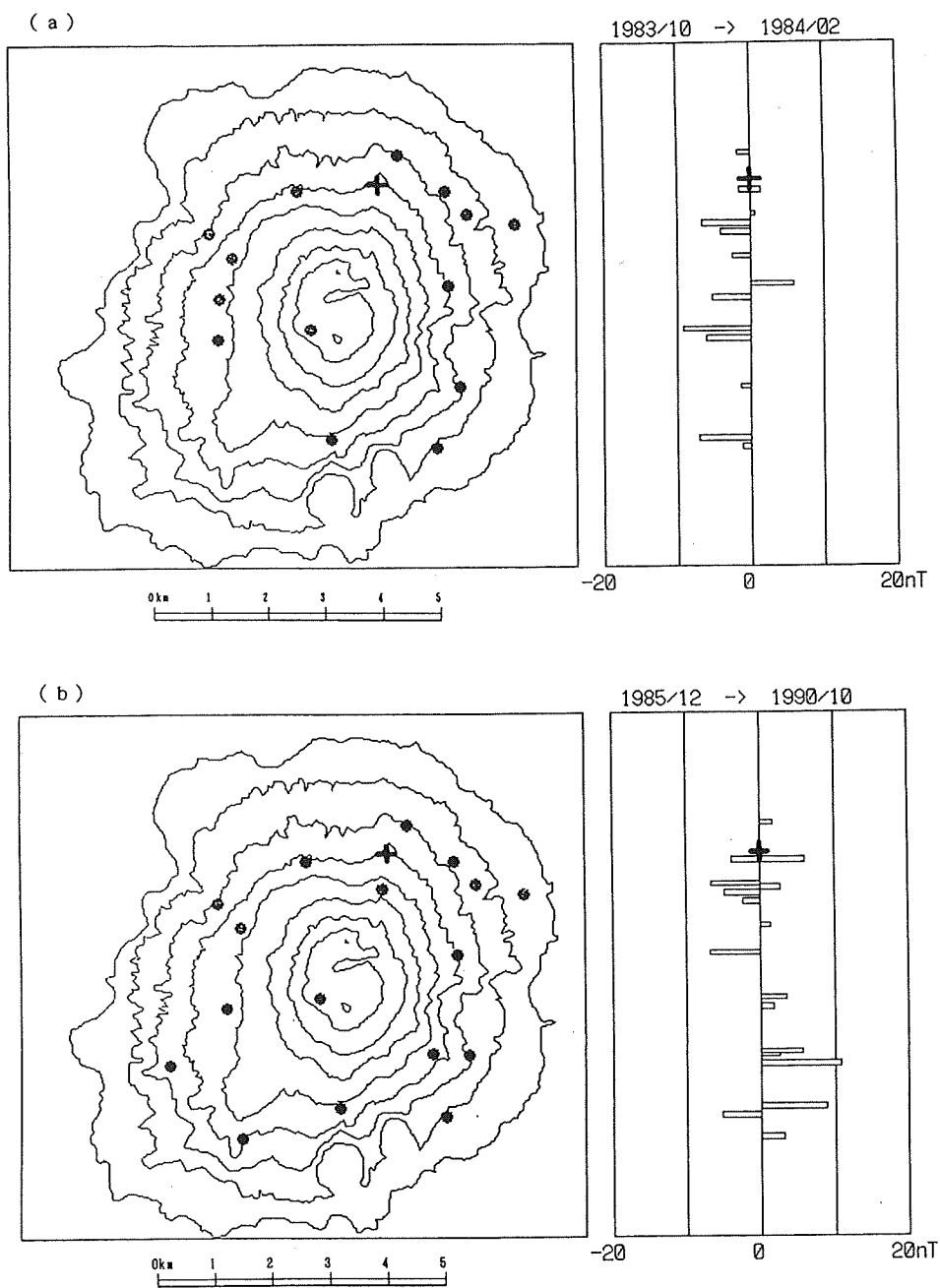
この増加は雄山の西部でみられ、増加のみられる観測点ではいずれも1983年10月から1984年2, 3月まで全磁力が大きく減少している。増加の結果No. 5, 6などでは、1984年8, 9月の値は1983年10月(噴火直後)の値とほぼ同じになっている。No. 10は、噴火直後の測定がないので断定はできないが、No. 5, 6と同様の様子がかがえる。

さらに興味深いのは、これらNo. 5, 6, 10などの観測点では1984年9月から1985年12月にかけて再び全磁力値が減少していることである。いずれの点でも1985年12月の値は、1984年5月(すなわち噴火後の減少で全磁力値が極小となった時期)の値とほぼ同じである。

これらの地磁気変化が示唆しているのは、1) 1984年の2, 3月から8, 9月にかけて、消磁とは逆のプロセスつまり帯磁があったこと、2) その後1984年9月から1985年12月にかけて再び消磁のプロセスがあったことである。すなわち、噴火直後から1984年2, 3月ころまでに加熱によって熱消磁した場所が、その後半年ほどの期間に帯磁し、さらに1年余りの期間に再消磁したようにみえる。

その中で、No. 8ではただ1点、例外的な地磁気変化が観測されている。No. 8の全磁力は1984年5月まで減少を続け、1984年の8, 9月までの期間にも増加することなく、1985年12月まで減少を続けた。1984年の前半に増加がなかったのは、周囲の観測点No. 5, 6, 9とは明らかに異なったふるまいで、この時期のNo. 8には、固有の変化が重なっていたのではないかと思われる。

歌田ほかによるELF-MTの結果⁷⁾には、この固有の変化をほのめかすデータが



第4図. 各観測点の南北方向の位置と経年変化の大きさ(右), および対応する観測点の位置(左). +印は, 基準点の値および位置を示す. (a)は1983年10月から1984年2月までの変化, (b)は1985年12月から1990年10月までの変化.

ある。歌田ほかによれば、No. 8 観測点のすぐ北側に位置する雄山の噴気域（雄山サウナ）付近の地下の比抵抗は噴火後低下し、低比抵抗の範囲も拡大した。雄山サウナの比抵抗が最も低下したのは1984年5月頃である。比抵抗の低下、低比抵抗域の拡大の原因は、雄山サウナ付近の地下に熱水が供給され、それが拡散したためとみられている。

熱水の供給で同時に熱消磁もおこったことは十分に予想される。比抵抗の低下域に限られたものであることから⁷⁾、熱消磁による地磁気変化の範囲も限られていて、この限られた範囲にNo. 8 だけが入っていたのではないだろうか。このような原因で1984年5月から8月に、No. 8 だけに固有の地磁気変化があった可能性は充分にある。むしろ、固有の変化という点では、基準点について述べたように、ごく近くの落雷による可能性も否定はできない。

No. 8, 9, 10など噴火後の減少が顕著だった点の全磁力は、その後の1985年、1987年頃からわずかに増加に転じているようにみえる。これは逆にいうと、噴火後の火山体内部の高温状態がこのころまで続いていたことを示すのだろう。

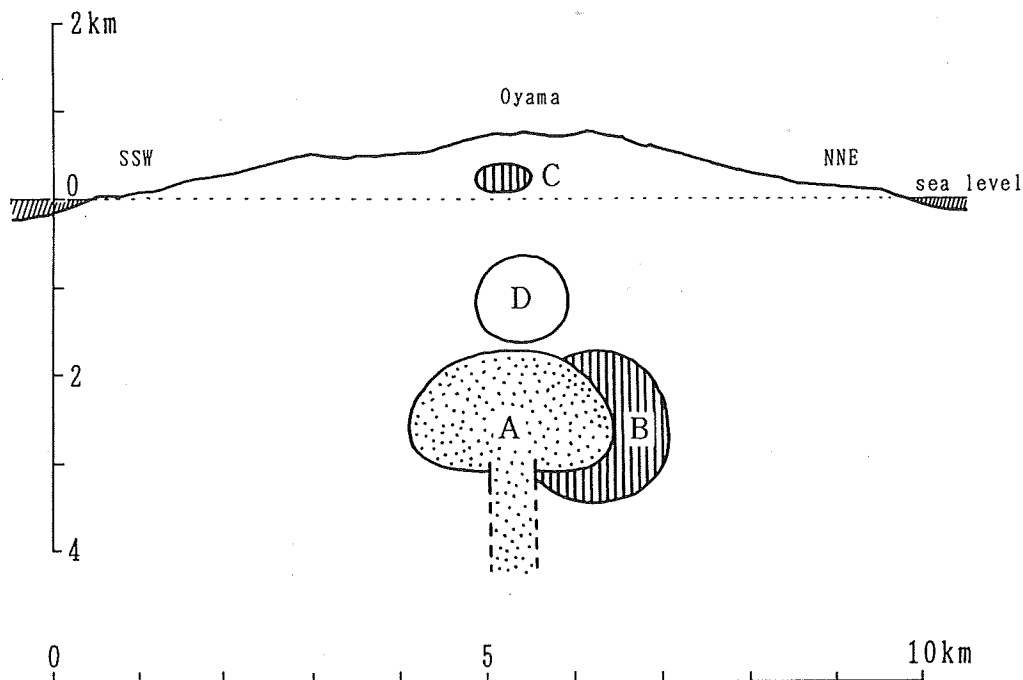
1985年以後の変化では、島の北東部の変化が目につく。No. 2, 19には増加傾向が、No. 1, 17には減少傾向がある。これらの点は1940年、1962年の山腹の割れ目噴火地点に近いのでこれらの熱的な影響で現在でも地磁気変化があるのだろうか。変化の原因はわからない。

1990年10月から1992年11月までの地磁気変化は、変化量も小さく傾向も不明瞭だ。この時期の地磁気変化には顕著な火山活動の影響はみられないので、このばらつきは2年の間隔を隔てた観測のノイズレベルを示している。ばらつきの大きさは、3 nT程度であり、われわれの観測では数nTの精度が充分に保たれているといえる。

地磁気変化が単一のダイポールによって島の広い範囲にもたらされるとすれば、地磁気変化の南北方向の分布をみるのが様子をうかがうのに都合がよい（第4図）。

(a) は1983年10月から1984年2月までの変化を示した図である。観測点全体に減少の変化があるのがわかる。この時期の変化は、中川ほかのダイポールモデルの変化に対応している。つまり噴火後、熱消磁が進んだとみられる時期の変化である。

それに対して(b)は、1985年12月から1990年10月までの約5年間の変化である。データのばらつきはあるが、全体としてみると島の北部で減少、島の南部で増加の傾向が明らかにある。これはダイポールモデルで考えると、地球の磁場と同じ向きのダイポールが地下に生じる場合、つまり山体が帯磁するときに期待される変化である。南部の増加が最大となる領域と北部の減少が最大となる領域の間隔は約3 km程度なので、ダイポールの深さは1.5 km、すなわち海面下1 km程度になる。第4図(b)からすると、ダイポールの南北方向の位置は雄山とほぼ同じになる。また、第3図(a)、(b)をみると島の西部でも、東部でも、南側の観測点では増加の傾向があり、ダイポールの東西方向の位置は、やはり雄山付近になるだろう。データのばらつきはかなりあるので厳密な位置を推定するのはむずかしい。ともかく全体として1985年12月以後、山体が帯磁しているのは確かなようだ。



第5図. 三宅島の南南西-北北東の断面に消磁, 帯磁域を示した模式図.
(笹井ほか(1984)から引用し, 加筆)

4. まとめ

われわれは, 1980年以来, 三宅島で全磁力繰り返し観測を行ってきた。ここでは, 観測によって明らかにされた地磁気変化を, 山体の消磁, 帯磁で解釈した。消磁, 帯磁のあったと推定される場所を第5図にまとめた。この図は笹井ほか⁶⁾を参照し, これまでに指摘した領域を加筆したものである。

(A)は1980年から1983年の噴火頃までに消磁した領域である。ここではこの領域に全くふれなかったが, 中川ほか⁴⁾で述べられている。

(B)は1983年の噴火後1984年5月ころまで消磁がすすんだ領域である。この領域は1984年5月から8月までの間に帯磁し, さらにその後1985年12月ころまでに再消磁したと推定されている。

(C)は雄山サウナ下の熱水溜りで, 噴火後新たな熱水が供給されたとみられる領域である。この領域では1984年の前半に消磁があった可能性があり, それがNo. 8に固有の地磁気変化をもたらしたとみられる。

(D)は1985年以後数年間にわたって帯磁がすすんでいるとみられる領域である。これら4領域には, あまり確かでないものも含まれるが, これを前提とした場合, 注目すべき点を指摘しておきたい。

第3図からもわかるように, 1985年以後のNo. 8の全磁力は周囲の観測点に比べて顕著に増加しているわけではない。(C)は1984年に消磁したとみられるが, その後の

数年間に著しく帯磁がすすんだとはみえない。一方、1984年5月から1985年12月までのELF-MTの結果では、雄山サウナ付近の比抵抗は増加しており⁷⁾、この時期に熱水の供給は止まっていたと思われる。にもかかわらず帯磁がすすまないとすれば、熱水が供給されなくなった後は高温でどちらかといえばドライな状態にあることになる。もしそうなら、この領域には、地上からの温度の低い水（たとえば降雨）が供給されて冷却を効率的にすすむような仕組みがないことになる。また、これに対応する地下構造があるはずである。

1985年以後、(D)の領域では帯磁がすすんだと推定されているが、そのためには、1985年以前は消磁された状態になければならない。この領域が1983年の噴火後に消磁したことを示すデータはない。1980年に行われた比抵抗の観測から雄山サウナの地下には熱水溜りの存在が知られており⁸⁾、1983年の噴火以前にも地下から熱を供給するメカニズムがあったとみられる。その供給路が雄山の直下にあったとすれば(D)はまさに供給路、または供給源の位置にあたる。したがって、(D)は1983年以前にすでに高温の領域であり、消磁していた可能性がある。1985年以後このような領域が帯磁に転じたとすれば、これに対応する変化が、今後雄山サウナ下の熱水溜りにおこるかもしれない。

観測された地磁気変化を地下の消磁、帯磁で解釈するとき、(B)の領域はめまぐるしく消磁、帯磁を繰り返す必要があった。しかも、それらは地震活動をとまわずにおこる。このような現象に明快な解釈を与えるのはなかなか困難であるが、少なくともこの領域に熱水、冷水を効率よく供給するようなメカニズムが必要となるだろう。実際の地下がどのような構造で、何がおこっているかを知るのは非常にむずかしい。ULF-MTなどの手法で、この領域の比抵抗およびその変化を知ることができれば、現象を理解する手がかりとなるかもしれない。

参考文献

- 1) Takahasi, R. and Hirano, K., Changes in the vertical intensity of geomagnetism that accompanied the eruption of Miyakezima, in 1940. Bull. Earthq. Res. Inst., 19, 82-103, 1941.
- 2) Kato, Y. and Muroi, I., The changes of the earth's magnetic field accompanying the volcanic eruption of Miyake-shima, Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, 15, 33-44, 1964.
- 3) 河村謙・大地洗・小池捷春・O. A. Veliz Castillo・行武毅・吉野登志男・歌田久司, 三宅島火山における地磁気観測, 三宅島集中総合観測報告(昭和55年), 31-42, 1982.
- 4) 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月三宅島火山噴火に関連した地磁気変化, 火山, 29, 特集号, S101-S112, 1984.
- 5) 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（昭和60年），29-34，1987.
- 6) 笹井洋一・歌田久司・中川一郎，電磁気観測から見た1983年三宅島噴火，月刊地球，6，716-724，1984.
- 7) 歌田久司・笹井洋一・下村高史・行武毅・山本哲也，三宅島における1983年噴火後2年間の電気比抵抗変化，第2回三宅島集中総合観測報告（昭和60年），35-46，1987.
- 8) 行武毅・吉野登志男・歌田久司・河村謙・大地洗・小池捷春・O. A. Veliz Castillo・田中良和・三品正明，三宅島火山における電気抵抗測定，三宅島集中総合観測報告（昭和55年），43-53，1982.