

三宅島における地磁気観測

藤井郁子、瀧沢倫明、大和田毅、仲谷清、角村悟（気象庁地磁気観測所）、山本哲也（気象研究所）、
笹井洋一、歌田久司（東京大学地震研究所）

1、はじめに

三宅島は伊豆・小笠原弧に位置する玄武岩質の火山島である。島のほぼ中央にある雄山は、1940年、1962年、1983年と約20年おきに噴火を繰り返してきたため、21世紀初頭に次の噴火活動があると予想され注目を集めていた。実際に、2000年6月26日に山頂直下で群発地震がおこり始め、翌27日には島の西側の海底にマグマが噴出するに至って、現在も続く2000年の噴火活動が始まった。その後、7月8日の山頂噴火と火口陥没を契機として8月中旬頃まで陥没火口の拡大が続き、8月29日の火砕流を伴う噴火を経て、9月頃から現在まで大量（平均1日3万t）の火山ガス（主にSO₂）放出が続いている。今回の噴火は前回までの割れ目噴火とは大きく異なっており、現象の解明が急がれている。

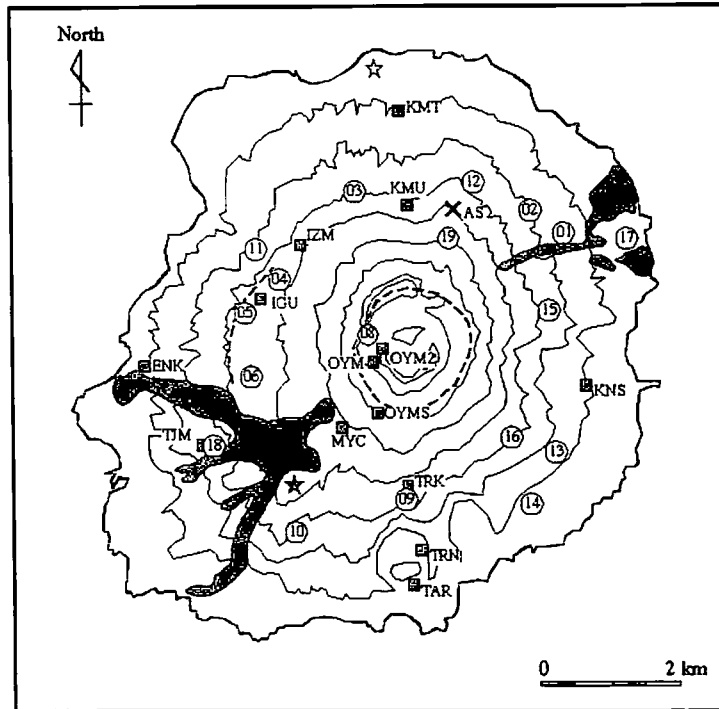
1940年と1962年の噴火時に地磁気変化が見られたことが報告されているが（Takahashi and Hirano, 1941; Kato and Muroi, 1963）、本格的な三宅島の電磁気学的な調査が始まったのは1980年の集中総合観測以降のことである。以来、全磁力あるいは磁場3成分（河村他、1982; 中川他、1984; 笹井他、1984, 1996; 山本他、1987, 1993; 三品、1991; Sasai et al, 1997）、VLF/ELF-MT法による比抵抗分布（行武他、1982; 歌田他、1984a, b, 1987）、自然電位（西田他、1996; Sasai et al, 1997）、長基線電位差（Sasai et al, 2000）、CSAMT/AMT法による比抵抗分布（Zlotnicki et al., 2000）の調査が行われ、噴火プロセス解明に寄与している。これらの観測結果と総合的な解釈はSasai et al (2000)にまとめられている。

地磁気観測所では地震研究所と共同で、1980年から三宅島において地磁気観測を行ってきた（河村他、1982; 中川他、1984; 山本他、1987, 1993）。全磁力繰り返し観測では1983年と2000年の噴火とその間の変化を観測し、地磁気3成分観測では長周期磁場変動を観測したので、ここに紹介する。

2、観測

三宅島では火山活動監視のためのプロトン磁力計による全磁力観測網が整備されている。地磁気観測所による全磁力繰り返し観測点（丸囲み数字）と東大地震研究所による全磁力連続観測点（■印）の位置を第1図に示す。繰り返し観測は1980～2001年に16回実施され、19観測点が島全体に分布している。最近では、噴火前の1999年12月と噴火活動中の2000年8月に観測を行ったが、目印が確認できなかつたり付近の通行ができなかつたりして、それぞれ7点と8点の観測に限られた。観測点にはプラスチック杭が埋められており、その直上にセンサーを設置して観測することで再現性を確保している。1観測点につき、2000mmのセンサー高で約10分間、1400mmのセンサー高で約2分間、10秒サンプリング計測を行い、正分とその前後2個ずつ計5個の観測値の平均から毎分値が計算される。20年の間には7観測点が観測環境の変化などから消失あるいは測定値のギャップを示した。主なものでは、1990年まで島内の基準点として使われていたアンテナステーション（AS）が環境変化のため観測続行不能となり、1990年10月以降は柿岡を基準点としている。連続観測点は1995年に整備され毎分計測が行われている。TRK、TJM、IGUは繰り返し観測点の近傍（数10～300m）である。

また、深部構造の解明を目的としてフラックスゲート磁力計による地磁気3成分観測も2度行われた。河村他（1982）は1980年10月1～7日に研修センター（★印）において、H_x（フラックスゲートの北向き）、H_y（フラックスゲートの東向き）、H_z（鉛直下向き）成分の変化分を記録した。2000年8月8～11日には、島の北端の海岸沿いにある三宅島測候所（☆印）でH_x、H_y、H_z成分の変化分の毎秒値が得られた。



■ Continuous observation sites ✕ Reference site till 1990
 ⑩ Repeated survey sites and number ☆ ☆ flux gate magnetometer

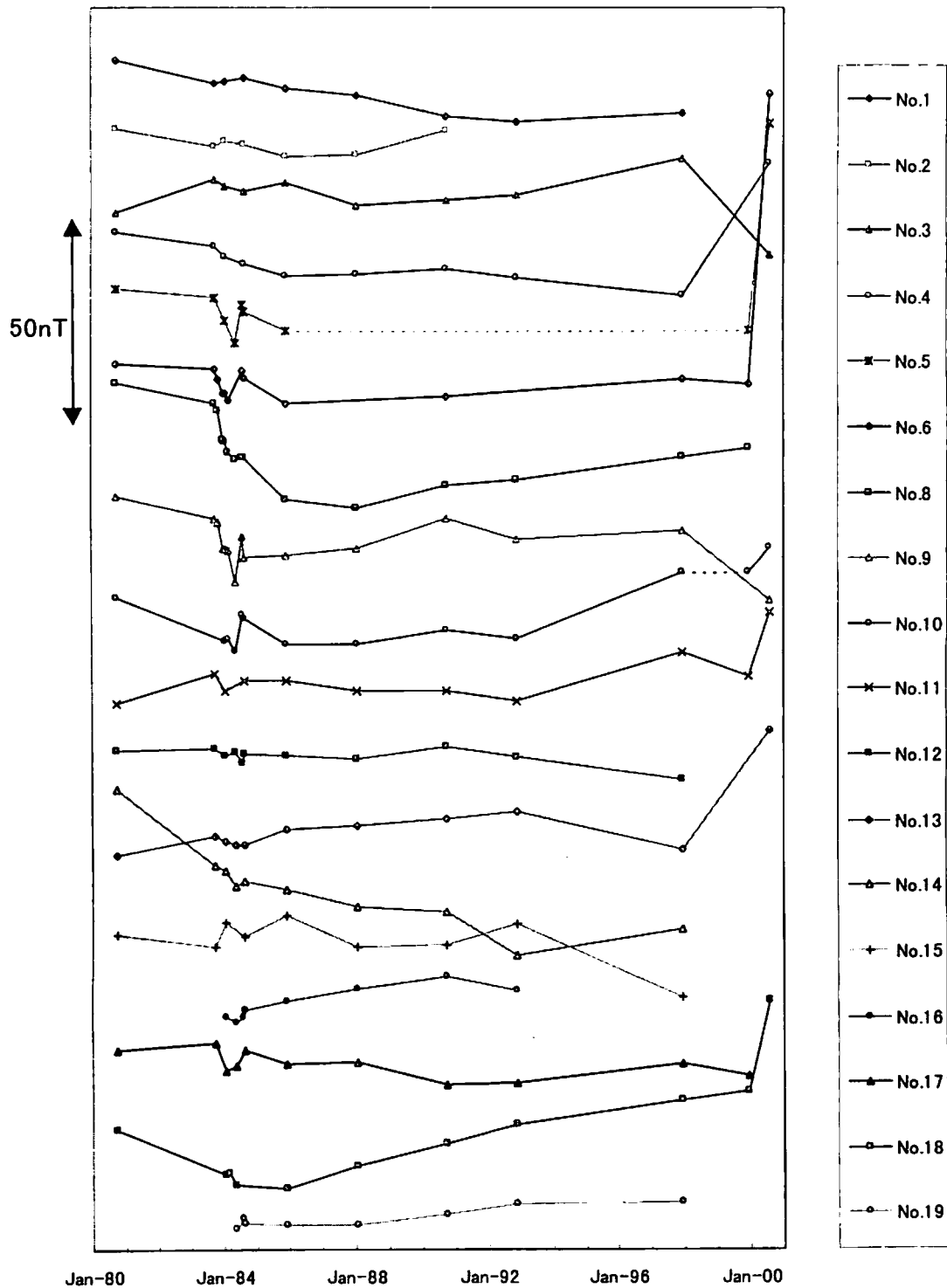
第 1 図 全磁力および地磁気 3 成分観測点配置図

3. 全磁力観測の結果

第 2 図に繰り返し観測点における 1980-2000 年の全磁力経年変化を示す。センサー高は 2000mm で、1990 年までは AS 点、それ以降は柿岡を基準とした時間変化である。AS 点と柿岡の地点差は補正してあるので、基準点を変えたことによるギャップは現れていない。しかし、三宅島と柿岡は約 250km 離れており、永年変化に差があれば補正されずに残っている可能性がある。Sasai et al. (2000) は 1995-2000 年の連続観測点と柿岡の差、八丈島連続観測点と柿岡の差を調べ、三宅島のほとんどの観測点で差の経年変化は -1nT/year 程度、八丈島ではほぼ 0nT/year であることを示した。そこで、第 2 図の 1990 年以降の変化についても -1nT/year より十分大きい変化ならば議論の対象となると考えられる。

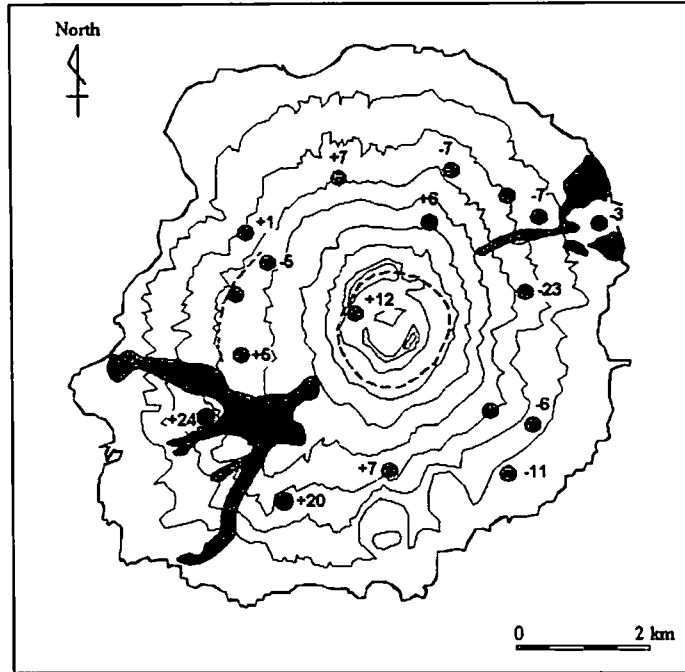
第 2 図を見ると、1983 年 10 月の噴火後数カ月間にわたる大きな変化、1985 年～1999 年までの緩やかな変化、1999 年 12 月～2000 年 8 月の噴火に伴う急激な変化、という 3 種類の変化を示す時期に分けられることがわかる。このうち、1983 年噴火～1984 年 10 月の変化については中川他 (1984) が、雄山北西部の海面下 2.5km で消磁がおこったとするモデルを提出している。その領域は 1962 年噴火の時の群発地震震源域にあたり、既に破碎が進んでいたため噴火後に熱水が浸透したと解釈された。山本他 (1993) はさらに、山頂カルデラ直下の浅部帯水層が 1983 年噴火～1985 年に消磁し、続いて 1992 年まで緩やかに帯磁したこと、雄山直下の海面下 1km の閉塞した火道とみられる領域で 1985-1992 年にかけて帯磁が進んでいると報告した。その後、連続観測データを用いて、Sasai et al. (2000) は OYM (no.8 の近傍) と TRK (no.9 の近傍) が 1996-1998 年に柿岡に対してそれぞれ単調に増加、減少していることを示し、雄山南西部のカルデラリム周辺の浅部 (海拔 0 m) に新しい消磁域があると推定した。

1992～1997 年に繰り返し観測が行われなかったため、山本他の指摘した回復過程とみられる帯磁変化がその後も続いたのか、あるいは、Sasai et al. が指摘したように新たな消磁域が浅部に出現し次の噴火の準備過程が始まったのか、第 2 図から判断するのは難しい。そこで、1983 年と 2000 年の 2 回の噴火間の総合的な変化を調べてみることにした。噴火に伴う急激な変化がないと思われる 1985 年から 1999 年までの線



第2図 全磁力繰り返し観測値の経年変化
 (1990年まではアンテナステーション(AS)基準、1990年以後は柿岡基準)

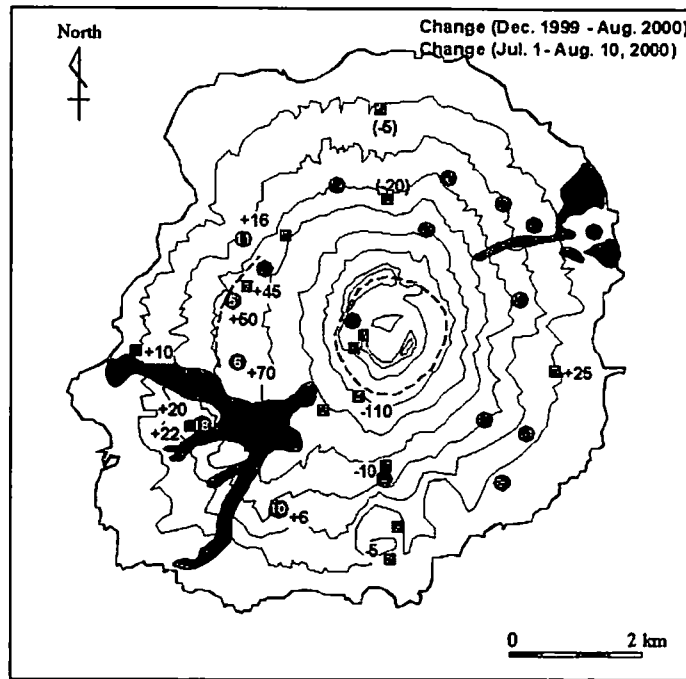
繰り返し観測点の経年変化を第3図に示す。1999年の観測値がない測点については、1985-1997年の値から外挿した。第3図を見ると、三宅島を東西に分けるように経年変化の正負が分布している。また、過去の噴火でマグマが噴出した割れ目周辺で、比較的大きな値を示していることも注目される。90年以降に柿岡を基準としたための永年変化の補正誤差など、精度をあげるためには検討すべき課題はまだ残っているが、第3図から噴火の間に全磁力変化が元にもどるのではなく片寄りがあったことはほぼ示されたと考えられる。



● Repeated survey sites
第3図 1985-1999年の全磁力変化量の分布（単位 nT）

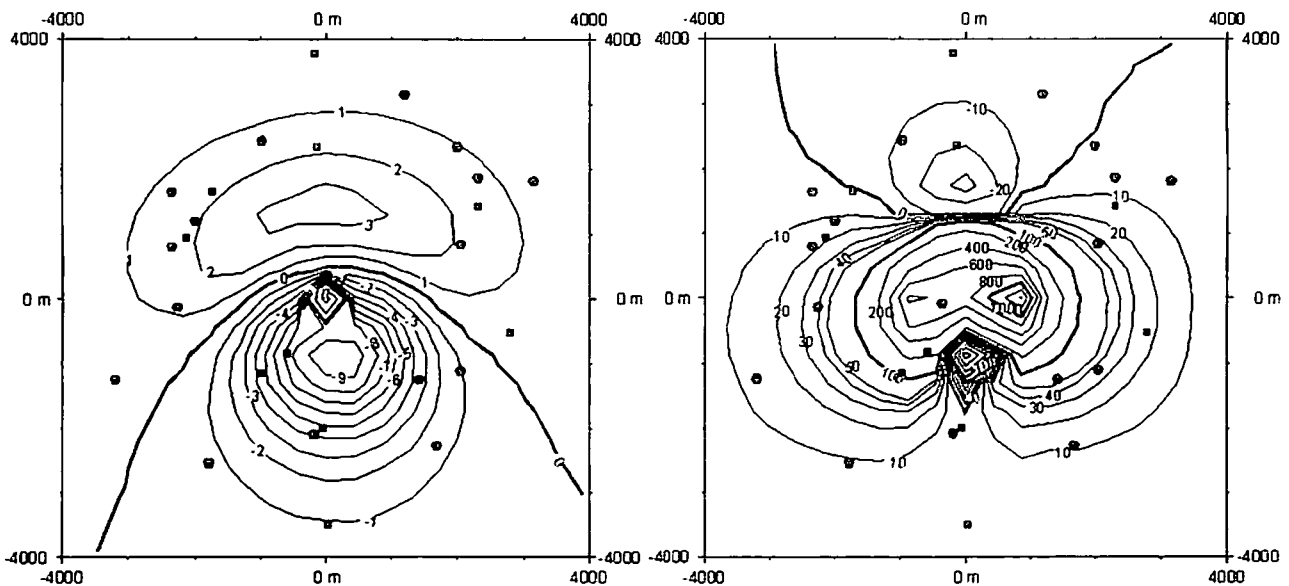
次に、1999年12月～2000年8月の急激な変化について検討する。この期間の変化量はこれまでに観測された変化に比べて非常に大きいものであり、噴火に伴う変動を反映していると推測される。これらの変動がいつ起きたのか調べるため繰り返し観測値と近傍の連続観測点の値とを比較したところ、7月1日～8月10日までを選ぶと、IGUの変化+45nTとno.5の+50nT、TJMの+20nTとno.18の+22nTというように、近傍にある測点同士の値がほぼ一致することがわかった。そこで、繰り返し観測で得られた1999年12月～2000年8月の変化は、実際には7月1日～8月10日の変化であると仮定して、その間の全磁力変化量を繰り返し観測と連続観測の双方から計算した（第4図）。

第4図を見ると、雄山を中心として南北に負の値、東西に正の値という特徴的な分布を示している。正負いずれも、雄山山頂に近いほど絶対値が大きい。この変化が熱消磁である可能性を確かめるため、雄山火口下の海面下1kmでダイポール型の熱消磁（磁化10A/m、体積 $4 \times 10^7 \text{m}^3$ ）が起こった場合に地表で観測される全磁力変化を計算した（第5図左）。これは7月1～7日までの全磁力変化を説明すると考えられているモデルである。計算値は、北に正、南に負の領域が広がるダブルローブ型であり、第4図の観測値とは大きく異なる分布傾向を示す。ダイポールの深さを変えて地表での熱消磁のパターンを調べてみたところ、ダイポールの位置が深いと第5図左のようなダブルローブ型になるが、浅くなるにつれ第4図に見られるような北側に負があるパターンを示すようになることがわかった。雄山火口下の海拔400mでダイポール型の熱消磁（磁化10A/m、体積 $6.7 \times 10^8 \text{m}^3$ ）を仮定した場合、OYMSの大きな実測値（-110nT）も含め、実測とモデルとの差が8nT以内（no.5だけ14nT）になる。



- Continuous observation sites
- ⓐ Repeated survey sites and number

第4図 繰り返し点における1999年12月-2000年8月の全磁力変化量と連続点における2000年7月1日～8月10日の全磁力変化量の分布（単位 nT）



第5図 ダイポール型（左）と円錐台型（右）の熱消磁モデルにおける地表での全磁力変化量（単位 nT）。ダイポールは、雄山火口（座標原点）下の海拔下1 km に磁化 10A/m、体積 $4 \times 10^7 \text{m}^2$ のものを置いた。円錐台は、雄山山頂部（座標原点）の上底半径 696m、下底半径 482m、高さ 450m（体積 $2.2 \times 10^{11} \text{m}^2$ ）の領域を指し、磁化は 10A/m。●は繰り返し観測点、■は連続観測点。

観測期間中に浅部で起こった現象を考えてみると、雄山山頂の火口の陥没がある。7月8日に陥没が発生し、観測期間中、断続的に火口の落ち込みが続いていた。この陥没現象を磁性物体の消失と考えれば、浅部の熱消磁としてとらえられるはずである。そこで、7月8日～8月2日までの陥没地形を円錐台（上底半径 696m、下底半径 482m、高さ 450m、体積 $2.2 \times 10^{11} \text{m}^2$ ）で近似し、その部分が消磁した場合に地表で観測

される全磁力変化を計算した（第5図右）。第5図右の分布のパターンは第4図とよく似ており、火口をはさんで南北の負、東西の正が再現されている。値も OYMS 以外は約 10nT 以内の差に納まっており、山頂陥没が全磁力変化に大きく関与したことを示唆すると考えられる。

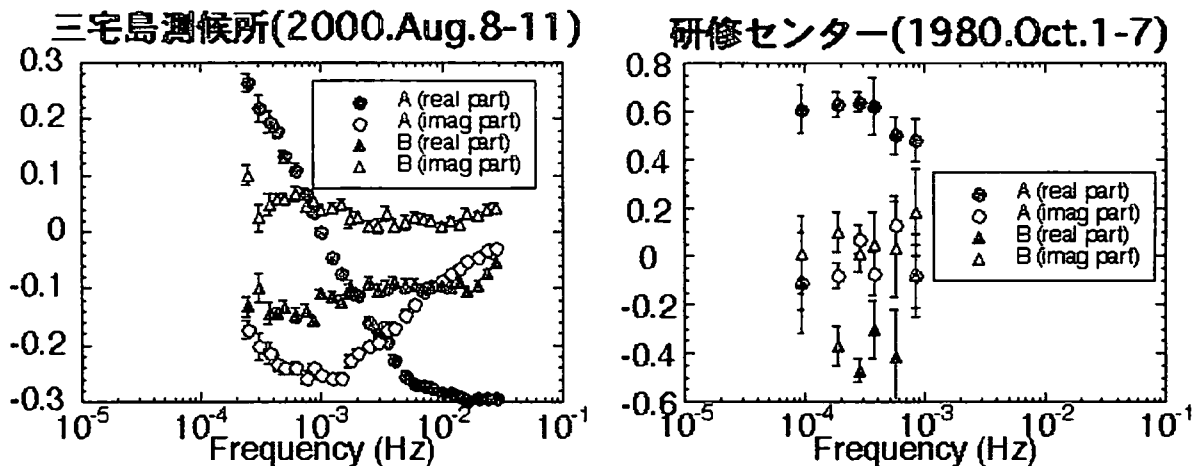
円錐台モデルでうまく説明できなかった OYMS はコンターが密になっている所にあり、少し位置が変わると値が大きく変わるのでそれを定量的に評価するのが難しいが、数 10nT のオーダーの差があると見てよいただろう。OYMS のずれの原因として、1つにはモデルの問題があげられる。ここでは陥没を磁性物体の消失としたが、実際には移動の可能性もある。移動が観測点から遠ざかる方向であること、山体内部の温度次第では移動した物体の作る磁場は小さくなること、など第一次近似的には消失と表現することを支持する考え方もあるが、定量的に今回の噴火を解明するためには今後検討する必要があるだろう。2つ目に考えられる原因として、現象が複合的である可能性がある。連続観測点のデータを見ると、全磁力変化の推移は観測点によって異なっており、時間と共に全磁力変化を起こす原因が変わっていったことを強く示唆している。繰り返し観測のデータは積分値であるため、いくつかの現象が重なった場合、どのようなモデルが最適とみなされるのか注意深く検討する必要がある。

4、地磁気3成分観測の結果

地磁気3成分の変化量 ΔH_x 、 ΔH_y 、 ΔH_z には経験的に

$$\Delta H_z(\omega) = A(\omega)\Delta H_x(\omega) + B(\omega)\Delta H_y(\omega)$$

の関係が成立することが知られている。A と B は地磁気変換関数と呼ばれ、周辺の電気伝導度の不均一構造を反映した量で、不均一の境界に近いほど、あるいは、不均一の度合いが大きいほど、絶対値が大きくなる。一般に、角周波数 ω が小さいほどより深い構造まで影響するので、 $A(\omega)$ 、 $B(\omega)$ を多くの ω で計算することで浅部から深部までの構造を推定することができる。なお、三宅島で計測された磁場の水平成分は地理的な北、東向きではなく、設置時に ΔH_y を最少にするように置かれたフラックスゲートの軸の向きであることに注意する必要がある。三宅島周辺の主磁場の偏角はおよそ数度程度であるので、周囲の磁化構造にもよるが、真北から数度程度ずれている可能性はある。

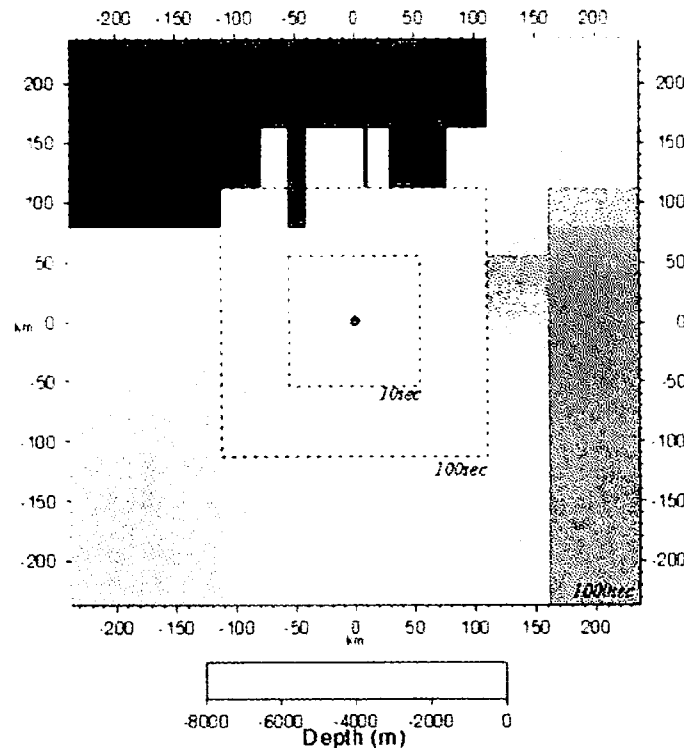


第6図 2000年（左）と1980年（右）のデータから求められた地磁気変換関数

第6図に1980年と2000年のデータから計算された地磁気変換関数AとBを示す。2000年の観測では、期間が短く並行観測もないことから、AとBの時間変化は求めず、全期間を通じた平均的な値を求めることにした。Chave and Thomson (1989)によるロバスト付き変換関数計算プログラムを用いて、リモートリファレンスを使わずに約2.5日のデータから周期4096-37秒で安定したAとBを得ることができた。Parkinson表示のinduction vector (-Re(A), -Re(B))を考えると、東向き成分は周期を問わずほぼ一定に留まっているが、北成分は30-200秒ではほぼ同じ値を示した後、長周期になるにつれ方向を反転していくのが

わかる。これは Honkura (1972)の結果と調和的である。1980 年のデータから得られた A と B は河村他 (1982) によった。2000 年のものとは場所が違うので比べられないが、Honkura (1972)とはおおよそ調和的であるので一般的な傾向は同じのものであると推測される。1980 年と 2000 年ではデータの質や解析手法などが違うため地磁気変換関数の質に差があるため、ここからは主に 2000 年の地磁気変換関数を用いてモデリングを行い、1980 年のものは補助的に扱うことにする。

得られた地磁気変換関数を説明する電気伝導度構造を求めめるため、スタaggerドグリッドを用いた有限差分法のプログラム (Mackie, et al, 1994) による forward 計算を行うことにした。仮に計算対象を電気伝導度 0.01S/m の物体で興味のある周期が 10-4000 秒とすると、表皮深さは 16-318km になる。これまで調べられていた ELF、VLF 帯の電気伝導度構造より深い構造を反映することが推察される。



第7図 三宅島を中心とする 473km x 473km の範囲の海底地形のモデル化。グリッド内の海深データの平均をそのグリッドでの海深とした。黒は陸地を表す。点線で囲ってある範囲は、その脇に示してある周期の計算を行う際に必要な計算範囲を示す。

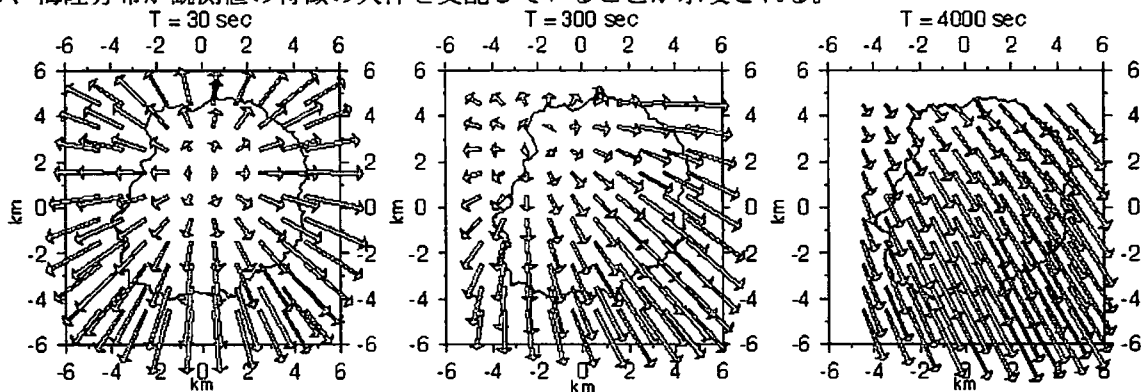
三宅島の電磁場には非常に大きな離島効果が現れることが知られており (Honkura, 1972, 1973)、海底地形の影響を正しく見積もることが極めて重要と考えられる。そこで、できるだけ正確な海底地形を取り入れること、影響を与える地理的範囲を正しく見積もることを目指して、30" x 45" 間隔の水深データを取り入れた海と陸のモデル化を行った (第7図)。まず、三宅島を中心とする 473.5km(X) x 473.5km(Y)の水平面内を 42(X) x 42(Y)個のメッシュにわけ、三宅島を含む中央の 12km x 12km の範囲では 1km x 1km の等方メッシュを用い、その外側は中央から離れるにつれ間隔を粗くする。隣のメッシュに比した拡大率は、20km x 20km の範囲で 1.2 倍以内、それ以外では 1.5 倍になっている。計算領域を決めるにあたっては、三宅島を含む中央の 12km x 12km の範囲の電磁場の計算値が安定するまで、領域の大きさを変えながらモデル計算を繰り返した。その結果、第7図に示したように、周期 10 秒で 102.8km 四方、周期 100 秒で 223.5km 四方、周期 1000 秒で 473.5km 四方が必要であることがわかった。次に、各メッシュ内での平均海深を計算し、そのメッシュでの海の深さとした。

鉛直方向は 24 層に分けて海拔 0 から深さ 231km までを表現した。231km 以深では最下面の構造が半無

限に続いていると仮定している。層の厚さは最上層の 100m から始まって、深くなるにつれ倍率 1.5 倍で間隔が広がる。ただし、深さ 4km までは間隔が 500m より大きくならないようにしている。

まずは、海底地形の影響を調べるため、計算領域内に海水と陸地の 2 種類しかない単純な場合を想定する。一つのグリッドに海水と陸地が混在する場合は、コンダクタンスを保存するように平均の電気伝導度を与える。海水の電気伝導度が 4S/m、陸が 0.01S/m の場合を標準モデルとし、標準モデルに対して一つずつ変更を加えてその影響を調べる方法をとった。

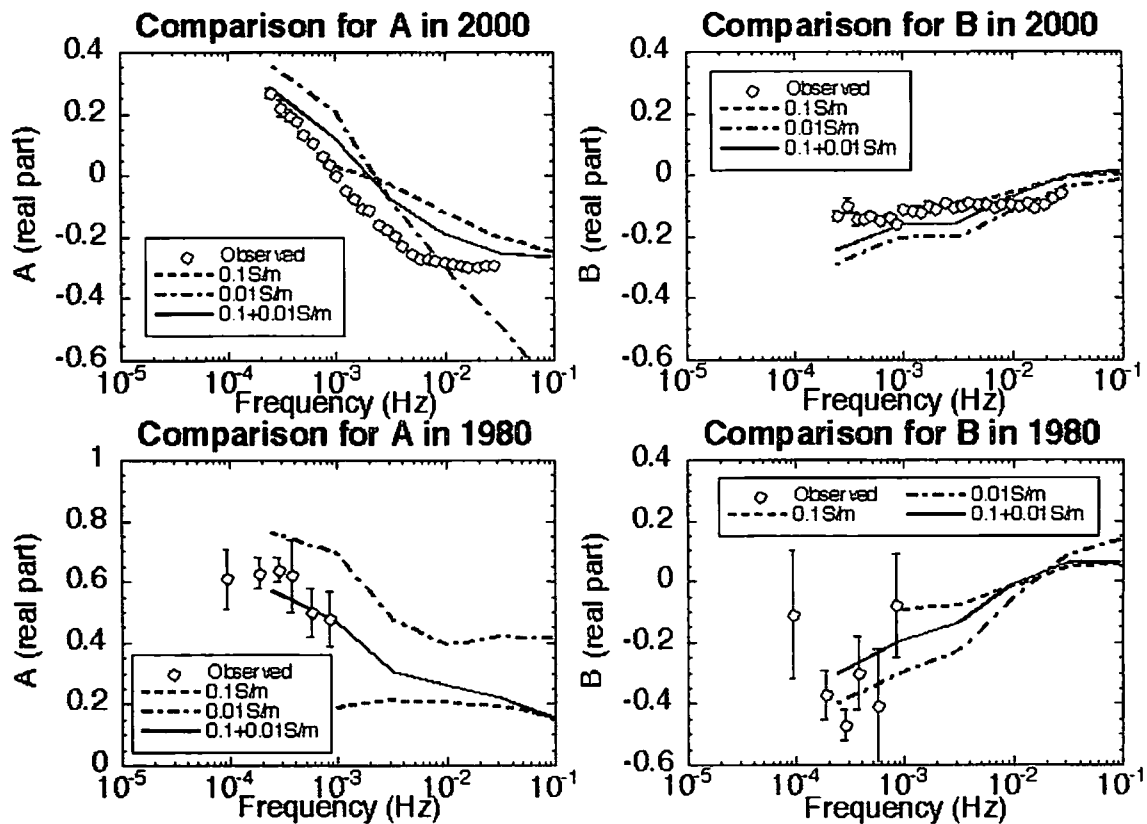
標準モデルの十分上空に X あるいは Y 方向の磁場ソースがあるとき、地表面で観測される電場 2 成分、磁場 3 成分を計算し、地磁気変換関数を求めた。標準モデルの induction vector (白矢印) と観測された induction vector (黒矢印) を第 8 図に示す。モデルの induction vector は、周期 30 秒ではほぼ海岸に直行する方向を向き、海岸からの距離が遠くなるにつれ大きさが減少するという典型的な海岸線効果を示す。周期が長くなるにつれベクトルは回転し始め、海底斜面の傾斜の大きい方を向くようになる。観測された induction vector と比較すると、この単純なモデルがベクトル変化の傾向をおおまかに説明していることがわかり、海陸分布が観測値の特徴の大枠を支配していることが示唆される。



第 8 図 海水を 4S/m 一様、岩石を 0.01S/m 一様とした単純な電気伝導度モデルを用いて計算したインダクションベクトル (白矢印) と 2000 年に観測されたインダクションベクトル (黒矢印) の比較

第 9 図では観測点が含まれるグリッドでの A、B の実数部の値を観測値と比較した。2000 年の観測に注目すると、induction vector が回転する部分はよく説明できているが、短周期側 (30-200 秒) で計算値のほうが実測値よりベクトルが大きいことがわかる。そこで、短周期で induction vector を短くするために、陸地の電気伝導度を 0.1S/m にして海水と陸地の電気伝導度の比を下げた場合を第 9 図に重ねて示した。海岸線効果が押さえられるため短周期側で小さな induction vector にすることはできるが、同時に induction vector の回転も弱くなり、観測値とは食い違ってしまう。1980 年の観測の場合は、陸地の電気伝導度が 0.1S/m では induction vector が実測に比べて小さく、0.01S/m では大きい。これらの結果から、短周期側で標準モデルより高電気伝導度となるようなモデルが必要であることがわかった。

観測点が 2 点しかないので単純なモデルを考えることにし、2 種類のモデルについて計算を行った。第 1 のモデルは浅い部分を全体的に高電気伝導度にした場合、第 2 のモデルは浅いところに局所的な高電気伝導度領域がある場合である。第 1 のモデルでは、陸地のうち深さ 3.5km までが 0.1S/m、それ以深が 0.01S/m になっている。結果は第 9 図に実線で示したようになり、2000 年だけでなく 1980 年の観測値についてもおおまかな傾向を説明できていることがわかる。第 2 のモデルとしては、標準モデルの雄山の下にマグマ (1S/m) を挿入した。上面 2km 四方、下面 6km 四方、高さ 1.6km の四角錐台というマグマだまりとしては非常に大きい体積を持つマグマを仮定して海拔 0m から下に置いてみても、観測点の位置では標準モデルの結果とほとんど変わらなかった (図はここには示さず)。表皮深さに比べるとこの四角錐台の大きさは十分小さいと考えられ、マグマの挿入で観測値を説明しようとするさらには巨大な体積を想定しなければならないということになり、現実的ではない。



第9図 各観測点（上：2000年・三宅島測候所、下：1980年・研修センター）での地磁気変換関数 A（左）と B（右）の実数部について、実測（白丸）とモデル計算値の比較

2点の観測から断定はできないが、今回の結果は、三宅島の磁場が周期 30-4000 秒では周辺の海陸分布だけでおおまかに説明できること、陸地の浅い部分（3.5km 以浅）が玄武岩としては比較的高めの電気伝導度（0.1S/m）を持つ可能性を示している。これまでに得られた表層部（深さ～1km）の比抵抗分布では、島の南部と北東部の海岸から 2km 以内（標高 400m 以下）の地域で海面下 200-300m から下に高電気伝導度層（0.1S/m）が存在することが知られており、海水の浸透と解釈されてきた（例えば、Sasai et al, 2000）。今回得られたモデルは、この高電気伝導度の傾向が北部でも見られ、かつ上部地殻の広い範囲に及んでいる可能性があることを示しており、三宅島の構造を考える上で新しい情報となると考えられる。また、1980年に観測が行われた地域は 1983 年の割れ目噴火の溶岩で隙間の多い状態であるため、最近の調査では表層部に高電気伝導度層が見られないとされている。第9図のモデル結果から、この地域でも前回の噴火以前には海水の浸透が進んでいた可能性も示された。

参考文献

- Chave, A.D., and D.J. Thomson, Some comments on magnetotelluric response function estimation, J. Geophys. Res., 94, 14215-14225, 1989
- Honkura, Y., Geomagnetic variation anomaly on Miyake-jima Island, J. Geomag. Geoelectr., 23, 307-333, 1972
- Honkura, Y., Island effect and electrical conductivity structure beneath Miyake-jima Island, J. Geomag. Geoelectr., 25, 167-179, 1973
- Kato, Y and I. Muroi, 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
- 河村、大地洗、小池捷春、O.A. Veliz Castillo、行武毅、吉野登志男、歌田久司、三宅島における地磁気

- 観測、三宅島集中総合観測報告、31-42、1982
- Mackie, R.L., J.T. Smith, and T.R. Madden, Three-dimensional electromagnetic modelings using finite difference equations: the magnetotelluric example, *Radio Science*, 29, 923-935, 1994
- 三品正明、三宅島の磁気異常分布、1991年CA研究会論文集、94-98、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、三宅島の噴火1983年特集号、29、S101-S112、1984
- 西田泰典、佐藤秀幸、宇津木充、村上英記、網田和宏、田中秀文、J. Zlotnicki, P. Yvetot, P. Morat, 笹井洋一、石川良宣、三宅島火山における自然電位分布序報、1996年CA研究会論文集、248-253、1996
- 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
- 笹井洋一、石川良宣、西田泰典、佐藤秀幸、宇津木充、村上英記、網田和宏、田中秀文、J. Zlotnicki, P. Yvetot, P. Morat, 三宅島火山の電磁気共同観測(1995年)、1996年CA研究会論文集、237-247、1996
- Sasai, Y., J. Zlotnicki, Y. Nishida, P. Yvetot, P. Morat, H. Murakami, Y. Tanaka, Y. Ishikawa, S. Koyama, and W. Sekiguchi, Electromagnetic monitoring of Miyake-jima volcano, Izu-Bonin arc, Japan: A preliminary report, *J. Geomag. Geoelectr.*, 49, 1293-1316, 1997
- Sasai, Y., J. Zlotnicki, Y. Nishida, M. Uyeshima, P. Yvetot, Y. Tanaka, H. Watanabe, and Y. Takahashi, Evaluation of electric and magnetic field monitoring of Miyake-jima volcano (central Japan): 1995-1999, submitted to *Annali di Geofisica*, 2000
- Takahashi, R. and K. Hirano, Changes in the vertical intensity of geomagnetism that accompanied the eruption of Miyakezima, *Bull., Earthq. Res. Inst.*, 19, 83-103, 1941
- 歌田久司、笹井洋一、中川一郎、小山茂、石川良宣、1983年10月三宅島火山噴火後の電気比抵抗測定結果、昭和58年10月3日三宅島噴火および災害に関する調査研究、145-155、1984a
- 歌田久司、笹井洋一、中川一郎、小山茂、石川良宣、浜野洋三、1983年三宅島火山の噴火に関連した電気比抵抗変化、火山、三宅島の噴火1983年特集号、29、S113-S124、1984b
- 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、35-46、1987
- 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
- 山本哲也、山崎明、中禮正明、笹井洋一、歌田久司、川瀬隆治、中川一郎、三宅島における全磁力繰り返し観測、1993年CA研究会論文集、195-205、1993
- 行武毅、吉野登志男、歌田久司、河村、大地洗、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、三宅島集中総合観測報告、43-53、1982
- Zlotnicki, J., M. Uyeshima, P. Yvetot, Y. Sasai, A. Mille, J.-F. Delarue, Y. Nishida, W. Sekiguchi, and Y. Takahashi, Structure of Miyake-jima volcano (central Japan) inferred by AFMT surveys prior to the 2000 eruption, submitted to *J. Volc. Geotherm. Res.*, 2000