

2000年噴火以前の三宅島の3次元磁気構造†  
—地磁気トモグラフィの試み—

植田義夫\*, 中川久穂\*\*, 小野寺健英\*\*, 鈴木 晃\*\*, 熊川浩\*\*\*\*, 久保田隆二\*\*\*\*

3D-Geomagnetic Structure of Miyake-jima Volcano before the Eruption in 2000†  
:an Application of 3D-Geomagnetic Tomography Method

Yoshio UEDA\*, Hisaho NAKAGAWA\*\*, Ken-ei ONODERA\*\*, Akira SUZUKI\*\*,  
Koichi KUMAGAWA\*\*\* and Ryuji KUBOTA\*\*\*\*

Abstract

Three dimensional magnetic structure of Miyake-jima volcano before the eruption in June 2000, was derived from the airborne magnetic survey data by applying a 2D-FFT inversion method and a 3D-geomagnetic tomography method. This study revealed : (1) Bulk magnetization of Miyake-jima volcano is around 10.3 A/m, (2) Terrain corrected magnetic anomalies show a positive residual amounting to 200nT to the south of the summit cone of Oyama, and relative low residuals of about -200nT in the western and eastern flank of the volcano, (3) 3D-geomagnetic structure of Miyake-jima volcano derived from geomagnetic tomography method shows a dome-like structure of high magnetization intensity instead of an conical stratovolcanic structure; the magnetic source with magnetization intensity higher than 5A/m is confined within the central part. On the other hand, the surrounding flank mainly composed of pyroclastic materials shows relatively lower magnetization. (4)The 3D-geomagnetic structure shows a strongly magnetized source amounting to 16A/m trending N-S direction beneath the summit of Oyama. (5) The result also shows a weakly magnetized zone whose magnetization intensity is less than 7A/m below the sea level.

The weakly magnetized zone in the western flank may correspond to the demagnetized zone due to enhanced thermal activity presaging the fissure eruption in June, 2000. The derived results also show availability of 3D-geomagnetic tomography method to detect the 3D-magnetic structure of the volcano.

1. はじめに

我国は世界でも有数の火山国で、全世界の活火山の内約一割にあたる約86の活火山が存在する(気象庁,1991)。これらの活火山の活動を予測し噴

火予知に関する情報を得ることは、火山災害の軽減にとって極めて重要な課題である。この課題の実現に向けて、平成11年度からの第6次火山噴火予知計画では、関係機関、大学の協力のもと、火山の観測、監視体制の強化が進められている。火

† Received 2000 December 20th. ; Accepted 2001 February 19th.

\* 海洋研究室 Ocean Research Laboratory.

\*\* 航法測地課 Geodesy and Geophysics Division.

\*\*\* 八丈島水路観測所 Hachijo Hydrographic Observatory.

\*\*\*\* 川崎地質株式会社 Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd.

山の噴火活動を事前に予知し、その後の的確な推移を評価するためには、火山体内部で起こっているマグマの挙動を探知する必要がある。従来このような目的のため、火山性地震の観測や地殻変動、重力、磁気探査等が行われてきた。特に最近では人工地震探査による減衰トモグラフィーやMT法による3次元比抵抗のマッピング等が火山体内部のマグマや地下水の状況を把握する方法として注目されている (Handa et al,1998, 東北大学理学部,1999)。水路部では従来から噴火予知のため海域火山の航空磁気測量を実施し、火山体内部の磁気構造解析を行っており、その成果は火山噴火予知連絡会等にも報告されている。(植田ほか,1988; 海上保安庁水路部,1998)

三宅島では、1983年の噴火をはじめ、最近の約60年間については噴火活動はほぼ20年周期で繰り返されてきた。2000年6月26日には、山頂直下の地震活動が活発化し、翌27日には、三宅島西方海底での海底噴火が発生し、それに伴う変色水が確認された。その後、山頂火口からの噴火、火口の陥没、8月29日の火砕流を伴う噴火が発生し大量の降灰を引き起こした。特に8月29日の噴火以降は大量(2~5万トン/日)の二酸化硫黄の放出が継続しており、このような三宅島の山体内部の構造の解明が重要な課題となっている。ここでは、噴火前の航空磁気測量の成果を統一的に解析する方法を提案するとともに、その方法により求めた三宅島の2000年噴火前の山体内部の3次元磁化構造を紹介し、またその火山学的な意味について述べる。

## 2. 三宅島の航空磁気測量と磁気異常

三宅島は首都圏から約180km南方にある活動的な活火山で、2000年噴火以前の最高点(雄山山頂)の標高は813mである。一方、島の基底は水深300m付近まで広がっている。海岸付近は、基底まで含めた山体全体の3合目付近に相当する (Fig.1)。水路部では、火山噴火予知計画の一環として、火山体の地下構造を解明するため、海域火山について定期的に航空機による磁気測量を

実施している。三宅島に関してはヘリコプターによる測量をふくめて、今まで計5回実施している。その測量の概要はTable 1に示すとおりである。過去との比較という意味からは、測量高度は同一高度で実施することが好ましいが、実際には測量時の気象条件等の制約を受けるためこの条件を満たすことは困難である。航空磁気測量の際の測位は、1997年以降、GPSを採用しており、測位誤差は数十mと推定される。

Table 1の測量成果について、1997年以降に実施した航空磁気測量結果による磁気異常図をFig.2からFig.4に示した。なお、磁気異常値の計算はIGRF1995を用いている。Fig.2, Fig.3は1997年10月に実施した高度約3200mと2590mでの航空磁気異常図である。磁気異常はどちらの場合も、山体の南側で正、北側で負のダイポール型異常を示す。正異常と負異常の極値の差から求めた振幅は、前者で689nT、後方で525nTである。一方、Fig.4は1999年11月に実施した高度1160mでの航空磁気測量による三宅島の磁気異常図で、その正異常と負異常の極値は、1486nT及び-484nT、振

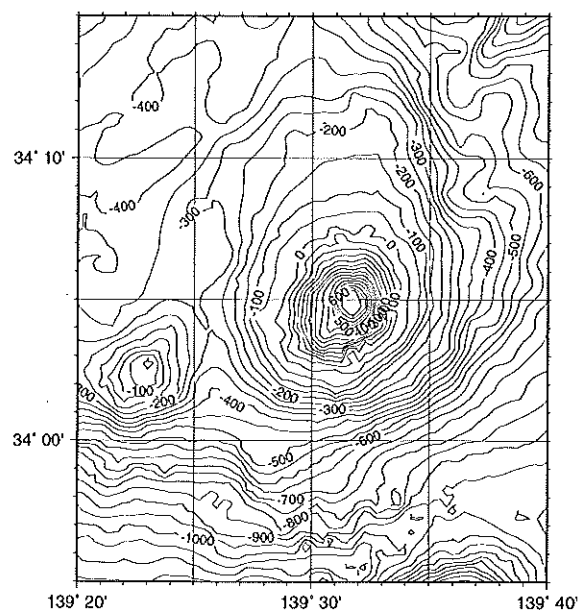


Fig.1 Topography of Miyake-jima volcano and the adjacent sea. Contour interval is 50m. Height is shown by positive figure and depth by negative one.

**3D-Geomagnetic Structure of Miyake-jima Volcano before the Eruption in 2000  
:an Application of 3D-Geomagnetic Tomography Method**

Table 1 Airborne magnetic surveys over Miyake-jima volcano conducted by JHD.

File Name	Survey Date	Height	Positioning	Aircraft	Reference
MIYA67.AIR	1967/10/10	1370m	Aerial Photograph	Helicopter	Utashiro et al.(1972)、 Ueda et al.(1983)
MIYA87.AIR	1987/11/6	1160m	Omega System	YS11	Suzuki et al.(1989)
MIYA97.D10	1997/10/16	3200m	GPS	YS11	Fig.2
MIYA97.D85	1997/10/16	2590m	GPS	YS11	Fig.3
MIYA99.D5	1999/11/25	1160m	GPS	YS11	Fig.4

幅は1,970nTである。Fig.2,3の高高度の磁気異常図に比べて、より短波長の異常が明瞭に表現されていることがわかる。Fig.4の右上方の正異常は、伊豆—小笠原弧の前弧域に分布する長波長の磁気異常の一部である。三宅島のほぼ西方約10kmに大野原島の高まりが認められるが、そこでは振幅約300nTの異常が認められる。図の下方には、御蔵島の負異常の一部が認められる。

### 3. 地磁気異常の地形補正と残差磁気異常の特徴

三宅島の磁気構造を求めるためには、三宅島が均一に磁化することによる磁気異常とそれ以外の原因、例えば山体内部の非均一磁化による異常や山体の基底深度以深に起因する磁気異常等に分離

する必要がある。ここでは、三宅島が均一に磁化した場合の磁気異常をParker(1972)のFFTインバージョン法で求め、それと観測磁気異常との相関解析を行い、最適磁化強度を求めた。また、観測磁気異常と、最適磁化強度により求めた計算磁気異常との差から、三宅島の地形補正後の残差磁気異常を求めた。

Fig.5は、Fig.4の高度1160mの磁気異常について解析した結果で、計算に用いた地形モデル(a)、三宅島の観測磁気異常(b)、計算磁気異常(c)、及び地形補正後の残差磁気異常(d)を示した。相関解析の結果は、解析範囲により異なる磁化強度を与える。Table 2はその結果をまとめたものである。三宅島を含む広い範囲の解析結果では、磁化

Table 2 Results of correlation analysis.

Topographic effect of magnetic anomalies are calculated using the FFT inversion of the topographic model shown in Fig.5(a). Correlation coefficients are calculated from observed and calculated anomalies. Magnetization intensities are estimated from amplitude factor obtained in correlation analysis.

Target area	Correlation coefficient	Amplitude ratio (Obs./Cal.)	Calculated Magnetization Intensity J(A/m)
A(x:8-28,y:8-28)	0.865	0.80	8.0 A/m
B(x:11-23,y:11-24)	0.955	0.97	9.7
C(x:13-22,y:13-23)	0.967	1.03	10.3

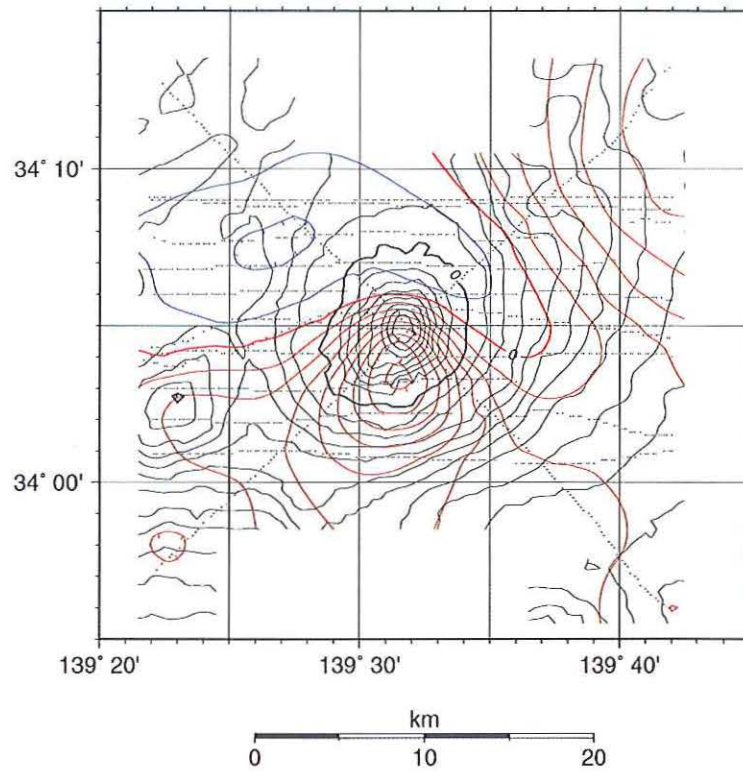


Fig.2 Geomagnetic total force anomaly of Miyake-jima volcano and the adjacent sea. The survey was conducted in Oct., 1997 at a height of 3200m above sea level. Red and blue lines show geomagnetic total force anomaly. Contour interval is 50nT. Black lines are topographic contours of every 100m interval.

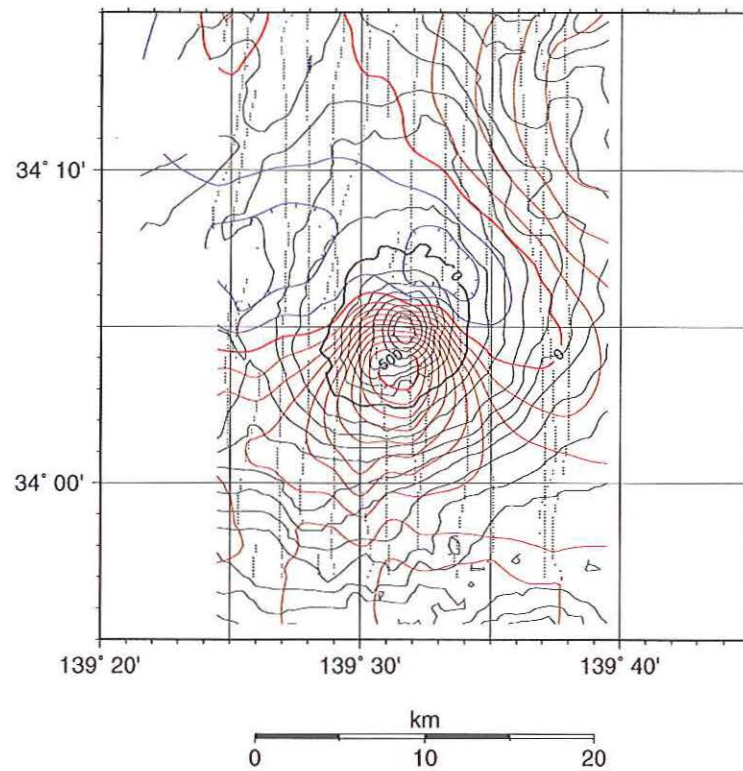


Fig.3 Geomagnetic total force anomaly of Miyake-jima volcano and the adjacent sea. The survey was conducted in Oct., 1997 at a height of 2590m above sea level. Red (positive) and blue (negative) lines are for geomagnetic total force anomaly. Contour interval is 50nT. Black lines for topography in 100m contours respectively.



3D-Geomagnetic Structure of Miyake-jima Volcano before the Eruption in 2000  
:an Application of 3D-Geomagnetic Tomography Method

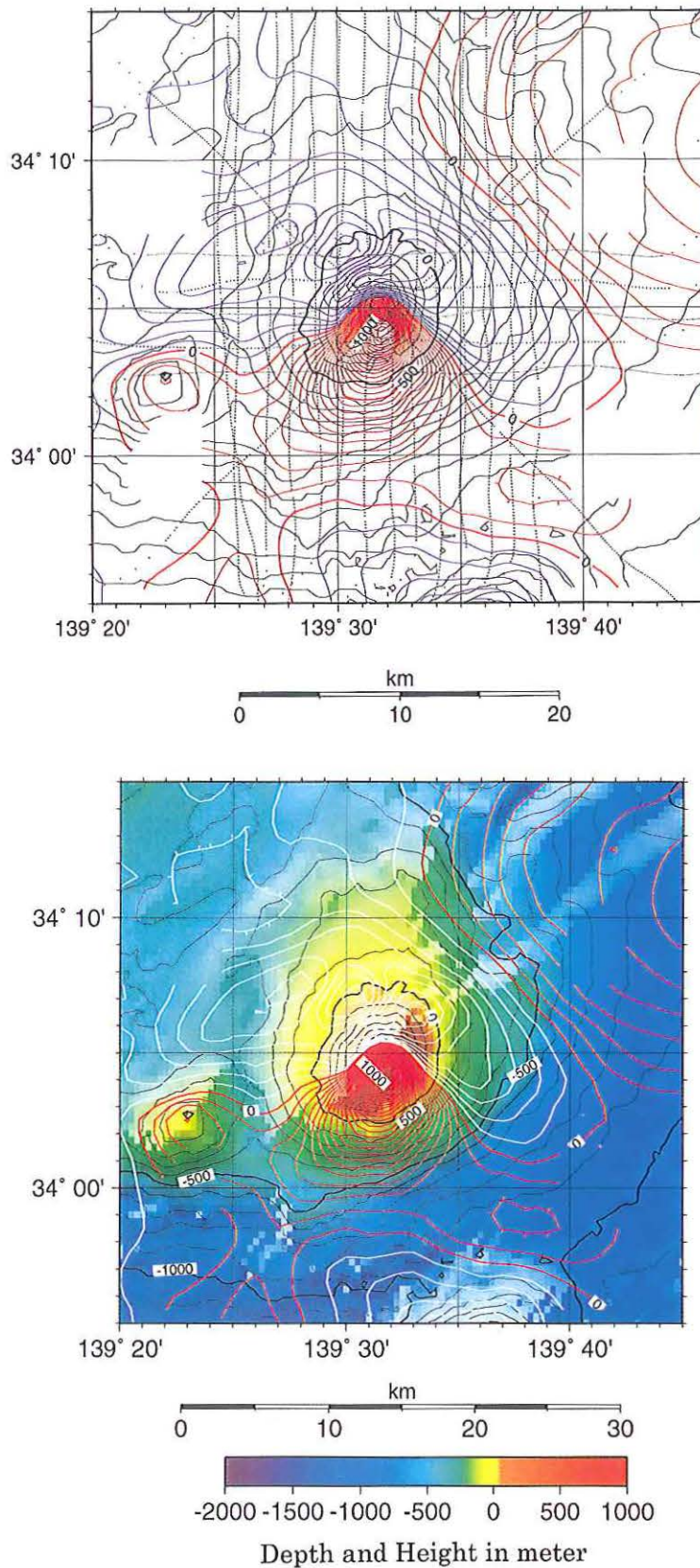


Fig.4 Geomagnetic total force anomaly of Miyake-jima volcano and the adjacent sea. The survey was conducted in Nov., 1999 at a height of 1160m above sea level. 4(a) : Red (positive)and blue(negative) lines are for geomagnetic total force anomaly. Contour interval is 50nT. Black lines for topography in 100m contours respectively. 4(b) : White and red lines are for geomagnetic total force anomaly. Contour interval is in 50nT. Color map shows topography with 100m contours.

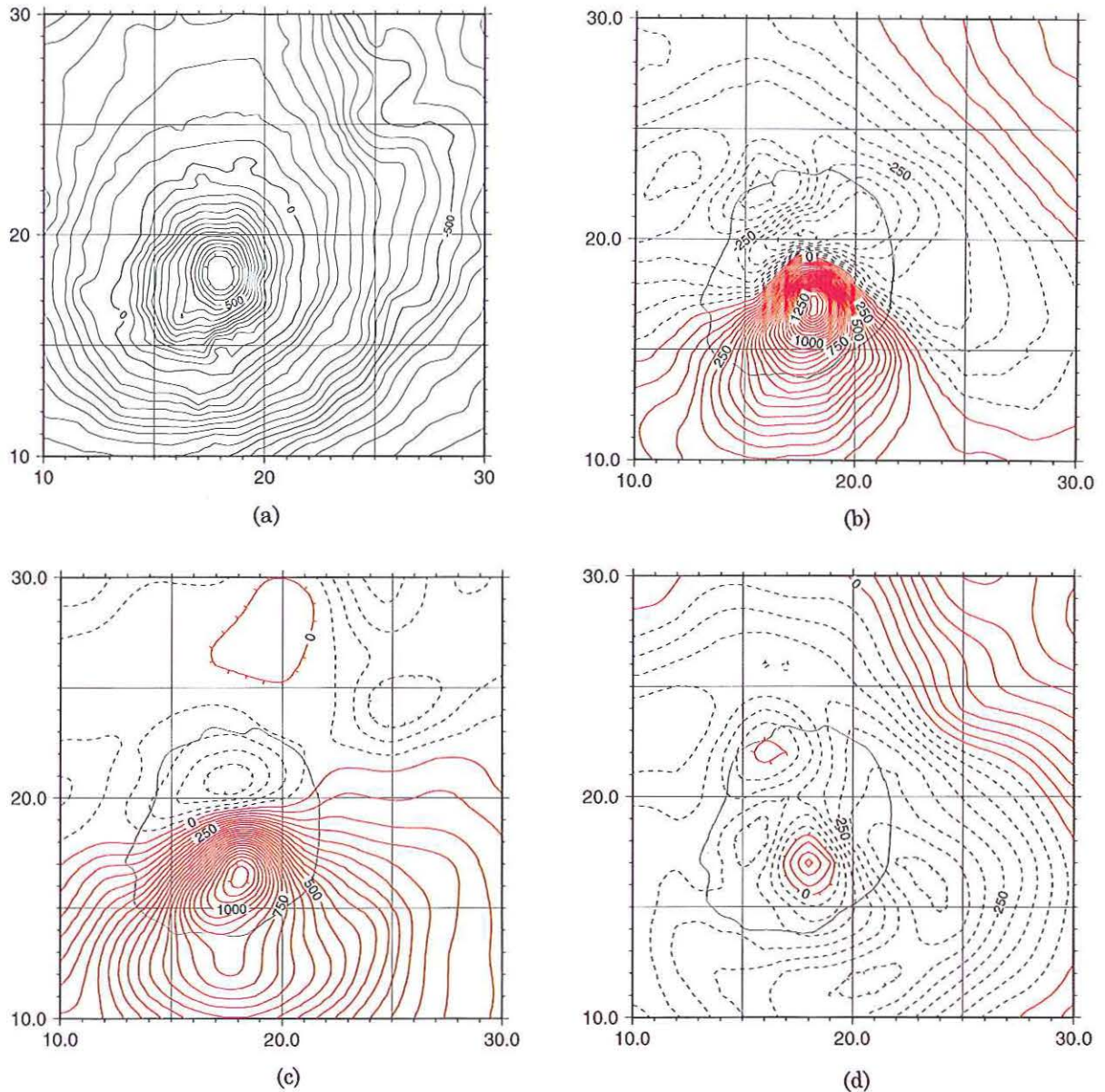


Fig.5 (a) Topography model of Miyake-jima volcano for magnetic anomaly calculation. Contour interval is 50m. And coordinates give the distance in km from the origin of  $33^{\circ}55'N$ ,  $139^{\circ}20'E$  toward east and north.  
(b) Observed magnetic anomaly at a height of 1160m above sea level, derived from survey result shown in Fig.4. Contour interval is 50nT.  
(c) Calculated magnetic anomaly. Magnetization intensity of the model is 10.0 A/m in the present field direction. Contour interval is 50nT.  
(d) Terrain corrected residual anomaly. Contour interval is 50nT.

強度8.0A/mを、また、解析範囲を三宅島山体付近の狭い範囲とした結果では10.3 A/mの、より強い磁化強度を示している。三宅島の磁化強度に関しては、8.6A/m (植田ほか,1983) や10.6A/m (鈴木ほか,1989) の値が報告されており、今回の結果も、解析範囲によるバラツキを考えれば、以

前の報告値とほぼ一致する結果と判断される。ここでは、最も相関係数の高い結果を示す磁化強度10.3A/mを三宅島の平均的磁化強度の値とした。

Fig.5(d)に示した三宅島の地形補正後の残差磁気異常図を見ると、①三宅島の山体付近が全体的に負異常域が卓越していることがわかる。さらに、



②三宅島雄山の南方約1.5km付近からNNW方向に相対的に正の異常域が分布していること、③三宅島の東西の山麓から沿岸付近では、強い負の残差域となっていること、などが特徴として認められる。①の事実からは、三宅島の山体の基底付近の磁化が周りに比べて相対的に弱くなっていることが推定される。また、②の正異常域は、全体として見れば三宅島付近の張力場によるダイク貫入の一般的な方向(中村, 1984)と一致しており、このような内部構造を反映したものと推察される。③については、②で述べた正の残差磁気異常を横断するように三宅島の東西の山麓付近で卓越している。このうちの西側の負異常は、1983年の割れ目噴火の際のマグマ活動域に一致しており、その時の高温域を反映している可能性がある。なお東側の負異常域は西側のものに比べて規模が大きく、三宅島の内部構造よりもむしろ三宅島北東沖海底下の磁気基盤構造によるものと思われる(植田ほか, 2001)。以上に述べたような残差磁気異常(特に①, ②)は三宅島が均一に磁化していると仮定したのでは説明出来ないもので、その説明には山体の非均一磁化構造を考慮した解析を行う必要がある。

#### 4. 3次元地磁気トモグラフィによる解析

##### 4.1 解析方法

従来の火山体の磁気異常の解析については、3次元の角柱で火山を近似するか、地形の等高線を多角形で近似した構造モデルを用いて、山体の平均的な磁化強度、磁化方向を求める方法が一般的である。このような均一磁化モデルでは、一般的に観測結果と計算値の間に有意な差がみとめられるが、この残差から、逆に山体内部の非均一磁化の構造を求める試みが示されている(大島ほか, 1982; 植田ほか, 1983)。

ここでは、新たな試みとして、山体を3次元角柱の重ね合わせで近似し、それぞれの角柱毎の磁化強度を求める、3次元地磁気トモグラフィ法(Geomagnetic tomography method)を用いて三宅島の3次元磁気構造を求めた。この方法は、今ま

での全体が一様に磁化しているとする仮定に替わって、磁化の方向は共通として、その磁化強度を、山体内部の熱的構造による磁化の変化を考慮して未知数として求めるものである。なお、本方法に類似した方法として、複数の3次元角柱を水平面に配置し、それぞれのブロックの磁化強度を最小2乗法で解く方法がSeama & Isezaki(1990)で述べられているが、ここで述べる方法は、3次元角柱の積み重ねで山体を近似し、それぞれの3次元角柱毎の磁化強度を求め、山体内部の磁気構造を求めるもので、正規方程式を用いずにCG法(Conjugate gradient method)を用いて解くため、安定な解が得られること及び計算機の記憶容量が比較的小さくすむことなどの利点がある。以下にその方法について述べる。

ある観測点*i*における全磁力の値 $T_i$ を考える。地形あるいは磁気基盤の形状を角柱の集合体で近似できるものとし、*j*番目の角柱の磁化の大きさを $J_j$ とする。さらに観測点*i*に寄与する*j*番目の角柱の幾何学的効果を $B_{ij}$ とし、また、場の直流成分を $F_0$ とすると、

$$T_i = J_1 \times B_{i1} + J_2 \times B_{i2} + \dots + J_n \times B_{in} + F_0$$

となる。ただし*m*は観測点の数で、*n*は角柱の数である。ここで $J_j$ と $F_0$ を求めることを考える。すなわちベクトルで表示すると、

$$T = B \cdot J + F \quad (1)$$

ここに

$$T = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_m \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & \dots & B_{1n} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & \dots & B_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ B_{m1} & B_{m2} & B_{m3} & \dots & B_{mn} \end{bmatrix}, J = \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ \vdots \\ J_n \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} F_0 \\ F_0 \\ \vdots \\ F_0 \end{bmatrix}$$

である。観測点の数*m*が*n*+1より多ければ最小二乗法によってJとFを解くことが可能である。い

ま、Fの項を便宜上BとJに含めると、それぞれ、

$$B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & \cdots & B_{1n} & 1.0 \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & \cdots & B_{2n} & 1.0 \\ & & & & & \cdot \\ & & & & & \cdot \\ & & & & & J_n \\ B_{m1} & B_{m2} & B_{m3} & \cdots & B_{mn} & 1.0 \end{bmatrix}, J = \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ \cdot \\ J_n \\ F_0 \end{bmatrix}$$

となる。

このような問題を解く方法として、Bjorch and Elfving(1979)による改良共役傾斜法(CG法 : Conjugate gradient method)を用いて(1)式を直接解く方法が有効である (van der Sluit and van der Vorst, 1987)。地震トモグラフィではCG法が最も安定した方法としてよく使われている (例えば Zhao et al, 1997)。この方法の特徴は、正規方程式を用いないことから容量が比較的小さくすむこと、係数マトリックスの精度が保たれること、計算の高速性に優れていることなどである。さらに反復計算の過程で、行列Bの計算は最初の1回だけなので、計算に要する時間はCG法の演算だけである。

この方法を用いれば3次元的に配置されたデータを利用できることから、高度の異なるデータおよび海上のデータを同時に用いることができる。また同様に重力にも適用できることは明らかである。

問題点として考えられるのは、地震波の場合には、走時あるいはその振幅はブロック(セル)中を通過する波線の積分として扱えるが、ポテンシャルデータの場合には観測点とセルの距離に応じてその振幅が決まるので、山体表面に比べ深部の解像度が上がらない可能性も考えられる。数値的には行列Bの要素中、深部の $B_{ij}$ の値が常に小さいという結果が想定される。これらの問題は実際に計算を行う過程で、検討材料の一つとして考えておかなければならない。計算の過程では、観測点と各角柱の距離による重み付け等も考慮する必要も考えられるが、ここではこれらのことは考慮せずに数値解析を行った。

#### 4.2 モデル実験

今回の方法の有効性を検証するため、三宅島の地形モデルを用いて磁気異常を理論的に計算し、そのデータを入力データとして、磁気構造モデルがどの程度再現できるかの検証を行った。計算したモデルは、地形モデルおよび計算磁気異常とも格子間隔を500mとし、三宅島が全体として10A/mで現在の方向に磁化しており、山体中心部の2km四方が標高500mから海面下-500mにわたって消磁しているというモデルである。また計算高度は1160mと2590mの2高度であり、さらに直流成分として+100nTを加えた。このモデルによる計算磁気異常をFig. 6に示す。

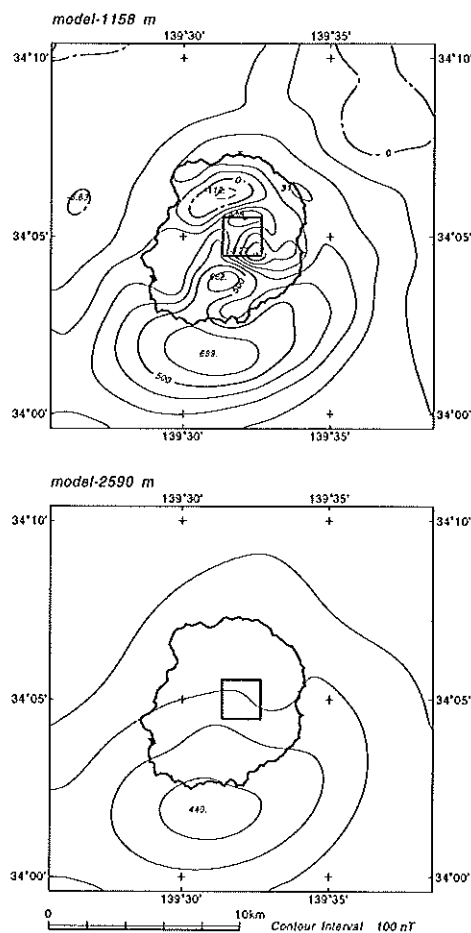


Fig.6 Test data for confirmation of 3D-geomagnetic tomography method.

A rectangular non-magnetic body of 2km x 2km with 1km thickness is assumed .

Magnetization intensity of the surrounding body is assumed to be 10A/m, polarized in the present field direction. Contour interval is 100nT.

Up: at the height of 1158m

Low: at the height of 2590m



**3D-Geomagnetic Structure of Miyake-jima Volcano before the Eruption in 2000  
:an Application of 3D-Geomagnetic Tomography Method**

以上の計算磁気異常を入力データとして、3次元地磁気トモグラフィー法による解析を行った。構造モデルは、三宅島を500m～最高標高、0m～500m、-500m～0mの3層にスライスした。また地形モデルは500mグリッドであるが、各層で4つの角柱で1つの磁化を持つものとして、水平面で1km×1kmのブロックに分割した。なお各ブロックの上面、下面深度は等高線の高度もしくは深度に合わせている。Fig.7はモデルの概念図である。

解析の結果をFig.8に示す。この結果の標準偏差は0.108nTで、直流成分は99.8nTであった。図は、各ブロックの磁化強度を各層毎に示したものである。標高500mから-500mの層について消磁を仮定した部分が、再現されていることが確かめられた。

**4.3 三宅島の3次元磁気構造**

地形データは三宅島を中心とした30km四方について、500m間隔で格子化し、先のモデル実験と同様な層厚および大きさ(1km×1km)でブロック化した。また観測磁気異常は500m間隔で格子化したデータを用いた。ただし、この場合は三宅島を中心とした20km四方の値である。データは3高度分で、1997年の高度2590mおよび3200mと、1999年の高度1158mの値である。データの個数は5043点、未知数はブロック数635個と、3高度分のそれぞれの直流成分で合計638個である。

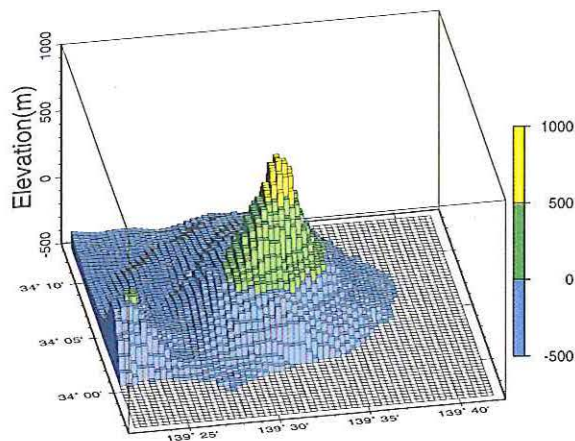


Fig.7 Illustration of the block model used for 3D-geomagnetic tomography.

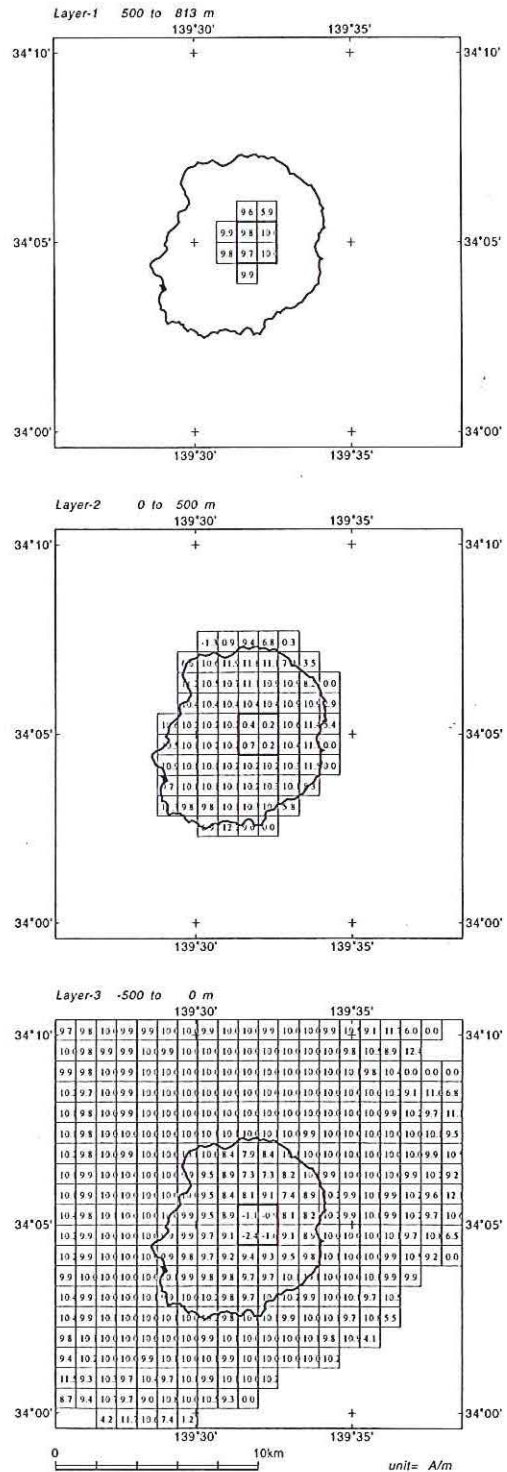


Fig.8 Results of calculation of 3D-geomagnetic tomography applied to the test data shown in Fig.6.

The figures in the squares show magnetization intensity in A/m.

Upper section: magnetic blocks above a elevation of 500m from sea level.

Middle section: magnetic blocks from 0m to 500m above sea level.

Lower section: magnetic blocks between the sea level and 500m below sea level.

今回の3次元地磁気トモグラフィー法の解析では、反復回数が30回で標準偏差28.4nTの結果を得た。直流成分はそれぞれ、92.8nT(1997年2590m), 82.1nT(1997年3200m), 22.3nT(1999年1158m)となった。Fig.9に得られた各層の磁化強度の分布を示す。なお、図には1km四方のブロックで得られた磁化を500mグリッドの地形データ上に再配分し、さらにそれに移動平均フィルタを施した結果に対する等値線図も併記した。またFig.10には、最終モデルに対する観測磁気異常(入力データ)と計算磁気異常の差である残差を示した。この結果から、一部に残差が大きい部分も残されているが、全般的には計算磁気異常はほぼ観測磁気異常(Fig.2-4)を再現できていることが分かる。Fig.9に示した三宅島の磁気構造では、同島の基底部(水深0mから500mまでの部分)での磁化強度が5A/m以上の部分は、地形から推定される裾野にまで及ばず、島の沿岸部付近までに限られていることがわかる。Fig.11は、3次元地磁気トモグラフィー法で求めた三宅島の中央部を南北および東西に横断する磁化強度の断面図である。この結果(Fig.11)によると、三宅島の山体内部に、磁化強度が16A/mにも及ぶ強磁性岩体が存在すること(Fig.11中のA)、三宅島の基底深度(水深500m)付近から標高0mにかけての部分で、同島の中央部を東西に横断する形で、磁化強度が相対的に弱くなっていることなどがわかる(Fig.11中のB)。なお、Fig.9の海面から基底深度までの磁気強度分布図では、三宅島の北西から東方沖に負の磁化強度を持つ磁化層の分布が認められるが、この原因としては、三宅島の山体周辺の起源を異にする磁気異常(干渉磁気異常)の影響や、磁気基盤が仮定した基底深度-500mよりもさらに落ち込んでいることなどが原因と思われる。後で示す音波探査記録によると、三宅島北東側の沿岸部から3km沖合には音響基盤の急激な落ち込みが認められており、磁気構造と調和的である。(Fig.12)。

## 5. 考察

三宅島の航空磁気測量および周辺海域の磁気異

常から、3次元地磁気トモグラフィー法により、同島の磁気構造を求めた。この結果によると、①三宅島の強磁性岩体のブロックは地形的な裾野までは広がらず、沿岸部付近水深約200mで急激に磁化強度が低下するような、梵鐘型の磁気構造を示すことが分かった。また、この特徴以外に②雄山直下に南北に延びる幅3km厚さ約500mの強磁性岩体(磁化強度12A/m以上)が存在すること(Fig.11中のA)、③海水準以深の三宅島の西岸から東岸付近に相対的に磁化強度の弱いブロック(Fig.11中のB)が存在すること等が明らかとなった。以下では、それぞれの原因について考察する。

### 5.1 三宅島の梵鐘型の磁気構造について

Fig.12には三宅島の音波探査の測線図とその記録を示した(海上保安庁水路部,1995)。Fig.12(b)では、三宅島の裾野付近は火山砕屑物と推定される堆積物が厚く堆積しており、三宅島の沿岸部から約1.3km付近で基盤にアバットしていることがわかる。Fig.12(c)は同島東方沖の記録であり、ここでも同様の特徴が認められるが、ここではさらにアバットの段差が大きくなっていることがわかる。このような音響基盤の構造は、地磁気トモグラフィーから求めた梵鐘型の磁気構造と調和的であり、三宅島のように山体の基底部が海面下にある火山の成長過程に関して重要な示唆を与える。従来の陸上の円錐成層火山の形成過程では、山頂噴火による火山砕屑物と溶岩の互層が次第に成長してこのような成層火山の構造を形成すると考えられている。しかし、海底に基底部を有する三宅島の形成過程は、このような陸上の成層火山の成因とはことなり、音波探査記録が示唆するように、山体中央部に溶岩ドームが形成され、その周辺部に火山砕屑物を堆積していった可能性がある。

### 5.2 三宅島山頂下の強磁性岩体の成因

今回明らかになった三宅島内部の強磁性岩体は、三宅島をほぼ北北西-南南東に縦断していることがわかる(Fig.9の中段)。中村(1984)は三宅島の側火口の分布から、周辺応力場の $\sigma_{max}$ がほ

### 3D-Geomagnetic Structure of Miyake-jima Volcano before the Eruption in 2000 :an Application of 3D-Geomagnetic Tomography Method

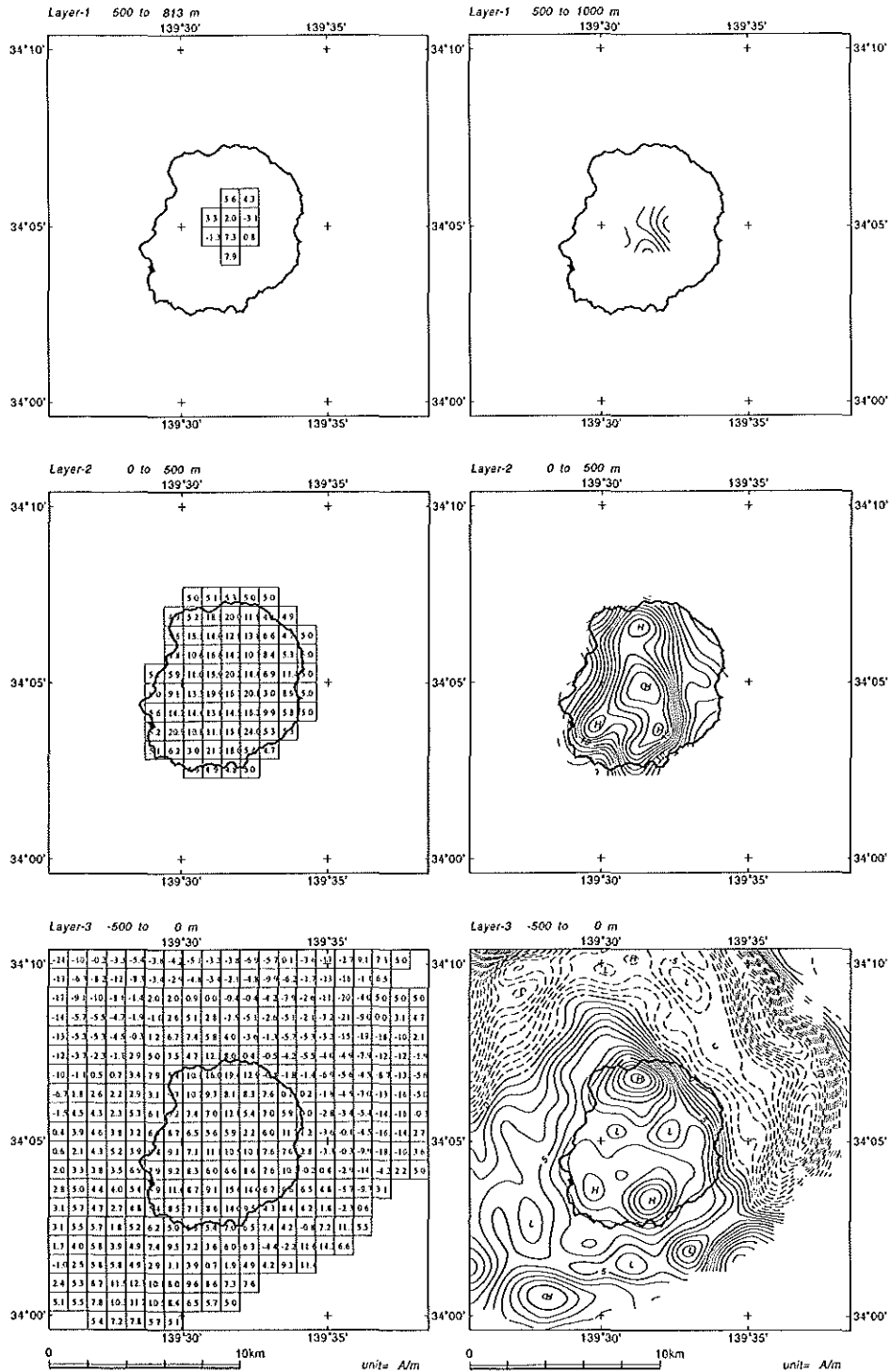


Fig.9 3D-geomagnetic tomography calculated from survey data shown in Fig.2 to Fig.4, conducted at different survey altitudes. The figures in the squares show magnetization intensity in A/m unit.  
 Upper section: magnetic blocks above a elevation of 500m from sea level.  
 Middle section: magnetic blocks from 0m to 500m above sea level.  
 Lower section: magnetic blocks between the sea level and 500m below sea level.

ほ北西—南東方向であることを示したが、この方向は先に述べた三宅島の磁気基盤の卓越方向と概ね一致しており、側火口の分布が山体内部の磁気構造を反映したものと推察される。この磁気基盤構造に関連して、もう一つの特徴は、その顕著な高まりの中心域は、八丁平カルデラの範囲（約1.8km × 1.6km）とよく一致することである。八丁平カルデラは今からおよそ2500年前に形成されたカルデラで(津久井・鈴木, 1998)その形成の契機はスコリアの噴出を伴った玄武岩質マグマの活動であると考えられている。今回、求めた雄山地下の強磁性岩体の成因としては、カルデラ形成後に発生した玄武岩質溶岩の噴出が、カルデラを埋積する過程で、このような大規模な強磁性岩体のブロックが形成されたと推察される。さて、このような強磁性岩体のブロックが雄山直下に形成されていたとすると、その底辺付近はマグマの上昇に伴って熱消磁することが予想される。実際には山頂火口は7月8日以降約500mの陥没が発生しており、ここで推定された強磁性岩体も一部が破壊されたと推定される。三宅島の陸上での地磁気観測の結果によると、雄山の南側では-110nTの減少が報告されており(東京大学地震研究所, 2000)このような強磁性岩体の崩壊過程を反映した可能性が考えられる。

一方、このような三宅島の磁気構造が重力異常に反映しているかどうか調べるため、三宅島内の重力測定から求めたブーゲー重力異常図をFig.13に示した。なお、ブーゲー補正の仮定密度は2.67g/cm<sup>3</sup>で地形効果は考慮していない。三宅島は伊豆大島と違って高ブーゲー重力異常を伴わないことが知られているが(横山・岡田,1964)この図でも、山頂付近は相対的に低いブーゲー重力異常を示し、磁気構造から推定された強磁性岩体に対応するような異常は見あたらない。このような特徴を考えると、地磁気異常から求めた強磁性岩体のブロックは密度差としてはそれほど顕著でない可能性も考えられる。このような強磁性岩体のブロックの実体については今後の地形効果を考えた重力異常の解析により明らかにしていきたい

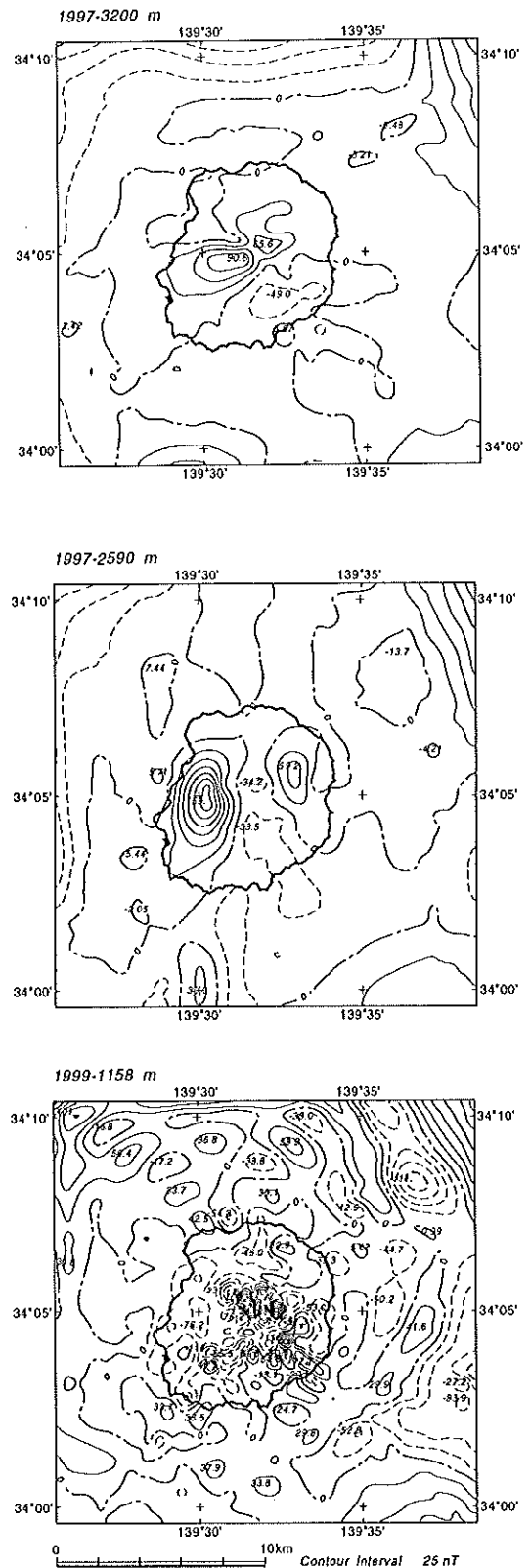


Fig.10 Residual anomalies at the different altitude of 2590m(upper), 3200m(middle), and lower(1160m). Contour interval is 100nT.  
Upper: at the height of 3200m.  
Middle: at the height of 2590m.  
Lower: at the height of 1160m.



3D-Geomagnetic Structure of Miyake-jima Volcano before the Eruption in 2000  
:an Application of 3D-Geomagnetic Tomography Method

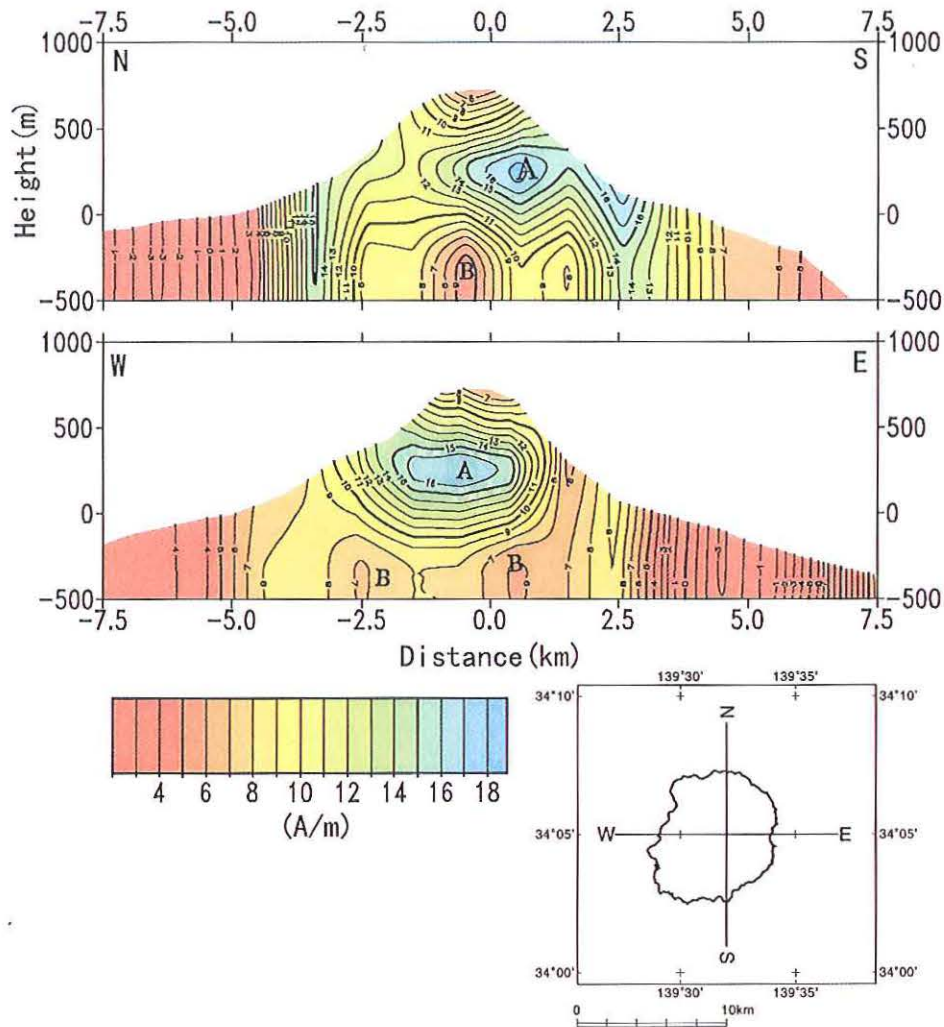


Fig.11 Cross-sectional view of the 3D geomagnetic tomography result.  
Upper : north-south cross section, B : low magnetization intensity zone  
Lower : east-west cross section , A : high magnetization intensity zone.

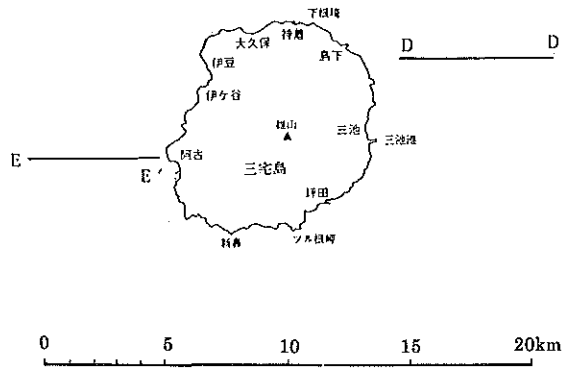
いと考えている。

### 5.3 低磁化強度層の成因

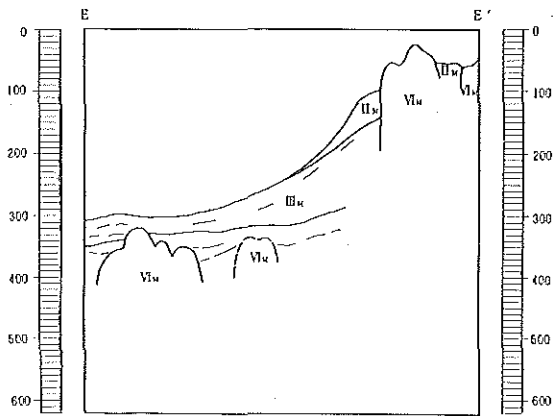
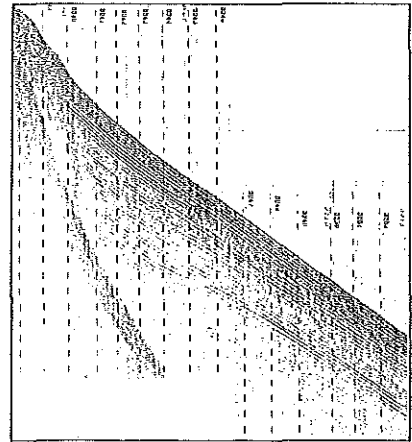
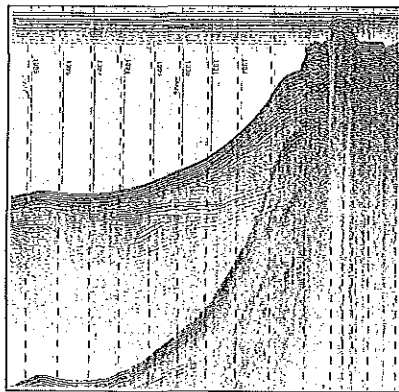
今回の結果では、三宅島西岸域から雄山の北側の地下をとおり、東岸に連なる低磁化強度層の存在が推察された(Fig.11中のB)。三宅島の歴史時代の噴火は1085年の噴火から2000年の噴火を含め計15回の噴火が記録されている(宮崎, 1983)。これらの噴火では、山腹割れ目噴火がすべて記録・確認されているが、山頂噴火は2000年噴火を含めて2回しか起こっていない。そして、山腹噴火では南西山腹・西側山腹・北東山腹がそれぞれ4回で最も多く、それに南西山腹2回、北側山腹1回の順となる。このような噴火事例は、三宅島では

地下から上昇したマグマは、山頂にまで達することなく、山麓部の地下で側方に向きをかえて山腹噴火を繰り返してきたことを示唆している。Fig.9, Fig.11に示した磁気構造にも、上部に強磁性岩体のブロックが保存され、それ以深に低磁化強度層が存在することを示しているが、この磁化強度の相対的に低い部分は過去のマグマの上昇による熱消磁をうけたことを反映したものと推察される。Fig.11の磁化強度の東西断面では、島の西側、東側の二カ所に低磁化強度層が認められるが(Fig.11中のB)、このような構造は、基底深度以深からの熱供給か、マグマ供給の中心域が二つに分かれていた可能性を示唆するものである。

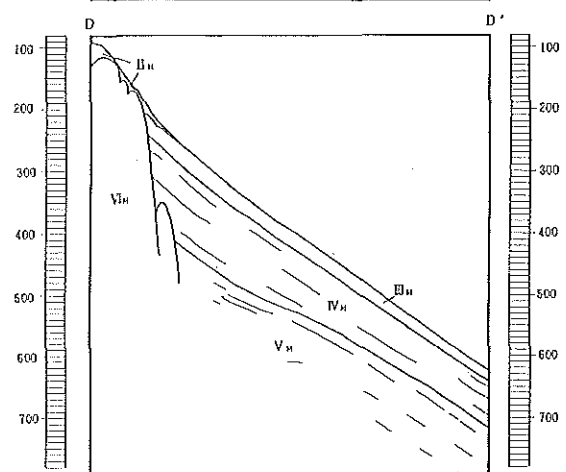
三宅島の2000年噴火以前の同島の地殻変動観測



(a)



(b)



(c)

Fig.12 Seismic profiles of the edifice of Miyake-jima volcano (海上保安庁 水路部, 1995).

(a) Survey track lines for Fig.12(b) and Fig.12(c)

(b) Seismic profile along E-E' in Fig.12(a).

(c) Seismic profile along D-D' in Fig.12(a).

3D-Geomagnetic Structure of Miyake-jima Volcano before the Eruption in 2000  
:an Application of 3D-Geomagnetic Tomography Method

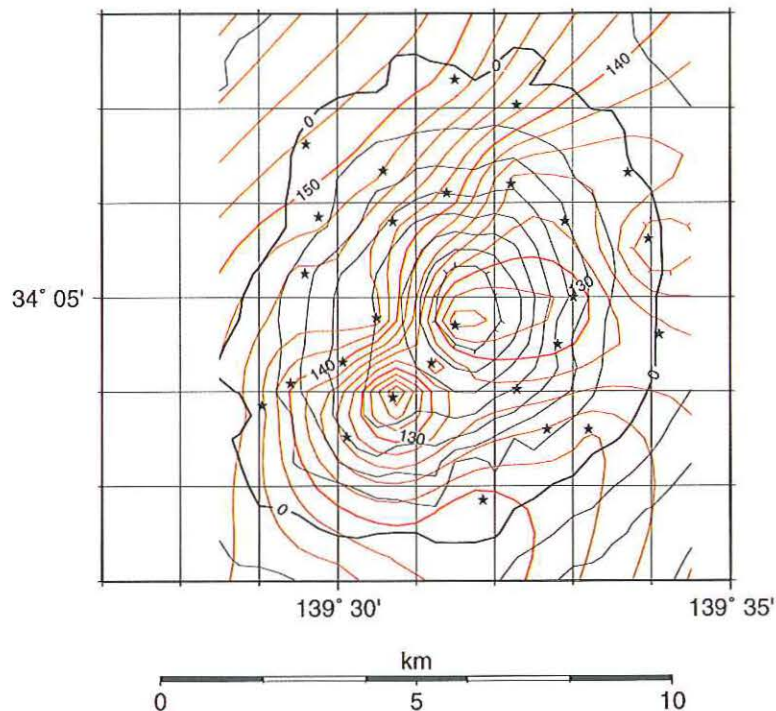


Fig.13 Simple Bouguer gravity anomalies of Miyake-jima volcano.  
Assumed density is 2.67g/cm<sup>3</sup>. Land gravity survey was conducted in may,  
2000 using Autograv CG-3M(SCINTREX).

結果では、島が全体的に膨張傾向を示していたこと、同島南西部では年1cmの隆起傾向にあったことが報告されており、これらの前兆的な地殻変動が同島の南西部から西側の山麓付近に活動の中心があったことが推定されている(国土地理院, 1998; 名大ほか, 1998)。地磁気トモグラフィーからもとめた3次元磁気構造モデルとこのような前兆的地殻変動との関連については、まだ不明な点もあり、今回の解析方法の改良を試みる中で、さらに検討していきたいと考えている。

今回はじめて三宅島の3次元的な磁気構造が求められたことから、将来の噴火後の地磁気データを解析することで、どの部分の磁化強度が変化したかを求めることが可能となる。今後、マグマの挙動を地磁気異常から捕えられる可能性があり、今回の研究はその基礎段階のものと考えている。

## 6. まとめ

(1) 火山体の磁気測量成果から3次元的な磁気構造を求めるため、3次元地磁気トモグラフィー法を開発した。また、この方

法を三宅島の2000年噴火前に実施された航空磁気測量のデータに適用し、同島の3次元地磁気トモグラフィー法による磁気構造を求めた。これにより、今後行われるであろう航空磁気測量の解析結果と比較することにより、噴火後の山体内部の磁気構造の変化を捕える基礎が出来た。

- (2) 三宅島の均一磁化を仮定した地形補正の結果では、三宅島の2000年噴火前の磁化強度はほぼ10.3A/mの磁化強度となる。
- (3) 三宅島の3次元磁気トモグラフィーの解析結果及び海域部の音波探査記録によると同島の磁気構造は円錐成層型の構造を有するものではなく、中心部が火山岩起源の基盤岩で構成され、その周りを火山砕屑物が埋積するような梵鐘型の構造を有する。
- (4) 三宅島の海水準から標高500mまでの磁気構造では、三宅島の中心部をほぼ北北西—南南東に縦断する強磁性岩体のプロ



ックが存在し、特に山頂部付近の直下では16A/m以上の磁化強度を示すことが推察された。このような磁気構造は、過去における三宅島のダイクの貫入の卓越方向を示すものと推察される。

- (5) 海水準以深の500m層については、三宅島の西部から東部にかけて磁化強度が相対的に低い岩体ブロックが、島を横断するように分布していることが明らかとなった。三宅島での側噴火の分布等から、このような低磁化強度層は、火山体内の高温域の分布を示していると推察される。

#### 7. おわりに

三宅島の航空磁気測量の実施に際してご協力いただいた、第三管区海上保安本部羽田航空基地の皆様には感謝いたします。

#### 要 約

三宅島の航空磁気測量成果をもとに、2000年噴火以前の三宅島の3次元磁気構造をFFTによるインバージョン法及び山体を3次元ブロックで近似し、それぞれのブロックの磁化強度を求める3次元地磁気トモグラフィー法で求めた。その結果以下のことがわかった。(1)三宅島の均一磁化を仮定した地形補正の結果では、三宅島の2000年噴火前の平均的磁化強度の値はほぼ10.3 A/mである。(2)三宅島の3次元磁気トモグラフィーの解析結果によると同島の磁化強度の強い岩体は円錐成層火山型ではなく、梵鐘型の構造を示し、その周りに火山砕屑物が堆積していると考えられること。(3)三宅島の海水準付近から標高500m付近の磁気構造では、三宅島の中心部を北北西—南南東に縦断する強磁性岩体のブロックが存在し、特に山頂部付近の直下では16A/m以上の磁化強度を示す。このような磁気構造は、過去における三宅島のダイク貫入の卓越方向を示すものと推察された。(4)海水準以深の厚さ500mの層については、三宅島の西部から東部にかけて低磁化強度層が、島を横断するように分布していることが明らかと

なった。三宅島での側噴火の分布等から、このような低磁化強度層は、火山体内部の熱的状态を反映していると推察された。今回の3次元磁気構造が求められたことから、今後、噴火後の地磁気データを解析することで、どの部分の磁化強度が変化しかを求めることが可能となる。今後、マグマの挙動を地磁気異常から捕えられる可能性があり、本報告はその基礎をなすものである。

#### 引 用 文 献

- Bjorch, A. and T. Elfving : Accelerated projection methods for computing pseudo inverse solutions of systems of linear equations, *BIT*, 19, 145-163, (1979).
- Handa, S., Suzuki, A., and Y. Tanaka : The electrical resistivity structure of the Aso caldera, Japan, *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, 43, 15-23, (1998).
- 海上保安庁水路部 : 沿岸の海の基本図「三宅島」調査報告書, 1-139, (1995).
- 海上保安庁水路部 : 口永良部島・諏訪之瀬島付近の地磁気異常について, 火山噴火予知連絡会報, 70, 62-64, (1998).
- 国土地理院 : 三宅島の地殻変動, 火山噴火予知連絡会報, 69, 77-81, (1998).
- 気象庁 : 日本活火山総覧第2版, 1-422, (1991).
- 宮崎 務 : 歴史時代における三宅島噴火の特徴, 火山, 29, s1-s15, (1984).
- 中村一明 : 三宅島の側火口分布と地殻応力場の性質, 火山, 29, s16-s23, (1984).
- 名古屋大学理学部・東京大学地震研究所・九州大学理学部 : GPS観測による三宅島における地殻水平変動(1995~1997), 火山噴火予知連絡会報, 71, 84-85, (1998).
- 大島章一・兼子俊朗・小野寺建英・中川久穂・登崎隆志・三品正明・小坂丈予 : 硫黄島周辺海域の磁気測量結果と海底から採取された岩石の磁性, 水路部研究報告, 17, 289-316, (1982).
- Parker, R.L. : The rapid calculation of potential anomalies, *Geophysics, J. R. astr. Soc.*, 31,



*3D-Geomagnetic Structure of Miyake-jima Volcano before the Eruption in 2000  
:an Application of 3D-Geomagnetic Tomography Method*

- 447-455, (1972).
- Seama N. and Isezaki, N.: Sea-floor magnetization in the eastern part of the Japan Basin and its tectonic implications, *Tectonophysics*, 181, 285-297, (1990).
- 鈴木進・熊川浩一・長屋好治・植田義夫, 三宅島の地磁気異常, 水路部技報, 7, 49-55, (1989).
- 東京大学地震研究所三宅島火山の全磁力変化, (火山噴火予知連絡会伊豆部会(2000/8/31)資料)
- 東北大学理学部: 磐梯山におけるの3次元地震波速度構造探査, 火山噴火予知連絡会報, 73, 68-70, (1999).
- 津久井雅志・鈴木裕一: 三宅島火山最近7000年間の噴火史, 火山, 43, 149-166, (1998).
- 植田義夫・登崎隆志・小野寺建英・兼子俊朗・大島章一, 航空磁気測量成果から求めた本邦第四紀火山の地磁気異常と磁気構造, 水路部研究報告, 18, 37-64, (1983).
- 植田義夫・中川久穂・熊川浩一, 1986年伊豆大島噴火後の航空磁気測量成果とその地球電磁気学的考察: B火口付近に推定される熱消磁構造, 火山第2集, 33, s202-s216, (1988).
- Ueda, Y. : Study on crustal structure of Japanese Island arcs as revealed from magnetic and gravity field analysis, *Rept. Hydrogr. Res.*, 30, 61-174, (1994).
- 植田義夫・加藤幸弘・三宅島西方海域調査班: 三宅島西方・群発地震発生海域の地殻構造と銭州海嶺北部のテクトニクス, 水路部研究報告., 37, 37-56, (2001).
- Utashiro, S., Takigawa, U., Oshima, S., and S. Kondo : Aeromagnetic and marine magnetic survey around Japan, *Commemoration publication of the centenary of the Hydrographic Department of Japan*, Tokyo, 75-111, (1972).
- Van der Sluit and H.A. van der Vorst : Numerical solution of large space linear algebraic system arising tomographic problems, in "Seismic Tomography", edited by G. Nolet, D. Reidel Pub., Dordrecht, 49-83, (1987).
- 横山 泉・岡田弘志: Lacoste & Romberg 重力計による三宅島における重力測定, 北大地球物理学研究報告, 12, 91-98, (1964).
- Zhao, Z. , R. Kubota, F. Suzuki and S. Iizuka : Crustal Structure in the Southern Kanto-Tokai Region Derived from Tomographic Method for Seismic Explosion Survey, *J. Phys. Earth*, 45, 433-453, (1997).

### 三宅島の航空写真

撮影日時：平成13年 2月15日

天 候：晴れ，前日夜からの寒波で三宅島では降雪があった模様。

高 度：約1,500m (4,800ft)

航 空 機：海上保安庁所属 YS11 (LA701)

上：南側火口壁を望む。噴石丘から水蒸気が吹き上げられている。火口壁からも複数の箇所から噴気が認められる。

下：北側の火口壁を望む。火口内には積もった雪がまだ残っており，温度の高い所は南側に限られているようである。



Photograph 1 Air photograph of Miyake-jima volcano.



Photograph 2 Air photograph of Miyake-jima volcano.