

諏訪之瀬島の地磁気異常と3次元磁気構造

植田 義夫*・小野寺健英**・熊川浩一**・小山 薫**

(2006年12月14日受付, 2007年7月4日受理)

Aeromagnetic Anomalies and a 3D magnetic structure of Suwanose-jima Island

Yoshio UEDA*, Ken-ei ONODERA**, Kouiti KUMAGAWA** and Kaoru KOYAMA**

Airborne magnetic surveys of Suwanose-jima Island were conducted on August, 24 and 25, 1999 at the altitude of 1066 m by a proton magnetometer installed on a craft of YS-11. Magnetic anomalies of total force are calculated by subtracting IGRF-10. The negative peak (-326 nT) is observed over the north to northeastern coastal zone and a positive peak (242 nT) is over the southeastern slope. Another positive peak is also recognized over the southern tip of Island. The volcanic edifice is approximated by the assemblage of the prismatic bodies for the 3D magnetic analyses. A 3D model analysis based on a uniform magnetization assumption shows the magnetization intensity of 3.14 A/m corresponding to a magnetization direction polarized in the direction defined by declination of 0° and inclination of 42.5° . A 3D non-uniform magnetization analysis, where each block is magnetized in the same direction as in the uniform model with a variable magnetization intensity, is conducted to derive an internal magnetic structure of the edifice. This result makes it apparent that the volume weighted mean magnetization intensity is ranging from 2.87 to 3.12 A/m, and a non-uniformity of magnetization from 40% to 14% , by taking into consideration of the base layer underlain by the volcanic edifice. Besides, the following features are also made apparent. (1) Relatively low magnetization zones ($-0.5 \sim -1.5$ A/m) are recognized in the southwest of Mt Ontake. This low magnetization zone extends to the base layer between 0 m and 700 m below sea level. This zone is thought to be linked with the conduit of Suwanose-jima Volcano. (2) Relatively strong magnetization zones ($0.5 \sim 1.5$ A/m) are recognized in the southeast of the summit area and they further extend northeastward to the east offing of Suwanose-jima Island. (3) The base layer between 0 m and 700 m b.s.l. is generally small in magnetization intensity ($-0.5 \sim -1.5$ A/m) except the high magnetization zone denoted in 2). The above features may imply that the base layer is composed of more siliceous rocks than pyroxene andesites forming the present volcanic edifice.

Key words: Suwanose-jima, magnetic anomalies, 3D magnetic analysis, active volcano, Ryukyu-Islands (Nansei-Shoto), airborne geophysics

1. はじめに

諏訪之瀬島は桜島の南西約 200 km に位置する活火山で (Fig. 1), 現在でも度々ストロンボリ式噴火やブルカノ式噴火を繰り返している。山体は主に4つの火山が集積してできた複合火山で, 安山岩質の溶岩と火山碎屑物から形成されている (平沢・松本, 1983; 松本, 1964; Tiba, 1989)。山体の最高峰は御岳の南壁で 799 m の標高を有する。周辺の海底地形を参照すると諏訪之瀬島の基底は水深 700 m 付近にあり, 標高 0 m 付近は海面下の地形を考慮すると, ほぼ5合目に相当する。

諏訪之瀬島についての地磁気に関連した調査は, 陸上での地磁気観測結果とその解析結果が村内 (1954) により報告されている。それによれば, 山体の平均磁化強度として約 8.0 A/m の値が報告されている。しかし, この結果は陸上での限られた観測結果による推定値であるため, 正確な磁化強度の推定のためには海域を含めた火山地形をカバーする航空磁気測量データが必要である。

一般に磁気異常の原因となる磁性鉱物はキューリー一点温度以上に達すると磁性を失うが, 諏訪之瀬島のような安山岩質で構成される火山でも磁性鉱物が含まれてお

* 〒558-0004 大阪市住吉区長居東 2-16-5-506
日本水路協会

** 〒104-0004 東京都中央区築地 5-3-1
海洋情報部

Corresponding author: Ueda Yoshio
e-mail: yueda10@hotmail.com

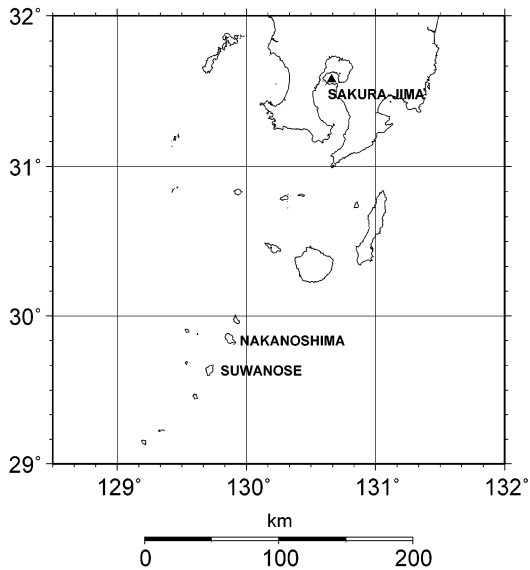


Fig. 1. Location of Suwanose-jima island

り、火山体の3次元磁気構造から熱消磁の部分特定できれば、火山体内部の熱的狀態に関する情報を得ることができる。また、熱的狀態が変化すれば火山体に伴う地磁気異常に変化が生ずる。逆にいえば、このような変化を検出することにより火山体内部の温度変化を事前に捉えることができ、ひいては火山活動の監視につながる。特に、南西諸島の離島は活火山である場合が多く、このような離島での火山災害を防止するためにも、火山活動の監視は重要な課題である。

海上保安庁海洋情報部(旧水路部)では諏訪之瀬島に関する航空磁気測量を1999年に高度1066mで実施した。ここでは、この成果により求められた同島の地磁気異常とそれから推定される3次元磁気構造について報告する。

2. 地形と磁気異常の特徴

Fig. 2には諏訪之瀬島とその周辺の地形図、Fig. 3には測量成果を直接描画した測量高度1066mでの地磁気異常図を示した。諏訪之瀬島の航空磁気測量は1999年8月24日、25日の2日にかけて高度1066mで実施された。航空機は羽田航空基地所属のYS11型機で、プロトン磁力計センサー部を機体後部のテール部分に収納し、機体の磁気ノイズを避けて全磁力を2秒毎に計測した。測線の配置はFig. 3に示すように南北および東西方向に概ね1800m間隔であるが、陸域部では南北測線の間隔は500m以下の密な測線でカバーしている。

観測日の地磁気変化は24日には全磁力で20nT程度

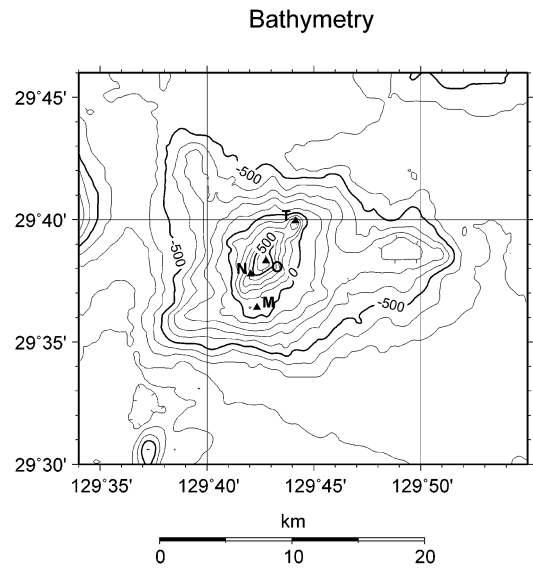


Fig. 2. Topography of Suwanose-jima island and its adjacent sea areas. Contour interval is 100 m. T: Mt. Tondati-dake, O: Mt. On-take, N: Mt. Negami-dake; M: Makodai plateau.

の若干の擾乱があったが、25日はほぼ静穏であり、地磁気の日変化補正は鹿屋地磁気観測所の毎分値をもとに補正した。航空機の位置決定はGPSによるもので、その測位誤差は100m以下と見積もられている(植田, 2006)。観測データには各交点での較差を最小にするために交点誤差補正(Wessel, 1989)を行った。補正後の最終的な交点誤差は8.0nTである。

全磁力値から地磁気異常を計算する際の標準磁場モデルとしてはIGRF-10th model (Macmillan and Maus, 2005)を用いた。地磁気異常の分布は山体の北側に負、南側に正のダイポール状のパターンを示し、山頂部付近の正負の境界線は東西に偏った東北東-西南西に延びた分布となっている。負の極値は-326nTで、御岳火口から約5km北北東の北側の沿岸部付近に存在し、一方、正の極値は242nTで御岳の南南東2km付近に認められる。正負の極値間隔は南北で約6kmである。

諏訪之瀬島の火山噴出物では島の北東部の基盤を形成している古期富立岳噴出物が最も古いと推定されているが、その絶対年代は求められていない。諏訪之瀬島の火山岩の年代測定結果では島の南西端の真向台安山岩が0.64Maの年代を示しており(大四・他, 1987)、Brunhes正磁極期での火山活動を示唆している。地磁気異常の分布は正磁化に伴う分布を示しており、Brunhes正磁極期以前の松山逆転期での活動があったとしても小規模なも

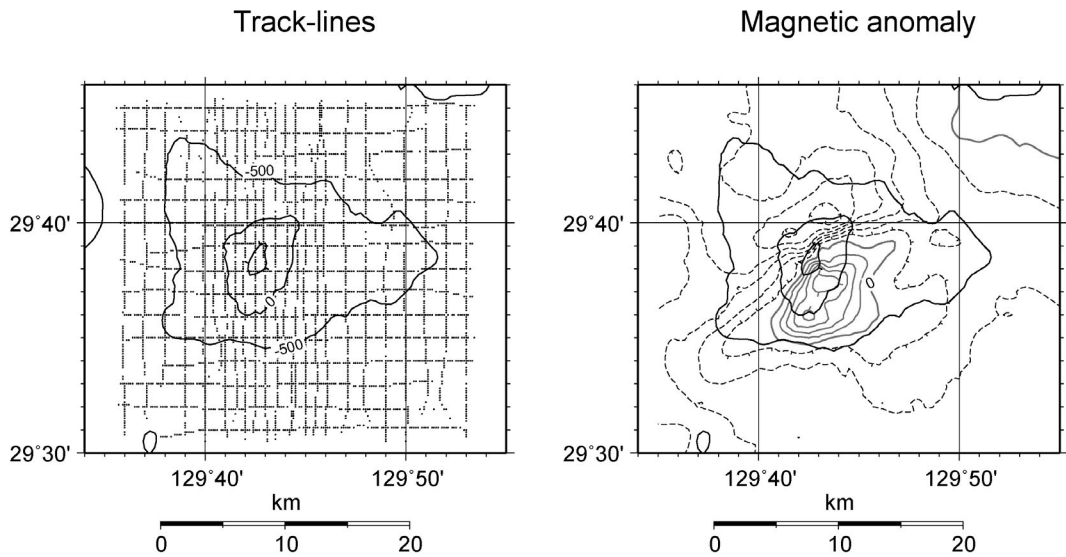


Fig. 3. Track lines and total intensity magnetic anomalies at the altitude of 1066 m. Left: Track lines. Right: Magnetic anomalies of total force. Contour interval is 50 nT. Positive and negative anomalies are shown by solid and dotted lines, respectively.

のであると推察される。

諏訪之瀬島の陸部の地形では北東～南西方向の地形的尾根が顕著に認められるが、海域部を含めた特徴としては、海拔下 700 m 付近の基底部に認められる三角形の隆起部が顕著で、諏訪之瀬島はその土台の上に形成された火山と考えられる。基底部の隆起地形は、島の中央部から東側約 15 km、北西約 12 km、及び南西約 11 km に及び、特に東側の隆起部は海域部での海底噴火で形勢された独立状の隆起部と推察される。メッシュ地形データから求めた諏訪之瀬島の陸部の体積は約 6.7 km³ であるが、水深 700 m 以浅の隆起部全体の体積は約 122 km³ で、陸部のそれのほぼ 20 倍にあたる。地磁気異常との対応では諏訪之瀬島本体部分に対応した地磁気異常が顕著に認められるが、海域部に存在する地形的浅所部（諏訪之瀬島中央部から東方約 10 km、北西約 8 km 及び、南西約 6 km 付近）に対応した磁気異常は振幅が小さく、明瞭な対応は認めがたい。

3. 解析方法

本論文で用いた解析法は基本的には植田 (2006) によるが、ここでは、さらに火山体をのせる基盤層の磁化強度分布もパラメーターとしてそれらを同時に求めることにした。

3-1 第一ステップ (均一磁化モデル)

火山体の形状を3次元直方体の積み重ねで近似する。

この際、陸部の地形データは国土地理院の作成した数値地図 2500 (空間データ基盤) を、海域部については鈴木・他 (2001) のデータを用いた。諏訪之瀬島の標高及び水深データを X-Y 座標 (原点: 北緯 29 度, 東経 129 度からの実距離) に変換し Smith and Wessel (1990) の方法を用いて 250 m, 500 m, 及び 1 km メッシュデータを作成した。このメッシュデータをもとに地形モデルを下記のように作成した。

第 1 層: 標高 300 m 以上 250 m メッシュ

第 2 層: 標高 0 m から標高 300 m 500 m メッシュ

第 3 層: 標高 0 m から海拔下 700 m 500 m メッシュ

第 4 層: 水深 700 m から海拔下 1200 m 1 km メッシュ

諏訪之瀬島周辺海域の音波探査記録を参考にすると、諏訪之瀬島付近での堆積層の層厚は最大でも 500 m 程度であることから、諏訪之瀬島の基盤が海拔下 700 m から 1200 m と仮定し、その基盤層を第 4 層としてモデルに組み込んでいる。地磁気異常のデータについては同様に X-Y 座標変換を行い、そのデータをメッシュ化せずに観測異常値として解析した。

第一ステップでは、諏訪之瀬島の山体がほぼ現在の磁化方向に均一に磁化していると仮定して磁化方向を伏角 42.5 度、偏角 0.0 度として、山体の磁化強度を求めるとともに、観測磁気異常から均一磁化モデルによる計算磁気異常を差し引いた残差異常を算出した。

3-2 第二ステップ(非均一磁化モデル:多体ブロックモデル)

残差異常を入力データとして基盤層を含めた3次元ブロックモデル(第1層から第4層)により各ブロックの磁化強度をもとめる。このようにして求めた磁化強度は第1層から第3層の火山本体については第一ステップで求めた均一モデルの磁化強度からの偏差を意味し、第4層の基盤層に関しては相対的磁化強度の分布を意味する。

今、測点*i*での残差異常を*f_i*として、各ブロック*k*での磁化強度偏差を ΔJ_k とすると、観測方程式は次式となる。

$$f_i = \sum_k A_{ik} \cdot \Delta J_k + b \quad (1)$$

A_{ik} はヤコビアン行列で、1000×1000オーダーの大型マトリックスである。ここでは共役勾配法(CG)法(Bjorck and Elfving, 1979)によるくり返し計算の過程において各ブロックの磁化強度の許容範囲を設定し、その範囲内において観測値と計算値との間の標準偏差(σ)の減少率がほぼ飽和した時点での解を最適解としている。なお、許容範囲の設定は均一モデル解での磁化強度の値を下回るような負の磁化強度を避けるためである。また、解析精度を表す指数として、入力異常値と計算異常値の差の標準偏差(σ)の他、入力異常値の絶対値の総和と残差の絶対値の総和の比で定義される Goodness-fitting-ratio (GFR)(Uyeda and Richards, 1966)を計算した。

3-3 解析パラメーターの誤差推定

解の誤差を推定する方法は基本的には植田(2006)に示した方法で、その一つは次式(Menke, 1989)から導かれる。

$$\text{cov } \Delta J_k = \sigma_d^2 \cdot \left[\frac{1}{2} \frac{\partial^2 E}{\partial (\Delta J_k)^2} \right]^{-1} \quad (2)$$

ここで左辺は磁化強度偏差 ΔJ の分散、 σ_d は観測データの分散で、 E は残差2乗和である。右辺はヤコビアン行列の各要素の2乗和として次式で表される。

$$\left[\frac{1}{2} \frac{\partial^2 E}{\partial (\Delta J_k)^2} \right] = \sum_i (A_{i,k})^2 \quad (3)$$

もう一つの方法は観測方程式から直接推定する方法で、(1)式において各ブロックの磁化強度偏差の誤差に伴う計算値の誤差 δf_i の2乗は各ブロックの磁化強度の誤差の2乗とは次式で表される。

$$(\delta f_i)^2 = \sum_k A_{ik}^2 \cdot \delta (\Delta J_k)^2 \quad (4)$$

(4)式を解くことにより各ブロックの磁化強度偏差の誤差 $\delta (\Delta J_k)$ を求めることができる。ここではこれらの誤差を計算し、磁化強度の変動が有意かどうかの判断をし

ている。なお、Fig. 8に示してあるのは(4)式による誤差である。

3-4 火山体の磁気構造に関するパラメーターの算出

多体ブロックモデルでは各ブロックの磁化強度偏差を求めることができる。一方、各ブロックの体積はメッシュ標高データから計算できるので、厳密な意味での体積平均の磁化強度を求めることができる。火山体の各ブロックの磁化強度とその体積の積の総和はその火山体が有する総磁気モーメント(bulk magnetization)に相当し、各ブロックの磁化強度偏差とその体積の積の絶対値の総和は火山体の均一磁化モデルからの違いを表す値で、ここではそれを残差磁気ノルム(total norm of residual magnetization)と定義する。そして残差磁気ノルムの総磁気モーメントに対する比率は火山体の磁気構造の均一性を示す指標であり、ここでは磁気的非均一度(magnetic non-uniformity)とよぶ。ここに定義した値は三宅島の3次元磁気構造の解析過程で計算されているが、その他の火山体については3次元磁気構造がなされていないため全体的な議論はこれからの課題である。しかし、火山体の磁気的性質を表す指標として今後の解析過程でのデータの蓄積が期待される。

4. 解析結果

4-1 均一磁化モデル

諏訪之瀬島の磁気異常をもとに、火山体が一様な磁化を有すると仮定して求めた火山体の磁化強度ならびに磁化方向をTable 1にまとめた。Case-1は磁化方向を現在の磁場方向に一致すると仮定して求めた結果、Case-2は磁化方向も変数として求めた結果である。また、Fig. 4にはCase-1での入力磁気異常図、計算磁気異常図及び

Table 1. Results of uniform magnetization analyses of Suwanose-jima volcano.

Uniform model	Case-1	Case-2
Magnetization(J : A/m)	3.14	3.30
Declination(D)	0(fix)	-42.9
Inclination (I)	42.5(fix)	49.9
σ	67.7nT	51.3nT
GFR	2.70	3.55

D ,: degree from North to East, I ,: degree from horizontal to downward. Target area of analysis is restricted near Suwanose-jima island enclosed by the rectangular zone whose coordinates of left-down and right-up corners are (64, 65) (74, 77), respectively. The coordinate values are shown in Fig. 4.

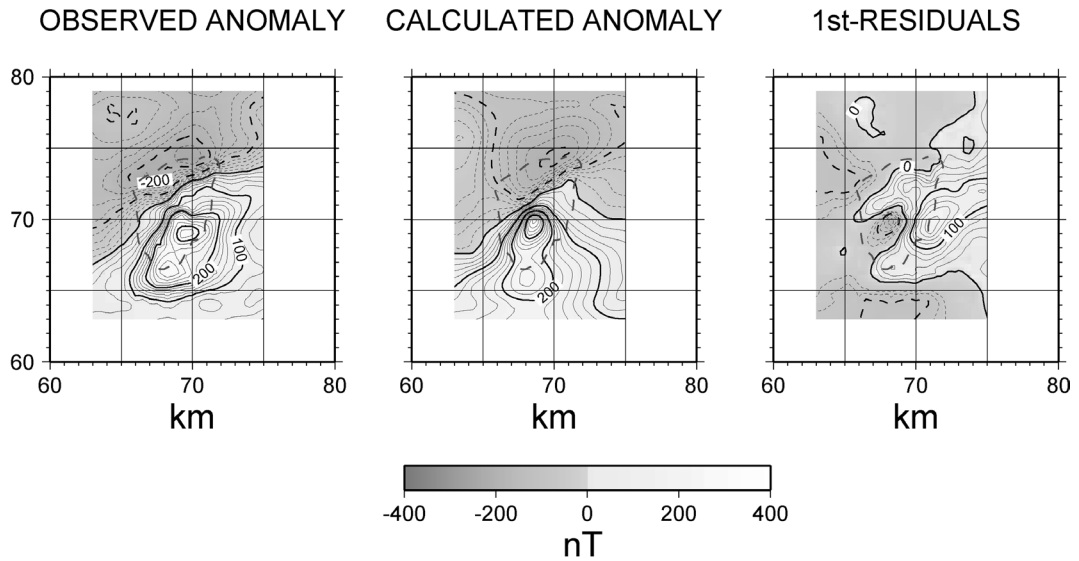


Fig. 4. Observed data, calculated data and residuals in the uniform magnetization analysis. Contour interval is 20 nT. Positive and negative anomalies are shown by solid and dotted lines, respectively. Thick lines are shown every 100 nT.

両者の差を示す残差異常図を示した。この結果によると諏訪之瀬島の火山体の平均的磁化強度は 3.14~3.30 A/m の値を示す。三宅島などの玄武岩質の火山体では 10 A/m オーダーの磁化強度を示すが、諏訪之瀬島の構成岩体が安山岩質の火山岩で形成されていることを考えればこの磁化強度の値は、従来の結果と調和的である(植田・他, 1983)。ちなみに、諏訪之瀬島の陸域部で採取された岩石の磁化強度は島の南端部に露出する真向台溶岩で 1~4 A/m、島の西海岸付近に分布する文化溶岩で 3~7 A/m、これより少し北側の須崎火山溶岩で 1.6~2.6 A/m の値を示し、バラツキが大きいものの磁気異常から求めた平均的な磁化強度とおおむね調和的である(海洋情報部, 2003)

Fig. 4 の残差異常図に見られるように諏訪之瀬島中央部では 150 nT に及ぶ負の残差異常が認められる。このような残差異常の原因は山体が均一な磁気構造からずれているために生じるものと考えられる。このような非均一な磁気構造の原因としては、山体を構成する物質の磁化強度の違いや山体内部の高温部での熱消磁などが考えられる。逆に言えば、山体内部の磁気構造の非均一性を検出できれば、このような火山体内部の構造を推定することが可能となる。

4-2 非均一磁化モデル

ここでは、Fig. 4 に示した残差異常値を入力データとし、山体を多体ブロックの積み重ねで近似し、第 1 層か

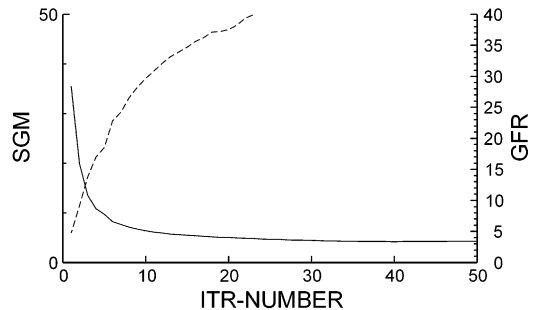


Fig. 5. Standard deviations (σ) and GFR (goodness-of-fitting ratio) between the observed and calculated anomalies against iteration numbers in CG solution.

ら第 3 層についてはそれぞれのブロックの平均的磁化強度からの偏差、第 4 層については相対的磁化強度分布をそれぞれ求めた。

Fig. 5 は入力異常値と計算異常値の差から求めた標準偏差 (σ) と CG 法によるくり返し計算回数との関係を示した。標準偏差 σ は最初の段階では急激に減少するが、ある回数からは σ はほぼ一定の値となる。ここでは、 σ がほぼ一定に達した時点での解(くり返し計算回数が 10)を最適解とした。このようにして求めた非均一磁化モデルの解析結果を Table 2 にまとめた。なお、解析結果に与える基盤層(第 4 層)の影響を評価するため、基

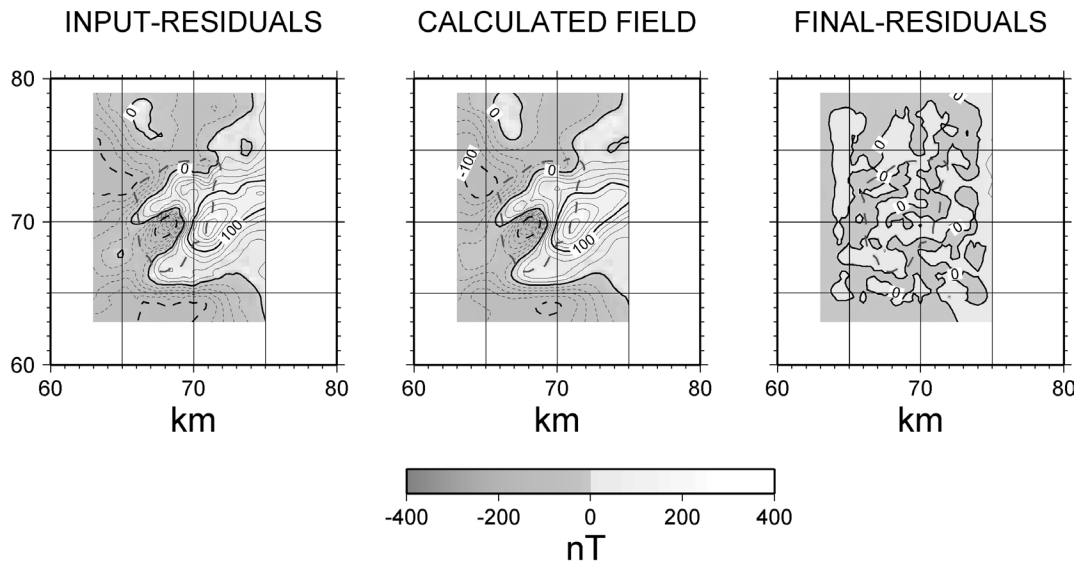


Fig. 6. Observed, calculated and residuals in the non-uniform multi-block model. Contour interval is 20 nT. Positive and negative anomalies are shown by solid and dotted lines, respectively. Thick lines are shown every 100 nT.

Table 2. Results of analyses by multi-block models for the residuals in case 1.

	Volcanic edifice and Base-layer (4 layer model)	Volcanic edifice (3 layer model)
Total data number of magnetic anomalies	1282	1282
Total block numbers	1447	1192
Volume-mean magnetization (A/m)	3.12	2.87
Volume: (km ³) (base depth=700m bsl)	76.2	76.2
Bulk magnetization*1 (A/m·km ³)	238.0	218.5
Non-uniformity*2 (%)	14	40
σ (nT)	6.4	9.4
GFR	29.7	19.8

Target area of analysis is the same zone in Table 1.

*1: total summation of the product of magnetization intensity (J) and volume of each block.

*2: a percent value of the total summation of the absolute value of the product of magnetization deviation and volume of each block against a bulk magnetization.

盤層を解析に組み入れない方法で求めた結果も参考として示した。この結果から、諏訪之瀬島の体積平均の平均的磁化強度は 2.87~3.12 A/m (平均は 3.00 A/m) でその磁気的非均一度は基盤層を考慮しない場合は 40%、基盤

層を組み入れた場合には 14% となる。両者のいずれが妥当かの判断は難しいが、ここでは GFR 値が大きい基盤層を組み込んだ結果を図に採用した。基盤層を組み込まない結果では、基本的には、第 4 層の磁化強度分布が

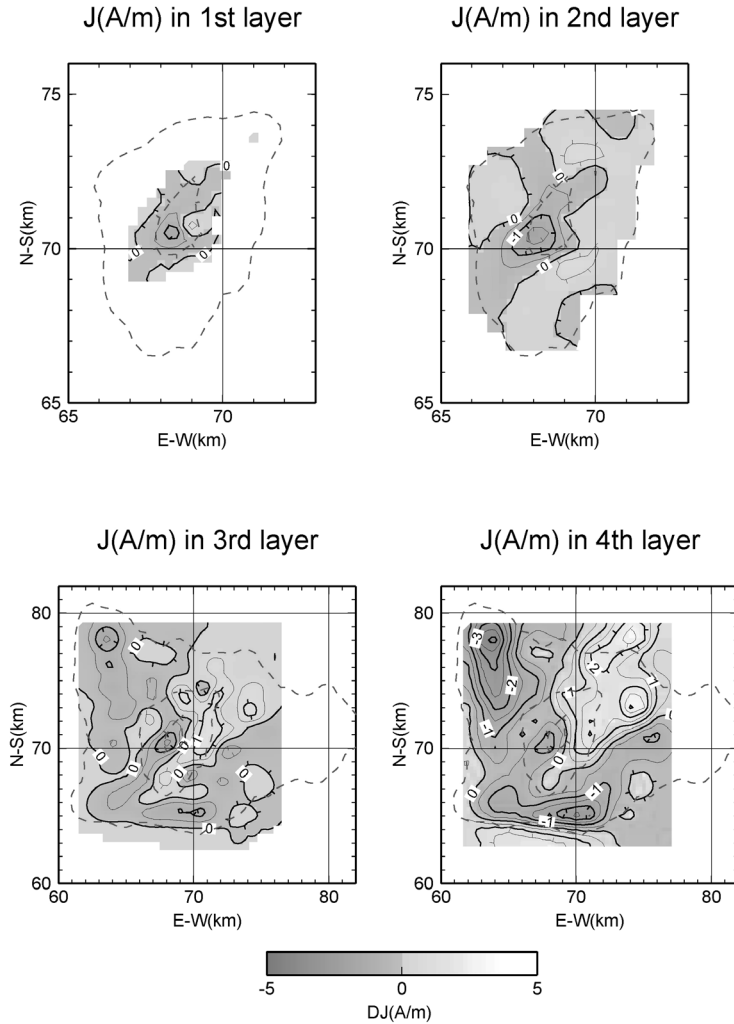


Fig. 7. A 3D magnetic structure of Suwanose-jima volcano derived from aeromagnetic anomalies. The upper left is the first layer ($h \geq 300$ m a.s.l.), the upper right is the second layer ($300 \text{ m} > h \geq 0$ m), the lower left is the third layer ($0 \text{ m} > h \geq -700$ m), and the lower right is the fourth layer ($-700 \text{ m} > h \geq -1200$ m b.s.l.), respectively. Magnetization deviations from mean value (3.14 A/m) are shown in contour lines with interval of 0.5 A/m for the first to third layers. For the fourth layer, the magnetization contrast in the layer is shown in the same contour intervals. The analyzed region is the rectangular zone whose left-down and right-up corners are (62, 63) (76, 79), respectively.

第3層に重畳する結果となる。

Fig. 6はこの解による入力異常値、計算異常値、及び最終残差を示した。この最終残差図にみられるように、入力磁気異常はほぼ再現されており、最終的な残差分布は入力データに比べランダムな分布となっていることがわかる。また、Fig. 7には諏訪之瀬島の各層の磁化強度分布図を、Fig. 8には諏訪之瀬島を東西に切る磁気構造断面を誤差とともに表示した。

Fig. 7の第1層および第2層は陸域部の磁化強度の分布を示したものである。山頂部の御岳から根上岳付近は相対的に 1 A/m 程度の磁化強度の低下域が認められる。この低磁化強度の部分は、Fig. 8の断面図でも明らかのように諏訪之瀬島の海域部の第3層にも及んでいる。このような相対的な磁化強度の低下域については、①これらの部分を構成する火山噴出物の違い、②温度場を反映した熱消磁構造を反映したもの、という2つの可能性が

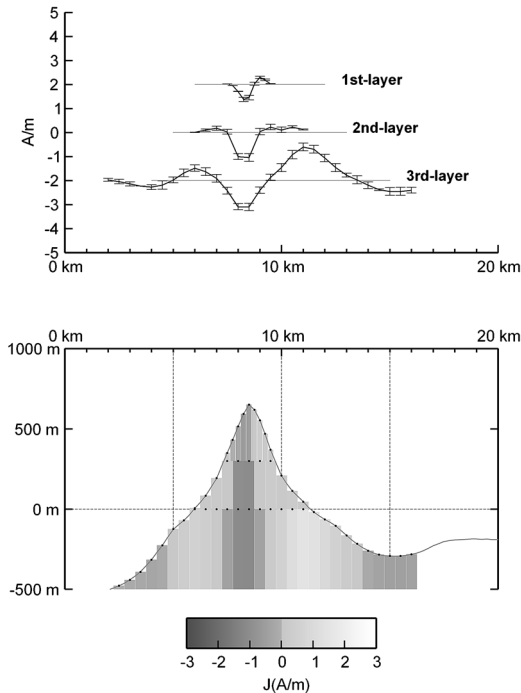


Fig. 8. A EW cross sectional view of 3D magnetic structure in Fig. 7. The cross section from west to east at the N-S coordinate of 71.0 is shown. The estimated error bars of magnetizations along the profile are shown in the upper part, from the first to the third layers, respectively.

考えられる。一方で、自然電位観測では御岳の活動火口のほかにも御岳の南西側に熱水活動が推察されていること(神田・他, 1999), 熱消磁域の中心部付近には旧火口が存在すること等を考えれば、噴出物の違いよりもむしろ温度場による熱消磁構造が原因と考えるのが自然であろう。噴火地震の震源位置は火口直下の海面付近に求められており(為栗・他, 2004), 熱消磁の中心からややずれているが深度的には今回の熱消磁域の分布と調和的である。第3層の磁化強度の分布では諏訪之瀬島の南東斜面から北東方向にかけて正の磁化強度偏差域が認められる。このような傾向は基盤の第4層にも認められており、諏訪之瀬島ではこの部分が相対的に塩基性の組成に富む火山噴出物で構成されていると推察される。

諏訪之瀬島の海域部の全体的な磁氣的構造を求めめるため、解析対象範囲を拡大して解析した結果をTable 3に示した。また、Fig. 9はその結果による磁化強度分布図である。体積平均の磁化強度は2.78 A/mとなり、Table 2の解析結果と比べて若干小さくなっているが、この原因は海域部の第3層の磁化強度が諏訪之瀬島の陸域部に

Table 3. Results of analyses by multi-block models for the zone including the base floor of Suwanosejima island.

Total data number of magnetic anomalies	904
Total block numbers	2675
Volume-mean magnetization (A/m)	2.78
Volume:km ³ (base depth=700m bsl)	122.0
Bulk magnetization*1 (A/m·km ³)	338.7
Non-uniformity*2 (%)	13
σ (nT)	5.3
GFR	25.67

Target area of analysis is the zone enclosed by the rectangular whose coordinates of left-down and right-up corners are (61, 63) (82, 80), respectively. The coordinate values are shown in Fig. 4.

*1: total summation of the product of magnetization intensity (J) and volume of each block.

*2: a percent value of the total summation of the absolute value of the product of magnetization deviation and volume of each block against a bulk magnetization.

比べて小さいため、全体の平均的磁化強度として減少したためである。Fig. 9の磁化強度分布では第3層の諏訪之瀬島の東側から北東側にかけては相対的に正の磁化強度域が分布するが、それらはさらに北東へのび中之島の基盤へと連なるようである。その他の海域部の磁化強度は相対的に負の磁化強度偏差を示すところが多く、陸域部に比べて1.0~1.0 A/m程度磁化強度が小さい。このような特徴は基盤と考えられる第4層にも認められる。海域部でのこのような特徴をより直感的に示すため、海拔下700mを基底深度とし、それ以浅の起伏を水平方向でのメッシュ間隔500mのブロックで火山体を近似し、各ブロックの磁化強度を直接CG法で求めた結果をFig. 10に示した。この図からは、海域部では1~2 A/m程度の磁化強度であり、一方、諏訪之瀬島南東側から北東域(海域部も含む)では4 A/m以上の磁化強度を示すことがわかる。

以上に述べたように、諏訪之瀬島の海域部を構成する第3層においては諏訪之瀬島の陸域部に代表される安山岩質の火山噴出物よりもやや珪長質に富む火山物質で構成されている可能性が推察されるが、これについては今後の岩石採取等による直接的手段による検証が必要であろう。

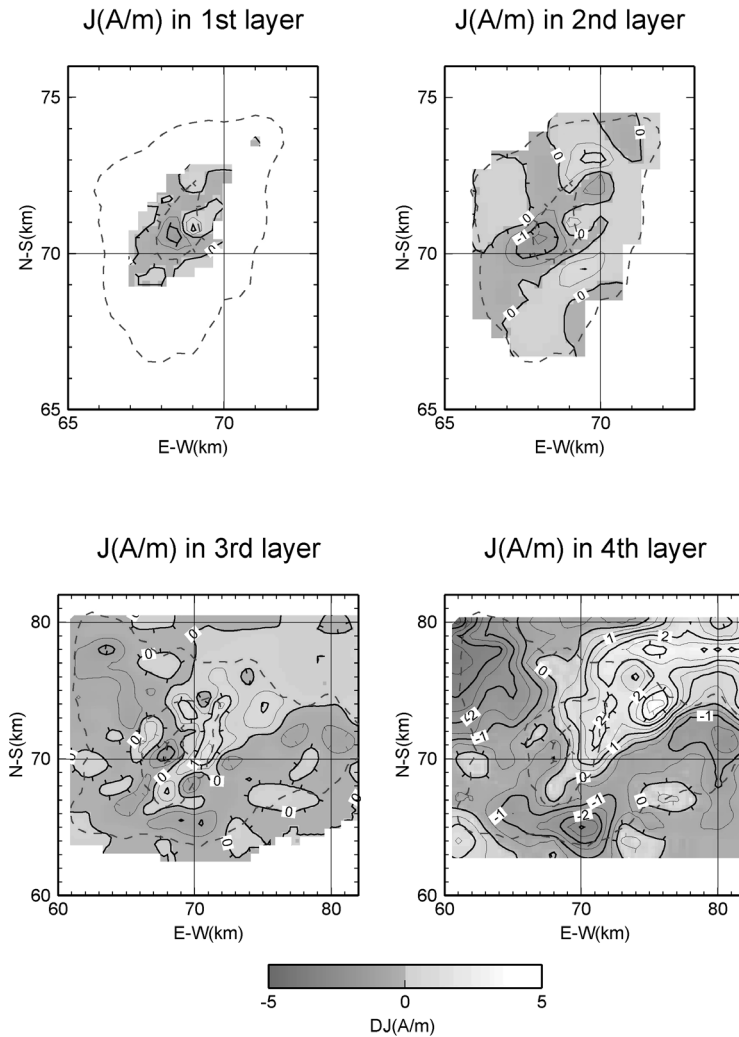


Fig. 9. A 3D magnetic structure of Suwanose-jima volcano derived from aeromagnetic anomalies. The captions of figures are the same as described in Fig. 7. The analyzed region is the rectangular zone whose left-down and right-up corners are (59, 61) and (84, 82), respectively.

5. 結 論

諏訪之瀬島の陸域部を主体とした均一磁化モデルではその平均磁化強度は 3.14 A/m の値となる。また、海域部を含めた非均一磁化モデルでの解析では、海域部の隆起地形全体での体積平均の磁化強度は約 3.00 A/m の値で、火山体の残差磁気ノルムの総磁気モーメントに占める割合である磁氣的非均一度 (non-uniformity of magnetization) は第1層から第3層までの諏訪之瀬島本体のみの解析では40%であるが、その基底である基盤層(第4層)を考慮すると14%となる。基盤層を解析に組み入れることで解析精度指数は大きくなるが、いずれのモデル

が正しいかは、今後のボーリング等による検証が必要であろう。

諏訪之瀬島の基底部分は海底700m付近にあり、海底部を含めた火山体の体積は 122 km^3 となる。海底部の磁化強度は諏訪之瀬島の北東部海域を除けば $1.0 \sim 2.0 \text{ A/m}$ 程度で、陸域部での推定値 ($3.0 \sim 5.0 \text{ A/m}$) と比べて磁化強度が低い。このことから、諏訪之瀬島を形成した初期火山活動は現在よりも珪長質に富む火山岩を主体とした火山活動であったことが推察される。その後、諏訪之瀬島の火山活動は北東海域を中心に現在よりも塩基性に富む火山活動が生じ、北東海域での相対的に高磁化強

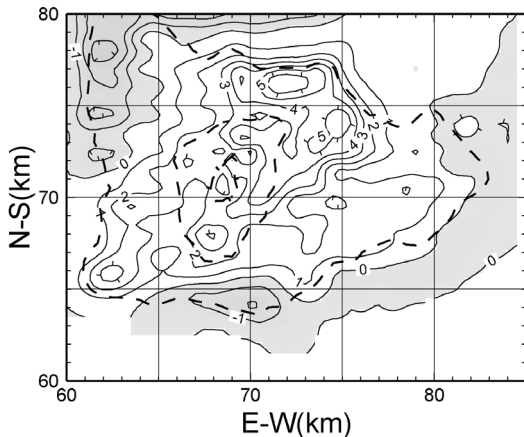


Fig. 10. Horizontal distribution of magnetization intensities of Suwanose-jima volcano. Block models with horizontal length of 500 m in north and east directions above the depth of 700 m are assumed to be magnetized in the present field direction. A calculated GFR is 10.8 and the standard deviation of misfits is 17.2 nT, respectively. Contour interval is 1 A/m.

度域を形成したと考えられる。

現在の御岳を中心とした火山活動に伴う熱消磁域は御岳から根上岳付近に分布し、この部分がマグマからの火道に連なると推察される。

謝 辞

諏訪之瀬島の航空磁気測量に協力いただいた第三管区海上保安本部羽田航空基地のLA701号機の機長及び乗組員一同に感謝の意を表します。また、航空磁気測量データの資料整理等で協力していただいた海洋情報部航法測地室の関係者に改めて御礼申し上げる。本論文の査読を担当された小山崇夫氏、宇津木充氏および編集担当の古屋正人編集委員からは、投稿原稿の改定にあたり貴重な意見、助言をいただいた。記して感謝の意を表します。なお、本論文の図面の作成にはGMT (Wessel and Smith, 1991) を使用しました。

引用文献

- Bjorck, A. and Elfving, T. (1979) Accelerated projection methods for computing pseudo inverse solutions of systems of linear equations, *BIT*, **19**, 145–163.
- 大四雅弘・林 正雄・加藤祐三 (1987) 琉球列島産新生代火山岩類の放射年代. 岩石鉱物鉱床学会誌, **82**, 370–381.
- 平沢晃一・松本幡郎 (1983) 鹿児島県トカラ列島諏訪之瀬島の火山地質. 火山, **28**, 101–115.
- 海洋情報部 (2003) 諏訪之瀬島地磁気資料整理報告書.
- 神田 径・橋本武志・大島弘光 (1999) 諏訪之瀬島火山における自然電位分布. 京都大学防災研究所年報, **42** B-1, 11–18.
- Macmillan, S. and Maus, S. (2005) International geomagnetic reference field - the tenth generation. *Earth, Planets and Space*, **57**, 1135–1140.
- Menke, W. (1989) Geophysical data analysis: discrete inverse theory, revised edition. International Geophysics Series, **45**, Academic Press, Inc.
- 松本幡郎 (1964) 鹿児島県トカラ諸島諏訪之瀬島御岳火山の1960年活動について. 火山, **9**, 57–62.
- 村内必典 (1954) 諏訪之瀬島火山の地球物理学的研究 (第一報). 国立科博研報, **1**, 13–29.
- 為栗 健・井口正人・八木原寛 (2004) 諏訪之瀬島火山において2003年11月に発生した噴火地震の初動解析. 京都大学防災研究所年報, **47B**, 773–778.
- Smith, W.H.F. and Wessel, P. (1990) Gridding with continuous curvature splines in tension. *Geophysics*, **55**, 293–305.
- 鈴木 亨・浅田 昭・永田 豊 (2001) 高密度水深データを用いて画像化した日本周辺の海底地形. 2001年度海洋調査技術学会講演要旨集.
- Tiba, T. (1989) Petrochemistry of the volcanic rocks from Kuchino-shima, Nakano-shima and Suwanose-jima, Tokara Islands. *Mem. Natn. Sci. Mus., Tokyo*, **22**, 7–19.
- 植田義夫 (2006) 三宅島の3次元磁気構造と2000年噴火によるその変化. 火山, **51**, 161–174.
- 植田義夫・登崎隆志・小野寺健英・兼子俊朗・大島章一 (1983) 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.
- Uyeda, S. and Richards, M. (1966) Magnetization of four Pacific seamounts near the Japanese Islands, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44**, 179–213.
- Wessel, P. (1989) XOVER: a cross-over error detector for track data, *Computers & Geosciences*, **15**, 333–346.
- Wessel, P. and Smith, W.H.F. (1991) Free software helps map and display data. *EOS. Trans., AGU*, **72**, 441–446.

(編集担当 古屋正人)