

1986年噴火活動期における伊豆大島の3次元磁気構造
：補編 富士山と桜島の3次元磁気構造
3D magnetic structure of Izu-Oshima Volcano at the eruptive activity in 1986
and those of Mt Fuji and Sakura-jima Volcano

植田義夫(海上保安大学校)¹
Yoshio UEDA(Japan Coast Guard Academy)

ABSTRACT

A 3D magnetization models of Izu-Oshima Volcano at the eruptive activity in 1986 was derived from aeromagnetic data surveyed during the eruptions in 1986. A uniform magnetization modeling of Izu-Oshima Volcano show a mean magnetization intensity of 12.1A/m. A multi-block modeling of the calculated residuals (Observed - Calculated in uniform modeling) shows low magnetization zones beneath the west-northwest of the western caldera rim, beneath the west-southwest of Mt. Mihara and beneath Mt. Shiroishi. These features may be related with demagnetizations, reflecting a high thermal state due to magma activities in the 1986 eruption. A derived magnetization model including Izu-Oshima Volcano and its surrounding sea areas clarifies the submerged volcanic edifices around Izu-Oshima Island, and suggests that the old volcanic edifices of Fudeshima, Gyojyanoiwaya, and Okata Volcanoes have been effected by eastward migrations due to massive intrusions of a dike-like structure inferred at the base of Izu-Oshima Volcano. 3D-magnetic structures of Mt. Fuji and Sakurajima Volcano are also derived and their volcanological meanings were discussed.

1 はじめに

伊豆大島の1986年の噴火活動期において、当時の水路部では高度3000ftでの測線間隔500m以下の高密度な航空磁気測量を実施した。そのときの解析結果はすでにUeda et al.(1990)により報告されているが、ここでの解析手法はTalwani法(Talwani,1965)による手法が用いられており、大島の山体内部の微細な磁気構造の特徴までは求められていない。その後、Nakatsuka et al.(1990)やOkuma et al.(1994)により面的な磁化強度の分布が求められているが、火山体の磁化強度は当然3次元的な構造を有しており、その意味からも伊豆大島が1986年の噴火活動の時点でどのような3次元磁気構造であったかを解明することは、今後の伊豆大島の火山電磁気学にとっても重要な情報である。最近、火山体の3次元磁気構造の解析手法が三宅島に応用され、火山噴火前後において顕著な磁気構造の変化が生じていたことが見出された(Ueda,2006)。ここでは、ほぼ同じ手法を大島に適用して得られた3次元磁気構造を報告する。なを、日本のその他の代表的な火山である富士山と桜島についても3次元磁気構造を求めたので、その結果も参考として示すこととする。

2 データ

解析に用いたデータは1986年の噴火後に行われた伊豆大島の航空磁気測量の成果で、測量高度は海拔915m、航空機はYS-11型機である(Ueda et al.,1983)。Fig.1はその時の測線とIGRF残差としての地磁気異常図である。

3 解析結果

3次元磁気構造の解析に際して、伊豆大島の地形モデルを以下の4層に分割した。

- 第1層 標高300m以上
- 第2層 標高0mから標高300mまで
- 第3層 海拔下300mから標高0mまで

¹ 4月に(財)水路協会：東京都中央区築地5-3-3へ異動、e-mail : ueda.yosio@brown.plala.or.jp

第4層 海拔下300mから1500mまで

このモデルでは第1層から第3層までが伊豆大島火山体を代表する部分で、第4層は伊豆大島の基盤層を表している。

解析は2段階の解析手順で、第一段階では山体が現在の磁化方向に一樣に磁化していると仮定して解析する。この段階での観測異常値と計算異常値の差は残差異常値と定義される。

第2段階では各層のブロックが磁化方向は均一で磁化強度だけが異なるとして、残差異常値を入力し各ブロックの磁化強度偏差を未知数としてCG法(Bjorck and Elfving, 1979)により線形方程式を解く。磁化強度偏差は第一段階で求めた平均的磁化強度からの偏差を意味する。

Fig. 2は残差異常図で、ここに示した均一磁化モデルでは伊豆大島の磁化強度は12.2 A/mの値を示す。また、磁化方向を未知数として求めた磁化方向は $D=1.9^\circ$, $I=53.5^\circ$ で、ほぼ現在の磁場方向に一致する。Fig. 3aは第1層、第2層の磁化強度偏差図(磁化強度12.2 A/mからの偏差)、Fig. 3bは第3層、第4層の磁化強度偏差図である。

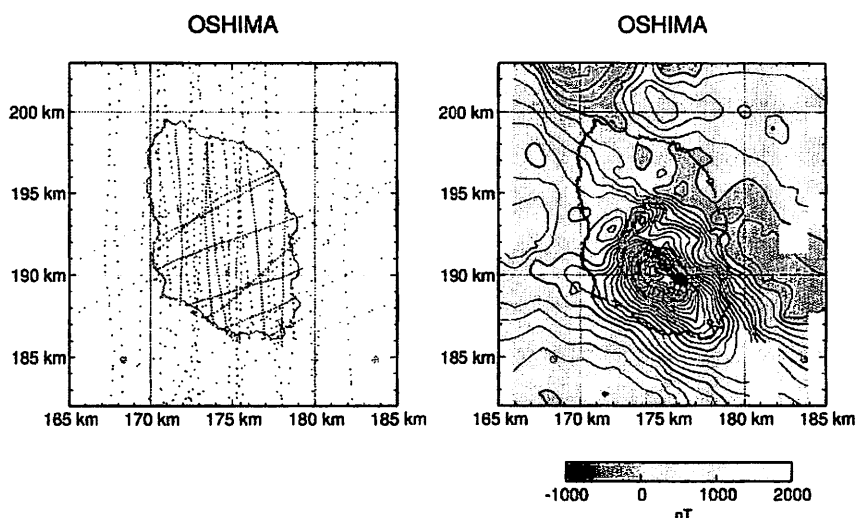


Fig.1 Aeromagnetic anomalies of Izu-Oshima Volcano.

Contour interval is 100 nT. Dot points mean the observation points. The origin of X-Y coordinate is at $E137.5^\circ$, $N33.0^\circ$.

left: survey data points in 1986 survey.

right: total intensity magnetic anomalies at the altitude of 915 m a.s.l.

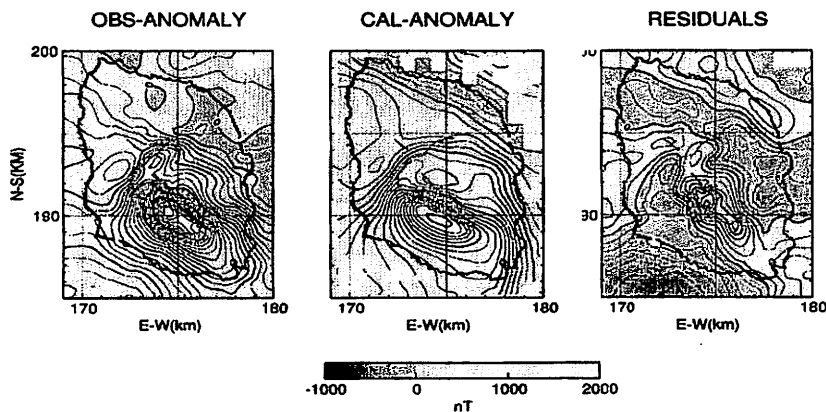


Fig.2 Terrain corrected residuals by a uniform magnetization model of the 1986 data. Contour interval is 100 nT. The dashed lines mean locations of a caldera rim.

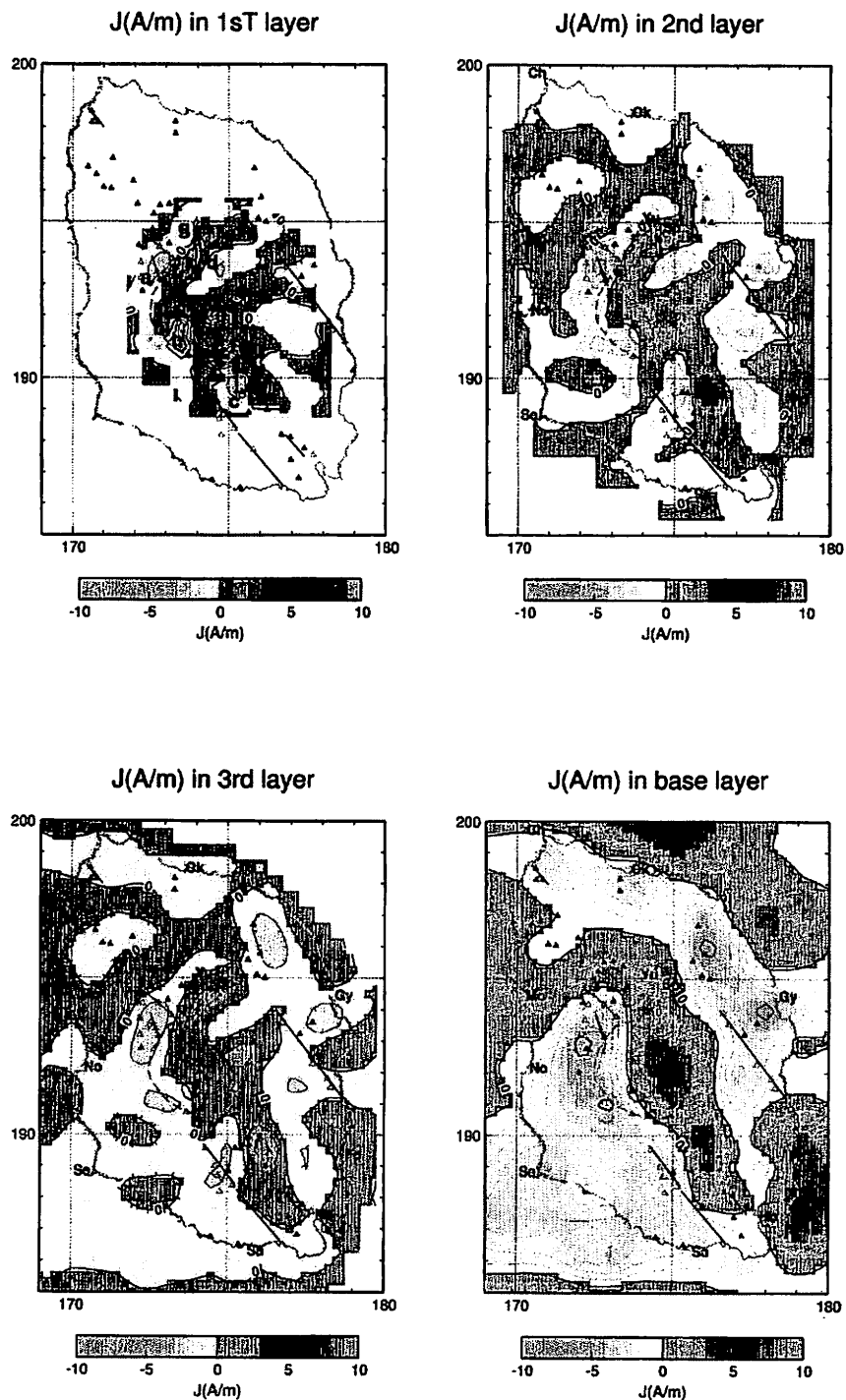


Fig.3 A 3D-magnetic structure of Izu-Oshima Volcano (four layer model) derived from the data in 1986. Calculated parameters are listed in Table 2.

Deviations of magnetization intensities from the mean value (12.2 A/m) are shown for the 1st, 2nd and 3rd layers. For the base layer, the magnitude of magnetizations is shown. Contour interval is 1.0 A/m. See to Fig.3 for notations and means of the lines.

(a): The 1st (above 300 m) and 2nd (between 0 m and 300 m) layers.

(b): The 3rd (between a depth of 0 m and 300 m) and base (between a depth of 300 m and 1500 m) layers.

4. 3次元磁気構造の特徴とその解釈

磁化強度偏差図で負で表されるのは相対的に磁化強度が低い部分で、正の部分は強い部分である。第1層のカルデラ内部の正磁化強度域は正のブーゲー重力と極めてよい対応をしめす(Ando et al., 1994)。カルデラの北西縁から南西縁にかけて磁化強度の低下域が認められこの低異常域は三原山の西側から三原山の山体西側部分にも連続する。第1層のこれらの低磁化強度域は第2層から第4層にも及んでいることが認められる。またカルデラ内ではdで示す低磁化強度域が認められるが、この異常域も第3層まで及んでいる。このような特徴から、伊豆大島のマグマの通路あるいは途中のマグマが一時的に滞留するマグマスポットとしては、ここで示したカルデラの北西縁から南西縁にあるものと推察される。このような低磁化強度域の分布は1986年の噴火に関連したマグマ溜まりの位置とよい対応を示す(Ida, 1995)。また、二子山の西側にも低磁化強度域が第1層から第3層にかけて認められる。この低磁化強度域は白石山の直下に推定される低磁化強度域に連続する。また二子山のほぼ直下には周囲にくらべ5A/m以上の磁化強度の強い柱状の高磁化強度岩体の存在が推定される。この部分は第4層の高磁化強度帯まで及んでおり、この部分に伊豆大島の深部起源の磁性岩体が柱状に貫入したことが推察される。

第3層、第4層では伊豆大島の東海岸沿い、及び南西海岸沿いとその沖合いに低磁化強度域が存在する。前者は伊豆大島の基底に分布する岡田火山、行者の巖火山および筆島火山の分布域と考えられるが、南部の筆島火山ではその広がりには海岸部から1~2km程度で、従来の予想(Kuno, 1958)に比べその分布は限定的である。行者の巖からその北北西にかけての低磁化強度域の原因としては、その付近にも側火山が分布することから、高温域による熱消磁効果の可能性も考えられる。一方、南西部とその沖合いに分布する低異常域の原因については、①南西海岸線付近の地層大断面にみられるように相対的に溶岩に比べて火山砕屑物などが多いことによる平均的な磁化強度の低下、②側火山等の熱源による熱消磁効果、等が考えられるが、これについてはボーリング等による検証が必要であろう。

伊豆大島での深部磁気構造を特徴付けているのは、同島を北北西~南南東に縦断する高磁化強度帯である。この方向は伊豆大島の張力軸にほぼ直交する向きに当たり、張力場で形成された亀裂にダイク状の貫入が生じることで形成されたものと推察される。このような構造は地震波速度構造での相対的な高速度層として検出されている(Onizawa et al., 2002)。今回の解析結果では、その幅は2~3kmでその中心は三原山直下から約1kmほど北東寄りにずれた位置にある。1986年の噴火に際しては幅2mのクラックが深部で発生し、それによる地形変形や重力変化があったと考えられている(Hashimoto and Tada, 1988; Okubo and Watanabe, 1989)。単純計算ではこのような規模の噴火が過去において1500回程度発生したとすれば、深部のダイク状の成因を説明することが可能である。現在の伊豆大島の活動は4万年以前から続いていると考えられているので(Isshiki, 1984; Nakamura, 1964)、噴火周期とすれば20数年程度となる。

伊豆大島のカルデラの形成に関しては、以前は陥没によるものとされていたが、最近のボーリングの結果では東側山体の斜面崩壊説が提唱されている(Koyama and Hayakawa, 1996; Nakada et al., 1999)。今回明らかとなったダイク状の構造の中心部は現在のカルデラ中心から北東側へ1km程度ずれていることを考えれば、陥没説よりも斜面崩壊説が支持されるようである。伊豆大島基底部でのダイク貫入により、北東側の山体は当然相模トラフ側へ押し出される。また、筆島火山や行者の巖、岡田火山など、先大島火山も北東側へずれる。今回求めた3次元磁気構造には北東~東側の海岸部の沖合いや筆島の沖合いに高磁化強度域が推定されているが、これはこのような過程で移動した先大島火山の山体を現していることが考えられる。

5 まとめ

1986年の噴火活動期における伊豆大島の3次元磁気構造を2段階解析法により求めた。その結果から活動期での磁気構造の特徴として以下の構造が推定された。

- ①カルデラの北西~南西縁にかけて低磁化強度域が認められる。
- ②カルデラ内の磁気構造は短波長ブーゲー重力異常とよい対応を示す。
- ③二子山の基底部は高磁気強度を示す円柱状の貫入構造が認められる

④伊豆大島の基底部には北西～南東の方向を有するダイク状の高磁化強度域(幅約2～3 km)が存在する。その中心部は現在のカルデラ中心より1 km程度北東側にずれておりマグマの貫入にともなって北東側への移動が推定される。

⑤伊豆大島の基底に推定されている岡田、行者の巖、および筆島火山に対応する磁化強度の分布は現在の伊豆大島の東～北東側に分布しており、④の結果と調和的である。

伊豆大島のマグマ溜まりの位置は地震の震源分布や速度構造解析から5 km以上の深部に推定されているが、火山防災の見地からは、そのような数kmの深度からマグマが上昇し、地表付近での一時的なスポットを形成するまでの火山体表層部との間でのより微細な火山体構造を求めることが、求められている。今回の結果は、低高度の航空磁気測量による3次元磁気構造を求めることが、このような火山体表層部の微細構造を求めることに有効であることを示唆するものである。

5 その他の火山の3次元磁気構造

伊豆大島において3次元磁気構造にマグマ活動によると見られる低磁化強度域が見出されたが、このような現象はその他の活火山でも見られるかどうかは大変興味深い問題である。ここでは、富士山と桜島の解析結果を紹介する。

5-1 富士山の3次元磁気構造

富士山に関する航空磁気測量は1979年に高度5690mで実施された。この成果、及びTalwani法による解析結果はueda et al.(1983)に報告されているが、ここでは、このデータを用いて3次元磁気構造の解析を行った。

富士山の地形モデルは以下のように作成した。

第1層 標高2000m以上 500mメッシュ

第2層 0mから標高2000m 1 kmメッシュ

第3層 海拔下500mから0m 2 kmメッシュ

均一磁化モデルでは富士山の磁化強度は7.13 A/mの値を示す。また、磁化方向を未知数として求めた磁化方向は $D=2.6^\circ$, $I=35.9^\circ$ で、ほぼ現在の磁場方向に一致する。

Fig.4には均一モデルでの計算異常値と残差異常値を示してあるが、これから明らかなように、山頂部付近には短波長の正及び負の残差異常が認められる。

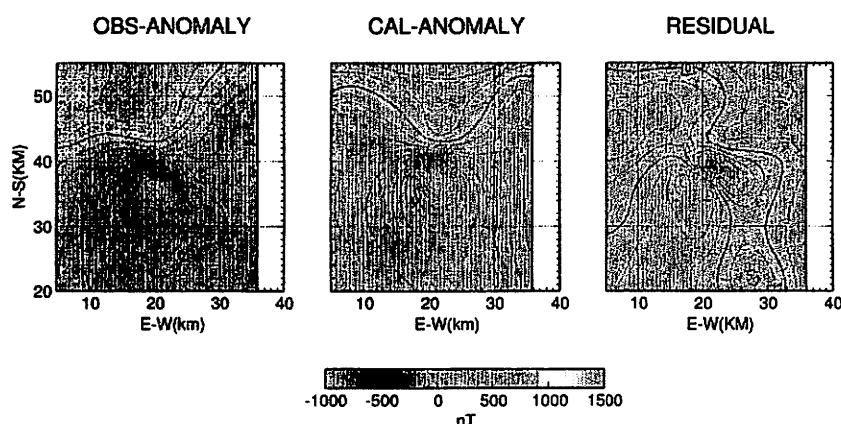


Fig.4 Terrain corrected residuals by a uniform magnetization model of Mt. Fuji. Contour interval is 100 nT.

富士山のマルチブロックモデルによる各層の磁化強度偏差図(磁化強度7.13A/mからの偏差)をFig.5に示した。この3次元の磁気構造によると富士山の山頂部付近からその北東側に負磁化強度偏差域が分布しており、富士山内部の熱消磁構造を反映しているものと推察される。山頂部の南東側の低磁化強度域は宝永火口の位置に対応しており、この部分の深部での高温域の存在を示唆する。山頂部の南西側にはNW-SE方向の

正磁化強度偏差域が認められる。このような構造は伊豆大島の深部に推定されたダイク状の構造と類似しており、広域応力場を反映した構造と考えられる。

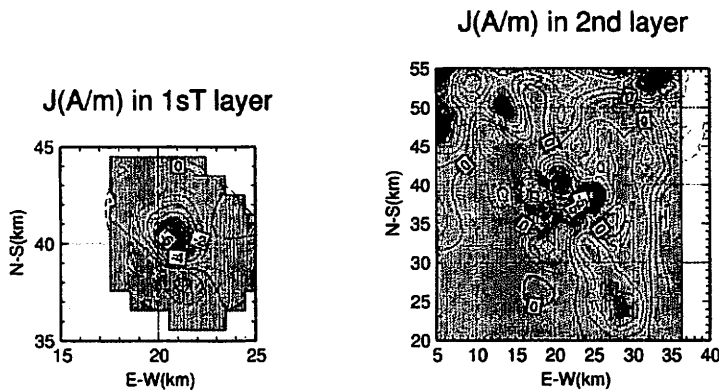
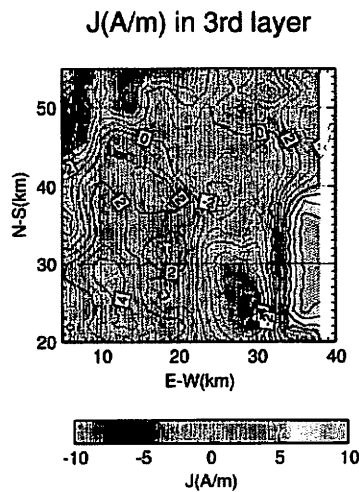


Fig.5 A 3D-magnetic structure of Mt. Fuji (three layer model) derived from the data in (Ueda et al.,1983).

Deviations of magnetization intensities from the mean value (7.13 A/m) are shown for the 1st, 2nd and 3rd layers. Contour interval is 1.0 A/m

- (a): The 1st (above 2000 m) layer.
- (b): The 2nd (between 0 m and 2000 m) layers.
- (b): The 3rd (between 500 m below sea level and 0m) layer.



5.2 桜島の3次元磁気構造

桜島に関する航空磁気測量は1964年11月から12月にかけて高度1820mで実施された。この成果、及びTalwani法による解析結果はueda et al.(1983)に報告されているが、ここでは、このデータを用いて3次元磁気構造の解析を行った。

桜島の地形モデルは以下のように作成した。

- 第1層 標高300m以上 500mメッシュ
- 第2層 0mから標高300m 500mメッシュ
- 第3層 海拔下300mから0m 1kmメッシュ

均一磁化モデルでは桜島の磁化強度は2.49A/mの値を示す。また、磁化方向を未知数として求めた磁化方向は $D=54^\circ$, $I=33.0^\circ$ で伏角については現在の磁場方向とおおむね一致するものの、偏角については50度以上の西偏を示す。この原因は残差磁気異常図にみられるように、桜島の基底部分での磁化構造を反映したものであろう。

桜島の均一モデルでは解析精度を示すGFR値は2.0未満で均一モデルでは信頼度の高い結果は得られない。Fig.6には均一モデルでの計算異常値と残差異常値を示してあるが、これから明らかなように、桜島山体の計算磁気異常は観測異常に比べて波長が短く、観測異常値を説明するためには桜島の山体基底部分の磁化を考慮する必要がある。桜島のマルチブロックモデルによる各層の磁化強度偏差図(磁化強度2.49 A/mからの

偏差)をFig.7に示した。この3次元の磁気構造によると桜島北岳と南岳に対応する磁化強度の負の偏差域が認められ、これらは山体内部の熱消磁構造を反映したものと推察される。桜島の基底部分である第3層の磁化強度は桜島の北側から東側、南側へと桜島を取り囲むように磁化強度の強い部分があり、桜島の直下あたりとその西側では相対的に磁化強度が低い値を示す。このことから、桜島の基底部分には4A/mに及ぶ比較的磁化の強い基盤があり、現在の桜島はその西縁付近から基盤を突き破って形成されたものと推察される。

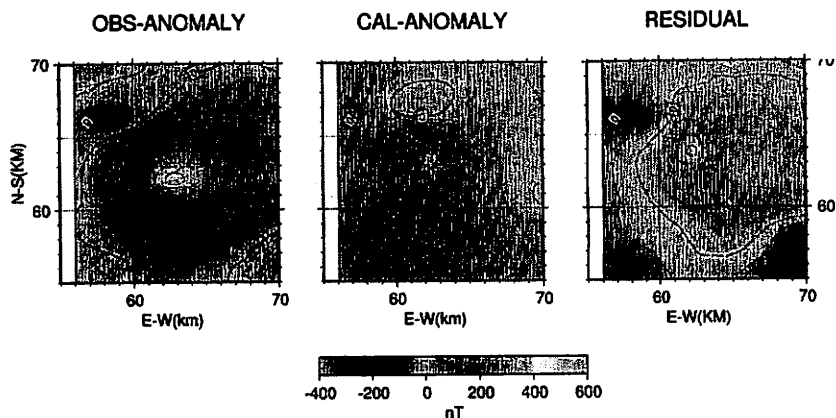


Fig.6 Terrain corrected residuals by a uniform magnetization model of Sakurajima Volcano. Contour interval is 100 nT.

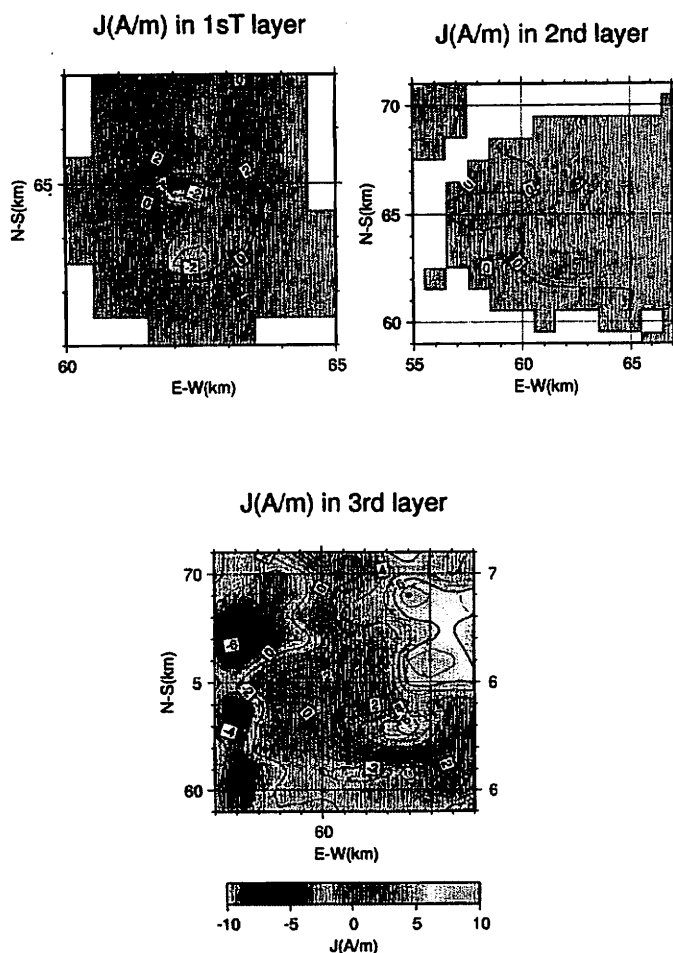


Fig.7 A 3D-magnetic structure of Sakurajima Volcano (three layer model) derived from the data in (Ueda et al.,1983). Calculated parameters are listed in Table 2.

Deviations of magnetization intensities from the mean value (2.49 A/m) are shown for the 1st, 2nd and 3rd layers. Contour interval is 1.0 A/m

- (a): The 1st (above 300 m a.s.l.) layer.
- (b): The 2nd (between 0 m and 300 m a.s.l.) layers.
- (c): The 3rd (between 300 m b.s.l. and 0m) layer.

References

- Ando, J., Watanabe, H., Sakashita, S., Study of gravity anomaly on and around Izu-Oshima Volcano. Bull. Earthq. Res. Inst., 69, 309-350, 1994.
- Bjorck, A., Elfving, T., Accelerated projection methods for computing pseudoinverse solutions of systems of linear equations. BIT, 19, 145-163, 1979.
- Hashimoto, M. Tada, T., Crustal deformation before and after the 1986 eruption of Izu-Oshima Volcano In: The 1986 Eruption of Izu-Oshima Volcano. Bull. Volcanol. Soc. Jpn., 2, 33, Special Number, S136-S144, 1988 (in Japanese with English abstract).
- Ida, Y., Magma chamber and eruptive processes at Izu-Oshima volcano, Japan: buoyancy control of magma migration. J. Volcanology, Geotherm. Res., 66, 53-67, 1995.
- Isshiki, N., Geology of the Oshima district. Quadrangle Series, scale 1:50,000, Geol. Surv. Jpn., 133pp, 1984 (in Japanese with English abstract)..
- Koyama, M., Hayakawa, Y., Y., Syn- and post-caldera eruptive history of Izu-Oshima volcano based on tephra and loess stratigraphy, J. Geography, 105, 133-162, 1996 (in Japanese with English abstract).
- Kuno, H., Geology and petrology of Oshima volcano. Bull. Volcanol. Soc. Jpn., 2, 3, 1-16, 1958.
- Nakada, S., Watanabe, H., Fujii, T., Developing history of Izu-Oshima volcano based on drilling result, Chikyu Monthly, 21, 424-429, 1999 (in Japanese).
- Nakamura, K., Volcanostratigraphic study of Izu-Oshima volcano, Izu. Bull. Earthq. Res. Inst., 42, 649-728, 1964.
- Nakatsuka, T., Makino, M., Okuma, S., Kaneko, T., Aeromagnetic surveys over Izu-Oshima volcano before and soon after the 1986 eruption. J. Geomag. Geoelectr., 42, 337-353, 1990.
- Okubo, S., Watanabe, H., Gravity change caused by a fissure eruption. Geophys. Res. Lett., 16, 445-448, 1989.
- Okuma, S., Makino, M., Nakatsuka, T., Magnetization intensity mapping in and around Izu-Oshima Volcano, Japan. J. Geomag. Geoelectr., 46, 541-556, 1994.
- Onizawa, S., Mikada, H., Watanabe, H., Sakashita, S., A method for simultaneous velocity and density inversion and its application to exploration of subsurface structure beneath Izu-Oshima volcano, Japan, Earth, Planets and Space, 54, 803-817, 2002.
- Smith, W. H. F. Wessel, P., Gridding with continuous curvature splines in tension. Geophysics, 55, 293-305, 1990.
- Talwani, M., Computation with the help of a digital computer of magnetic anomaly caused by bodies of arbitrary shape, Geophysics, 30, 797-817, 1965.
- Ueda, Y., Tozaki, T., Onodera, K., Kaneko, T., Oshima, S., Geomagnetic anomalies and magnetic structures of Quaternary volcanoes in Japan derived from aeromagnetic survey results, Rept. Hydrogr. Res., 18, 37-64, 1983 (in Japanese with English abstract).
- Ueda, Y., Nakagawa, H., Kumagawa, K., Aeromagnetic anomaly and derived structure of Izu Oshima Volcano after the eruption in November, 1986. J. Geomag. Geoelectr., 42, 355-363, 1990.
- Ueda, Y., 3D magnetic structure of Miyakejima Volcano before and after the eruption in 2000, Bull. Volc. Soc. Jpn., 1-14, 51, 2006 (in Japanese with English abstract).
- Vacquier, V., Uyeda, S., Palaeomagnetism of nine seamounts in the western Pacific and three volcanoes in Japan. Bull. Earthq. Res. Inst., 45, 815-848, 1967.