

伊豆大島火山の空中磁気異常

牧野雅彦*・中塚 正*・大熊茂雄*・金子 力**

(1987 年 12 月 3 日受付, 1988 年 5 月 2 日受理)

Aeromagnetic Anomalies over the Izu-Oshima Volcano

Masahiko MAKINO*, Tadashi NAKATSUKA*, Shigeo OKUMA*
and Tsutomu KANEKO**

Aeromagnetic surveys were carried out over the Izu-Oshima Volcano, before and after the November 1986 eruption. The comparison between the pre- and post-eruption aeromagnetic data showed no significant change in the magnetic anomaly. The magnetic subsurface structure of the Izu-Oshima Volcano was investigated on the assumption that the volcano is magnetized in the present Earth's field direction. The topography magnetization was determined from correlation between the original aeromagnetic data and the magnetic anomaly produced by uniformly magnetized terrain. The estimated topography magnetization was 7.0 A/m. The analysis for the regional trend in the residual magnetic anomaly after the terrain correction represented the existence of a large-scale dike in the NW-SE direction. The local anomalies in the residual map after the removals of terrain and dike effects correspond to the distribution of craters and lavas of the Izu-Oshima Volcano.

1. はじめに

伊豆大島火山は、1986 年 11 月 15 日に約 12 年ぶりに三原山山頂から噴火を開始し、続いて 11 月 21 日にはカルデラ内および北山腹で割れ目噴火を発生した。

伊豆大島および周辺海域については、1978 年 9 月 18 日に空中磁気探査が地質調査所によって実施された。同様の調査が噴火直後の 1986 年 11 月 29~30 日に、中日本航空(株)によって実施された。

本論文では、この両探査データを用いて伊豆大島の地下の磁氣的構造について解析を行う。解析は次の手順で行う。(1) 噴火前後の空中磁気探査データの比較・検討と両探査データを併用した磁気異常グリッド・データの作成、(2) 観測磁気異常からの地形の凹凸による磁気異常の除去、(3) 北西-南東方向に伸びた大規模なトレンドの解析、(4) 地形と無関連な局所的磁気異常についてのモデリング。(2)~(4) の処理

手順では、すべての磁性体は現在の地球磁場(伏角: $I=47.5^\circ$, 偏角: $D=-6^\circ$)と同じ方向に帯磁していると仮定する。

2. 伊豆大島全磁力異常

1978 年の空中磁気探査は YS-11 型機、1986 年の探査はセスナ 404 型機を使用して実施した。両者とも飛行高度は 3500 ft で、航跡の位置標定にはいずれも電波航法装置の測位データを対地映像標定結果で補正して用いた。ただし、1978 年はロラン C の双曲線航法とコマどりの対地写真、1986 年はロラン C 電波を用いた円航法システムとビデオカメラによる連続対地映像(直下マーク付き)を使用した。取得データはいずれも 0.1 nT 分解能の磁力値および位置標定データを 1 秒毎にデジタル磁気テープに収録した。

双方の取得データは、同一の処理方法でコンピュータ処理し、IGRF 残差磁気図を作成した。ここに、観

*〒305 茨城県つくば市東 1-1-3, 工業技術院地質調査所物理探査部。

Geophysics Department, Geological Survey of Japan, 1-1-3 Higashi, Tsukuba 305, Japan.

**〒104 東京都中央区京橋 2-3-15, 中日本航空株式会社。

Nakanihon Air Service Co. Ltd., 2-3-15, Kyobashi, Chuo-ku, Tokyo 104, Japan.

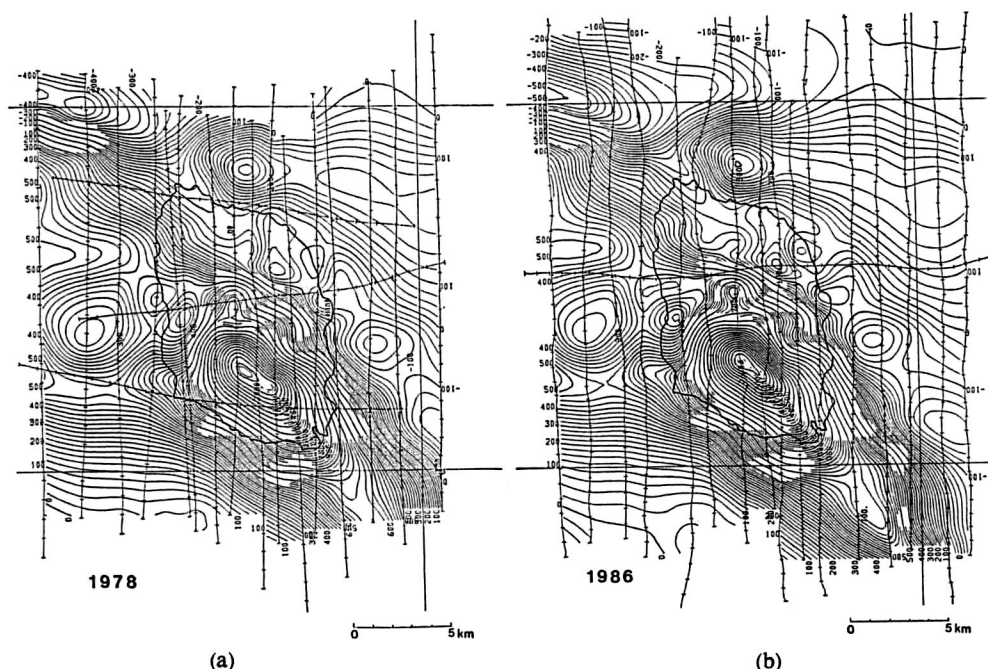


Fig. 1. Aeromagnetic anomaly maps (IGRF residuals) of Izu-Oshima Island area produced (a) from pre-eruption survey data on Sep. 18, 1978, and (b) from post-eruption survey data on Nov. 29-30, 1986. Contour interval is 25 nT. Lines with sticks indicate the flight path.

測に含まれる磁場の経時変化分は、1978 年は泉津での観測データによって補正し、1986 年では東京大学地震研究所による野増の観測データを利用させて頂いた。経時変化補正に加えて、1978 年の補正の基準値 (DC レベル) としては、概ね 1986 年の結果と合うように設定した。Fig. 1 に 1978 年と 1986 年の伊豆大島の磁気異常図を示す。両磁気図のデータは約 8 年の時間を隔てた結果であるが、基本的に磁気異常パターンは非常に良い再現性を示している。両磁気異常の差は、探査の測線の位置の違いによるものが主な原因であるが、その他に測位誤差によるものがある。そこで 1978 年と 1986 年の両データを同時処理して IGRF 残差磁気異常図 (Fig. 2) を作成した。もし 1986 年の大島噴火によって磁気異常が変化をしていれば、Fig. 2 に局所的な異常パターンが出現するはずである。しかしながら、特異な異常パターンが見られず、なめらかなコンターが描かれており、さらに Fig. 1 の両磁気図とも良く似ている。したがって、1986 年の伊豆大島の噴火に伴って磁気異常の顕著な変化は起きなかったといえる。1980 年のセント・ヘレンズの

噴火では北側山腹が吹き飛ばされたために磁気異常の大きな変化が観測され (FINN and WILLIAMS, 1987), 1950~51 年の伊豆大島噴火に際しても大きな磁気異常変動が示されたが (RIKITAKE, 1951), 今回の伊豆大島噴火は磁氣的地下構造を変えるほどの規模ではなかったと推定される。以上の判断から Fig. 2 の磁気異常図は Fig. 1 よりも精度の高いものといえる。

3. 地形効果

Fig. 3 は伊豆大島周辺の地形の等高線である。陸域は国土地理院による国土数値情報を用い、海域は海上保安庁水路部の 5 万分の 1 の海底地形図をデジタル化して、格子点間隔 0.2 km のグリッドデータを作成した。図中の C, D, E, F, G はそれぞれ三原山, 白石山, 二子山, 大島温泉, 裏砂漠の場所を示す。地形 (Fig. 3) と磁気異常 (Fig. 2) の単純な比較からわかるように、両者の相関は極めて高い。つまり、伊豆大島火山の磁気異常には地形の影響が他の火山地域のように (OKUBO and MIYAZAKI, 1986; GRAUCH, 1987; FINN and WILLIAMS, 1987), 強く現れている。

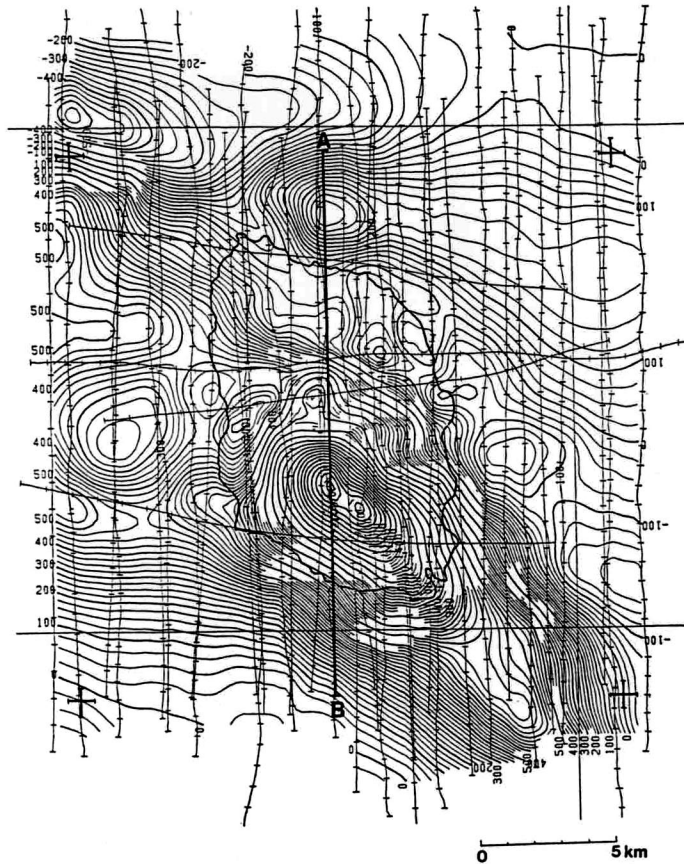


Fig. 2. Aeromagnetic anomaly map (IGRF residuals) produced from both pre- and post-eruption survey data. Contour interval is 25 nT. Four crosses indicate the corners of analyzed region.

地下構造を調べるためには、この地形による磁気異常の影響を除去しなくてはならない。

地形による磁気異常の計算は、 $0.2\text{ km} \times 0.2\text{ km}$ の正四角柱の磁性体の集合で近似し、 $40\text{ km} \times 40\text{ km}$ の領域の地形モデルを用いた。磁性体の底面は一定として海面下 2 km に置き、上面は地形の表面と一致させた。磁性体は現在の地球磁場方向 ($I=47.5^\circ$, $D=-6^\circ$) と同じ方向に帯磁していると仮定して、BHATTACHARYYA (1964) の 3 次元プリズムによる磁気異常の理論式を用いて磁気異常を計算した。磁化強度は最初に 1.0 A/m と仮定して磁気異常を求め、次に GRAUCH (1987) の方法を応用して磁化強度 J を決定した。観測磁気異常を f_{ij} とし、地形モデル磁気異常を t_{ij} とすると、次式によって J が決定される。

$$J = \left\{ \sum_i \sum_j (f_{ij} - \bar{f})(t_{ij} - \bar{t}) \right\} / \left\{ \sum_i \sum_j (t_{ij} - \bar{t})^2 \right\}$$

ここで、 $\bar{f}$ と $\bar{t}$ はそれぞれ f_{ij} と t_{ij} の平均である。Fig. 4 は求められた $J=7.0\text{ A/m}$ の値を用いた地形による磁気異常である。Fig. 2 と Fig. 4 を比べると、両者のパターンはよく似ており、伊豆大島の磁気異常には地形による磁気異常成分が卓越していることがわかる。Fig. 5 は地形効果を除去した後の磁気異常図である。

4. 磁気異常トレンドの解析

Fig. 5 の磁気異常をみると NW-SE 方向の大構造的なトレンドがある。このトレンドは 2 次元的であるので、Fig. 5 において NW-SE 方向に磁気異常の平

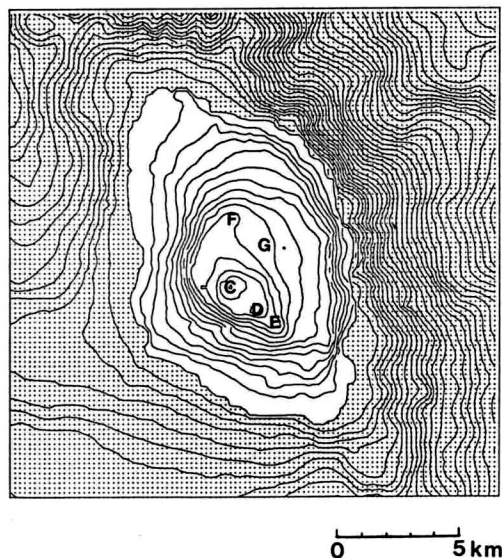


Fig. 3. Topographic contour map of Izu-Oshima Island area produced from the Digital National Land Information of the Geographical Survey Institute, and the bathymetric chart (1/50,000) by the Hydrographic Department, Maritime Safety Agency. Contour interval is 50 m.

均をとって、NE-SW 方向の磁気異常プロファイルを作成した。このプロファイルについて 2 次元ダイクモデルの曲線照合による自動解析 (McGRATH and HOOD, 1970; 中塚, 1975) を行った結果、幅 3.8 km で頂部深度が海面下 500 m の大規模なダイク構造が伊豆大島のほぼ中央部を NW-SE 方向に走っているものと推定された (Fig. 7 参照)。このダイクの磁化強度はその周辺に比較して 3.3 A/m 程度高く、SW 方向に約 47 度の傾斜を有する。ただし、この傾斜角は仮定した磁化方向に強く依存していることに注意する必要がある。また、得られた磁化強度が地形の磁化強度と比較してそれほど強くないことは、ここで推定された幅 3.8 km のダイク構造が 1 枚の均一なダイクではなくて、多数の薄いダイクの集合体としての巨視的な形状を示すことを示唆する。

Fig. 6 は Fig. 5 からさらにこの解析によるダイク構造の効果を除去したものである。Fig. 6 では、三原山 (C) と二子山 (E) に磁気異常の正のピークが、さらに大島温泉 (F) 付近に正のピークが明瞭に分離された。白石山 (D) 付近には対応するピークがない。この残差磁気異常図は大島火山の地下の局所的な磁気

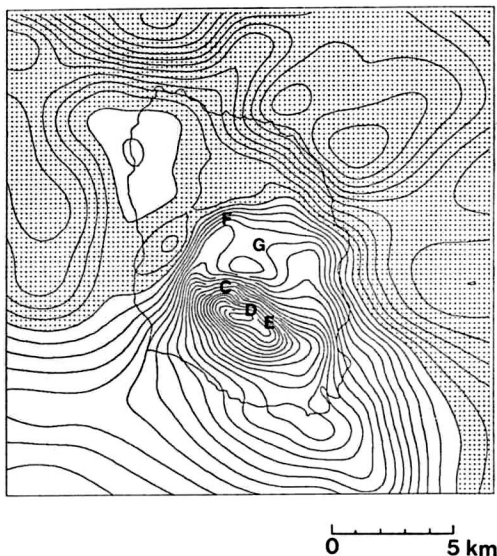


Fig. 4. Magnetic anomalies due to the terrain which is assumed to be magnetized in the present Earth's field direction ($I=47.5^\circ$, $D=-6^\circ$), with the uniform magnetization 7.0 A/m. The intensity of magnetization was calculated using GRAUCH (1986)'s method. Contour interval is 50 nT.

的構造の異常を反映したものと考えられる。また大島北部の海域には $N75^\circ W$ に伸びた大規模なトレンドがあり、大島西部の海域には西に伸びた小さなトレンドがある。

5. 局所的磁気異常のモデル

Fig. 6 の残差磁気異常は、強い磁性を帯びた貫入岩や溶岩などの局所的存在が原因であろうと考えられる。Fig. 6 で特徴的なことは、正のピークに対応する明瞭な負のピークがないということである。通常、伏角が 47.5° である場合には孤立した磁性体の南側に正のピークが、北側に負のピークが現れる。Fig. 6 は複数の磁性体による影響が干渉し、重ね合わさったパターンである。Fig. 6 の磁気異常を説明する方法・モデルは数多くあるが、ここでは簡単なモデルとして、正四角柱のプリズムを大島の地下に多数置いて磁気異常を計算する。プリズムは一辺が 200 m、底面を海面下 2 km、磁化強度を 50.0 A/m と仮定する。この磁化強度の値は便宜的なもので、磁性の強い物質を一辺が 200 m のプリズムに凝集させた結果である。プリ

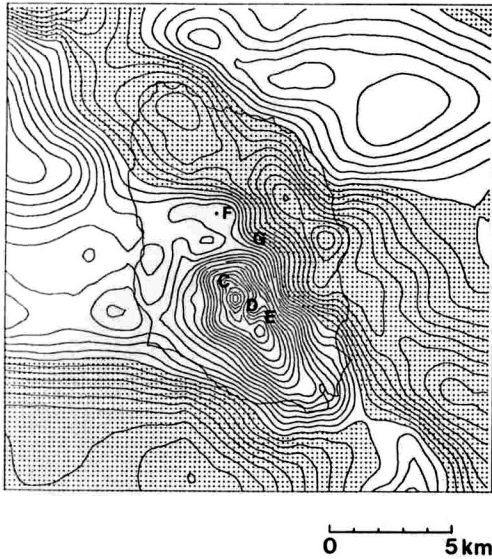


Fig. 5. Residual anomalies subtracted the topographic effect (Fig. 4) from the observed magnetic anomalies (Fig. 2). Contour interval is 50 nT.

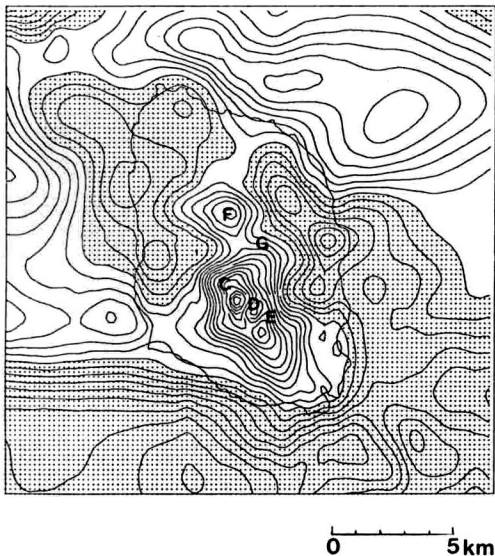


Fig. 6. Residuals further subtracted the effect of dike-like body striking in NW-SE direction from the residual anomalies in Fig. 5.

ズムは必ずしも貫入岩だけを表しているのではなく、厚みのある磁性の強い溶岩も表す。プリズムの位置(x, y)と頂部深度を試行錯誤的に変えながら計算磁気

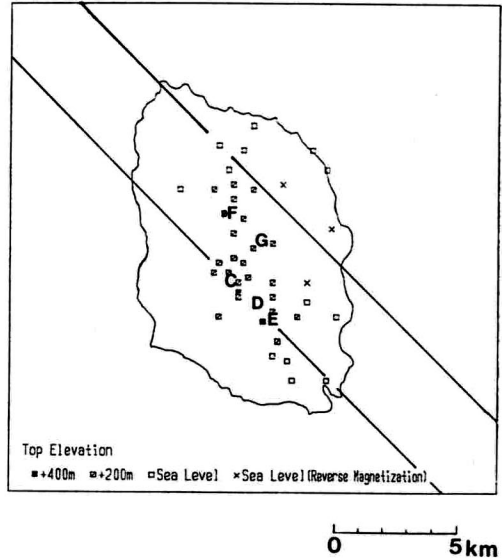


Fig. 7. Model distribution of magnetic prisms with equal horizontal shape of a square of 200 m×200 m and the bottom depth of 2 km below the sea level. The parallel lines indicate the top surface of the dike structure with a width of 3.8 km.

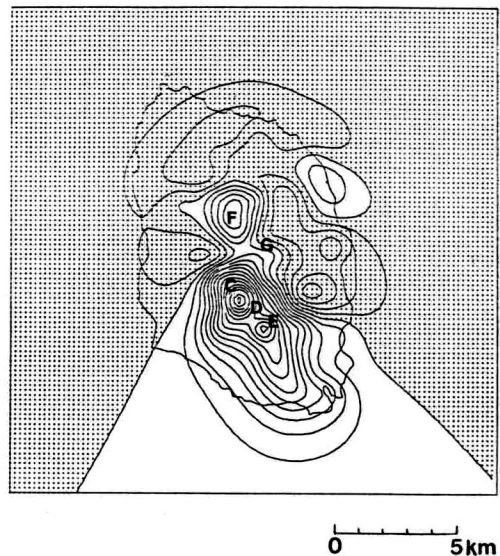


Fig. 8. Calculated magnetic anomalies due to the model distribution of magnetic prisms in Fig. 7. Contour interval is 50 nT.

異常が Fig. 6 に合うようにモデルを求めた。ただし、プリズムは伊豆大島の陸域だけに置くことにした。Fig. 7 はそのようにして求められたプリズムの配置

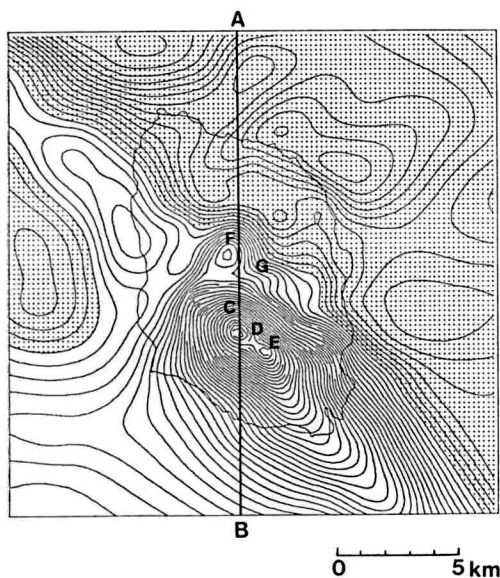


Fig. 9. Calculated magnetic anomalies due to the model consisting of the magnetized terrain, dike and prisms. Contour interval is 50 nT.

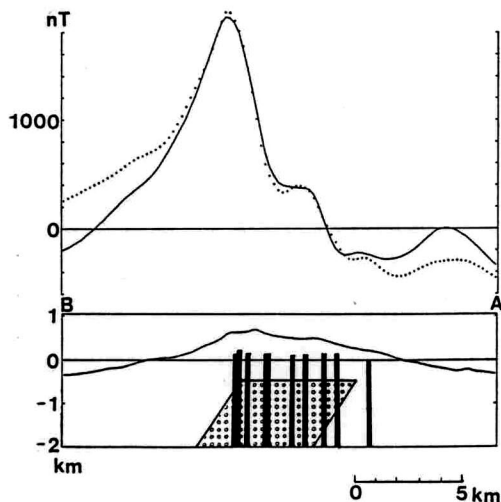


Fig. 10. Profiles of the observed and calculated magnetic anomalies (top), and modeled subsurface magnetic structure of Izu-Oshima Island (bottom). Thick line and dots indicate the observed and calculated profiles, respectively.

モデルである。磁性体プリズムは、NW-SE 方向のダイクに沿って分布して、一色 (1984) の側火山分布図とほぼ対応している。三原山 (C) と二子山 (E) 付

近は頂部深度が海拔 400 m のプリズムがある。特に三原山付近にはプリズムが多く集中している。それに対して、白石山 (D) 付近にはプリズムがない。つまり、白石山付近は磁性の強い物質で帯磁しているのではなく、地形の磁化強度 7.0 A/m で帯磁しているものと思われる。また大島温泉 (F) 付近より北部に伸びる地域に、カルデラ内の溶岩に厚く覆われている裏砂漠地域 (G) に、磁性体プリズムがある。その他、地球磁場と逆方向に帯磁しているものが伊豆大島の東部に点在する。Fig. 8 は Fig. 7 のプリズムモデルによって計算された磁気異常である。地質調査によって得られた知識・情報を空中磁気探査データと関連付けて、伊豆大島の磁氣的地下構造について考慮することが可能である。

6. 観測とモデル計算の比較

Fig. 9 は地形による磁気異常 (Fig. 4) に、ダイクによる磁気異常を加え、さらにプリズムによる局所的な磁気異常を加えた総合的モデル計算磁気異常である。Fig. 9 の計算磁気異常は観測磁気異常 (Fig. 2) をよく再現している。両者を比較するために、Fig. 2 と Fig. 9 の磁気異常の最大ピークを通る南北 20 km の測線 AB 上の磁気異常プロファイルを Fig. 10 に示す。伊豆大島の陸域では観測と計算磁気異常はよく一致している。Fig. 10 の下部に大島の磁氣的構造の断面図を示す。伊豆大島全体は 7.0 A/m で一様帯磁しており、大島の地下には大規模なダイクが海面下 500 m の所まで貫入している。さらに、強磁性体のプリズムがダイクから地表に向かって貫入している。実際にはこれらのプリズムは地中深くで継がっていると思われるが、磁気異常の解析だけでは明らかにすることはできない。房総-伊豆海域の空中磁気図 (地質調査所, 1980) に見られる伊豆大島周辺の N75°W に伸びているさらに大規模なトレンドを考慮すると、Fig. 10 のプロファイルの両端に見られる観測データからのずれは小さくなる。

7. 結 論

伊豆大島周辺の空中磁気探査を実施したところ、1986 年の噴火によって磁気異常の大きな変動は見られなかった。これは今回の噴火が少なくとも磁気探査の時点では地下の磁氣的構造を大きく変えるほどの大規模なものではなかったことを意味する。

伊豆大島の磁氣的地下構造を 3 次元モデル計算で調

べた結果、伊豆大島は現在の地球磁場方向 ($I=47.5^\circ$, $D=-6^\circ$) とほぼ同じ方向に、一様な磁化強度 7.0 A/m で帯磁していることがわかった。さらに海面下 0.5 km に幅 3.8 km 、平均磁化強度 10.3 A/m のダイク様の構造が北西から南東に伸びているのが判明した。地形とダイクによる磁気異常を除去した残差磁気異常は、大島の火口、側火山および溶岩流の分布とよく対応している。この残差磁気異常は伊豆大島の局所的な火成活動によるものと考えられ、地球物理学的情報と地質学的情報を関連付け、橋渡しするものと思われる。

引用文献

- BHATTACHARYA, B. K. (1964) Magnetic anomalies due to prism-shaped bodies with arbitrary polarization. *Geophysics*, **29**, 517-531.
- FINN, C. and WILLIAMS, D. L. (1987) An aeromagnetic study of Mount St. Helens. *J. Geophys. Res.*, **92**, 10194-10206.
- GRAUCH, V. J. S. (1987) A new variable-magnetization terrain correction method for aeromagnetic data. *Geophysics*, **52**, 94-107.
- 一色直記 (1984) 大島地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 133 p.
- MCGRATH, P. H. and HOOD, P. J. (1970) The dipping dike case: a computer curve-matching method of magnetic interpretation. *Geophysics*, **35**, 831-848.
- 中塚 正 (1975) 水平 1 次微分の曲線照合法による磁気異常の自動解析, ダイク (2 次元) モデルの場合。物理探鉱技術協会昭和 50 年度春季講演会講演予稿集, 30.
- OKUBO, Y. and MIYAZAKI, Y. (1986) Computation of an intensity distribution of magnetization accounting for the effect of topography on aeromagnetic data. *BUTSURI-TANSA (Geophys. Explor.)*, **39**, 216-231.
- 地質調査所 (1980) 房総沖-伊豆沖空中磁気図 (1: 200,000). 空中磁気シリーズ No. 27, 地質調査所.
- RIKITAKE, T. (1951) The distribution of magnetic dip in Ooshima (Oo-sima) Island and its change that accompanied the eruption of Volcano Mihara 1950. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **29**, 161-181.