

桜島火山の磁氣的構造

著者	前田 利久, 角田 寿喜
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	20
ページ	35-42
別言語のタイトル	Geomagnetic Structure in the Sakurajima Area, South Kyushu
URL	http://hdl.handle.net/10232/00006942

桜島火山の磁氣的構造

前田 利久¹⁾・角田 寿喜²⁾

(昭和62年9月10日受理)

Geomagnetic Structure in the Sakurajima Area, South Kyushu

Toshihisa MAEDA¹⁾ and Toshiki KAKUTA²⁾

Abstract

Anomalies in geomagnetic total intensity are investigated by using aeromagnetic data in the area of Sakurajima Volcano, South Kyushu, Japan. This is an active strato-volcano composed of highly magnetized lava flows and pyroclastics, and has been geomagnetically approximated as a circular cone magnetized roughly in a direction of the recent geomagnetic field. Deviations from the circular cone model are, however, rather high partly because large amounts of lava flows and pyroclastics are localized in the volcano and partly because topography is intricate in the surveyed area.

Considering topographic effects with a model composed of small prisms uniformly magnetized, we obtain intensity distributions of magnetization in the area for two models: square-shaped magnetic bodies of equal size and arbitrary shaped bodies referring to geology. High correlations are found between magnetization and geology in this area.

At the summit of the volcano, high magnetizations are estimated for small areas corresponding to Minami-dake and to the northern part of Kita-dake; magnetization is low in an area of Naka-dake, one of parasitic volcanoes. High intensities are closely related to thick lava flows in the northern and eastern parts of the Sakurajima Island. Magnetic bodies of high intensity are also inferred in the northeast area under the An-ei islands which had been lifted up from a level under water in 1779 eruption.

はじめに

比較的新しい火山を構成する火山岩は一般に強い残留磁気を帯びているため、第四紀火山の周辺には特有の磁気異常が現れる。たとえば、阿蘇や伊豆大島の周辺でおこなわれた航空磁気測量にみるように、全磁力異常は山頂のやや南の位置で最大になる(力武, 1972, p. 412-417)。このような磁気異常のパターンは、火山体を一様に磁化した円錐で近似することによって説明できる(RIKITAKE and HAGIWARA, 1965)。

桜島に関しては、松崎・歌代(1966)が、山体の中心に磁気双極子を仮定し、磁気モーメント 7×10^{14} emu, 磁化の強さ 4×10^{-3} emu/cc, 双極子の深さ2.3kmを求めている。1975年に始まった桜島火山の集中総合観測では、行武ほか(1975, 1977)が、桜島とその周辺部において地表での全磁力測定と、溶岩の磁氣的性質の測定をおこなっている。地表での全磁力測定には地表付近

¹⁾ 鹿児島実業高等学校 Kagoshima Business High School, 2-1-23 Josei, Kagoshima. 890 Japan.

²⁾ 鹿児島大学理学部地学教室 Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, Kagoshima, 890 Japan.

の磁性体が大きな影響を与えるが、彼らの測定した結果は航空磁気測量の結果と調和的であった。また、採取された溶岩試料の自然残留磁化と現在の地球磁場との方向の違いはせいぜい 10° 程度で、近似的には桜島全体が現在の地球磁場方向に一様帯磁しているという結果が得られた。

OKUBO and MIYAZAKI (1986) は、磁性体を各々が一様に帯磁した角柱の集合で近似する BHATTACHARYYA (1964) の方法を改良し、岩木山周辺の航空磁気測量データを解析して地形を考慮に入れた磁化強度分布を求めた。

調査地域の中心にある標高1117mの桜島火山は、北部と南部を最大水深200mの海に、東部と西部をカルデラ壁に取り囲まれ、標高1237mの高隈山系が南東に隣接する (Fig. 1)。桜島の北東海域には1779年に形成された「安永諸島」があり、地形的な高まりが見られる。また、桜島火山だけを見ても、磁化率の大きな溶岩の厚さは場所によって異なり、山頂部には火口が南北方向に並んでいる。この研究では、OKUBO and MIYAZAKI (1986) の方法を使って、桜島とその周辺部の磁化強度分布を求め、磁氣的構造と地質構造との関連を考察するが、調査地域のように地形的にも構造的にも複雑なところでは、単純な円錐モデルや一様帯磁モデルからの誤差は大きく、地形や地質の要素を考慮に入れた解析が必要と考えられる。

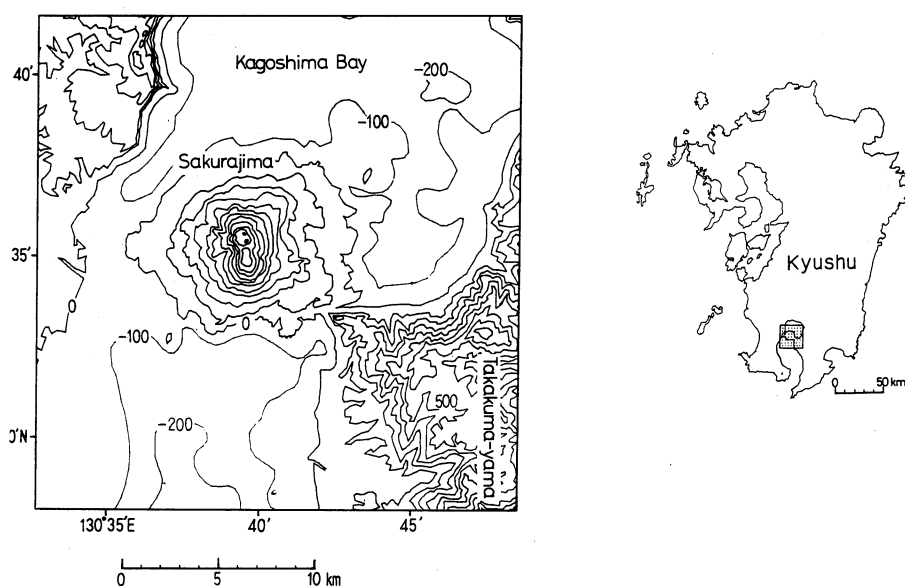


Fig. 1. Topography in the surveyed area.

解析方法と結果

対象とする範囲は、桜島を中心に、東西および南北にそれぞれ25kmの正方形の範囲である。解析するデータは、海上保安庁水路部の南九州航空磁気測量 (松崎・歌代, 1966) のマップから部分的にサンプリングされた全磁力である。測量の飛行高度は2000m, 精度は ± 5 nTとされている。データのサンプリングは1 km間隔で設定した格子点上でおこなった。こうして得られた全磁力のコンターマップがFig. 2であり、46000nTを差し引いた値で示されている。桜島火山に関しては、全磁力の最大値が山頂の南側にあつて、コンターはこれを中心に同心円状に広がるのに対し、調

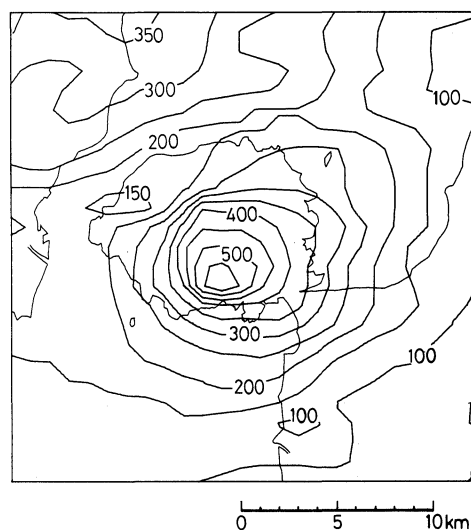


Fig. 2. Geomagnetic total intensity partly reproduced from the map of MATUZAKI and UTASHIRO (1966). Unit in nT. To each numeral, 46000nT must be added.

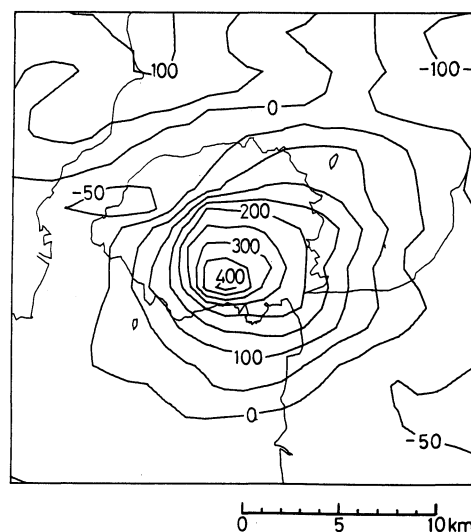


Fig. 3. Magnetic anomalies of total intensity. Unit in nT.

査地域の南東部に位置する同程度の高さの高隈山系では、著しい磁氣的特徴はみられない。

1975年のIGRFとの差をとった全磁力異常 (Fig. 3) では、最大値が400nTを越える大きな正異常域があって、いくぶん北東-南西方向に伸びた形で桜島全体を覆うように広がる。その中心は山頂から約1.5kmほど南方の地点にあり、北西部に-50nTの小さな負の異常域を伴う。調査地域の北東部には-100nT、南東部には-50nTの負の異常域があって、北西部の100nTを越える正の異常を除けば、桜島の周囲を負の領域が取り囲んでいる。

行武ほか (1977) によれば、桜島は現在の地球磁場方向に一樣に帯磁していると近似できるが、観測された磁氣異常分布には地球磁場と磁性体の伏角効果が含まれており、観測される全磁力異常値のピーク位置と磁性体の分布とは一致しない。これらを補正して、磁性体の範囲および形状を知るには、磁性体の磁化方向を鉛直方向に変換した擬重力分布が用いられる。重力異常が地下の物質の密度の反映であるように、これは地下の磁性体の磁化強度を反映し、異常分布が直接磁性体の位置を示す。

調査地域における地球磁場の偏角は $5.5^{\circ}W$ 、伏角は 44.1° であり、磁性体がこの方向に磁化しているとして、加藤 (1978) の方法によって計算した結果が Fig. 4 である。擬重力分布では、桜島の山頂付近を中心に正の異常領域が広がっていて、山体がひとつの強磁性体となっていることは明瞭であるが、一樣帯磁の単純な円錐モデルでは、山頂付近を中心に約200nTの大きな残差が生じる。また、調査地域の北西部には正の異常が、東部には負の異常域が広がっている。この地域で磁氣異常の主たるものは桜島火山に起因する。しかし、等異常線は山体の形状とはいくぶん異なり、北東部に向かって伸び、南側および北西側では間隔が密になる。これらは磁性体の形状または磁化強度分布に偏りがあることを示している。

磁性体の磁化強度分布を知るには、山体の影響を評価する必要がある。観測データは、調査地域で格子状に分割された個々の正方形区画における平均高度と磁氣異常である。平均高度で定義される平面は地形面を与える。地形面を上面とし鉛直方向に伸びる一樣帯磁の角柱の集合が磁性体

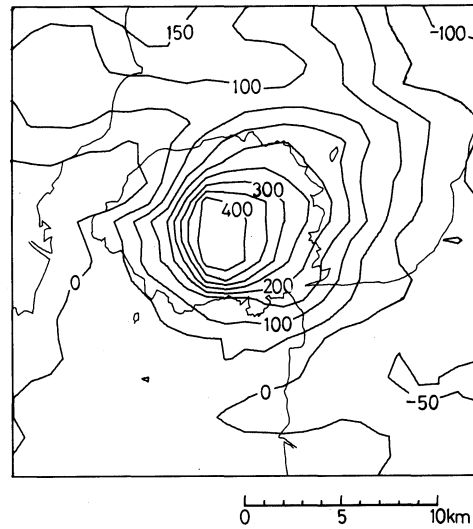


Fig. 4. Pseudo-gravity distribution. Unit nT.

を構成すると考えれば、その磁化の方向は既知であるとして、観測された磁気異常から最小二乗法により磁性体の磁化強度を求めることができる (OKUBO and MIYAZAKI, 1986)。

この研究では、1 kmメッシュに調査地域を分割し、各々の中心地点の高度および上空での全磁力を観測データとした。メッシュの個数は625である。適当な深さに下面を設定することにより、任意の形状の磁性体がこの角柱群の組合せで近似される。角柱の下面はすべて1.5 kmの深さに固定したが、これを変えても標準偏差はほとんど変化せず、磁化強度の絶対値は変わっても強度分布のパターンに大きな変化は現れない。また、角柱の磁化の方向は現在の地球磁場に一致するとし、偏角 $5.5^{\circ}W$ 、伏角 44.1° を仮定した。したがって、磁性体の磁化方向がこれと異なれば磁化強度は見かけ上小さくなり、逆帯磁の磁性体の寄与が大きいときは負の強度がもたまることになる。

(1) 正方格子モデル

まず、調査地域を25の正方区画に分割し、各々の区画が一様帯磁の磁性体であるモデルを考える。磁性体の大きさは縦5 km、横5 kmの正方形で、それぞれが一様に磁化した $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ の角柱群で構成されるものとする。このモデルと現実の磁性体とは形状が異なるが、磁化強度分布は機械的にもとまる。

Fig. 5は、求められた磁化強度分布とこのモデルで計算された全磁力異常である。計算された結果では、山頂の約1.5 km南方の地点に現れる正異常の中心位置や異常の大きさは観測 (Fig. 2) と一致しており、桜島の北東方向に伸びる正異常分布の特徴も現れている。また、北西側に隣接する負の異常も傾向として認められる。調査地域の西部では多少の差異は認められるものの、東部から南部にかけて存在する負異常域も観測結果をほぼ満足し、桜島の山頂を南北に横切る断面での残差は60 nT以下になっている [Fig. 7(a)]。

桜島の北斜面に相当するブロック8は磁化強度が最大であり、強度の大きな部分が桜島山頂と東斜面を含むブロック13から、ブロック8を経て、北方海域のブロック3へと北方向に連続する [Fig. 5(a)]。また、桜島の北東にも、相対的に大きな磁化強度を示す安永諸島を含むブロック

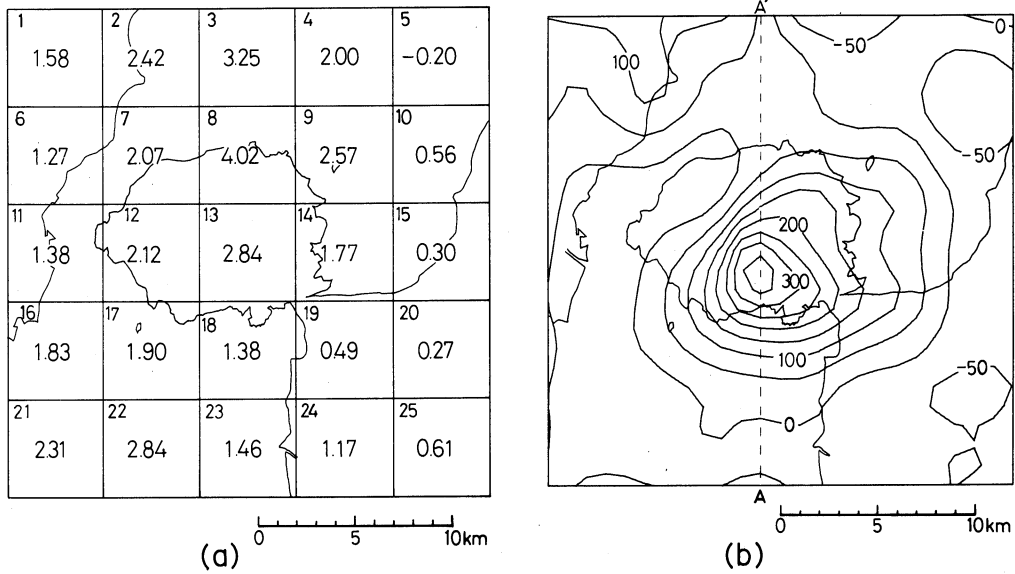


Fig. 5. Square shaped model of magnetic bodies of equal size.
 (a) Magnetic intensity distribution. Unit in A/m. Integer is the block number.
 (b) Calculated anomalies of total intensity. Unit in nT.

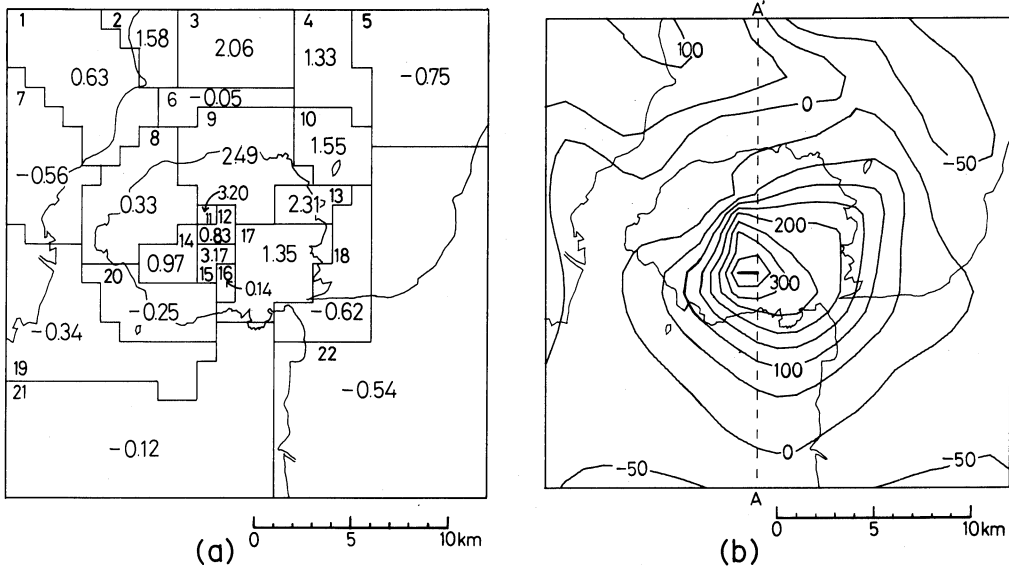


Fig. 6. Arbitrary shaped model of magnetic bodies referring to the geological structure.
 (a) Magnetic intensity distribution. Unit in A/m.
 (b) Calculated anomalies of total intensity. Unit in nT.

9が存在する。

(2) 地質構造を考慮した不定形磁性体モデル

桜島を構成する溶岩流は強く磁化されており (行武ほか, 1977), 機械的に調査地域を正方格子に分割して計算した磁化強度分布 [Fig. 5(a)] にも系統性がある、磁気異常に及ぼす地質構

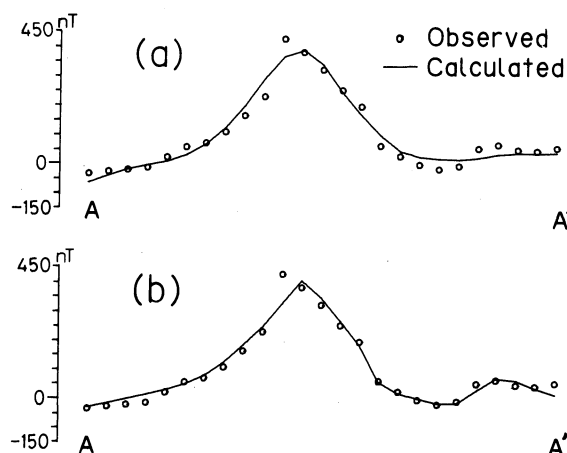


Fig. 7. Calculated and observed anomalies of geomagnetic total intensity
 (a) for the square shaped model along the profile A-A' in Fig. 5(b) and
 (b) for the arbitrary shaped model along the profile A-A' in Fig. 6 (b).

造の影響が予想される。これを評価するために、まず、溶岩流の分布や地形の特徴および正方格子モデルの結果を考慮に入れて、調査地域を不定形のブロックに分割する。ただし、正方格子モデルと同様、個々のブロックは一様に磁化した $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ の角柱の集合とする。こうして設定されたモデルについて磁化強度を求め、計算された磁気異常と観測値を比較しながら、試行錯誤的にブロック形状の手直しをおこなう。

Fig. 6は、この方法で求められた磁化強度分布と計算された磁気異常である。正異常の最大はやはり桜島山頂のやや南側にあるが、観測されたものに較べると500mほど北に寄っている。大局的に見た傾向は正方格子モデルと変わらず、観測された磁気異常分布の特徴を捉えている。このモデルについて計算された桜島山頂を通る南北断面の磁気異常は、観測値が最大となるところで100nTの残差が生じるが、全体としては正方格子モデルに較べて残差は小さく30nT以下であり、特に調査地域北部の小さな正異常の箇所では適合度が高い [Fig. 7(b)]。

磁化強度が最も大きな箇所は桜島山頂部の南岳を含むブロック15と北岳の北部を含むブロック11である。その中間には小さな磁化強度を示すブロック12があり、山頂付近では磁化強度分布にかなり大きな変動があると考えられる。大きな磁化強度は桜島火山の北部および北東部にあたるブロック9と13に見られる。安永諸島を含むブロック10の磁化強度はこれらに較べると小さいが、調査地域内では相対的に大きな値である。また、桜島の東側と西側を較べると、東側の磁化強度がかなり大きくなっている。

桜島周辺部の磁化強度は一般に負の値を示すが、北部には比較的大きな正の値を示すブロックがある。松崎・歌代(1966)のマップには、鹿児島湾奥の北西部から薩摩半島北部にかけて全磁力の大きな地域が広がっており、この異常の効果と考えられる。

磁化強度と地質

桜島火山には、有史以前および有史時代の溶岩流や溶結した火山碎屑堆積物が広がっていて、これは強い磁性体となっている(行武ほか, 1977)。山頂部には、磁化強度の大きなブロックに

挟まって強度の小さなブロックが存在する。強度の大きなブロックは成層火山である南岳および北岳に、小さなブロックは側火山と考えられている中岳（福山，1978）に対応するよう見える。これは中岳付近に、現在の火山噴出物や降下火山砕屑物など磁化強度の小さな物質が多量にあることを示唆すると考えられる。

桜島の北および北東部のかなり大きな磁化強度を示すブロック9と10には、有史以前の溶岩流や、1779年の安永溶岩および1471年の文明溶岩流が分布する。ここに分布する安永溶岩は厚さが約100mと見積られており（石原ほか，1981）、角柱モデルに占める割合は大きくないが、溶岩流が相対的に厚く、しかも浅い部分に集中しているために、磁化強度に大きく寄与すると考えられる。文明溶岩と安永溶岩はブロック20にも分布するが、磁化強度はきわめて小さい。このブロックにある安永溶岩と文明溶岩は、桜島北東部のものに比べて、容積はそれぞれ1/22、1/8にすぎず（石原ほか，1981）、また、野尻川や持木川などの河川による扇状地が発達して、全体としての磁化強度は低くなっている。有史以前の溶岩流に加えて1914年の大正溶岩と1945年の昭和溶岩が分布する桜島南東部のブロック17では磁化強度は比較的大きく、大正噴火の火口があるブロック14でも相対的に大きな強度を示す。しかし、大正溶岩の広がるブロック8の強度はあまり大きくない。この溶岩流は相対的に薄く、北部の扇状地の寄与もあって、磁化強度は相対的に低くなったものであろう。

桜島の北東部に隣接して広がる安永諸島を含むブロック10もかなり大きな磁化強度を示している。小野ほか（1977）および福山・小野（1981）によれば、安永諸島は安永噴火の際の二次溶岩進入による隆起によって生じたと考えられているが、ここで得られた結果はこの考えと調和的である。

四万十層群とそれを貫く花崗岩が分布する調査地域の東部の大隈半島や、シラス台地の広がる鹿児島市および桜島の南方海域は、全磁力異常が負の値を示す領域である。これらの領域では、岩石の磁化強度も小さく、大局的には現在の地球磁場とは異なる方向に帯磁していると考えられる。

結 論

南九州の航空磁気測量による全磁力データを解析して、桜島とその周辺部の磁化強度分布を求めた。地形効果を考慮に入れるために、磁性体を一様帯磁の角柱の集合で近似し、調査地域を機械的に分割した正方格子モデルと地質構造を考慮して設定したモデルについて計算をおこなった。ふたつのモデルについては計算された全磁力異常には大きな違いはないが、求められた磁化強度は、桜島東部では大きく西部では小さくなっており、地形や地質との間には良い対応が見られる。磁化強度の最も大きな箇所は桜島山頂部にあって、中岳に対応する中間部には強度の小さな部分を挟んでいる。地質との関連を見ると、磁化強度の大きい北部および東部のブロックには有史以前の溶岩流に加えて、文明・安永・大正・昭和の安山岩質溶岩が広くかつ厚く分布する。強度の小さいブロックでは、溶岩流はあっても量的には少なく、扇状地など砕屑性堆積物が広がっている。また、桜島の北東方向に位置する安永諸島の下部には強磁性体の分布が予想される。これはこの地域に安永溶岩が進入したとする考え方（小野ほか，1977；福山・小野，1981）とは矛盾しない。

謝 辞

小野晃司博士（地質調査所）には、安永諸島の溶岩進入に関する文献について御教示いただいた。なお、解析に用いたデータは、松崎・歌代（1966）のマップから読み取ったものである。

文 献

- BHATTACHARYYA, B. K., 1964, Magnetic anomalies due to prism-shaped bodies with arbitrary polarization, *Geophys.*, **29**, 517-531.
- 福山博之, 1978, 桜島火山の地質, 地質学雑誌, **84**, 309-316.
- 福山博之・小野晃司, 1981, 桜島火山地質図, 火山地質図1, 地質調査所.
- 石原和弘・高山鉄朗・田中良和・平林順一, 1981, 桜島火山の溶岩流（I）-有史時代の溶岩流の容積, 京大防災研究所年報, **24 B-1**, 1-10.
- 加藤元彦, 1978, 重力・磁力分布の解析法の基礎（第7回）, 物理探査, **31**, 61-68.
- 松崎卓一・歌代慎吉, 1966, 鹿児島湾周辺の地磁気異常について, 海上保安庁水路部研究報告, **1**, 23-25.
- 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.
- 小野晃司・曾屋龍典・木野義人・杉浦邦朗, 1977, 桜島北東沖, 安永諸島の地質（要旨）, 火山2, **22**, 106.
- 力武常次, 1972, 地球電磁気学, 岩波書店.
- RIKITAKE, T. and HAGIWARA, Y., 1965, Magnetic anomaly over a magnetized circular cone, *Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Univ.*, **43**, 509-527.
- 行武毅・柳原一夫・大島汎海・栗原忠雄・田中良和, 1975, 桜島およびその周辺地域での全磁力測量, 桜島火山の総合調査報告, 43-49.
- 行武毅・吉野登志男・河村謙・大島汎海・田中良和・田中秀文, 1977, 桜島およびその周辺地域での全磁力測量（II）, 第2回桜島火山の集中総合観測, 55-67.