

## 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

植田義夫\*・登崎隆志\*\*・小野寺健英\*・兼子俊朗\*・大島章一\*\*\*

### GEOMAGNETIC ANOMALIES AND MAGNETIC STRUCTURES OF QUATERNARY VOLCANOES IN JAPAN DERIVED FROM AEROMAGNETIC SURVEY RESULTS

Yoshio Ueda\*, Takashi Tozaki\*\*, Ken-ei Onodera\*,  
Toshiro Kaneko and Shoichi Oshima

*Received 1982 November 22*

#### Abstract

An airborne magnetic surveys of total-force over Quaternary volcanoes, SAKURA-ZIMA; Mt. USU; Ō-SIMA; MIYAKE-ZIMA; KŌZU-SIMA had been conducted by the Hydrographic Department of the Maritime Safety Agency, Japan (J.H.D.), as part of the Japan-U.S. Science Cooperative Program and the Upper Mantle Project in the 1960s.

During the 11th Magnetic Survey of Japan for epoch 1980.0 performed by J.H.D., aeromagnetic surveys of total-force and that of vector components on Mt. HUZU were also carried out in Sept. 1979 and in Mar. 1980 respectively. Making use of these survey data, magnetic anomaly maps on these volcanoes were compiled and some of them were analysed numerically by the Talwani's method to investigate their magnetic structure.

From a series of discussions in relation to the above procedures, the following conclusions were obtained.

(1) Although the volcanoes, analysed here, seem to have uniform magnetizations in the present direction in the first order approximation, detailed analyses indicate that many of the volcanoes have non-uniform magnetic structures reflecting the history of their activities, the differences of chemical and mineral compositions, and inner thermal structures.

In the case of SAKURA-ZIMA, there seems to be an extent of basic rock below her floor which suggests the volcanic activity prior to SAKURA-ZIMA formation.

Mt. USU and Ō-SIMA have a magnetic structure related to the caldera formation, and as for Mt. HUZU, we may suppose a lineated magnetic structure, whose direction coincides with the arrangement of the parasitic cones.

(2) The correlation between the intensities of magnetizations, which are obtained by model analyses, and the weight percent of SiO<sub>2</sub>, was made apparent, though Mt. HUZU disagrees with this trend to a certain degree. This disagreement may suggest the existence of low magnetization in her inner part.

(3) The magnetic anomaly fields and the magnetic structures of active volcanoes support the usual thought that hydro-thermal process is the main factor which controls the inner thermal structure of volcanoes.

In addition to this, we may suppose that underground water beneath the volcano plays an important role for the cooling process of an active volcano.

**Key words:** Geomagnetism of volcano, Mt. HUZU, KŌZU-SIMA, MIYAKE-ZIMA, NII-ZIMA, Ō-SIMA, SAKURA-ZIMA, Mt. USU.

## 1. はじめに

火山には、一般に局地的な地磁気異常を伴うものが多いが、これは重力や地震探査とともに火山体内部の構造を推定する有力な情報の一つである。我が国での火山の地磁気異常の研究をふり返れば、1960年代初期までは主に地上での地磁気測量成果を利用し、これを火山体地下の球形ないし回転楕円体状のモデルで説明したものが多く、しかし、実際の火山の構造は球形等の単純なモデルでは近似する事が困難で、地磁気異常から火山体内部の構造を推定する際には、火山体の地形に起因する地磁気異常を正確に求める必要があり、この時点では多くの問題も残されていた。1960年代半ばに入ると、フラックスゲート型磁力計の改良やプロトン磁力計の実用化に伴い、火山の航空磁気測量が実施されるようになり、その能率・精度の向上とともに一定高度の測量成果が得られるようになった。又、電子計算機が普及して火山の地磁気異常の解析にも応用されるようになった。

Rikitake and Hagiwara (1965) は、航空磁気測量成果の解釈のため帯磁円錐物体に伴う地磁気異常を計算し、火山の地磁気異常は、そのほとんどが均一に帯磁した山体で説明できると述べている。又、Vacquier (1963) や Talwani (1965) は任意形状の帯磁物体による地磁気異常を求める計算法を開発した。特に後者の方法は地形モデルの作成も容易で、その後、多くの海山や火山の地磁気異常の研究に応用されてきた (Francheteau et al., 1970; Harrison, 1971)。本邦の活火山についてこのような方法を用いた研究例としては、Vacquier and Uyeda (1967)、三品正明(1971)、Kodama and Uyeda(1978)、大島章一他(1982)がある。それらによると、火山の磁気構造は、第一近似としては均一に帯磁していると考えられるが、場合によっては、鉱物組成の相違・山体内部の温度分布・火山の形成過程等を反映し、不均一な構造を示す例も報告されている。火山の地磁気異常の研究は、火山体内部構造の推定・火山の形成機構やさらには噴火予知にも結びつくもので、今後、発展が期待される分野である。しかし、具体的な火山の磁気構造の解明となると、上記の報告はあるものの未だ解析例も少なく、個別の記載の段階にとどまっている。そのため、火山体の磁気構造をその成因等によって体系化するためにもさらに多くの火山について磁気構造を解明する必要がある。

水路部では、航空磁気測量の開発段階から、火山の地磁気測量を実施してきており、成果の一部は既に報告されている (松崎及び歌代, 1966 a, 1966 b; Utashiro et al., 1972)。今回、筆者らは、これらの成果と、その後追加された富士山の航空磁気測量成果を用い、各火山の地磁気異常図を作成した。また一部の火山について地磁気異常のモデル解析を行い、火山体内部の磁気構造を推定した。

本論で取扱った火山は、富士山・伊豆大島・三宅島・新島・神津島・桜島・洞爺カルデラ及び有珠山である。洞爺カルデラと有珠山及び桜島周辺の航空磁気測量は、日米科学協力計画の一環として1964年7月と11月に水路部がヘリコプターに搭載したプロトン磁力計で測定したもので、測量方法・成果等については松崎・歌代 (1966

a, 1966 b) の報告がある。伊豆大島・三宅島・新島・神津島の航空磁気測量は、1962年頃から始まった国際地球内部開発計画 (UMP) の一部として実施されたものであり (Utashira et al., 1972), 測量方法等は前者と同様である。

富士山の航空磁気測量は、水路部の第11回全国磁気測量の際に海上保安庁所属 YS-11型機によって行われたもので、全磁力はプロトン磁力計により1979年9月に、三成分は新たに開発されたリングコアセンサーのフラックスゲート型航空磁気儀により1980年3月に測量したものである。なお、1980年3月の3成分の測量では、天候と視界不良のため、測位は VLF オメガのデータのみによって行われ、目視による測位値の較正ができなかった。このため、三成分地磁気異常図は1~2マイルの位置誤差を含んでいる可能性があり、ここには参考のため掲げるとどめる。以上の航空磁気測量の概要を第1表に示す。

Table 1 Summary of Air-borne magnetic surveys

Volcanoes	Component	Survey date	Flight height	Air-craft	Positioning	Project
TOYA Caldera & Mt. USU	Total force	14-16, Jul, 1964	980m 1460m	Heli-copter	Terrain picture	U.S.-Japan cooperative science
SAKURA-ZIMA	do.	Nov, 24 -Dec. 1, 1964	1820	do.	do.	do.
O-SIMA	do.	Sept, 1964	910	do.	do.	Upper Mantle Project
MIYAKE-ZIMA	do.	Oct, 1967	1370	do.	do.	do.
NII-ZIMA & KOZU-SIMA	do.	Oct, 1967	610	do.	do.	do.
Mt. HUJI	do.	Sept, 1979	5690	YS-11	VLF Omega	As a part of the 11th magnetic survey of Japan Carried out by M.S.A.
Mt. HUJI	Three-components	Mar, 1980	5920	do.	do.	do.

## 2. 各火山の地磁気異常分布の特徴と地質構造

地磁気異常の算出に用いる標準磁場として、1965. 0年に於ける IGRF 1965モデルの値に、日本周辺の年差補正を加えたものを用いた(大島ほか, 1980)。なお、富士山については測量年等を考慮し、1980. 0年の世界標準磁場として米国 NASA から報告されている MGST 6/80モデルを採用した。求めた地磁気異常図には、火山や地殻表層部に起因する波長数十kmの異常の他に、数百km~数千km程度の長波長の異常が重畳している場合がある。この長波長の異常は地域的地磁気異常と呼ばれ、IGRF1965モデルを用いた場合では、日本海側やオホーツク海側で、-100nT~-200nTに達しており(植田, 1976)、地磁気異常図の解釈にあたってはその点も考慮した。さらに、火山体周辺に他の磁性岩体が近接して分布している場合には、火山体固有の地磁気異常に、それによる異常が重なり、一見複雑な分布を示す。本論でもこのような例をいくつか報告する。

### (1) 桜島

桜島は、鹿児島湾北部に存在する始良カルデラの後カルデラ火山である。始良カルデラは今から約22,000年前、シラス台地を形成した入戸火砕流の大量噴出の後に陥没によってできたクレーター・レーク型カルデラである(荒牧, 1979)。桜島はその陥没後、今から約13,000年前に始まった噴火活動により形成された成層火山

で、安山岩や石英安山岩の熔岩と火山碎屑物で構成されている。

現在の桜島山頂部には、標高1,000mを越す北岳・中岳・南岳の3峰があるが現在活動中のものは南岳だけである。有史以後の大噴火は山腹噴火によるものがほとんどで、側火口や側火山も多い。福山(1978)は、側火山の分布が概ね山頂部を通る西北西-東南東にあり、大正噴火の際の裂線との平行性を主張している。最近では、1946年の昭和大噴火が有名であるが、その後も依然として小規模な爆発と噴煙をくり返しており、航空磁気測量が実現された1964年にも南岳火口付近での噴火活動が記録されている。

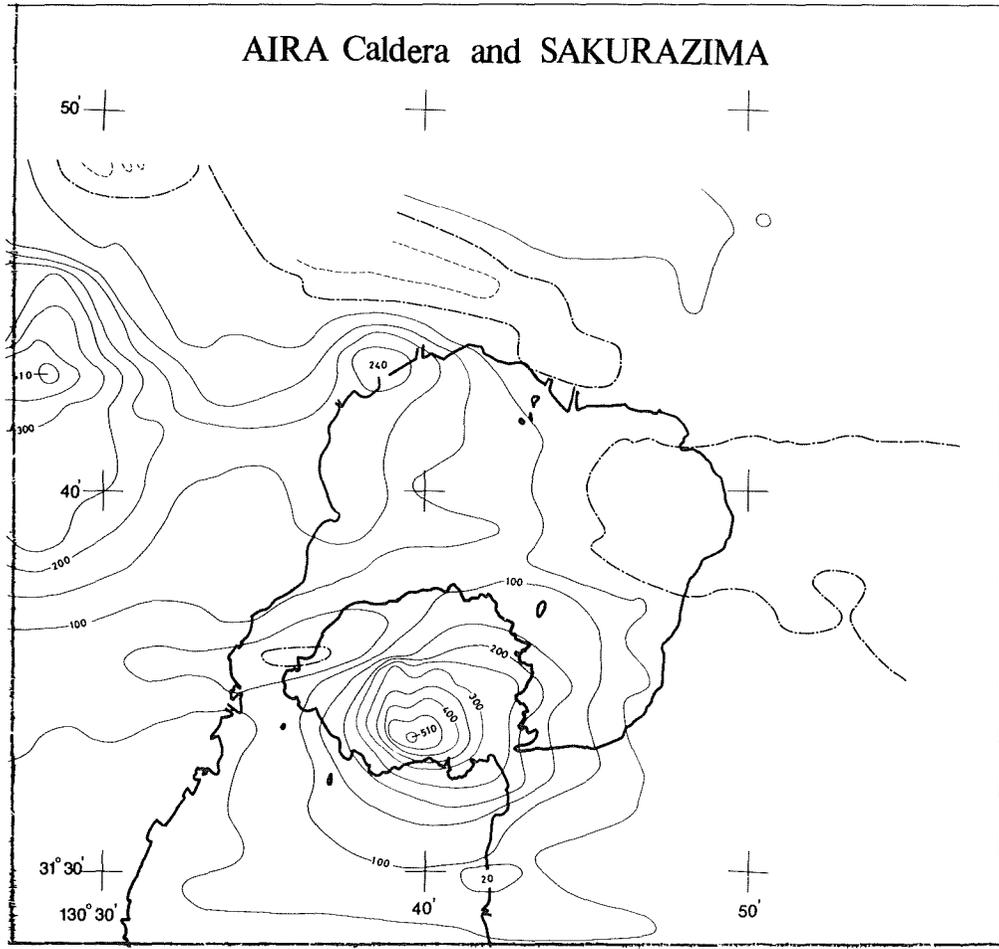


Figure 1 Geomagnetic anomaly map of total-force over SAKURA-ZIMA, at altitude 1820m. Reference field is IGRF 1965 corrected by secular change around Japan. Contour interval is 50 nT. Solid line means positive value and dotted line negative one.

桜島周辺の地磁気異常図(第1図)をみると、桜島の山体のみに起因すると考えられる約500nTに及ぶ正の異常域が、山頂南側に確認できる。桜島の西側、袴腰付近には負の傾向を示す異常域があるが、この付近には先桜島火山の噴出物である袴腰火砕流堆積物が分布している。始良カルデラの北~北西付近にも約400nTに達

する正の異常域が見られるが、これに対比できる明瞭な地形的特徴は見られない。ただ、位置的にはカルデラ北縁部にあり、その方向性も陥没をもたらした断層の方向とほぼ一致していることから、カルデラ形成に関連して生じた塩基性岩体によるものであろう。

(2) 洞爺カルデラ及び有珠山

洞爺カルデラは更新世後期の今から約1万数千年前に、軽石流の大量噴出に伴う陥没により生じたクレーター・レーク型カルデラで、洞爺湖周辺にみられる多くの台地状の地形は陥没以前に噴出した軽石流堆積物により形成されたものである(勝井, 1979)。現在、カルデラのほぼ中央にある中島は陥没後にできた複数の熔岩円頂丘からなる一種の後カルデラ火山である。

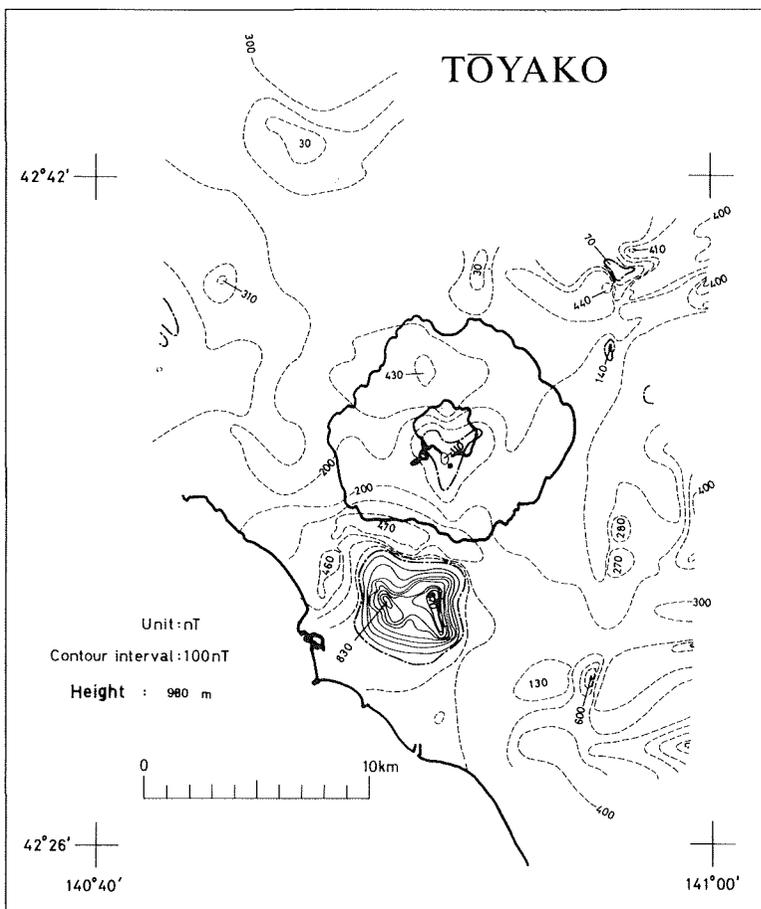


Figure 2a Geomagnetic anomaly map of total force over TŌYA caldera and Mt. USU at altitude 980m. Reference field is IGRF 1965 corrected by secular change around Japan. Contour interval is 100 nT. Solid line means positive value and dotted line negative one.

第2図aは測量高度980mの地磁気異常図で、それによれば、カルデラ中心部の南と北にそれぞれ-430nTと+110nTの極値がみられる。地磁気異常が全体として負に片寄っているのは、この付近の地域的地磁気異常により-100~-150nTのバイアスをもつこと、及び、この付近のより大きい地質構造の影響を受けているためであろう。この振巾540nT、極値間隔約4kmの異常の原因は、中島火山が帯磁強度の小さい安山岩系統の岩石から構成されていることから、中島火山の異常と考えるより、その基底に深に存在する塩基性岩体によるものと

推定される(松崎・歌代, 1966 a)。この部分の異常が陥没後に生じた塩基性マグマの噴出によるものか、あるいは陥没部分に堆積した火砕堆積物によるものかについては意見のわかれるところである。この問題はカルデラ形成機構の本質にかかわっており、その解明が急がれているが最近では後者の考えが強く支持されつつある(横山, 1969; 西田, 1982)。

洞爺湖の南にある有珠山は洞爺カルデラの形成後カルデラ南縁に完新世初期の噴火活動によってできた火山で、その活動期は新田二期に区分される(Oba, 1966)。前期は含かんらん石玄武岩〜ビジョン輝石安山岩で代表される塩基性岩石の噴出活動で、この活動により有珠山外輪山が形成された。この活動後今から2,000年〜2,500年前にカルデラ形成を伴う大規模な水蒸気爆発が発生し、その際の泥流が善光寺泥流丘として有珠山南側に広く分布している。有珠山の標高450m付近には直径約1.5kmの平坦面がみられるが、この地形は爆発で生じたカルデラ部分とその後の火山噴出物により埋設されたものと推察される。水蒸気爆発後は有珠山の休止期で、その間に地下のマグマは珪長質なものへと変化していった。第2期の活動は今から約350年程前に始まった流紋岩質マグマの活動で、現在までに小有珠・大有珠・昭和新山等に代表される熔岩円頂丘を形成した。また、1977年から79年にかけての噴火では山頂部中央付近に新しい熔岩円頂丘・有珠新山が形成された。

有珠山の地磁気異常は+870〜-470nT、波長約3kmでダイポール型の異常を示す。正異常の最大値付近の

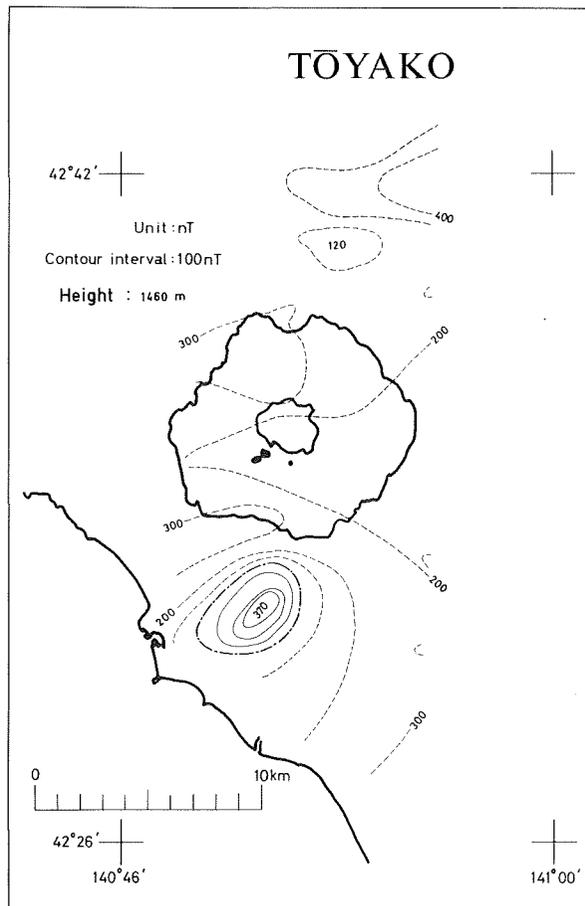


Figure 2b Geomagnetic anomaly map of total-force over TŌYA caldera and Mt. USU at altitude 1460m.

等値線が中央部でくびれているのは有珠山本体（外輪山）のカルデラ構造を反映しているものと考えられる。又 $-470\text{nT}$ で示される負の異常域はカルデラ南縁に沿って東西に帯状に広がっている。

第2図bには、測量高度 $1,460\text{m}$ での洞爺カルデラ有珠山周辺の地磁気異常図を示した。ここでは、地表付近の磁性岩体の分布による局地的な異常はほとんど消失し、火山体内部の比較的深部の磁気構造を反映しているとみられる。

### (3) 伊豆大島

伊豆大島は、現在の大島火山と、それ以前の鮮新世初期に活動をした三つの古火山、筆島火山・岡田火山・行者の窟火山からなる。古火山の熔岩は伊豆大島東海岸の海食崖に広く露頭している(中村, 1979)。大島火山の活動は、上記古火山が侵食開析された後の今から数万年前に始まったが、その途中には数千年に及ぶ活動休止期があったことも縄文時代とみられる人類遺跡などからわかっている(久野, 1957)。

現在の三原山は、今から約 $1,300$ 年前の陥没によるカルデラ形成後にできた中央火口丘である。中村(1978)は、大島火山の層序をカルデラ形成前と後の二つに大きく区分し、前者を古期大島層群、後者を新期大島層群

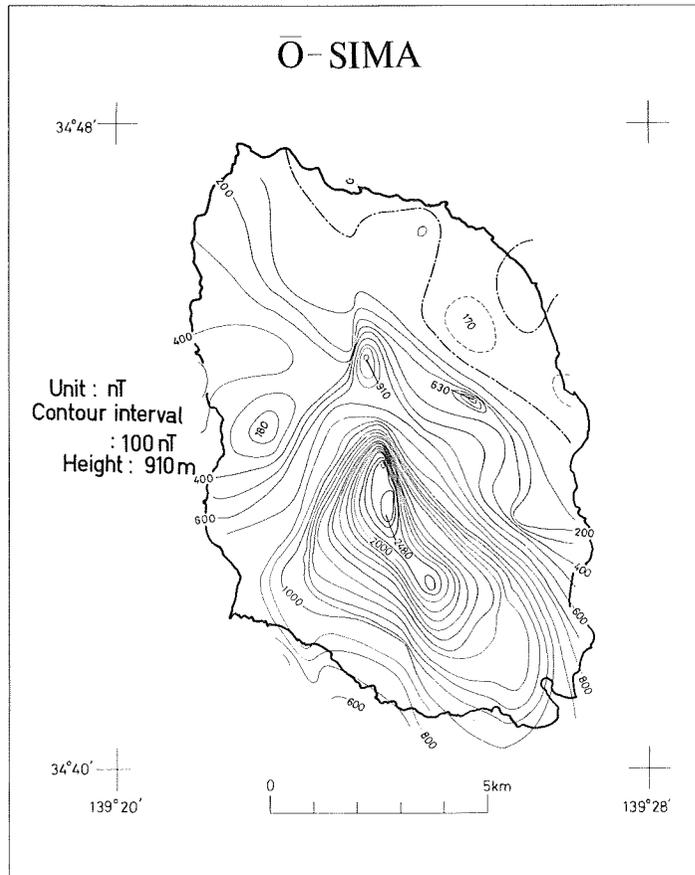


Figure 3 Geomagnetic anomaly map of total-force over Ō-SIMA island at altitude 910m. Reference field is IGRF 1965 corrected by secular change around Japan. Contour interval is 100 nT. Solid line means positive value and dotted line negative one.

と呼んでいる。これら両層群を構成する岩石は主にソレイアイト質のかんらん石玄武岩で、古火山のそれと類似している。有史以後の大島火山の噴火は中心噴火とともに側火口からの熔岩流出を伴うものが多い。現在、約40の側火口が確認されており、それらは概ね山頂部から北北西と南南東に多く分布している。中村（1978）はこの特徴的な分布は、大島に作用する水平最大圧縮力の方向を示すものと指摘している。測量当時にも、

測量当時にも、三原山火口周辺は小噴火を行っており、その影響が地磁気異常にどのように表われているかは興味あるところである。伊豆大島の地磁気異常（第3図参照）は、カルデラ中心部から南東方向に約2,500 nTに及ぶ正の異常域が広がっており異常分布の方向性は側火口の分布と一致する。カルデラ縁の北側には910 nTの顕著な正の異常が存在するが、それは同島の地質図（中村，1978）を参照すると、カルデラ形成前の湯場熔岩の流出をもたらした火道部分の位置にあたる。三原山火口付近の地下は高温になっていると予想されたが、地磁気異常図にはそれを示唆するような異常はみられず、火山体の内部温度構造を考察するうえで興味深い。

伊豆大島の地磁気異常の振巾は非常に大きく、同島を構成する玄武岩の特性を示すことは良く知られている。なお、伊豆大島の玄武岩の鉄の含有量は、久野（1958）によれば15wt.%にも達する。

#### (4) 三宅島

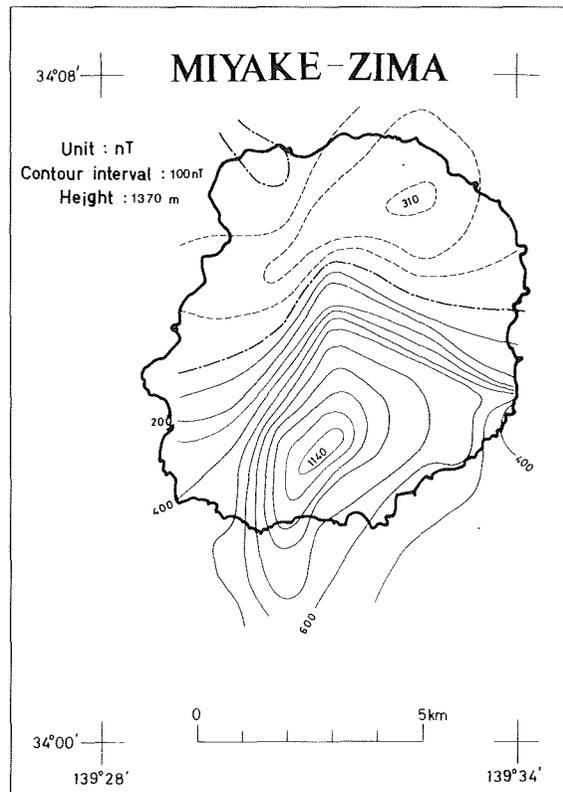


Figure 4 Geomagnetic anomaly map of total-force over MIYAKE-ZIMA island at altitude 1370m. Reference field is IGRF 1965 corrected by secular change around Japan. Contour interval is 100 nT. Solid line means positive value and dotted line negative one.

三宅島は直径約8kmのほぼ円形の成層火山で山体の基底は海面下300mまでのび、基底面は南北方向に主軸をもつ長円形である。有史以降噴火活動をくり返しているが、そのほとんどが山腹噴火で側火口が全島に分布している。三宅島の活動は今から数万年前の更新世初期に始まったと考えられており、その基盤岩は伊豆大島と同じく湯ヶ島層群と考えられている(一色, 1960)。山頂部には直径約1.5kmのカルデラ状の地形があり、そのやや南側に中央火口丘の雄山(標高814m)がある。又山体を構成しているのは主にソレイアイト質のかんらん石玄武岩である。三宅島は多くの点で伊豆大島との類似点が認められるが、カルデラの構造等については大島ほど十分な調査が行われておらず不明な点も多い。

三宅島の地磁気異常分布(第4図参照)は、島の北側に負、南側に正のダイポール型の異常を示し、一見したところ伊豆大島でみられたような旧火道に対比できる局所的な異常は見られない。ダイポール型異常の振巾は約1,500nT、波長6kmである。正の異常域が島の南側で南に伸び、さらに島の中心部でも北に凸の南北の方向性を示していることから三宅島及びその基盤の構造にも南北の方向性がある事を示している。三宅島の地磁気異常の振巾は、測量高度の差を考え合わせると伊豆大島に匹敵する大きいものといえよう。

(5) 新島・神津島

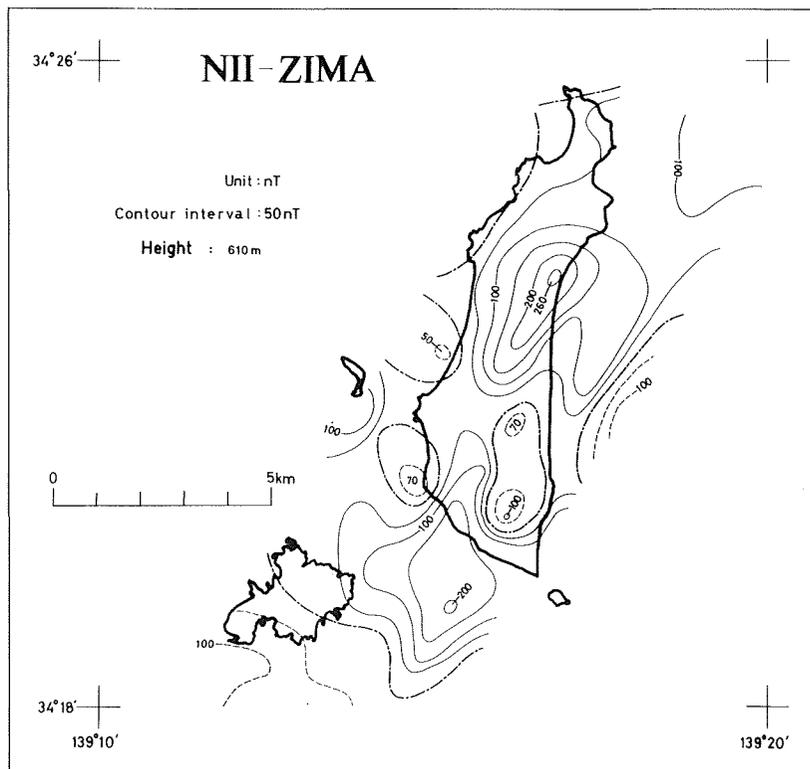


Figure 5 Geomagnetic anomaly map of total-force over NII-ZIMA island at altitude 610m. Reference field is IGRF 1965 corrected by secular change around Japan. Contour interval is 50 nT. Solid line means positive value and dotted line negative one.

水路部刊行の海図第6313号(海底地形図100万分の1,中部日本)をみると,新島・神津島の延長は銭州海嶺へとつながっており,両島が同一の海嶺軸部に位置することがわかる。両島を形成した活動がいつ頃から始まったかについては明確でないが,その基盤は熔岩中の補獲岩などから大島・三宅島と同じ湯が島層群と考えられている。それぞれの地形を特徴づけているのは,多数の流紋岩からなる熔岩円頂丘や火砕屑丘であり,新島では南部の向山(標高283m)で886年に,神津島でも天上山(標高574m)でほぼ同時期の噴火活動が古文書に記録されている。新島では,流紋岩の他に同島北部に高アルミナ玄武岩からなる若郷砂礫層が分布するが,この起源は大島・三宅島・八丈島へとつづく火山フロントの活動に起因するものであろう。

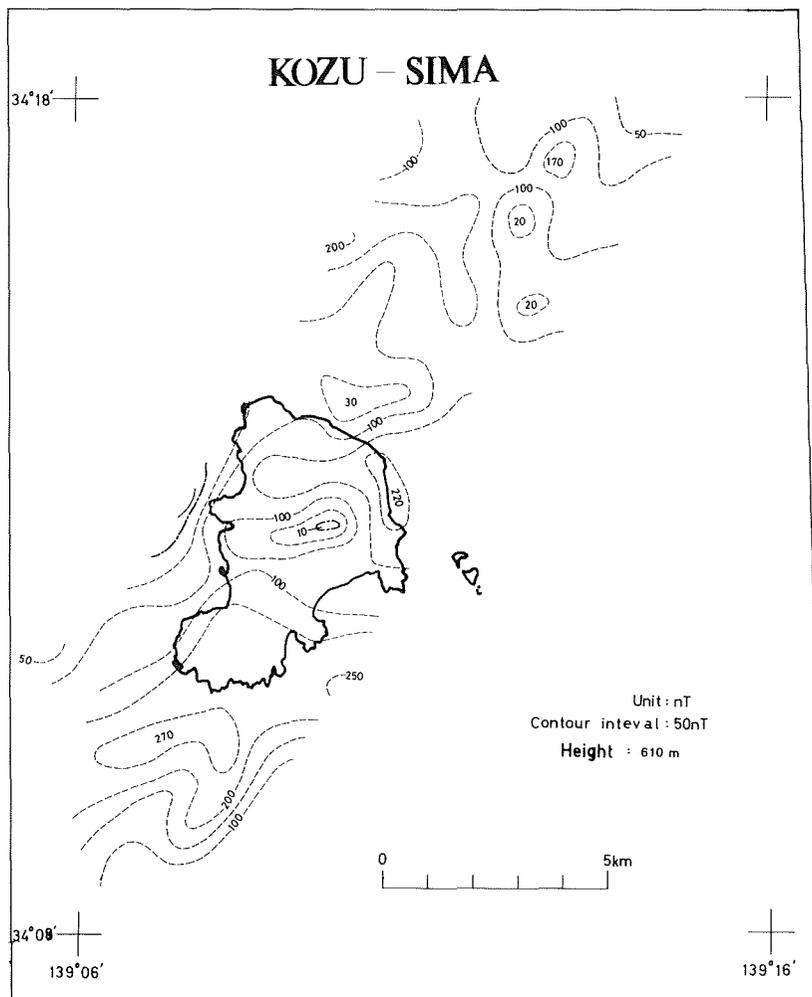


Figure 6 Geomagnetic anomaly map of total-force over KŌZU-SIMA island at altitude 610m. Reference field is IGRF 1965 corrected by secular change around Japan. Contour interval is 50 nT. Solid line means positive value and dotted line negative one.

新島の地磁気異常分布を第5図に示す。顕著な異常は島の南側にみられる向山(標高283m)によると思われる異常(+200nT~-100nT, 波長2.5km)と、北側の宮塚山(標高432m)・阿土山(標高207m)に起因すると考えられる異常(+260nT)の2ヶ所である。両者とも山体は流紋岩質であるため振巾は小さい。

神津島の地磁気異常分布を第6図に示す。全体的に負の異常域が広くおおっているが、これはこの付近の海域の地磁気異常図(大島他, 1981)を参照すると神津島全体が同島をとりかこむ広い負の異常域に入るためと考えられる。このような負の傾向を補正して考えると、神津島のほぼ中央には天上山(標高574m)に対応する異常がみられる。

新島・神津島の帯磁モデルについては、Kodama and Uyeda (1978)の報告があり、帯磁強度は新島が1.4 A/m, 神津島が0.8 A/mで帯磁方向はほぼ現在の地球磁場の方向と一致する結果が得られている。

#### (6) 富士山

富士山は、東北日本弧・西南日本弧・伊豆-小笠原弧の会合する南部フォッサマグナに位置し、その基底は直径30km以上にも及ぶ円錐成層火山である。富士山の基盤は新第三紀の火山噴出物からなる御坂層群と、一部海成堆積物を含む足柄層群で、後者は東山麓の標高1,000m付近まで広がっている。富士山を形成した火山活動は更新世初期の小御岳火山と愛鷹火山の活動に始まり、前者は富士山北側山腹の標高2,300m付近に一部露出している。古富士火山は両火山の活動が停止した後、更新世後期から活動を始め、その最末期の約一万年前には関東ローム層の名で知られる大量の火山灰を噴出した。その後完新世に入ってから、富士火山の活動が始まり上記古火山の上にその噴出物を堆積し現在みられる成層火山を形成した(Tsuya, 1968)。

富士山には100余りの側火山があり、それらは山頂を通る北西-南東の一带に分布し、又北東方向に沿っても分布するがその数は少い。1707年の宝永噴火も南東山腹からの噴火である。宝永噴火後は顕著な活動はみられないが、山頂火口縁では現在も噴気等の地熱現象がつづいている。

富士山を構成する岩石はかんらん石玄武岩~しそ輝石玄武岩が多く比較的均一な組成をもつ。Kuno(1960)は、富士山の玄武岩がアルミナに富むことから、伊豆半島や伊豆諸島のソレイアイト玄武岩と区別し、高アルミナ玄武岩に分類している。

第7図aに全磁力異常分布、第7図b~dに地磁気三成分異常分布を示す。第7図aの富士山の地磁気異常をみると、山頂の南側に+870nT, 北側に-110nTのダイポール型の異常分布を示し、正及び負のピーク的位置間隔は約14kmである。小御岳や古富士に対応する地磁気異常は、この図だけでは顕著でない。愛鷹山付近では正の等値線が若干くびれ、同山に伴う正異常の影響がみられる。富士山の東20km付近には350nTの正の異常域が見られるが、地質図(地質調査所, 1982)を参照するとこの付近には新第三紀貫入岩体が分布しており、これに伴う異常と判断される。愛鷹山東方には、+300nTの異常が存在するが、この付近は箱根山の西側山腹にあたりこの異常を反映したものと考えられる。

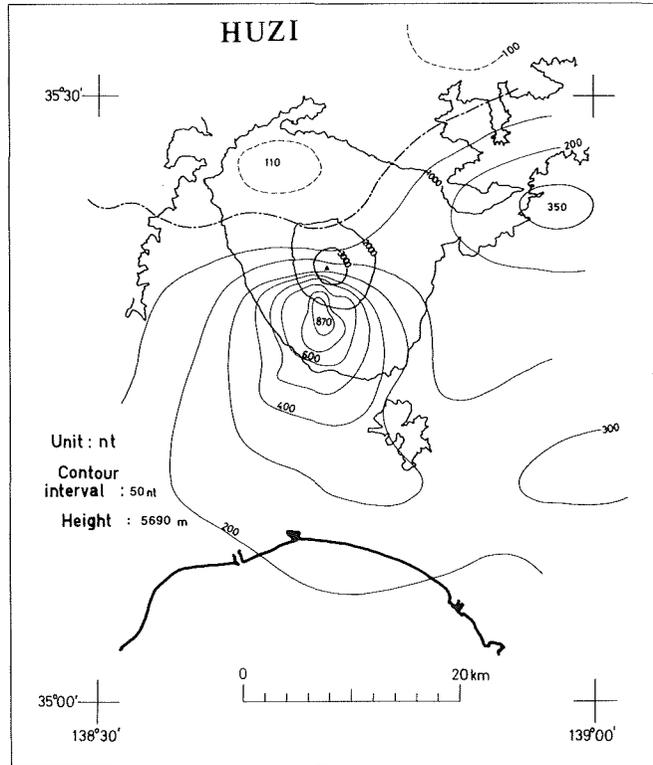
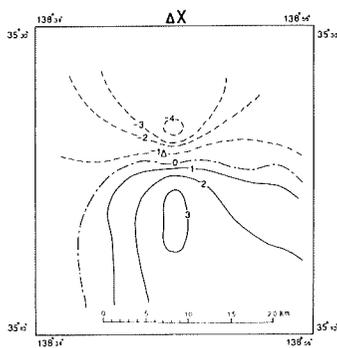
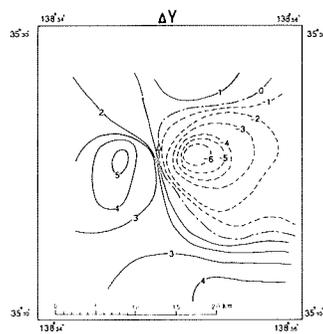


Figure 7a' Geomagnetic anomaly map of total-force over Mt. HUZU at altitude 5690m.

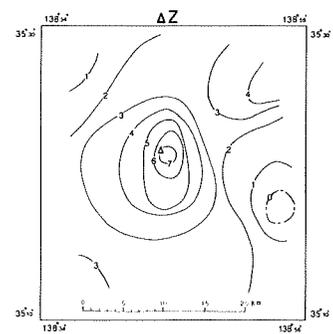
Reference field is MGST 6/80. Contour interval is 100 nT. Solid line means positive value and dotted line negative one.



7b: X-component  
(northward positive).



7c: Y-component  
(eastward positive).



7d: Z-component  
(downward positive).

Figure 7(b, c, d) Geomagnetic anomaly maps of vector components over Mt. HUZU at altitude 5920m. Solid line means positive value and dotted line negative one. Unit in 100 nT.

第7図b～dに示す富士山のX, Y, Z成分の異常は均一帯磁の円錐モデルの示す異常分布 (Rikitake and Hagiwara, 1965) とよく似ている。

### 3. 地磁気異常のモデル解析

前章で述べた火山のうち、桜島・有珠山・伊豆大島・三宅島・富士山について Talwani (1965) の方法を応用し地磁気異常のモデル解析を行った。以下にその方法論の概要と、各火山の解析結果を述べる。

#### (1) 解析方法の概要

Talwani の方法とは、海山や火山等の3次元の形状を多角柱の積み重ねで近似し、そのモデル地形と帯磁ベクトルから地磁気異常を求めるものである。この方法を用いて逆に地磁気異常から帯磁ベクトルを求めることもでき、応用例としては Francheteau et al. (1970), Harrison (1971), 植田 (1982) 等多くの論文が発表されている。本論文では地磁気異常分布から山体の帯磁を求めた。また、モデル近似の良否を表わす指数として次式で定義されるG値 ("Goodness of fitting ratio") を用いることとした。

$$G = \frac{\sum_i |I_i|}{\sum_i |E_i|} \quad \text{ここで}$$

$I_i$  : 測点  $i$  に於ける地磁気異常値  $\delta F_i$  から解析過程で求めた1次トレンドを除去した値

$E_i$  : 上記  $I_i$  の値からモデル地形により計算される地磁気異常値 (計算異常値) を差し引いた値

このG値を用いると、例えば  $G = 2$  の場合、地磁気異常分布の約半分が近似できたことになる。

本論文でとりあげる火山は、一部を除いて今から約70万年前から現在までつづくブリューン正磁極期に形成されたもので、その帯磁方向はほぼ現在の標準磁場の向きに近いと推定される。そこで、解析にあたっては帯磁強度と方向を未知数として取り扱う方法と帯磁方向を現在の標準磁場方向に固定し、帯磁強度だけを未知数にする方法の2種類の解析法を試みた。後者の方法は Emilia and Massey (1974), Kodama and Uyeda (1978) でも用いられている。

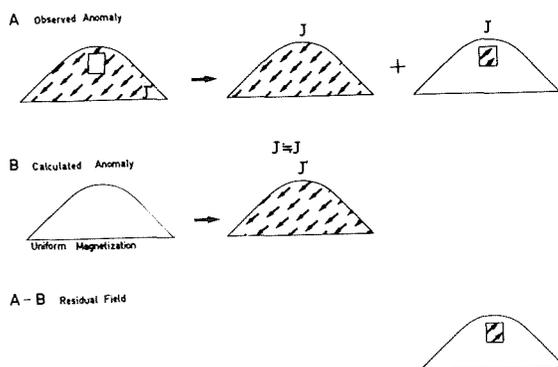


Figure 8 Conception diagram for magnetic anomaly analysis

A : Observed anomaly field by volcano which has a non-uniform magnetization, could be expressed by the summation of two bodies as shown in right hand.

B : Calculated anomaly field by uniform magnetization model.

C : Residual field of A-B could be assumed to be the field originated from the body magnetized in reverse direction.

均一帯磁で近似できない場合については、例えば第8図Aのように火山体の内部に帯磁していない部分があるとすると、これは火山全体が均一に帯磁しているモデルと帯磁していない部分が逆帯磁しているモデルの二つの和と考えられる。一方、このような山体を均一帯磁していると考えて解析すると、そのとき得られる残差分布図（観測異常値から計算異常値を引いたもの、第8図の(A)-(B)に相当する）には、近似的に逆帯磁の部分だけが表現されることとなる（第8図Aの右端）。これとは逆に、火山体内部に帯磁の強い部分がある場合も、このような考え方で残差分布図からその広がりや強さを推定できる。

本論では、均一帯磁モデルでは十分説明できない山体について、以上の方法で推定される非均一帯磁部分の帯磁強度等を具体的に推定するため、火山体を複数のモデルに分割し、複合モデルによる解析も一部行った。

## (2) 桜島の磁気構造

解析に用いた桜島の地形モデル及び測線分布を第9図aに示す。又、解析結果を第2表にまとめた。

Table 2 Results of calculation on SAKURA ZIMA

Model	Model description			Magnetization vector					
	Base & Top (m)		Flight level (m)	Decli (°)	Incli (°)	SDa (°)	Intensity A/m	SDa A/m	G-ratio
1	-100	1000	1820	present direction		3.3	3.9	0.2	1.92
2	-100	1000	do.	-37.6	64.7	1.5	4.6	0.2	3.76
3	-100	1000	do.	present direction		1.6	4.3	0.1	3.85
	reverse cone					2.6	11.8	0.5	

Notes: @ Standard deviation of magnetization vector (Franchteau et al., 1970)

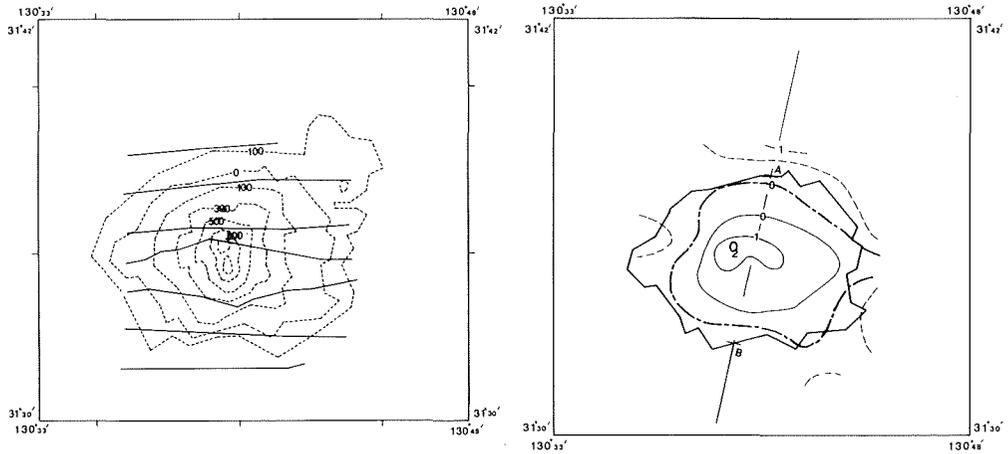
1 A/m =  $10^{-3}$  emu/cc      1 nT =  $10^{-5}$  Gauss

: Present direction; decli =  $-5.6^\circ$ , incli =  $47.2^\circ$

第2表のモデル1、モデル2は桜島全体が均一帯磁していると考えた結果で、モデル1は帯磁方向を現在の磁場方向（偏角 =  $5.4^\circ$  w, 伏角 =  $44.5^\circ$ ）に固定した場合、モデル2は帯磁方向も未知数にした場合である。

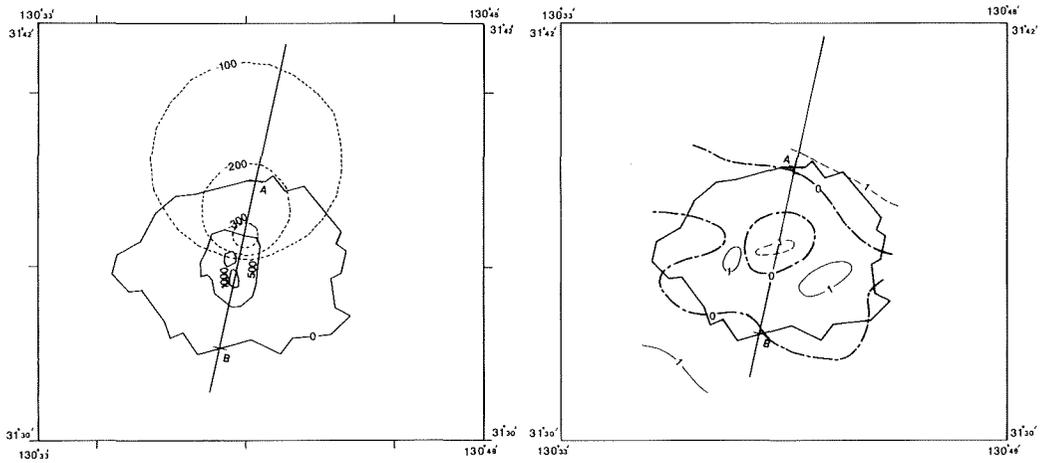
モデル2の結果によると桜島の帯磁方向は現在の磁場方向と比べ大きく西偏している。このような傾向は、Vacquier and Uyeda (1967)の結果にもみられる。一方、桜島熔岩の残留磁化の方向・強度はTanaka (1978)によると、大正熔岩のそれを除き概ね現在の地球磁場方向に一致し、その強度は2~5 A/mである。このことから、モデル2の結果で桜島の帯磁方向が西偏するのは山体が不均一に帯磁しているためと考えられる。そこで、この原因について検討するためのモデル1の残差分布図を作成した（第9図b）。これをみると桜島の地磁気異常は、火山本体の異常とともに、ほぼ山体域をおおう長波長の正の異常があり、残差分布図には後者の異常が表現されていると解釈できる。この正の異常を説明するための第9図cに点線で示すモデルを付加した。このモデルは標高0 m以下に、なだらかな逆円錐岩体を置いたもので、いくつかの試行結果のうち最も測量結果をよく近似できるものを選んだものである。このモデルを用いた解析結果を第2表モデル3に、又このときの残差分布図を第9図dに示す。

この結果、桜島の基底下に逆円錐岩体を付加することで現在の地球磁場方向に帯磁したモデルで異常分布を説明でき、G値も倍程度になること（モデル1とモデル3の比較）、モデル3の残差分布図には今までみられた長波長の残差は消失し、それに代って桜島山頂部付近に負の残差域が現われる等の事実がわかった。特に後者は深部の磁気構造の影響による正異常のためかくされていたもので、桜島山体の磁気異常がより鮮明になったものである。この負の残差の原因は、山頂部付近が高温のため磁性を失っているためと考えられる。



9a : Dotted lines are contour lines of topographic model, unit in meter above sea level. Track lines used in calculation are indicated by solid lines.

9b : Residual field calculated on topographic model (model 1 in table 2). Contour interval is 100 nT. Solid lines mean positive value and broken lines negative.



9c : Revised model , unit in meter above sea level. Dotted line indicate the reverse cone below the floor of SAKURA-ZIMA.

9d : Residual field calculated on revised model(model 3 in table 2), Contour interval is 100 nT.

Figure 9 Geomagnetic model analysis on SAKURA-ZIMA

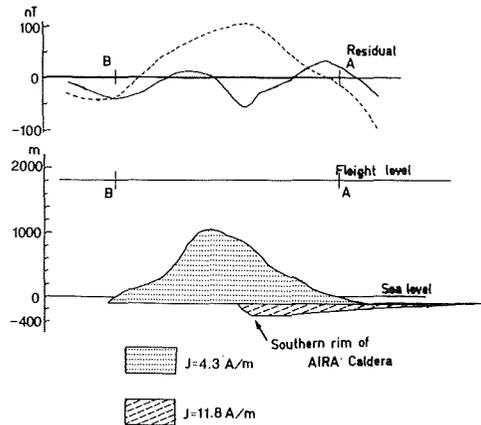


Figure 10 Geomagnetic structure of SAKURA-ZIMA. Cross-section A-B is correspond to those in figure 9. Dotted line is residual on topographic model(model 1 in table 2) and solid line revised model (model 3 in table 2).

第10図は、今回の解析から推定した桜島と、その基底以深の磁気構造の断面である。この図からは現在の桜島の下に一種の凹地状の構造があり、桜島全体の形成に先立って、その部分をおおう塩基性マグマの小規模な噴出活動が推定される。この分布域は始良カルデラ形成の一契機とも考えられている大隅下軽石の噴出域とも一致しておりこの活動との関連も注目される。

## (2) 有珠山の磁気構造

有珠山の高度980mと1460mの測量データに関するモデル解析結果を第3表にまとめた。ここで、モデル1

Table 3 Results of calculation on USU

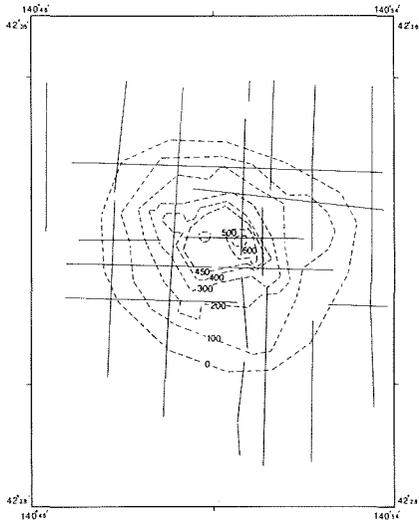
Model	Model description		Magnetization vector					
	Base & Top (m)	Flight level (m)	Decli (°)	Incli (°)	SDa <sup>@</sup> (°)	Intensity A/m	SDm <sup>@</sup> A/m	G-ratio
1	0 700	980	-1.9	60.9	2.2	8.6	0.3	2.50
2	do.	do.	present direction		1.6	8.8	0.2	2.46
3	Caldera 200 700 Main cone 0 450	do.	present direction		12.7 1.6	3.1 10.5	0.7 0.3	2.83
4	100 700	1460	present direction		2.5	8.7	0.4	2.70
5	0 700	do.	present direction		2.2	7.2	0.3	3.60
6	0 700	do.	-11.9	52.4	3.9	7.4	0.5	3.62
7	Caldera 200 700 Main cone 0 700	do.	present direction		20.4 2.9	3.2 8.3	1.1 0.4	3.77

Notes: @ Refer to Table 2 for explanation.

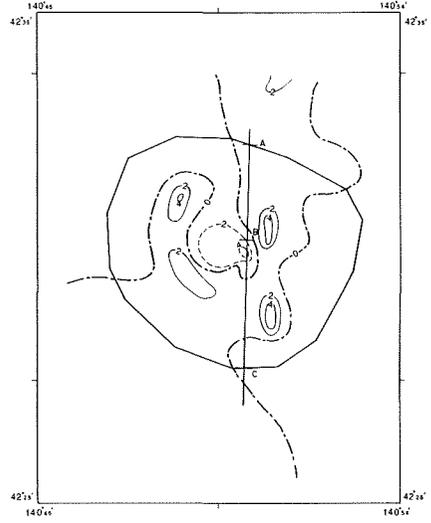
: Przsnt direction; decli = -8.5°, incli = 48.0°

～3は高度980mの、モデル4～モデル7は高度1460mに関する解析結果である。高度980mの測量データには山体上部の構造が、高度1460mの測量データには山体下部の構造がより強く反映されていると考えられる。

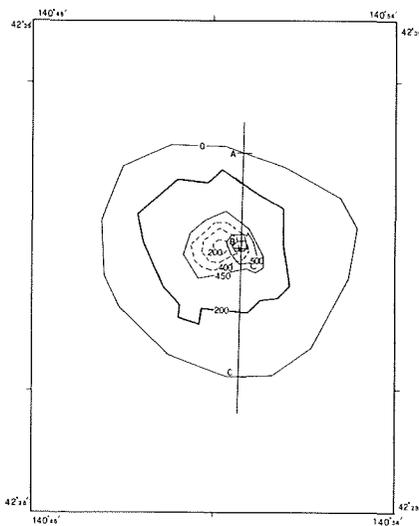
国土地理院発行の地形図（5万分の1，蛇田）では、有珠山の山体基底部は標高100m付近であるが、洞爺湖



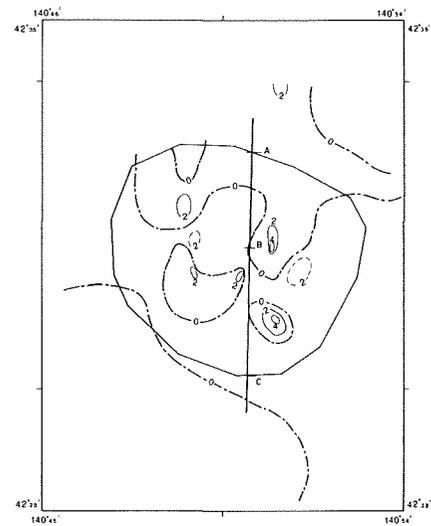
11a: Dotted lines are contour lines of topographic model, unit in meters above sea level. Track lines used in calculation are indicated by solid lines.



11b: Residual field calculated on topographic model(model 2 in table 3). Contour interval is 100 nT. Solid lines mean positive value and broken lines negative.



11c: Revised model, unit in meter above sea level. Dotted lines indicate the subsidence structure of caldera of explosion type.



11d: Residual field calculated on revised model(model 3 in table 3). Contour interval is 200 nT.

Figure 11 Geomagnetic model analysis on Mt. USU

では有珠山北側のすそ野が湖底下へのびていることや、測量高度1460mについての基底深度を変えて行った解析結果（第3表モデル4とモデル5のG値の比較）などから、山体の基底を標高0mとした。その場合のモデル地形及び測量高度980mについての測線分布を第11図Aに示す。

第3表の結果をみると均一帯磁モデルで得た帯磁方向は（モデル1，モデル6），現在の地球磁場方向と良い一致を示しG値も大きい。又，小有珠・大有珠等が低磁性の石英安山岩で構成されているにもかかわらず，それらの帯磁強度が7～8 A/mの大きい値を示すのは，小有珠・大有珠をのせる山体基部が塩基性岩体から構成されていることによると考えられる。

前章でも述べたように，有珠山は外輪山の活動後水蒸気爆発を起し，山体に大規模な崩壊があったと推定されている。このような現象と磁気構造の関連性を考察するためモデル2（測量高度980m）の残差分布図を作成した（第11図b）。この図から有珠山の中心部付近に200～300nTに及ぶ負の残差域が存在すること，及び，有珠山の外輪山斜面の所々に，400～500nTに達する局所的な正の残差域が存在することがわかった。前者はその広がり部分がカルデラ状の地形部分と一致することから爆発によって生じたカルデラ構造を反映し，後者はその局所的な性格から外輪山に貫入した塩基性岩体によるものと考えられる。なお，最近の有珠山の地上での地磁気測量結果からNishida et al.（1981）は，有珠山の外輪山熔岩の分布が現在の外輪山の地形とは不一致の分布を示すことを報告している。

第11図cに示すように，有珠山を外輪山で表わされる山体基部と，大有珠・小有珠を含むカルデラ埋積部の2つに区分した。この区分は前章で述べた有珠山の前期と後期の活動にそれぞれ対比できるものである。このような複合モデルによる解析結果が第3表モデル3及び7で，モデル3の場合の残差分布図を第11図dに示した。この図からわかるように残差は小さくなり，複合モデルはよく測量データを近似している。この結果から，カルデラ埋積部の帯磁強度は3～4 A/m，外輪山のそれは8～10 A/mと推定され，有珠山を構成する岩体が安山岩質と玄武岩質の2つに区分できる事実とも調和する。このようなことから有珠山の中心部には深さ約200mに及ぶカルデラ状の陥没地形が存在し，その部分をカルデラ形成後の酸性の火山噴出物が埋積していったものであろう。第12図には有珠山の磁気構造モデルの断面を示した。なお，Nishida et al.（1981）は，別の方法で有珠山の磁気構造を求めているが，今回の結果はそれと良く一致する。

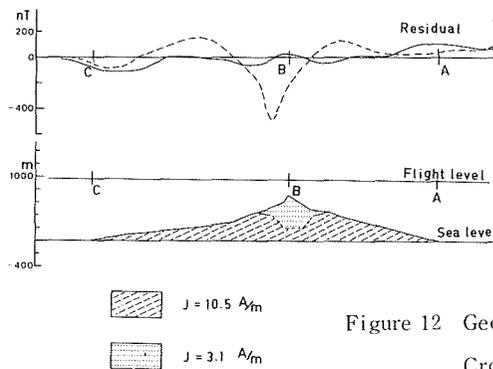
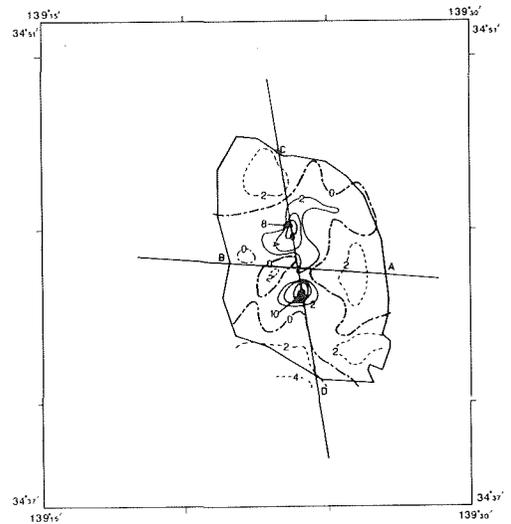
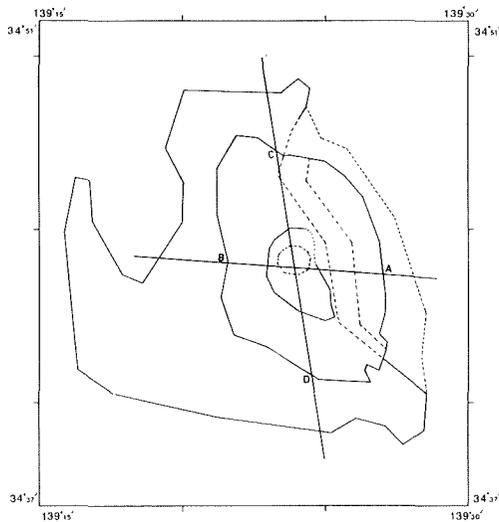
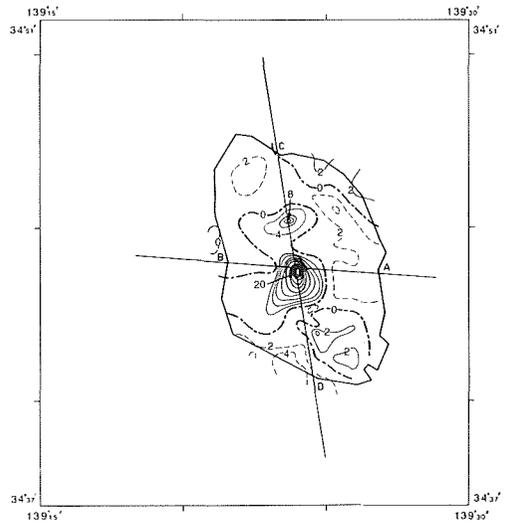
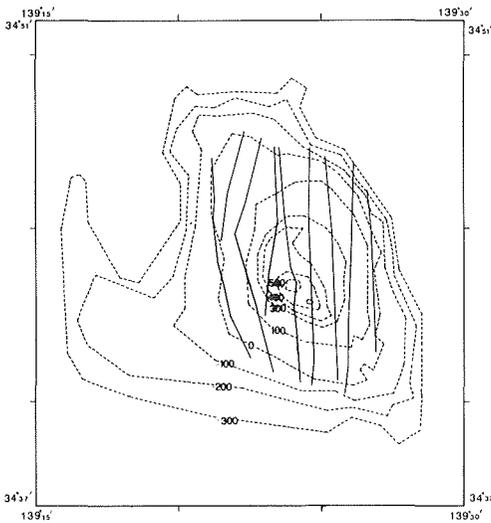


Figure 12 Geomagnetic structure of Mt. USU  
Cross-section A-C is illustrated in figure 11. Dotted line is residual on topographic model(model 1 in table 3) and solid line revised model (model 3 in table 3).

有珠山の例は、山頂部が低磁性構造をもつ一つの例とも考えられ山頂部付近に非磁性構造の存在が認められるものについて、その成因を考察する際に参考となる。

(3) 伊豆大島の磁気構造

伊豆大島については地質構造(久野, 1958)に加え重力や地磁気に関する測量も実施されており、その内部構造も他の火山と比べ詳細に検討されている。Kodama and Uyeda (1978)は、同島の高度約1,220mと1,820m(それぞれ4,000フィート, 6,000フィート)のプロトン磁力計による航空機測量成果を解析し、筆島玄武岩で代表される先大島火山の山体部分が、伊豆大島の東海岸から内陸部へかけ広く分布していることを推論している。ここでは、上記報告を参考にし比較的低高度(910m)の航空磁気測量成果から求めた伊豆大島の磁気構造を述べる。



第13図 a に、解析に用いた伊豆大島の地形モデルと測線分布を示す、又解析結果を一括して第4表に示した。均一帯磁モデルで求めた帯磁方向は(モデル1)、60度近く東偏する結果が得られているが、これは Kodama and Uyeda (1978) の結果を参考にすると、伊豆大島の基底を構成する先大島火山の帯磁強度が現在の大島火山のそれと比べ桁程小さく、その効果が表われたものと考えられる。第4表モデル2は伊豆大島が現在の地球磁場の方向に均一帯磁していると考えた場合の結果であるが、G値は2.01でモデル1とあまり大差ない。第13図 b にはこのときの残差分布図を示したが、この図からは次のようなことが認められる。

Table 4 Results of calculation on  $\bar{O}$ -SIMA

Model	Model description			Magnetization vector					
	Base & Top (m)		Flight level (m)	Decli (°)	Incli (°)	SDa (°)	Intensity A/m	SDm A/m	G-ratio
1	-300	600	910	61.5	72.3	4.6	8.8	0.7	2.12
2	-300	600	do.	present direction		4.2	9.3	0.7	2.01
O-sima	-300	600		29.6	58.6	3.7	9.2	0.6	3.18
3 Caldera	50	350	do.	-18.7	51.4	3.7	28.1	1.8	
Pre-O-sima	-500	0		-9.3	16.4	10.6	7.3	1.4	
O-sima						2.8	9.6	0.5	
4 Caldera	do.		do.	present direction		2.7	29.9	1.4	2.59
Pre-O-sima						25.3	2.5	1.1	

Notes: Refer to Table 2 for explanation.

: Present direction; decli =  $-5.6^\circ$ , incli =  $47.2^\circ$

① カルデラ付近に振巾2,000nTに達する正の残差が存在する。 ② カルデラの北側にも800nTの残差が分布する。 ③ 東海岸から内陸部にかけて200~400nTの負の残差域が広がっている。 ④ 南側海岸付近にも③と同じような負の残差域が分布する。

このうち②は前章で述べたように湯場付近の旧火道部分による異常と考えられ、又③は先大島火山の広がりを反映したものであろう。④については③の場合と同様の原因も考えられるが、周辺の地磁気異常図(大島他, 1981)を参照すると海側に広がった異常の一部と考えられる。①については、今回非常に顕著に表われたものでカルデラ床下に強磁性岩体の存在を予想させる。

伊豆大島のカルデラ構造に関してはカルデラ北縁部で行なわれた試錐結果の報告(一色他, 1963)及び、横山(1958)の総括的研究が参考となる。前者の報告ではカルデラ形成時のカルデラ底深度を、さく井地点(標高約500m)の地下110m~140mに存在する凝灰岩層の下底に求めている。又、同報告では岩石の残留磁化方向の深度依存性から、上記カルデラ底に深に強磁性岩体の存在も予想している。一方、横山(1958)は上記①の残差域とほぼ同じ区域に分布する+15mgalに及ぶ重力異常を説明するため、現在の三原山のやや北よりに直径3kmで、カルデラ床の地下300mから3,000mに及ぶ高密度の熔岩円柱の存在を推定している。

以上のことを考え合せると、①の原因は少なくともカルデラ床(標高350m)以深にあり、その水平面での広がりには重力異常から推定される領域とほぼ一致すると思われる。

残差分布図に関する以上のことを総括し、伊豆大島の磁気構造モデルとして第13図 c も考えた。東側に点線で示したのは先大島火山の分布域で、中央部の円形で示したのはカルデラ床下に予想される強磁性岩体である。それぞれの断面は、第14図 a, b に示してある。

カルデラ床下の強磁性岩体の深度をここでは150mから450mにまで広がった円柱状モデルで近似している。

下面深度は重力異常のモデルを考えればさらに深部へのびていると考えられるが、ここでは一応上記の深度に設定し、そのとき得られた帯磁強度の妥当性から逆に下面深度を推定することとした。

上記の複合モデルによる解析結果を第4表モデル4に、又そのときの残差分布図を第13図dに示す。この残差分布図をみると、今まで顕著であったカルデラ床付近の大きな残差域が、振巾・波長とも著しく減少しており、又、東側の負の残差域も、振巾は若干小さくなっていることがわかる。このような解析精度の向上は、G値にも表われており均一帯磁モデルの2.01（モデル2）から2.59（モデル4）へと大きくなっている。

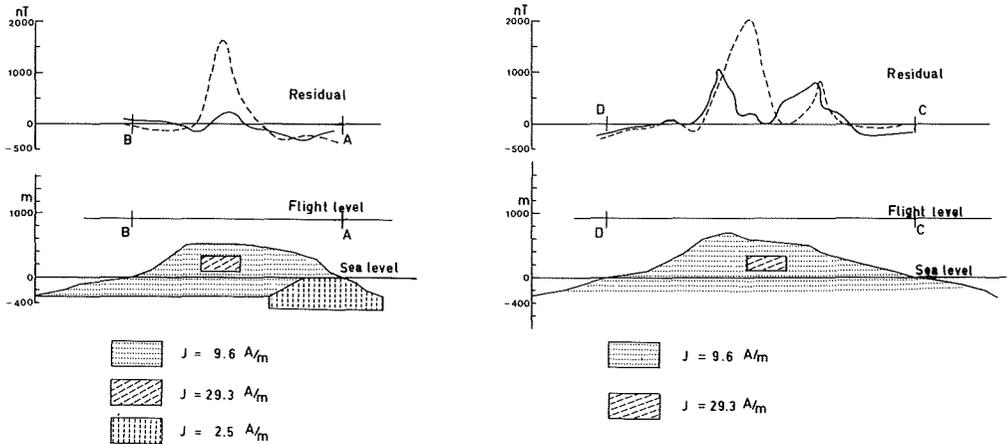


Figure 14(a, b) Geomagnetic structure of Ō-SIMA island

14a: Cross-section A-B and C-D are illustrated in figure 13. Dotted line is residual on topographic model(model 2 in table 4) and solid line on revised model(model 4 in table 4).

解析から得られた各部分の帯磁強度は大島火山が9.6A/m、先大島火山のそれが2.5A/mでどちらもさく井試料から求めた値と良く一致している。ただ、帯磁方向については先大島火山の計算値の誤差圏が25.3と大きな値(SD@ = 25.3°)を示すことから、この部分の帯磁方向は現在の向きと一致しないことも考えられる。試みにこの部分の帯磁方向を求めたが伏角が16度と現在の地球磁場より極端に小さい値が求まっている(第4表モデル3)。

カルデラ床下の磁性岩体に関しては約29.9A/mの値が得られた。その水平面の広がりに関しては、残差分布図や、構造断面図(第14図A, B)に示した残差曲線等から、ここで考えたものよりさらに南側に広がっている可能性もある。この部分の帯磁強度は大島火山のそれと比べ約3倍強の値を示している。この値は、円柱モデルの下面深度を深くすれば減少するであろうが、その場合でも帯磁強度はそれほど小さくならない。

大島火山は他の火山と比べ特に岩石中の鉄の含有量が多く、マグネタイト等の磁性鉱物を多量に含んでいることが知られている。又、この傾向はマグマの分化過程が進行するにつれより顕著になると言われている(久野, 1958)。このことを参考にすれば、カルデラ床下に存在が予想される磁性岩体の成因については、鉄分を多量に含有するマグマの残液がカルデラ床下で固化したか、あるいはカルデラ形成以前にもその部分で分化が

進行していった可能性がある。いづれにしろ、分化過程後期で生じたマグマの残液がなんらかの機構で山体内部に集積・凝固したのであろう。

#### (4) 三宅島の地磁気異常解析

解析に用いた三宅島のモデル地形は、水路部刊行の海図第6364号(20万分の1海底地形図, 三宅島南西方)

Table 5 Results of calculation on MIYAKE-ZIMA

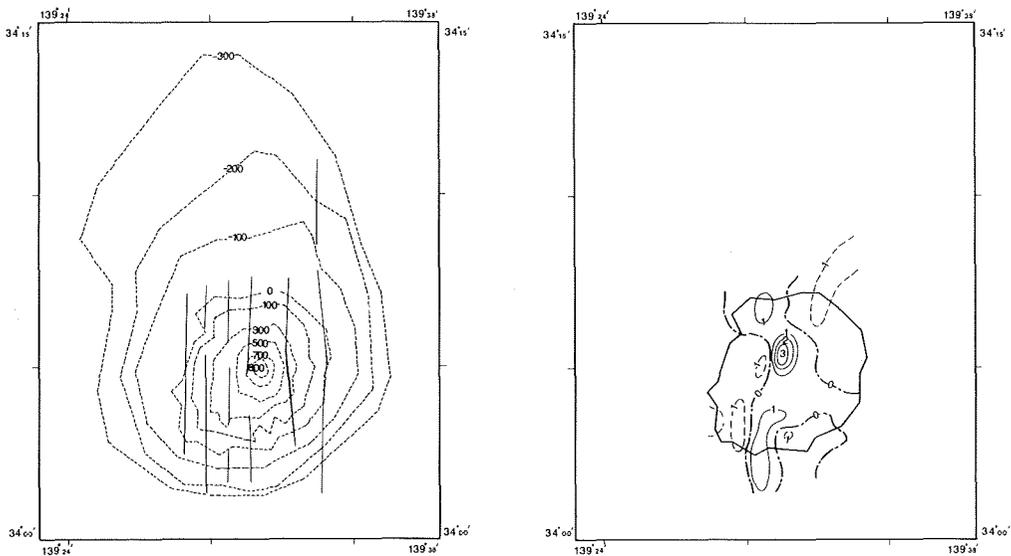
Model	Model description		Flight level (m)	Magnetization vector					
	Base & Top (m)			Decli (°)	Incli (°)	SDa <sup>@</sup> (°)	Intensity A/m	SDm <sup>@</sup> A/m	G-ratio
1	-300	800	1370	present direction		2.2	8.6	0.3	3.65
2	-300	800	do.	-7.2	52.4	2.3	8.5	0.3	3.66

Notes: @ Refer to Table 2 for explanation.

: Present direction; decli = -5.6°, incli = 46.3°

を参考にし、水深300mまでを多角形で近似した(第15図A)。又、このときの解析結果を第5表に示す。

この結果によると、三宅島の帯磁方向は現在の磁場方向と非常によく一致しており(第5表モデル2)、解析精度もG値が3.6と高い値を示す。このような結果は、Kodama and Uyeda (1979)によっても報告されており、三宅島の山体がほぼ均一に帯磁しているためと考えられる。ただこの場合でも、第15図bの残差分布図にみられるように、山頂部のやや北西よりに約300nTの正の残差が存在すること、山頂付近を通る南北の方向に正の、そしてその両側に負の残差の帯状分布が存在すること等が認められる。



15a: Dotted lines are contour lines of topographic model, unit in meter above sea level. Track lines used in calculation are indicated by solid lines.

15b: Residual field calculated on topographic model(model 1 in table 5). Contour interval is 100 nT. Solid lines mean positive value and dotted line negative.

Figure 15(a,b) Geomagnetic analysis on MIYAKE-ZIMA island

三宅島の地質図(地質調査所, 1960)を参考にし, 前者に相当するような構造を求めようとしたが, 地表付近は最近の熔岩流出でおおわれており, そのようなものは見いだせなかった. 伊豆大島の例を参考にすると, この原因は地表付近にまで貫入した火道状の岩脈によるものとも考えられる.

後者の負異常の帯状分布については, その形状から判断して三宅島の基底付近か, 山体以深に原因を求められる. その場合には, 山体深部の温度構造を反映したもの, あるいは南北方向の放射性岩脈によるもの等の考え方ができるが不明な点も多い.

三宅島でもカルデラ状の地形が認められることはすでに前章でも述べた. 今回, 伊豆大島との類似性から三宅島にもカルデラ付近に大規模な地磁気異常の存在を期待したが確認できなかった. 今回の場合, 山頂付近の資料が不十分なこともこの原因と考えられるので今後のより詳細な調査に期待したい.

(5) 富士山の地磁気異常解析結果

富士山は新第三系の隆起基盤の上に形成されたもので, その基底深度については不明な点が多い. そこで基底を標高500m, 100m, 0m, -100mの各々について解析を行った. その結果が第6表モデル1~4である. この結果, G値と基底深度との関係から富士山の基底は標高100mか, それよりもやや高いところに想定するのが妥当と考えられる. 本稿では, 一応基底を標高100mと仮定した.

第16図aには解析に用いたモデル地形と測線分布を示す. なおこの図からもわかるように測量区域には愛鷹山が含まれているのでその分のモデル地形も作成し, 解析の際は両者の複合モデルを用いて行った.

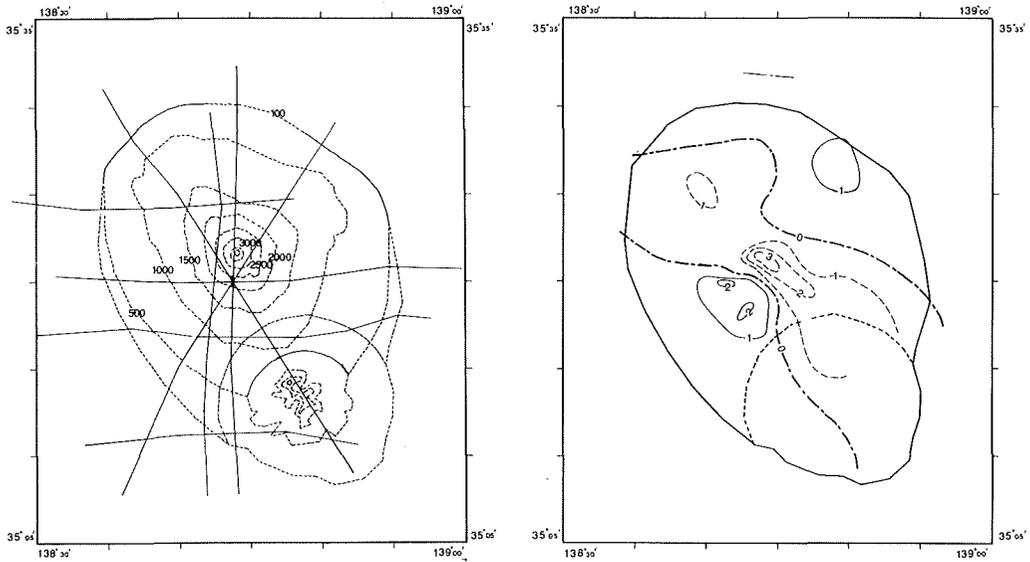
Table 6 Results of calculation on HUZI and ASITAKA

Model	Model description			Magnetization vector						
	Base (m)	Top (m)	Flight level (m)	Decli (°)	Incli (°)	SDa (°)	Intensity A/m	SDm A/m	G-ratio	
1 Huzi	500	3700	5690	18.0	31.7	2.9	8.3	0.4	2.30	
Asitaka	100	1500		51.7	-21.1	23.6	4.9	2.0		
2 Huzi	100	3700	do.	13.7	34.2	3.0	7.3	0.4	2.38	
Asitaka	100	1500		16.9	-16.5	16.6	7.3	2.1		
3 Huzi	0	3700	do.	12.6	34.8	3.0	7.2	0.4	2.33	
Asitaka	100	1500		12.0	-26.9	17.9	6.8	2.2		
4 Huzi	-100	3700	do.	11.6	35.2	3.1	7.0	0.4	2.29	
Asitaka	100	1500		7.4	-28.1	17.1	7.3	2.2		
5 Huzi	100	3700	do.	present direction		2.4	6.5	0.3	1.97	
Asitaka	100	1500				112.9	0.8	1.7		

Notes: Refer to Table 2 for explanation.

: Present direction; decli = -6.1°, incli = 48.0°

モデル2(第6表)から, 得られた富士山の帯磁強度は7.3A/mで玄武岩質の岩体で構成されていることと調和的である. 一方, 帯磁方向に関しては伏角が現在の地球磁場のそれと比べ10度近く浅い結果となった. 愛鷹山については, 帯磁方向・強度とも推定値の誤差圏が大きく(SD<sub>a</sub>=16.6度, SD<sub>m</sub>=2.1A/m)計算結果の信頼度は低い. 他の場合と同様, 富士山についても帯磁方向を現在の地球磁場方向に固定した場合の残差分布図を作成した(第16図(b)). この図からは富士山山頂を通る北西-南東の中広い範囲に-100nTに及ぶ残差が分布していることがわかる. この分布方向は富士山の側火口の配列方向と一致しており, 山体内部の高温域を表現している可能性もある. 御坂層群や足柄層群の基盤の隆起構造が残差分布にどのように反映しているかは興味ある問題であるが, 今回の結果をみる限り顕著な影響は見い出せなかった. しかし山頂部の南西には, 200



16a: Dotted lines are contour lines of topographic model, unit in meter above sea level. Track lines used in calculation are indicated by solid lines.

16b: Residual field calculated on topographic model (model 5 in table 6). Contour interval is 100 nT. Solid lines mean positive value and dotted line negative.

Figure 16 Geomagnetic analysis on Mt. HUZU

nTに及ぶ正の残差域があり、残差の南北断面から富士山北側に帯磁強度の比較的小さい岩体の存在が推定され、小御岳や古富士の影響を反映したものと思われる。

#### 4. まとめ

##### (1) 火山体内部の磁気構造と火山の発達史

火山の形成過程をみると、火山の発達段階に対応して、噴出する熔岩の組成や、噴火様式が異なってくる。又、火山の形成は、決して単調な同一のパターンのくり返りで成長していくのではなく、途中にカルデラを形成する大規模な陥没や、山体を崩壊させた水蒸気爆発などの大きな地変を伴うものである。このような火山の形成過程で生じたさまざまな地学現象は、当然火山の磁気構造にも反映していると考えなければならない。

又、火山の磁気構造はそれぞれの火山の位置する“場”の地学的諸条件にも制約される。マグマと熱エネルギーが多量に供給される所では、山体内部は高温のため磁性を失うであろうし、又、火山に横方向からの圧縮力が大きく作用する所では、山体にはその方向にそって放射状岩脈が存在すると予想される。

今回の解析結果から得た火山体内部の磁気構造にも、以上に述べた多様な地学現象の直接・間接の影響を読みとることができる。これまで、火山の磁気構造を均一帯磁モデルで説明した例が多いが、今回の研究はより小規模な地磁気異常分布をも含めて解析し、火山の磁気構造を火山の形成史全体との関連でとらえることが必要であることを強く示唆するものである。

以下に本論で求めた各火山の磁気構造と火山の形成史その他の地学的条件との関連について概略を記す。

(i) 山体の基底以深に存在する基盤状の磁性岩体、山体形成前の火山活動により形成されたと考えられるもの(桜島の例)。

(g) カルデラ状の構造が磁気構造に反映し、磁性の弱い領域がカルデラ内に分布しているもの、カルデラ形成を機に磁性の強い塩基性の熔岩からより磁性の弱い酸性岩へと熔岩の性質が変化したと考えられるもの（有珠山の例）。

(h) 現在の山体内部に古火山の存在を示唆する磁気構造が推定できるもの（伊豆大島の例）。

(i) カルデラ床下に存在が予想される柱状の強磁性岩体で同時に高重力異常を伴う。山体全体に比較し、磁性が強く見て高密度の熔岩が、マグマの分化過程で形成され、それらがカルデラ床下に柱状に集積・凝固したもの（伊豆大島の例）。

(j) 側火山・側火口の配列と良い一致を示して分布する磁性岩体、山体内部の放射状岩脈の存在を反映していると推定される（伊豆大島・富士山の例）。

(k) 山体内部が高温のため磁性を失っていると考えられるもの（桜島の例）。

(l) 山体各部に見られる小規模な柱状磁性岩体、山体の地表付近に貫入した岩脈ないし、旧火道部分と推定されるもの（伊豆大島・三宅島の一部）。

(2) 帯磁強度と構成岩体の化学組成との関係

今回の解析結果から求めた各火山体の平均的帯磁強度とその化学組成との関連を調べた。第17図は  $\text{SiO}_2$  の重量比を横軸に、帯磁強度 (A/m) を縦軸にとって表わしたものである。なお、新島・神津島の帯磁強度に関しては Kodama and Uyeda (1978) の結果を引用している。

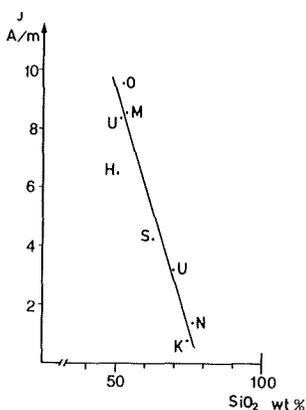


Figure 17 Relation between magnetization intensities and weight percent of  $\text{SiO}_2$

S, SAKURA-ZIMA ; U, Mt. USU ; O,  $\bar{O}$ -SIMA ; M, MIYAKE-ZIMA ; H, Mt. HUZU ; N, NII-ZIMA ; K,  $\bar{K}$ OZU-SIMA.

Magnetization intensities of NII-ZIMA and KOZU-SIMA are referred to Kodama, K. and Uyeda, S. (1979). The  $\text{SiO}_2$  weight percent of Mt. USU are reported by Oba, Y. (1966), and the others were listed in "Catalogue of the active volcanoes of the world, part XI (1962).

この図から、両者の間には一応の相関が認められることがわかる。ただし、伊豆大島や富士山のように $S_2O_2$ 比がほぼ同じであっても、帯磁強度にかなりの差が認められる場合もある。富士山に関しては前章で述べたように、その内部に弱帯磁の部分が推定されており、均一帯磁モデルの解析結果にその影響が表われたとも考えられる。

火山の平均的帯磁強度と組成の関係は火山体内部の物理的・化学的状態を推定する際の重要な手がかりであり、他の火山についてもこの種の資料を集積していきたいと考えている。

### (3) 磁気構造から推定される火山体の温度構造

今回、解析を行った火山のなかには測量時にも小噴火をくりかえしていた伊豆大島や、又活発な噴気活動を行っていた三宅島等の活火山が含まれており、それに伴う顕著な高温域の存在が予想された。しかし、実際の地磁気異常にはそれらしいものははっきりとは現われておらず、又高温域の存在が推定される桜島でもその広がりとはそれほど大きなものではなかった。以上のことは火山体内部の高温域が火道付近のごく狭い範囲に限られることを示している。例えば、伊豆大島では三原山の北側のカルデラ床下300mの深さまで地熱測定が行われているが、最高温度はせいぜい $80^{\circ}C$ たらずで、場合によっては深くなるにつれて逆に温度が低下するようなことも見いだされている。このように高温域が狭い範囲に限られるということは、定性的には、火山体内部からの熱放出は、主に物質（水蒸気・ガス・温泉水等）の移動による熱輸送によるため、熱輸送が行われている部分が局所的に高温となっていると考えられる。

陸上の火山の内部温度構造を考察するうえでもう一つ重要なことは、それらの多くが天然の地下水貯溜池であるという事実であろう。火山体を構成する熔岩や火山砕屑物は多孔質のものが多く、しばしば地下水の有効な帯水層の役目をする。このような地下水が火道付近の高温域を、ちょうど水冷式のラジエーターのような仕組みで冷却するようになっていけば、火山体内部の温度がそれ程高温にならないことも納得がいく。最近江原他(1977)は西之島新島が噴火後急速に冷却した原因として、供給される熱量の低下とともに、火山体内部に浸透した海水が冷却過程で重要な役割を果たしていることを述べており、陸上の火山の場合地下水が海水と同じような役割を果たしていることも十分考えられる。

本稿のおわりにあたり、富士山の航空磁気測量の実施に際し、多大の協力と御支援を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お礼申し上げます。又、本稿を読んでいただき有益な助言をいただいた佐藤任弘測量課長に深く感謝いたします。歌代慎吉博士（現、東京理科大教授）には測量当時の状況等につき貴重な情報を提供していただいた。又、東京大学地震研究所 行武 毅教授には、伊豆大島でのさく井試料の磁性測定結果につき親切な御教示をいただいた、改めてここに厚くお礼申し上げます。

### 参 考 文 献

- 荒牧重雄 1979: 始良カルデラと桜島火山(付録I), 横山 泉・荒牧重雄・中村一明編, 火山, 岩波講座地球科学第7巻, 岩波書店, 東京, 265-268ページ.
- 江原幸雄・湯原浩三・小坂丈子 1977: 西之島新島の急速な冷却(その2)-観測結果の解釈, 火山(第2集), 22, 122-132ページ.
- Emilia, D., Massey, R.L. 1974: Magnetization estimation for nonuniformly magnetized seamounts, *Geophysics*, 39, 223-231.

- Francheteau, J., Harrison, C.G.A. 1970: Magnetization of Pacific seamounts; a preliminary polar curve for the north eastern pacific, *J. Geophys.*, 75PP, 2035-2061.
- 福山博之 1978: 桜島火山の地質, 地質学雑誌, 84, 309-316ページ.
- Harrison, C.G.A. 1971: A seamount with a nonmagnetic top, *Geophysics*, 36, PP, 349-357.
- 一色直記 1960: 三宅島, 5万分の1地質図付属説明書, 地質調査所, 1-82ページ.
- 一色直記・中村一明・早川正己・平沢清・行武毅・荒井綏・岩崎文嗣, 1963: 試錐結果から見た伊豆大島火山のカルデラの構造, 火山(第2集), 8, 61-108ページ.
- 勝井義雄 1979: 有珠山(付録IV), 横山泉・荒牧重雄・中村一明編, 火山, 岩波地球科学第7巻, 岩波書店, 東京, 278-282ページ.
- Kodama, K., Uyeda, S. 1978: Magnetization of Izu Island with special referece to Oshima volcano, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 6, PP, 353-373.
- 国土地理院 1978: 1:50,000 地形図 虻田.
- 久野久 1957: 伊豆大島における人類遺跡と火山活動史, 火山(第2集), 8, 59-62ページ.
- 久野久 1958: 大島火山の地質と岩石, 火山(第2集), 3, 1-16ページ.
- Kuno, H. 1960: High-alumina basalt, *J. Petro.*, 1, PP121-145.
- 松崎卓一・歌代慎吉 1966 a: 洞爺湖周辺の地磁気異常について, 水路部研究報告, 1, 17-22ページ.
- 松崎卓一・歌代慎吉 1966 b: 鹿児島湾周辺の地磁気異常について, 水路部研究報告, 1, 23-26ページ.
- 三品正明 1971: 秋田駒ヶ岳の地磁気および重力, 火山(第2集), 16, 98-102ページ
- 中村一明 1978: 火山の話, 岩波書店, 東京
- Nishida, Y., Miyajima, E., Maekawa, T. 1981: Abstracts of IAVCEI symposium Arc Volcanism, 1981, Tokyo and Hakone, PP262-263.
- 西田泰典 1982: 洞爺カルデラ湖上における磁気測量, 第71回日本地球電磁気学会講演.
- Oba, Y. 1966: Geology and petrology of the USU volcano, Hokkaido, Japan, *J. Fac. SC. Hokkaido Univ., Ser. 4*, 13, 185-236.
- 大島章一・登崎隆志・小野寺健英 1980: 西南日本周辺海域の地磁気異常, 水路部研究報告, 15, 33-54ページ
- 大島章一・登崎隆志・小野寺健英・兼子俊朗・植田義夫 1981: 北陸地方, 中部地方及び関東地方周辺海域の地磁気異常, 水路部研究報告, 16, 25-45ページ.
- 大島章一・兼子俊朗・小野寺健英・中川久穂・登崎隆志・三品正明・小坂丈了 1982: 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, 289-315ページ.
- Rikitake, T., Hagiwara, Y. 1965: Magnetic anomaly over a magnetized circular cone, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 43, PP509-527.
- Talwani, M. 1965: Computation with the help of a digital computer of magnetic anomaly caused by bodies of arbitrary shape, *Geophysics*, 30, PP797-817.
- Tanaka, H. 1980: Paleo intensities of the geomagnetic field determined from recent four lava flower of Sakurajima volcano, West Japan, *J. Geomag. Geoelect.* 32, PP171-179.
- 地質調査所 1960: 1:50,000 三宅島地質図.
- 地質調査所 1982: 1:500,000 活構造図 東京第8号.
- Tsuya, H. 1968: Geology of volcano Mt. Fuji, Explanatory text of the geologic map 1:50,000,

## Geological survey of Japan.

- 植田義夫 1976 : 地球磁場の経緯度 3 次多項式による近似方法の研究, 測地学会誌, 22, 94-111ページ.
- 植田義夫 1982 : 第一鹿島海山と香取海山の地磁気異常解析, 水路部研究報告, 17, 13-30ページ.
- Utashiro, S., Takigawa, U., Oshima, S., Kondo, T. 1972 : Aeromagnetic and marine magnetic survey around Japan, *Commemoration publication of the centenary of the Hydrographic Department of Japan*, Tokyo, 75-111.
- Vacquier, V. 1963 : A machine method for computing the magnitude and direction of magnetization of a uniformly magnetized body from its shape and a magnetic survey, *Proc. Benedum Earth magnetism Symposium*, 1962, Univ. Pittsburgh press, PP123-137.
- Vacquier, V., Uyeda, S. 1967 : Paleomagnetism of nine seamounts in the Western Pacific and of three volcanoes in Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 45, PP 815-848.
- 横山 泉 1958 : 大島の地球物理学的研究の総括, 火山 (第 2 集), 3, 39-69ページ.
- 横山 泉 1969 : カルデラの構造に関する考察, 火山 (第 2 集), 14, 77-83ページ.