

口永良部島火山における空中磁気測量

京都大学大学院理学研究科 宇津木 充・田中 良和

京都大学防災研究所 神田 径

九州大学大学院理学研究科 松島 健

1. はじめに

我々は、口永良部島火山の集中総合観測の一観測項目として、2001年1月31日にヘリボーンによる空中磁気測量を行った。本報告書では、今回の空中磁気測量から得られた磁気異常分布を示すと共に、インバージョンにより求められた口永良部島火山の磁気構造解析の結果について報告する。

口永良部島は、屋久島の西 14km に位置する火山島で、記録に残されているもっとも古い噴火は 1841 年とされる。以後、数年から数十年の間隔で新岳山頂火口及びその東側の割れ目において水蒸気爆発が発生している。近年では、1933 年に始まる噴火活動で新岳南東部の七釜集落が被災し、死傷者 30 名以上を出している。また、最も新しい活動では 1980 年 9 月に新岳火口東側の割れ目において水蒸気爆発が発生した。この活動以降現在まで噴火は起こっていないが、火山性地震の活発化等が観測されており、依然注意を要する火山である。こうしたことから、京都大学桜島火山活動研究センターなどにより地震観測点、GPS 繰り返し観測点、地磁気観測点が設置され、火山活動の監視が行われている。本研究は、地磁気の時間変化を議論する際に不可欠な、火山活動の静穏な時期における磁気構造を把握することを目的としている。

2. 空中磁気測量

地上における地磁気測量では、詳細な磁気分布が得られるが、地表付近の局所的な磁気異常により空間的エイリアシングが生じやすく、よほど稠密な測量を実施しない限り全体像は把握できない。これに対し、航空機等を利用した磁気測量では、地表付近の局所的な磁気異常源から離れた場所で観測するので、比較的大きな構造により作られる磁場分布を、より正確に測定することができる。しかし、飛行機を使用した磁気測量の場合、広域を短時間にカバーできる反面、飛行の安定性を確保するためにある程度の高度(1000~2000m)を高速で飛行しなければならず、火口近傍の構造をターゲットにした場合には必ずしも適当ではない。そこで、我々はへ

リコプターによる高密度かつ低高度での磁気測量を口永良部島火山において行った。火山活動に伴う磁場観測を行う上で基礎となる静穏期における磁場環境、および山体の磁化構造に関する情報を得ることを目的にしている。一般に、噴火活動が活発化した場合、観測点の保守・新設等のために山体にアプローチする事は(特に離島の場合)非常に困難になる。しかし、(無人の)ヘリコプターなどを使って繰り返し空中磁気測定を行うことが可能になれば、人間が近づき難い状況になっても継続して磁場観測によるモニタリングが可能となるであろう。今回の口永良部島火山での空中磁気測量では、将来における繰り返し磁気測量の為の基礎資料を得るという事も念頭においた。

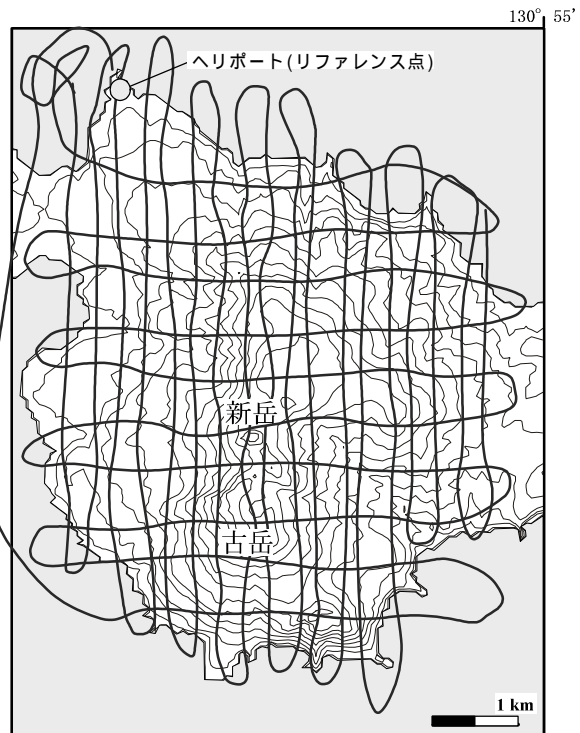


図 1. 飛行経路

3. 観測の概要

磁気測量は、口永良部火山を含む東西 5km, 南北 7km の領域で、南北 19 本(約 250m 間隔)、東西 10 本(約 500m 間隔)の計 29 本の測線について高密度の磁場測量を行った(図 1)。総飛行距離はおよそ 110km, フライト時間は約 2 時間であった。フライトの際の対地高度は、南北測線が地形に沿って対地 200m であったのに対し、東西測線は海拔 500m の等高度を目安とした。

測定に際しては、ヘリの機体磁気の影響を避けるため、バードをヘリから 20m 吊り下げて測定を行った。使用したバードの

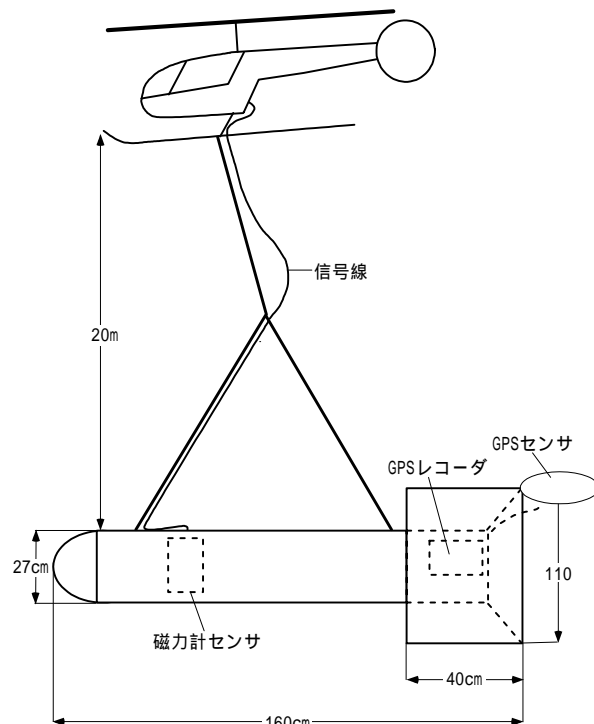


図 2. バード概略図

概要を図 2 に示す。バード本体は径 40cm、長さ 160cm の塩化ビニール製で、後部に径 80cm の円筒形の尾翼をつけている。また、飛行時の安定性のために鉛の錘(重量約 40kg)を乗せている。バード内に磁力計(Gem Systems 社製オーバーハウザー磁力計、測定精度 0.1nT、測定サンプリング 0.5 秒)及び位置決定のための GPS 受信機(Ashtech 社製 Z-Survey、測定サンプリング 1 秒)を搭載した。地球外部起因の磁場変化を除去する目的で、島の北西部のヘリポート付近にリファレンスとなる磁場観測点を設け、測量から得られた磁場値との単純差をとることで短期変動の除去を行った。バードの航跡は、ヘリポート付近に設置した GPS 基地局を用いて、バードに搭載した GPS のシングルモードによる位置に、ディファレンシャルモード補正を行って求めた。

4. 地形補正

フライトから得られた磁場値は、基準面より上の地形の持つ磁化の影響を大きく受けているはずである。この影響を除くため、Bhattacharyya (1964)¹⁾のプリズム状の帯磁物体の作る磁場の計算式を用いて地形補正を行った。すなわち、Okuma et al. (1994)²⁾等の手法と同様、地形を図 3 のように一定深度までの角柱に分割し、すべての角柱が各観測点に作る磁場の総和を求め、それを観測結果から差し引くことで地形の影響を除いた。今回の解析では、この角柱のディメンジョンを、NS=10m、EW=10m、角柱の下面の深さを(海拔から) 5km とした。標高データは、地上について

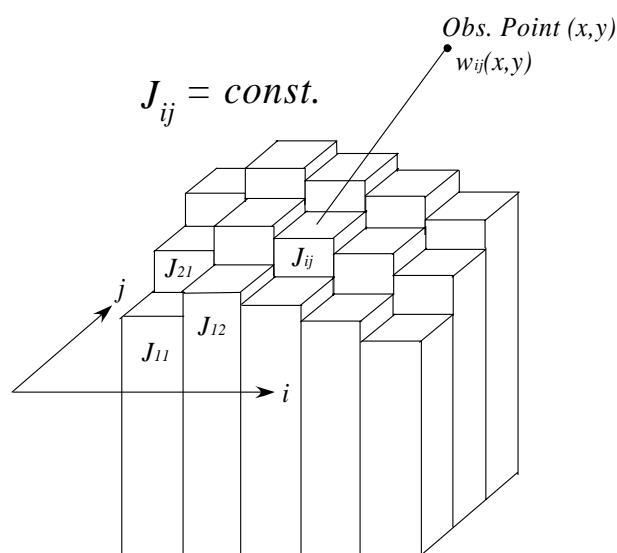


図 3. 地形補正の概念図。地形は各角柱に分解されすべての角柱が観測点に作る磁場の和を測定点ごとに求める。また、各角柱の磁化 J_{ij} はすべての角柱で等しいと仮定。

は国土地理院の 50m メッシュ数値地図、海水面下については水路部の海底地形図を用い、それぞれ 2 次のスプライン補完で 10m ごとの標高データを計算して用いた。また、地殻磁化は一様であると仮定し、その強さは、測定から得られた磁気異常図と地形補正量との相関が最大となるように選んだ。こうして得られる磁化率は、一般に測定領域の平均的な磁化の強さを表すと考えられるが、今回の測量の結果、地殻一様磁化として 2.1A/m が得られた。口永良部島火山は安山岩主体の火山であり、この値は平均磁化としては調和的な値であると考えられる。

測定から得られた磁気異常と、地形補正後の磁気異常図(海拔 700m に上方接続したもの)を

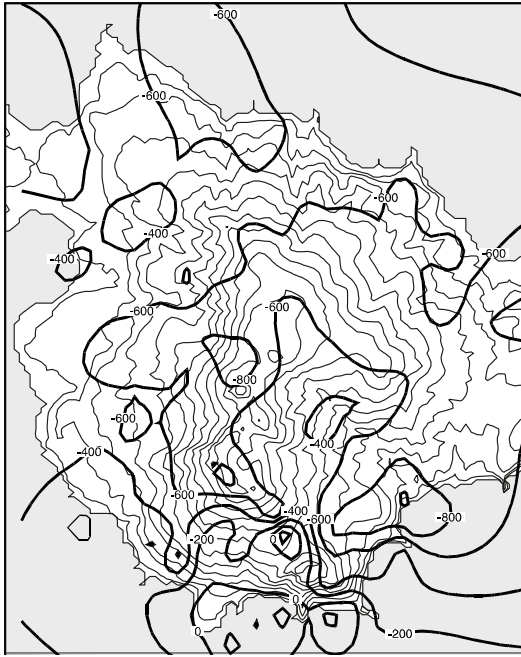


図 4. 磁気測量から得られた磁気異常。海拔 700m に上方接続したもの。

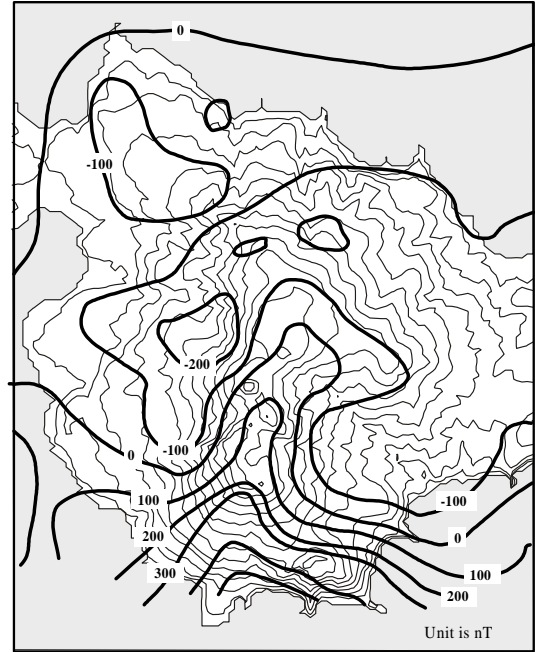


図 5. 地形補正後の磁気異常分布

それぞれ図 4, 5 に示す。地形補正を施した後にもなお、古岳南側の正異常と、山体北側を取り囲むように分布する負の異常域が見られる。また、ノーダルライン(磁気異常の極性が変わる境界線)が山頂付近で北側に入り込んでいるのが見られる。

5. インバージョンによる磁化構造解析

図 5 で示した磁気異常は、地殻が一様磁化しているという地形補正時に行った仮定からのずれを表すものであり、この結果を元にインバージョンにより地殻磁化の分布を求めた。インバージョンに際しては、地形補正の時と同様、地殻をブロックに分割し、各々のブロックの磁化を求めることを行った。この際、1 つのブロックのディメンジョンは NS=150m, EW=250m, ブロック下面の深さは 5km とした。また、各々のブロック上端面は、単なる水平面ではなく、地形に応じた凹凸を与えている(図 6)。これは、一般に

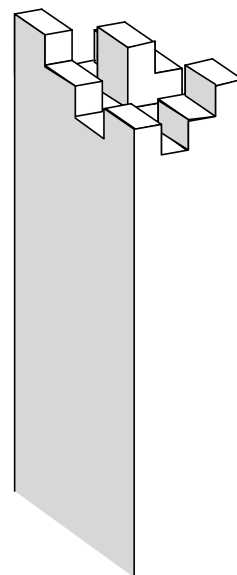


図 6. ブロックの概略図。各ブロックの上端面には、地形に応じた凹凸を与えている。

水平な上端面を持つ角柱の場合、磁気異常が角柱端点付近に集中してしまい、解の収束性に悪影響を及ぼすことを回避するためである。また、各ブロックの磁化方向は一樣 (dip=45 deg., declination = N8W deg.) であると仮定し、磁化の強度のみを未知変数とした。

インバージョンの考え方は以下のとおりである。 i 個目のブロックの磁化を J_i 、このブロックの単位磁化が観測点 j につくる磁場を W_{ji} とすると、磁場観測値は

$$F_j = \sum_{i=1}^m W_{ji} J_i \quad (j=1,2,\dots,n)$$

で与えられる。ここで、 $n=m$ の場合 W_{ji} は正方行列になり、この方程式系の解は一意に求まるので、測定から得られた約 7000 点のデータをリサンプリングして、未知変数の数(地殻を分割するブロックの数)と同じデータ点に調整した。その上で、Nakatuka (1995)³⁾の方法に従って方程式を解き、磁化分布を求めた。

インバージョンにより推定された磁化分布を図 7 に示す。山体の磁化分布として、山頂で磁化

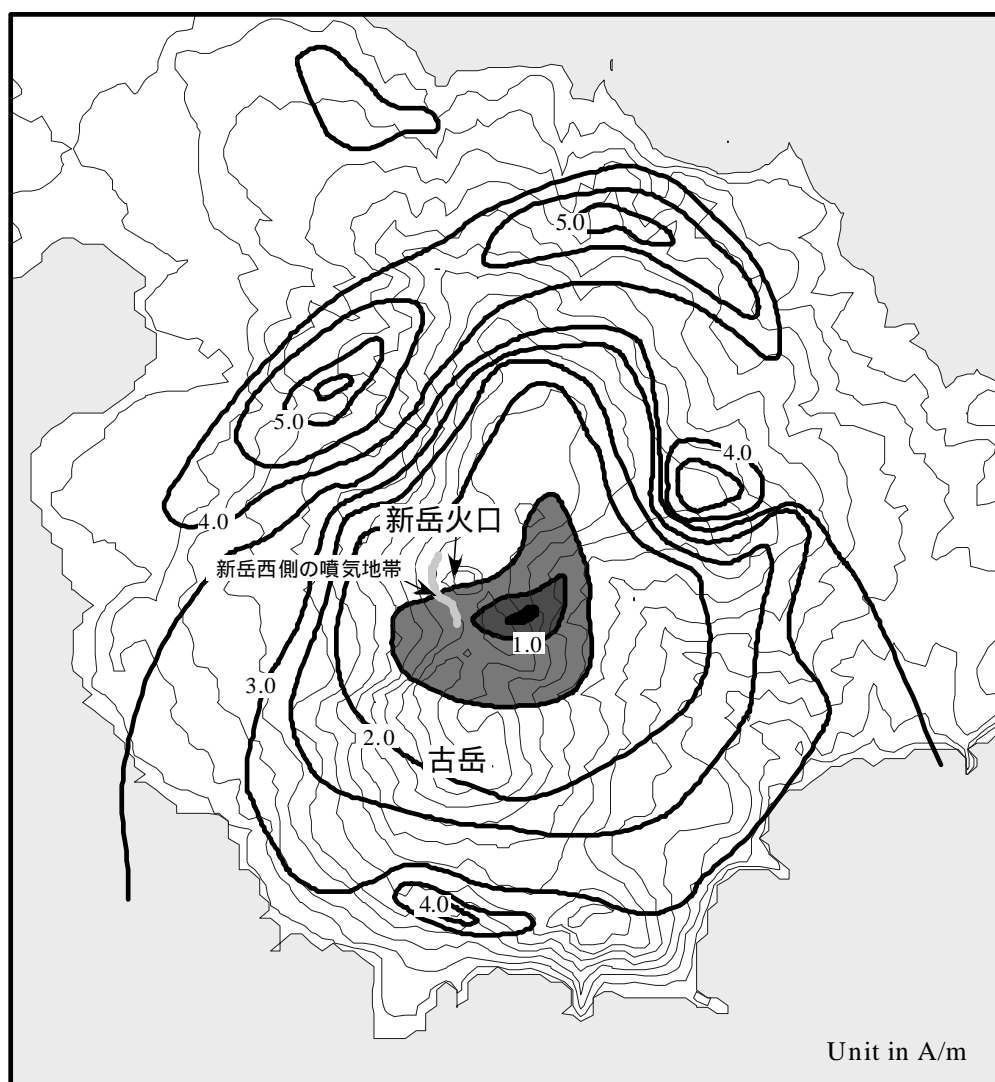


図 7. インバージョンにより求められた磁化分布

が弱く、麓に向かって磁化が強くなる傾向が見られる。特に、山頂の新岳火口南東側で磁化が弱くなっている。口永良部島火山では、山頂部に変質した岩石が観察されるので、磁化分布の傾向は、表層付近の変質した岩石の分布を反映しているとも考えられる。また、火山岩の磁化強度は地温の上昇とともに弱くなるので、表層地質の影響に加えて、山体下の温度分布を反映している可能性もある。現在、噴気等の顕著な表面現象が見られるのは新岳の西側付近で、地震の震源分布も新岳西側に偏っており、今回得られた弱磁化域と位置的には一致しない。しかし、2000年度に口永良部島で行われた地殻変動観測の結果では、山体全体が膨張するセンスの地殻変動が観測されており、その力源の水平位置は新岳南東部の磁化の弱い領域に一致している。また、深さもごく浅い(300~500m)位置に求められていることから、新岳南東の弱磁化域は、熱源の存在を示唆するものと考えられる。

一方、山体北側斜面には最も磁化の強い領域が存在するが、表層地質からはこの領域に溶岩流など磁化の強い構造は見られない。水蒸気爆発を繰り返してきた口永良部島では、地下浅部に水が豊富に存在すると考えられるので、山体中央部の熱源に励起された熱水対流系の北限が、山体北側の高磁化域付近に対応している可能性がある。

6. まとめ

今回の口永良部島火山の空中磁気測量と、磁化構造解析から得られた結果をまとめると、以下の通りである。

- 1) 山体の麓から山頂に向かい磁化が弱くなる傾向が見られる。これは、山体下の温度分布を反映している可能性がある。
- 2) 山頂・新岳南東側で、特に磁化の弱い領域が見られ、この付近の地下に熱源が存在する可能性が高い。
- 3) 山体の北側に比較的磁化の強い領域が見られる。この領域が、熱水活動の作用限界を表している可能性がある。

今回の磁気測量・構造解析からは、以上のようないくつかの重要な示唆を与える情報が得られた。磁気解析のみでは限界があり、より定量的に解釈するためには、電磁気学的構造探査や自然電位測定といった手法を併用し、解釈する必要がある。また、磁気構造解析と地殻変動等の情報とを有機的に結びつけるためには、より詳細な構造を推定する必要があるが、今回得られた磁気異常の振幅は比較的小さく、このため深さ方向の磁化分布のバリエーションを求める事ができなかった。今後、こうした磁気異常の小さい(=磁化構造のコントラストが比較的弱い)火山に対し、最も効率のよいフライト経路のとり方、効果的な磁場解析手法などについて検討・開発する必要がある。

謝 辞

鹿児島県消防防災課ならびに防災航空隊の全面的な協力の下に, 消防・防災ヘリコプター「さつま」(ベル式 412EP 型, 定員 17 名, 全長 17.1メートル)を使用させていただきました。また, 観測の機会を作り, 全面的に協力をいただいた桜島火山活動研究センターの方々に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Bhattacharyya, B. K. (1964): Magnetic anomalies due to prism-shaped bodies with arbitrary polarization, *Geophysics*, Vol.29, pp.517-531.
- 2) Okuma, S., Makino, M., and Nakatsuka, T. (1994): Magnetization intensity mapping in and around Izu-Oshima volcano, Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, Vol.46, pp.541-556.
- 3) Nakatsuka, T. (1995): Minimum norm inversion of magnetic anomalies with application to aeromagnetic data in the Tanna area, central Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, Vol.47, pp.295-311.

(Received on March 27, 2002)