

伊豆大島二子山における孔内磁場計測

東京大学地震研究所 浜野洋三・大野正夫・下村高史

Borehole measurements of geomagnetic field at Futago-yama, Izu-Oshima

Yozo Hamano, Masao Ono, and Takafumi Shimomura
Earthquake Research Institute, University of Tokyo

1. はじめに

地震や火山噴火に関連した磁場変動の観測が行われている。これは応力や熱による地殻の磁化の変化を知ることが目的としている。従って、地殻起源の磁場の影響が大きいところ、つまりいわゆる磁気異常が大きいところで観測を行うことが精度をあげるために必要である。磁場変動により地殻応力の変化を求めることは、比較的広い範囲の地殻の平均的な応力変化を知ることが出来る点で有効であるが、一般には磁気異常の原因となる場所を特定することが困難なので、変化を起こしている場所や変化のメカニズムを明らかにすることは難しい。通常の磁場測定では磁力計としてプロトン磁力計が用いられ、磁場の全磁力が測定される。プロトン磁力計は温度や時間的安定度が優れているので、長期変動の観測には適している。しかし、全磁力だけしか測定できないことは、磁場変動の原因を求めるのには不利である。磁場3成分の測定には通常フラックスゲート型磁力計が用いられる。この磁力計は温度による変動があり、長い周期の変動の測定には向いていないと考えられている。しかし、測定装置を地面に埋めることにより温度変化を小さくすれば数nT程度の長期変動を観測することも可能である。

一方、地殻の応力を測定するという面から考えると、通常の地殻変動の測定は地殻の歪や傾斜を測定するものが主であって、直接的に応力を測定する方法は少ない。ハイドロリックフラクチャリングや残留応力の測定はある時点での応力を測定するが、連続的な応力変化をモニターする目的には適当でない。このことから考えて、地殻起源の磁場変動の測定は、地殻応力の連続的な変化を調べる上では重要な手段である。この方法で地殻の応力変化の大きさ及び向きが分かり、かつ地殻のどの場所の応力変化を測定しているかを決定できれば、地殻応力の測定には特に有効となる。このような応力変化の測定と従来の方法による地殻歪の測定を組み合わせることにより、地殻の変動の原因を明らかにすることが期待される。

掘削孔内でのフラックスゲート磁力計による磁場測定では、測定している磁場は外部磁場に孔のまわりの岩石の帯磁による磁場が加わったものである。どの範囲の岩石の帯磁が影響しているかは、孔に沿った深さ方向の磁場変化から推定可能である。また、磁場3成分の変化を測定できるので、帯磁の変化の大きさだけでなく方向もわかり、従って応力変化の大きさと方向が推定できる。数m以上の深さの孔であれば温度変化も小さく、フラックスゲート磁力計を用いても長周期の変動を議論できる。上記の目的のために伊豆大島の二子山の掘削孔内で磁場変動の測定を開始した。

2. 孔内用フラックスゲート磁力計

測定に用いているフラックスゲート磁力計はリングコアセンサーを使用しており、Figure 1 aに示すような外形と大きさを持っている。ケース部は鋼製の耐圧容器であり、中にFigure 1 bに示す3成分独立のリングコアセンサーが納められている。耐圧強度は水深100m相当の圧力試験に合格している。ケーブル末端部はケーブルを十分な強度を持って耐圧容器に接続することと、水密性を持たせることを目的としている。ケーブルは100mの長さを持ち同軸線3本と制御用線3対を寄り合わせたものであり、周りに巻いたウレタン製の内

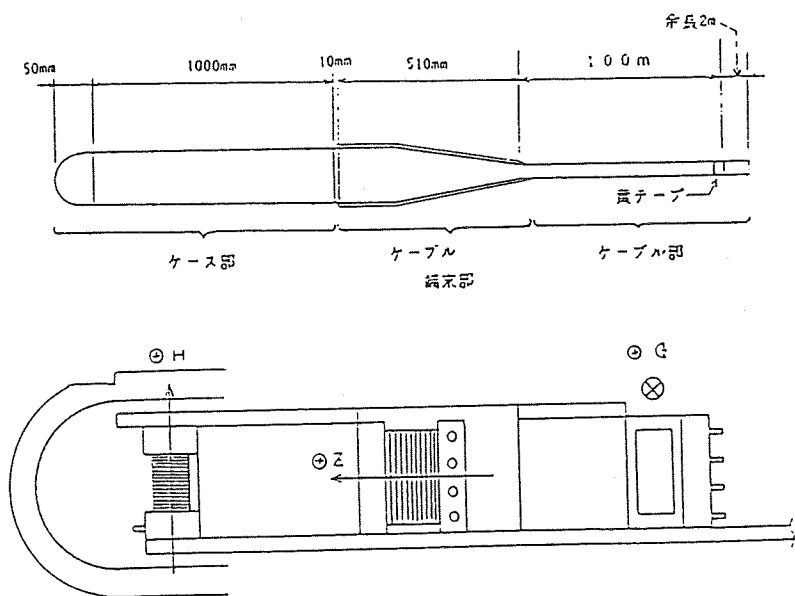


Fig. 1 (a) Size and shape of the Borehole-type 3-component Fluxgate magnetometer. (b) Sensor part of the magnetometer.

部及び外部シースとステンレス編み線によって水密性と強度を得ている。地上におかれた磁力計の制御部本体とはこのケーブルで接続される。

磁力計の制御部はD, H, Zの3成分それぞれに独立に構成され、測定精度は0.1 nTである。測定装置からの出力はアナログ出力(フルスケール10V及び5V)と内部にある16ビットのAD変換器からのデジタル出力の両方を持つ。測定範囲は3000 nT固定であるが、オフセットは2000 nTステップで正負共32段階で切り替えられる。電源はAC100VとDC12Vの両方が使用可能である。連続観測では停電対策のために12Vのバッテリーを充電しながら電源として用いている。

3. 孔内磁場の計測

フラックスゲート磁力計による測定はFigure 2の地図に示す二子山観測点で行われている。この地点にはプロトン磁力計による観測点が1986年の噴火前から設置されており、噴火後に傾斜計観測のための掘削孔が掘られた。その孔の一つにフラックスゲート磁力計が設置されている。磁場計測にはこの場所に掘削された傾斜計のための井戸の1本を使用した。掘削孔の深さは47mである。

設置の前にこの磁力計を使って孔内の磁場の鉛直変化が測定された。磁力計はポリプロピレン製のパイプを用いて釣り下げられているが、パイプに60cm間隔に穴をあけ、各穴の所でパイプを固定して、磁場を測定しながら磁力計を下ろして行った。測定は下降時と上昇時に行ったが、磁場測定の再現性はよい。結果をFigure 3に示す。掘削孔の深さは47mであり、この範囲は溶岩流とスコリア層の互層で形成されている。この図では磁場の鉛直成分(Z)と水平成分(H)の深さ方向の変化を示す。水平、鉛直両成分共、10,000 nTを越える大きな変化が認められる。また、鉛直成分は孔内での磁場の大きさは、最上部の値に比べて小さく、水平成分では逆に増加している。

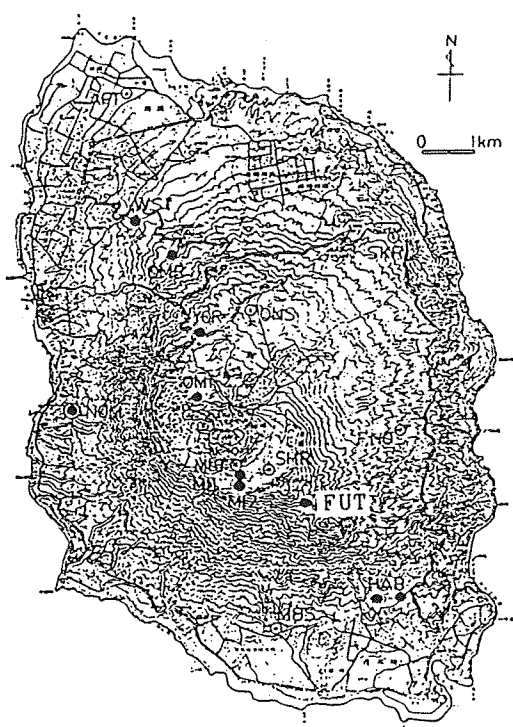


Fig. 2 Map of the Izu-Ooshima.

The hole is located at FUT.

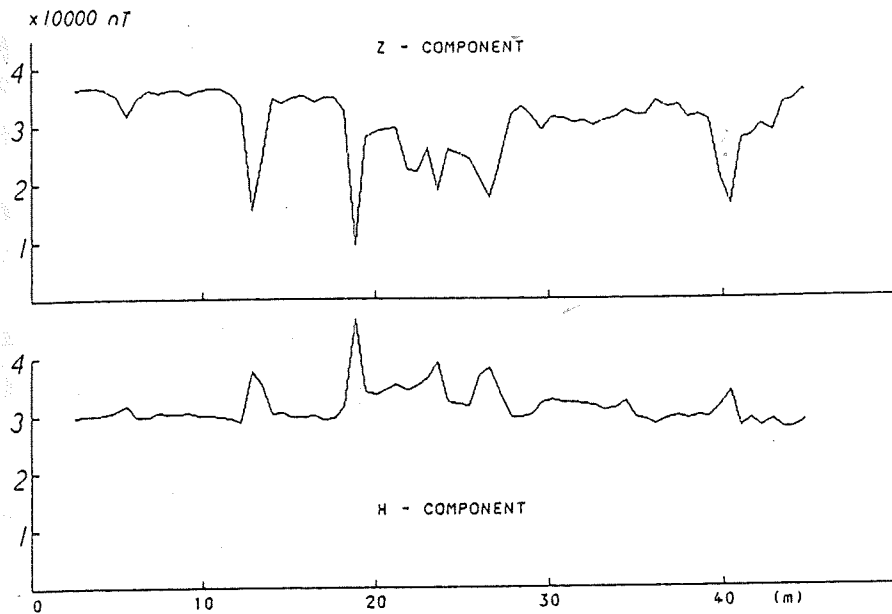


Fig. 3 Variation of the vertical(Z) and the horizontal(H) components of the magnetic field along the hole at Futago-yama.

孔内で測定される磁場は外部磁場と孔のまわりの岩石の帯磁による磁場の合わさったものである。まわりの岩石が、Figure 4に示すように深さ z_1 から z_2 まで半径 R の範囲が帯磁していたとすると、孔の径がまわりの帯磁層の厚さと広がり比べて十分小さい場合、 z_0 の深さでの鉛直成分(Z)および水平成分(H)は次式で与えられる。

$$Z = -2\pi\rho_z [F(z_2 - z_0) + F(z_0 - z_1)]$$

$$H = \pi\rho_x [F(z_2 - z_0) + F(z_0 - z_1)]$$

$$F(z) = z / (z^2 + R^2)^{1/2}$$

ただし、 ρ_z および ρ_x は、それぞれ鉛直方向および水平方向の磁化の大きさである。式から明らかなように、 $z_1 < z_0 < z_2$ の範囲内では $F(z)$ は正となるので、周囲の岩石が現在の磁場方向に帯磁している場合には、Zは減少し、Hは増加

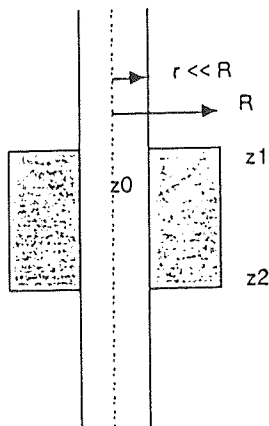
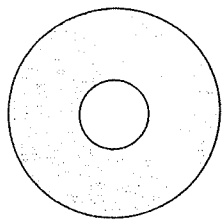


Fig. 4 Schematic view of the model used for the calculation.

する。実際に孔内で測定される磁場は、上式で表される孔の周りの岩石の帯磁の影響を深さ方向に重ね合わせたものとなる。

この孔の表層付近はスコリア層で帯磁が小さく、表層付近で測定された磁場は、周囲で測定された磁場と調和的であることから、表層での測定値を外部磁場のみであるとすると、孔内での磁場の計測結果は、孔の周りの岩石がすべて正に帯磁していることを示す。(1)、(2)式を使って、測定された磁場から岩石の帯磁の大きさを計算したものを Figure 5 に示す。伊豆大島の溶岩の帯磁の大きさは 10^{-2} emu/cc 程度であるので、この結果は孔の周りが数枚の溶岩流でつくられていることを表していると考えられる。特に深さ 18 m から 28 m

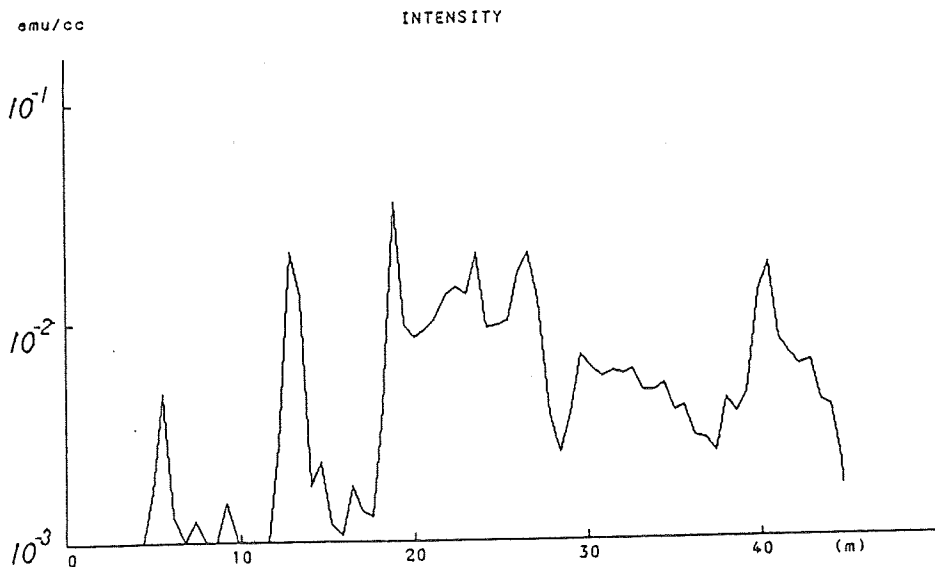


Fig. 5 Intensity of the magnetization of the rocks around the hole, calculated from the results of the magnetic field measurements shown in Fig. 3.

の範囲は厚い溶岩流があることを示している。また、溶岩とスコリア層の各境目では非常に大きな磁場変化が観測されている。磁場計測後のこの磁力計による長期観測はこの厚い溶岩流の中心付近の25mの深度に固定して行われた。

4. 孔内磁場変動の観測

孔内での磁場変動の観測から周りの岩石の帯磁の変化を求めるためには、基準観測点を必要とする。伊豆大島内部では地殻の帯磁による磁場が大きく、島内の各場所での磁場は大きく違っており、時間変化の様子も異なる。従って、基準点は掘削孔に近い場所である必要がある。今回の測定では、以上の理由から二千山のプロトン観測点の近くに地上用のフラックスゲート磁力計を設置して、孔内の磁力計と比較することとした。基準点の場所は孔の場所から水平距離にして50m程度離れている。

孔内磁力計による連続測定は7月の始め頃から開始した。Figure 6に孔内で30m, 35m, 40m, 45mの深度で測定された、7月から11月までの温度変化の様子を示す。この孔では深部の5mぐらいの範囲は水が貯っている。そのため40mと45mの深さでの温度変化は小さく、5カ月間で0.1度の程度である。温度がだんだんと減少しているのは、掘削時の温度上昇を解消し

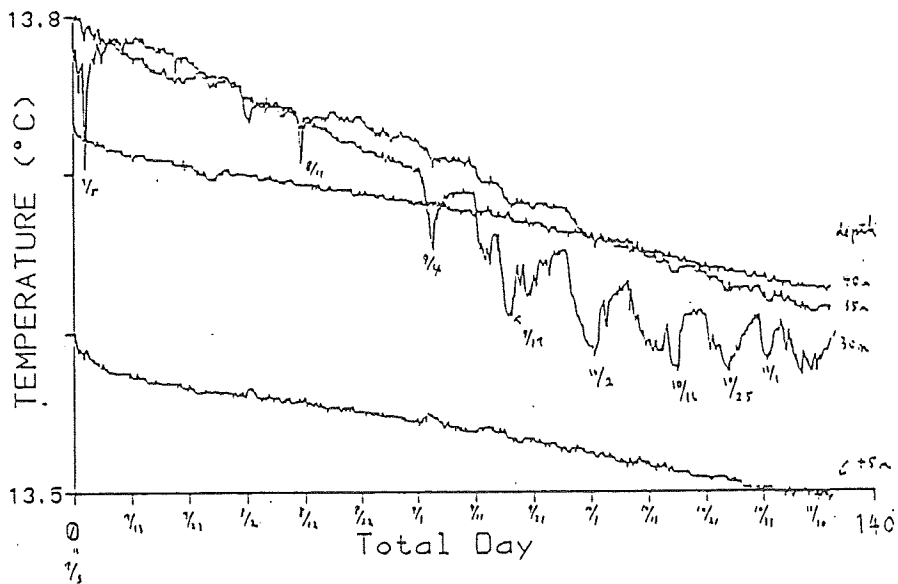


Figure 6 Temperature variations measured at the depth of 30m, 35m, 40m and 45m in the hole from July to November in 1987.

ているためと考えられる。水のない上部での温度変化は大きく、短周期の成分も存在するが、それでも、5カ月間で0.2度程度であり、短周期変動の振幅も30 mの深度で0.05度程度である。従って、測定結果に対するフラックスゲート磁力計の温度ドリフトの影響は無視してもよい。

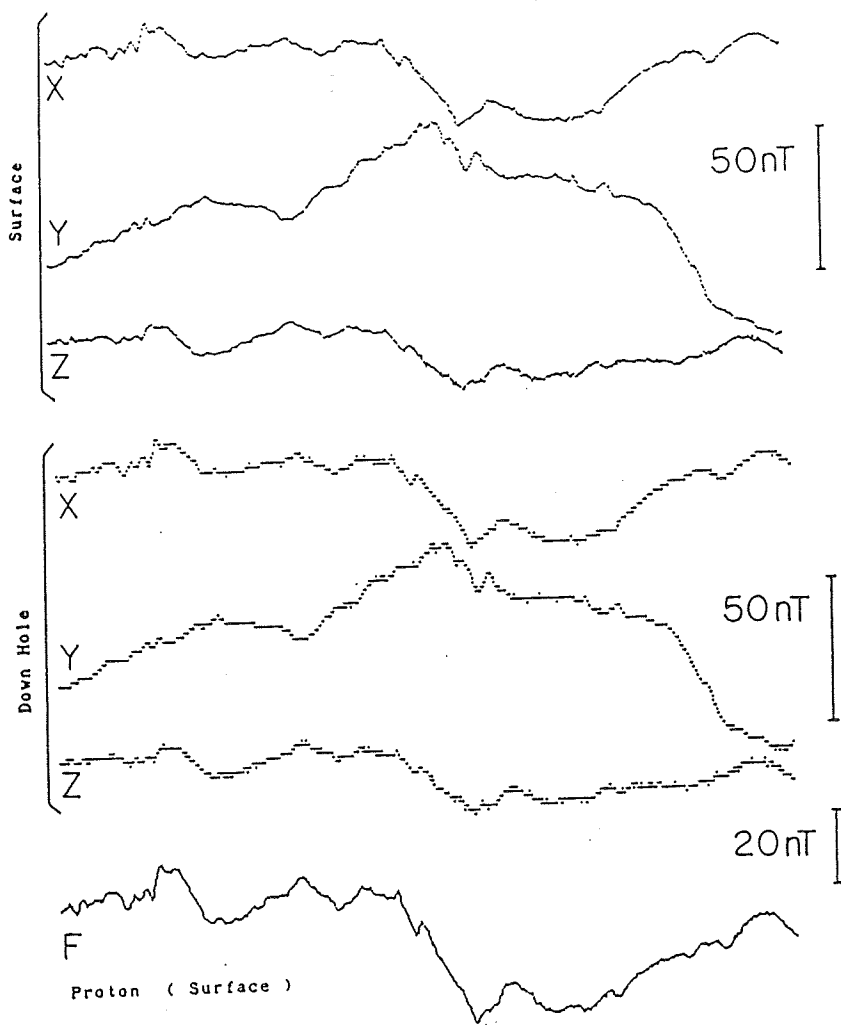


Fig. 7 An example of the observed variation of the magnetic field from 0:00 to 12:00 LT on July 10, 1987.

Figure 7に昭和62年7月10日の磁気嵐の際の12時間の磁場変動を示す。図の上から地表に置かれたフラックスゲート磁力計の3成分の変化、孔内磁力計の3成分、二子山のプロトン磁力計による全磁力変化である。連続観測は昭和62年7月から現在までほぼ10カ月程度にわたって続けている。Figure 7からは明かでないが、地上に置かれたフラックスゲート磁力計の記録では温度変化の影響が見られる。実際に、孔内磁場変動の記録からまわりの岩石の帯磁の変化を見積るためには、地上での3成分の測定結果から、プロトン磁力計の記録を用いて温度変化を補正した後に、孔内磁力計との差を取る必要がある。この解析は現在行っているところである。

5. まとめ

伊豆大島の二子山で行っている孔内フラックスゲート磁力計による連続観測の目的と概要について主に述べた。連続観測の準備として行った孔内磁場計測結果が示すように、孔のまわりの岩石の帯磁を求めるのに孔内磁場を測定するのは有効な方法である。連続観測の結果については現在解析中であるが、孔内及び地上でのフラックスゲート磁力計の記録から計算される全磁力変化を、二子山でのプロトン磁力計による全磁力変化と比較した結果は、フラックスゲート磁力計の観測によって、磁場3成分の長期変動を求めることが可能であることを示唆している。このような観測には地殻の帯磁が大きな伊豆大島は最も適した地点であると考えられる。伊豆大島での観測により、磁場観測から地殻の応力変化や温度変化を推定可能であることが確かめられれば、測定の精度を向上することにより、他の地域でも同様の観測を行うことが可能となろう。