

# 岩手山麓における全磁力連続観測

藤原 智・門脇 俊弘・濱崎 英夫 (国土地理院・水沢測地観測所)

## Continuous observation of geomagnetic total field at the foot of Mt Iwate volcano

Satoshi FUJIWARA, Toshihiro KADOWAKI and Hideo HAMAZAKI

(Geographical Survey Institute, Mizusawa)

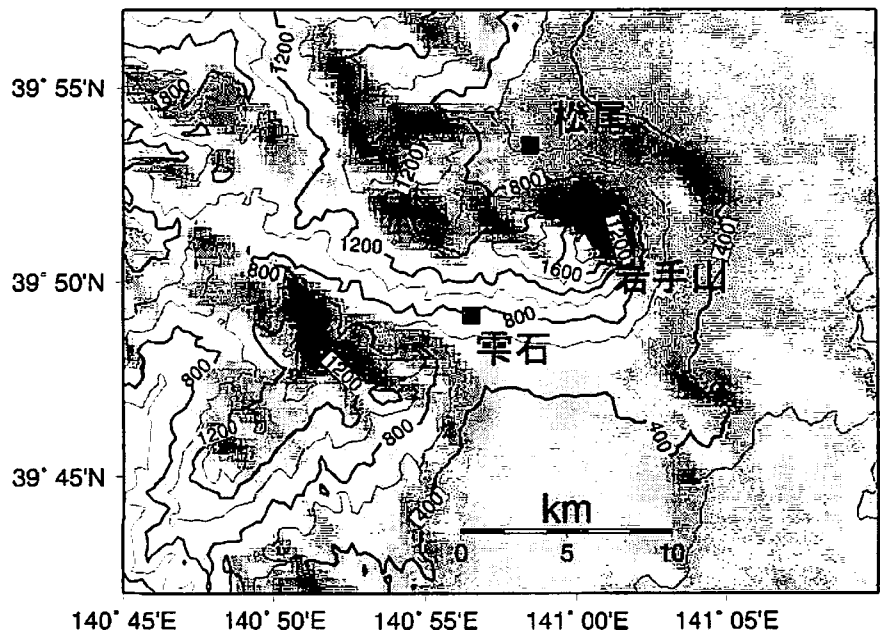
### 1. はじめに

岩手山では、1995年より山体およびその周辺を震源とする微小な地震や火山性微動が発生しており、1998年3月以降、顕著な地殻変動が現れ、GPS観測からも広域で南北方向の伸張があることが確認された。また、有感地震を含む地震の回数も急増した。これらの状況は、マグマの活動に起因した、岩手山の火山活動の活発化を示すものと考えられる。また、1998年9月3日には岩手山の南西でM6.1の地震が発生しており、火山活動との関連が推定されている。

この岩手山の火山活動活発化に伴い、火山活動を地磁気で監視することを目的として、国土地理院水沢測地観測所では、岩手山の南側、北側にそれぞれ1点ずつプロトン磁力計を設置し、全磁力の連続観測を1998年6月25日から実施している。

火山活動はおもに地下のマグマによってもたらされ、このマグマの移動もしくはマグマに熱せられた熱水の移動などによって、地下の岩石が熱せられる現象が発生する。岩石はもともと磁化を持っており、ある一定の温度以上に熱せられると、この磁化を失い(熱消磁)、マグマ活動を地磁気の変化として観測できる。また、マグマの移動などに伴い、膨張、収縮による応力の変化が生じる。この応力の変化は、ピエゾ磁気効果によって岩石の磁化の大きさを変化させるために、応力の変化も地磁気観測で捉えることができる。

一般に、地磁気の連続観測値には、地球外部から到来する磁場の影響が含まれており、この影響を取り除かなくては、微小な地磁気変化を検出することはできない。今回の結果の解析では、水沢測地観測所の高精度な3成分観測値を利用した3成分補正法採用することで、従来得られなかった微小な地磁気変化を検出することができた。



### 2. 観測

#### 2-1 選点と設置

第1図 全磁力連続観測点配置図

一般に、火山地域においては地下から上昇してくるマグマによって熱が供給されることで、岩石が持っている自然残留磁化が熱消磁する現象が多くみられる。この熱消磁を地表で観測する場合、元々の地球磁場にこの変化分が重なって観測される。岩手山付近においては、地磁気は偏角約8度、伏角約54度程度の方向をもっており、自然残留磁化もこの地磁気の方角とほぼ同じ方向に磁化されるとされる。この熱消磁による全磁力変化は熱消磁域の北側の地上でマイナス、南側の地上でプラスの変化として現れ、変化のプラスとマイナスのピーク間隔は、熱消磁域の深さとほぼ同じになる。火山活動による熱消磁を全磁力観測によって観測する場合、その観測点の配置にはこの性質を利用すると効率的である。すなわち、地下10km程度の深部でのマグマ活動を知りたいければ、推定マグマ位置の南北にそれぞれ5km程度離れた位置での観測が有効であるし、火口近くまで迫ったマグマから、短期的な直前噴火予知を行うには、予想される火口近くに観測点を設置するのがよい。

今回の岩手山の活動は、1998年6月頃では、深さ数kmより深い場所での地震活動が主体であり、地殻変動からも、地下10kmほどの場所へマグマが進入していることがわかっており、深部でのマグマの動きを探ることを目的とした。もちろん山頂付近への機器設置も活動次第では重要な観測になるが、1998年7月1日からの山頂方面への入山禁止が確定していた段階では、山頂付近へのアクセスが困難になることが予想され、また、冬季のアクセスが積雪のため極めて困難になるので、山麓部分だけの連続点選点を行った。南側は、雫石町長山網張の国民休暇村岩手山麓地内の本館北東約150m地点、北側は、松尾村大字寄木第1地割地内にある、岩手県民の森管理事務所南西約200m地点とした。

観測機器設置方法は以下の通りで、プロトン磁力計(EG&G Geometrics, G-856X)センサーを塩ビパイプ(高さ1.8m)に固定し、立ち木及び杭に2段4方向に紐で固定した。携帯用プロトン磁力計の電源は通常乾電池であるが、長時間使用のため自動車用バッテリーとし、バッテリーとアンプ(計測部)は、センサーから約5m離れた木箱に収納し、ブルーシートで覆った。

各測点の緯度、経度および標高は以下の表の通りである(第1図参照)。

第1表 全磁力連続観測点座標

雫石測点		松尾測点	
B :	39° 49' 10"	B :	39° 53' 30"
L :	140 56 30	L :	140 58 30
H :	820m	H :	550m

## 2-2 観測とメンテナンス

今回使用した携帯用プロトン磁力計は12,000個のデータをメモリに記録できる。したがって5分値観測で約40日間の観測データ収録が可能である。したがって、約一ヶ月に一回、現地に赴き、データ回収とバッテリー交換を行っている。

## 3. 観測結果と補正計算

外部磁場の除去法として従来、一等磁気測量においてはC1補正法が使用されている。C1補正は、ある時間に基準観測所でも同時に同じ大きさの外部磁場の擾乱があると仮定して、基準観測所のデータを単純に差し引くことで外部磁場を取り除いている。

しかし、この補正は近似にすぎなく、とくに基準観測所から離れるほど、補正が不十分であることが知られている。今回の岩手山の測定においては、2点間の距離は10kmほどしか離れていない。しかし、この2点同士の単純差を計算したところ、日平均值においても、磁気嵐時に約2nTの擾乱が残ることが判明した(第2図)。

単純差による全磁力差は大きくばらつき、火山活動に起因する微小な地磁気の変化を検出するのに障害となる。外部磁場により2点で全磁力の違いが生じるのは以下の2点による。

(1) 偏角、伏角の違いによるもの

地球表面の岩石磁化の違いなどによって、地球内部磁場には場所によって違いがあり、偏角および伏角の違いなどとなって現れる。このとき、外部から一様な変化磁場を与えても、内部磁場と外部変化磁場で合成される観測磁場の大きさ(全磁力)は、内部磁場の異なる点で同じ変化となって現れない。この影響をなくすためには、偏角、伏角が同じ場所で観測するとよいが、実際の選点に当たってはこの条件を満たすことは難しい。

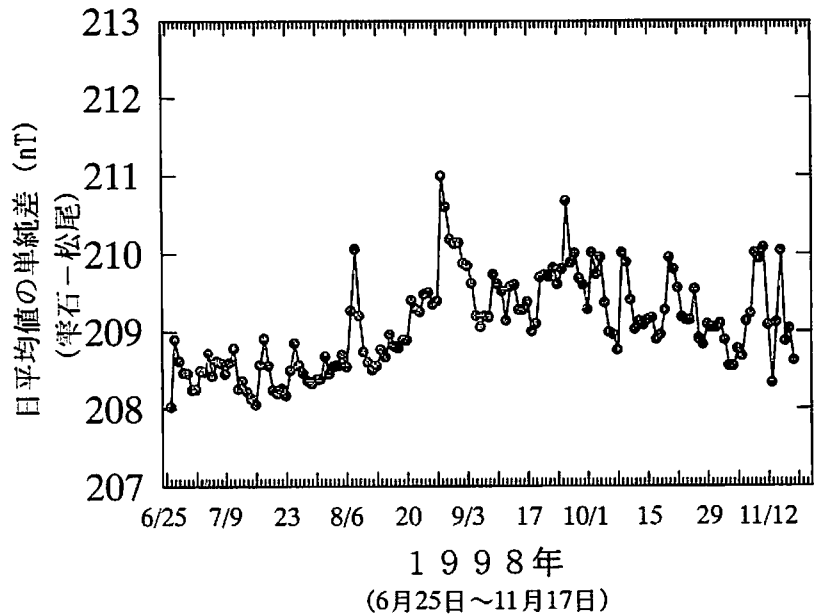
(2) 地下の誘導電流が作る2次磁場によるもの

外部磁場の変化は導体である地球内部に誘導電流を生じさせる。この誘導電流が2次的な磁場を発生させ、もとの磁場と重なって観測される。このとき、地下の電気抵抗構造の違いによって発生する2次磁場も異なってくる。2次磁場はおもに鉛直(Z)成分に現れる。

これらの影響を取り除くために「3成分補正法」<sup>1)</sup>を使用する。

$$\Delta F_c = F_1 - F_2 - (aH + bD + cZ + dH' + eD' + f)$$

ここで、 $\Delta F_c$ は補正後の全磁力差、 $F_1, F_2$ は2点の全磁力、 $H, D, Z$ は基準観測点の地磁気3成分、 $H', D'$ はその時間微分であり、 $\Delta F_c$ の時間変化が最小になるように係数 $a, b, c, d, e, f$ を最小二乗法で決定する。ここで $a, b, c$ は上記(1)の偏角、伏角の違いを補正し、 $d, e$ は(2)の誘導分を補正する。そ

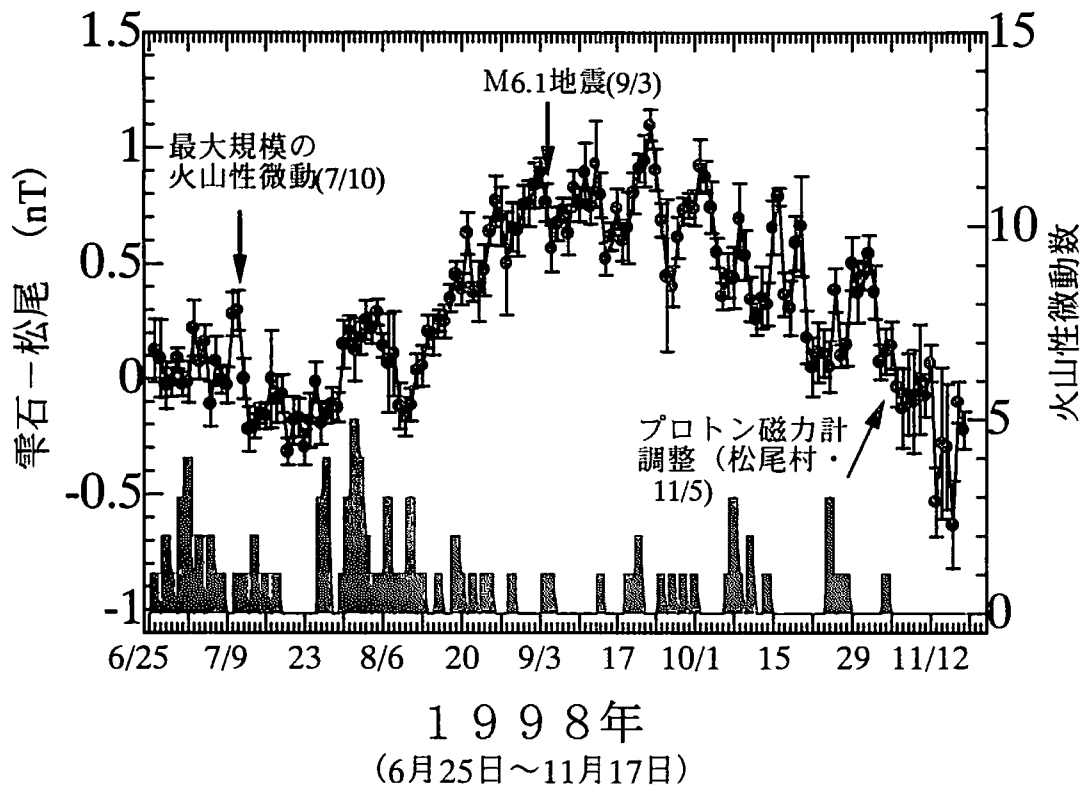


第2図 全磁力単純差(日平均値)

それぞれの係数の大きさは観測点によって異なる。

岩手山の観測点の場合は、2点間はそれほど離れていないが、火山地帯なので表層の岩石の磁化異常が大きいためか、 $a, b, c$ の係数が大きかった。これに比べ、 $d, e$ の影響は十分小さく、今回は  $d=e=0.0$  として扱った。

さて、この補正を行うにあたって必要となるのが、観測点での全磁力連続観測値だけではなく、基準となる観測点での地磁気3成分 ( $H, D, Z$ ) の連続観測値である。この地磁気3成分の変化に誤差があると、見かけ上の変化を補正に与えてしまう危険性がある。全磁力は、プロトン磁力計という、比較的簡単な機器で絶対値が得られるが、地磁気3成分の場合はそうはいかない。ここでは、水沢測地観測所で定常的に得られている地磁気3成分の毎分値を使用した。3成分補正後の全磁力差は第3図に表されている。



第3図 3成分補正後の全磁力差と日ごとの火山性微動数（東北大学および気象庁による）

#### 4. 考察とまとめ

##### 4-1 地磁気変化

第3図より、地磁気変化のパターンは次の4つの時期に分けられる。

##### (a) 6月下旬～7月下旬の0.2nTの減少

7月9日、10日を除いて単調に減少している。7月10日にこの時期としては最大規模の火山性微動が発生しており、ステップ状の変化と対応しているように見える。

##### (b) 7月29日～8月8日の0.4nTのステップ状変化

急に増加し、急にもとの値に戻っている。ちょうどこの時期には、火山性微動が多い状態であった。

#### (c) 8月上旬～9月上旬の0.9nTの増加

急激に増加しているが、増加傾向が衰えかけた9月3日にM6.1の地震が雫石町で発生している。

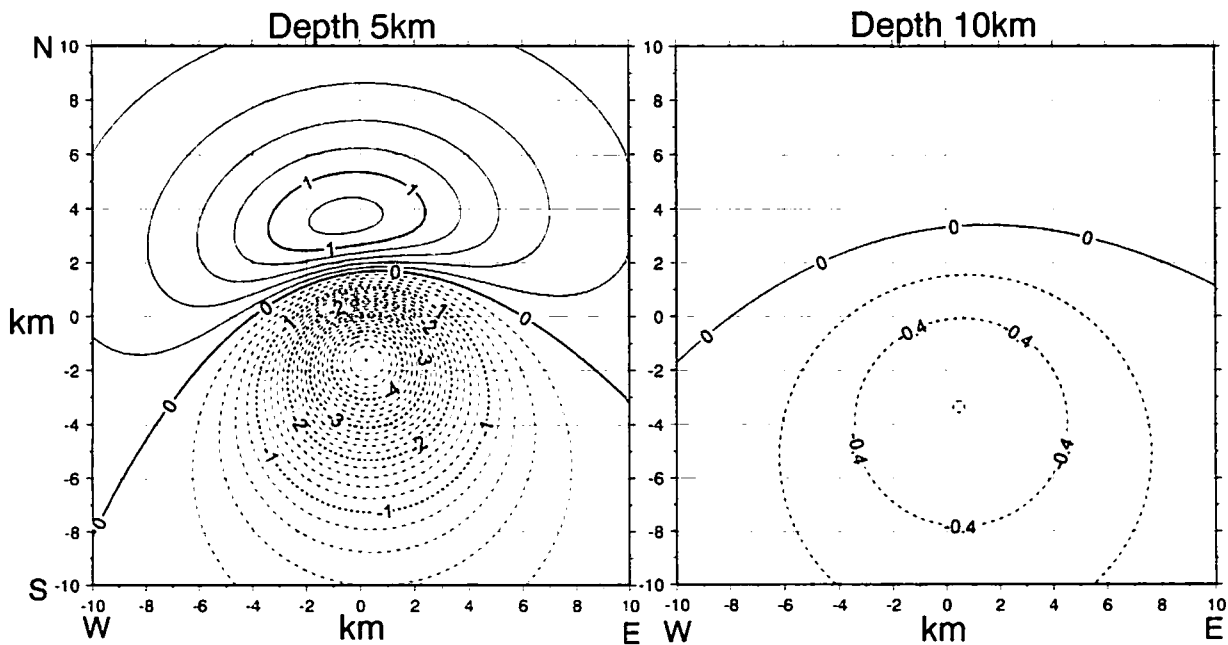
#### (d) 9月上旬～の1nTの減少

9月3日の地震以降、1ヶ月ほどはほとんど同じ値であったが、だんだんと加速するように値が減少している。短期的には、数日～10日程度で、0.5nT程度の小刻みの変動を示している。

### 4-2 熱消磁

一般に火山地帯では熱消磁によるものと、ピエゾ磁気による地磁気変化が期待される。まず、熱消磁による地磁気変化をシミュレーションしてみる。

藤田・水野<sup>2)</sup>の式を使い、地下の球状の場所が加熱により磁気を失う場合を考えてみる。地下の岩石は、現在の地球磁場の向きに、磁化率10A/mで磁化されているものと仮定する(10A/mは玄武岩などのとくに強い磁化を帯びる岩石の場合の値である。観測される磁気変化の絶対値は磁化率と熱消磁域の体積に比例する)。



第4図 熱消磁による全磁力変化のモデル。半径500m 磁化率10A/mの岩石が図の中心で深さ5km,10kmで熱により消磁されたとしたとき観測される全磁力変化量分布(nT)。

図からもわかるように、熱消磁地域の北側でプラス、南側でマイナスの変化が現れ、プラスとマイナスのそれぞれのピーク間隔と熱消磁地域の中心の深さがほぼ同じである。当然のことながら、熱消磁地域の体積が大きいほど、深さが浅いほど、ピークでの地磁気変化は大きくなる。

### 4-3 ピエゾ磁気効果

岩石に加わる応力の大きさを変化させたときに、ピエゾ磁気効果によって磁化が変化し、地磁気の

変化として観測される。一般に、圧縮軸の方向の磁化は弱まり、それに直交する方向では強まる。応力分布のパターンによって、地表で観測される地磁気変化の分布は複雑になるが、マグマ溜まりを点圧力源と考え、その等方的な膨張または圧縮をするモデルは茂木モデルと呼ばれ、火山活動のシミュレーションによく用いられる。ここでは、定量的な考察は行わないが、定性的には、膨張茂木モデルの場合、圧力源の北側でマイナス、圧力源直上から南側でプラスという、熱消磁とはプラスマイナスが逆転した分布を示すことが知られている。

#### 4-4 地磁気変化の解釈は？

熱消磁を考えるとしても、熱消磁域の場所、深さ、体積および地下の磁化率すべての値に任意性が大きい。また、ピエゾ磁気効果についても同様で、個々のパラメータは自由度が大きく決まらない。また、地磁気観測も2点のみの差であるので、この地磁気観測からは決定的なことは言えないが、以下の可能性を指摘しておく。

(1) 8月までの段階(a)(b)で、ステップ状の変化と火山性微動に関連らしきものが見て取れる。

しかし、9月以降にも同様な形状の数日～10日の小刻みな変動がみられ、これらの原因については、計測上のノイズなのか真のシグナルなのかについてもはっきりとはしていない。

(2) 7月下旬まで(a)と、後半(d)のゆっくりとした、全磁力の減少(雫石)もしくは増加(松尾)は、岩手山(東側～西部)の熱消磁で説明できる。

(3) 8月(c)の急激な全磁力の増加(雫石)もしくは減少(松尾)は、変化の終了時期がちょうどM6.1の地震発生に同期しており、この地震との関連が考えられる。この地震は、雫石測点(網張温泉)より南側に震源域を持っており、岩手山本体ではなく、震源域への熱の供給により熱消磁が発生した可能性もある。しかし、M6.1の地震発生までの火山性地震の発生状況を見ても、M6.1の震源域への熱の供給をもたらすような動きがあったようにはみうけられない。この地磁気変化は、岩手山本体近くでのピエゾ磁気効果で説明することも可能である。岩手山地下での急激な膨張による圧力上昇がM6.1の地震の誘発原因になったことも考えられる。

#### 4-5 まとめ

全磁力観測では外部磁場の擾乱の影響があるために、微小な地磁気変化の検出は困難な場合が多いが、割と簡単な3成分補正法を施すことによって、1nT以下の地磁気変化を明瞭に取り出すことができた。しかし、2点だけの観測では、現象の決定的な説明はできないので、3点以上の地磁気観測が必要である。

#### 参考文献

- 1) 田中良和・増田秀晴・河村 諱・大地 洸・加藤諄司・馬場広成・吉野登志男：阿蘇火山地域での全磁力測量(1977)、阿蘇火山の集中総合観測(第1回1977)報告, 31-39, 1978.
- 2) 藤田尚美・水野浩雄：地震と地磁気, 地震予知 I 電磁気学的アプローチ, 学会出版センター, 1-50, 1980.