

北陸・近畿・中国における全磁力永年変化（４）

山崎健一*・吉村令慧・大志万直人

*東京大学地震研究所

要 旨

御嶽山麓に全磁力観測点を設置し、3年間の観測を実施した。この観測の目的は、群発地震活動域において存在が示唆されている地中の膨張源が、熱水によるものか否かを判別することである。簡単なモデル計算によって、温度変化に伴う磁化変化に対応して地表で観測される全磁力分布を求め、この理論値を観測される地磁気変化と比較した。全磁力観測の結果は、有意な経年変化を示していない。このことから、温度変化自体が生じていないか、熱源の位置がまさに観測点の真下付近にあることが推定される。

キーワード：地磁気経年変化・熱磁気効果・群発地震

1. はじめに

地殻を構成する岩石の多くは磁化しており、この磁化の大きさ・方向は、地震や火山活動等の地殻変動による温度・応力の変化に伴い変化する。したがって、地磁気変化を観測することで、間接的に地殻内部の物理状態を調べることができると考えられている。この目的で、日本では多くの地磁気全磁力観測点が設置されている（地震予知研究計画・地磁気研究グループ、1973）。

我々も、北陸・近畿・中国地方の複数の観測点においてプロトン磁力計による全磁力観測を実施してきた。これらに加えて2004年に、長野県の御嶽山麓に新たな全磁力観測点を設置した（Fig. 1）。以前からの観測点での成果についてはこれまでも報告しており（後藤ら、1994；坂中ら、1996；坂中ら、1998；坂中ら、1999）、最近数年間で際立った変化は認められていない。そこで本稿では、新たに開始した御嶽山麓における観測に絞り、目的・現在までの観測結果・今後の展望を記載する。

2. 目的

1984年長野県西部地震震源域にあたる御嶽山麓では、近年群発地震活動がみられる。この地域で

実施された水準測量は、顕著な隆起を捉えている（Kimata et al., 2004）。この隆起は、地下に膨張源の存在を仮定することで説明できるが（Kimata et al., 2004）、実はこの場所は、電磁探査によってKasaya et al.（2003）が低比抵抗領域の存在を示唆した場所と一致する。

上部地殻での比抵抗が流体の存在に大きく支配されることを考えると、膨張源には流体が関与している可能性が高い。そこで吉村ら（2006）は、自然電位観測によって御嶽山麓における流体の動きを明らかにしようと試み、いくつかの顕著な特徴を捉えた。

自然電位測定は、流体運動に付随して発生する電位分布（流動電位）を地表で測定する物理探査手法であり、地下の流体の動きを捉える上で有効な手段である。しかし、自然電位の発生原因は多様であり、単独で解釈を行うことは誤った解釈の原因となる。そのため、他の物理量に対する並行観測を実施することにより、検証を行うことが必要となる。

今回我々が調査対象としている現象は、火山活動と密接に関連するものであるから、流体は熱水である可能性が高い。したがって、流体活動には地殻内部の温度変化が付随することが強く予想される。よって、温度変化に対して敏感な物理量を

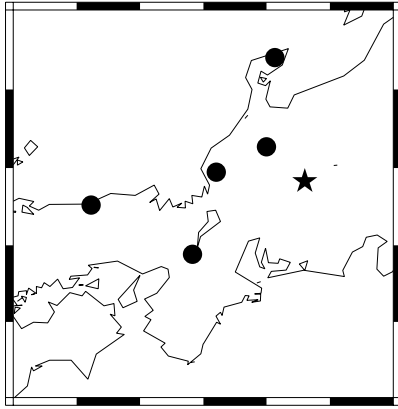


Fig.1 The location of geomagnetic total force observation sites deployed by DPRI. A star symbol represents the position of Ontake site, which was installed in 2004.

調べることで、現象の解明に対して有効である。

地殻内部の温度状態の変化を捉える有効な手段の一つが、地磁気全磁力の観測である。地殻を構成する岩石は地球磁場によって磁化しているが、この磁化の大きさは温度依存性を持つため、地表における地磁気の値をわずかに変化させる。これを調べることで、地下の温度変化を推定することができる。つまり、地中の温度変化についての情報を得ることが、我々の地磁気観測の目的である。

3. 温度変化と地磁気経年変化

地殻内部で熱の影響により磁化が消えた場合の磁場分布は、その場所に置かれた逆符号の磁化が作る磁場をもとの磁場に重ねることで求められる。 $\mathbf{r}'$ における磁気モーメント $\mathbf{J}(\mathbf{r}')$ が $\mathbf{r}$ につくる磁場 $\mathbf{B}(\mathbf{r})$ は、次式で与えられる。

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\rho^2 \mathbf{J}(\mathbf{r}') - 3(\boldsymbol{\rho} \cdot \mathbf{J}(\mathbf{r}'))\boldsymbol{\rho}}{\rho^5}$$

ただし、 $\boldsymbol{\rho} = \mathbf{r} - \mathbf{r}'$, $\rho = |\boldsymbol{\rho}|$ である。

実際には、ベクトルである磁場 $\mathbf{B}$ を測るのではなく、スカラーである全磁力 $F = |\mathbf{B}|$ を測る場合が多い。地殻起源の磁場変化 $\Delta \mathbf{B}$ は、地球の外核でつくられる主磁場 $\mathbf{B}$ より圧倒的に小さいから、地磁気

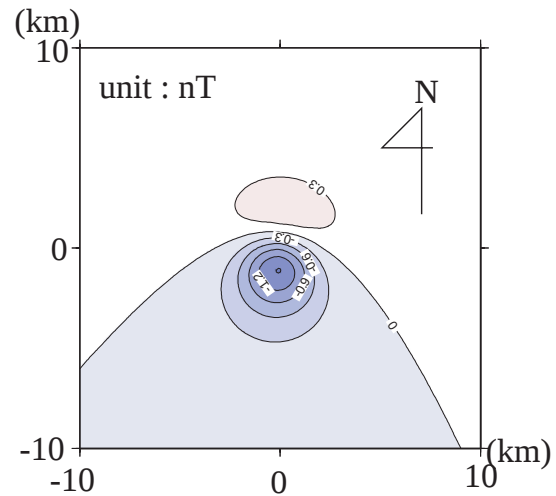


Fig.2 A plan view of distribution of changes in the total intensity, ΔF , due to a point source model with the geomagnetic declination of -7.2° and inclination of 49.1° . Contour intervals are 0.2 nT.

全磁力の変化量 ΔF は、テイラー展開の第一項をとることにより、

$$\begin{aligned} \Delta F &= |\mathbf{B} + \Delta \mathbf{B}| - |\mathbf{B}| \\ &\cong \sqrt{|\mathbf{B}|^2 + 2\mathbf{B} \cdot \Delta \mathbf{B}} - |\mathbf{B}| \\ &\cong \Delta \mathbf{B} \cdot \mathbf{B} / |\mathbf{B}| \end{aligned}$$

として得られる。地球主磁場の方向余弦を $\mathbf{l}$ であらわせば $\mathbf{B} = |\mathbf{B}| \mathbf{l}$ なので、 $\Delta F \cong \mathbf{l} \cdot \Delta \mathbf{B}$ となる。これを用いると、

$$\Delta F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\rho^2 \mathbf{J} \cdot \mathbf{l} - 3(\boldsymbol{\rho} \cdot \mathbf{J})(\boldsymbol{\rho} \cdot \mathbf{l})}{\rho^5}$$

となる。

地殻の磁化が現在の地球主磁場の向きに平行であると仮定すると、 $\mathbf{J}$ と $\mathbf{l}$ は反平行、すなわち $\mathbf{J} = -J_0 \mathbf{l}$ ($J_0 > 0$) となる。よって、

$$\Delta F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{J_0}{\rho^3} (1 - 3\cos^2 \theta)$$

を得る。ただし $\cos \theta = -\boldsymbol{\rho} \cdot \mathbf{l} / \rho$ は、観測点から見た磁化要素の方向と主磁場方向のなす角の余弦で

ある。 $\cos^{-1}(1/3) \approx 55$ 度であるから、観測点から見た消磁領域の方向と主磁場方向のなす角が 55 度になるときは、観測される磁場変化がゼロとなる。この式で表される分布を、御嶽山麓の場合（地磁気傾角 49.1 度、偏角 7.2 度）について、Fig.2 に示す。磁化要素の位置は深さ 3km とし、磁気モーメントの大きさは、初期磁化 3 A/m を持つ地殻の $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ の領域の磁化が温度変化により消失した場合を想定した。

4. 御嶽山麓における地磁気全磁力変化

4.1 データ

地磁気観測には、プロトン磁力計を使用している。プロトン磁力計は、温度変化や機器の劣化によるドリフトを持たないという特徴をもっている。そのため、地磁気の絶対値を観測することが可能である。これにより、本研究が対象とする場合のように、長期間におよぶ変化を正確に捉えることができる。

磁力計のセンサーは、高さ約 2m の位置に固定した。設置に際して、候補地付近で 1m 間隔の磁気測量を実施し、磁力勾配の小さい場所を選んだ。これは、磁力計センサーの不測の動きに対して、測定値が影響を受けないようにするためである。

本研究での地磁気観測の目的は、地殻内部の温度変化に起因する磁力変化を検出することであるが、地球主磁場の大きさ自体も経年変化するので、そこから地殻起源の変化のみを分離するためには、データに対して適切な処理を施す必要がある。この目的で、約 50 km 離れた場所にある東京大学地震研究所の八ヶ岳地球電磁気観測所において得られた全磁力値との差をとることとした。地球主磁場の時間変化は、ある程度の空間スケールで一定とみなせるので、差をとることにより残った変化のみが地殻起源であると期待できる (Rikitake, 1966)。

このほかにも、地磁気データの扱いには注意が必要である。昼間に得られる地磁気観測値は、一般に人工ノイズの影響を大きく受けている。特に、今回の観測点では J R 中央本線からの漏洩電流の影響が無視できないと考えられる。そこで、人工ノイズの影響の小さい夜間 (JST01:00-03:59) の値を日毎に平均することで、ノイズの影響を極力抑えた値を求めることとした。

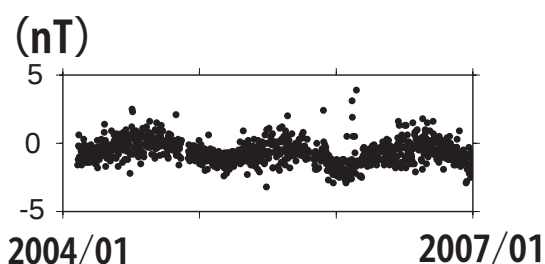


Fig. 3 Night time daily mean values of geomagnetic total forces at Ontake with reference to Yatsugatake station.

4.2 結果と解釈

これまでの観測の結果を Fig. 3 に示す。ところどころにばらつきが見られるのは、太陽活動の影響が大きい場合で、地震活動等と関連したものではないと考えられる。

特徴的な変化として、約 1 年周期の変化がみられるが、これが地殻内部の温度変化である可能性は低い。他の地熱地帯を対象とした先行研究により、観測点近傍における岩石磁化率の温度依存性の不均一が年周変化をつくりだすことが知られており (Utada et al., 2000)、今回見られた年周変化も同種のもので推定される。

一方、顕著な経年変化は認められない。つまり、この観測点の位置においては、熱の影響による全磁力変化が生じていないと判断される。この結果に対しては、温度変化自体が存在しないとする解釈と、観測点の場所が予想される分布 (Fig.2) に示されるゼロ面に位置するという解釈、の二通りの解釈が可能である。

今回は熱磁気効果を中心に検討したが、地殻に起因する地磁気変化の原因として、応力磁気効果も考えられる。応力磁気効果による地磁気変化は、温度の影響に比べて一般に小さいが、磁化の不均質がある場所では大きく現れる場合もある。今後、温度の影響と合わせて考慮する必要がある。

5. おわりに

御嶽山麓における群発地震活動の原因を地磁気観測によって調べることを目的として地磁気観測を実施しているが、現在のところ、観測点が一点しかないために、十分な情報が得られていない。さまざまな仮説の当否を検討するには、大きな変化が期待される場所に新たな観測点を追加する必

要がある。今後、安価な磁力計を用いて 2 点程度の観測点を追加する予定である。

今後さらに調べるべき点として、データ補正自体の問題がある。参照点である八ヶ岳との間で主磁場経年変化が異なる可能性があり、今回得た結果のみから地殻起源の変化が全く無いと判断することは出来ない。このことは、本研究に限らず、地磁気を用いて地殻活動を観測しようとする場合に常に付随する問題であり、これまでも議論されてきた。そこで、単独の参照点に頼るのではなく、気象庁地磁気観測所および国土地理院等の多数の観測点のデータを用いて十分な空間分解能を持った主磁場変動の表現を求め、これを基準値とする、という方針がたてられている。

この精度の高い新たな基準値を定める作業は、2007 年 4 月の時点で処理の手法がほぼ確立し (Yamazaki and Oshiman, 2006)、また、地磁気観測所によるデータのとりまとめも大部分が完了している。この成果を利用することで、更に高い精度での議論が可能となり、自然電位観測から得られた結果の解釈に際して重要な拘束条件を与えられると期待できる。

謝 辞

御岳山麓の全磁力観測では、プロトン磁力計を長野県三岳村の正腰三代治氏の私有地に設置させていただいています。記して感謝いたします。

参考文献

後藤忠徳・坂中伸也・堀友紀・和田安男・住友則彦・大志万直人 (1994) : 能登半島沖地震に関連した全磁力変化, 京都大学防災研究所年報, 第 37 号 B-1, pp. 281-291.
坂中伸也・住友則彦・大志万直人 (1996) : 北陸・近畿・中国における全磁力永年変化について, 京都大学防災研究所年報, 第 39 号 B-1, pp. 273-285.
坂中伸也・住友則彦・大志万直人 (1998) : 北陸・近畿・中国における全磁力変化について (2), 京都大学防災研究所年報, 第 41 号 B-1, pp.

119-131.

坂中伸也・山崎健一・住友則彦・大志万直人 (1999) : 北陸・近畿・中国における全磁力変化について (3), 京都大学防災研究所年報, 第 42 号 B-1.

地震予知研究計画・地磁気研究グループ (1973) : 地震予知研究計画にもとづく地磁気全磁力観測、地震予知連絡会会報、9, pp. 109-126.

Kasaya, T., Oshiman, N., Sumitomo, N., Uyeshima M., Iio, Y. and Uehara, D. (2002): Resistivity structure around hypocentral area of the 1984 Nagano Prefecture earthquake in central Japan, *Earth Planets Space*, vol. 54, pp. 107-118.

Kimata, F., Miyajima, R., Murase, M., Darwaman, D., Ito, T., Ohata, Y., Irwan, M., Takano, K., Ibrahim, F., Koyama, E., Tsuji, H., Takayama, T., Uchida, K., Okada, J., Solim, D. and Anderson, H. (2004): Ground uplift detected by precise leveling in the Ontake earthquake swarm area, central Japan in 2002-2004, *Earth Planets Space*, Vol. 58, pp. e45-e48.

Rikitake, T. (1966) : Elimination of non local changes from total intensity values of the geomagnetic field, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **44**, 1041-1070.

Utada, H., Neki, M. and Kagiya, T. (2000): A study of annual variations in the geomagnetic total intensity with special attention to detecting volcanomagnetic signals, *Earth Planet Space*, 52, 91 – 103.

Yamazaki, K. and Oshiman, N. (2006): A Method for representing a geomagnetic total force field in a small region with special attention to discontinuities of data, *Earth Planets Space*, 58, 1519-1523.

Yoshimura, R., Yamazaki, K., Okada, Y. and Oshiman, N. (2006): Self-potential Anomalies Around the Earthquake Swarm Area in the Southeastern Flank of Ontake Volcano, Central Japan, *Eos Trans. AGU*, 87(52), Fall Meet. Suppl., Abstract T13A-0494.

Secular Changes in the Geomagnetic Total Force in Hokuriku, Kinki and Chugoku Districts (4)

Ken'ichi YAMAZAKI*, Ryokei YOSHIMURA and Naoto OSHIMAN

*Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo

Synopsis

We installed a new site for geomagnetic total force observation at a Eastern foot of Ontake volcano, where swarm activities and a remarkable crust uplift has been observed. The purpose of our observation is to detect magnetic changes which are caused demagnetization in the crust due to hydrothermal circulations. In recent 3 years, no remarkable secular changes have been observed at the site. We can interpret this fact by two ways. One possibility is that there are no temperature changes at this area. However, observed changes in the geomagnetic total force also become zero in case of the source is placed beneath the observation site. To conclude which hypothesis is plausible, some additional sites are required.

Keywords: geomagnetic total force, Thermo-demagnetization, earthquake swarm activity