

十勝岳の全磁力変化と蓄熱過程 (2008-2009)

橋本 武志 [1]; 西村 三治 [2]; 山本 輝明 [3]; 有田 真 [4]; 重野 伸昭 [5]; 小木 曾 仁 [3]; 岡崎 紀俊 [6]; 茂木 透 [1]
[1] 北大・理・地震火山センター; [2] なし; [3] 札幌管区気象台; [4] 気象庁・地磁気・女満別; [5] 気象庁火山課; [6] 道立地質研

Heat accumulation beneath Tokachidake volcano as inferred from total magnetic field change (2008-2009)

Takeshi Hashimoto[1]; Mitsuharu Nishimura[2]; Teruaki Yamamoto[3]; Shin Arita[4]; Nobuaki Shigeno[5]; Masashi Ogiso[3]; Noritoshi Okazaki[6]; Toru Mogi[1]
[1] Inst. Seismol. Volcanol., Hokkaido Univ.; [2] none; [3] Sapporo District Meteorological Observatory; [4] Magnetic Observatory, Memambetsu Branch; [5] JMA; [6] Geol. Surv. Hokkaido

Introduction: In the summit area of Takachidake volcano, localized but steady inflation has been observed since 2007 (JMA et al., 2009). Since no anomalous changes have been observed in superficial activity, further geophysical investigation for the inflation source has been anticipated. Thus we started geomagnetic repeat surveys aiming for the detection of subsurface thermal changes.

Measurements: We conducted the first survey in October, 2008. The same pegs and marks were occupied in July, 2009. We used an Overhauser total field magnetometer, GSM-19 (GEM-systems). The summit crater area of Tokachidake mostly consists of basaltic andesite lavas with large magnetization. Since the steep topography causes large magnetic gradient exceeding 100 nT/m at some points, we paid special attention to the repeatability of the sensor position.

Detection of temporal changes: We investigated the difference between the two surveys (about 270 days). A clear dipolar pattern of magnetic changes was detected around the 62-II crater, the present main vent of Tokachidake. This change is quite consistent with the pattern due to the demagnetized sphere placed at a depth of 180 m beneath the 62-II crater. The comparison between measured and modeled total field magnetic changes is shown in Fig.1. The contour lines indicate the magnetic changes on the plane at the altitude of 62-II crater. The change of magnetic moment amounts to $1.7 \times 10^6 \text{ Am}^2$. The maximum magnetic change is about 30 nT, overwhelming the errors due to extra-terrestrial changes, secular changes, or seasonal variations. The most likely explanation of this demagnetization is the thermomagnetic effect due to heating beneath the crater. The piezomagnetic effect is safely excluded since the expected polarity of the magnetic changes is opposite to the observed one if we assume the inflation of Mogi source.

Estimation of thermal energy: According to the recent measurements of fumaroles in 62-II crater by JMA, the maximum temperature does not exceed 200 C. This implies that the thermal demagnetization is not caused directly by magma intrusion. We here assume that hot water or gas supplied from depths brings about the heat accumulation at the source depth. In this case the relevant temperature may be below 300 C. According to the laboratory experiments of rock magnetism by Soga (1997), Uesawa (2008), and Uesawa (unpublished data), 10 to 20 % of NRM should

be lost in a temperature range between 0 to 300 C. Assuming the NRM of Tokachidake basaltic andesite as 5 to 15 A/m, and the specific heat as 900 J/K/kg, the heat accumulation can be estimated as 10^{14} - 10^{15} J. This corresponds to the heating rate of an order of 10 MW.

Discussion: We here consider the heat source of the demagnetization. Pressure at the source depth is assumed to be the sum of the lithostatic pressure at 200 m deep and the overpressure driving the ongoing inflation. Referring to the result of ground deformation by GPS (JMA et al., 2009), we here assume the total pressure of 10 MPa. Although the subsurface temperature is unknown, we assume the temperature at the source depth is 200 C. The steam table gives the specific enthalpy of H₂O at this condition. We consider that the hot water supplies heat to the surrounding rocks. Then 5.0×10^8 - 1.5×10^9 kg of hot water should be added to realize the observed demagnetization. This corresponds to the water volume of 5.7×10^5 - $1.7 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Conclusions: We detected a clear demagnetization beneath 62-II crater of Tokachidake volcano. The relevant heat accumulation is estimated as a few tens of MW, which is probably the same order as the recent fumarolic discharge rate. Considering the fact that fumarolic activity of 62-II crater has declined since 2006, the ongoing demagnetization can be explained by the decrease of heat discharge rate from the crater. Thus additional heat supply from depths is not necessarily required.

はじめに: 十勝岳の山頂火口原では、2007年頃から局所的ながら膨張性の地殻変動が継続している(札幌管区気象台・他, 2009)。現在のところ、表面活動には顕著な異常が認められないことから、この変動の実体についてさらなる調査が待たれていた。そこで著者らは、磁気測定の繰り返しによる地下の温度変化の推定を試みた。

観測の概要: 2008年10月に磁気点の設置(参照点を含めて26箇所)と第1回目の測量、2009年6月に第2回目の測量を実施した。用いた機材はGEM-systems社のGSM-19型オーバーハウザー磁力計で、全磁力のみを測定した。十勝岳の溶岩は磁性が強く、地形の急峻な場所では磁気勾配が100 nT/mをこえることもあるため、測定位置の再現性には細心の注意を払っている。

時間変化の検出: 火口原から約2 km北西に離れた地点に参照点を設け、単純差によって日変化等の外部起源磁場擾乱

を除去した。2回の測量から、約270日間の時間変化を調べたところ、62-II火口の周辺に明瞭な双極子型の全磁力変化パターンを認めた。この変化は、62-II火口の直下約180m(標高1,560m)に消磁球を置くことでほぼ説明できる。図1に、各地点における全磁力変化の観測値と計算値の比較を示す。最適モデルによる全磁力変化パターン(62-II火口の標高での平面)は等値線で示した。磁気モーメントの変化量は $1.7 \times 10^6 \text{ Am}^2$ であり、仮に消失磁化を1A/mとすると、対応する体積は $1.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ となる。観測された磁場変化は最大で30nTに達しており、超高層起源磁場変動や永年変動の影響、気温の年周変化に起因する誤差では説明できない。消磁の原因としては、地下の温度上昇による熱磁気効果が最も有力と考えられる。なお、茂木ソースによるピエゾ磁気効果でも双極子型の全磁力変化パターンが期待されるが、増圧の場合は今回観測された変化とは符号が逆になる。このため本稿では考察の対象としていない。

熱エネルギーの推定: 次に、この消磁に関与した熱エネルギーを見積もってみる。最近の62-II火口の噴気温度が200Cを下回っている(気象庁の熱赤外測定による)ことから推測すると、熱消磁がマグマの直接的な関与によって起こっているとは考えにくい。ここでは、熱水もしくは火山ガスの供給による蓄熱を仮定し、その温度範囲は300C程度以下であると考えられる。望岳台付近の火砕流堆積物の段階熱消磁実験(曾我, 1997)および、上澤(2008)・上澤(未公表データ)による十勝岳中央火口溶岩の段階熱消磁実験を参考にすると、常温から300C程度までの温度領域では、初期磁化の10~20%が熱消磁される。十勝岳の玄武岩質安山岩の初期磁化として、5~15A/m、岩石の比熱を900J/K/kgを仮定すると、観測された熱消磁に対応する蓄熱量は $10^{14} \sim 10^{15} \text{ J}$ となり、蓄熱率に換算すると、数10MWである。

熱供給の実体: 流体の圧力は、深さ200mの静岩圧(約4.5MPa)に膨張の原因となる過剰圧を加えたものに等しいと考える。ここでは、GPSによる地殻変動の結果(気象庁・他, 2009)を参考に、過剰圧を5MPa程度とし、静岩圧との和として10MPaを仮定する。地下での温度は不明であるが、気象庁の噴気温度測定を参考に、圧力源での温度を200Cと仮定する。蒸気表によれば、この温度圧力条件でH₂Oは圧縮水として存在する。この圧縮水が常温まで冷却して周辺の岩石を加熱すると考えると、観測された消磁をさせるためには、200Cの圧縮水が、 $5.0 \times 10^8 \sim 1.5 \times 10^9 \text{ kg}$ だけ蓄積されなければならない。対応する体積を求めると、 $5.7 \times 10^5 \sim 1.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ である。

まとめ: 繰り返し磁気測量によって、十勝岳の62-II火口直下に明瞭な消磁をとらえることができた。蓄熱率は数10MWと推定され、現在の62-II火口からの噴気放熱率と同程度と考えられる。2006年以降、十勝岳の噴気活動が弱まっており、ここ数年は低調に推移していることを考慮すると、現在進行している熱消磁は、火口からの放熱率が減少したことによる蓄熱として説明可能な量であり、必ずしも深部からの熱供給の増大を必要としない。

