

安達太良山沼の平で観測された顕著な全磁力変化

気象庁気象研究所 山本哲也
気象庁地磁気観測所 福井史雄
気象庁地震火山部 青木重樹, 森博一,
後藤進, 丹治幸子

Significant Change of Geomagnetic Total Intensity Observed in Numano-Taira, Adatara Volcano

Tetsuya YAMAMOTO¹, Fumio FUKUI², Shigeki AOKI³, Hirokazu MORI³, Susumu GOTO³
and Sachiko TANJI³

¹Meteorological Research Institute, JMA

²Kakioka Magnetic Observatory, JMA

³Seismological and Volcanological Department, JMA

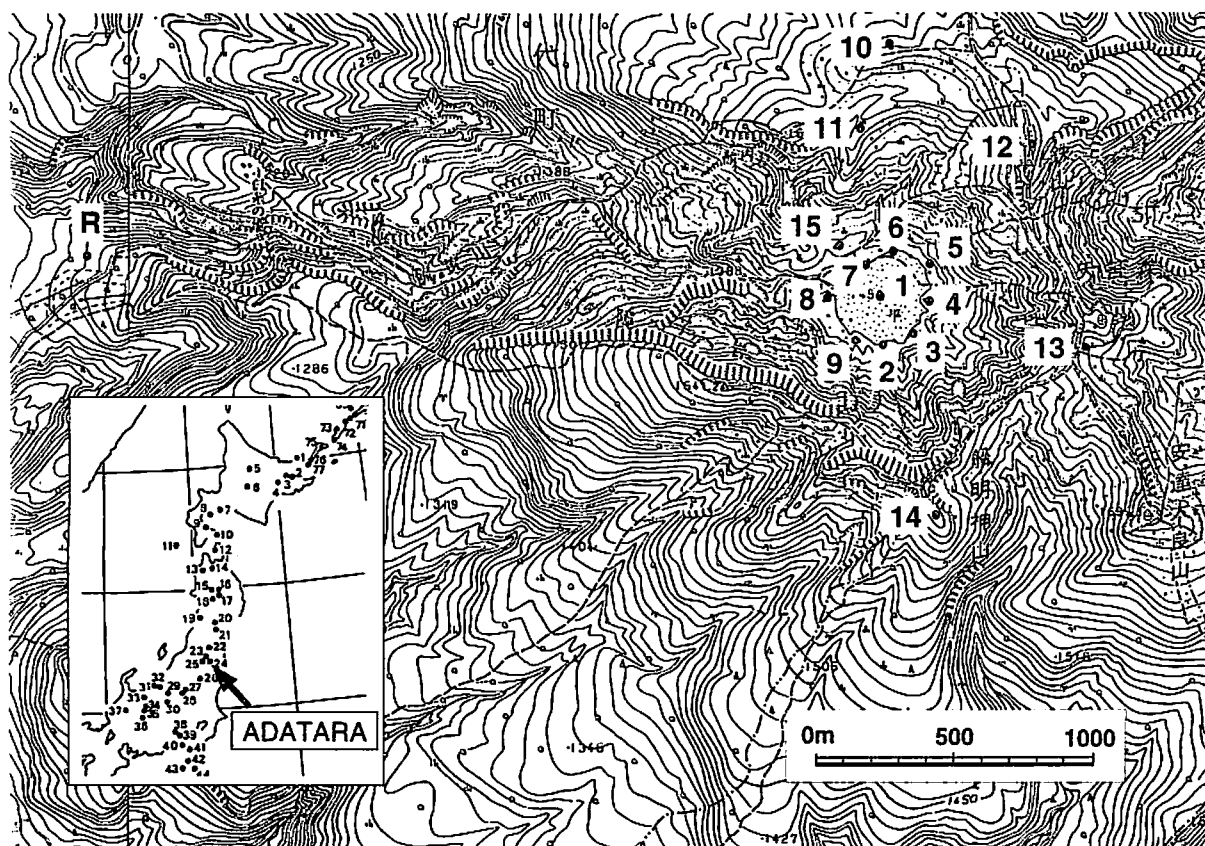
1 はじめに

安達太良山は福島県の中北部に位置する活火山で、玄武岩、安山岩の成層火山群である¹⁾。歴史に残る安達太良山の噴火は、すべて沼の平火口で発生した水蒸気爆発である。特に明治の1889年から1900年にかけては活動が活発化して、1900年7月17日の爆発的噴火で長径300m、短径150m、中央部付近の深さ40mの火口を作った。このときの噴火は、沼の平にあった硫黄鉱山で72人の死者を出し、また発生した火砕サージによって、沼の平から硫黄川を西に1kmほど下ったところにあった元の沼尻温泉では、樹木、建物に被害を与えた。

安達太良山沼の平火口は、その後近年まで目立った火山活動もなく、比較的静穏な状態であったが、1995年からはときおり火山性微動が観測されるようになっていく。これは気象庁が観測を始めた1965年以来的ことであり、活動レベルがやや上昇したことを示すと思われる。1996年の6月には、沼の平火口の中央部での泥水噴出が確認され、以後現在まで、火口の中央部とその北側の数カ所の噴出口で、時々場所をかえながら泥水噴出が継続している。また、沼の平火口の南部では噴気の活発化や、噴気地熱地帯の拡大もみとめられている。

火山活動にともなう地磁気の変化が存在し、それが火山体内で進行する現象をさぐる有力な手がかりになることは、今日、広く認識されている。近年だけでも阿蘇²⁾、雲仙³⁾などの例が報告されている。地磁気変化の原因、ひいては地下で進行する火山活動の様子を探るには、地磁気の時間変化をとらえることとともに、変化の空間分布を明らかにすることが重要である。

気象庁では火山機動観測を、1997年7月から11月にかけて安達太良山で実施し、その中で、震動観測、GPS観測などとともに、沼の平火口付近での地磁気全磁力繰り返し測量を行った。ここでは、測量から明らかになった顕著な地磁気変化と、そのモデルについて述べる。



第1図. 全磁力測量点(1-15)と参照観測点(R)の位置

2 観測

全磁力測量は、第1回を1997年7月30日から8月1日の期間に、第2回を1997年11月6日から7日に実施した。

観測点の配置は第1図のようにになっている。測量点は全部で15点あるが、沼の平火口の火口底(site 1-9,15)と、火口を取り囲む尾根上(site 10-14)に配置した。また、日変化等の補正に用いる全磁力の連続観測を、沼の平火口から2.5kmほど西の参照点Rで行った。

参照点では、野外観測用のプロトン磁力計を用いて、測量期間中、毎分00秒の連続観測を実施した。

各測量点では、携帯用のプロトン磁力計を用いて、センサー中心の高さを測量杭上2mとして、10秒間隔で5分間の全磁力測定を行った。また、鉛直傾度を求めるために地上高1.5mでの測定も10秒間隔で2分程度行った。

地磁気測量では、測定の精度を維持するためには、測量点付近の磁場傾度が小さいことが重要である。そのため、測量点を設置するにあたって、あらかじめ水平方向の傾度を測定した。

火口底の各測量点の水平方向の傾度は、東西方向、南北方向とも1mあたり数nT以下の点がほとんどであった。火山地域としては傾度が小さく、測定器の再設置誤差の影響はあまりないと予想される。それに対して火口周辺の尾根上の点では多少大きくなっている。とはいえ、最も傾度の大きなsite 12でも1mあたり20nT程度である。

また、いくつかの測量点 (site 1,7,9,10) では夜間から翌日にかけて、半日から1日の毎分00秒値の連続観測を実施して、短周期の磁場変動が、測量点と参照点の差にどの程度の影響を及ぼすかを調べた。たとえば、1997年11月5日から6日にかけて行った、沼の平火口の中央に位置する site 1 の連続観測と、参照点での連続観測の差をみると、柿岡の K-index が5となるような比較的大きな擾乱があったにもかかわらず、2点の差の変動は1nT以下であった。他の点でも同様の結果が得られている。地磁気の短周期変化が測量に及ぼす影響も、この程度であろうと推定している。

3 観測結果

各測量点の全磁力値は、47000nT程度であった。

データ処理として、まず、各測量点で測定した10秒間隔の値を平均して毎分00秒の値を求めた。5分間の測定で、5個の00秒値が得られる。次に、これを参照点で毎分00秒に行っている連続観測値と比較した。この5個の差の平均から、測量点と参照点の地点差を求めた。その標準偏差は、ほとんどの場合0.2nT以下であった。この測量点と参照点の地点差から、各測量点間の地点差を計算することができる。

さて、火山活動にともなう地磁気変化を検出するのが我々の目的であるが、2回の測量の間の差には、火山活動とは無関係な季節変化などが混入するおそれがある。そこで site 10 を基準にして各測量点の時間変化を表すことにした。すなわち site 10 は変化がないと仮定したことになる。site 10 は、沼の平からもっとも北に離れた点であり、沼の平の下部に原因のある地磁気変化の影響を受けにくい点であると考えている。

実施した2回の測量の間で生じた全磁力変化を第2図に示した。沼の平火口南部の変化はすべて減少で、特に site 2,3 の変化はそれぞれ -11.8nT、-17.3nT であった。沼の平火口北部の変化はすべて増加で、site 5,6,7 の変化はそれぞれ 4.3nT, 5.3nT, 5.7nT であった。これに対して沼の平を囲う尾根上にある測量点では、site 12 を除けば1nT未満の変化であった。なお、site 11 では悪天候のため11月の測量は実施できなかったため、この期間の変化は得られていない。

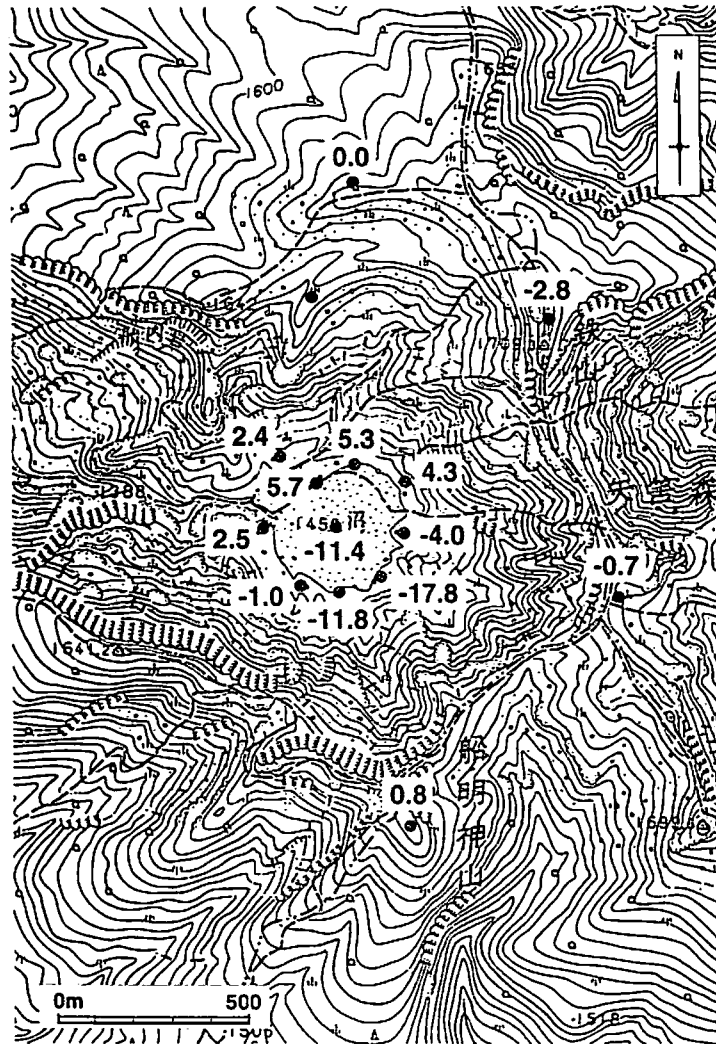
観測されたこの期間の変化は、沼の平南部で減少、北部で増加という分布をしている。安達太良山のような活火山の岩石は、概ね現在の地球の磁場方向の磁化をもっているとみなしてよい。したがって、この測量で明らかになった全磁力変化の分布は、沼の平下部の岩石が磁化を失ったとき（消磁したとき）に期待される変化である。

4 モデル

沼の平下部の岩石が、現在の地球磁場方向の磁化を持つとして、どのような領域が消磁したのかを、簡単なモデルを用いて検討した。用いたモデルは、消磁領域が球形であるとしたモデルと、消磁領域が水平な円盤（もしくは垂直な円柱）であるとしたモデルである。

球モデルで作られる地磁気変化は、双極子磁場そのものであるなので解析的に求めることができる。円盤についても解析的な解⁴⁾はあるが、ここでは初等関数で計算のできることから、円盤を角柱に細分化して近似的に地磁気変化を求めている⁵⁾。岩石の磁化はごく普通の安山岩を想定し1A/mとした。また地磁気の伏角、偏角は、50.74°、-7.17°とした。

それぞれのモデルについて、どのようなパラメータを与えた場合、測量でえられた全磁力変化をもっともよく説明できるのかを、最小自乗法で調べた。第1表にまとめたのが、求められた最良



第 2 図. 沼の平火口周辺の各測量点で観測された、1997 年 7 月から 1997 年 11 月までの全磁力変化.

モデルのパラメタである.

球モデルでも円盤モデルでも水平方向の位置は、沼の平中央に位置する site 1 の東 57m および 59m と、ほぼ同じ場所に決っている. 推定誤差は 5m 程度である. 中心までの深さは、球モデルで 120m, 円盤モデルで 76m となった. 推定誤差は、それぞれ 23m と 9m ほどである. 深さに関してはモデルの形状の影響が大きいようである. 消磁領域の大きさは、球モデルでは半径 52m, すなわち体積 $5.9 \times 10^5 \text{m}^3$ であり, 円盤モデルでは、半径 97m, 高さ 12m, 体積 $3.6 \times 10^5 \text{m}^3$ となった. 円盤モデルの消磁領域の体積は、浅いところに位置するために小さくなっている.

モデルから計算される全磁力変化の大きさと、測量でえられた全磁力変化の大きさは、site 12 を除けば、1nT 以下の差で一致していた. 測定器の再設置誤差や地磁気の短周期擾乱の影響などを含めた測定誤差は 1nT 程度であると考えられるので、これらのモデルは、単純なものであるにもかかわらず、観測された現象を非常に良く説明できるモデルだといえる. なお、ふたつのモデルを比較すると、パラメータの数を考慮して正規化した RMS が、球モデルで 1.5nT, 円盤モデ

第 1 表. 消磁モデル (球, 円盤) のパラメタ.

	球	円盤
中心の位置	site 1 の東 57m	site 1 の東 59m
中心の深さ	120m	76m
大きさ*	半径 52m	半径 97m
		高さ 12m
体積*	$5.9 \times 10^5 \text{ m}^3$	$3.6 \times 10^5 \text{ m}^3$

* 磁化を 1A/m として

ルで 1.4nT であるので, 円盤モデルのほうが幾分すぐれたモデルということになるが, その差はわずかである.

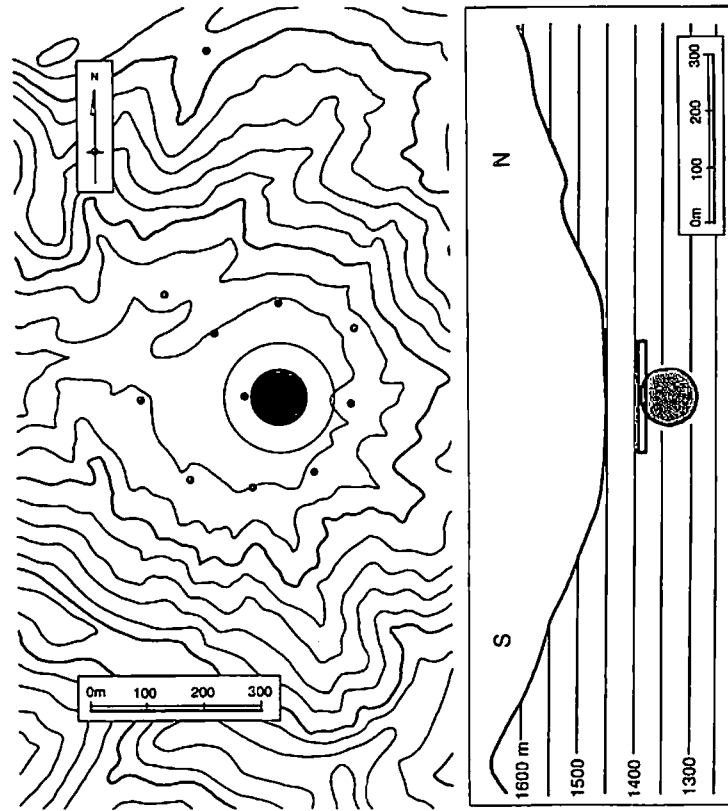
求められた消磁領域の位置を第 3 図に示した. 消磁領域は沼の平火口の東部に位置することがわかる. どちらのモデルでも, 消磁領域の最上部までの深さは, 約 70m ほどである. 明治の噴火で形成された火口は, その後周辺の火口壁から流入した土砂に埋められたと考えられるが, 現在の沼の平の火口底の高さは, 明治の噴火直前の高さとほぼ同じである推定されるので, ここでえられた消磁域の深さは, 明治の噴火で形成された火口の深さ (40m) よりも少し深部に位置することになる.

また, それぞれのモデルについて, 沼の平火口の火口底の高さで期待される全磁力変化の分布を第 4 図に示した. どちらのモデルを用いても観測された地磁気変化がよく説明できることからわかるように, 黒点で示した測量点の位置における, それぞれのモデルの変化量は概ね一致している. しかしながら減少の目玉ができる火口南東部の変化の様子は大きく異っている. 球モデルでは火口中央の近くに目玉があらわれ, 最大変化量として -45nT ほどが期待されるのに対し, 円盤モデルでは目玉が南東の火口壁に近い場所にでき, 最大変化量も -32nT ほどである. これらの最大変化量は, 実際の測量でとらえられた最も大きな変化 (site 3 での -17.3nT) に比べて 2 倍から 3 倍大きな変化である. 消磁領域のモデルをさらに限定するためには, このような大きい変化の生じる場所での測定が不可欠であると思われる.

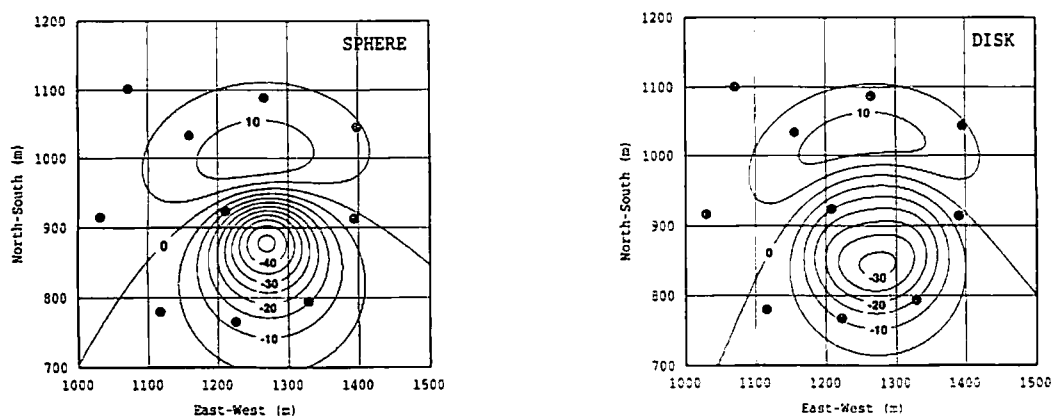
5 考察

火山活動に伴う地磁気変化の原因としては, 地下の岩石の温度変化による磁化の喪失・獲得 (消磁・帯磁) や応力場変化に伴うピエゾ磁気効果が有力である. 同時期に実施した機動観測の震動観測結果から火山性地震活動は比較的低調であったという事実があり, 今回の測量で明らかになった地磁気変化の場合, ピエゾ磁気効果が地磁気変化の原因であったとは考えにくい. したがって地下の温度上昇による岩石の磁化の喪失または減少が地磁気変化を引き起こしたと考えられる.

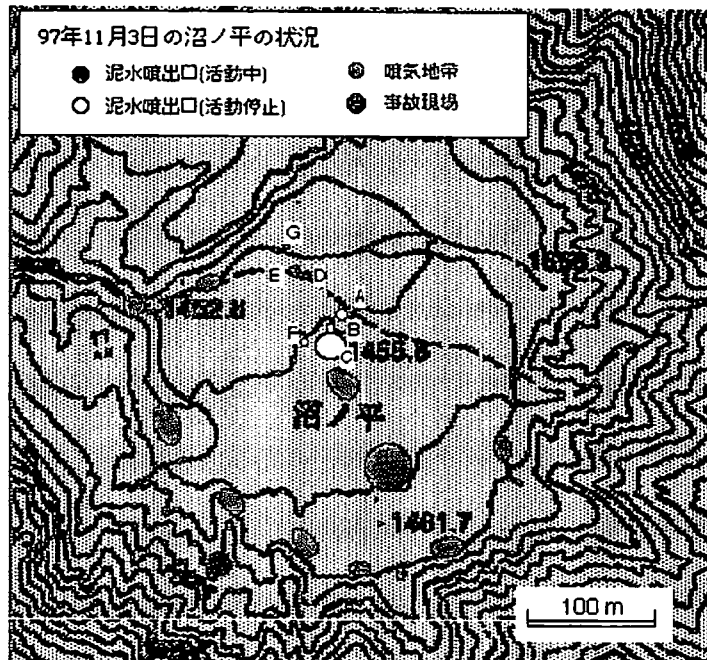
1996 年の夏以後, 場所を変えながら継続している泥水噴出は, 沼の平火口の中央とその北側に分布している第 5 図. また, 噴気も活発化しているが, その位置は西から南東にかけての火口の南縁に多く分布する. 今回の測量で推定された消磁領域付近は, 泥水噴出や噴気といった火山活動が認められない場所である. また, 1996 年から 1997 年にかけての冬季に上空から撮影された



第 3 図. 消磁域の球モデルと円盤モデルの位置. 左図は, 平面図で, 小さな黒点は測量点の位置を示す. 右図は, 消磁域の中心付近を通る南北断面図.



第 4 図. ふたつの消磁モデルから推定される地表付近での全磁力変化. 球モデル (左) と円盤モデル (右). 黒点は沼の平周辺の測量点の位置.



第 5 図. 沼ノ平火口の 1997 年 11 月 3 日における活動状況. 地質調査所環境地質部火山地質研究室ホームページ (<http://www.aist.go.jp/GSJ/dEG/sVOLC/adatara2.html>) による.

写真でも、火口底の南西側は積雪がなく地温が高いことをうかがわせるのに対して、推定された消磁領域付近には積雪があり、地温は高くはないと思われる。

これらを考え合わせると、1997 年 7 月に第 1 回の地磁気測量を実施した時点では、沼の平火口の西側（南西側）の地下は高温であったものの、東側の地下は温度が低かったとみられる。その後、東側の地下にも熱水が供給され、11 月に第 2 回の測量を実施した時点では、温度上昇のために岩石が磁化を失っていたのだろう。地下に熱水が存在するにも関わらず、沼の平火口東部で地表の噴気や地熱地帯が見られないのは、消磁した領域の上部に緻密な層があり水蒸気などが地表にむけて供給されないためかもしれない。

6 むすび

1997 年 7 月と 11 月に実施した安達太良山沼の平火口周辺の地磁気全磁力測量から、火山活動に伴うとみられる顕著な地磁気変化を観測した。原因は、沼の平火口東部の地下数 10m から 100m ほどの深さでおこった熱消磁であると推定された。

現段階では、地下でどのような現象が進行しているのかは、ほとんど明らかにされていない。熱消磁があったとみられる深さは、様々な電磁気的手法が適用できる深さであり、今後の調査で地下の様子がよりの確に把握できるものと期待される。

参考文献

- 1) 気象庁, 日本活火山総覧, 156-161, 日本気象協会, 1986.

- 2) Tanaka, Y., Eruption mechanism as inferred from geomagnetic changes with special attention to the 1989–1990 activity of Aso Volcano, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 56, 319–338, 1993.
- 3) Tanaka, Y., Volcanomagnetic effects on the Unzen Volcano (1990–1992), *J. Geomag. Geoelectr.*, 47, 325–336, 1995.
- 4) Singh, S.K. and F.J. Sabina, Magnetic anomaly due to a vertical right circular cylinder with arbitrary polarization, *Geophysics*, 43, 173–178, 1978.
- 5) Bhattacharyya, B.K., Magnetic anomalies due to prism-shaped bodies with arbitrary polarization, *Geophysics*, 29, 517–531, 1964.