

地磁気変化から見た1989年の阿蘇火山活動

京都大学理学部火山研究施設 田中良和

1. はじめに

火山の活動にともなって、地中の温度や圧力が変動する。岩石磁気の研究から熱残留磁化、圧力磁化、粘性磁化、誘導磁化、力学破壊等、様々な原因で火山活動に関連した地磁気変化の生じることが期待できる。事実、いくつかの火山（伊豆大島、キラウエア）に於いてはこの関係が見いだされている。これら磁氣的性質のうち、温度変化に伴う熱磁化が最も大きく、阿蘇火山では重要かつ主要であると考えられる。阿蘇の火山活動は近年では1932-33, 1940, 1953, 1958, 1965, 1974, 1979, 1984-1985年等、数年から10年の期間をおいて活発になることが知られている。これらの火山活動に対して、目視観測をはじめ、地震、傾斜、伸縮、重力、水準、地磁気、温度、火山ガス、光波測量等の計器観測がなされてきた。

阿蘇カルデラ内では京都大学、地磁気観測所により十数年におよぶ繰り返し磁気測量がなされている。しかし阿蘇火山の活動に伴う明瞭な地磁気変化は検出されてない。これは阿蘇の火山岩の磁化が小さいためか、活動規模が著しく小さいか、観測点の配置やモデルを誤っているか、いずれにせよ火山噴火予知といった観点では方向転換を迫られる時期に来ていた。1989年春、筆者らはまだ、なすすべを知らない。しかし現実に火口底は赤熱しており、このまま再度冷却すればいくらかの磁場変化が検出されるのではないかと考えた。磁場変化は源からの距離の三乗に逆比例して減衰することを考えると、源に近づくことが明確な信号の検出に最良の策であると考えられる。そこで、火口の縁間にロープを張り、磁力計を吊り下げて計測することを計画した。この計画の一部として、まず中岳火口周辺部300m-1kmに磁気点を設け、1989年6月から火口近傍での繰り返し磁気測量を試みた。

火山活動が活発になると噴石が飛来し、極めて危険であるし、火山灰の堆積、土砂流出等が多く、必ずしも安定な位置ではない。このため従来から一度も繰り返し測定の対象とは考えなかった領域である。観測の結果は以下に示すごとく、時と地点の利を得て、火山活動に伴う明瞭な地磁気変化を観察できた。

2. 阿蘇中岳溶岩の磁氣的性質

最近活動している阿蘇中岳の溶岩は玄武岩質安山岩である。阿蘇中岳溶岩の帯磁率は太田によれば 10^{-2} emu/gである。しかしどのような岩石を測定したかの詳細な記述がなく、第一火口近傍に適用できるか否かは不明である。個々の岩石の磁氣的性質が判ったとしても、火口下を構成している物質の平均的な磁気の性質がもたらされるわけではないが、主要な岩石の磁気特性を知っておくことは大切である。この様な観

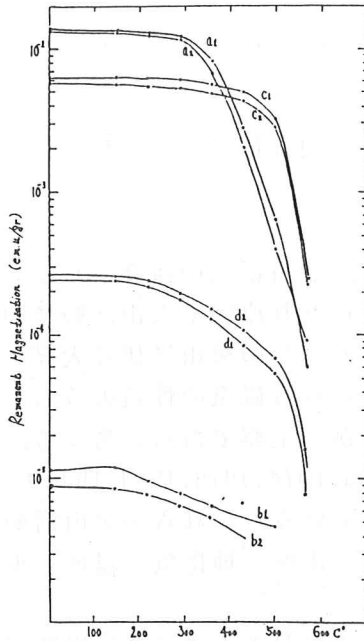


図1 阿蘇中岳火山岩の熱残留磁気

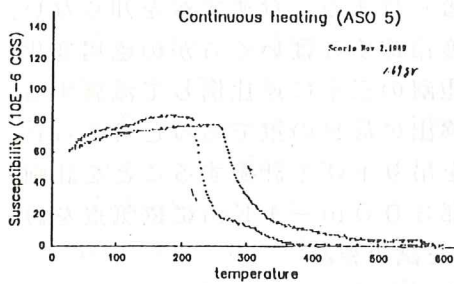


図2 スコリアの誘導磁化(Nov 2)

点から若干の岩石磁気的実験を行なった。図1は1989年11月7-8日に火口縁西に892火孔から放出された火山岩の熱残留磁化の温度特性を調べたものである。Aは発泡の多い黒色溶岩、Bは緻密な類質溶岩、Cは発泡のやや少ない黒色溶岩、Dは砂粒を練り固めたような灰色岩片である。磁化強度は 1.5×10^{-2} から 10^{-5} /gと3桁ほどに分布するが、いずれもマグネタイトのキュリー温度 580°C では完全に消磁される。また誘導磁化はTRMに較べて1-2桁小さい。この図では陽に示してないが、単位熱エネルギーあたりの磁化の変化量を読みとることが出来る。つまり地磁気変化を観測する立場では、どの温度が磁場変化として有効に作用してくるかが大切である。これはキュリー温度より低く、曲線の肩に相当する。

また図2に11月2日噴出のスコリアの誘導磁化の温度特性を示す。キュリー温度は磁気天秤の測定から 300°C と求まる。これは資料はやや異なるが、ウルボスピネルのチタン含有率が34%前後であることに調和的である(藤井敏嗣私信)。このように阿蘇中岳の磁化は意外に低温で変化出来るものであることが判った。つまり $200^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$ の低温領域で磁化は負の温度係数を持つと考えてよい。

3. 火口南観測点の磁場変化について

地上磁場観測を行なった場合、任意時の測定値には、電離層を流れる電流に起因する磁場が加わっている。火山活動に起因する磁場変化のみを検出するには特別な補正をする。これを化成と呼ぶ。

一番簡単な方法は、任意時に計測された磁場値から基準観測点の同じ時刻の磁場値を差し引くことでおこなう。これを単純差補正と呼ぶ。しかし詳細な議論を進めるには不十分である。力武は簡便法として重荷差法を提案し、松代地震に伴う磁場変化の研究に適用した。しかし 1nT 程度の磁場変化を抽出するには、まだ不十分であり、筆者は3成分化成法を提唱した(田中1978)。DAVIS(1979)らは同じことに気が付きKilaueaの噴火に関連した磁場変化の抽出に成功した。その後、D, H, Z, Fの4入力の予測フィルターを用いる方法に発展している(DAVIS 1981)。

図3はプロトン定常観測点、火口南(中岳火口の南1.3km)を南郷谷(火口の

南5 Km) を基準として、単純差及び鹿屋の3成分を用いて化成した結果である。

GP99は火口南、GP96は南郷谷である。手法は毎分のプロトン測定値の1989年について単純差として、毎日0時から3時59分の240個平均値を求める。また3成分補正值として、同時刻の鹿屋のD, H, Zの平均値との相関から求めた係数を単純差に補正する。この3成分を補正した図(最上部)は単純差(上から2段目)と比べて日々の変動が著しく少ないことは明瞭である。このことは筆者の提案した3成分補正法がきわめて有効であることを証明する。1989年3月21日に火口南観測点のセンサー箱が割られて、コブシ大の石が投入され、4月22日に撤去した影響は3成分補正では明確に表現出来る。この補正が正しいとすれば、3月から8月の間に、火口南で1nTの磁場の増加があり、9月から12月にかけて2nTの減磁のあった事がうかがえる。(火口南の変化であることは、別の観測地点との比較で確認できている。)この様に火口から離れた位置では今期の火山活動に起因する磁場変化は小さい。そして次節で述べるように、この変化は正しく南型である。

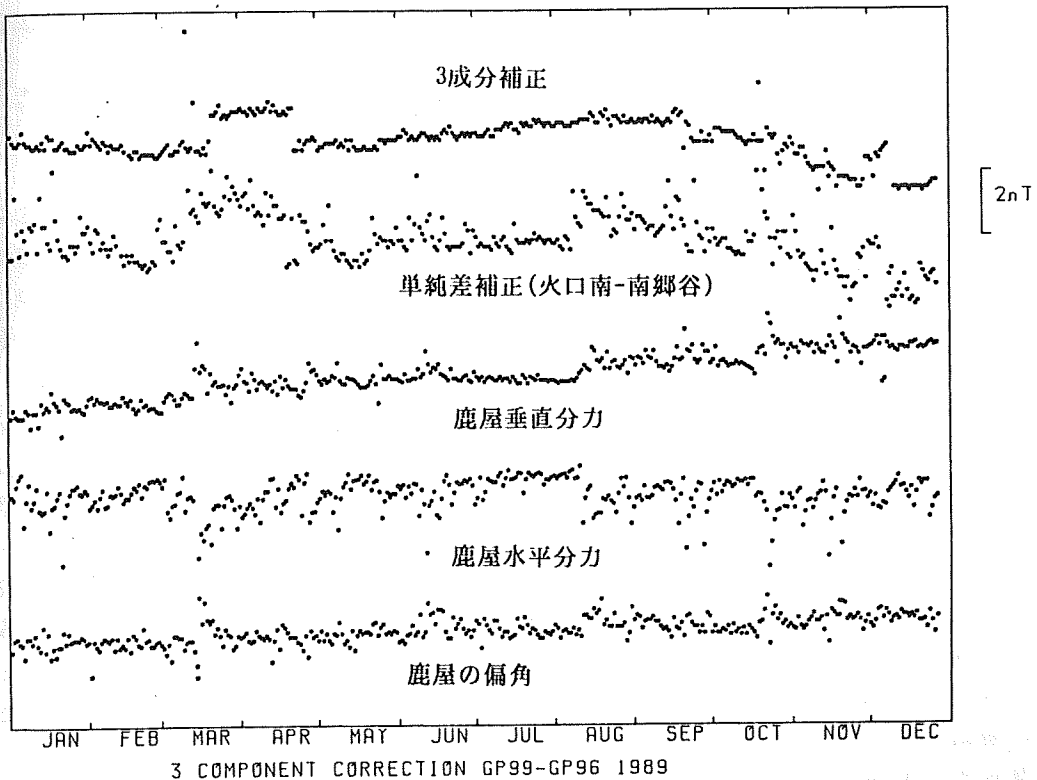


図3 3成分補正による火口南観測点の全磁力変化。

4. 火口近傍の磁場変化

阿蘇中岳火口近傍の繰り返し測定は、図4に示す地点で、地上高さ2.3mで、自作のプロトン磁力計P101型(分解能0.1nTの周期計測型)を用いて実施した。火口東部では観測開始時期が遅れたうえに、10月には火山灰の放出が多くなり北東部

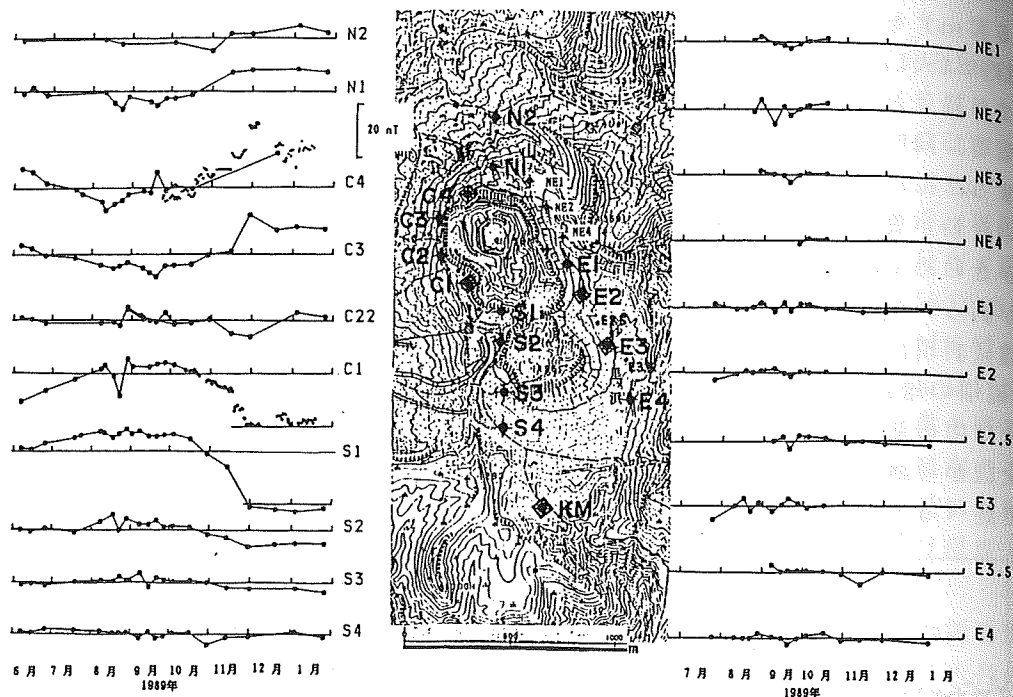


図4 火口近傍の繰返し磁気測定結果。火山研究施設に単純差で化成。

の磁気点は1 m以上埋没し測定不能になった。9月にはC1, C4, E2, E3の4地点で連続観測を開始した。これらの測定の結果を図4に示す。化成は火口の西方向7 Kmの火山研究施設の連続観測値に対して単純差で行なった。実線でつないだものは繰返し測定、点列で示したものは連続測定の夜間値である。E2、E3の連続値は今の所、有為な変化を認めないので省略している。

C2を境として、北と南で変化がほぼ対称であることが判る。変化量は最大30nTにおよび、C1, S1がほぼ同じ、そしてC3, C4も同じで、C2が節で変化なく、S2, S3, S4と火口から遠ざかるにつれて小さくなる。これは第一火口直下の浅い部分の熱磁気的变化で説明できる。

6月から8月の変化は磁化の獲得であり、10月-11月末の変化は磁化の消失である。この磁場変化と火口の表面活動を対比して考察すれば下記のごとくである。6月上旬、火口底の5割程度に赤熱部が見られ、比較的小さな噴気孔が散在していた。6月11日には火口底中央部に明瞭な開口を認め、891火孔と命名された。この開口に伴って赤熱部は891火孔に集中し、6月下旬には891火孔ただ1点になった。時折、火山灰を放出するが少量である。火炎高さは10-15 m程度で、赤外温度計により500度前後が観測されている。7月16日噴煙量が中量になったため1回目の噴火を発表したが、噴石の放出は認められていない。

当初、表面活動は活発化を呈しているのに磁場変化が帯磁傾向を示すことは驚きであった。これは火口底の温度が下がる事を示す。しかし、よく考えてみると、この期間の磁場変化は、891火孔の開口により、火口直下にこもっていた熱が開放さ



図5 300m深さのダイポールフィールド。

である。11月28日夜間の噴火を最後に地震活動は穏やかになる。火口はやや閉塞きみである。今までと同じ熱の供給があれば、熱消磁が進行する。しかし12月以後の磁場変化は、熱の供給が減じ、熱放散が卓越して静穏化に向かうことを示している。そして、地震活動は穏やかになったが、地磁気変化から見ると、まだ加熱状態を保っていて、水が作用すれば水蒸気爆発を起こす危険がある等の知見を得ることができた。なお、C4点の記録に乱れが目立つ。これは火山灰の不等堆積、流動によるものと思われる。繰り返し測定の個々のばらつきは、センサーの垂直設置誤差、と化成誤差が考えられる。

火山活動の状況は、筆者の観察によるほか、阿蘇山測候所や第一火口周辺に設置されたカメラで良く観察されている。詳細は地質ニュース（池辺、小野）に報告されている。

さて数地点での磁場観測から少し具体的なモデルを考察する。

れ、火口底表層部および火道周辺のやや遠くの温度が下がり、熱残留磁気を獲得したものと考えると説明できる。しからば、この帯磁傾向が停止したとき本格的な火山活動に移行するものと考えられた。8月中旬から10月初旬は磁場の変化は小さく、火道からの熱の供給と放散がほぼ平衡していたものと考えられる。891火孔は安定に存在し、火炎現象、噴煙活動を繰り返していた。しかし9月下旬には火炎高さも50mに達することが多くなり、火山活動の高まりは顕著であった。そして磁場変化は明瞭に消磁に転じた。10月から11月末は熱の供給が過大となり、火山活動は極めて活発である。10月8日891火孔近傍に新しい火孔を生じ892火孔と命名された。892火孔からはスコリアを放出し、891火孔を取り込み急速に拡大し、火口底の物質を破碎し火山灰、噴石として噴出した。この物質欠損は熱残留磁気および誘導磁氣的に消磁効果を及ぼすため、変化の全てが温度によるものではない。11月17日、11月26日の急変化は後述する爆発による変化

ここでは熱により消帯磁を生じるものとする。簡単化のため球体部の磁化を考えると、その中心に置かれた微小ダイポール磁場に等価である。偏角を西6度、伏角48度、全磁力48000nT、帯磁率 $10^{-2}/\text{CC}$ とすれば、第一火口下300m深さに置かれた半径50mの球体積と等価なダイポール磁場による帯磁センス時の地表面に於ける全磁力変化は図5に示される。傾向を示す図で、全体の値の比例関係の違いは帯磁率、体積で調整して考え、消磁の場合は符号を反転する。C4, C3, C2, C1, S1, S2, S3, S4の磁場変化は南と北の比にやや誤差があるものの、おおよそ図のモデルで説明出来る。しかし火口南観測点とS1の比率は500m程度の深さがないと説明できない。複数の源を置いたり、形状を変えることで近似を高めることは可能である。いずれにせよ、比較的浅い部分の磁化の変化を観測したことを示す。これは数カ月-1年程度の短期間の観測で検出できる磁場変化は地下水の関与した熱輸送が主となる領域に限定されることを想定すれば調和的である。

11月17日、26日の爆発に伴う磁場変化も観測できた。ピエゾ磁気変化より力学的破壊によって磁化の方向がランダム化され平均的な磁化を失ったと考えられる。

以上、阿蘇中岳火口近傍の磁場観測から従来得られなかった火山活動に関する知見を得た。特に、阿蘇山では初めて明確な火山活動に伴う地磁気変化が観測され、火山活動監視のために役立てることが出来た。磁場化成の問題については、広い領域での永年変化、時間変化の観測が不可欠であり未解決の問題を残すが、さしあたり筆者により提唱された3成分化成法が、阿蘇地域に有効であることが示された。

おわりに

この研究を進めるにあたり東京大学地震研究所電磁気グループから磁力計を借用し歌田久司、下村高史氏には観測を手伝って頂いた。岩石磁気の測定は京都大学地質学教室の鳥居雅之氏に全面的にお世話になった。火山研究施設の各位には常時、資料の提供、議論でお世話になった。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

DAVIS et al. Tectonomagnetic detection using predictive filtering. JGR, VOL. 86, NO B3, 1731-1737, MARCH 10, 1981

Davis, P.M.: Tectonomagnetism. Rev. Geophys. Space Phys., vol. 21, no3, 685-693, 1983.

池辺伸一郎、渡辺一徳。阿蘇火山中岳の最近の活動。地質ニュース。1990 2 P6-14
田中良和、他。阿蘇火山地域での全磁力測量。阿蘇火山の集中総合観測報告。PP31-39, 1978.

YUKUTAKE et al. Changes in the Geomagnetic Total Intensity Observed before the Eruption of Oshima Volcano in 1986. J.G.G. Vol. 42, no3, 277-290.