

雲仙火山噴火にともなう 地磁気変化 (1991年)

田中良和 (京都大学理学部) ・ 大学合同観測班

1. はじめに

(1) まえがき

火山活動に伴って地磁気に変化することは、よく知られている。おもに、火山岩の磁化が火山の熱で変化するためと考えられるが、マグマの貫入等により火山岩が歪を受けることによる、ピエゾ磁気効果や流動電位による磁場変化も知られている。地殻の歪は水準測量や傾斜観測あるいは、伸縮、辺長測定などによっても検出できる。また、流動電位は地表での電位測定も可能である。しかし、地下に於ける熱の動きは地表面では捉えるすべがない。この意味で地磁気の観測は大切である。事実、地磁気観測は、近年の伊豆大島 (笹井ほか、1990; 浜野ほか、1990)、阿蘇 (田中、1992)、草津白根山 (山崎ほか、1991) における火山活動に際して、その動向を知る上で重要な役割をはたしてきた。1990年に始まる雲仙火山の火山活動において、京都大学は活動の初期から山頂部にプロトン磁力計を設置し、地磁気全磁力の連続観測を実施してきた。その結果、地獄跡火口の近傍における地磁気全磁力変化は、ドーム形成期に100 nTを超え、その後も変化を続けて、1992年2月までに約170 nTにおよぶ極めて大きな変化量に達する結果を得た。噴火はすでに1年を超えたが、溶岩の流出はとどまる事なく持続し、地磁気変化にも鎮静化の兆しは見られない。

尚、我々の観測を補う形で、気象庁は地獄跡火口からやや離れた位置にテレメータ式のプロトン磁力計を設置して地磁気変化を常時監視するとともに、繰り返し観測を実施している。本来、双方のデータを良く吟味して総括的な結論を導き出すべきであるが、未だ、その機会を得ない。ここでは火山噴火予知連絡会などに報告された観測資料は念頭に置いた上で、主として我々の観測結果に基づいて考察を行なった。

(2) 地磁気の化成法について

ここで、地磁気全磁力の化成 (Reduction) について簡単に触れておく。地殻内部に起因する磁場を抽出するには、外部磁場を取り除かねばならない。外部磁場変化は赤道環電流や中緯度を中心とするSq電流あるいは極光帯を流れる極光ジェット電流等の電離層電流によってもたらされる。地表の近接した観測地点では、これらの作る磁場強度は、ほぼ等しいと考えられる。しかし、火山岩の磁化などにより、地表の各地点では主磁場の方向や大きさが異なっている。このため、外部から一様な変化磁場を加えても、その合成ベクトルの大きさは同じ変化をしない。プロトン磁力計では、ベクトル

大学合同電磁気観測班

橋本武志・増田秀晴 (京都大学理学部)

行武毅・歌田久司・笹井洋一・鍵山恒臣・増谷文雄

(東京大学地震研究所)

半田 駿・鈴木亮 (佐賀大学教養)

村上英記 (高知大学理学部)

山田功夫 (名古屋大学)

三品政明 (東北大学)

西田泰典 (北海道大学理学部)

茂木 透 (九州大学工学部)

下泉政志 (北九州職業訓練大学校)

ルの大きさしか測れないから、2地点の差分をとっても差が残る。この値は数nTに達することは希ではない。少しでもこの誤差を減らすために、Sq磁場変化の小さい夜間の値を用いたり、磁気嵐の生じている期間を除外して考察するなどしている。それでも尚、赤道環電流や、数カ月から数年にわたる地球ダイナモの揺らぎによる影響も、同様の理由で除去しきれない。つまり、プロトン磁力計は簡便で、長期安定性に優れてはいるが、スカラー量しか測定出来ないのも、数nT以下の地殻浅部に起因する磁場の検出に最適であるとは言えない。簡便で安定なベクトル観測の手法が開発されるべきである。しかし、スカラー測定であっても、化成法を工夫する等して可能な限りベクトル誤差を小さくし、解釈にも十分な注意を払うならば、1nT程度の議論は不可能ではない。微小変化の不注意なデータの取り扱い、誤った解釈を与えかねないから注意すべきである。筆者らが明瞭な信号を観測しようとして、火口に接近する理由はこの点にある。1nT程度の議論をするには機器の精度はすでに解決されていると考えてよい。しかし、解析手法も考慮した上で、例えば、偏角や伏角が一致する観測地点を選ぶなり、島原半島内に地磁気三成分の観測拠点を設けるなり、それなりの配慮が必要である。

本稿では、誤差を生じることを承知の上で、化成の基準として、雲仙の東方、約73kmに位置する京都大学火山研究施設構内のプロトン磁力計を主として用いた。

(3) ダイポール磁化の作る全磁力変化について

本稿の理解を助けるため、微小な磁気双極子が地表面に作る磁場変化を考察しておく。磁気モーメントMによる磁界は、 $K = 1/4\pi\mu$ 、座標の原点をMの中心にとれば、MK S単位系で、

$$H_r = K \cdot 2M \cdot \cos\theta / R^3$$

$$H_\theta = K \cdot M \cdot \sin\theta / R^3$$

であたえられる。

ここに、 μ は透磁率、 θ はMと観測地点のなす角度、RはMの中心からの距離、 H_r 、 H_θ は観測地点での磁界のr、 θ 方向の成分である。

図1の例は阿蘇火山を想定して計算されたものであるが、雲仙火山においても定性的には同じである。帯磁強さが 10^{-2} emu/ccの半径50mの球に等価な体積の磁気モーメントが火口直下300mに置かれ、磁化方向は北で、伏角48度、地磁気強度は48000nTとしてある。コンターの数字はnT、格子は100m単位である。磁化が失われた場合は磁気異常の符号が反転する。図には示されていないが、さらに北側では弱いプラスの異常が現われる。伏角が45度に近い場合、ソースが浅いと、北側のマイナスの異常は東西に引き延ばされ、プラスの異常は南北対象になる。また、ソースが上方にあると、図の南北を裏返したような磁気異常が現われる。このような場合は、今までほとんど注意されていなかったが、今期の雲仙のように山頂部にドームが出現し、観測地点が下方に来る様な場合には、このことに注意しておかないと解釈を誤る。

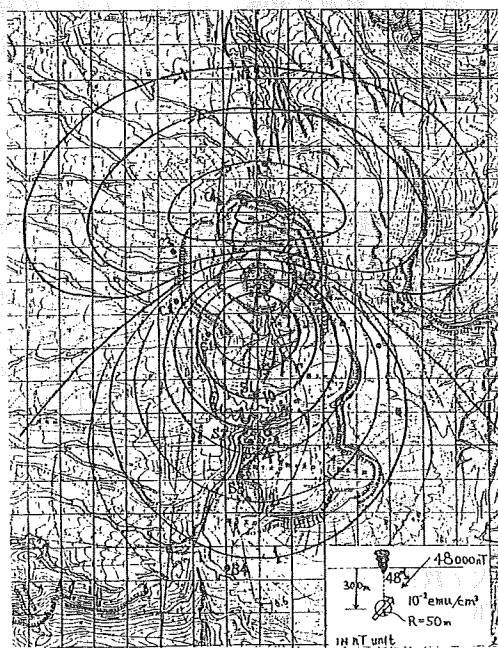


図1 北半球の中緯度において、
双極子が地磁気全磁力におよぼす変化

(4) 雲仙岳溶岩の磁氣的性質について

地磁気の観測から火山活動にともなう地下の消磁の大きさが求められる。もし、平均的な溶岩の帯磁の強さや温度依存性が判れば、直感で捉え易い体積に換算できる。地下に存在するままの帯磁の

様子は、磁気測量などによって推定できる。古くは、依田(1939,1954)により眉山の帯磁率が 10^{-3} ないし 5.7×10^{-3} emuと見積られている。半田、田中(1989)は雲仙岳の地上磁気測量を行い、磁気異常を説明するために山体の帯磁を考察した。これによると雲仙岳周辺の平均帯磁は 0.7 A/m程度であるが、普賢岳は一桁小さく、南と北に 2.5および 4 A/m程度のダイクが貫入している可能性のあることを指摘している。また、地質調査所の中塚は1991年夏の航空磁気測量資料に基づいて、雲仙火山の磁化強度を2.9 A/m ($1 \text{ A/m} = 10^{-3} \text{ emu/cc}$)程度と推定した。一方、筆者らは、普賢岳周辺で数種類の古い溶岩を採集し、その磁性を測定した。交流消磁や加温特性は十分には調べてないが、常温における磁化はおおよそ 4 A/m程度が得られている。中塚の結果にやや符合しないのは、筆者の資料が密度の大きいものに偏っている可能性がある。本稿では平均の帯磁率を3 A/mとして取り扱う。

2. 島原半島における地磁気繰り返し観測

2-1. 1985年を基準とした島原半島の地磁気変化

筆者ら(京都大学、佐賀大学)は、1986年の雲仙岳火山総合集中観測の一部として、島原半島に地磁気全磁力の繰り返し観測点を整備した。当時、対象とするべき火山磁場現象の把握は十分ではなかった。200年に一度の火山活動を対象とするには観測が永続できるか不安であったし、島原地溝や千々石断層の活動に伴う地磁気変化などを対象とするには、現在の地磁気繰り返し測定技術は未熟であった。従って、図2に示した磁気点の配置は、確固とした信念に基づいて設置されたものではない。初回の磁気測定は1985年夏に9地点で、第2回目は1986年11月に実施した。

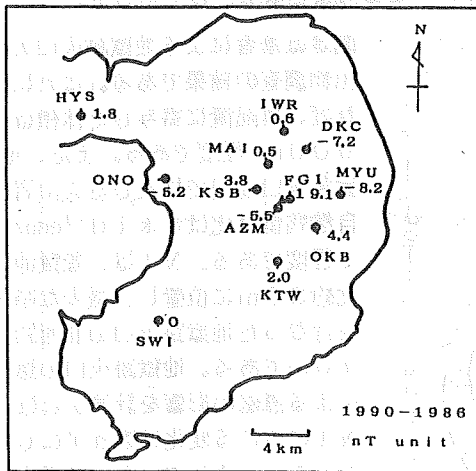


図2 島原半島に於ける繰り返し磁気点位置図

京都大学のP100型(自作)および佐賀大学の739B型(測機舎)を用い、地上1.5mでのプロトン磁力計による全磁力測定である。成果は、表1に示してあるが、初回と2回目を比較して、特筆すべき磁場変化は検出されていない。万が一を考慮して、2回目の時点で、普賢岳の薊谷と普賢池に磁気点を新設しておいた。以後、1990年12月に至るまで、再測定はなされなかった。

1990年夏以来、島原半島西部の深い位置で地震活動が盛んになり、東方の浅い部分に移行した。そして、1990年11月に普賢岳は、九十九島火口および地獄跡火口で噴火した。幸いにも、噴火地点は普賢池をはずれており、普賢池磁気点は健在であった。このため、1990年12月に第3回目の磁気測定を行なった。その結果、普賢池磁気点において19 nT、また、他の数地点においても有意な磁場変化が検出された。そこで、1991年1月に4回目の磁気測定を行い、これらの磁場変化の真なることを確認した。これらの磁気測量の成果は、まとめて表1に示した。また、磁気点の配置は図2に示してある。

2-2. 普賢池磁気点の磁場変化について

雲仙地溝に位置する磁気点の磁気異常は今後検討するとして、山頂部の普賢池磁気点(図7のN1)の19 nTにおよぶ地磁気変化を考察してみる。N1でプラスの磁場変化が観測されたので、消磁の場合を考えれば、その源は観測地点の南にあると考えられる。第一に考えられることは、地獄跡火口の小爆発の影響である。噴火前には整然と自然残留磁化を有していた地表近くの火山岩の磁化は、水蒸気爆発によって上方に吹き上げられた後、再び落下すると乱雑な方向を向くために、全体として

の磁化が弱くなってしまいます。爆発の体積と、自然残留磁化の概要が判れば、この効果を推定できる。

1991年初期において、双方の火口ともに、噴煙はなく、ほとんどが水蒸気であった。九十九島火口は、直径、深さともに10mに満たない火口で、比較的低温の水蒸気を強く噴出していた。一方、地獄跡火口は九十九島火口に較べると、はるかに爆裂の勢いは強く、人頭大の岩石が50mあたりにまで飛散していた。

	1985 JUL. 14-16	1986 NOV. 01-02	1990 DEC. 06-07	1991 JAN. 06-08	1990 -1986	1991 -1986
D K C (大学研究センター)	-705.7	-704.6	-711.8	-709.5	-7.2	-4.9
M Y U (圓山口)	1298.2	1298.5	1290.3	1289.9	-8.2	-8.6
I W R (魚院川ダム)	-521.4	-522.6	-522.0	-524.1	+0.6	-1.5
O K B (大野水坝)	-264.6	-264.7	-260.3	-262.1	+4.4	+2.6
K T W (上磯石)	715.7	719.5	721.5	718.6	+2.0	-0.9
M A I (興島南西)	-555.3	-561.2	-560.7	-560.0	+0.5	+1.2
K S B (九十九島火口)	-900.8	-900.6	-896.8	-898.0	+3.8	+2.6
O N O (神山少年の家)	-593.6	-589.5	-594.7	-595.5	-5.2	-6.0
H Y S (日吉神社)	-304.9	-306.7	-304.9	-308.2	+1.8	-1.5
F G I (普賢池)	*****	-709.3	-690.2	-692.9	+19.1	+16.4
A Z M (興島)	*****	-1329.4	-1334.9	-1335.9	-5.5	-6.5
S W I (興島の池)	*****	0.0	0.0	0.0	****	****

(unit in nT)

表1 島原半島における地磁気繰返し観測の値。諏訪の池磁気点を基準として示した。

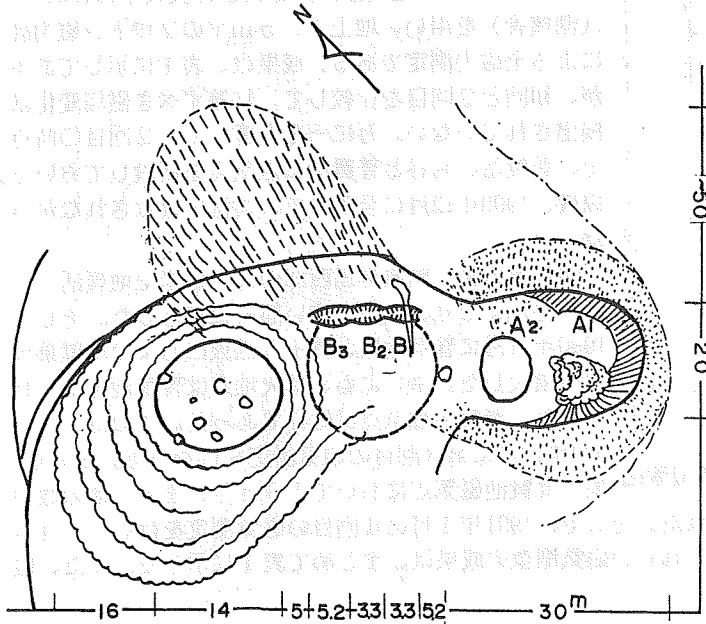


図3 1991年1月における地獄跡火口の噴出物調査の概要

図3は筆者による地獄跡火口の噴出物調査の結果である。これによれば、再配置に寄与した体積は4000m³程度である。また、地獄跡火口周辺で採集した火山岩の自然残留磁化は 4×10^{-3} emu/c程度である。N1は、普賢池の北約30mに位置し、微少な噴火を行なった地獄跡火口の北西約170mである。地獄跡火口の爆裂による消磁の影響を計算すれば、N1における変化は数nTにしかならない。まして、九十九島火口の爆裂の影響は400mも離れるから問題にならない。この様にN1の地磁気変化は、地獄跡火口や九十九島火口の表面の小さな水蒸気爆発によるものではなく、地下のより大きな消磁(おそらく熱消磁)に起因するものと考えられた。

この結果、連続的な磁場の観測を開始すべく、阿蘇の火口近傍で運用していたプロトン磁力計の数台を急拠、雲仙の山頂部に移設することとした。

3. 普賢岳近傍の地磁気全磁力変化

(1) 地磁気連続観測の概要

多くの場合、火山磁場変化は、源から遠ざかると急速に減衰して観測しにくくなる。筆者らの経験では、微小な雑音に埋もれたデータからは容易に信号は取り出せない。源の大きさや、位置の決定には、源から離れた地点のデータも必要ではあるが、火山性磁場変化を明瞭に観測するには、出来得る限り観測位置を源に近づける必要がある。今回の普賢岳噴火のように2カ所以上の位置で活動をはじめると、位置に関する未知数が多くなり、多数の観測点が必要になる。数少ない装置で効率よく磁気測定を行なうには、多くの繰り返し磁気点を作ることがよい。しかし、地理不案内なまま、植生の多い山頂部の火口原に新規の繰り返し磁気点網を展開することは躊躇された。とりあえず、1991年1月8日から普賢池磁気点(N1)と九十九島噴火口の近傍(S1)に蓄電池駆動型のプロトン磁力計(KM622)を配置し、連続観測を開始した。その後、噴火地域の拡大を懸念して、1月21日に眉山登山口に、1月31日には板底に、さらに、3月上旬には、普賢池と風穴の中間地点のN2地点、風穴近くのN3地点、竜の馬場南西端のS2、さらに南のS3地点にもKM622磁力計を追加した。

(2) 屏風岩火口噴火前後の地磁気変化

普賢岳の噴気活動は1991年2月の時点では九十九島火口に残存したが、地獄跡周辺部では火口と普賢神社の中間地点に極めて弱い噴気が時折見られた程度で静穏を保っていた。しかし、1991年2月12日突如として屏風岩火口が噴火を始めた。目視による確認は12日8時頃であり、砲台跡に設置された島原地震火山観測所の地震計では、12日01時頃から強い連続微動を観測した。この噴火前後の火山性磁場変化を、N1地点の磁力計が見事にとらえた。図4に、2月10日から12日にわたるN1地点の詳細な磁場変化を示す。

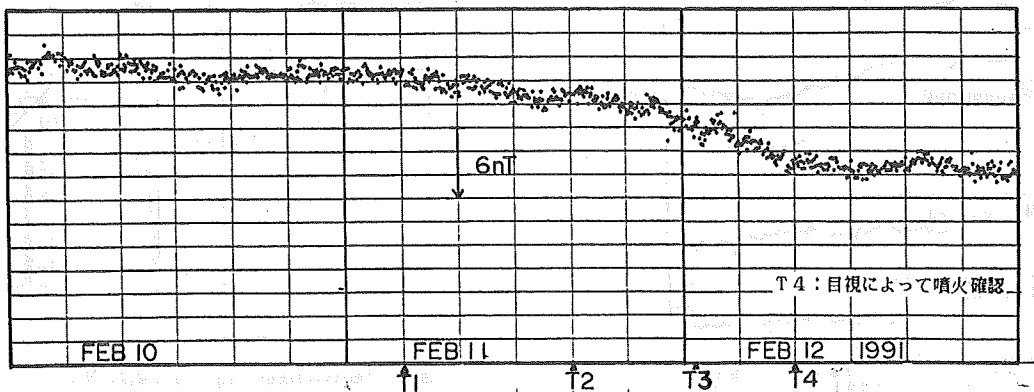


図4 屏風岩火口の噴火開始前後におけるN1地点での地磁気全磁力変化。T1:地磁気が異常変化を観測し始める
T2:地磁気が顕著に変化し始める
T3:砲台跡に設置された地震計が連続微動を記録
T4:目視によって噴火確認

屏風岩火口の約350m南東のS1磁気点では、有意な磁場変化は見られなかった。前述のように、基準点との単純な差を求めたのでは、偏角や伏角の違いによる日変化分が除去できないから、田中式3成分補正法(1978)を適用して、

$$\text{変化磁場} = F_{FG} - F_{AS0} + 0.03D_{KN} + 0.03H_{KN} - 0.04Z_{KN} \quad \text{が示してある。}$$

ここに、F、D、H、Zは地磁気的全磁力、偏角、水平分力そして鉛直分力の平均値からの変化量で

ある。添字 FG, ASO, KN は普賢、阿蘇、鹿屋での値の意味である。ここに用いた補正係数は1991年1月の観測データに基づいて決定した。

図4から磁場の急激な減少が2月11日14時頃に始まり、2月12日8時頃に終了していることが判る。一観測地点の地磁気データのみから磁場変化の原因を特定できないが、地震微動に先だって地磁気変化が出現していることは、注目すべきである。なお、2月13日9時頃、降りしきる火山灰の中でN1磁力計のデータ交換を行い、センサーに降り積もった火山灰を除去しているが、この影響はほとんど無かった。これは、降灰物の誘導磁化が小さいことを示している。このような噴火地点に極めて近い位置で連続的に全磁力の観測された例はないと思われるので記載しておいた。

さらに、この噴火前後の磁場変化を、もうすこし長期にわたり示したものが図5である。この時期、S1地点（九十九島）において僅かの磁場の減少を認めるが、板底や眉山登山口では留意すべき磁場変化は皆無である。N1（普賢池）において2月初旬から2月下旬迄の間に18 nTにおよぶ磁場の増加変化がある。さらに、その後、3月中旬までに、5 nT程の減少を観測している。屏風岩火口の噴火の特徴は極めて多くの火山灰を噴出させたことにある。直接の温度測定は出来てないが、噴煙の上昇速度からみて、比較的低温であったと推定される。後期においては、新鮮なガラスを含んでいたが、多くは火道を破碎した岩片と思われた（渡辺私信）。N1磁気点は屏風岩火口の北約170m、その高度は約40m下方に位置する。従来、地表における地磁気観測では、その源が観測地点の下方に位置する場合を取り上げてきたが、ここでは、ソースが観測地点の上方にある場合も考慮しなければならぬ。

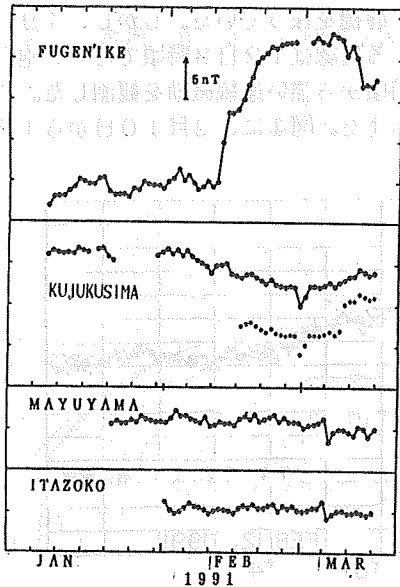


図5 雲仙岳の地磁気変化。火山研究施設の全磁力を基準

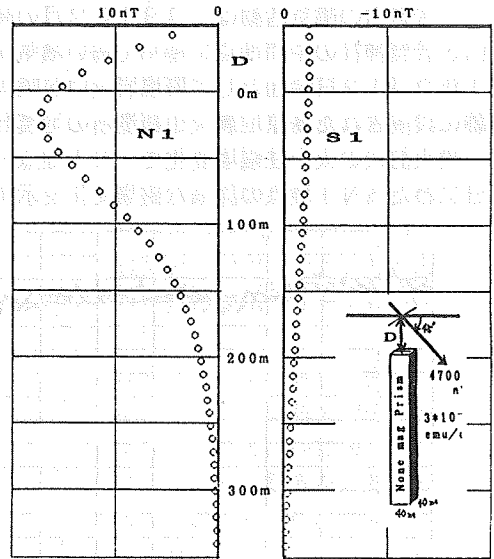


図6 非磁性の角柱が上昇してきた場合のN1、S1地点における地磁気全磁力変化。

図6は、屏風岩火口形成時期の磁場変化を説明する一つのモデルである。火道が一定の割合で上昇してくる場合、既存の帯磁した火山岩を破碎して火山灰として噴出する。これは、消磁が進行することになり、角柱の磁場ソースが上方に伸びて来ることで近似できる。3 × 10⁻³ emu/ccの磁化を仮定すれば、角柱の辺は約40m程度である。山頂部だけの火山灰の堆積から推定した火山灰の体積はおおよそ7万m³であり、火道の長さを300mとして推定した破碎体積は48万m³である。広域の火山灰の分布から推定されたこの時期の噴出物の体積は渡辺によれば、30万m³程度であり、オーダーとして一致する。

(3) 地獄跡火口ドーム出現前後の地磁気変化

1991年2月12日に開口した屏風岩火口はその後も激しい噴煙活動を持続した。一方、九十九島火口は弱い噴煙を残すにとどまり、また、地獄跡火口は表面上、その活動を停止した。しかし、4月初旬には地獄跡火口が活動を再開し、水蒸気爆発や、激しい噴煙活動を繰り返した。5月中旬には火山活動の中心は地獄跡火口に移行し、数度の水蒸気爆発によって、北西向きの長さ約160m、幅90m深さ100mの大きな火口を形成し、人身大の噴石を150-200mの位置にまで飛散させた。5月13日未明から、山頂部のごく浅い所で地震や、微動が多発するとともに、5月10日に開始された地質調査所による光波測量により、山頂部が大きく膨らみつつある結果が報告された。

5月17日には山頂部で東西方向に卓越する地割れが見られ、5月20日には地獄跡火口にドームが出現した。その後も、ドームは成長を続け、5月末には崩落型の火砕流として水無川を流下する。溶岩の流出量は20-30万 m^3 /日程度と推定されている。

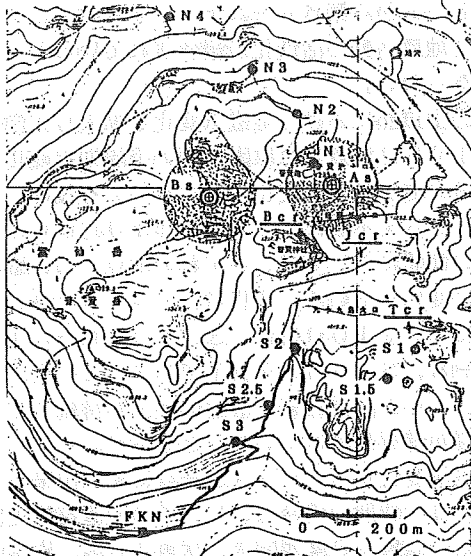


図7 普賢岳山頂部の地磁気観測地点の位置、および地磁気観測から推定された消磁中心の位置。

ドーム貫入の時期に符合して、地獄跡火口の北に位置するN3で、プラス、そして火口の南に位置するS1やS2およびS3でマイナスの磁場変化を観測した。また、その変化量はS3においては極めて小さい。図7は、これらの磁力計の配置を噴火口の位置とともに示したものである。

また、これらの時期の観測結果を図8に示す。地磁気変化はドームの北側でプラス、南側でマイナスであり、ドームから隔たると急速に変化量が小さくなっていることが判る。このことから、消磁が火口の比較的浅い部分で進行したことが推定される。

5月中旬から6月上旬に限って、これらの磁場変化を詳細に見ると、各観測地点で磁場は相似的に変化していないことに気付く。即ち、

- 1) 大きな磁場変化の開始時期は5月12日頃でN3, S1, S2の3地点では一致している。だが、変化が小さいとは云え、S3にはこれが観測されていない。
- 2) 5月25日にN3は磁場変化の勾配を変えるが、S2には観測されない。
- 3) S3では5月20日になって磁場の減少が観測され始める。
- 4) このS3の磁場の減少は、おおむね6月になると停止するが、N3, S2では変化し続ける。

これらのことは、ドームの貫入が非一様であった事を意味する。このため、消磁の発生した位置などを定量的に推定することは極めて困難である。しかし、あえて、このソースを

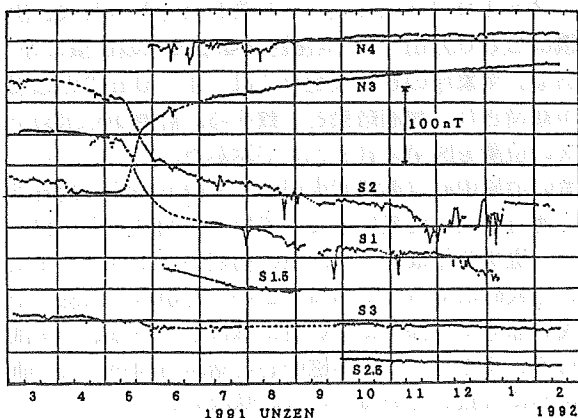


図8 普賢岳山頂部で観測された地磁気全磁力変化。考察すれば以下の如くである。

ドーム形成期にN3, S1, S2, S3と4地点の磁場観測がある。ドーム出現前後の10日程の磁場変化量は、それぞれ65, -34, -46, 0 nT程度である。点源を仮定してこの磁場変化を充すソース位置を求めれば、第一ドーム出現位置の北75m, 西45m, 深さ70mに最適の位置がもとまる。この、計算結果は地磁気観測所のFKN地点では+1.9 nTの変化となり、観測結果の-1 nTにわずかに一致しない。3 * 10⁻³ emu/ccの帯磁を仮定すれば、消磁された体積は約1200万m³で、半径約142mの球に等価の体積がえられる。

球の磁化は点源に等価であるが、この球が深さ70mに位置すれば上部が地表に突出して適切で無い。帯磁率を大きくするか、火道の消磁、地獄跡火口周辺に現われた東西方向の断層などを考慮して、いずれ形状の修正をせねばならない。計算で求められたソースの位置を図7にAsとして示した。

3-3. ドーム出現後の地磁気変化

1991年5月のドーム出現以後、いわゆる第1ドームから第6ドームまで、断続的ではあるが溶岩の流出が持続している。各ドームの出現に先だって地震活動の活性化が報告されているが、我々の地磁気観測変化で見ると、特筆すべき対応は見あたらない。

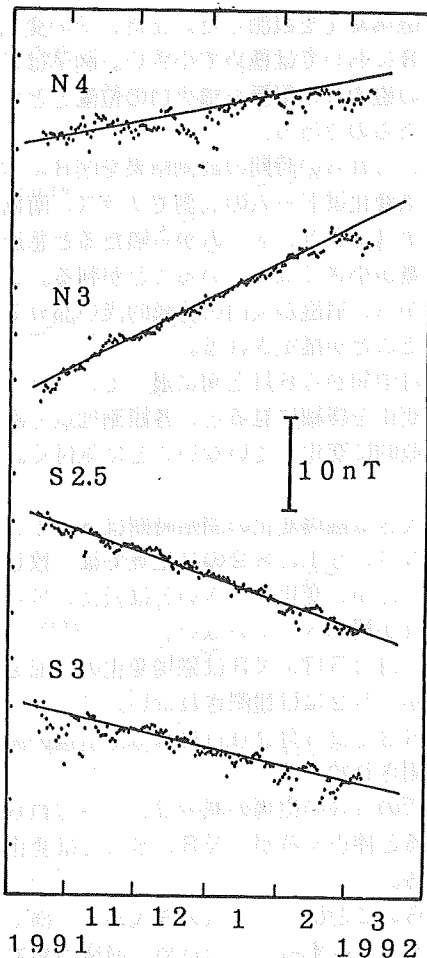


図9 普賢岳山頂部で観測された地磁気全磁力変化(原幅拡大図)

最近の山頂部における地磁気変化を拡大して図9に示す。S1やS2地点には原因不明の不規則な変化が混入しているので除外し、変化の安定しているN4, N3, S2.5, S3を示した。1991年10月から1992年2月の期間においては、いずれの地点でも、磁場はほぼ線形に変化している。変化量は、N4, N3, S2.5, S3において100日につき、それぞれ5.1, 12.9, -8.6, -5.7 nTである。このような磁場変化は、ドーム出現以来、溶岩の流出が持続して、地下の熱消磁が進行し続けていることを示す。

これらの磁場変化から、ソースが一点に集約出来るものと仮定すれば(球形の場合など)、その位置を推定出来る。地磁気の偏角を6度西向き、伏角45度、磁場強度47000 nTとすれば、磁気異常の中心は第1ドームの中心から、おおそ北に68m, 西に336m, 深さ223m(海拔1017m)となる。また、周辺溶岩の磁化、3 * 10⁻³ emu/ccが失われたとみれば、消磁体積は250万m³で、半径約84mの球の体積に等価である。気象庁のFKN地点では-1.0 nTの磁場変化が期待され、観測結果と一致する。計算から求めたソースの位置を図7にBsとして示した。

前者の消磁中心は屏風岩火口のやや西で浅く、後者は、さらに西方で深い位置に求まっている。図8からも判るように、磁場変化はドーム出現の初期から1991年末まで、比較的なめらかである。このことから、消磁の中心が浅い部分から徐々に深い所に移行していることが推定される。また、二つの消磁中心を結ぶ方向が、ほぼ断層の走向に合致していることは興味深い。

4. まとめ

従来、石英安山岩の火山においては、地磁気変化による火山活動の予測は困難と思われてきた。しかし、本稿で見たように、ドームを形成するような溶岩であっても、強い帯磁をしめすことは十分にあり、観測地点さえうまく選定すれば、地磁気変化は火山活動の予測に有用であることが示された。

新規に貫入したドームは、たとえ上昇の途中で冷却されるとしても、溶岩がその磁性を失うキュリー温度よりは十分に高温であるから、未だ帯磁していないと考えられる。磁場変化の原因として、1) 既存の火山岩の自然残留磁化の温度変化、2) ドーム貫入に伴う圧力歪によるピエゾ磁気効果、3) 火山灰の生成にともなう磁性鉱物の消失、4) 火口の爆裂にともなう帯磁溶岩の再配置による消磁、5) 熱水対流に伴う流動電位の変動による磁場変化、あるいは、6) 地形変形に伴う磁性山体の歪などが考慮されるべきである。

いずれが重要であるかは事象により判断することが大切である。雲仙火山の場合、ドーム貫入に伴って大きな地殻歪が観測されており、ピエゾ磁気効果が重要と思われるかも知れないが、即断は禁物である。なぜなら、火山活動においては多くの熱が火道を通じて輸送される。乾燥した緻密な溶岩の熱伝導係数は小さいけれども、溶岩に多数の割れ目が存在し、これらの隙間を火山ガスや熱水が流動できる場合を考慮すれば、熱拡散の時定数はきわめて短く、自然残留磁化の温度変化による効果がピエゾ磁気効果をはるかに越える。熱水対流の効果は、さほど磁場に影響を与えないと思われるが、地電位の直接観測が我々のグループによって進行中である。

最後に、火道から溶岩が流出しているときの地下水の動きを考察しておく。熱い溶岩と水は直接に触れてはいない。このような事態が発生すると水蒸気爆発を生じると考えられる。流出途上の溶岩は低くとも600度以上の温度を持つ。一方、この溶岩を取り巻くやや離れた位置の地下水は常温である。この間には温度勾配があって、水の沸騰点を境にして、高温の溶岩に近い部分には水蒸気が存在する。かたや、低温側には液体の水が存在する。沸点の近くで発生した水蒸気は上方に逃げ口が無い場合には液層の水を追いやって周囲に拡がる。このガスの移動に伴って、地下の火山岩の温度は容易に上昇し、その磁性は弱くなる。一方、火口から蒸気が容易に放散される場合には、地下水は次々と沸点領域に押し寄せ、溶岩の冷却が進行する。そして火山岩の帯磁が進行する(田中、1992)。このようなモデルに基づけば、現状の磁場変化は地下の浅い部分で高温の領域が拡大し続けていることを示すと考えられる。深部からの熱の供給が止まれば、火道の表層部が完全に閉塞されないかぎり、熱消磁の進行は停止し、速やかに帯磁の傾向に転向するものと考えられる。

謝辞

この研究を行なうにあたり、九州大学島原地震火山観測所の太田一也教授はじめ、所員の方々は大変お世話になった。京都大学理学部の学生諸氏には磁力計の設置に協力してもらった。岩石磁気の実験には京都大学理学部地質学鉱物学教室の鳥居雅之博士の実験装置を使わせて頂いた。鹿屋地磁気観測所からは地磁気3成分の資料を頂いた。また、この研究の旅費の一部は文部省科学研究費総合研究A「雲仙火山」から支出していただいた。ここに記して、お礼を申し上げる。

引用文献

Hamano, Y., H. Utada, T. Shimomura, Y. Tanaka, Y. Sasai, I. Nakagawa, Y. Yokoyama, M. Ohno, T. Yoshino, S. Koyama, T. Yukutake, and H. Watanabe, Geomagnetic variations observed after the 1986 eruption of Izu-Oshima Volcano, J. Geomag. Geoelectr., 319-335, 1990.

半田駿・田中良和・鈴木亮(1989) 島原半島の磁気異常. 佐賀大学教養部研究紀要, 21, 27-37.

Sasai, T., T. Shimomura, Y. Hamano, H. Utada, T. Yoshino, S. Koyama, Y. Ishikawa, I. Nakagawa, Y. Yokoyama, M. Oono, H. Watanabe, T. Yukutake, Y. Tanaka, T. Yamamoto, K. Nakaya, S. Tsunomura, F. Muromatu and R. Murakami, Volcanomagnetic Effect Observed during the 1986 Eruption of Izu-Oshima Volcano. J. Geophys. Geoelectr. 42. 291-317, 1990.

田中良和. 地磁気変化からみた1989年の阿蘇火山活動. CA研究会論文集. 127-132, 1990.

TANAKA, Y. (1992) Eruption mechanism as inferred from geomagnetic changes with special attention to the 1989-1990 activity of Aso volcano, J. Volc. Geotherm. Res., 1992, 投稿中.

山崎明・中禮正明・角村悟・中島新三郎, (1992), 草津白根山における全磁力変化の解析: 1990年の顕著な全磁力変化と熱消磁モデル. 地磁気観測所要報. 24-2, 53-66.

依田和四郎(1939) 島原半島眉山周辺における地磁気異常に就いて、地球物理第3巻1号、26-68.

依田和四郎(1954) 島原半島眉山周囲の地磁気異常(II)とその長期変化に就いて、地球物理、第9巻、第3号、155-202.