

雲仙火山噴火にともなう 地磁気変化(1991-92年)

田中良和(京都大学理学部)・大学合同観測班*

大学合同電磁気観測班

行武毅(九州大学理学部) 橋本武志・増田秀晴(京都大学理学部)
歌田久司・笹井洋一・上嶋誠・鍵山恒臣・増谷文雄(東京大学地震研究所)
半田 駿(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) 三品正明(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)
住友則彦・大志万直人(京都大学防災研究所)

1. はじめに

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、ドーム形成期に地獄跡火口の近傍において100 nTを超す火山性磁場変化を観測し、1992年末までにさらに約100 nTにおよぶ緩やかな変化を観測している。噴火はすでに2年を超えたが、溶岩の流出はとどまる事なく継続し、地磁気変化の観測からも火口直下の熱消磁が進行している結果が得られている。1992年3月までに観測された個々のイベントについては観測結果とともに、既に、昨年度の本研究会誌に報告してある(1)。この報告では1991-1992年の地磁気変化を一連の図に示し、2年にわたる火山活動との関連を検討してみた。

2. 火山活動の概要

1990年の夏以後、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17日、普賢岳は九十九島火口および地獄跡火口で噴火した。地獄跡火口では小規模な水蒸気爆発を伴っていたが、九十九島火口では直径数mの噴気口を形成した程度である。

1991年2月の時点で噴気活動は九十九島火口に残存したが、地獄跡周辺部では静穏を保っていた。

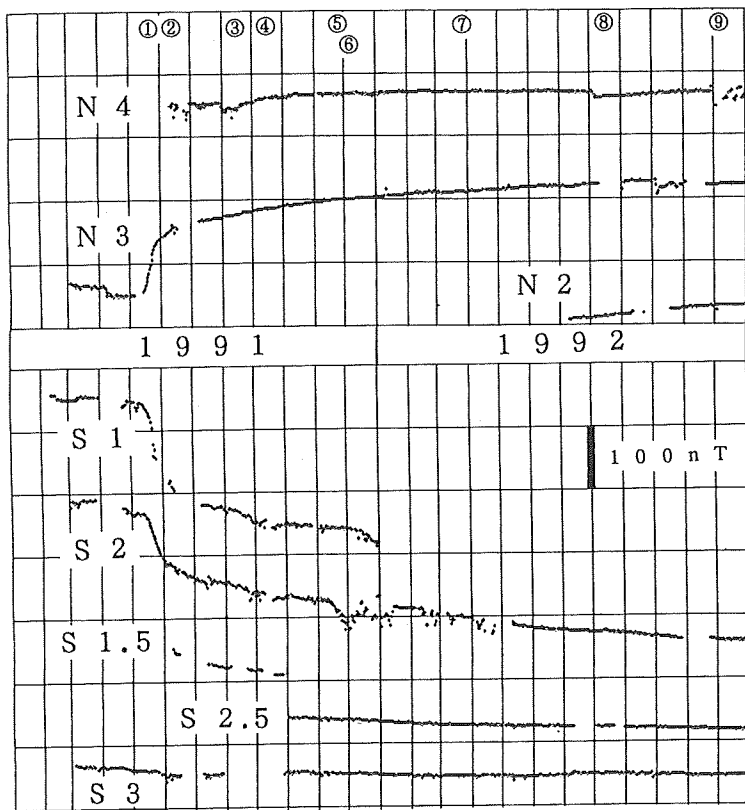
1991年2月12日突如として屏風岩火口が噴火を始めた。目視による確認は12日8時頃であり、砲台跡に設置された島原地震火山観測所の地震計では、12日01時頃から強い連続微動を観測した。屏風岩火口での噴火は4月中旬まで持続した。この噴火は極めて多くの火山灰を噴出させたこと、噴煙の上昇速度からみて、比較的低温であったこと、新鮮な火山ガラスが殆ど含まれていなかったこと等に特徴がある。一方、九十九島火口は弱い噴気を残すにとどまり、また、地獄跡火口は表面上、その活動を停止した。

1991年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(2)。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m³/日程度と推定されている(3)。出現したドームは順次番号を付され、1993年5月の時点で11を数えている。

3. 地磁気観測の概要

火山岩が帯磁するとその南側でプラス、北側でマイナスの磁気異常が現われる。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ことは、すでに筆者らにより明らかにされている(4,5)。このことを念頭に置き観測点は配置された。使用した磁力計は蓄電池駆動型のKM622プロトン磁力計である。本稿で述べる日値は、Sq磁場変化の小さい、夜間0時から4時までの値について、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て化成してある。

図1に1991年から1992年に雲仙岳山頂部で観測された地磁気全磁力の日値を示す。また、図2に観測点の配置を示す。



← 図1 普賢岳山頂部で観測された地磁気全磁力変化。0時から4時までの値を火山研究施設に化成し日値とした。

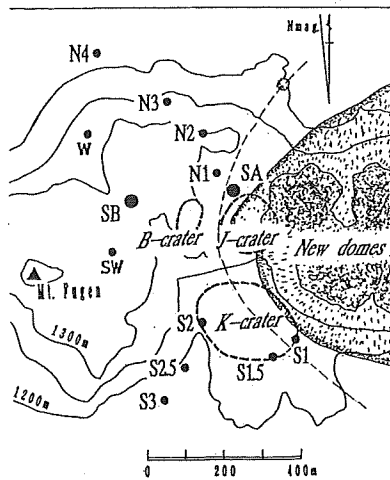


図2 普賢岳山頂部の地磁気観測地点の位置

1992年3月までの観測の経緯および結果は前号(1)で報告してあるので要約するとどめる。

・1990年11月の噴火直後の12月と1993年1月に、地獄跡火口の北西約170mの磁気点N1で地磁気全磁力の繰り返し観測がなされ1986年11月と較べて19nTの磁場増加が観測された。地獄跡火口では小規模な水蒸気爆発を伴っていたが、火口内部の火山堆積物の消磁では説明出来ず、やや深部にまで及ぶ消磁が進行しているものと解釈された。

・1991年1月8日からN1とS1に磁力計を配置し、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日に眉山の西登山口に、1月31日には板底に磁力計を設置したが、後者の2地点では1991年6月の火砕流で観測不能となるまでには特筆すべき火山性磁場変化は検出されなかった。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地点にも磁力計を追加

した。また、6月上旬にはS1.5を追加し、この地点の地磁気変化がS1およびS2地点に類似することを確認した上で、9月にS2.5地点に移設した。N1は1991年4月に普賢池の増水で水没し、N2地点は土石流により流された。1992年7月から再開されたN2地点は初期の地点のやや西に位置する。

・1991年2月12日の屏風岩火口噴火に際して、噴火前後の火山性磁場変化がN1地点で観測された。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。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ているが、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。さらに、この噴火前後のやや長期にわたる磁場変化の解析から、屏風岩火口では3 A/mの磁化を持つ火山岩(6)を破碎しつつ、火山灰として噴出し、1600 m²の断面積の火道を持つ屏風岩火口が成長したのではないかと推論された。

・5月20日の第1ドーム貫入の時期に符合して、N3で正、S1やS2およびS3で負の磁場変化を観測した。S3においては変化量は極めて小さい。地磁気変化は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た。

第1ドーム出現前後の10日間のN3, S1, S2, S3の4地点での磁場変化量はそれぞれ65, -34, -46, 0 nTであり、観測位置を考慮して点源を求めれば、第1ドーム出現位置の北75 m, 西45 m, 深さ70 mに最適の位置が求まり、3 A/mの帯磁を仮定すれば、消磁体積は約1200万m³であった。

・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おり、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。これらの磁場変化から点源としてその位置を求めると、第1ドームの中心から、おおよそ北に70 m, 西に340 m, 深さ220 m (海拔1020 m)となる。また、磁化3 A/mを仮定すると消磁体積は250万m³であった。

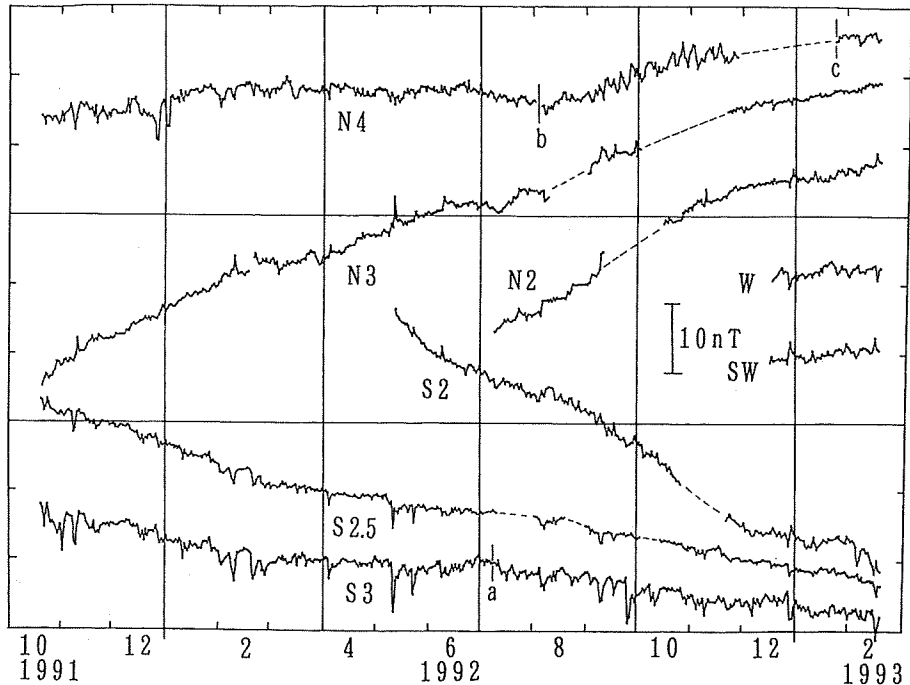


図3 普賢岳山頂部で観測された地磁気全磁力変化(振幅拡大図)。化成は図1に同じ。

4. 1992年における地磁気連続観測の概要

1992年の雲仙岳山頂部における地磁気変化は図1では読み取れないから、図3に拡大図を示す。日値は火山研究施設の夜間0時から4時までの平均値の単純差で示してある。夜間4時間の平均を用いたとは云え、観測地点相互の偏角や伏角は大きく異なると考えられ、単純差では外部磁場の影響が十分消去されておらず、振幅拡大図では化成誤差が目立ってきている。図に見られる7日から10日程度の鋸歯状変化は広域の地磁気擾乱に起因するもので火山活動に関係が無い。S3のa、N4のb、およびcで、実際にはデータに不連続が生じているが、オフセット補正して示してある。1992年における地磁気変化の概要は以下の如くである。

1991年5月の第1ドーム出現の時点から続いていた消磁と思われる地磁気変化は、1992年5-7月に、一度緩やかになった。しかし、同年8月の第8ドーム出現に対応して、再度、消磁を示す変化に転じた。この第2の地磁気変化は、1992年の末には緩やかになり、一連の火山活動の終息を期待させたが、1993年2月には第3回目の消磁現象が観測され始めている。この第3回目の消磁現象はN4やS3のようにドーム出現位置から遠い地点ではほとんど観測されていない。

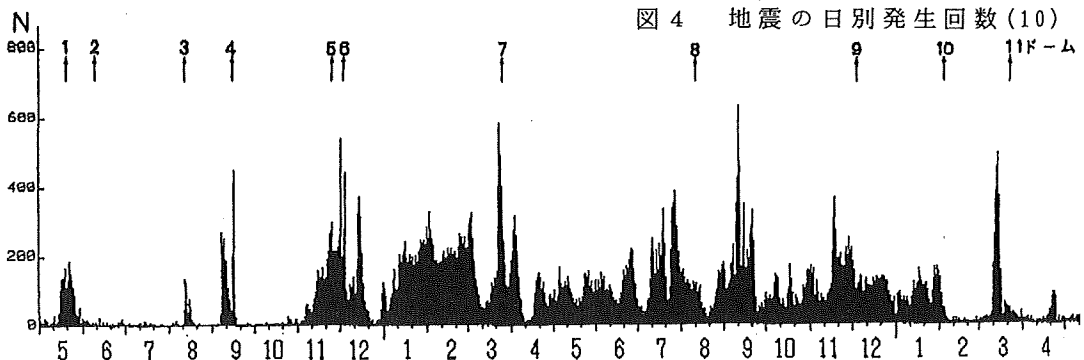
5. 1992年の地磁気変化を主とした考察

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、熱拡散の時間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と考えられる。

熱水対流の作る磁場（流動電位に基づく電流の作る磁場）の効果は、地表では大きくないと考えているが、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り(7)、結果を待って改めて論じたい。

5-1. 地磁気変化と地震活動

日別地震発生回数はドーム出現の時期あるいはそれにやや先行して活発になっている。おそらく、あるまとまりの溶岩の流出に先だって火道に力が加わって火道周辺の溶岩を破砕することを示しているものと推定される。しからば、ピエゾ磁気効果を通して地磁気変化に、これらドーム出現や地震活動と対応した変化が存在するであろうか。図4に気象庁の観測した地震日別回数およびドーム出現の時期を引用した。



第1ドームや第2ドーム出現時期にはドーム近傍での消磁に等価な磁場変化が観測されたが、この変化は地震活動と明瞭な対応がある。第3、第4ドーム出現の時期にはS1、S2、N4地点で対応があるようにも見えるが明瞭ではない。5、6および7ドームとの対応は認められない。しかし、第8ドーム出現の時期を境に、各観測地点でドーム近傍の消磁が加速されたと

等価の地磁気変化が観測されている。このように地磁気変化と地震活動の対応は必ずしも良くない。圧力磁気効果(8)を地震活動との対応で考察すると以下のようなものである。地震活動の最盛期に地下の圧力が高まっていると考えてもよい。一般に、地下の圧力が高まると、地表の磁場は南側で増加、北側で減少すると考えられる。つまり、磁化が増加したと等価の結果になる。地磁気変化と地震活動の対応は必ずしも良くないことを考えると、雲仙においては、圧力磁気効果は卓越しているようには見えない。しかし、第1ドームの貫入以後、山体のストレスが開放されていると考えるなら、一貫して持続している磁化の減少傾向は圧力磁気効果とセンスが一致するとの考えは否定できない。だが、この説では噴火直前に大きな磁化の獲得が観測されていない事をうまく説明できない。

5-2. 地磁気変化と溶岩噴出量

溶岩の噴出量は火山活動の最も重要な指標の一つである。傾斜計観測からえられる比較的短周期(数分から1時間程度)の火口上がり、火口下がりの特徴的な波形の解析から山科は溶岩噴出量を推定している。火道にネックがあって、溶岩は一定のしきい値以下では流動せず火道内部で圧力が高まり火口方向を押し上げるが、しきい値に達するとスッとネックの部分を通って地表に到達する。その結果、火口方向の傾斜変化が初期値に戻る様な機構を考えればよい。このパルス振幅を積分し、実際に地表で観測された溶岩噴出量で係数を求めておけば溶岩の噴出量が求められる(9)。その位置は何処かといったことや、詳細な機構は未だ報告されていないが、期待できる研究の一つである。

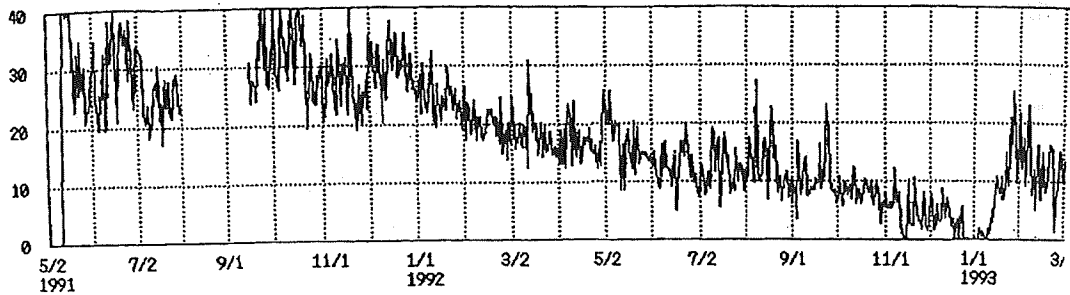


図5 傾斜変動から推定された溶岩の流出量

これによれば(図5)、1991年は日量20-40万立米であったものが、1992年初頭から夏にかけて10数万立米に減少し、さらに10月から年末にかけては数万立米に減じている。しかし、1993年1月末には20万立米に増加し、以後10万立米以上の溶岩が継続的に流出している結果が得られている。

地磁気変化は、S2, N2を除き1992年6月末に停滞している。溶岩噴出量の変化でもこの時期に10数万立米で横ばいとなる。溶岩供給量の減少は熱の供給の減少をも意味するわけで、地磁気変化に係わる火道周辺の火山岩の温度上昇も緩和されると考えられる。この点では両者に類似点が見いだせる。

しかし、地磁気変化は1992年8月には再度磁化の減少を示し始めている(南の観測地点で負、北側で正の変化)。地表に出現する溶岩の多寡はマグマ溜りの圧力、火道の形状や粘性などに依存する。1992年夏から年末まで溶岩の噴出が減少したが、地磁気変化はこの時期に磁化の減少を示している。

この原因を圧力磁気効果とすれば、地中圧力の減少に対応する。しかし、11月末の第9ドームの出現やその前後の地震活動の活発化などには整合しないように思われる。

一方、この原因を熱消磁に求めるならば、1992年の夏以降、火道周辺の地下には、従来にも増して、多くの熱が蓄積されたことを示唆し、溶岩噴出の減少は火道の浅い部分で流出を押しやる機構が働き、余剰の熱が蓄積されつつあったと解釈される。田中が提案する熱磁気モデルによれば(5)、1992年秋の地磁気変化は火道に蓋がなされた場合に相当し、以後に噴

火活動が再開されることを意味する。この結果が1992年11月の第9ドームはじめ、1993年1月、3月の10、11ドームの出現に現われていると思われる。

6. まとめ

1992年末にまで持続しているドームを中心とした磁化の減少は、1991年5月-6月の第1、2ドームをはじめ、高温の火道から供給され続けている熱による火山岩の消磁であると考えられる。1992年春から夏にかけて、この熱消磁現象は弱くなった。溶岩噴出量との対比から溶岩の供給が衰えを見せたと判断できる。

地磁気変化からは1992年8月に新たに熱が供給されたと考えられ、この時期は第8ドーム出現とほぼ一致する。溶岩の噴出は第8ドーム出現の時期にやや増加するが、その後、1993年初頭まで極端に少なくなる。この地磁気変化との不整合の原因は、地表近くに於て溶岩の噴出を妨げる機構が強く働いた為であると考えられる。

今後の火山活動がどの様に推移して行くかは、浅い部分の地磁気の観測からは得られない。筆者等は熱磁氣的な立場から他の観測資料を参考にしつつ、その時点における火口周辺部の熱的狀態を把握したいと願っている。より本質的に火道への熱の供給が停止すれば、溶岩の流出が停止することはもとより、磁場変化は磁化の獲得を示し始めるであろうとの考えは今も変わらない。現在、火口近傍の問題のみ取り扱っているとの批判があるが、火口浅部の問題を整理した上で、かなりの精度を要求されるけれども、逐次深い部分の地磁気変化の問題に取り組む所存である。

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、所員の方々には大変お世話になった。また、この研究の一部は文部省科学研究費総合研究A「雲仙火山」に負っている。ここに記して、お礼を申し上げる。

引用文献

- 1) 田中良和, 他 (1992) 雲仙火山噴火にともなう地磁気変化 (1991年), 地磁気観測所技術報告, 32, 239-248.
- 2) SAITO, E., K. WATANABE, S. SUTO, T. SOYA, K. KAZAHAYA, S. KAWANABE, H. HOSHIZUMI and H. ENDO, 1993, Geodetic monitoring before and while the 1991 lava extrusion of Fugendake, Unzen volcano, Kyusyu, Japan, Bull. Geol. Surv. Japan, 44 (in press).
- 3) 中田節也・大学合同観測班地質グループ (1992) 雲仙普賢岳1991-1992年噴火で生じた溶岩ドームの推移。雲仙岳溶岩流出の予知に関する観測研究、平成3年度科学研究費、総合研究A研究成果報告書、112-123
- 4) 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, 1990, Volcanomagnetic Effect Observed during the 1986 Eruption of Izu-Oshima Volcano. J. Geophys. Geoelectr. 42. 291-317.
- 5) TANAKA, Y. (1993) Eruption mechanism as inferred from geomagnetic changes with special attention to the 1989-1990 activity of Aso volcano, J. Volc. Geotherm. Res., 1993, 319-338.
- 6) NAKATSUKA, T., Aeromagnetic anomalies over the area of Unzendake volcano, J. Geomag. Geoelectr., 45, 1993, -
- 7) 橋本武志, 他 (1992) 1991年の雲仙岳における自然電位観測, 地磁気観測所技術報告, 32, 249-255
- 8) SASAI, Y. (1991) Piezomagnetic field associated with the Mogi model revisited: Analytic solution for finite spherical source, J. Geomag. Geoelectr., 43, 21-64.
- 9) 山科健一郎, 井上義弘, 清水 洋, 松尾綱道 (1992) 雲仙火山の噴火と傾斜変動、雲仙岳溶岩流出の予知に関する観測研究、平成3年度科学研究費、総合研究A研究成果報告書, 50-59.
- 10) 気象庁 (1993) 火山噴火予知連絡会資料 (気象庁) による。火山噴火予知連絡会会報, 54