

雲仙山頂部における地磁気3成分観測

田中良和・増田秀晴 京都大学理学部火山研究施設

Volcanomagnetic Changes Observed by Fluxgated Magnetometers on Unzen
Yoshikazu Tanaka and Hideharu Masuda
Volcanological Laboratory, Kyoto University

1. はじめに

最近の雲仙普賢岳の地表における火山活動は、1990年11月の山頂部における蒸気爆発に始まり、1991年5月には地獄跡火口に粘性の高い溶岩を噴出させた。新ドームは、断続的ではあるが大きな地殻変動を伴いながら成長を続けている。この火山活動に伴う地磁気変化は、筆者らによりプロトン磁力計を用いて、山頂近くの多地点で観測され、その概要が明らかにされている¹⁾。彼らは主に、熱磁気効果や貫入したマグマによる帯磁火山岩の押し退け効果などを取り上げて論じており、ピエゾ磁気効果の有無は明瞭にされてはいない。

一般に、圧力磁気効果は熱磁気効果より小さく、両者が混在する場合には前者の抽出は困難であろう。また、圧力が過大で有限の地殻変動が生じた場合、観測地点近傍の帯磁した火山岩の変位にともなう磁場変化が混入して不明確になる。さらに、流動電位の変動に伴う磁場変化も否定できない。このようなわけで、活動的な火山の場で圧力磁気効果を抽出するためには、高精度の磁場観測のみならず、十分な数の地殻変動の観測がなされておらねばならない。諸外国に於て、火山磁場の研究者が地殻変動観測を重視するゆえんはこの点にあるかと思われる。

筆者らが普賢岳山頂部での地磁気3成分観測を計画する時点で、東京大学地震研究所の山科らは既に、普賢岳ドームの西約800mの地点の風穴(図1のKz)での高精度傾斜観測記録の中に、山科振動と称す、火山活動にともなう数分から数時間の特徴的な長周期の傾斜変化を見だし²⁾、日毎の溶岩流出量を推定していた。彼らの卓抜した推理の概要は、「粘性の高いデイサイト溶岩は火道をスムーズには流れず、比較的浅部で貯留され山頂部を持ち上げる。あるしきい値を超すと、この貯留されたマグマは火道から噴出され、山頂部は沈下する。この変動量を積算すれば溶岩の流出量が推定できるではないか。」というものと筆者は理解している。その振幅は数 μ ラジアンに達するから、日本の地球主磁場の環境における磁力計の傾斜感度 $34 \text{ pT}/\mu\text{rad}$ を考慮すれば、 0.1 nT 程度の磁場変化が期待できる。この量は現用のプロトン磁力計では検出困難であっても、分解能が 10 pT の高感度フラックスゲート磁力計を用いれば検出可能であり、傾斜変動の効果を除くすれば、圧力磁気効果を検出し得る。

このような理由から、筆者らは、遅ればせながら山頂部にテラテクニカ製のU30型フラックスゲート磁力計を設置し、地磁気3成分の連続観測を開始した。筆者らの携わる観測の主体は、普賢岳山頂部での地磁気全磁力観測と島原半島の長基線MT観測であったため、この地磁気3成分観測は、やや余技的となり、また十分な解析の進まぬままであった。紙面を汚し恐縮であるが、将来の火山観測

にむけて3成分磁力計の積極的な活用を啓発する意味で、不備な原稿を記すことにした。

2. 観測

島原半島に於ける地磁気3成分の観測は、構造探査を目的に1991年以来、テラテクニカ製のU30やU36フラックスゲート磁力計を用いて多数の地点で実施された。このうち宝原(ホウゲン)地点に設置されたU30が保守の容易さから基準点としての機能をはたすようになった。雲仙岳に近いことから、火山活動に伴う磁場変化が検出されはしないかとの思惑や、NTT電話回線を用いた長基線MT観測の磁場基準点に供するべく、月に1度のバッテリー交換を繰り返し、長期にわたり連続観測を維持してきた。

山頂部での磁場3成分観測は、1993年11月25日にドームの南側、龍の馬場(リウババ、図1のRYU)で開始された。1993年後半は、第11ドームロープが成長を終え、第12ドーム出現直前の内成的なドーム成長が続いた時期である。特にドーム南西部での局所的な山体の変形が著しく、有感地震($M < 3$)が多発した。

1993年12月上旬には龍の馬場一円が崩落したドームで埋まり、S2.5と称する地点に移設を余儀なくされ、1994年1月下旬にはS2.5地点にも溶岩が崩落し始め観測は中断された。しかし、観測可能な地点は西または北西に残されていた。北側は太陽電池の使用が困難になると予想されるため避けると、西側の普賢山頂部から霧氷沢に至るルートのみが許された。アクセスの重労働を覚悟して霧氷沢(図1のMHY)に移動し、気泡型2成分傾斜計を併設するとともに、バッテリー交換の便宜をはかるため太陽電池を併用して観測を再開した。しかし、1994年夏には西側にも溶岩の崩落が及び、さらに100mほど西の地点に移設を余儀なくされた。図1右中央部の破線は、1994年末での崩落岩塊の概略の境界である。データの取得は1分毎で、分解能は0.01nTであり、関連する観測地点を図1に示す。

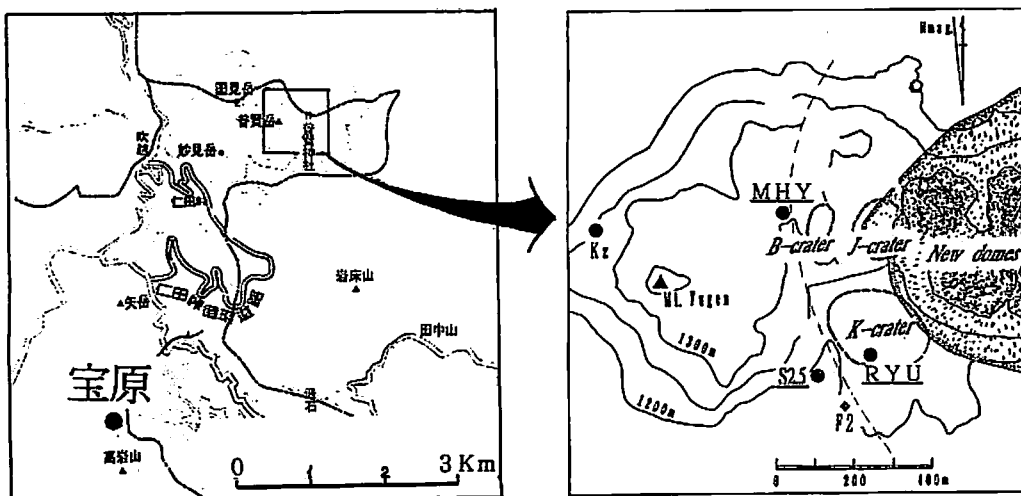


図1 観測地点図。左：宝原(HBR) 右図：山頂部の拡大図

3. 観測の結果

3-1. 龍の馬場における磁場変化

龍の馬場で観測された地磁気3成分変化を宝原を基準として、広域にわたる地磁気変化を除去した結果を図2左上に示す。X (北), Y (東), Z (下) いずれの成分にも大きなドリフトが観測されている。各成分の変化の様子から、磁力計の設置直後の数時間は磁力計が北東上がりに傾いたが、やがて北西上がりに傾斜したと等価の変化が観測されている。初期ドリフトの原因は、龍の馬場における磁力計を基盤岩に固着せず、厚い火山灰の堆積層中に設置したことにあると考えられる。しかし、それ以後の変化は、山体の地殻変動あるいは火山体の磁化の変化を示していると考えてよい。これら400 nTに及ぶ磁場変化を傾斜変動に起因するとみなせば、RYU地点では1週間で約40分角の傾斜変化を生じた結果が得られる。この時期、山科らによれば²⁾Kz地点の傾斜変動は図3右下の如く、0.2分程度である。RYU地点がドームに極めて近いことを考慮すれば、この変化は不可能ではないが、Kz地点に較べる200倍も大きい。12月5日頃からこの傾斜変動は逆転しているので、RYU地点で今少し長期の観測が可能であったらと悔やまれる。一方、RYU地点のやや西ではプロトン磁力計による地磁気全磁力の観測がなされており、この期間に約70 nTの増加を記録しているので³⁾、これらのデータを総合して今後、十分な解析を進めたい。

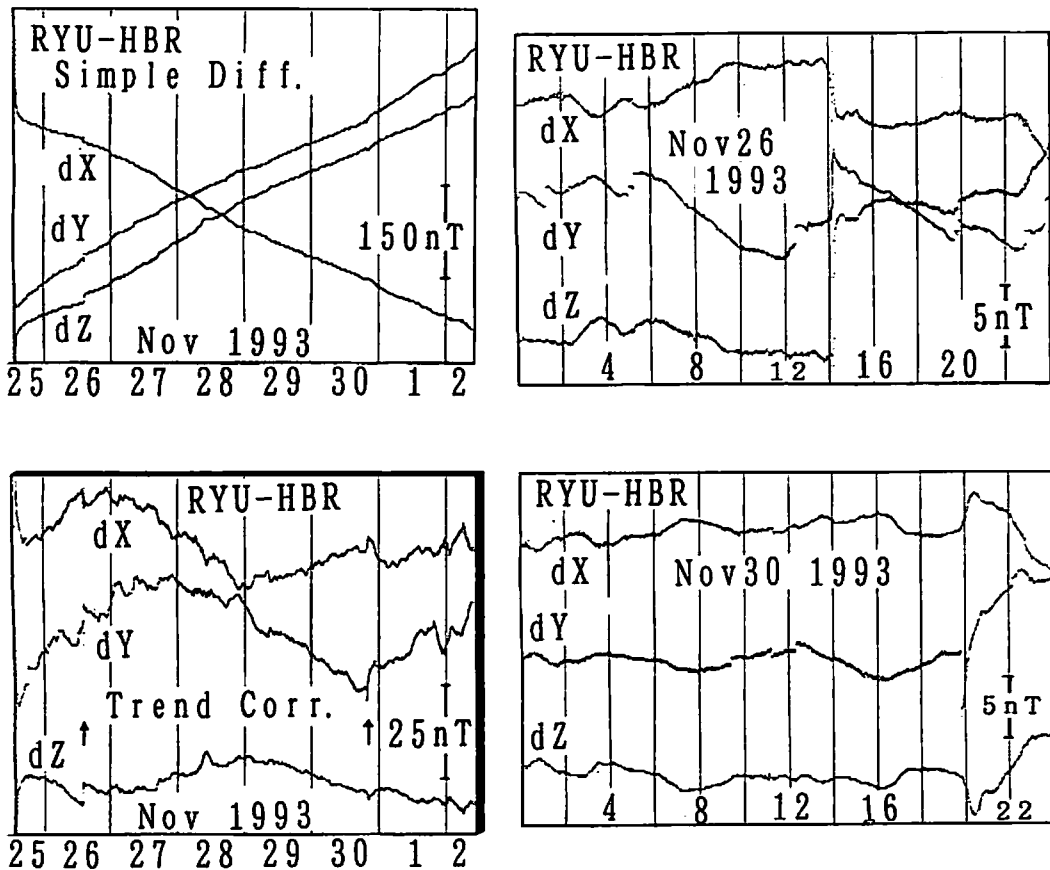


図2：龍の馬場における地磁気変化。

図2左上のトレンドを直線的に除去し拡大したものが図2左下である。数10 nTの長周期の変化に加えて、11月26日13時頃や30日20時頃などに、急峻な変化がみいだせる。この部分をさらに拡大すれば、図2右上や図2右下のようである。11月26日14時すぎや30日20時頃の変化は、ドーム崩落による磁場変化と考えられる。丹念に記録をみると、多くの特異な変化をみいだせるが、原因の究明が出来ておらず、ここでは1~2の例を示すにとどめた。

3-2. S2.5地点における磁場変化

龍の馬場は、1993年12月中旬に著しい地殻変動とともにドームの崩落が激しくなり、人をよせつけなくなった。このため、RYU地点に設置されたU30も撤退を余儀なくされ、S2.5地点まで後退した。機器は地中約40cm深に岩に接して埋設した。宝原を基準としたS2.5地点での地磁気3成分変化を図3に示す。図3左上に示すように、RYU地点よりは緩やかであるが、大きなドリフト状の磁場変化が観測されている。この変化は磁力計が南西上がりに傾斜したと等価な変化である。原因を地盤の傾斜に求めると、3-1の変化に較べて、西上がりの傾向は変わっていないが、南北成分が反転している。同様に、この時期、山科の傾斜計は図3右下の如く、火口下がりに反転している。地下浅部に溜っていた圧力がドーム南西部の変形により解除され、S2.5地点の北東方向で沈下が始まったとみれば概要を説明できる。

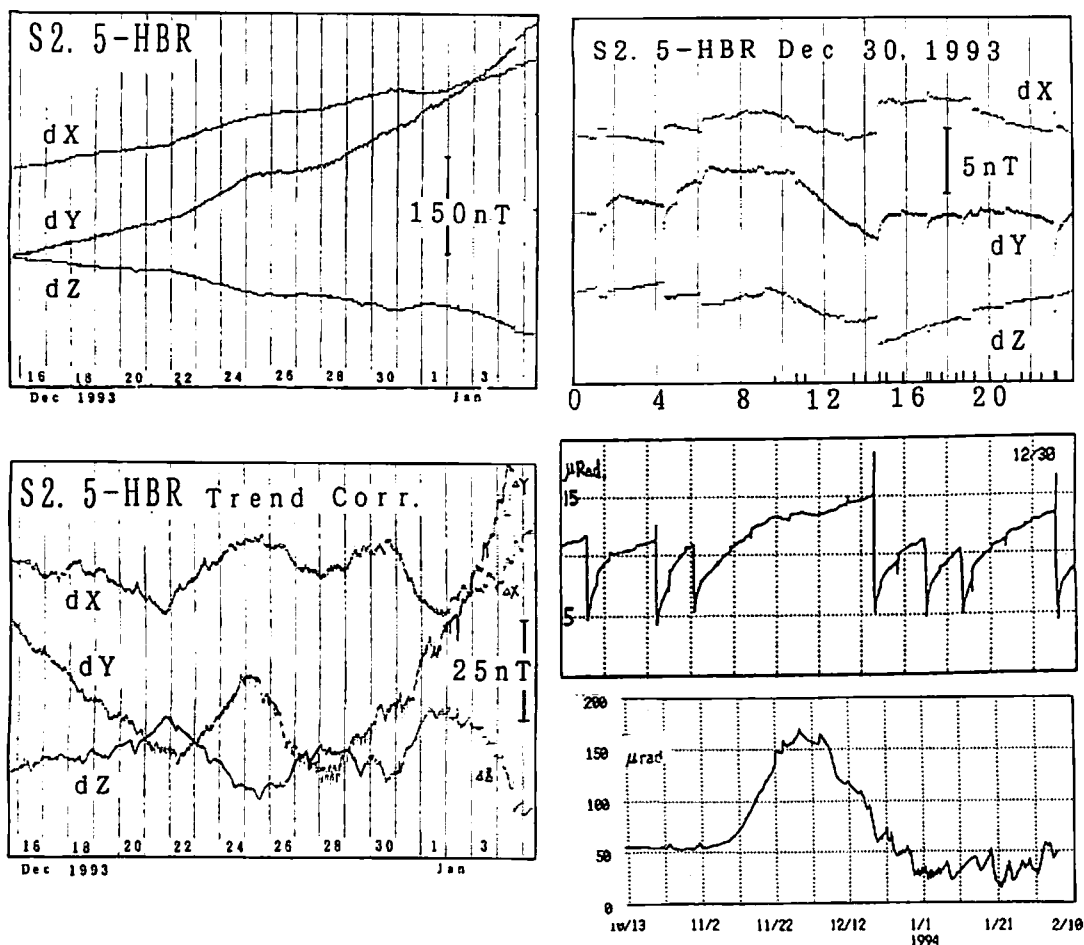


図3：S2.5地点における地磁気3成分変化。右中・下は、山科²⁾らのKz地点における傾斜観測結果。

図3左上のトレンドを除去して拡大すれば図3左下を得る。数日におよぶ長周期変化をはじめ、小振幅の短周期変化が各成分にみられる。特にY成分に特徴的なスパイク状の変化が顕著である。これらの変化を詳しく見るために、12月30日の磁場変化を図3右上に拡大して示した。また、同日のKz地点(山科らの傾斜計A点)における傾斜変化の東西成分を図3右中に示してある。両図の対比から、少なくとも、この日の地磁気Y成分にみられるスパイク状の変化は、傾斜の急変と極めてよく対応することが分かる。さらに、これらの変化はドームの崩落を伴っていることも野岳の地震記録との対比で確認できている。未だ、傾斜変化のNS成分との関連を調べていないので不確実であるが、変化量において、これらの山科振動の大小と地磁気変化は必ずしも比例関係にない。また、地磁気のY成分の変化は傾斜変化と形がやや似ているのに、XやZ成分の変化は階段状であることなど、相違点が認められる。これらの点を詳細に検討し、ドーム噴出に伴う地殻変動や地磁気変化の実体を考察したい。

3-3. 霧氷沢における地磁気変化

図4左下は1994年12月4日から12月22日までの宝原を基準とした地磁気3成分の変化である。地磁気擾乱などの影響が見えるように宝原の元記録を図左上に示してある。また、地殻変動との関連を見るため、Kz地点の傾斜記録の東西成分を右上に示した。U30磁力計は、独自の傾斜計と並行観測すべく比較的大きな岩に固定した。露岩を僅かの土囊で覆っただけの構造であるため、気温の影響をわずかに受けている。筆者らはU30と並行して火山観測用の気泡型傾斜計を運用すべく努力したのであるが、記録計、電池、パソコン、磁力計等々の不都合が重なり、残念ながら未だ双方同時の記録収録に成功していない。

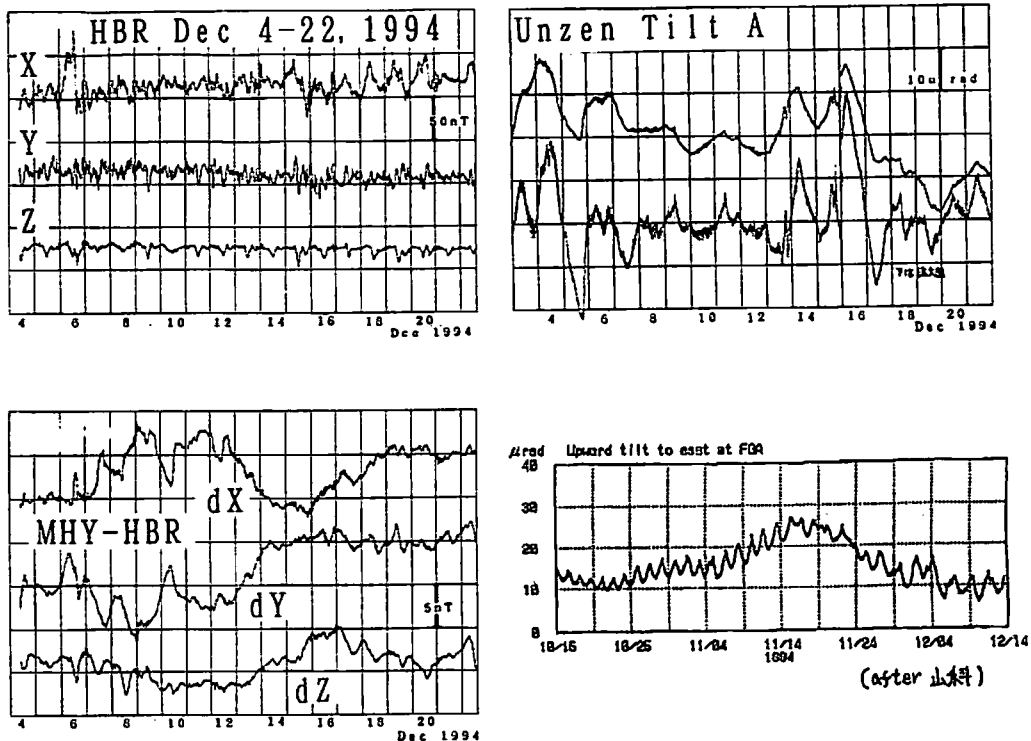


図4 霧氷沢における地磁気3成分観測

この時期、ドームの成長は少なく地殻変動も小さいが、図4右下に示したようにKz地点の傾斜計には、従来になかった長周期の正弦波に似た振動が観測されている。しかしながら、地磁気には図4右下で分かるように、これらの山科振動は観測されていない。また同様に、12月13日や15日あるいは16日に急峻な山科振動が見受けられるのに、磁場には検出されていない。山科振動の振幅が極端に小さいわけではないから不思議である。磁場変化の要因を傾斜変化とする立場では本質に関わる問題であるから、十分な検討を必要とする。

紙面の都合で拡大図は省略したが、12月6日、12日などにdXに特徴的な変化がみだせる。12月6日には地磁気嵐を認めるが、リダクション誤差とは考えにくい。この種の変化の発生は正午から日没までの間に集中しており日射と関係があるかもしれない。しかし、一方で12日3時頃のように、地磁気のY成分の変化に伴いXやZの差分に類似の変化がみられたり、14日2時頃のように地磁気のX成分の変化に伴ってX、Y、Zすべての差分に変化のみられることもあり、地下の電気伝導度構造の異方性を強く示唆している。

4. おわりに

U30高感度磁力計を活動中の雲仙普賢岳山頂部で運用し、地殻変動に伴う直接的な磁場変化を消去して、圧力磁気変化を検出しようとした筆者の試みは、まだ成功していない。筆者の弱体化に加えて、現地へのアクセスが困難で、十分な機材の運用ができなかったことや、降灰・火山ガスの影響で観測機器にしばしば損傷を生じたこと。加えて、本年度に九州地域で多くの電磁気観測がなされすぎたこと等が原因である。今後、関連の観測資料とつきあわせ、その意味するところを考察したいと考えている。しかし、活動的な火山に於ける地磁気3成分観測の重要性は汲み取って頂けるものと期待している。今回は山頂部に1台の磁力計しか設置できなかったが、近接した地点に複数台の3成分磁力計を設置すれば、はるかに有用な解析が出来ることは明白である。特に、傾斜観測では得られぬ水平面での回転に関する情報が地磁気観測から得られる利点を強調しておきたい。

筆者の不幸で十分な活用が出来なかったが、傾斜計の借用を快諾され支援を賜った京都大学火山研究施設の菊池茂智助手に謝意を表します。また、この研究は平成6年度文部省科学研究費、総合研究A（代表：太田一也教授）に支援していただいたことを記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 田中良和・橋本武志・増田秀晴・吉川慎：雲仙火山噴火にともなう地磁気変化（1991-1993）、京都大学防災研究所年報、第37号B-1,193-206,1994.
- 2) 山科健一郎・松島健・清水洋・石原和弘・井口正人・植木貞人・小野博尉・宮町宏樹：雲仙火山山頂部における傾斜の多点共同観測（2）、平成4～5年度科学研究費補助金・総合研究（A）・研究成果報告書、雲仙岳溶岩ドームの形成と崩落に関する総合的観測研究、11-22,1994.
- 3) 田中良和・大学合同観測班：雲仙火山の地磁気変化（その2）、平成4～5年度科学研究費補助金・総合研究（A）・研究成果報告書、雲仙岳溶岩ドームの形成と崩落に関する総合的観測研究、80-89,1994.
- 4) 山科健一郎・井上義弘・松島健・清水洋：雲仙火山の傾斜振動と溶岩供給量の推定、平成4～5年度科学研究費補助金・総合研究（A）・研究成果報告書、雲仙岳溶岩ドームの形成と崩落に関する総合的観測研究、17-22,1994.