

# 1991年の雲仙岳における自然電位観測

京大理 橋本武志、田中良和、増田秀晴  
東大震研 歌田久司、鍵山恒臣、増谷文雄

## Observation of Self-potential on Unzen Volcano (1991)

Takeshi Hashimoto, Yoshikazu Tanaka, Hideharu Masuda\*  
Hisashi Utada, Tsuneomi Kagiya, Fumio Masutani\*\*

\* Faculty of Science, Kyoto Univ.

\*\* Earthquake Research Institute, The Univ. of Tokyo

### 1. 緒論

火山地帯には、自然電位の異常がみられることがある。過去、日本の火山地帯でも自然電位の観測が行われてきた。古くは、京都大学のNamba (1939)<sup>1)</sup>による阿蘇と別府での観測がある。彼は、火山(主に休火山)の地電位プロフィールを調査した。そして、通常山腹には麓から頂に向かう地電流が存在し、その原因は地下水の浸透による界面動電現象であることを指摘している。また彼は、間欠泉や阿蘇中岳火口壁での観測から、噴火にともなう地電位変化についても考察している。最近では、地質調査所による屈斜路カルデラ、秋田焼山、霧島、伊豆大島(石戸他, 1991)<sup>2)</sup>など、北海道大学による有珠山(Nishida & Tomiya, 1987)<sup>3)</sup>、北海道駒ヶ岳、雌阿寒岳等の観測がある(Matsushima, et. al, 1990)<sup>4)</sup>。また雲仙西部地域でNEDOが自然電位調査を実施している<sup>5)</sup>。(但し、当時の調査の対象には雲仙岳が含まれていなかったため、今回の我々の観測領域と重複するところはない。)多くの観測例によれば、山岳地帯では、Nambaの観測と同様に、測点の標高が高くなると地電位が低下する傾向が特徴的にみられる。また、火山地域の場合、これに重なって噴気地帯を中心とする正の異常があることや、特に標高の高い部分で標高相関を超える負の異常がしばしば見られることが明らかになってきた。また、Ishidoは噴気帯を中心とする正の異常は、地下の流体流動による界面動電現象がその主たる原因であるとの観点から、定量的な解釈をも試みている。(石戸, 1991)<sup>6)</sup>など)

1990年雲仙岳が活動を開始したので、筆者の一人である田中が主として地磁気変化を観測する一方で、我々も自然電位と火山活動の関連を調べるべく調査を開始した。雲仙岳は、粘性の高いデイサイトの熔岩からなる火山で、今期の活動までは最高峰であった普賢岳を中心として、妙見岳、国見岳などからなる妙見カルデラを形成している。普賢岳と国見岳、妙見岳の間には北から鬼人谷、紅葉谷、薊谷と呼ばれる谷地形が発達し、薊谷の南東部には凹陷地が形成されている。1990年11月、普賢岳の東側に位置する九十九島火口、地獄跡火口が噴気を上げ活動を開始した。1991年2月には屏風岩火口が火山灰を出す活動をした。その後屏風岩、九十九島火口は活動を弱めたが、同年5月20日、地獄跡火口からは熔岩ドームが出現した。熔岩の流出は続き、同年6月3日以降は、大規模な火砕流も発生するようになった。その後も熔岩ドームは成長と崩落を繰り返し、表面的には活発な活動を続けている(1992年3月現在)。今回の我々の観測は、火山活動が活発化していく時期の変化を捉えたという点で珍しい例といえよう。以降、第2節では観測方法について記述し、第3節では自然電位空間分布について、第4節では

連続観測の結果とその解釈を述べる。

## 2. 観測方法

自然電位の観測では、相異なる2点にそれぞれ電極を接地し、電極間の電位差を測ることが基本となる。非常に離れた2点間の電位差を測りたい場合、それを複数の区間に区切る。それぞれの区間毎の電位差を測って、それを足し合わせればよい。このような方式を仮に、「移動方式」と呼ぶ。「移動方式」によってある領域に対してサーベイをかける場合、電極はCu-CuSO<sub>4</sub>電極が使われることが多い。その理由は、Cu-CuSO<sub>4</sub>電極が、

1) 個々の電極特性のばらつきによる電極間オフセット電圧が小さい(通常5 mV以内)

2) 硫酸銅溶液が滲み出していくため接地が容易である

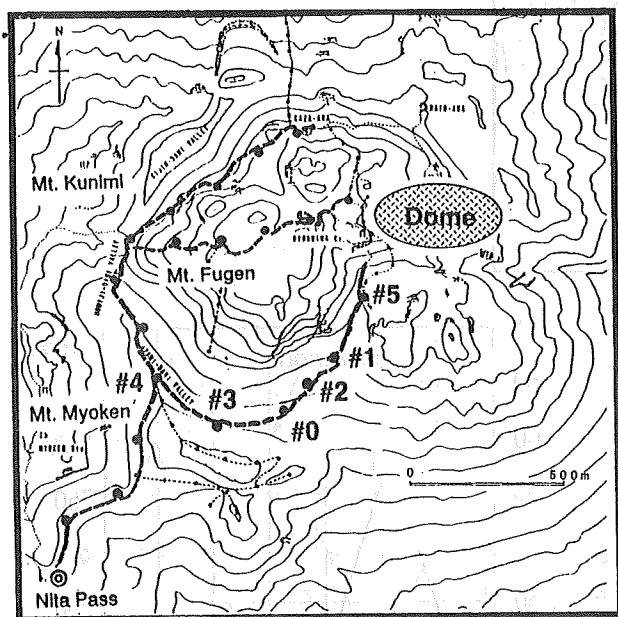
などの特長を持つことによる。「移動方式」は、電線を常設できないような領域を、広範囲に調査するのに適している。一方、2点間の電位差を連続で計測するには、固定電極をそれぞれの点に埋設し、電位差計をはさんで2点を直接電線で結ばなければならない。この方式を仮に「連続方式」と呼ぶ。連続方式は、固定された点を連続的にモニターすることにより、例えば火山活動など、時間とともに変動する場を検出するのに特に有効である。

最近では、自然電位の観測はデジタルテスターなどを用いて簡便に行うことができるようになってきているが、測点の配置には注意が必要である。例えば、石戸(1992)<sup>7)</sup>も指摘しているように、特に火山地帯において自然電位の時間変動を検出しそれに解釈を与えるには、かなり広範囲にわたる電位分布を知ることが必要であり、少数の固定電極の電位をモニターするだけでは不十分である。つまり火山地帯では、山体全体に及ぶ大きな電位分布と、局所的な電位分布が混在していることが多いので、測点が電位分布のどこに位置するのかわかしておく必要がある。そのためには比較的広範囲な地電位のマッピングをとるなどの対策が考えられる。また、連続観測の場合、電極ドリフトの問題も重要である。連続方式では、カーボン電極や鉛電極などの他に、最近ではしばしばPb-PbCl<sub>2</sub>電極が利用される。短期的使用には簡便なCu-CuSO<sub>4</sub>電極も、長期間にわたって連続使用するには、溶液を補充し続けなければならないという問題がある。溶液の補充の問題がなく、ドリフトの比較的小さい電極として、Pb-PbCl<sub>2</sub>電極が良いとされている。しかし、この電極は日本に導入されてからまだ日が浅く実績が少ない上に、人によって製法や構造もまちまちである。そのすべてについて長期安定性や温度特性などが明らかにされているとは言い難い。今回の観測は、そういう状況を踏まえてPb-PbCl<sub>2</sub>電極の比較的長期にわたるフィールドテストという観点からも行っている。

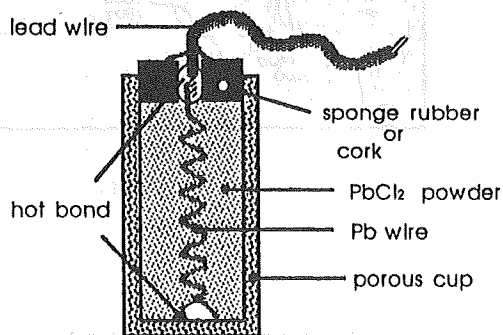
これまで各地で行われた観測では、火口を含むある程度広範囲な領域の空間電位分布を定期的にサーベイすることによって火山活動に関連した自然電位分布の変動を検出した例が多い。今回の我々の観測は、広範囲に電位分布を調査しつつ、一部の測線では連続記録をとって火山活動の消長との関連を調べるといった方法をとった。第1図に我々の電極埋設点配置を示す。空間分布の観測としては先にも述べたように、Cu-CuSO<sub>4</sub>電極を用いた「移動方式」によるサーベイが主流であるが、この方式で短期間の内に何度も繰り返し観測を行うのは手間がかかりすぎる嫌いがある。そこで今回の観測では、後日の繰り返し観測を容易にするために次のような方式を採用した。登山道路沿い(第1図の太い点線)に一条の電線を敷設する。このようにしておくことで、繰り返し

し観測の度に、長い電線を携帯する労力が軽減される。例えば仁田峠（第1図の◎）にひとつのCu-CuSO<sub>4</sub>電極を接地して電線に接続する。次に、もう一つの電極を持って登山道路を進み、図の黒丸の点で電線を切り離して仁田峠との電位差を測る。計測終了後、切り離れた電線を接続して次の点へと進めばよい。のちには、黒丸の地点にPb-PbCl<sub>2</sub>電極を2個ずつ埋設して固定極とした。電極は近傍の状態を一定に保つためにベントナイトでくるみ、埋設深度は約50cmとした。これによりCu-CuSO<sub>4</sub>電極を携行する必要もなくなり、作業性は著しく向上した。これ以外にも、道沿いの測点だけの繰り返し観測では面的に電位分布を知るには不十分であるとの判断から、特に電位勾配の大きな場所、あるいは測点が不足している領域について、Cu-CuSO<sub>4</sub>電極対を用いて「移動方式」で別途にサーベイを行った（第1図の細い点線）。

これと並行して、1991年3月20日から、第1図中の#0、#1、#2、#3、#4の5点に自作のPb-PbCl<sub>2</sub>電極をベントナイトでくるんで埋設し、連続観測を開始した。埋設深度は同じく約50cmである。我々が用いたPb-PbCl<sub>2</sub>電極の構造を第2図に示しておく。この電極は、高さ約7cm、直径2cmの円筒形であり比較的小型であるが、ケースに素焼きを用いて接地面積を大きくするなどの工夫がなされている。#0から他の4点にそれぞれ電線を引き、#0を基準とした各点の電位をデータロガー（コーナシステム製KADEC-US）に収録する。このデータロガーは入力1chのため自作のマルチプレクサを付加して8chまで切り替え入力を可能にしてある。また、入力段には雷による誘導電流のための対策を施してある。サンプリングは各点とも、40分に1データである。その後同年7月下旬に#5点を追加埋設した。観測は1992年4月現在も継続中である。



第1図： 測点分布図  
 大きな黒丸がPb-PbCl<sub>2</sub>固定電極の位置を示す。  
 太い点線は電線を敷設した路線。  
 DOMEは地獄跡熔岩ドームを示す。



Pb-PbCl<sub>2</sub> Electrode (1991)

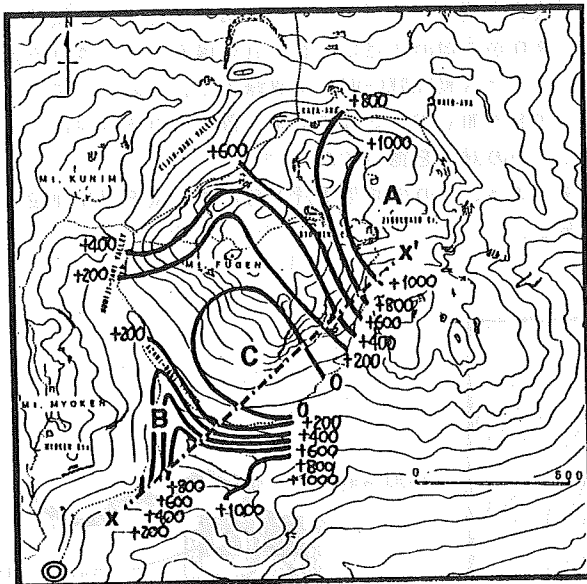
第2図： Pb-PbCl<sub>2</sub>電極構造図

### 3. 自然電位の空間分布について

仁田峠を基準とした自然電位の空間分布（1992年1月現在）のコンターが第3図である。地形効果の補正は施していない。図中より以下の3点が明瞭に読み取れる。

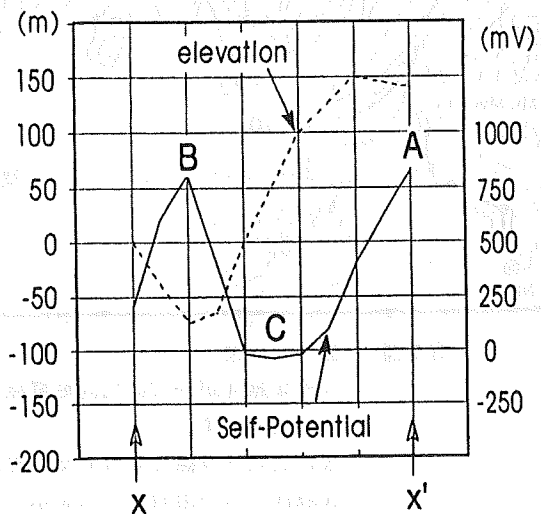
- 1) 地獄跡火口（A）に近づくに従って高電位となっている。
- 2) 薊谷付近（B）が高電位となっており、電位勾配も大きい。
- 3) （A）、（B）に挟まれた領域（C）に低電位の目玉がある。

第4図は、第3図中のX-X'で切った電位断面図である。図中B付近では、地形標高と電位が逆相関、CからAにかけては正相関の関係にあることがわかる。

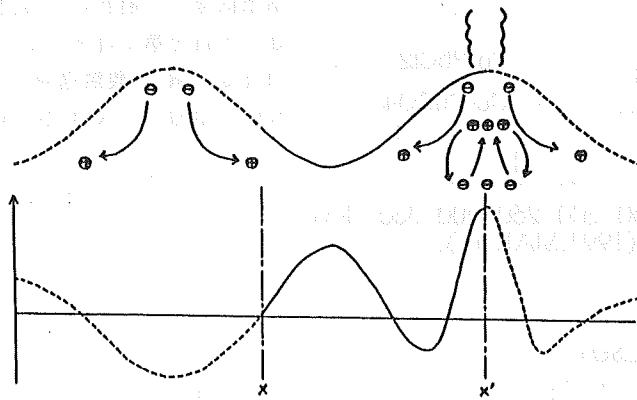


第3図： 自然電位分布図  
◎が電位の基準点。

第4図：第3図のx-x'断面における自然電位プロファイル。点線は地形高度、実線は地電位を表す。A、B、C、x、x'は第3図のそれに対応する。



特に金属鉱床などのない山体では、地下水の流動による界面動電現象が自然電位発生に重要な役割を果たす<sup>9)</sup>。地下水の流動を引き起こす原因として、2つの効果が重要であると考えられる。一つは地形による効果（重力によるフロー）であり、今一つは火山の熱水対流による効果である。前者は、地形標高が高くなると電位が低くなる傾向が、後者はその逆の傾向がみられる。典型的な電位対標高の係数は、地形の効果が $-1\text{ mV/m}$ 、熱水対流の効果が $+10\text{ mV/m}$ のオーダーであるといわれる。この2つの効果を考慮して観測された地電位分布を説明したのが第5図である。上図は、地形の断面と、地下に引き起こされる電荷の動きを表したものである。右側の山体は地獄跡火口に対応するもので、その直下に熱水対流と地形効果を想定している。左側の山体は妙見岳に対応するものでこちらは地形効果だけを想定している。2つの山体に挟まれた部分は齧谷に対応している。下図は、上図から推定される地表面での地電位のプロファイルを示している。実線で描かれたところが第4図のx-x'に対応する。このように、地獄跡火口地下に熱水対流があるとすれば、観測された電位分布を無理なく説明できることが分かる。谷の部分で特に電位勾配が高まるのは、地下水が広い領域から集まってくることによるものだが、この効果は意外に大きい。「地形効果が空間的に一様ではない」例の一つと言えよう。



第5図：雲仙岳の自然電位モデル

(上図)：地形断面と地下に推定される

界面動電現象による電荷の流れ。

右側の山体は普賢岳地獄跡火口に、

左側の山体は妙見岳に対応する。

(下図)：上図のモデルから想定される地表面

での電位分布。x-x'は第3図の

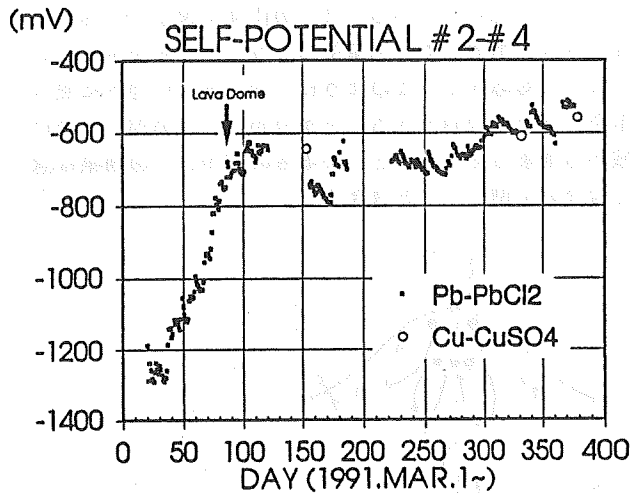
それに対応する。

#### 4. 自然電位の時間変化について

5点ある連続観測のデータのうち、代表点として#2点のデータの日平均値をプロットしたものを第6図に示す。観測初期から第100日あたりまで大きな電位上昇(約600mV)がみられた後、第250日あたりまでは停滞気味であったが、その後再び上昇傾向を示している。他の連続点も傾向は同じである。熔岩ドームが出現したのが5月20日(第81日)であるから、それより以前から明らかに急激な自然電位の変化があったことがわかる。この値は降水の影響や電

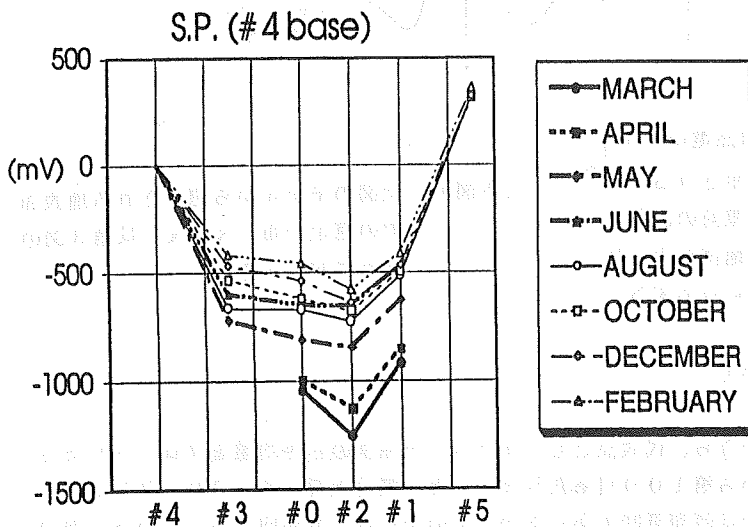
極固有のドリフトに起因する変動量をはるかにしのぐ大きな量である。

長期的な変動に重なって、10日から20日程度の小振幅の変動がみられる。降水量データとの比較からこの変動の原因は降水であると考えられる。図中の白丸はCu-CuSO<sub>4</sub>電極対により平行観測を行ったときのデータを表しており、これにより、埋設されているPb-PbCl<sub>2</sub>電極のドリフトをチェックした。Cu-CuSO<sub>4</sub>電極対による平行観測は、今までのところ1991年8月1日、1992年1月22日、及び同年3月13日の3回行われている。これによれば、今回用いたPb-PbCl<sub>2</sub>電極には大幅なドリフトはなかったことが分かる。



第6図：

#2点の地電位変動(日平均値)  
基準は#4(薊谷)。横軸は1991年3月1日を第1日とした日数。  
白丸は、銅-硫酸銅電極による検定値。  
矢印は熔岩ドーム出現の日を示す。



第7図：

連続測点における地電位  
プロファイルの変動。  
測線に沿って横軸をとり  
(右側が火口側)、縦軸に  
#4(薊谷)を基準にした  
ときの電位をとっている。  
各点の値は月平均値。

第6図は1点での自然電位の時間変動を示したものであったが、これだけでは自然電位が広域的にどの様に変動したのかを知ることは出来ない。そこで、6点ある連続点の、1カ月毎の空間プロファイルの変動を第7図に示した。この図から、#2と同じく#3、#0、#1でも大幅な電位上昇があったことが分かる。この事実は、第3図中の領域Cにあたる低電位の目玉が「浮上した」ことを意味している。

空間分布から見て火口付近が高電位になっているという事実と、このように火口側の電位が相対的に上昇したという事実は、火山活動によって誘起された地下の熱水対流が発達したことを強く想像させる。

## 5. まとめ

雲仙岳火口周辺で自然電位観測を行った結果、次のような結論に至った。

- 1) 火口付近の高電位異常は地下の熱水対流による可能性が高い。
- 2) 薊谷の高電位異常は谷地形による効果で説明できる。
- 3) 1991年3月からの、火口側の相対的な電位上昇は、熱水対流の発達による変化である可能性が高い。

今後の方針としては、定量的な解釈により、自然電位の情報から、地下水の流量、電流密度などの量を推定することを試みたい。なお電位の基準点にとった薊谷は、先にも述べたように谷地形の影響を強く受けていると思われるので、降水量変化やその他の影響を受け易い。そこで、1992年3月からは、薊谷から更に西へ1 kmの地点(仁田峠)に連続点#6を追加している。今後の観測によって降水による影響の定量的な評価にもつなげたい。

## 6. 謝辞

現地での観測にあたって、島原地震火山観測所をはじめ大学合同観測班のメンバーに多大なる助力を頂いたことを深くお礼申し上げます。また、雲仙岳観候所からは降水量のデータを頂き、降水の影響のチェックに使わせて頂いた。ここに付記してお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Namba Munetosi, 1939. An Investigation of Earth Currents on the Volcano Aso Part I~V, Memoirs of the College of Science, Kyoto Imperial Univ. Ser. A
- 2) 石戸経士、菊地恒夫、高倉伸一、小川康雄、曾屋龍典、1991. 伊豆大島の自然電位分布、火山学会春期大会、講演予稿集、p. 24
- 3) Nishida, Y., and Tomiya, H., 1987. Self-potential studies in volcanic areas (1) - Usu volcano -, Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII (Geophysics), Vol. 8, No. 2, p. 173-190.
- 4) Matsushima, N., Michiwaki, M., Okazaki, N., Ichkawa, R., Takagi, A., and Nishida, Y., 1990. Self-potential studies in volcanic areas (2) - Usu, Hokkaido Komagatake and Me-akan -, Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII (Geophysics), Vol. 8, No. 5, p. 465-477.
- 5) NEDO, 1988. 地熱開発促進調査報告書 No. 15. 雲仙西部地域
- 6) 石戸経士、1991. 自然電位から推定される火山地域の地下流体流動、CA研究会論文集、p. 86-93.
- 7) 石戸経士他、1992. 火山活動に伴う地電位変動 - 伊豆大島の場合 -、地球惑星科学関連学会合同大会・講演予稿集 p. 374.
- 8) Fitterman, D. V., 1978. Electrokinetic and Magnetic Anomalies Associated With Dilatant Regions in a Layered Earth, J. G. R., Vol. 83, No. B12, p5923-5928.