

# 三宅島火山における自然電位分布序報

西田泰典・佐藤秀幸・宇津木充(北大理), 村上英記・網田和宏(高知大理), 田中秀文(高知大教育), J. Zlotnicki・P. Yvetot (Lab. Geophys. Orleans), P. Morat (Inst. Phys. Globe Paris), 笹井洋一・石川良宣(東大震研)

## A preliminary report on the distribution of the self-potential field in Miyake-jima volcano

Nishida, Y., H. Satoh, M. Utsugi (Hokkaido Univ.), H. Murakami, K. Amita, H. Tanaka (Kochi Univ.), J. Zlotnicki, P. Yvetot (Lab. Geophys. Orleans), P. Morat (Inst. Phys. Globe Paris), Y. Sasai, Y. Ishikawa (Univ. Tokyo)

### 1. はじめに

理論的, 実験的研究 (例えば, Nourbehecht, 1963; Ishido and Mizutani, 1981) にもとずいて, 火山や地熱地帯における自然電位 (SP) 異常の多くは, 地下熱水対流に伴う流動電位に起因していることが明らかになってきた. 従って, SP 異常の研究は火山熱学, あるいは火山水理学上 有用な情報をもたらしてくれる. このような観点から, 近年幾つかの火山で SP 測定がされるようになってきた (例えば, Soufriere 火山: Zlotnicki et al., 1994a; Piton de la Fournaise: Zlotnicki et al., 1994b; 雲仙火山: Hashimoto and Tanaka, 1995; 有珠, 北海道駒ヶ岳, 雌阿寒岳, 恵山: Nishida and Tomiya, 1987, Matsushima et al., 1990, Nishida et al., 1996). 本稿では, 三宅島火山で行った SP 測定の結果を報告する.

### 2. 三宅島の火山活動と地球物理学的研究

三宅島は約 8 km の径を持つ玄武岩質の火山島で, 中央火口丘や多くの寄生火山を含む成層火山である. 三宅島は, 西暦 1085 年以降 14 回の大きな噴火を経験している. そのうち, 1085, 1145, 1469, 1535, 1595 年の噴火に関しては, 詳細な記録がない. それに対し, 1643, 1712, 1763, 1835 年の噴火は中心噴火であり, 1811, 1874, 1940, 1962 年噴火は割れ目噴火であることがわかっている (一色, 1960; 宮崎, 1984). 一番最近の噴火は 1983 年 10 月 3 日に起こり, 北北東—南南西走行の割れ目から多量の玄武岩質マグマと岩滓物が南～南西斜面に噴出した.

中央火口原や火口丘にはさほど優勢ではないものの, 幾つかの噴気地が存在していた. その噴気活動は, 噴火後約 1 ヶ月たって活発化したことが, 鍵山他 (1984) によって報告されている. また歌田他 (1984) はマグネトテリック観測を行い, 噴火前の 1980 年に火口原下数 100 m に存在した低比抵抗層の比抵抗値 (40~140  $\Omega$ m) が, 噴火後の 1983 年 11 月にはさらに低下して, 10  $\Omega$ m 程度になっていることを見出した. 歌田他 (1984) は噴気活動の変化も考慮して, 噴火後地下深部から熱水または高温のガスが供給されたと推定している.

### 3. 自然電位測定

#### 3.1. 1990~1991年の測定

1990 年に行われた三宅島火山集中観測の一環として, 10 月に電磁気の総合観測が行われた. その際, 10 月 27 日に中央火口原において SP 分布の予備測定を行った. さらに 1991 年 4 月 6 日から 7 日にかけて測定範囲を拡張し, 北北東—南南西走行の測線をもうけた. 測定には銅 - 硫酸銅電極と高入力抵抗デジタル電圧計を用いている. 両者の測点分布は第 1

図に示すとうりである。第2図に測線に沿ったSP値を示す。値は山頂の駐車場に設けた基準点(第2図の二重丸)からの相対値であり、mVで表わしている。

第2図を見ると、北北東および南南西の山麓斜面で、地形高度が下がると電位が上がる、いわゆるSPの地形効果が現われ、各々1.5 mV/m および0.86 mV/mと求められる。その地形効果を別にすると、山体中央部に約700 mVの相対的正の電位異常が顕著に見られ、三宅島火山の活動に関連した最も重要なSP異常と思われる。この異常は、両側で電位勾配が大きく、火口原ではほぼ平坦な、台形状の分布をしている。

### 3.2. 1995年の測定

一つの測線の測定結果のみからは、三宅島火山のSP分布の特性が十分に把握できないので、1995年10月に島内で面的な測定を行った。前回と同様に銅・硫酸銅電極を用いているが、一部の測線では鉛・塩化鉛電極を用いている。測定は10月17日から19日にかけて最大4チームが並行して行った。測点数は290点に及ぶ。前回の測定の際、上記駐車場を含む数点に標識として木杭を埋設したので、それらの点は再測するよう心掛けた。また幾つかの測線では測線ループを閉じさせ、閉塞誤差を見積もった。例えば山腹の一周道路、通称“鉢巻き林道”，沿いの測線では測線長が長いこともあって、103 mVの閉塞誤差があった。このような場合、その誤差を各測点に均等に割りふって補正する方法をとった。その結果、第3図のような電位分布が得られた。値は前回と同様に、山頂駐車場の基準点との相対値として示されている。

図を見ると、コンターは大略海岸線に平行しており、海岸部から山麓斜面に向かって電位が低下する地形効果が見られる。これを除くと山頂火口原の周辺、半径約2 kmの範囲内に数100 mVの相対的に正の異常が同心円状に分布している。なお、火口原内の0 mVのコンターは三ヶ月形をしているが、中央火口丘“雄山”による地形効果により負の電位異常が局所的に分布し、同心円状のコンターが歪められたためと解釈される。

北西山腹に測定が無いため、北北東山腹あるいは南南西山腹にみられる、-400mVあるいは-500 mVのコンターがお互いにつながっているかどうか不明である。もしつながっているとすると、前述の正の異常の振幅は約700 mVと見なされるが、そうではなく、図に示したようにコンターが孤立していて、主たる異常とは別の原因によるものとする、その振幅は400mV程度となる。

第2図に前回と同じ測線沿いの電位分布をプロットして、両者を比較した。測線の南南西斜面では、測定値の再現性は良く、この約4年間顕著な経年変化は見られない。北北東斜面では標高300 mより下部で約150 mVのくい違いが見られる。しかしここだけ特別に異常が発生する要因が見当たらないことから、上記で行った補正のみでは除去しきれない誤差要因、例えば測定時にどこかの点でオフセットが生じたようなことも考えられる。図をみると、標高300 m付近のステップ状の電位変化の振幅に差があることから、ここでオフセットが生じた可能性が高い。それが前回の測定時に生じたものか、今回のものかは今となっては特定できない。このような問題を含んでいるもの、第3図に示される島内の電位分布の大局は変わらない。

なお第2図を見ると、1983年噴火の際生じた割れ目の付近に局所的に約100 mVの正の異常が見られる。1991年測定時には、測定中、値がやゝバラつき不安定であった。そこは1983年噴火の際に噴出した透水性の良い岩滓物に覆われた場所なので、電極と地面との接触に問題があって生じた誤差ではなかろうかと解釈していた。しかしながら、1995年の測定でも同様な結果が再現されているので、この異常は単なるノイズとは考えられない。渡辺(1985)は1983年噴火直後の10月17~18日に、この割れ目の上流部で幅の狭い、鋭いピークを持った正の異常(幅約200 m; 振幅約300 mV)を観測し、その原因を流動電位に求めている。この時の割れ目周辺はかなり高い地温を示していたが、この地温異常も消失した1984年5月18日の再測定でも、同じ空間的波長で、振幅が約230 mVの異常が観測されている。渡辺(1985)は、地表の熱異常が消失したにもかかわらずSP異常が20%程度しか減少

いていないことから、異常源をある程度深い所(数10 m以深)に想定している。本観測結果は、噴火後約12年たった今でも、割れ目直下に小規模な熱水上昇があることを示唆している。

#### 4. 議 論

先に述べたように、本観測結果で最も重要なのは、中央火口原を中心とした正の異常である。このような異常は多くの活動的火山で観測されており、地下熱水対流の上昇に伴うものであると解釈されている。約400 mVの正異常が観測される有珠山(Nishida and Tomiya, 1987; Nishida et al., 1996)では、放熱エネルギーも大きく(1990年には $1.4 \times 10^2$  MW)、また噴気孔からの噴気温度も最高約500°Cと極めて高い(松島, 1992)。これは、1977年噴火の際形成された潜在溶岩円頂丘(有珠新山)の浅部に残存する多量のデイサイト質マグマ( $8 \times 10^7 \text{ m}^3$ )に起因しており(松島, 1992)、SP異常を作る地下熱水対流系もそれを熱源としている。すなわち、有珠山では高温ガスの大気への放出と熱水対流の両方による放熱過程にあると云える。

一方、三宅島での噴気温度は約100°Cとあまり高くない。1986年伊豆大島噴火の例(噴火後、玄武岩質マグマは地下深部へドレインバックしてしまったと考えられている(井田他, 1988))との類推から、三宅島のマグマは有珠山のように山体浅部に残留しているとは考えられていない。このことから三宅島では、比較的深部に存在するマグマを熱源とした高温の熱水又はガスが山体の水飽和層に供給されることにより、熱水対流を励起し、高いSP異常をもたらしていると推定される。ただし、この熱水又はガスの持つ熱エネルギーは、噴気孔から過熱蒸気を放出させる程大きくないため、噴気温度が沸点程度に押さえられていると考えられる。すなわち、現在の三宅島では、熱水対流による放熱過程が卓越していると推定される。

第4図は中村(1984)による側火口や最近の1962年、1983年の噴火割れ目に沿った火口列(星印)の分布に、茅原他(1973)や茅原他(1984)によって提唱された西部山腹、桑木平付近に見られる旧期カルデラ壁を重ねたものである。それを見ると、北北東および南南西山腹に見られる電位異常の-400~-600 mVのコンターの位置が、側火口分布の密な場所や旧期カルデラと一致しているように見える。

石戸(1981)は、例えば降水などが地表面から地下へ浸透するような場所で、負の電位異常が観測され得ることを理論的に示した。もし側火口やそれをつなぐ割れ目の透水性が高かったり、旧期カルデラが降水の収積へ強く関与しているとする、そこから浸透した水が深部からの高温熱水又はガスで暖められ、中央火口原へ上昇するような熱水循環が考えられる。従って、熱水上昇域の正のSP異常に、降水浸透域の負の異常が重なっていると考えれば観測されたSP異常を説明することができる。しかし割れ目や旧期カルデラが降水の顕著な地下浸透域であるという水理モデルが妥当であるかどうか、水収支観測などを通じて直接検証する必要がある。また前に述べたように、-400~-500 mVのコンターが閉じているかどうかによっては、このような解釈の妥当性が失われるので、北西山腹のSP測定が急がれる。

#### 5. まとめ

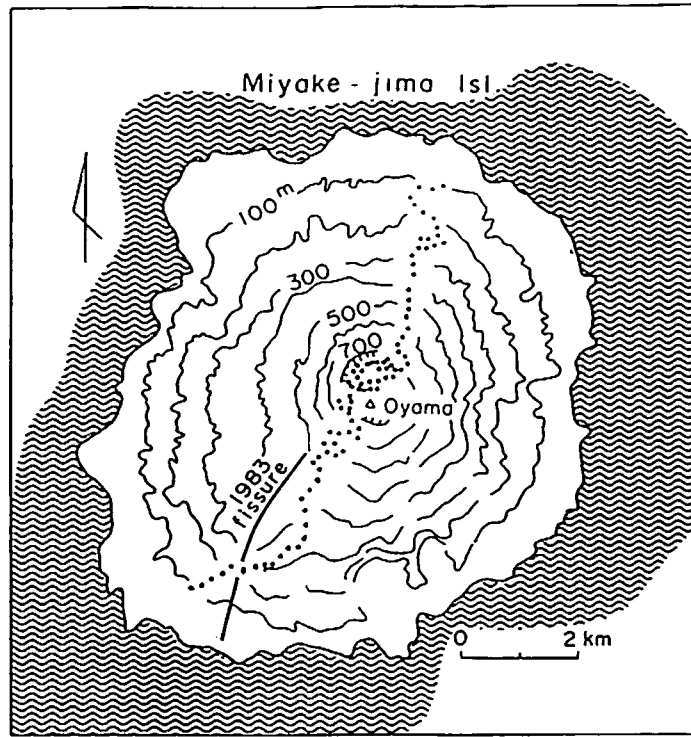
1. 中央火口原を中心とし、半径約2 kmの範囲内に正のSP異常が観測された。この異常は地下深部の熱源からの高温熱水又はガスの供給により、山体の水飽和層に熱水対流が励起されたために発生したものと思われる。

2. 北北東および南南西山腹の割れ目の発達した場所、あるいは旧期カルデラにあたる場所にSPの低異常が見られる。この異常は降水の地下への浸透によると解釈できるが、北西山腹のSP測定が無いいため結論的に云うことはできない。

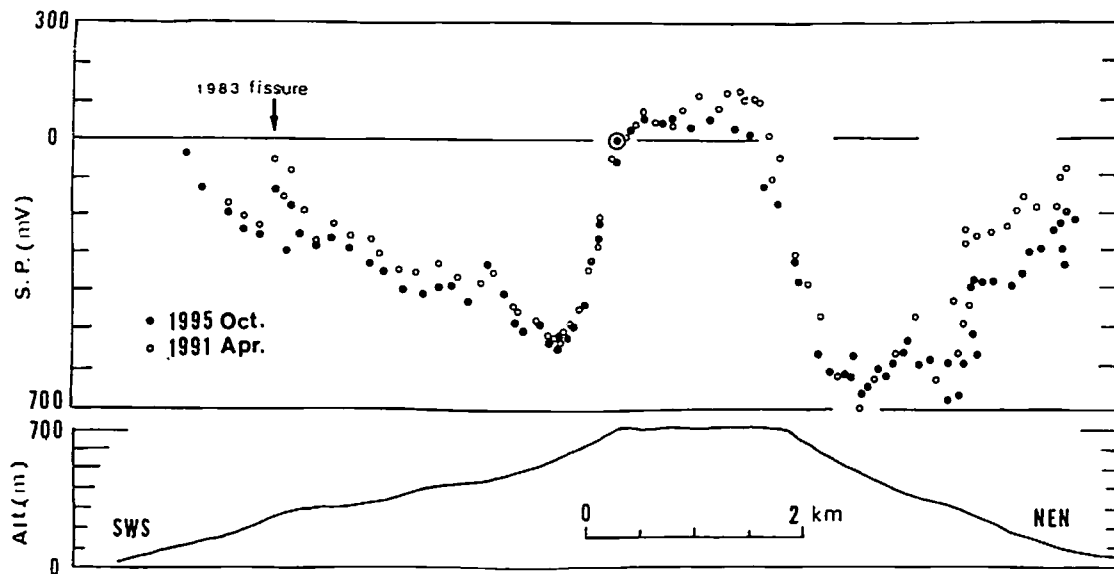
3. SP異常と結び付いた地下水モデルを確立するため、水収支を含む火山水理学的観測が必要である。

## 文 献

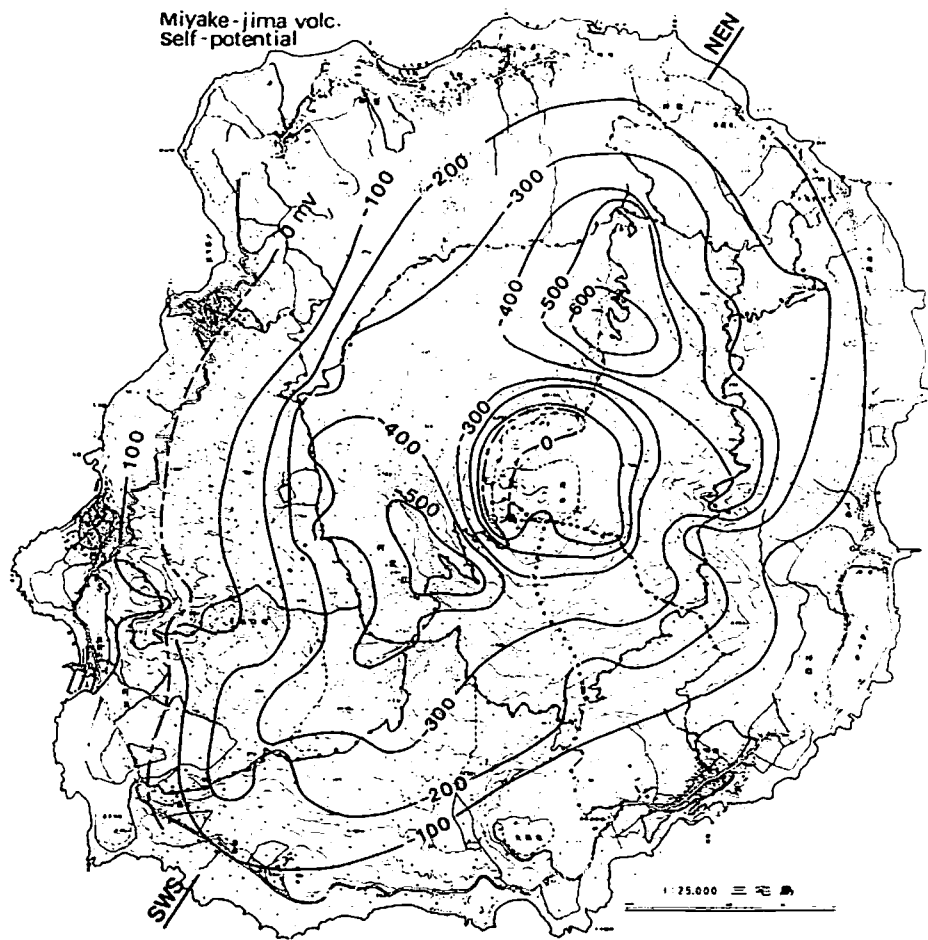
- 茅原一也・青木 滋・八木健三・新藤静夫, 三宅島火山に関する新知見(要旨). 火山, 第2集, 18, 102-103, 1973.
- 茅原一也・青木 滋・八木健三・新藤静夫, 三宅島火山西斜面のカルデラと溶岩流制御について. 火山, 第2集, 29, S335-S342, 1984.
- Hashimoto, T. and Y. Tanaka, A large self-potential anomaly on Unzen volcano, Shimabara peninsula, Kyushu island, Japan. *Geophys. Res. Lett.*, 22, 191-194, 1995.
- 井田喜明・山岡耕春・渡辺秀文, マグマ後退期の火山活動の発生機構—1986年12月以後の伊豆大島火山の噴火の解釈—. 地震研究所彙報, 63, 183-200, 1986.
- 石戸経士, 地熱水対流に伴う流動電位—地熱地域における自然電位異常の1つのメカニズムとして—. 日本地熱学会誌, 3, 87-100, 1981.
- Ishido, T. and H. Mizutani, Experimental and theoretical basis of electrokinetic phenomena in rock-water systems and its applications to geophysics. *J. Geophys. Res.*, 86, 1763-1775, 1981.
- 一色直記, 5万分の1地質図幅説明書「三宅島」, 地質調査所, 1-88, 1960.
- 鍵山恒臣・宇平幸一・山本博二・辻 浩・荒木卓次・長田 昇・小山悦郎・竹田豊太郎・渡部暉彦, 1983年三宅島噴火の熱的調査. 火山, 第2集, 29, S158-S174, 1984.
- 松島喜雄, 活動的火山における熱学的研究—1977年有珠山噴火にともなう放熱過程—. 北海道大学博士論文, 1-83, 1992.
- Matsushima, N, M. Michiwaki, N. Okazaki, R. Ichikawa, A. Takagi, Y. Nishida and H. Mori, Self-potential studies in volcanic areas (2) —Usu, Hokkaido Komaga-take and Me-akan—. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. 7*, 8, 465-477, 1990.
- 宮崎 務, 歴史時代における三宅島噴火の特徴. 火山, 第2集, 29, S1-S15, 1984.
- 中村一明, 三宅島の側火口分布と地殻応力場の性質. 火山, 第2集, 29, S16-S23, 1984.
- Nishida, Y. and H. Tomiya, Self-potential studies in volcanic areas (1) —Usu volcano—. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. 7*, 8, 173-190, 1987.
- Nishida, Y., N. Matsushima, A. Goto, Y. Nakayama, A. Oyamada, M. Utsugi and H. Oshima, Self-potential studies in volcanic areas (3). *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. 7*, 10, 63-77, 1996.
- Nourbehecht, B., Irreversible thermodynamic effects in inhomogeneous media and their applications in certain geoelectric problems. Ph.D Thesis, Mass. Inst. Technol., Cambridge, 1963.
- 歌田久司・笹井洋一・中川一郎・小山 茂・石川良宣・浜野洋三, 1983年三宅島の噴火に関連した電気比抵抗変化. 火山, 第2集, 29, S113-S124, 1984.
- 渡辺秀文, 三宅島の1983年噴火割れ目に伴う自然電位分布異常とその変化. 火山体の物理的場の比較研究による噴火災害予測(自然災害特別研究(1)研究成果報告書), 82-83, 1985.
- Zlotnicki, J., M. Feuillard and G. Hammouya, Water circulation on La Soufriere volcano inferred by self-potential surveys (Guadeloupe, Lesser Antilles). Renew of volcanic activity? *J. Geomag. Geoelectr.*, 46, 797-813, 1994a.
- Zlotnicki, J., S. Michel and C. Annen, Anomalies de polarisation spontanee et systemes convectifs sur le volcan du Piton de la Fournaise (Ile de la Reunion, France). *C. R. Acad. Sci. Paris, t. 318. Serie II*, 1325-1331, 1994b.



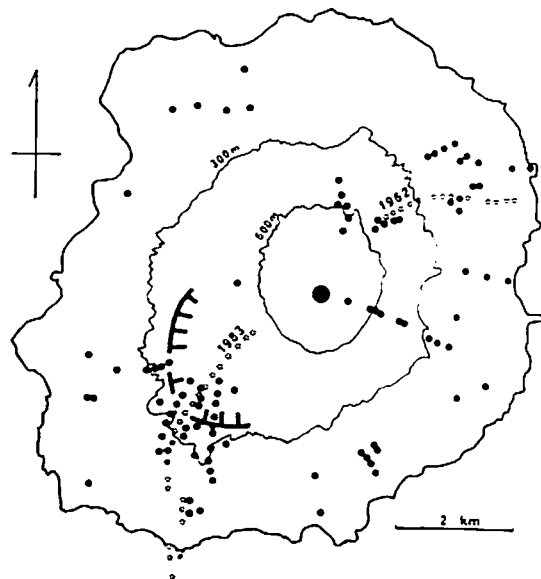
第1図 三宅島の地形図(コンター間隔は100 m)と1990~1991年の測点分布.



第2図 NEN-SWS 測線に沿った, 1990~1991年および1995年のS P 分布. 山頂駐車場の点(二重丸)を基準としている.



第3図 1995年の測定によるSP分布(単位はmV).



第4図 中村(1984)による側火口(黒丸)と1962年, 1983年の噴火割れ目に沿った火口列(星印)の分布図に, 茅原他(1984)による旧期カルデラ壁を重ねたもの.