

## 活動的火山の自然電位とその変動

石戸 経士 (産業技術総合研究所・地質調査総合センター)

### Self-potential and its changes on active volcanoes

Tsuneo Ishido (Geological Survey of Japan, AIST)

これまでに多くの火山で“W”字型の自然電位プロファイルが報告されている。これは、天水の下降流によってもたらされる界面動電現象起源の標高負相関の電位に、山頂火口付近での地熱活動に伴う何らかの電位異常が重ね合わさって形成されたものと考えられている (例えば Zlotnicki and Nishida, 2003)。熱水の上昇流、噴気による天水下降流の消失などいくつかの要因が考えられるが、Ishido (2004)は数値シミュレーションによる検討から、火道周囲の良導体の存在が最も重要であることを指摘した。地表付近の負電位領域が深部の“ゼロ電位”領域と良導体によって結ばれると火口付近の電位が大きく上昇し“W”字型のプロファイルになることを示した。

熱水対流の上昇流による寄与は流体の化学性状にもよるが最大+100 mV程度で地熱地域において観測される正異常と同程度であり、“W”字型プロファイルの極小値を基準に数 100 mV から 2 V に達する火口付近の高電位は説明できない。熱水上昇をもたらす圧力勾配は通常、静水圧勾配の 1-2%程度であり、深度 2 km あたり 3 bars 程度、これに流動電位係数を 30 mV/bar とし掛けると、その間に生ずる電位差は 90 mV となる (同様の値は石戸, 1981 のモデル計算によって示されている)。

今回述べるのは、伊豆大島などで見られる山頂周辺の局所的負異常の原因と、火山活動に伴う電位変動 (石戸, 2004) の続報である。

#### 1. 山頂周辺の局所的負異常

伊豆大島においても“W”字型の特徴を持った自然電位分布が観測されている (Ishido et al., 1997)。ただし第 1 図に示すように、カルデラ内では短波長の異常が見られ、三原新山近く、剣が峰との間の稜線には大きな負異常が存在する。このような局所的な負異常の発生原因を検討するために、Ishido(2004)のモデルをベースに数値シミュレーションを行った。

数値シミュレーションでは、高さ 700m の軸対称の山体を設定し、まず火山活動のない状態について地表全体に一様な天水浸透量を与え、定常状態を求める。第 2 図(a)に示すのは、山体の浸透率を水平方向 100 md、鉛直方向 10 md ( $1\text{md}=10^{-15}\text{m}^2$ )、天水浸透量 0.2m/yr とした場合の結果である。海水に飽和した層の上に淡水層がレンズ状に浮かんでいて、さらにその上に海拔 150 m から地表まで不飽和帯が厚く存在している。第 2 図(b)に示すのは、(a)の状態を初期状態として、中心軸に沿った海拔-500 m まで半径 200 m の領域が加熱されて 100 年後の状態である。火道周囲に熱水対流が励起され海水が巻き上げられている。

次に、EKP ポストプロセッサ (Ishido and Pritchett, 1999) を第 2 図の流体流動シミュレーション結

果に適用して電位分布を求める。第3図に示す“G&T-C”の電位プロファイルは第2図(b)に対応している。計算では、第2図(b)に示す“C”領域に1 S/mの高伝導度を仮定しているが、この領域と熱水対流によって上昇した海水領域が接触して深部まで延びる良導体を形成するため“W”字型のプロファイルが現れる(Ishido, 2004)。

今回新たに計算したケースは、三原山の稜線に沿ってチューブ状(厚み100 m)の低浸透率(1md)の領域を設けている(第3図)。流体流動のシミュレーション結果では、不飽和帯での水の飽和度は概ね0.55程度であるが、この低浸透率領域では0.9-1と高くなる。EKPポストプロセッサの計算では第4図のような流動電位係数の飽和度依存性を仮定しているため、低浸透率領域の上部には周囲より強い負の伝導電流源が発生し、第3図の“G&T-C low k”のカーブのような局所的な負異常を生ずる。水に飽和した領域では流動電位係数は浸透率に依存しないが、不飽和帯では浸透率の違いによって飽和度が変化するので、流動電位係数は間接的に浸透率に依存することになる。ここで述べたメカニズムは、三原新山付近に見られるような負異常を定量的にも説明できる。また、同じ稜線でも剣が峰付近は高電位であるが、これは噴気活動によってそもそも天水下降流が存在しないためと考えられる。

## 2. 火山活動に伴う自然電位変化

火山活動に伴う電位変化は、火道の急激な加圧等によっても発生する可能性があるが(石戸、2004)、“W”字型プロファイルの火口付近の高電位は、火道に沿った良導体の伝導度変化によって大きく変化するものと考えられる。火道周囲の良導体は、熱水活動による変質鉱物や熱水対流による高塩分流体の上昇などによってもたらされる。前者は時間的に安定して存在するが、後者は熱水対流系発達の時間スケールで変化する。地下水位より下で対流系が発達して高塩分流体のプルームと浅部の良導体が接触すると、火口付近の電位は大きく増加する(第5図の“G-C”から“G&T-C”への変化)。ちなみに熱水上昇による携帯電流(流動電位としての寄与)は、熱水の塩分濃度が高い場合は無視できるが、天水程度である場合には100 mV程度の上昇をもたらす。ただし、このケースでは伝導性がそれほどでないため、携帯電流の寄与を考えないと電位プロファイルは第5図の“G-C”に近い。

マグマの上昇も火道の伝導度を上げるので(Utada, 2003)、電位分布を変化させるものと考えられる。ここでは、マグマ上昇による伝導度分布の変化のみに着目して電位変化を計算した。流体流動のモデルは第2図(a)に示す熱活動のない場合であり、中心軸に沿った半径50 mの領域が(計算領域の下端である-5 km RSLから)あるレベルまで2 S/mの良導体に置き換わった状態について計算を行った。第6図(左)に示すのは、良導体(マグマ)のトップが標高600 m(深度100 m)にある場合の電位分布であり、良導体のない地形標高に負相関の電位分布に比べると火口付近の電位は500 mV以上高くなり“W”字型のプロファイルを形成する。

第6図(右)に示すのは、流体流動のモデルはやはり第2図(a)に示す熱活動のない場合であるが、“既存の良導体”を想定し、中心軸に沿って海水準までは半径1.5 km、海水準から標高600 mまでは半径200 mの領域の岩石に0.1 S/mの伝導度を与えている。(ちなみに、この領域以外では岩石部分の伝導度は0.0001 S/mとしているのでバルクの伝導度は流体部分の寄与で決まり、不飽

和帯での平均的な伝導度は 0.003 S/m 程度である。) 既存の良導体により火口付近の電位はかなり高く “W” 字型のプロファイルとなっているが、中心軸に沿って半径 50 m の領域が 2 S/m になると、さらに 100 mV ほど高くなる。

以上の2つのケースについてマグマ (良導体) 頭位に対する火口の電位をプロットすると第 7 図のようになる。既存の良導体がない場合は、マグマ頭位が深さ 500 m に達すると電位はマグマの上昇とともに大きく増加する。これに対して既存の良導体がある場合は、マグマ頭位が 100 m 以浅になってから電位の顕著な増加が始まる。第 7 図には、既存の良導体が 0-600 m でなく 100-600 m と海水準から 100 m 空白のある場合の結果も示している。このケースでは、マグマがこの空白部分を通過し浅部の良導体と連結するときにも急激な電位上昇が発生する (マグマの伝導度を 20 S/m としているため、マグマ頭位が 200 m より浅い場合の電位増加は 2 S/m としたケースよりも大きくなっている)。

## 引用文献

石戸経士(1981)地熱水対流に伴う流動電位、日本地熱学会誌、vol.3, 87-100.

石戸経士(2004)火山活動に伴う SP 変動、CA 研究会 2004 年論文集、33-37.

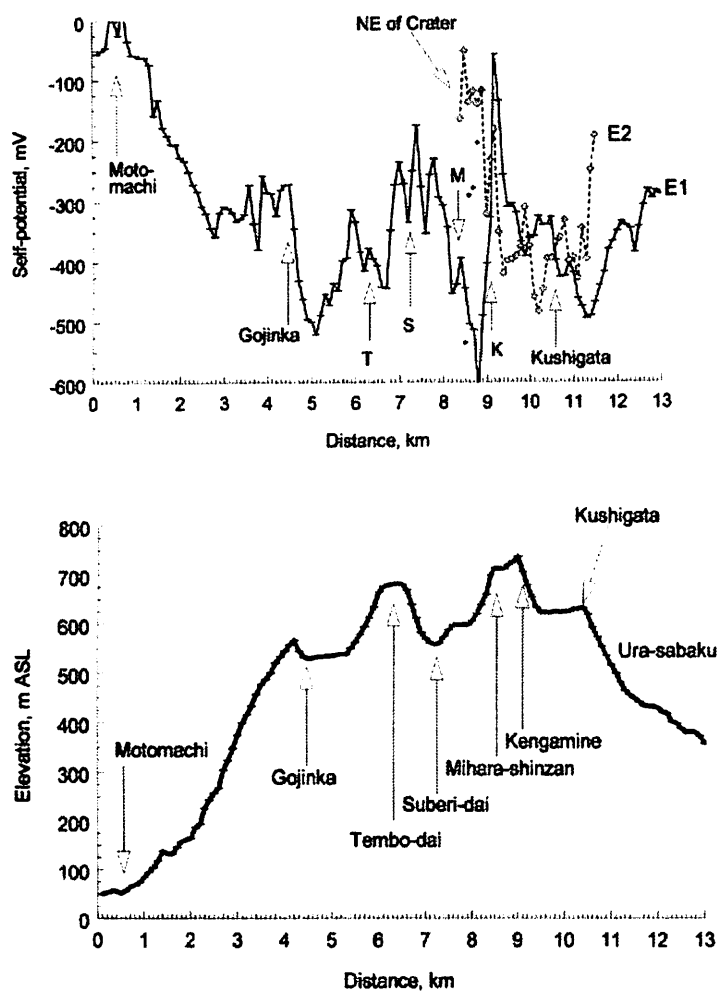
Ishido, T. (2004) Electrokinetic mechanism for the “W”-shaped self-potential profile on volcanoes, *Geophys.Res.Lett.*, vol.31, L15616, doi:10.1029/2004GL020409.

Ishido, T., Kikuchi, T., Matsushima, N., Yano, Y., Nakao, S., Sugihara, M., Tosha, T., Takakura, S. and Ogawa, Y. (1997) Repeated self-potential profiling of Izu-Oshima volcano, Japan, *J.Geomag.Geolectr.* vol.49, 1267-1278.

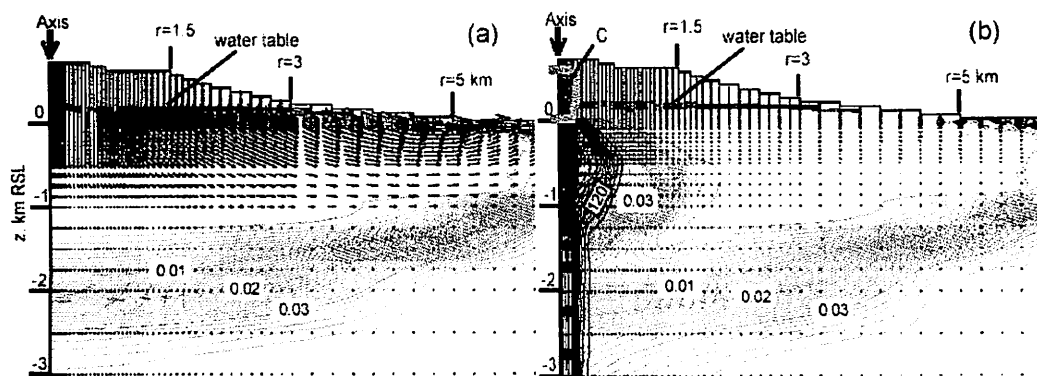
Ishido, T., and Pritchett, J.W. (1999) Numerical simulation of electrokinetic potentials associated with subsurface fluid flow, *J. Geophys. Res.*, vol.104, 15,247-15,259.

Utada, H. (2003) Interpretation of time changes in the apparent resistivity observed prior to the 1986 eruption of Izu-Oshima volcano, Japan, *J. Volcanol. and Geotherm. Res.*, vol.126, 97-107.

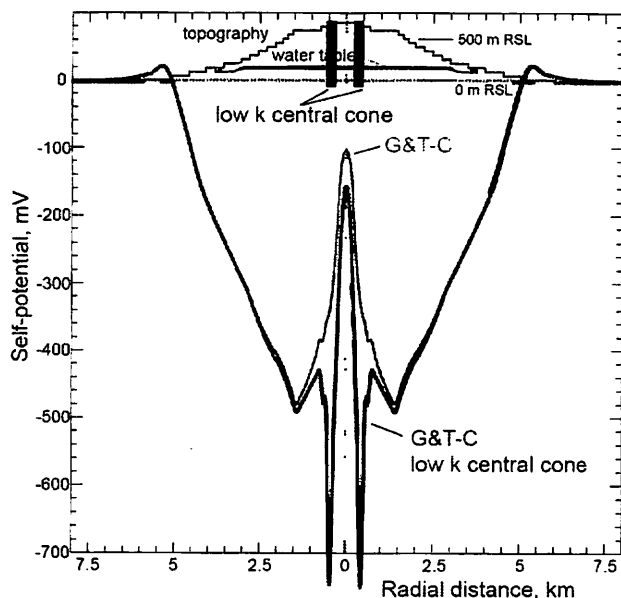
Zlotnicki, J.and Nishida, Y. (2003) Review on morphological insights of self-potential anomalies on volcanoes, *Surveys in Geophysics*, vol.24, 291-338.



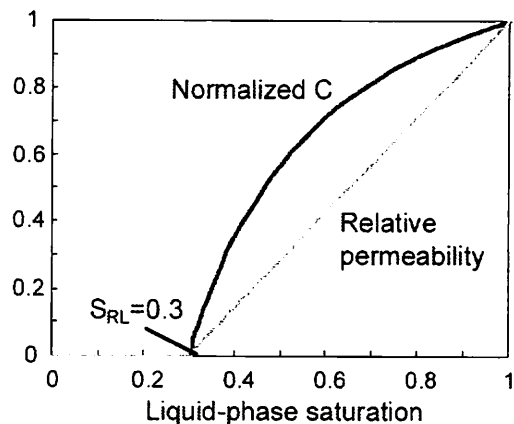
第1図 伊豆大島の自然電位分布(Ishido et al., 1997)。元町から裏砂漠に至る測線について1990年(点線部は1994年)に得られたプロファイル(上図)と測線に沿う地形断面(下図)。



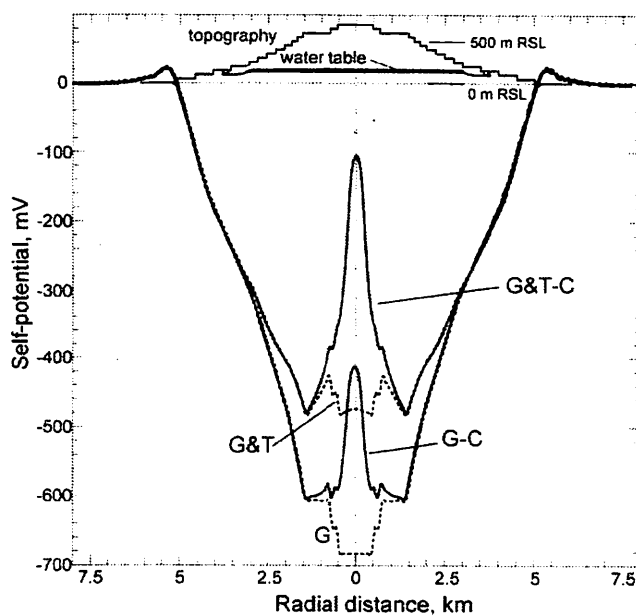
第2図 流体流動シミュレーションに用いた軸対称3Dモデル ( $0 < r < 9 \text{ km}$ ,  $-5 \text{ km} < z < 0.7 \text{ km}$  の範囲)。天水浸透によるレンズ状の淡水層とその上部の不飽和層の発達(左図)と、これを初期状態として熱水対流が開始して100年後の状態(右図)。海岸位置は  $r=5 \text{ km}$  で、海水準より下のコンターは流体中の塩分濃度を示す。



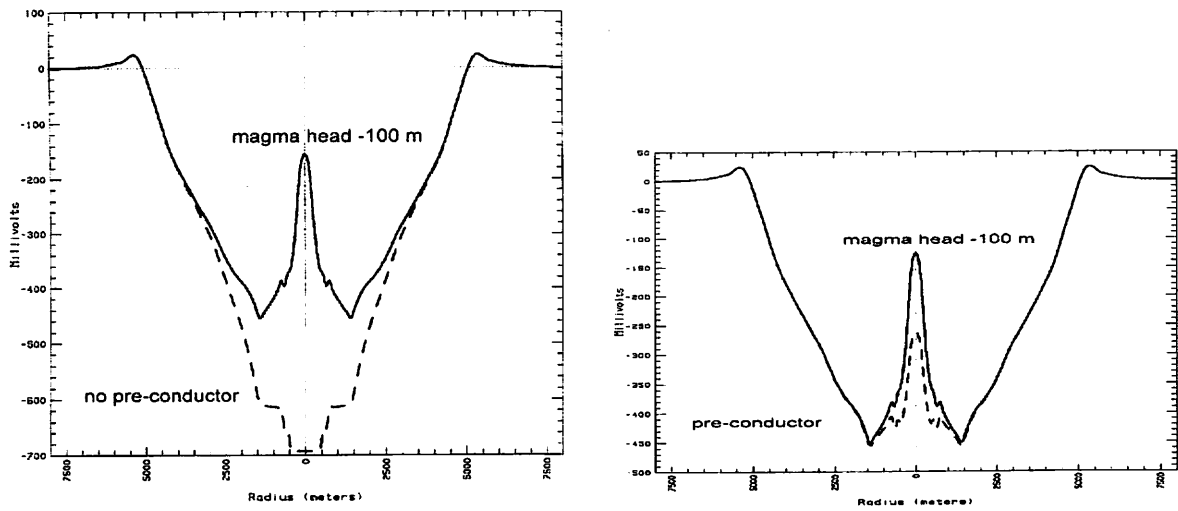
第3図 "G&T-C"は第2図(b)に対応する自然電位の計算プロファイル (Ishido, 2004)。  
"G&T-C lowK central cone"はチューブ状の領域の浸透率を小さくして流体流動をシミュレートし電位を計算した結果。



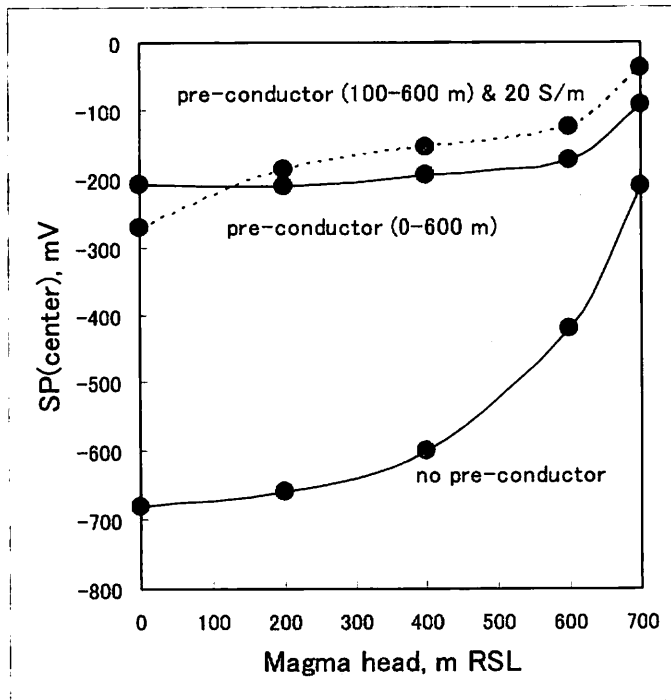
第4図 流体流動シミュレーションで仮定した液相の相対浸透率と EKP ポストプロセッサ計算で仮定した流動電位の飽和度依存性。



第5図 "G-C"および"G&T-C"はそれぞれ第2図(a)および(b)に対応した自然電位の計算プロファイル (Ishido, 2004)。いずれのケースも第2図(b)に示す"C"領域に高伝導度を仮定している。



第6図 第2図(a)に対応した自然電位プロファイルと、深さ100 mまでのマグマ（伝導度2 S/mの良導体）上昇による火口付近の高電位発達。既存の良導体（伝導度0.1 S/m）のないケース(左図)とあるケース(右図)。



第7図 第6図のそれぞれのケースについて、マグマ頭位に対する火口付近の電位値。