

大島火山三原山火口周辺の電気抵抗変化と伊豆大島近海地震

東京大学地震研究所 行武 毅・吉野登志男
歌田久司・下村高史

1. まえがき

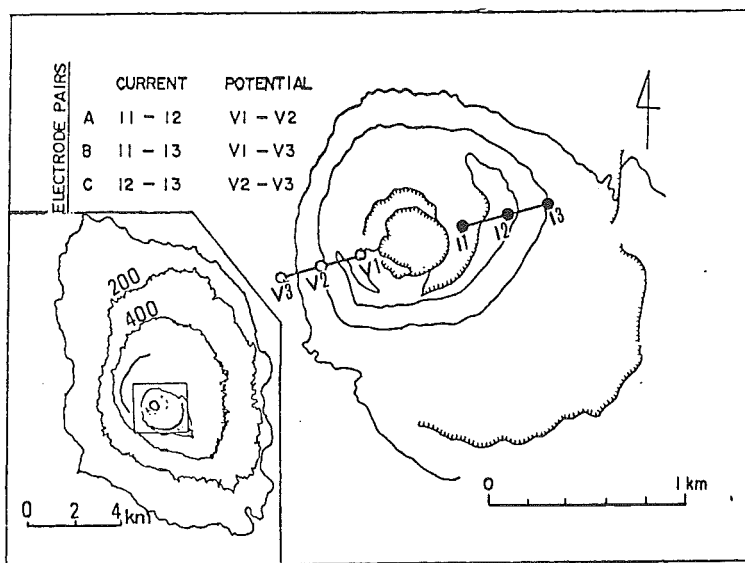
1975年3月以来、伊豆大島三原山の火口周辺で人工電位法による電気抵抗の測定を繰り返してきた。その結果火口周辺の電気抵抗変化が火孔内の熔融溶岩の昇降をよく反映しているらしいことが次第に明らかになってきた。三原山は1974年に小噴火を行い、2月頃より始まった火孔底の上昇は5月24日には表面より212mの深さまで達した¹⁾。同年5月9日にはマグニチュード6.9の伊豆半島沖地震が起っている。中村・田沢²⁾は三原山のマグマの上昇も伊豆半島沖地震をひき起したと同じ断層運動によってもたらされたとして地震発生と火山活動とを関係づけている。

伊豆大島近海地震では伊豆半島沖地震の場合と違って、地震の前後で三原山に目立った噴火活動はなく、表面で観察しているかぎり、例えば固結した火口底溶岩の表面温度はむしろ低下の傾向にある^{3), 4)}など平静そのものであった。しかし地震に先立つこと2ヶ月、1978年10月の三原山周辺の電気抵抗測定では、火孔内をマグマが若干上昇したと推定される変化が得られ、三原山活動の活潑化が懸念された。したがって地震後は、その5日後と2ヶ月後の3月に測定を繰り返し、電気抵抗変化の推移を調べた。

2. 電気抵抗測定

岩石の電気抵抗は温度や含水量に著しく左右される。一般に温度が高くなると電気抵抗は減少する。地熱地域ではこの性質を利用した電気探査が広く行なわれている。火山の研究にも、この方法は有効であると考えられる。人工的に制御された電流を地中に流し込み、その電位を測定することによって地中の電気抵抗を調べる「人工電位法」を伊豆大島火口周辺で実施してきた⁵⁾。

1975年3月以来火口を通る測線上に、火口を挟んで東側に電流電極を、西側に電位電極を毎回同じ位置に設置して測定を繰り返し、見かけ比抵抗の時間変化を調べてきた。電極配置は同軸型双極子配置(axial dipole arrangements)である。カルデラ内三原山周辺の拡大図に電極の配置を示したのが第1図である。電極 $I_1 - I_2$ の間に定電流を流し、電極 $V_1 - V_2$

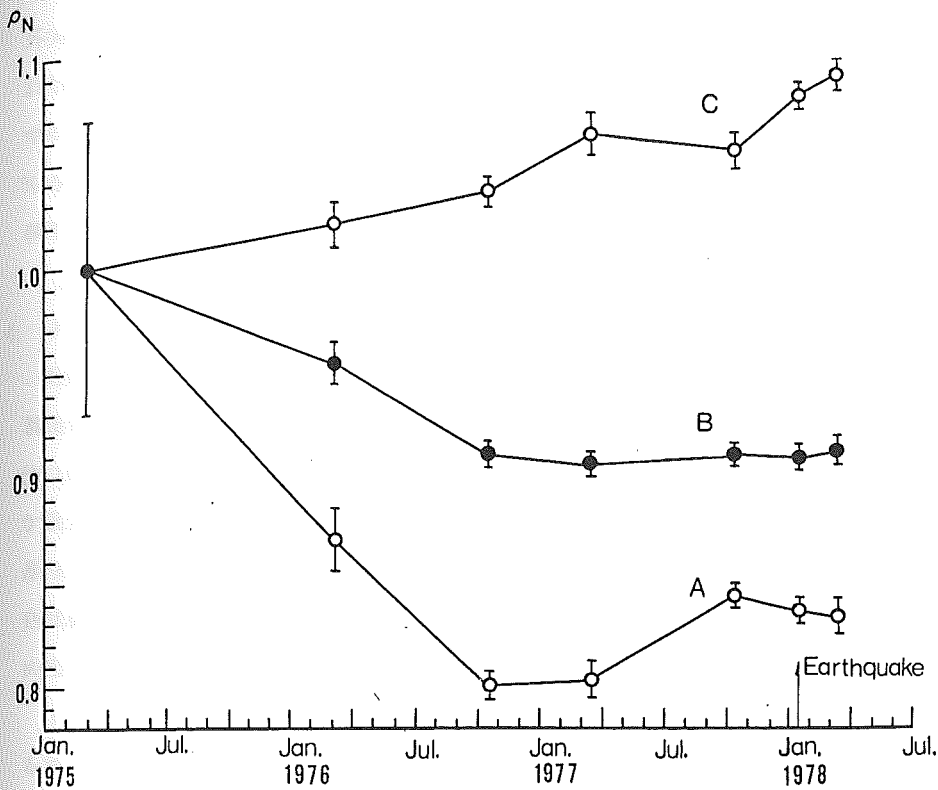


第1図 三原山周辺の電極配置図。I₁, I₂, I₃ は電流電極。V₁, V₂, V₃ は電位電極。

間の電位差を測定する。同様に I₁ - I₃ より電流を流して、V₁ - V₃ で電位差測定、I₂ - I₃ の電流電極に対しては V₂ - V₃ の電位電極の組み合わせを用いる。今後簡単のため (I₁, I₂) - (V₁, V₂) の電極組み合わせを「A」の組み合わせ、(I₁, I₃) - (V₁, V₃) を「B」、(I₂, I₃) - (V₂, V₃) を「C」の組み合わせと呼ぶことにする。それぞれの電極間の間隔は、電流電極、電位電極ともほぼ 200 m である。電流電極と電位電極との間隔は C の組み合わせの場合がもっとも長く、電流電極、電位電極それぞれの中心同志の距離は 1.1 km である。得られた見かけ比抵抗は、深さ数 100 m までの抵抗分布を反映していると考えられる。これに対して A の組み合わせによる測定では、電極間の距離は 550 m で地表付近の影響をもっとも受け易い。

地中に流す電流は 0.1 ~ 0.2 A の定電流で、周期 10 秒の矩形波を用いる。電流値は毎回 0.5% の精度で制御できる。電位差は 0.5% の精度で電位差計に記録する。総合測定精度は 1.5% 程度であると考えられる。

A, B, C の組み合わせによる見かけ比抵抗は、1975年の測定ではそれぞれ 84 Ω-m, 112 Ω-m, 168 Ω-m であった。1975年3月以降の繰り返し測定結果を1975年3月の値を基準にして正規化して示したのが第2図である。先ずもっとも深い部分の電気抵抗変化を反映していると思われる、Cの組み合わせの結果についてみてみよう。1975年3月



第2図 1975年の値に正規化された見かけ比抵抗の時間変化。A, B, Cはそれぞれ第1図のA, B, Cの電極配置により得られた見かけ比抵抗。

から1977年3月までの2年間に6%増加している。前にも述べたように、三原山は1974年3~5月に小噴火し、以後活動は次第に低下していった。1975年は活動の衰退期に当たっている。1975年から1977年3月に至る見かけ比抵抗の増加は、この火山活動の衰退に伴う地下の温度低下を反映していると考えられる。

これに対して、電流電極と電位電極間の距離がもっとも短いAの組み合わせでは、見かけ比抵抗の増減がCの場合とは逆に変化し、その変化量も大きい。1975年3月から1977年10月にかけて約20%減少している。この変化は電気抵抗変化そのものを反映しているというより、表面地形の影響によると判断される。火孔は途中までしか溶岩で満たされておらず、上層部分は中空になっている。中空部分の電気抵抗は無限大とみなして差し支えなく、第1図 $I_1 - I_2$ で電流を流した場合、 $V_1 - V_2$ 点はいわば火口の「影」の部分にはいり、微弱な電流しか

流れない。このため $V_1 - V_2$ 間の電位差も小さくなる。見かけ比抵抗の大小はこの電位差の大小によって決まるから、Aの組み合わせでは見かけ比抵抗が小さく得られる^{5), 6)}。もしも火孔が表面まで溶岩で満たされると「影」が消失して流れる電流が増え、電位差の増大、見かけ比抵抗の増加がみられるであろう。すなわちAの組み合わせで得られた見かけ比抵抗変化は火口中空部の伸縮を反映していると考えられる^{5), 6)}。このように考えれば、1975年3月から1977年10月までの見かけ比抵抗の減少は、火山活動の低下に伴いマグマが火孔内を下降したために生じたものだと考えれば、Cの変化と逆に変化することも矛盾なく説明できる。

3. 中空火孔モデルと見かけ比抵抗変化

歌田⁶⁾はきわめて単純化したモデルを用いて、中空火孔が見かけ比抵抗に及ぼす影響を計算した。まず地表を平らにとり、長軸を鉛直方向にとった半回転長楕円体で中空火孔を近似した。楕円体の外側の比抵抗を一様にとり、内側の比抵抗を無限大にとると、第1図の双極子配置では長軸を延ばすに従って、すなわち中空部の深さを増すに従って見かけ比抵抗が減少する結果が得られた。火口の直径を350mとして、電極組み合わせAに対する電流電極と電位電極間の距離として800m、中空火孔内の抵抗を周囲の地面の抵抗の100倍以上にとると、中空火孔の深さを1m深くした場合、見かけの比抵抗が2%以上増加することがわかった。

このモデルを適用すると、第2図Aの1975年から1977年にかけての、20%におよぶ見かけ比抵抗変化は、この間にマグマが約10m程沈降して、火孔中空部が拡大したと解釈される。計算通りに行くとすれば、このシステムは火孔内マグマの昇降を推定する上できわめて感度の高いシステムであるということができる。しかし実際には、マグマの上は完全に中空ではない。1975年の際上昇したマグマは火山活動の衰微とともに、表面からみて火口底と呼ばれている固結した溶岩を火孔の途中に残して深部へ後退したと推定される。マグマと地表面との間には固結した溶岩が孔道を塞いでいる。これは中空火孔内に短絡回路を構成していることになる。電気抵抗測定を一種のマグマ昇降測定装置とみなした場合、完全な中空モデルに比べるとかなり感度が落ちる結果になっていると思われる。したがって完全中空モデルによる、マグマの深さ変化1mに対して2%の見かけ比抵抗変化というのは、感度としては上限を与えるものであろう。

実際にマグマ表面の位置が測定できて、感度の検定ができれば問題ないが、現在までのところまだその機会がないので、次に非常に粗い見積りによって別の立場から感度検定を試みる。

1974年の小噴火では、火孔底が95m上昇したとされている⁴⁾。活動の終熄とともにマグマがどの深さまで後退したかは不明であるが、仮に噴火活動以前の状態まで戻ったとして、

その時期は第2図Aの見かけ比抵抗が極小に達した1977年10月頃であるとしよう。マグマの沈降速度についても一定であったと仮定すると、1975年から1977年にかけてはおよそ60m沈降したことになる。この間20%の見かけ比抵抗変化が観測されたのであるからマグマ1mの下降に対して0.3%の見かけ比抵抗変化となる。(あるいは見かけ比抵抗変化1%当り3mのマグマ下降となる)。いま一応これをこのシステムのマグマの動きの検知感度の下限と考えることにする。

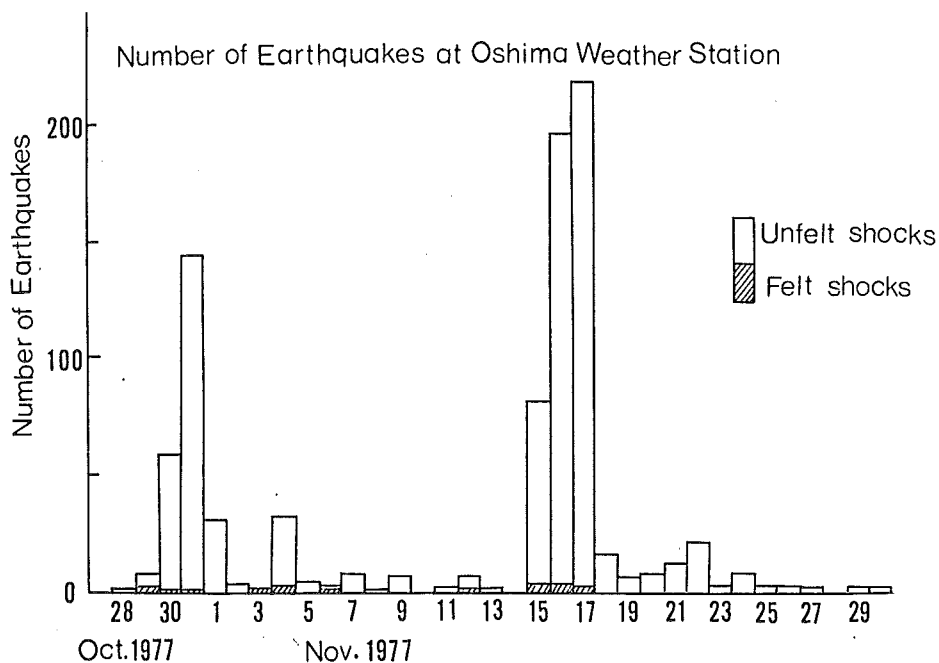
4. 伊豆大島近海地震前後での電気抵抗変化

電極組み合わせAによる見かけ比抵抗は1975年3月以来減少を続けていたが(第2図)1976年10月に底をつき、1977年3月まではほぼ横ばいの状態となった。その7ヶ月後の1977年10月の測定では約4%見かけ比抵抗が増加しているのが明らかになった。1974年の三原山小噴火後、沈降を続けていたマグマが沈降を止め上昇に転じたことを示唆している。1977年3月と1977年10月との間でのマグマの火孔内上昇量は、前節での見積りよりすれば2mないし12mということになる。(ここでは仮に5mの上昇ということにして、以下いろいろの見積りを行うことにしよう。)

1977年10月末より11月にかけて2度にわたり群発地震が発生した。大島測候所で得られた頻度分布を第3図に示す。最初三原山火口附近の浅い所で地震が発生し始め、震源分布は次第に西北西方向に深さを増しながら範囲を拡大していった⁴⁾。およそ2ヶ月後の1978年1月14日に群発地震活動が再び活発化し、大島北西の海底でマグニチュード7.0の伊豆大島近海地震が発生した。

本震発生後の1月19日の電気抵抗測定では、第2図に見られるように、Aの見かけ比抵抗は1977年10月に比べてほとんど変化していない。どちらかと云えば若干減少の傾向が見られる。この傾向は3月の測定でも確認された。このことは地震の発生後は、火山活動が活発化してマグマが上昇するより、むしろ逆にマグマ火孔内を沈降する傾向にあることを示唆している。

以上火口にもっとも近い電極の組み合わせAによって得られた見かけ比抵抗変化について述べたが、火口より遠い電極組み合わせCによる見かけ比抵抗変化からも同じ結論が導かれる。Cの測定では測線距離が長いのでAの測定と違って火口の形状など表面地形の影響が少く、地下数100mまでの電気抵抗そのものの変化が見かけ比抵抗変化として得られる。山体の温度変化が電気抵抗変化に反映されているとすると、第2図で1977年3月までの見かけ比抵抗の増加は、1974年三原山小噴火後の温度低下時期に相当している。1977年3月と10月と



第3図 大島測候所で観測された日別地震回数

の間で、わずかではあるが見かけ比抵抗が減少している。この間Aの測定では逆に見かけ比抵抗は約4%増加しており、マグマが数 m 上昇したためと解釈した。この解釈が当たっているなら、この期間に山体の一部に温度上昇がみられ、Cの測定では見かけ比抵抗の減少となるはずである。これはCの観測結果とよく一致している。その後Cの測定では見かけ比抵抗が増加している。地下温度の低下を示唆しているとみられ、A測定で推定した、マグマの火孔内沈降とよく調和している。

参 考 文 献

- 1) 木村政昭, 豊田純一, 伊豆大島三原山火孔底最近の変動, 火山, 20(1975), 65-78.
- 2) 中村一明, 田沢堅太郎, 1974年伊豆半島沖地震と三原山小噴火の関係, 火山, 19(1974), 159-160.
- 3) 下鶴大輔, 竹田豊太郎, 沢田宗久, 長田昇, 小山悦郎, 1978年伊豆大島近海地震に際しての三原山の挙動, 1978年伊豆大島近海の地震による災害の総合的調査報告・自然災害科学特別研究(1)報告書, 1978, 26-27.
- 4) 東京大学地震研究所, 伊豆大島三原山の最近の活動・特に1978年1月の大島近海地震に際しての三原山の挙動, 火山噴火予知連絡会会報, 12(1978), 68-72.
- 5) 行武毅, 吉野登志男, 歌田久司, 下村高史, 木本栄次, 伊豆大島三原山およびカルデラ底での電気抵抗測定, 地磁気観測所技術報告, 17(1977), 217-223.
- 6) 歌田久司, 伊豆大島三原山周辺における比抵抗測定とその時間変化の研究, 東京大学修士論文(1978)