

○神田 径

(東京工業大学科学技術創成研究院多元レジリエンス研究センター)

1. はじめに

火山のどこにマグマや地下水があり、どのような状態で存在しているのかを知ることが、火山活動を理解する上で極めて重要である。火山体の内部を直接知ることが困難であるが、物理探査の手法を用いることにより、火山体を構成している物質の物性の分布を知ることができる。物理探査には様々な手法があるが、我々は、電磁場観測から火山体内部の比抵抗という物性の分布を調査している。地球を構成している物質には電気を流す性質があるため、地球内部には様々な原因による微弱な電流が流れている。どのくらいの電流が流れるかは、比抵抗（あるいはその逆数である電気伝導度）という物性値によって決まる。例えば、乾燥した岩石は電気をほとんど流さない（＝高比抵抗）が、電解質を含んだ水や溶融した高温のマグマが存在すれば、電気は良く流れるようになる（＝低比抵抗）。従って、地下の比抵抗の分布、つまり比抵抗構造を知ることができれば、火山内部の物質の違いや状態を間接的に知ることができることになる。

地下の比抵抗の分布を調べる物理探査法は、電気探査と電磁探査に大別できる。一般に、電磁探査の方が大きな探査深度が得られるため、火山の調査では、自然信号を用いる MT 法（Magnetotellurics）が頻繁に用いられる。MT 法は、太陽風と地球磁場との相互作用により生じる磁気擾乱や、電離圏における雷活動など、地球外に起源を持つ電磁場変動を信号源として利用する。この電磁場が地球内部に浸透すると誘導電流が生じるが、この誘導電流の大きさは比抵抗に依存するため、その電流が作る電場と磁場を測定することで、大地の比抵抗が求められる。さらに、電磁場の周波数によって浸透深度が異なるので、複数の周波数の電場と磁場を観測することで、深度方向の情報が得られる。本講演では、これまで我々のグループがいくつかの活火山で行ってきた、MT 法により推定された火山体内部の比抵抗構造について紹介する。

2. 水蒸気噴火発生場の比抵抗構造

多くの火山における噴出物の解析や噴火前の圧力源の位置などから、水蒸気噴火の発生場は地下浅部（概ね深さ 1 km 以浅）にあると考えられ、その領域を探査するためには、対象領域を限定した狭い範囲で分解能の高い調査を行う必要がある。我々はこれまでに、水蒸気噴火を繰り返してきた火山において、活動火口周辺の稠密な AMT 法（可聴周波数帯域の MT 法）調査から浅部比抵抗構造を明らかにしてきた。その結果、低い比抵抗値を示す熱水変質した透水性の悪い岩石層（キャップロック）と、その直下のやや高い比抵抗値を示す領域が地下浅所に共通して検出された。このやや高い比抵抗値を示す領域が蒸気の卓越したガス溜りであり、水蒸気噴火の準備領域ではないかと考えて

いる。

ガス溜りあるいは気液二層領域の溜りを生成するためには、浸透率の高い溜りの周囲に浸透率の低いバリアが必要である。従来、この浸透率の低い岩石層は、粘土（スメクタイト）だと考えられてきた。スメクタイトは、膨潤性の粘土であり、低比抵抗かつ低浸透率の性質を示すため、多くの火山地帯や地熱地帯の周辺における電磁探査から低比抵抗領域の実体として解釈されてきた。しかし、スメクタイトは中性～弱アルカリ性の低温環境で生成されるため、酸性の火山ガスが噴出している活動火口や噴気地帯で様にその解釈を適用するのは無理があった。我々は、箱根大涌谷や阿蘇山中岳火口の周辺における稠密な比抵抗構造調査から、低浸透率と低比抵抗を示す物質は必ずしも同じでなくてよいことを示した。すなわち、低浸透率の蓋を作っているのは、空隙を埋めるように析出した硫黄や硫酸塩鉱物などであり、低比抵抗は酸性熱水によるものだと考えられる。

3. マグマ熱水系の比抵抗構造

草津白根山では、水蒸気噴火を繰り返してきた湯釜火口周辺の地下浅部の構造に加えて、さらに深部（深さ~15 km 程度まで）の比抵抗構造が明らかになっている。地下深部の構造を推定するためには、より広範囲で長周期の電磁場を測定する必要がある。長周期の電磁場変動の測定は、SN 比が悪くなるため測定時間を長くとる必要があり、火口周辺の AMT 調査に比べて時間と労力を要する。

調査の結果、草津白根山の直下から北西部にかけて、深さ 1.5 km から少なくとも 12 km まで伸びる鉛直状の低比抵抗帯が見つかった。この良導体の上部は、極めて低い比抵抗値を示し、イオン濃度の高い火山性流体に富む領域と解釈した。また、下部のやや低比抵抗を示す領域は、部分熔融した領域であると解釈した。この部分熔融領域の直上に、測地学的研究から 2014 年の火山活動活発化の際に推定された膨張源が存在していることから、導体下部はマグマ溜りの一部であると考えられる。また、火山性地震の発生領域が上部の高火山性流体領域の上にあることから、その境界付近では低浸透率のバリア（脆性—塑性境界に相当）が形成されており、山頂部への流体の上昇を制御していることが予想された。この低浸透率のバリアは、シリカの溶解度の温度依存性から、シリカ等が析出して生成されていると考えられる。

以上のように、複数の低浸透率のバリア構造により、火山活動がコントロールされていると考えられる。地下深部の浸透率構造を知る方法はないため、我々は比抵抗構造と熱水流動シミュレーションを組み合わせることで、この低浸透率領域の分布を知ろうとする研究も実施している。

Volcanic hydrothermal system imaged from electrical resistivity structure

*W. Kanda (Multidisciplinary Resilience Research Center, Inst. Innovat. Res., Tokyo Tech.)