

学 位 論 文 題 名

Three dimensional resistivity structure of Tarumai
Volcano by the magnetotelluric method including
the effects of regional structure

(周辺構造の影響を考慮したMT法による樽前火山の3次元比抵抗構造)

学位論文内容の要旨

Magnetotelluric (MT) 法は地下の比抵抗構造を得るための物理探査法の一つである。MT 法の構造解析手段として、現在は2次元構造を仮定したインバージョン法が主流であるが、火山においては地形は3次元であり、火道やマグマの貫入構造等もまた3次元的な形状を持つ可能性があるので、3次元解析が適していると考えられる。しかしながら、火山地域において3次元解析を適用した研究は少なく、その利点が十分に生かされていない。本研究では、活動的火山である北海道南西部の樽前火山においてMT法探査を行い、3次元比抵抗構造の推定を試みた。

樽前火山は支笏カルデラの後カルデラ火山として約9000年前に噴出した。山頂火口原内には1909年の噴火の際に生じた溶岩ドームが存在し、その周囲では現在も噴気活動が続いている。溶岩ドーム付近の浅部を対象としたAudio-frequency MT (AMT) 探査を火口原内で行い、また山体規模の構造を対象とした広帯域MT探査も行った。

まずは2次元インバージョンによりNE-SWとNW-SEの2測線の比抵抗断面を求めた。NE-SW測線では、すべての周波数帯のデータを使用すると観測値を説明する構造が得られなかった。その要因はTEモードのインピーダンス位相が低周波数帯で非常に小さくなっているためと考えられ、その周波数帯のデータを使用せずに解析を行った。これら2つの断面は、地質学的、火山学的解釈も可能ではあるが、互いに共通する点もある一方で矛盾点も多い。この矛盾は、使用しなかった周波数帯のデータに低比抵抗である海などの観測地域周囲の構造の影響が含まれ、2次元の仮定が成立しなかったためと考えられた。

周辺構造の影響を評価するために、3次元フォワードモデリングを行った。Fomenko and Mogi (2002) による計算コードを使い、海に $0.25 \Omega\text{m}$ 、石狩低地帯に $3 \Omega\text{m}$ の比抵抗を分布させたモデルのレスポンスを計算した。計算されたinduction vector および phase tensor はともに観測値と一致し、海と石狩低地帯の低比抵抗構造で説明されることが明らかとなった。さらに、低周波数帯の位相は観測値と同じ成分で小さくなり、観測値と同様の傾向が示された。したがって周囲の構造が、観測されるMTデータにも影響を及ぼしていることが明らかとなった。研究地域の構造を推定する際には、これらの構造を含めてモデリングする必要がある。

フォワードモデリングによる3次元構造の推定は、まずはAMTデータを使って火口原内浅部の構造を決め、次いで広帯域MTデータを使って山体規模の構造を推定する手順で行った。AMTデータは、地形と水平多層構造を与えることで、多くの測点のMTレスポンスは説明されたが、さらにinduction vectorを説明する比抵抗体を加えることでモデリングを進めた。推定されたモデルは、溶岩ドームとその地下浅部の $50\Omega\text{m}$ の比抵抗を持つ構造が特徴的である。この構造は、溶岩ドームとその周囲で透水性が高く、天水の流入により地下水層が形成されていると解釈された。

次に広帯域MTデータを使ったモデリングを進めた。3次元的地形の影響がMTデータに影響を及ぼしていることが明らかとなったので、地形も含めた構造の推定を行った。最終モデルは、山体下の比抵抗境界が顕著であり、石狩低地帯から続く新第三紀層と支笏カルデラの境界を示している。したがって、樽前火山は支笏カルデラを形成した断層に沿って噴出したと考えられる。山頂直下の海水準付近には低周波地震が発生し、この深さでマグマからの脱ガスが起っている可能性がある。マグマのような溶融岩石は低比抵抗として検出されうるが、この深さには低比抵抗体は検出されない。しかし、ガスだまりであれば高比抵抗として検出されることから、この深さにガスだまりが存在している可能性がある。この深さから上昇する火山ガスは、ドーム直下に達し地下水層を避けて上昇すれば高温の噴気となり、また地下水層を熱し小規模な熱水系を形成した結果、低温の噴気を放出していると考えられた。

本研究によって、2次元解析では説明できないデータは、観測地域周辺の構造の影響を強く受けていることが明らかにされた。さらに、3次元的地形に対して2次元解析を行うと、誤った構造を導いてしまう可能性が示された。3次元解析の利点は、それらのデータも含めたモデリングをすることで、より観測データに即した構造を推定できることである。周辺の構造の影響は樽前火山だけではなく、特に海や厚い堆積層に近い地域ではどの火山でも考えうる。したがって、火山のより正確な比抵抗構造を推定するためには、本研究のように影響の評価をし、既知の周辺構造および地形を含めたモデリングをすることが必要である。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 茂 木 透

副 査 教 授 笠 原 稔

副 査 准教授 橋 本 武 志

学 位 論 文 題 名

Three dimensional resistivity structure of Tarumai Volcano by the magnetotelluric method including the effects of regional structure

(周辺構造の影響を考慮したMT法による樽前火山の3次元比抵抗構造)

近年, Magnetotelluric 法 (以下, MT 法) による火山体の構造の研究が盛んに行われるようになってきた. MT 法により得られる比抵抗構造は, 火山体中のマグマや流体, 変質帯の分布等が明らかにできるので, 火山の活動性を推定することができると考えられている. しかし, これまでは, 地下構造を2次元構造と仮定したインバージョンが通常行われており, その仮定を満たさないデータは無視されることも多く, 火山体の正確な比抵抗構造を求める際に問題となることが指摘されてきた. 火山の地形や火道やマグマの貫入構造等は, 3次元的な形状を持つことが多いので, 比抵抗構造も3次元構造として解析するべきであると考えられてきたが, これまで火山地域においてそのような構造解析を適用した研究はほとんど行われてこなかった. 本論文は, 火山体の3次元比抵抗構造を求めるための問題点を検討し, 活動的火山である北海道南西部の樽前火山において得られた MT 法探査データを用いて3次元比抵抗構造解析を行い, 火山の活動性に関連する構造を明らかにしたものである.

本研究では, まず, 従来から用いられている2次元インバージョンにより比抵抗構造を求めた. その結果, 低周波数帯のデータには2次元構造の仮定を満たさない海等の観測地域周囲の複雑な構造の影響が含まれていることを明らかにした.

次に, AMT データを使った山頂溶岩ドームや火口原内浅部の構造を3次元フォワードモデリングによって求め, 溶岩ドームとその周辺の比抵抗構造より, 溶岩ドームを含む火口原内には天水の流入により地下水層が形成されていることも示した. このような地下水層は, 山頂付近の噴気の温度や成分に影響を与えており, 火山の活動性を表す重要な構造を明らかにしたと言える.

さらに, 広帯域 MT データを使った3次元構造モデリングを進め, 火山地形および火山周辺に分布する海や石狩低地帯に分布する低比抵抗帯の影響を評価し, 観測される induction vector および phase tensor を説明するためには, これらの地形や周辺の構造を考慮しなければならないことを指摘した. 最終的な火山構造モデルでは, 山体下に分布する石狩低地帯

から続く新第三紀層と支笏カルデラの境界が示され、この結果から、樽前火山は支笏カルデラを形成した断層に沿って噴出したという火山の形成場について重要な指摘を行った。また、山頂直下の海水準付近に、低周波地震を発生させるマグマからの脱ガス溜りが存在する可能性があることを指摘した。これにより、この深さから上昇する火山ガスは、ドーム直下に達し地下水層を避けて上昇すれば高温の噴気となり、また、地下水層を熱し小規模な熱水系を形成した結果、低温の噴気を放出しているという火山体中の流体移動に関する知見も明らかにした。

以上要するに本研究は、2次元構造解析では説明できないデータは、地形や観測地域周辺の構造も含めた3次元性の構造の影響を強く受けているものであることを明らかにし、周辺構造および地形を含めた3次元構造モデリングの重要性を指摘した。このような構造解析法は、火山の正確な比抵抗構造を推定するための新しい考え方を提案したものであり、同様の周辺構造の影響は、あらゆる火山において発生する問題であるので、本研究は、火山学の発展に対して重要な貢献をするものである。よって、著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格があると認める。