

AMT 法から推定された伊豆大島火山の比抵抗構造の特徴

高倉伸一・松島喜雄・西祐司（産総研），
鬼澤真也（気象研），長谷英彰（東大地震研）

Interpretation of resistivity structure of Izu-Oshima Volcano, Central Japan, inferred AMT surveys

Shinichi Takakura, Nobuo Matsushima, Yuji Nishi (GSJ, AIST),
Shin'ya Onizawa (MRI) and Hideaki Hase (ERI, Univ. Tokyo)

Abstract

Izu-Oshima is one of the most active volcanoes in Japan and caused much serious eruption disaster frequently. We conducted AMT measurements at 24 sites along three ENE-WSW profiles traversing Izu-Oshima volcano in 2006, 2007 and 2009 to investigate the deep resistivity structure of the volcano. The analyzed resistivity models from the AMT data are basically interpreted as a two-layer structure; an upper resistive layer and a lower conductive layer. The low resistivity may be due to sea water which has invaded under the volcano. The lower conductive layer gets shallower beneath the crater. It indicates that the sea water gets shallower there. Moreover, the high temperature beneath the crater may lower the resistivity further. The near-surface resistive layers correspond to unsaturated scoria and lava layers.

1 . はじめに

伊豆大島は活動的な火山であり、度々噴火災害を引き起こしていることから、火山活動を適切にモニタリングし、将来の噴火の時期および場所を正確に予測していくことが必要とされている。前回の1986-87年山頂噴火では、マグマの上昇・下降とともに地下水との相互作用を示唆する様々な現象が観測された。したがって、噴火予知の精度を高めるためには、マグマ貫入に伴う熱水系の発達過程を解明することが重要と考えられる。このような背景から、我々は伊豆大島火山の深部熱水系を把握するため、三原山の火口付近を東北東-西南西方向に横切る測線を3本設定し、AMT法電磁探査を実施した。本報告では探査結果を紹介するとともに、解析された比抵抗構造に解釈を加える。

2 . AMT 電磁探査の概要

2.1 測定

AMT法電磁探査の測点の位置を第1図に示す。AMT法電磁探査は3本の測線を設置し、3回に分けて実施された。まず、2006年3月に三原山の火口のすぐ北側を横切る東北東-西南西方向の測線（Line06）において9点でAMT観測を実施した。2007年6月にはその北側の測線（Line07）に沿う9点

で、2009年3月には火口の南側に設定した測線（Line09）に沿う6点で測定を行った。

測定ではPhoenix社のMTU-5Aシステムを4台用いて、2~4測点を同時に測定した。各測点で電場2成分と磁場3成分の時系列データを取得した。電場センサーは両端を鉛-塩化鉛電極で接地した長さ約30mのダイポールである。当該地域の地表はスコリアや溶岩で覆われているので、接地抵抗を下げるため1箇所に付き電極を2個使用し、高濃度のNaCl水溶液を混合させたベントナイト粘土を接地面に付着させた。しかし、それでも接地抵抗が30kを超える場合もあり、測定装置の特性から3000~10000Hz前後の周波数のデータに異常が生じることもあった。磁場センサーにはインダクションコイルを使用した。測定時間は、午後10時から翌朝6時までの8時間とした。

2.2 データ処理

データ処理では、各測点の電場および磁場成分の時系列データを等間隔に20のセグメントに分割し、セグメントごとに周波数解析を行い、0.00055~320Hzの範囲の40周波数について、各成分のパワースペクトルデータを求めた。この際、同時に取得した最も遠い測点または最もデータの品質が高いと判断した測点の水平磁場データを用いて、リモートリファレンス処理を実施した。そして、インピーダンスやティッパーを計算し、セグメントごとに見掛比抵抗と位相を求め、周波数ごとに再現性（エラーバーの大きさ）や隣接する周波数のデータとの連続性を検討し、データの品質が高いと考えられるセグメントのパワースペクトルだけを編集して、見掛比抵抗や位相などのMTパラメータを決めた。

2.3 インダクションベクトル

当該地域の大まかな比抵抗構造を把握するため、磁場3成分データを用いてインダクションベクトルを計算した。周波数が10000、1000、100、10、3、1Hzのインダクションベクトルの実数成分を第2図に示す。100Hz以上の高周波数のインダクションベクトルは三原山火口を向いており、火口浅部に低比抵抗体があることを予想させる。また、10Hz以下のインダクションベクトルは概ね南西方向を向くが、長さが短いことから、比抵抗は水平方向の変化より深度方向の変化の大きいと推定される。周波数1Hzのインダクションベクトルは方向が揃っておらず、大きさが1に近い値となる測点も多いが、これは低周波になると磁場センサーの感度が低くなり、データのS/N比が低くなるからである。

2.4.2 次元解析

インダクションベクトルの分布および周波数ごとのテンソル分解から、2次元走向をN40°Wと決めた。そして、その方向に回転した見掛比抵抗と位相を用いて、3つの測線について2次元解析を実施した。ここで、Line06の外側は2007年の測点のデータを、Line09の外側は2006年と2007年の測点のデータを使用し、3つの測線の長さが同じになるようにした。解析は3.4~3600Hzの範囲の41周波数を用いた。ただし、エラーバーの大きいデータ、連続性の悪いデータ、CSAMT法のニアフィールド現象が現れているようなデータは除外した。解析にはUchida and Ogawa (1993)の平滑化制約付2次元インバージョンを適用した。今回の解析では、TMモードの見掛比抵抗と位相を使用した解析と、それに加えてTEモードの位相データを用いた解析を実施した。両者の結果には大きな違いはないが、後者の結果には比抵抗が極端に低い領域が解析された測線があり、解がオーバーフィットになっている恐れがあ

ると考えた。そこで、ここでは TM モードの見掛比抵抗と位相のデータから得られた比抵抗断面を第 3 図に示す。また、この断面からの計算値と測定値との比較を第 4 図に示す。いずれの測線とも計算値と測定値とはきわめてよくフィットしており、計算精度は高いと判断できる。

2.5 解釈

2 次元比抵抗断面はいずれの測線とも、およそ海水準より浅部で高比抵抗、深部で数 10 m 以下の低比抵抗となる層構造を示している。低比抵抗の原因としては、地下水の存在と海水の浸透が考えられる。低比抵抗層はカルデラ下で浅く盛り上がっているおり、カルデラ下では水で飽和した領域が上昇していると解釈される。また、火山深部では温度の高いことが、比抵抗をさらに下げる原因となっていると考えられる。地表付近の高比抵抗層はスコリアや溶岩層に対応しており、比抵抗の高いところほど含水率の小さい不飽和層と考えられる。

それぞれの測線で解析された比抵抗構造を比較すると、三原山火口のすぐ北側を横切る測線 (Line06) では火口の北東および南西部の浅部に局所的な低比抵抗域があり、低比抵抗域が地表付近まで隆起しているように見える。一方、その北側の測線 (Line07) では、地表付近まで伸びる低比抵抗域は存在しない。また、南側の測線 (Line09) では低比抵抗域が幾分かは隆起しているように見えるが、Line06 ほどは大きくない。低比抵抗域が浅くなっている場所では自然電位が局所的に高くなっており、地表で認められる噴気・地熱異常とも対応する (Onizawa et al., 2009)。したがって、低比抵抗異常は熱水の上昇域を反映していると考えられる。以上の考察に基づき、第 3 図の比抵抗構造に解釈を加えた。

3 . おわりに

活動的な伊豆大島火山において、その深部地下構造を把握するため、火山を東北東 西南西方向に横切る 3 本の測線において、AMT 法調査を実施した。そして、データ処理を行い、インダクションベクトルで大まかな比抵抗分布を推測し、それぞれの測線に対して 2 次元解析を適用し、伊豆大島火山の比抵抗断面を求めた。さらに、地質や他のデータとの比較検討を行い、地下 2km 程度までの比抵抗分布の解釈を行った。インダクションベクトルの分布から推測されるように、比抵抗構造は 3 次元である。今後、3 次元解析を実施したい。

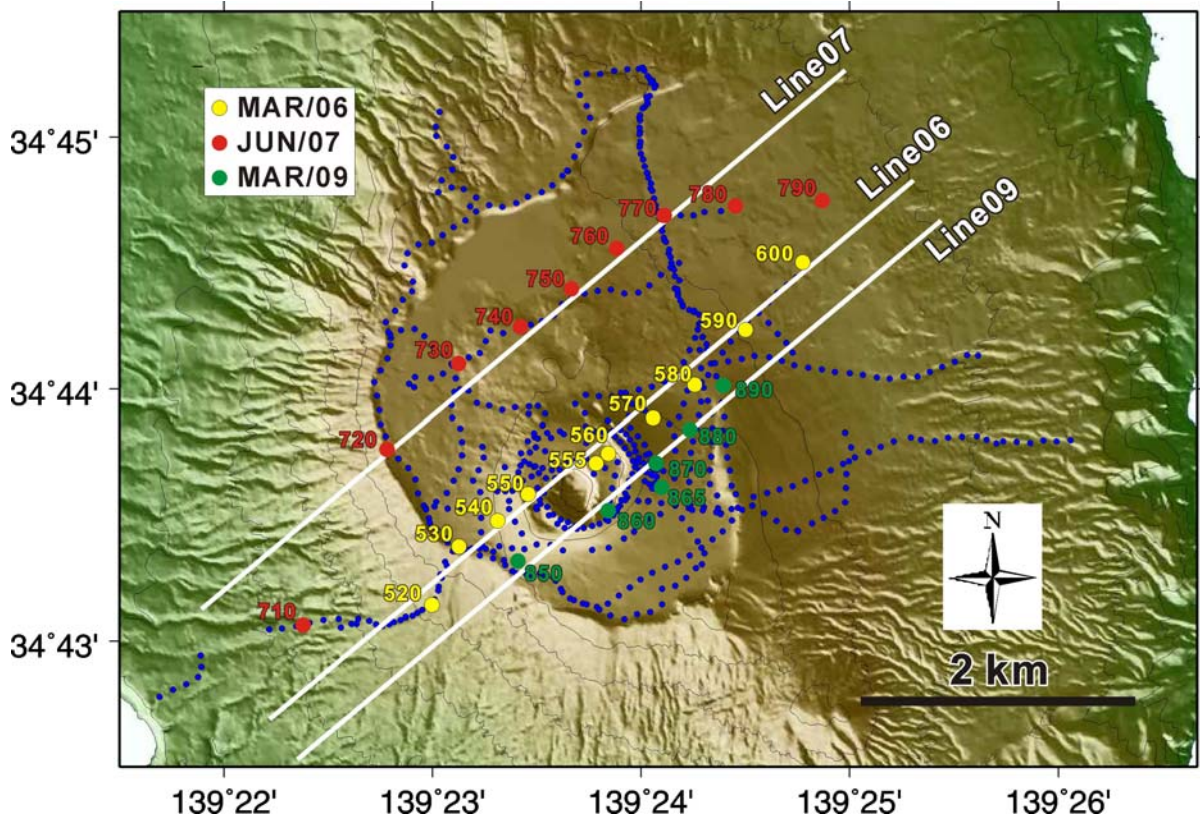
謝辞

本研究を進めるに当たり、東京大学地震研究所や東京工業大学の関係者から協力を頂いた。

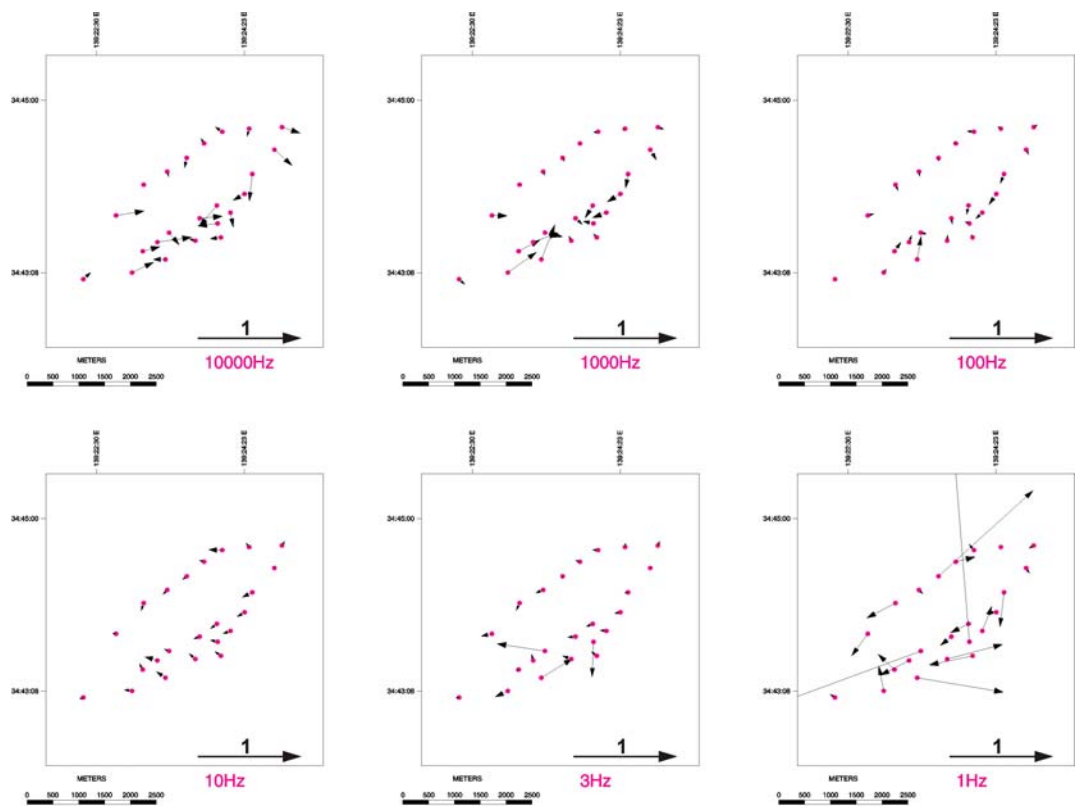
参考文献

Onizawa, S., Matsushima, N., Ishido, T., Hase, H., Takakura, S. and Nishi, Y. (2009): Self-potential distribution on active volcano controlled by three-dimensional resistivity structure in Izu-Oshima, Japan , *Geophysical Journal International* , **178** , 1164-1181.

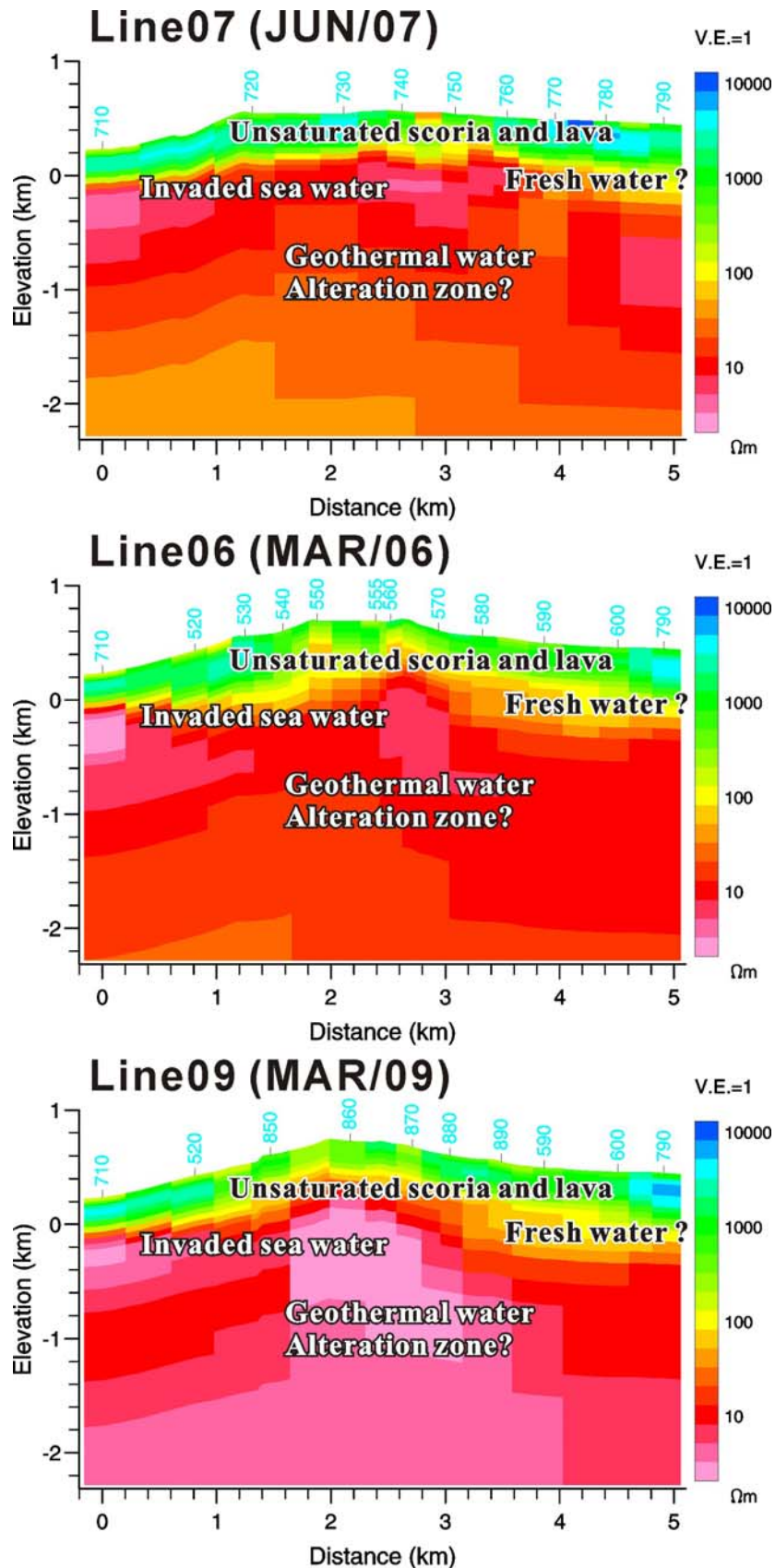
Uchida,T., and Ogawa,Y. (1993): Development of FORTRAN code for two-dimensional magnetotelluric inversion with smoothness constraint, *Open-file Report, Geol. Surv. Japan*, **205**, 115p.



第 1 図 伊豆大島火山の AMT 法測点位置。
 Fig.1 Location map of Izu-Oshima Volcano showing the AMT survey sites.



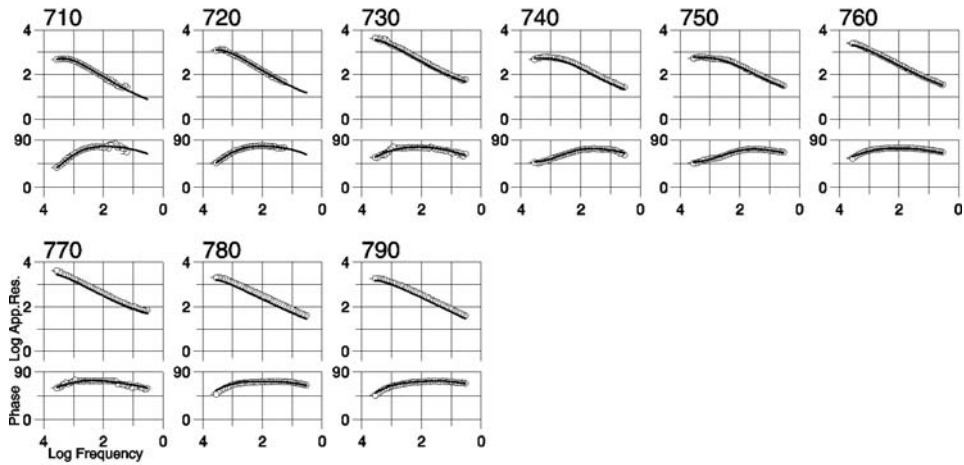
第 2 図 周波数 10000Hz ~ 1Hz のインダクションベクトル。ベクトルは実部の負である。
 Fig.2 Reversed real induction vectors at 4 frequencies from 10000 Hz to 1 Hz.



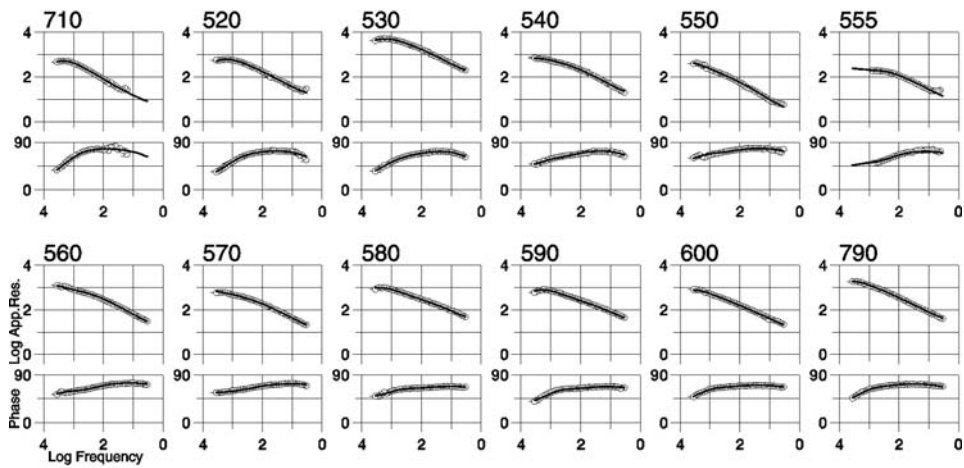
第3図 Line07 (上)、Line06(中)、Line09 の2次元解析比抵抗モデルとその解釈。

Fig.3 2-D analyzed resistivity models and their interpretation for three lines, Line07 (upper), Line06 (middle) and Line09 (lower).

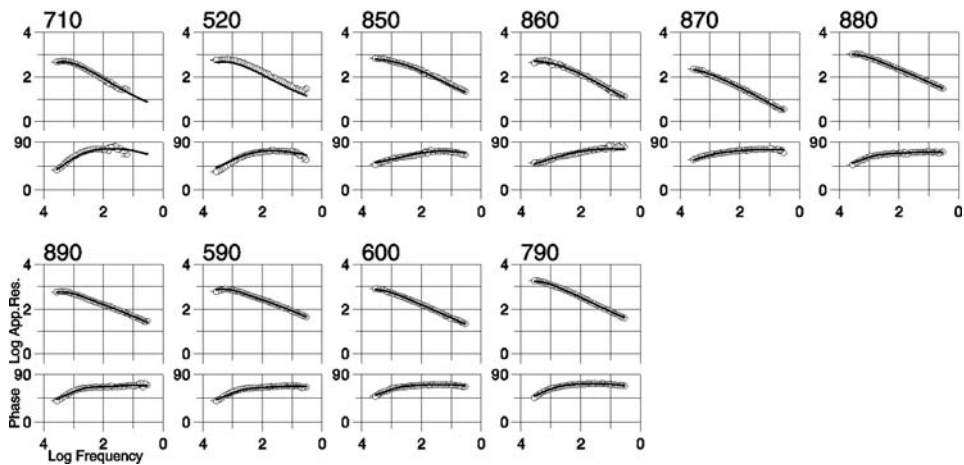
Line07-TM mode



Line06-TM mode



Line09-TM mode



第 4 図 Line07、Line06、Line09 の TM モードの見掛け比抵抗と位相の測定値 (白丸) と第 3 図の比抵抗モデルからの計算値(実線) の比較。

Fig.4 TM mode apparent resistivities and phases along the three survey lines. Open circles are observed data and solid lines are calculated data from the 2D resistivity models in Fig.3.