

論文題目 **Controlled source electromagnetic monitoring of an active volcano**  
(人工電流電磁探査法による活動的火山の監視)

氏名 高橋 優志

1 比抵抗変化モニタリング手法の提案

比抵抗  $\rho$ , あるいはその逆数の電気伝導度  $\sigma$  は温度や流体の存在によって極めて大きな変化を示す物理量である。そのため火山において比抵抗構造の変化をモニタリングすることができれば, そこから火山活動を監視することができる。本研究では新たに人工的に制御された変動磁場の多点観測による比抵抗モニタリングおよびイメージングシステムを提案し, その実現のために必要な要素技術を開発した。

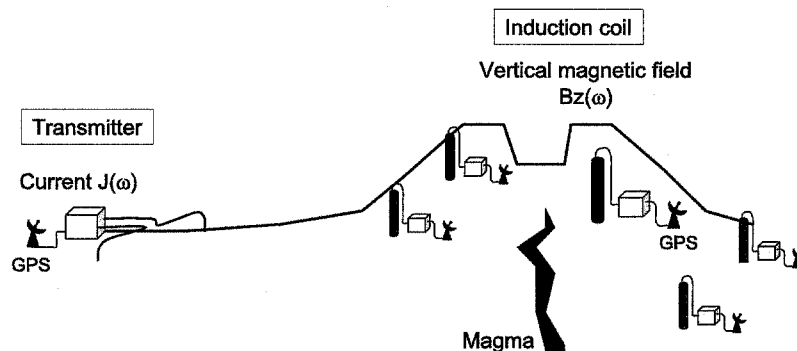


図1 本研究で提案する観測手法の概念図。Transmitter から大地に電流を送出し, 励起された磁場を多点で同時に受信する。すべての機器は GPS を用いて正確に同期がとられている。

## 2 開発した要素技術の概要

本研究の観測手法が解析対象とするのは、観測点における磁場と送信電流との間の伝達関数である。本研究で開発した伝達関数計算ルーチンでは、ノイズ除去、重み付きスタッキングおよび平滑化制約付フーリエ変換を組み合わせて使用した。これらの併用により高ノイズ環境下においても高速かつ高精度に伝達関数の計算が可能になった。最終的に得られる伝達関数のノイズとシグナルの比は最高で 0.1%、平均でも 1% 程度となっており非常に良好な値を得ることができた。

一方、本手法の解析では 3 次元比抵抗構造における電磁場を計算する必要がある。本研究では積分方程式法を用いた 3 次元電磁場シミュレータを開発した。任意の比抵抗構造における電場分布  $\mathbf{E}$  は 1 次元構造における電場  $\mathbf{E}_{1D}$  からの散乱を用いて表現することができる。得られた電場分布から全空間における磁場分布を得ることができる。実際の計算手順は図 2 のように 7 つの手順に分割しておこなう。

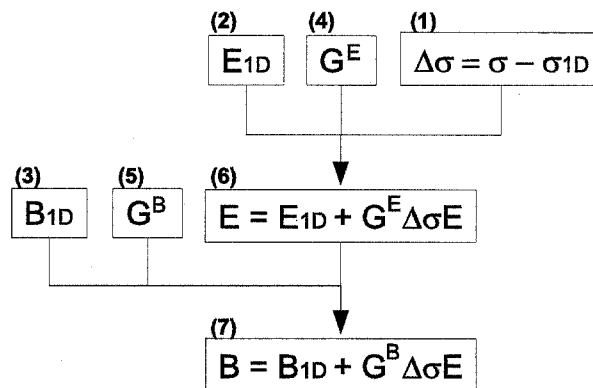


図 2 3 次元フォワード計算の流れ。1 次元構造に対する電場 (2) および磁場 (3)、グリーン関数 (4)(5) はあらかじめ計算しておく。3 次元構造に対する電場分布 (6) を求めたあと、磁場分布 (7) を計算する。

## 3 伊豆大島におけるアプリケーション

### 3.1 カルデラ下の比抵抗構造推定

2002 年 3 月にカルデラ下の比抵抗構造を把握することを目的として電磁探査法による調査をおこなった。比抵抗構造は火山活動監視のための基礎データとして必要とされるため、特に火口周辺の構造について詳しく調べた。ここでは水平多層構造を仮定したインバージョンから 1 次元リファレンス構造を規定し、その伝達関数と観測値との差からさらに詳しく比抵抗構造を推定する方法をとった。最終的に得られた比抵抗構造は、図 3 に示されたように、表層 1000m、下部は中心部が 30m でカルデラ縁部が 10m の 2 層構造を基本とし、山頂火口の下 200m の地下には低比抵抗部分が存在することが分かった。

### 3.2 比抵抗モニタリングと比抵抗変化イメージング

2002 年 7 月より伊豆大島火口近傍の 5 観測点において連続観測をおこなった。各受信点における、1Hz から 120Hz までの伝達関数の 3 年間にわたる推移を調べた。連続観測の結果は欠測期間を除いて 3

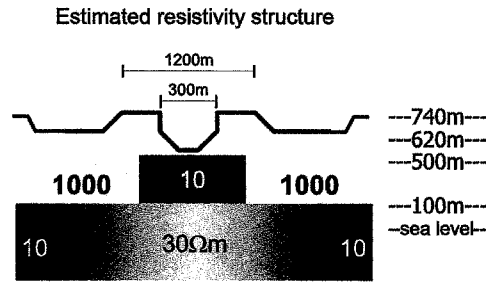


図3 推定された伊豆大島カルデラ下の比抵抗構造。上層は  $1000 \Omega \text{ m}$ 、下層は  $30 \Omega \text{ m}$  の2層構造を基本とし、中心部には低比抵抗部が存在する。またカルデラ縁の下部比抵抗はやや低く ( $10 \Omega \text{ m}$  程度) になっていることが示唆される。

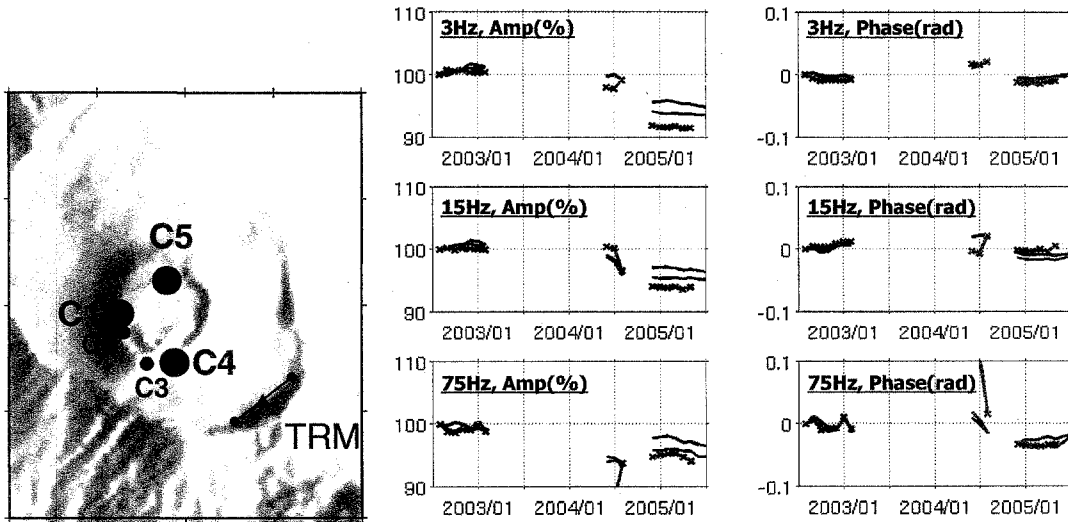


図4 (左) 本研究でおこなったモニタリング観測およびモデルシミュレーションで使用された送受信点の配置。TRMは送信点の位置、C1からC5は受信点の位置を示す。(右) モニタリングで得られた伝達関数の変化。C1, C4, C5におけるAmplitudeと位相の変化を示す。3本のプロットは左の地図のように色分けされている。

つの期間に分けることができ、それぞれをA(2002/7-2003/2)、B(2004/5-6)、C(2004/12-2005/7)期間とよぶことにする。C期間ではA期間に比べてすべての受信点でAmplitudeが大幅に低下しており、低下量は最大で7%にも達する。(図4)。

このような極めて大きな変化の原因を推定するため、ボルン近似を利用した高速イメージング手法を適用した。推定された比抵抗変化を図5に示す。図では比抵抗が $\sigma_1$ から $\sigma_2$ に変化する場合の $(\sigma_2/\sigma_1 - 1)$ の推定値を色で示している。送信点近傍の電気伝導度上昇によってほとんどの変化が説明されることが分かる。火口直下にも比抵抗の減少域が見られるが、この変化は現在のデータ精度では誤差の範囲内であった。

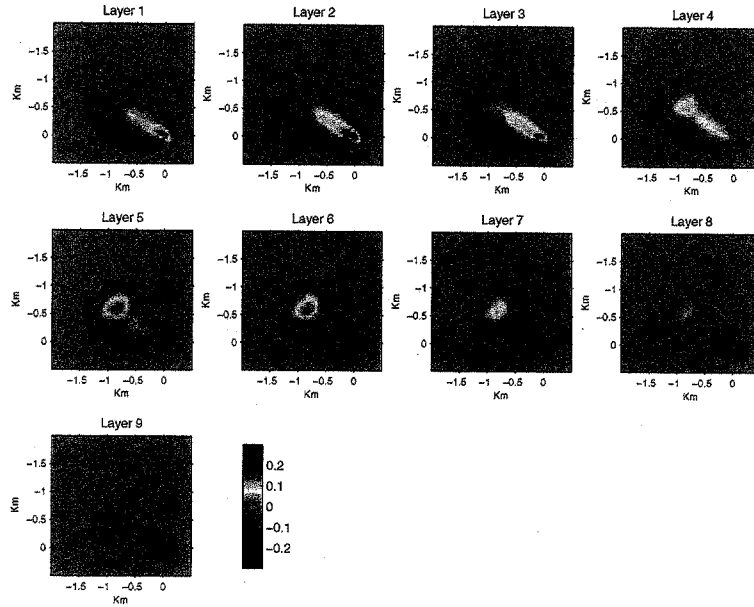


図5 C 期間におけるレスポンス変化を説明する比抵抗変化モデル。Layer1, 9 はそれぞれ最上面および最下面に相当する。送信点 (座標は 0,0) 付近の表層比抵抗が低下することでデータが説明される。

### 3.3 モデルシミュレーション

1986 年伊豆大島噴火時の観測事実を説明するモデルの一つとして、Utada (2003) によるマグマ上昇モデルがある。マグマは比抵抗が非常に低い ( $0.5 \sim 1 \Omega m$ ) ため、本手法によって比抵抗変化として検出されることが期待できる。本研究では、Utada (2003) のモデルから期待される伝達関数変化を計算したところ、最大で 6% に達することがわかった。さらに計算された伝達関数変化から逆に比抵抗変化を推定する数値実験をおこなった。その結果、比抵抗変化の空間的分布を高い精度で推定することが可能であることがわかった。モデルシミュレーションの例を図 6 に示す。

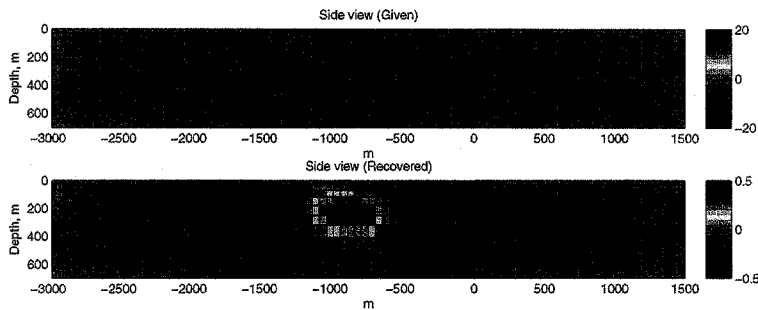


図6 数値実験例における比抵抗変化の断面図。与えた変化 (上) および Imaging によって推定された変化 (下)。