

# 鬼首カルデラ周辺の広帯域MT観測（序報）

吹野浩美<sup>1</sup> 小川康雄<sup>2</sup> 市來雅啓<sup>1,2</sup> 長竹宏之<sup>1</sup> タンクブレント<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東工大 地惑、<sup>2</sup>東工大 火山流体研究センター

## A wide-band MT observation around Onikobe caldera (preliminary report)

Hiromi Fukino<sup>1</sup>, Yasuo Ogawa<sup>2</sup>, Masahiro Ichiki<sup>1</sup>, Hiroyuki Nagatake<sup>1</sup> S.B. Tank<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Earth and Planetary Science, Tokyo Institute of Technology,

<sup>2</sup>Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

### Abstract :

Onikobe is an Quaternary Caldera with 7.5km(EW)×10km(NS) depression. It has a central resurgent dome and the latest magmatic activity at Takahinata-yama in the southern part of the resurgent dome. As for the intraplate seismic activity around the region, the earthquakes are characterized by high angle reverse faults which can take place only with the existence of fluids. Thus the Onikobe area provides us with a model field to study the fluids in the crust in relation to intraplate earthquake activity. Magnetotelluric (MT) method is an electromagnetic method to image the deep crust and mantle using the natural electromagnetic sources such as lightening and magnetic storm. MT is suitable to study fluid distribution in the crust, because the small amount of fluid connectivity can influence dramatically on the bulk resistivity of crustal rocks at depth. We have obtained new wideband magnetotelluric dataset consisting of 30 stations with roughly 3km grid spacing. We present distributions of apparent resistivity, induction vectors and preliminary three-dimensional resistivity model.

### 1、はじめに

内陸地震の発生には流体が関与することが指摘されている。特に東北地方の内陸地震の震源メカニズムは、高角な逆断層であり、流体が関与しないと地震のすべりが起こせない (Sibson, 2009)。地殻内の流体の起源は、上部マントルから供給されていると考えられている。まず沈み込んだプレートの含水鉱物が脱水反応をすることによって、マントルの融点を下げ、メルトが生成する。このメルトは火山フロント直下の最上部マントルまで上昇し、冷却しながら水を地殻に吐き出すと考えられる。よって火山周辺には流体が供給され、これが下部地殻の変形領域を生成し、さらに有効法線応力を下げることによって地震をトリガーすると考えられる。

鬼首カルデラ周辺では、2008年に岩手宮城内陸地震 (M7.2) が発生し、その余震が鬼首カルデラにいたったが、余震分布は鬼首カルデラを避けるように分布している (Okada et al., 2010)。これはカルデラ内の上部地殻の流体分布や温度分布が関係していると思われる。また1995年にはM6クラスの地震が相次いで起こった鬼首地震があるが、この地震は鬼首カルデラの外縁部の高速度異常域で発生しており、余震もカルデラ内部には起こっていない (海野ほか, 1998)。さらに最近ではこの地震に伴う非地震性の地殻変動があったことが InSAR のデータから示された (Takada & Furuya, 2010)。

このように鬼首周辺では、地殻の不均質構造、とくに流体分布に関連すると思われる地震活動や地殻

変動がみられるために、電磁気学的に比抵抗構造を解析することは非常に興味深い。

鬼首カルデラは宮城県北西部に位置している第四紀火山である。広域的な地質構造として鬼首カルデラ周辺は脊梁山脈に沿う北東の走向と、北東方向の構造が交差する位置にある。カルデラは東西に 7.5km、南北に 10km の楕円形をしており、その外側には花崗閃緑岩が露出し内部は湖性堆積物で満たされている。地熱活動はカルデラ内部の中央火口丘の南東部に位置する高日向山周辺で活発である。本研究では地表から地殻下部までの深度をターゲットとして、約 3km 間隔のグリッドで観測点 30 点を配置した。本論文ではその予察的な解析結果について述べる。

## 2、観測

広帯域 MT 観測は Phoenix 社製 MTU-5 を用いて、2009 年 11 月 8 日～11 月 16 日の間に行われた。各観測点で磁場 3 成分、電場 2 成分の時系列を 36 時間連続観測した。ノイズを軽減するために、remote reference(Gamble et al., 1979)として国土地理院の江刺観測場のデータを使用した。

## 3、MT データの特徴

適切な解析を行うためには観測域の比抵抗構造に関する走向と構造の次元性を知る必要がある。本研究では見掛比抵抗、位相、インダクションベクトルをマッピングして比抵抗構造の特徴を抽出した。以下では代表的な周波数 8Hz、1Hz、0.1Hz、0.01Hz について特徴を述べる。

### (1) 見掛比抵抗と位相

大局的な比抵抗構造を把握するために、インピーダンスの回転不変量である impedance の determinant を用いて、見掛比抵抗と位相を計算し、それらの分布を調べた。周波数 8Hz のときには、カルデラの中心部では位相が約 55°、見掛比抵抗が約 10Ωm を示す。カルデラ中心部以外は位相が約 35° である。よって、これはカルデラの中心部に低比抵抗異常体が存在していることを示唆している。1Hz のときも同様の特徴がある。周波数 0.1Hz では位相が 60° になる領域がカルデラの北西部に現れ、0.01Hz のときも同様の領域がある。

### (2) induction vector

induction vector は磁場データのみを用いて計算されるため、地表付近の不均質構造の影響を受けにくいという特徴をもっている。代表的な周波数を用いてマッピングすると、各周波数とも induction vector はカルデラの中心部を向いていることが分かった。

以上より、鬼首カルデラ周辺の地下構造は浅部ではカルデラの中心部低比抵抗体があると考えられ、深くなるにつれてカルデラの西方向に低比抵抗体の分布が広がっていることを読み取ることができる。これらから鬼首カルデラ周辺の比抵抗構造は 3 次元的であることが分かる。

## 4、3次元解析方法と結果

MT データを用いて、3次元インバージョンを行った。使用したインバージョンコードは WSINV3DMT (Sripunvaraporn et al., 2005)である。インピーダンスはテンソル成分の 4 成分すべて ( $Z_{xx}$ ,  $Z_{xy}$ ,  $Z_{yx}$ ,  $Z_{yy}$ ) を用いた。それぞれの実数、虚数部分を用いるので全部で 8 成分となる。Error Floor については、対角成分は 20%、非対角成分は 10%とした。使用した周波数は 100Hz~0.001Hz

の間で 0.5decade 刻みに 11 周波数を選び出した。メッシュの切り方は、コア領域では均等な 1km グリッドとし、周縁部に行くにつれグリッド間隔を広げている。最終的に、緯度方向に 40 メッシュ、経度方向に 38 メッシュ、深さ方向に 33 メッシュを作成した。さらにこれに加えて空気層を 7 層おいて、その最上部にソース電場を置く。

最適なモデルを繰り返し計算によって求め、RMS が 2.3 に至った。3 次元比抵抗モデルの特徴は、以下のようにまとめられる。

- (1) 上部地殻の浅部 1km 程度までには、カルデラ構造を反映した低比抵抗層の分布が、カルデラ内にある。
- (2) 上部地殻の深度 3km より深部では、カルデラ南部の片山地獄の直下に柱状の低比抵抗異常が存在している。
- (3) さらに深度 15km 以下の下部地殻になると、カルデラ北西部に低比抵抗体が広く分布する。
- (4) (2) と (3) の異常は、つながっている。これは地殻深部から火山の噴気地に向けて流体あるいはメルトが上昇する経路を示していると解釈できる。

1995 年鬼首地震の余震観測から求めた詳細な速度構造モデルから、地震断層が上部地殻の高速度異常域（カルデラの縁部）に存在することが示されている（海野ほか、1998）。今回見いだされた下部地殻の低比抵抗域はこの地震断層の下方延長にある。流体が存在する下部地殻は変形が容易になっているために非弾性的に変形できるが、その上部の上部地殻は変形できずに地震発生に至ったと考えられる。

また Takada & Furuya(2010)では、InSAR のデータから鬼首カルデラの北方に非地震性の断層運動があり、それが群発地震をトリガーしたことが示唆された。今回解析された下部地殻の低比抵抗分布は、これらの内陸地震の発生や非地震地殻変動と調和的であると思われる。さらにこの下部地殻の低比抵抗から分岐した柱状の低比抵抗異常が、最も活動的な地熱活動をしめす片山地獄につながっていることは興味深い。

## 謝辞

本研究は、科研費新学術領域研究「地殻流体：その実態と沈み込み変動への役割」A01 班（地殻流体の電磁イメージング）の一環として行われた。2008 年の宮城・岩手内陸地震に関する地震データは、2008 年岩手・宮城内陸地震緊急観測グループ緊急合同余震観測グループから提供された。

## 参考文献

- Gamble, T.D., Goubou, W.M., and Clarke, J., 1979. Magtetotellurics with a remote reference, *Geophysics*, 44, 53-68.
- Hasegawa .A, Nakajima .J, Umino .T, Miura.S., 2005. Deep structure of the northeastern Japan arc and its implications for crustal deformation and shallow seismic activity *Tectonophysics* 403 59-75.
- Nakajima, J., Matsuzawa, T., Hasegawa, A., Zhao, D., 2001a. Three-dimensional structure of Vp, Vs, and Vp/Vs beneath northeastern Japan: implications for arc magmatism and fluids, *J. Geophys. Res.* 106, 843– 857.

- Ogawa, Y., Mishina, M., et al., 2001. Magnetotelluric imaging of fluids in intraplate earthquake zones, NE Japan back arc, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 19, 3741-3744
- Ogawa, Y., Uchida, T., Sato, I., Kikuchi, T., 1988, Interpretation of magnetotelluric data in the Onikobe caldera, Northeast Japan *Rept. Geol. Surv. Japan*, 268, 315-331 (in Japanese with English abstract)
- 小川康雄, 内田利弘, 1987, MT 法から求めた鬼首カルデラ南部の比抵抗構造, *物理探査*, 40 巻, 1 号, 22-41.
- Okada, T., N. Umino, and A. Hasegawa, 2010. Deep structure of the Ou mountain range strain concentration zone and the focal area of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, NE Japan - Seismogenesis related with magma and crustal fluid, *Earth Planets Space*, 62, 347-352.
- Sibson, R.H., 2009, Rupturing in overpressured crust during compressional inversion—the case from NE Honshu, Japan, *Tectonophysics*, 473, 404-416.
- Siripunvaraporn, W., Egbert, G., Lenburg, Y., Uyeshima, M., 2005. Three-dimensional magnetotelluric inversion: data-space method *Phys. Earth Planet. Inter.*, 150, 3-14.
- Takada, Y., Furuya, M., 2010, Aseismic slip during the 1996 earthquake swarm in and around the Onikobe geothermal area, NE Japan, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 290, 302-310
- 海野徳仁, 松澤暢, 堀修一郎, 中村綾子, 山本明, 長谷川昭, 吉田武義, 1998. 1995年8月11日 宮城県鬼首付近に発生した地震について, *地震*, 第2輯, 51 巻, 3 号, 253-264.