

富士山地下の地殻深部比抵抗構造（序報）

相澤 広記・吉村 令慧・山崎 健一・神田 径・
大志万 直人・橋本 武志*・Tony. HURST*・坂中 伸也**・
古川 勇也**・小川 康雄***・S.Bulent. TANK***・上嶋 誠
****・小河 勉****・小山 茂****・鍵山 恒臣****・
塩崎 一郎*****・宇都 智史*****・吉村 光弘*****・
吉本 和範*****

*京都大学大学院理学研究科

**秋田大学工学資源学部地球資源学科

***東京工業大学火山流体研究センター

****東京大学地震研究所

*****鳥取大学工学部

要旨

2002 年 9 月、富士山周辺で広帯域 MT 観測を行なった。その結果、富士山直下深部に低抵抗体が存在することが強く示唆された。現在のところ、データの量、質とも不十分なため、その低抵抗体の深さや広がり是不明である。しかし予備的な解析によると、低抵抗体の深さの上面は、深さ 15 キロの深部低周波地震の発生領域と一致するために、マグマ溜りを表している可能性がある。また得られたデータには顕著な異方性が見られる。

キーワード：富士山，比抵抗，広帯域 MT 法，マグマ溜り，異方性

1. はじめに

富士山は日本列島最大の第四紀成層火山である。高橋 (2000) によると、富士山には、他の火山にはみられない富士山特有のいくつかの未解決問題が存在する。高橋 (2000) では、それらの問題に対して、富士山直下では、あたかも小規模な拡大海嶺のように、中下部地殻が裂けながら拡大しているというモデル（ミニ拡大海嶺モデル）を考えることで、一応説明することができると論じている。このモデルは世界中の他の火

山でも提唱されていない興味深いものであるが、現在広く受け入れられている定説とは言い難い。この原因として、最も直接的な根拠としている富士山地下の地震学的構造が、あまりはっきりとしたものでないことがあげられる (Lee and Ukawa, 1992; Ishida, 1992)。本研究の目的は高橋 (2000) のミニ拡大海嶺モデルを電磁気的な構造を求めることで検証することである。ミニ拡大海嶺モデルでは、富士山直下の深さ 10km 以深の中下部地殻は、沈み込んだフィリピン海プレート の裂け目であり、裂けながら拡大している地殻のうち

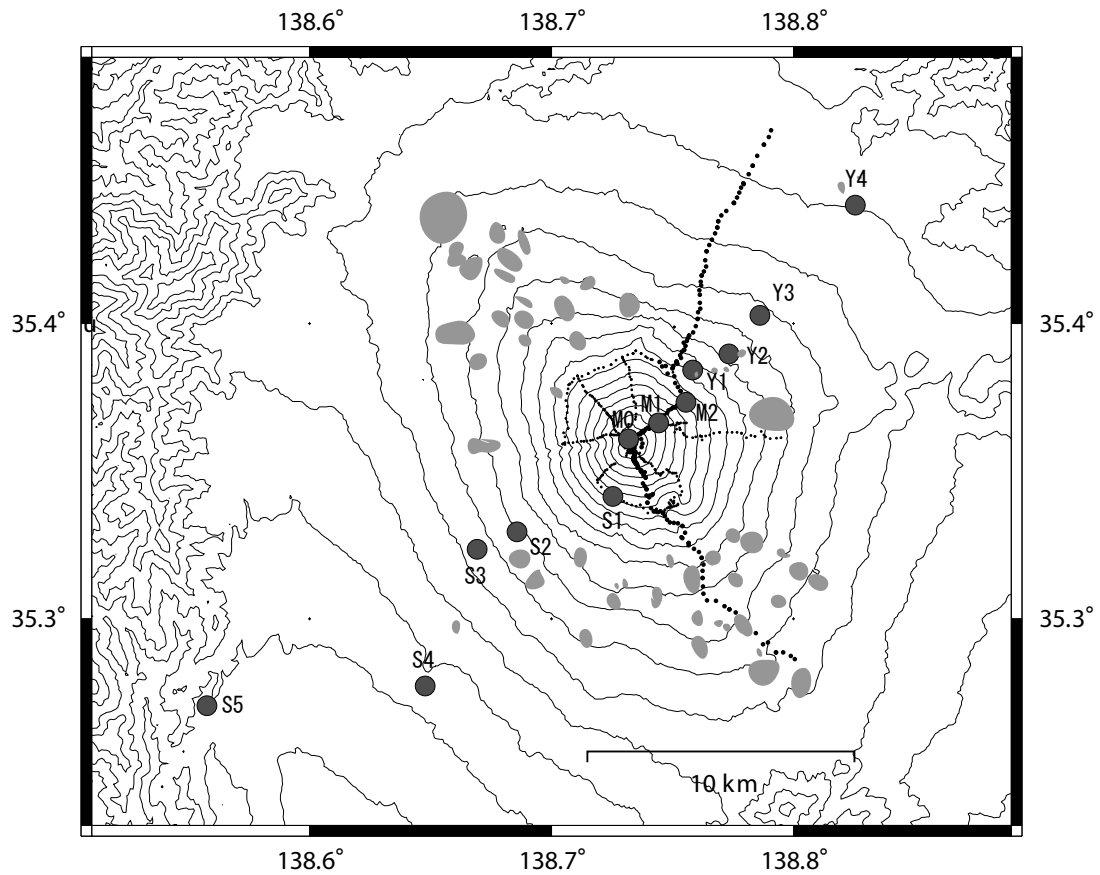


Fig.1 Geological setting of Fuji volcano with observation sites for magnetotelluric observations. Topographic contour interval is 200m. Solid circles with characters indicate magnetotelluric sounding sites. Gray shaded patches show the parasitic cone.

20km 以深はマグマで絶えず満たされている領域であるとしている。電磁気的には沈み込むプレートは高抵抗体、マグマは低抵抗体として検出されることが期待でき、地震学的構造と総合することで、より確かな構造情報を得ることができる。

2. 観測の概要

比抵抗構造を求める際の手法として、自然の電磁場変動を利用した MT 法を採用した。MT 法とは磁場変動と、それに誘導された電場変動の周波数応答を求めることで、地下の比抵抗構造を求める物理探査法である。GPS で同期した 8 台の広帯域 MT 法測定装置 (Phoenix MTU5, MTU2E) を用いて、9 月 10~20 日の 10 日間の観測期間中、合計 12 観測点で測定を行なった。観測には 7 機関、18 名が参加した。Fig.1 に観測点分布図を示す。標高 2300m 以上の測点では地形的な制約のため電場のみの測定を行なった。当該観測地域で

ある富士山周辺では、中央線、東海道線、富士急行、身延線、御殿場線に取り囲まれており、直流電車からの漏洩電流によって、ノイズ環境が悪いことが予想されたため、同時期に北海道道北地域で行なわれた広帯域 MT 観測 (茂木, 2003) のデータをリモートリファレンス処理のために利用できるように観測期間を設定した。

3. データ解析

3.1 サウンディングカーブ

周波数応答を求める際には、北海道道北地域での磁場を参照点として、リモートリファレンス処理を行なった。富士山で得られたデータのうち、比較的ノイズ状況がよい観測点の磁場の時系列と、北海道東部の磁場の時系列をあわせて Fig.2 に示す。

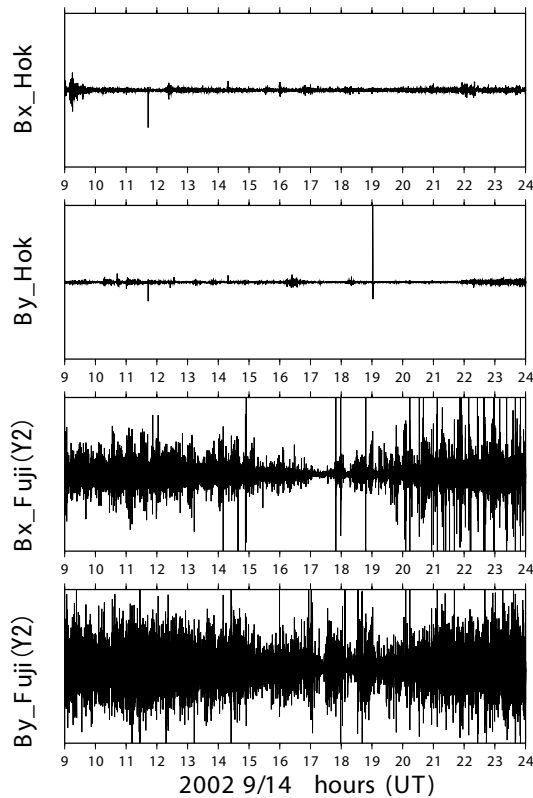


Fig.2 Examples of the geomagnetic field. Above two were observed at the northern part of Hokkaido. Beneath two were collected at a sites 4km northeast of Fuji volcano

事前の予想通り、電車からの漏洩電流と思われるノイズが著しいことが分かる。他地域に比べての特徴は、夜間でもノイズレベルがあまり下がらないところである。通常ノイズレベルの大きい地域ではS/N比の良い夜間値のみを使うことで、結果の改善がみられるが、今回のデータに関しては、むしろ結果が悪化した。これは夜間値のみを使うと、クロススペクトルのスタック数が減少してしまうためだと考えられる。そこで今回は各時間幅ごとに求まったクロススペクトルのうちノイズの影響を特に強く受けていると判断した区間を除外し、それ以外は全て足し合わせて最終的なインピーダンステンソルを得た。データの品質は周期0.01~1秒はおおむね良好であるが、周期1秒~1000秒の長周期帯は観測点ごとに大きく異なる。原因は不明であるが、標高2300m以上の山頂部では、長周期帯はほとんど求めることができない。その他の山麓の測点では、基本的にデータを長い期間取得した測点ほど、エラーバーが小さくなるという結果であった。

全体的な傾向を見るために、Fig.3にインピーダンスを擬似断面として示す。Fig.3には広域応力場を表すと考えられる富士山の寄生火山列（北西-南東方向）を2次元走行とし、その走行に対しての、両モードの擬似断面図を示している。富士山などの急峻な地形は、見かけ比抵抗に大きな影響を与える(Wannamaker, 1986)ので位相に注目すると、長周期側で、多くの観測点でその値が 45° を超えているのが分かる。これは深部に低抵抗体が存在することを示唆している。

3.2 2次元解析

予備的な解析としてOgawa and Uchida (1996)による2次元インバージョンを適用した。富士山地下の構造は北西-南東方向の走行をもつ2次元構造であることを仮定してある。計算ではTMモードの見かけ比抵抗と位相、TEモードの位相を使用した。100 mの一樣大地を初期モデルとし、地形を2次元としてモデルに組み込んだ。得られたモデルをFig.4にフィット図をfig.5, fig.6にそれぞれ示す。

山頂直下深さ15キロを上面として低抵抗体が現れる結果となった。この深さは深部低周波地震の震源域とよく一致するため、マグマ溜りを表している可能性がある。フィリピン海プレートに対応する構造については、山頂の北東方向以外には、はっきりとは現われていないという結果になった。しかしながら、フィット図を見ると、側線外側の観測点のデータほど、フィットが合わなくなり、観測線外側の構造が、得られたデータに対し大きな影響を与えていることが考えられる。また測線の端部の観測点ではデータの質が十分ではない。そこで2003年5月に測線は拡張するよう再度の観測を行ない、確定的な結果を得る予定である。

今回の予備的な解析では富士山地下の比抵抗構造が寄生火山列の方向（北西-南東）に2次元性的であると仮定してある。Groom and Bailey (1989)の方法を使えば2次元性のチェックを行なうことができるが、それには多点で質のよいデータを取得することが不可欠である。そのためにも観測を再度行なう必要がある。

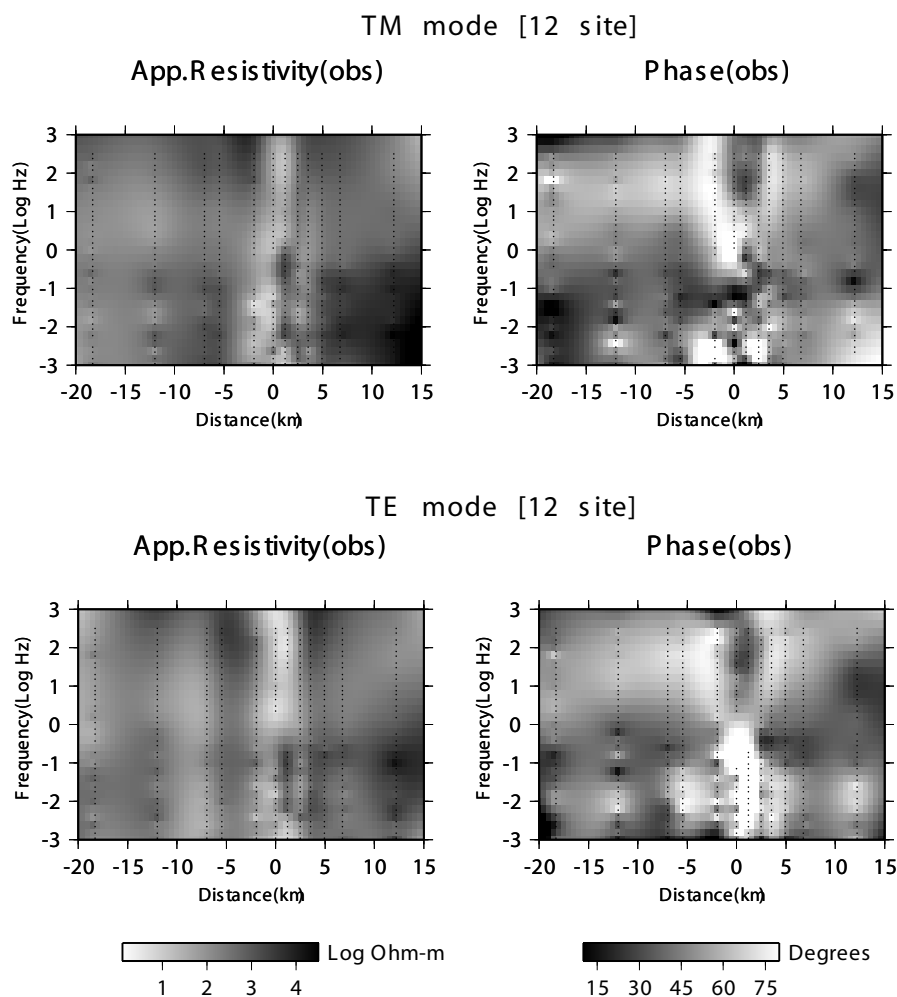


Fig.3 Pseudosection of observed apparent resistivity and phase. (a) TM mode response. (b) TE mode response. Coordinate system was rotated clockwise 45 degree from true north.

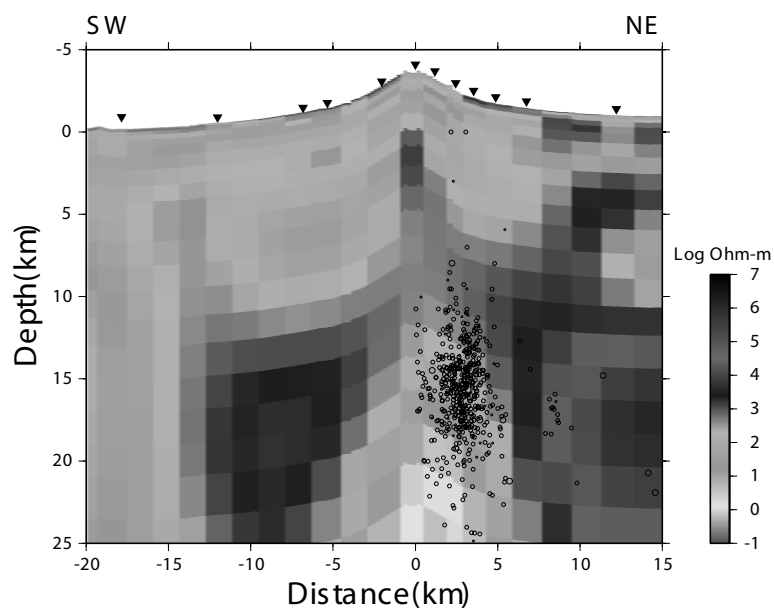


Fig.4 Two dimensional resistivity cross section obtained by inversion from TM and TE mode data. Inverted triangle shows magnetotelluric sounding sites. Small circles indicate the hypocenter distribution which have occurred from January 2000 to October 2002. Deep (10-15km depth) earthquakes are almost low-frequency earthquakes.

TM mode data fitting

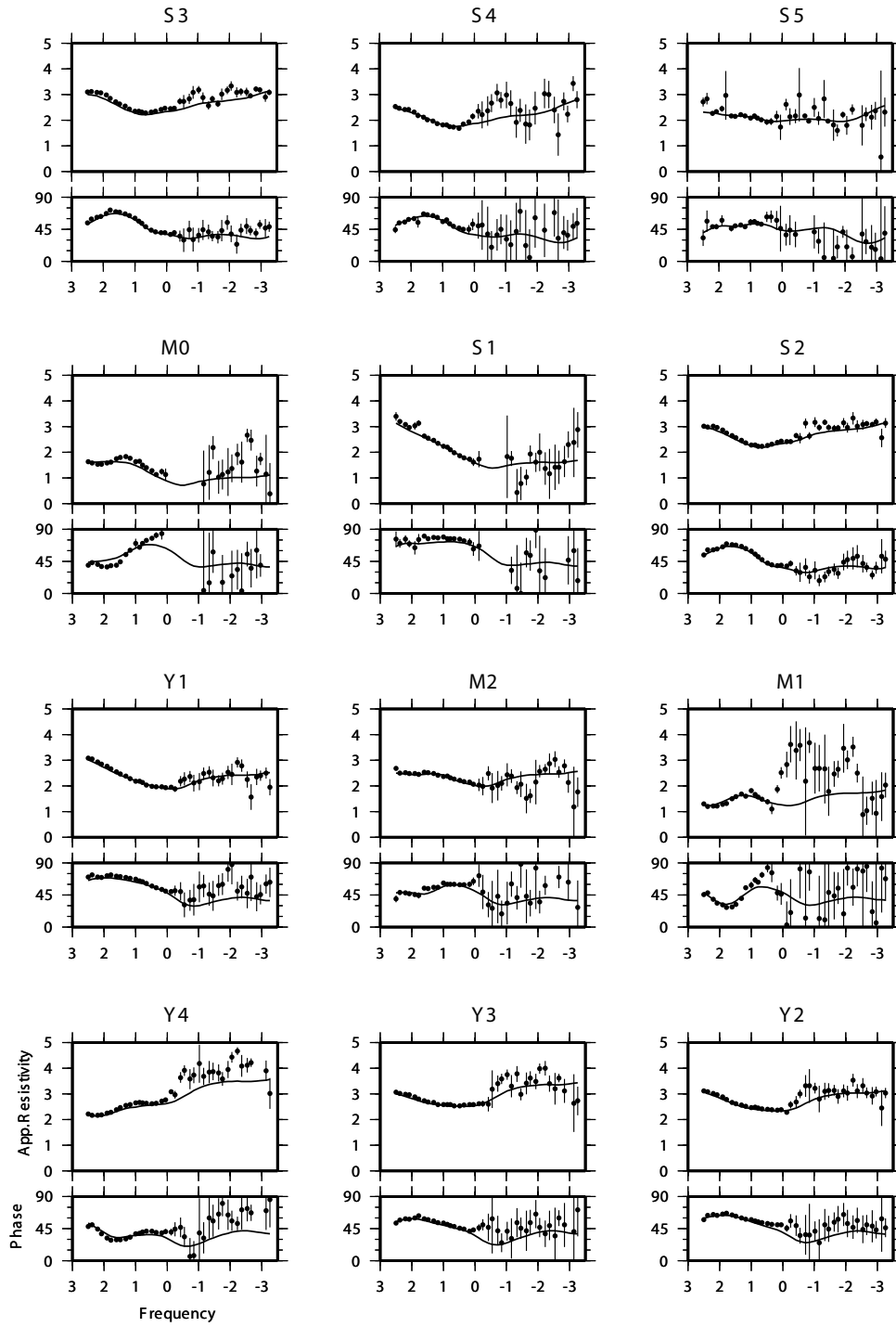


Fig.5 Calculated apparent resistivity and phase for TM-mode. Solid lines are calculated response using modeled structure by inversion. Solid circle with error bar is observed response.

TE mode data fitting

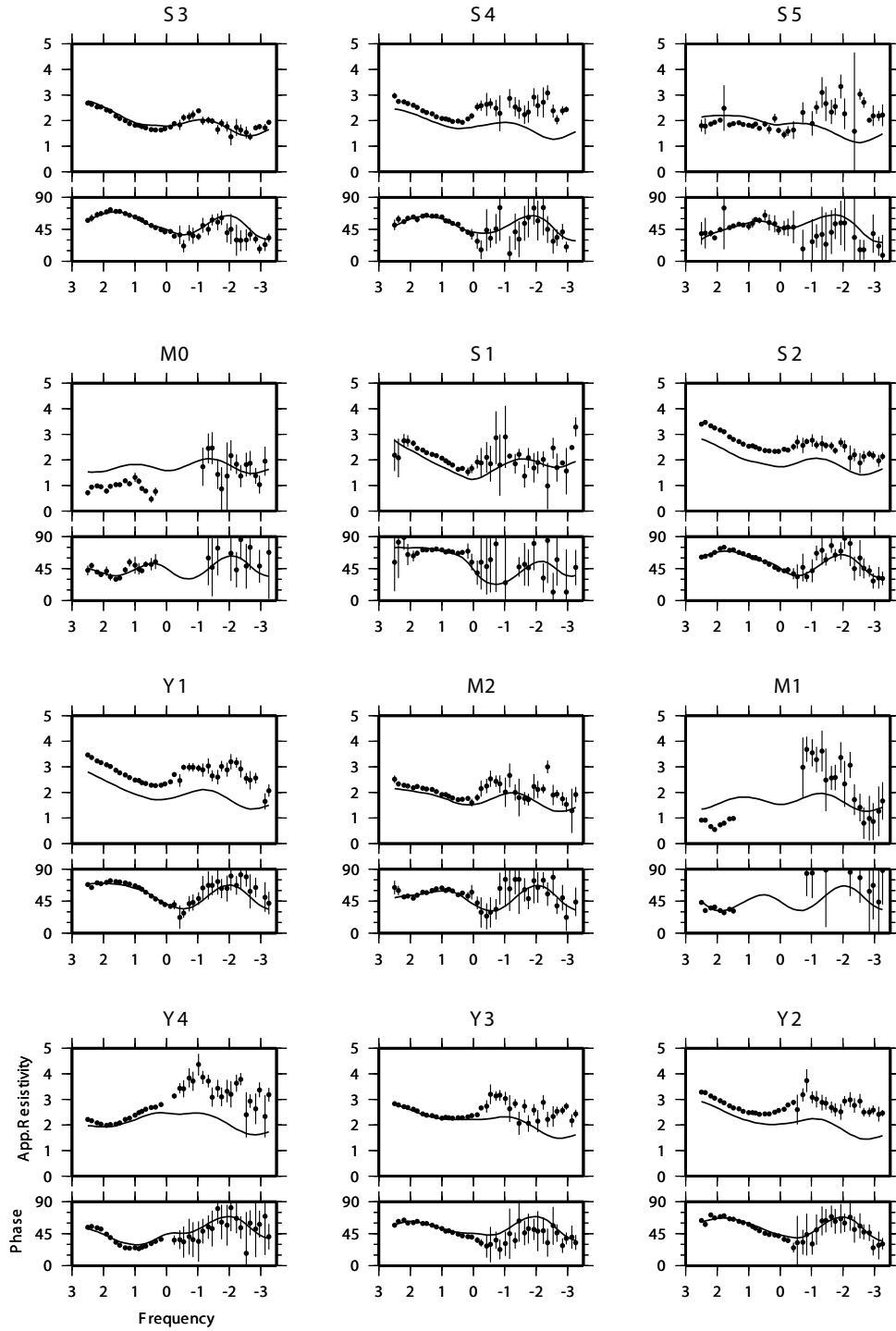


Fig.6 Calculated apparent resistivity and phase for TE-mode. Solid lines are calculated response using modeled structure by inversion. Solid circles with error bar are observed response.

3.3 異方性

長周期側 (周期 100 秒前後) の位相が 45 度を超えている観測点で、周波数応答に、顕著な異方性が認められた。観測の座標系を時計回りに、0 度、23 度、45 度それぞれ回転させたサウンディングカーブを Fig.7 に示す。図から分かるとおり 45 度回転させた座標系で長周期帯における異方性がはっきりと現われた。この長周期帯での異方性は、北東－南西方向に電流が集中し、北西－南東方向に電流が流れにくいというセンスである。

この異方性は、実際に地下構造が異方性を持っている可能性、低周波側のインダクションベクトルが示すような広域的な構造の影響によるものである可能性、富士山という急峻な地形によって電場が歪められた可能性、という 3 つが考えられる。今回取得したデータのように北東－南西方向に電流を集中させるには、測線の北東側もしくは南西側に、例えば海洋などの比抵抗値の低い領域の存在を仮定すればよいが、海岸線は測線の南東に位置している。また実際、長周期側のインダクションベクトル (Fig.8) も海岸線方向を示している。地形の効果に関しては、山地の方角に電流が流れにくくなるという効果 (Wannamaker et al., 1986) があるが、今回は観測点の北東か南西側に富士山が位置

しているため、北東－南西方向に電流が流れにくくなるはずで、実際のデータの持つ異方性とは逆センスとなる。

以上の考察から、実際に地下構造が異方性をもっている可能性がある。この可能性を認めて、異方性が現われている観測点と周期帯を考慮すると、異方性は前章で述べた深部の低抵抗体が担っている可能性が高い。地下の低抵抗体が北西－南東方向に貫入した岩脈の集合体であるとする、今回の異方性を説明できるかもしれない (Ogawa, 2002)。高橋 (2000) は、富士山が基本的に玄武岩マグマばかりを噴出してきた理由として、富士山地下のマグマ溜りが、岩脈状のマグマ溜りの複合体であるからであろうと考察している。上記で述べた低抵抗体の異方性が、この考えの根拠となり得るかもしれない。

しかしながら異方性は、複雑な構造を与えることでも説明できる。この可能性を検討するためにも、測線を拡張、充実することが必要である。富士山から離れた測点で異方性が観測されないか、非常に極端な構造をしていないかどうかなどを検証する必要がある。

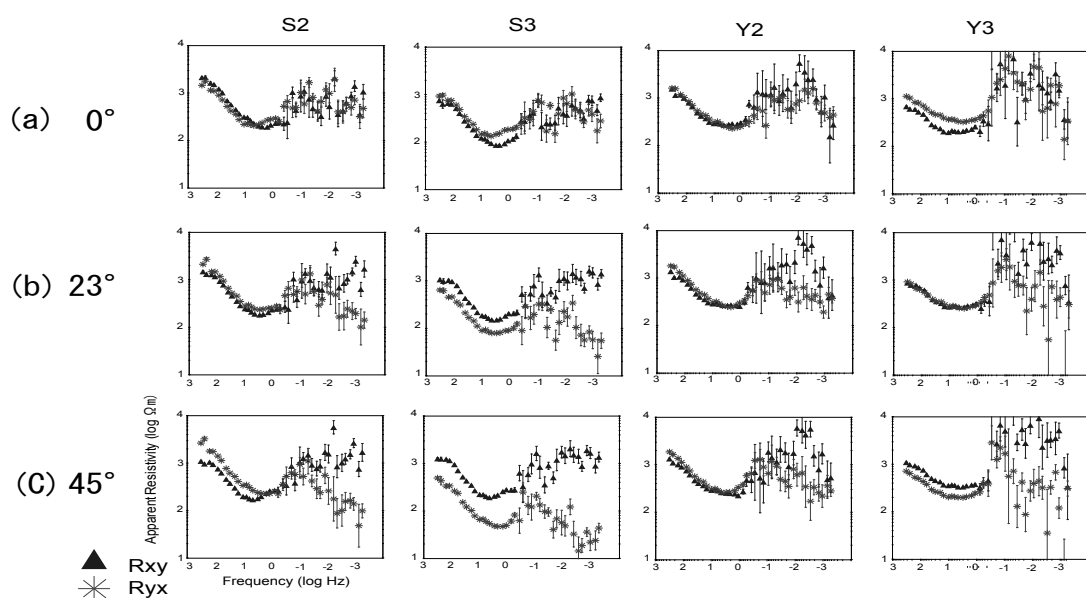


Fig.7 Observed apparent resistivity with various coordinate system. (a) with coordinate system whose x-axis are true north (b) with rotated one 23° clockwise from (a). (c) with rotated one 45° clockwise from (a)

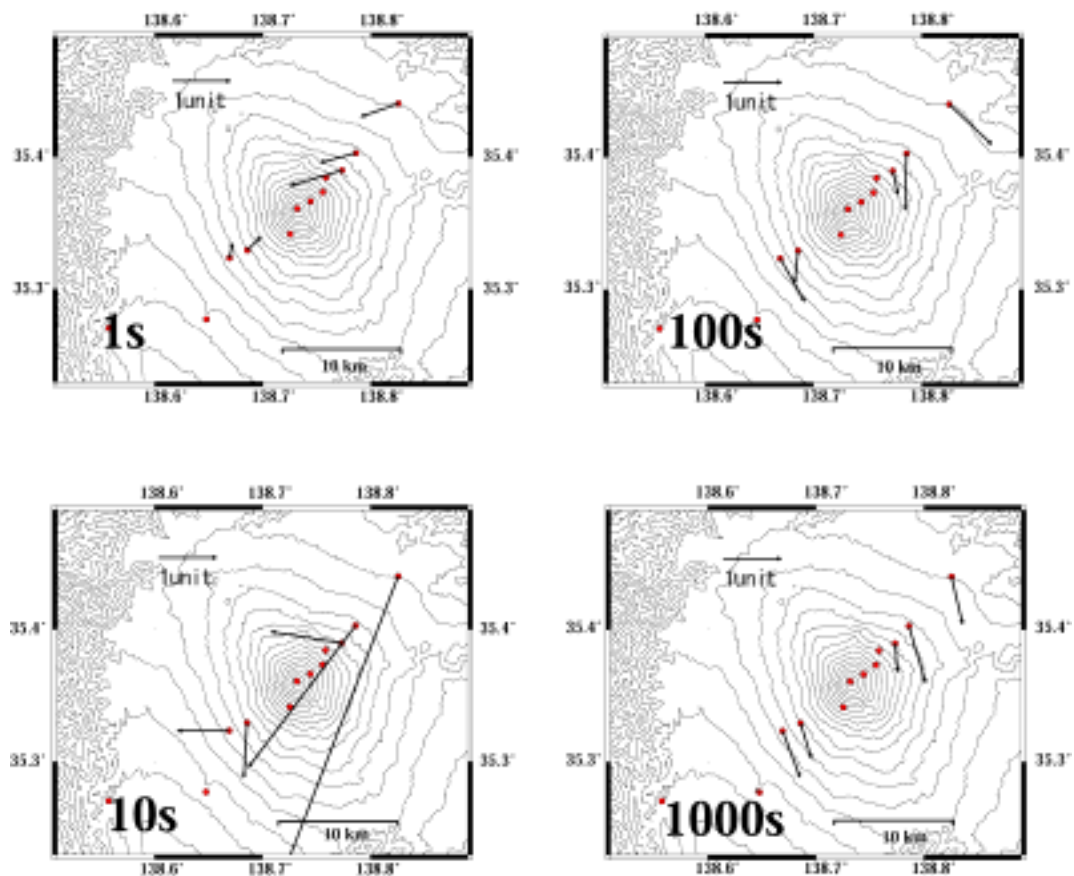


Fig. 8 Distribution of induction vector (Real part). Note that we have not taken vertical component of the geomagnetic field except five sites shown in this figure.

4. まとめ

2002年9月に富士山周辺で広帯域MT観測を行なった。その結果富士山直下深部に低抵抗体が存在していることが強く示唆された。予備的な解析ではこの低抵抗体の上面は低周波地震の震源域に一致し、マグマ溜りをとらえている可能性がある。また得られたデータを真北を基準とした座標系から 45° 前後回転させた場合に異方性が表れる。この異方性により、比抵抗構造に制約を与えられる可能性がある。

謝辞

今回の観測に際して、下記の機関のご協力をいただきました。深く感謝いたします。富士宮本宮浅間大社、

吉田恩賜林組合、吉田林務環境部、富士山本八合目トモエ館。

解析に際しては、北海道大学の茂木透助教授から、北海道北部地域で行なわれた広帯域MTのデータを提供して頂きました。東京工業大学の小川康雄教授には2次元インバージョンコードを使用させて頂きました。

本研究ではその実施にあたって、平成14年度京都大学防災研究所特別事業費（プロジェクト研究経費）、および科学技術振興調整費「富士火山の活動の総合的研究と情報の高度化」からの補助を受けました。

参考文献

高橋正樹 (2000)：富士火山のマグマ供給システムとテクトニクス場ーミニ拡大海嶺モデルー，月刊地球，第22巻，pp.516-523

- 茂木透・山谷祐介・佐波瑞恵・西田泰典・高田真秀
(2003) : 北海道北部幌延・天塩地域の比抵抗構造,
平成 15 年地球惑星科学関連学会合同大会予稿集
- Ishida, M. (1992) : Geometry and relative motion of the
Philippine Sea Plate and Pacific Plate beneath the
Kanto-Tokai district, Japan, J. Geophys. Res., 97,
pp.489-513.
- Lee, J.M. and Ukawa, M. (1992) : The south Fossa
Magna, Japan, revealed by high-resolution P-and S-wave
travel time tomography, Tectonophysics, 207,
pp.377-396.
- Ogawa, Y. (2002) : On two-dimensional modeling of
magnetotelluric field data, Surveys in Geophysics, 23,
pp.251-272
- Ogawa, Y. and Uchida, T. (1996) : A two-dimensional
magnetotelluric inversion assuming Gaussian static shift,
Geophys. J. Internat. 126, pp.69-76.
- Wannamaker, E.P., Stodt, A.J., and Rijo, L. (1986) :
Two-dimensional topographic responses in
magnetotellurics modeled using finite elements,
Geophysics, 51, pp.2131-2144.

PRELIMINARY RESULTS OF WIDE-BAND MAGNETOTELLURIC SOUNDING IN FUJI VOLCANO, JAPAN

Koki AIZAWA, Ryokei YOSHIMURA, Kenichi YAMAZAKI, Wataru KANDA, Naoto
OSHIMAN, Takeshi HASHIMOTO*, Tony HURST*, Shin'ya SAKANAKA**, Yuya
FURUKAWA**, Yasuo OGAWA***, Bulent TANK***, Makoto UYESHIMA****, Tsutomu
OGAWA****, Shigeru KOYAMA****, Tsuneomi KAGIYAMA****, Ichiro SHIOZAKI*****,
Tomofumi UTO*****, Mitsuhiro YOSHIMURA*****, and Kazunori YOSHIMOTO*****

*Graduate School of Science, Kyoto University

**Institute of Applied Earth Science, Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University

***Volcanic Fluid Research Center Tokyo Institute of Technology

****Earthquake Research Institute, University of Tokyo

*****Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Tottori University

Synopsis

Wide-band MT soundings in Fuji volcano were carried out September, 2002. Collected data suggests existence of low resistivity anomaly deeper part beneath Fuji volcano. A two dimensional inversion code was applied to data. Preliminary result show that low resistivity body locates at a depth about 15-20km which consists with hypo central region of deep low frequency earthquake. This low resistivity body may be a magma chamber.

Keyw ords: Fuji volcano, resistivity, wide-band magnetotelluric method, magma chamber