



Title	有珠火山東麓におけるMT法電磁探査
Author(s)	高倉, 伸一; 橋本, 武志; 小川, 康雄 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 72, 107-115
Issue Date	2009-03-15
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.72.107
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/38147
Type	departmental bulletin paper
File Information	07_Takakura.pdf



有珠火山東麓における MT 法電磁探査

高倉 伸一

産業技術総合研究所

橋本 武志

北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

小川 康雄

東京工業大学火山流体研究センター

井上 寛之

京都大学大学院理学研究科

山谷 祐介・市原 寛*・茂木 透

北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

宇津木 充

京都大学大学院理学研究科

松島 喜雄・佐藤 秀幸**

産業技術総合研究所

(2009 年 1 月 6 日受理)

Magnetotelluric investigations along the eastern foot of Usu Volcano

Shinichi TAKAKURA

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Takeshi HASHIMOTO

Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University

Yasuo OGAWA

Volcano Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

Hiroyuki INOUE

Graduate School of Science, Kyoto University

* 現所属：東京大学地震研究所

* Present affiliation: Earthquake Research Institute, University of Tokyo

**大成基礎設計株式会社

**Taisei Kiso Sekkei Co. Ltd.

Yusuke YAMAYA, Hiroshi ICHIHARA*, Tohru MOGI

Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University

Mitsuru UTSUGI

Graduate School of Science, Kyoto University

Nobuo MATSUSHIMA and Hideyuki SATOH**

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

(Received January 6, 2009)

We conducted magnetotelluric surveys on the eastern flank of Usu Volcano. Analyses of the induction vector and 2-D resistivity inversion along the NNE-SSW direction have been performed. The overall structure of this area is characterized by horizontally stratified resistivity of H-L-H-L from surface to depths. A distinct low-resistivity body lies beneath the Showa-Shinzan lava dome at 2-3 km deep, below which an isolated high-resistivity body has been estimated.

はじめに

有珠火山では、貫入マグマを含む山体構造や熱水系の消長を探る目的で、多くの地球電磁気学的調査が行われてきた(西田・他, 1996)。比抵抗は熱や水の存在に敏感なパラメータであるので、比抵抗構造を求める電気探査や電磁探査が有珠火山の構造調査にも適用された。たとえば、渡辺・他(1984)は、火口原においてダイポール・ダイポール法電気探査を実施し、浅部に低比抵抗体の存在を検出した。大島・松島(1999)は有珠火山地域で実施された電気探査や電気検層のデータ解析から、有珠火山浅部の水環境について議論した。有珠火山の深部構造については、西田・他(1996)がMT法調査を実施し、1次元解析から深度1 km程度までの比抵抗構造を求めている。また、Ogawa et al.(1999)は有珠火山の中央を横切る測線に沿ってAMT法電磁探査を実施し、深度1 km程度までの比抵抗断面を求め、有珠新山の直下に垂直の低比抵抗体の存在を検出した。さらに、Matsushima et al.(2001)はAMT法のデータにMT法データを合わせ、深度10 km程度までの比抵抗構造を求めた。

しかし、これまでの調査の多くは有珠火山直下に重点が置かれており、その周辺の深部構造の解明は進んでいないのが現状である。有珠火山では火口原のほか、山麓でもいくつかの噴火活動があり、昭和新山などいくつかの溶岩ドームが形成されている。このように当該火山のマグマ活動は火口原直下に限られていないので、有珠火山の構造を総合的に解釈するためには、周辺部における深部調査も必要と考えられる。

このような背景から、我々は有珠火山周辺の広い範囲でMT法調査を実施した。本論文では、昭和新山を含む有珠火山東麓で1999年と2006年に実施したMT法調査結果について述べる。

． MT 法観測

1. 測点位置

MT 法測点の位置を Fig.1 に示す．測点は 16 点あり，有珠火山の東麓において昭和新山を北北東-南南西に横切るように分布する．なお，測点番号は，1999 年調査の測点は 500 番台に，2006 年調査の測点番号は 800 番台になっている．

当該地域の地質は，先第三系を基盤として，火山碎屑岩を主体とした新第三系が厚く発達している．これを覆って主に未固結ないし固結度の低い正規堆積物からなる更新統が伏在し，この上位に正規堆積物，溶岩・火山碎屑岩からなる完新統が局在して分布する（和田・他，1988）．

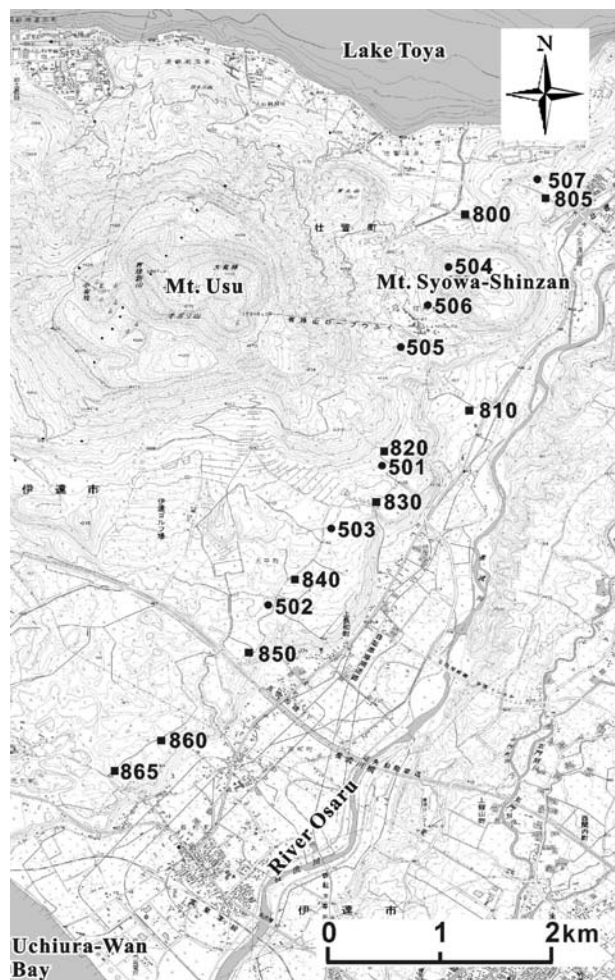


Fig. 1. Site distribution of the 1999 and 2006 magnetotelluric surveys on the eastern foot of Usu Volcano.

2. 測定方法

測定では Phoenix 社製 MTU-5 システムを使用した。電場センサーには両端を鉛 - 塩化鉛電極で接地した長さ約 30 ~ 50 m のダイポールを用い、磁場センサーにはインダクションコイルを用いた。

1999 年の測定では、測点 503, 505, 506 では電場 2 成分の、残りの測点では電場 2 成分と磁場 3 成分の時系列データを取得した。また、2006 年の測定では、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。

3. データ処理

時系列データの周波数解析ではリモートリファレンス処理を適用した。リファレンスデータは、1999 年のデータに対しては同時に測定した他の測点の磁場データを用い、2006 年のデータは国土地理院江差観測所で取得された磁場データを利用した。時系列データを等間隔に多数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、0.0005 ~ 320 Hz の範囲の各成分のパワースペクトルデータを求めた。そして、インピーダンスと磁場伝達関数を計算し、高品質の結果が得られたセグメントだけを編集して、見掛け比抵抗や位相やインダクションベクトルなどの MT パラメータを計算した。

昭和新山に位置する測点 504 と地域中央部の測点 820 から 850 までの区間は測点 840 を除き、全周波数にわたり比較的高品質の MT パラメータが求まった。他の測点については、人工ノイズの影響がデータに反映されており、ある周波数範囲あるいは全周波数範囲にわたって使用できないものがあった。本研究では、測点 805, 506, 840, 860, 865 の 5 点のデータは解析に用いることが難しいと判断し、以下の議論から除いた。

4. データ解析

1. インダクションベクトル

インダクションベクトルは、磁場 3 成分データの解析から求まるティッパーの大きさとその位相によって定義されるベクトルである。このベクトルの実数部分は低比抵抗体が存在する方を向き、比抵抗変化が急激なところで大きくなるという性質をもつ (Parkinson, 1962; Jones, 1986)。磁場データを取得した 9 測点における 100, 10, 1, 0.1, 0.01, 0.001 Hz のインダクションベクトルの実数部を Fig. 2 に示す。

高周波数側 (100, 10, 1 Hz) のインダクションベクトルを見ると、昭和新山 (測点 504) の南側を向く傾向がある。このことより、昭和新山周辺の浅部に低比抵抗帯があることが予想される。測点 507 と 800 のベクトルは大きいですが、これはノイズの影響によると考えられる。

0.1 Hz 以下の周波数は、全測点ともほぼ同様のインダクションベクトルである。したがって、0.1 Hz 以下になると、広域的な比抵抗構造の影響が反映されると判断される。ベクトルの方向は、0.1 Hz が南西方向、0.01 Hz が南方向、0.001 Hz が南西方向と周波数によって大きく変化

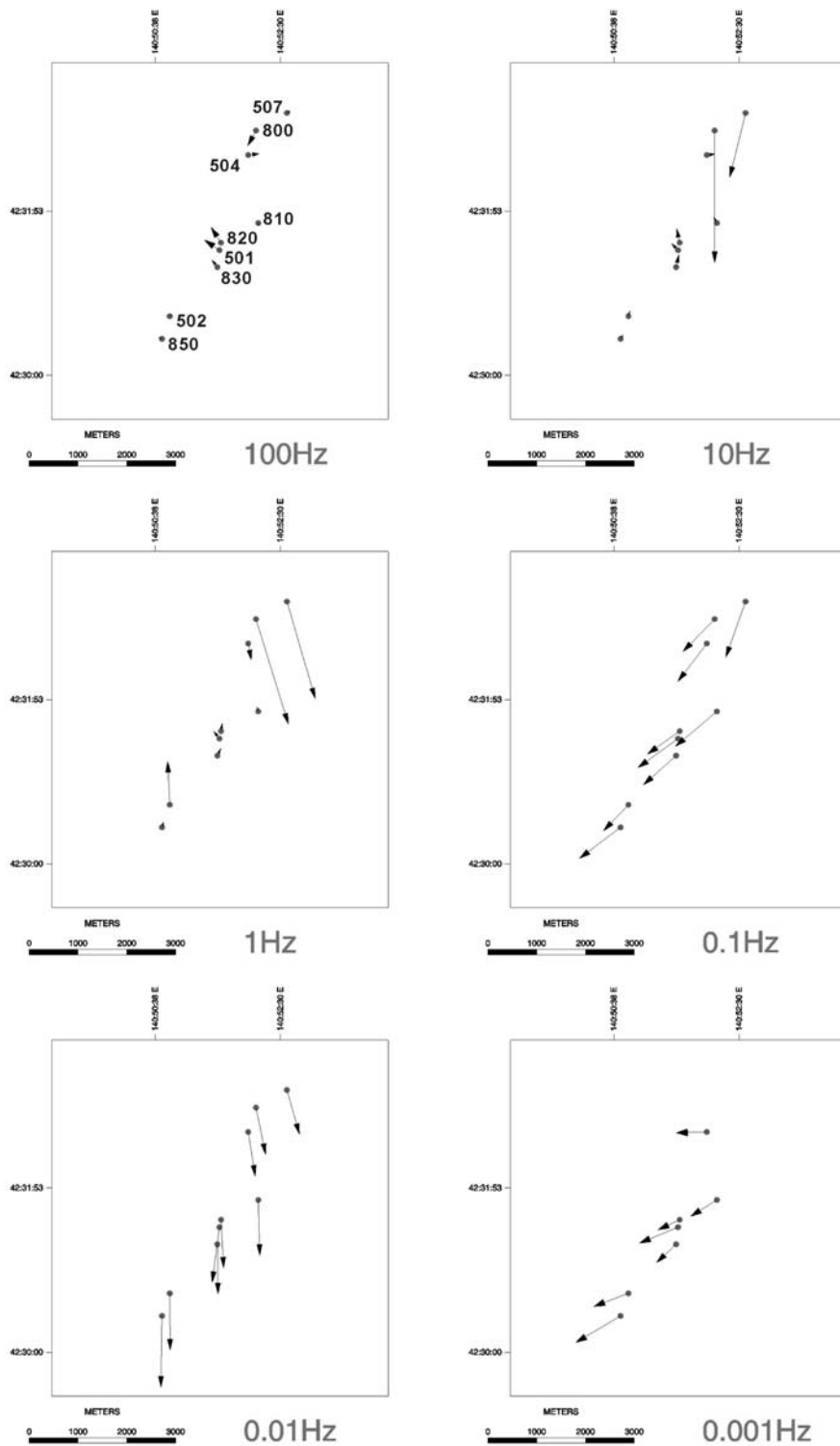


Fig. 2. Distribution of induction vectors (real part).

する．このことは、周波数によって反映される構造が変わることを意味し、周波数が低くなるにつれて、南側から西側にある低比抵抗構造の影響を受けやすくなると予想される．おそらく、0.1 Hz では調査地域のすぐ南西にある内浦湾（噴火湾）の影響が、0.01 Hz では内浦湾より水深の大きい太平洋の影響が、そして 0.001 Hz では内浦湾と日本海を結ぶ黒松内低地帯および日本海の影響が現れていると考えられる．広域的な影響については、周辺の地点で取得されたデータを合わせて考える必要があるが、本論文の範囲を超えるのでここでは議論しない．

2. 2次元解析

周波数 0.1 Hz 以下のインダクションベクトルは周波数によって変化するものの、平均的には南西から南方向を向く．そこで、比抵抗構造の大局的な走向は南東から東方向と仮定し、測点に沿った N25°E の方向の測線を設置し、この測線に沿って 2 次元解析を実施した．各測点で得られたインピーダンスを測線方向に回転させ、電場が測線と直交する方向になるデータを TE モードと、測線方向になるデータを TM モードとそれぞれ定義した．TE モードと TM モードの見掛け比抵抗擬似断面および位相断面を Fig. 3 に示す．この図より、測点 505 ではスタティックシ

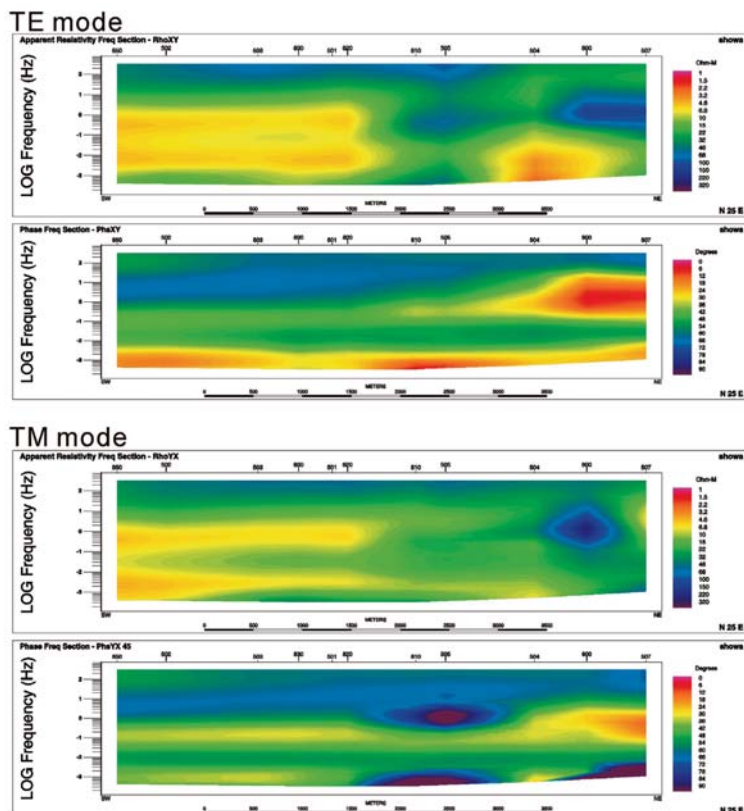


Fig. 3. Magnetotelluric pseudo-sections. Upper panels: apparent resistivity and phase of TE mode. Lower panels: apparent resistivity and phase of TM mode.

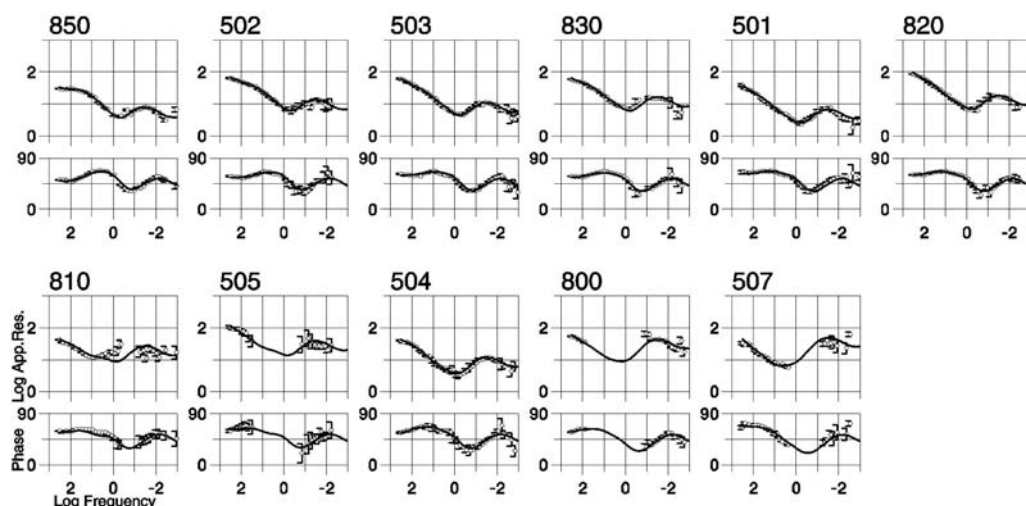


Fig. 4. Comparison of measured (dots with error bars) and modeled (solid lines) responses for each site.

フトと考えられる現象が両方のモードの見掛け抵抗に現れていると判断できる。スタティックシフトのあるデータに対する TE モードの 2 次元解析はできないので (Wannamaker et al., 1984), 今回の解析では TM モードだけで実施した。

解析には Uchida and Ogawa (1993) が作成した平滑化制約付 2 次元インバージョンを適用した。地下構造モデルのメッシュの数は 3,220 個 (92×92) である。また、ブロックの数は 567 個である。初期モデルは $100 \Omega\text{m}$ とし、解が収束するまで 10 回の反復を行った。RMS エラーは 1.414% であり、解析モデルからの計算値と測定値との比較を Fig. 4 に示す。両者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。

． 結果および考察

2 次元解析から得られたモデルを Fig. 5a および b に示す。ここで、a は縦横比が 1 で、b は 0.5 である。解析された測線下の比抵抗構造は、基本的には地表から深部へ向かって比抵抗が高 - 低 - 高 - 低となる 4 層構造を示している。以下に、比抵抗構造の特徴について述べる。

第 1 層の高比抵抗層は、当該地域を覆う第四系の溶岩および堆積物に対応する。比抵抗値は $100 \Omega\text{m}$ 前後であり、当該地域で掘削されている井戸の比抵抗検層データ (大島・松島, 1999) と矛盾のない値である。層厚は場所によって異なるが、数 100 m 程度と考えられる。

第 2 層の低比抵抗層は新第三系岩石類に対応する。この層は測線の北側では浅く、南側にある昭和新山に向かって深くなっている。これは、大島・松島 (1999) が電気探査の結果から解析した結果と整合的である。層厚は概ね数 100 m ほどであるが、昭和新山の直下からその南側では層厚が大きくなっており、深度 $1 \sim 2 \text{ km}$ 付近に幅が 1 km を超える $1 \Omega\text{m}$ 前後の低比抵抗

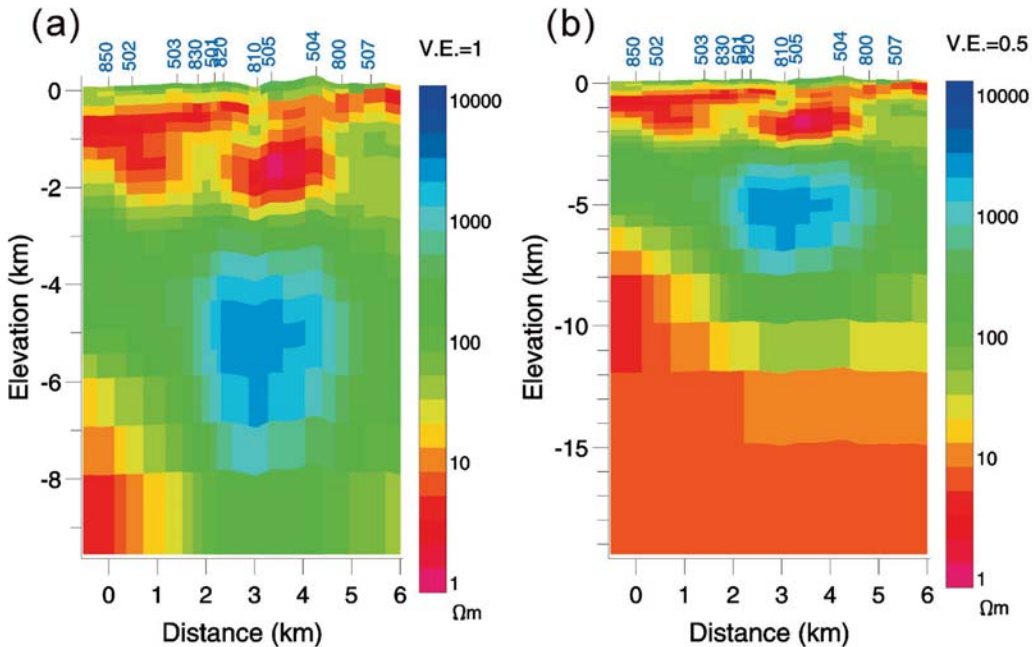


Fig. 5. Result of the 2-D resistivity inversion. (a) V.E. = 1.0 (b) V.E. = 0.5.

体が存在する。測点 810 付近では低比抵抗層がとぎれているように解析されている。これは、この測点が他の測点の並びより東側にあり、局所的な地質の違いが影響していると思われる。測線の南側では低比抵抗層の上面はほぼ平らであるが、測点 503 と 502 の間は層厚が大きくなっている。

低比抵抗層の下には、比抵抗が 100 ~ 1000 Ωm 前後の高比抵抗層が存在する。測線の北側では、比抵抗は数 10 Ωm 程度とやや低いが、高比抵抗層は浅くなっている。当該地区の重力異常は北側ほど大きくなっているため、この高比抵抗層を空隙率の小さい固結した岩石と考えると、重力異常と比抵抗構造とを矛盾無く説明することができる。昭和新山とそのすぐ南側では、深度 4 ~ 7 km 前後に数 1000 Ωm 以上の高比抵抗体が解析されている。この構造がどのような地質に対応するかは不明であるが、その位置から昭和新山を形成したマグマとの関連を予想させる。

高比抵抗層の下には、10 Ωm 以下の低比抵抗層が解析されている。この層は南側に行くほど浅くなっている。0.01 Hz のインダクションベクトルが南側を向くのは、この深部の低比抵抗層が影響している可能性も考えられる。探査深度の不足から低比抵抗層の下面は捉えられていない。また、この層がどのような地質構造に対応するかについては現時点では不明である。

． おわりに

昭和新山を含む有珠火山東麓で MT 法調査を実施し、インダクションベクトルの解析や北北東-南南西に横切る測線に沿っての 2 次元解析を実施した。その結果、当該地域のおおまかな比

抵抗構造が明らかになった。また、昭和新山直下では、浅部の低比抵抗層が周囲より厚くなっており、その下に高比抵抗体が存在することが推定された。

しかしながら、MT 法データの 2 次元解析の信頼性や得られた比抵抗構造の解釈は不十分である。今後、他の地球物理データあるいは地質・地化学データとの比較・検討を行い、信頼性の高い比抵抗モデルの構築を図っていきたい。

文 献

- Jones, A. G., 1986. Parkinson's pointers' potential perfidy, *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, **87**, 1215-1224.
- Matsushima N., H. Oshima, Y. Ogawa, S. Takakura, H. Satoh, M. Utsugi and Y. Nishida, 2001. Magma prospecting in Usu volcano, Hokkaido, Japan, using magnetotelluric soundings, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **109**, 263-277.
- 西田泰典・宇津木充・大島弘光・鍵山恒臣・井上智広・森田裕一・茂原 論・前川徳光, 1996. マグネトテレルリック観測から推定される有珠火山の比抵抗構造, 北海道大学地球物理学研究報告, **59**, 151-162.
- Ogawa, Y., N. Matsushima, H. Oshima, S. Takakura, M. Utsugi, K. Hirano, M. Igarashi and T. Doi, 1998. A resistivity cross-section of Usu volcano, Hokkaido, Japan, by audiomagnetotellurics soundings, *Earth Planets Space*, **50**, 339-346.
- 大島弘光・松島喜雄, 1999. 有珠山浅部の水環境 - 既存資料の解析 -, 北海道大学地球物理学研究報告, **62**, 79-97.
- Parkinson, W. D., 1962. The influence of continents and oceans on geomagnetic variations., *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, **6**, 441-449.
- Wannamaker, P. E., 1991. Advances in three-dimensional magnetotelluric modeling using integral equations, *Geophysics*, **56**, 1716-1728.
- 渡辺秀文・山下 済・前川徳光, 1984. 有珠火山の電気探査, 北海道大学地球物理学研究報告, **43**, 31-40.
- 和田信彦・八幡正弘・大島弘光・横山英二・鈴木豊重, 1988. 西胆振地域の地質と地熱資源, 地下資源調査所調査研究報告, **19**, 93.