

コンダクタンスを用いた熱水系構造の比較

神田 径⁽¹⁾・関 香織^(1,2)・木下 貴裕^(1,3)

(1)東京工業大学理学院, (2)産業技術総合研究所活断層・火山研究部門, (3)現: 応用地質(株)

A comparison of the hydrothermal system using a conductance map

Wataru Kanda⁽¹⁾, Kaori Seki^(1,2), Takahiro Kishita^(1,3)

(1) School of Science, Tokyo Institute of Technology, (2) National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), (3) Now at: Oyo Co.

Abstract

We have been conducted a dense audio-frequency magnetotelluric survey in volcanoes which repeated phreatic eruptions. The three-dimensional (3-D) resistivity structure model of each volcanic hydrothermal system has been constructed, but comparison between the obtained hydrothermal structure models has not been conducted yet. Comparison of subsurface structure models obtained with similar spatial scales and resolutions could provide some constraints on the structure prone to occur phreatic eruptions. In this study, we propose a method for comparing resistivity structure models using conductance. We prepared conductance maps with the same conditions from the 3-D resistivity models at Nakadake in Aso Volcano, at Jigokudani in Tateyama Volcano, at Chausudake in Nasu Volcano, and at Owakudani in Hakone Volcano, and then compared them. As a result, despite the reduction of dimension due to integration in the depth direction, the features of the 3-D model were found to be well expressed, and several common features were found. If the number of volcanic hydrothermal system to be compared is further increased in future, knowledge on the key structure where phreatic eruption is likely to occur would be clarified.

我々は、水蒸気噴火を繰り返してきた火山（熱水系卓越火山）で稠密 AMT 調査を実施してきた。3次元インバージョン（Siripunvaraporn and Egbert, 2009; Usui, 2015; Usui et al., 2017）を適用した個別の火山熱水系地下構造モデルの構築は進んだが、推定された熱水系構造モデルの比較は未だ行われていない。同じような空間スケール・分解能で得られた地下構造モデルの比較を行うことにより、水蒸気噴火発生場の構造について何等かの拘束を与えられる可能性がある。

しかし、3次元構造モデルを比較することは容易ではない。モデルを単にスライスした2次元断面による比較が一般的であるが、3次元構造の特徴を適切に表現できているとは限らず、スライスする断面に依存する。特に、四面体メッシュを用いたインバージョンでは、断面が四面体の頂点付

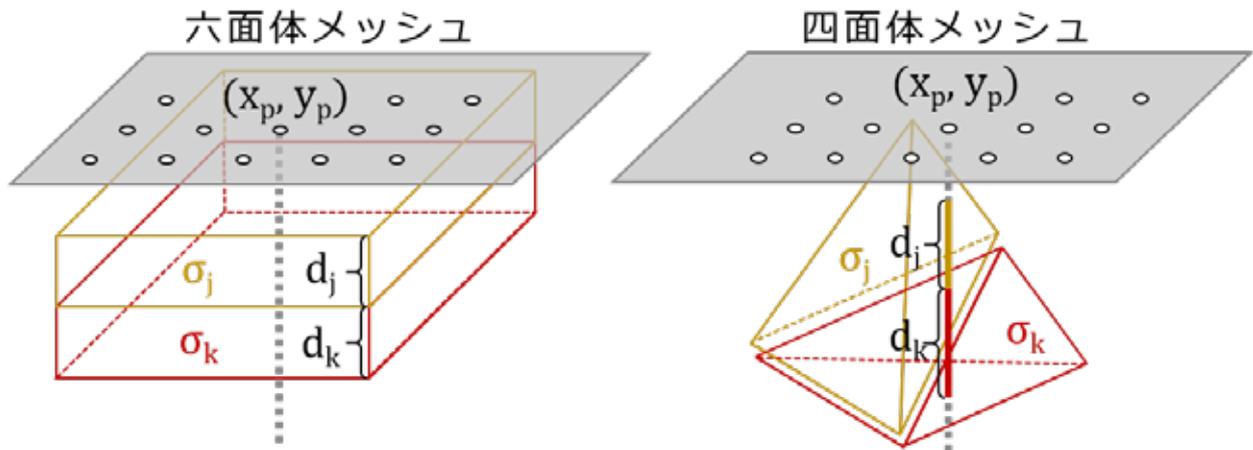
近を通る場合、小さなパッチ状の構造が見かけ上表現される場合があり、大局的な構造の特徴がマスクされることもある。そこで本研究では、コンダクタンスを用いた構造モデルの比較について提案する。

ある地点 (x_p, y_p) の深さ z_1 から z_2 までのコンダクタンス $S(x_p, y_p)$ を以下のように定義する。

$$S(x_p, y_p) = \int_{z_1}^{z_2} \sigma(x_p, y_p, z) dz \approx \sum_i \frac{1}{r(x_p, y_p, z)} dz \approx \sum_i \sigma_i d_i \quad (1)$$

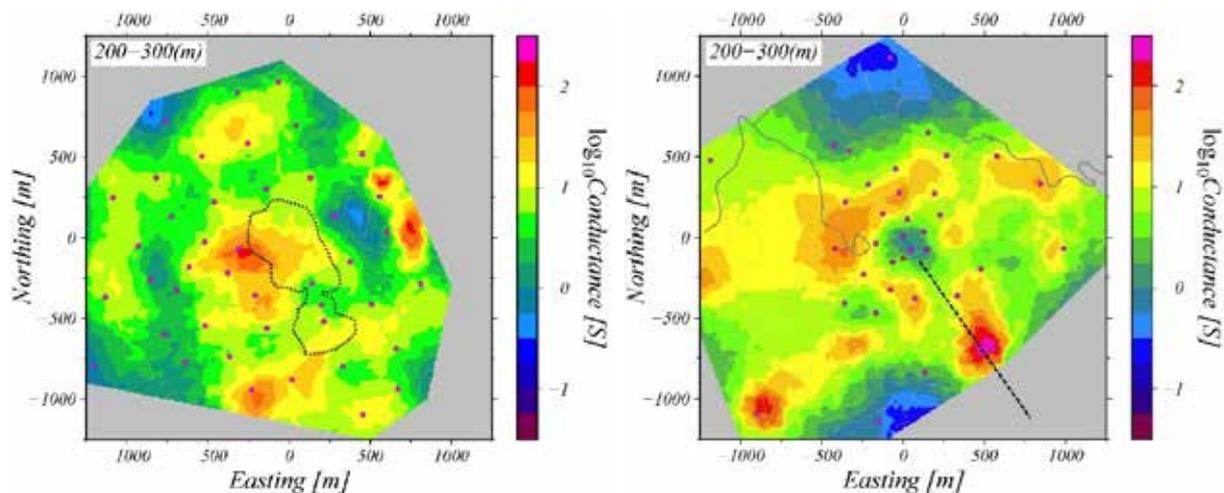
ただし d_i および σ_i は、第 1 図に示したように、 (x_p, y_p) から垂直に下した直線がメッシュ i を貫く線分の長さおよび電気伝導度であり、 z は地表面からの深さとする。3次元モデルでは、メッシュ i 内の電気伝導度は通常一定の値をとる。この $S(x_p, y_p)$ を一定間隔のグリッド上で計算し、水平面上にマッピングした。本研究では、水平方向に25m間隔のグリッドを設定し、 $z_2 - z_1 = 100[m]$ とした。

第 2 図に一例を示す。深さ方向に積分して次元を落としているにもかかわらず、3次元モデルの特徴がよく表現されている。このようなコンダクタンスマップを一定深さ毎に作成すれば、同じ条件で比較することが可能になる。本研究では、阿蘇中岳 (Kanda et al., 2019) ・立山地獄谷 (Seki et al., 2016) ・那須茶臼岳 (Kishita et al., 2019) ・箱根大涌谷 (Seki et al., 2019) の火口周辺の稠密比抵抗構造調査から得られた 3次元比抵抗構造モデルからコンダクタンスマップを作成し比較してみた。その結果、いくつか共通点が見られた。例えば、熱水系のみに起因する噴火を近年発生させる火山(立山・箱根)では、浅部において中央部に低コンダクタンス領域が存在する。また、



第 1 図：コンダクタンスの考え方。(左) 六面体メッシュの場合。(右) 四面体メッシュの場合。ある地点 (x_p, y_p) の直下のメッシュ i の「厚さ」 d_i は、 (x_p, y_p) から垂直に下した直線がメッシュを貫く長さとして定義する。メッシュの電気伝導度 σ_i は、メッシュ内で一定の値とする。

Fig.1: Definition of conductance. (Left) Hexahedral mesh. (Right) Tetrahedral mesh. The "thickness" d_i of the i -th mesh beneath a point (x_p, y_p) on the ground surface is defined as the length of a line which is drawn vertically from (x_p, y_p) and penetrates the i -th mesh. The electric conductivity σ_i of the i -th mesh is normally a constant value within the mesh of a model obtained from 3-D inversion.



第 2 図：三次元比抵抗構造モデルのコンダクタンスによる表現例。地表面からの深さ 200 m ~ 300 m で計算したコンダクタンスをマッピングしている。(左) 阿蘇中岳火口周辺 (Kanda et al., 2019)。(右) 箱根大涌谷周辺 (Seki et al., 2019)。

Fig.2: Examples of three-dimensional resistivity structure model represented by conductance. The conductance is calculated between a depth of 200 m and 300 m from the ground surface and mapped. (Left) Around the Nakadake crater of Aso Volcano (Kanda et al., 2019). (Right) Around Owakudani of Hakone Volcano (Seki et al., 2019).

マグマ噴火も発生する火山 (阿蘇・那須) では、深部において高コンダクタンス領域が広がっている、などの点である。以上のように、コンダクタンスを用いた 3 次元比抵抗構造の比較は有効な手法であり、今後、比較対象とする火山を増やしていけば、水蒸気噴火が発生しやすい熱水系構造についての知見が得られるものと思われる。

謝 辞

本研究は、2018年6月に北海道大学で開催された「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」課題1003「多項目観測に基づく火山熱水系の構造の時空間変化の把握と異常現象の検知 (代表: 橋本 武志)」の研究集会「火山の熱水系と水蒸気噴火に関する比較研究」における発表が基になっています。議論していただいた皆様ありがとうございました。また、「次世代火山研究・火山人材育成総合プロジェクト」の課題B-4「火山内部構造・状態把握技術の開発 (代表: 森田 裕一)」の一環として行われた研究です。ここに記してお礼申し上げます。

参考文献

Kanda, W., Utsugi, M., Takakura, S., Inoue, H., Hydrothermal system of the active crater of Aso volcano (Japan) inferred from a three-dimensional resistivity structure model, *Earth Planets Space*, 2019 (in review).

- Kishita, T., Kanda, W., Takakura, S., Seki, K., Matsunaga, Y., Kinoshita, Y., Aizawa, K., Hydrothermal structure beneath the lava dome of Nasu-Chausudake volcano (Japan) inferred from the AMT survey and the diffuse soil gas flux measurement, 2019 (in preparation).
- Seki, K., Kanda, W., Tanbo, T., Ohba, T., Ogawa, Y., Takakura, S., Nogami, K., Ushioda, M., Suzuki, A., Saito, Z., Matsunaga, Y., Resistivity structure and geochemistry of the Jigokudani Valley hydrothermal system, Mt. Tateyama, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **325**, 15-26, 2016. doi:10.1016/j.jvolgeores.2016.06.010.
- Seki, K., Kanda, W., Mannen, K., Takakura, S., Koyama, T., Noguchi, R., Yukutake, Y., Ishikawa, M., Fukai, M., Harada, M., Abe, Y., Hydrothermal system of Owakudani steaming area, Hakone Volcano, Japan, inferred from a 3-D resistivity structure, 2019 (in preparation).
- Siripunvaraporn, W., Egbert, G., WSINV3DMT: Vertical magnetic field transfer function inversion and parallel implementation, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **173**, 317-329, 2009. doi:10.1016/j.pepi.2009.01.013.
- Usui, Y., 3-D inversion of magnetotelluric data using unstructured tetrahedral elements: applicability to data affected by topography, *Geophys. J. Int.*, **202**, 828-849, 2015. doi:10.1093/gji/ggv186.
- Usui, Y., Ogawa, Y., Aizawa, K., Kanda, W., Hashimoto, T., Koyama, T., Yamaya, Y., Kagiya, T., Three-dimensional resistivity structure of Asama Volcano revealed by data-space magnetotelluric inversion using unstructured tetrahedral elements, *Geophys. J. Int.*, **208**, 1359-1372, 2017. doi:10.1093/gji/ggw459.