

十和田火山における3次元比抵抗構造

概要

十和田湖周辺の約40km四方の領域で60測点を設け、広帯域MT法探査を行い、地下比抵抗構造を明らかにした。十和田湖周辺では変質鉱物によると考えられる低比抵抗域が点在している。一方、十和田湖内では中湖を中心としたじょうご状の低比抵抗域が浅部にある。そこから深部へ向けて円柱状の低比抵抗域が伸びており、マグマからの脱ガス成分を含む高温の火山性流体の上昇域を示している可能性を上げられる。重力異常と対比することにより、浅部のじょうご状の構造はカルデラの陥没地形を充填した未固結の火砕流堆積物を表していると考えられる。

原子力規制庁「巨大噴火プロセス等の知見整備に関わる研究」の一環として、十和田火山の地下比抵抗構造を把握するために広帯域MT法調査を2021、2022年に実施した。詳細は原子力規制庁報告書(2023、2024)を参照していただきたい。

本報告では、WSINV3DMTを用いた3次元比抵抗構造のインバージョンの結果から、特徴的な比抵抗構造についての概略を示す(図1)。標高300~350mでは御倉半島や中山半島の溶岩ドーム構造を表す $1,000\ \Omega\cdot\text{m}$ 以上の高比抵抗が顕著である。海拔下200~300mでは十和田湖周辺で $1\ \Omega\cdot\text{m}$ 程度の低比抵抗域が点在する。この地域では新第三紀の堆積岩が存在することから(工藤ほか、2019)、モンモリロナイト等の、続成ないしは熱水変質作用をうけた変質鉱物が存在することにより低比抵抗になっていると解釈される。また、この深度あたりから十和田湖内の中湖を中心とした円形の低比抵抗域が現れるようになるが、深度400~500mで明確になる。この深度では御倉半島の付け根あたりにも低比抵抗域が見られるが、局所的で深度方向への広がりはない。一方、十和田湖の南東方向には高域の高比抵抗域が見られ、深くなるにつれてよりはっきりするようになる。規模が大きく、造山運動に伴うような深成岩体であろうと解釈される。

中湖では、水深150m付近で温泉水の湧出が推定されている(Nishimura et al., 1999)。また、最深部で熱水プルームの存在が示唆されている(Oikawa et al., 2015)。中湖の低比抵抗域はその断面を見ると、深部に向かって比抵抗値はやや大きくなるものの円柱状に伸びている(図2)。この円柱状の領域では地震の発生が少ない傾向にあり、地震が発生しづらい塑性領域であると考えられる(原子力規制庁、2023)。弾性から塑性への物性変化は370-400°Cなので(Fournier, 1999)、円柱状の低比抵抗領域はマグマからの脱ガス成分を含む高温の火山性流体の上昇域を示している可能性がある。ただし、震源との対応は明瞭ではなく、詳細な震源分布を把握した上での検討が必要であろう。

比抵抗構造に基づいた概念モデルから熱水系の数値シミュレーションを実施し、特徴的な低比抵抗構造が再現されるか試みた(原子力規制庁、2024)。その結果、低比抵抗を示す領域の透水性が周囲より十分に高ければ、深部より上昇してきた熱水がそこに滞留してNaCl濃度が高くなり、その領域が低比抵抗になることが確認された。

中湖を中心とした低比抵抗域を特徴づけるのは $20\ \Omega\cdot\text{m}$ 以下の領域であるとみなし、その領域を抽出した(図3)。抽出された領域は、眺める方向によっては不完全であるが、概ねじょうご状の形をしている。その体積は約 $2.2\times 10^{10}\text{m}^3$ となった。一方、十和田カルデラは顕著な低重力異常を示すことで知られている(Yokoyama and Maki, 1964)。代表的な低重力カルデラの一つであり、その要因としてカルデラの陥没地形を充てんする未固結な火砕物が考えられている(横山、1969)。重力異常分布を面積分して得

られる質量欠損量は約 10^{13} kg と見積もられている。密度差 0.3g/cc を仮定するとその体積は $3.3 \times 10^{10} \text{m}^3$ となり、上で求めた低比抵抗域の体積とほぼ一致する。以上のことから、中湖を中心にした低比抵抗域の浅部は、高透水性で低密度であると考えられ、カルデラの陥没地形を充填した未固結の火砕物からなると解釈される。カルデラ形成にかかわった噴出物（八戸火砕流、八戸降下、雲井火砕流、大不動火砕流、切田テフラ、奥瀬火砕流）の岩石換算体積（DRE）は約 $4.6 \times 10^{10} \text{m}^3$ で（産業技術総合研究所地質調査総合センター（編）、2025）、低比抵抗域の体積よりやや大きいオーダーとしては矛盾していない。

引用文献

- Fournier, R.O. (1999) Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic epithermal environment. *Econ. Geol.* 94 (8): 1193–1211. doi:10.2113 / gsecongeo. 94.8. 1193
- 原子力規制庁（2023）令和4年度原子力規制庁委託成果報告書 巨大噴火プロセス等の知見整備に係る研究（国立研究開発法人産業技術総合研究所令和5年3月）、
<https://www.nra.go.jp/data/000447901.pdf>
- 原子力規制庁（2024）令和5年度原子力規制庁委託成果報告書 巨大噴火プロセス等の知見整備に係る研究（国立研究開発法人産業技術総合研究所令和6年3月）、
<http://www.nra.go.jp/data/000473729.pdf>
- 工藤 崇・内野隆之・濱崎聡志（2019）十和田湖地域の地質. 地域地質研究報告（5万分の1地質図幅）. 産総研地質調査総合センター, 192p.
- Nishimura, R., Tsunogai, U., Ishibashi, J., Wakita, H. and Nojiri, Y. (1999) Origin of ^{13}C -enriched methane in the crater lake Towada, Japan. *Geochemical Journal*, 33, 277-283.
- Oikawa, T., Kudo, T., Ishizuka, O. Sugimoto, Y. and Matsumoto, Y. (2015) Detailed morphology and structure of a caldera lake: Lake Towada (Towada Caldera), NE Japan Arc. Abstract, IAVCEI 2015.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター（編）（2025）大規模噴火データベース, Version 1.0.20. 産総研地質調査総合センター. (<https://gbank.sj.jp/volcano/ledb/>)
- Yokoyama, I. and Maki, T. (1964) Preliminary report on a gravimetric survey on Towada caldera, Tohoku district, Japan. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII*, 2, 252-258.
- 横山 泉（1969）カルデラの構造に関する考察. 火山 第2集, 14, 2, 77-83.

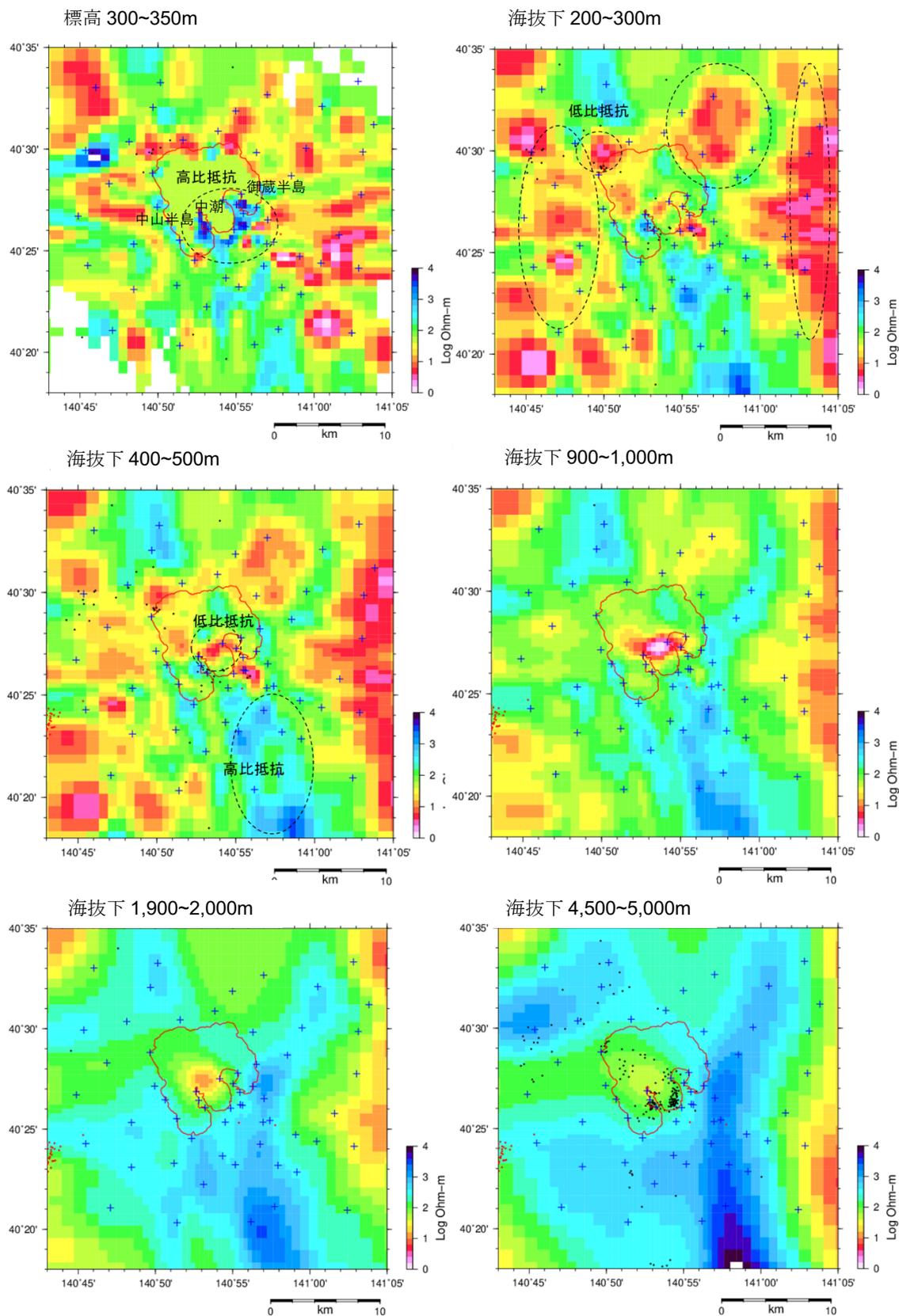


図1 深度ごとの比抵抗水平分布。赤い実線は十和田湖、+印は観測点を示す。

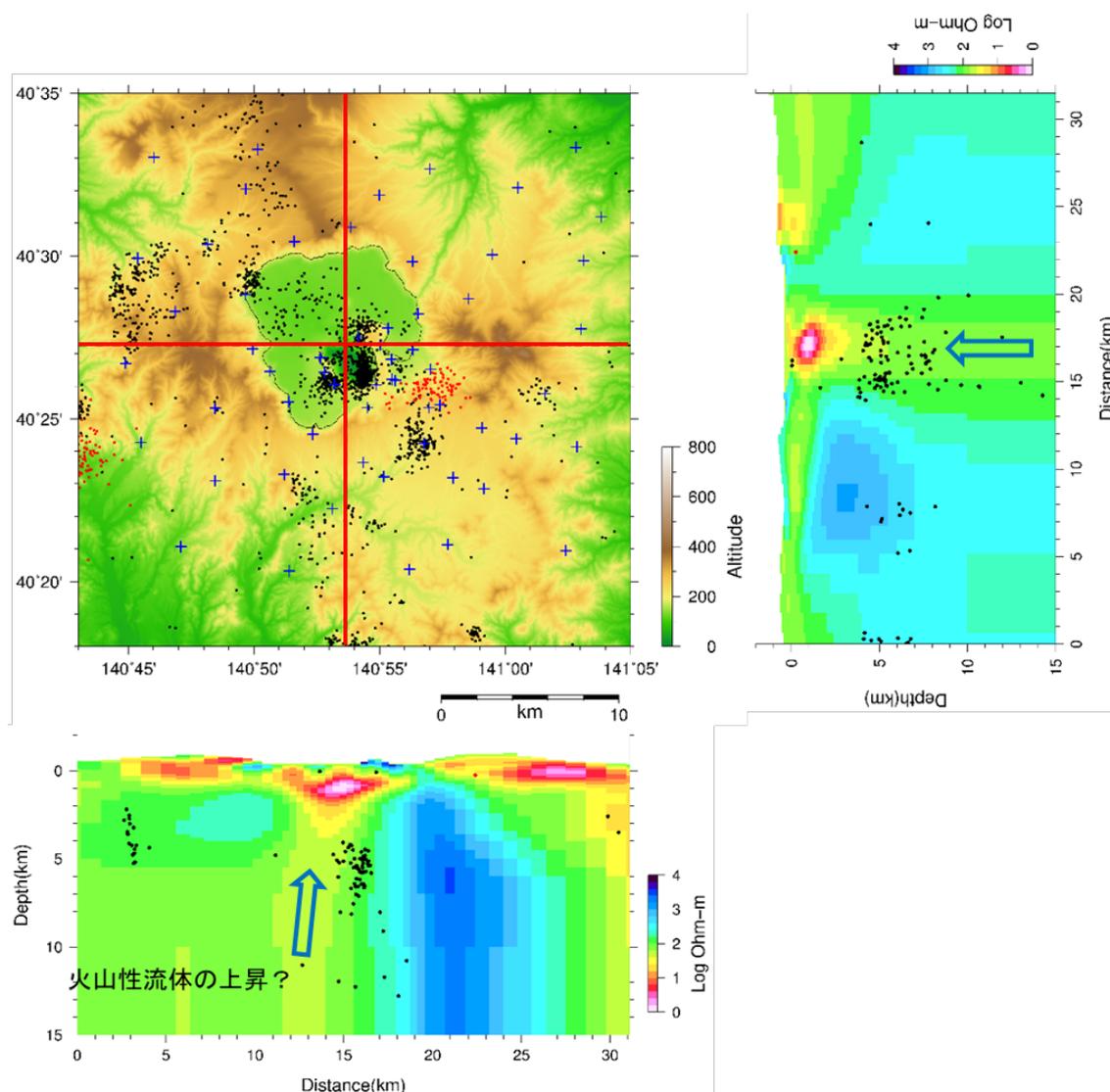


図2 十和田湖周辺の地形図（左上図）と赤線に沿った比抵抗構造の東西方向および南北方向の鉛直断面図（下図および右図）。地形図において、地震および低周波地震の震央（黒丸及び赤丸）を示す。各断面図において水平方向前後1kmの範囲内に発生している地震を投影し黒丸で示す。断面図の0 km Depthは海水準。地形図の作成にあたっては、国土地理院発行の「数値地図10mメッシュ」を使用した。

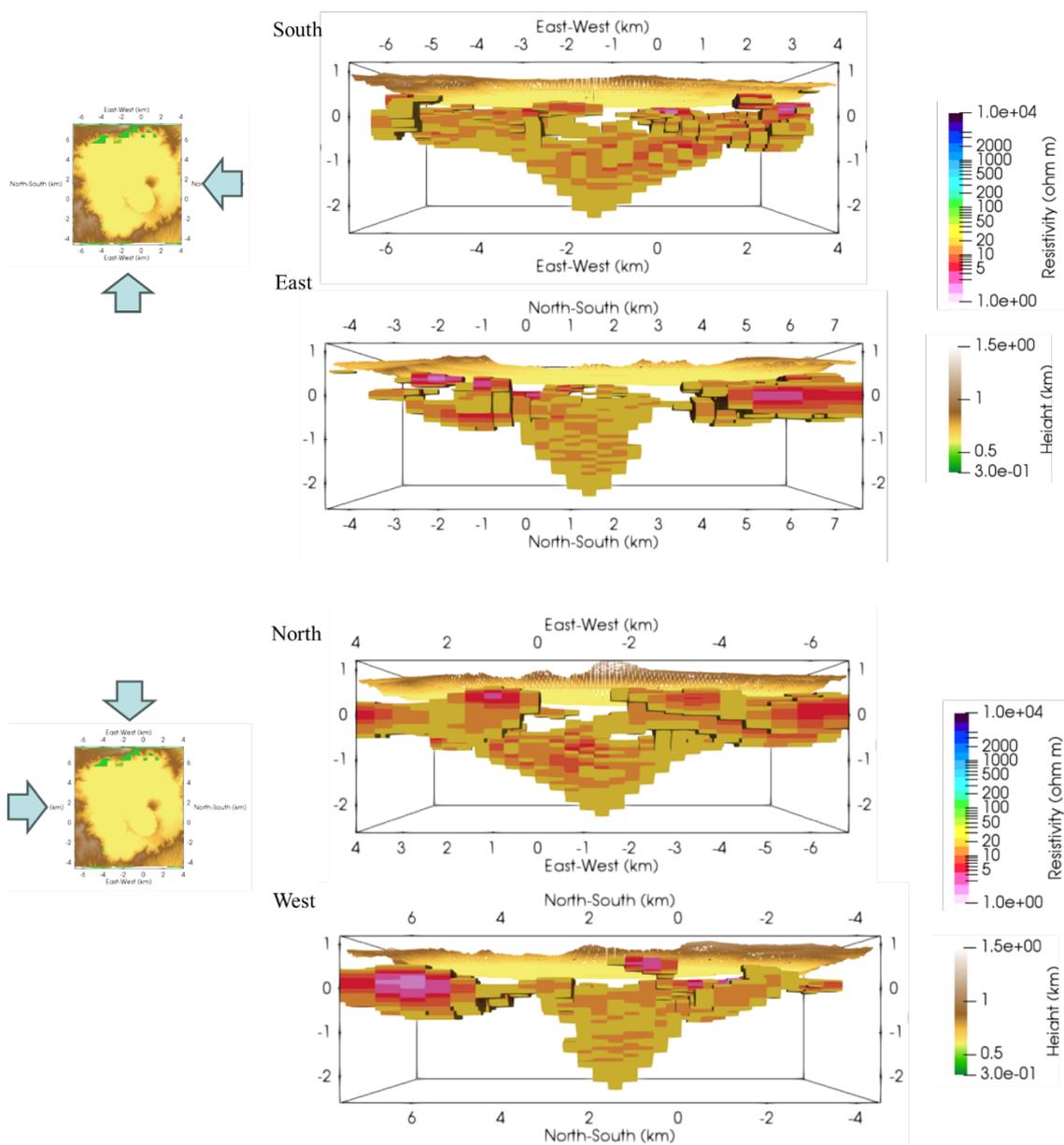


図3 低比抵抗域を特徴づける $20 \Omega \cdot m$ 以下の領域を抽出し、上図から、それぞれ南、東、北、西方向から眺めたもの。概ねじょうご状の形を示す。