

屈斜路カルデラ中の地震断層域における比抵抗・密度・地質構造の統合的解釈

市原寛¹・茂木透^{1,2}

1 名古屋大学, 2 北海道大学

Integrated interpretation of resistivity, density and geological structures in the vicinity of earthquake fault zone in the Kutcharo caldera

Hiroshi Ichihara¹ and Toru Mogi^{1,2}

1 Nagoya university, 2 Hokkaido university

カルデラ周辺では地熱調査等を目的とした掘削などの調査が行われることが多く、これらのデータが利用できる場合、詳細な地下構造の解釈が可能となる。屈斜路カルデラ周辺は北海道東部における数少ない内陸地震発生帯であり (Fig. 1a)、1938年にはカルデラ内で屈斜路地震 (M6.0) が発生した。この地震発生域では、掘削調査が複数箇所で行われており、その報告書が公開されている (新エネルギー総合開発機構、1985)。このため、Ichihara et al. (2009) は、観測および二次元解析によって得た比抵抗および密度構造の解釈に、地質・ボーリングデータを統合的解釈することによって 1938 年屈斜路地震域の地下構造を解明し、カルデラの崩壊面を利用して断層すべりが起きた可能性が高いことなどを解明した。本稿では、この結果を新たな知見を加えた上で紹介する。なお、本稿で紹介する比抵抗および密度構造の解析法の概要を付録に記載したが、詳細については Ichihara et al. (2009) を参照されたい。

比抵抗構造は大局的にはカルデラ外側の南西部で高比抵抗、内側の北東部で低比抵抗を示す (Fig. 1b のそれぞれ R1 および C2)。また、深度 500m 付近にはその両側を跨ぐ低比抵抗帯 (C1) が分布し、北東側の表層には高比抵抗層 (R2) が分布する。密度構造はボーリング資料より、均質な密度を持つと仮定した 4 つのユニットに区分し、これらの境界の形状を解析した (Fig. 1b)。解析結果によると、Unit B, C の境界面は研究領域南西部で約 1km、北東部のカルデラ中心部付近では 3.5 km 以上となると見積もられ、その間に北東落ちの急斜面帯が必要となる。

高比抵抗域 R1 は高密度域の Unit C と対応する。この領域は、凝灰岩、角礫凝灰岩および安山岩質溶岩から成り、中新世のイクルシベ層およびそれより下位の地質体に対比される。また、低比抵抗域 C1 および C2 の分布は、unit B に対応する。この領域は砂泥互層および火山碎屑物などから成り、尾札部層に対比される。Unit B - C2 域と unit C - R1 域の境界が急斜面となっている領域は、屈斜路カルデラの崩壊面と推定される。この推定崩壊面は、地形上のカルデラ境界よりも約 3km カルデラの中心部側に存在する。したがって、地形で見えているカルデラの境界とは別の場所でカルデラ崩落があったと考えられる。また、

この領域の地表への延長部は 1938 年屈斜路地震の地表断層域にあたること、TS-6 掘削資料によると急傾斜面付近に断層破碎帯の記載があることから、急斜面帯は 1938 年地震を発生させた断層であると解釈することが可能である。したがって、1938 年地震はカルデラ崩壊面がテクトニックな断層帯として再活動したものである可能性がある。今後は、更に詳細な AMT 探査や重力探査を実施し、詳細な三次元比抵抗・密度構造を求め、上記説の実証を行う必要がある。また、地質・掘削資料を基にしたデータ駆動型の解析などを行うことにより、直接的に地質や物性値分布などの推定を実施することも重要になると考えられる。

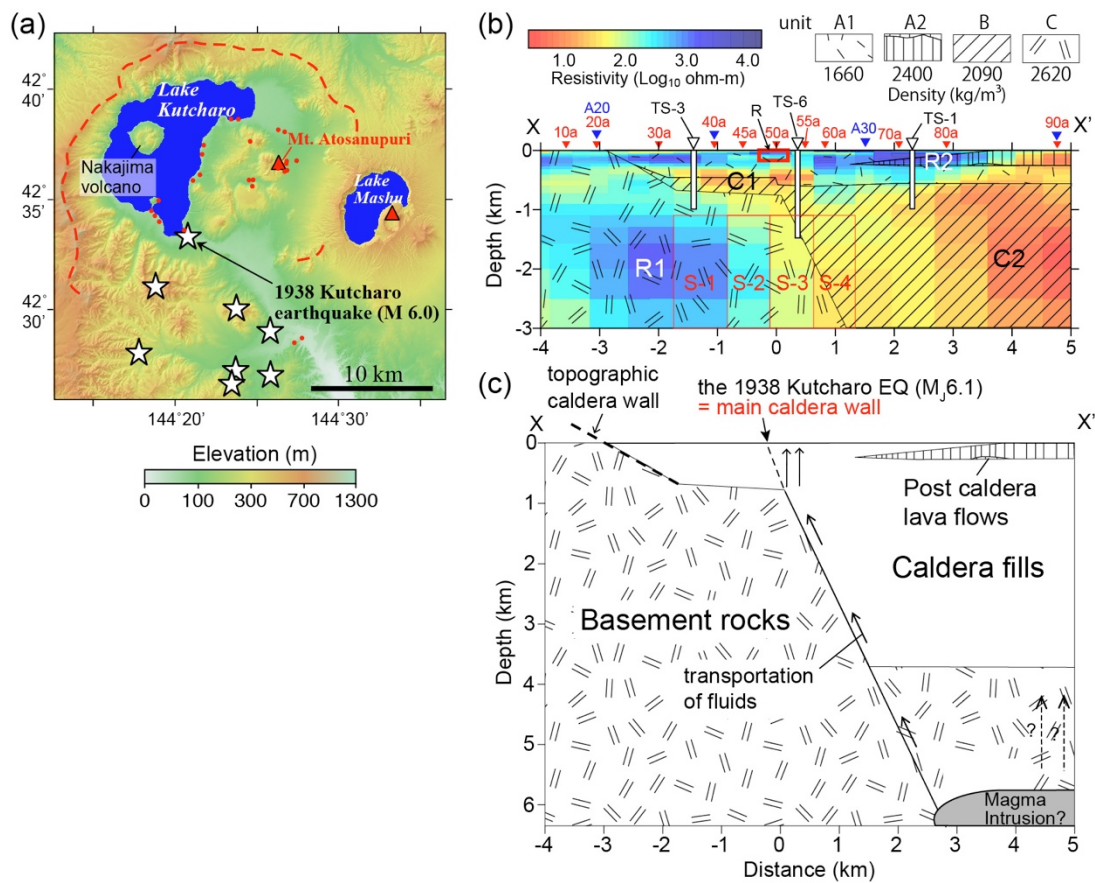


Fig. 1 (a) Topographic map around the study area. Red dashed lines, Kutcharo caldera rim; stars, epicenters of the inland plate earthquakes after 1938 ($M > 5.0$); red solid dots, hydrothermal zone. (b) Comparison of the density and resistivity structure along the profile x-x' in (a). The black hatches indicate the density units. The color image describes the resistivity structure. The red and blue inverted triangles denote location of AMT and WMT sites, respectively. The white rectangles indicate drilled areas shown in borehole data by NEDO (1985). (c) A schematic illustration along the same profile with (b). All figures were modified from Ichihara et al. (2009).

付録：観測データ・解析手法の詳細

1 二次元比抵抗構造

1.1 観測手法

Phoenix Geophysics 社の MTU5/5A system を使用し、11 地点にて AMT 観測した。また、3 点（うち 2 点は AMT 観測点と同一地点）にて広帯域 MT 観測を実施した。

1.2 観測期間

AMT 測定：2006 年 11 月に数時間～半日程度の観測を実施した。

広帯域 MT 測定：2005 年 6 月、2006 年 5 月に 2-3 日間の観測を実施した。

1.3 データプロセッシングの方法

1.3.1 MT impedance の推定

Phoenix Geophysics 社による SSMT2000 を用いてデータ区間毎の MT impedance を推定した。目視により異常な推定値を除去しスタックし、最終的な MT impedance を推定した。

1.3.2 次元性の判定

推定された MT impedance を Phase tensor (Caldwell et al., 2004) および induction vector に変換した。これらのデータより、構造二次元性が高いと判断されることから二次元インバージョン手法による地下の比抵抗構造推定を採用した。なお、走向は N35°W-S35°E と判断される。

1.4 インバージョンの詳細

1.4.1 使用したコード or 手法

Ogawa and Uchida (1996) による二次元インバージョンコード

1.4.2 使用したデータの種類、点数、データの特徴、周波数

周波数 9000-1Hz, TM mode の見掛け比抵抗・位相

1.4.3 誤差の設定法

見掛け比抵抗・位相に 5% の Error Floor を設定した。

1.4.4 初期モデルと参照モデル

初期モデルは 100 ohm-m 均質、参照モデルは設定しない。

1.4.5 最終モデルの RMS 値（誤差で規格化した値）

初期モデル 16.92 → 最終モデル 2.50

1.5 インバージョン結果の信頼性

サウンディングカーブは明瞭に R1、R2、C1 および C2 の存在を示唆している。また、R2 と C2 の境界位置は議論に重要であることから、感度テスト(穴埋めテスト)によりその確度を検証した。これによると、少なくとも C-2 の低比抵抗体は Fig 1b の

S-4 域、R1 の高比抵抗体は S-1 域には必要であることが示された。一方で、S-2 域、S-3 域までこれらの比抵抗体が延びる必要があることは実証できず、比抵抗は S-2 域と S-3 域の間で変化することになる。

2 二次元密度構造

市原ほか (2006)、本多ほか (2011) にまとめられた重力異常データセットより、Fig1a の x-x' 断面近傍において二次元密度構造モデリングを実施した。ボーリングデータ (新エネルギー総合開発機構、1985) より本地域における地質体が密度の異なる 4 つの unit から成ると仮定し、unit 内の密度値が均質と仮定して二次元 Talwani 法によりモデリングを実施した。その際、ボーリング地点におけるプロファイルを拘束条件として利用した。ここで、それぞれの unit の密度及び岩相は下記の通りである：unit A1 (湖成層・軽石：1660 kg/m³)、unit A2 (溶岩：2400 kg/m³)、unit B (尾札部層：2090 kg/m³) および unit C (イクルシベ層：2620 kg/m³)。なお、現実の三次元構造においては二次元モデルよりも低密度異常体の深度が深くなると推定される。

References

- Caldwell TG, Bibby HM, Brown C (2004), The magnetotelluric phase tensor, *Geophys J Int.*, **158**:457-469.
- Ichihara H, Mogi T, Hase H, Watanabe T, Yamaya Y (2009), Resistivity and density modelling in the 1938 Kutcharo earthquake source area along a large caldera boundary, *Earth Planets Space*, **61**:345-356 doi: 10.1186/Bf03352916.
- Ogawa Y, Uchida T (1996), A two-dimensional magnetotelluric inversion assuming Gaussian static shift, *Geophys J Int*, **126**:69-76.
- 市原寛, 茂木透, 山谷祐介, 神山裕幸, 小川康雄 (2006), 広帯域 MT 観測および重力測定による北海道東部弟子屈地域の地殻構造, *北海道大学地球物理学研究報告*, **69**:233-255.
- 新エネルギー総合開発機構 (NEDO) (1985), 地熱開発促進調査報告書 vol 6. 弟子屈西部地域, pp 554.
- 本多亮, 市原寛, 神山裕幸, 茂木透, 中川光弘 (2011), 北海道東部弟子屈地域の重力異常, *北海道大学地球物理学研究報告*, **74**:21-43.