

11 - 6 比抵抗構造と断層破壊の関係についての研究例

Case Studies of the Relationship Between Resistivity Structure and Fault Rupture

九州大学

Kyushu University

世界各地の内陸地震発生域で行われてきた地磁気・地電流法 (MT) 調査により, 地震は低比抵抗体, すなわち電気を流しやすい領域の周辺で発生する傾向があることが報告されてきた¹⁻³⁾. この傾向は, 局所的な応力集中や流体の影響によって説明されることが多い. では, 「大地震には特別な傾向があるのか」という問いに対して, 2016 年熊本地震震源域 (Mw 7.0) および 1997 年鹿児島県北西部地震 (Mw 6.4) 周辺で実施された稠密 MT 観測による比抵抗構造から, 新たな示唆が得られている⁴⁻⁵⁾.

具体的には, 以下のような特徴である.

- ・低比抵抗体の端部から破壊が開始する.
- ・別の低比抵抗体によって破壊が停止する.
- ・大地震の破壊域は, 2 つの高電気伝導度領域, すなわち低比抵抗体に挟まれる.

熊本地震の 4 月 14 日の前震は, 2 つの低比抵抗体 (第 1 図中の C1S, C1N) に挟まれる領域で発生した. 一方, 4 月 16 日の本震は C1N を越えて破壊が進展し, 阿蘇火山直下の C2 付近で停止した. 前震・本震ともに, 破壊開始点, すなわち震源は低比抵抗体の端部のやや外側に位置している. 鹿児島県北西部地震においても同様の関係が報告されており, 第 2 図中の C1 の西端部付近から破壊が開始し, 西側へ進展した後, C2 付近で停止したと解釈されている.

2016 年熊本地震および 1997 年鹿児島県北西部地震では, 地震発生後の臨時地震観測データも含めた解析により, 地震波速度構造が推定されている⁶⁻⁷⁾. しかし, 低比抵抗体に対応するような顕著な低速度異常は推定されていない. 特に, 空間解像度が比較的高い深さ 10 km 以浅において, 比抵抗構造にのみ顕著な異常体が認められることは, 単なる解像度の問題ではなく, 物理的に意味を持つと考えられる. この特徴を説明する一つの可能性として, 低比抵抗体が熱水変質によって生成された粘土鉱物, 特にスメクタイトに富む領域であるという解釈が提案されている⁴⁻⁵⁾. スメクタイトに富む領域は力学的に弱く, 脆性破壊よりも非弾性的な変形を生じやすいため, 地震破壊の進展を抑制する可能性がある. 実際, 浅部低比抵抗体の近傍では, 科学掘削や道路工事によってスメクタイトの存在が確認されている. 破壊が停止する断層端では引張応力場が形成されやすく, 深部から高温流体が上昇しやすい環境が生じ, その結果として浅部で粘土鉱物が生成された可能性がある. 熊本地震については, 浅部低比抵抗体の近傍に第四紀火山が存在すること, すなわち C1S 近傍の赤井火山, C1N 近傍の大峰火山, C2 上部の阿蘇火山の存在も, 流体が上昇しやすい構造を反映している可能性がある. 地熱地域の掘削結果によれば, スメクタイトの安定領域の下限はおおよそ 200°C 程度であるため, 浅部低比抵抗体の下面を 200°C 等温面の指標として用いることができるかもしれない.

一方, 地震分布の下限は, 一般に 400°C 程度の脆性 - 延性境界を反映すると考えられている. この下限よりさらに深部にも顕著な低比抵抗体が存在するが, その領域は高温流体に満たされ, 地震を発生させることができない領域であると解釈される. 実際, 深部低比抵抗領域内では, 震源分布だ

けでなく、地震時すべり分布も認められていない（第 1, 2 図）⁴⁻⁵⁾。

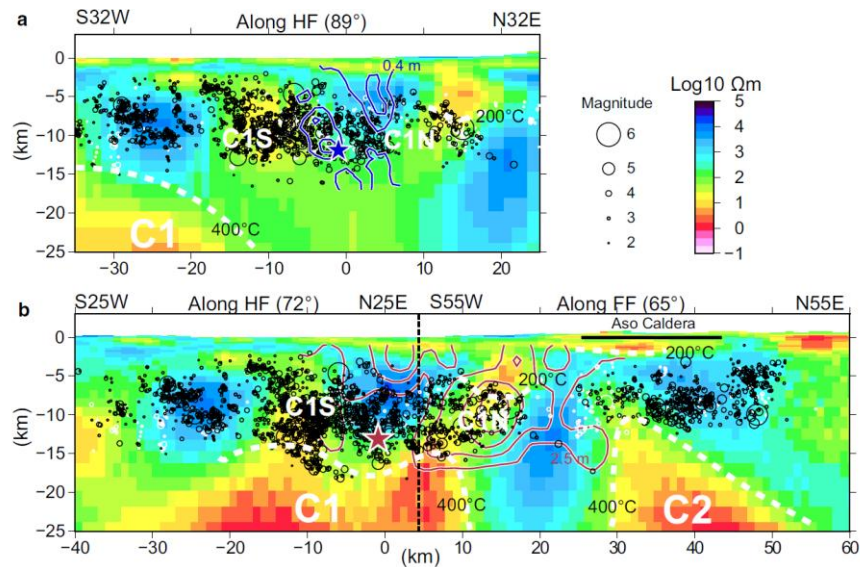
2016 年熊本地震および 1997 年鹿児島県北西部地震で報告された比抵抗構造と破壊過程の関係は、比抵抗構造から大地震の発生場所や最大規模を予測できる可能性を示している。このような関係がどの程度広く成立するのかを検証するためには、過去に大地震を起こした地域における稠密 MT 調査が必要である。日本では、規模の大きな内陸地震に対して詳細なすべり分布や高精度な余震分布が推定されている。そのため、過去 25 年間に発生した規模の大きな内陸地震は、比抵抗構造を用いた内陸地震ポテンシャル評価の適用性を検証するうえで貴重な研究対象である。

（九州大学地震火山観測研究センター 相澤 広記）

Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University,
AIZAWA Koki

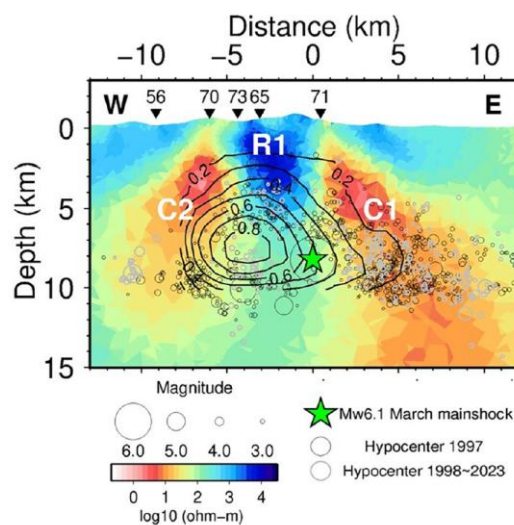
参考文献

- 1) Ogawa, Y. et al. Magnetotelluric imaging of fluids in intraplate earthquake zones, NE Japan back arc. *Geophys. Res. Lett.* **28**, 3741-3744 (2001).
- 2) Wannamaker, P. E. et al. Fluid and deformation regime of an advancing subduction system at Marlborough, New Zealand. *Nature* **460**, 733-736, doi:10.1038/nature08204 (2009).
- 3) Ichihara, H. et al. A 3-D electrical resistivity model beneath the focal zone of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake (M 7.2). *Earth Planets Space* **66**, doi:10.1186/1880-5981-66-50 (2014).
- 4) Aizawa, K. et al. Electrical conductive fluid-rich zones and their influence on the earthquake initiation, growth, and arrest processes: observations from the 2016 Kumamoto earthquake sequence, Kyushu Island, Japan. *Earth Planets Space* **73**, doi:10.1186/s40623-020-01340-w (2021).
- 5) Matsunaga, K. et al. Three-dimensional resistivity structure and its relationship to the rupture of the 1997 Kagoshima earthquake doublet (Mw6.1 and 6.0), Japan. *Tectonophys.* **915**, 230880, doi:10.1016/j.tecto.2025.230880 (2025).
- 6) Shito, A. et al. Seismic velocity structure in the source region of the 2016 Kumamoto earthquake sequence, Japan. *Geophys. Res. Lett.* **44**, 7766-7772, doi:10.1002/2017gl074593 (2017).
- 7) Miyamachi, H., Iwakiri, K., Yakiwara, H., Goto, K. & Kakuta, T. Fine structure of aftershock distribution of the 1997 Northwestern Kagoshima Earthquakes with a three-dimensional velocity model. *Earth Planets Space* **51**, 233-246, doi:10.1186/BF03352227 (1999).



第 1 図 2016 年熊本地震の電気比抵抗構造の震源断層に沿った断面⁴⁾。前震の破壊域は C1S と C1N に挟まれた場所で発生した。本震の破壊は C1 の端部で開始し C1N を乗り越えたが C2 (阿蘇火山直下) で停止した。

Fig. 1 Resistivity structure along the seismogenic fault of the 2016 Kumamoto earthquake⁴⁾. The foreshock rupture occurred in the region between C1S and C1N. The mainshock rupture initiated at the edge of C1 and propagated beyond C1N, but terminated at C2 beneath Aso Volcano.



第 2 図 1997 年鹿児島県北西部地震の電気比抵抗構造の東西断面⁵⁾。3 月 26 日の地震 (Mw6.1) は比抵抗が低い C1 領域の西部から破壊が開始し (☆印), 西に向かい破壊が進展する。破壊は別の低比抵抗体 C2 の存在により停止した。この地震は地表に対応する活断層が見つからない地域で発生した。

Fig. 2 East-west resistivity cross section across the source region of the 1997 Northwestern Kagoshima earthquake⁵⁾. The March 26 earthquake (Mw 6.1) initiated at the western edge of the low-resistivity body C1 (star) and propagated westward. The rupture is interpreted to have terminated due to the presence of another low-resistivity body, C2. This earthquake occurred in a region where no corresponding active fault has been identified at the surface.