

内陸地震地域の深部比抵抗構造探査—長町利府断層—

小川康雄¹・三品正明²・本蔵義守³・高橋幸祐²・タンクブレント^{1,3}

1: 東京工業大学火山流体研究センター

2: 東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター

3: 東京工業大学理学部地球惑星科学科

要旨：長町利府断層の深部延長を電磁気学的に探査した結果、1998年の本震と余震活動が、流体分布に規制されていることが示唆された。

1. はじめに

内陸地震地域における広帯域 MT 観測 (Ogawa et al., 2001, 2002; Mitsuhashi et al., 2001) から、地殻中深部に、低比抵抗異常が見出されている。これらは、地震波の低速度異常や散乱体に対応することが多い。さらに、これら低比抵抗異常の上方や側方の高比抵抗部に、地震活動の高い部分が見られる。これらのことから、地殻中深部の低比抵抗異常は、流体の存在を意味し、流体がより透水性の低い高比抵抗部に移動することによって地震を誘発させている可能性が示唆されている。これらの研究の対象としている地域では、数 10 年から 100 年前に M7 クラスの内陸地震が発生し、現在の地震活動はその余震である。

これに対して、長町利府断層では、電磁気学的な観測によって、本震の発生にかかわる流体の関与を考察することができる。長町利府断層は、仙台市中心部を北東—南西に横切る長さ 40km の活断層である (第 1 図)。1998 年に、長町利府断層の深部延長と想定される深度 12km の位置に M5.0 の地震が発生しており (Umino et al, 2002a)、活断層とその深部延長での内陸地震の発生過程の関連を研究するためには、都合のよいフィールドとなっている。特にわれわれは、“断層の深部延長に、流体が存在し、それが大地震に先行して起こる準静的なすべりを起こす場を提供する” という仮説を検証することを最終的な目標としている。MT は、流体をマッピングするために用いられる。本稿では、2002 年に行われた広帯域 MT 観測のデータについて、速報的な解析結果を紹介し、M5.0 を発生させた場を比抵抗構造から考察することとする。

2. 広帯域 MT 観測

長町利府断層を横切る北西—南東方向の測線を 3 本設定した (第 1 図)。ここでは、中央の測線 (主測線) のデータについて報告する。広帯域 MT 観測では、人工ノイズの影響を軽減するために、調査地域の南方の宮城県丸森町にレファレンス点を設置し、同時記録をとった。また、仙台市中心部では、直流電車 (地下鉄や仙石線) の漏洩電流の影響が出るので、深夜のデータのみを解析した。、さらに地磁気活動の高い日のデータを選びすぐることで、意外にも良好なデータを取得することに成功した。

3. データの次元の検討

測線は、南東-北西方向に設置してあるが、地下構造がこれに直交する2次元構造であることは自明ではない。これを電場について検討するために、インピーダンス・テンソルの Groom-Bailey 分解によって、各周波数、各測点ごとに2次元走向の推定を行った。第2図に集計した走向をローズ・ダイアグラムで示す。5つのダイアグラムは、周期依存性を検討するために1 decade ごとの周期帯について示してある。短周期(1秒以下)では走向が南北に近いがややバラツキが大きい。これは、比較的浅い複雑な構造を反映していると思われる。これに対し、長周期(1秒以上)になると2次元性が強まり、推定値のばらつきも小さくなり、N25° Eに集中する。よって、この後の議論では、周期1秒以上のデータのみに限って2次元モデルで解析することとする。これにより、およそ3kmより浅い構造は、モデルで表現されにくくなるが、その長周期データへの影響は、テンソル分解やスタティック補正として、取り除かれている。

ついで、磁場から構造の次元を検討するために、インダクション・ベクトルをマッピングする。周期10秒(第3図(a))では、3つの地域でベクトルが向き合い、低比抵抗異常が存在することがわかる。この周期では、ふつう、海岸付近の測点で海岸線効果による大きなベクトルが期待できるが、このデータではそれが何らかの地下構造によって抑えられている。これは海岸付近の地殻深部の低比抵抗異常の存在を示唆する。周期100秒(第3図(b))になると、ベクトルの大きさは測線全体に小さくなるが、より広域的な構造を反映して、むしろ測線に直交する方向にベクトルが揃う。この傾向は、さらに北方の宮城県北部のデータ(Mitsuhashi et al., 2001)では見られないので、これらのインダクション・ベクトルの分布は、北西-南東方向の広域的なカレント・チャネリングが断層の北東方に存在している可能性はある。

4. 2次元モデル

1秒以上の長周期データについて、N25° Eを走向とする2次元モデルを考えることにする。インピーダンス・テンソルおよびインダクション・ベクトルをその座標系に回転する。インピーダンス・テンソルについては、さらに、その座標系でテンソル分解を行い、浅部構造による“電場のネジレ”を補正する。

2次元解析には、Ogawa & Uchida(1996)のインバージョンコードを使う。このインバージョンでは、スタティック・シフトをパラメータとして同時に解析できるので、浅部構造による“電場の増幅”を補正できる。初期モデルは100Ωmの一様大地とするが、仙台湾の海水の影響を見積もるために、水深を考慮して、海水(0.25Ωm)の構造を固定しておく。この解析では、テンソル分解後の見掛け比抵抗、位相に加えて、インダクション・ベクトル(地磁気変換関数)の走向に直交する成分も、応答関数とした。

第4図(a)(b)(c)に、見掛け比抵抗、位相、地磁気変換関数の観測値と計算値の比較を示す。主なデータの特徴が説明されていることがわかる。第5図に、比抵抗モデルを示す。

5. 議論および結論

第5図の比抵抗モデルでは、地殻中深部(10-15km)から深部に低比抵抗ブロック(C1およびC2)が解析されている。ここでもOgawa et al.(2001)同様にこれらのブロックが、水平方向に連結しないで途切れていることによって、2つの電磁モードに大きな違いを生じさせている。

1998 年の本震の位置は、ちょうど仙台平野直下の中部地殻の低比抵抗異常 (C2) の北西端付近にある。この構造は、千屋断層や北由利断層の余震活動域の比抵抗構造の特徴に似ている (Ogawa et al., 2001)。断層の深部延長には、顕著な低比抵抗異常 (C1) がある。C1 は、地震学的に解析されている散乱体 (Umino et al., 2002a; 第 5 図点線の楕円) と調和的な位置にある。これらの比抵抗構造は、1998 年の M5.0 の本震が、流体の分布に規制されていることを示唆する。

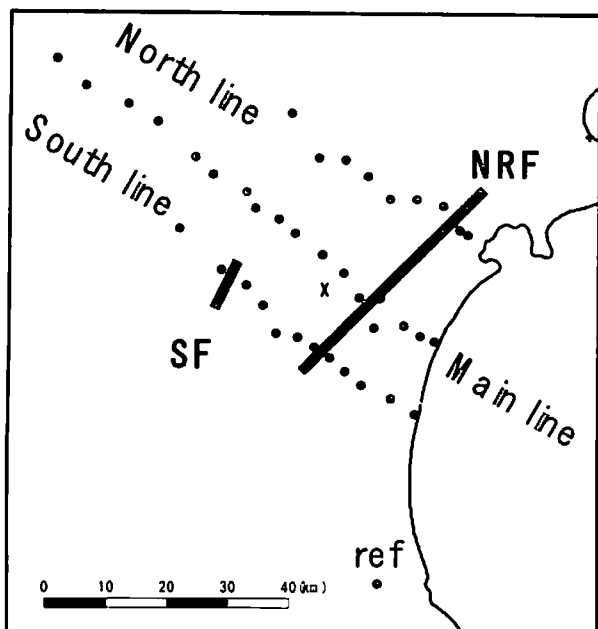
しかしながら、断層面や、断層の下方に推定されている顕著な反射面 (Umino et al., 2002b) に対応するような低比抵抗構造は見出されていない。これについては、反射面の厚さが、たかだか 50m 程度と推定されているので、電磁気的には見えていないのであると思われる。

6. 謝辞

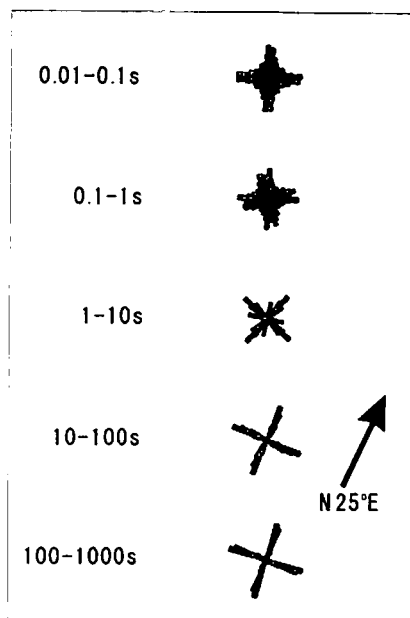
本研究は、科学技術振興調整費総合研究“陸域震源断層の深部すべり過程のモデル化に関する総合研究”の一環として行われた。データ取得の多くは、住鉦コンサルタント(株)に外注して行われた。

参考文献

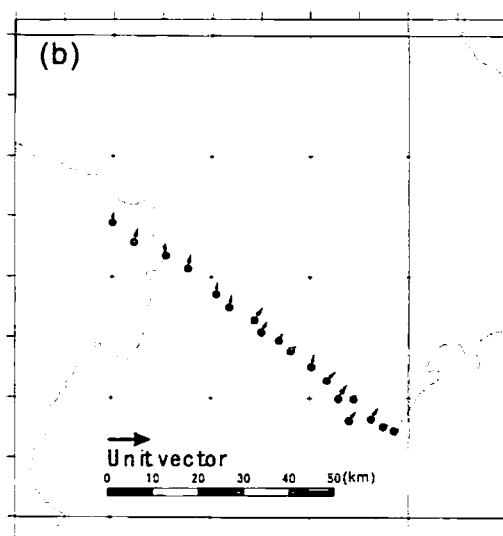
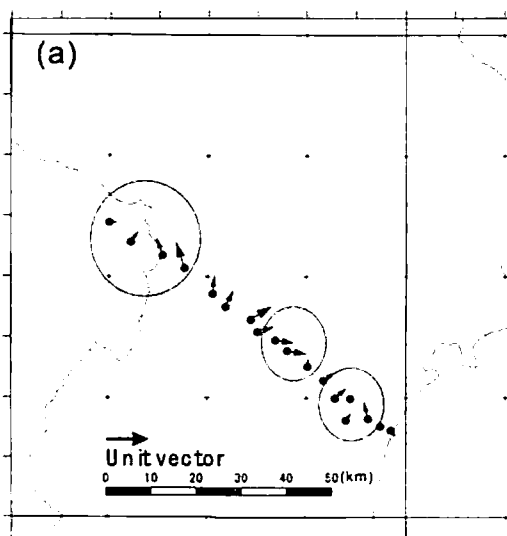
- Imanishi, K., H. Ito, Y. Kuwahara, Y. Mamada, T. Yokokura, N. Kano, K. Yamaguchi, and A. Tanaka, Deep structure of the Nagamachi-Rifu fault deduced from small aperture seismic array observations, *Earth Planets Space*, 54, 1033-1038, 2002.
- Mitsuhata, Y., Y. Ogawa Y., M. Mishina, T. Kono, T. Yokokura and T. Uchida, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 4371-4374, 2001.
- Ogawa, Y. and T. Uchida, A two-dimensional magnetotelluric inversion assuming Gaussian static shift, *Geophysical Journal International*, 126, 69-76, 1996.
- Ogawa, Y., M. Mishina, T. Goto, H. Satoh, N. Oshiman, T. Kasaya, Y. Takahashi, T. Nisitani, S. Sakanaka, M. Uyeshima, Y. Takahashi, Y. Honkura, and M. Matsushima, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3741-3744, 2001.
- Ogawa, Y., S. Takakura, and Y. Honkura, Resistivity structure across Itoigawa-Shizuoka tectonic line and its implications for concentrated deformation, *Earth Planets Space*, 54, 1115-1120, 2002
- Sato, H., T. Imaizumi, T. Yoshida, H. Ito, and A. Hasegawa, Tectonic evolution and deep to shallow geometry of Nagamachi-Rifu Active Fault System, NE Japan, *Earth Planets Space*, 54, 1039-1043, 2002.
- Umino, N., T. Okada and A. Hasegawa, Foreshock and aftershock sequence of the 1998 M5.0 Sendai, Northern Japan, earthquake and its implications for earthquake nucleation, *Bull. seismol. Soc. Am.*, 92, 2465-2477, 2002a.
- Umino, N., H. Ujikawa, S. Hori and A. Hasegawa, 2002, Distinct S-wave reflectors (bright spots) detected beneath the Nagamachi-Rifu fault, NE Japan, *Earth Planets Space*, 54, 1021-1026, 2002b.



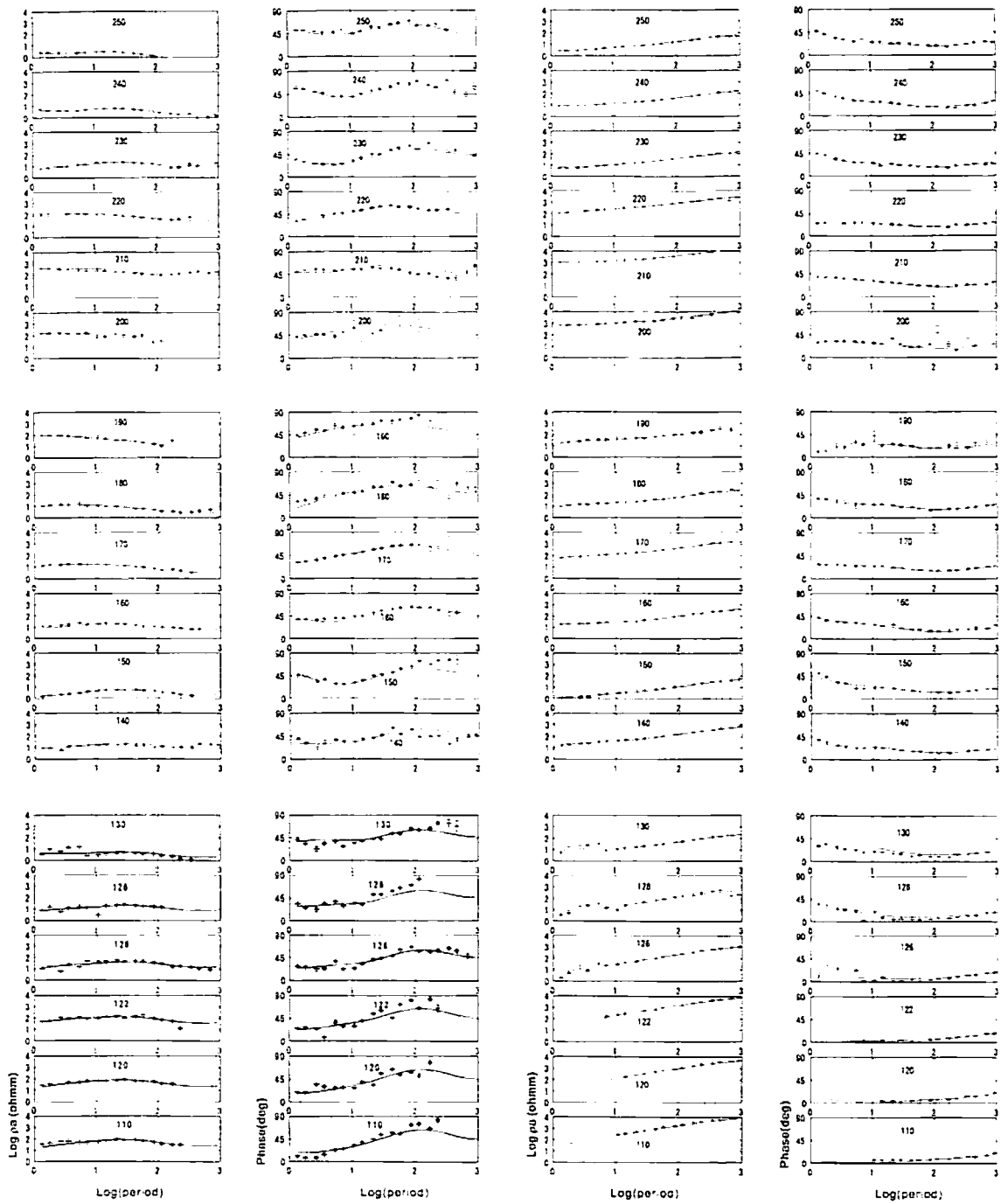
第1図。長町利府断層と広帯域MT法観測点分布。refは参照点。星は、1998年のM5.0地震の震央をあらわす。



第2図。主測線についてテンソル分解によって、推定した走向方向のヒストグラム。 $\pi/2$ の不定性も示してある。

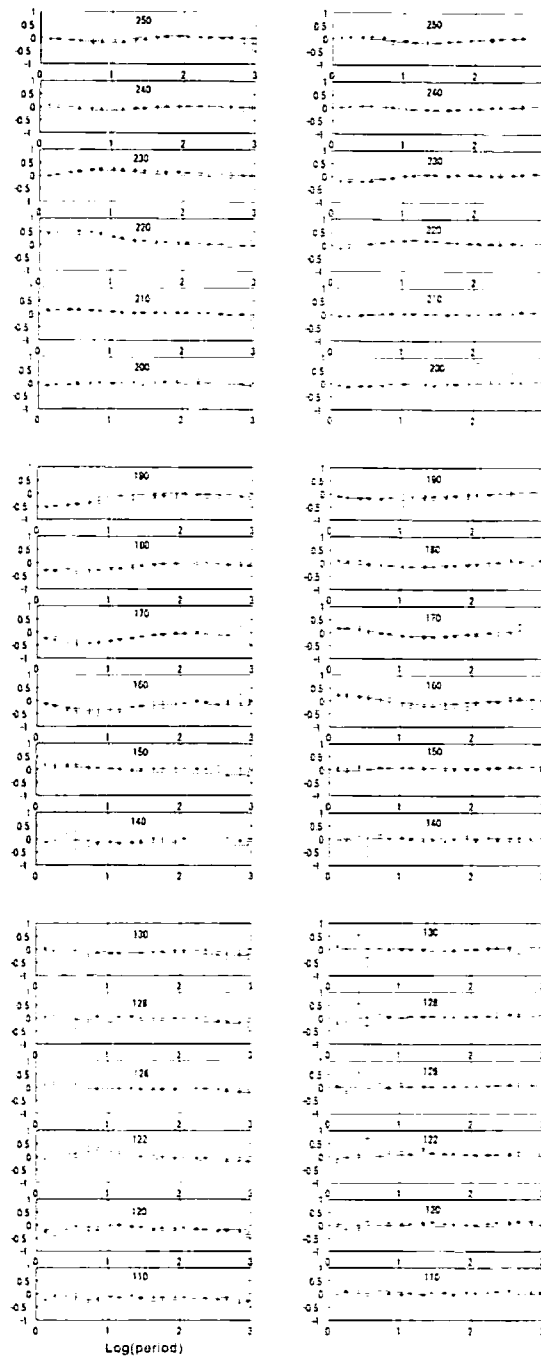


第3図 (a) 周期10秒のインダクションベクトルの実部。楕円は、低比抵抗異常域。
(b) 周期100秒のインダクションベクトルの実部。

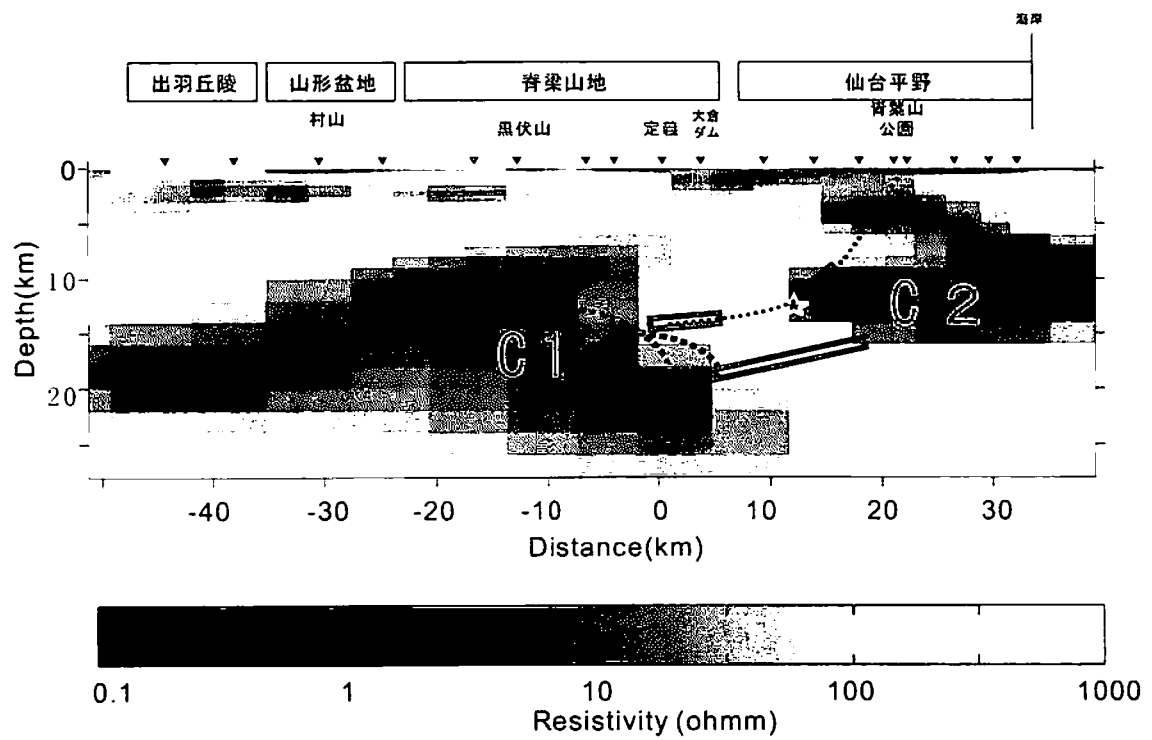


第4図(a) TEモードの観測値(シンボル)と計算値(曲線)との比較。左側が見掛比抵抗曲線(横軸は周期(秒)の対数)、右側が位相曲線。

第4図(b) TMモードの観測値(シンボル)と計算値(曲線)との比較。左側が見掛比抵抗曲線(横軸は周期(秒)の対数)、右側が位相曲線。



第4図(c) 地磁気変換関数の観測値(シンボル)と計算値(曲線)との比較。左側が実部(横軸は周期(秒)の対数)、右側が虚部。



第5図 2次元比抵抗モデル。主な低比抵抗異常をC1およびC2で示した。弧状の点線は反射法地震探査で求めた断層深部延長の形状 (Sato et al., 2002)、星は1998年のM5.0の震源位置 (Umino et al., 2002a)、点線の楕円は、地震学的に推定されている散乱体 (Umino et al., 2002b)、3つの薄い長方形は、地震学的な反射面 (Umino et al., 2002b) をそれぞれ表す。