

## 花折・琵琶湖西岸断層系周辺の電気比抵抗構造(序報)

吉村令慧・宇都智史・大志万直人

### 要 旨

花折・琵琶湖西岸断層系周辺の地殻比抵抗構造を明らかにする目的で、2003年および2004年に広帯域MT探査を実施した。観測地域は、都市部に近接しているため、過去に電磁氣的構造の推定が試みられてきたが、十分な成果が得られていなかった。両観測期間中に、大規模な地磁気擾乱/嵐が発生したため、都市部近傍としてはS/Nの良い探査曲線が得られた。探査曲線を求める際、時系列を精査し比較的人工ノイズ(特に直流電車からの漏洩電流)の影響が少ない時間帯のデータを用いている。TM-modeのみを用いた予備的な2次元構造解析結果より、花折断層を境とし、東西に顕著な比抵抗コントラストが検出された。1985年に花折峠付近で発生したM5の地震は、この境界に位置する。

キーワード：花折断層系，琵琶湖西岸断層系，MT法，電気比抵抗構造

### 1. はじめに

琵琶湖西岸・花折断層系は、地震調査委員会の長期評価によると(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2004a; 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2004b)それぞれ、今後30年間の地震発生確率が高い・やや高いグループに属すると報告されている。また、当委員会により「琵琶湖西岸断層帯の地震を想定した強振動評価について」(2004)の報告がなされ、社会的に関心が高くなっている。また、大阪府北部から京都府中部にかけての丹波山地は、定常的に微小地震活動の活発な地域である(片尾, 2002)が、近年、その微小地震活動が静穏化傾向を示すことが報告されている。地域別に見てみると、微小地震活動の静穏化傾向は、特に丹波山地東部を中心とした地域で起こっているようである(例えば、京都大学防災研究所地震予知研究センター, 2004)。丹波山地の微小地震活動域の東縁に位置する花折・琵琶湖西岸断層系において、その地下構造を推定することは、地震発生場の理解・地震発生のポテンシャルを評価する上でも、必要不可欠であると考えられる。

比抵抗構造の情報は、その地殻流体に対して敏感

であるという性質から、地震発生場の理解にとって非常に重要である。そのような認識から、近年各地で比抵抗構造探査が実施されているが、電磁場観測は人工ノイズに多大な影響を受けるため、都市部周辺の調査が課題であった。本地域でも、琵琶湖西岸を境とし微小地震の震源の深さ分布が東西で異なる(例えば、黒磯・岡野, 1990)ことに着目して、当該断層を横切る測線で構造調査が試みられてきたが(例えば、地殻比抵抗研究グループ, 1992; 神田ら, 1993)、都市ノイズの影響、特にJR湖西線からの漏洩電流の影響が大きいこともあり、地震活動との関連を議論するための比抵抗構造の解明は不十分であった。

近年の電磁場測定機器の性能向上や、比抵抗構造探査の信号となる地磁気擾乱時のデータを選択的に解析に使用することにより、探査曲線の質を高めることが可能であるという報告(例えば、2001年地殻比抵抗研究グループ, 2002)などを受けて、我々は、花折・琵琶湖西岸断層系周辺での電気比抵抗構造を明らかにするために、広帯域MT探査を機動的に展開した。本稿では、観測の概要・得られたデータならびに速報的解析結果について報告する。

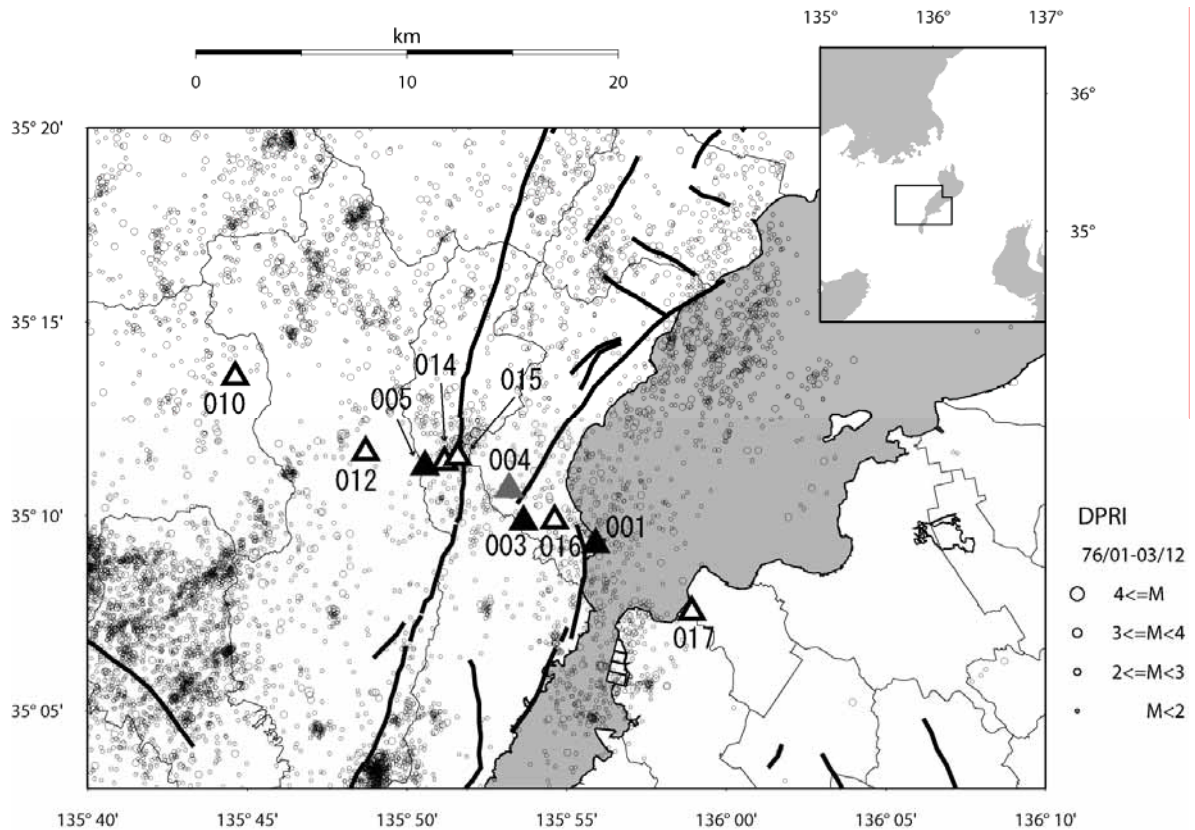


Fig. 1 Magnetotelluric site distributions (solid triangles: 2003, open triangles: 2004, grey triangle: 2003 and 2004) on the seismicity map. The seismicity in this region during the period from 1976 to 2003 is determined by RCEP, DPRI. Thick lines indicate fault zones.

## 2. 観測の概要

広帯域MT観測は、2003年11月20日～27日、2004年11月1日～11日の2期間に実施された。測線は、花折・琵琶湖西岸断層系を横断するように、約25kmで設置し、計10観測点でデータを取得した。Fig. 1に観測点分布および、当該地域周辺の微小地震の震央分布を示す。また図中の太線は、断層を示している。測線は、花折断層北部・中部の境界が位置するといわれている花折峠、ならびに琵琶湖西岸断層系に属する比良断層および堅田断層の端を横切っている。観測点分布からも分かるように、断層近傍の解像度を上げるために、その周辺では観測点間隔を密に設定した。

観測器材は、Phoenix社製MTU5およびMTU2Eシステムを使用した。また、本稿の予備的解析には使用していないが、2観測点(014, 017)においては、長周期データ取得のために、テラテクニカ社製U43での測定を行っている。

当該地域では、JR湖西線・東海道線および都市近傍であることから、ノイズ環境が悪いことが予想されたため、リモートリファレンス処理を行うこととした。リファレンス処理には、2003年・2004年の同時期に、それぞれ熊本・鹿児島で実施された広帯域MT観測のデータを使用した。また、S/Nの向上のために、情報通信研究機構の太陽地球環境情報サービスを利用し、大きい入力信号、つまり、大規模地磁気擾乱を捕らえるため、少人数で機動的に観測を実施した。幸い兩年とも、大規模地磁気擾乱/磁気嵐が発生し、都市近傍という悪条件にもかかわらず、比較的良質な探査曲線が取得できた。

## 3. データ解析

### 3.1 探査曲線

探査曲線を求める際、可能な限り人工ノイズ(特に、直流電車からの漏洩電流)を減ずるために、時系列を精査し、利用する時間帯を吟味した。その結果、測

線の東側ほど、つまりJR湖西線・東海道線に近づくほど、漏洩電流に特徴的なノイズが確認されたが、深夜2時から3時にかけての約1時間は、ノイズレベルが下がることが判明した。選別したデータ区間のみ用い、リモートリファレンス処理(Gamble et al., 1979)を行い、スタッキング・目視による異常スペクトルの除去により探査曲線を求めた。なお、電場2成分のみの測定点では、測線内かつ同期間に取得した磁場データの中で、最も良質なものをを用いて計算を行っている。

得られたインピーダンスの内、YX成分(磁場南北成分、電場東西成分の組み合わせ)の見かけ比抵抗ならびに位相を Fig. 2 に示す。観測点005については静穏日で、かつ1日分のデータしか取得できなかったため、1秒より長周期に関しては、あえて除外している。Fig. 2 より、明らかに東側の観測点ほど、探査曲線の質が低下していることが分かる。これは、JR湖西線が観測点016と001の間を南北に走っていることに起因すると考えられる。しかしながら、大部分の観測点において、周期100秒程度までモデリングに利用可能な探査曲線が求めたのは、入力信号が大きかったこと、リファレンスデータが良質であったこと、そして、ノイズレベルの低い期間のデータを選択的に利用したことが効果的であったといえる。

### 3.2 2次元解析

予備的解析では、花折・琵琶湖西岸断層系の走向、周辺の地質情報(例えば、吉田, 1995)および微小地震活動を考慮して、構造の走向を南北方向と仮定し、東西断面による2次元構造解析を行った。厳密に言えば、当該地域が2次元構造を許すかどうか、大局的な構造の走向などの検討を加える必要がある(例えば、Ogawa, 2002)が、予備的解析では、TMモードのみを用いることにより、大まかな構造を推定することにした。TMモードを用いて3次元的構造下で2次元解析を行った場合、概ね妥当なモデルが得られることが報告されている(例えば、Wannamaker et al., 1984; Ogawa, 2002)。

2次元解析には、Ogawa and Uchida (1996) のインバージョンコードを用い、構造とスタティックシフトを同時に推定した。インバージョンでは、100Ωm の一様大地を初期モデルとし、20回の反復計算を行った。Fig. 3 に推定された構造を、解析断面 ±5km 内に発生した微小地震とともに示す。Fig. 3 において、水平距離 0km, 3km, 6km 辺りに、それぞれ花折、比良、堅田断層が位置する。推定された構造から、計算される見かけ比抵抗・位相は、Fig. 2 に曲線として示している。結果として示したインバージョンは、厳密に走向の推定を行っていないことは前述したが、いくつか走向を回転させて計算も行っても、

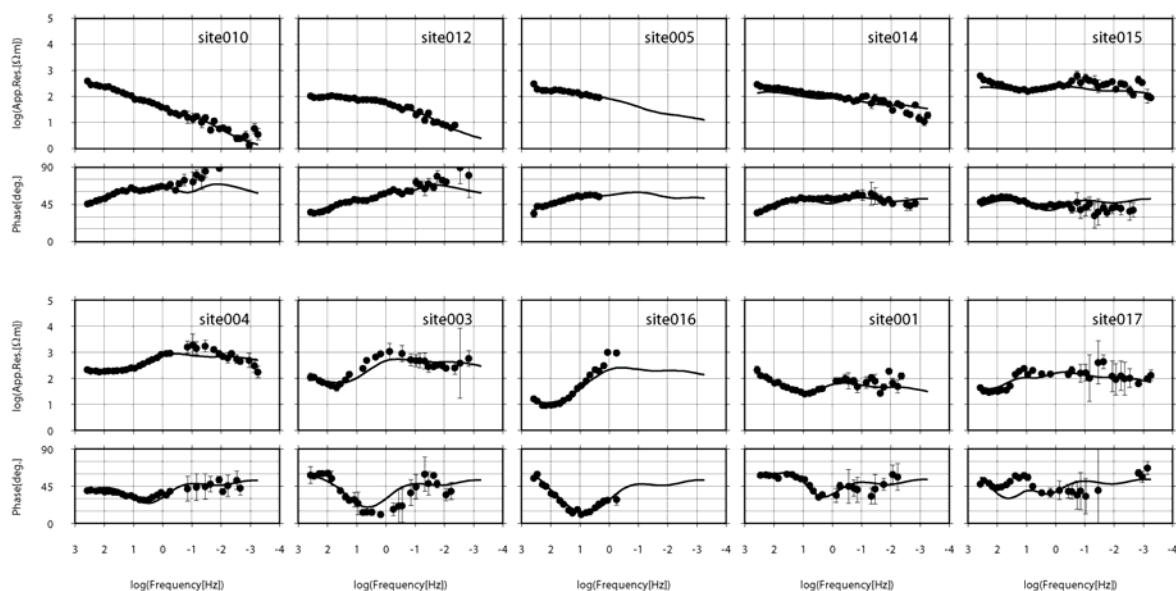


Fig. 2 Curves of obtained apparent resistivity and phase for TM-mode at each site. Principal axes are oriented to the north and to the east, respectively. TM-mode means an incorporating magnetic field parallel to strike with induced electric field perpendicular to strike. Error bars show standard deviation of data. Solid lines indicate calculated sounding curves from preliminary model shown in Fig. 3.

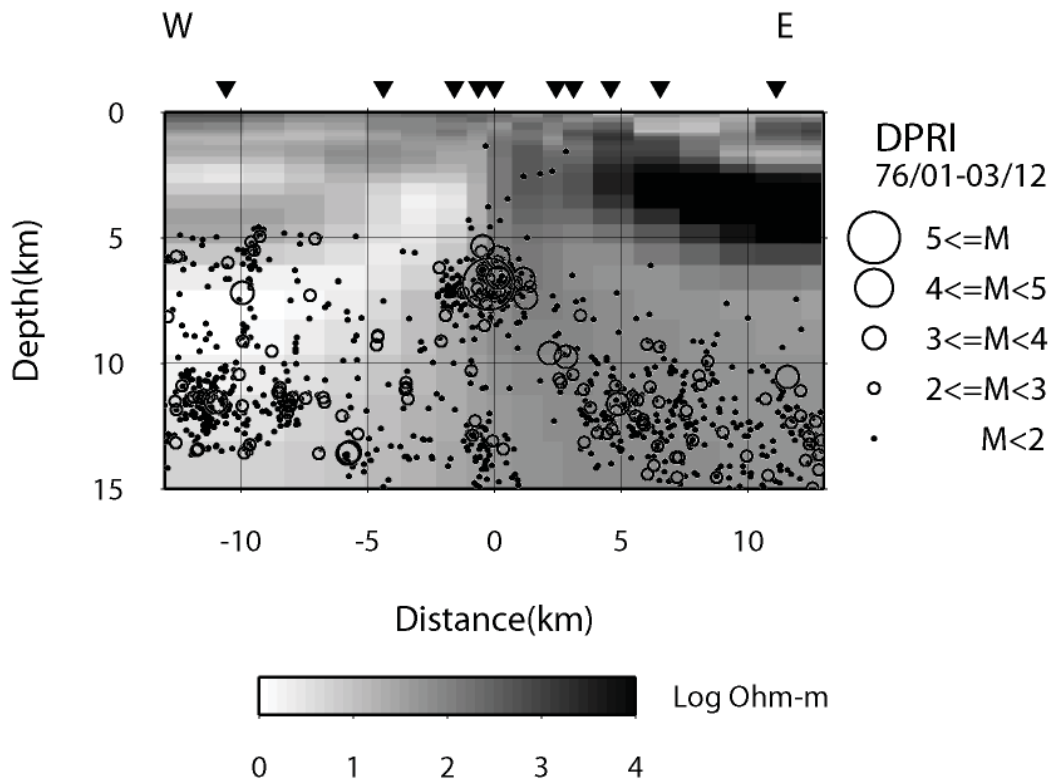


Fig. 3 Two dimensional resistivity structure obtained by inversion from TM mode data. Inverted triangles denote locations of magnetotelluric sounding sites projected to EW cross section. The hypocenters are also projected as open circles using DPRI dataset (from 1976 to 2003) along the profile with 10 km width. The Hanaore, Hira and Katada Faults are located at approximately 0 km, 3 km and 6 km, respectively.

大局的な構造に違いが現れなかった。また同様に、地形についてもモデルに組み込んでいないが、当該地域がそれほど起伏に富んでいないためか、それほど結果に影響を与えないことも確認していることを付記しておく。

#### 4. 結果と考察

得られたモデルでは、花折断層付近に顕著な比抵抗コントラストが推定され、花折断層より東側では高比抵抗、西側では低抵抗となっている。Fig. 2 に示した探査曲線からも明らかなように、花折断層を境に、その傾向が変化していることから、このコントラストは有意であると考えられる。しかしながら、高比抵抗・低比抵抗ブロックの深さ方向の位置については、構造走向の取り方により多少上下する。また、特に東側高比抵抗ブロックについては、そもそも主にノイズの大きい観測点データにより推定されてい

るため、その深さ方向の感度に関しては、インピーダンスの評価を慎重に行う必要がある。本稿では、解析が予備段階であることを踏まえ、大局的な構造に対して考察を加えることにする。

花折断層の東側高抵抗・西側低抵抗の傾向は、調査地域は異なるが地殻比抵抗研究グループ(1992)による1次元構造モデルと調和的であった(調査地域は、花折断層北部)。花折断層は、その西側に丹波山地と東側を南北に走る比良山地を配しており、両山地は丹波帯中・古生層からなる。加えて比良山地側には、後期白亜紀の比良花崗岩が貫入している(吉田, 1995)。花折断層の東側高比抵抗は、この貫入花崗岩を表しているものと考えられる。また、花折断層付近に顕著な比抵抗コントラストが推定されたが、1985年に発生した花折峠地震  $M=5$  (黒磯ら, 1986)が、この境界に位置することは大変興味深い。一方、比良・堅田断層付近には、一見して断層と対応する構造は見出されなかった。今回、探査測線が横切っているのが、

両断層の端であったためと考えられるが、併せて、ノイズの影響が除去しきれていない可能性を検討する必要もある。

## 5. おわりに

本稿では、広帯域MT観測により得られたデータから推定した、花折・琵琶湖西岸断層系周辺の予備的2次元構造を報告した。その結果、花折断層を境に東西で比抵抗のコントラストが存在することを検出した。比抵抗構造と地震活動の関係を議論するためには、より精度のよいモデルが必要となる。今後は、厳密に次元性・走向の検討を行い(例えば、MacNeice and Jones, 2001; Caldwell et al., 2004), モデルの精度を高める予定である。加えて、今回の予備的解析では使用しなかったU43データを用いて、深さ方向の解像度を向上させる。また、地震発生のポテンシャルを評価するためには、今回の測線に並行するように複数測線で探査を実施し、断層に沿った構造に違いがあるか調査する必要がある。

本研究の対象地域は、新潟-神戸歪集中帯に含まれる(例えば、Sagiya et al., 2000)。新潟-神戸歪集中帯では2004年度、跡津川断層周辺や中越地震震源域周辺で比抵抗構造探査が実施されたが、花折・琵琶湖西岸断層系周辺も比較の対象として、歪集中の機構解明を考慮した観測研究を進めるべきである。

## 謝 辞

この観測の実施にあたり、観測点の土地所有者の方々には、快く器材の設置の許可を頂いた。リファレンス処理に際して、熊本大学小池克明助教授・産業総合技術研究所高倉伸一博士、東京工業大学小川康雄教授から、それぞれ熊本、鹿児島でのMTデータを提供して頂いた。また、北海道大学・東京大学地震研究所・鳥取大学より、MT観測器材を借用した。微小地震データは、地震予知研究センター片尾浩助教授より提供して頂いた。ここに記して、感謝の意を表す。本研究では、その遂行にあたり、平成16年度京都大学防災研究所リーダーシップ支援経費からの補助を受けている。

## 参考文献

片尾浩 (2002) : 丹波山地の地震活動, 月刊地球, 号外No. 38, pp. 42-50.  
神田径・歌田久司 (1993) : TDEM法による花折断層周辺の比抵抗構造, CA研究会論文集, 東京大学

地震研究所, pp. 46-57.  
京都大学防災研究所地震予知研究センター (2004) : 近畿地方の最近の地震活動～丹波山地の微小地震活動の静穏化～, 第161回地震予知連絡会資料, pp. 1-4.  
黒磯章夫・飯尾能久・前田直樹(1986) : 1985年10月03日の花折峠地震 (M=5.1, JMA)について, 地震学会講演予稿集, No. 1, pp. 10.  
黒磯章夫・岡野健之助 (1990) : 琵琶湖周辺の地震活動と近畿地方北部の地殻構造, 月刊地球, Vol.12, No.6, pp. 362-368.  
地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2004a) : 琵琶湖西岸断層帯の評価, 地震調査委員会報告集-2003年1月～12月-, 1, pp. 527-549.  
地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2004b) : 三方・花折断層帯の評価, 地震調査委員会報告集-2003年1月～12月-, 1, pp. 457-526.  
地殻比抵抗研究グループ (1992) : 滋賀県北西部における地球電磁気共同観測, CA研究会論文集, 東京大学地震研究所, pp. 71-75.  
2001年地殻比抵抗研究グループ (2002) : 2001年鳥取県西部地震震源域周辺での深部比抵抗構造調査の概要, 京都大学防災研年報, 第45号B, pp. 489-497.  
吉田鎮男(1995) : 花折断層とその活動性, 地質ニュース, 489号, pp. 6-16.  
Caldwell, T. G., Bibby, H. M. and Brown, C. (2004): The magnetotelluric phase tensor, *Geophysical Journal International*, Vol. 158, pp. 457-467.  
Gamble, T. D., Goubau, W. M. and Clarke, J. (1979): Magnetotellurics with a remote magnetic reference, *Geophysics*, Vol. 44, pp. 53-68.  
MacNeice, G. W. and Jones, A. G. (2001): Multisite, multifrequency tensor decomposition of magnetotelluric data, *Geophysics*, Vol. 66, pp. 158-173.  
Ogawa, Y. (2002): On two-dimensional modeling of magnetotelluric field data, *Surveys in Geophysics*, Vol. 23, pp. 251-273.  
Ogawa, Y. and Uchida, T. (1996): A two-dimensional magnetotelluric inversion assuming Gaussian static shift, *Geophysical Journal International*, Vol. 126, pp. 69-76.  
Sagiya, T., Miyazaki, S. and Tada, T. (2000): Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan, *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 157, pp. 2303-2322.  
Wannamaker, P. E., Ward, S. H. and Hohmann, G. W. (1984): Magnetotelluric responses of three-dimensional bodies in layered earth, *Geophysics*, Vol. 49, pp. 1517-1533.

**Preliminary Report on Electrical Resistivity Structure across the Hanaore and Biwakoseigan Fault Zones, Kinki District, Japan**

Ryokei YOSHIMURA, Tomofumi UTO, and Naoto OSHIMAN,

**Synopsis**

In order to image the crustal resistivity structure, we carried out 10 magnetotelluric soundings along WNW-ESE profile with 20 km traversing the Hanaore and Biwakoseigan Fault Zones in 2003 and 2004. Survey area is located at near the urban area and electric railways, thus the artificial electric noise is rather strong. Since we had fortunately large magnetic disturbance/storm in both years, we obtained relatively good quality sounding curves. In this paper, we present the preliminary result derived using the 2D inversion code of Ogawa and Uchida (1996), based on TM mode apparent resistivity and phase. The preliminary result indicates that the Hanaore Fault is associated with a strong lateral resistivity contrast.

**Keywords:** Hanaore FZ, Biwakoseigan FZ, Magnetotelluric method, electrical resistivity structure