

兵庫県北部域での地殻比抵抗構造

笠谷貴史*・大志万直人・塩崎一郎**・中尾節郎・矢部征・

近藤和男・藤田安良・宇都智史**・吉田賢一**

*海洋科学技術センター

**鳥取大学工学部土木工学科

要旨

兵庫県北部域では、2000年12月より集中的に群発地震活動が始まり、2001年1月12日にはM5.4の地震が発生した。我々は同地域を南北に横切る測線において全9点の広帯域MT観測を行った。TM-modeを用いた2次元インバージョンを行い、比抵抗構造を検出した。15km以浅は高比抵抗、深部は低比抵抗を示し、測線南側で低比抵抗部が浅部まで達している。地震活動は主に、北側高比抵抗領域から低比抵抗部との境界部にかけて分布しているように見られる。

キーワード: 比抵抗構造, MT法, 地震活動

1. はじめに

2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震から約2ヶ月後の12月上旬より、兵庫県北部域において地震活動が活発化し始め、翌年1月12日にはM5.4の地震が発生した。その後、この群発的地震活動の地震数は徐々に減少した。これらの地震活動は、東西方向の活動と、北西-南東方向にのびる活動とに分けることが出来、それぞれの分布は非常に狭い範囲に集中している。(渡辺, 2001)。また、地震活動の応力軸の分布が系統的に変化することから、この地域の地震活動が局所的な地体構造に支配されている可能性が指摘されている。

近年、地震発生の要因として、地殻内流体に関する議論が多くなされている。電磁気観測で得られる比抵抗構造は、これら流体の存在に大変敏感であることから、地震活動と地殻内流体との関係を探る上で、非常に有用であると考えられる。Miyakoshi and

Suzuki(1978)は鳥取県東部域において磁場データを用いた解析を行い、深部から深さ20km付近まで盛り上がる低比抵抗体モデルを提案した。彼らはその低比抵抗体が吉岡・鹿野断層の深部延長上に位置することから、深部低比抵抗体と地震活動との関係を示唆している。また、鳥取県および兵庫県北部にかけての地震活動はほぼ東西に分布する傾向があり、Miyakoshi and Suzuki(1978)の指摘した深部低比抵抗体の東西延長がどうなっているのかも大変興味深い。

一方、本領域の南側には第四紀の火山である扇ノ山や氷ノ山が分布している。その領域において観測された負の重力異常から、第四紀の火成活動に関与した埋没カルデラが存在するのではないかとされている(小室他(2002), 平松他(2002))。さらに平松他(2002)では、カルデラ構造と地震活動や発震機構とに関係があることを指摘している。

そこで我々は、本地域での比抵抗からみた地体構

造を明らかにし、地震活動との関係の解明を目的として、広帯域 MT 計を用いた観測を行った。本稿では TM-mode のデータを用いた 2 次元比抵抗構造と地震活動との比較を行う。

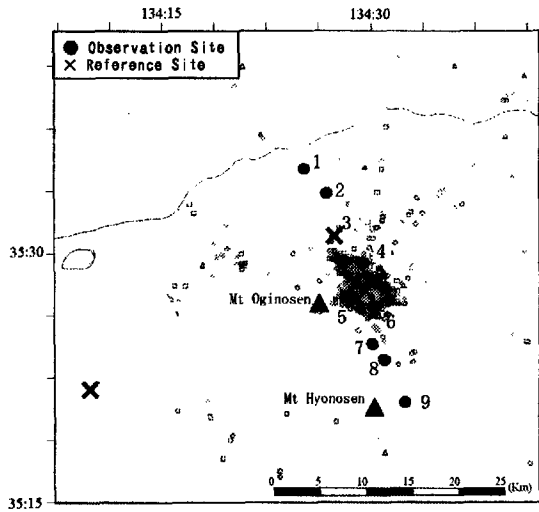


Fig.1 Site locations of the MT survey. Closed circles indicate observation sites, crossbars indicating the reference sites. The distribution of the epicenters is also shown in this figure.

2. MT 観測の概要

MT 観測は 2001 年 7 月の予備観測を経て、2001 年 9 月と 11 月の 2 回に分けて行われた。観測点は地震活動が集中する領域をほぼ南北に横切る様に設置した。Fig.1 にリファレンス点を含む全観測点を地震の震央分布と共に示す。後述する解析に用いた観測点は全 9 点である。また、図中に示した▲印は扇ノ山と氷ノ山の位置をそれぞれ示している。本地域でも JR 福知山線などの列車運行に伴う漏洩電流によるノイズの影響を多く受ける。そのため信号の参照点を設置して、リモートリファレンス法によるノイズリダクションを行った。9 月の観測では Fig.1 のリファレンス点のデータを用いた。11 月の観測では、9 月の観測で良好な観測データを得ることが出来た観測点で再び同時観測点を設けリファレンス点として利用し、リファレンス処理を行った。Fig.1 中の×印で示した点はその時のリファレンス点を示す。観測データを調べると、列車の運行が少なくなる深夜以外はノイズの影響が大きかった。Fig.2(a)は時系列処理後の結果の一例である。エラーバーが小さいので一見良好なデータのように見えるが、見かけ比抵抗曲線が 1 秒付近から長周期側に向かって急激に上昇しているのがわかる。また、位相も 1 秒付近から 0 度に急激に近づくといった現

象が見られた。これらの現象は地下の構造を反映したものではなく、観測データが漏洩電流によるニアフィールドの影響を受けていると考えられる。つまり、リモートリファレンス処理をしてもノイズの除去し切れていないことを意味する。そこで我々は、リモートリファレンス処理を行ったデータをさらに慎重にエディットをし、ノイズの影響を極力排除するように努めた。その一例を Fig.2 (b)に示す。これは、時系列処理時に 20 区間に区切られた各データ区間に関して、目視でデータの取捨選択して再計算したものである。その結果、磁気擾乱の大きい時期に観測されたデータに関しては、100~500 秒付近まで良好なデータを得ることが出来た。このことは、比較的ノイズの影響の大きい観測点でも、シグナルである磁気擾乱がある程度大きければ、慎重にデータを処理することで十分に良好な観測データを得ることが出来る可能性があることを示唆する。今後、ノイズの大きい他地域においても、磁気擾乱を積極的に捕まえるような観測を行うことで、良好なデータを得ることが出来る可能性があるといえよう。

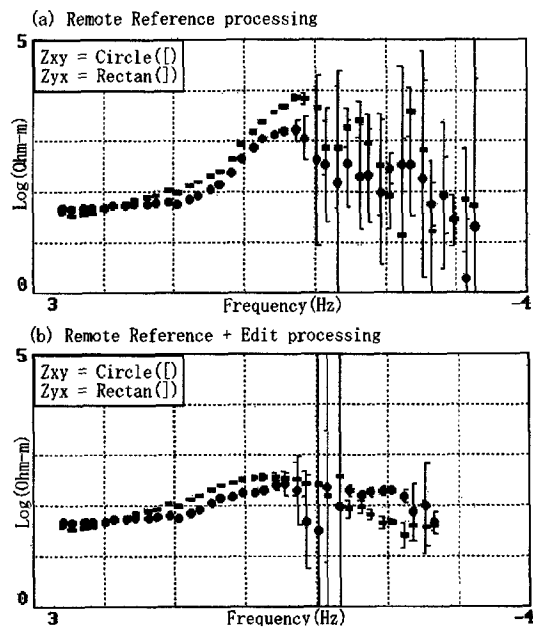


Fig.2 Observed apparent resistivity curves. (a) The result after the remote reference processing. (b) The result obtained by data editing after remote reference processing.

次に得られた観測データについて概観する。Fig.3 は位相の観測値を南北断面に投影した疑似断面である。なお、ここでの位相の値はインピーダンスの平均をとった値を用いて計算している。インピーダ

ンスの平均をとる事によって構造の2次元的・3次元的な影響が平均化出来るため、全体の大まかな構造を見るのに適している。特に観測領域の北側には伝導体である海があるので特に有効である。この図の横軸は距離を、縦軸は周波数を示し、下側にむかって低周波数になっている。周波数の値は構造の深さとの対応があり、低周波数側ほど深部の情報を含んでいる。また位相の値は大きいほど深部に低比抵抗体があることを、値が小さいほど深部に高比抵抗体があることを示唆している。Fig.3 の特徴を下記にまとめる。

- 1)1Hz より高周波数側では全体的に位相の値が小さい傾向がある
- 2)1Hz より低周波数側では全体的に位相の値が大きい傾向がある
- 3)測線中央部には位相の値が非常に小さい領域がある

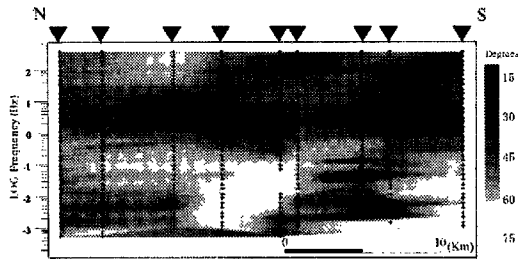


Fig.3 The pseudosections of phase for the invariant value along the N-S section.

これらのことから本領域のおおよその構造は、浅部が全体的に高比抵抗で深部になるに従い低比抵抗を示す傾向があると推測される。表層の見かけ比抵抗値からおおよその表皮深度を推定すると、1Hzで10km前後となる。つまり上部地殻付近はほぼ高比抵抗を示し、それより深部では低比抵抗と言うことがいえる。

3. 2次元構造解析の結果とまとめ

得られたデータを用いた2次元解析の結果について述べる。構造解析に際して、構造の走向を決める必要がある。今回は多くの観測点でのstrikeの平均値が0度もしくは90度付近となり、海岸線がほぼ東西に走っているため、解析では2次元構造の走向を90度として計算を行った。計算にはOgawa and Uchida (1996)による2次元インバージョンのコードを用いた。計算の際、ばらつきの多いデータはあらかじめ取り除いて入力データとした。海岸線が近

い観測点もあるため、海の構造はあらかじめ与えて計算を行っている。今回は海水の比抵抗値として $0.25\Omega\text{-m}$ を採用した。

Fig.4は計算の結果得られた最適モデルを、Fig.5は最適モデルから得られたレスポンスと観測値とを比較したものである。Fig.5から、最適モデルは観測値をよく説明していることがよくわかる。構造の特徴ををまとめると以下ようになる。

- 1)15km付近までは全体的に高比抵抗を示す
- 2)15km以深でより低比抵抗に推移し、測線中央部20-25kmでは $10\Omega\text{-m}$ 以下の領域も見られる
- 3)測線中央より南側にかけて、2)でみられる低比抵抗が深さ5km付近まで達している
- 4)測線中央部から北側にかけての0-2km付近は $100\Omega\text{-m}$ 程度の低比抵抗を示す。

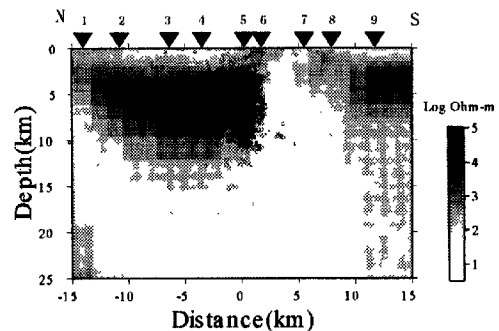


Fig.4 Resistivity model deduced from 2D inversion. Circles show distribution of hypocenters during the period from 1995 to 2001.

上部地殻が高比抵抗で下部地殻が低比抵抗を示すこの結果は、前節で指摘した構造の概要とよく一致している。この上部地殻が高比抵抗という結果は、塩崎(1993)が指摘している西南日本の上部地殻は全体的に高比抵抗であるという結果に矛盾しない。また下部地殻が、測線全般にわたって低比抵抗という結果は、西垣(1999)の結果と調和的である。この構造で特徴的なのは、地下深部から浅部(5km)まで達する低比抵抗体である。Fig.5をみると、この浅部に達する低比抵抗体上部の観測点(Site7,8)の長周期部のデータが良くないが、解析で得られた低比抵抗部が存在しない場合、Site5や6などのデータが説明できないことが、感度チェックから確かめられている。また、Site7と8のデータを除いた計算も行ったが、構造はややぼやけるものの、低比抵抗部が浅部まで達した構造がないとデータを説明する事が難しいことも確かめられた。よって、この低比抵抗部の盛り上がりは観測データを説明するのに必要である事がわかる。

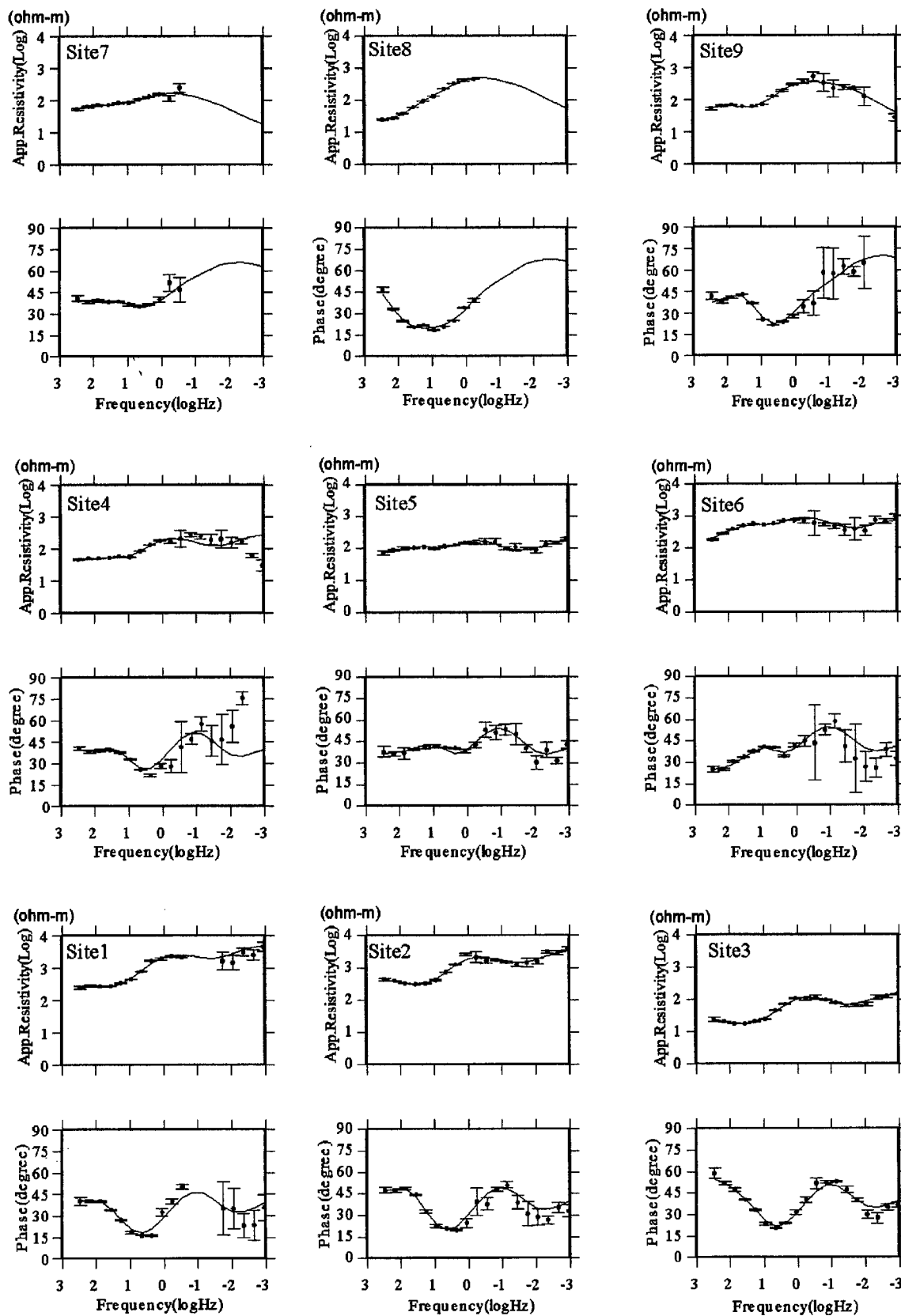


Fig. 5 Observed responses and calculated sounding curves from the best-fit model shown in Fig.4.

比抵抗構造と地震活動分布との比較のために、Fig.4には1995年1月から2001年12月までの京都大学防災研究所で取得された震源データを同時にプロットしている。地震活動は主に測線北側の高比抵抗部と、それに接する低比抵抗部との境界付近に分布している。また、深さ方向に関しても、高比抵抗部が低比抵抗部へと変化していくにつれて地震活動がほとんど見られなくなっていく。これらのことから、本地域の地震活動は抵抗構造の遷移域から高比抵抗部にかけてのみ発生していることが明らかになった。Kasaya et al. (2002)では、このような構造境界付近で発生する地震は、低比抵抗部から高比抵抗部への流体の移動によって引き起こされると指摘している。本解析で対象にしている地震発生域においても、同じような低比抵抗部から高比抵抗部への流体の移動があり、それによって高比抵抗部の強度が下がって地震が発生しているのではないかと考えられる。しかしながら、既存の活断層と本地域の震源域とは場所や走向も異なり、今回検出された構造が既存の断層と関係するのかわからない。

また、この低比抵抗部の直上には第四紀の火山である扇ノ山と氷ノ山が分布する。4)の構造は、小室他(2002)や平松他(2002)で指摘されたカルデラ構造と良い一致を示す。平松他(2002)で求められたカルデラの基盤深度は、4)で推定されている浅部低比抵抗領域の底の深さと調和的である。今回検出された比抵抗境界は、これらの火山活動の痕跡を見ている可能性もあるが、今後の詳しい解析によって明らかにしたい。

4. おわりに

MT観測によって得られたデータから、兵庫県北部域での2次元構造を推定した。その結果、地殻上部は高比抵抗で、15km以深より低比抵抗を示すことがわかった。さらに低比抵抗部が浅部(5km)まで達する領域があり、地震活動はその低比抵抗部と高比抵抗部との比抵抗境界から高比抵抗部にかけて集中的に分布することがわかった。今後はローカルな3次元的影響を取り除き、より正確な2次元構造を求める予定である。また、測線南側の一部の観測点のデータ品質が悪くなかったため、再度そくていを行う必要がある。より長周期のデータ取得を目的として、フラックスゲートタイプのMT計を用いた観測を行い、さらに深部の構造を決定していきたい。深部の構造が決まると、今回検出された低比抵抗部の起源を探る上で重要な制約条件を与えることが出来るようになる。

謝辞

本稿の作成にあたり、地震の震源データを京都大学防災研究所地震予知研究センター片尾助教授より提供を受けた。金沢大学理学部の平松助手には有益な議論をして頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 小室裕明・古山勝彦・飯澤功・斎藤武士・酒井敏(2002): 照来コールドロンの重力異常, 火山, 第47巻, 1号, pp. 9-15.
- 塩崎一郎(1993): 中国・四国地方の電気比抵抗構造に関する研究, 神戸大学博士論文, 196 p
- 西垣俊宏(1999): ネットワークMT法を用いた中国地方東部の地下電気比抵抗構造の研究, 鳥取大学修士論文, 86 p
- 平松良浩・本田亮・河野芳輝(2002): 中新世カルデラ“美方コールドロン”で発生した兵庫県北部地震, 月刊地球(印刷中)
- 渡辺邦彦(2001): 鳥取県西部地震と兵庫県北部の地震, 地震ジャーナル, 31, pp. 22-31
- Kasaya, T., Oshiman, N., Uyeshima, M., Iio, Y and Uehara, D. (2002): Resistivity structure around the hypocentral area of the 1984 Western Nagano Prefecture earthquakes in central Japan, Earth Planets Space, 54, pp. 107-118.
- Miyakoshi, J. and Suzuki, A. (1978): Geomagnetic Induction Study of the Seismically Active Fault along the Southwestern Coast of the Sea of Japan, J. Geomag. Geoelectri., 30, pp. 549-560.
- Ogawa, T. and Uchida, T. (1996): Two dimensional magnetotelluric inversion assuming Gaussian static shift, Geophys. J. Int., 126, pp. 69-76.

Resistivity Structure around the Northern Hyogo Prefecture

Takafumi Kasaya*, Naoto Oshiman, Ichiro Shiozaki, Setsuro Nakao, Sei Yabe, Kazuo Kondo, Yasuyoshi Fujita, Tomofumi Uto** and Kenichi Yoshida****

***Japan Marine Science & Technology Center, Japan**

****Department Civil Engineering, Tottori University, Japan**

Synopsis

We carried out magnetotelluric measurements around the northern Hyogo Prefecture where many earthquakes occurred. The resistivity structure shows high resistivity at the shallow region (>15km) and lower resistivity at the deeper part. Moreover, lower resistivity area reach at the depth of 5km around the region from center to south of observed line. Earthquakes occurred around the area from the high resistivity zone to the resistivity boundary.

Keywords: resistivity structure; magnetotelluric measurement; earthquake activity