

MT法から推定される阿蘇カルデラの比抵抗構造 (序報)

高倉伸一¹・橋本武志²・小川康雄¹・西垣俊宏³

(¹地質調査所,²京都大学,³鳥取大学)

Preliminary report on the resistivity structure of the Aso caldera,
central Kyushu, Japan, inferred from magnetotelluric soundings

Shinichi Takakura¹, Takeshi Hashimoto², Yasuo Ogawa¹, and Toshihiro Nishigaki³

(¹G.S.J., ²Kyoto Univ., ³Tottori Univ.)

1. はじめに

阿蘇カルデラは九州中部に位置する南北約25km、東西約18kmの大規模なカルデラである。カルデラ内には10数個の中央火口丘群が形成されており、その一つの中岳は現在も活動中である。また、阿蘇カルデラとその周辺地域は活発な熱水活動が見られることから、有望な地熱地域として期待されている。そのため、当該地域ではこれまでも多くの学術調査や地熱資源探査が実施され、カルデラ構造の把握が試みられてきた。たとえば、小野・渡辺(1985)は詳細な地質調査を行い、阿蘇火山地質図を作成した。また、Komazawa(1995)は重力データを解析し、カルデラの重力基盤構造を推定した。さらに、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)はカルデラ南西部に7本の1000~1800mの坑井を掘削し、深部の地質層序を明らかにした。

しかし、坑井は局所的な範囲にしかなく、しかもカルデラ壁近傍の坑井を除けば基盤に達していない。また、地下深部の岩石密度の情報の不足から、解析された重力基盤の深度は確定的なものではない。当該地域では地震探査や電磁探査など深部物理探査も行われてきたが、調査範囲が限られている、良好なデータが得られていないなどの問題から、広域的な高精度の構造解析はほとんど行われていない。このようなことから、阿蘇カルデラ全体の深部地下構造の推定には至っていないのが現状である。

そこで、本研究では、阿蘇カルデラの深部構造の把握を目的に、カルデラを北北東-南南西に横切る測線においてMT法調査を実施した。ここでは、その調査の概要を述べ、2次元解析から得られた阿蘇カルデラの比抵抗構造について速報する。

2. 調査の概要

測点の位置を第1図中に●で示す。測点は湯の谷温泉の近傍を通る北北東-南南西の測線に沿って、カルデラ内に12点、カルデラの南壁と北壁の外側にそれぞれ2点ずつの計16点ある。

測定ではPhoenix社製のV5-16システムを用い、各測点で電場2成分と磁場3成分の時系列データを取得した。電場センサーは両端を鉛-塩化鉛電極で接地した長さ約40~60mのダイポールであり、磁場センサーはインダクションコイルである。リファレンス点は調査地から約30km離れた阿蘇カルデラの南東部に設置した。3台の測定システムを用い、二つの測点とリファレンス点を同時に測定した。なお、各システムの同期はGPSにより行った。今回の測定では、四国西部で実施しているMT法調査の測

定機器とも同期した。

データ処理では、各測点の電場および磁場成分の時系列データを等間隔に多数のセグメントに分割し、各セグメントごとに周波数解析を行い、0.00055~380Hzの範囲の40周波数について、各成分のパワースペクトルデータを求めた。この際、測線上の他の測点、リファレンス点、四国西部のデータを用いてリファレンス処理をした。その結果、各測点について3種類のパワースペクトルデータが求められた。それらを比較検討したところ、四国西部のデータを用いたパワースペクトルデータが最もバイアスの影響がないと判断できたので、それを最終のデータ処理結果とした。

3. インダクションベクトル

インダクションベクトルは、鉛直磁場と水平磁場の間の伝達関数を表現するものとして求められる。インダクションベクトルの実数成分は低比抵抗帯に向き、比抵抗変化が急激なところで大きくなるという性質をもつ。周波数が100Hz、10Hz、1Hz、0.1Hz、0.01Hz、0.001Hzのインダクションベクトルの実数成分を第2図に示す。ただし、データの品質が悪く、インダクションベクトルの計算ができなかった測点のデータは除外してある。

1Hz以上の高周波のインダクションベクトルを見ると、測線中央部で湯の谷温泉や烏帽子岳の方を指す傾向があり、この傾向は周波数が低くなるとカルデラ壁に近い測点にも及ぶようになることがわかる。また、周波数が低くなるにつれてインダクションベクトルが大きくなる傾向がある。このことは、湯の谷温泉や烏帽子岳の周辺地域の比較的浅部に低比抵抗帯が存在することを示唆している。この地域には温泉や熱水変質帯が分布していることより、低比抵抗は熱水や粘土鉱物によるものと推測される。

測線南部の測点の1Hz以上のインダクションベクトルは南西から西に向く傾向がある。また、カルデラ壁北側の測点のインダクションベクトルは1Hzで北もしくは北北東を向く傾向がある。これより、カルデラ内の比抵抗構造がカルデラより外側にある測点のインダクションベクトルに及ぼす影響は小さいと判断できる。

0.1Hzのインダクションベクトルは全測点で大きく、各測点で方向もまちまちである。データの品質が悪く、インダクションベクトルが計算できない測点も多いことから、当該地域ではこの周波数帯のノイズが大きいと推定される。

0.01Hzのインダクションベクトルは非常に小さい。また、測線中央部でも高周波のベクトルのように、湯の谷温泉や烏帽子岳の方を指す傾向は見られない。0.001Hzになると、全測点にわたりインダクションベクトルは西南側を向くようになる。この方向は、半田ほか(1989)が示した九州中部の長周期のインダクションベクトルの方向と一致する。このことから、周波数が0.01Hz以下のインダクションベクトルには阿蘇カルデラの構造よりさらに広域的な構造の影響が反映されているものと考えられる。

4. 2次元解析

九州中部の大局的な地質構造の走向は北東-南西と考えられる。しかし、インダクションベクトルの方向を見る限り、比抵抗構造の平均的な走向は北西-南東方向と考えられ、測線はその走向にほぼ直交していると判断できる。そこで、方向がN34°Eの測線が大局的な比抵抗構造と直交すると仮定し、各測点で得られたインピーダンスをその方向に回転させ、電場が測線方向になるデータをTMモード、測線と直交す

る方向になるデータをTEモードとそれぞれ定義した。ここでは示していないが、両モードの見掛け比抵抗にはスタティックシフトの影響が現れている。MT法の2次元解析では、スタティックシフトはTMモードについてのみ取り扱うことができる。そこで、今回の解析ではTEモードの見掛け比抵抗を使用せずに、TMモードの見掛け比抵抗および位相だけを用いた場合と、TMモードの見掛け比抵抗および位相とTEモードの位相を用いた場合の2通りの方法で実施した。

解析には、Uchida and Ogawa(1993)による平滑化制約付きMT法2次元インバージョンプログラムを使用した。このプログラムは、地下構造断面を比抵抗を未知数とした多数のブロック(小領域)からなるモデルとして表し、有限要素法を用いて計算されるMT応答値と測定値との残差の二乗和が収束するまで、各ブロックの比抵抗を反復修正する。隣接するブロックの間で比抵抗が急激に変化しないという平滑化制約を課すことができるため、未知数が多い場合でも安定的に解を得ることができる。また、有限要素法の計算ではアイソパラメトリック要素を用いているため、地形を考慮することができる。

今回の解析では、0.01~100Hzの範囲の比較的高品質の高いデータだけを用いた。地形は測点および測点近傍の標高を測線に投影し、地下構造断面モデルに含めた。モデルのブロック数は393個であり、フォワード計算に用いた要素数は5215個(水平:149、垂直:35)である。初期値として各ブロックに100Ωmを与え、8回の反復計算を実施した。

5. 比抵抗断面の検討

TMモードのデータを使用して求めた比抵抗断面を第3図に、TMモードとTEモードのデータを使用して求めた比抵抗断面を第4図に示す。また、第4図の比抵抗断面から計算されるTMモードのMT応答値と実測値を第5図に、TEモードのMT応答値と実測値を第6図に示す。なお、第3図から計算されるMT応答値は、第5図のものほとんど同じである。

第3図と第4図を比較すると、両者の解析結果には基本的な差異はないと判断できる。測点10と11における両者の比抵抗構造と近傍の坑井の比抵抗検層データとの比較を第7図に示す。これを見る限り、両者の比抵抗構造はいずれも比抵抗検層データと調和的であり、真の比抵抗構造とは大きく掛け離れていないことがわかる。両者の解析結果に見られる最も大きな違いは、測線の北部(測点1~6)の標高-7~-10km以下に第4図の方にだけ低比抵抗体が現れていることである。現状のデータからはどちらの結果が適当であるかの判断はできない。一般にTMモードだけを用いた解析では垂直的な構造に対する分解能が低い。そこで、以下の議論では第4図の結果を用い、両者ともほぼ同じ結果が求まっている標高-5kmまでの比抵抗構造を検討する。

第4図の比抵抗断面とKomazawa(1995)による重力基盤との比較を第8図に示す。ここで、地形と地下構造の垂直強調は2倍とした。比抵抗断面と重力基盤とを比較すると、カルデラ中央部を除けば、重力基盤は数10~100Ωm以上となることがわかる。しかし、カルデラ中央部では重力基盤は10Ωm以下となっている。カルデラ壁周辺の先第三系の基盤に達した坑井によると、基盤の比抵抗は100Ωm以上であるので、重力基盤は比抵抗から推定される先第三系基盤より浅いといえる。この原因として、熱水活動あるいは火山活動により基盤が破碎を受けて低比抵抗化しているという可能性

が考えられる。標高-3 km以下には1000 Ω mを超える高比抵抗層があり、カルデラ中央部で隆起している。一般にマグマあるいは溶融体は低比抵抗と考えられるが、MT法の解析結果を見る限り、少なくとも標高-10kmまでの間にはそのような低比抵抗体は検出されていない。

6. 今後の課題

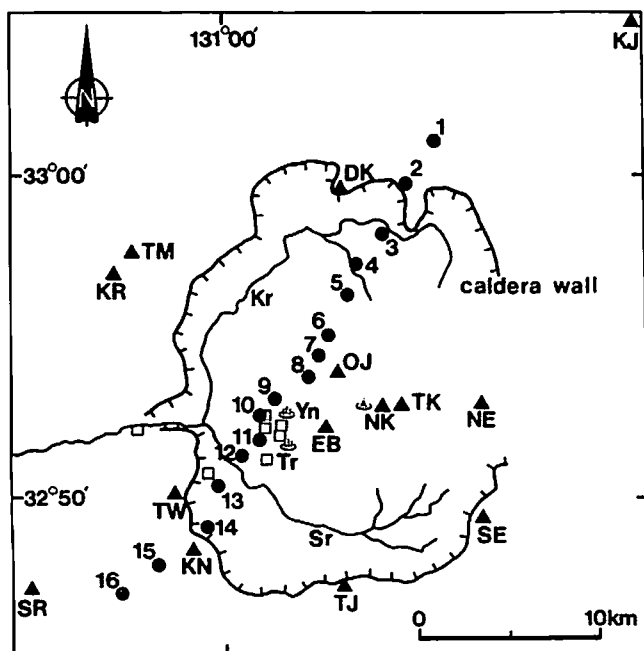
本論文では、北北東-南南西に横切る測線において実施したMT法調査の報告とそのデータの解析結果について述べた。第5図および第6図を見てわかるように、今回の調査で取得したデータの品質も十分ではない。とくに0.1~1 Hzの周波数帯のデータの品質は悪く、測線中央部では解析に最低限必要な品質のデータすらとれなかった測点も多かった。今後、データ処理や再測定によりデータの品質向上を目指したい。また、当該地域には地熱調査で多くのMT法データが取得されているので、それらを併せた解析を実施するつもりである。

謝辞

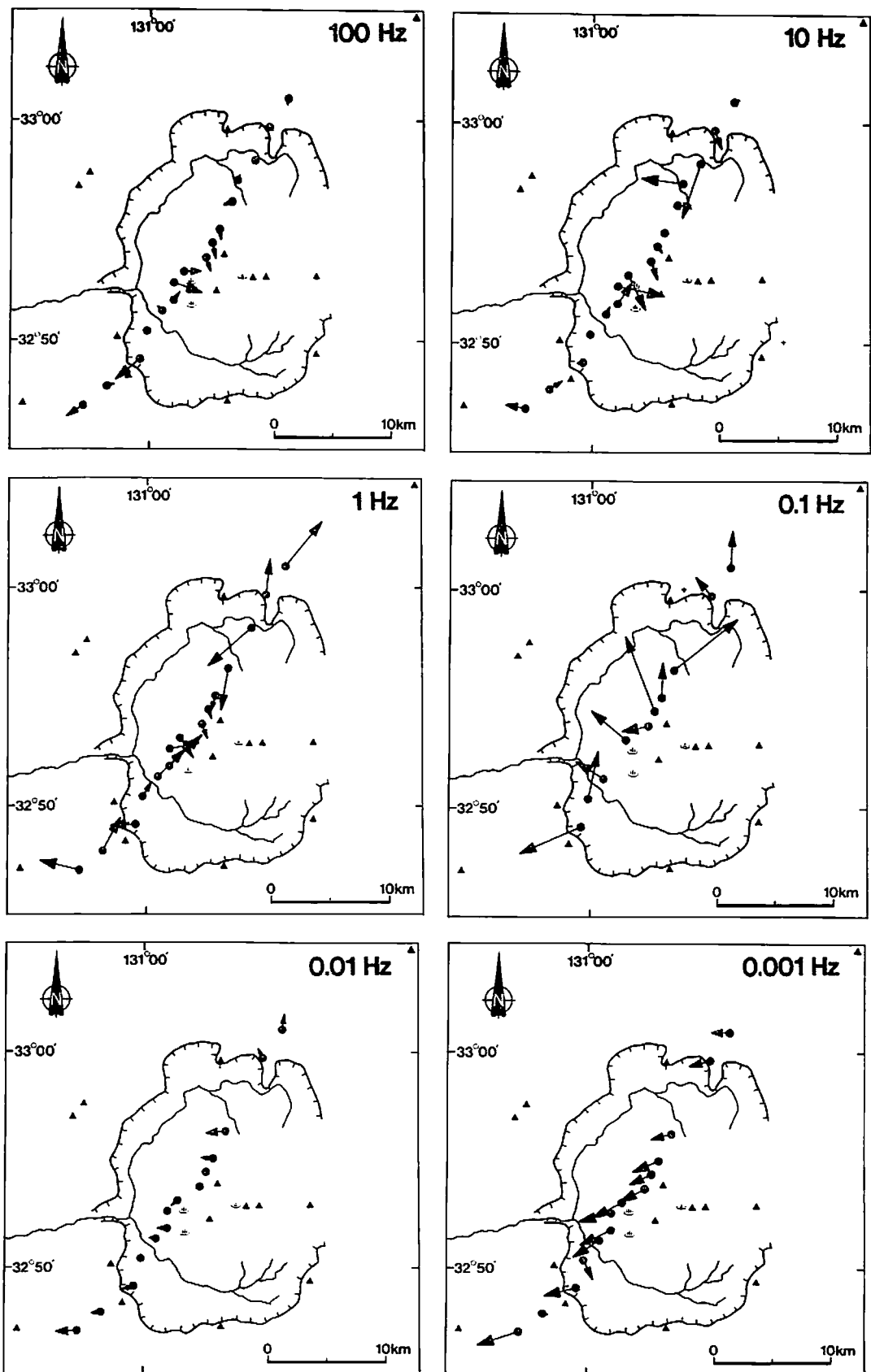
新エネルギー・産業技術総合開発機構には地熱開発促進調査「阿蘇山西部地域」の検層データを使用させていただいた。また、現地調査では地元関係者からの多大の協力をいただいた。ここに厚く感謝の意を表す。

参考文献

- 小野晃司・渡辺一徳(1985): 阿蘇火山地質図, 火山地質図, no. 4, 地質調査所。
 Komazawa, M. (1995): Gravimetric analysis of Aso Volcano and its interpretation. Journal of the Geodetic Society of Japan, 41, 17-45.
 半田駿・田中良和・鈴木亮(1990): 別府-島原地溝帯沿いでのCA(序報), Conductivity Anomaly研究会1990年論文集, 219-223。
 Uchida, T., and Ogawa, Y. (1993): Development of FORTRAN code for two-dimensional magnetotelluric inversion with smoothness constraint. Open-file Report, Geol. Surv. Japan, 205, 115p.

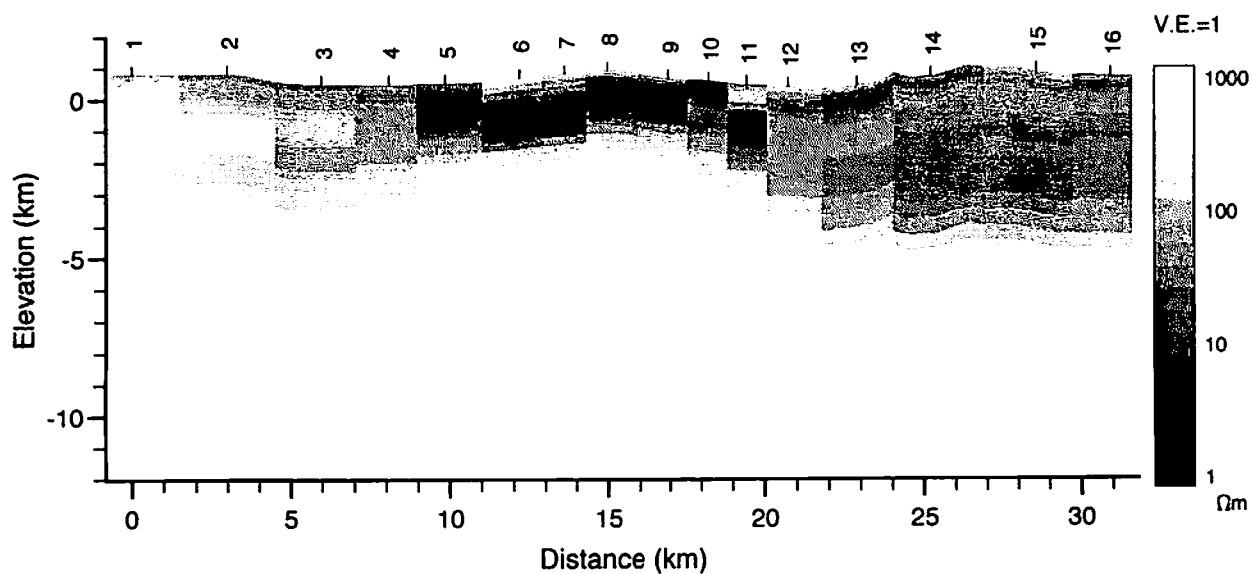


第1図 MT法の測点位置図。●がMT法の測点を示す。□はNEDOの坑井を示す。▲は主な山を示す; DK:大観峰, ED:烏帽子岳, KJ:九住山, KN:冠ヶ岳, KR:鞍岳, NK:中岳, NE:根子岳, OJ:往生岳, SE:清栄山, SR:城山, TJ:高千穂野, TK:高岳, TM:ツームシ山, TW:俄山。Yn:湯の谷温泉, Tr:垂玉温泉。Kr:黒川, Sr:白川。



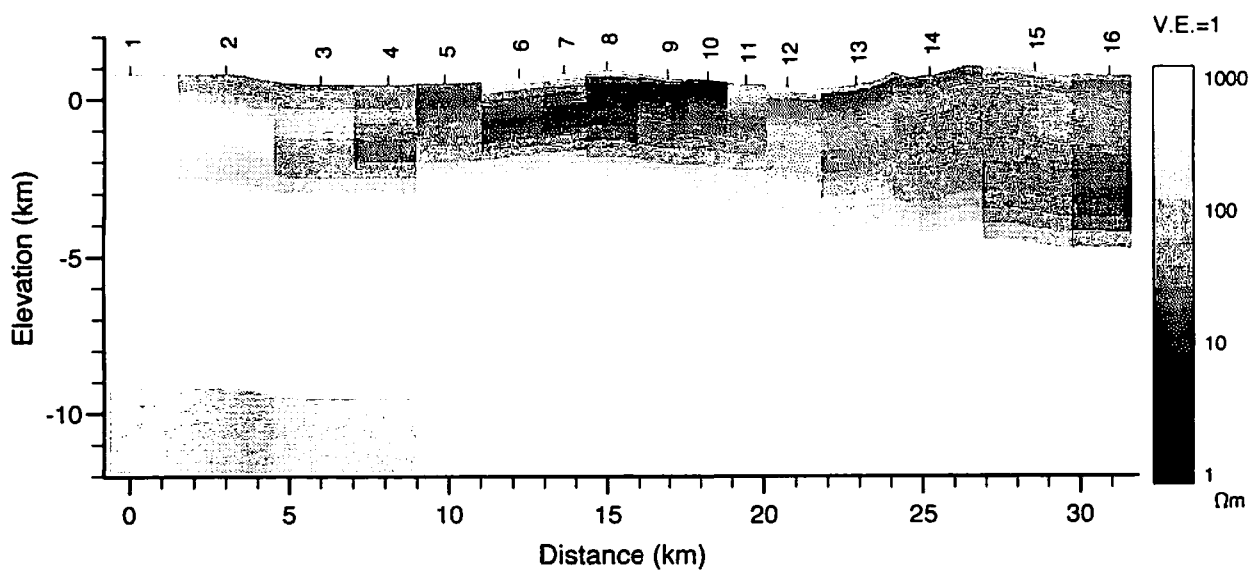
第2図 インダクションベクトル(実数成分)の分布。図中の距離10kmがベクトルの大きさ1に相当する。

ASO-GSJ-MT-LINE1-TM mode

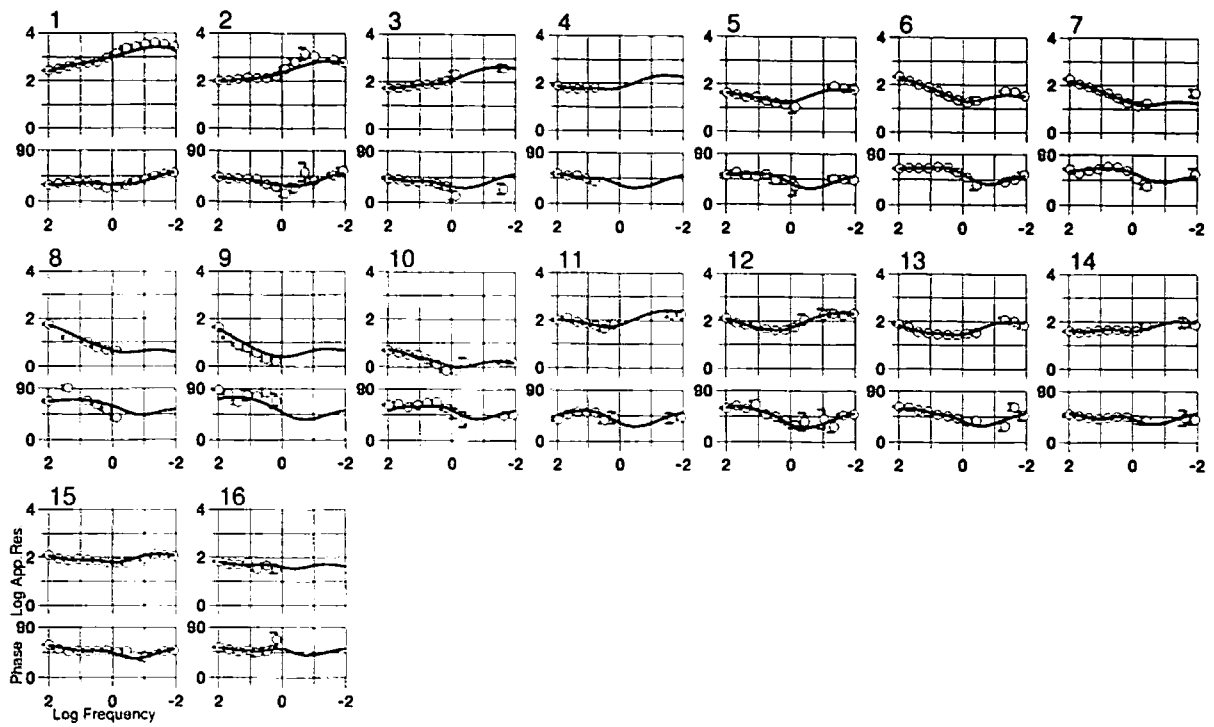


第3図 TMモードの見掛け比抵抗および位相を用いて2次元インバージョンから求めた測線下の比抵抗断面。

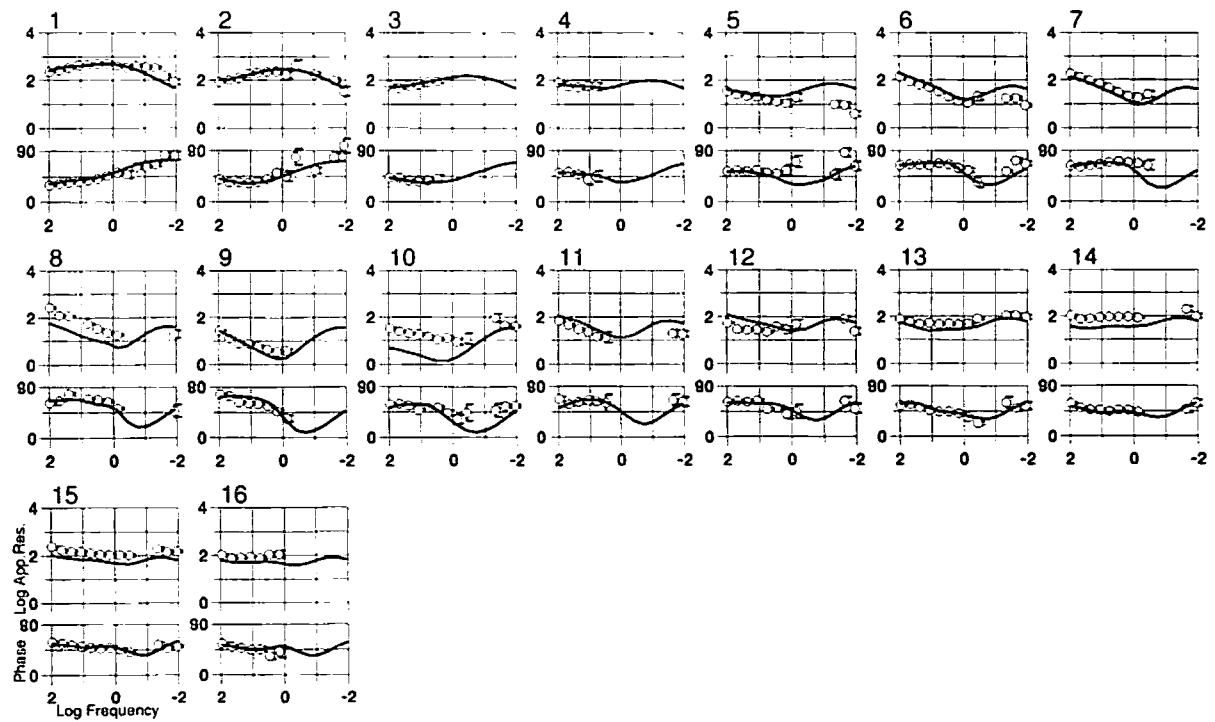
ASO-GSJ-MT-LINE1-TM+TE mode



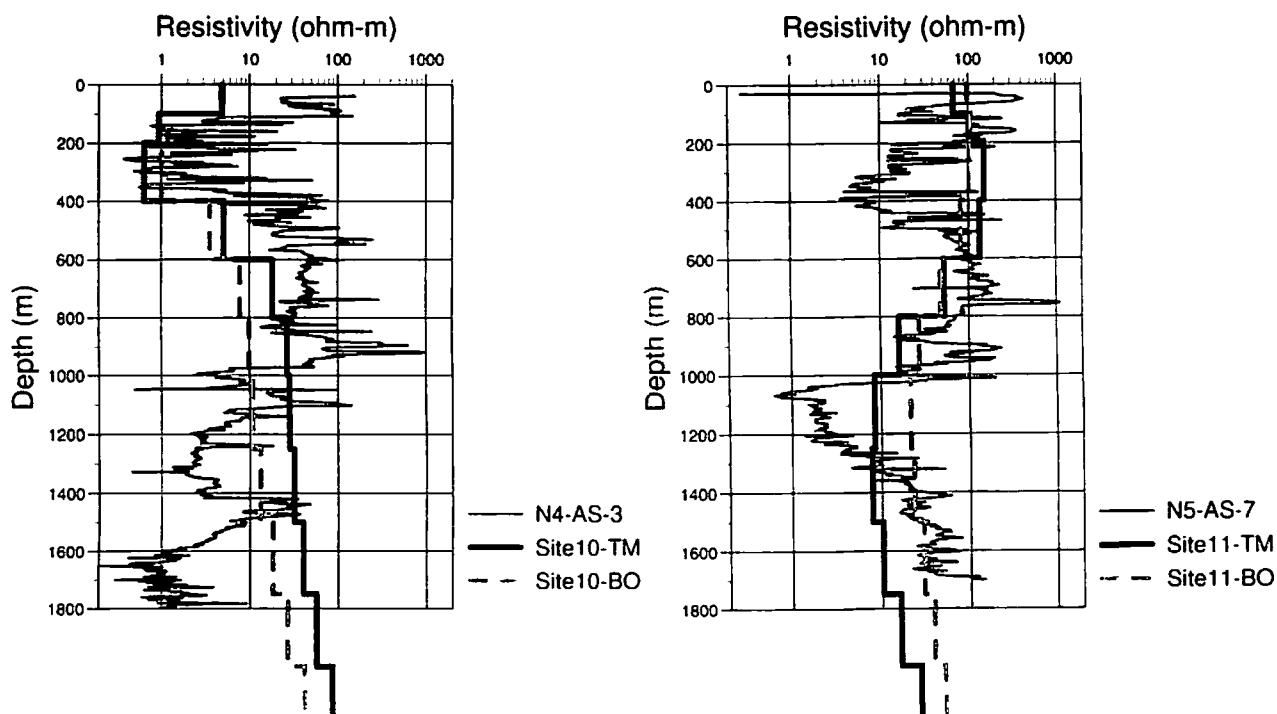
第4図 TMモードの見掛け比抵抗および位相とTEモードの位相を用いて2次元インバージョンから求めた測線下の比抵抗断面。



第5図 TMモードの見掛け比抵抗と位相。実線は第4図の比抵抗断面から計算されるMT応答値を示す。

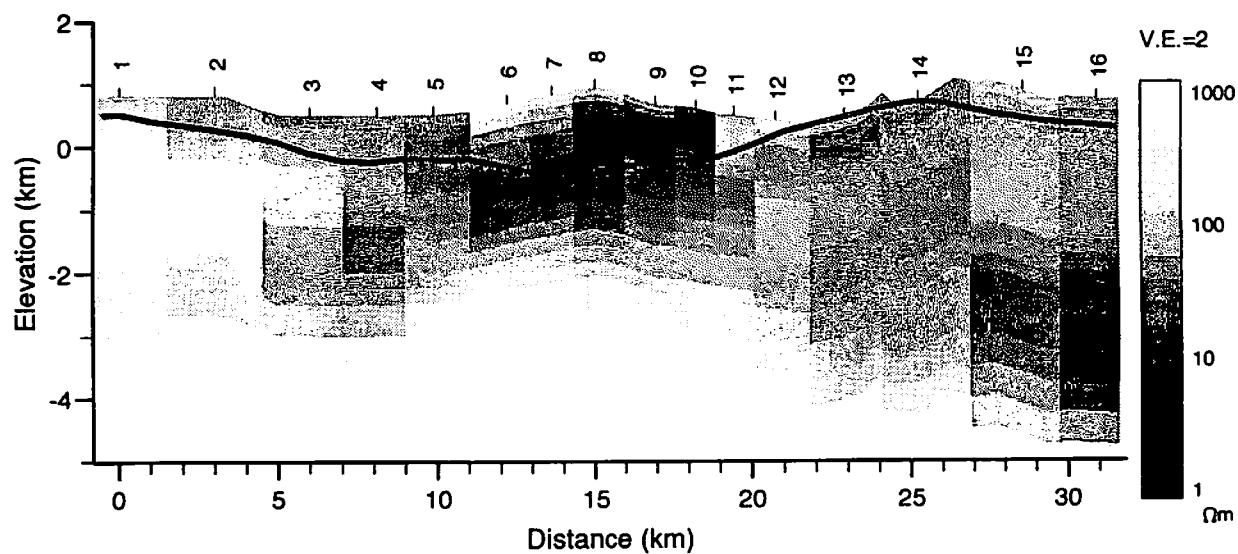


第6図 TEモードの見掛け比抵抗と位相。実線は第4図の比抵抗断面から計算されるMT応答値を示す。



第7図 MT法の解析結果から得られた測点10(左)と測点11(右)における比抵抗構造と近傍の井戸の比抵抗検層データとの比較。

ASO-GSJ-MT-LINE1-TM+TE mode



第8図 測線下の比抵抗断面(第4図)と重力基盤(Komazawa, 1995)との比較。地形と地下構造の垂直強調を2倍にしている。