

ネットワークMT法より推定された 四国地方東部の地下比抵抗構造

山口覚^{*1}, 小林慶昭^{*1}, 大志万直人^{*2}, 谷元健剛^{*2}, 村上英記^{*3},
塩崎一郎^{*4}, 上嶋誠^{*5}, 歌田久司^{*5}, 住友則彦^{*2}

1. 神戸大理学部, 2. 京都大防災研究所 3. 高知大理学部,
4. 鳥取学大工学部 5. 東京大学地震研究所

Regional resistivity variation inferred from the Network-MT investigation in the Shikoku District, Southwestern Japan

Satoru YAMAGUCHI^{*1}, Yoshikai KOBAYASHI^{*1}, Naoto OSHIMAN^{*2},
Kengo TANIMOTO^{*2}, Hideki MURAKAMI^{*3}, Ichiro SHIOZAKI^{*4},
Makoto UYESHIMA^{*6}, Hisashi UTADA^{*5}, Norihiko SUMITOMO^{*2}

1. Faculty of Science, Kobe University
2. D. P. R. I. Kyoto University
3. Faculty of Science, Kochi University
4. Faculty of Engineering, Tottori University
5. E. R. I. University of Tokyo

はじめに

第7次地震予知計画の一環として全国規模のネットワークMT観測が進行している。この観測は、日本列島の大局的な地下電気伝導度構造を明らかにすることを目的としている。西日本では、1994年度より鳥取県西部から四国東部に抜ける測線をはじめとして、滋賀県北西部朽木村・高島町一帯および淡路島南部の3地域でネットワークMT観測を進めている。本報告では、観測が終了した中国・四国測線の南半分に相当する四国東部の解析結果について報告する。

観測と解析

本研究地域では、14の中心局および46の中継局を結ぶ観測網で観測を行った(第1図)。観測は3つの期間に分けて行い、最も短いもので約1ヶ月間、最も長いもので5ヶ月間にわたって連続測定を行った。観測の詳細を第1表に示す。

解析はUyeshima(1990)の方法に従った。電場データは10秒間平均値を用い、周期30秒から3000秒のバンドパスフィルタを通した後、データ数512個(すなわち5120秒間)とデータ数64個(すなわち640秒間)の2通りのサブセクションに分け、FFT(Fast Fourier Transform)を用いた周波数解析を行った。周期2560秒から周期640秒は、サブセクション長5120秒の解析結果を、それ以下の周期ではサブセクション長640秒の結果から、マグネトテラヘルツインピーダンス他を算出した。磁場は柿岡地磁気観測所の地磁気3成分毎秒値を10秒値に変換して用いた。探査曲線の周期に対する変化の様子やエラーの大きさを勘案して、ロバストスタッキング処理(Uyeshima, 1990)の有無や解析区間長・解析時間などを変えながら解析を進めた。

四国地方は帯状の地質分布が顕著である(第1図)。また、日本で有数の構造線である中央構造線(MTL)も地質構造の走向と平行している。これらの方向は、四国沖の南海トラフの走向および地震学的に求められているフィリピン海プレート等の等深線と、ほぼ並行している。そこで、この方向N75°Eを比抵抗構造の走向と定めた。求められたインピーダンスの成分のうち、電場がこの比抵

抗構造の走向と平行な成分をTEモード、直交成分をTMモードと呼ぶ。

電極のいくつかは、四国本島から離れた小島に設置した。しかし、これらの電極を含む三角地域から求められたインピーダンスは、推定誤差が大きくまた周期に対する変化も激しいので、これ以降の議論には用いないことにする。

結 果

第2図は、すべての三角地域の探査曲線を、モードごとに重ね合わせた図である。TMモードの見かけ比抵抗は、周期40秒から周期100秒付近にかけて、ほぼ同じ値を取るかわずかに減少する。それより長い周期帯では、値が徐々に増加するが、その増加率は周期が長くなるにつれて小さくなる。このモードの位相差は最も短周期側では $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ である。その後周期100秒付近で 20° 前後に減少したのち、周期が長くなるにつれて値が徐々に増加する。周期2560秒では位相差は 30° 付近に収斂している。TEモードの短周期の見かけ比抵抗値は2つのグループに分かれる。大きな見かけ比抵抗を示すグループはMTLより北に位置する三角地域からの、小さな見かけ比抵抗を示すグループはMTLより南に位置する三角地域からの結果である。北のグループでは、周期100秒からそれより少し長いところまでは減少し、それより長い周期帯ではほぼ同じ値を取る。一方、南のグループでは、周期100秒付近でまでわずかに減少し、その後、わずかながらも増加に転じている。位相差は、TMモードの結果に比べばらつきが大きい、全般的に大きな値を示す。

見かけ比抵抗や位相差の空間分布をみると、この地方の比抵抗値は大局的には南北方向に変化している。その傾向は周期が短いほど顕著である。ここでは、いくつかの周期を選び、その見かけ比抵抗や位相差の南北プロファイルから特徴を述べる。第3図は、周期64秒の見かけ比抵抗及び位相差の南北プロファイルである。横軸は、各三角地域の重心位置のMTLからの距離である。TMモードの結果を見ると、MTLより北に離れた三角地域の位相差は50度付近であるが、MTLに近づくと位相差は小さくなり、MTL付近及びより南側ではほぼ一様で $20 \sim 40^{\circ}$ の値をしめす。TEモードの見かけ比抵抗は、MTLを境とする変化が顕著である。北側は、ほぼ一様で $300 \pm 100 \Omega m$ である。南側ではMTLから離れるに従って徐々に値が小さくなる。位相差は、全般的にTMモードより値が大きく、 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ を示す。第4図は、最も長周期の周期2560秒の見かけ比抵抗及び位相差の南北プロファイルである。TMモードの見かけ比抵抗曲線に見られる凹凸は、周期64秒のそれとよく似ており、浅部の比抵抗値の変化が長周期部にまで残っていることがわかる。一方、位相差は全周期に渡って 30° 前後の値を示しており、周期64秒の結果では顕著であったMTLを境とする変化はわずかである。TEモードの見かけ比抵抗のMTLを境とする変化は、この周期帯でも認められる。それに加えて、南に行くほど見かけ比抵抗が高くなる傾向が顕著になっている。この傾向は、周期107秒の同様のプロファイルには見えないが、周期640秒の結果には認められる。

一方、地域的には東西方向の見かけ比抵抗変化が顕著な場所もある。MTLのすぐ南側に延びる三波川変成岩帯上の周期64秒の見かけ比抵抗の東西プロファイル(第5図)を見ると、西から東に向かって系統的に見かけ比抵抗が減少している。しかし、その変化の絶対量は、南北方向の変化に比べてかなり小さい。

2次元モデル解析およびモデルの特徴

四国東縁部のN15W-S15E測線(第1図)を断面とする、2次元比抵抗モデル解析を行った。この測線は、三角地域が空間的に連続している所を通り、加えてSBMネットを通るように設け

た。一般に、MTLより北側の地域は、人工的電磁気雑音が多いためか、見かけ比抵抗・位相差とも推定誤差が大きい三角地域が多い。SBMはその中でも最も安定した結果が得られている三角地域である。比抵抗モデルの走向方法は先に述べた様に、帯状地質構造の走向、四国沖に位置する南海トラフの走向方向および地震学的に求められているフィリピン海プレート上面の等深線の方向からN75Eとした。モデルを作成するに当たって、次の3点の制約をおいた。①海の比抵抗値は $0.25\Omega\text{m}$ とし、地形は海底地形図から決める。②もし、MTL近傍で比抵抗境界が必要ならば、両者の位置は一致させる。③少なくともMTLより南側では、地震学的に求められているプレート上面の深さ・形を利用する。もし、必要ならば、比抵抗もここを境として変化させる。試行錯誤的にフォワードモデル計算を進め、最適モデルを決定した。モデル計算には、Uchida and Ogawa(1993)を使用した。ここで述べている'最適モデル'は、現時点での最適モデルであり、最終モデルではない。モデルの大局的な構造は変わらなものの、いくつかの点は、今後変わる可能性がある。第6図に最適モデルを示す。また、第7図(a)(b)に、TM、TE両モードの計算値と観測値を示す。このモデル及びモデル解析を進めていく過程で、次の点が明らかになった。

①MTLの北側は数百 Ωm とやや高比抵抗であるが、南側は北側の1/2かそれ以下の比抵抗値である。②MTLのすぐ南側の浅部に低比抵抗ブロックが必要である。その厚さは南へ行くほど薄くなるのが望ましい。③下部地殻に相当する部分の比抵抗値は数百 Ωm である。④フィリピン海プレートに相当する部分の比抵抗値は $10\text{K}\Omega\text{m}$ 程度であり、その厚さは 100km 程度であろう。⑤プレートに相当する部分の上面には $100\Omega\text{m}$ 以下と低比抵抗の薄い層が必要である。⑥プレートのすぐ下には $100\Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗層が必要である。

考 察

見かけ比抵抗及び位相差の空間分布から、特に短周期側でMTLを境として比抵抗構造が、変化していることが明らかになった。さて、四国地方の震源分布は深さ $20\sim 23\text{km}$ を境として、浅い地震と深い地震の2つのグループにわかれている(岡野・木村, 1983, 第8図)。浅い地震はMTLより南側でやや南下がりに分布しており、起震主応力は東西方向である。一方、深い地震の震源分布は北下がりに分布し、その主応力は南北方向である。浅い地震・深い地震のどちらもMTLの北側には発生していない。このことは少なくとも地震が発生している深さまでは、MTLの南北で、地震学的すなわち力学的パラメータと電気抵抗という電磁気学的パラメータの両方がともに、異なった状態にあることを示している。このような状態が何によって生じているかを明らかにすることは今後の課題である。

塩崎(1993)は、四国地方中央部を南北に縦断する測線に沿って、広帯域MT観測装置(Phoenix, V5)を用いたMT観測を行った。そして次のような特徴を持つモデルを提唱している。①地殻下部が $10\text{k}\Omega\text{m}$ と高い比抵抗を示している。②中央構造線を境として比抵抗構造が変化している。③三波川帯の地下に $10\Omega\text{m}$ と低い比抵抗値を示す大きなブロックが存在する。④四万十帯の地下浅部に $10\Omega\text{m}$ と低い比抵抗値を示す層状のブロックが存在することが挙げられる。特に①は、Utada(1987)が示した東北日本の比抵抗構造と大きく異なり、西南日本弧と東北日本弧の本質的な違いを示す特徴として注目されていた。しかし、本研究結果は、下部地殻の比抵抗値はそれほど高くなく、むしろ東北日本で提唱されている程度の比抵抗値であることを強く示唆している。また、②のMTLを境として比抵抗構造が大きく変化していることは、本研究の短周期の結果でも明らかである。しかし、周期 2560 秒といった長周期側では、その様な変化は小さくなっており、比較的浅部に限った差異と思われる。塩崎モデルの③④については、本研究で扱った周期帯では十分な分解能がない。

本研究結果から得られたモデルと塩崎モデルとの間には、特に地殻下部から上部マントルにかけての比較的深部の構造に、いくつかの興味深い違いがあることが明らかになった。しかし、現時点では、モデル解析がまだ不十分であるので、両者の違いについては、定性的な議論しかできない。また、フィリピン海プレートとの比抵抗値・厚さともに大きすぎるかもしれない。これらの点については、今後研究を進めていきたい。

謝 辞

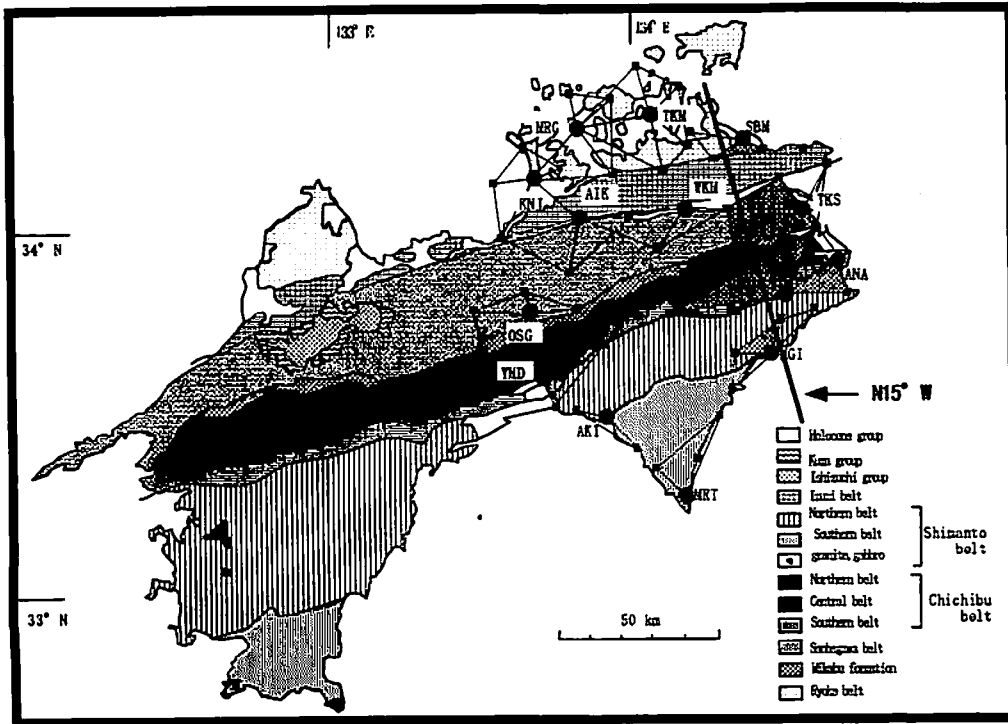
本研究を進めるに当たっては、N T Tの関係各位の甚大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。本研究に使用したデータの収集は、文部省科学研究費「総合研究(A)」(代表者：住友則彦)を使用して行った。

参考論文

- 岡野健之助・木村昌三、四国地方におけるVp/Vsと地震活動との関係、地震Ⅱ、36、431-437、1983
- 塩崎一郎、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、1993
- Uchida T. and Y.Ogawa, Development of Fortran Code for Two-dimensional Magnetotelluric Inversion with Smoothness Constraint, Geological Survey of Japan Open-File Report, No.205, 1993
- Utada, H., A direct inversion method for two-dimensional modeling in the geomagnetic induction problem, D. Sc. Thesis, Univ. Tokyo, 1987.
- Uyeshima, M., Application of Network MT method to the study of electrical conductivity structure in the central and eastern part of Hokkaido, Dr. Sc. Thesis, Univ. Tokyo, 235pp., 1990.

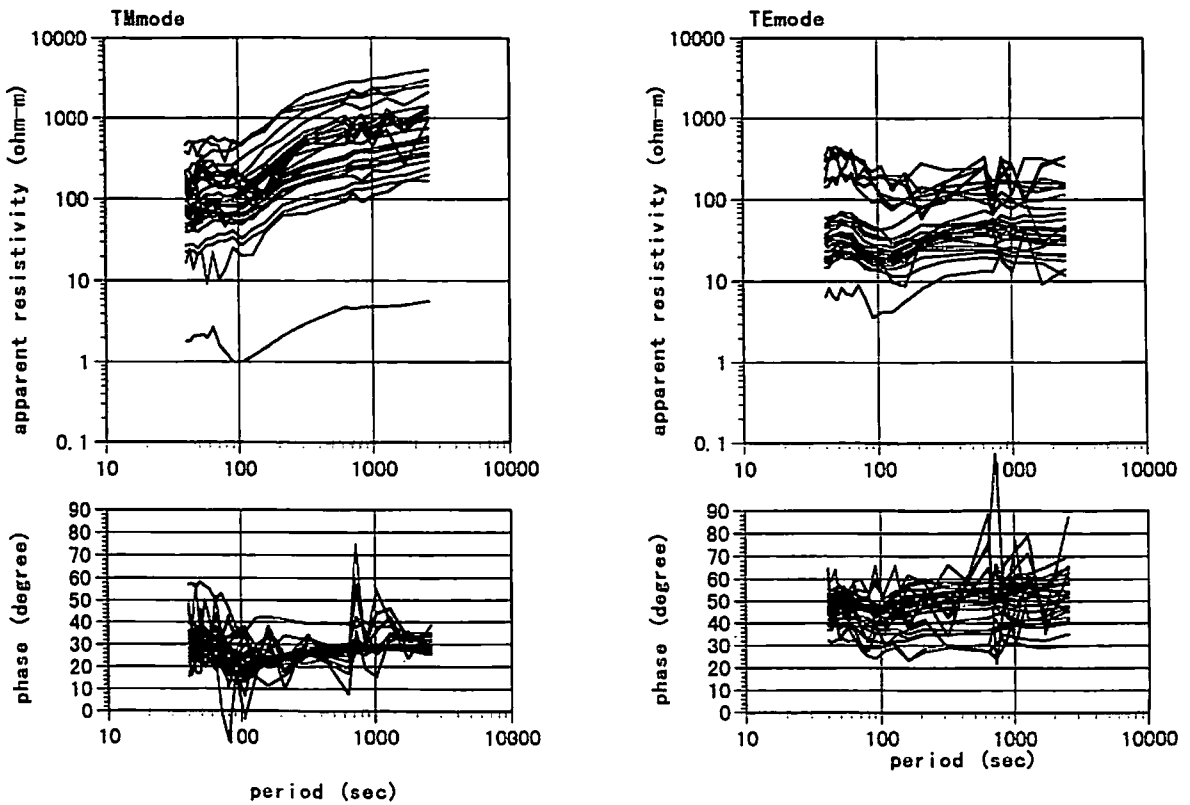
第1表 各観測点の観測期間・観測日数及び解析方法

Central Station	number of braches	obsavation period	length of data analised	Robust Processing	all day or night time
OSG	4	1994 Nov.-Dec.	29days	yes	all
YMD	4	1994 Nov.-Dec.	29days	no	all
AKI	2	1994 Nov.-Dec.	29days	no	all
MRT	3	1994 Nov.-Dec.	29days	no	all
MGI	4	1994 Nov.-Dec.	29days	no	all
TKS	6	1995 Feb.-jun.	43days	no	all
WKM	3	1995 Feb.-jun.	43days	no	all
SBM	3	1995 Feb.-jun.	86days	yes	night
TKM	5	1995 Jul.-Nov.	72days	yes	night
MRG	4	1995 Jul.-Nov.	72days	yes	night
ANA	3	1995 Jul.-Nov.	10days	no	all
NDN	2	1995 Jul.-Nov.	10days	no	all
AIK	3	1995 Jul.-Nov.	72days	yes	night
KNJ	4	1995 Jul.-Nov.	72days	yes	night

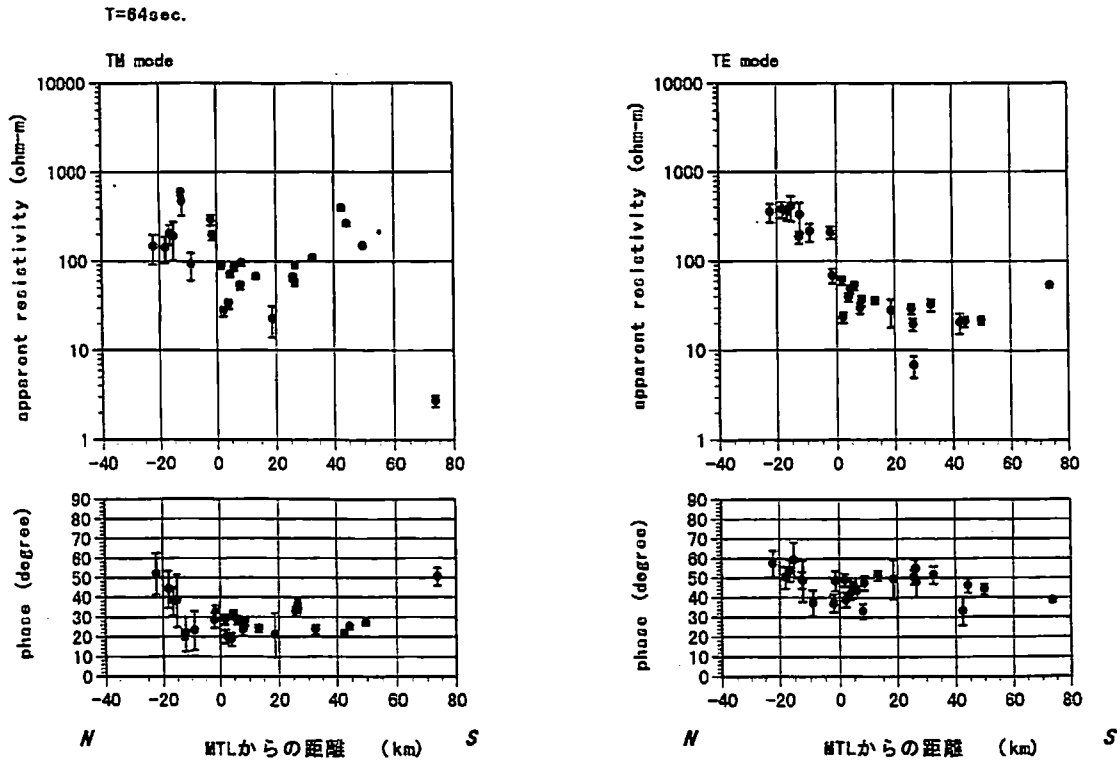


第1図 ネットワークMT観測の観測網配置図

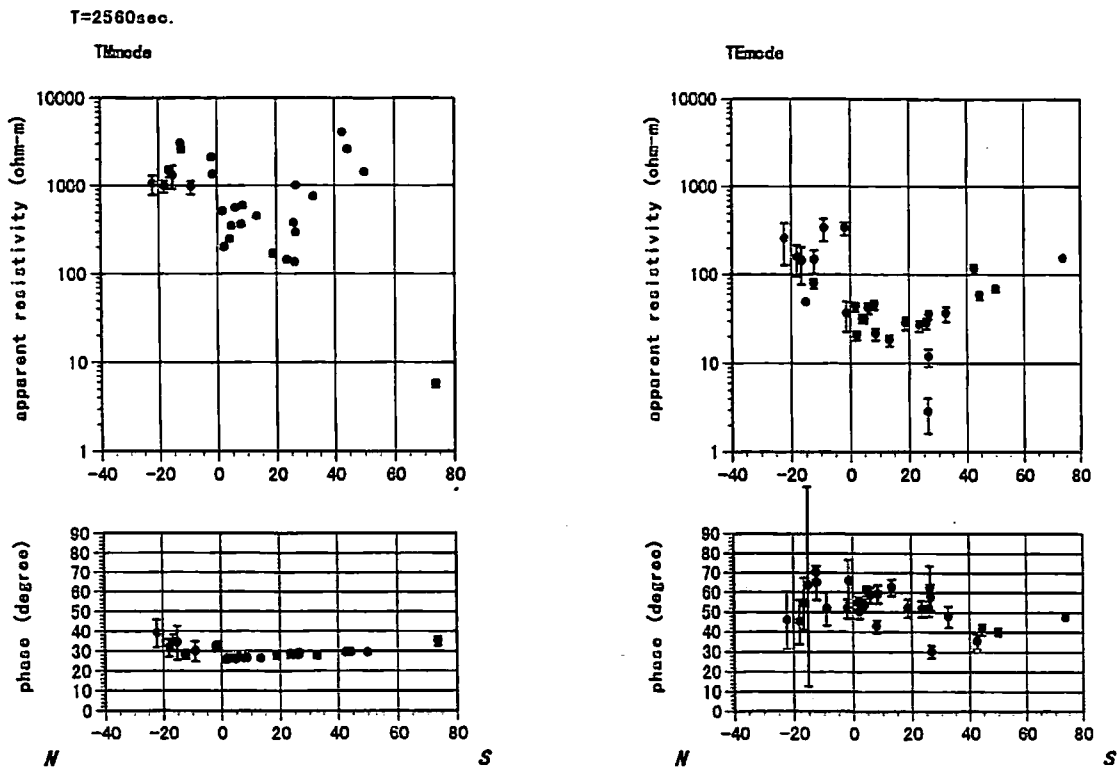
●はデータ収録装置を設置した中心局を、■は電極を配置した中継局を示す。
 四国東縁部を横切る直線は、2次元比抵抗モデルを決めた断面を示す。



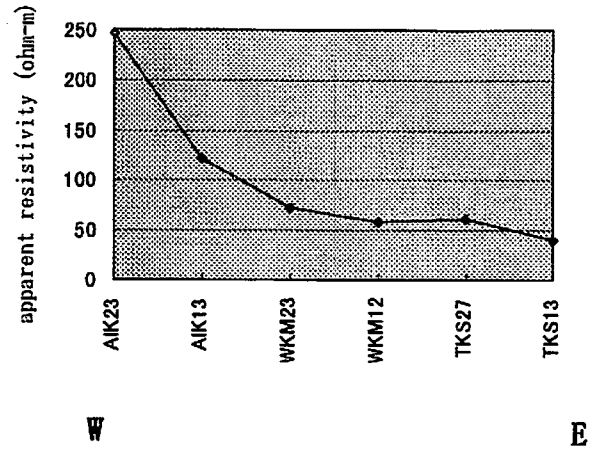
第2図 全三角地域のモード別見かけ比抵抗曲線及び位相差曲線。



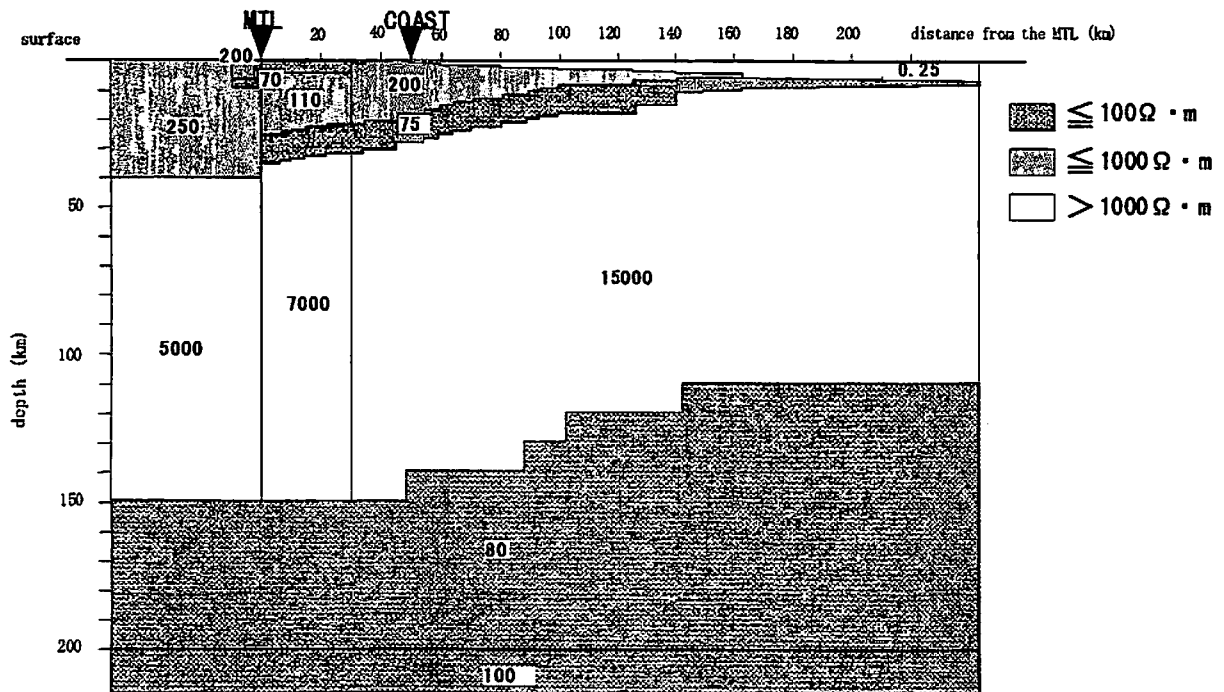
第3図 周期64秒の見かけ比抵抗及び位相差の南北分布
横軸は各三角地域の重心のMTLからの距離を示す。



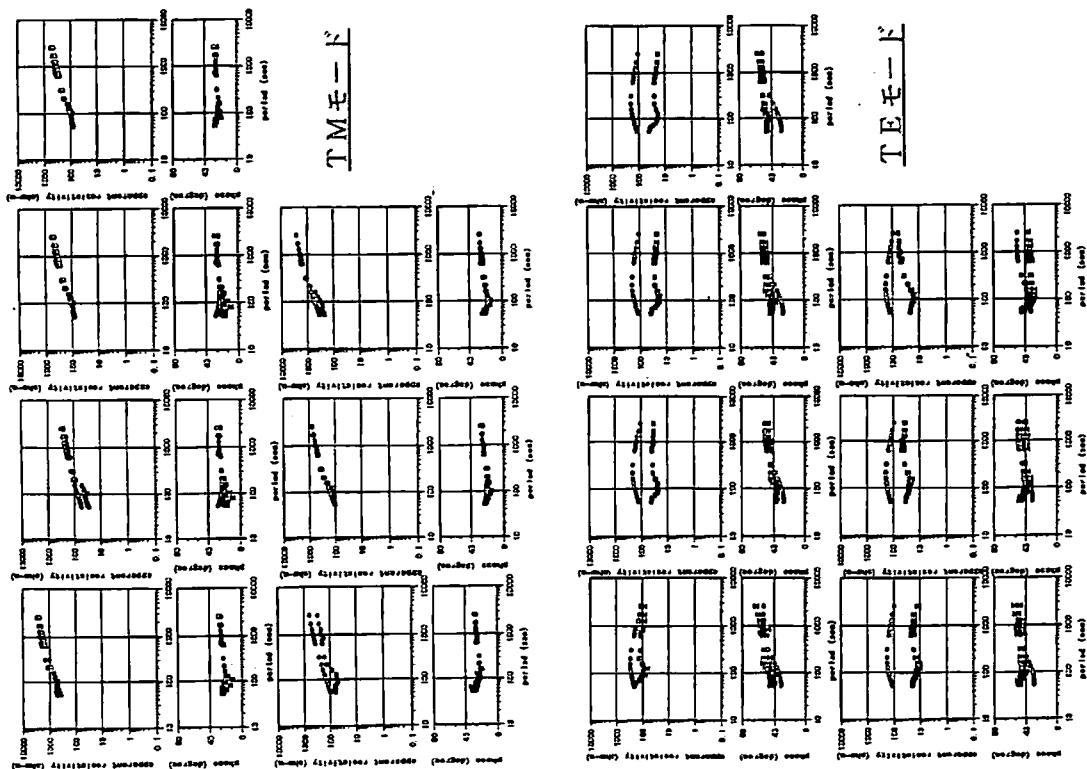
第4図 周期2560秒の見かけ比抵抗及び位相差の南北分布
横軸は各三角地域の重心のMTLからの距離を示す。



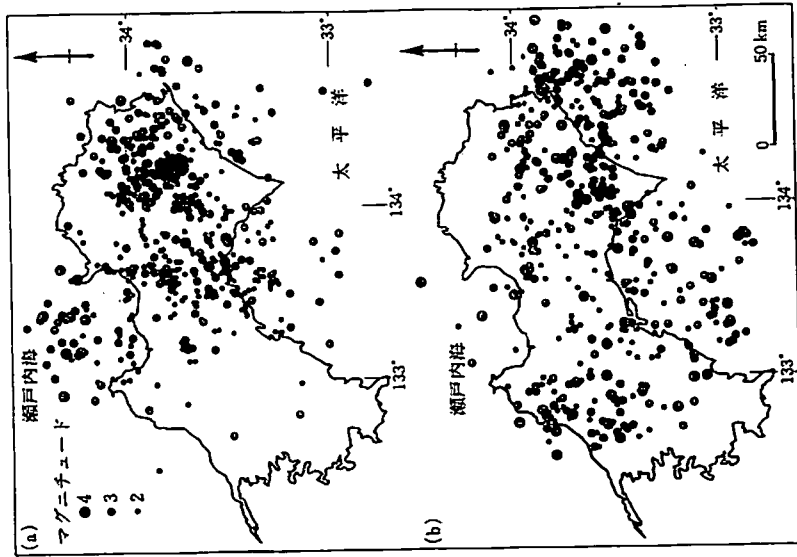
第5図 三波川帯の見かけ比抵抗東西プロファイル（周期64秒）



第6図 2次元比抵抗モデル計算より決められた、四国東縁部の地下比抵抗モデル
各ブロック内の数字は比抵抗値（ $\Omega \cdot m$ ）を表す。



第7図 2次元比抵抗 ρ_{2D} の観測値とモデル計算値
 黒丸は観測値を、白丸は計算値を表す。



第8図 四国地方の震源分布 (岡野・木村, 1983)
 上図は震源の深さが20~23kmより浅い地震の震源を、
 下図は震源の深さが20~23kmより浅い地震の震源を示す。