

# 1994 年地殻比抵抗研究グループ合同観測における 宮崎—水俣測線のMT比抵抗モデル

市來雅啓、大志万直人、住友則彦(京大防災研)、橋本武志(京大理)、  
槇野豊(神戸大理)、歌田久司、鎌山恒臣、宗包浩志(東大地震研)、  
岩切一宏(鹿児島大理)、地殻比抵抗研究グループ

**A resistivity model along the profile from Miyazaki to Minamata  
inferred from the MT data acquired in the 1994 RGCRS (Research  
Group for Crustal Resistivity Structure) cooperative observation.**

M. Ichiki, N. Oshiman, N. Sumitomo(DPRI, Kyoto univ.), T. Hashimoto(Kyoto univ.),  
Y. Makino(Kobe univ.), H. Utada, T. Kagiya, H. Munekane(ERI, univ. Tokyo),  
K. Iwakiri(Kagoshima univ.) and Research Group for Crustal Resistivity Structure

## 1. はじめに

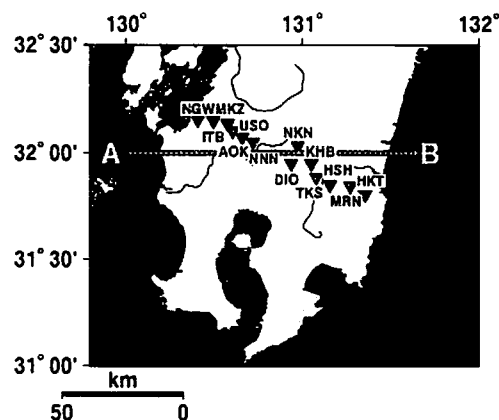
これまで日本列島を横断するスケールでの比抵抗構造を求めるための観測や解析が1980年代から盛んに行われてきている(笹井 1988, 1992)。このうちの多くは海溝軸に直行する方向に近い断面の構造が求められており、沈み込み帯に特徴的な比抵抗構造が明らかになってきた。その結果、例えば Okada(1977) などによる地震の変換波によって推定されたスラブ上面での薄い低速度層で、比抵抗が低くなっていることや、下部地殻付近に比抵抗の低い部分が存在する事が推定された(例えば Utada 1987, Ogawa 1992)。

九州地方に目を向けると、特に南九州地方のフィリピン海プレートの沈み込み帯では、比抵抗構造は半田他(1992)によって4観測点のデータによる1次元構造が求められており、南九州の沈み込み帯でもスラブの上面に低比抵抗層が推定されているが、まだ2次元の比抵抗構造解析は行われていない。また、九州地方の和達-ベニオフゾーンをみると、日本列島の沈み込み帯のいずれのものとも異なっており、極めて急角度の形状を示している(例えば、九州大学島原地震火山観測所 1994)。このことから、南九州地方の沈み込み帯の比抵抗構造が日本列島の他の沈み込み帯と異なる可能性があると考えられる。

1994年に地殻比抵抗研究グループは、加久藤カルデラの探査を主目的とした地球電磁気共同観測を行い、観測の一部として宮崎から水俣にかけての全13観測点でVLF-MT, ELF-MT, ULF-MTの観測を行った(第1図)。

今回このULF-MT, ELF-MTのデータを使用して頂き、南九州での沈み込み帯における2次元比抵抗構造を目的とした予備的な解析を行ったので報告する。

## 2. 解析手法



第1図: 1994年地殻比抵抗研究グループ合同観測観測点分布図。A-Bは第4図、第5図の断面の位置

MT における見かけ比抵抗と位相を求めるまでのデータ処理は、市來他 (1996) で報告した宮城県北部の解析にしたがった。ただし主軸の方向は Galvanic distortion を考慮してインピーダンス・テンソルの列ベクトルの位相が一致する方向から求めた (Bahr 1988, Chakraborti *et al.* 1992)。第 2 図は 4 観測点での 3 つの周期における主軸のローズダイアグラムを示したものである。主軸の方向は東西及び南北方向が卓越している。

さらに、主軸の走向に対する  $90^\circ$  の任意性を除去するため In phase のインダクション・アローを求めたものが第 3 図である。周期 128 秒に見られるように、測線中央部でのインダクション・アローはほぼ南南西方向を向いているが、空間、周期の全体的な傾向ではインダクション・アローは東西方向を向くものが卓越しているため、今回走向は南北であると定義して解析を進めた。

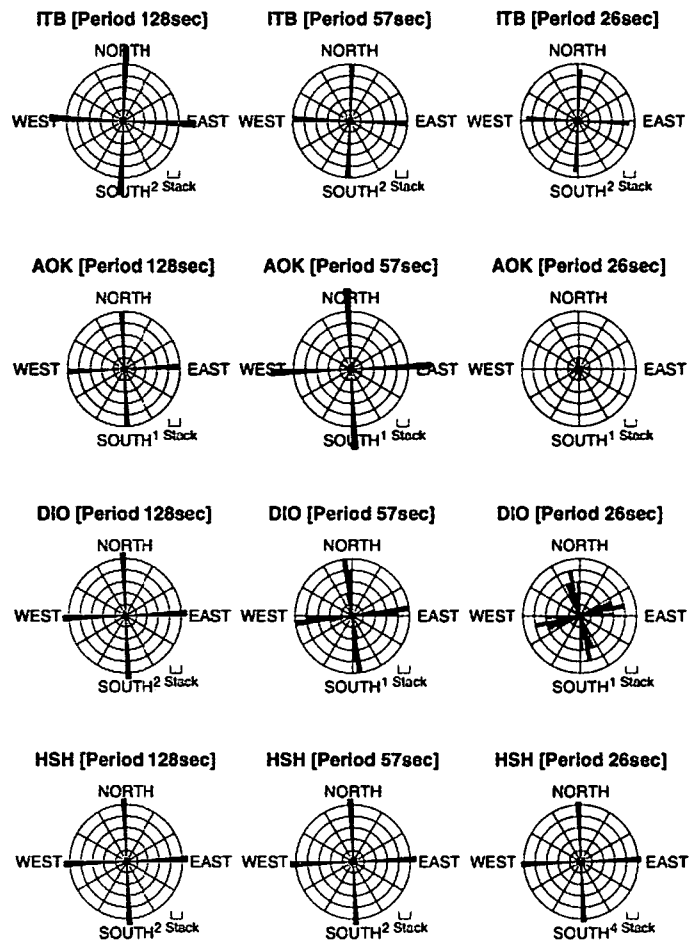
最後に TM-mode の見かけ比抵抗と位相のデータから、Uchida and Ogawa(1993) による平滑化制約付きインバージョンを用いて大まかな 2 次元比抵抗構造を推定した。Utada(1987) は東北及び中部地方の日本列島を横断する比抵抗

構造を求める際に、地震波速度構造で形状を固定して比抵抗値を求めるインバージョンを行った。しかし、南九州ではこれまで詳細な速度構造がまだ分かっていないので、地下の比抵抗が滑らかに変化するという仮定を置いた平滑化制約付きインバージョンを用いた。

なお、インバージョンの際には東シナ海は深さ 200m、日向灘は海岸から約 40km 沖合いまで深さ 400m、それより沖合いを 2000m とし、海水の比抵抗を  $0.3\Omega m$  として固定して解析を行った。

### 3. 解析結果

概略的な構造の傾向を見るために第 4 図に位相の擬似断面を示す。Static shift の補正を今回は行っていないので、その影響のない位相で傾向を見るためである。第 4 図は第 1 図の A-B 断面に各観測点の位相を投影したもので、横軸が距離、縦軸が周波数を対数スケールで表したものである。図中の黒い点で示したところが実際に位相を求めた点になり、それ以外の領域は補間している。上が TE-mode、下が TM-mode である。周波数が ELF の領域 (特に 8Hz 以上) では両 mode とも似たような傾向を示す。しかし ULF の領域 (特に 0.1Hz 以下) では TE-mode と TM-mode



第 2 図: インピーダンス・テンソルの主軸

で異なった傾向が見られ、さらに TM-mode でみると特に東側の低周波数領域で位相が小さいことなどから、東側の地下に 2 次元的な比抵抗の高い構造が存在することが示唆される。

擬似断面では周波数と深さの関係が非線形になっていることや位相で構造を見ているので、正確な比抵抗構造までは分からない。そこでフォワード  $\dot{c}$  モデリングやインバージョンを行って地下の深さと比抵抗値の関係である比抵抗構造を推定する。第 5 図がインバージョンによって推定された 2 次元比抵抗構造の結果である。全観測点の表皮深度は約 35 ~ 約 80km である。特徴としてはフィリピン海プレートと考えられる比抵抗の高いブロックが東側の下部地殻~上部マントル付近に推定されていることと、加久藤カルデラ周辺下における上部地殻~中部地殻付近に相対的に比抵抗の低い部分が推定されたことである。

推定されたモデルから計

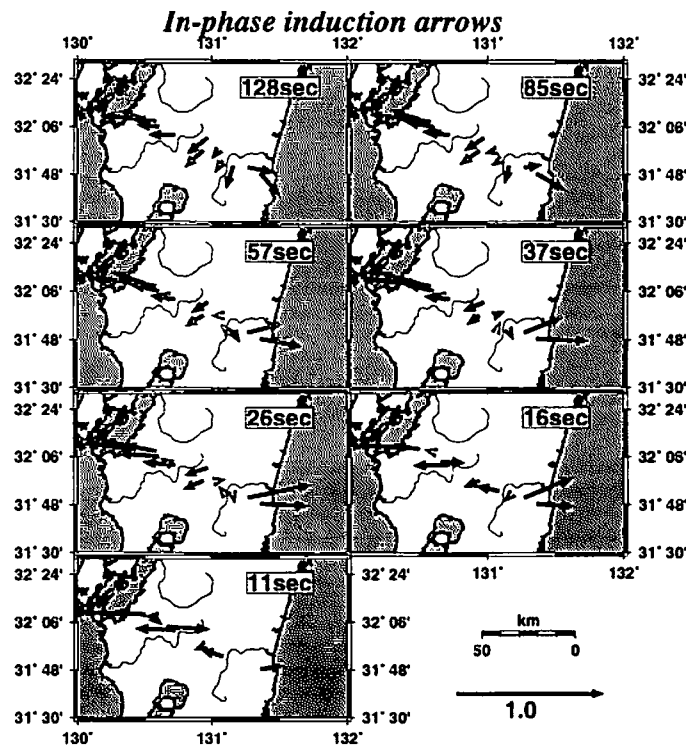
算される見かけ比抵抗と位相、および、おのこの観測値を、6 つの観測点について示したものが第 6 図である。比抵抗構造を固定した海に近い両端の観測点では、見かけ比抵抗の探索曲線の合いが良くないが、位相は全体の観測点で大体良く合っている。

#### 4. 考察

今回推定された比抵抗構造の特徴としてあげられる東側の地下数十 km の高比抵抗構造と加久藤カルデラ周辺下のやや低比抵抗帯について考察する。現在、予備的な解析の段階であり、これらの結果から詳細なテクトニクスを議論することは時期尚早と思われるので、解析上の考察を中心に述べる。

最初に東側の高比抵抗構造についてであるが、その直上である HKT の観測点ではあまり見かけ比抵抗の合いが良くなかった。HKT での見かけ比抵抗の理論値は、観測値に比べ極めて低く決められている。

HKT 周辺の推定された構造を見ると、表層が海の構造に引っ張られたせいか、1 $\Omega$ m を切った非常に小さな比抵抗値に推定されている。今回はモデルの感度チェックまで行っていないが、表層の低比抵抗帯にマスクされ、その下部の構造の感度が落ちる例は、Torres-Berdin and Bostick (1992) などにも述べられている。ただ位相を合わせるためにはやはりこの部分に高比抵抗帯が必要と考えられる。問題は表層が海の構造に引っ張られることであるが、原因はスムーズネスの制約からこのような結果になったと思われる。今後、メッシュの切り方等を考慮しこの辺りを特に



第 3 図: In phase インダクション・アロー

つめる必要がある。

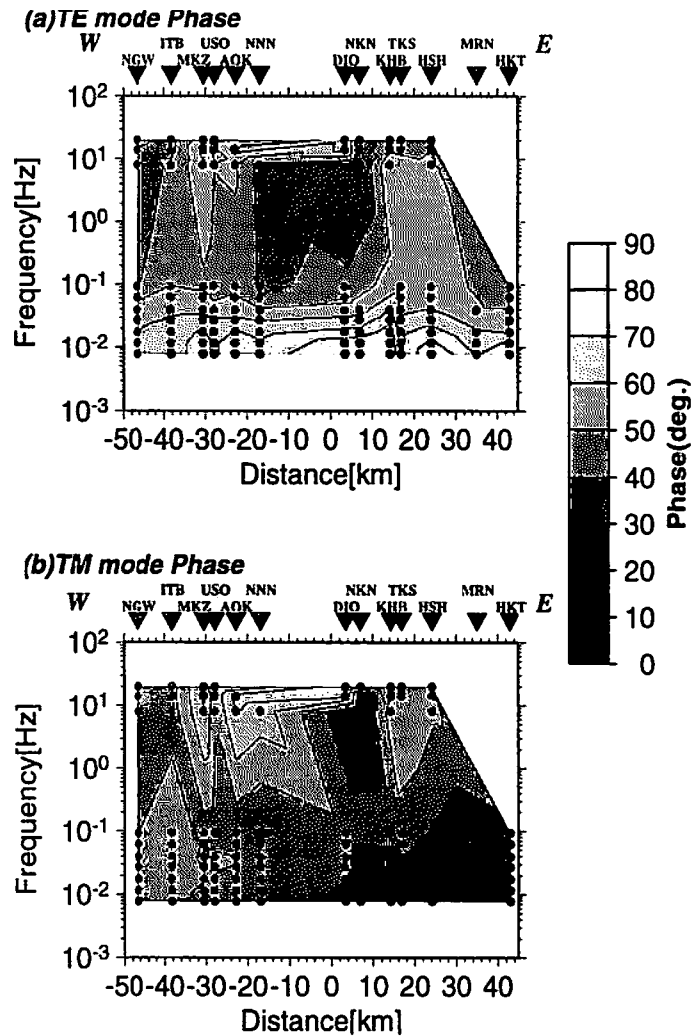
次に、加久藤カルデラ下のやや低比抵抗帯であるが、この辺りの構造としては例えば歌田他(1994)や鍵山他(1995)などが10kmほどの部分に比抵抗の低い構造を推定している。今回の結果では10km以浅に低比抵抗が推定されているが、この点はStatic shiftの補正を行わないと正確な深さと比抵抗値が議論できない。例えば1次元解析の例では、ある層の深さと比抵抗値の比が決まるのみである。そのために今回の結果では深さについては決定的なことは言えない。しかし定性的な判断ではあるが、相対的にはこの加久藤カルデラ周辺下は比抵抗が低くなっていて、スラブと思われる測線東側の高比抵抗構造の存在もほぼ間違いないと思われる。

最後に加久藤カルデラより西側の構造としてはとりわけ目立った特徴は見られなかった。しかし九州の背弧側ではHanda *et al.*(1992)によって、東シナ海付近に比抵抗の低い構造が推定されており、地下からの熱的な上昇があるのではないかと考えられている。したがって、今後この周辺の周期の長い部分までを解析して見る意義があると思われる。

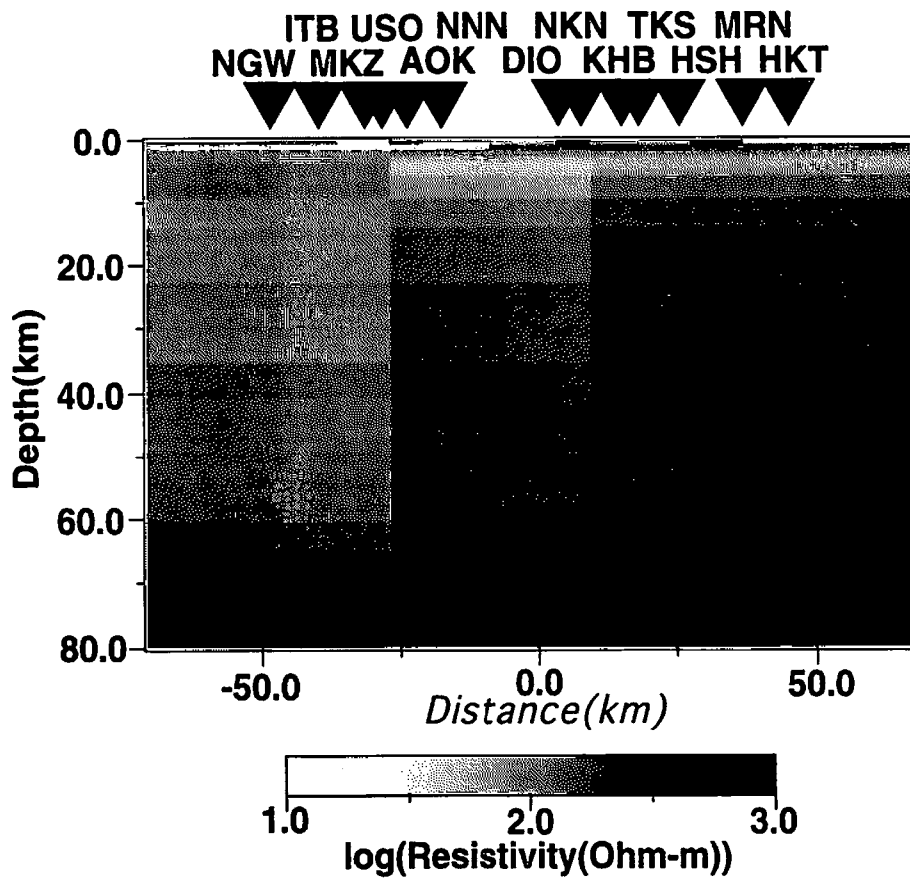
## 5. おわりに

予備解析の結果得られた今後の課題をあげる。1つはStatic shiftの補正である。小川(1996)によれば現在の段階でStatic shiftの補正としてキーベッドを用いる方法、EMAPを用いる方法インバージョンによって推定する方法、他の探査法による方法(特にCenter-Loop TEM)があげられている。今回の解析には間に合わなかったが、Static shiftの補正を目的としたCenter-Loop TEMを既に行っている。今後やるべきこととして最初にこのTEMの結果を用いてStatic shiftを補正することが最も重要と考えている。

2番目として長周期のデータ、および周期10秒～周波数10HzまでのDead bandのデータの取得である。それを行った上で、Utada(1987)が行ったような比抵抗構造の推定を行う必要がある。地震波速度構造については、現在OBSを用いた解析や、爆破地震などの解析から急速に南



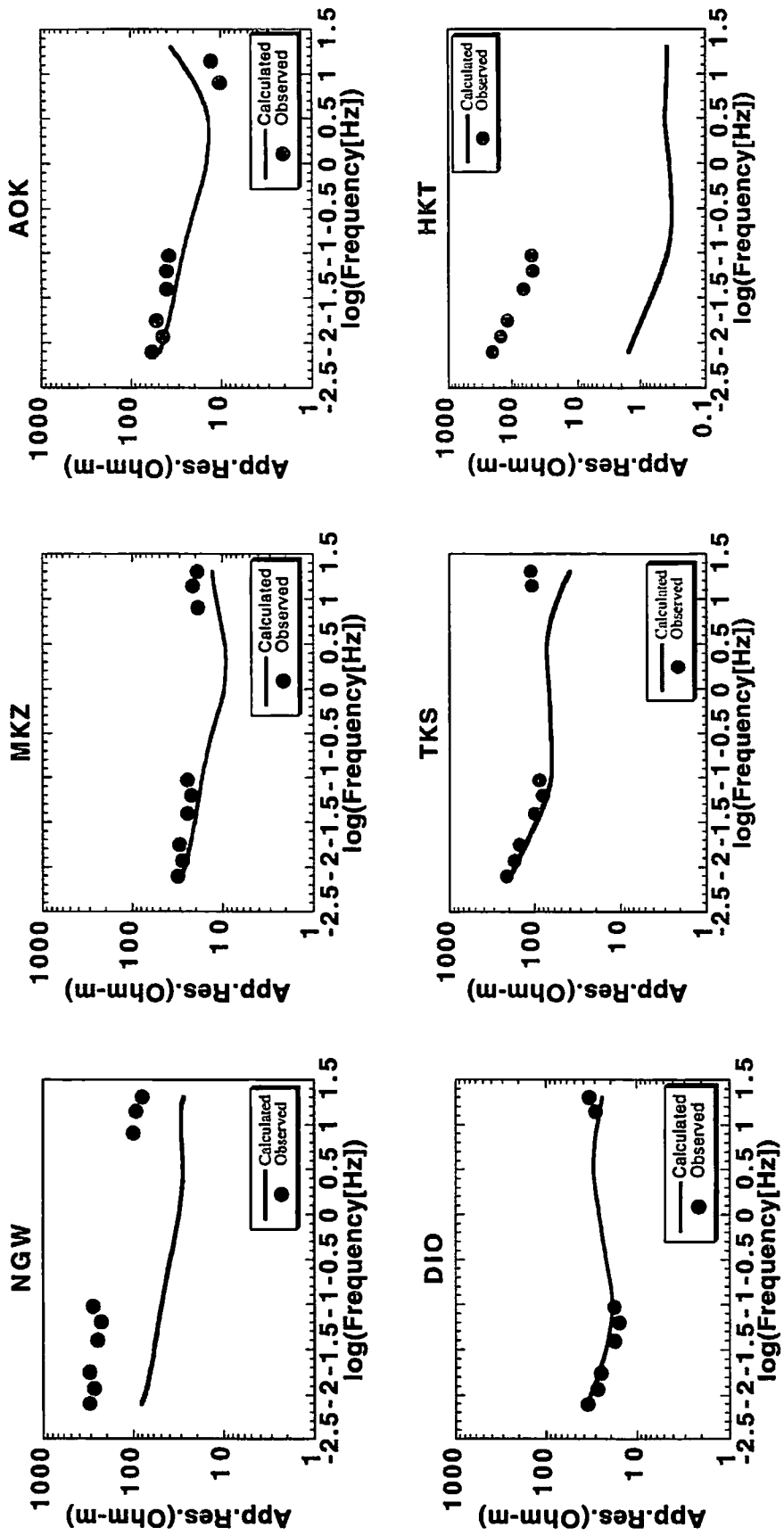
第4図: 第1図A-Bに沿った位相の擬似断面。図中の黒丸が実際に位相を求めた点で、そのデータを補間して擬似断面を作成している。



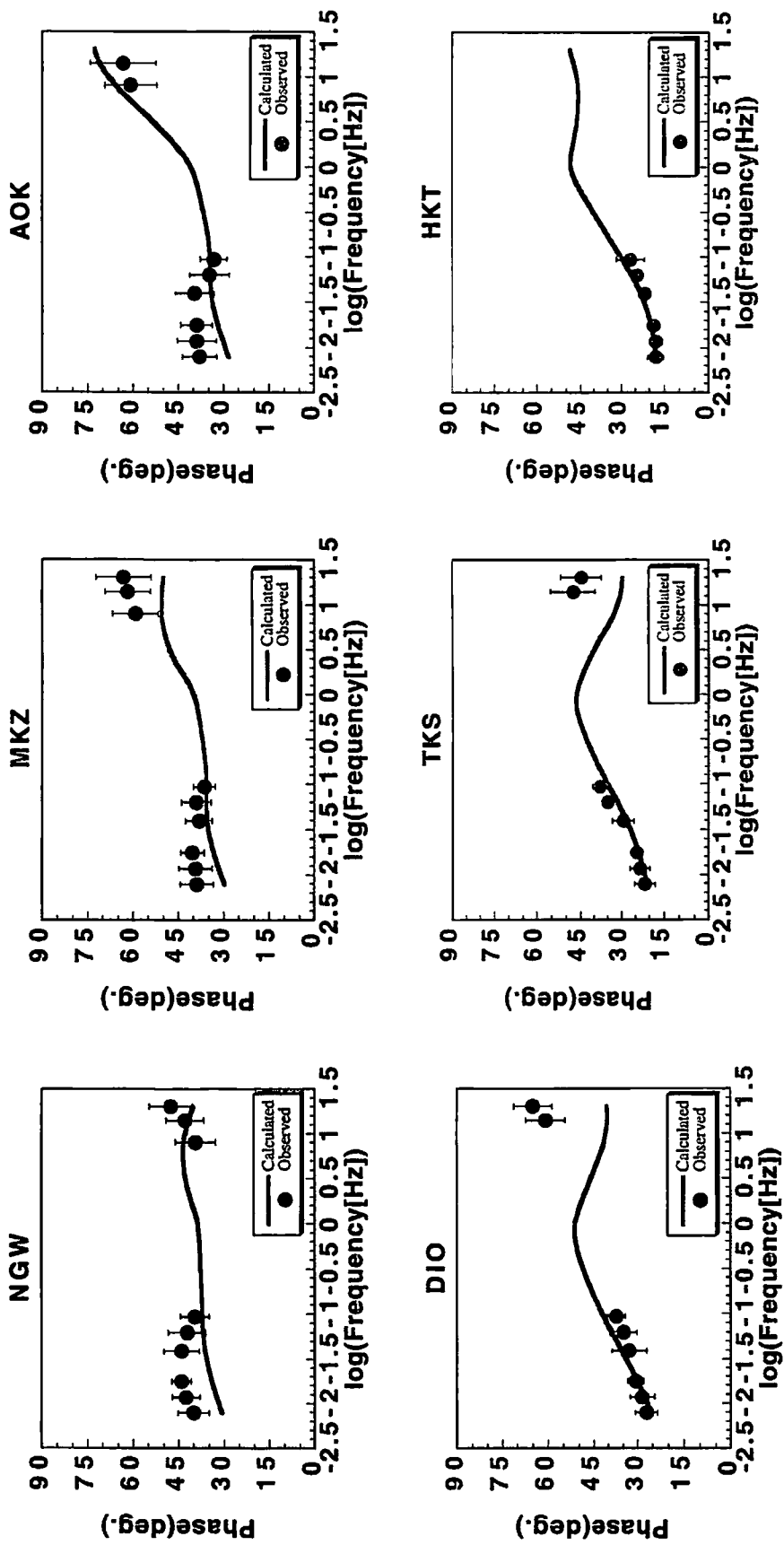
第5図: 第1図 A-B 断面に沿って推定された2次元比抵抗モデル

九州での速度構造が明らかになりつつある。このような状況を踏まえ是非スラブ上面の低比抵抗帯の検出の可能性についてのシミュレーション等も行いながら、急角度で沈み込んでいるスラブ近傍の比抵抗構造を明らかにしてゆきたい。

3番目としては、できれば東シナ海側からの熱の上昇を示唆する構造があるかどうかをターゲットにした観測もできれば行いたい。



第6図：TM mode見掛け比抵抗における計算値と観測値。黒丸が観測値で、曲線が理論値。



第6図 (続き) : TM mode位相における計算値と観測値。黒丸が観測値で  
 曲線が理論値。

## 文献

- Bahr, K., Interpretation of the magnetotelluric impedance tensor : regional induction and local telluric distortion, *J. Geophys.*, **62**, 119-127, 1988.
- Chakridi, R., M. Chouteau and M. Marschael, A simple technique for analysing and partly removing galvanic distortion from the magnetotelluric impedance tensor : application to Abitibi and Kapskasing data (Canada), *Geophys. J. Int.*, **108**, 917-929, 1992.
- Handa, S., Y. Tanaka and A. Suzuki, The electrical high conductivity layer beneath the northern Okinawa trough, inferred from geomagnetic depth sounding in northern and central Kyushu, Japan, *J. Geomag. Geoelec.*, **44**, 505-520, 1992.
- 半田駿, 鍵山恒臣, 田中良和, 南九州を横断する測線での GDS, MT 観測, 月刊地球, **14**, 541-545, 1988.
- 市來雅啓, 三品正明, 後藤忠徳, 大志万直人, 住友則彦, 地殻比抵抗研究グループ, MT 法による宮城県北部の比抵抗構造モデリング, 1996 年 CA 研究会論文集, 128-142, 1996
- 鍵山恒臣, 霧島-やや張力的応力場に生成した火山群, 地学雑誌, **103**, 133-144, 1994.
- 九州大学島原地震火山観測所, 地震予知観測の成果 (3)-近畿・中国・四国・九州・沖縄地域-, 国土地理院 (編), p79, 1994.
- 小川康雄, MT 法データのスタティック補正と 2 次元インバージョン, 1996 年 CA 研究会論文集, 33-36, 1996.
- Ogawa, Y., *Deep crustal resistivity structure revealed by wideband magnetotellurics, -Tohoku and Hokkaido region-, Doctoral thesis, Univ. Tokyo, 1992.*
- Okada, H., *Fine structure of the upper mantle beneath Japanese island arcs as revealed from body wave analysis, Doctoral thesis, Hokkaido Univ., 1977.*
- 笹井洋一, 地球電磁気探査-日本列島の電磁氣的地下構造-, 月刊地球, **10**, 194-200, 1988.
- 笹井洋一, 電磁気観測から推定される熱構造, 内陸地震発生の場合と物理シンポジウム論文集, 14-19, 1992.
- Torres-Verdin, C. and F. X. Bostick, jr., Principles of spatial surface electric field filtering in magnetotellurics, Electromagnetic array profiling (EMAP), *Geophys.*, **57**, 603-622, 1992.
- Uchida, T. and Y. Ogawa, Development of FORTRAN code for two-dimensional magnetotelluric inversion with smoothness constraint, *Open-file report, Geological Surv. of Japan*, **205**, 1993.
- 歌田久司, 鍵山恒臣, 霧島火山電磁気研究グループ, 霧島火山の深部比抵抗構造, 震研彙報, **69**, 241-255, 1994.
- Utada, H., *A direct inversion method for two-dimensional modeling in the geomagnetic induction problem, Doctoral thesis, Univ. Tokyo, 1987.*