

MT 法による千屋断層深部比抵抗構造

高橋幸恵・西谷忠師（秋田大学）・地殻比抵抗研究グループ

Resistivity structure of Senya-fault area using magnetotelluric method

Y. Takahashi, T. Nisitani (Akita Univ.), Research Group for Resistivity Structure

1. はじめに

千屋断層は、秋田県仙北郡にあり、秋田県東部脊梁山地の西縁に沿って南北方向に走る 20 数 km の逆断層である。この断層は 1896 年の陸羽地震（M7.2）の際に 2~3m の落差を生じた地震断層である。本論文では地殻比抵抗研究グループによる共同観測のデータを用いて、千屋断層をはじめとする秋田県本荘市から岩手県花巻市までの断層の深部比抵抗構造を明らかにするため、2 次元解析を行う。また、得られた比抵抗構造と地震活動を比較する。

2. 観測概要

観測地域は、秋田県の千屋断層を中心に東西方向に伸びている。観測点は秋田県本荘市から岩手県花巻市まで、脊梁山地を横切るように 35 点設置した(第 1 図)。測線長は約 90km に及び、この測線を 3 回（31 日間）にわたって観測した。

第 1 回目の観測は 1998 年 9 月 23 日から 10 月 4 日まで行った。観測地域は秋田県大曲市から岩手県花巻市までの区間で、観測点は 15 点設置した。第 2 回目の観測は 1999 年 6 月 15 日から 6 月 24 日まで行った。観測地域は第 1 回目の観測と同じ地域である。観測点は 9 点設置し、そのうちの 2 点は第 1 回目の観測点の再測点である。その他の 7 点の観測点は、第 1 回目の観測点の間を埋めるように位置している。

観測に用いた機器は PHOENIX 社の V5, MTU5, MTU2E である。V5 と MTU5 は磁場 3 成分と電場 2 成分を測定することができる。また、MTU2E は電場 2 成分のみを測定する。

3. データ処理

観測データに含まれているノンコヒーレントノイズを減少させ、S/N 比を向上させるために、以下に記述する処理を行った。

3. 1 リモートリファレンス処理

観測点からある程度離れた場所にリモートリファレンス点を設け、同時観測する。このリモートリファレンス点の磁場データと観測データを相互処理することにより、観測データの S/N 比を向上させる処理である。観測点の磁場データとリモートリファレンス点の

磁場データには、それぞれ違った時刻にノイズが記録されていても、相互処理することによりこれらのノイズを減少させることができる。

3.2 データの合成

同一観測点で数日間観測を行うと、1つの観測点について複数の観測データが作成されることになる。これらを周波数領域でたし合わせる処理である。最終的に1つの観測点につき1つの観測データとなり、この観測データではシグナルの周波数成分は大きく、ノイズの周波数成分は小さくなる。

3.3 データの編集

探査曲線とエラーバーは、その周波数における見かけ比抵抗値の平均値と分散を表している。この平均値から大きく離れているデータを削除する処理である。観測データにこの処理を施すとエラーバーが小さく滑らかな探査曲線を描くデータを作ることができる。しかし、この処理は解析者の判断に基づくものであるため、処理後のデータに個人差が出てしまう。

4. 2次元解析

S/N 比の向上したデータを用いて、2次元逆解析を行い、2次元比抵抗断面図を作成する。2次元逆解析は、市販の解析ソフト Geotools に含まれている RLM2DI プログラムと Occam's Inversion プログラムを用いた。ここでは特に RLM2DI プログラムによる結果を取り上げる。

RLM2DI プログラムの特徴を知るためにモデル計算を行った。与えたモデルは第2図に示すように 180 Ω m の均質な媒質中に 10 Ω m の低比抵抗物質のブロックが存在している構造である。ブロックの大きさは、4.5km \times 4.5km, 7.5km \times 10.5km, 10km \times 15km である。モデル計算は TM モードのみを用いて解析した場合と、TE モードと TM モードを用いて解析した場合について行った。

第3図は TM モードのみで解析した結果である。深さ 10km までは与えたモデルを良く再現している。しかし、深さ 20km から 30km では、低比抵抗物質の位置はぼやけ、比抵抗値も再現しきれしていない。また、第4図は TE モードと TM モードを用いて解析した結果である。こちらも深さ 10km まではモデルを非常によく再現している。深さ 10km から 20km では、測線中央部において低比抵抗の位置も比抵抗値も良く再現している。深さ 20km から 30km では TM モードのみの解析結果よりは改善されている。

5. 結果と考察

2次元比抵抗断面図は、測線の中で最も西に位置する測点 310 と最も東に位置する測点 015 を結んだ直線で作成した。RLM2DI プログラムによる TM モードのみを用いた解析結果を第5図に示す。

5. 1 断層の比抵抗構造について

乗富（1982）は千屋断層の電磁気調査を行い、断層に伴う破碎帯の部分では、低い比抵抗と高い位相差で特徴づけられることを明らかにした。この考えを基本として本研究で得られた結果を考察する。低比抵抗領域と断層が関係すると考えれば、得られた低比抵抗領域のほとんどを説明することができる。

作成した2次元比抵抗断面図の低比抵抗領域を東側から検討する。測点015から231にかけて西下方向に延びる低比抵抗領域は、北上低地西縁断層帯に対応する。この断層は比抵抗コントラストから深さ5~6kmにまでおよんでいることがわかる。測点001付近から東下に延びている低比抵抗領域は横手盆地東縁断層帯に属する千屋断層に対応する。千屋断層は東側が上部に押し上げられた逆断層で、深さは7~8kmに達している。測点400付近には滝ノ沢断層をはじめとする、小規模な断層が多数存在している。測点340付近の低比抵抗領域付近の構造は、鳥田目断層群に対応する。この断層群は東側が上部に押し上げられた逆断層で、深さは6~7kmまで達している。測点310付近の低比抵抗領域は北由利衝上断層群に対応する。この断層群も東側が上部に押し上げられた逆断層で、深さは4~5kmである。両者とも逆断層の傾向は比抵抗構造から明らかである。

5. 2 上部地殻と下部地殻の差異について

乗富（1982）は、千屋断層を境に東西で比抵抗構造に大きな差異があることを明らかにしている。その結果によると、(1) 断層の東側では地表付近に火山岩の影響で局部的な比抵抗異常が大きく現れるが、(2) 200m以深では150~350 Ω m程度の均質な構造になる。一方、(3) 西側では20~50 Ω mの低比抵抗物質が500~1000mの深さに分布している。乗富（1982）の出した上記(1)~(3)の結果は、1000m以浅の比抵抗構造についてである。第5図でも上部地殻において千屋断層を境に東西で比抵抗構造が大きく異なった傾向を示していることがはっきりとわかる。この傾向は乗富（1982）の結果とほぼ一致していると言える。

また、下部地殻について第5図ではある程度一様な構造を示している。しかし、TMモードのみの解析では深さ20kmから30kmの構造が再現しきれていない可能性がある。より正確な比抵抗構造を求めるためには、TEモードとTMモードの両方を用いた解析が必要であるかもしれない。

5. 3 地震活動との対比

続いて、地震活動と比較する。震源データは1997年10月15日~1999年6月25日までの期間で、北緯39°21'~39°32'、東経139°45'~141°15'で囲まれる地域のデータである（浅野（私信）による）。地震の震源は千屋断層に対応する低比抵抗領域やその延長上、また、北上低地西縁断層帯に対応する低比抵抗領域やその延長上に集中している。これらの低比抵抗領域の延長上には高比抵抗領域との境界があり、震源は低比抵抗領域と高比抵抗領域の境界付近に集中しているということもできる。

6. まとめ

本研究は、広帯域MT法を用いて地下構造探査を行うことにより、千屋断層をはじめとする東北地方北部にある断層の深部比抵抗構造を明らかにした。これらの断層の特徴を以下に示す。

1. 断層の比抵抗構造について

- ・断層は低比抵抗領域としてとらえることができる。
- ・千屋断層の破碎帯は深さ7~8kmまで続いている。

2. 上部地殻と下部地殻の差異について

- ・上部地殻では千屋断層を境に比抵抗構造が東西で異なる。西側では低比抵抗を示し、東側では高比抵抗を示す傾向がある。
- ・下部地殻は上部地殻に比べてある程度均質な比抵抗構造を有する。しかし、この結果はTMモードのみを用いた解析結果である。TEモードとTMモードの両方を用いた解析を行うことによって、より正確な構造を求めることが期待できる。

3. 地震活動との対比

上部地殻で起こる地震の震源は

- ・断層の破碎帯を表している低比抵抗領域の延長上に多く、これは低比抵抗領域と高比抵抗領域の境界付近に集中しているとも言える。

謝辞

本研究を行うにあたり、多くの方々の御協力と御助言をいただきました。地震震源データを提供して下さった東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター、三品正明博士には厚く感謝いたします。地殻比抵抗研究グループの皆様にも御助言をいただき、深く感謝しております。

参考文献

秋田県 (1978) : 秋田県総合地質図幅, 大曲.

秋田県 (1975) : 5万分の1総合地質図幅, 六郷.

物理探査ハンドブック (1998) : 物理探査学会, no.3, pp.297-398.

地質調査所 (1977) : 地域地質研究報告, 本荘地域の地質.

De-Groot-Hedlin and Constable (1990) : Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data, *Geophysics*, vol.55, no.12, pp.1613-1624.

本蔵義守 (1991) : 日本列島の地震, 地震工学と地震地体構造, 萩原尊禮編, pp.113-143.

村上 裕 (1987) : ポスティックインバージョン, 物理探査, vol.40, pp.282-291.

中川徹, 小柳義夫 (1982) : 最小二乗法による実験データ解析, 東京大学出版会, p.206.

乗富一雄 (1982) : 地球電磁気学的手法による断層活動度の研究, 文部省科学研究費, 自然災害特別研究研究成果, 自然災害科学総合研究班, no.A-56-2, pp.58-91.

力武常次 (1972) : 地球電磁気学, 岩波書店, p.472.

Ogawa Y. (1987a) : Two-dimensional resistivity modeling based on regional magnetotelluric survey

in the northern Tohoku district, northeastern Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, vol.39, pp.349-366.

Ogawa Y. (1987b) : Preliminary interpretation on detailed magnetovariational profilings in the northern Tohoku district, *J. Geomag. Geoelectr.*, vol.39, pp.559-569.

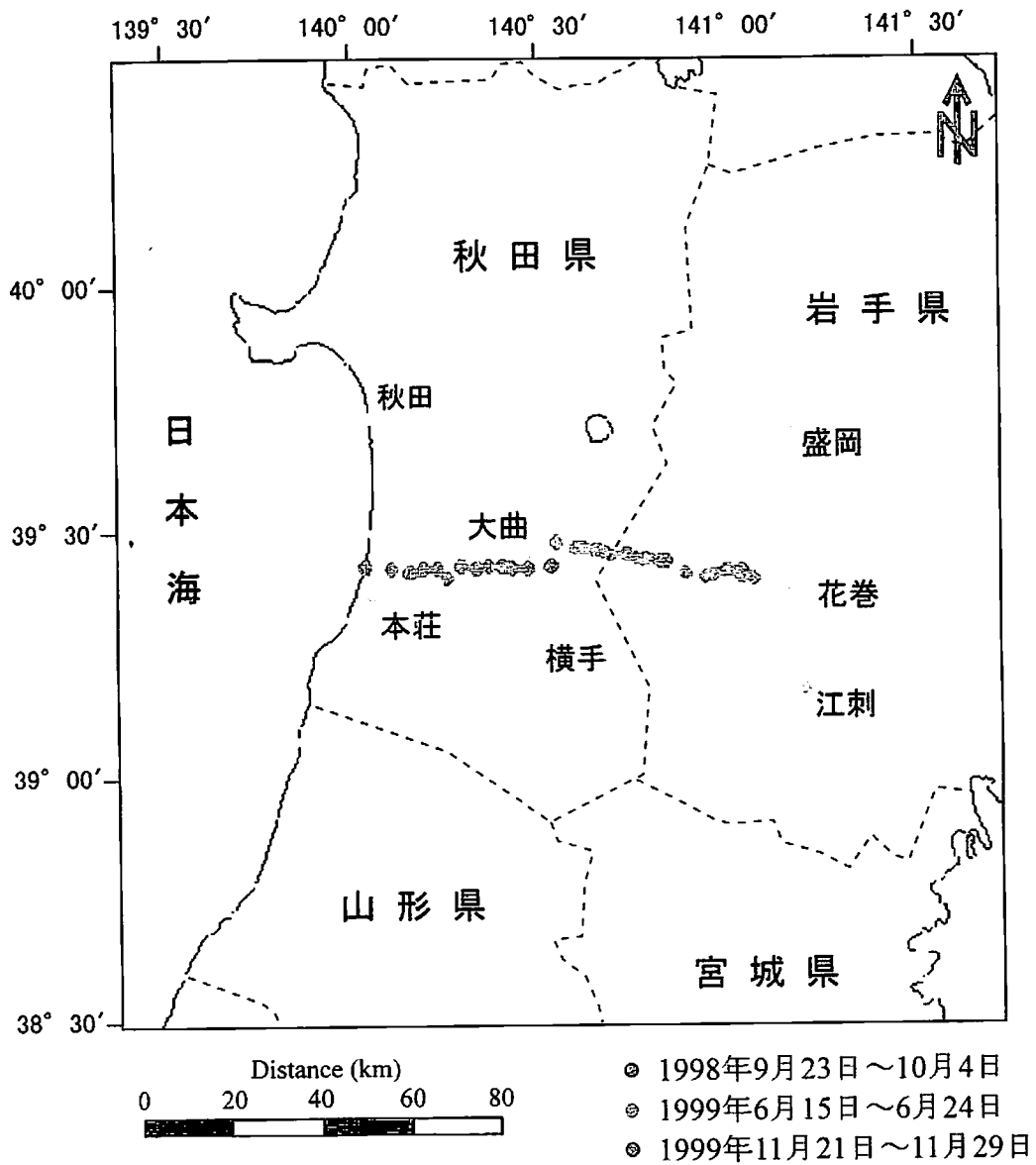
小川康雄, 三品正明, 1998年電磁気共同観測 MT データ整理委員会 (1999) : MT 法による奥羽脊梁山地の地殻構造探査, 月刊地球号外, no.27, pp.88-92.

Ogawa Y., T. Yukutake, and H. Utada (1986) : Two-dimensional modeling of resistivity structure beneath the Tohoku district, northern honshu of Japan, by a finite element method, *J. Geomag. Geoelectr.*, vol.38, pp.45-79.

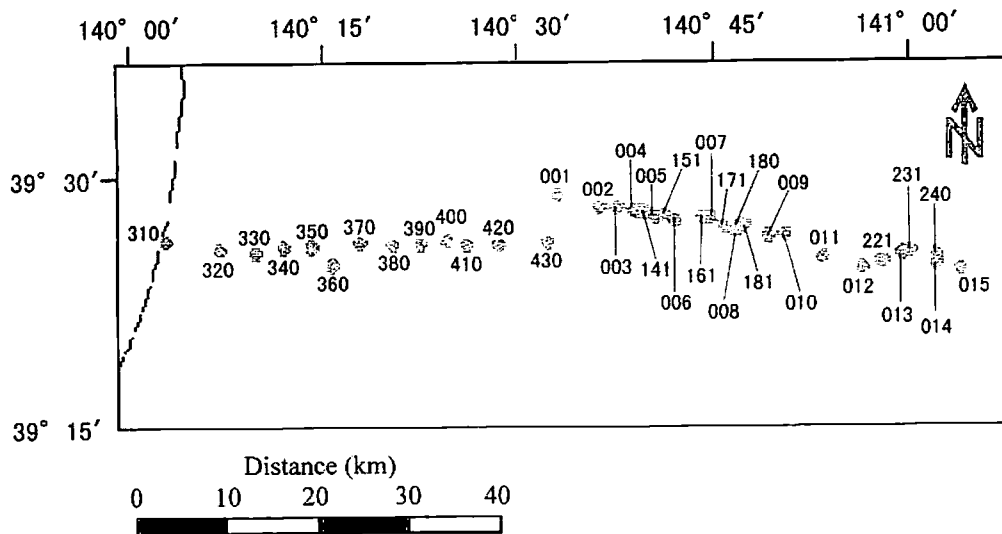
Randall Mackie, Shirley Rieven and William Rodi (1997) : Two-Dimensional Inversion of Magnetotelluric data.

佐藤比呂志, 半田 直 (1998) : 活断層の深部構造と日本列島の成立, 科学, vol.68, no.1, pp.63-71.

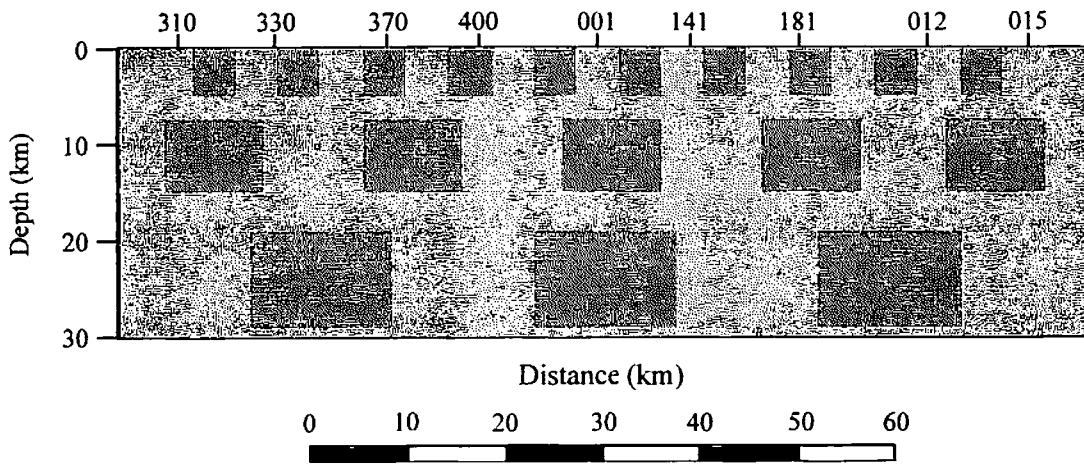
地殻比抵抗研究グループ (1999) : 広帯域 MT 法による千屋断層深部比抵抗構造調査(序報), 京都大学防災研究所年報, 第 42 号.



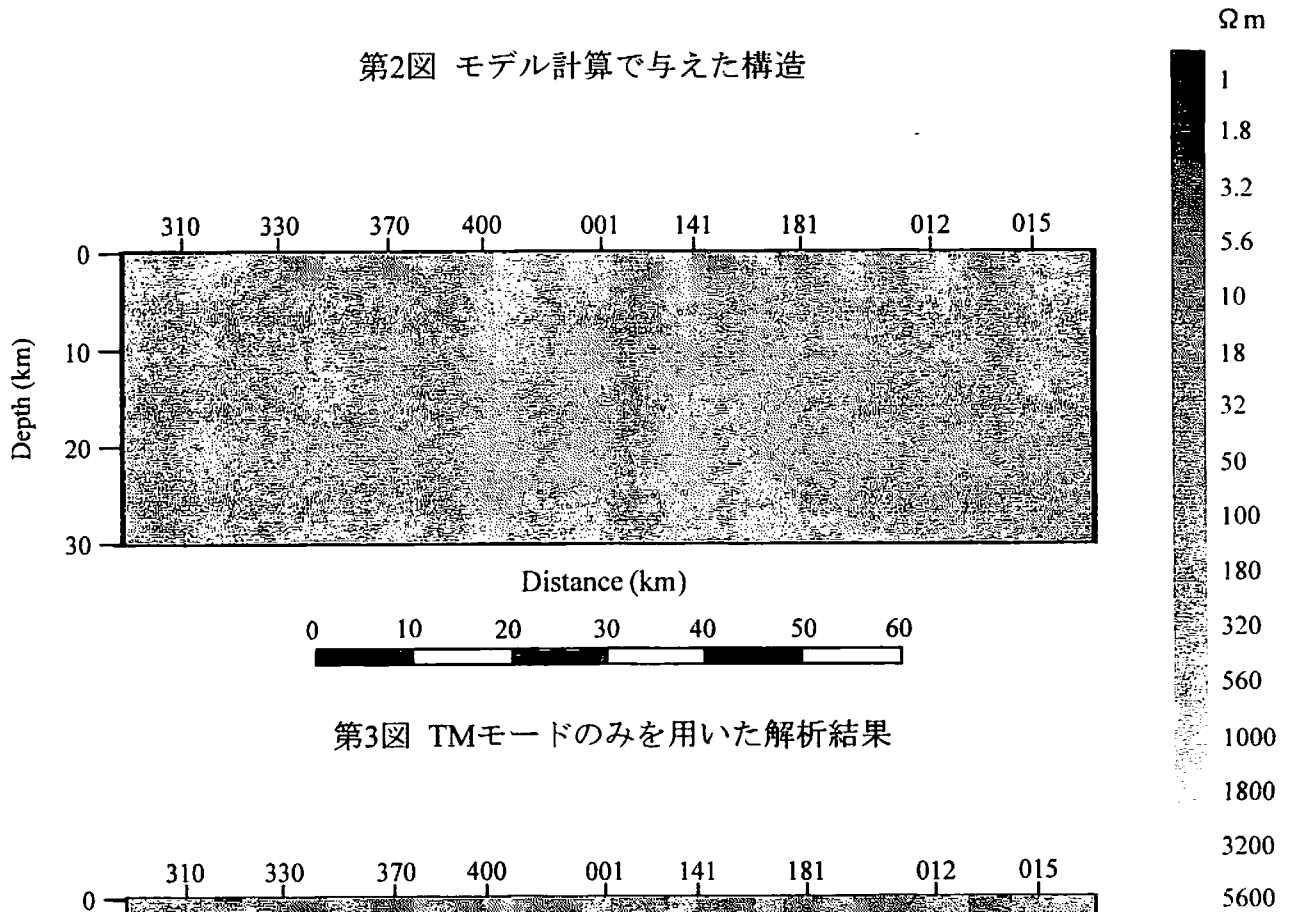
測点付近拡大図



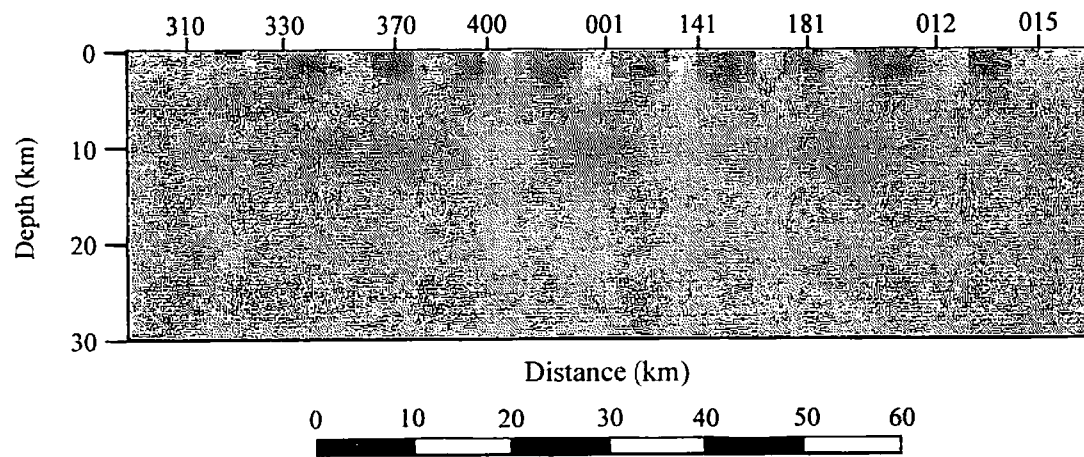
第1図 観測地域と測点配置図



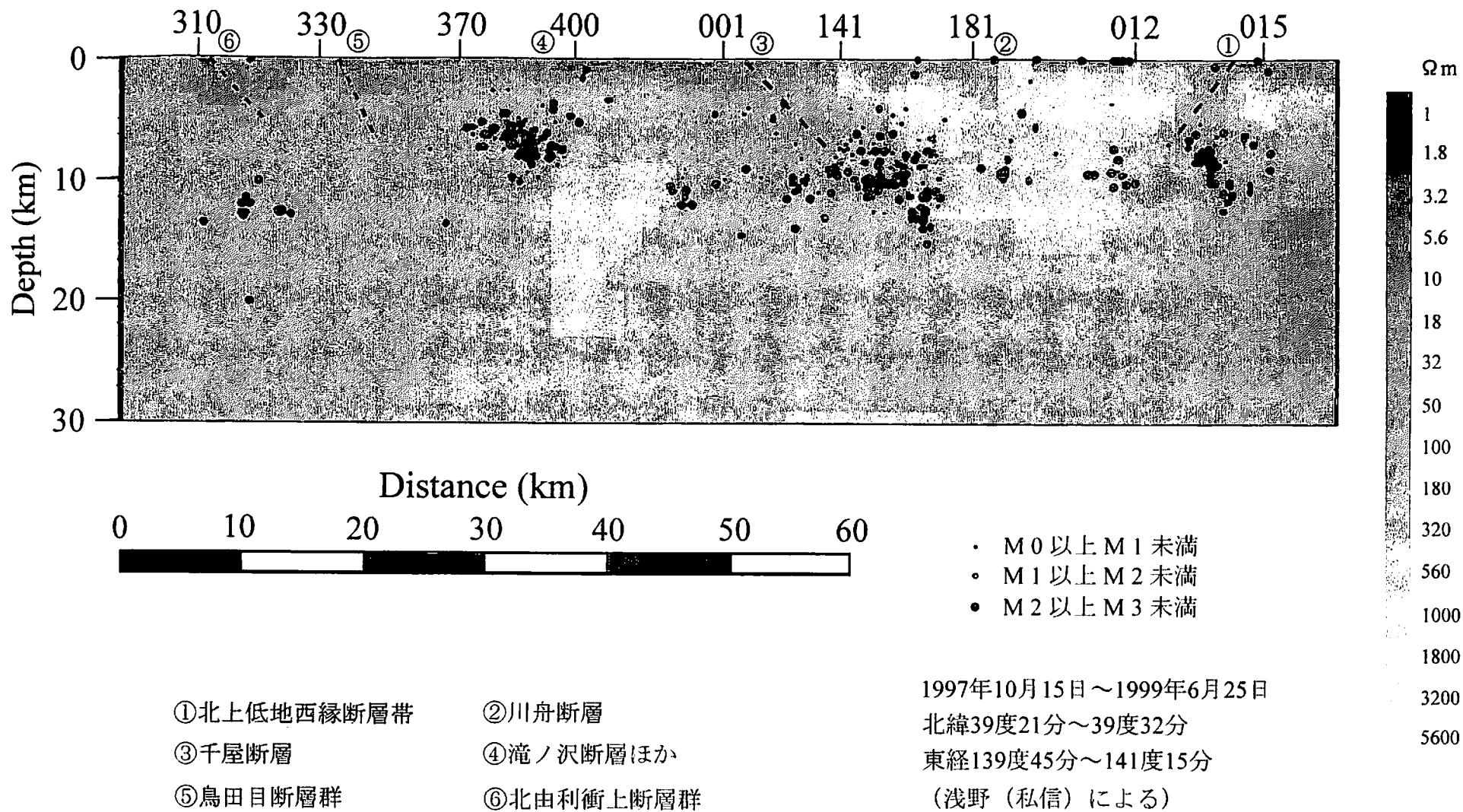
第2図 モデル計算で与えた構造



第3図 TMモードのみを用いた解析結果



第4図 TEモードとTMモードを用いた解析結果



第5図 RLM2DIによるTMモードのみの解析結果