

ネットワークMTデータによる東北地方の誘導電場分布

長尾栄広・三品正明 (東北大理), 上嶋 誠 (東大地震研), 西谷忠師 (秋田大鉱山)

The electric field of induced current inferred from Network-MT in the Northeastern Japan

T. Nagao, M. Mishina (Fac. Sci., Tohoku Univ.), M. Uyeshima (ERI, Univ. Tokyo),

T. Nishitani (Mining Coll., Akita Univ.)

1. はじめに

1994年に開始された、東日本におけるネットワークMTの観測は、1997年まで継続され、秋田、岩手、山形、宮城の4県をおおうデータの取得がほぼ終了した。その観測の状況と結果については、上嶋・他^{1,2)}などに報告されている。また、上嶋³⁾にも指摘されているように、一般のMT観測が小規模の比抵抗分布によるスタティック効果を受けるように、ネットワークMTによるMTインピーダンスも陸上の大規模な比抵抗分布の影響によるスタティック効果を受ける。また、周囲の海水・海底地形の影響をも強く受けている。MTインピーダンスに対する、海陸分布、表層の比抵抗分布、電磁氣的ノイズなど地下深部の比抵抗構造以外の効果は、地表面で観測される電場の歪みとして観測される。ここでは、岩手・秋田両県下におけるデータをもとに、磁場変化に誘導される電流のつくる電場の分布を調べた結果を報告する。この解析は深部比抵抗構造の研究に先だてて実施されたもので、深部構造の解析にあたって考慮すべき構造の二次元性、三次元性についての先験的な情報となるものである。

2. データ

解析は岩手・秋田両県内で行われた24ネットの記録について行われ、それぞれ10秒サンプリングのデータ1ヶ月分を用いた。観測は両県とも2つの時期に分けて行われていて、電位測定電極はすべてNTTの通信用アースが用いられた。解析した期間は、秋田第1期の横手、湯沢、本荘、鷹巣、能代の5ネットが1996年1月1日から31日、秋田第2期の秋田、男鹿、大曲、角館、大館、鹿角の6ネットが1996年5月1日から31日、岩手第1期の二戸、岩手、盛岡、花巻、北上、遠野、久慈、岩泉、宮古、釜石の10ネットが1996年8月1日から31日、岩手第2期の一関、水沢、大船渡の3ネットが1996年12月1日から31日である。電極の配置を第1図に示す。

参照磁場は、1・5・8月は気象庁地磁気観測所(柿岡)の、12月は国土地理院水沢測地観測所(江刺観測場)のそれぞれ毎秒値を使用した。

3. 解析の手順

磁場変動に対する誘導電場はMTインピーダンスから計算できる。そこで、この解析では次に示す手順に従って、隣接する3つの点の電位変化をもとに、その三点が構成する三角形ごとのMTインピーダンスを求めた。

- (1) 中心点（ネットごとの電位測定基準点）との電位差（収録装置の各チャンネル）の時系列を点検し、パルス状ノイズ、明らかなステップ状ノイズ等を除去する。
- (2) 隣接する3点の電位差変動の時系列から、その三角形における電場のX成分、Y成分の時系列を作成する。ここで、X、Yはそれぞれ北向き、東向きに正とする。
- (3) 磁場のX、Y成分について電場のサンプリングに合わせて、10秒値を作成する。
- (4) 電場と磁場のそれぞれの1ヶ月分の時系列データを261個のタイムウィンドウに分割し、FFTによりそれぞれのウィンドウごとにフーリエ係数を求める。なお、このときのウィンドウ長は1,024個（10,240秒）である。
- (5) すべてのウィンドウについてのフーリエ係数を用いて、パワースペクトル・クロススペクトルの平均値を計算し、次の連立方程式をつくる。

$$\langle E_x H_x^* \rangle = Z_{xx} \langle H_x H_x^* \rangle + Z_{xy} \langle H_y H_x^* \rangle$$

$$\langle E_x H_y^* \rangle = Z_{xx} \langle H_x H_y^* \rangle + Z_{xy} \langle H_y H_y^* \rangle$$

ここで E_x 、 H_x 、 H_y はそれぞれの成分のフーリエ係数で、 $*$ は複素共役を、 $\langle \rangle$ は平均を表す。この連立方程式を解いて、それぞれの周波数ごとのMTインピーダンス・テンソル（ Z_{xx} 、 Z_{xy} ）を求める。また同様の操作で Z_{yx} 、 Z_{yy} も求める。

- (6) (5)ではノイズを含んだデータも使われているので、電場と磁場のコヒーレンシーをもとに、不適当なデータを除いて最終的なMTインピーダンス・テンソルの値を計算する。具体的な操作は次のようにした。各周波数ごとに、(5)で求められたインピーダンス・テンソルとあるウィンドウでの磁場のフーリエ係数とから、そのウィンドウでの期待される電場のスペクトルを計算し、そのウィンドウでの観測された電場のスペクトルとの間のコヒーレンシーを求めた。このコヒーレンシーが0.95を超えるウィンドウのデータのみを用いて再度インピーダンステンソルを計算した。

4. MTインピーダンスと電場変動

求められたインピーダンスを用いて磁場変動と電場変動の関係を考える。電場のX成分のフーリエ係数を E_x 、時系列を $E_x(t)$ というように表記するとき、MTインピーダンス・テンソルの定義から、電場の2つの成分は次の式で表わされる。

$$E_x = Z_{xx} H_x + Z_{xy} H_y$$

$$E_y = Z_{yx} H_x + Z_{yy} H_y$$

インピーダンス・テンソルは、 $Z_{xx} = r_1 e^{i\theta_1}$ 、 $Z_{yx} = r_2 e^{i\theta_2}$ と表わせるので、X方向にのみ変化する単位振幅の磁場変動

$$H_x(t) = \cos(\omega t)$$

$$H_y(t) = 0$$

にたいする誘導電場は、

$$E_x = Z_{xx} H_x, \text{したがって } E_x(t) = r_1 \cos(\omega t + \theta_1)$$

$$E_y = Z_{yx} H_x, \text{したがって } E_y(t) = r_2 \cos(\omega t + \theta_2)$$

となる。この関係から、得られる電場変動の描く軌跡は楕円となることがわかる。

インピーダンス・テンソルは周波数によって異なっているので、各三角領域で得られる電場楕円も磁場変動方向や周期によってそれぞれ違った形の楕円となる。

5. 電場楕円の分布

ここでは、南北と東西との2つの方向の磁場変動に対する電場変化を調べた。代表的な2つの周期、2,048秒と256秒での電場変動の楕円をそれぞれ第2図と第3図とに示す。それぞれ上図は東西磁場変動、下図は南北磁場変動にたいする電場の変化を表わしている。磁場変化の振幅は1nT、電場変化のスケールはそれぞれの図の上部に矢印で示している。それぞれの三角領域で、三角の重心と楕円の中心とが一致するようにプロットされている。

これらの図で、次の様な特徴的な電場分布が見られる。

- (1) 2つの周期において、ほとんどの地域で、磁場の変動方向の異なる2つの分布図のあいだで電場楕円の長軸の方向は変わらない。すなわち電場の変化は磁場変化の方向と直交せず特定の方向性を持っている。
- (2) 2つの周期において、ほとんどの地域で、南北方向の磁場変化にたいする電場変動の振幅は、東西方向の磁場変動にたいするそれより大きい。
- (3) (1)、(2)の特徴は長周期で特に顕著である。
- (4) 太平洋岸、岩手県内陸部、脊梁部、日本海沿岸部と西に行くにつれ電場変動の振幅が小さくなる。
- (5) 岩手県南部の北上川流域では、太平洋側のなかで例外的に電場変動の振幅が小さい。
- (6) 東西磁場変動の場合に、楕円の短軸の長さが長くなる、すなわち、楕円が円に近づく傾向が見られる。

この傾向は、短周期や、電場の長軸方向が、磁場変動の方向との直交方向から大きく離れているときに顕著である。

第2図、第3図では日本海沿岸部など電場の振幅が小さい地域での楕円の性質が良く分からない。そこで、電場楕円の長軸方向のみを見やすくして第4図に示した。この図で実線は、南北変動の、白抜きの線は東西変動の磁場にそれぞれ対応した電場楕円の長軸方向を表わしている。線分の長さは、長軸方向の振幅の1,000倍の常用対数に比例している。前述の特徴にあるように、直交する磁場変動の方向に対して、電場の卓越方向（楕円の長軸方向）は多くの地域でほとんど重なっている。特に、太平洋沿岸部では海岸線に直交する方

向の卓越が顕著である。一方、長周期での日本海沿岸部や岩手県内陸部、短周期ではさらに秋田県内陸部でも、南北磁場変動と東西磁場変動とで電場長軸方向が直交に近い角度で交わる分布が見られる。しかし、これらの場合でも、電場長軸の方向が磁場と直交しているものは少なく、円に近い楕円を描くなど E_x と E_y との位相差が大きくなっているものもあり、電場と磁場との直交関係が成り立っていると一概には言えない。また、南北磁場変動の場合は、長周期と短周期とで電場長軸方向はほとんど変わらないのに対して、東西の磁場変動では、長軸方向が周期によって異なっている。

このような電場の方向性や、振幅分布の特徴は海陸分布や、地下深度方向の比抵抗分布、あるいは、地質構造などによる水平方向の比抵抗など多くの要素を反映しているものと考えられる。

6. 見かけ比抵抗と位相差

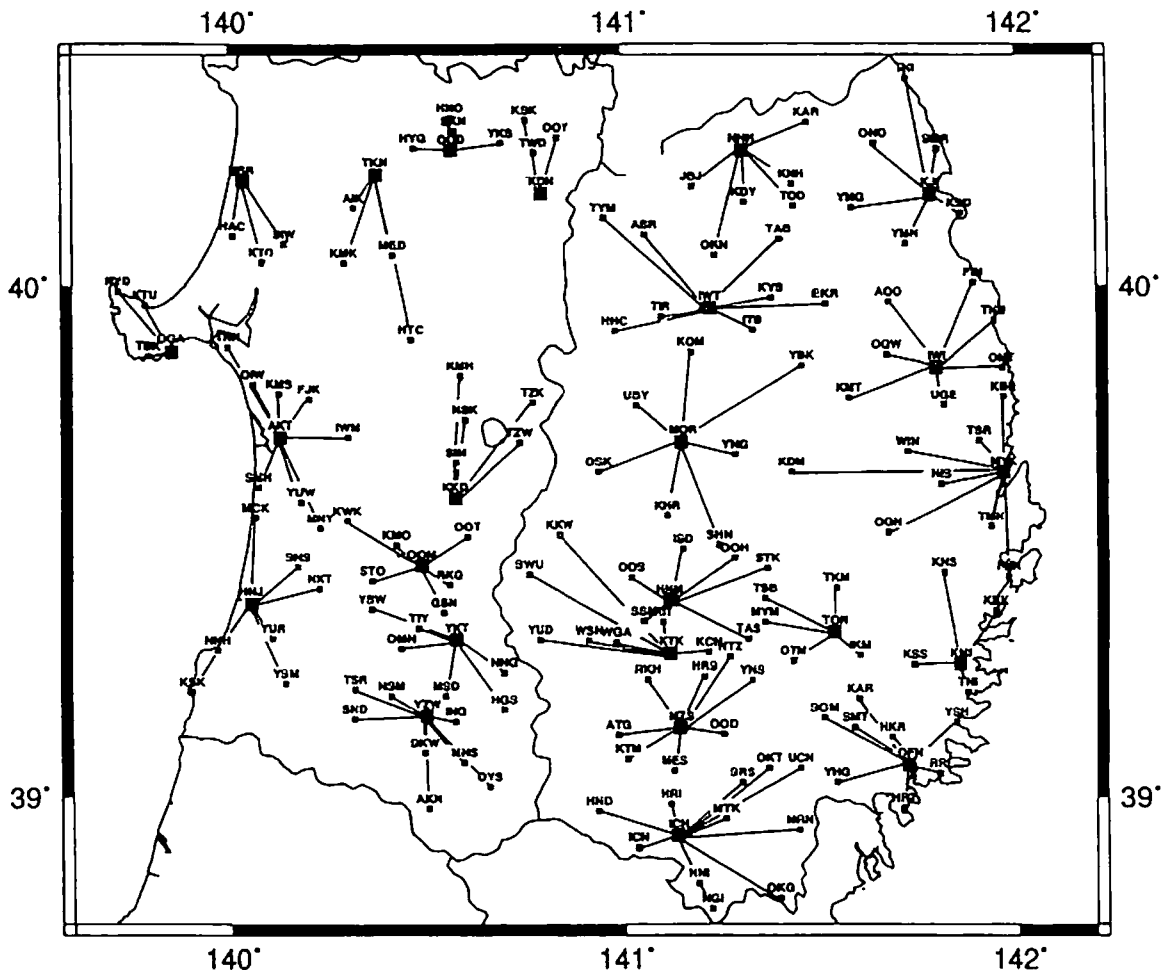
ここで得られたMTインピーダンスを用いて比抵抗構造を求めるためには、前述のような電場分布をふまえて、スタティック効果や、方位依存性を考慮に入れた解析が必要である。ここでは、予察的に日本海沿岸部と、岩手県内陸部と、太平洋沿岸部とからそれぞれ代表的な見かけ比抵抗・位相差曲線を選んで第5図に示す。図はそれぞれ本荘付近(a)、花巻付近(b)、宮古付近(c)の三角領域のもので、◇が ρ_{xy}, ϕ_{xy} (E_x, H_y から得られる)、◆が ρ_{yx}, ϕ_{yx} (E_y, H_x から得られる) の値を表わしている。エラーバーは標準偏差 ($\pm \sigma$) の範囲を表わすが、(a)、(c) では、図が煩雑になるので省略した。座標軸が構造とは無関係に X、Y に固定した図なので、特徴を正確には表示していないが、東から西に向かって電場が小さくなったことに対応して、見かけ比抵抗が日本海岸で太平洋岸の 1/10 ないし 1/100 に小さくなっている。また、北海道東部(上嶋・他⁴⁾) や、山形県西部(上嶋・他²⁾、上嶋³⁾) において指摘されているように、背弧側において長周期での位相差の高まりの傾向が見られる。

7. おわりに

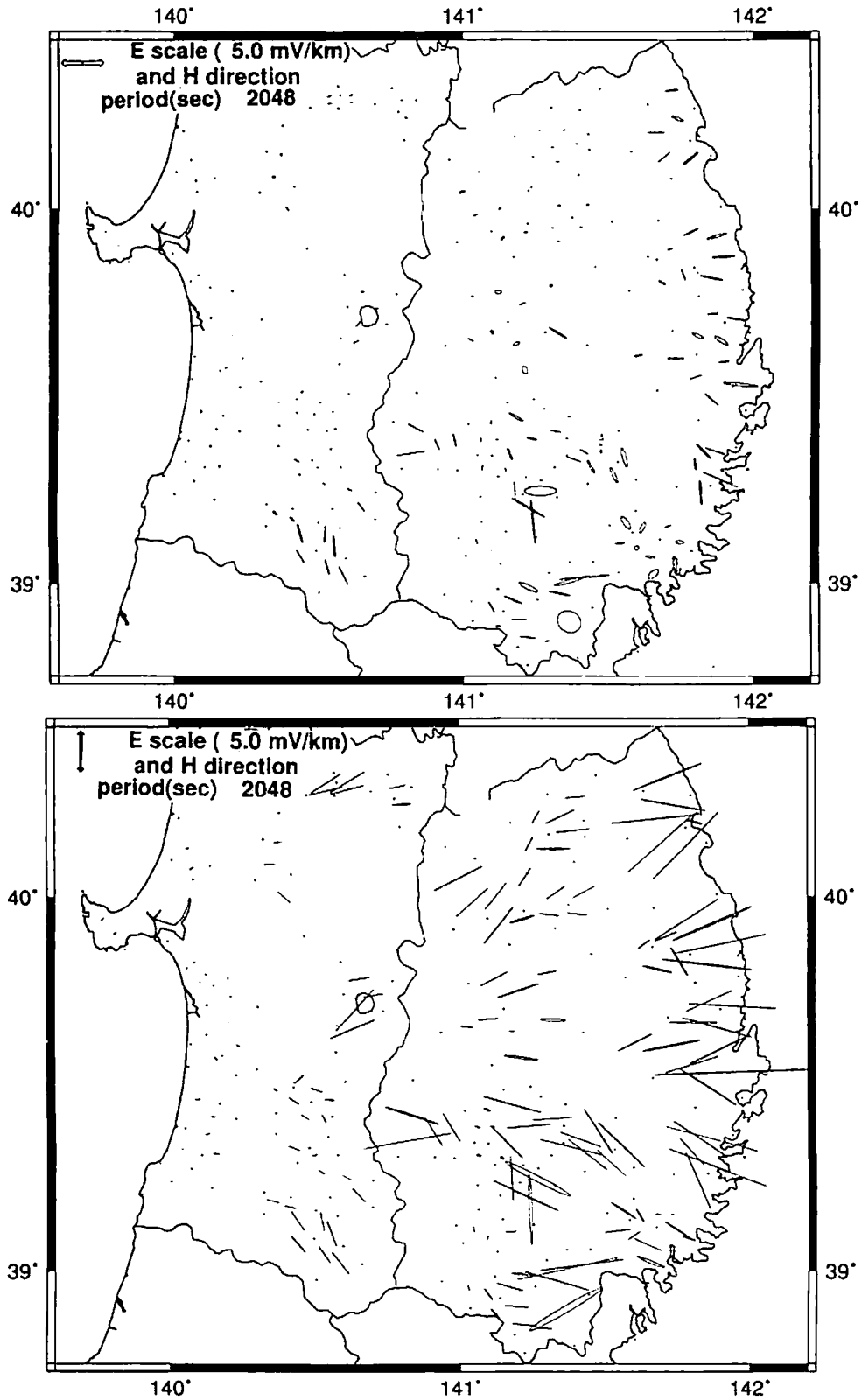
東北地方中部においてネットワークMTのデータを用いて、誘導電流による電場分布を調べた。その結果、太平洋沿岸で海岸線に直交する方向の電場が卓越するなど、特徴ある分布が得られた。海陸の分布を取り入れた一次元層構造の薄層モデルによる計算(Uyeshima et al.⁵⁾) の結果からはここに述べられたような方向性の強い電場分布は期待されない。特に、太平洋側での東西方向の磁場変化に対する電場変化と、岩手県北部での南北磁場変化に対する電場変化とは計算値と大きく異なっている。また、太平洋側で、 ρ_{yx} が ρ_{xy} より大きいという結果は、比抵抗の境界があるときのTMモードのみかけ比抵抗の振舞いと調和的である。しかし、このことは前述の電場の方向性ととも、地下構造の二次元性、三次元性を強く示唆するものと考えられる。今後、海陸分布、表層地質の分布などの水平方向の構造要素とともに、沈み込む太平洋プレートの存在など三次元的な構造をも考慮した解析が必要である。

参考文献

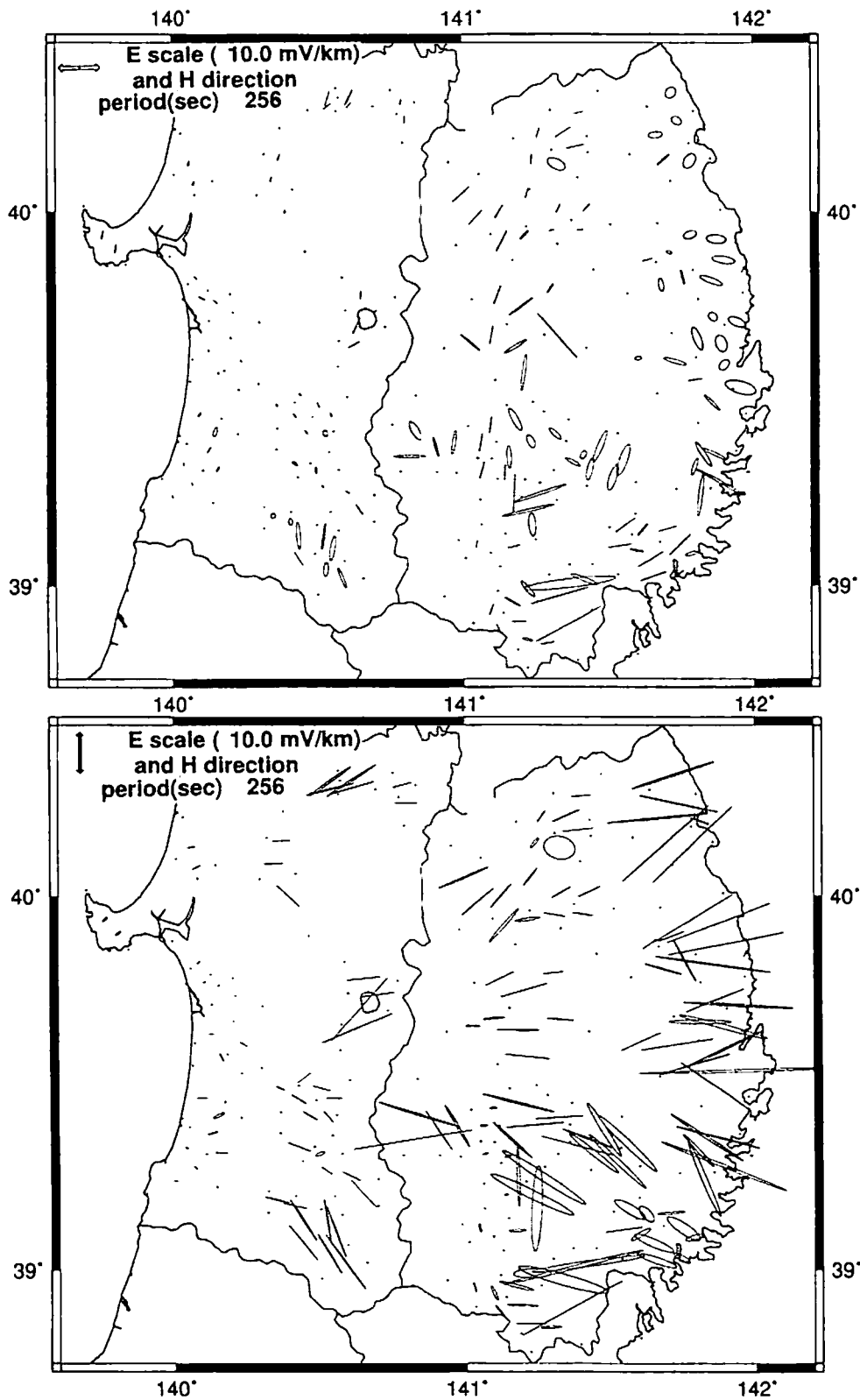
- 1) 上嶋 誠・歌田久司・三品正明・西谷忠師・ネットワークMT東日本グループ, 1995, 東日本におけるネットワークMT観測について(1994年度), CA研究会1995年論文集, 53-58.
- 2) 上嶋 誠・歌田久司・三品正明・西谷忠師・ネットワークMT東日本グループ, 1995, 東日本におけるネットワークMT法について(1995年度), CA研究会1996年論文集, 57-53.
- 3) 上嶋 誠, 1997, ネットワークMT, 月刊地球, 号外No.17, 140-146.
- 4) 上嶋 誠・仲山 洋・西田泰典・歌田久司, 1992, ネットワークMT法による地下電気伝導度構造探査, 月刊地球, 14, 551-558.
- 5) Uyeshima, M., M. Mishina, T. Nishitani, Y. Nishida, H. Toh, H. Utada, 1996, Network-MT observation in the Eastern Part of Japan, 100th SGEPPS Fall Meeting, C21-3.



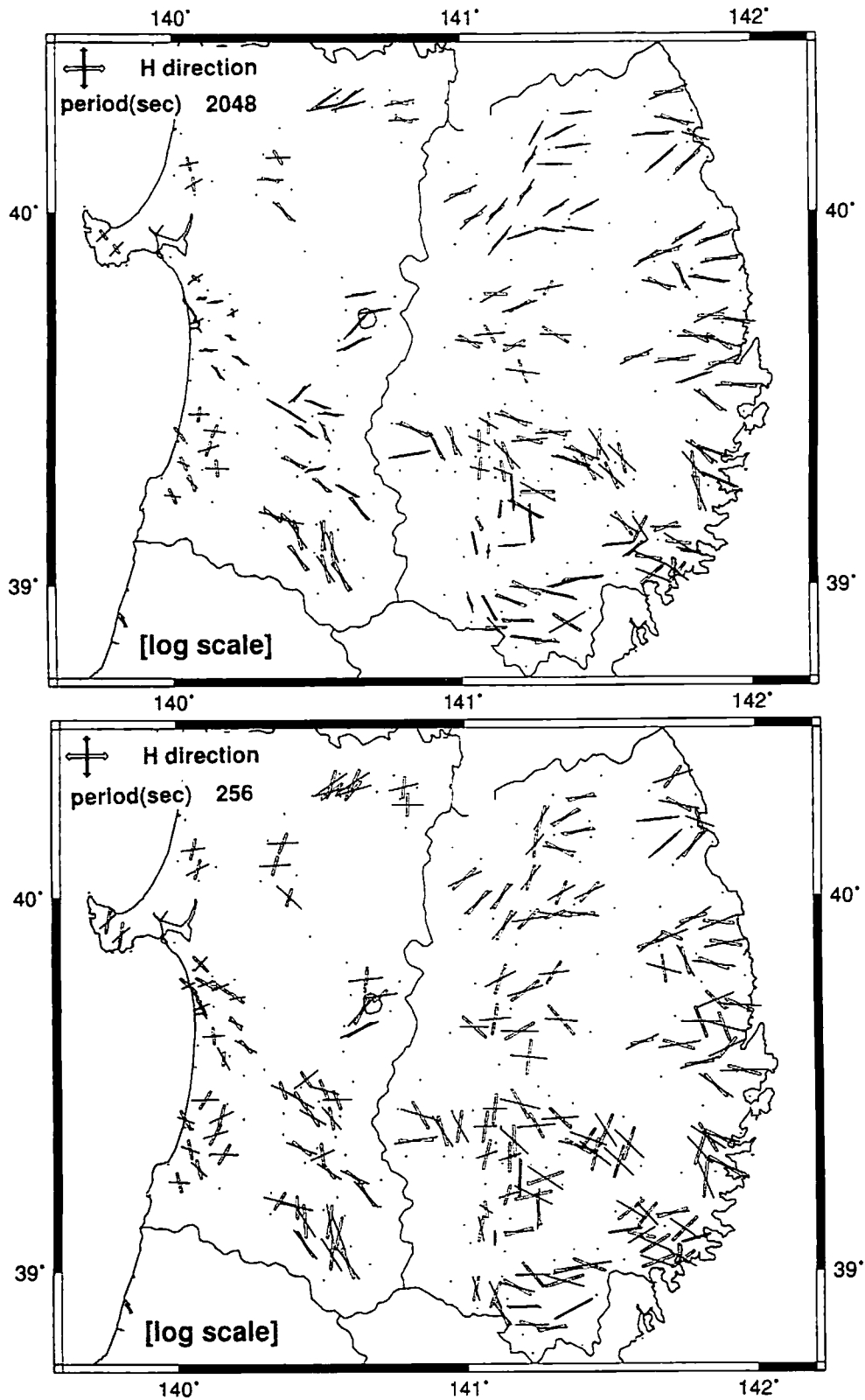
第1図 この解析に使われたネットワークMT観測の電極の配置図. 大きな■は収録装置を設置した中心局, 小さな■は電話交換所の位置を示す.



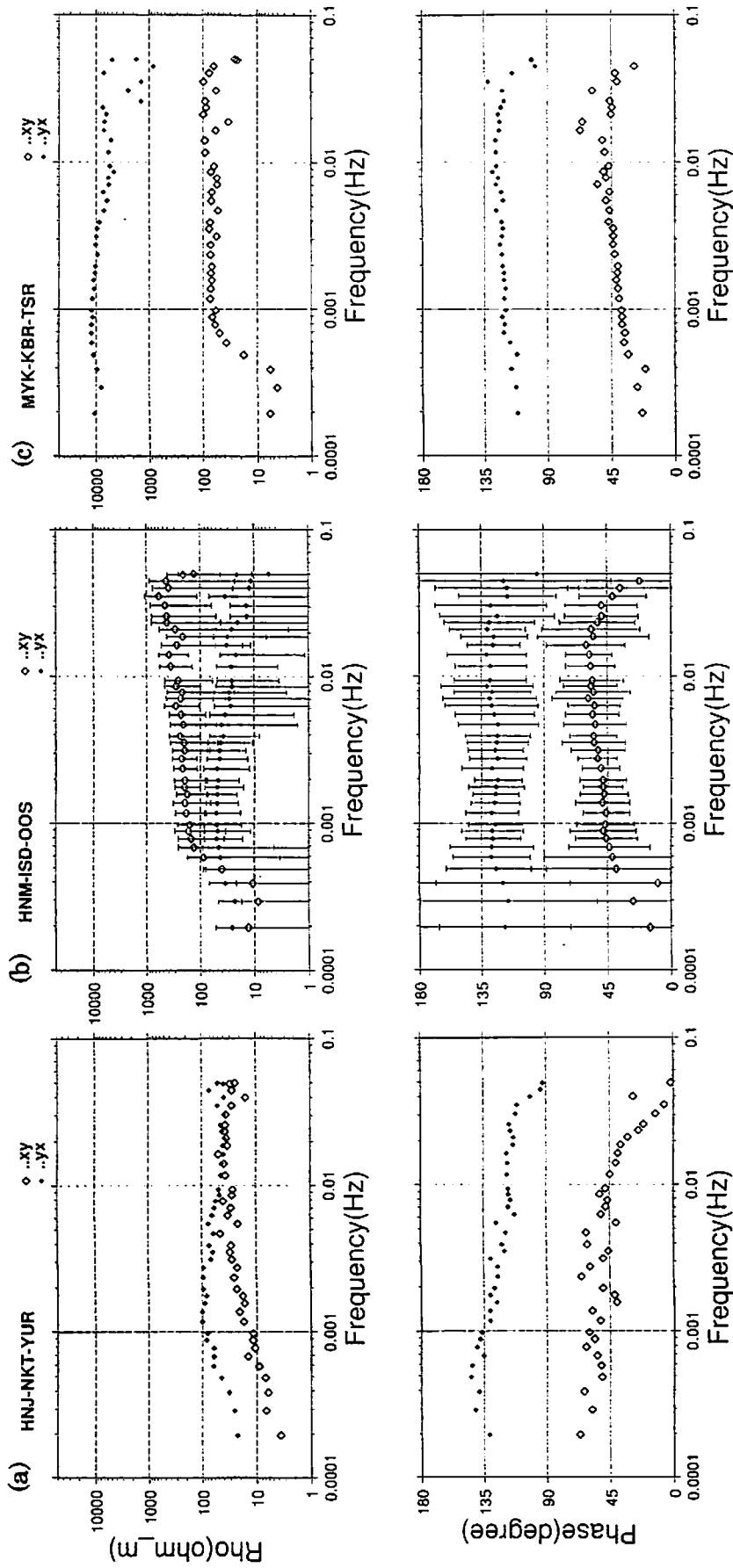
第2図 MTインピーダンス・テンソルから計算された各三角領域ごとの電場変動楕円.
 上図は東西変動磁場, 下図は南北変動磁場に対応する. 磁場変動の振幅は1 n T
 で, 電場変化のスケールはそれぞれの図の上部に示した. 周期2,048秒.



第3図 第2図と同じ. 周期256秒.



第4図 電場楕円の長軸方向の分布。磁場変動が東西の場合を白抜きの線分、磁場変動が南北の場合を実線の線分で表わした。線分の長さは電場振幅の1,000倍の対数に比例している。上図は周期2,048秒, 下図は周期256秒。



第5図 (a)日本海沿岸, (b)岩手県内陸部, (c)太平洋岸を代表する三角領域におけるみかけ比抵抗・位相差曲線. ρ_{yx} (◆)は南北磁場と東西電場, ρ_{xy} (◇)は東西磁場と南北電場による.