

ELF・VLF-Magnetotelluric 法による東北 地方の地殻比抵抗構造

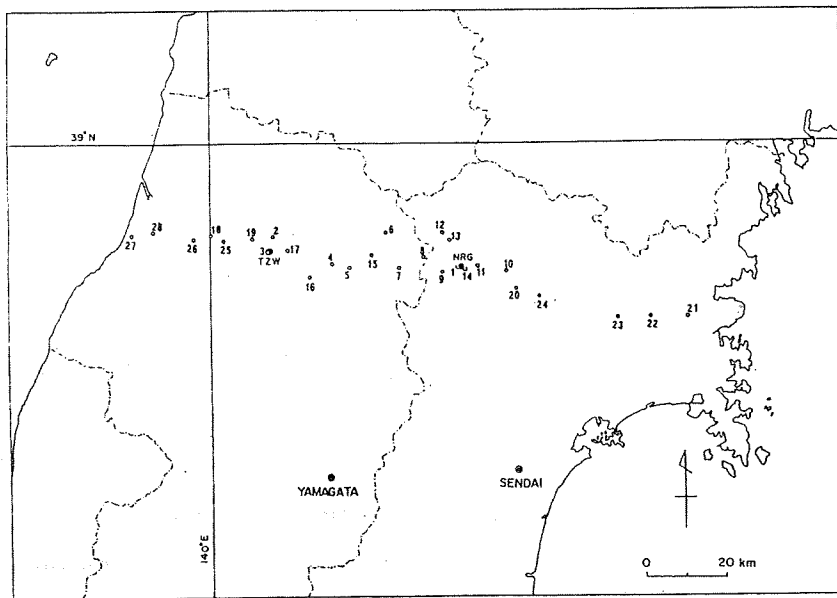
東京大学地震研究所 歌田 久司・小山 茂
笹井 洋一・吉野登志男

1. はじめに

1981年6月から8月までの約3ヶ月間にわたり、東北地方において「地殻の低比抵抗帯の研究」を目的とした、電磁気総合観測が実施された。我々はその一環として、主として地殻表層部の比抵抗分布を明らかにする目的で、ELFおよびVLF帯でのマグネトテルリク(MT)法の観測を行なった。電磁波の地下への浸透深度は周期に依存し、脈動(10~40秒)、さらに磁気嵐に伴うような短周期地磁気変化(数分~数時間)というように、長周期になるに従い、地下のより深部の構造を反映するようになる。しかし同時に、これらの周期帯の地磁気擾乱によって地下に誘導される電流の分布は、表層に導電率の高い堆積層があると、それによって大きく乱されることが知られている。従って、長周期の地下の電磁氣的応答を用いて比較的深所の構造を推定する場合にも、地表付近の情報は重要である。

本観測は以上のような観点から、VLF帯の人工電波(17.4 KHz)および、ELF帯のシューマン共振現象の第1から第3モードまで(8, 14, 20 Hz)の周波数帯におけるMT法の観測にもとづいて、地表付近から数100~数kmまでの比抵抗分布の概略を求めることを目的とした。

第1図に測点の位置を示す。黒丸で示したNRGおよびTZWは、フラックスゲート磁力計および誘導磁力計による地磁気3成分変化観測ならびに地電流観測を行なった、固定観測点である。観測はこの2点を通り東北地方を東西に横切る測線上の28点で行なったが、このうちの2点(4および28)では、ELF観測で充分な解析を行なえるデータが得られなかった。観測を実施したのは、測点1~19が6月8日~12日、測点20~24が8月24日~25日、そして、測点25~28が9月22日~23日である。充来、ELF-MT法は活断層や火山・地熱地帯など比較的小規模の構造調査に応用されるものであるが¹⁾、本観測はそれと目的を異にしている。測点は、地質図あるいは地形図からある地域の代表とするのに適当であると見なしてよいような場所を、あらかじめなるべく等間隔になるように選定しておき、さらに現地でノイズの状態などを考慮して決定した。



第1図 ELF, VLF-MT観測点(白丸)。数字は測点番号。黒丸のNRGとTZWはそれぞれ固定観測点の鳴子および戸沢。

2. データ処理について

MT法は、磁場Hと電場Eを同時観測し、(1)式で与えられるインピーダンスZをもとに地下構造を推定する方法である。

$$E = ZH \quad (1)$$

通常は電場・磁場ともに水平2成分の観測を行なうので、Zは 2×2 のテンソルとなる。我々はELFの解析におけるZの推定法として、スペクトル解析による方法を適用した。VLF-MTについては、見かけの比抵抗および位相が直読できるEM-16, EM-16Rを使用した。

スペクトル解析はFFT法で行なった。このような直接法で解析する際には、対象とする現象を定常雑音と仮定して行なうものである。しかし、実際の現象は多くの場合、例えば偏波にかたよがりがあるなど、定常であるとは見なしがたいものが多い。さらに、測定時間内にノイズが混入することもありうる。したがって、Zの推定の際、ある種のスタッキングを行なうことが有効であると考えられる。ここでは、以下に述べる方法を用いた。

まず、ある測定における記録長をTとした時、全体をそれぞれ T_k ($k=1, \dots, K$)の時間長の部分に分割する。そして各部分から平滑なスペクトルを推定して、合計k個のZの推定値を求める。スペクトルの平滑化の際には、シューマン共振のQが6程度²⁾であることから注

意を要する。ここでは各 T_k として 25.6 秒, 平滑の自由度 $n = 32$ とした。

スタッキングは次式のように行なう。

$$\hat{Z}_{ij}(f_s) = \left(1 / \sum_k w_k(f_s) \right) \cdot \sum_k w_k(f_s) \cdot Z_{ij}^k(f_s) \quad (2)$$

($i = 1, 2$: 電場, $j = 1, 2$: 磁場)

ここに

f_s : シューマン共振周波数

\hat{Z}_{ij} : 最終的なインピーダンス推定値

Z_{ij}^k : k 番目の部分での推定値

さらに $w_k(f_s)$ は重み関係で,

$$w_k(f_s) = \begin{cases} 0 & \text{スペクトルに共振のピークが見られない時} \\ 1 / r_{ij}^{k^2}(f_s) & \end{cases}$$

r_{ij}^k は Z_{ij}^k の標準誤差で, この場合

$$r_{ij}^{k^2}(f_s) = \frac{4}{n-4} F(4, n-4; \omega) \frac{[1 - r_{i, IN}^{k^2}(f_s)] P_i^k(f_s)}{[1 - r_{j, IN}^{k^2}(f_s)] P_j^k(f_s)} \quad (3)$$

で与えられる。ここに, $F(4, n-4; \omega)$ は自由度 n で入力数 2 の F 分布の α 百分比点,

$r_{i, IN}^{k^2}(f_s)$ は, 電場の i 成分と磁場 2 成分間のコヒーレンシー, $r_{j, IN}^{k^2}(f_s)$ は磁場 2 成分間のコヒーレンシー, $P_i^k(f_s)$ および $P_j^k(f_s)$ はそれぞれ電場 i 成分, 磁場 j 成分のパワースペクトル推定値である。

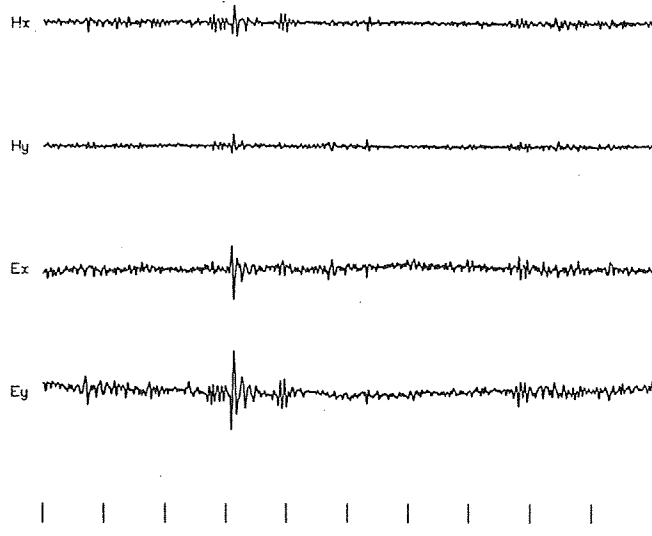
以上の処理を行なうことにより, ノイズの無い場所の記録を用いた時のインピーダンスの推定誤差は $K = 10$ の場合, 数%程度になった。

3. 観測結果と比抵抗分布

第 2 図は測点 21 (大畑) で観測された波形の一部である。この測点は比較的ノイズが小さく, この例でもいくつかのバースト・タイプ³⁾の現象を見ることができる。さらにこの記録に $f_0 = 8 \text{ Hz}$, $Q = 8$ の数値的バンドパスフィルターをかけると (第 3 図), 電磁場間の対応がさらに明瞭になる。

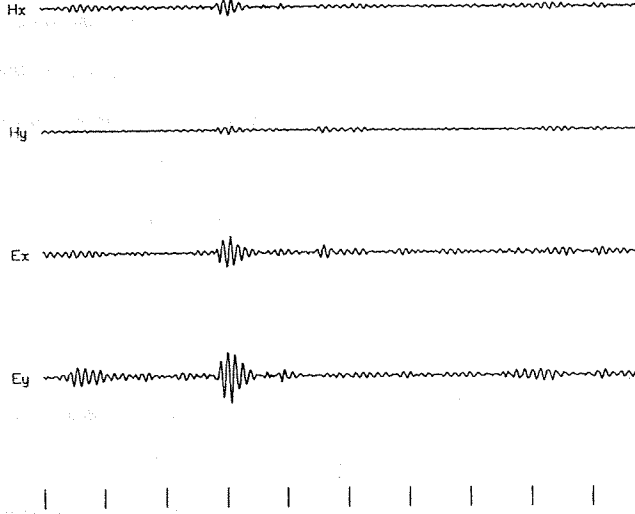
一般にインピーダンスは異方性を有し, 座標軸を回転することにより, その主方向を求めることができる⁴⁾。今回の観測目的は, 表層の概略的比抵抗分布を求めることにあるので, その詳細については省略する。

AUG.1981. TOHOKU NO 21



第2図 測点21で観測された波形例。

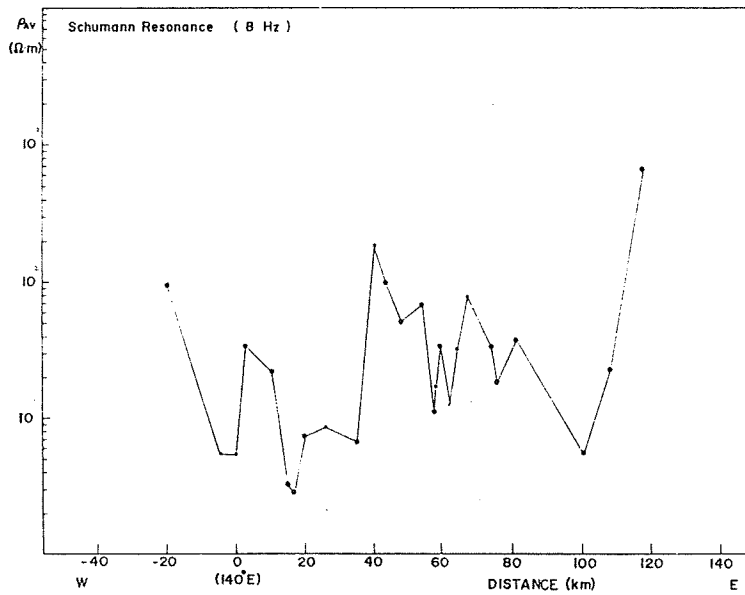
AUG.1981. TOHOKU NO 21



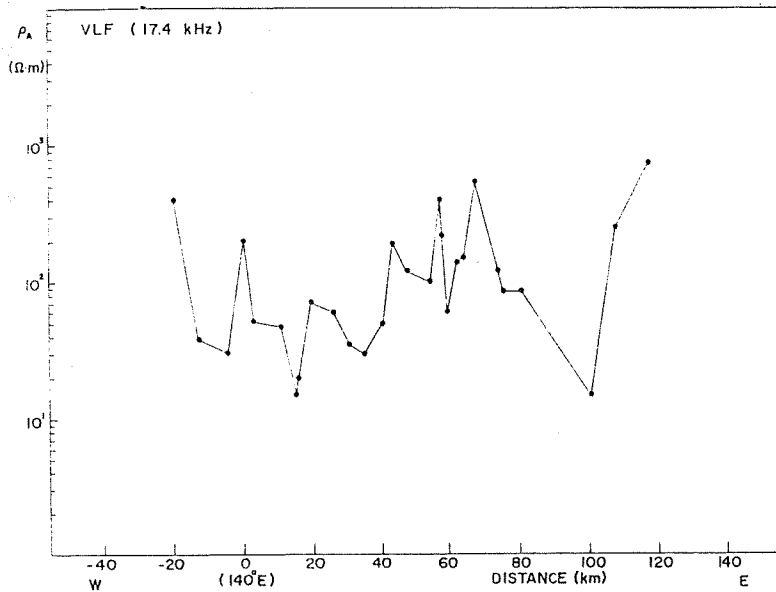
第3図 バンドパスフィルターを通した測点21の波形。

第4図は、主方向に回転したインピーダンスから求めた見かけ比抵抗 ρ_{12} , ρ_{21} の相乗平均 ρ_{AV} を測線に投影したものである。ここで大きな黒丸は、異方性の指数である Skew が 0.2 以

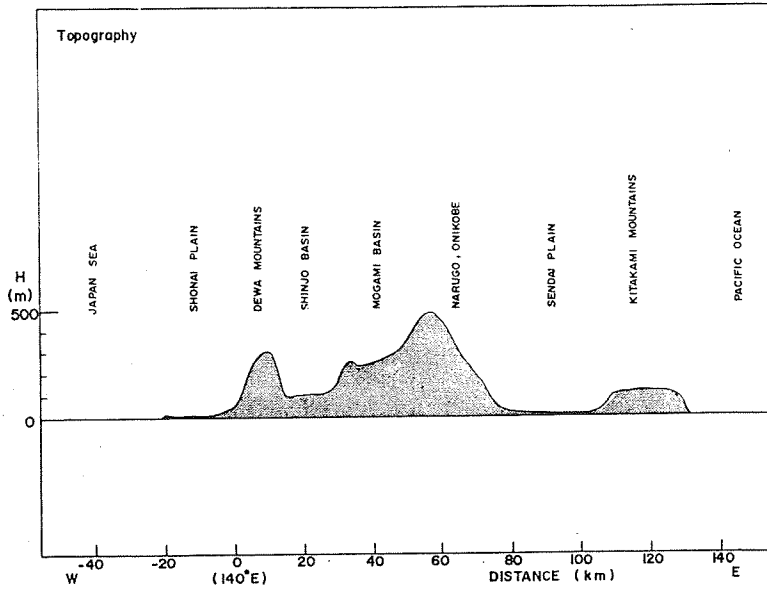
下のもの、0.2~0.5のものは小さな黒丸で示している。ELF-MT法で得られた比抵抗分布は、同じ測線にそった地形の断面(第6図)とある程度相関をもっているように見える。北



第4図 シューマン共振現象の8 Hz で得られた見かけの比抵抗分布。



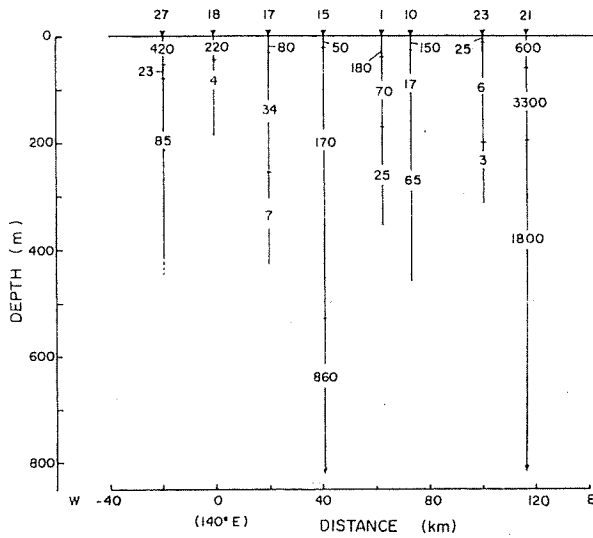
第5図 VLF人工電波(17.4 KHz)で得られた見かけの比抵抗分布。



第6図 E L F・V L F-M T観測の測線に沿った地形断面図

上山地が $1 \text{ k}\Omega\text{-m}$ 以上であるのに対し、仙台平野では数 $\Omega\text{-m}$ 程度で、そのコントラストは3桁に達する。これに対し、日本海側の出羽山地（三森山）と庄内平野・新庄盆地との間のコントラストは1桁強であるのが特徴的である。東北地方の脊梁部にある最上盆地付近は平均して数 $100 \Omega\text{-m}$ であるが、その東側の鳴子・鬼首付近には顕著な低比抵抗のギャップが見られる。以上のような傾向は第6図のV L F帯の比抵抗分布にも見られるが、この場合はごく表層部の影響に限られているので、コントラストは、より不明瞭になっている。

第7図は層構造仮定にもとづき、いくつかの測点についてインヴァージョンを行なった結果を柱状図にしたものである。この結果は、将来2次元モデルを考える際などに、表層部の構造を与える上で有用であると思われる。



第7図 観測結果にもとづくインヴァージョンによる層構造モデル。(単位 $\Omega \cdot m$)

参 考 文 献

- 1) 半田駿・住友則彦：ELF帯自然雑音を用いた活断層周辺でのMT探査 — 山崎断層 — ，九十九地学，第14号，21—31，1999.
- 2) Handa, S., T. Ogawa, and M. Yasuhara ; Damping Coefficients of Q-type Bursts in the Schumann Resonance, Frequency Range. Cont. Geophys. Inst., Kyoto Univ., No 11, 11—15, 1971.
- 3) Ogawa, T., Y. Tanaka, T. Miura, and M. Yasuhara ; Observation of Natural ELF and VLF Electromagnetic Noises by Using Ball Antennas, J. Geomag. Geoelectr., 18, 443—454, 1963.
- 4) Hermance, J. F. ; Processing of Magnetotelluric Data, Phys. Earth Planet. Int., 7, 349—364, 1973.