



Title	新しい広帯域MT固定連続観測装置による地殻活動監視システムの改良
Author(s)	佐藤, 秀幸; 菅原, 安宏; 門脇, 俊弘; 川原, 敏雄; 湯通堂, 亨; 石原, 操
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 67, 11-23
Issue Date	2004-03-15
DOI	10.14943/gbhu.67.11
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/14330">http://hdl.handle.net/2115/14330</a>
Type	bulletin (article)
File Information	67_p11-23.pdf



[Instructions for use](#)

## 新しい広帯域 MT 固定連続観測装置による 地殻活動監視システムの改良

佐藤 秀幸\*

独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター

菅原 安宏・門脇 俊弘・川原 敏雄

国土地理院水沢測地観測所

湯通堂 亨

国土地理院測地観測センター衛星測地課

石原 操

国土地理院鹿野山測地観測所

(2003 年 12 月 26 日受理)

## Improvement of Crustal Activity Monitoring System using New Wideband Stationary Magneto-telluric Observation Equipment

Hideyuki SATOH

Geological Survey of Japan,

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Yasuhiro SUGAWARA, Toshihiro KADOWAKI, Toshio KAWAHARA

Mizusawa Geodetic Observatory, Geographical Survey Institute

Tohru YUTSUDO

Satellite Geodesy Division, Geodetic Observation Center, Geographical Survey Institute

and

Misao ISHIHARA

Kanozan Geodetic Observatory, Geographical Survey Institute

(Received December 26, 2003)

Continuous and high quality monitoring of the ground resistivity changes may be a useful method to detect the tectonic activities such as seismic activity and crustal movements. We

---

\*2003 年 3 月まで国土地理院測地部測地第一課

Formerly, First Geodetic Division, Geodetic Department, Geographical Survey Institute

introduced new wideband MT systems (MTU-5 unit) at Mizusawa Geodetic Observatory and Esashi Observatory, Geographical Survey Institute in February, 2003. As the systems at both stations are synchronized by GPS clocks, effective noise reduction is expected by applying the remote reference method. Preliminary studies using nine months MT data set reveal the following results: (1) The remote reference and edit processings using magnetic data at Mizusawa station are markedly effective to improve the MT data quality at Esashi station. (2) We detect successfully that the apparent resistivity at 0.0234 Hz tends to increase with time at Esashi station, suggesting accumulation of the strain in the crust caused by the subducting Pacific plate motion.

## I. は じ め に

近年地震波の解析から、地殻中に多くの地震波散乱源あるいはS波反射面が存在することが指摘されている。これらは断層面やその近傍の破碎帯、あるいは地殻中に存在する流体（地下水あるいは溶融体）であると推定されている（例えば、浅野ほか, 1999; Nakajima et al., 2001 など）。断層面近傍に存在する微小な割れ目や破碎帯は、緻密な岩盤の中でも地下水の存在を許し、水を通したり、貯えたりすることを可能にする。このことは断層面近傍には比抵抗の不均質性があることを予想させる。従って、地殻の比抵抗を連続的にモニタリングすれば、地殻内の水の動きが把握でき、地震活動に伴うシグナルの検出ができるものと期待できる。

そこで、地殻の比抵抗をモニタリングするため、広帯域 MT (Magneto-telluric: 地磁気地電流) 固定連続観測システムを水沢測地観測所および江刺観測場に設置し、1996年4月から見掛け比抵抗の連続観測を実施してきた (Fujiwara et al., 1999; 佐藤・他, 2003)。しかしながら、この連続観測に使用してきた観測装置は、機器の老朽化に伴いシステムが不安定となり、最近では欠測する期間がしだいに多くなっているという状況にあった。特に、江刺観測場の MT データは、大学および他研究機関の実施する MT 移動観測の際に、参照磁場データとして使用されていることから、常に安定したシステム状態で、データ取得がなされている必要がある。さらに、現行の観測装置で取得したデータと大学および他研究機関の所有するそれとの間では、サンプリングスケジュールとデータフォーマットの相違から、ある周波数帯域では同期がとれないという不具合が生じていた。

これらの問題点を解消し、より精度の高いデータを安定して取得するため、2003年2月に観測装置の一部を更新した。今年度は、機器調整作業を行うとともに、システムの安定性を調べることを主な目的として、観測を実施してきた。そこで本稿では、新しい観測システムの概要について報告するとともに、これまで得られたデータの品質について評価をする。

## II. M T 法

地殻の比抵抗を地表から探る方法のひとつに、MT法がある。MT法では、自然の電磁場変動を信号源として利用する。この自然の電磁場変動は、その起源、性質によって様々な種類に分けられている。例えば、地球磁気圏の電磁流体波に起因する地磁気脈動と呼ばれる現象は、周波数

1 Hz 以下の領域で比較的振幅の大きな変動を示す。このうち波形が連続できれいな変動を Pc 変動と呼んでいる。また、赤道地帯などの雷放電から放射される電磁波は電離層と地表面との間を伝播し、特に 3-60 Hz の帯域では減衰が小さく地球を何周もするので干渉現象が起こる。これをシューマン共振現象と呼んでいる。MT 法では、これらを含む電磁場変動を信号源として用いている。

しかし、この信号源である電磁波は、地中に浸透すると指数関数的に減少するという性質を持っている。そして、その減衰の程度は地下の比抵抗と電磁波の周期に依存することがわかっている。Cagniard(1953)は電磁波の振幅が地表面の値の  $1/e$  (約 37%) まで減衰する深さを表皮深度 (skin depth) と呼び、以下の式を導いている。

$$\delta = 0.5 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (1)$$

ここで、 $\delta$  は表皮深度 (km)、 $\rho$  は大地の比抵抗 ( $\Omega\text{m}$ )、 $f$  は周波数 (Hz) である。例えば、大地の比抵抗が均質で  $100 \Omega\text{m}$  であるとすれば、周波数  $0.01 \text{ Hz}$  (周期  $100 \text{ 秒}$ ) に対する表皮深度は約  $50 \text{ km}$  である。つまり、(1)式は周波数が低いほど、また比抵抗が高いほど電磁波は地下深く浸透することを意味している。

また、周波数  $f$  (Hz) の電磁波が、一様な比抵抗  $\rho$  ( $\Omega\text{m}$ ) の大地に入射する場合、地表面の電場の水平成分  $\mathbf{E}$  (mV/km) と、それと直交する磁場の水平成分  $\mathbf{H}$  (nT) との間には、以下の関係式がある。

$$\rho = 0.2 \frac{1}{f} |\mathbf{Z}|^2 \quad (2)$$

ただし、 $\mathbf{Z} = \mathbf{E}/\mathbf{H}$  であり、 $\mathbf{Z}$  はインピーダンスと呼ばれる大地の応答関数である。このことは、電場、磁場の比を計測することによって、地下の比抵抗を求めることができることを示している。MT 法では、観測されたインピーダンス  $\mathbf{Z}$  (複素数) の代わりに、普通、見掛け比抵抗  $\rho_a$  と、電場と磁場の位相差  $\phi$  を用いて記述する。定義は以下の通りであり、一様な大地では見掛け比抵抗は真の比抵抗に一致し、位相差は  $45^\circ$  となる。

$$\rho_a = 0.2 \frac{1}{f} |\mathbf{Z}|^2 \quad (3)$$

$$\phi = \arg(\mathbf{Z}) \quad (4)$$

しかしながら、実際の大地は一様ではなく、比抵抗構造が深度方向に変化する 1 次元構造、あるいは、ある地質学的な走向を持った 2 次元、3 次元構造であり、より複雑である。そのため、電場ベクトル  $\mathbf{E}$  と磁場ベクトル  $\mathbf{H}$  との関係性をテンソルインピーダンス ( $\mathbf{Z}$ ) という量で定義する。

$$\mathbf{E} = \mathbf{Z} \cdot \mathbf{H} \quad (5)$$

例えば、大地が 2 次元、3 次元構造の場合を考えると、均質大地の場合と異なり、電場はゆがめられるようになる。しかし磁場は相対的にゆがめられない。この場合には、電場は磁場に対し

直交ではない方向へ分極する。つまり電場には、同じ方向の磁場からの寄与が含まれてくる。そこで直交する電場成分 ( $E_x$ ,  $E_y$ ) は、それぞれ直交する磁場 ( $H_x$ ,  $H_y$ ) の線形結合になると考えて、

$$E_x = aH_x + bH_y \quad (6)$$

$$E_y = cH_x + dH_y \quad (7)$$

なる関係式で表記することができる。この係数は、観測場所すなわち比抵抗分布や座標軸の方向、電磁場の変動周期などに依存することになる。ここで、インピーダンステンソルを

$$\mathbf{Z} = \begin{pmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{pmatrix} \quad (8)$$

と定義すると、(5)式は以下のように一般化できる。

$$E_x = Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y \quad (9)$$

$$E_y = Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y \quad (10)$$

インピーダンステンソルの要素は、地下の比抵抗分布と密接に関係している。例えば、大地が1次元あるいは2次元構造の場合であれば  $Z_{xx} = Z_{yy} = 0$ 、3次元構造であれば  $Z_{xx} = Z_{yy} \neq 0$  となる。

通常 MT データの処理は、周波数領域で行われるので、観測された時系列データのフーリエ成分を求めるため、スペクトル解析を行う。なお、インピーダンステンソルの各要素を統計的に求める方法として、自己パワースペクトル、相互パワースペクトルを用いる。

### III. 観 測

#### 1. 観測場所

V 5-16 観測装置(カナダ, フェニックス社製)を基本とした MT 固定連続観測装置を、水沢測地観測所構内(岩手県水沢市)および江刺観測場構内(岩手県江刺市)に設置し、1996年4月から磁場および電場のデータ取得を開始した(Phoenix Geophysics, 1997; Fujiwara et al., 1999)。観測点は人工的なノイズをできるだけ避ける必要があるため、人里離れた場所に設置することが望ましい。Fig. 1 に示した両観測点(以下、水沢および江刺と、それぞれ呼ぶことにする)は、従来から全磁力観測や地磁気3成分観測を実施している場所なので、幸いこの条件には適している。

#### 2. 新しいデータ取得システムの概要

機器更新作業は、2003年2月下旬に水沢および江刺の両観測点で行った。ここで、新しい観測システム構成図を Fig. 2 に、観測システム仕様表を Table 1 に示す。更新作業は、データ記録ユニットとデータ転送・処理ソフトウェアのバージョンアップであった。データ記録ユニットは、V 5-16 観測装置の後継機種である MTU-5 観測装置を、データ転送・処理ソフトウェアは同社製

の SSMT 2000 を採用した (Table 2). MTU-5 観測装置および SSMT 2000 ソフトウェアは、大学や他研究機関で多く使われており、システムの安定性、操作性の簡便さなどから、信頼の高い機種であると判断したので導入した。なお、両観測点でこれまで使用してきた磁力計、電極および電位差ケーブルは、継続して使用することにした。

時系列データは、磁場はインダクション型磁力計で 3 成分 (水平 2 成分と鉛直成分) を、電場は Pb-PbCl<sub>2</sub> 電極を用いて水平 2 成分を、同時に計測している (Table 1)。データは、高周波数帯域は 2560 Hz と 320 Hz で、低周波数帯域は 24 Hz でサンプリングして取得している。そして、データのサンプリングスケジュールは、2560 Hz では 5 分ごとに 1 秒間、320 Hz では 5 分ごとに 8 秒間、前者と後者と交互に計測する。そして、24 Hz サンプリングについては、連続で計測するように設定している。

Table 2 には、測定機器のシリアルナンバー、電極間隔、磁北からの回転角度および偏角値を記した。電位線は設置場所の土地の制約により、必ずしも磁北方向と、それと直交する方向に埋設できるわけではない。そこで、水沢では測定座標系を磁北から西へ 35 度ずらした方向と、それに直交した方向との 2 測線において電位差観測を行っている。この角度を、磁北からの回転角度と表記した。そして実際のデータ解析の際には、偏角値 (西偏 7 度) も考慮の上、座標変換により真北方向で計測した値に換算してデータ処理を進めている。なお、偏角値は、国土地理院 (2002

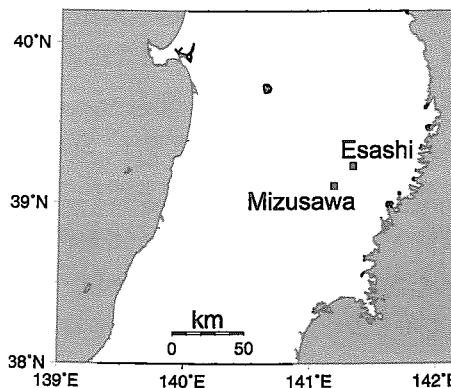


Fig. 1. Location map of stationary observation sites in Northeast Japan. Mizusawa indicates Mizusawa Geodetic Observatory and Esashi indicates Esashi Observatory, respectively.

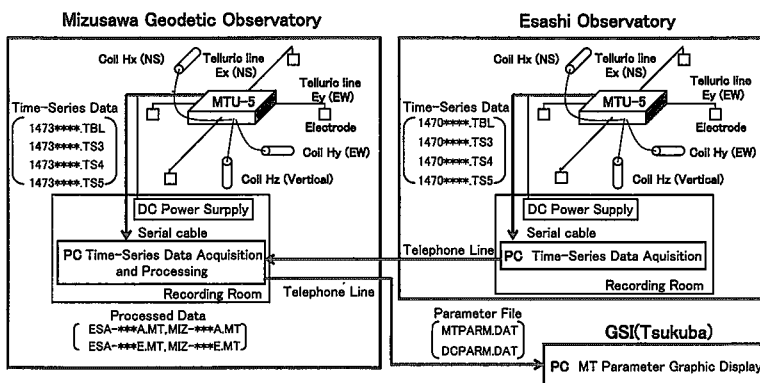


Fig. 2. Schematic field configuration of monitoring system using new stationary MT observation equipments.

a) および国土地理院 (2002 b) を引用した。

インダクション型磁力計と電位電極によって検出された信号は、ピット内に埋設された MTU-5 に入力され、ここで増幅、バンドパスフィルターによってフィルタリング処理される (Fig. 3)。MTU-5 に入力された信号は、24 ビット AD で数値変換され、埋設ケーブルを通して記録計室のデータ取得用 PC に入力される。旧システムの V 5-16 では 16 ビットであったのに対し、MTU-5 では 24 ビット AD ボードを採用している。これが高精度のデータが取得できるようになった大きな要因である (Table 1)。このようにして得られたデータは 1 時間ごとに、江刺は FAX モデムを介し電話回線で、水沢はシリアルケーブルを介して、水沢測地観測所施設内のデータ収集・処理用の PC へ転送されている (Fig. 2)。

**Table 1.** Specification of recording unit, induction coil, electrode and power supply.

<b>Recording Unit : MTU-5 (Made by Phoenix Ltd.)</b>	
Number of Channels	1 to 5
A/D Conversion	24bit, 4kHz max
Notch Filter	50Hz or 60Hz
Input Impedance	>1 Megohm
Frequency Range	1/1800Hz to 384Hz
Data Storage Capacity	256Mbyte compact flash memory
Dimension	23cm x 22.5cm x 11cm
Weight	Approx. 4kg
Temperature(operating range)	-20°C to +50°C
<b>Induction Coil : MTC-50 (Made by Phoenix Ltd.)</b>	
Frequency Range	DC to 400Hz
Dimensions	Length 141cm, $\Phi=6$ cm, Weight=10.5kg
<b>Electrode : Pb-PbCl<sub>2</sub> Electrode (Made by Phoenix Ltd.)</b>	
Frequency Range	DC to 1000Hz
<b>Power Supply : Model PS20 (Made by NITTO Ltd.)</b>	
Input	AC 100V
Output	DC 0 to 25V, 3A

**Table 2.** Serial numbers of MTU-5 box and induction coils are shown. Spans of telluric lines and rotation angle of the electric field from the magnetic north are also shown.

	<b>Mizusawa Geodetic Observatory</b>	<b>Esashi Observatory</b>
Serial number of MTU-5	1473	1470
Magnetic declination	-7 deg.	-7 deg.
Serial number of coil Hx (NS)	9682	9679
Serial number of coil Hy (EW)	9683	9680
Serial number of coil Hz(Vertical)	9684	9681
Rotation angle from magnetic north	-35 deg.	0 deg.
Span of telluric line Ex (NS)	100 m	100 m
Span of telluric line Ey (EW)	100 m	100 m



**Fig. 3.** (a) Overview of the MTU-5 unit installed in concrete bunker at Esashi observatory. Recorded magnetic and electric time series data at both observatories are synchronized by GPS clock (central part).  
 (b) Observed data are recorded to the MTU-5 box (left side) and transferred to the external PC every hour through the Fax modem (right side).

次に、データ転送・処理システムで作成されるファイルについて説明する。Fig.2の1470\*\*\*\*.tbl, 1470\*\*\*\*.ts 3, 1470\*\*\*\*.ts 4, 1470\*\*\*\*.ts 5は江刺の時系列データを、1473\*\*\*\*.tbl, 1473\*\*\*\*.ts 3, 1473\*\*\*\*.ts 4, 1473\*\*\*\*.ts 5は水沢の時系列データを表している。各ファイルの\*\*\*\*には、日付と時刻が記録される。各観測点における1日分のデータ容量は、約45 Mbyteである。また、それぞれの拡張子のついたファイルには、tblは測定パラメータの情報、ts 3は2560 Hz、ts 4は320 Hzそしてts 5は24 Hzで取得した時系列データが格納されている。例えば、1470331 a.ts 3は、江刺で3月31日に2560 Hzで取得された時系列データを示している。なお、“a”はUT 00:00-01:00 (JST 09:00-10:00)までの1時間分のデータを意味する。そして、1日分のデータとして、“x”までの24個のファイルを作成する。

GPS同期の時刻信号によって同期された両観測点の時系列データは、ローカルノイズを除去するため、リモートレファレンス処理をして、一次処理結果としてファイルに記録する(Goubau et al., 1984)。ここで作成されるファイルは4種類あり、ESA-\*\*\* A.MT, ESA-\*\*\* E.MT(江刺の一次処理結果ファイル)、MIZ-\*\*\* A.MT, MIZ-\*\*\* E.MT(水沢の一次処理結果ファイル)である。それぞれのファイル末尾のAはリモートレファレンス処理結果を、Eはリモートレファレンス処理後、さらに標準探索曲線から大きく外れたデータを取り除き再計算した処理、エディット編集処理結果を示している。また、各ファイルの\*\*\*には日付が記録されている。ファイルの容量は、1つのファイルにつき600 Kbyteである。なお、茨城県つくば市にある国土地理院では、データ転送のための回線が細いため、一次処理結果ファイルからさらに最低限の情報だけ抜き出したパラメータファイル(mtparm.dat, dcparm.dat)のみを吸い上げ、毎日モニターしている。このファイルのデータ容量は、2つ合わせて1日分で1 Mbyteである。

このように、電磁場データは水沢測地観測所施設内のPCで一括して収録および処理ができるようになっている。現在、測定機器のメンテナンス、日々のデータのバックアップ作業、大学や



他研究機関からのデータ提供依頼の対応は、水沢測地観測所が行っている。

#### IV. データ処理および結果

MTU-5 では各観測点で毎時 8 種類の時系列データファイルが作成されている (Fig. 2)。1 日分のデータが取得されると UT 09:00-23:00 (JST 18:00-08:00) までの 14 時間分の時系列データから、自動計算プログラム (SSMT 2000) により各観測点の電場および磁場の時系列データを用いて周波数解析を行い、40 周波数のフーリエ変換係数を求めるシングルサイト処理を行う。フーリエ変換係数を求める際には通常 Fast Fourier Transform (FFT) 法を用いるが、この自動処理プログラムでは Discrete Fourier Transform (DFT) 法を採用している。DFT 法を用いる最大の利点は、第 6 と第 8 の調和関数のみを計算するため、有意な情報をほとんど失うことなく、計算時間も早いという点である。

このようにして得られたデータの品質をさらに高めるため、水沢のデータは江刺の磁場データを、江刺のデータは水沢の磁場データを参照し、共通の電磁場変動のみを用いて、インピーダンスを再計算し、各周波数に対応する見掛け比抵抗および位相差を求めるリモートレファレンス処理を行う。計算された見掛け比抵抗および位相差は、標準探査曲線と比較され、異常なデータを除去し高品質のデータのみを残すように再計算されるエディット編集処理を行う。このようにして、毎日、江刺および水沢における見掛け比抵抗および位相差曲線を求めることができる。ここで、得られた結果の一例を、Fig. 4(a)および(b)に示す。

Fig. 4(a)および(b)は、エディット編集処理後の真北を基準とした、2003 年 5 月 25 日の江刺における見掛け比抵抗および位相差曲線である。図中の YX は EW 方向の電場 ( $E_y$ ) と NS 方向の磁場 ( $H_x$ ) から、XY は NS 方向の電場 ( $E_x$ ) と EW 方向の磁場 ( $H_y$ ) から求めた見掛け比抵抗と位相差をそれぞれ示している。信号強度の強さにも依存するが、江刺は従来からシングルサイト処理でもある程度の品質で結果が得られていたが、定常的に高周波 2 周波と、1 Hz から 0.1 Hz (周期 1 秒から 10 秒) まではエラーバーが少し大きい傾向にあった (佐藤・他, 2003)。しかし、

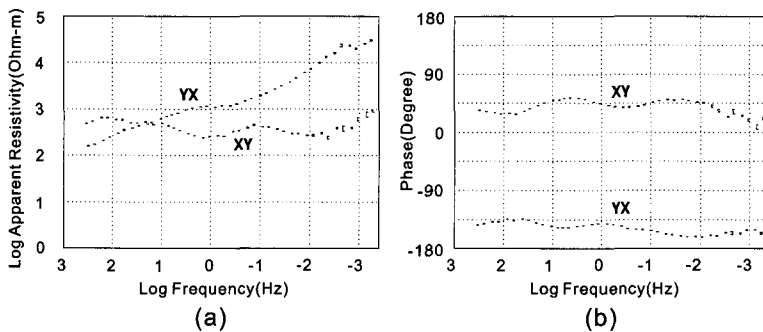


Fig. 4. (a) Apparent resistivity curves and (b) phase curves after remote reference and edit processing at Esashi. YX mode is derived from  $E_y$  component of electric field and  $H_x$  component of magnetic field, while XY mode is derived from  $H_y$  and  $E_x$  components.

今回の機器更新で、解析に使用する時間帯を夜間の14時間に限定したこと、従来のリモートレファレンス処理に加えさらにエディット編集処理も適用したことにより、より品質の高い結果を得ることが可能になった。

一方、水沢のデータに対しても同様の処理方法を適用して計算したが、品質の改善には至らなかった。これは、もともと水沢のデータはノイズレベルが高いので、江刺の磁場データを参照してリモートレファレンス処理をしても、効果が不十分であったものと考えられる。そこで、これ以降本稿では、江刺におけるデータにのみ着目し考察することにする。

## V. 結果および考察

### 1. 江刺観測場における見掛け比抵抗の時間変化

Fig. 5 に江刺の 0.0234 Hz (周期約 40 秒) に対する見掛け比抵抗の時間変化をプロットした図を示す。期間は、2003 年 2 月下旬の機器更新後から 11 月下旬までの約 9 ヶ月間である。この周波数は Pc 変動帯域に属しており、比較的信号強度が安定していることから、0.0234 Hz を代表的な周波数として選びプロットした。なお、データはエディット編集処理後のものを使用している。また、8 月下旬から 10 月上旬にかけて、落雷のため水沢の観測装置が故障し、リモートレファレンス処理ができなかったため欠測となっている。図中の YX は  $E_y$  と  $H_x$  から求めた見掛け比抵抗、XY は  $E_x$  と  $H_y$  から求めた見掛け比抵抗である。

図の特徴として、見掛け比抵抗の YX 成分が、一部ばらつきが大きい期間を含むものの、全体的に緩やかに増加している傾向が見られる。一方、XY 成分については、ほとんど変化が見られない。解釈のひとつとして、地下の比抵抗構造が変化したという見方ができる。大地を一様均質 100  $\Omega\text{m}$  と仮定した場合、探査深度はおおよそ深さ 30 km である。実際はもっと浅いと考えられるが、この深さはちょうど下部地殻付近に相当する。東北日本弧の前弧側下部地殻は高比抵抗であるという報告があることから (Ogawa, 1992)、これが太平洋プレートの沈み込みに伴う歪みの蓄積により、さらに増加する傾向を示しているとも考えられる。つまり、地殻内を構成する岩石の空隙には水が存在し、それらがネットワークを構成している。地殻に加わった歪が、水のネットワー

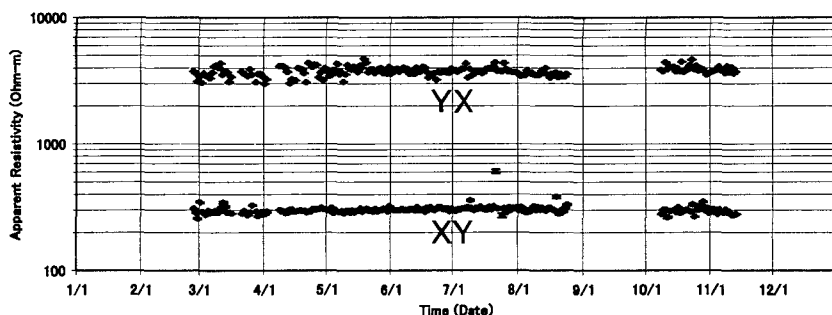


Fig. 5. Temporal variation of the apparent resistivity values at 0.0234Hz at Esashi.

クを断ち切り空隙率を減少させるため、比抵抗が増加しているとも解釈できる。しかしながら、図示していないが位相差には、この増加傾向と対応するような変化は見られない。位相差は変化せず、見掛け比抵抗だけ変化する、すなわち MT 法固有の問題である“スタティックシフト”の時間変化を見ているだけに過ぎないかも知れない。スタティックシフトとは、浅部の局所的な比抵抗異常あるいは急峻な地形の影響により、その構造境界に電荷が蓄積し、この電荷の作る場が常に電場に影響を与え、見掛け比抵抗曲線が対数軸上のグラフで上下してしまう現象である。つまり、Fig. 4(a)の見掛け比抵抗曲線が、曲線の形はそのまま、あるオフセット値を持ちグラフ上で上下方向に動いてしまう現象である。従って、浅部の不均質構造が時間とともに変化することで、探査曲線全体が上下方向に変化しうるので、この変動を見ているだけかも知れない。しかし、いずれにしても現段階では根拠がないので、これ以上の議論はできない。

佐藤・他(2003)は、同じ周波数 0.0234 Hz に着目し、1997 年から 2001 年までの 5 年間分のデータを解析し、見掛け比抵抗の時間変化について考察した。しかし、1 日の代表値として 24 時間の時系列データを使用していたため、50%という大きな分散を示していた。しかし、今回のソフトウェアをバージョンアップしたことに加え、解析に使用する時間を夜間 14 時間に限定したことが、データのばらつきを抑えることに効果があったと見ることができる。

ところで観測期間中、5月26日18時24分宮城県沖を震源とする地震 ( $M_j7.1$ ) と、7月26日7時13分宮城県北部を震源とする地震 ( $M_j6.4$ ) が発生した。震央から江刺および水沢観測点までの距離が約 80 km 以上あるため、いずれの地震の前後にも見掛け比抵抗や他のパラメーターに、有意な変化は見られなかった。一方、5月26日の地震の際に、地震波到達よりも先に水沢の MT 時系列データに変化があったとする報告が、本蔵・佐藤 (2003) によりなされている。しかしながら、解析に使用した地震波形データは、MT 観測装置と同一の場所で計測したものではなく、走時を考慮して水沢で計測されたように補正をしているので、地震波到達時刻の決定にはやや精度が欠けている。このデータについてはまだ検討が必要なので、詳細については別稿に譲ることとする。

## 2. 磁場参照点としての江刺観測場のデータ品質

江刺の MT データは、大学など他機関が実施している MT 移動観測の場合、磁場参照値として使用されるため、データ提供を行っている。そこで、Fig. 6 および Fig. 7 には、江刺のデータを使用してリモートレファレンス処理をした事例を示す。なお前者は機器更新前、後者は機器更新後のデータを使用したものである。

Fig. 6(a) および (b) は、北海道沙流郡平取町で得られた MT データであり、(a) はシングルサイト処理、(b) は江刺の磁場データを使いリモートレファレンス処理した結果である。なお、このデータは地殻比抵抗研究グループにより、2000 年度電磁気共同観測の際に取得されたものである (地殻比抵抗研究グループ・佐藤, 2001)。Fig. 6(a) に着目すると、全体的に 1 Hz より低周波側では見掛け比抵抗および位相差ともエラーバーが大きく、探査曲線も滑らかに繋がらない。さらに、

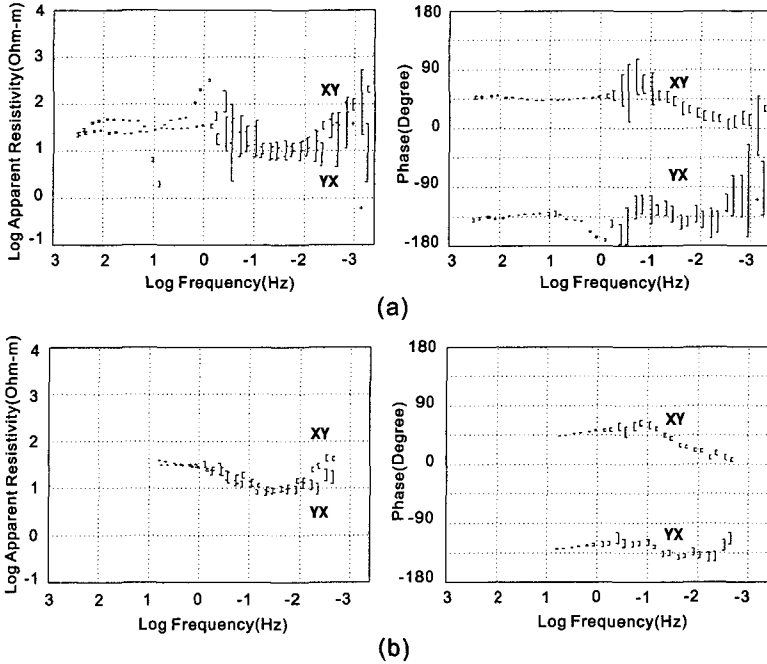


Fig. 6. Apparent resistivity curves and phase curves at Biratori site, Hokkaido. Original data were acquired by Research Group for Crustal Resistivity Structure in 2000. (a)single site processing. (b) remote reference processing.

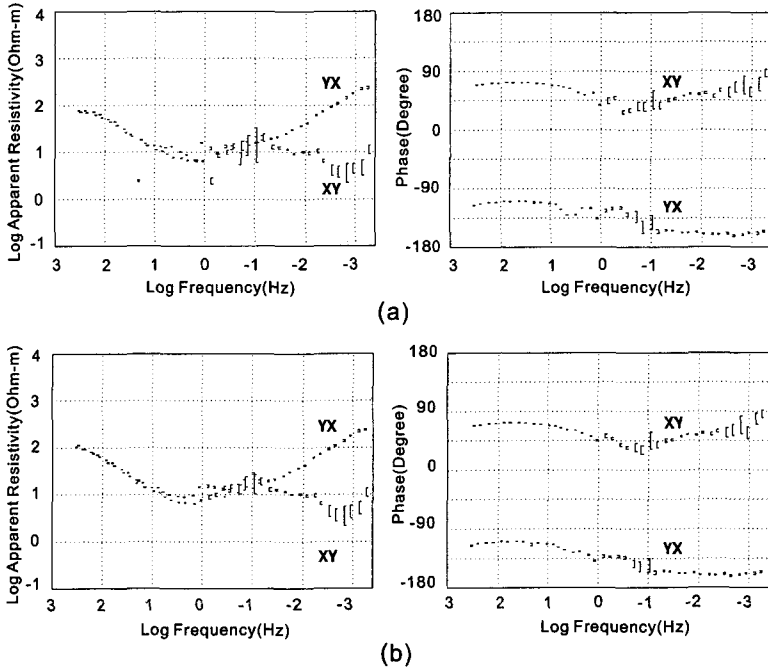


Fig. 7. Apparent resistivity curves and phase curves at the Eastern part of the Mt. Iwate. Original data were acquired by Tohoku University in 2003. (a)single site processing. (b)remote reference processing.

見掛け比抵抗の 1 Hz 付近では、大きなノイズが混入しているように見える。このノイズを除去するため、地殻比抵抗研究グループ・佐藤 (2001) は、このサイトから 10 数 km 離れた観測点の磁場データを用い、リモートレファレンス処理を行った。しかしながら、ノイズを低減させることには成功したものの、完全に除去することはできなかった。このことは、調査地域内に、比較的広域にわたるノイズが存在していることを意味している。そこで、江刺のデータを使いファーマリモートレファレンス処理を施した (高倉・他, 1994)。その結果を、Fig. 6(b)に示す。見掛け比抵抗および位相差ともにエラーバーが非常に小さくなり、1 Hz 付近のノイズもほぼ完全に除去することができていることから、ファーマリモートレファレンス処理がうまく機能していることが明らかである。しかしながら、7.5 Hz までの高周波帯域では、データフォーマットの相違から、同期をとることができなかった。

そこで、機器更新後、江刺を使ってリモートレファレンス処理した結果の事例を Fig. 7 に示す。Fig. 7(a)および(b)は、西岩手山で 2003 年 9 月 26 日に得られた MT データであり、(a)はシングルサイト処理、(b)は江刺の磁場データを使いリモートレファレンス処理をした結果である (高橋, 私信)。Fig. 7(a)に着目すると、20 Hz 付近に突出したデータの乱れと、1 Hz-0.1 Hz 付近 (信号強度が弱い帯域、いわゆる weak band) で探査曲線が滑らかにつながっていない様子が見られる。つまり、インピーダンスが精度良く得られていないことがわかる。そこで、江刺のデータを用いてファーマリモートレファレンス処理を行った。その結果を、Fig. 7(b)に示す。この図から明らかのように、20 Hz 付近のノイズも除去され、weak band 付近のデータも精度良く推定されていることがわかる。

このように、江刺の MT データはファーマリモートレファレンス処理にも非常に有効であることから、良質のデータが取得されていることが示された。さらに機器更新した利点として、高周波帯域のデータについても同期がとれるようになったことが挙げられる。

## VI. ま と め

地震活動や地殻変動と関連した比抵抗変化を検出する目的として、水沢測地観測所および江刺観測場に広帯域 MT 固定連続観測装置を設置し、1996 年 4 月から見掛け比抵抗の連続観測を実施してきた。そして、観測システムの安定性を高めるため、2003 年 2 月に観測装置の一部について機器更新作業を行った。

観測期間中に東北地方で 2 度の大きな地震が発生したが、震央と両観測点との距離が相当離れていたこと、そしてもともと両観測点周辺は地震活動や地殻変動が静穏な場所であるため、本来の目的を議論するには至らなかった。しかしながら、機器更新したことにより安定したデータが取得できるようになったこと、江刺観測場のデータは高い品質を持つ観測点であることを示すことができた。

来年度以降、江刺観測場の MT は基準観測点として維持し、人工ノイズの影響が大きい水沢測地観測所の MT は、内陸地震発生領域への移設が予定されている。これにより、「地震活動や地殻

変動と関連した比抵抗変化を検出する」という本来の目的に沿った観測の実現が可能になる。引き続き本目的に沿った観測を継続し、データ解析を進めていく必要がある。

**謝辞** 測定機器の設置やメンテナンスに際し、日鉄鉱コンサルタント株式会社・横井浩一氏、カナダ国フェニックス社・山下実氏および両社技術者の方々には、多大な御協力を頂いた。また、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の高橋幸祐氏には図面の引用に際し、御了承頂いた。記してここに謝意を表します。

## 文 献

- 浅野陽一・海野徳仁・中村綾子・岡田知己・堀修一郎・河野俊夫・仁田交市・佐藤俊也・長谷川昭・小菅正・長谷見晶子, 1999. DAT アレイ地震観測による奥羽脊梁山地およびその周辺における地震波散乱体分布の推定, *地震*, **52**, 379-394.
- Cagniard, L., 1953. Basic theory the magnetotelluric method of geophysical prospecting, *Geophysics*, **45**, 1-16.
- 地殻比抵抗研究グループ・佐藤秀幸, 2001. 広帯域 MT 法による北海道日高山脈周辺地域における比抵抗構造探査 (序報), CA 研究会 2001 年論文集, 121-128.
- Fujiwara, S., T. Kadowaki and H. Hamazaki, 1999. Monitoring changes of the Earth's electrical resistivity for earthquake and crustal activity research, *Bull. Geograph. Surv. Inst.*, **45**, 11-18.
- Goubau, W.M., P.M. Maxton, R.H. Koch and J. Clarke, 1984. Noise correlation lengths in remote reference magnetotellurics, *Geophysics*, **49**, 434-438.
- 本蔵義守・佐藤秀幸, 2003. 宮城県沖地震及び宮城県北部地震における地震グイナモ効果, 日本地震学会講演予稿集, 2003 年秋季大会, A 066.
- 国土地理院, 2002 a. 2000.0 年値 磁気偏角一覧図, 国土地理院技術資料, B・1, 34.
- 国土地理院, 2002 b. 地球磁気観測報告(水沢・江刺・鹿野山 2001, 一等地磁気点 1980~2001), 国土地理院技術資料, B・4, 22.
- Nakajima, J., T. Matsuzawa, A. Hasegawa and D. Zhao, 2001. Seismic imaging of arc magma and fluids under the central part of northeastern Japan, *Tectonophysics* **341**, 1-17.
- Ogawa, Y., 1992. Deep crustal resistivity structure revealed by wideband magnetotellurics-Tohoku and Hokkaido region, Ph.D. thesis, 320pp., Univ. of Tokyo.
- Phoenix Geophysics, 1997. Stationary MT monitoring system for earthquake research installed for the Geographical Survey Institute, Phoenix Tech. Rept., Phoenix Geophysics, Tronto, **1**, 1-4.
- 佐藤秀幸・湯通堂亨・門脇俊弘・石原操・藤原智, 2003. 広帯域 MT 固定連続観測システムを用いた地殻比抵抗モニタリング, 国土地理院時報, **101**, 23-32.
- 高倉伸一・武田祐啓・松尾公一, 1994. MT 法における広域ノイズの影響とファーリモートレファレンス法によるその除去, 物理探査, **47**, 24-35.