

# ネットワークMT法観測の概要

東京大学地震研究所 上嶋 誠  
歌田久司

## 1. はじめに

ネットワークMT法<sup>1), 2)</sup>において、我々はその地電位差観測の際にNTT通信回線をケーブルとして用いる(第1図)。NTT通信回線網は、ローカルには各交換局を中心として交換局エリア内の各点に放射状に広がり(市内線)、また各交換局同志はその地方の主幹電話局を中心とする放射状の回線(市外線)で結ばれ、さらにその主幹電話局同志が主幹回線(ネットワーク回線)で結ばれるというネットワーク構造を持っている。従って、このネットワーク構造を利用すれば、任意の2地点間の地電位差観測が可能となる。また、電気伝導度構造が時間的に変化しない(言い換えれば、周波数領域において電場磁場変換関数は時間的に変化しない)ことを仮定すれば、各々の地電位差観測が同時に行われなくても、総体として観測された基線がネットワーク構造を持っていれば周波数領域での各地電位差磁場変換関数の線形結合によって任意の2地点間の地電位差磁場変換関数を求めることが可能である。このことによって、10~数10kmの長基線での電場、そしてインピーダンスの面的分布を効率的に求めることが可能となる。

長基線で電場を観測出来ることのメリットは2つあり、第一に相対的なS/N比の向上、第二に浸透深さが水平方向の電気伝導度不均一性のスケールレングスより長くなった場合に問題となるいわゆるstatic effectの解消があげられる<sup>3)</sup>。また、面的なインピーダンス分布を得ることの効用として、3次元的な電気伝導度不均一構造によって生じる電磁場の水平および垂直方向のdistortion<sup>4)</sup>の影響を正確に見積れる点があげられる。

本小文においては、このネットワークMT法の観測について具体的な手順や留意すべき点などを中心に解説していきたい。

## 2. ネットワークMT法観測の実際

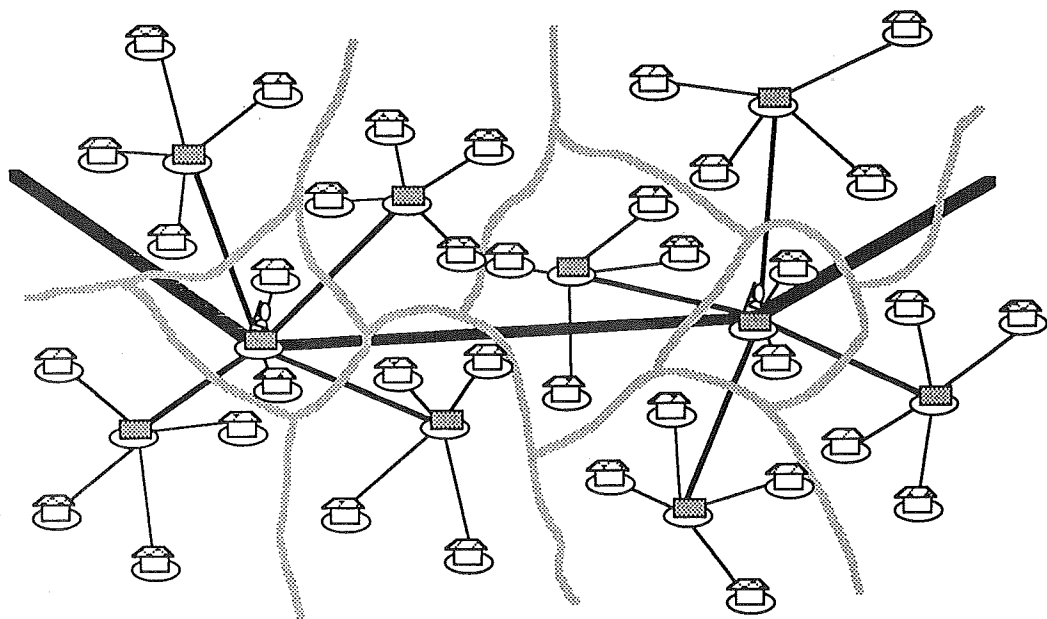
### (1) 電極設置点の決定及び土地交渉




以前は電極としてNTT通信用アースを用いていたが、島原半島における経験から、NTTのアースを用いた方がかえって交換機作動に伴うパルスの混入等でデータの質が悪くなってしまうことが明らかになった。従って、最近では自作電極を用いている。この場合、こちらの指定した任意の場所に電話回線を引いてもらい、その先に(通常なら電話機が接続されるところに)自作電極を接続することになる。このことによって、任意の電極配置での観測が可能となった。

電極間隔は、対象とする比抵抗構造のスケールレングスに応じて決定する。例えば、茨城県南西部<sup>5)</sup>の観測においては10km、雲仙普賢岳周辺の構造決定を目指した島原半島の観測<sup>6)</sup>においては5kmメッシュで電極を配置した。全国を網羅するような観測においては、

20～50km程度が望ましい。まず最初は、地図上で機械的にメッシュを切る。すべての観測点がメタリック回線で結ばれている場合は、機械的に配置したメッシュそのままの形の観測を行える。しかし、第1図のネットワーク構成で、市内線（交換局－各家庭）はまず確実にメタリック空き回線があるが、市外線（交換局－交換局、交換局－中心局）やネットワーク線（中心局－中心局）では空き回線が無い場合や、無線伝送であったり光ファイバー化で、そもそもメタリック線が無い場合もある（但し、光ファイバーに関しては、切断検知用のメタリック芯線の使用させて頂くようNTTと交渉中である）。このように市外線やネットワーク線が使えない場合は、交換局エリアの境界付近に観測点を設定し、その観測点到両側の交換局からの市内線を引き、エリアを接続するという方法をとる。これは、交換局エリアの境界付近で両交換局からの市内線の端点が近接している場合に有効である。これが不可能な場合は、完全なメタリック線による接続は諦め、各交換局エリアの回線の客々の末端に観測点を設定し、結果的に地域を面的に覆うことを考えるより他はない。以上を考慮するにあたって、NTTの交換局エリアの分布や、使い得る市外線、ネットワーク線のメタリック回線の状況を知る必要がある。そういった情報を予め周知して頂けるよう、これもNTTと交渉を行っている。また、実際に交換局エリア境界付近の回線がどうなっているかは土地交渉の段階で把握し、上のいずれの方法をとるか決定する。そして、上で述べた事情によって境界の点が移動し、著しくメッシュ状配置が壊れてしまった場合は、適当に全体のメッシュ配置にも修正を加える必要が生じる。

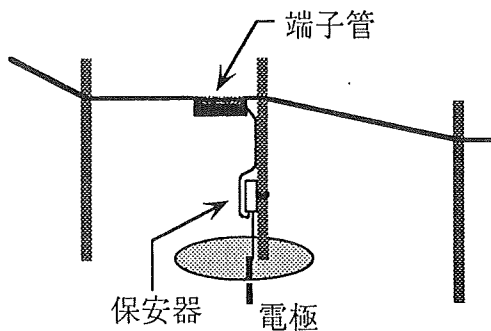
次に、地図上での検討を元に土地交渉を行う。土地交渉では、地図上で決定されたメッシュ点になるべく近い点で、既に電話回線が引かれている点を選択する。民家の庭、寺社の境内等が望ましい。集落が無くても、電話回線が通っていて端子管（第2図）があれば、その近傍の電信柱の場所をもって電極点とすることが出来る（ただしこの場合、住所を知ることや土地所有者の許可をとることが困難である場合が多い）。電話回線の接続工事は、（現在の目的では単に電極への接続端子盤として使われる）保安器までとなるが、この保安器をNTTの電信柱に取り付けてもらうようにすると、殆ど土地の所有者に迷惑がかからない（そうでない場合は壁、塀等に取り付けることになる）。ただし、電信柱に保安器を取り付けてもらうためには、それがNTTの専用柱である必要がある（これは電力線がその柱を経由していないことで判断出来る）。広い庭を所有する民家や寺社などでは、その庭の一角に電話線引き込みのためのNTT専用柱が立てられている場合が多く、そういう場合は、その柱に保安器を取り付け、その柱の近傍に電極を埋設する。各電柱には識別のための名前が付けられているので土地交渉の際にその名前を控え、後で述べるNTT専用線新設あるいは移転依頼書にその名前を明記すれば、その電柱に保安器を取り付けてもらえる。何れにしても土地の所有者と相談の上、保安器及び電極の設置場所を決定すべきである。所有者の了解が得られたら、名前、住所、連絡先電話番号等を控える。長期にわたる連続観測では、「土地借用承諾書」を書いてもらう場合もある。最後に、電極設置点として畑や田圃は避けた方がよい。これは、化学肥料が土壤に染み込んでいるうえ、田畑の作業等で電極が極端に不安定になるためである。



- |                |  |
|----------------|--|
| —— 市内線         |  各家庭    |
| —— 市外線         |  支交換局   |
| —— ネットワーク線     |  中心電話局 |
| ..... 交換局エリア境界 |  |

第1図 NTT通信回線網の構成。

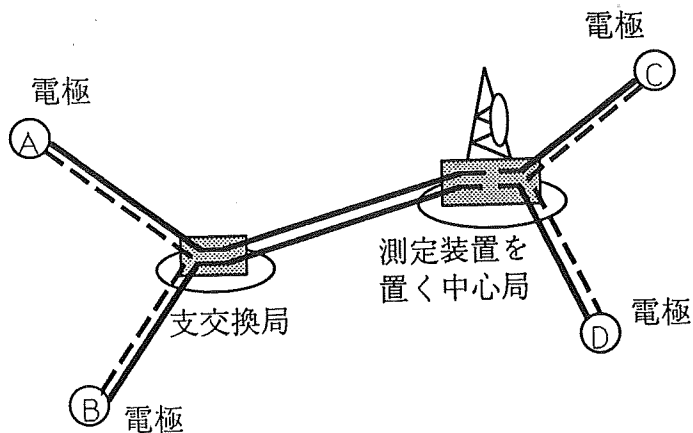
ネットワークMT法では、このNTT回線網のネットワーク構造をフルに活用する。



第2図 電極埋設の一例

電信柱を經由している電話回線は、通常何対もの回線が収容されている。それを端子管の部分で分岐させる。

従って、図のように集落のない場所に電極を埋設したい場合は、その端子管の近傍を選ぶ。



第3図 回線作成（起点終点決定）時の注意

図のような配置の場合、A-C,B-Dの組で回線を作成する。これは、A-B,C-Dの組で起点終点を指定すると通常破線のように回線が作成され、支交換局-中心局間の市外線は経由しないためである。

### (2) NTTとの交渉

電極設置点を決定した後は、地電位差測定・データ転送装置の設置場所を決め、始点終点の組を決めた上でNTT専用契約申込書、あるいは、NTT専用契約変更請求書を提出する。測定装置は、NTTの全国各地の交換局機械室内に設置させて頂く予定である（交渉中）。従って、データ転送用の公衆回線を機械の台数分だけ交換局内に開設する。日本全国を網羅するような大規模な観測では、一交換局エリア内にせいぜい1～2点の電極が設置されるだけであり、測定装置を置く交換局も地域の中心電話局となる。これに対して小規模な観測では、各交換局にそれぞれ測定装置を置くことになる。次に、始点終点の組を決めるときは、回線構成を考慮に入れて測定装置が置かれる交換局を自然に通ることになるよう、組を作っていくことが望ましい（第3図）。

契約書を作成したら、まず、最寄りのNTT専用線センター（技術系の部門）にFAXを送付し、回線作成の可否を問う（ここでもう一度測点配置を考えなおさなければならない場合もある）。了解が得られた時点で、事務に提出して申し込み代表者の印鑑を押印してもらい、それをNTTの営業部門へ送付する。さらに、実際に回線作成工事を担当する部門へ、保安器を設置する場所の詳細を知らせておく。

### (3) 電極・測定装置の設置、ミス配線の確認

現在は、電極として水道鉛管（1m程度）を塩酸中で電気分解し塩化鉛を表面に付着させたPb-PbCl<sub>2</sub>平衡電極を用い、埋設の際に接地抵抗低減材（石膏、ベントナイト等）を用いている。この方式で、スコップ一本分程度の穴に埋設すれば、数カ月程度は安定しているよう

ある。しかし、SPの変化も考慮の対象とするような長期的に安定なデータを得るためには、電極の材質、形状及び大きさ、低減材の材質、埋設する深さなど検討すべき点が多い。電極からのリード線は、保安器に接続する。経験では、この線が動物等に噛まれたり切られたりすることが多く、線を埋設する、あるいは、線の材質を考える等何らかの対策を講じなければならない。電話回線は2本一組の平行線となっていて保安器の端子も2つあるので、その2つをショートして電極へつなぐ。

測定装置は各交換局の機械室内に置かれるが、機械室内へ勝手に入ることは許されず、必ずNTT職員の立会いが必要となる（従って時間等の打ち合せが必要）。そこには場所を示す名札の付いた各電極点からの回線が集まっている。ループ抵抗、ある点を基準としたときのアース抵抗、自然電位、ノイズレベル等をアナログテスターやオシロを用いて測定し、記録する。先に述べたように電話線は2本一組の平行線となっていて、電極点でショートしているので、交換局内で同一点からの2本の回線間の抵抗を計ると、交換局-電極点-交換局のループ状の線の抵抗を計ったことになる。これをループ抵抗といい、回線距離に比例した値を持つ（その2本をたばねて用いるので実際の線の抵抗はループ抵抗値の1/4となる）。さらに2組の回線（A、B）間の抵抗を計ると、交換局-電極点A-地球-電極点B-交換局の経路で抵抗を測定したことになり、これをアース抵抗という。これらの抵抗が無限大など極端におかしな値であった場合、回線が正常につながれていない可能性が高い。また、ノイズ（主として課金パルスを拾う）の振幅が数〜数10Vと極端に大きい場合も、誤配線や回線のリーク等を疑う必要がある。こういった場合は、立ち会ったNTTの人に事情を話し、回線のチェックをして頂く。

次に、各回線を測定機に接続し、各チャンネルがどの2点間を計っているのかを記録する。誤配線のチェックは、この様に測定を開始した後に、各電極点へ行って時刻を決めて切断試験（保安器はネジをまわせば回線が切断されるよう設計されている）を行うことによっても確かめられる。後でデータのチェックを行い、確かに切断を行った時刻にその電極点に関係するデータのみがおかしくなっているかを調べれば良い。以上の過程で異常が発見された場合は、直ちにNTTに連絡し、回線の再チェックを行って頂く。

地電位差計や磁力計をスタートさせ時計をセットする際、117の告時ダイアルを参照したり腕時計を正確にあわせておく必要がある。あるいは、JJYや $\omega$ 局電波に同期させた標準時計を用いて最初の時刻設定を行うという方法も考えられる。地電位差計、磁力計共、最初に時計を設定した時刻を記録しておく。

#### （4）測定期間中の注意

ネットワークMT法の観測といっても通常の地電位差の観測と何ら変わるところは無い。公衆回線で送られて来るデータを常にチェックし、電極の劣化や回線・電極へのリード線の切断・リーク等測定系の異常が無いかを監視する必要がある。

通常のMTと異なる点は、磁場と電場が独立の測定系で測定されるため、絶対的な時計の精度が必要となる点であろう。北海道東部における同法の解析<sup>1)</sup>から、電場磁場間の位相差が深部構造を決定する際に重要な意味をもっており、例えば10度程度の位相差の違いでかなり構造が異なってくるということが明らかになった。例えば周期を2分とすると10度の位相差は約

3秒となる。1ヶ月の観測で3秒のくるいにとどめるためには時計の絶対精度として少なくとも $10^{-6}$ は必要である。このため、新しく作る測定器の時計精度は $10^{-7.5}$ とし、通信によってPCと測定器との時計のずれを取得する機能を付加した。例えば一週間に一度、時計のくるいをモニターし記録していくことが望まれる。さらに、参照データとして用いられる磁場データの時刻精度も同程度である必要がある。

#### (5) 測定終了時の注意

測定終了時に回線の異常が発見されても仕方無いのであるが、念のために、(3)で説明した回線のチェックをもう一度行う。まず、各電極点で切断試験を行う。次に測定器が設置されている交換局で、それぞれのチャンネルで測定されている電極のペアを再確認し、ループ、アース両抵抗、およびノイズレベルを測定し記録しておく。測定器の電源をOFFする前には、時計がどれだけくるっているのかを測定し記録する。これは、磁力計についても同様であり、時計が著しくくるっている場合は、最初に時計を設定した時刻も用いて、データの線形補間をするなど何らかの補正を行う必要が生じる。

### 3. おわりに

第7次地震予知事業において予定されている、全国規模でのネットワークMT法観測の実施に向けて、観測の方法を中心に多少こまごまとした点にわたって書き綴った。おわりにあたって、ネットワークMT法の連続観測を行うことによって見込まれる成果について簡単に記すことにする。

まず、ネットワークMT法的な観測を連続して行うことにより、電気伝導度構造の永年変化を面的にモニターすることが出来る。実際1987年より開始した伊豆大島における観測データ<sup>7)</sup>のMT法的解析を行った結果、1988-1991年の4年間に1.4倍程度の(16-128分では)周期によらない微少な見かけ比抵抗値の増加を検出することが出来た。

次に、ネットワークMT法によってインピーダンスの面的な分布が得られるので、その空間微分をとることによって磁場(鉛直成分)の変換関数を求めることが可能である。関東大地震前後に柿岡における変換関数の(より精度良く求められる)Aの値が0.2程度変化したこと<sup>8)</sup>はよく知られている。しかし、こういった変化がインピーダンス $Z_{xx}$ 、 $Z_{yx}$ のいずれが変化したために起こったのかは変換関数の観測だけでは明らかにすることは出来ない。従って、ここで述べた方法により、そういった変換関数の変化をもたらした原因について、新たな知見が得られるものと思われる。

最後に、基本的に地電位差の面的なモニターを行うのであるから、SPの変化に着目することも興味深い。ただしこの場合、SP変化の空間波長を考慮して空間的エイリアジングが起ころぬよう十分密に電極を展開する必要があるだろうし、また、標準電極による電極の接触電位差変化のチェック<sup>9)</sup>を行う必要もある。

## 参考文献

- 1) 上嶋誠他 Network-MT法について、C A 研究会論文集、(1991) 39-51
- 2) 上嶋誠他 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、Vol.14 (1992) 551-558
- 3) C. Torres-Verdin and F.X. Bostick, Principles of spatial surface electric field filtering in magnetotellurics: Electromagnetic array profiling (EMAP), Geophysics, Vol. 57 (1992) 603-622など
- 4) R.W. Groom and C. Bailey, Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in the presence of local three-dimensional galvanic distortion, J.G.R., Vol. 94 (1989) 1913-1923など
- 5) 上嶋誠他 自作電極とN T T通信回線を用いた茨城南部におけるネットワークMT観測について(序報)、第91回SGEPSS春期講演会講演予稿集、(1992) A11-03
- 6) 上嶋誠他 雲仙火山周辺でのネットワークMT観測について(序報)、地球惑星科学関連学会1993年合同大会予稿集、(1993) G31-016
- 7) T. Kawase et al, Possible correlation between geoelectric potential change in Iau-Oshima Island and the earthquake swarm off the east Izu Peninsula, Japan, Tectonophys., in press (1993)
- 8) K. Yanagihara, Secular variation of the electrical conductivity anomaly in the central part of Japan, Mem. Kakioka Mag. Obs., Vol.15 (1972) 1-11
- 9) 橋本武志他 1991年の雲仙岳における自然電位観測、地磁気観測所技術報告、第32巻 (1992) 249-256