

V L F - M T の連続観測について

山崎 明
地磁気観測所

Continuous Measurement of Electrical Resistivity
by using VLF-MT Method

Akira YAMAZAKI
Kakioka Magnetic Observatory

1. はじめに

V L F - M T 法は人工電磁波を利用した M T 法で、野外での測定が簡便なことから大地表面の比抵抗調査にさかんに用いられている。V L F の発信源は現在宮崎県加久藤にあり、発信周波数は 22.2 kHz である。V L F - M T 装置を固定点に設置し連続測定を行えば、比抵抗の時間変化が求まる。しかしこれまで V L F - M T の連続観測の実施例¹⁾は少なく、どの程度の信頼性があるのかあまりわかっていない。

V L F - M T 法は、人工電流法に比べて装置が軽量でコンパクトであり、消費電力が少なくローコストである。V L F - M T 装置をうまく使えば、多点での連続観測が実現し、地殻活動や火山活動の監視に有効な観測になりうるかも知れない。

筆者は V L F - M T の連続測定の信頼性を調査するため、茨城県南部、および V L F の発信源に近い九州南部において V L F - M T の連続測定のフィールドテストを行った。本文では測定結果について述べ、いくつかの問題点を指摘する。

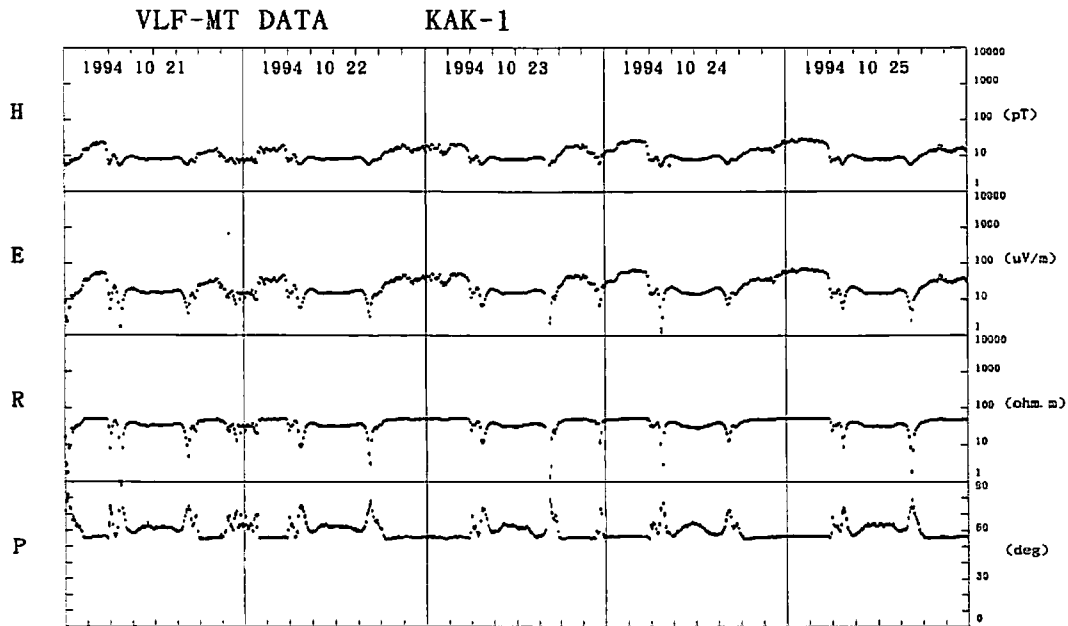
2. 測定

連続測定に使用した V L F - M T 装置は VL-101 (テラテクニカ製) である。測定は、磁場強度が最大となる方向へセンサーを向け、動かないように固定して設置し測定した。今回の測定ではすべての地点で電極間隔を 9 m, スタック数を 8 回、測定間隔を 10 分とした。メモリーには時刻、磁場強度、電場強度、比抵抗、位相差の各値が入る。

3. 茨城県南部での測定

最初、地磁気観測所構内 (K A K - 1) で 10 日間程 V L F - M T の連続測定を行った。その結果を第 1 図に示す。図に見るように、日の出、日没の時間帯に比抵抗は極端に小さくなり、位相差も大きく変化している。日中は比抵抗、位相差とも一定ではなく、弓なりに変化している。こうした変化は常識的に見て大きすぎ、原因が大地にあるとは考え難い。

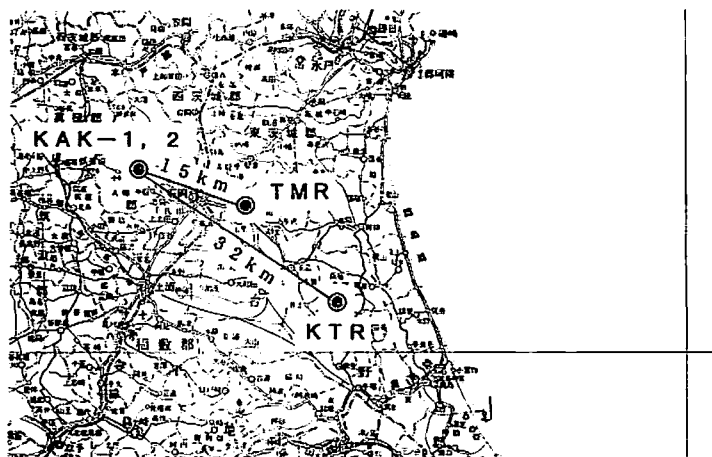
一方、V L F 波の強度は概ね日中に弱く、夜間に強まっている。また、日の出、日没時には最も弱まり、特に電場強度で著しい。測定地点は V L F の発信源から約 1000 km の距離があ



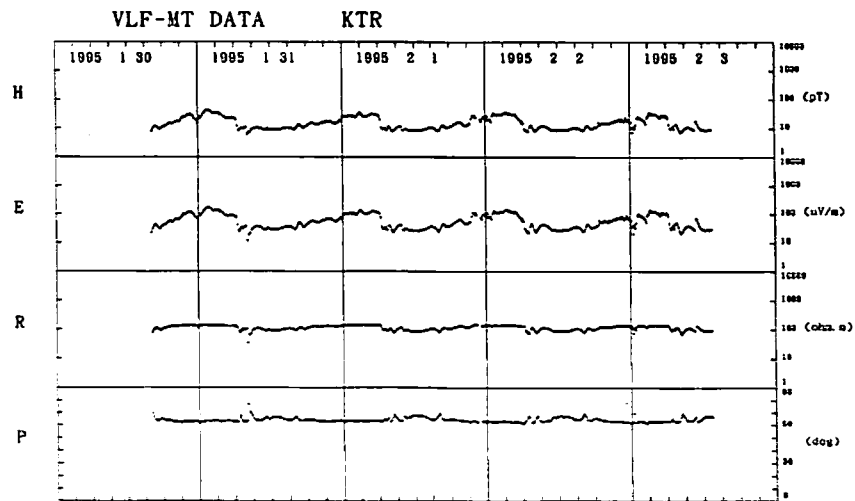
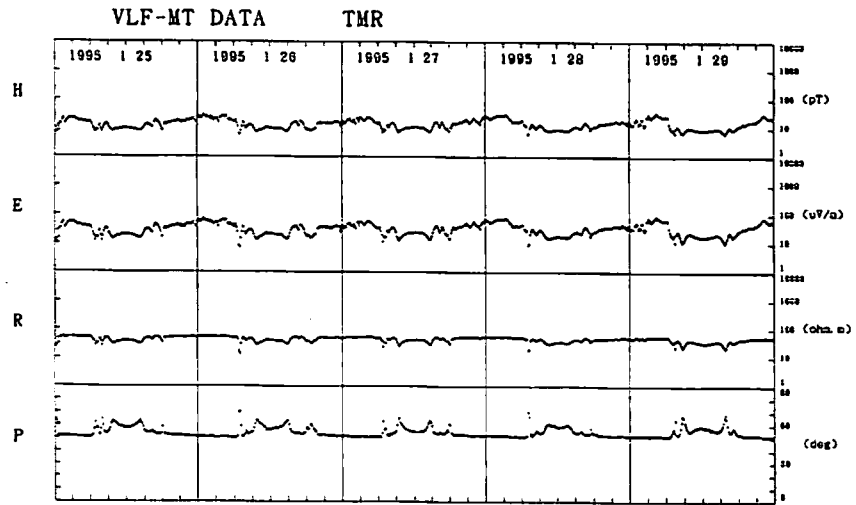
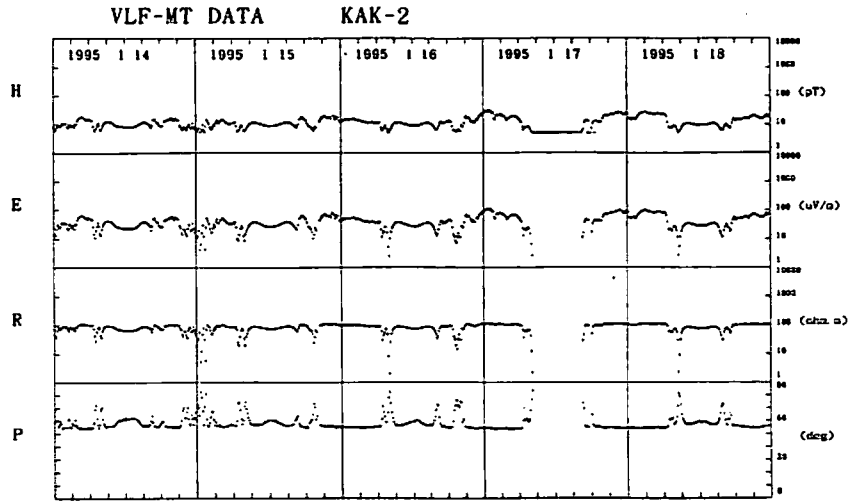
第1図 地磁気観測所構内（KAK-1）での連続測定結果

り、VLF波は電離層で反射して到達すると考えられる。日中はD層が出現し反射高度が低くなり伝搬状態が悪くなるので、VLF波の強度は夜間より弱まるものと推察される。日の出、日没はD層の形成、消滅の時間帯であり、VLF波の伝搬経路はかなり複雑になると考えられる。しかし、VLF波の伝搬経路がどのように変化しても、MT法では、大地が等方的であれば、入射するVLF波の強度や方向に無関係に一定の応答を持つはずである。

柿岡から少し離れた地点でもKAK-1と同じような測定結果が得られるかどうかを調べるため、KAK-2、玉里（TMR）、北浦（KTR）で同様の測定を行った（第2図）。ここでKAK-2はKAK-1と同じく地磁気観測所構内にあり、KAK-1からおよそ200m離れた地点である。第3図に測定結果を示す。KAK-2ではKAK-1とほとんど同じ結果になっている。TMR、KTRではKAK-1、2ほど顕著ではないが、やはり日の出、日没時に比抵抗、位相差に異常な変化が現れている。



第2図 茨城県南部での測定地点

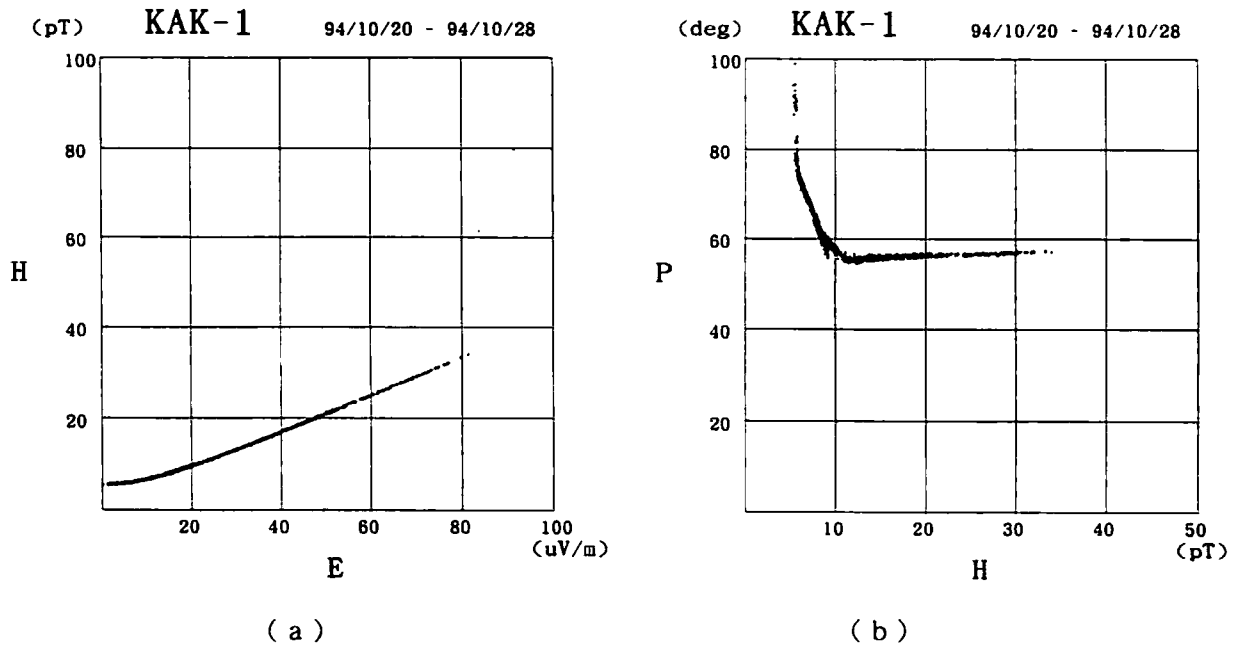


第3図 KAK-2, TMR, KTR での連続測定結果

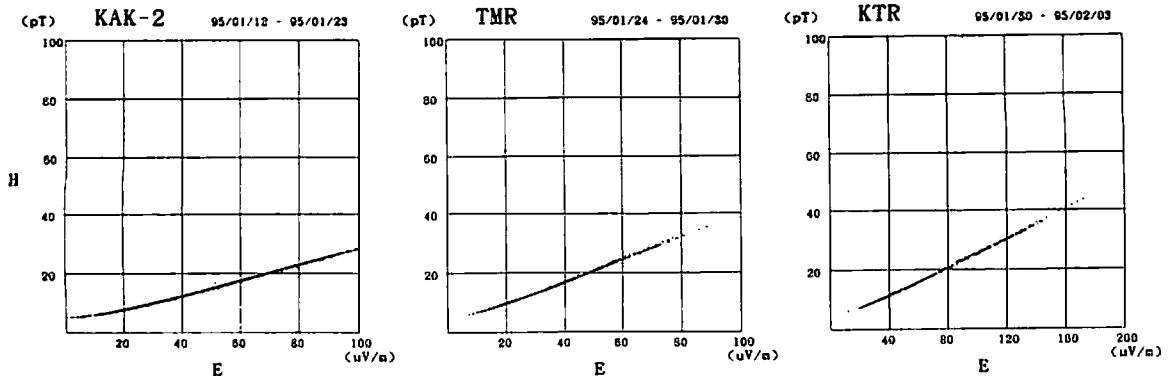
4. 比抵抗, 位相差の異常変化の原因

1月17日の日中にVLFの送信がストップした(第3図)。この時, 磁場, 電場強度は一定値となり, それぞれ 5.2pT , $0.007\mu\text{V/m}$ であった。これは装置のノイズレベルであると考えられ, 磁場のノイズレベルはかなり高く, シグナルレベルに近い値になっていることがわかった。電場のノイズレベルはシグナルレベルよりずっと低いので, 電場強度の方がVLF波の強度をより正しくモニターしていることになる。すなわち, 第1図, 第3図の電場強度に見るように, 到達するVLF波の強度は日の出, 日没時に極端に弱まっていることになる。また, この時間帯に現れていた比抵抗値の極端な低下は, 磁場強度がノイズレベルより弱まるのが原因であることが明らかとなった。

第4図にKAK-1の電場強度と磁場強度, 磁場強度と位相差のプロット図を示す。大地が等方的であれば, 電場強度と磁場強度の関係は原点を通過する直線となるが, 磁場に含まれるノイズのため原点通過の直線にはなっていない。これはKAK-2, TMR, KTRでも同様である(第5図)。



第4図 (a) KAK-1の電場強度と磁場強度のプロット図
(b) KAK-1の磁場強度と位相差のプロット図



第5図 KAK-2, TMR, KTR の電場強度と磁場強度のプロット図

5. 補正の試み

V L F - M T の測定で問題となった磁場に加わるノイズは、第4図からわかるようにランダムな特性はなく比較的性質のよい特性を持っており、ノイズは一定振幅の定在波であると思われる。そこで、測定値を補正することを試みた。

・磁場強度の補正

観測される磁場強度 (H_p) は真の磁場強度 (H) に定常的なノイズ ($H_n + A \exp(-\beta H)$) が加わっているものと考え、次式で表されるものとする。

$$H_p = H + H_n + A \exp(-\beta H)$$

次に電場強度 (E) の測定にノイズが含まれないと考えれば、適当な期間の H_p , E の測定から定数 H_n , A , β を決めることができる。すなわち、第4図の H_p , E の強度のプロット図にフィットする曲線を次式で求める。

$$H_p = \alpha E + H_n + A \exp(-\gamma E)$$

また

$$H = \alpha E$$

の関係から

$$H_p = H + H_n + A \exp(-\gamma H / \alpha)$$

が得られる。この式から H を数値的に求める。実際の補正に用いたパラメータ値は

$$\alpha = 0.405 \quad H_n = 0.88 \quad A = 4.7 \quad \gamma = 0.11$$

である。

・位相差の補正

観測される位相差 (P_p) は真の位相差 (P) にノイズ (P_n) が加わったものとする。

$$P_p = P + P_n$$

P_n は観測される磁場強度 (H_p) のみの関数 ($P_n = f_n(H_p)$) で、時間的に不変であると仮定すれば、位相差は

$$P = P_p - f_n(H_p)$$

で求まる。

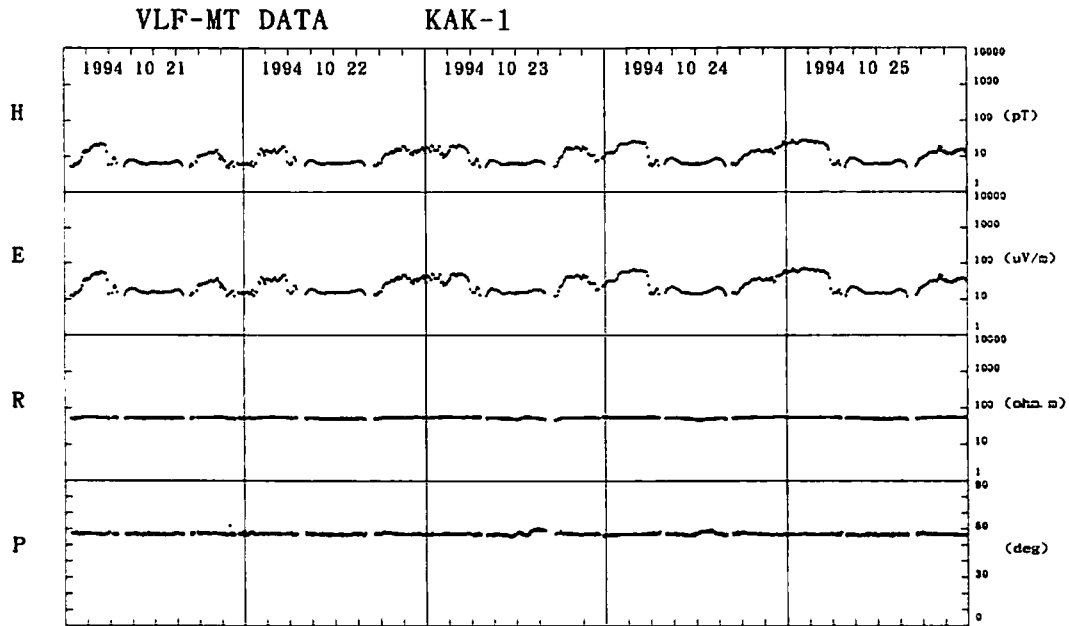
$f_n(H_p)$ は適当な期間の P_p と H_p の測定値から求める。実際には H_p がある値を超えれば $f_n(H_p) = 0$ になるものとし、この時の位相差を P_0 とすれば

$$P_0 = P_p - f_n(H_p)$$

を満たす $f_n(H_p)$ を求め補正に使う。

第6図に磁場強度、比抵抗、位相差を補正した $K A K - 1$ のデータを示す。補正前 (第1図) と比べると V L F 強度に関係した異常変化はほぼ取り除かれていることがわかる。また、

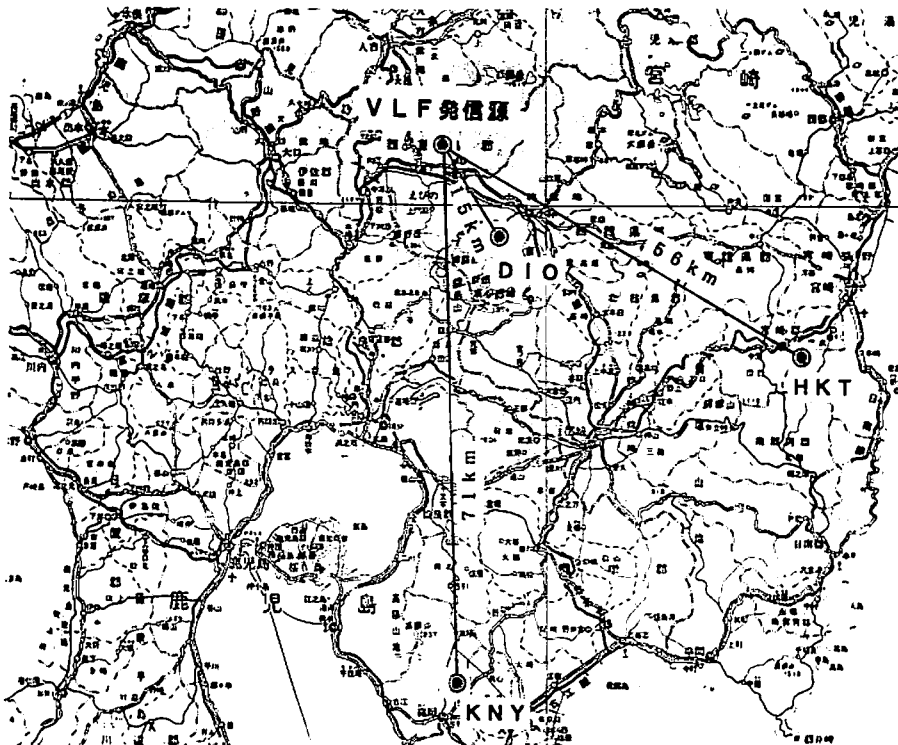
VLF強度に依存しない小さな変化（10月23日，24日）が見えるようになってきている。



第6図 補正を行ったKAK-1の測定結果

ここで，電場強度が $12\mu\text{V}/\text{m}$ 以下のデータは補正精度が落ちるので欠測扱いにしている。

6. 九州南部での測定



第7図 九州南部での測定地点

V L Fの発信源近くではどのような測定結果が得られるかを調べるため、九州南部の鹿屋 (K N Y), 伯田 (H K T), 大王 (D I O) でV L F - M Tの連続測定を行った(第7図)。測定結果を第8, 9図に示す。測定を行った3地点ではノイズレベルをはるかに上回る磁場強度が受信されており、茨城南部での測定のようなノイズレベルの問題は無視できる。3地点ともV L F波の強度の変動は茨城南部よりも小さく、また日の出, 日没時の強度の低下は認められない。これは受信しているのは主に直接波であることで理解できる。

地点別に見てみると、K N Yでは12月2日, 5日, 6日の日中の異常な変化が目立つ。5日, 6日の異常変化は磁場に原因があることは明らかで、電場に影響がでないくらいの測点のごく近くで、磁場をゆがめるような何らかの人工的障害があったものと推察される。しかし、原因は特定できていない。異常変化を除けば、K N Yでの比抵抗および位相の変化は小さい。

H K TはK N YよりもV L Fの発信源に近いが、なぜかV L F波の強度の変動が大きい。また、比抵抗と位相差の変化もかなりある。第9図をみると、他地点よりバラツキが大きく、またデータは原点を通過する直線には乗っていない。H K Tでのこうした比抵抗と位相差の変化の原因は、測定地点の異方性によるものではないかと推定される。大地に異方性があれば、到来するV L F波の方向の変化によってM Tの応答は変化する。H K Tは山間部にあり、測点は尾根の中腹部に位置しているため、地形に起因する異方性がかなり大きいのではないかと考えられる。

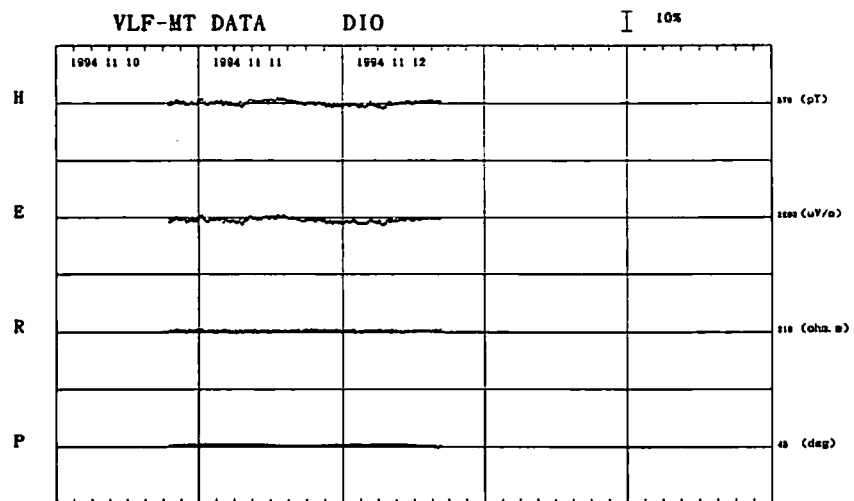
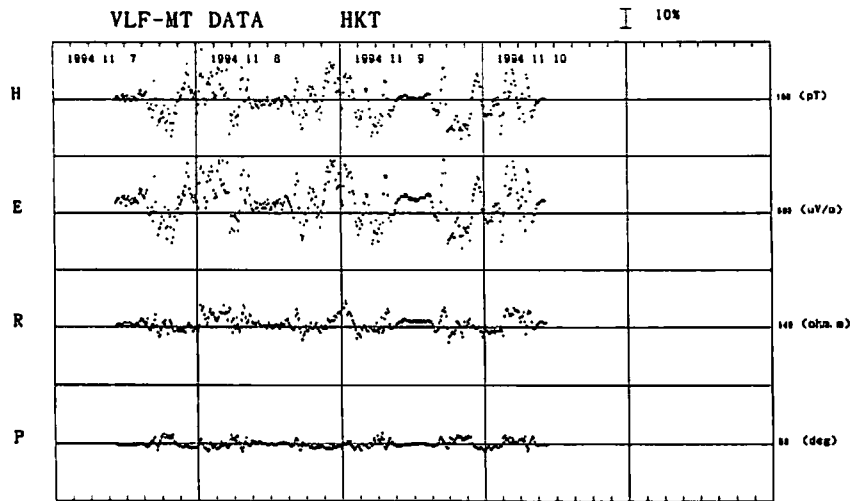
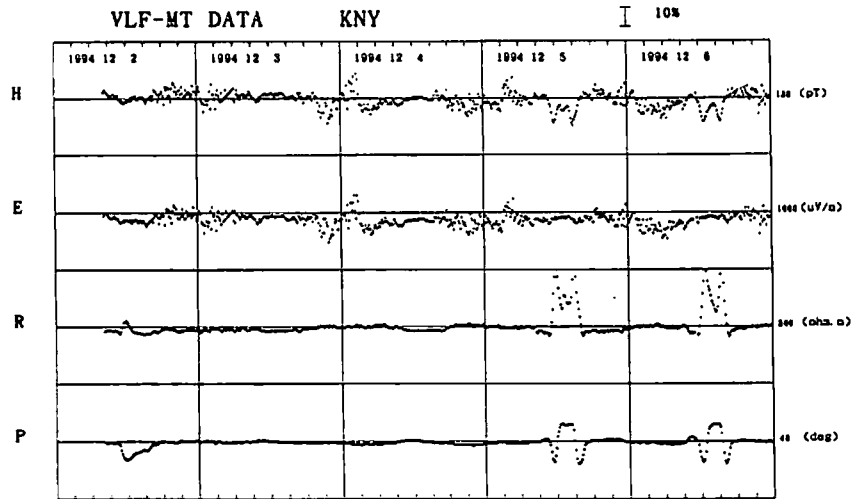
D I OはV L F発信源から15 kmの近距離に位置し、V L F波の受信強度は極めて高く、最も信頼性の高い測定が行われていると考えられる。事実、短期間の測定ではあるが、V L F波の強度の変動は小さく、比抵抗, 位相ともほとんど一定の値になっている。

7. まとめ

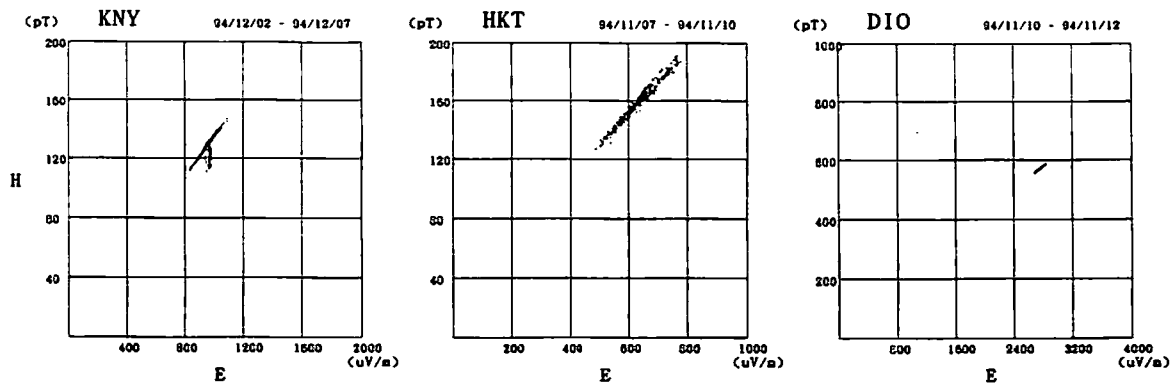
V L F - M Tの連続測定を茨城県南部, および九州南部の数地点で試験的に実施した。その結果、V L F - M T装置の磁場強度のノイズレベルは意外に高く、連続測定を行う上で大きな誤差要因となることが明らかとなった。ノイズの補正は可能であることを示したが、補正方法はノイズの状態が時間的に不変であることを前提としており、補正がどの程度有効であるかは多少疑問が残る。精密な連続測定のためには装置を改良し、ノイズを一桁程度低くする必要がある。

V L F - M T装置はほとんどの場合、比抵抗構造調査の目的に用いられており、筆者が指摘した磁場のノイズレベルの問題はあまり障害にはならないと考えられる。しかし、電離層の状態や測定地域によってはV L F波の強度が著しく弱まることも起こりうる。うっかりすると誤った測定をしてしまう危険性がある。出来れば、装置のノイズレベルを把握して、測定に際しては磁場強度をチェックした方が望ましいと思われる。

V L F - M Tの連続測定では大地の異方性が大きな問題となる。電離層の状態変化によって、V L F波の到来方向の変化や2方向から到来することも起こりうる。この時大地に異方性があれば、V L F波の到来方向の動きに対応した比抵抗変化が観測されてしまう。V L F - M T装置を2組設置し、ベクトルで測定すればこの問題を解決できる可能性はあるが、な



第 8 図 KNY, HKT, DIOでの連続測定結果



第9図 KNY, HKT, DIOの電場強度と磁場強度のプロット図

るべくなら測定地点が異方性を有するかどうかを調べ、異方性のある場所は避けて測定を行うべきであろう。

以上、VLF-MTを連続測定する場合、装置のノイズと異方性が問題となることを述べた。これ以外にもまだわかっていない問題点が残されているかも知れない。いずれにしても、VLF-MT法で求まる比抵抗の時間変化の解釈は十分慎重になされるべきである。

参考文献

- 1) 富士川断層の電気抵抗変化, 東京大学地震研究所, 地震予知連絡会報, vol. 33, 332-336, 1985.