

# 多極法による地電位差観測

気象庁地磁気観測所 山崎 明

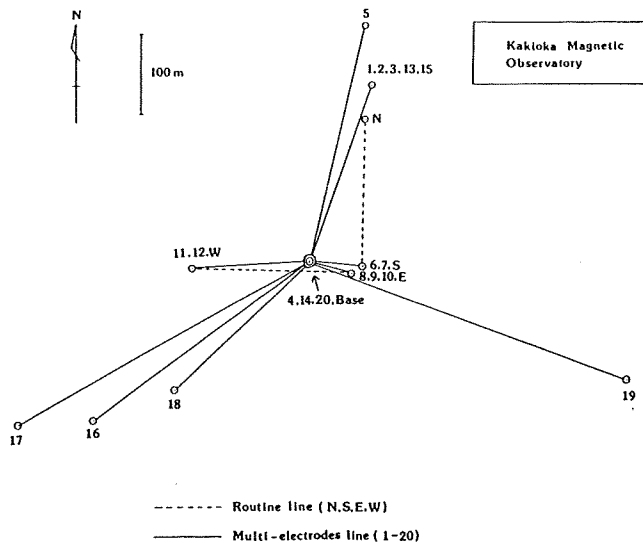
## 1. はじめに

地電位差観測における問題点の一つに、電極と周囲の土壤間に生じる接触電位の変動、いわゆるドリフトの問題がある。殊に、永続的な地電位差観測を行なう固定観測所では極めて長周期の地電位変化も観測の対象としており、その変化が地球電磁氣的に有意であるかどうかは接触電位の安定性にかかっていると見てよい。これまで当所においてこの安定性を確立するため、さまざまな電極について埋設方式も含めた数多くの試験がなされてきたが、いまだに十分満足できる成果は得られていない。

一方、Mori<sup>1)</sup>によって始められたNTTのアース電極を利用する地電位差観測では、電極間隔が数十Kmに及び相対的にS/N比が向上することから、非常に安定性に優れた地電位データが得られている。しかし、最近の通信回線の光ファイバー化に伴い、こうした観測を維持するのは困難な情勢にある。また、定常的観測を継続する立場からすれば、長大な通信施設を保守管理するのはなかなか大変でもある。出来れば限られた土地面積で、ドリフトのない安定した地電位差観測を実現したいものである。

そこで、一つの試みとして、観測所構内に埋設してある多数の電極を用いる観測方法が考案され、実際の観測に適用したところなかなかよい結果が得られた。

本稿ではこの多数の電極を用いた地電位差観測の概要と、加えて、こうした観測を通して浮かびあがってきたいくつかの興味ある問題点について報告する。



第1図 多電極電極配置図

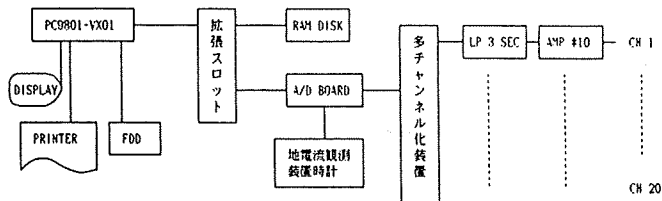
図中の番号は第1表の CHANNEL NUMBER を表す。

## 2. 観測

電極配置を第1図に、多極法で使用している各電極に関する緒元を第1表に示した。表中の電極位置はベース電極からのX(N方向)、Y(E方向)座標位置である。また、ルーチン観測で使用している電極はいずれも鉛・塩化鉛電極で、埋設深度は1.5mまたは4.0m、埋設年は1986年である。

| CHANNEL NUMBER | 電極名   | 電極種類  | 埋設深度(m)     | 埋設年     | 電極位置(m) |      |
|----------------|-------|-------|-------------|---------|---------|------|
|                |       |       |             |         | X(N)    | Y(N) |
| 1              | N3new | 鉛・塩化鉛 | 1.5         | 1987    | 215     | 64   |
| 2              | N4new | 〃     | 〃           | 〃       | 〃       | 〃    |
| 3              | N5new | 〃     | 〃           | 〃       | 〃       | 〃    |
| 4              | S5new | 〃     | 〃           | 〃       | 0       | 0    |
| 5              | N1    | 〃     | 15.0(地下水面下) | 1986    | 289     | 55   |
| 6              | S1    | 〃     | 〃           | 〃       | -3      | 63   |
| 7              | S2'   | 〃     | 1.5         | 〃       | 〃       | 〃    |
| 8              | E1    | 鉛管    | 15.0(地下水面下) | 〃       | -14     | 49   |
| 9              | E2'   | 鉛・塩化鉛 | 1.5         | 〃       | 〃       | 〃    |
| 10             | E2    | 〃     | 4.0         | 〃       | 〃       | 〃    |
| 11             | W1    | 鉛管    | 15.0(地下水面下) | 〃       | -15     | -141 |
| 12             | W2'   | 鉛・塩化鉛 | 1.5         | 〃       | 〃       | 〃    |
| 13             | N6new | 銅板    | 〃           | 1987    | 215     | 64   |
| 14             | S6new | 〃     | 〃           | 〃       | 0       | 0    |
| 15             | N1new | 白金    | 〃           | 〃       | 215     | 64   |
| 16             | e     | 炭素棒   | 3.0         | 1965 以前 | -199    | -255 |
| 17             | w     | 〃     | 〃           | 〃       | -207    | -345 |
| 18             | w'    | 銅板    | 〃           | 1982    | -163    | -151 |
| 19             | D1    | 炭素棒   | 〃           | 1971    | -126    | 395  |
| 20             | S1new | 白金    | 1.5         | 1987    | 0       | 0    |
| BASE           | S4new | 鉛・塩化鉛 | 〃           | 〃       |         |      |

第1表 電極に関する緒元



第2図 多電極観測装置ブロックダイアグラム

各極の電位はベース電極を基準とした電位差として差動10倍アンプに入る。次に3秒のローパスフィルターを通過後1秒サンプリングでA/D変換し、60サンプルを平均して毎分値を生成している。A/Dコンバータの精度は12bit(±5Vレンジ)である。観測システムのブロック図を第2図に示した。

### 3. 解析方法

地電流観測地域に多数埋設された電極から、その地域を代表する電場を求める方法はいろいろ考えられるであろうが、筆者<sup>2)</sup>は次のような方法をとった。

吉松<sup>3)</sup>により柿岡において

$$D = E_{100m} - K E_{1.5km} \quad (1)$$

という関係式が近似的に成り立っていることがわかっている。(1)は差電位差の式といわれ、東西方向の測線上に配置した100mと1.5Km 基線の変化振幅は比例関係にあり、従ってDは非常に局所的な異常電位変化を与えることになる。筆者はこの関係式が多電極観測の範囲内において一般に成立するものと考え二次元に拡張した。

$$\phi = K_x E_x(-x) + K_y E_y(-y) \quad (2)$$

ここで $K_x$ ,  $K_y$ は位置(x, y)の関数である。(2)式を実際の観測にあてはめると次式のようなになる。

$$\phi_i(t) = K_{x_i} E_x(t)(-x_i) + K_{y_i} E_y(t)(-y_i) + C(t) \quad (3)$$

ここで

|               |                   |          |                        |
|---------------|-------------------|----------|------------------------|
| $\phi_i(t)$ : | i 極における potential | $x_i$ :  | i 電極の X 座標位置           |
| $E_x(t)$ :    | X 方向の電場           | $y_i$ :  | " Y "                  |
| $E_y(t)$ :    | Y "               | $C(t)$ : | ベース電極電位                |
| $K_{x_i}$ :   | $x_i$ についての係数     | i :      | 電極、もしくは Channel number |
| $K_{y_i}$ :   | $y_i$ "           | t :      | 時間                     |

(3)式でC(t)をつけ加えたのはベース電極のドリフトを考慮したものである。また、電場およびC(t)は(3)式より最小自乗法で毎分ごとに求める。解析結果によれば式(2)は柿岡の多電極観測範囲内では非常によい近似となっていることがわかった。

柿岡で観測される地電流は少なくとも周期1分以上の周波数領域においては、そのほとんどが伝導電流であると考えられる。伝導電流の起源は太平洋、もしくは関東平野の厚い堆積層と言われている<sup>4)</sup>。(2)式がなぜ成り立つかについての理論的考察は十分ではないが、伝導電流が卓越する地域においてかなり一般的に成立するもののように思われる。

次にポテンシャルとドリフトの分離法について簡単に述べる。ベース電極からi極までの電位差、すなわち実際の観測値を $V_i$ とし、 $V_i$ に含まれるオフセット値(ドリフト量の累計)を $\alpha_i$ とすれば、

$$V_i(t) = \phi_i(t) - \alpha_i(t) \quad (4)$$

となるが (3)式から電場を計算するためには、 $V_i$  中に含まれる  $\phi_i$  と  $\alpha_i$  を分離しなければならない。

ある時刻にドリフトをおこしている電極を除けば (3)式は成立するはずである。多数の電極が一斉にドリフトをおこすことはないと仮定すれば、(3)式の残差からドリフトをおこしている電極は識別できる。この関係を使えば、ある電極のおこしたドリフト量は決定できる。さらに求めたドリフト量をこれまでのオフセット値に加えて  $\alpha_i$  の更新を行う。

実際の観測においては発生するドリフトの形態や継続時間は多様であり、またギャップやスパイク状の異常変化もしばしば発生する。これらの異常を考慮して、実際に分離を行なっているプログラムはかなり複雑なプロセスになっている。

係数 ( $K_{xi}$ ,  $K_{yi}$ ) の決定は次のように行った。ルーチン観測で得られる適当な時間間隔の電場変化量を  $\Delta E_x$ ,  $\Delta E_y$  とし、これに対応する  $i$  極の変化量を  $\Delta \phi_i$  とする。この組合せを  $j$  個抽出すれば、

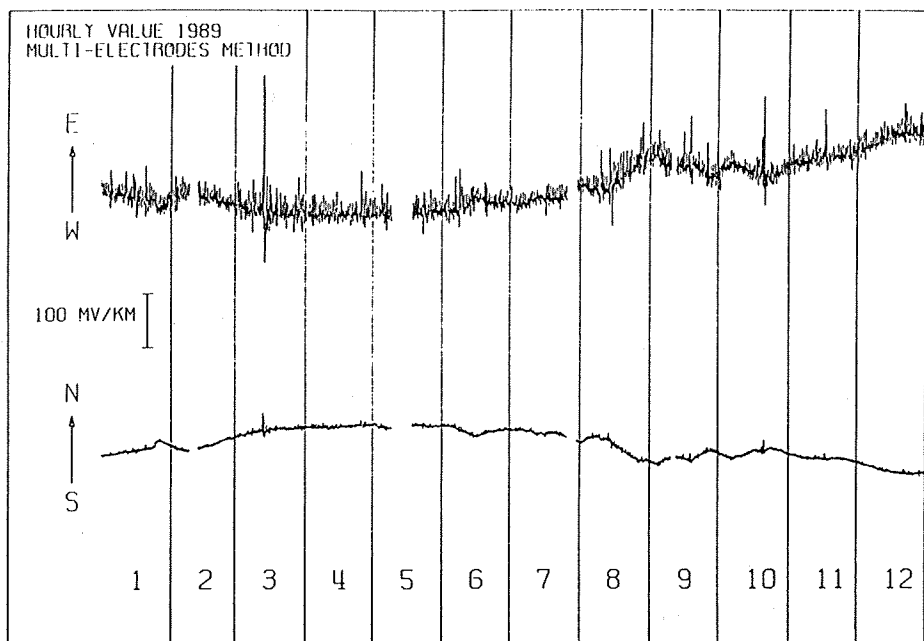
$$(\Delta \phi_i)_j = \Delta E_{xj} (-x_{ai}) + \Delta E_{yj} (-y_{ai}) \quad (5)$$

となり、最小自乗法により  $x_{ai}$ ,  $y_{ai}$  を求めることができる。 $x_{ai}$ ,  $y_{ai}$  はルーチン観測から求めた  $i$  電極の見かけの位置と言える。別の表現をすれば、ルーチン観測の電場が多電極の観測地域にまったく同じに均質に拡がっているものと仮定した場合、 $i$  電極の位置は  $x_{ai}$ ,  $y_{ai}$  となる、というような意味のものである。

係数  $K_{xi}$ ,  $K_{yi}$  は

$$K_{xi} = x_{ai} / x_i \quad K_{yi} = y_{ai} / y_i \quad (6)$$

より求める。なお、解析にあたり係数の決定に使用したデータは、1989年1月の周期数分～15分の振幅の大きな電場変化30例である。

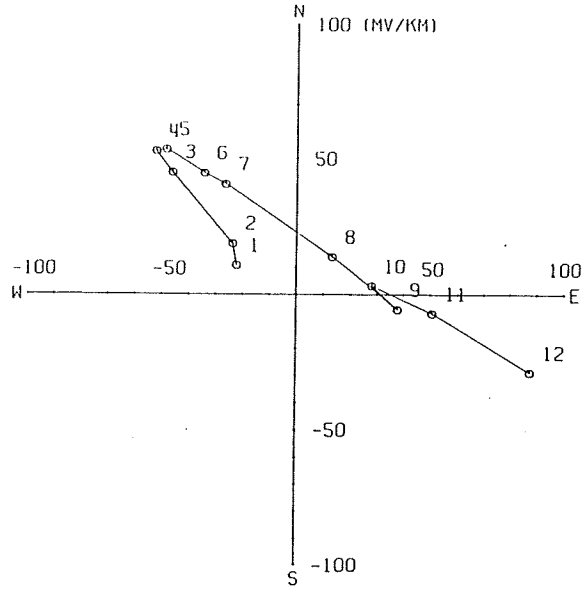


第3図 多極法による毎時平均値プロット図 (1989)

#### 4. 解析結果

前節で述べた方法に従い1989年の一年間の観測データについて計算を行った。第3図に多極法による毎時平均値の一年間のプロット図を示す。半径200~300m内でおこなわれる地電位差観測としてみるならまずまずの長期安定性が達成されていると言える。

多極法から求まる地電位変化は、観測地域全体の平均的な電位変化を反映していると考えられ、第3図に見られる長期変動は、実はローカルな領域での自然電場の変動を捉えている可能性がある。第4図からかなりはっきりとした年周変化が読み取れるが、自然電場の変動が気温や降水量等の年周変化と調和するのは不自然ではないであろう。



第4図 月平均値ベクトルダイアグラム (1989)

#### 5. ルーチン観測との振幅比較

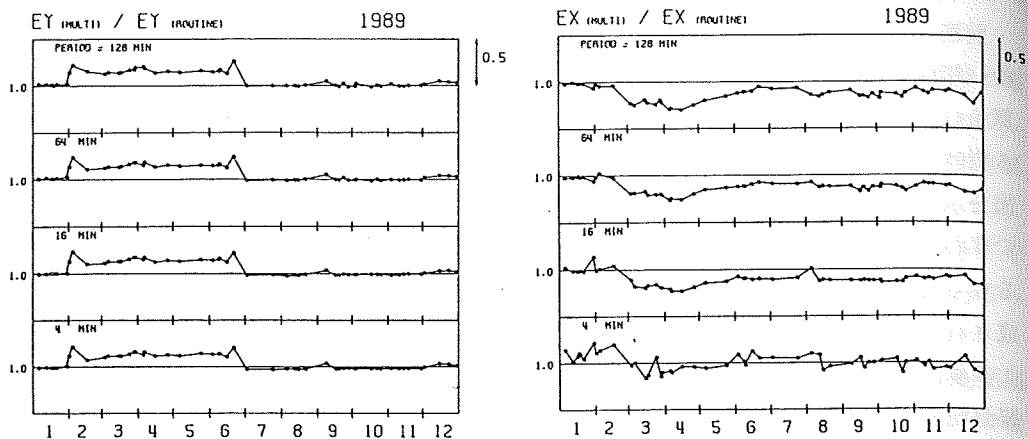
式(3)によって計算される電場振幅が正しいものであるかどうかを確かめる目的でルーチン観測との振幅比較をおこなった(第5図)。図から $E_y$ 成分では2月~6月の期間顕著に振幅が異なっていることがわかる。 $E_x$ 成分ではほぼ全期間にわたり差異がある。

次にどちらがより正しい電場変化であるかを確認するため、磁場とのレスポンスの時間変化を求めた。第6図の月毎の見かけ比抵抗の計算は、電磁場の振幅が顕著な8期間を選定し、パワースペクトル解析の手法によりインピーダンステンソルを求め、見かけ比抵抗に変換する方法によった。

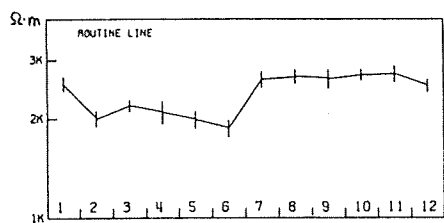
5, 6図から明白であるが、振幅比の変化に対応してルーチン観測の見かけ比抵抗が変化している。すなわち、多極法の方がより正しい電場変化を捉えていることになる。なぜこのような相違が生じたのか理解に苦しむところであるが、ルーチン観測に人為的エラーは非常に考えにくいことであり、とすれば電極、あるいはそのごく近傍に何等かの原因があるものと考えられる。

#### 6. 二次元的時間変化の問題

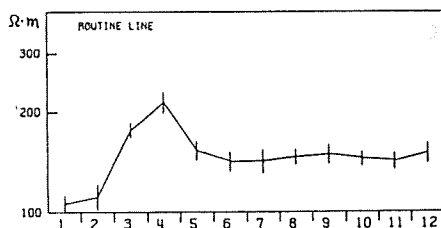
多電極の観測地域内で地電流の変化特性、すなわち current patternは変化するであろうか。例えば、数百メートル程度の範囲内に地電位差観測の測線A, Bを設けたとする(第7



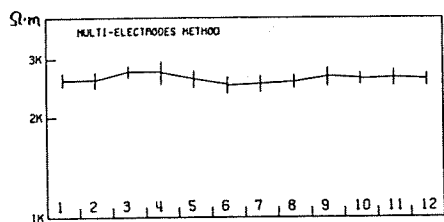
第5図 多極法による計算電場とルーチン観測の変化振幅の比較 (多極法÷ルーチン)



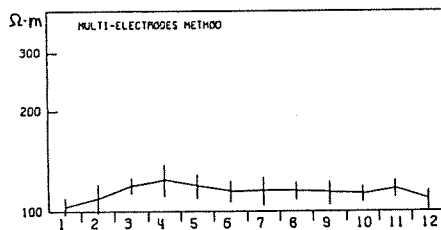
(a) ルーチン  $\rho_{yx}$



(b) ルーチン  $\rho_{xx}$



(c) 多極法  $\rho_{yx}$



(d) 多極法  $\rho_{xx}$

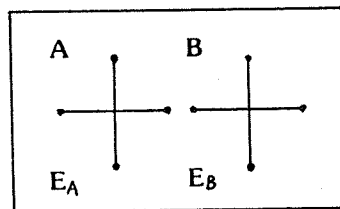
第6図 月別見かけ比抵抗値(1989) 周期はいずれも16分

図)。A, B測線で観測される電場を $E_A, E_B$ とすると $\Delta E_A, \Delta E_B$ は

$$\Delta E_B = [T] \Delta E_A \quad (7)$$

なる変換関数 $T$ によって結びつけられる。

通常、磁場との応答が時間変化したとしても $E_A, E_B$ のインピーダンステンソルは同じよう



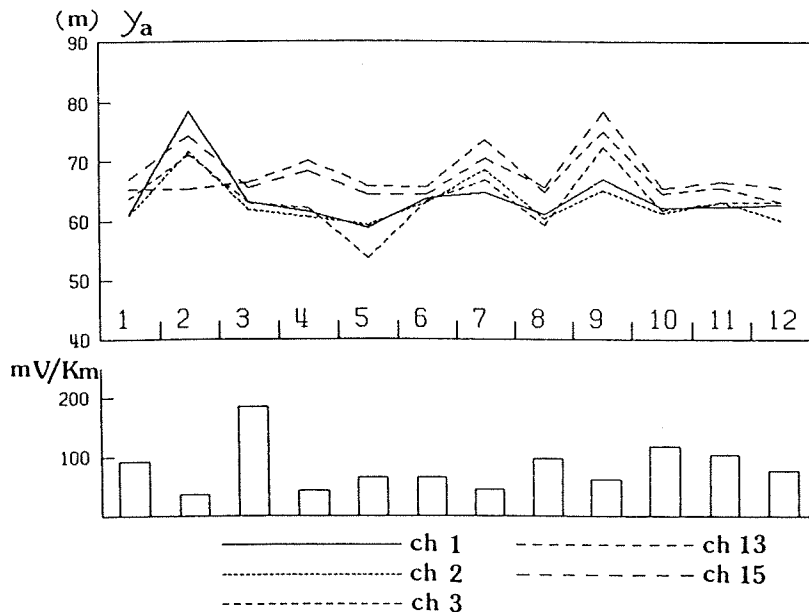
第7図 地電位差観測の測線配置図

に変化するはずであるから、変換関数  $T$  は不変であると言ってよいであろう。もし  $T$  が変化するとすれば、それは非常にローカルな観測領域内での地電流の変化特性が変わったことを意味することになる。

変換関数  $T$  の代わりに、式(5)によって得られる見かけの位置  $x_{ai}$ ,  $y_{ai}$  を月ごとに求めれば、current pattern が変化しているかどうかわかるであろう。

第8図はほぼ同じ位置に埋設してある5つの電極について、月別に  $y_a$  を求めたものである。ただし計算に用いた電場変化は多極法から求めた電場を用いた。これは、ルーチン観測が前節で述べたような状況であることと、多極法のインピーダンステンソルがあまり時間変化していないことによる。 $x_{ai}$ ,  $y_{ai}$  の決定に際して、周期数分~十数分の急変化した電場変化30例を月ごとに選定した。棒グラフは計算に使用した電場変化の平均値である。

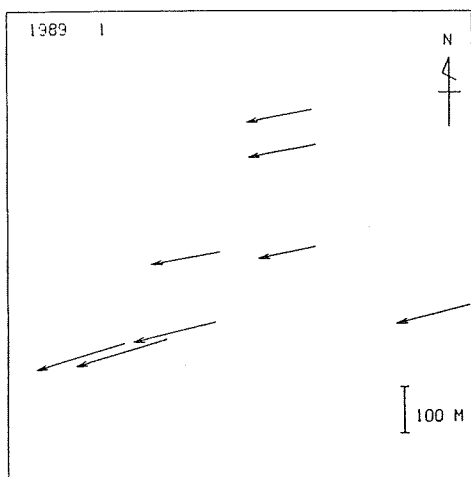
図で、同じ位置に埋設してあるにもかかわらず  $y_a$  が一致していないのは、多くは位置決定の誤差による。注目すべき点は5つの電極の  $y_a$  が系統性をもって変化していることである。その解釈として、電極周辺の current pattern あるいは伝導度が変化したとするのは不自然であろうか。



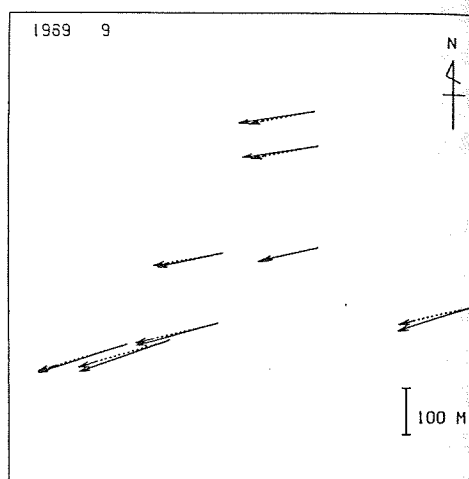
第8図  $y_a$  の時間変化(1989) 図の説明は本文参照

第9図に1月の各極における平均的な電場を示した。図の電場はベース極と各極の間の電場であって、電極埋設位置の電場ではない。計算は先に述べた方法で見かけの位置を求め、次に、電場強度が月ごとに等しくなるよう規格化する方法で行った。なお、同一地点に複数の電極が埋設してある地点では平均値をその地点の値としてある。図のベクトルは月ごとに規格化されたほぼ平均的な電場を示すことになり、これを別の月と比較すれば相対的な current pattern の変化がわかるであろう(第10図)。





第9図 1989年1月の規格化した  
電場ベクトル



第10図 1989年1月(実線)と9月(破線)  
の電場ベクトル

9月は1月と比較してベクトルのずれが大きかった月であるが、よくみるとずれに系統性が認められる。すなわち、北側2地点の9月のベクトルは南に偏向し、南に位置する地点では北に偏向する傾向がある。

図には掲げなかったが、他の月でも同様に近い地点のベクトルは同じ方向にずれる、あるいはベクトル強度が同じように変化するという傾向があった。このことは多電極の観測地域内においても、地電流の変化特性は微妙に変わっていることを示すものであるように思われる。

## 7. まとめと考察

多数の電極を用いることにより、降水等に伴う短期的、あるいは長期的にドリフトのほとんどない電場変化を捉えようとする当初の目的は、1989年の解析結果をみるかぎりほぼ達成されたように思われる。ただし4節で述べた長期変化については、これが本当の自然電場の変動と言えるかどうかはさらに数年の観測を要するであろう。

本観測は地電位差観測の安定性を確立する目的で開始したものであったが、これまで述べてきたように、観測データの解析を通して地電位差観測のさまざまな問題点を提起することになった。

ルーチン観測の問題は、これを current pattern の変化のためと解釈するには無理があり、やはり電極の問題であろう。我々は電極について改めて検討せざるをえなくなったと考える。

多電極観測地域内における current pattern の変動の問題については、まだ解析が不十分であり今後の解析を待つところが大きい。しかしこの変動は明らかに地下の状態変化を反映したものであり、新しい角度からの地電位差観測と言えるだろう。

インピーダンステンソルが地下の電気伝導度の変化に対応して変化することが指摘されている<sup>5)</sup>が、真の意味のインピーダンステンソルの時間変化を求めるためには従来の地電位差



の観測方法を少し見直す必要があるように思われる。

#### 参考文献

- 1) T. Mori, Variations in the Geoelectric Field with Relation to Crustal Conditions of the Earth, Geophysical Magazine, Vol. 42, No. 2, 41-103, 1987
- 2) 山崎 明・石井美樹・豊留修一・小池捷春・山口寛司・森 俊雄, 多極法による地電位差観測, 地磁気観測所技術報告 第29巻3, 4号(第89号), 104-123, 1990
- 3) T. Yoshimatu, On the regional and local factors of earth-currents at the Kakioka Magnetic Observatory, J. Meteorol. Soc. Jpn., 15, 145-158, 1937
- 4) 本蔵義守, 柿岡で観測された関東地震に伴う $\Delta Z / \Delta H$ 異常変化の一解釈, 地磁気観測所技術報告 第17巻特別号(CAシンポジウム講演論文集), 177-187, 1977
- 5) 本蔵義守, 電気伝導度異常と地震, 地震予知 I (学会出版センター), 117-149, 1980