

地電位異常変化の検出方法

森 俊 雄 (気象庁地震観測所)

DTECTION METHOD OF ANOMALOUS GEOELECTRIC CHANGES

Toshio MORI (Matsushiro Seismological Observatory)

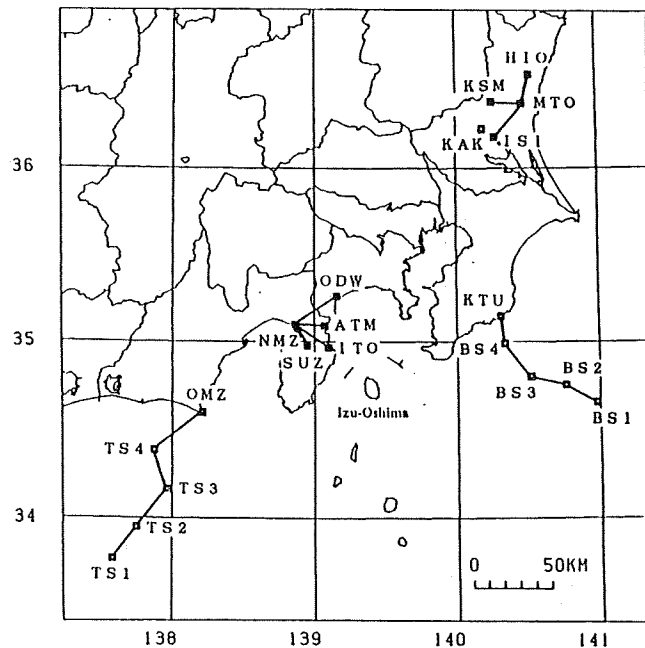
1. はじめに

NTT (日本電信電話株式会社) 施設を利用した地電位観測は1983年より、海底での地電位観測は海底地震観測システムを利用して1978年より行っている^{1), 2)}。これらの観測では従来の地電位観測と比較して、特に、長期変動について非常に安定した記録を供給している。

1986年11月の伊豆大島噴火の前に小田原 (第1図のODW) で、約800mVの電位低下が観測された³⁾。このように、通常の変動に比較して十分大きい変化が観測された場

合は、異常現象と認識することは困難ではない。しかしながら、地震や火山噴火の前兆として現れる現象について、どのような形態でどの程度の変化が現れるかについては確立されていない。地電位観測では、降雨による影響やノイズがない場合、周期数日以下の目立つ変化の大部分は地磁気変化による誘導電位変化である。また、海底地電位の場合には、潮汐変化などによる影響も大きい。従って、地磁気変化や潮位変化に伴う変化を取り除き、可能な限り微少な変化をも検出できる方法を確立しておくことが望ましい。

異常現象を検出する方法として、確立差分方程式^{1), 3), 4)}とBAYTAP-G⁵⁾による解析が行われているが、現在のところ過去の現象について異常現象があったかど



第1図 NTT地電位観測網 (MTO, NMZ等)、海底地震観測システム (OMZ~TS1, KTU~BS1) および柿岡地磁気観測所 (KAK)。

うかを確認するには BAYTAP-G の方が優れている。しかし、BAYTAP-G をリアルタイム的に使用することは困難である。ここではリアルタイムで異常現象を検出し、地震や火山噴火予知に役立てることを目的として、確立差分方程式による解析を行った。

2. データについて

解析に利用した地電位観測基線等を第1図に示す。これらの略号、基線長、方向を第1表

第1表 地電位観測基線の略号、距離および方向

	略号	距離 (km)	方向 (N° E)
水戸系統地電位	ISI-MTO	27.4	40
	KSM-MTO	19.0	93
	HIO-MTO	18.8	-165
沼津系統地電位	SUZ-NMZ	15.6	-29
	ITO-NMZ	25.9	-55
	ATM-NMZ	18.9	-88
	ODW-NMZ	32.0	-124
東海沖海底地電位	K(TKEC)	108.6	32
房総沖海底地電位	S(BSEC)	81.7	-48

に示す。水戸系統では水戸(MTO)を基準にして石岡(ISI)、笠間(KSM)、常陸太田(HIO)の電位変化を、沼津系統では沼津(NMZ)を基準にして修善寺(SUZ)、伊東(ITO)、熱海(ATM)、小田原(ODW)の電位変化を観測している。また、海底地電位は、東海沖(OMZ-TS1)および房総沖(KTU-BS1)での測定値を使用した。地電位変化と関係する観測値として、柿岡(KAK)における地磁気変化(X, Y, Z), TS1(略号" T"), BS1(略号" B")における潮位変化も使用した。

上記の観測値は、1秒または1分値で与えられているが、今回の解析期間は1989年1~9月で、1時間平均値を使用した。これらの観測値のうち東海沖の地電位と潮位データは、伝送系の不調から時々欠測することがある。また、房総沖の海底地電位の場合には、勝浦付近を通過する直流電車によるノイズが入る³⁾が、3月1日~3月28日の期間については補正を行った。このようなことを考慮して解析期間を分類し、ここではA期間(1989年3月1日12h~3月28日12h, N=649)およびD期間(1989年8月11日0h~9月10日0h, N=721)の結果を紹介する。時間は全て日本時間(JST)である。

3. AICの分布と応答特性

地電位観測値 $E(t)$ を、関係すると考えられる観測値 $X_i(t)$ の確立差分方程式

$$E(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{m=-L}^K \{ a_i(m) X_i(t-m) \} + \varepsilon(t) \quad (1)$$

KSM-MTO = (X, Y, Z)

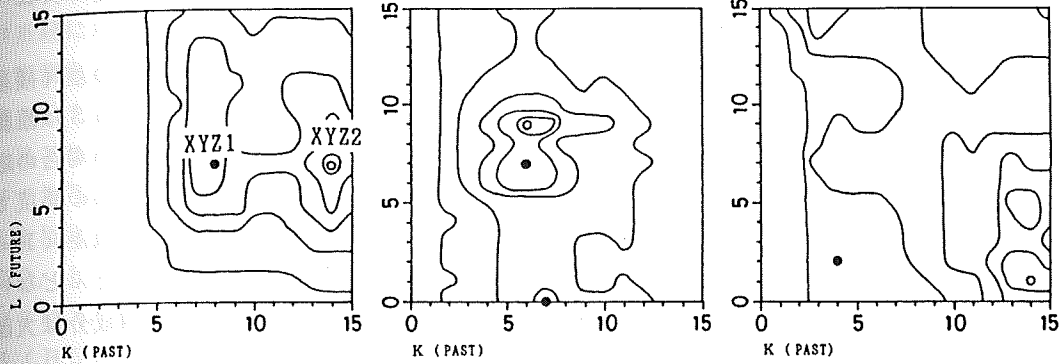
ODW-NMZ = (X, Y, K)

TKEC = (X, Y)

(A) : 1989 3M 1D 12H - 1989 3M 28D 12H (JST)

(D) : 1989 8M 11D 0H - 1989 9M 10D 0H (JST)

(D) : 1989 8M 11D 0H - 1989 9M 10D 0H (JST)



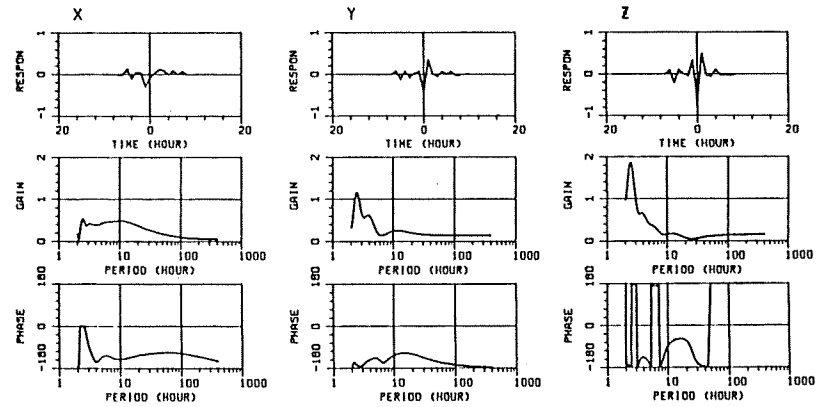
第2図 AICの分布. ○は最小値, ●は極小値. コンターは2, 5, 10, 20, 50.

で表わす. $a_i(m)$ は X_i の応答係数を表し, 通常AIC (Akaike Information Criterion) ⁶⁾ を最小にするように求める⁷⁾.

AICの値を, $m = -15 \sim 15$ の範囲で計算した例を第2図に示した. 同図でKSM-MTO = (X, Y, Z) は, (1)で $E(t) = KSM-MTO, X_i$ を X, Y, Z とおいたことを意味する. KSM-MTO = (X, Y, Z) の場合は, (-7, 14) でAICが最小値, (-7, 8) で極小値を示

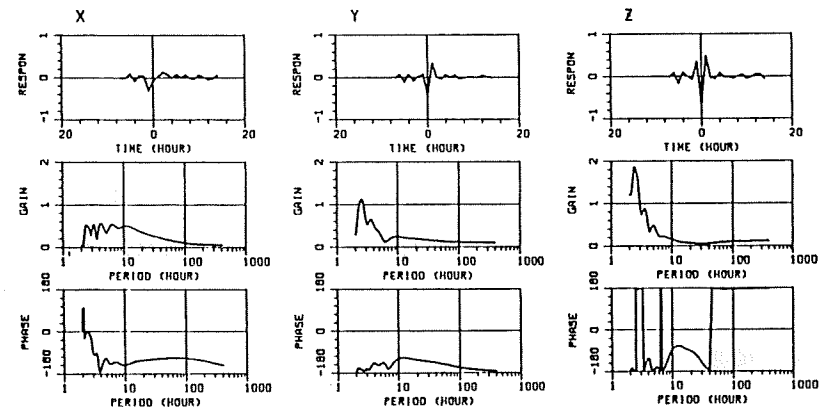
XYZ1

KSM-MTO (-7, 8) 1989 3M 1D 12H - 1989 3M 28D 12H (JST)



XYZ2

KSM-MTO (-7, 14) 1989 3M 1D 12H - 1989 3M 28D 12H (JST)

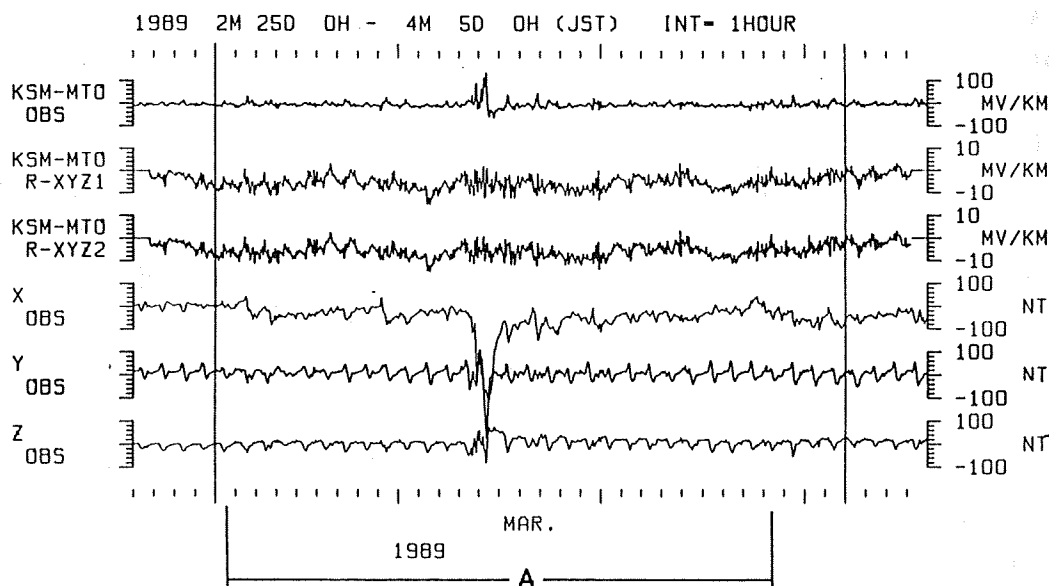


第3図 KSM-MTOに対するX, Y, Zの応答係数. GAINおよびPHASEはその周期特性を示す.

す。AICの最小値を0とすると(-7, 8)でのAICの値は2.0である。両者の場合の応答係数および周期特性を第3図に示すが、極小値の方(同図; 上)が周期特性がスムーズになる。

ここで求められた応答係数を用いてX, Y, Zから推定値を計算し、観測値との差(残差=観測値-推定値)を求めてプロットしたのが第4図である。これらの図で、OBSは観測値、R-は残差を表し、例えば、R-XYZ1は第2図のXYZ1(-7, 8)の場合の応答係数を使用して求めた場合の残差である。残差(R)はOBSに比較して10倍の感度でプロットしてある。応答係数を求めたA期間はプロットの範囲内に含まれる。両残差(R-XYZ1とR-XYZ2)を比較して、ほとんど同じ変化であり、両者の差はほとんどない。3月13日より大きな磁気嵐が発生しているが、残差ではこの磁気嵐による誘導成分は大部分取り除かれている。

統計的にはAIC最小値を採用すべきだと考えられるが、周期特性が異常に振動する場合は物理的に説明が困難になると考えられる。また、異常現象を検出する場合、できるだけすみやかに検出すべきであるから、検出精度が変わらないのであれば、実用的な面からもL+Kの値が小さいこと、とりわけ未来の値(L)が小さいことが望ましい。

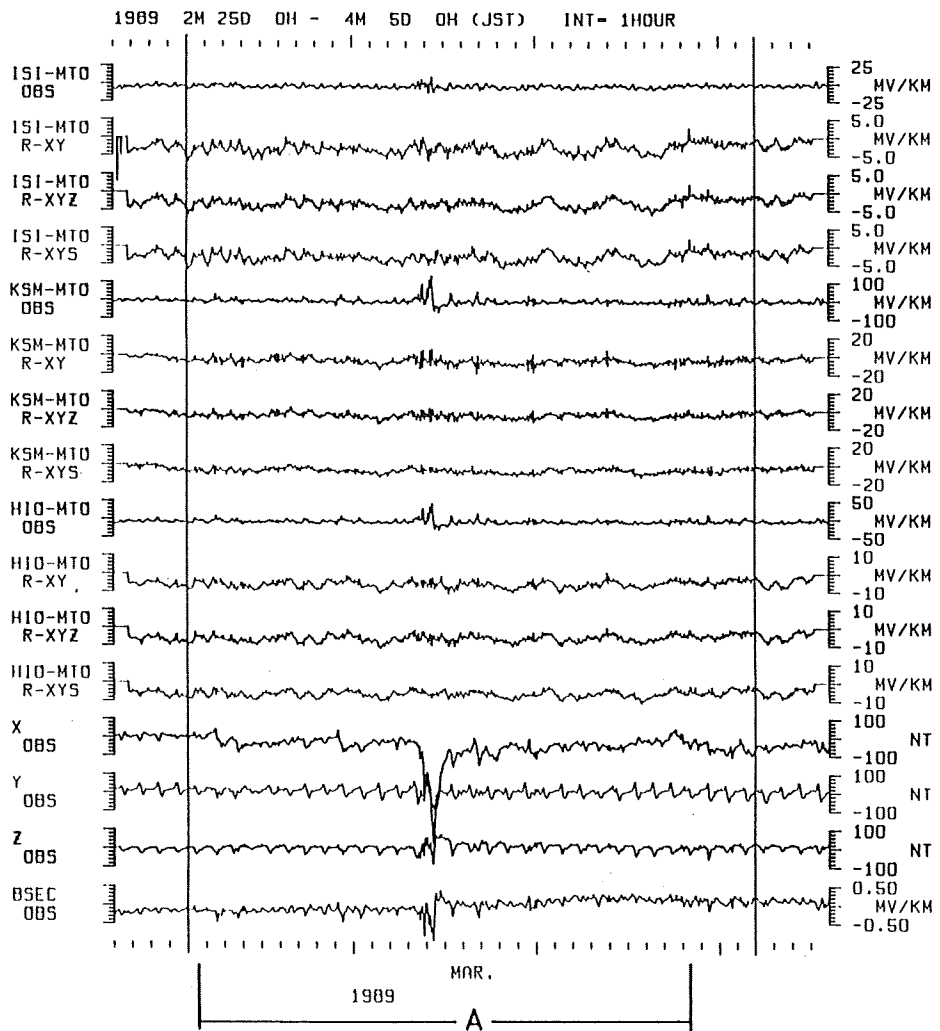


第4図 KSM-MTOの観測値、残差および柿岡の地磁気変化(X, Y, Z)。

4. 残差

水戸系統および房総沖海底地電位についてはA期間、沼津系統および東海沖海底地電位についてはD期間のデータを用いた。AICの計算は全て $m = -15 \sim 15$ の範囲で行った。最小値の他にL+Kが小さいところで極小値を示す場合は、極小値の場合の応答係数 $a_i(m)$

を採用した。
 第5図は水戸系統における観測値と残差を示す。R-XYはX, Yで地電位変化を推定した場合、R-XY S (BSEC)で地電位変化を推定した場合の残差を表わす。残差は観測値に対して5倍に感度をあげてプロットしてあるため変動が目立つが、3月14日頃の磁気嵐による誘導電位変化はほとんど取り除かれている。短周期変動

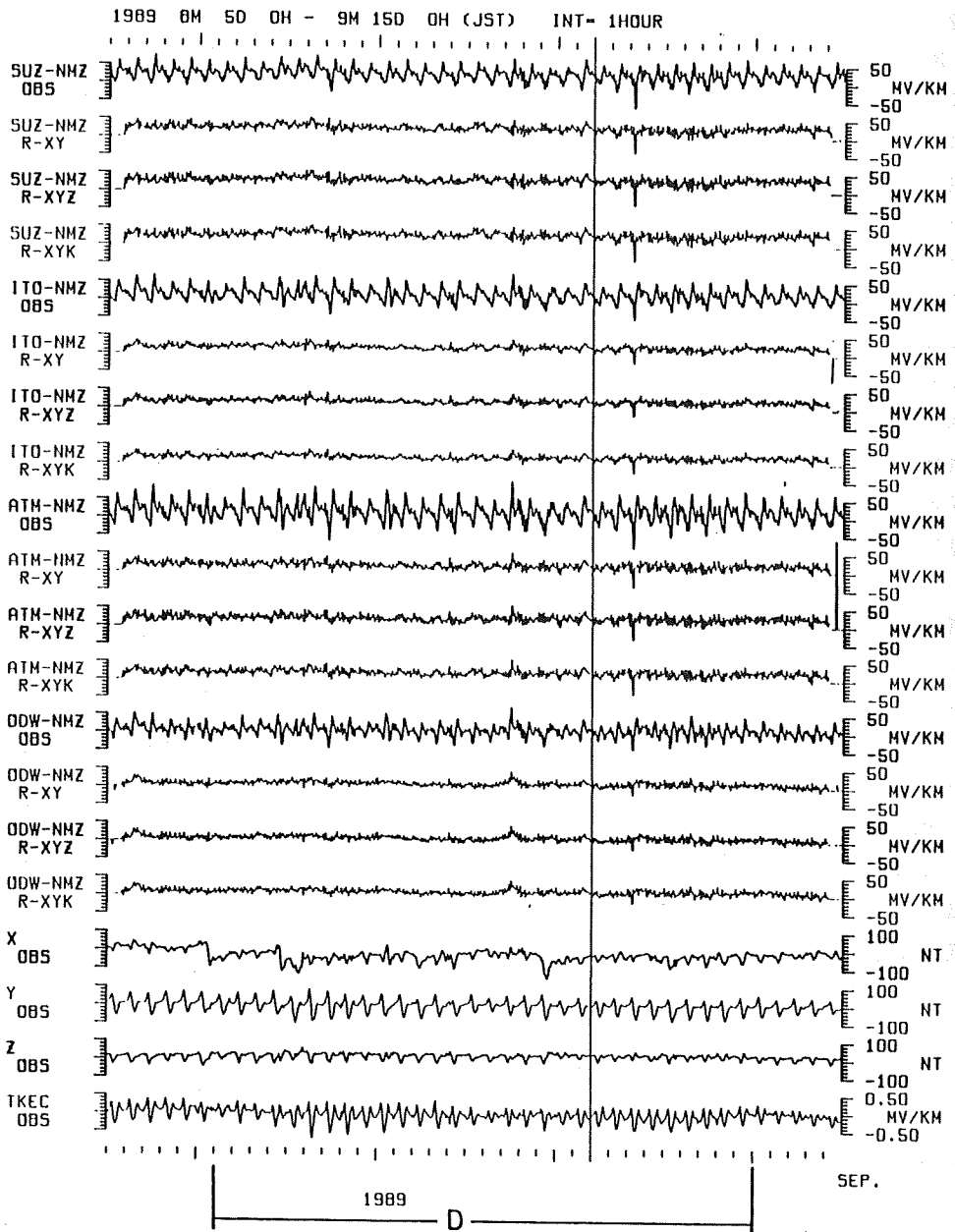


第5図 水戸系統の地電位観測値と残差。

でISI-MTOの場合は、R-XY, R-XYZ, R-XYSでほとんど差はないが、他の基線ではR-XY, R-XYZ, R-XYSの順で変化が小さくなっている。長周期変動ではISI-MTOおよびHIO-MTOの残差で3~4日の変動が目立つてくるが、これはX, Y, Z, BSECに対応する変化がないためである。

沼津系統の結果は第6図に示す。残差はどの基線でもR-XY, R-XYZ, R-XYKで差がなく、日変化がほとんど除去されている。沼津系統の地電位変化で目立つ変化の大部分は人工的ノイズに見えるが、この方法によって異常現象の検出精度を高めることができる。

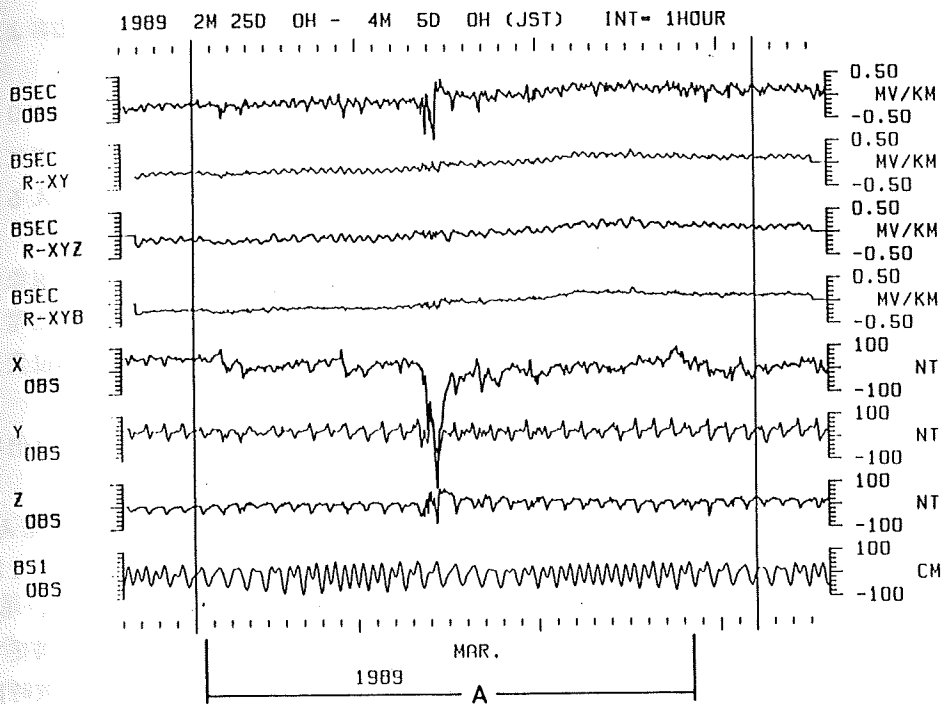
第7図は房総沖地電位変化、第8図が東海沖地電位変化の場合である。両者共地磁気変化だけで残差を求めた場合は日変化の部分が残るが、潮位変化を考慮すると日変化を取り除くことができる。即ち、海底地電位変化には潮位変化に伴う電位変化がかなり含まれていることになる。



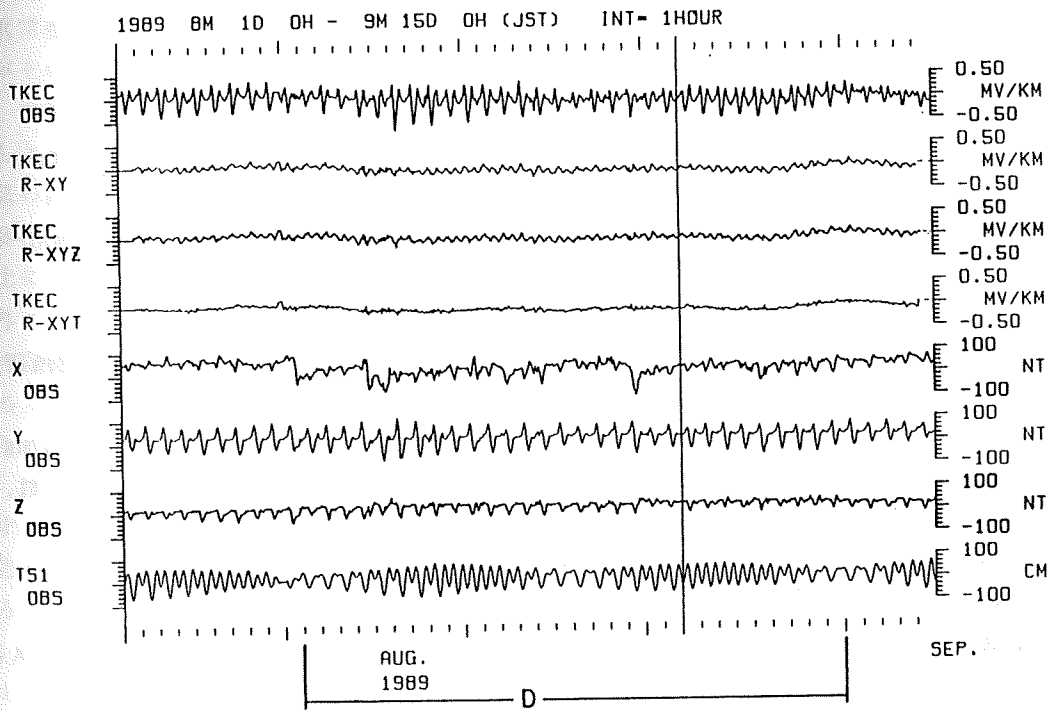
第6図 沼津系統の地電位観測値と残差.

5. まとめ

水戸系統, 沼津系統の地電位観測, および海底地電位観測値から, 地震や火山噴火の前兆的異常現象を, 高精度でリアルタイムに検出する方法を確立することを目的として, 確立差



第7図 房総沖海底地電位観測値と残差.



第8図 東海沖海底地電位観測値と残差.

分方程式による解析を進めた。参照観測値として、地磁気変化、他の地電位変化および潮位変化を使用した。

水戸系統では柿岡の地磁気変化を用いて誘導電位変化を除去し検出精度を5~10倍程度高めることができる。また、房総沖の海底地電位変化を考慮することによって、更に精度を高めることができるが、電車によるノイズを取り除かなければならないことを考えると、房総沖海底地電位を用いることは実用的でない。

沼津系統の地電位の場合は、地磁気X、Y成分を利用することによって、異常現象の検出精度を5倍程度高めることができる。沼津系統の地電位変化の大部分は、見かけ上電車等のノイズに見えるが、数時間以上の長周期変化の大部分は地磁気変化による誘導電位変化の可能性もある。

海底地電位変化の場合は、地磁気変化の他潮位変化を用いることによって、10倍程度異常現象の検出精度を高めることができる。

ある期間のデータによって、(1)式の応答係数を決定しておけば、観測値が1個増えた場合に直ちにその値が異常かどうかを判定できることになる。但し、現段階では、ここで求めた応答係数が通用する期間は3カ月程度である。(1)式でLは未来の値を表わすため、L=0以外ではリアルタイムで検出するというにはならないが、現段階では、かなり満足すべき結果であろうと思われる。また、今回の解析では1時間平均値を使用したため、数時間以下の短周期変化を検出することはできないので、更に、短周期の現象にまで解析範囲を拡大させる必要がある。

参考文献

- 1)Mori, T., 1987: Variations in the geoelectric field with relation to crustal conditions of the earth., Geophysical Magazine, 42, 41-104
- 2)森俊雄, 1982: 東海沖の海底地電位変化について - 海底地震常時観測システムの利用 -, 地震, 35, 213-221
- 3)森俊雄, 1989: NTT施設を利用した地電位観測, 地磁気観測所技術報告, 28, 1-77
- 4)高山寛美・森俊雄, 1987: 地磁気変化による誘導電位変化の除去の試み, 気象研究所研究報告, 38, 17-28
- 5)Ozima M., T. Mori and H. Takayama, 1989: Observation of earth-potential using telegraphic facilities and analysis with BAYTAP-G., J. Geomag. Geoelectr., 41, 945-962
- 6)Sakamoto, Y., M. Ishiguro and G. Kitagawa, 1986: Akaike Information Criterion Statistics, KTK Scientific Publishers, 1-290
- 7)赤池弘次・中川東一郎, 1972: ダイナミックシステムの統計的解析と制御, サイエンス社, 123-187