

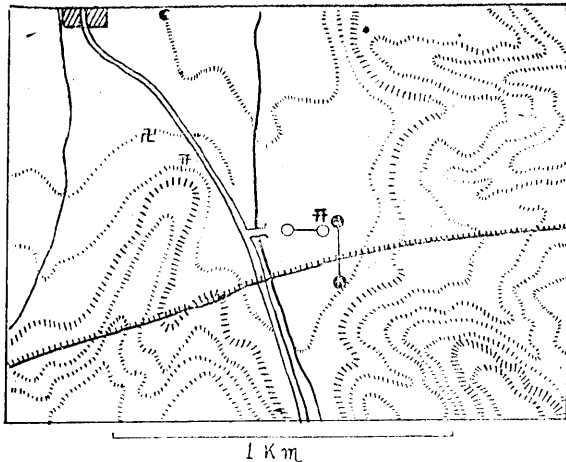
## 7. 鹿野斷層附近に於ける地電位差變化

地震研究所 永 田 武

(昭和18年12月12日發表——昭和19年9月20日受理)

1. 地震斷層はその出現後も何等かの形式で變動を繼續すると考へられるが、その際斷層をはさむ地點の地電位差が地表下の變動に關聯して變化するのではないかといふ豫想を久しく抱いて來た。特に餘震の發生と關聯して特異の地電位差變化の起きる事が期待出来る。從來、大地震の發生に伴ふ所謂地電流變化の觀測結果が屢々報告されたが、<sup>(1)</sup> “地震の影響” の範圍を區域的に明確に指摘する事が是非必要であるに拘らず、實際上の困難の爲に殆んど行はれて來てゐない。筆者は、例へば“地震斷層”といふが如き明瞭な地震の附隨現象の起つた地點に場所を限定して、“地震と地電流”といふ久しい間の難問を再検討して見たい希望もあつた。

昭和19年9月10日に起つた鳥取地方大地震に際し、上述の如き希望と目的とを以て鹿野地震斷層の近傍に於ける地電位差變化の觀測を行つた。觀測場所は第1圖に示す如く、鹿野町法樂寺、末用兩部落間に在つて、一つの測線は地震斷層を横切り、ほぼ南北方向であつて、斷層線の方向とは73°の角を爲し、測線長は112mである。他は斷層とほぼ平行に、東6°南方向、長さは98mである。猶ほ觀測場所は花崗岩の山にはさまれた谷間の小平野であつて、河内川一支流の東側に當り、附近は同川による沖積層である。



第1圖 地電位差觀測地附近の地形見取圖

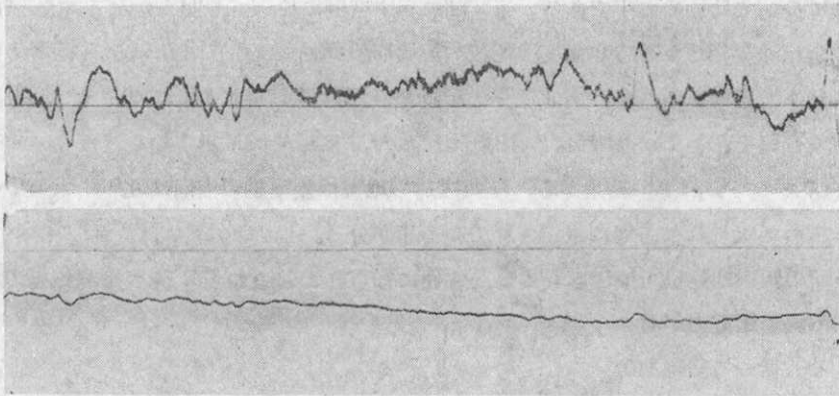
觀測用電極としては、長さ1.5mの鉛管を渦卷形に巻いたものを深さ1mに水平に埋設し、電極以外はキャブタイアを用ひて大地との絶縁を十分良くした。接地抵抗は比較的大であつて、南北及東西兩成分に於いてそれぞれ300及び350オームであつたが、直列抵抗として10000オームを挿入してあるので、先づ心

(1) 從來の文獻は下記綜合報告に經られてゐる。萩原尊禮 震災豫防研究委員會報告第6號。

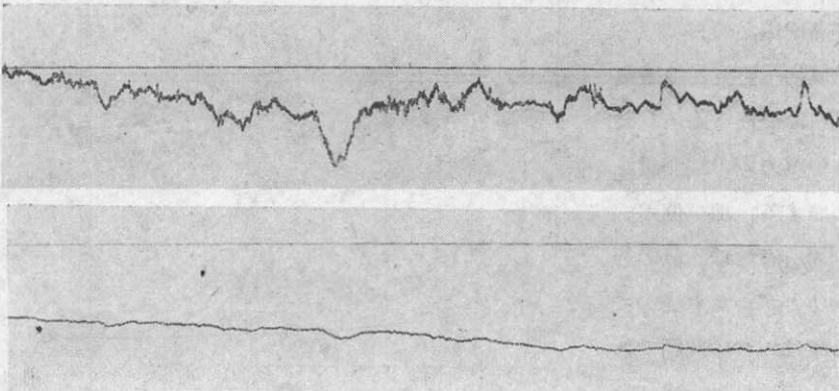
配ないと考へられる。電流計は電流感度約  $2 \times 10$  Amp/mm, 周期約 6 秒の横河製 G 2 N 級電流計である。以上の観測方式は従來の經驗を綜合し、観測系の感度、安定度及び可搬性を考慮して、豫め非常観測用として地震研究所に準備されてゐたものであつて、その整備には主として萩原尊禮教授が當られた。

上記の如き観測方式を以て、鹿野斷層を發見した 9 月 17 日より約 2 週間餘観測を繼續した。

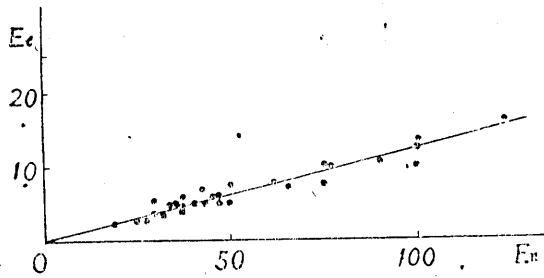
2. 南北、及び東西成分に於ける地電位差の絶對値は、それぞれ平均 60mV、及び 90mV であつて、南北測線に於いては北電極、東西成分に於いては東電極が電位が高い。北及東電極の相互間の距離は 2m であつて、電極埋設場所は砂礫交りの土であるが、これに對し南及西電極は水田の畔道中央に在り、土質は地表下 60cm 迄は、北及東電極の場所と同様であり、60cm 以下 1m 迄は黒土である。後述の如く、観測期間末期に



第 2 圖 (1) 地電位差の南北成分 (上) と東西成分 (下)  
9 月 29 日 20h 30m ~ 30 日 20h 35m



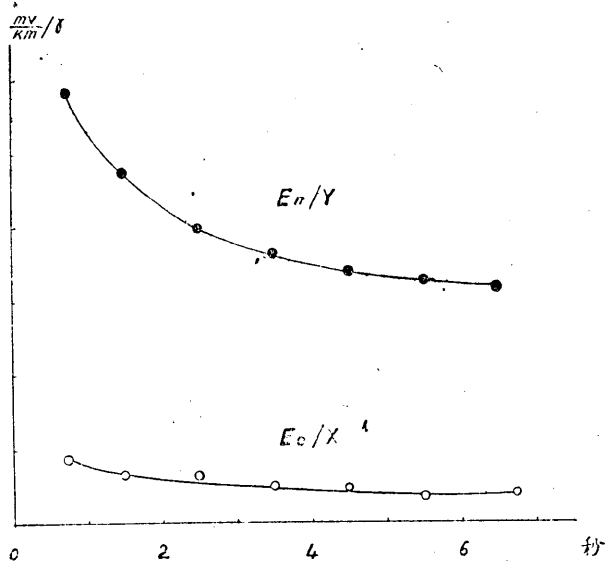
第 2 圖 (2) 地電位差の南北成分 (上) と東西成分 (下)  
9 月 30 日 20h 45m ~ 10 月 1 日 20h 20m



第3圖 地電位差變化の南北成分( $E_n$ )と東西成分( $E_e$ )の關係

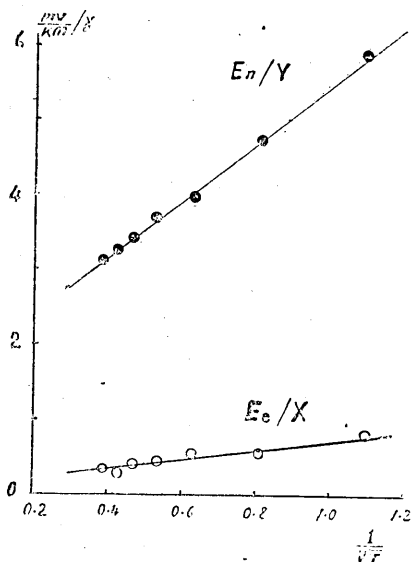
扱て、地電位差の變化の觀測結果は、その一部を第2圖に示す如くである。同圖に於いて明らかなる如く、地電位差の變動は南北成分に於いては著しく大であり、東西成分に於いては極めて小である。第2圖に示す2例に於いても明らかなる如く、兩成分の變化は數分乃至數時間程度の比較的短周期の變動では殆んど比例し、兩者の位相差は殆んど零である。今、南北成分の變動量(測線長1kmに對しての)を $E_n$ とし、東西成分のそれを $E_e$ とすれば、兩者の比 $E_e/E_n$ は第3圖に示す如く、ほぼ一定し、0.118である。これ等の結果から、觀測場所の地電位差變動の方向は北 $13^\circ$ 東を中心とする極めて限られた方向に限定されてゐる事が分る。

上記の短周期變動の原因としては、普通に知られてゐる如く、先づ地球磁場の變動に因る誘導起電力が考へられる。従つて同時刻の地球磁場變動と地電位差變動とを對比する爲、伊豆半島南端濱崎村須崎三井地球物理研究所地磁氣觀測室に於ける偏角 $D$ 及び水平磁力 $H$ の觀測記録を参照する。地電位差の觀測場所と地球磁氣の觀測場所とがかなり隔つてゐる事は一つの問題であるが、兩地點の距離は經度差約 $6^\circ$ であつて一般的



第4圖  $E_n/Y$  及  $E_e/X$  と周期の關係

於いて上記東電極を南電極とする、新南北測線を既設の南北測線の北方向延長線上に設けたのであるが、この場合も北電極は畔道中に在つて、地電位の絶對値は南電極の方が高かつた。従つて、電位差の絶對値の大部分は此等土質の差異に因る地表の局部的影響と考へられる。



第5圖  $E_n/Y$  及  $E_c/X$  と  $\frac{1}{\sqrt{T}}$  との関係

によつても、 $\mathcal{E}$  と  $\mathcal{H}$  との相関関係は必ずしも良好でなく、又絶無でもない。即ち兩者は互ひに獨立ではないが、等方性媒質に於ける如き比例関係は成立してゐない。

然し、多數の観測値に於いて異なる周期の變動に於ける  $E_c/X$ 、及び  $E_n/Y$  の平均値を求め、これを週期  $T$  に對して配列すれば第4圖に示す如くであつて、曾て地球磁場及地電位差の脈動變化について寺田寅彦先生<sup>(4)</sup> が指摘された等方性媒質に於ける電磁感應の法則

$$\frac{E_c}{X} \propto \frac{1}{\sqrt{T}}, \quad \frac{E_n}{Y} \propto \frac{1}{\sqrt{T}}$$

がほぼ成立する。(第5圖) 即ち多數のベクトル變動の平均に於いては、上記の關係が成立するのであるから、我々の観測した地電位差擾亂變動の大部分は地球磁場擾亂に因る誘導起電力と見做し得ると考へる。但し  $E_c/X$  對  $E_n/Y$  の比は著しく小さく、約 0.12 である。この事實は、観測場所に於ける大地の電氣傳導度に顯著な異方性があり、東西方向の電氣傳導度は南北方向のそれに比して約 1 割程度である事を示してゐる。この結果は亦、第2圖から與へられる結論と良く一致する。

3. 観測地點の大地電氣傳導度の異方性を更に詳しく吟味する爲に、代表的な轉型變化10例に就いて  $\mathcal{E}$  と  $\mathcal{H}$  との關係を解析的に求めた。先づ  $\mathcal{E}$  及  $\mathcal{H}$  の轉型變化(水平

地球磁氣擾亂は勿論<sup>(2)</sup> 轉型變化の如き地方時にも支配される變化に於いても大差はないと考へられる。<sup>(3)</sup> 即ち伊豆に於ける地球磁場變動をそのまま鳥取に於ける變動と見做す事は宥される。

先づ  $D$  及  $H$  の變動量から、地球磁氣變動の南北成分  $X$  及東西成分  $Y$  を求め、 $E_n$  對  $Y$ 、 $E_c$  對  $X$  の相関係数を求める。即ち地電位差地球磁場共にその水成分力  $\mathcal{E}$  ( $E_n$ ,  $E_c$ )、 $\mathcal{H}$  ( $H_n$ ,  $H_e$ ) のみを問題とし、且つ等方性媒質に於ける電磁界の法則  $\mathcal{E} \perp \mathcal{H}$ 、且つ  $|\mathcal{E}| \propto |\mathcal{H}|$  がどの程度成立するかを吟味する譯である。

$E_n$  對  $Y$ 、 $E_c$  對  $X$  間の相関係数はそれぞれ 0.41 及び 0.43 であつて、相關圖表の直接觀察

(2) S. Chapman & J. Bartels, Geomagnetism Vol I (1940).

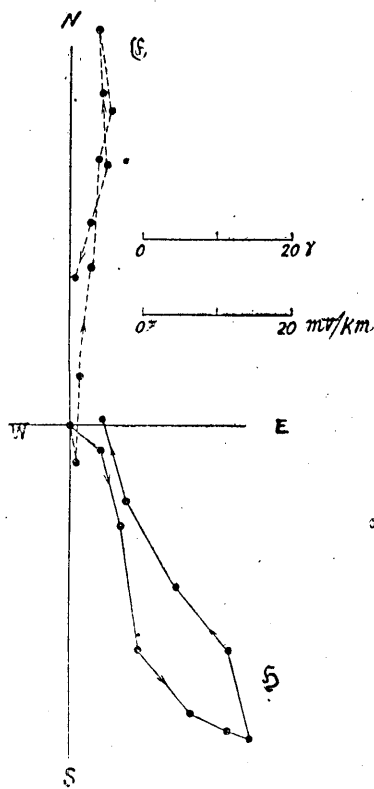
(3) 島山久尙 中央氣象臺論文彙報 12 (昭和13年), 189.

(4) 寺田寅彦 東大 理紀要 37 (大正6年) 第9冊, 56-84.

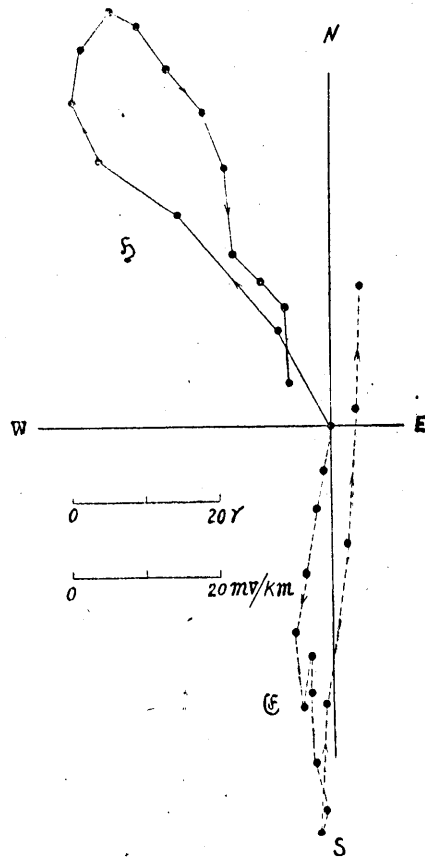
成分のみ)の観測結果の例を第6圖(1)(2)(3)に示す。第6圖にも明らかなる如く、地球磁氣變動ベクトル  $\mathcal{E}$  の向きの如何に拘らず、地電位差變化のベクトル  $\mathcal{E}$  は、 $N2^\circ E$  より  $N17^\circ E$  のせまい方向に限られてゐる。従つて又第6圖(1)及(2)に見る如く、 $\mathcal{E}$  と  $\mathcal{E}$  の間の角が  $90^\circ$  から著しく異なる場合が起きる。

地表に於ける大地と大氣との境界面のみに着目し、この境界面に於ける電磁感應を二次元問題として取扱へば<sup>(7)</sup>次の如くである。

先づ異方性大地表面に於けるオーム法則を



第 6 圖 (1)  
地球磁場の潮型變化と  
地電位差の潮型變化

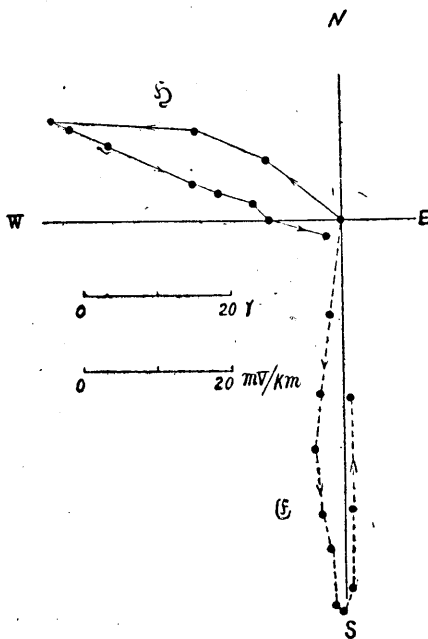


第 6 圖 (2)

(7) 平山操氏は半無限導體の大地に於ける電磁感應の問題を近似的に解かれた。又この結果を畠山久尙博士は實測の結果の解析に用ひられた事がある。然し、本文の如く最初から二次元問題として近似して、計算を簡單にしても、地表の電磁感應に關しては同一の結果に到達する。

平山操 氣象集誌 13 (昭和10年), 456.

畠山久尙 中央氣象臺歐文彙報 12 (昭和10年), 189.



第 6 圖 (3)

變化を代表するものとし、その  $\delta$  及び  $\epsilon$  の値を (4) 式に代入して  $\sigma_{ee}/\sigma_{nn}$  及  $\sigma_{ne}/\sigma_{nn}$  の値を求めた。實際の計算に當つては、10例の變型變化に就いて上記の  $\delta$  及  $\epsilon$  から ( $H_n$ ,  $H_e$ ), ( $E_n$ ,  $E_e$ ) を求め、これから  $E_e/E_n$ ,  $H_e/H_n$  を計算して (4) 式に挿入し、最小二乗法によつて  $\sigma_{ee}/\sigma_{nn}$ ,  $\sigma_{ne}/\sigma_{nn}$  を求めた。結果は

$$\sigma_{ee}/\sigma_{nn} = +13.3, \quad \sigma_{ne}/\sigma_{nn} = -0.74,$$

従つて

$$\sigma_{min}/\sigma_{max} = 0.072$$

茲に  $\sigma_{min}$ ,  $\sigma_{max}$  は水平方向の異方性電気傳導度を示す楕圓に於いて最小及最大の値を表はし、 $\sigma_{max}$  軸の方向は  $N86.5W$ , 即ち  $\sigma_{min}$  は  $N3.5E$  となる。この結果は觀測場所に於いて、北微東の方向の電気抵抗が、それに直角の方向に比して著しく大きく、従つて南北方向の電位差が東西方向のそれに比して極めて大きい事を表はす。

4. 地電位差の不規則形擾亂の方向性、變型變化の方向性等何れの立場より見ても、觀測場所に於いて南北方向の電気抵抗が東西のそれに比して約10倍大きいといふ事實は疑ふ餘地がない。從來  $\sigma_{max}/\sigma_{min}$  の値が 2~3 の程度の異方性は附近の地質構造の異方性に關聯して、二、三見出された事もあるが、<sup>(8)</sup> 今回の觀測で得られた異方性は特に

$$\left. \begin{aligned} i_n &= \sigma_{nn} E_n + \sigma_{ne} E_e \\ i_e &= \sigma_{ne} E_n + \sigma_{ee} E_e \end{aligned} \right\} (2)$$

とす。茲に云ふ迄もなく  $\begin{pmatrix} \sigma_{nn} & \sigma_{ne} \\ \sigma_{ne} & \sigma_{ee} \end{pmatrix}$  は異方性電気傳導度の二次元テンソルを表はす。

然る時は、

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} = -\text{rot } \mathcal{E}, \quad \text{div } i = 0 \quad (3)$$

と (2) 式から

$$\begin{aligned} 1 + \frac{E_e}{E_n} \cdot \frac{H_e}{H_n} \left( \frac{\sigma_{ee}}{\sigma_{nn}} \right) + \left( \frac{E_e}{E_n} \right. \\ \left. + \frac{H_e}{H_n} \right) \left( \frac{\sigma_{ne}}{\sigma_{nn}} \right) = 0 \quad (4) \end{aligned}$$

なる關係を得る。

實際に觀測された地球磁場及地電位差に於ける變型變動に就いて、變型變動の極値に於ける  $\delta$  及び  $\epsilon$  の値がそれぞれの變型

(8) 島山久尙 前掲。

顯著であつて、附近の地質構造及地形のみで説明されるとは思はれない程大きい。第1圖に示す如く、観測場所は東及西側を花崗岩質の山稜にはさまれた南北に細い小平地であつて、而も、そのほゞ中央を河内川の一支流が南北に貫通してゐるのであるが、測線の長さにして平地の面積は十分大きく、10:1といふ大きな異方性の原因となり得べき条件は見當らない。

従つて、南北測線が地震斷層を中央にはさんで、斷層の兩側の電位差を計つて居り、東西測線は斷層の北側に斷層線にほゞ平行に設置された事を考慮すれば、前述の顯著な電氣傳導度異方性が地震斷層に關聯してゐると考へるべき點が多い。異方性を生ずべき物理的な状態には種々の可能性はあるが、この問題の直接的な闡明は、大地の電氣傳導度の分布を實際に測定した結果から、はじめて明確に検討せらるべきであつて、本文の結果の如き大略100m平方の區域の平均の電氣傳導度の異方性からは直接的な論據を得る事は困難であると思ふ。

然し、將來の資料として観測地點に於いて注目された事實を下記に簡単に列記する。

(i) 観測場所附近に於いて新地震斷層<sup>(9)</sup>(鹿野斷層)は $S75^{\circ}W-N75^{\circ}E$ の方向に走り、第1圖に示す如く斷層線の南側に對し北側が下つて、且東方に走つてゐる。相對的偏位の大きさは、鉛直方向に約50cm、水平方向に約120cmであつた。

斷层面及び斷層の出現に伴つて現はれた多くの小龜裂は斷層線に垂直方向の電氣抵抗を増大せしめてゐると思はれる。

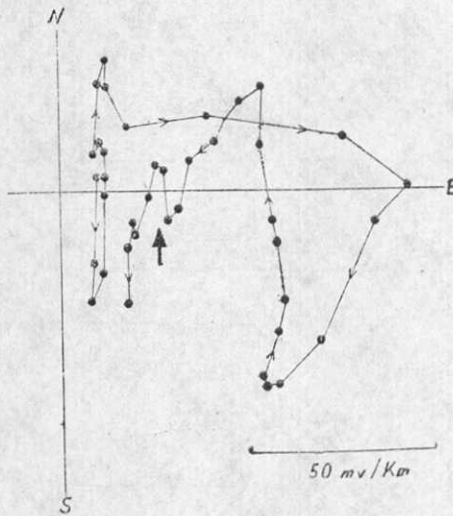
(ii) 地震斷層の出現に伴つて、地下水層の切斷が行はれ、斷層線の南側に於いては井戸水が漸減し、9月20日頃には井戸が全く涸枯した處が少くない。この現象は斷層線の南側に於ける電氣抵抗を増加せしめてゐると思はれる。

(iii) これに對し東西測線は斷層の北側にあつて、南側の地下水減少の影響を受ける事なく、むしろ含水層の低下によつて地下水が増加してゐるのではないかと考へられる。

以上の事實は、土地の電氣傳導度異方性を定量的に論ずる爲には不十分であるが、少くとも大體の傾向に於いては現象を説明するのに都合良い事實であると思ふ。

5. 先にも述べた如く、數分乃至數時間程度の比較的短週期の地電位差變動は $N2^{\circ}E$ から $N17^{\circ}E$ の間といふ極めて限られた方向にのみ起つた。この法則は観測の全期間を通じて常に成立したのであるが、この間數回の例外的な場合があつた。この例外的な場合の最も代表的な變化のベクトル圖は第7圖に示す如くである。同圖に於ける地電位差變化は、東西方向にも顯著であり、明らかに異常變化である事を示してゐる。

(9) 斷層に關する記述は、津屋教授及萩原教授の論文に詳しい(地震研究所彙報 本號参照)。



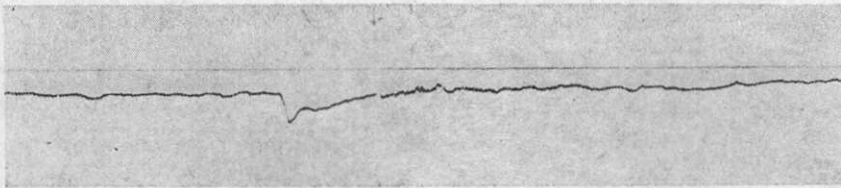
第7圖 地電位差異常變化(昭和19年  
9月28日)矢印は地震群の發  
生を表はす

この異常變化は極めて顯著であつたので、地電位差觀測の原記録からも明らかに認める事が出来る。即ち第8圖はこの場合の東西成分の地電位差變化原記録である。中央の變型變化が異常變動を示し、この變化に對應する變化は南北成分には表はれてゐなかつた。

今此の種の異常變化のみを求める爲に

$$E_e - kE_n \equiv \Delta E$$

なる  $\Delta E$  を定義する。此處に  $k$  は第2圖に示した結果から得られた  $E_e/E_n$  の平均値であつて、實際には0.118を用ひた。即ち  $\Delta E$  は異常變化の東西成分を近似的に表はす量である。全觀測期間の  $\Delta E$  變化を圖示したものが第9圖である。同圖

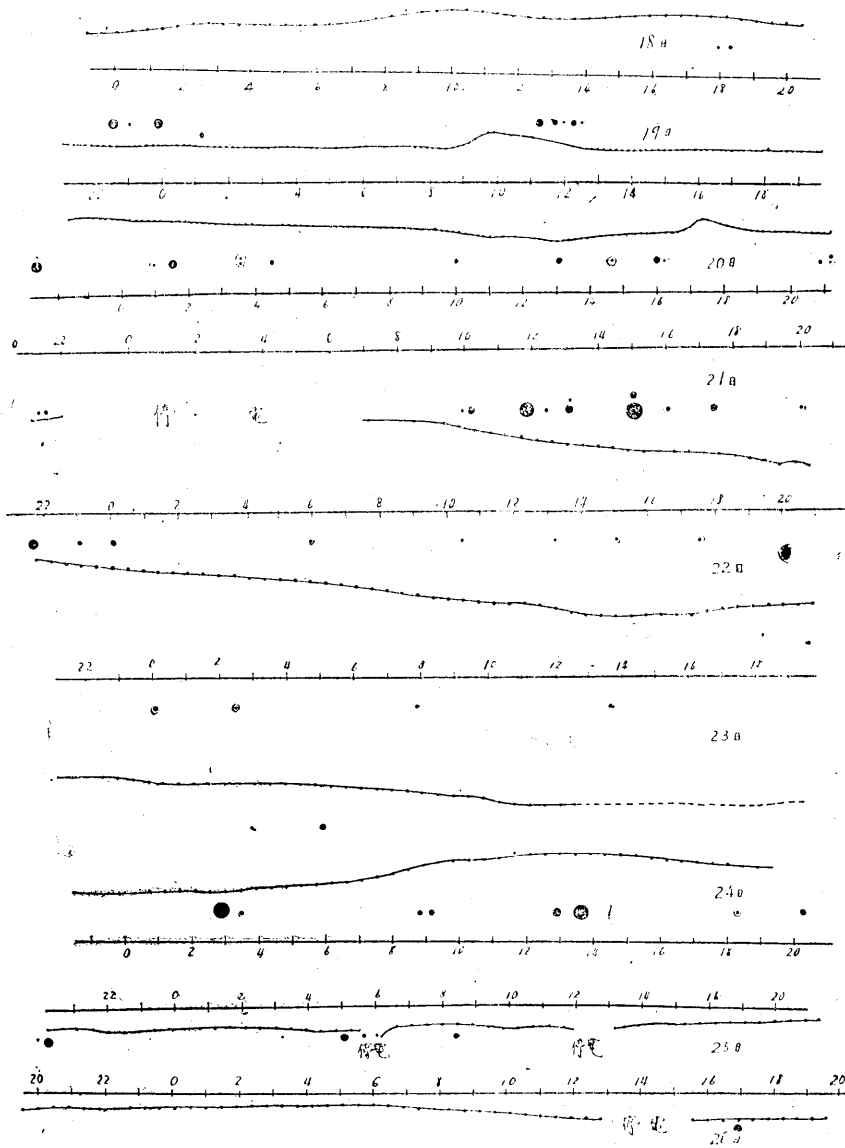


第8圖 9月28日地電位差異常變化を示す原記録(東西成分)

に於いて、讀取り及び計算の誤差範圍、2mv/Km 以下の變動を無視すれば、 $\Delta E$  の變化は概ね滑らかであつて、數時間程度の短時間變化は9月28日の顯著な變化、同月19日及20日の小變化を除いては見當らない。此處に  $\Delta E$  の時間的變化の中、日周變化程度以上の長時間變化に就いては例へば電極附近の地温變化等の氣象的條件に支配される部分が多い筈であるから、此處では問題にしない事にする。

扱て  $\Delta E$  の異常變化と地震發生との關係の有無を検する爲に、鹿野に於いて加速度地震計によつて觀測された餘震を第9圖に併記する。茲に黒丸の大きさは地震加速度の大きさ(鹿野町に於ける)を表はし、最大の黒丸は震度Ⅲに當る。先づ9月28日に於ける  $\Delta E$  異常變化の前半日には地震なく極めて靜穩であるが、異常變化出現後數時間にして、相當に大規模な地震群が發生してゐる。この地震群は鹿野の西方倉吉附近に發生したものであつて、表助教授によれば倉吉附近に於いて震度Ⅴに近く、餘震約200を伴つた顯著な地震であつた。次に9月19日の  $\Delta E$  小變化に就いては、9月28日に於

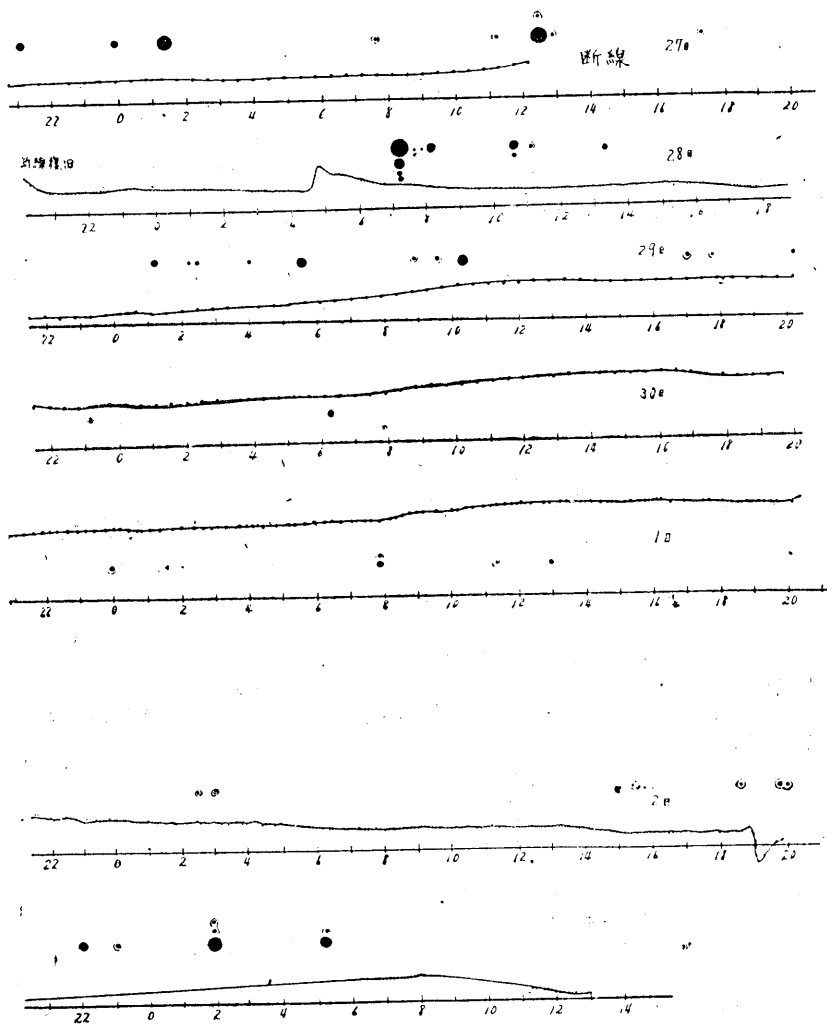




第9圖(1) 差電位差の變化と餘震

けると同様の関係をそのまま小規模にした関係がみられる。20日の小變化後やはり餘震の發生をみたが、停電の爲地電位差計、地震計共に缺測になつて詳細が不明なのは残念である。

上記の結果から  $\Delta E$  異常變化後數時間にして地震群の發生を見るといふ関係は明らかに成立し、地震と無關係な  $\Delta E$  異常變化は無いのであるが、 $\Delta E$  異常變化を伴はな



第9圖(2) 差電位差の變化と餘震

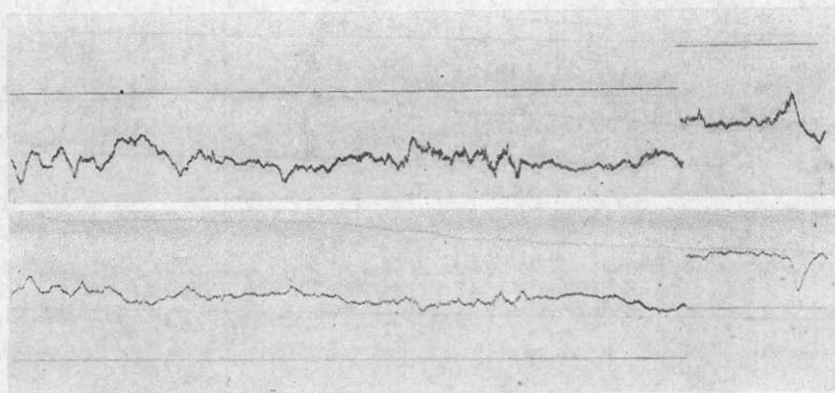
い地震は多數に存在する。要言すれば、地震の中のあるものは  $\Delta E$  の異常變化を伴ふと云ふ事が出来る。

6. 観測期間の末期、即ち10月2日、3日の兩日に於いて、南北測線の延長上に、新南北測線 60m を新設し、新舊南北測線の地電位差變化を比較した。新南北測線は舊南北線より約  $20^\circ$  東西方向に傾いて居り、又云ふ迄もなく舊南北側線が地震断層をまたいでゐるのに對し、新南北測線は兩極共に断層線の北側に在る。

兩測線に於ける地電位差變化は第10圖に示す如く、殆んど平行し、且つ變動の大きさは測線の長さに比例する。この場合にも

$\Delta E' \equiv E'_n - kE'_n$  (但し  $E'_n$  は新南北測線に於ける變化)

なる  $\Delta E'$  を定義し、 $k$  を  $E'_n$  と  $E_n$  との比例部分に於ける  $E'_n/E_n$  の平均値とする。 $\Delta E'$  の變化は第9圖の末尾に示す如くである。 $\Delta E'$  も亦一般には滑らかであるが、第9圖及第10圖に明らかなる如く、10月2日夜に顯著な異常變化を生じた。この場合も異常變化前は地震の極めて少いのに對し、異常變化後急に地震活動が増加し、地震群の發生を見た事は第9圖に示す如くである。



第10圖 南北成分  $E_n$  (上) と新南北測線成分  $E'_n$  (下)  
( $E'_n$  の記録、右端に異常變化あり) 10月1日20h 20m ~ 10月2日19h 50m

斯くして  $\Delta E$  乃至は  $\Delta E'$  の異常變化と地震との關係は偶然の結果と見做すには、あまりにも顯著すぎる様である。又此處に定義した  $\Delta E$  及  $\Delta E'$  の異常變化の量及形式は明らかに他の變化と識別し得るものであり、他にまぎらしい變動はない。

しかし若し地震と地電位差異常變化との間に物理的關係があるとしても、現在の處その機構は明らかでない。たゞ  $\Delta E$ 、 $\Delta E'$  の兩變化を通じて共通な事實は、地震斷層を挟む測線と然らざる測線のそれぞれの地電位差間の平衡關係が破れる事である。

以上の報告の如く、震源に極めて近い場所に於いては地震と地電位差變化の間の關係の存在は頗る有望の様である。今回の觀測では2成分の設備を持参したのみであつたので、觀測網にはなほ不十分なものがある。將來の機會には、1測點に於いて2成分且つ各成分に2測線(地震斷層を挟む測線と挟まざる測線、或は長短の測線)によつて十分吟味して見たいと思ふ。

(この觀測の遂行に當つては、鳥取縣廳の各部の御配慮による處多く、又鹿野町當局警察及町有志諸氏の甚大なる後援を受けた。特に鹿野町城東青年學校に於いては種々御厄介になつた。關係諸氏に厚く御禮申上げる。更に觀測の實施に際しては、原田美道、中田美明兩學士、理學部學生加藤元彦、淺田敏兩君の助力を得た。上記の諸君にも厚く感謝の意を表する。)