

# 地球物理

## 第 4 卷 第 3 號

昭和 15 年 10 月

### 論 說

#### 急速に動作する空中電氣觀測用電器

理學博士 長谷川 万吉

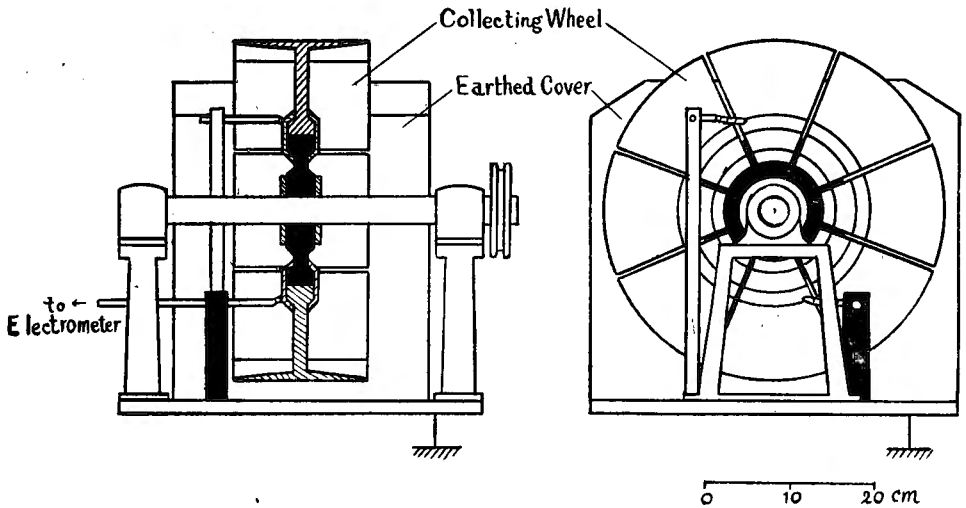
1. 緒言。 太氣中の電位傾度の觀測装置に於て最も主要な部分は所謂電器であるが、普通に常時觀測に使用せらるる水滴電器及放射性電器に於てはその性能が、取扱ひの簡易と恒久性とを主眼として工夫せられて居るから、動作は一般に緩慢であつて、分程度の時間内の一種の平均値を示すやうになつてゐる。従つて空中電位傾度の比較的長時間の變化は忠實に示すのである。非常に速かなる變化のみを觀測する目的にはアンテナを使用する方法が優れて居るが、普通の線狀アンテナは自身が動搖する缺點の他に、太氣との間の電荷授受の作用が複雑であつて緩かな變化を定量的に決定するに不適當である。我々は太氣中の電位傾度の變化の實情を立ち入つて調査する目的で、緩慢なる變化と同時に秒或は 0.1 秒程度の變化まで成るべく忠實に對應する様な電器の製作を企てた。この目的に合ふ電器の原理は、(1)接地された導體を電場に露出せしめ、絶縁して後その誘導電荷を計ること、即ち誘電機である。(2)絶縁された導體を電場に置きその電位を測定すること。この第二の方法では装置を固定して各部分の機械的振動による障害を除く事が出来るから短週期の變化を測定するには最も適當なものと思ふ。しかし完全絶縁といふ事は結局不可能であるから長時間の變化を見るのには面白くない。この第一の方法は C. T. R. Wilson<sup>(1)</sup> のやうに容量の大きな電片を固定して、絶縁と同時に之に蔽をする仕方と、N. Russeltvedt<sup>(2)</sup> のやうに小さな電片を移動させる仕方とがあるが、短週期の電位變化に即

\* 空中導體及び特殊真空管を用ひたる例については本號第 175 頁を参照せよ。

應せしむるにはこの後者の方が都合がよい。後者の方が移動回数を大きくする事が容易だからである。吾々の製作したものはこの最後の原理によつたものであつて、昭和八年以來製作並びに観測を行つてゐる結果では、先づ所期の目的に適合するものと思はれる。特に昭和十二年製作の改良型に於ては其製作操作共に優れて居り、別府及阿蘇の火山温泉研究所に使用して居る。最近合衆國でも吾々の改良型と略同形のものを考案した様であるが、爰には吾々としての製作並びに観測上の經驗を發表する。

2. 構造。

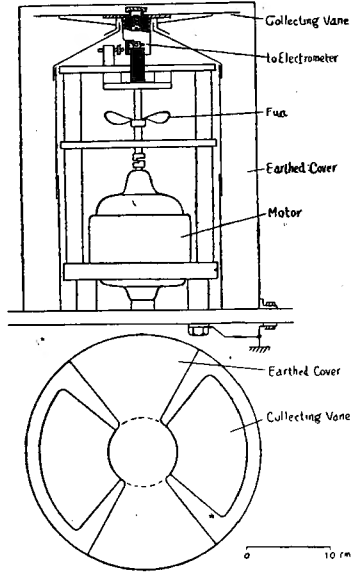
(i) 横軸型。構造の大略を第一圖に示す。水平軸の周圍に廻轉するアルミニウムの電輪は各自エポナイトによつて絶縁されたる八個の分片より成り、その中空中電場に露出す



條一圖 横軸型電器

る位置にあるものは刷子によつて接地される。この刷子は初め 薄い鋼鐵のリボンを用ゐたが後には銅の細線を束ねたものを使用した。これが廻轉して、接地された蔽の中に入つて再び刷子によつて電位計に連絡される。廻轉によつてこの過程が繰返されるものである。この地絡と電位計への連絡の位置は全然反對でも勿論いいのである。この構造のものは色々缺點が発見された。先づ絶縁部分の防蔽が充分出來ないため降雨の際には絶縁不良となるから、別に絶縁された蓋で全體に傘を着せて變化のみを記録させた場合もあるが、それも充分には行かない。又廻轉にベルトを用ゐると其帯電及振動の影響を避けるのに金屬性の蔽を餘程充分にする必要がある。これらの缺點を除くため次の縦軸型のものを製作した。

(ii) 縦軸型。構造の大略を第二圖に示す。眞鍮の電板が垂直軸のまはりに廻轉するものであつて横軸型のものと同様、空中電場に露出する位置にある時は刷子によつて接地される。刷子は薄い鋼鐵のリボンを用ひた。これが廻轉して接地されたる蔽の下に入つて電位計に連絡される。これは勿論この反對であつてもよい。絶縁部分には防水装置があり、強雨の時にも何等不安なく使用し得る。口繪の第一圖はこれの實物の寫眞で、防水装置(右)及び蔽(左)を取除いて内部を示してある。扇は電動機附近の温い空氣を上方に送つて絶縁部分の乾燥に役立つしめる。



第二圖 縦軸型電電器

兩型とも整流子と刷子との接觸に最大の注意を要する。接觸の加減が不良のときは、種々不都合を生ずる。特に横軸型に於ては刷子の接觸する金屬面の運動速度が大きいため、往々第四圖cに見られるやうな振動狀小變化が入つて來るのである。これは注意して調節して一度振動を止めても時間が経つと何時の間にか又現はれる。縦軸型に於てはこの心配も少かつた。これらの電電器の感度の檢定は其時々人工電場を以て簡單に行ふことが出来る(感度檢定の記録の例は第四圖cの右上の部分に見られる)。又目的に應じて、廻轉數の調節或は蔽の窓の開きを變へることによりて適當なる感度で觀測することも容易である。

### 3. 動作の原理。

兩型共その動作は全く同じであつて、今空中電場が定常なる場合について考へて見る。次の如く記號をきめるとき

電位計の	$\left\{ \begin{array}{l} \text{電位の最初値} \\ \text{電位} \\ \text{電位の最終値} \end{array} \right.$	$V_i$
		$V$
		$V_0$
電板と電位計を連絡したる位置に於ける	$\left\{ \begin{array}{l} \text{電板の電氣容量} \\ \text{全體系の電氣容量} \end{array} \right.$	$C_k$
		$C$
電板の毎秒接觸回數		$N$

一つの電片が最初、電位計に連絡されてゐるとし、その有する電荷を  $Q_i$  とすれば、 $Q_i = C_k V_i$  である。次の電片が受けて来る誘導電荷を  $Q_o$  とすれば、電位計に連絡される前に於ては  $Q_o = C_k V_o$  である。この  $Q_o$  は外界の空中電位傾度によつて定まるものである。これが電位計に連絡することによつて全体系の電位は

$$V_i + \frac{C_k}{C} (V_o - V_i) = r V_o + (1-r) V_i, \quad \text{但し } r = \frac{C_k}{C}$$

となる。従つて最終値  $V_o$  との差は

$$(1-r)(V_o - V_i)$$

となる。次の電片の接觸によりて全体系の電位上昇は  $r(1-r)(V_o - V_i)$  となり、従つてこの時の電位と最終値  $V_o$  との差は  $(1-r)^2 (V_o - V_i)$  となる。同様にして  $N$  回接觸したる時の電位  $V$  と  $V_o$  との差は

$$V_o - V = (1-r)^N (V_o - V_i)$$

$$\text{即ち } V = V_o \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{V_i}{V_o} \right) (1-r)^N \right\}$$

電器の性能としては第一に最終電位  $V_o$  が大きく、第二になるべく速かに作用する事が希はしい。 $V_o$  を大きくするには電片の誘導面積を大きくするか或は其の容量  $C_k$  を小さくする必要がある。面積を大にすると装置全體が大きくなる缺點があり、又  $C_k$  を小さくすると第二の急速なる作用の條件に反することは、上の式から見て直ぐわかる。即ち速かに作用するためには  $r$  はなるべく大きく、 $N$  もなるべく大きくなければならない。かくの如く第一と第二の性能とは相反するから實際の設計には、第一の  $V_o$  を大にといふことは幾分犠牲にして、其足りない點は適當な電位計の感度を以つて補ひ、専ら装置を輕便にして速かに作用する如きものが望まれるのである。我々の製作した例でも後に表示してある様に縦軸型では  $C_k$  は電位計の電氣容量の 4 倍あるから、第一回目の接觸によつて最終値の 0.8 になり、第二回目即ち 1/40 秒後には既に 0.94 に達するのである。前に電位計への接觸と地絡との位置は全く反對でもよいと述べたが、その何れにするかといふ事は、電位計接觸の際の電片の電氣容量の大小によつて其性能を異にするから目的によつて定めらるべきである。

今  $t$  秒間に起る接觸回数  $N$  が充分大きいとして  $t$  秒後に於ける電位は

$$V = V_o \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{V_i}{V_o} \right) (1-r)^{Nt} \right\} \quad (1)$$

で表はされる。今この式を

$$I = I_0 \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{I_i}{I_0} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \right\} \quad (2)$$

と書きかへるならば

$$\tau = \frac{-1}{N \log \left( 1 - \frac{C_k}{C} \right)} \quad (3)$$

又等価抵抗に相當するものとして

$$W_1 = \frac{\tau}{C} = \frac{-1}{N C \log \left( 1 - \frac{C_k}{C} \right)} \quad (4)$$

を得る。もし漏洩抵抗  $W_2$  のある場合には電位は次式によつて表はされる。

$$V = qV_0 \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{V_i}{V_0} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \right\} \quad (5)$$

$$\text{但し } q = \frac{W_2}{W_1 + W_2}$$

電位計の電位が上の如く變化するとき、電位計の針の運動方程式は

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2\epsilon \frac{d\theta}{dt} + n^2\theta = K \cdot I \quad (6)$$

$$\text{但し } 2\epsilon = \frac{k}{I}, \quad n^2 = \frac{D}{I}$$

$I$ : 可動部の慣性能率,  $k$ : 制動係数,  $D$ : 吊線の振りの係数,  $\theta$ : 針の廻轉角,  $K$ : 電位計に関する常數

であつて、これから  $\theta$  が求められる。即ち

$$\theta = e^{-\epsilon t} D_1 \cos \sqrt{n^2 - \epsilon^2} t + e^{-\epsilon t} D_2 \sin \sqrt{n^2 - \epsilon^2} t + KqV_0 \left\{ \frac{1}{n^2} - \frac{\left( 1 - \frac{V_i}{V_0} \right) e^{-\frac{t}{\tau}}}{\left( \epsilon - \frac{1}{q\tau} \right)^2 + (n^2 - \epsilon^2)} \right\} \quad (7)$$

但し  $D_1, D_2$  は電位計の針の最初状態によりてきまる常數である。

次に空中電位傾度が  $V_1 \cos \omega t$  なる週期的變化をするとき、この變化に對應する電位計の針の運動は次の如く表はされる。

$$\theta = KqI_1 \left\{ \frac{\sin(\omega t + \delta_1 - \delta_2)}{\sqrt{(\omega q\tau)^2 + 1} \sqrt{(n^2 - \omega^2)^2 + 4\epsilon^2\omega^2}} \right\} \quad (8)$$

$$\text{但し } \tan \delta_1 = \frac{1}{\omega q\tau}, \quad \tan \delta_2 = \frac{2\epsilon\omega}{n^2 - \omega^2}$$

急速に動作する空中電気観測用電器

4. 性能。この電器の性質として電片の接地が切れた時刻から電位計へ連絡される迄の時間、即ち横軸型では略  $\frac{1}{2 \times \text{毎秒廻轉數}}$  秒、縦軸型では略  $\frac{1}{4 \times \text{毎秒廻轉數}}$  秒の遅れを以つて外界の現象が観測されるものであるが、これは動作には無関係である。この電器の常数は第一表の通りである。

第一表

	横 軸 型	縦 軸 型	備 考
$C_K$	20 c. s. u.	60 c. s. u.	電位計 No. 1 のとき
$C$	40 e. s. u.	75 e. s. u.	
$1-r$	1/2	1/5	
$N$	50	40	
$W_1$	$7.2 \times 10^{-4}$ c. s. u. $6.5 \times 10^8$ ohm	$2.1 \times 10^{-4}$ c. s. u. $1.9 \times 10^8$ ohm	
$W_2$	$W_1$ に比し充分大	$W_1$ に比し充分大	
$\tau$	$2.9 \times 10^{-2}$ sec.	$1.6 \times 10^{-2}$ sec.	
$g$	1	1	

茲に注意すべきことは、(1)に於て電器の動作は連続的であるとしたのであるが實は同式の導き方より明かなる如く動作は不連続である。然し観測には電位計を用ひるのであるから、吾々の用ひた電位計の振れに關する限り電器の動作は連続的と見て差支へない。この電器の性能を活用するには勿論これに適當な電位計を必要とするのである。吾々の観測には象限電位計 No. 1 を製作して主として之を使用したのであるが、空中電位の時間的微妙構造及雷雨の際の急變動を更に確めるために象限電位計 No. 2 及びウルフ双線電位計をも使用した。製作した象限電位計の常数を次表で示す。

第二表

象 限 電 位 計	No. 1	No. 2	備 考
自 己 週 期	1.2 Sec.	0.1 Sec.	補助電位 45 volt
電 氣 容 量	10 c. s. u.	8 e. s. u.	
感 度	2.8 mm/volt	2.0 mm/volt	

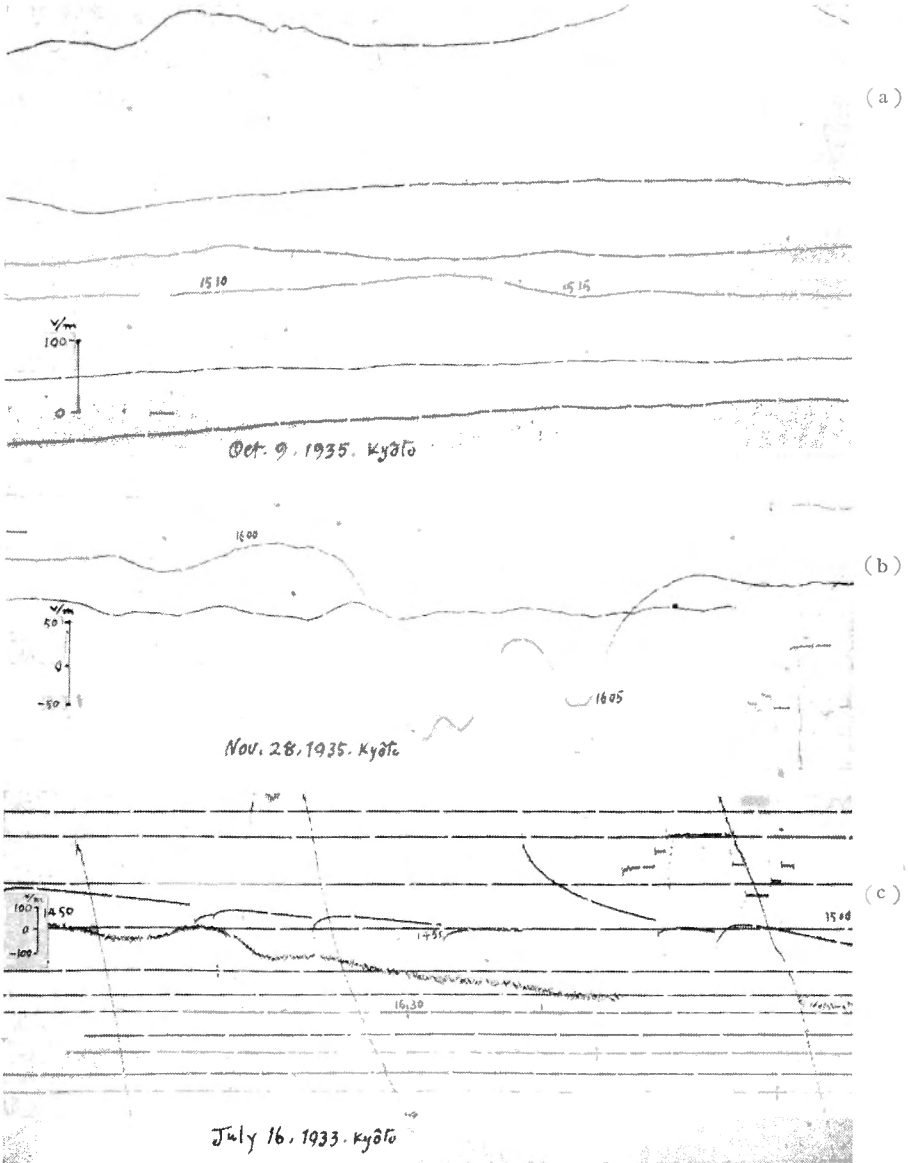
空中電位傾度が定常なる場合に、一度電位計を接地して後、接地を切りたる時の電位計の針の運動は(7)に於て  $V_2=0$  として計算される。又空中電位傾度に週期的變化のある時各週期の振幅の擴大率は(8)から計算される。これらを横軸型電器について實際の数値を

用ひて求めたものは本號第 173 頁の第 4 及 5 圖である。實際の觀測に當つては窓のある蔽を用ひて感度を調節した。

5. 觀測記録の例 (凡て電位計 No.1 によるもの)

横軸型電器で觀測した記録の例を第三圖に示す。1 分毎に時刻を印してある。(a)は

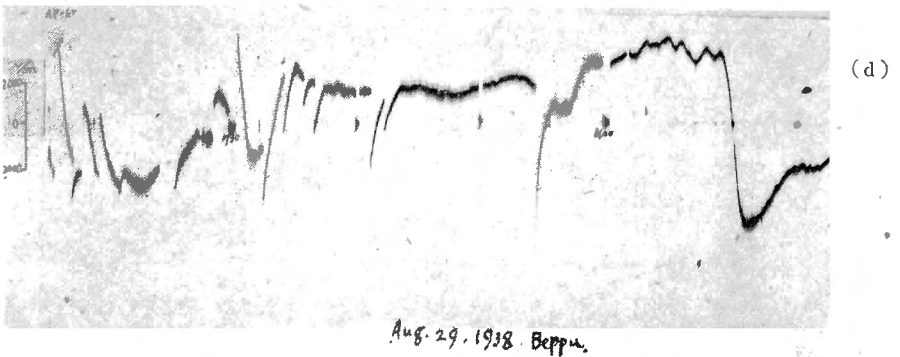
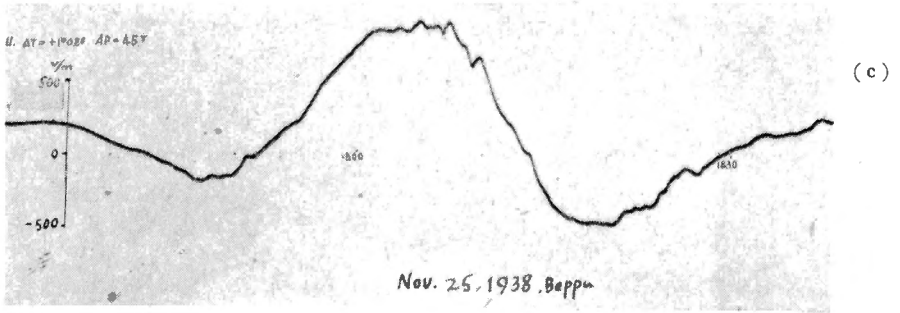
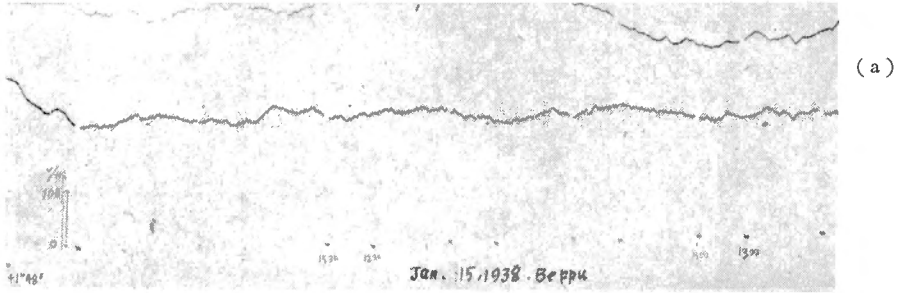
第 三 圖



急速に動作する空中電気観測用電器

静穏日のもので 15<sup>h</sup>09<sup>m</sup> より約30秒電位計を接地して零位置を示してゐる。(b)は冬季京都に頻發する時雨雲が通過した時(16<sup>h</sup>00<sup>m</sup>~16<sup>h</sup>07<sup>m</sup>)の記録である。(c)は中規模の熱雷雲が近付きつゝある時(14<sup>h</sup>50<sup>m</sup>~15<sup>h</sup>00<sup>m</sup>)のもので、雷放電による電場の急變化が明かに見られる。これに重つて大きな變化が記録されてゐるのは同じ雷雲が頭上に來た時のものであ

第 四 圖





る。(a), (b)にも僅かに見られるのであるが(c)に於いて特に著しく現はれてゐる振動狀小變化は刷子の接觸不良に基くものであつて、空中電場の變化ではない。

縦軸型電器で觀測した記録の例を第四圖に示す。10分毎に接地して零位置を印してゐる。(a)は靜穩日の例である。(b)は低氣壓性降雨の時に觀測されたもので、著しい小變化が記録されてゐる。降雨の時にかゝる小變化を見ることは珍らしい。(c)は驟雨雲通過の時のもので、正の極性の雲の通過によりて期待される電場變化とは方向が全く逆になつてゐる。(d)は中規模の熱雷雲が頭上を通過した時の記録であつて、雷雲の中心に於て定常電場は正となり雷放電による電場急變化の方向は主として負である。

6. 結言。この電器は製作操作共に比較的簡單であつて、これを使用すれば空中電場の緩慢なる變化は勿論、急速なる變化も計器を適當に選擇することによつて忠實に記録せしめることが出来る。只電作用が嚴密には連続的でないため、檢出し得る最短週期には限度がある。然し乍ら雷放電による電場の急變化(Net change)の如きもの、或は $\frac{1}{10}$ 秒程度の短時間的變化は充分觀測し得るのである。

昭和八年(1933)三月以來現在に至る迄得られた觀測材料はかなり豊富であつて、着々整理されてゐるがそのうちの一部分は日本數學物理學會年會(昭和十年、同十一年、同十四年、同十五年)に於いて既に報告されてゐる。

(1) Handbuch d. Exp. physik, xxv, 1 Teil S. 372.

(2) " " " " " " " S. 356.

(3) E. J. Workman and R. E. Holzer, Rev. Sci. Instruments. 10, p.160 1939.