

# 空中電氣擾亂時に於ける電位傾度測定並びに ベンドルフ自記電位計に就いて\*

横内 幸雄, 菊池 繁雄

## 1. 序

空中電位傾度の連続観測は大部分の観測所にては空中電氣的に静穏なるときについて記録を得るに便なる如く調整し置くのが一般の様相であるから、かゝる場合には最大約數百乃至千ヴォルト毎米迄（調整状態に依つて異なる）の電位傾度は記録し得られるが、此の値以上は指針が振り切つて測定することが出来ない。従つて降雨、降雪、殊に雷雨及び他の空中電氣的擾亂の際の空中電位傾度に於ける異常状態をつまびらかに記録し得られない憾みがある。殊に雷雨の際は一般に電場變化が極めて大きく數萬ヴォルト毎米程度の電場變化が生ずる場合があるとされて居るが、現今では空中電氣的異常状態をも指針の振り切れなしに記録し得ることが望まれる。

空中電位差測定装置には水滴、放射物、火焰或は金屬等の電器と象限電位計或は纖維電位計等とを連結する方法或は Wilson の平板及び Wilson の球等と毛細管電位計、象限電位計或は纖維電位計等とを連結する方法等がある。こゝでは放射物（ラヂオトリウム）電器とベンドルフ自記電位計とを連結する方法のみについて述べる。この方法では 1 分間毎の記録しか得られないため急激な電場變化に従はない缺點があるも、大局から見る變化が直截に觀察され却つて便利な場合がある。

ベンドルフ自記電位計一臺にて空中電氣的に静穏なるとき及び擾亂のときとの兩状態を記録せんとするには、常に静穏な状態を記録するに便なる如く調整し置き、擾亂のときには指針が振り切る直前にて補助電壓或は吊絲の間隔（二本吊）を自動的或は手働的に變更して感度を下し、擾亂のときの記録を完全になさんとする方法がある。然しこの方法では補助電壓或は吊絲の間隔變更に伴ひ、零點の移動及び電壓と振れとの比例性が亂されること（殊に正負の偏れの相違）等、器械の調整が亂れる可能性が豫測され、器械の調節取扱ひに一段と注意を要することは勿論であるが實際に直面して、相當困難の點がある様に思はれる。又普通は空中電位差の大きさと指針の廻轉角とが比例する様に電位計を使用するのであるが、使用法に依つては（電位計に補助電壓を用ひない電位計使用法）指針の廻轉角が空中電位差の大きさの自乗に比例する如き方法がある。此の方法を採用すれば擾亂時の高偏電位をも指針が振り切ることなしに記録し得る可能性があるけれども、記録記象の

\* Y. YOKOCHI & S. KIKUCHI: Observation of Disturbed Field of Atmospheric Electricity and Some Notes on Bendorf's Electrometer.

調査に少なからざる手敷と、變化の有様を直截に知ることが困難であるといふ缺點がある。又最も大なる缺點は正負の方向性がなく常に一方へのみ指針が振れることで、空中電位差（擾亂時）測定用には使用し難い。

一方他の器械を常設して擾亂のときのみを目的に調整して置けば最良の策で、器械の調整に都合が良い。

柿岡に於ては幸ひ二箇のペンドルフ自記電位計を備へて居るため一方を静穩のときに適する如く調整し置き、他方を高偏電位測定用に調整して擾亂時に備へた。こゝに擾亂時の記録記象數例とペンドルフ自記電位計について豫備實驗の一端を報告して、空中電氣的擾亂時の高偏電位測定の参考に資したい。

## 2. ペンドルフ自記電位計

ペンドルフ自記電位計については岡田博士の氣象學並びに氣象機械學、拔山博士の空中電氣學（岩波講座）及び崑山博士の空中電氣（物理實驗學第十一卷）等に之が構造並びに使用法が詳細に講述されて居り、且觀測上の注意については川野技師の論文<sup>(1)</sup>及び指針の運動の理論については崑山博士の論文<sup>(2)</sup>等があるが、次に柿岡にて使用せるペンドルフ自記電位計について構造の一部を略記したい。

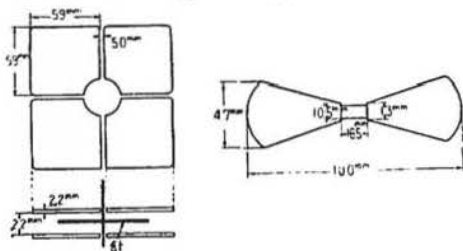
電位計の主要部分たる象限及び可動部分の寸法を第1圖に示す。電位計の吊絲は一種の二本吊となつて居り、吊絲の長さは25 糎から32 糎迄約7 糎の調節が可能である。

指針の長さ即ち指針の廻轉の中心から自記紙上記録點との間の長さは19.7 糎であり、自記紙の幅は12 糎であるが指針の移動範圍は約10 糎である。尙可動部分の重量は8.2 瓦である。

次に吊絲の太さ及び質は使用状態に應じて適宜選定すれば良いのであるが、自ら限度がある事は言を俟たない。柿岡にては太さ40 ミクロンと50 ミクロンの洋銀線を吊絲として適宜使用して居るが、普通時の測定記録には好結果が得られて居り、擾亂時の高偏電位測定用にも充分好結果が得られる事が判つた。吊絲は初め白金線が使用せられたのであるが洋銀線にても充分である事が判つた。

二本吊の吊絲の間隔は下端では3 糎で一定して居り、上端は7.5 糎迄加減し得られる。

第 1 圖



(1) 川野: Geophy. Mag., Vol. 1. No. 1.

(2) 崑山: 氣象集誌. 第十二卷, 第十號.

### 3. 感度の調節

ペンドルフ自記電位計の感度を變更するには次の三項目が考へられ、感度の調節に當つては之等を適宜採用すれば良い。

- (1) 吊絲の太さ及び長さ或は使用線の種類.
- (2) 二本吊の吊絲の間隔.
- (3) 補助電壓の大きさ.

今 (1) 及び (2) の項について考へて見る. ペンドルフ自記電位計は一種の二本吊電位計であるが、初め一本吊の場合を考へると、今吊絲の長さを  $l$ 、半徑を  $r$  及び剛性率を  $n$  とすれば制向力  $D$  は次式で與へられる。(但し吊絲が圓形の場合).

$$D = \frac{\pi r^4}{2l} \times n$$

こゝで電位計のある調整状態にて供給電壓  $V$  に對して微小角  $\varphi$  だけ吊絲が廻轉すると

$$D\varphi = A \cdot v \cdot V.$$

なる關係を得. こゝで  $A$  は器械の定數,  $v$  は補助電壓の大きさである. 依つて電位計の寸法値 (即ち指針の單位の振れに對する電壓の大きさ) は  $D$  に比例する. 即ち寸法値は吊糸の太さの四乗に及び剛性率に比例し又長さに逆比例することを示す. 今  $n$  及び  $l$  を一定と考へると 50 ミクロンの太さと 40 ミクロンの太さとで前者は後者に比し 2.4 倍の寸法値が得られる勘定となる. 然し二本吊の場合は上記一本吊の場合に比して制向力の状態が大分趣きを異にし、吊絲の太さの影響が減じて吊絲の間隔の影響が入つて來る. 現在の電位計の場合には二本吊について考へねばならない.

今二本吊の上端の間隔を  $e_1$ 、下端を  $e_2$ 、吊絲の半徑を  $r$ 、彈性率を  $E$  及び吊絲の垂直巨離を  $l$  とすれば制向力<sup>(3)</sup>  $D$  は次式で與へられる

$$D = mg \frac{e_1 e_2}{4(l - \delta)} + \frac{2\pi}{5} \cdot \frac{r^4}{l} E \quad \delta = r^2 \sqrt{2\pi E / gm} \dots\dots\dots (1)$$

こゝで  $m$  は吊絲にかゝる質量で、 $g$  は重力の加速度であつて、剛性率  $n = \frac{2}{5} E$  と假定してある.

(1) 式により (1) 項及び (2) 項の場合につき  $D$  の變化を計算して見る. 但し  $m = 8.2 \text{ gr}$  及び  $E = 11000 \text{ kg/mm}^2$  とする.

(A) 吊絲の太さ變化による場合:  $l = 25.5 \text{ cm}$ ,  $e_1 = 0.3 \text{ cm}$  及び  $e_2 = 0.3 \text{ cm}$  として當所では吊絲の太さ  $40 \mu$  と  $50 \mu$  とを使用して居るので、之について前者に對する後者の  $D$  の比をとると 1.2 となる.

(B) 吊糸の長さ變化による場合: 長さの限界は大體 25 cm ~ 32 cm の間にあるので、 $e_1 = 0.3 \text{ cm}$ ,

(3) F. Kohlrausch: Lehrbuch der Praktischen Physik, P 111.

$e_2=0.3$  cm 及び  $2r=40 \mu$  として  $l=25.5$  cm の場合に對する  $l=32$  cm の場合の  $D$  の比は 0.8 となる。

(C) 吊絲の上端の間隔を變化した場合：間隔の限界は 7.5 mm であるから、 $l=25.5$  cm,  $e_2=0.3$  cm 及び  $2r=40 \mu$  として  $e_1=0.3$  cm の場合に對する  $e_1=0.7$  cm の場合の  $D$  の比は 2.2 となる。

以上により  $l, r$  及び  $e_2$  の變化による  $D$  の變化從つて感度の變化の度合が判る。現在の場合吊絲の長さ及び太さの加減は餘り感度に影響がないことが考へられる。更に (C) の項については次の實驗の項で述べる。

次に (3) の項について考へる。一般にペンドルフ自記電位計では針を電器に接続し各對の象限には電池の兩極を接続し、電池の中央及び電位計の外函を接地する。今一對の象限の電位を  $v_1$ 、他の一對の象限の電位を  $v_2$  とし針の電位を  $V$  とすれば針の廻轉の角  $\theta$  は次式で與へられる。

$$\theta = K(v_1 - v_2) \left( V - \frac{v_1 + v_2}{2} \right)$$

こゝで  $K$  は機器の定數で針の面積、形、針と象限との距離及び吊絲の状態等に関係する。現在の場合、 $v_1 = -v_2 = v$  であるから

$$\theta = 2KvV \dots\dots\dots(3)$$

となり、補助電壓の一定のときは廻轉角  $\theta$  は針の電位  $V$  に比例し、一定の  $V$  に對する廻轉角  $\theta$  は補助電壓  $v$  の大きさに比例する。又單位角の廻轉に對する針の電位  $V$  と補助電壓  $v$  との間の關係は双曲線にて示され、補助電壓  $v$  に依る感度の變更は自由であることとなるが、更にこの項については實驗の項にて述べる。

以上 (1)(2)(3) の三項目に依つて電位計の感度變更が可能であるけれども、實際の場合には大體線の太さを選定し、後は (2) 項の二本吊の間隔を加減すること及び (3) 項の補助電壓を變更することに依つて感度調整を行ふこととなる。

次に當所にて使用して居るペンドルフ自記電位計について行つた實驗の二三について述べる。後述實驗にて電位計の標準状態は  $m=8.2$  gr,  $e_1=0.28$  cm,  $e_2=0.3$  cm,  $l=25.5$  cm 及び  $2r=40 \mu$  (洋銀線) であり、 $v=\pm 48.8$  Volt なる場合である。

實驗 1: 前記標準状態にて供給電壓  $V$  を變更した場合の指針の振れの大きさ  $d$  を第 2 圖に示す。この  $V$  と  $d$  との關係は直線となり、これは (2) 式に依つて期待される所で、これが直線となる様に電位計を調整せねばならないのである。

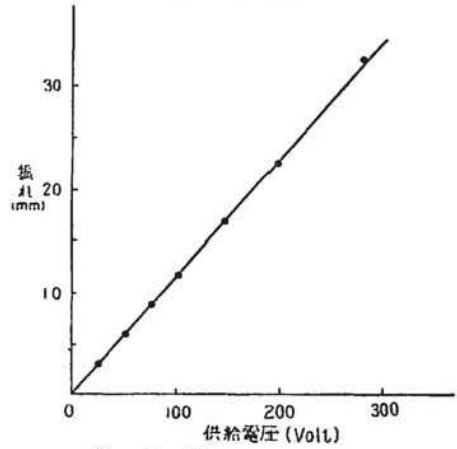
實驗 2: 前記電位計の標準状態の中、補助電壓  $v$  を變更した場合の各  $v$  に對する電位計の寸法値を第 3 圖 (a) に示す。この  $v$  と寸法値との關係は双曲線となるが、寸法値は指針の單位の振れ

に對する供給電壓の大きさ即 Volt/mm で示されるから、これは (2) 式に依り期待される。圖で補助電壓が約 10 Volt から約 50 Volt の部分で彎曲して居る。この彎曲部分以下の補助電壓の部分では廣範圍に互る感度の加減が可能である。然しこの部分では補助電壓が小なるため、指針が不安定となる可能性が想像され且つ補助電壓の僅かな變化に對して寸法値の變化が大きき誤差が入り易いので、かゝる状態で使用する場合は調整に一段と注意を要する。従つて通常觀測の場合は補助電壓は 60 Volt 以上に保つて置く方が具合が良い。

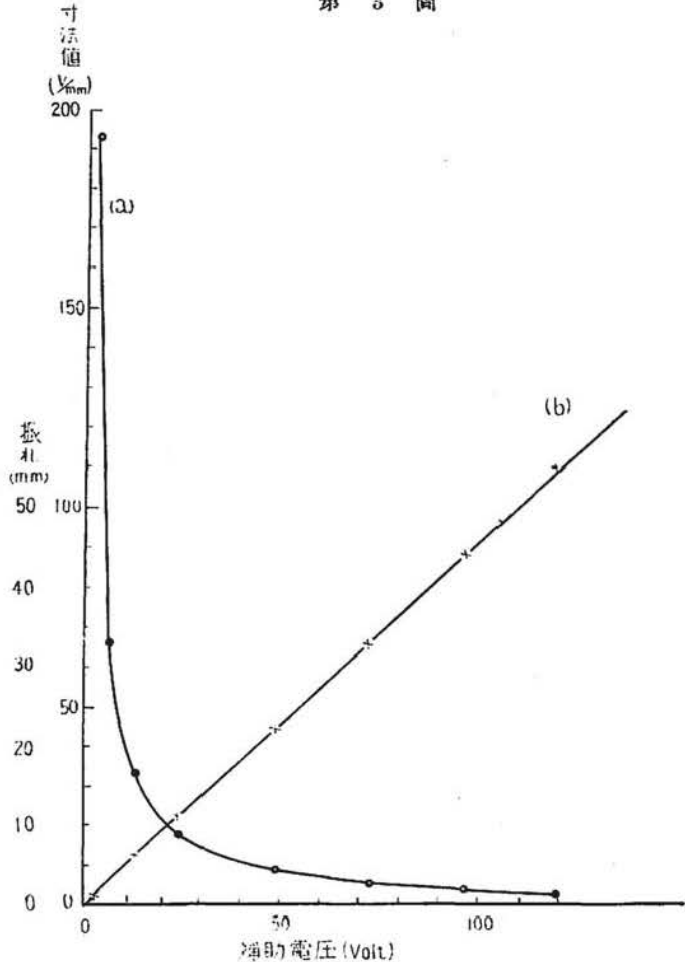
尙第 3 圖 (b) には供給電壓 200 Volt に對する補助電壓と指針の振れとの關係を示したがこれは全く直線となり、これも (2) 式により期待される所である。

實驗 3: 前記電位計の標準状態にて吊絲の上端の幅  $e_1$  の變化に依る寸法値への影響を第 4 圖に示す。圖は殆んど直線である。(1) 式の  $D$  に於て現在の場合、第二項は第一項の約 1/10 位であるから  $D$  には主として第一項が影響し、殆んど直線となるのは當然である。現在使用の状態では吊絲の上端の間隔は 2.8 耗で、上端及び下端の間隔は略同じ程度であるが上端の間隔の最大 7.5 耗の場合では現在の寸法値を二倍半位とすることが出来る譯で、これは前述の計算例と一致する。ともかく吊絲

第 2 圖



第 3 圖



の間隔の加減による寸法値の變化は最大と最小の比にて約 3 位である。

4. 平面更正係數

前節に於て、電位計の感度は電位計の調整状態により自由に變更し得るのであるが、實際に於ける擾亂時の異常高偏電位の測定に當つては自ら限度がある。即ち吊絲の長さ及び二本吊の間隔は機器の構造により限度があり、又吊絲の太さを餘り大にすることは吊絲にかゝる可動部分の重量が 8 瓦程度であるから吊絲に弛みの發生するおそれが考へられ或る程度迄の太さに限定される。次に補助電壓については、之を極端に小にすることは前節に述べたる如き困難を生じ、且感度の

測定を行ふとき供給電壓を大にせねばならないため、常設に感度測定用の直流高電壓電源が必要となり、これは常置不可能の場合が多い。従つて感度測定用の電源は常設し得る程度に又調節容易で且安定なる程度に電位計の感度を調整し置くことが望ましくなり、結局擾亂時の如き高偏電位測定には平面更正係數（電位傾度  $V/m$  に對するもの）の増大を必要とする。

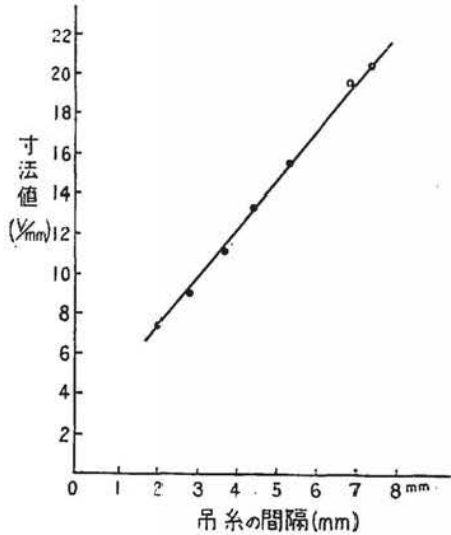
平面更正係數は觀測室の側壁から桿を水平に出して其の尖端に電器を設置する場合に於ては側壁からの距離或は地上よりの高さを變更することにより容易に變更出来る。但し各の場合について平面更正を行ふ必要がある。

其處で側壁からの距離或は地上よりの高さに依つて如何に平面更正係數が變化するかについて二三の實驗結果を次に述べる。柿岡に於ける空中電氣觀測室は高さ 4.5 米及び幅 6×7 米略立方形の鐵筋コンクリート建造物で、周圍は可成平なる様、注意が拂はれて居る。この觀測室にて西方に面した側壁（幅 7 米の方）の略中央點近くにて實驗を行つた。

實驗 4： 桿の地上よりの高さ及び側壁よりの水平距離變化に對する平面更正係數（電位傾度  $V/m$  に對するもの）の値を第 1 表に示す。

本表に依り、桿の地上の高さ一定の場合、桿の水平距離と平面更正係數との關係は双曲線となることが認められ、大體次の様な實驗式で表はすことが出来る。

第 4 圖



第 1 表 平面更正係數

水平距離 (cm)	高さ (cm)			
	153	200	263	302
20	10.39	6.75	7.31	4.78
30	—	—	4.88	—
40	5.66	4.01	3.56	2.51
60	3.99	2.76	2.39	1.74
80	3.00	2.19	1.78	1.37
100	2.52	1.80	1.46	1.14
120	2.11	1.50	1.25	0.99

$$x(y-\alpha) = K \quad \text{但} \quad \alpha = \frac{1}{h}$$

こゝで  $x$  は側壁よりの水平距離 (米)  $y$  は平面更正係数で、 $K$  は桿の地上よりの高さに依る函数で、 $h$  は地上の高さ (米) であり、本実験の場合次の如き値となる。

これ等の式に依る曲線と實測値とは可成良  
く一致するが、桿の水平距離 20 糎のものは  
側壁の影響 (窓及び雨樋) が稍入つてゐるも  
のと考へられ、幾分不一致の點がある。

第 2 表

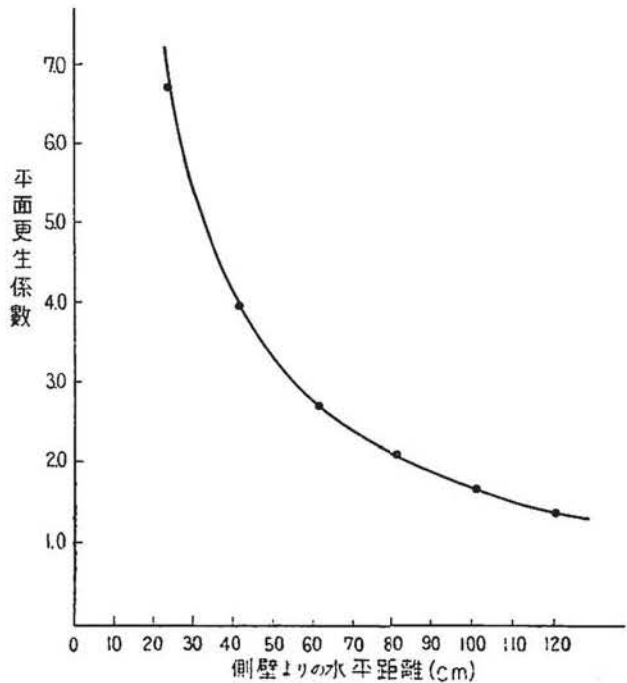
桿の高さ	153 cm	209 cm	263 cm	302 cm
$\alpha$	0.65	0.48	0.38	0.33
$K$	1.91	1.82	1.21	0.84

此の実験式を用ひた場合、 $y$  に起り  
得べき誤差は  $\pm 0.11$  である。

第 5 圖

この中地上の高さ 209 糎に對するも  
のを第 5 圖に示す。

此の実験結果より側壁よりの水平距  
離變化により平面更正係数は約 5 倍  
位、地上よりの高さに依り約 2 倍加減  
し得られることがわかる。従つて兩者  
の併用に依り 10 倍位即ち平面更正係  
数を 10 位迄とし得られることが判つ  
た。但し以上の場合は桿の地上よりの  
高さ最低 1 米 53 糎迄についてであ  
り、尙高さを低くするとこの係数は大  
となる。然し地面の影響或は地面近く  
にて起り易い故障又は側壁の影響を考  
へれば桿の水平、上下の變更には自ら  
限度がある。



上の実験式に於て  $x, y$  及び地上よりの高さ  $h$  に對し  $K$  が判る筈であるから  $K$  の高さに對する變化を知れば  $x, y$  及び  $h$  に對する一般式が見出だされる筈である。

實驗 (5): 實驗 (4) に依つて高さ ( $h$ ) が一定な場合、 $y$  と  $x$  との關係が双曲線に依つて示されることが判つた。そして其常數  $K$  の値は  $h$  と共に減少して居る。其故に  $K=f(h)$  と考へ、此の函数形を決めるため、 $h$  を 150~300 糎の間に約 20 糎づつゝの間隔を以て約 8 箇所取り、各高さ

について  $x$  を 80, 100 及び 120 纏と變更して、各々について  $y$  を決定し前記實驗式により  $K$  を算出した。この  $K$  の決定法は前記實驗に依り差支へなきものと考へる。斯くして得た  $K$  と  $h$  との關係を第 6 圖 (×印) に示した。此の  $K$  の値は各高さに於て約 3 回の觀測から得られたものである。第 6 圖 (×印) の  $K$  と  $h$  との關係を  $Kh = \text{一定}$  として求めた計算値曲線と觀測値曲線と比較すると、中央點附近に於て交り兩端が開いて一致しない。次に高さ  $h$  の軸を移した状態  $K(h-a) = \text{一定}$  として求めると計算値曲線は觀測値と非常に良く一致する。斯くして得た實驗式は次の如きものである。

$$x \left( y - \frac{1}{h} \right) = \frac{2.19}{h - 0.45}$$

但し  $x$  及び  $h$  は米單位で示される。此の式に依つて計算せる  $h$  に對する  $K$  の値を第 6 圖 (○印) に示した。此の實驗式を用ひた場合、 $K$  に起り得べき誤差は  $\pm 0.07$  で、 $y$  に起り得べき誤差は  $\pm 0.08$  である。更に此の實驗式を實驗 (4) の場合に適用し

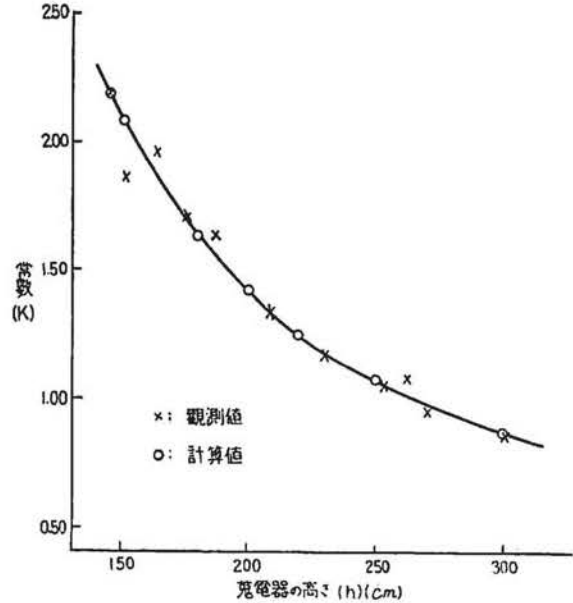
て  $y$  に起り得べき誤差を計算すると高さ 263 纏を除いて平均  $\pm 0.12$  となり、高さ 263 纏では  $\pm 0.64$  となる。前者の値は  $\pm 0.08$  に比して稍大きくなつて居るが、此の場合  $x$  の小なる觀測が含まれて居ることが注意される。高さ 263 纏に於ては他の觀測點に比して建物の側壁状態が異なつて居りしためと考へられる。

以上により此の實驗式は本觀測室の場合  $h$  が 150~300 纏の範圍にて  $x, y$  及び  $h$  に關する一般式と考へて良い。

次に上記實驗式を用ひて  $y$  が一定の場合、 $x$  及び  $h$  の値を計算して第 7 圖に示した。これは建物に依つて歪曲せられた等電位面の状態を示すものと考へて良い。この圖では高さ 3 米以上及び 1 米以下の場合が示されてあるが幾分考慮の餘地がある。

更に如何なる範圍まで建物の影響が擴がつて居るか、上記の實驗式を用ひて計算して見る。建物を離れたある觀測點が地上の高さ 1 米、2 米及び 3 米である各々について平面更正係數  $y$  の 0.1 及び 0.01 の相違が許容し得る場合を考へる。0.1 の場合は建物から離れなければならない距離は地上

第 6 圖





よりの高さ 1 米の場合は約 40 米 (建物の高さの 9 倍), 2 米の場合は約 14 米 (3 倍) 及び 3 米の場合は約 9 米 (2 倍) となり, 0.01 の場合は尖々の場合の 10 倍となる。

こゝで実験 (4) 及び (5) に於ける  
 実験式に依る計算値と観測値との相  
 違について考察して見る。実験 (4)  
 及び (5) の実験及び計算に依つて認  
 められた事項は次の如くである。

(a) 水平距離  $x$  変更の場合,  $x$  と  
 $y$  との関係を示す観測曲線は  
 $x\left(y - \frac{1}{h}\right) = K$  なる実験式に依る計  
 算曲線に比して,  $x$  の小なる處に於  
 て  $y$  大で,  $x$  の大なる處に於て  $y$   
 小となり, 途中交る。これは各実験  
 共同し傾向を持つ。

(b) 水平距離  $x$  及び高さ  $h$  が共  
 に同じ場合, 観測された  $y$  の値は観  
 測別で幾分違つて居り観測上に起る  
 誤差と考へられない場合がある。

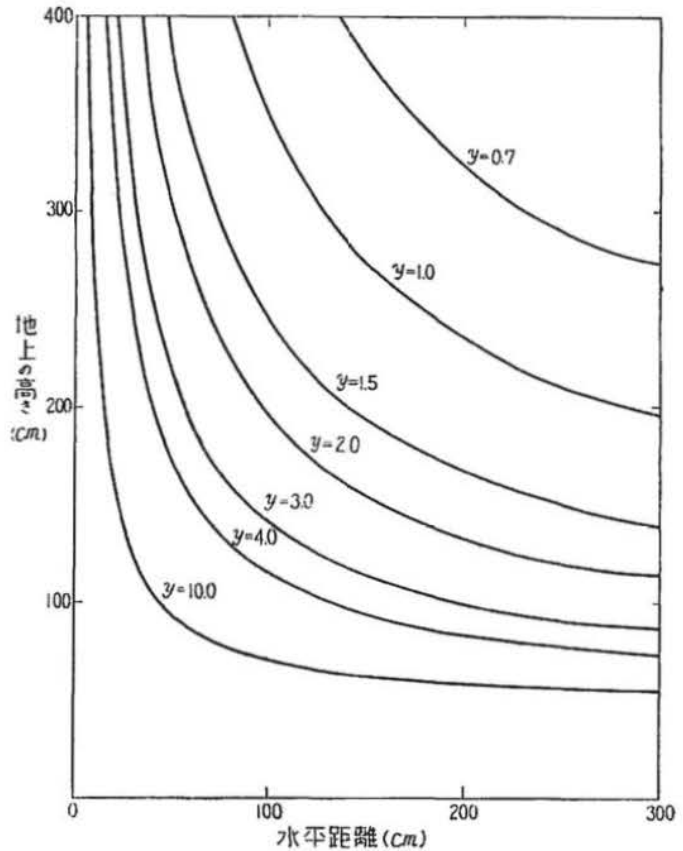
(c)  $h$  と  $K$  との関係を示す観測  
 曲線は  $hK = \text{一定}$  として算出せる計  
 算曲線に比して,  $h$  の小なる所では  
 $K$  大で,  $h$  の大なる所では  $K$  小となり, 途中交る。

普通平面更正を行ふ際屢々係數に相當の違ひが生ずることは體驗される所であるが, これは観測  
 上の誤差以外の項を考へねばならないと思ふ。

地面附近及び建物附近には空間電荷の影響が非常に大きい。今地表附近に於ける空間電荷を 0.1  
 靜電單位每立方厘米と考へると平面更正の状態及び其の際の電位傾度の大きさに依つては平面更正係  
 數に於て 10% 位の誤差は入り得る可能性がある。今地面附近及び建物近くに正の空間電荷が密  
 で, 其の大きさが時と共に變化するものと考へれば (b) 項の誤差は空間電荷の影響に依り入り得る  
 可能性がある。又これに依つて (a) 及び (c) 項の傾向も定性的に説明され得る。

同符號に帯電せる二個の直角荷電板に依る等電位面は直角双曲線に依つて示される。本題の場

第 7 圖



合、空間電荷のない場合の一般式は

$$x\left(z - \frac{1}{h}\right) = \frac{A}{h}$$

と考へられる。こゝで  $z$  は空間電荷のない場合の平面更正係数を示し、 $A$  は常數である。然るに現在の場合、空間電荷の影響が入つて来るから次の式で表はされねばならない。

$$x\left(y \times \frac{(1-\beta)(1-\gamma)}{(1-\alpha)} - \frac{1}{h}\right) = \frac{A}{h}$$

こゝで  $\alpha$  は平面更正をなす際、標準となるべき平地上の空間電荷の影響を示す項、 $\beta$  は平面更正をなすべき點の空間電荷の垂直分布の影響を示す項、及び  $\gamma$  は水平分布の影響を示す項であるが  $\alpha, \beta$  及  $\gamma$  は時と共に變化し又地上の高さ或は建物よりの距離に依つて變化するものと考へられる故、一元的には決めることは出来ない。

現在得られた實驗式は此の式を幾分變形したものとなるが、これは初め  $K$  を決定する際空間電荷の影響を考へて居ないこと、空間電荷の影響が時及地上の高さ或建物からの距離に依つて變化すること等から許容し得られることであらうと思ふ。

### 5. 氣象状態に依る空中電位傾度測定に對する考慮

(3) 節にてはベンドルフ自記電位計を使用する場合感度の調節について、又 (4) 節にては電器の位置に依る平面更正係數の變化について二三の實驗結果を述べたが、これらに依り、氣象状態による種々の空中電氣の状態に對し、良好な調整状態について考察して見る。

(1) 平常時は大體 500 Volt/Meter 位迄記録出來れば充分である。従つて吊絲は太さ  $40 \mu \sim 50 \mu$  程度の洋銀線にて電位計は調整容易で、感度も安定な状態が保たれる様に調整することが必要である。即ち補助電壓は  $\pm 40 \sim 100$  Volts 程度で電壓變動の少い電池を使用し、吊絲の間隔も一樣となる様上端の間隔を 3 耗内外とする。かかる状態で電器取付用の桿は觀測室の側壁の中央近くに設置し、建物の端の影響をなるべく避けた方が良く、其の地上の高さは 2 米位、電器の位置は側壁より 1 米位が適當である様に思はれる。

(2) 降雨に於て強雨或は豪雨の場合或は遠雷の場合は屢々數千ヴォルト毎米以上に達する電位傾度が觀測され、之等に對しては大體 5000 Volts/Meter 位迄記録し得る様に調整し置くことを要する。之には電位計の補助電壓、或は吊絲の上端の間隔或は平面更正係數等に適當なる變更を施して容易に調整出來る。此の場合補助電壓及び平面更正係數の變更に依つては單獨に此の程度迄調整出來るけれども吊絲の上端の間隔を變更する場合は單獨にては調整し得られない。何れにしても三者の適當なる併用調整が適當であらう。

(3) 雷雨時に於ては數萬ヴォルト毎米程度の電位傾度に達する場合があるとされて居るので之を

完全に記録するのは中々困難である。此の場合は(1)の場合の100倍程度の測定範囲が要求される。此の場合は電位計の位置を側壁に近く且地上よりの高さを低くし、又補助電圧を低くする必要がある。電位計の位置を側壁に近づけることに依つて得られる平面更正係数はせいぜい10程度であり地上よりの高さを低くすることに依つても此程度しか得られぬ。(實驗4)

次に補助電圧を2~10ヴォルト程度に極度に低下させると感度は平常時の5~20倍位に鈍らせることが出来る。(第3圖a)又電位の吊絲の上端の間隔を変更することに依つて平常の2倍位の寸法値とすることが出来る。以上三者の適當なる併用によつて數萬ヴォルト毎米程度の觀測は出來得るのであるが、(3)及び(4)節に於て考へられた困難を充分検討して、適當なる併用を採用し、觀測並びに調整に充分なる注意が肝要である。

以上は大體の標準について考へたもので、特別な地域或は觀測所の状態に依つて適當な考慮がなされなければならぬ。

#### 6. 柿岡にて記録された高偏電位傾度

柿岡にては昭和10年以來空中電氣的擾亂時の電位傾度測定の目的を以てペンダルフ自記電位計を大體第3表の如く調節して置いたが、次に昭和10年7月~9月、昭和11年6月~8月、昭和12年7月~8月及び昭和13年7月~9月等の期間に於て擾亂時に記録し得た電位傾度について述べる。第3表の寸法値の欄は自記紙上1耗の動きに對する電圧を示してあり、記録紙の記録し得る範囲は大體10種であり、零點は大體中央に調整して置いたので5種に對する電圧が算出され、昭和10年~12年では電位計の位置は壁より約1米で、平面更正係数は1.44昭和13年では電位計の位置は壁より29種で平面更正係数は5.00であるから、各々に對する最大記録電位傾度が得られる。又補助電圧の値は大體の大きさを示した。

第3表 電位計の調整状態

年	寸法値 (V/mm)	記録し得る最大電位傾度 (V/m)	補助電圧 (V)	平面更正係數
1935	40	2500	±25	1.44
	150	11000	±6	1.44
1936	60	4300	±6	1.44
	90	6500	±4	1.44
1937	140	10000	±6	1.44
1938	40	10000	±25	5.00

これ等電位計の調整状態は(3)節の實驗より期待されるものと幾分異なる點あるは、吊絲の太さ及び二本吊の間隔を適宜變更してあることに依る。

こゝでかゝる状態に調節し置くときは普通時及び小擾亂時の變化は殆んど識別し得ないことは勿論である。又注意すべきことは擾亂時には天候悪く強烈なる風雨のときが多い故、電位計支持物に

對する絶縁部分の位置と乾燥とに充分な考慮を要し、風雨の場合に當つて絶縁部分への降雨水の飛沫がかゝらぬ様、又常に發熱體或は乾燥劑等にて絶縁部分を乾燥して置くことが肝要である。この點は普通時の觀測の際にも勿論必要であるが、擾亂時には殊に必要であり、此の點を忽せにするときは擾亂時には大いなる偏位を示すのであるから、不良なる絶縁状態で記録は出來ても記録が小となつて居ることに氣付かないで記録を處理する心配が充分にある。其れ故絶縁状態の檢討は常に念頭に置かなければならない。

次に上記の期間に於て記録した擾亂時の電位傾度の中、その最大値が 1000 V/m 以上のものについて、その最大値を大きさの順に第 4 表に示す。この中尙指針の振り切つたものが多く含まれて居ることは遺憾であるが、これに依つて記録し得る最大偏位を何の程度に調整し置くことが肝要なるか凡その見當が付けられることと思ふ、

第 4 表 記録せる偏位の最大値

1935		1936		1937		1938	
最大電位傾度 V/m	摘要	最大電位傾度 V/m	摘要	最大電位傾度 V/m	摘要	最大電位傾度 V/m	摘要
>11200	R, ⊙	>6800	R, ⊙	>10000	R, ⊙	8000	R, ⊙
>11000	R, ⊙	>6700	R, ⊙	> 8100	R, ⊙	6300	R, ⊙
> 3200	⊙	>4800	R, ⊙	> 8000	R, ⊙	6300	⊙
> 3100	T, ⊙	>4800	R, ⊙	7800	R, ⊙	4800	R, ⊙
> 2800	⊙	>4700	⊙	4100	T, ⊙	4700	T, ⊙
> 2600	T, ⊙	>4500	T, ⊙	3800	R	4600	⊙
7400	R, ⊙	>4500	⊙	2900	R, ⊙	4000	T, ⊙
2900	T	>4400	R, ⊙	2400	T, ⊙	3400	T, ⊙
2500	⊙	>4200	R, ⊙	2000	T, ⊙	3300	⊙
2000	⊙	4800	⊙	2000	R	1900	⊙
2000	R, ⊙	3800	T, ⊙	1300	R	1900	不明
1300	⊙	3500	⊙	1000	T, ⊙	1900	⊙
1200	⊙	3400	T, ⊙			1500	T
1100	⊙	2100	T, ⊙			1300	⊙
1000	T, ⊙	1700	T, ⊙			1200	⊙
						1100	⊙

表には偏位の正負の區別を示さなかつたが、正負どの變化にも同じ程度と考へて良いと思ふ。因みに各々の場合の氣象状態を雷電 (R)、雷鳴 (T) 及び降雨 (⊙) の別にて示した。

此の表に依ると昭和 10 年では 11200 V/m 以上、昭和 11 年では 6800 V/m 以上、昭和 12 年では 10000 V/m 以上及び昭和 13 年では 8000 V/m なる電位傾度の最大偏位を觀測して居るが昭和 10 年~12 年では指針が振り切つて居るので、眞の最大偏位を記録し得なかつたのは遺憾である。昭和 13 年にては一回も指針の振り切れを觀測して居らないが、此の年は雷回数が少なく且天頂通過の強烈なる雷雨は記録し得られないで、8 月 27 日には強烈なる雷雨が 13 時頃天頂を通過したのであるが、この場合の前半に於ては絶縁不良のため採用し得なかつた等に基因する。

以上により柿岡に來襲する雷雨による電位傾度の大きさの模様が大概察知されるが、柿岡地方は小さな盆地であるため四方の山岳により、雷雨の強度が弱められる傾向を有し、又大概の雷雨が通過後間もなく消滅してしまふから、雷雨の強度については考慮の餘地を残し、強烈なる雷雨が來襲する地方での觀測には適當なる考慮が必要であらう。

### 7. 自記記象の例

柿岡にて前記の期間にて觀測し得た電位傾度の高偏電位記録記象の中より第 8, 9, 10 及び 11 圖の如き例を選んで参考とする。第 8 圖 (a—g) は降雨の際に觀測されたもの、第 9 圖 (h—k) は降雨は殆んどなく雷雲のみによる際に觀測されたもの、第 10 圖 (l—n) は降雨を伴ふ雷の際に觀測されたもの（但し雷鳴のみ觀測されたもの）及び第 11 圖 (o—t) はやはり降雨を伴ふ雷の際に觀測されたもの（但し雷鳴及び雷電共に觀測されたもの）を示す。但し時刻は日本中央標準時にて示してある。

降雨の際には一般に負の電場變化が卓越して居り、變化の有様が割合簡單であり、雷の場合に比して電場變化が小であることは一般に認められて居る所である。然し驟雨性の降雨のときは電場變化は複雑となり、急激な變化も認められ、變化の大きさも大となる。雷雨に依る電場變化は益々複雑となり、變化の大きさは大で、短時間の急激な變化が認めれる。かく指針の振り切れなしに電場變化の全貌を觀察すると、普通電場變化測定用に調整された測定装置での觀測結果即ち指針の振り切れある記録と比較するとき電場變化の概念が幾分異つて來る様に考へられ、高偏電位の觀測を指針の振り切れなしに測定することの必要が痛感される。

雷雲下地上の電場變化についての考察は現今迄多くの論文<sup>(4)</sup>があつて議論され雷雲の機構に迄言及されて居るが、こゝでは暫く電場變化に對する考察については差控へ他の機會に譲り、單に記録記象を數多く掲げて高偏電位測定の参考に資するに止める。

本觀測調査に當つて痛感される所は、雷雨時に適宜分布した觀測點にて電場變化を完全に記録することと、氣象状態の精細なる觀測が必要であることである。

### 8. 結 言

以上數節に於てはベンドルフ自記電位計の構造の一端を述べ、且電器とベンドルフ自記電位計を使用した場合空中電氣的擾亂時の記録を如何にして得られるかを柿岡にて行つた實驗結果と共に

(4) T. W. Wormall: Proc. Roy. Soc., A, 127, (1930), p 567-589.

S. K. Banerji: Quart. J. Roy. Met. Soc., 56, (1930), p 305-334.

S. G. Simpson & F. J. Scrase: Proc. Roy. Soc., A, 161, (1937) p 309-352.

T. A. Wormell: Phil. Trans. Roy. Soc. A. 238, p 249-303 (1939). (Abstract: Terr. Mag., 45, (1940), No. 1)

述べ、又柿岡にて擾亂時に観測された記象の例を示した。

ペンドルフ自記電位計の感度調節は吊絲の長さ及び太さ、又二本吊の上端の間隔及び補助電圧の大きさ等に依つて可能であり、各々に對する計算並びに實驗結果を示した。吊絲の長さ及び太さの変更は現在の場合感度に大なる影響がなく、二本吊の上端の間隔の變化は寸法値を大體 3 倍位調節出来る。補助電圧の變化による感度の調節は自由に出来る筈となるが餘り感度を鈍くすることは實際に當つては困難を生じ範圍は限定され、調整に注意を要する。補助電圧を 2~10 ヴォルト位にすると寸法値は普通時に對して 5~20 倍位にすることが出来る。

菟電器の位置の變更即ち地上よりの高さ (1.5 米~3 米) 及び水平距離 (20 糎~120 糎) の變更に依る平面更正係數を測定した。これに依る實驗の範圍では平面更正係數を 10 位迄とすることが出来る。桿の地上の高さ一定の場合側壁からの距離變化による平面更正係數の變化は双曲線  $x\left(y - \frac{1}{h}\right) = K$  に依つて大體示されることが判つた。

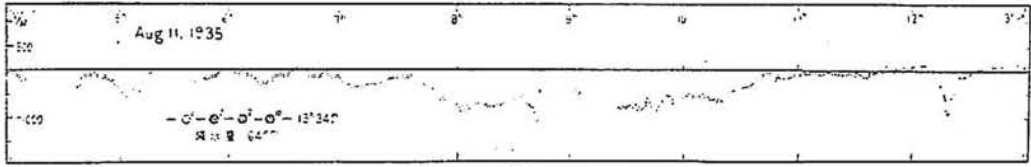
次に地上の高さ 1.5~3 米の間にて  $y$  を測定し、上式に依り  $K$  を決定し、これに依り、本觀測室の場合、 $x, h$  及び  $y$  の間に  $x\left(y - \frac{1}{h}\right) = \frac{2.19}{h-0.45}$  なる實驗式を得た。更に  $y$  一定の場合、 $x$  及  $h$  の値をこの實驗式より求め、建物に依つて歪曲された等電位面の形狀を明らかにした。尙空間電荷の影響を考へるときは  $x\left(y \times \frac{(1-\beta)(1-\gamma)}{(1-\alpha)} - \frac{1}{h}\right) = \frac{A}{h}$  なる一般式が成立すべきことが考へられた。

ペンドルフ電位計と放射物菟電器とを用ひた測定装置に依り、平面更正係數或は電位計の補助電圧を變更して昭和 10 年~昭和 13 年の間に観測された擾亂時の電位傾度の測定結果の一端を報告した。

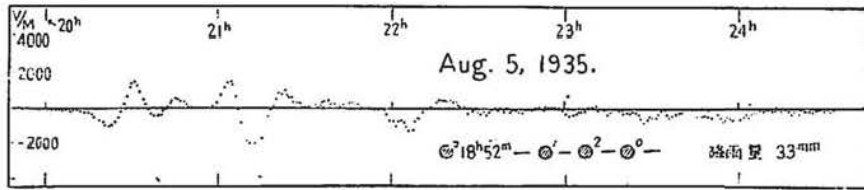
記録された最大電位傾度は雷雨の際、11200 V/m 以上が観測されたが、尙指針の振り切れが多く観測されたのは遺憾であつた。尙、記録記象の一部を参考に掲げた。

終りに終始懇篤なる御指導と絶えざる御鞭撻とを惜まれない今道所長に厚く感謝申し上げる。

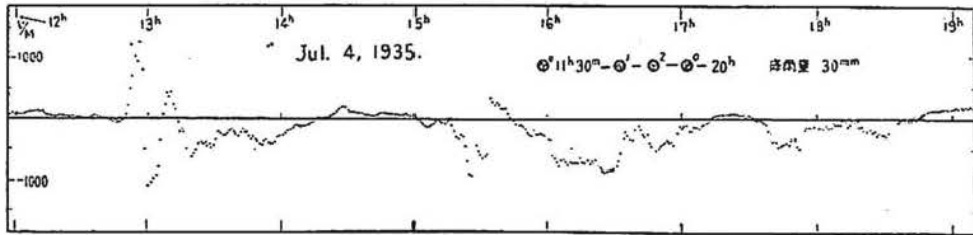
第 8 圖



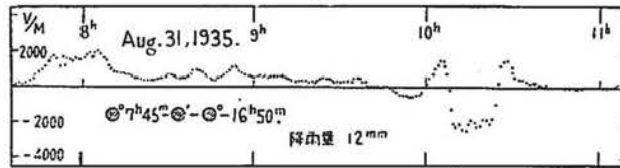
(a)



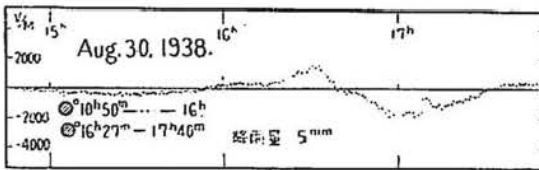
(b)



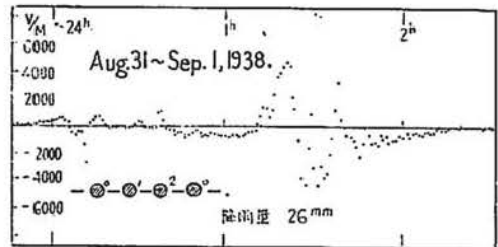
(c)



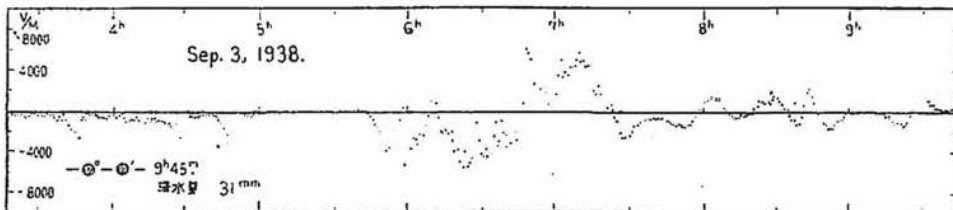
(d)



(e)

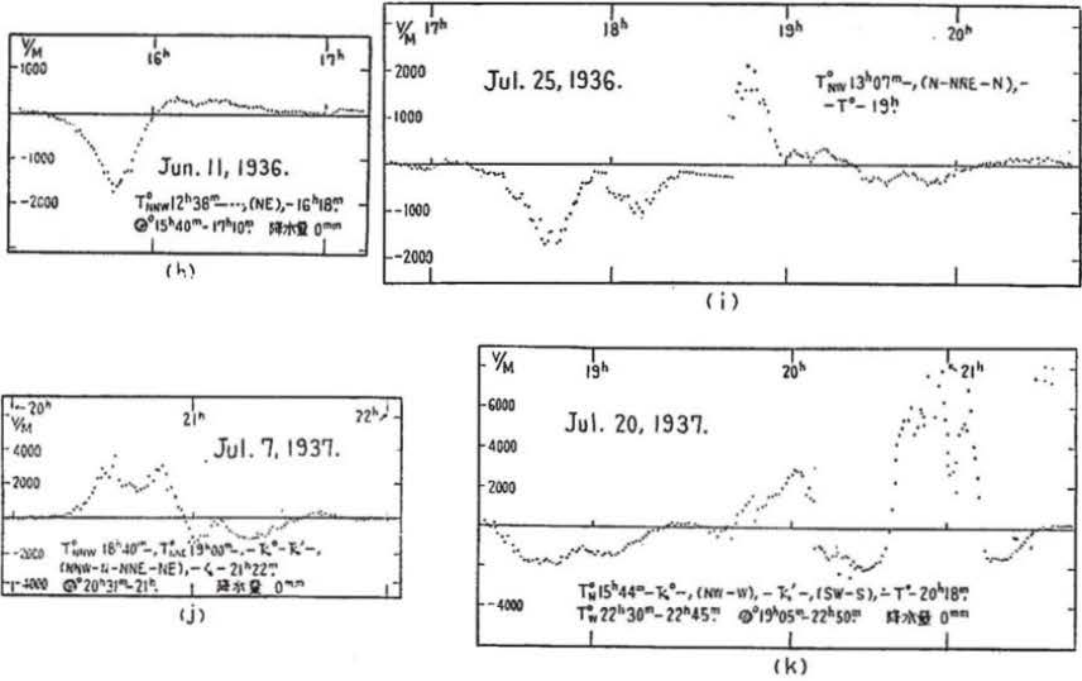


(f)

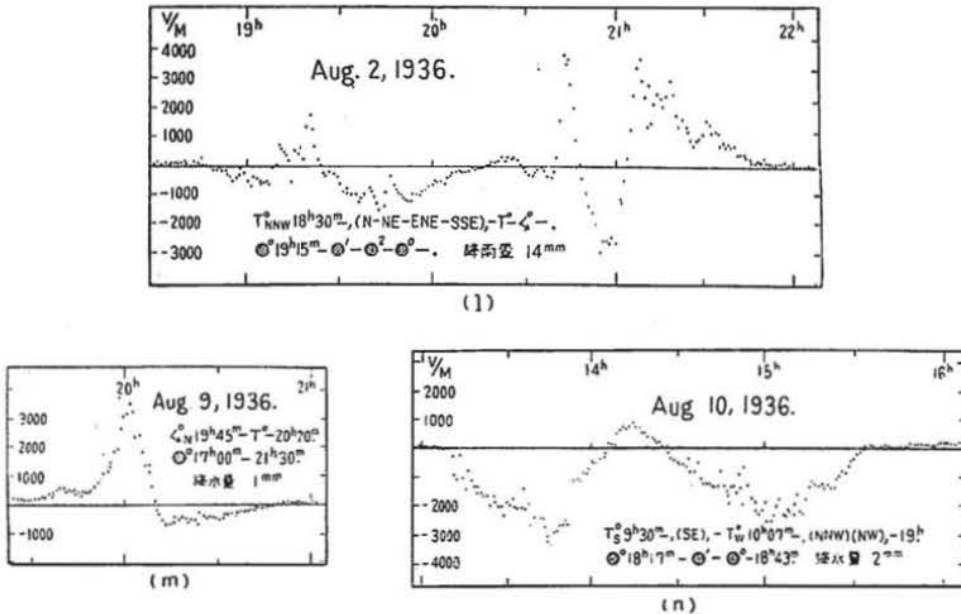


(g)

第 9 圖

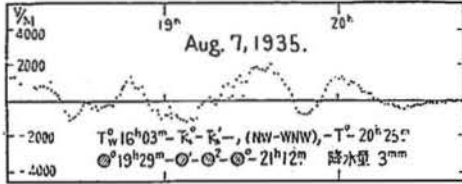


第 10 圖

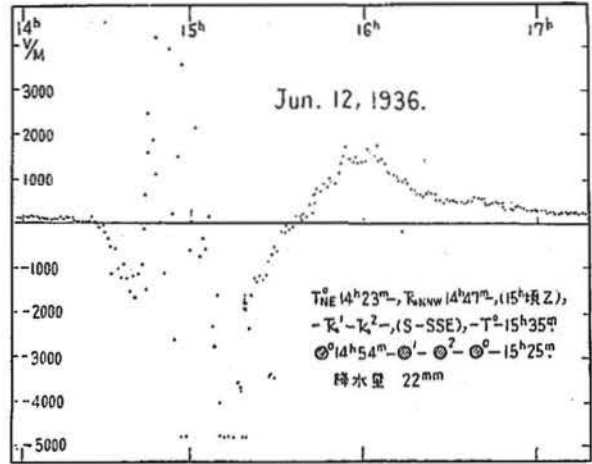




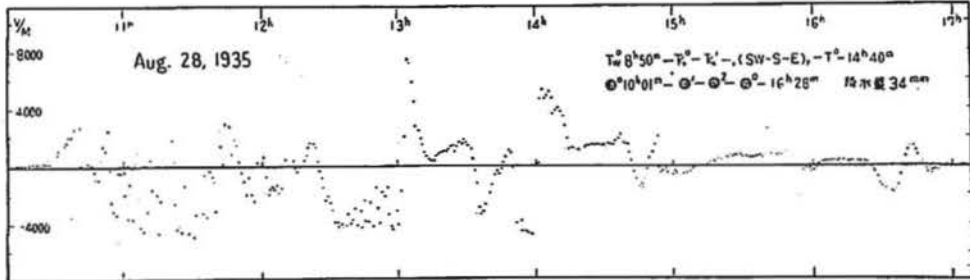
第 11 圖



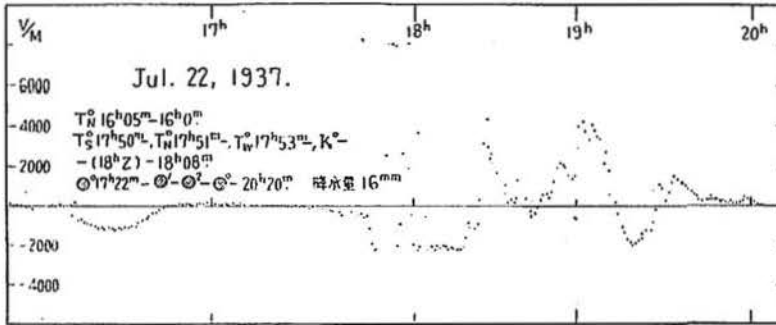
(O)



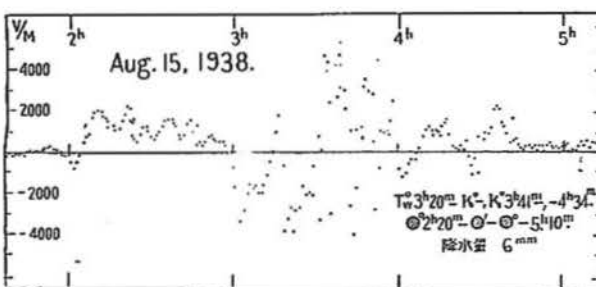
(P)



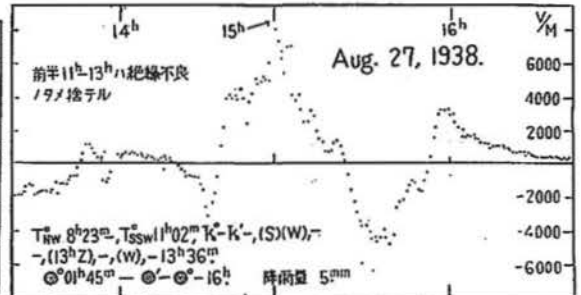
(Q)



(R)



(S)



(T)