

空中電位傾度の時間的微細變化の觀測⁽¹⁾

工 學 士 田 村 雄 一

梗概：從來性能の良い放射性電器を使用した空中電位傾度の觀測には相當著しい微細變化が出てゐるが、我々の検査によると放射性電器は甚しく不完全であつて、かかる微細變化が直ちに空中電場に實在する變化とは認められない。我々が動作の早い電器を使用して觀測した結果によると、靜穩日に於いては地面近くの空中電場には短時間的の微細變化は殆んど認められず、變化は極めて平滑であることが知られた。

1. 緒 言

空中電位傾度の日變化、季節變化或は永年變化等の如き比較的緩慢なる現象は種々研究されてゐるが、短時間的の變化に關してはあまり調査されてゐない。週期分程度以下の變化を觀測するためには性能の良い電器が必要である。能登氏(1929)は空中線を使用して空中電場の週期分程度の振動的變化を調べられた。Wigand 氏等(1927, 1929)は強力なるラヂオトリウム電器を使用して觀測し、靜穩日に於いて最も卓越するものは週期一秒程度の變化であり、それ以下の短週期の變化も定性的に認め得るとして顯著な微細變化の實在することを指摘してゐる。我々は昭和十年(1935)二月、三月及び同十一年(1939)一月、二月に京都に於いて、種々の方法により空中電位傾度の時間的微細變化の觀測を行つた。その結果によると、Wigand 氏等の認めた如き微細變化は恐らく實在するものでなく、却つて測定裝置の不完全から來る疑似的のものらしいことが分つた。

2. 空中電位傾度の微細變化觀測についての一般的注意

空中電位傾度の微細變化の觀測に使用する裝置の具備すべき條件は

- (i) 電位を測る裝置に於いては一定電位の場所に於いて、電位傾度を測る裝置に於いては一定電位傾度の場所に於いて夫々一定の値を示すこと、
- (ii) 電位或は電位傾度に短時間的變化を與へた場合にはそれに應ずる値を示すこと、

(1) この報告の概要は昭和十年及び同十一年度日本數學物理學會の年會に於いて發表した。

であつて、これらの檢證を経へて初めて實際の空中電場に於ける觀測結果について議論し得るのである。我々の使用した各種裝置を試験した結果は次の通りであつた。

- (1) ラヂオトリウム菟電器：(i)の條件を具備しない、(ii)も不充分である。
- (2) 長谷川式菟電器：ある程度迄兩條件を滿足する。然し計器の感度を高めると機械的振動の影響が現はれ、そのため測定範圍を充分擴げることが出来ない。
- (3) 空中導體と電位計用眞空管を用ひる方法：(i)の條件は不充分であるが、短時間的變化を測定する場合には兩條件共充分に滿足する。

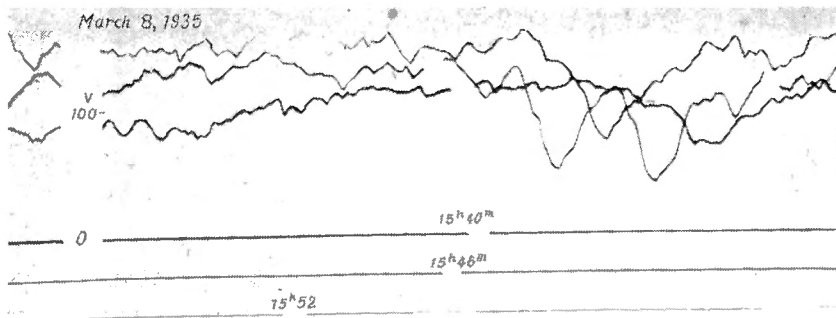
猶ほこの他、觀測場所附近にある人工的工作物或は樹木等の振動によりて空中電場が變化するから、觀測環境について充分吟味しなければならない。

3. ラヂオトリウム菟電器による觀測結果

この菟電器は通風を良くするため、Wigand 氏等の菟電器に倣つた構造にした。我々のものではラヂオトリウムの量は 0.4 庇であり Wigand 氏等の 1 庇のものに比較して性能は劣つてゐるが、これは我々の到達した結論に重大な障礙は及ぼさないと思ふ。電位計は下記の如き二種の象限電位計を用ひた。

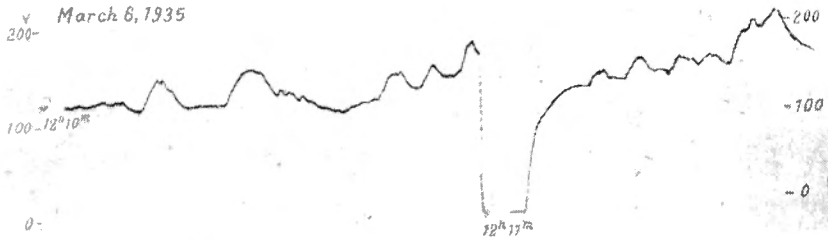
	自己週期	容量	感度
電位計 No. 1	1.2 秒	10 種	0.36 ヴォルト/耗 (補助電位 45 ヴォルト)
〃 〃 〃 No. 2	0.1 〃	8 〃	0.50 〃 (〃 〃)

この裝置により實際の空中電場に於いて觀測し又實驗室内に設けたる定電位の場所に於いて、種々の通風狀態の下でこの菟電器の動作を檢査した。靜穩日に空中電場に於いて觀



第 1 圖 靜穩日、ラヂオトリウム菟電器、電位計 No. 1

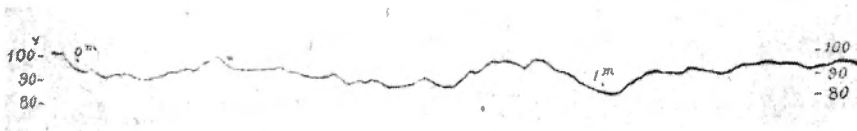
空中電位傾度の時間的微細變化の観測



第 2 圖 静穏日, ラヂオトリウム電器, 電位計 No. 2



第 3 圖 a 定電位(無風), ラヂオトリウム電器, 電位計 No. 2



第 3 圖 b 定電位(風速變化), ラヂオトリウム電器, 電位計 No. 2



第 3 圖 c 定電位(風速一定), ラヂオトリウム電器, 電位計 No. 2

測した例を第 1 圖及び第 2 圖に示す。これらは Wigand 氏等の記録と類似し著しい短時間的變化がある。第 2 圖に於ては 12^h11^m に電器を 5 秒間接地し零電位及び電器の電位恢復状態を記録せしめてある。人工的定電位の場所に於ける記録を第 3 圖 a, b, c に示す。この際は、若しこの電器の性能が完全ならば電位計は一定の振れを示す筈であるが、實際はかゝる期待は當らなかつた。即ち無風状態(第 3 圖 a)では極めて大なる變化を呈し、通風状態でもその状態が變動するとき(第 3 圖 b)は尚ほ相當著しい變化があり、恰も實際の空中電場に露出した場合と似てゐる。一定の通風状態(第 3 圖 c)にあるとき初めて大體定常値を示してゐるが、然しこの場合でも尚ほ微小の起伏を伴つてゐる。この實驗によつてラヂオトリウム電器を使用しては、空中電位を觀測した結果に通風状態に依存する疑似變化が著しく混入するため、短時間的微細變化を確實に記録せしめることの不可能であ

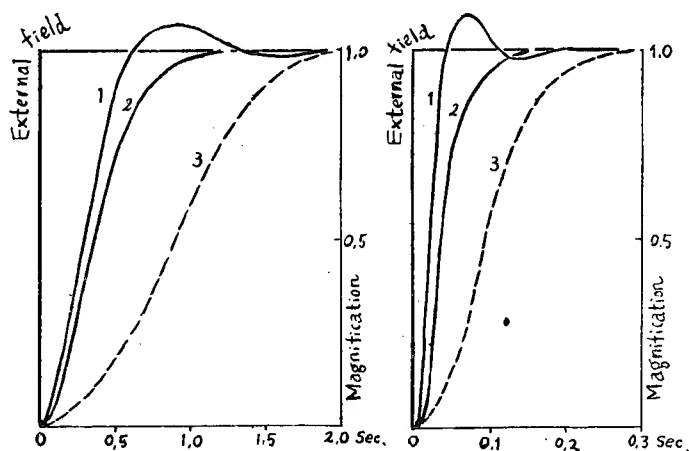
ることが分つた。

4. 長谷川式電器による観測結果

この電器は長谷川教授(地球物理第4巻第3号161頁)の工夫されたもので原理に於いては Russeltvedt (Handbuch d. Exp. physik, XXV, 1 Teil S. 356)のものと同一である。即ち水平軸のまはりに廻轉するアルミニウム電輪は各自エポナイトで絶縁された8個の分片より成り、そのうち空中電場に對して露出位置にあるものは刷子によりて接地され誘導電荷を獲得する。これが廻轉して接地蔽の中に入りて刷子によりて電位計に連絡される。この過程が繰返される。この電器の電氣的定数は次の通りであつた。

容 量	20 瓩	
等價抵抗	6.5×10^8 オーム	電輪の毎秒回轉數が8 なる場合 ⁽¹⁾
最終値の99%になる迄の時間	10^{-1} 秒	

使用した電位計は3の場合と同じものである。これらの電位計をこの電器に連絡した場合に電位傾度が零より急に變化して一定値に止る時それに應ずる電位計の動作、及び電位傾度の各週期の定常振動に對する擴大率を第4圖及び第5圖に示す。 ϵ, n は電位計の振れ



第 4 圖

第 5 圖

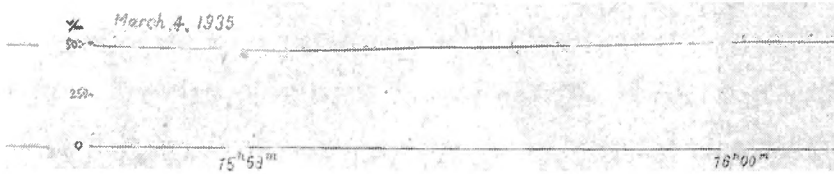
θ に関する次の式

$$\ddot{\theta} + 2\epsilon\dot{\theta} + n^2\theta = \text{外力}$$

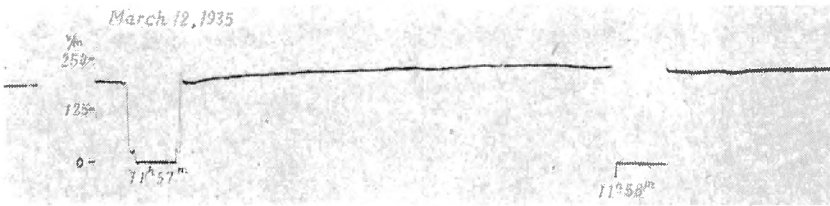
- (1) この電器の動作は厳密に云へば不連続的であるが、茲では簡單のため連續的に動作するものと考えた。

空中電位傾度の時間的微細變化の観測

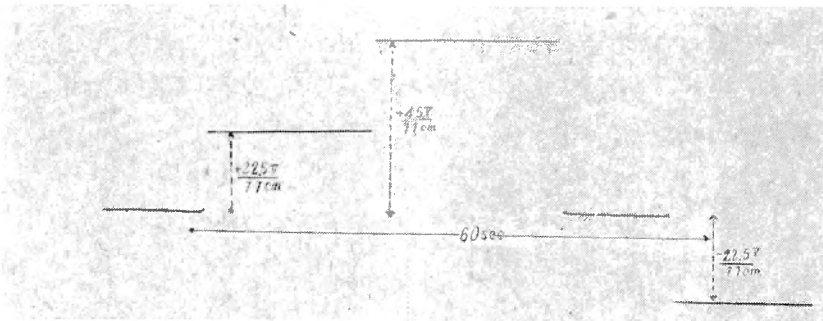
によつて規定されるもので、實際は夫々曲線 1 の状態で観測したことが多い。これらの圖から明かな如く空中電位傾度に週期1秒近傍の著しい變化があれば充分観測し得る筈である。



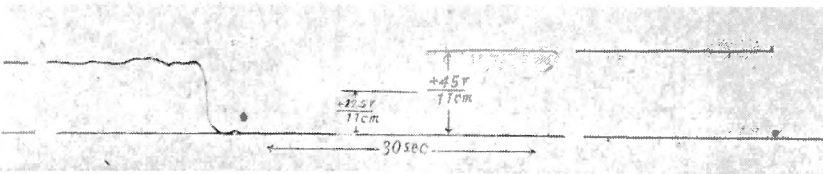
第 6 圖 靜穩日、長谷川式電器、電位計 No. 1



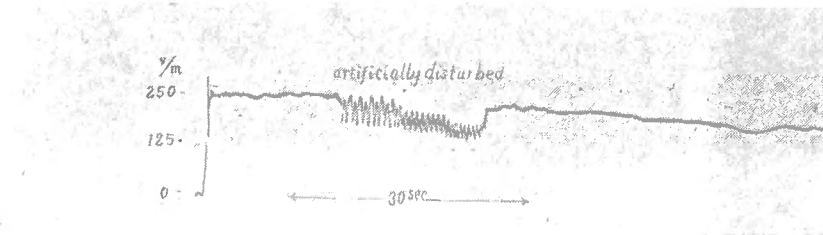
第 7 圖 靜穩日、長谷川式電器、電位計 No. 2



第 8 圖 定電場、長谷川式電器、電位計 No. 2



第 9 圖 定電場、長谷川式電器、電位計 No. 1

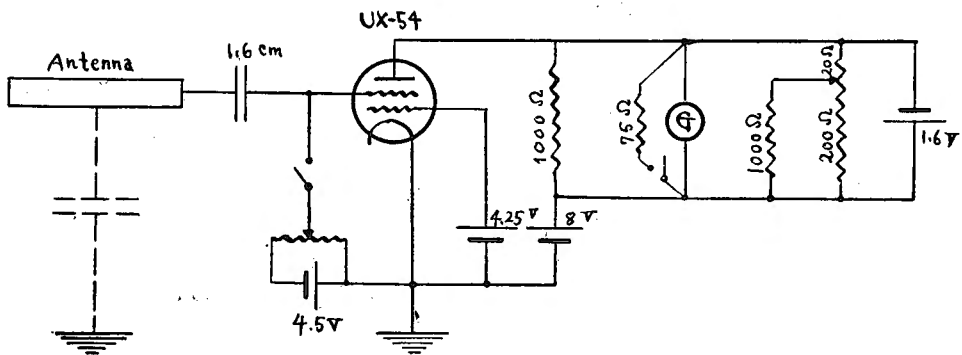


第 10 圖 空中電場の人爲的振動、長谷川式電器、電位計 No. 2

靜穩日に於ける觀測記錄の例を第 6 圖及び第 7 圖に示す。大體 Wigand 氏等(1927)の記錄と似たスケールで記錄せしめたものであるが、變化は極めて平滑であつて著しい短時間的變化は見えない。定量的に云へば週期 1 秒のものでは 1 ヴォルト/米、週期 0.1 秒のものでは 2 ヴォルト/米の振幅以上のものは一般には認められなかつた。これは我々の觀測場所に於ける靜穩日の平均値⁽¹⁾500 ヴォルト/米に比較すれば、週期 1 秒及び 0.1 秒のものについては夫々空中電位傾度の $\frac{1}{500}$ 及び $\frac{1}{250}$ 以上の振幅のものは、一般に認められなかつた事になる。但し觀測期間は昭和十年(1935)の二月及び三月、日數にして 38 日で、延べ時間は 468 分であつた。第 8 圖及び第 9 圖は定電場に於ける試験記錄であつて、電場一定の時は直線を記錄してゐる。第 10 圖は菟電器の附近に於いて接地した金屬棒を動かして、空中電位傾度に人爲的擾亂を與へた場合の記錄である。これらの試験により、この菟電器は 2 に述べた必要條件を満足してゐることが分る。即ちこの觀測によりて空中電位傾度には靜穩日に於いては上に記した限度以上の微細變化は一般に存在しないことが判明し、ラヂオトリウム菟電器によりて觀測された微細變化は、全く器械の不完全による見かけのものたることが明かにされた。

5. 空中導體と電位計用眞空管による觀測結果

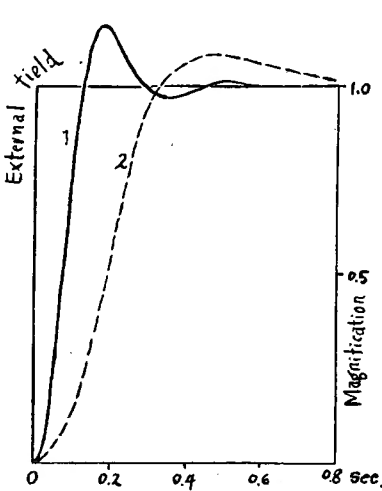
4 の方法では菟電器の機械的振動のため計器の感度を充分高めることが困難であつたので、もつと微細な變化を調べるため次に述べる方法を用ひた。使用した空中導體は機械的振動を防止するため充分丈夫なものを用ひた。即ち直徑 10 纏、長さ 100 纏の金屬圓筒であ



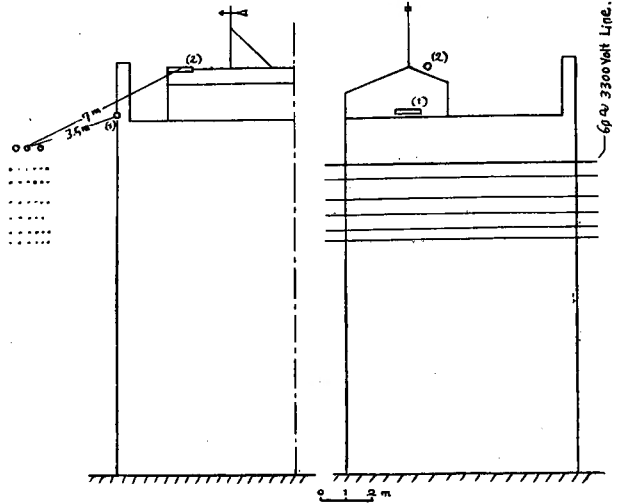
第 11 圖

(1) 平面更正は施してゐない。

つて、その両端をエボナイト支柱で堅く支へたものである。使用した真空管 UX-54 の制御格子の支へは熔融水晶で、規格によると漏洩抵抗は 10^{15} オームであつて、充分我々の目的には役立った。検流計は自己週期 0.33 秒、感度 5×10^{-7} アンペア/耗のものを用ひた。この感度は空中導體の電位が1 ヴォルト變化するとき20耗の振れを生ずる。空中導體、真空管及び検流計の連絡圖を第11圖に示す。空中導體の電位が零より急に變化して一定値に止る時それに應ずる検流計の振れ、並びに各週期の定常振動に對する擴大率を第12圖に示す。 ϵ, n は4に於て記したところのもので、數値は實際の使用狀態のものである。この圖から明かな如く、空中導體の電位變化の週期が夫々1秒、0.1秒のものは、振幅が夫々約 $\frac{1}{200}$ ヴ



第12圖



第13圖 觀測場所の見取圖

ォルト、 $\frac{1}{20}$ ヴォルトまで測定可能である。

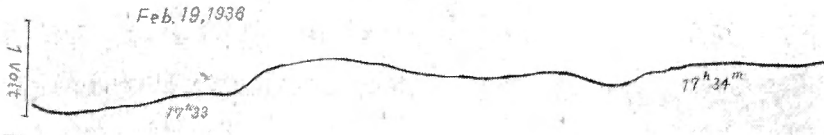
観測場所の見取圖を第13圖に示す。圖に見られる風信器は當時使用しなかつたので矢羽根は堅く固定しておいた。空中導體は圖中(1)(2)と記した二箇所に置き得るやうにした。これらの空中導體の位置の水平面以下に、空中導體よりの最短距離夫々3.5米、7米のところに三相60サイクル、3300ヴォルトの交流電線路があつたが、これは観測上却つて有用な役目をしたことは後述の通りである。建物は周圍より充分突出したものであつて、附近には電線の振動以外には空中の等電位面を擾亂せしめるものはなかつた。

第14圖(空中導體の位置(1))は靜穩日の記録である。原圖に於いて、幅約2耗の持續振動があるのは60サイクル電線路に因る靜電的影響である。これは観測の妨害とはならず却て

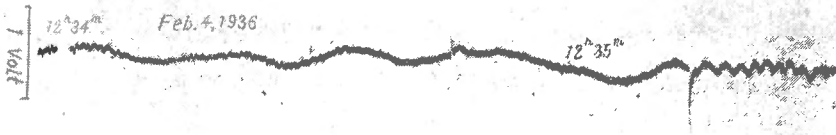
空中電位傾度の時間的微小變化の観測



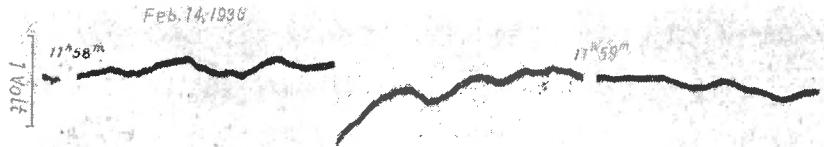
第 14 圖 静穏日, 空中導體(1), 檢流計



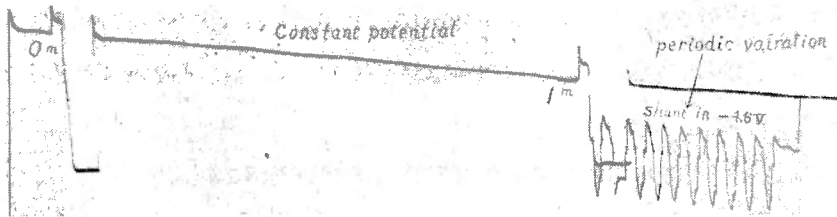
第 15 圖 静穏日, 空中導體(2), 檢流計



第 16 圖 降雪日, 空中導體(1), 檢流計



第 17 圖 驟雨日 空中導體(1) 檢流計



第 18 圖 定電位及び週期的變化, 空中導體, 檢流計



第 19 圖 空中電場の人爲的振動, 空中導體(2), 檢流計

装置の感度を見るに役立つ。即ち電線の交番電位の振幅は一定と見做されるから、これらの電線より一定の距離にある空中導體に對しては、靜電的影響は一定振幅の交番的振動

として印加される。従つて記録された持続振動の幅は装置の感度に比例する。第15圖(空中導體の位置(2))も静穩日の記録であるが、この場合に電線路の静電的影響が殆ど現はれてゐないのは電線路よりの距離が大であるためである。これらの記録に於いて、4の方法による記録に比較して變化が目立つのは感度の増大したためであるが、然し變化は極めて平滑であつて漸く週期10秒程度の變化を認め得るに過ぎない。空中導體電位の平常値を約100 ヴォルトと見積り、週期夫々1秒、0.1秒程度の變化があるとすれば、それは電位傾度の平常値の夫々約 $\frac{1}{20,000}$ 、 $\frac{1}{4,000}$ 以下の振幅のものであると云ふことになる。但し観測期間は昭和十一年(1936)の一月及び二月、日數にして18日で、延べ時間は約1000分であつた。

雨雪の場合にはそれが降つて来る迄は短時間的變化は認められないが、降り初めると急に短週期的微小變化が現はれる。第16圖(空中導體の位置(1))は降雪中の記録であるが、圖に見られる微小變化はおそらく雪片の有する電荷が直接空中導體に附與されるか、或は空中導體の近傍を落下する雪片の電荷による感應の結果と思はれる。この圖の後部に見られるやうな規則的變化は電線の風による機械的振動の影響であつて、これは電線が振動する時に限り現はれ週期も一致することから認められた。第14圖の一部にもこの種の規則的變化の痕跡が認められる。かやうな電線の振動の影響は空中導體の位置(2)の場合には甚だ微弱であつた。第17圖(空中導體の位置(1))は冬期京都に於いて屢々見られる驟雨雲が近所に現はれた場合の記録であつて、大きな不連続的急變化が見られる。これはその變化の模様から推して驟雨雲中の放電によるものではないかと思はれる。但しこの時には観測場所では降水を見なかつた。

第18圖は空中導體を人工的定電位の空間に置いた場合及びこの空間の電位を2秒の週期で變化せしめた場合の記録であつて、前者の場合に一定値を保たないのは格子電荷の漏洩によるものであり、又1分間毎に空間を零電位にしてその値を示した。後者の場合にも格子電荷の漏洩の影響は現はれてゐるが、よく週期的變化を記録してゐる。かやうにしてこの装置では眞空管の制御格子を時々充電する必要があり、空中電位の絶対値は測定困難であるが短時間的變化は充分測定し得ることが確められた。第19圖(空中導體の位置(2))は空中電場に入爲的擾亂を與へた場合の記録である。この擾亂は次の如くして與へた。即ち露

(1) 電位傾度の観測から見積りたるもの。

場に於いて空中導體(露場面よりの高さ3米)より水平距離5米の場所に長さ5米の金屬棒を立て、下端を固定し垂直位置を中心にして上端を空中導體の方向に振幅約20糎を以つて振動せしめた。これから見て、この裝置の感度では附近に樹木があつて風の爲めに振動するやうな場合には、それによつて起る電場の擾亂が記録される筈である。

6. 結 論

我々の觀測によりて、靜穩日の空中電場は意外に平滑な變化を呈する事が明かにせられた。只長谷川式電器によりては不明であつた週期10秒程度の微細變化は、空中導體を使用する方法によりて初めて檢出することが出来たけれども、週期1秒、0.1秒程度の短時間的變化は假りに存在しても極めて微々たるもので、少くとも空中電位傾度の平常値の夫々約 $\frac{1}{20.000}$, $\frac{1}{4.000}$ 以下の振幅であることが確められた。かやうな大さのものに對しては、觀測場所近傍の建設物乃至は樹木等の僅かの機械的振動による電場の擾亂等が觀測結果に混入するおそれが充分ある。將來もつと進んだ觀測をする場合にはこの點に注意すべきである。

最近 Israel 氏(1939)は我々の方法と全く同一の原理で、空中導體として金屬板を用ひて空中電位傾度の微細變化を觀測し、振幅0.3~0.5ヴォルト/米、週期0.3~0.4秒程度のものの存在することを示してゐる。然し以上の我々の觀測から見て、我國に於いて、周圍に機械的の擾亂物のない觀測點を選定すれば、この様な變化は常態ではない事は斷言することが出来るのであつて、同氏の觀測結果を以つて一般に空中電場に存在する微細變化と見ることには賛成出来ない。

7. この問題に對する議論

一般に空中電位傾度の小變化の原因として次のことが考へられる。

- (i) 運動する荷電體の影響
- (ii) 空間電荷の變動
- (iii) 遠距離にある雷雲の影響

この中(i), (ii)は共に觀測場所近傍に於いてのみ重要なものであつて、これらは我々が問題とした短時間的變化よりも、もつと長時間的變化の原因と考へられる。(iii)はその電氣的規模が前二者に比較して極端に大きいため、一個の雷雲は充分遠距離まで影響を及ぼすこと

が期待される。今この影響を簡単に考へて見るに、先づ通常の雷放電による地表上の電場變化は放電より60杆の距離で電位傾度の平常値の $\frac{1}{50}$ 程度であるから、今假りにこの電場變化の大きさと距離の關係が逆三乗の法則に従ふものすれば、5に述べた空中導線の裝置は約400杆迄の範圍に起る雷放電に感ずることになる。觀測期間が丁度雷雨期を外れてゐたので實際は觀測しなかつたが、雷雨季にはこの範圍に發現する雷放電の數は夥しいものであるから、全體としてこの影響は短時間的變化として觀測されることと思ふ。然しこれは廣義に於いて所謂擾亂狀態と考へるべきである。次に、今地球上に一個の雷雲があるとすれば、地球表面上でこの雷雲の拘束電荷の分布せる部分が擾亂域であつて自由電荷は地球表面上に一樣に分布する。従つて雷雲内の放電或は落雷による電場急變化は、擾亂域には現はれるが他の部分には現はれない。即ち Wigand 氏が示唆した如き靜穩狀態の觀測地の空中電位傾度に甚だ遠方の落雷の直接影響が現はれることはあり得ない。只雷雲の電氣の一部が電離層に拘束されてゐると考へるとき、若しこの拘束を破つて落雷する場合にはこれらの直接影響が自由電荷の分布する地域にも現はれる。然し電離層の拘束は著しくないと考へるならばこの影響も微々たるものである。例へば一回の落雷で50クーロンの電氣が地球に流入するとし、その中、かりに5クーロンが電離層に拘束されてゐたものとすれば地球全體の表面電荷を 5×10^5 クーロンとして、雷雲より甚だ遠距離の地方では空中電位傾度の平常値の 10^{-5} 倍の變化を生ずるに過ぎない。この種の極微變化の存在が適確に檢出されるならば地球電荷保持の問題に重要な手掛を與へ得ると思はれる。

兎に角我々の觀測では週期0.1~1秒程度の變化は一般には認められなかつたので、殘された問題の一つとして、もつと長時間的變化の調査がある。この種の變化は極めて複雑で風の構造のみならず尚ほ別の原因にも支配されてゐるのではないかと思はれる。これを知るためには多くの場所で同時觀測をすることが必要である。

終りに臨み、絶えず御指導を賜つた長谷川教授に深く感謝の意を表する。

文 献

- Israel, H. Gerl. Beitr. 55, p. 314 1939.
- Noto, H. Jap. Jour. Ast-Geophys. 7, p. 1 1929.
- Wigand, A. and H. Kircher, Gerl. Beitr. 17, p. 379 1927.
- Wigand, A. ZS. f. Geophys. 5, p. 319 1929.