

# 雷放電カウンタによる測定

藤 高 周 平 ・ 河 村 達 雄

送電線における耐雷設計の基本資料を得るためには襲雷に関する基礎資料を求める必要があり、このために従来は気象統計による襲雷日数をもっぱら利用されている。最近この目的のために雷放電カウンタが提案され、国際送電網会議 (CIGRE) でもその各国における観測の実施が提案されている。わが国の測定に先立って筆者らはその基礎的検討を行なったが、本文は測定装置の構成、測定結果などにつき述べ、かつその問題点を明らかにした。

## 1. 緒 言

送電線や発電所における雷害防止のためには雷撃時における線路や機器に損傷がないよう絶縁設計を施すことがきわめて必要である。この目的で各地域の襲雷頻度に関するデータをもとめておき、頻度の大きい地方では雷害危険度が大きいとして特に絶縁設計に留意することが必要である。従来は気象ならびに各電力会社の協力により襲雷に関するデータをもとめており、これを襲雷日数として整理し、電力系統の建設に当たって参考している。

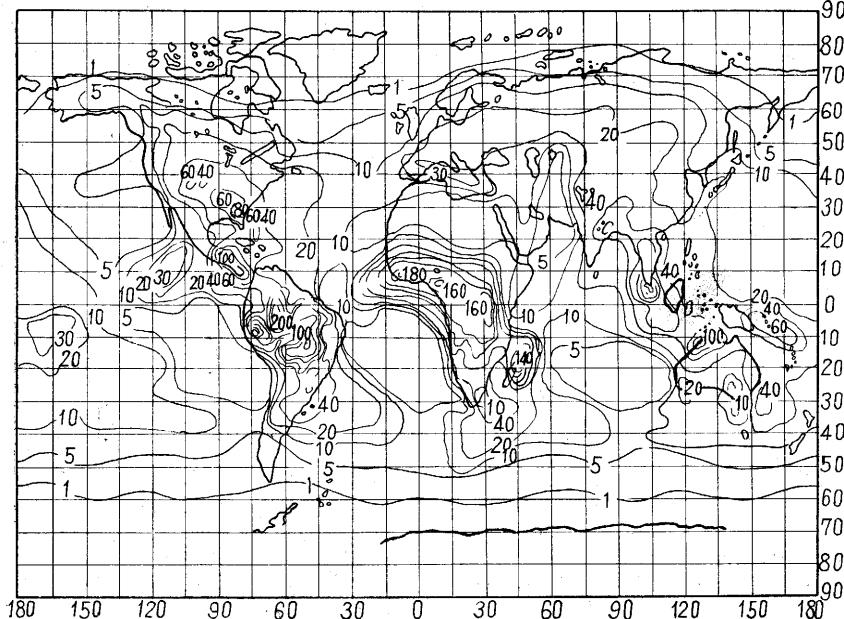
最近これに代わる手段として雷放電カウンタ (Lightning Flash Counter) が考案され、この方法によれば従来の気象観測による襲雷頻度分布に比べてきわめて詳細な知識を得ることができると明らかにされており、国際送電網会議 (CIGRE) においてもこの問題が重要議題として取り上げられるようになり、世界各国において共通の回路で測定を行ない、その結果を持ち寄って検討

するよう提案されている。

わが国においてもこのため大学、電気試験所、電力中央研究所、各電力会社等の協力により広く観測を実施することが計画されているが、これに先立って筆者らはその基礎となる資料を得る目的で昨年6月から連続測定を実施しているので、ここでは今までに得られた結果について述べ、その問題点を明らかにするつもりである。

## 2. 地域別雷害危険度

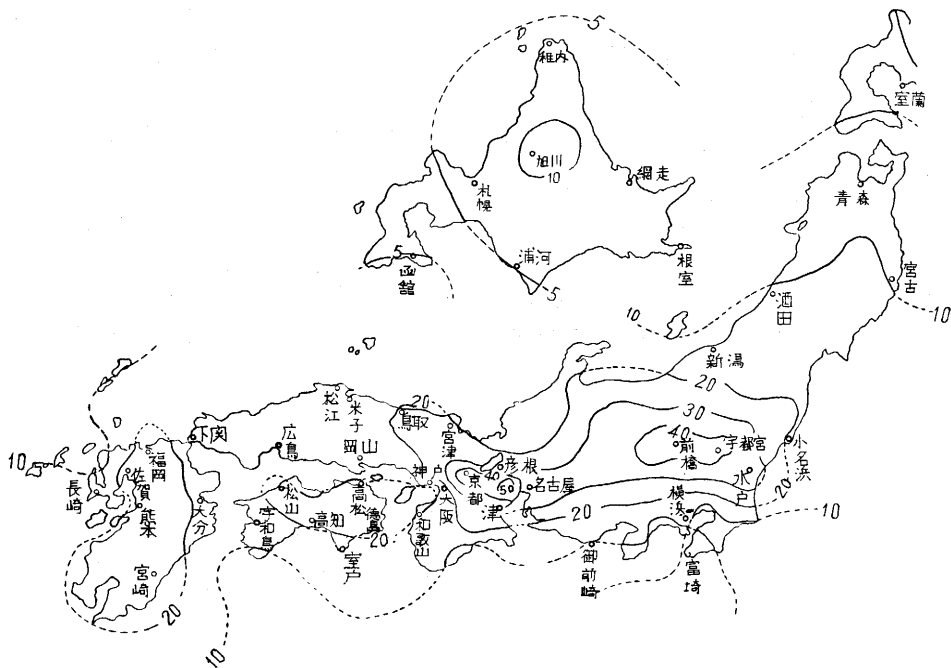
送電線、発電所等の建設に当たってはその地域の雷雨の頻度や雷害危険度を知ることがきわめて大切な事項である。わが国においては気象庁の雷雨観測結果や現存の送電線の雷害事故をもととして甲、乙、丙の3地区に分けている。ここで甲地は雷害危険度の大きな地域、乙地は雷害がかなりの回数発生する地域、丙地域とは雷害の発生する危険が低い地域に相当する。たとえば甲地域とは栃木、群馬、埼玉、長野、岐阜、愛知、滋賀、福岡などの諸県であり、丙地域の例としては北海道、青森、



第 1 図 世界 I K L 地 図

秋田、千葉、石川、和歌山、岡山、広島、香川、徳島その他の諸県があげられる。発雷の多少を知る目安としてまた1年間に発生する雷雨日数をとり上げこれを I K L (Isoce Raunic Level) という基準で表現することもある。たとえば上記の甲地では I K L は 30 日以上、丙地では I K L 10 日以下であるとされており、乙地はその中間の地域である。

I K L の例として世界気象連合 (WMO) の 1950 年調査による世界の I K L の地図を示したものが第 1 図である。赤道付近の南米やアフリカなどの地域では I K L が 200 日におよぶ地域のあることがわ



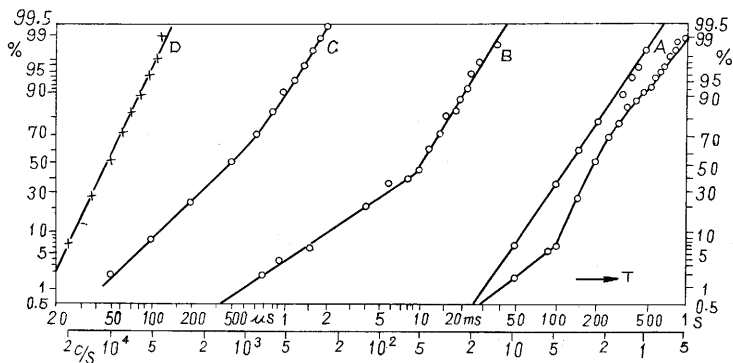
第 2 図 日本 IKL 地図

かる。日本ではおよそ 10 ないし 50 日の間に入っているが、その IKL の地図を示せば第 2 図のようになる。

IKL はこのように電力系統の建設に当たってきわめて重要な役割を果たすものであるが年間の変動、地域的の相違などでかなりの変動があり、さらに精密な IKL の地図ができることがきわめて望まれるが、このためには観測網を細かくし、長期にわたるデータを集積する必要がある。また現在大地雷撃数は IKL を基準として算出しているが、このような事項に対してさらに詳細なデータが得られれば絶縁設計が合理的に行なえるわけきわめて望ましい。ここで述べる雷放電カウンタはこのような目的に沿って実施されるものである。

3. 大地放電に伴う電界強度変化

雷放電カウンタにつき説明する前に大地放電に伴う電



第 3 図 電界変化の累積周波数分布

界の性質について述べよう。第 3 図は雷放電に伴う電界強度変化の周波数特性を示すもので明らかに 4 種類の曲線が認められる。A は E. T. Pierce<sup>9)</sup> が測定した雲間および大地の複雑な放電より得られたものであって、負の電位傾度では平均値が 200 msec, 正の電位傾度では 130 msec となっている。この電位を抵抗で接地したアンテナで受信し、これを時定数を持った回路で取り出せば時間に対してゆるやかな成分は取り除くことができ、これを雷放電の計数回路に加えている。C は Norinder によって測定された棒形アンテナによる周波数成分、D は空電のエネルギー分布を示す。

このようにして測定パルスを取り出す場合、雷放電カウンタは一方の極性のもののみ測定を行なうので、その割合がどの程度の数値となるか考える必要がある。

いま空中に正および負の等しい電荷が存在するものと

すれば、電界強度に対して次式が成立する (第 4 図)。

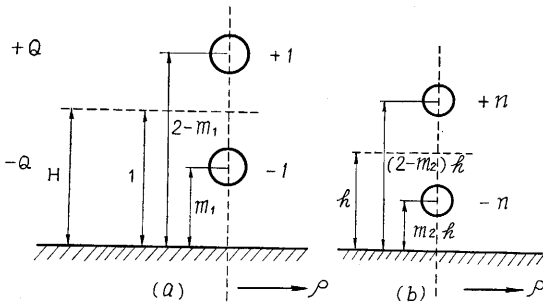
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2Q}{H^2} \left[ \frac{m_1}{(m_1^2 + \rho^2)^{3/2}} - \frac{2 - m_1}{[(2 - m_1)^2 + \rho^2]^{3/2}} \right] \quad (1)$$

ここで E; 電界強度, Q; 雲の電荷, H; 平均高度, m<sub>1</sub>H; 下方の電荷の高度, (2 - m<sub>1</sub>)H; 上方の電荷の高度を示す。

放電により雷撃が発生すると、正負の電荷がともに減少する。この場合の電界強度の変化分は、

$$\Delta E = \frac{2Q}{4\pi\epsilon_0 H^2} \left[ h n \left[ \frac{m_2}{\{(hm_2)^2 + \rho^2\}^{3/2}} - \frac{2-m_2}{\{(2-m_2)^2 h^2 + \rho^2\}^{3/2}} \right] - \left[ \frac{m_1}{(m_1^2 + \rho^2)^{3/2}} - \frac{2-m_1}{\{(2-m_1)^2 + \rho^2\}^{3/2}} \right] \right] \quad (2)$$

ここで放電後の電荷を  $nQ$  とし、その位置は同図 (b) に示す通りである。



第 4 図 電荷の配置

電界の変化は正、負のいずれもとり得るわけであるが  $\Delta E$  の正負は比較的近傍の地点では次式で与えられる。

$$\frac{n}{h^2} \left\{ \frac{1}{m_2^2} - \frac{1}{(2-m_2)^2} \right\} - \left\{ \frac{1}{m_1^2} - \frac{1}{(2-m_1)^2} \right\} \leq 0 \quad (3)$$

遠方の場合には

$$nh(m_2-1) - (m_1-1) \leq 0 \quad (4)$$

電界強度の極性についての実測値はわが国においてはまだまだまとまったデータが得られていない様子であるが、E.T. Pierce は英国におけるデータをもととし、電界変化の 61% は正の電位傾度を持っていると述べている。

ここで述べる雷放電カウンタは雷撃による正の電位傾度のもののみを 500~1000 c/s の帯域を持つフィルタを通して取り出し、計数するものである。同種の工夫では世界気象連合で提案されている回路がある。その周波数レスポンスは 1~20 kc/s の間で平坦で、これより高低の帯域では数 db/オクターブの割合で減少するものであり、これは上述の C, D を測定することに相当する。

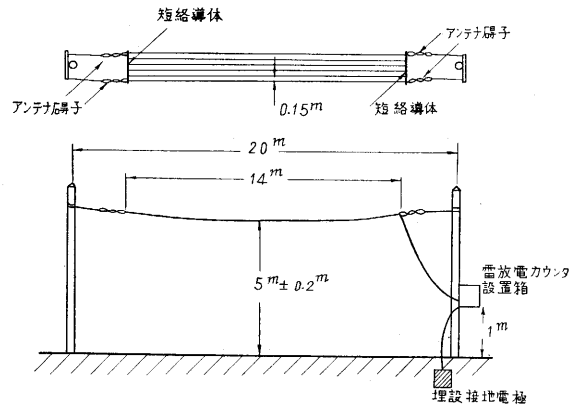
#### 4. 測定装置

雷放電カウンタは英国 Pierce-Golde により提案されたものであるが、スエーデンの D. M. Hillebrand<sup>1)</sup>はこれとはほぼ同様の回路をスエーデン 115 個所に設置し、1958年の雷雨期にわたって実測を行なっている。その後この測定はノルウェー、フィンランド等においても実施され、その測定結果が 1960 年の国際送電網会議に報告され<sup>2)</sup> 討論が行なわれている。その結果この研究は 1962 年以後において同会議の雷およびサーズを討議する第 8 研究委員会における検討資料とするため各国において同様の実験を行なうよう提案されている。

わが国においては大学、電気試験所、電力中央研究所、各電力会社によって組織されている雷害事故調査委員会においてこの問題を取り上げ、広く測定を行なうことが計画されている。筆者らはこのような測定が広く実施される場合に問題となる諸点について考察を行なうため、昨年 6 月より測定装置を試作して連続的に実測を行なっている。以下その装置についてまず述べることにする。

測定に用いた回路は取りあえず CIGRE において提案されているものと同様の構成とし、測定の結果順次改良を加え、その結果が十分信頼できるものとなるよう配慮することとした。そのためにはできるだけ詳細なデータをもとめることが必要となるわけで、提案による一定時間内の放電計数回路に加えて放電の起こった時刻もあわせて記録できる装置を付加して測定を行なった。これはカウンタの記録と気象庁観測による襲雷のデータとを比較検討でき、カウンタの基礎的特性をもとめるのがねらいである。

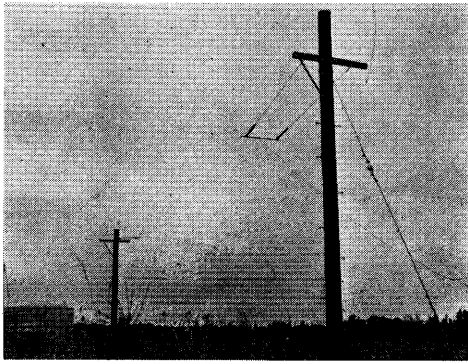
筆者らの試作した測定用アンテナの構成を第 5 図に示



第 5 図 アンテナの構成

してある。すなわち 2 本の木柱により平行に架設した 6 条の静電アンテナであるが、設計に当たっては将来同種の実験がわが国で広く実施される場合、各地点において周囲物体に基づく漂遊容量により各測定点間に感度の差異が起こることを防止し、データの信頼度を増すため次の諸点に留意した。

- (1) 支持木柱は 20 m 間隔とし、1.6 mmφ の導線 14 m を平行に 6 条架設してあり、線間距離は 15 cm、両端は導体により短絡した。
- (2) アンテナの地上高は 5 m で、地形の不均一によりアンテナの実効高度が多少変動するがその偏差を ±0.2 m 以内に抑えた。
- (3) アンテナは碍子支持とし、測定器への導線は絶縁し、全体の抵抗値を 3MΩ 以上とした。
- (4) アンテナは高い建物、構造物、樹木などから離れて建設することが必要であるが、その離隔距離を構造物

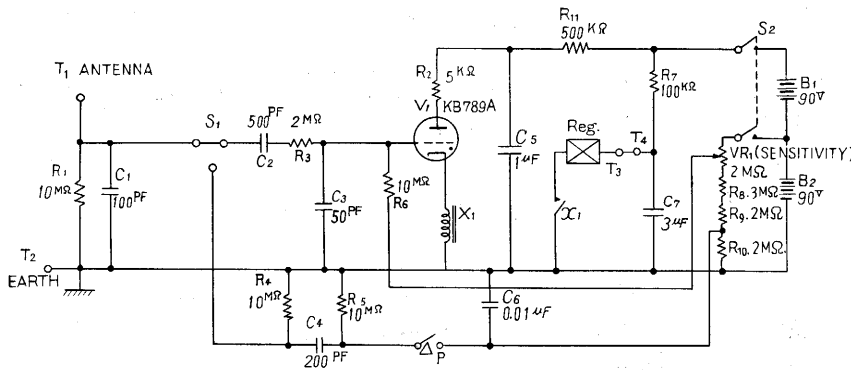


第6図 アンテナの概観

の高さの2倍以上とした。

東大生産技術研究所構内に設置したアンテナの概観を第6図に示す。

大地放電に伴う電界変化により静電アンテナに誘起さ



第7図 計数回路構成

れた正パルスは抵抗およびコンデンサから成るフィルタに加えられる。このフィルタは 500 ないし 1000 c/s の信号を最もよく通過するように設計されている。回路はこのようにして得られた正パルスの中ある振幅を越えるもののみ計数するようになっており、これで大地放電数を知ることができる。

パルスを計数する回路としてはフリップ・フロップによる2進計数回路などが最も代表的なものであるが、ここで問題となっている計数装置は将来きわめて広く分散測定することが考えられ、特に電源の運搬が不可能な山地においても実測が行なわれることを考慮に入れ電源はすべて乾電池によるものとし、ヒーター電力の不要な冷陰極放電管による回路構成とした。その回路を第7図に示す。まずアンテナから得られたパルスは  $C_1, R_1$  から成るフィルタを経て冷陰極放電管のグリッドに加えられる。グリッドはこのパルス電圧とともに  $VR_1, R_8, R_9, R_{10}$  で分圧された直流バイアス電圧が加えられており、抵抗値を適当に選んでバイアス電圧のみでは放電管をカット・オフするように設計されている。  $S_2$  は電源供給用のスイッチでこれを上下することにより電池の電圧が

オン、オフされるようになっている。さらに  $S_2$  を閉じることによりコンデンサ  $C_5, C_7$  が充電される。

パルスが加わってグリッド電圧が臨界値以上に達すると  $C_5, C_7$  に充電された電荷は  $V_1$  を通って放電し、その結果度数計の巻線に電流が流れ、記録計が1回動作を記録する。一度放電が起こると放電管の陽極電圧が低下し、これが回復するまでに約 2 sec 必要とする。したがってこの間にパルスが続いて加わる場合には記録器はただ一回だけ動作するに止まるわけである。

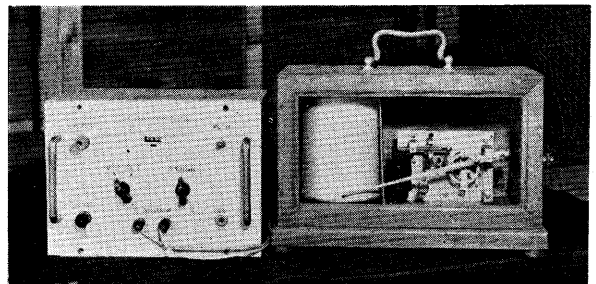
入力パルスの感度限界は直流バイアス回路の可変抵抗器  $VR_1$  を調整することにより変えられる。東大構内においてはコンデンサ  $C_5, C_7$  が完全に充電された後に  $T_1$  に 20V の正パルスが加わると  $V_1$  が動作するように感度の調整を行なっている。20V のパルスに対する較正にはまず  $S_1$  を TEST 側に倒して放電管回路をアンテナ回路から切断し、同時に

試験回路を接続する。次いで押ボタン  $P$  を押すと 20V に充電されたコンデンサ  $C_5$  が  $R_8$  を通して放電し、これが  $V_1$  のグリッドに 20V の正パルスとして印加されるようになっている。したがってこの操作を繰り返すことにより正規状態を確認することができる。電池が消耗するとバイアス電圧が変化するため  $VR_1$  の感度

を上げて調整することが必要である。

大地放電数とともに時刻目盛を記入するために気象用の自記電接計数器を使用している。これを併用するためには  $T_3, T_4$  を開放し、ここに上記記録装置の巻線を接続する必要がある。これを併用しない場合には  $T_3, T_4$  端子を短絡しておけばよい。

筆者らが測定を行なっている測定装置の概観を第8図に示してある。



第8図 測定装置

### 5. 測定場所および方法

雷放電カウンタによる連続測定は次に示す2カ所にお

いて実施された。

- (1) 東京大学生産技術研究所構内  
(千葉市弥生町 1 番地)
- (2) 電源開発株式会社南川越変電所構内  
(川越市大字南大塚 151 番地)

東大生産技術研究所構内においては昨年 6 月 8 日より、南川越変電所構内においては 7 月 20 日より実測を開始し、以後連続的に測定を実施している。東大構内においては前述のように大地放電数のみならず放電の起こった時刻もあわせて記録できるようになっており、大地放電の時刻別発生回数もあわせて記録できるようにさせてある。なお南川越変電所構内においては諸般の事情から時刻に関する記録を行なうことは困難なため放電数の計数記録のみに止めてある。

計数回路の感度についても多少の問題がある。すなわち東大構内においては最初の計画通り 20V に設定することが可能であるが、南川越変電所構内においては近傍に超高圧 275 kV の送電線が設置されているため構内に設置した静電アンテナに 50 c/s の誘導電圧が誘起し、20V の感度ではカウンタ自体が常に動作して雷放電を正確にとらえることが困難である。このため較正用試験パルスを 23V まで上げ、したがってこのパルスで回路が動作するように感度を下げた使用することとした。したがって両者の間には多少感度のくいちがいが見られ、後述の南川越変電所のデータに比較的小数のカウント数の日が少ないのはこれに起因するものと見なされる。

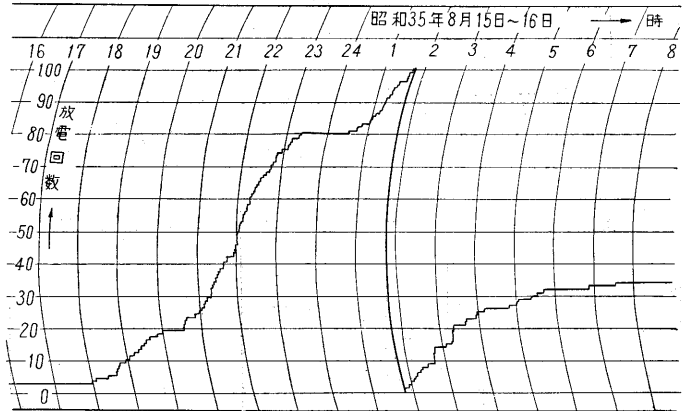
### 6. 測定結果

東大生産技術研究所構内における測定結果の 1 例を第 9 図および第 10 図に示してある。第 10 図は昨年 9 月 1 日に関東地方を襲った大雷雨によるものであって、都内において最盛時には約 2 秒に 1 回の割合で落雷があったように気象庁予報課で観測されている。雷放電カウンタはこれに比してかなり弱い雷撃も記録するはずであるから、その測定頻度はこれよりはるかに多いはずである。しかしカウンタ自体は約 2 sec の時定数を持っており、この間に発生するパルスでは回路を動作させることはできない。したがってこれに基づく計数落しはかなりの数に上る見込である。

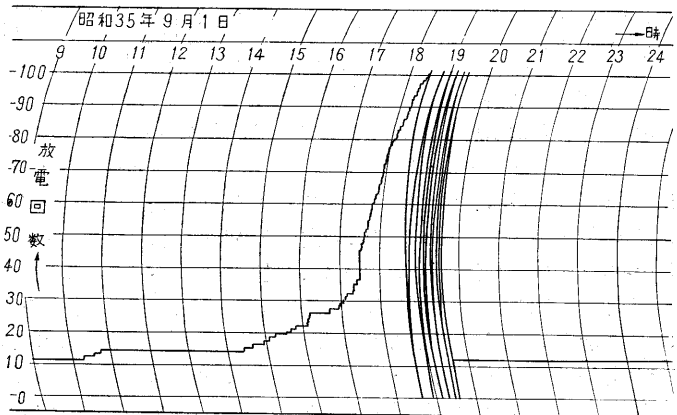
このようにして得られたデータをもととして、昨年 8 月から 12 月までの 5 カ月間にお

ける 1 日の計数値をもとめると第 11 図～第 13 図のようになることがわかる。この計数値は午前 10 時より翌日の同時刻までの 24 時間における数値を取りまとめたものである。南川越変電所においてもこれと同様のデータが得られているので、同図にはその結果もあわせて記してある。

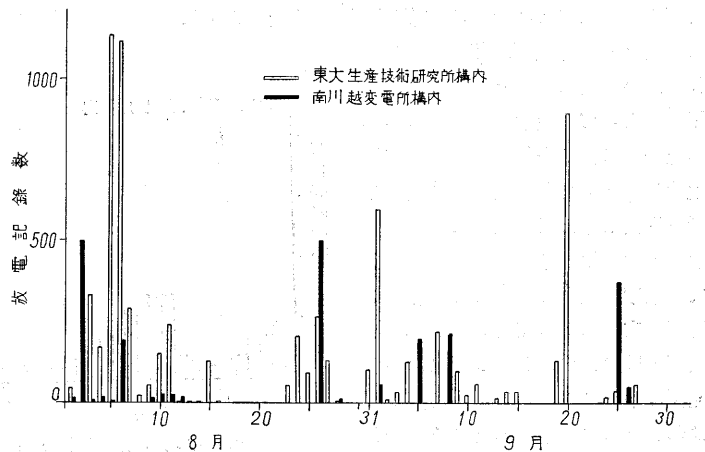
ここで述べている雷放電カウンタは約 40 km 以内に



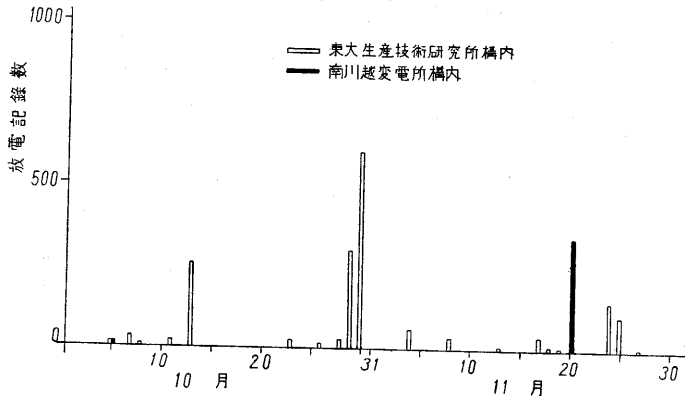
第 9 図 測定記録例



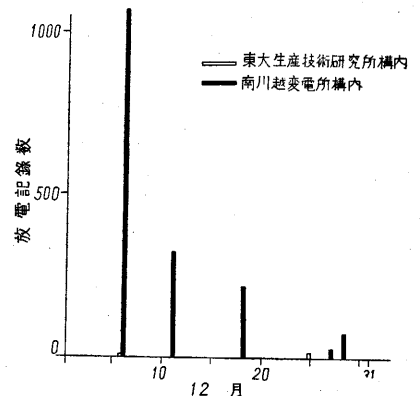
第 10 図 測定記録例



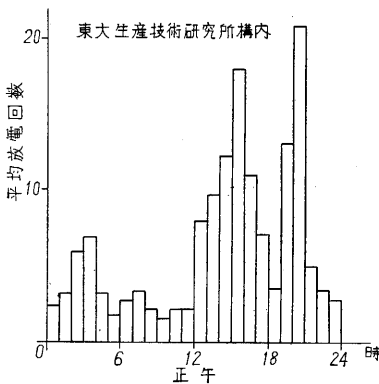
第 11 図 放電記録数 (昭和 35 年 8 月～9 月)



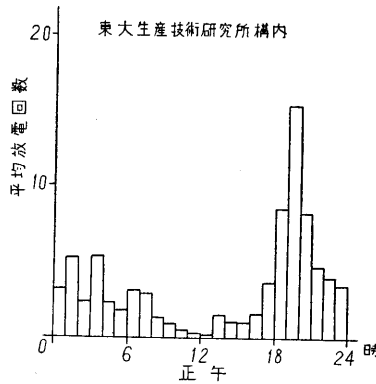
第12図 放電記録数 (昭和35年10月~11月)



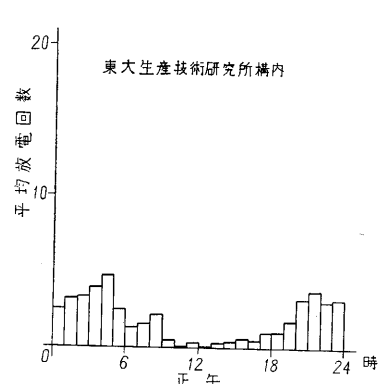
第13図 放電記録数 (昭和35年12月)



第14図 平均放電数時間分布 (昭和35年8月)



第15図 平均放電数時間分布 (昭和35年9月)



第16図 平均放電数時間分布 (昭和35年10月)

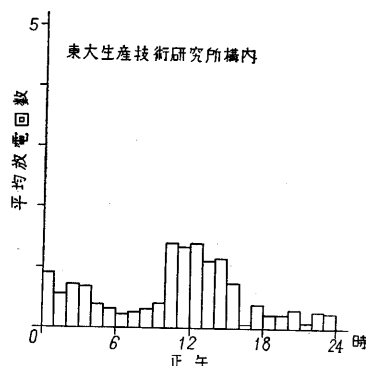
起こった大地放電回数を計数、記録するものであり、東大生産技術研究所と南川越変電所との間の直線距離は約65 km あり、この両者の間には一般には対応が取れないのが普通であるが、一部かなりの対応の取れている日もあるのは非常に興味ある事項であろう。

なお東大生研のデータをもととすれば1日をいくつかの時間に分け、おのおのの計数値を読み取ることが可能であるが、その1例として1日の各1時間ごとの計数値を読み取ってまとめたものが第14図~第18図である。

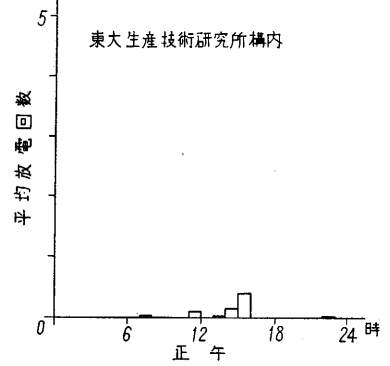
通常雷は日中地表面が著しく熱せられるために起こるきわめて強い上昇気流によって発生するが、その他に不連続線に伴う上昇気流によって発生する場合もあり、前者を熱雷、後者を界雷と呼んで区別している。普通熱雷は夏期の午後によく、たとえば気象庁予報課の調査による発雷の時間分布図によっても明らかである(第19図)。すなわち同図において発雷は午後3時頃に最も多く、これはわれわれの経験するところと一致する。雷放電カウンタによる計数値

の時間分布もやはりこの時刻に最大値のあることが認められる。放電計数値は午後3時頃の極大とともに7時頃にも極値を示している。この結果は参考資料として採用した上述の襲雷分布曲線でも同様の傾向が見られるのは興味深い。

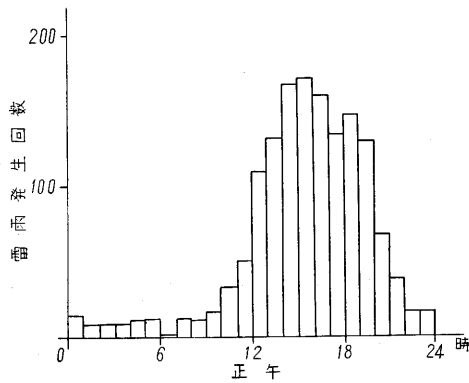
これに対して9月における結果を見ると熱雷と見なされる午後3時近辺の山は著しく少なくなっており、雷雨期の過ぎていることを表わしている。この期間には20時近辺に著しい山が見られているが、これは9月1日の



第17図 平均放電数時間分布 (昭和35年11月)



第18図 平均放電数時間分布 (昭和35年12月)



第 19 図 時刻別雷雨発生回数 (1959年度)  
(気象庁予報課調査)

大雷雨によるものと考えられ、その日の影響がきわめて強く表われているものと考えられる。

この事情は 10 月以降の記録を見るとさらにはっきり認められる。すなわちこの期間はすでに雷雨期を過ぎており大地放電数はきわめて少ないはずである。ここで問題となる点はこのような期間に、なおかつかなりの記録が得られている点であって、測定感度の問題とあいまって解決しなければならない。

7. 検討事項

以上筆者らが雷放電カウンタについて連続測定を行なった結果について述べたが、測定期間を通じて問題となり現在検討を行なっている事項につき簡単に述べることとしよう。これらの問題は将来の実測に備えて早急な解決が望まれる。

第 1 に問題となるのは放電カウンタの感度の問題である。これは測定可能地域とも密接な関係を持っている。今までの測定では一応 20V を採用しているが、その値では実際に雷雨期以外の期間でもかなりの計数値が得られ、大地放電以外の外部の妨害によって動作することも考えられる。この問題に関して雷放電による電界強度の分布、感度を変えた場合の計数値変化などについて検討する必要がある。

これと関連する問題であるが、実際に測定を行ない、これと同時に落雷を観測していると明らかに雲間放電と認められる時に計数回路が動作する場合がある。このように大地放電と雲間放電とを分離して記録させることはかなりの困難が伴うが、そのためにたとえば上述の測定感度を下げて測定可能の範囲をせまくすることも考えられる。このようにすれば大地放電、雲間放電の電界変化に差異が現われるものと思われ、これを利用して分離することも考えている。

強い襲雷の場合には大地放電の発生する時間々隔がきわめて短く、このような多重雷の場合には特に問題となることであるが、本回路は約 2 sec の時定数を持っているため、計数落としがかなり現われる危険がある。その一つの例が昨年 9 月 1 日の襲雷の場合であるが、この場合には観測された落雷が約 2 sec に 1 回ほど発生しており、放電カウンタがさらに高感度なことを考慮に入れば計数落としはかなりの数に上るものと見られる。これを改善するためには電接計数器、放電管等の選択ともにもらみ合わせて検討する必要がある。

8. 結 言

以上雷放電カウンタについて解説を行ない、筆者らが行なった実験結果について述べた。この測定は近い将来かなりの規模で行なわれる予定であるが、このためには前に述べたような問題点を解決する必要がある。このような測定が広く行なわれるようになれば従来に比べてきわめて詳細な襲雷に関するデータを得ることができ、送電線、発電所などの合理的な絶縁設計を行なうことができるため、その成果が期待される。終わりに本測定に協力された電源開発株式会社南川越変電所の方々にも厚く御礼申し上げる次第である。(1961年4月26日受理)

参 考 文 献

- 1) D. M. Hillebrand, "Lightning Counter and Results obtained in Sweden During the Thunderstorm Period 1958".  
Journal of Scientific Technical Research Published by the Royal Swedish Academy of Engineering Science.
- 2) D. M. Hillebrand, O. Johansen, E. Saraoja, "Results of Lightning Counter Measurements in Sweden, Norway and Finland."  
1960年度 CIGRE 論文
- 3) S. A. Prentice, "Thunderstorm in the Brisbane Area", The Journal of the Institution of Engineers, Australia, 32 (1960) pp. 33-45.
- 4) 藤高周平, 河村達雄, 雷放電カウンタによる観測結果 (昭和35年度東大雷実測)  
雷害事故調査委員会資料 (1960年10月)
- 5) 藤高周平, 河村達雄, 雷放電カウンタによる観測結果 (第2報)  
雷害事故調査委員会資料 (1961年2月)
- 6) 河村達雄, 藤高周平, 田代文之助, 雷放電カウンタによる観測結果  
電気学会東京支部大会論文集 250 (1960年11月)
- 7) 藤高周平, 河村達雄, 田代文之助, 雷放電カウンタによる測定結果  
電気四学会連合大会論文集 842 (1961年4月)
- 8) E. T. Pierce, Electrostatic Field-changes due to Lightning Discharges.  
Quart. Jour. Roy. Met. Soc. 81 (1955) pp. 211-288