

近距離空電波形の研究(第1報)

空電波形の解析

石川晴治 高木増美

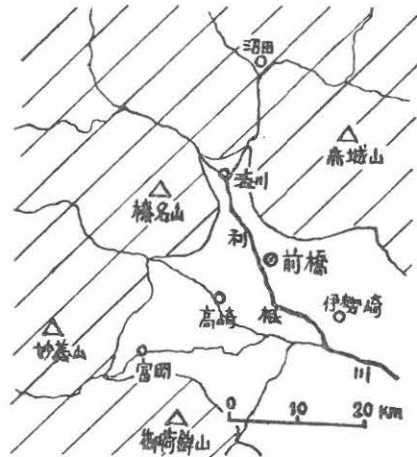
I. まえがき

空電の発生源が大気中の放電現象であることは、現在まで世界各地で行われた多数の研究で明らかとなつて来た。しかし、いかなる放電現象がいかなる過程をとつて、観測にかかる波形の空電を発生するかということについては、未だ決定的な結論は得られていない現状である。観測される空電波形は、一般に空電源における放電の状態と途中の伝播による変化とで決るのであるから、種々の波形をもつ空電がいかなる放電機構によつて生れるかということを明らかにするためには、伝播の影響が無視できる様な近距離の空電をしらべなければならない。このときもし同時に放電状態そのものを光学的に記録することができれば、放電機構と空電波形の対応が明らかとなつて空電発生機構研究上非常に有力な方法となる。

この様な考えから、雷光とこれに伴う空電波形の観測を行つたが、両者の同時観測は停電や測定機の不備もあつて、雷光の写真をとり得る様な至近距離に雷放電がおこつた場合良好な電界の急変化記録を数多く得る事が出来なかつた。しかし落雷に至らない間の雷雲より発する空電や、やや遠くにある落雷などに対しては良好な観測を多数得ることができた。以下これらの空電波形の解析から得た結果について記述する次第である。

II. 観測地点及び観測装置

1952年夏、7月下旬より8月下旬までの約1箇月間に亘つて前橋市電報電話局屋上において雷観測を行つた。第1図のこの地方の略図に示してある様に、前橋市は三方を山に囲まれ僅かに南東方のみが利根川に沿つて開けており、図中斜線で示した部分がこの山の地帯である。前橋地方をおそう雷雨はこの三方即ち赤城、榛名、御荷鉾の三方向から現れることが多い。この地方は従つて発雷に対しては好条件を備え、我国で最も雷雨の多い土地の一つであり、この地方の雷雨については既に多くの研究がなされている。⁽¹⁾ 吾々が前橋を観測地にえらんだ理由も、雷即ち最も活発な空電源に接する機会が最も多いと考えられたからに他ならない。



第1図 前橋地方略図

空電波形観測に使用した装置は、当研究所岩井研究室で試作した携帯型空電波形測定機⁽²⁾である。この装置は任意に調節できるある一定限度以上の振幅を有する空電によつてのみ起動する様になつており、その結果ブラウン管面にあらわれたその空電波形を35ミリ判写真機で撮影する様にしてある。オシログラフ光点の掃引速度は1, 6, 12, 16 msの4種を切換えて使用することができる様に設計されているが、実際には波形の微細を見るために殆んど1 msと6 msだけを使用した。本装置の増幅器は350 kcまで平坦な特性を有し、これ以上は放送周波帯の妨害をさけるために急激に切落してあるが、たとえこれ以上の高周波部分を増幅し得ても、最高1 msの掃引速度ではその微細構造を究めることは不可能である。

観測時は毎日8時から22時までで、この間雷雨の来襲時には連続的に、静穏時には1時間乃至2時間ごとに記録をとつた。

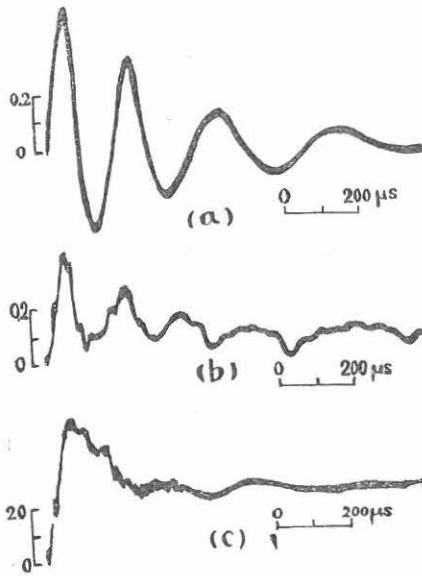
III. 波型の解析

観測期間は夏期でしかも殆んど昼間であるから、観測された波形は概ね吾々の目的とする近距離空電源のものであるということが出来る。記録し得た凡そ2,000

枚余りの波形は、大別すれば次の三つの型に分けることができる。

1. 主放電型

いわゆる主放電型⁽²⁾と称されるなめらかな減幅振動波形で、第2図(a)に示す様にその初期振動週期は $100 \sim 200 \mu\text{s}$ で波の末端に向うほど段々長くなる⁽³⁾ことは吾々の波形でも明瞭に認められるが、この主放電型は、比較的静かな午前中のみ僅かに見られる程度で、その他は基本減幅振動の上に大小の脈動が重なつ



第2図 主放電型空電波形

ていることが多い(第2図(b))。これら減幅振動型の空電の継続時間は何れも1ms内外であつた。

更に近距離に落雷があるときは、静電的な変化が大きく蓄電器の放電曲線に似た波形となり全く振動を示さない(第2図(c))。この静電成分の上には急変化をする小さい脈動(週期は数十 μs 乃至数百 μs)がのつているのが見られる。

この様に近距離では同じ主放電型でも振動が現れないのに反し遠方で観測される主放電型が振動波形を有する理由には大体二つの考え方がある。すなわち単一の衝撃波がその伝播中において受ける多重反射の結果遂には振動波形になるとするもの⁽⁴⁾⁽⁵⁾と、雷放電路における単一の放電中に振動電流があつてそのためにおこるとするもの⁽³⁾⁽⁶⁾とがあるが、吾々の観測結果から考えると、近距離では優勢な静電成分の中に振動成分がかくれているが、距離が増すにつれ静電場部分と脈動の高周波部分が速かに減衰して、減衰の少ない周期数百 μs の振動のみが残る様に思われる。したがつて

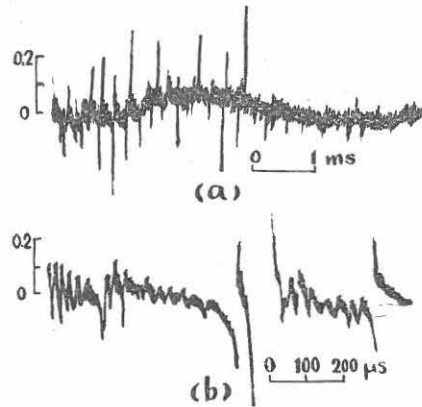
第2図(a)の様な波形はかなり遠方恐らく数百km以遠から来たものと考えられる。

二重三重に同様な波形が1枚の写真上に重なつて記録されたものも多いが、これは明らかに多重放電によると思われるものでその放電間隔は更に長い掃引時間を用いなければ分らないが、少くとも大部分は6ms以上である。(Schonland⁽⁷⁾によれば30ms位が最も多い。)

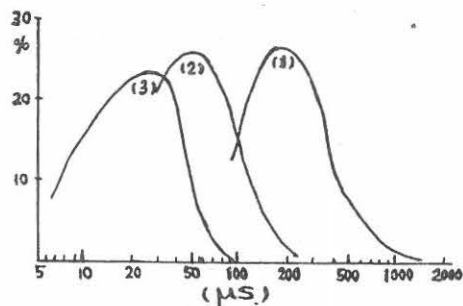
又、夜間20時以後では電離層反射型と見られる様な波形もいくらかあつたが、その原波形は主放電型のものが多い。

2. 先駆放電型

第3図に見られる様に相当に高周波成分を含んだ波形である。6msの掃引(第3図(a))でみた波形からは最も短い週期をもつ振幅の小さい脈動は認める事は



第3図 先駆放電型空電波形

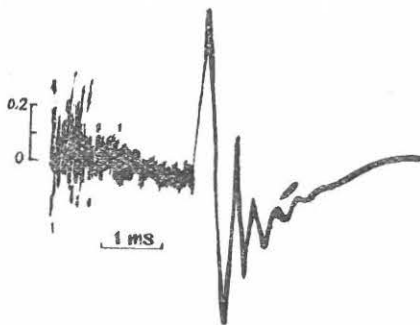


第4図 先駆放電型週期分布

困難であるが、1msの掃引(第3図(b))でみると更に高い周波数をもつた比較的振幅の小さい脈動部分が明らかに認められる。これらの週期分布を第4図に示す。図中の曲線(1)(2)(3)は夫々大中小の脈動状態急変化の繰返しの週期で、曲線(1)は6ms、(2)と(3)は1ms掃引の記録から集計したものである。更に第

3 図 (b) でみると微小振幅ながらもつと高い周波数成分が認められる。事実この様な高周波分の顕著だと思われる波形も得られているが、その様な波形ではオシログラフ上の光点の移動速度が早すぎて写真像がうすく明瞭な解析はできなかつた。この型の波形がブラウン管面にあらわれるときは、同時に中波のラジオ受信機でも大きな雷雑音が聞えたり、又短波受信機においても積乱雲が発達すると相当の雑音妨害を受けるといふのは、この型の空電によるものである。この高周波成分の分布をまとめることができれば第 4 図の 3 個の曲線と同様な山が更に左側に出来るわけで、この様な空電波形では周波数分布という様なことは、波形のどの程度の脈動的変化の繰返し週期をとるかによつて変つてくるので簡単には考えられない。

この型の波形は落雷の際の第 1 主放電に先駆する階段状放電⁽⁷⁾⁽⁸⁾からのものもあると思われる。第 5 図はこの一例を示したもので、Schonland⁽⁸⁾の解釈によれば前方の高周波部分⁽⁸⁾が先駆放電で後続の振幅の大きい緩い変化をする部分が主放電によるものである。一般



第 5 図 中距離の落雷による波形

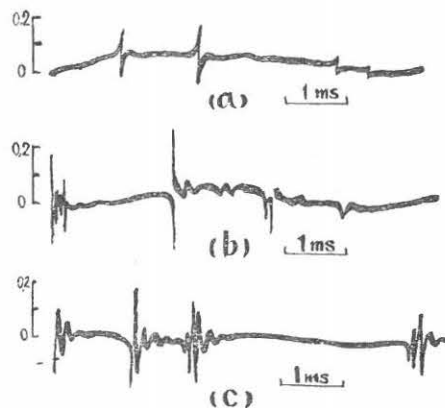
的に云つて遠雷の場合は強力でも減衰の少ない主放電部分のみが残り、近雷の場合には装置の起動が振幅の大きい主放電の所でおこるので、先駆放電は切落される。又先駆放電の大きさで起動する様に調節すると、それと同程度の振幅を持つ他の多くの恐らく雷雲内部でおこると考えられる様な放電が多数一緒にはいつて来て写真が混乱し、落雷の前駆か雲放電かの区別ができなくなる。このため吾々の観測し得たこの型の空電は大部分落雷に比較してずっと数の多い積乱雲内の階段状放電によつて起されたものであると思われる。Schonland⁽⁷⁾によると雷雲間の階段状放電も落雷の先駆と同様な機構でその階段間隔も同じく $30 \sim 90 \mu\text{s}$ であることになつているが、これは丁度分布曲線の (3) に相当し我々の場合の最も典型的な階段間隔の分布曲線 (1) とは一致して居ない。然し Schonland の結

果は雷雲端から雷雲端或は雷雲端から大気中への放電電光の写真を解析して得たものであるので、我々の場合に電氣的に調べた完全な雷雲内部に起る放電と異なるのは当然で、放電路が完全に雷雲内にある場合には階段状放電の間隔が雲外の場合に比べて長くなるものと解釈される。吾々も雷光写真撮影を試みたが、観測条件が悪く殆んどが雲の向うが明るくなるだけの放電しなかつたので明瞭な雲放電の写真は殆んど得られなかつた。従つて細かい対応をとることはできないが、波形からみるとこれらの階段はあるいは大きくあるいは小さく幾つかの組になつて繰返されている様である。

なお屋間頭上に大きく発達した積乱雲が出現する際には盛にこの波形が見られる。又夜間この波形が見られる場合にも、雲の中で閃光が現れると同時に屋間発達した積乱雲から放射される同種の波形と大体同程度の振幅をもつたものがあらわれ、明瞭な放電と波形の対応がとれるので、かなり大きく発達した積乱雲の内部では、それが発雷していると認められない程度のもので夜間ならば当然閃光が見える位の大きさの放電が行われていることが判明した。

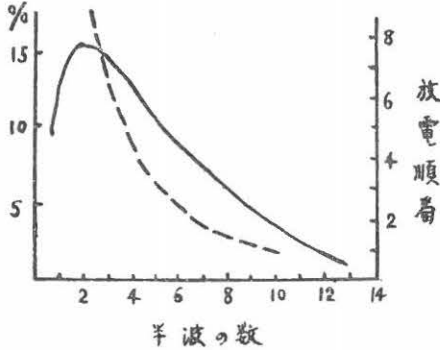
3. 部分放電型

この型の空電は雲の内部の一局が放電したときに発生すると思われるもので波形の上からは二つの型がある様である。第 6 図の (a), (c) がこの両型である。(c) では 1 個の波形は主放電型に似ているが、継続時間は短く大部分は $500 \mu\text{s}$ 以下であり又振動週期も短い。(a) では電界の急上昇又は急下降を微分した様な形があらわれている。この両型を両極端としてこの間に中間型 (b) がはいる、両者をはつきり区別することを難かしくしているので、部分型全体として統計をとつた。その結果を第 7 図から第 10 図までに示す。各図



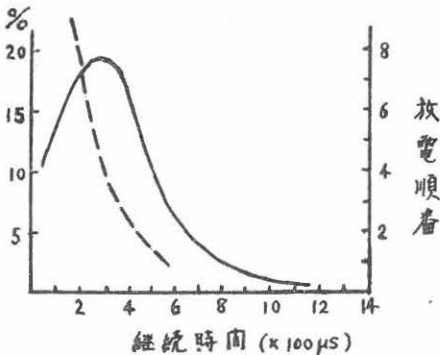
第 6 図 部分放電型空電波形

は実線が一連りの波形の半波の数，継続時間，週期，放電間隔の分布で，破線がこれら諸数値の放電順番に対する変化である。この値は平均値をとつたので最頻値より何れも多少高い値を示していると思われるが大凡の傾向は明らかに認められる。



第7図 部分放電型半波数分布

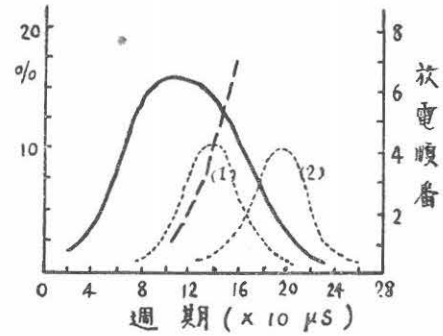
半波の数の分布では2乃至3を最大として以下減少する傾向にあることは第6図の(a)の様な波形が比較的が多いことを示している。又半波の数は放電順番が増すと共に少くなり，落雷の多重放電で得られた結果⁽⁷⁾とは逆になっている。



第8図 部分放電型継続時間分布

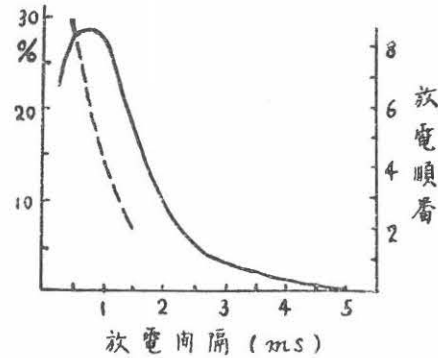
継続時間は大部分が500 μ s以下であり，放電順番が増せば短くなる。これら波形の全体の継続時間は殆んどが6ms以上と思われるが吾々の測定では分らない。

週期は減幅振動型の主放電波形と同様に一連りの波形中では段々長くなる傾向は認められたが，数値的に詳しくはかることは難しかつたので継続時間を波数で割つた値で集計した。これで見ると100 μ s位が最も多く，主放電型の分布よりもやや低い。第9図に参考として金原教授⁽²⁾の得られた主放電型の週期分布を一緒に点線で示した。図中の(1)，(2)の曲線が夫々主放電



第9図 部分放電型週期分布

型の第1波，第2波の週期分布である。放電順番に対する週期の変化は顕著ではないが，やや増加の傾向にあり，一連りの波形の中での増加と同様に，放電の勢力が次々と衰えて放電路の抵抗が増すためと考えられる。



第10図 部分放電型放電間隔分布

放電間隔は前の波形の開始時間から次の波形の開始時間までをとつた。この分布は6ms掃引の波形から求めたものであるから，6msより長い放電間隔をもつものが数多くあつても分布曲線では全く零になるのと同様に，間隔が長くなるほど測定される数は実際より少くなるから，本当はこの分布の山が更に長い方に移るかも知れないが，多重性落雷の間隔の分布と較べると著しく短いことは明瞭で，⁽⁸⁾これは一回の放電による電荷の消費が雲放電においては落雷のそれに較べて甚だ小さいことを示すものである。又逆にこの波形特性から落雷波形と雲の内における部分放電波形とを区別する事が可能である。

放電順番に対する放電間隔の変化は順番と共に段々短い方に移つて行つてはいるが，これは或は個々の放電の強度が次第に弱まつて行く為放電間隔も短くなつて来るものとも考えられるが，⁽⁸⁾或は測定法の影響が相当

強い結果此の様になるのかも知れない。即ち一定時間以内で多数回放電を繰返すことができるためには、一個ずつの間隔は短くなればならないからである。

波形の最初のふれが(+)に行くものと(-)に行くものの比は約1対2で(-)の方が多く、これはLutkin⁽⁶⁾の結果と逆になつてゐる。しかし諸数値の性質は別に符号によつて差は認められない。1個の系列に属する放電は大体同一の符号をもち相似た波形が続くので、雲中でも落雷の際の多重放電の様に大略同一と見做しうる放電路を大略同方向に数回繰返して通る放電が多いことを示す。この様な符号の正負は放電に際しての移動電荷の符号の違いや移動の向き及び方向の違いと、放電路から観測点までの距離の差によつて起るものと考えられる。又僅かであるが、一系

列中で符号の逆転するものがあるが、この場合波形の相似性もないので別の箇所での放電がたまたま断続的に受信されたものと考えられる。

この様な波形の繰返しは、もしもつと長い数十ms位以上の間隔をもつて起るならば——この様なものは第10図の傾向からみると測定法の影響を考へても余り多くはないと思われるが——この種の雷雲中の部分放電が空電の方位測定記録に同一方向をもつた多重像⁽⁹⁾を作る可能性がある。従つてこのとき方位記録の多重像には落雷の際の多重放電のみではなく、雲中の放電に際しての多重像も含まれる可能性が多少はあるわけである。従つて方位測定機の多重像を解析する際にはこの点に関して考慮を払わなければならない。