

## 雷放電の多点同時観測の結果について

竹内利雄・高木増美

### 1. ま え が き

われわれは過去数年間にわたり、雷放電による地上での静電界変化の観測を前橋において行って来たが、1960年には渋川、前橋の二箇所でも同時観測を行い、更に1961年には前橋、高崎、相馬の三箇所でも同時観測を行った。残念なことには、放電点と観測所との間の距離のわかっている記録が少なかったため、ここで議論する資料の数はかなり少ない。しかし放電に関する多少の知識が得られたので報告する。

### 2. 観測装置と観測地点

前橋のみで観測していた時は、回転型静電界測定器を使用していたが、<sup>(1)(2)</sup> 観測所を増設するにさいして、取扱いの簡単なアンテナ形式の電界測定器に変更した。<sup>(3)</sup> 又観測地点である前橋、高崎、渋川、相馬の位置は図1

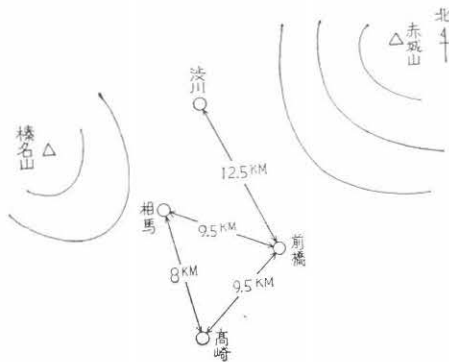


図1 観測点の位置

に示してある。前橋、高崎、相馬は一辺10km弱の正三角形に近い。

### 3. 雲間放電

#### 3. 1 観測結果 二箇所以上で同時に得られた観測

記録の中には、図2に示す様に、殆んど同時刻に放電を

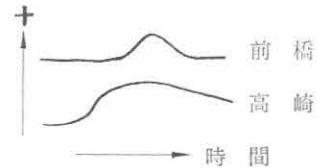


図2

記録しているが、両方の記録をこまかく比べると、放電の開始時刻、終了時間に多少の差があったり、変化の様子が互にあまりに無関係の様に見える、同一の放電を記録したものかどうか疑わしいものがある。こうした記録は、この議論の中には採用しないこととする。まず得られた個々の記録について説明する。図3は、雷鳴



図3

記録によれば、渋川から5kmの地点で生じた放電であることがわかる。この記録を垂直双極子による放電で説明しようとするならば、正電荷の降下現象により説明出来る。次に渋川は正味の変化が0の地点となっている。正味の変化が0の地点から放電点の直下までの距離を reversal distance と呼んでいるが、双極子の二つの電荷の高さをH及びhとすれば、reversal distance Lは  $L = H^{1/2} h^{1/2} (H^{3/2} + h^{3/2})^{1/2}$  で表される。今雲底を1kmとし、電荷は雲底より下にはないものとすれば、上式より上方の正電荷は9.5km以下といった不正確な値となるが、下方の負電荷は1~2kmの高度にあることになる。図4については大体前橋が reversal distance となり、

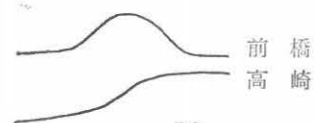


図4

負電荷の高さを1.8km、正電荷の高さを1kmとして下方の正電荷が上昇するとすれば説明出来る。次に図5及び図6は電荷の高度はわからないが負電荷の降下する垂



図 5



図 6

直双極子で説明出来る。以上の例は垂直双極子が一度で放電を完了した場合であるが、図7の場合は1~2km



図 7

の高度にある正電荷が二度続いて上昇したのとして説明出来る。今迄の例はいずれも一個の垂直双極子の放電として説明出来る場合であるが、次に相異った場所にある垂直双極子が続いて放電する例を示す。図8について



図 8

は、最初高崎よりで放電が生じ、続いて前橋附近で生じたもので、前者については前橋で記録が現れていないのでわからないが、後者は正電荷の上昇として説明出来る。図9は垂直双極子で説明するならば、最初高崎寄り



図 9

で正電荷が降下して来て、つづいて、多少はなれた相馬附近で負電荷が降下して来たことになる。図10はゆるや

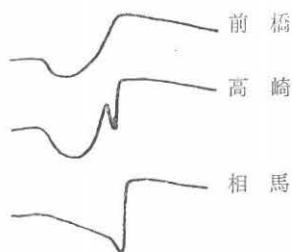


図 10

かな負電荷の降下する放電の最後の部分で負電荷が急上昇する放電が生じている。この場合も二つの放電は多少異った場所で生じている。即ち高崎ではゆるやかな変化は reversal distance の外であるが、急変化は内である。今迄は垂直双極子により説明出来るものばかりを示したが、次に水平双極子の放電と考えられるもの示す。図11は前橋では雷鳴記録より放電点迄の距離が2km



図 11

であることがわかる。今この記録をやはり垂直双極子による放電と考えてみると、正電荷の上昇したものとされるが、高崎も reversal distance 以内に入り、下方の正電荷の高度を2km以下とすると、上方の負電荷の高さは18km以上という高さになってしまう。こうした結果と、前橋での観測員が、西、上空、東と雷鳴が聞えたと報告していることから考えると、この放電は前橋上空2kmの高度で水平か、ななめに生じた放電と考えるのが適当である。この様に比較的 low 空で水平方向に生じた放電の写真を図12に示す。これは乾板の前に中心に関して対称に二個のレンズを取付けた円板をまわす形式のボーイズカメラにより撮影されたものである。この写真は短かい時間の間に生じた落雷と雲間放電とが記録されている。この写真で落雷が地上に到着した点を結ぶ円と、雲間放電の左端を結ぶ円の中心とは、ほとんど同一垂直線上にある。したがって落雷点とカメラの位置とを含む垂直面内に雲間放電の左端があったことになる。落雷の像の上端は雲底を示しているだろう。したがってこの雲間放電が落雷よりも遠方で生じた場合、およそ1kmと推定される落雷点での雲底より高ければストロークとして

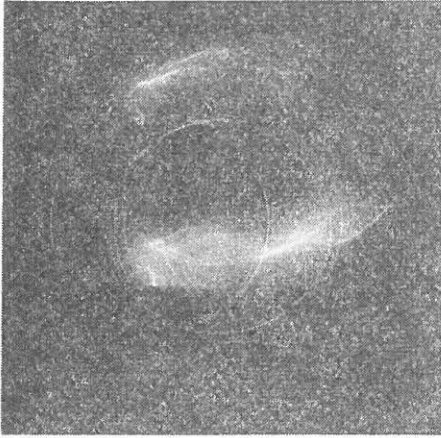


図 12

は写らないし、低ければ落雷の像と交る筈である。したがってこの雲間放電は落雷より近い所で生じたものと思われる。今カメラは水平方向を向いていたものと仮定すれば、落雷の長さとの中心間隔の比から、高度は雲底の10/8以下であることがわかる。雲底の高さを1kmとすれば、その高さは1.3km以下となる。この高さは前述の低空で生ずる水平方向の放電の存在を証明するものである。次に吾々が雷鳴により記録した雲間放電迄の最短距離は渋川で得られたもので700mである。これを図13に示す。この記録において前橋の記録は一応渋川での

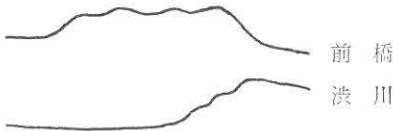


図 13

記録とは無関係であると思われる。渋川の記録は雲底の正電荷がその下の空間に向って下って来たものとして説明出来る。以上に述べた記録は全部双極子の放電として説明出来るが、簡単に双極子の放電としては説明出来ないものを図14、図15に示す。この場合放電点に近い場所

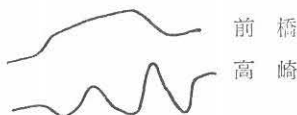


図 14

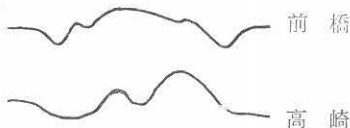


図 15

での記録は簡単な変化を示しているが、遠い場所での記録は複雑な変化を示している。

**3. 2 雷雲の構造と雲間放電の様子** 今迄述べた観測結果に主力をおいて、雷雲の構造と雲間放電の様子を考えてみる。まず放電の形式を分類してみると、垂直双極子の放電が11例、水平双極子の放電が1例、その他が2例となっていて、垂直双極子によるものが非常に多い。一ただし相続いて二度生じた放電は2例としている。一今この垂直双極子の極性を調べると上方に正電荷のある場合が3例、下方に正電荷のある場合が8例ある。又電荷の高度の知っているものは、いずれも下方の電荷は1~2kmで負電荷が2例、正電荷が4例である。次に1957年と58年に、頭上で生じた雲間放電であることが目で確かめられ、しかも雷鳴によりその高度の知られたものを示すと図16の様になる。この記録はすべて正の

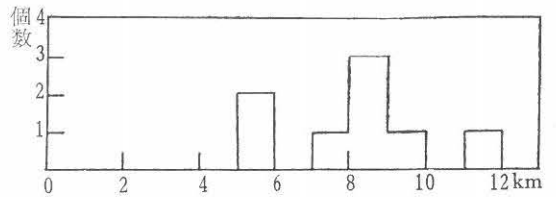


図16 雷鳴により測定した雲間放電の高さ

電場変化を示している。これらの事実をもとにして雷雲のモデルを考えると、田村らの発表したモデル<sup>(4)</sup>で下方の正電荷を少し低い位置、即ち1~2kmに持って来れば、われわれの観測結果を良く説明出来る。又石川も空電波形の研究からこの正電荷の高度を2.3kmとしている。<sup>(5)</sup> 図17にわれわれの雷雲のモデルと、雲間放電の形

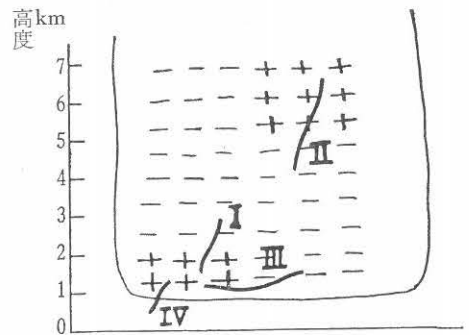


図17 雷雲のモデルと雲間放電の形式

式を示す。ここでIの形式の放電は、図4、5、6、7、8、9の後半、10の前半に示されている放電である。IIの形式のものは図3、9の前半、10の後半、図16に対応し、IIIは図11、IVは図13に対応する。ここで相続いてIとII又はIIとIの放電が生ずるのは、最初の放電により、もう

一方の双極子の放電が誘発されるもので、この現象は後述する先行放電と落雷の場合に対応するものである。従来雲間放電は上方の正電荷と下方の負電荷との間で生ずる放電であるといわれているが、統計的に考えればこれは正しいと思われるけれども、個々の場合は前に述べたように様々な形式の放電が発生するのである。L. G. Smith は、正電荷が上にある双極子による放電は、負電荷が上にある双極子による放電よりも高い所で生じていると報告しているし、<sup>(6)</sup> 1952年に New Mexico で行われた雷観測も、<sup>(7)</sup> 正電荷が上方にある双極子による放電の方が、負電荷が上方にある双極子による放電よりも高い所で生ずることを示している。これらはみなわれわれの雷雲と雲間放電のモデルの正しさを示しているものと思われる。

## 4. 落 雷

4. 1 殆んど同時に生ずる落雷 相異なる二個所でほとんど同時に落雷の生ずる場合のあることは、すでに報告したが、<sup>(8)</sup> 前橋附近と相馬附近でソーソーの様に落雷の生じた記録が得られたので図18に示す。こうした二

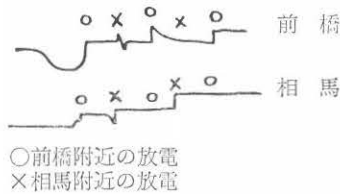


図 18

組の落雷は、先に述べた相続く雲間放電や、後に述べる先行放電と落雷の場合の様に、何らかの関係があると思われるが、記録の数が少ないため、現在のところでは何もいえない。

4. 2 先行放電と落雷 落雷に先行して数100msにわたって雲間放電の生じている場合のあることは、すでに報告されているが、<sup>(9)(10)(5)(8)</sup> その様子がさらに明らかになってきたので報告する。三個所で同時に記録のとれた先行放電を伴う落雷の記録は、現在のところ図19だけで

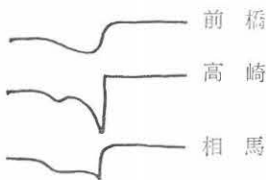


図 19

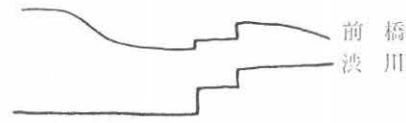


図 20



図 21

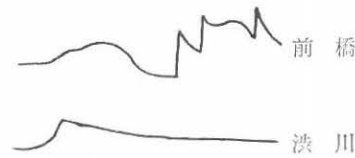


図 22

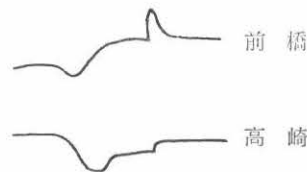


図 23

ある。この記録から、落雷は高崎に最も近い所で生じていることがわかる。一方相馬では雷鳴により4kmのところで放電が生じたことと記録されている。この様に先行放電と落雷とは異なる位置で生じている。このことはどの記録についてもいえることで、図20では雷鳴により、渋川から4kmの場所で放電が生じていることがわかっている。しかし先行放電による静電界変化は、前橋の記録のみに現れている。又図21, 22では先行放電は両方同じ様に現れているのに、落雷は一方にしか現れていない。次に先行放電による電荷の移動の様子を考えてみる。図19の先行放電を、垂直双極子による放電として説明するならば、各観測点は全部 reversal distance 以遠にあり、したがって負電荷の上昇として説明がつく。この場合相馬から4kmは離れたところで先行放電が生じている。今雲底を1kmの高さとする、reversal distance は3.9km以下となり、下方の負電荷の高さはおよそ1~2kmとなる。次に図21の場合には、前橋では頭上で雲間放電の生じたことが記録されている。ところで両所での記録をみると、ほとんど同じ様な変化を示している。したがって、もし垂直に放電が生じたものであるとすれば、かなり高い所で生じたものとなり、やはり負電荷

が上昇したものと考えられる。図23については、前橋では東方5.7 kmの場所で放電が生じたと記録してある。これが落雷か先行放電かわからないが、とにかく両者とも前橋に近く、高崎に遠いと考えよう。そうすると前橋は reversal distance 以内で、高崎は以遠ということになる。この事からこの先行放電もやはり負電荷の上昇として説明出来る。以上の様な観測結果から先行放電はIIの形式の雲間放電であることがわかる。図24に先行放電

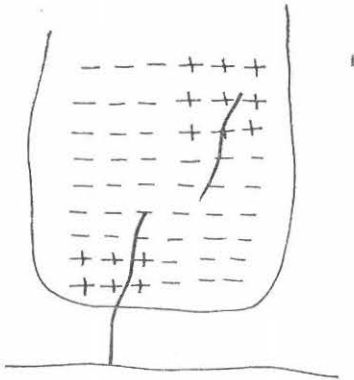


図24 先行放電と落雷の発生位置

と落雷の発生位置を示す。すなわちII形の雲間放電により、落雷が誘起されるものと思われる。

#### 4. 3 落雷による静電界変化記録の距離による変化

通常落雷による静電界変化の記録は、帰還雷撃に対応して急激な立上りを示す。ところが図19に示される様に、落雷点と観測点との距離が遠くなるにしたがって、急変化がなまってくる記録がある。これは一個所でのみ観測していた場合には発見出来ないことである。その結果を図25に示す。又その継続時間を図26に示す。この現

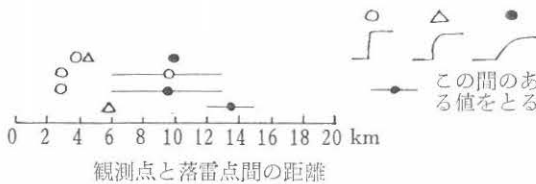


図25 急変化のなまり方と距離との関係  
同じ雷撃によるものは同じ行に表してある

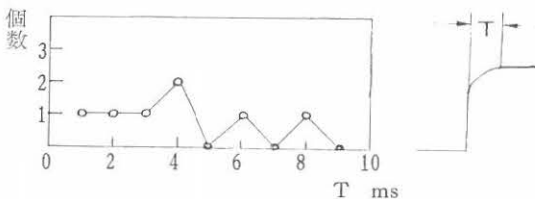


図26 急変化のなまる時間

象が何によるものであるかは、もう少し資料の数が多くならなければわからないが、その一つの原因として残光を考えてみる。図27はボーイズカメラにより得られた結

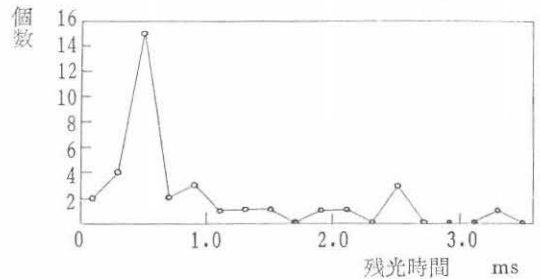


図27 対地電撃残光時間

果であるが、これでわかる様に残光の継続時間は、急変化のなまる時間より一桁短かくなっている。しかし残光がもっと長いものであり、ただ感光感度の関係で写真にとれていないとすれば説明出来るかも知れない。

## 5. あとがき

1960年に2点観測による資料が少し得られたとき、今後多くの知識が得られるであろうと思われた。1961年の観測により資料が多少増加したことにより、雲間放電には、色々な形の放電があること、それらが極性の異なる二つの双極子を持つ雷雲モデルを作ることにより、完全に説明出来ること、更に一つの雲間放電が、他の双極子の放電を誘起する場合があることなどが判明した。加うるに、先行放電は落雷点と多少異った位置にある、上方が正の双極子による雲間放電であることもわかったし、帰還雷撃に対応する静電界急変化記録が、距離の増加とともになまっていくこともわかった。今後観測資料の増加に伴って、新しい形式の放電が発見されると同時に、どの形式の放電がどんな割合で生ずるか、又どの形式の放電はどんな雷雲の場合に発生しやすいか等が次第に明らかになってくるであろう。最後に終始この研究を援助して下さい、金原研究所長、石川先生、群馬県渋川土木出張所、前橋電報電話局、前橋郵便局、高崎経済大学、群馬県榛東村相馬小学校の方々へ深く感謝致します。

## 文 献

- (1) 竹内, 石川, 高木: 空研報告 52, 7 (1957)
- (2) Takeuti T., Ishikawa H., Takagi M.: Proc. Res. Inst. Atmospheric, Nagoya Univ. 64, 5 (1958)

- (3) Takeuti T. : *ibid* 1, 9 (1962)
- (4) Tamura Y., Ogawa T., Okawati A. : *Jour Geomag. Geoele.* 20, 10 (1958)
- (5) Ishikawa H. : *Proc. Res. Inst. Atmospherics, Nagoya Univ.* 1, 8A (1961)
- (6) Smith L. G. : *Quart. Jour. Roy. Met. Soc.* 103, 83 (1957)
- (7) Reynolds S. E. : *Compendium of Thunderrstorm Electricity* 40 (1954)
- (8) 竹内, 石川, 高木 : *空研報告*27, 11 (1961)
- (9) 竹内, 石川, 高木 : *空研報告*1, 9 (1959)
- (10) Takeuti T., Ishikawa H., Takagi M. : *Proc. Res. Inst. Atmospherics, Nagoya Univ.* 1, 7 (1960)