

雷放電の研究(第2報)

落雷に先行する放電

竹内利雄 石川晴治 高木増美

I. ま え が き

落雷の帰還雷撃に先行して雲底の正電荷と雲内の主負電荷との間に、帰還雷撃を引き起す作用をする放電のあることはすでに広く知られているが、これは帰還雷撃の前大凡 100 ms 以内の間に発生する現象である。しかし落雷の更に長時間前からすでに放電の生じている場合のあることは、例えば Pierce¹⁾ の論文にも報告されている。吾々もこの事柄に関して、得られた観測結果について考察を行い、前述の雲底の正電荷と雲内の主負電荷との間の放電とは別の放電であることを認めたので、これについて報告する。

II. 用語の定義

吾々がここに述べようとしている放電現象と、帰還雷撃を引き起す作用をする雲底の正電荷と雲内の主負電荷との間の放電を区別するために、前者を先行放電、後者を予備放電と名づけておく。この先行放電は帰還雷撃に先立って雲から地面に向かって進む先駆放電とも勿論意味が異なることは明らかである。

III. 観測装置

使用した観測装置のあらまはは次の通りである。

1. 回転型静電界測定器²⁾ 高抵抗を介して接地された金属電極を、電界に対して露出遮蔽を繰返すと、高抵抗の両端に電界の強さに比例した交流電圧が生ずると云う原理を応用した mill type の電界強度測定器である。

2. 連続波形測定器³⁾ 雷放電により生じた電界変化を受信してブラウン管面上に出し、その電界変化波形を連続的に数分間 16 mm 撮影機で記録する装置である。

3. 電光強度変化記録装置⁴⁾ 二次電子増倍光電管を使用し、雷放電に伴う電光を電氣的出力に変えてテープレコーダに記録するもので、ボーイズカメラよりも高感度広視野でしかも長時間連続的に記録出来る

利点を有している。

4. 中波ラジオ 雷観測にあたり吾々は2現象同時記録用のテープレコーダを使用し、夜間は1の回転型静電界測定器と3の電光強度変化記録装置の二つの同時記録を行っていたが、昼間は電光は記録することが出来ないので、中波ラジオの検波出力を記録した。近距離の雷放電により発生した空電の振幅は放送波の振幅よりもはるかに大きいために、放送波に妨害されることなく空電の様子を知ることが出来る。

IV. 種々な観測方法による
先行放電の記録

1956年以來3年間に落雷による静電界変化の記録と他の各種の記録とが同時に得られた場合は非常に少なく第1表に示す通りである。

第1表 落雷による静電界変化記録と同時に得られた他の記録の数

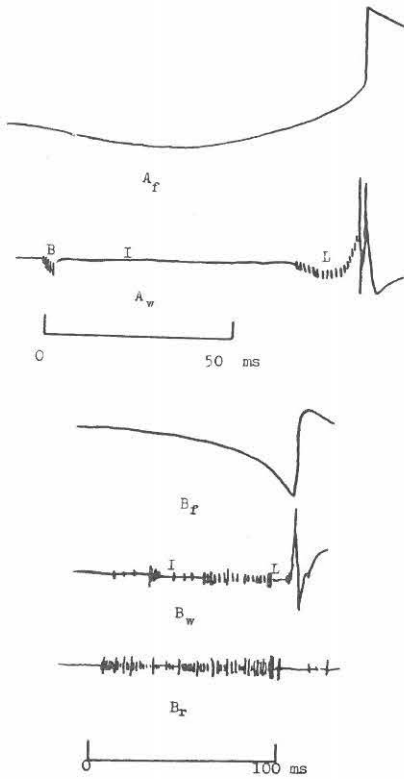
記録の種類	記録の数
連続波形測定器による記録………	1
中波ラジオによる記録………	3
上記の二つが同時に得られたもの	1
電光強度の記録………	5

1. 連続波形測定器による記録と静電界変化記録との対応

静電界変化と電界波形の連続記録が同時に得られたのは2例であって、そのいずれも先行放電を伴わない場合であった。得られた記録をわかりやすく書き直して第1図に示す。

A_w には明らかに予備放電による電界波形が現われていて、Clarence⁵⁾とMalan⁵⁾により名づけられた B, I, L の各部分が区別出来、 B_w でも I 及び L の部分

第1図 落雷による静電界変化記録と電界波形の連続記録、但し suffix f は静電界変化、 w は電界波形、 r はラジオの検波出力を表わす。

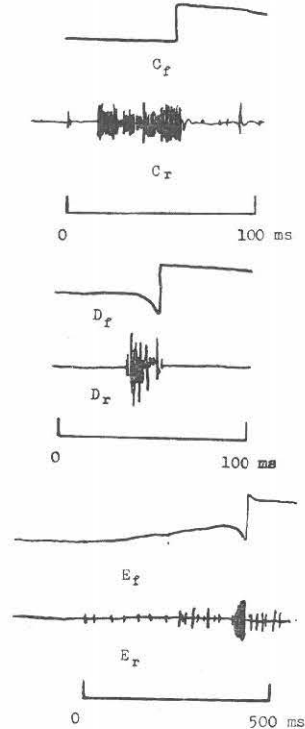


がよく現われている。2例とも静電界変化も電界波形も B 変化以前には何の放電もなかったことを示している。 B_r と B_w とを比較すればラジオの記録でも放電の生じている様子を正しく知ることが出来ることがわかる。

2. ラジオの検波出力の記録と静電界変化記録との対応

上述のようにラジオの検波出力でも放電の様子はわかるので、これと静電界変化記録との同時記録の得られた3例を第2図に示す。 C 及び D は先行放電の無い例で、 E は先行放電のある例である。先行放電により始る落雷で、静電界変化記録と空電の様子を示した記録とが同時に得られたのはこの1例のみであるから、すべての場合に当てはまらないかも知れないけれども、先行放電は予備放電と比較して空電パルスの密度が粗であるために、電界波形の記録のみを調べている場合には見落すことが多いかも知れない。第2図の例より先行放電に続く予備放電は先行放電のない場

第2図 落雷による静電界変化記録とラジオ検波出力の記録。 suffix f は静電界変化を r はラジオの検波出力を表す。



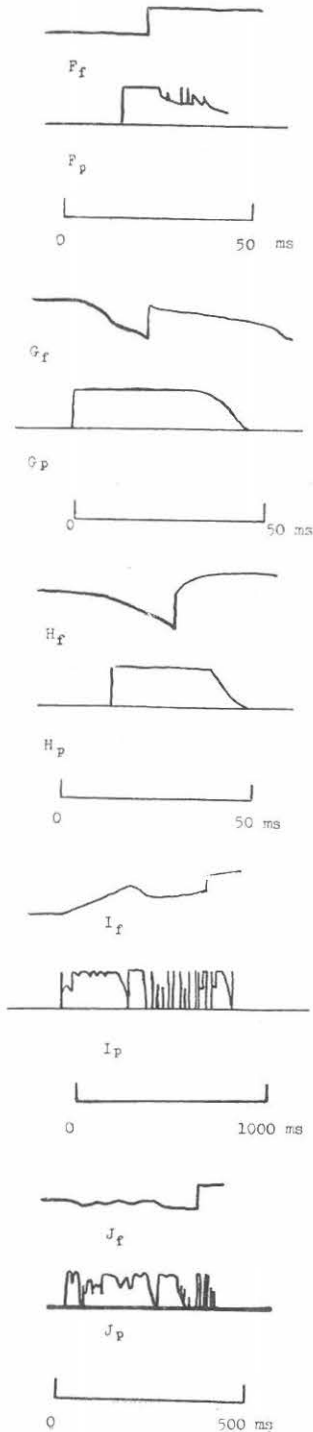
合の予備放電と全く同じ様子を示していると思われる。

3. 電光記録と静電界変化記録との対応

電光の記録と静電界変化記録の対応のとれた例は5例あって、3例は先行放電の無い例であり、他の2例は先行放電を伴っているものでありこれらを第3図に示す。

F については両者の対応は 10 ms 以内の誤差を含んでいるが、静電界変化に先行放電の生じた様子が全然ないのに対応して、光の記録の方にも先行放電を示す電光は全然現われていない。 G と H については静電界変化が生じている時刻と電光の光り始めの時刻とが完全に一致していて、多分予備放電の始めから光り出したものと考えられる。このように静電界変化に先行放電による変化の現われていない場合には、電光の記録にも先行放電による光の記録は現われていない。 I と J は先行放電のある例で、静電界変化が現われると同時に発光し、比較的連続して光った後に断続的な電光に移り、更に予備放電及び帰還電撃による電光に移る。この場合に予備放電による静電界変化が現われて

第3図 落雷による静電界変化記録と電光変化の記録. suffix f は静電界変化を p は電光変化を表わす. なお電光の記録は飽和している箇所がある.



いないが、もっと近い距離の記録ならばやはり G や H と同じようになると考えられる。

このようなことから落雷はその前に先行放電を持つ場合と持たない場合とがあり、両者ともその予備放電の形式は同じであろう。

この先行放電は Sourdillon⁶⁾ 及び Malan⁷⁾ の論文に述べられている放電に対応するものと思われる。即ち Sourdillon による水平な頭部を持つ落雷と云うのがこれに対応するものであると考えられる。しかし彼の記録方法はボーズカメラによるものであるために、光の密度の濃い所だけが記録されている。従って吾々のように光電管を使用して全光量を測定する方法による結果や、電気的な測定の結果と多少様子が異なることは理解し難いことではない。一方 Malan がクロノホトグラフを用いて観測した結果、第一帰還雷撃に先行して百及至数百 ms 発光している場合があることを報告しているが、これは先行放電と予備放電を含めて観測しているものであろう。

V. 先行放電の発生率と継続時間

現在の所先行放電に関する統計的な議論を進める場合に、電光及びラジオ検波出力の記録では放電の様子を知るには不充分であるし、電界波形の記録は数が少ないので、静電界変化の記録を利用することにする。又静電界変化の記録のみで先行放電と予備放電とを区別すると誤った判断を下す場合が生ずるおそれがあるために、ここではもっぱら先行放電と予備放電と加え合せたものについて議論を進めてゆくことにする。

1956年及び1957年の観測に際して得られた帰還雷撃による急変化を含む静電界変化記録96個について、第一帰還雷撃による急変化以前に生じている静電界変化の継続時間の分布を第4図(a)に示す。又第4図(b)は Clarence と Malan により発表された予備放電の同様な図を示している。

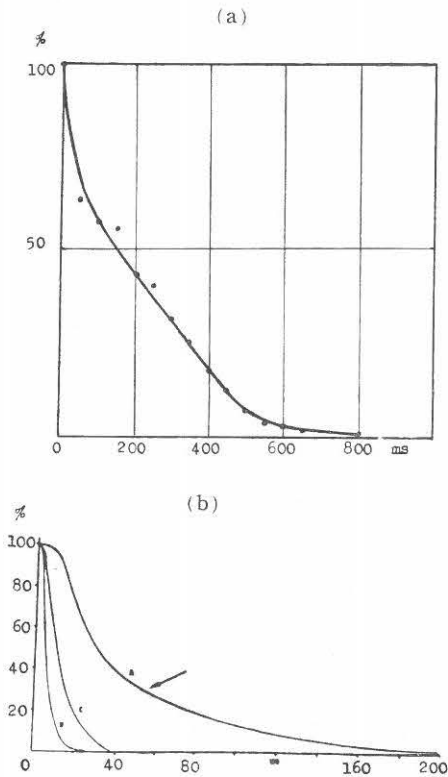
第4図から予備放電は継続時間の長いものでも大凡150 ms であり、多くのものは勿論それより短かいことから、最小限度50%は先行放電を持つ落雷であると云えるわけである。更に先行放電の継続時間が大凡500 ms 以内であることも同図から明らかである。

VI. 雷の発達過程と落雷の形式

雷の発達過程と落雷の形式との関係を3例について述べてみよう。

1. 1956年8月16日の雷 この日の雷は第5図に示すように前橋の西方約20 km の附近で発雷し、前

第4図 先行放電及び予備放電の継続時間の出現確率分布。(a)は両者の和、(b)は予備放電のみ(矢で示す)。



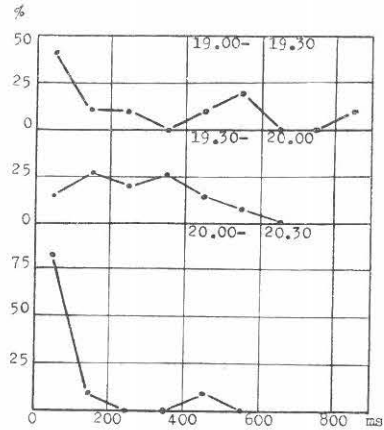
第5図 1956年8月16日の雷



橋をはさんで流れて来た二つの雷で、19時頃から前橋に接近し、次第に強くなり、20時頃から放電間隔も長くなり、雷の末期の様子を示しながら前橋から遠

ざかって行ったものである。この日の落雷による静電界変化の記録で、第一帰還雷撃以前の静電界変化の継続時間の分布を30分毎に区別して表わせば第6図のようになる。この図からわかるように雷の最盛期には先行放電を伴う落雷が多く、末期に発生した落雷は殆ど先行放電を伴っていない。

第6図 1956年8月16日の落雷の第一帰還雷撃以前の静電界変化継続時間の頻度分布
資料数 19.00-19.30, 10個: 19.30-20.00, 16個: 20.00-20.30, 11個



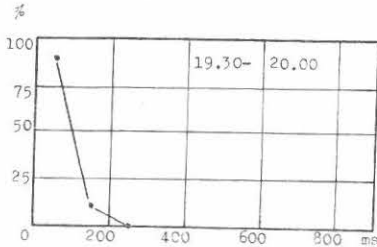
2. 1957年7月31日の雷 この日の雷は第7図に示すように前橋の北方20 km 附近で18時頃から発雷し、19時頃南下して前橋附近に達し、次第に発達し、19時30分頃からさかんになって、20時過ぎには南東の方向に去って行ったものである。吾々がこの日に観測した落雷は19時30分から20時00分迄のもので、雷がさかんになり落雷が発生し出した初期のものと考えられる。この日の落雷の第一

第7図 1957年7月31日の雷



帰還雷撃以前の静電界変化の継続時間の頻度分布の様子は第8図に示してあり、殆ど先行放電を伴わないものと考えられる。

第8図 1957年7月31日の落雷の第一帰還雷撃以前の静電界変化継続時間の頻度分布
資料数 9 個

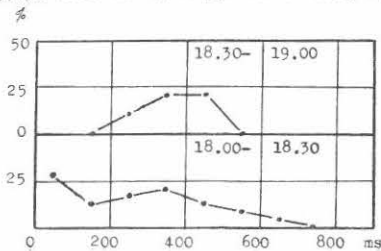


3. 1957年8月1日の雷 この日の雷は第9図に示すように前橋の北西20~30 kmの付近で発生し、南東に流れて来て、18時頃から19時頃にかけて前橋附近を通過したもので、放電は18時頃からさかんになり出し、18時30分頃から最盛期に入ったものと考え

第9図 1957年8月1日の雷



第10図 1957年8月1日の落雷の第一帰還雷撃以前の静電界変化継続時間の頻度分布
資料数 18.00-18.30, 25 個; 18.30-19.00, 5 個



られる。この日の雷についても前の2例と同様な頻度分布を第10図に書いてみると、この日は終始先行放電を伴った落雷が多いことがわかる。

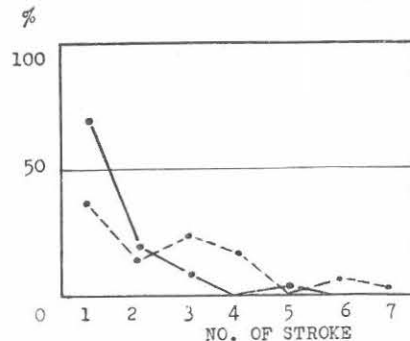
以上の3例の結果をまとめると、雷の最盛期には先行放電を伴った落雷が多く、末期にはこれに反して先行放電の無い落雷が多いことがわかるが、初期にはどちらの場合も現われている。しかし雷の初期、最盛期、末期の区別は、測候所その他の観測点の目視観測による雷の程度の報告と、吾々の観測記録により主として判断し、同鳴線図を参照してきめたもので、最盛期と末期は比較的正確に判断出来るが、初期と最盛期の判断はあまり正確には区別出来ない。その上落雷が生じ始めた時は雷雲としてはすでに最盛期に達しているのかも知れない。又放電の形式は雷雲の発達過程よりも、雷雲の持つ個々の特性、例えば発生地点の地形の相違による雷雲内部の電荷の分布、内部エネルギーの相違等により大きく支配されるのかも知れない。

VII. 先行放電の機構

先行放電の機構を静電界変化の記録のみから論ずることは、予備放電による静電界変化と区別出来ないことがあるため好ましくない。従って他の装置による記録との同時記録の数が多くない現在、放電機構に関する統計的な考察を行うことは困難であるので、ここでは先行放電の機構に関して次の点を指摘するに止めることとする。

1956年及び1957年に得られた落雷による静電界変化の記録において、第一帰還雷撃による急変化以前に静電界変化のないもの及び、これがあっても100 ms以内で終わっている場合と、100 ms以上静電界変化の

第11図 第一帰還雷撃以前の静電界変化の継続時間と落雷の多重度、実線は継続時間100 ms以上を、点線は0~100 msを表わす。



続いている場合の二つに分類し、その各々について帰還雷撃の多重度の頻度を示すと第 11 図のようになる。このように先行放電を持つと思われる落雷ではその多重度が少ない。これは先行放電により雲内の主負電荷がすでに一部中和されてしまうためであると考えればよいであろう。

次に Sourdillon により報告されたボーズカメラによる記録によると、第一帰還雷撃が終了した後も落雷と同時に生じた雲間放電が発光を続けている場合がある。このことから吾々が先行放電と名づけた放電は、予備放電よりも先行して生ずることは確かであるが、これは必ずしも予備放電或は第一帰還雷撃以前に終了するものではないと考えてもよいであろう。これに関してはボーズカメラにより記録された多くの資料を得る必要があり、将来に残された問題である。

VIII. 結 論

落雷の 50% 以上は第一帰還雷撃以前に雲内の主負電荷を中和する先行放電が発生し、その後、今迄に報告されているような雲底の正電荷と主負電荷との間の

予備放電が生じ、続いて帰還雷撃に至る。なお雷を適当な期間に区切れば、その間での落雷は先行放電を有するか、有しないかのどちらかの形式に大凡一定している。

IX. 謝 辞

本研究を御援助下さった金原所長、前橋地方気象台、前橋電報電話局及び前橋郵便局の方々に深く感謝致します。

引用文献

- (1) Pierce E. T.: Q. J. Roy. Met. Soc., **81**, 211 (1955).
- (2) 竹内・石川・高木: 空電研報告, **7**, 52 (1957).
- (3) 高木・石川: Proc. Res. Inst. Atm. **4**, 48 (1956).
- (4) 高木・石川・竹内: 空電研報告, **8**, 11 (1958).
- (5) Clarence N. D., Malan D. J.: Q. J. Roy. Met. Soc. **83**, 161 (1957).
- (6) Sourdillon M.: Ann. Geophys. **8**, 349 (1952).
- (7) Malan D. J.: Ann. Geophys., **11**, 427 (1955).