

## 近距離空電波形の研究 (第9報)

### 対地放電第一先駆波形の微細構造

石川晴治 高木増美 竹内利雄

#### I. 前書き

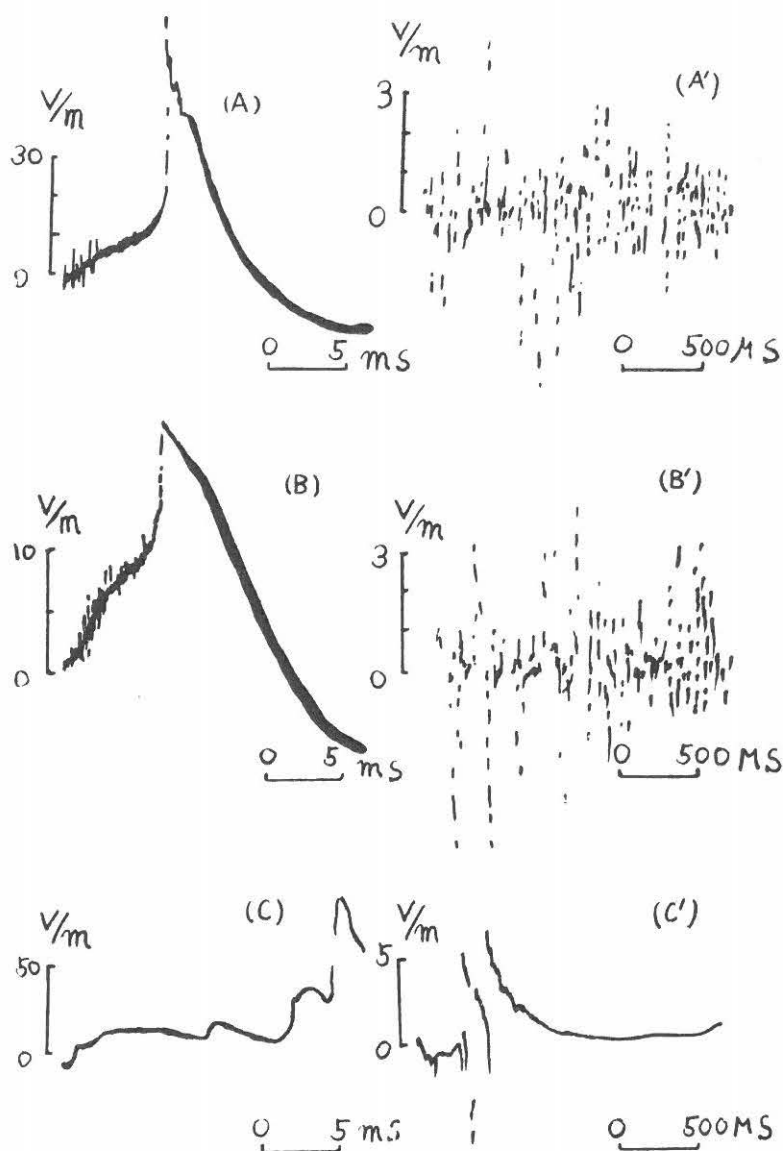
駒撮り式空電記録法は従来主として感光材料節約の目的で用いられて来たが、近距離空電の場合には適当な手段を構わずれば対地放電の電磁界変化を第一先駆の部分から帰還雷撃の部分迄抜き出して記録する事も可能である。又この方法によると数時間に渉る一つの雷雨の全期間を通じて万遍なく観測を実施する事が出来る。従つてこの方法で得られた資料を用いば連続記録法で得られるより広い範囲の母集団を構成する雷放電に共通な一般的特性を推定する事が可能である。この考えに従つて主として対地放電の第一雷撃の波形について統計的考察を行った。

#### II. 記録装置

今回の雷観測に用いた近距離用空電波形記録装置は一つの雷放電の同じ部分を夫々2msおよび20msの単掃引波形として各々別々の35mmカメラに駒撮りする方式のものであるが、前回の経験に基いて大改造を加え、2msと20msの各波形を互に独立した受信感度で記録出来る様にした。これら2msおよび20msの波形を与える各系統の増幅器は3db低下点で測定して夫々1~300kc/sおよび50c/s~300kc/sの範囲で一樣な周波数特性を有し、その利得は夫々+30~-20dbおよび+30~-50dbの範囲で10db階段で変えられる様になっている。又2msと20msの各系統の増幅器の結合回路時定数は夫々 $2 \times 10^{-4}$  secおよび $10^{-1}$  secであるのに対し、空中線回路のそれは蓄電器減衰器を用いる関係上 $4 \times 10^{-3}$  secにしてあるので2msの系統の総合時定数は $2 \times 10^{-4}$  sec、又20msの系統のそれは $4 \times 10^{-3}$  secとなり総合時定数と掃引時間との比は夫々1:10および1:5となる。従つて記録されたパルス性波形でその時間幅が夫々の掃引時間の長さの数分の一を越えるものは装置の特性によつて引き起される変形を相当程度受けているわけで、波形解析に当つては、この点に充分考慮を払う必要がある。

#### III. 観測記録

昨夏前橋における雷観測で得られた空電波形の中には、明らかに対地放電に相当すると思われるものが全部で87箇、明瞭な階段状先駆だけが記録されたものが全体で69箇ある。これらの内後者は対地放電の外空气中放電をも若干箇含んでいるものと思われるが、これらの波形について統計的考察を行い、主として対地放電の第一先駆の性質を論ずる事とした。第1図は昨夏の観測の際得られた波形の代表的三例である。(A)および(A')は目視観測によつて対地放電である事を直接確認出来た波形で推定距離は約40kmである。(A)は第一先駆から帰還雷撃に到る全変化、(A')は(A)の波形の頭部2msの部分の微細な構造を表わしている。又(A)の先駆部の初期には顕著な高周波パルス群が現れているが、これはその後半部に到つて消失している。従つてこの波形は $\beta$ 型の先駆を持つ対地放電に相当するものである。(B)(B')も同じく対地放電の波形であるが(B)では先駆部全体に渉り顕著な高周波パルスが認められる。これは階段状先駆が成長の途中でその性質を急激に変える事のない例で、この波形は $\alpha$ 型先駆を持つ対地放電に相当するものである。(C)(C')では(C)の波尾に現われている急激な階段的变化が対地放電の帰還雷撃のそれによく似ているのが認められる。然しこの波形の先駆部は相当複雑な静電界の緩変化を示し、その上(C)の波頭部に存在する(C')に示されている鋭いパルスの構造も前の対地放電の第一先駆のそれとは著しく異つた形状を持つていたので、(C)の先駆部を一つの階段状先駆の放電過程で説明する事は困難である。従つてこの波形は対地放電のそれと類似点を持つているが、むしろ雲の放電の波形であると解釈すべきであることがわかる。この波形の波尾に見られる前記の帰還雷撃に似た階段的变化は、一昨年電光の写真観測でも認められた様に(1)雲間放電の時現れる極めて進行速度の大きい矢状先駆によつて引き起されるものと解釈される。



第1図 対地放電型空電波形

#### IV. $\alpha$ 型および $\beta$ 型階段状先駆

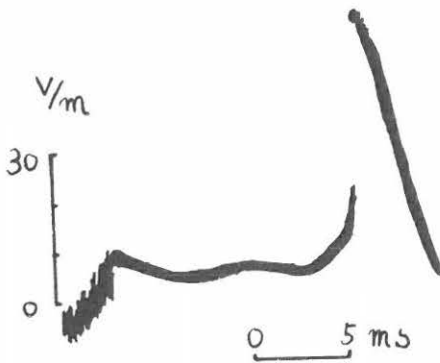
波形記録動作の開始は雷放電周波数スペクトルの高い成分(0.1, 1, 10Mc/sの3種の中のいずれか一つを選んで用いる)を利用しているため、対地放電波形の記録開始は通常用いられている周波数成分の顕著に現れた階段状先駆の波形の部分で行われる。従つて撮られた対地放電の波形は、いずれも第一雷撃に相当するものである。階段状先駆は電離されていない空气中を新たに放電路を切り開きながら進行してゆくの放電の構

造も複雑で多数の顕著な階段ストリーマーを伴い、それに相当して空電波形の上にも特徴のある高周波パルスが現れる。それらの現れる有様から前に述べた様に階段状先駆を $\alpha$ 型および $\beta$ 型の二つに分類する事が出来る。得られた波形の中、明らかに階段状先駆に相当すると判断される前記の156箇の波形について $\alpha$ 型、 $\beta$ 型の分類を行つた結果を第1表に示す。これによると $\alpha$ 型は観測された全波形の約8%、 $\beta$ 型は約77%を占め $\alpha$ 型と $\beta$ 型の出現する割合は1.1:10で、この値は一昨年得られた値2:10<sup>(1)</sup>に近い。これは本邦における

第1表 α型およびβ型階段状先駆記録数

	α型先駆	β型先駆	中間型先駆
記録波形数	13	120	23
%	8.3	77	14.7

雷放電が階段状先駆を伴う場合それが80%位もβ型に属する事を示すもので、従来本邦において明瞭なα型階段状先駆の写真が得られなかつた<sup>(2)</sup> 主な理由の一つは、ここにあると思われる。β型先駆は雲底の強い空間電荷の作用を受け、この部分で変質し急激に進行速度を減ずるから、<sup>(3)</sup> これに相当して波形の先駆部も10km以上離れた対地放電の場合  $F=at^2$  (ただし  $t$  は先駆の成長時間) で示される様な単純な静電界緩変化を示すことはなく、割合著しい鉤型の変化を示す<sup>(4)</sup>。第2図はその著しい例である。先駆から帰還雷撃迄完全に捕えられた波形の内帰還雷撃部に著しい静電



第2図 β型階段状先駆の静電界緩変化

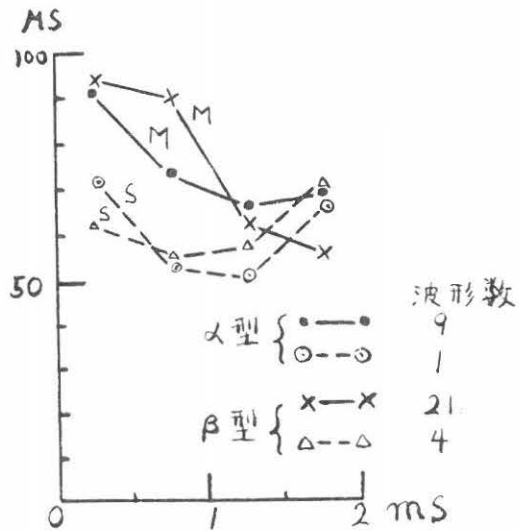
界緩変化成分が重なっている第2図の帰還雷撃部の様な波形は全体で73箇あるが、これらは先駆部の静電界緩変化の様子まで一緒に考え合せると、いずれも10kmないし100~150km位の範囲に起つた放電であると考えられる。そこでこれら73箇の波形について第2図に示されている様な空間電荷の影響の明瞭に認められるものと、その影響の全く認められないものとに分類して見ると第2表の様な結果が得られる。この表によると強い空間電荷の影響を受けている階段状先駆の波形はβ型の場合は54箇の全波形中76%を占めるが、中間型では62%、α型では33%となり次第に減少している。これはβ型先駆が雲底に存在すると考えられる正の空間電荷の作用によって発生すると云う従来の解釈を支持するものである<sup>(3)</sup>。然し第2表で明らかな様にβ型でも空間電荷の影響の認められないものが24%あり、又逆にα型で著しい空間電荷の影響を受けているものが33%存在する点は注目し値する。これは雷

第2表 先駆部の静電界緩変化

先駆放電型	静電界緩変化		空間電荷の影響顕著な波形		空間電荷の影響のない波形	
	記録波形数	%				
α型	2		33		4	67
中間型	8		62		5	38
β型	41		76		13	24

雲の雲底部における正の空間電荷領域の存在がβ型先駆の発生を促進するが、必ずβ型を起させると云うわけでは無い事を示すもので、強い正の空間電荷領域の存在にもかかわらず、α型先駆が発生する場合も可能である。

次に2msの波形の全区間を0.5ms幅の4区間に分割し、その各区間におけるパルス時間間隔の平均値を各波形毎に求め、α型では10箇、β型では25箇の波形について更に各区間毎の平均値を求め、統計的に見た先駆部のパルス間隔の時間的変化を調べて見ると第3図の様になる。図中Mと記号をつけた二つの曲線は1Mc/s、Sと記号をつけた二つの曲線は10Mc/sの周波数成分で単掃引起動を行つた場合のものである。従つてこれらは階段状先駆波形の上で夫々1Mc/sおよび10Mc/sの周波数成分が顕著に出現した部分から後を捕えている事になる。α型、β型の記号は第一先駆の型

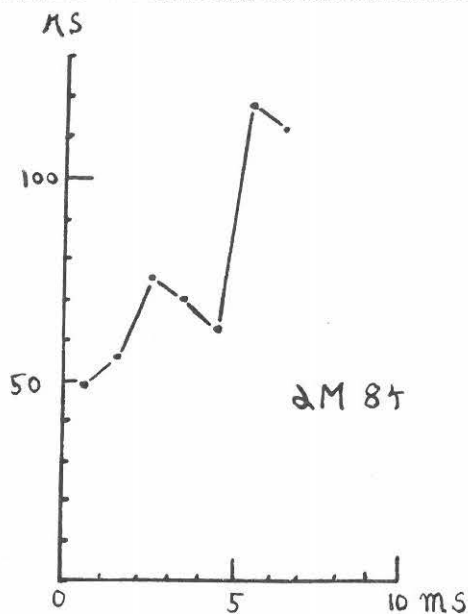


第3図 階段ストリーマーに相当するパルスの間隔の時間的変化

を表わす。図から明らかな様にM起動の場合は先駆の成長と共にパルス間隔は統計的に見て約90μsから約

60 $\mu$ sの値に縮まっているが、これに対しS起動の場合には約50 $\mu$ s位で大略一定である。北川の空電波形連続記録によると<sup>(5)</sup><sup>(6)</sup> 対地放電の第一先駆は9~35msの持続時間を持つが、これはその上に重なって現れるパルスの間隔の分布の点から考えると3~9msの長さを持つ初期部、1~2msの長さを持つ帰還雷撃直前の終端部および、これら両者に挟まれる中間部に分けられる。初期部には階段ストリーマーに相当する顕著なパルスが認められ、そのパルス間隔は20~80 $\mu$ sの間に分布し、中間部に到るとパルスの振幅は減少しその存在を認め難くなるが、この部分におけるパルス間隔は割合一定で約50 $\mu$ sである。最後の終端部ではパルスの振幅は急に再び顕著となり、パルス間隔は次第に縮まって10 $\mu$ s程度となると報告されている。われわれの記録では駒塚り法を用いているし、又第3図に示されているパルス間隔から考えても先駆放電の初期部を捕えている事は明らかである。さて第3図においてM起動の曲線は先駆放電の進行と共にパルス間隔が前記の様に90 $\mu$ s位から60 $\mu$ s位迄減少して行く事を示しているが、北川の報告を考え合せると先駆放電の初期部の終りに近い部分は中間部先端へ近附くのでパルス間隔が更に縮まり50 $\mu$ s位の一定値に達するわけであるから、波形の初期部に含まれている周波数成分も時間と共に次第に高くなる筈である。故に10Mc/sのS起動は1Mc/sのM起動より先駆放電初期部の成長のより後の段階の所で行われ、従つてS起動の波形は先駆初期部の尾部を記録している事になる。又同図から明らかな様にM起動の曲線もS起動の曲線も $\alpha$ 型と $\beta$ 型で著しい相違を示さない。これらの点から考えると対地放電の第一先駆の構造は、これを統計的に見ると $\alpha$ 型でも $\beta$ 型でも先駆放電の初期の部分では階段ストリーマーに相当するパルスの間隔はやや大きく100 $\mu$ s位あるが、放電の進行と共に急速に減少して50 $\mu$ s位の正常値に到達することがわかる。この点については後で更に詳しく述べることにする。尚現在の装置では微細構造測定用の2msの波形は20msのその波頭部を拡大して見る事が出来るだけであるので、第一先駆の中間部および終端部におけるパルス間隔が $\alpha$ 型と $\beta$ 型でどの様に相違するかを明らかにする事は出来ない。然し電光写真解析の結果によると $\beta$ 型先駆の後半部における進行速度は $\alpha$ 型のそれと殆んど同じであるから、理論的には階段の長さの短い $\beta$ 型の方が $\alpha$ 型よりパルス間隔が縮まっている事が期待される。次に8箇の $\alpha$ 型先駆について帰還雷撃の開始点を先駆放電の終息点であると考えて、それ以前の或る時刻tの $\Delta t=0.5$ msの区間におけるパルス間隔の平均値を求め、 $\alpha$ 型先駆の成長時間とパルス間隔の関係を調べて見ると第4図の様なのが得られる。これによると $\alpha$ 型先駆は帰還雷撃

前約5ms位の所で間隔が急に縮まっている事が明らかに認められる。先駆の進行速度を $\alpha$ 型先駆の場合であるから一様であると考え $1\sim 3\times 10^7$ cm/sec<sup>(3)</sup>とすると、このパルス間隔の急激な変化の起る高度は0.5~

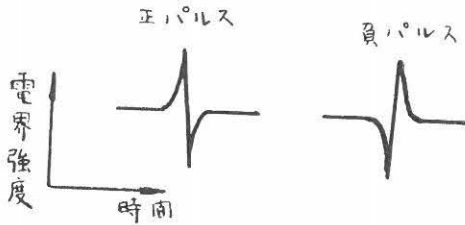


第4図  $\alpha$ 型先駆の成長時間とパルス間隔

1.5kmの間にあり、ほぼ本邦における雷雲々底の高さに等しい。従つて $\alpha$ 型先駆も統計的に考えると、先駆の先端部が雲内にある間は雲底部の持つ電気物理学的性質の影響を強く受け、パルス間隔は正常値より大きい値(100 $\mu$ s以上)を持つているが、それが雲底を出ると空間電荷其他雲底部の影響は急激に減少し、その為パルス間隔は正常値(約50 $\mu$ s)迄速かに減少して行くものと思われる。この様にパルス間隔だけから考えると $\alpha$ 型でも $\beta$ 型でも先駆が雲内を進行している間はパルス間隔が一般に長いが、然し一度それが雲底から下方へ出て了うと急激に短くなる傾向が認められる。故に $\alpha$ 型 $\beta$ 型の間には、この点だけから云うと初期部においては何等著しい相違は認められない。若しこれら二つの型の間には相違が起るとすれば、それは中間部以後の事で、この部分に到つて $\beta$ 型の方が $\alpha$ 型よりパルス間隔が短くなる可能性はある。又この様に階段状先駆が雲内を進行している場合と、それが一度雲底を出て了つた場合とで階段ストリーマーの休止間隔が著しく相違すると云う観測事実は、各階段ストリーマーを出発させる為に必要な先駆放電路の中に急激に間接的に現れる電界の強い部分が放電路の進行先端に近い所で起る事を意味するもので<sup>(7)</sup> この点階段ストリーマーが先駆放電路の出発点から起ると考えるMeekの理論<sup>(8)</sup>は正しくない。

V. 階段状先駆および雲の放電の波形に現れるパルスの符号

すでに述べた様に階段状先駆に相当する波形はいずれも顕著なパルスに乗せており、そのパルス間隔の分布範囲は電光写真解析から得られた階段ストリーマの休止間隔の分布とほとんど同じであるから、先駆放電波形に乗っている顕著な微分型パルスはいずれも個々の階段ストリーマより発射されるものである<sup>(3)</sup>。対地放電の場合を考えるとこれら階段ストリーマはいずれも統計的には鉛直下降を行うと考えてよいから、対地放電の第一先駆に相当する波形に乗っているパルスは統計的には鉛直下降するストリーマから発射されるものと考えうる。一般に、ふく射電界パルスが顕著に現れる約10km以上離れた対地放電の第一先駆の階段ストリーマに相当するパルスは、いずれも微分型波形であるから、第5図に示されている様にこれらのパルスの符号を判定する事が出来る。そこで先駆および



第5図 微分型パルスの符号

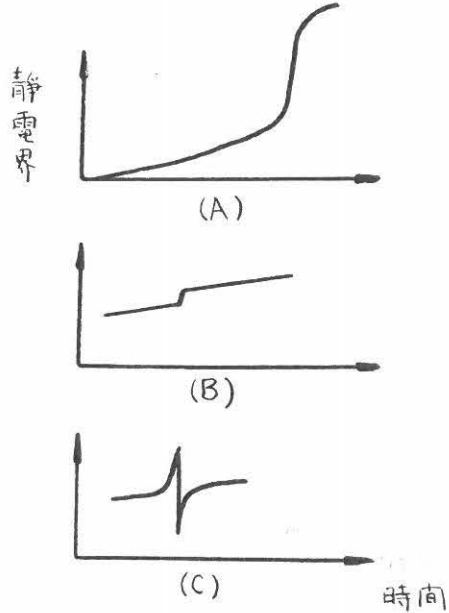
び帰還雷撃部の撮影された87箇の対地放電の波形について先駆部に現れたパルスの符号を調べ、その統計を取つて見ると第3表の様になる。この表では先駆型の

第3表 対地放電の階段パルスの符号

先駆放電型 パルス符号	α 型	β 型	分類不能
	+ - ?	+ - ?	+ - ?
出現波 形の数			
10~(100-150)km	9 0 1	32 0 23	3 0 1
(100-150)km以遠	1 0 0	14 0 3	0 0 0

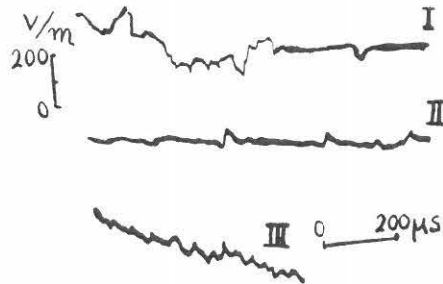
分類に際し、第1表で中間型としたものを更にα型に近いもの、およびβ型に近いものに分類し、これらを夫々α型およびβ型として集計してある。なお放電の距離は波形の静電界成分の有様から推定した。表から明らかな様にα型でもβ型でも放電点迄の距離が10km以上であれば、符号の判定が出来ない波形を除外すると例外なく階段パルスは正の符号を持っている事が明瞭に認められる。一般的に云うと放電距離が10km以上になると雲底より鉛直下降する案内ストリーマによる静電界変化は第6図(A)に示す様な  $F=at^2$  で表わされる変化をするから、これに重なって断続的に起る同

様に鉛直下降する階段ストリーマによる静電界変化は同図(B)の様な正の階段状変化となる。べきであり、この静電界変化を2回微分して得られるふく射電界変化は当然同図(C)の様な正の微分型パルスを与える筈である。上に述べた第3表の結果は明らかに、この点を支持している。然し放電点迄の距離が10km以内になる



第6図 10km以上離れた対地放電の階段ストリーマの起す電磁界変化

と放電路が鉛直でない影響や放電点の高度が水平距離に比べて無視出来ない為等の影響が加わるので、波形を単純な鉛直放電模型によつて説明することが出来なくなる。第7図は約0.5km位の地点に起つた対地放電の第一先駆の波形である。【および】は先駆が雲内を



第7図 0.5km位の地点に起つた対地放電の第一先駆

下降している時期、IIIは先駆が雲底を出切つた時期に相当するものと考えられる。これらの波形の静電界成分は距離が近いので、近距離における鉛直下降案内ストリーマによる静電界変化<sup>(3)</sup> から期待される通り負の緩変化をしており、又階段ストリーマから発射

される。ふく射電界も前述の理論から期待される様な負の微分型パルスとなつてはいるが、これに対応する階段的静電界急変化は予期に反して正の符号を持つてはいる。これは明らかに放電点迄の距離が放電点の持つ高度に比べて充分大きくない所ではストリーマーから放射される、ふく射電界変化が単純な鉛直二極モーメントの変化の模型では説明されなくなる事を示すもの様に思われる。

次に雲の放電の場合も放電点迄の距離が10km以上離れた所では著しいパルス性の波形が観測されるが、<sup>(9)</sup> この時のパルスは階段状先駆のそれに似ており、微分型に属するが、この場合各パルスは全く無秩序に発生し<sup>(10)</sup> 階段状先駆の波形の上に現われるパルスとは全く性質を異にする。この様な雲の放電の波形についてパルスの符号を調べ伝播距離との関係を求めて見ると第4表の様な結果が得られた。なお表中の放電点迄の距離は20km以内は静電界強度記録から、20~(100-150)kmは空電波形に現れる静電界成分の様子からこれを推定した。この表によると20km以内の雲の放電については69箇の波形の中62.4%が負のパルス、10.1%が正のパルスより成り、中距離(20~150km)では全部で108箇の波形の中、負のパルスが65%、正の

第4表 雲の放電の波形に現われるパルスの符号

放電点 迄の距離	微分型パルスの符号						全記録 波形数
	+		-		?		
	記録 波形数	%	記録 波形数	%	記録 波形数	%	
20km以内	7	10.1	43	62.4	19	27.5	69
20~(100- 150)km	7	6.5	70	65	31	28.5	108
(100-150) km以遠	17	7.9	117	54.5	81	37.6	215

パルスが6.5%、遠距離(150km以遠)では215箇の波形中54.5%が負のパルス、7.9%が正のパルスとなつてはいる。これで見ると今回の観測では距離の如何を問わず負のパルスを持つ雲の放電の波形は観測された同種の全波形の55~65%、正のパルスを持つものは全体の5~10%を占め、負のパルスを持つ波形は正のパルスを持つものより6倍以上多く出現する。又この傾向が空電の伝播距離に無関係である事実は正および負のパルスを放射する様な放電が実際雲の中で夫々5~10%、55~65%の割合で発生している事を示す。これは前に述べた対地放電の第一先駆に現れるパルスと全く反対の傾向である。故に若し雲の放電では負のストリーマーが発生するものとすれば、統計的に、それは鉛直上昇するストリーマーである事を意味し、又逆に雲の放

電では正のストリーマーが起るものとすれば、それは統計的に云つて鉛直下降するストリーマーを意味する。この点に関して多重対地放電の雷撃休止期間に雷雲の内で行われる結合ストリーマー放電過程の所々から、ふく射されるパルスがどのような性質を示すかと云う問題は興味深い。北川<sup>(11)</sup>によれば雷雲中の負電荷の鉛直柱状分布<sup>(3)</sup>内には数百米の高さを置いて鉛直方向に負の電荷濃度が二次的に高い領域が散在しているが、多重対地放電に際して発生する結合ストリーマーはこれらの二次的電荷集積部を縫つて鉛直に上昇して行くので、ストリーマーがこれらの負の電荷集積に突き当たる度に毎に小規模な矢状先駆を発生する。この矢状先駆はすでに電離されている結合ストリーマーの放電路に沿つて更にその途中迄下降して行くこと述べられている。この時波形の上ではパルス性のバーストが発生するわけであるが、一つのバーストを構成する個々の顕著なパルスは全く無秩序に出現するものである。<sup>(10)</sup> 故に結合ストリーマー先端が二次的負電荷集積部に達する瞬間を考えると、上方へ向つて複雑な枝分れをしていると思われる結合ストリーマーの各枝先へ向つて上方の負の電荷集積部から走り下る多数の無秩序に相前後して現れる負のストリーマーがバーストを構成する個々の負のパルスを発生する事になるであろう。然し逆に結合ストリーマーの先端部を包んでいられると考えられるコロナ領域から上方の負の電荷集積部へ向つて無秩序な正のストリーマー群が発生しても同じ様な性質のバーストを形成する筈である。いずれにしても結合ストリーマー過程に相当する静電界緩変化に10ms程度の間隔を置いて現れるパルス性のバーストは結合ストリーマー先端からその内部へ向つて走り下る負のストリーマー群か、又は結合ストリーマーの先端部から外へ向つて走り上る正のストリーマー群のいずれかによつて生ずるものであるから、観測距離が適当であれば第一先駆の階段ストリーマーによるパルスと同じ性質のパルスであるべきであるが、この点は更に今後確かめて見たい。これに対し雲の放電の場合は非常に斜ではあるが上側正、下側負の2電極間の放電と考える事が出来るから<sup>(12)</sup> 多重対地放電の結合ストリーマーの場合の様に上側負、下側正の電極間の放電の場合とは逆である。又対地放電の場合は正負の両電極は対等でなく点对平面電極間の放電と考えられるのに対し、雲の放電や結合ストリーマー放電では正負の両電極が互に対等で球電極間隙の放電と考えてよいから、後者ではストリーマー開始電圧の低い正のストリーマーの方が負のストリーマーより発達し易いと考えられる。故に雲の放電および結合ストリーマー放



電の場合はいずれも正の電極からストリーマーが負電極へ向つて伸びると考えると、これら二つの放電では正負の電極の位置が入れ交つているから正のストリーマーの進行方向は互に逆で雲の放電では下向き、結合ストリーマーでは上向きになっている。従つて雲の放電の波形に乗つて現れるパルス性のバーストは結合ストリーマーのそれと比較すると観測距離が適当であれば極性が逆になる筈である。第3表および第4表が示す結果はこの点を支持するもので、観測事実も対地放電の第一先駆では下降負ストリーマーに相当してパルスは正、雲の放電では下降正ストリーマーに相当してパルスは負の符号のものが多し事を示している。その他雲の放電の構造としては雲頂部の正電荷と雲底部の負電荷の間で球状電極間に相当したコロナ放電を主体とした放電を起し、その持続期間中の所々で主として正のストリーマーのバーストが正の電極から走り下る場合も可能と思われる。(13) 又その他に考えられる雲の放電の構造としては雲底の負電荷がその附近に出現した正空間電荷の影響を受けて放電開始が促進せられ(9) これを、きつかけとして負極性の階段状先駆が雲底から上昇する場合は考えられる。然しわれわれの波形連続記録の示す所によると階段状先駆を伴う雲の放電は雲の放電全体の記録の1~2割程度に過ぎず、又その微細構造を解析し得た雲の放電の波形の階段パルスの符号についての統計は第5表の様であつて、この場合は全記録波形数7箇中正のパルスを持つ

第5表 雲の放電の階段状先駆に現われるパルスの符号

パルスの符号	+	-	?
放電点距離			
100—150km以内の放電記録数	5	0	2

ものは5箇であるのに対し負のパルスを持つものは全く認められない。このことは雲の放電における階段状先駆は統計的に考えると上昇するものは非常に少く、ほとんど全部下降することを示すものと考えてよい。従つて階段状先駆を伴う雲の放電は元来少数であるが、若し起つてもそれは大部分下方へ向つて伸びる先端が大地迄達しない空気中放電である様に思われるが、この点は将来更に確認したいと考えてある。又緩慢な雲の放電を正負の球電極間を結んで走る正極性のストリーマーであると考えるとその進行速度は $2\sim 3 \times 10^9 \text{cm/sec}$ となり負のストリーマーの進行速度 $1.5 \times 10^7 \text{cm/sec}$ より一桁遅いが、この傾向はスパーク放電に関する室内実験で得られた結果と正に反対で、室

内実験の場合は正のストリーマーは負のストリーマーより進行速度が大きい(13)。この様に雷雲内においては正のストリーマーの進行速度が著しく遅い理由は現在の所よくわからないが、雷雲内に考えられる長大なスパークの間隙には或る濃度の易動度の低い正負のイオンや中性の hydrometeor が充満している事がその主な原因を構成する様に思われる。

## VI. 正の空間電荷部の鉛直方向分布

$\beta$ 型先駆は雲底部に正の空間電荷の集積領域が存在する事によつて非常に発生し易くなる。故に、対地放電の第一先駆波形の上で $\beta$ 型先駆の変化が現れ、パルスの振幅が著しく減少している期間 $t_a$ を先駆波形上で測定し、その時の先駆の進行速度 $V_a$ を適宜に与えると空間電荷集積部の高度は $H = \alpha t_a V_a$ から求める事が出来る。但し $\alpha$ は放電路が鉛直でないことに対する統計的補正係数で通常 $1/\alpha = 1.3$ である。(14) そこで今 $V_a = 1.5 \times 10^7 \text{cm/sec}$ 。(3) としてHの出現数の統計をとつて見ると第6表の様になる。これからわかる様に空間

第6表 空間電荷集積部の高度分布

H	記録波形数	H	記録波形数	H	記録波形数
0~0.1km	0	0.80~0.90	1	1.60~1.70	2
0.1~0.25	0	0.90~1.05	1	1.70~1.85	2
0.25~0.35	1	1.05~1.15	1	1.85~1.95	0
0.35~0.45	2	1.15~1.25	4	1.95~2.10	0
0.45~0.60	3	1.25~1.40	0	2.10~2.20	2
0.60~0.70	5	1.40~1.50	5	2.20~2.30	0
0.70~0.80	1	1.50~1.60	3	2.30~2.40	0

電荷集積部の最も存在し易い高度は観測を行つた雷について二つ存在していた事が認められ、それらは夫々地上0.4~0.8kmおよび1.1~1.5km位であつたことがわかる。前橋地方の雷雲の雲底は目視観測によると約1km内外と思われる。又他方第5表を作製する為に用いた波形はいずれも静電界成分が顕著に認められる前橋地方の雷雨の際記録されたものを選んであるから資料の大部分は観測地点から50km位より近距離の放電であると考えられる。従つて低い方の空間電荷集積領域は明らかに雲底と大地の間、高い方は雲底より僅か上の所に存在する事がわかる。これは雷雲の雲底に存在する正の空間電荷集積領域が地表面に散在する突起物から正の先端放電によつて生ずる正のイオンの集積によつて生ずるものである事を支持していると解釈してよいであろう。(15)

## Ⅶ. 結 び

以上をまとめると次の様になる：

(1)  $\alpha$ 型と $\beta$ 型の階段状先駆の区別は先駆波形に現れるパルスの有様によつて、これを行うことが出来るが、前橋を中心とした約200~300km以内の雷放電については $\beta$ 型の先駆を持つ対地放電の現れる場合は観測される対地放電の中約80%を占めるが、明瞭な $\alpha$ 型を持つ対地放電は約10%に過ぎない。これは前回得られた観測結果とよく一致している。(13) 又これは従来本邦において明瞭な $\alpha$ 型階段状先駆を記録し得なかつた主な原因の一つをなすものである。

(2) 雷雲の雲底部に正の空間電荷が存在すると $\beta$ 型先駆放電が起り易くなる。然し顕著な空間電荷が存在する事が確認される様な場合で $\alpha$ 型先駆の起る場合もある事がわかつた。

(3) 統計的に考えると対地放電の第一先駆の初期部で放電がまだ雲底を出切らない時期においては $\alpha$ 型も $\beta$ 型も大体同じ様な性質のパルス系列を持ち、階段ストリーマーに相当するパルスの間隔は一般に長く100 $\mu$ s位もあるが、放電が雲底へ向つて進むにつれてこの間隔は次第に縮まり雲底の境界ではその変化が特に急激で放電が雲底を出切つて了うとパルス間隔は50 $\mu$ s位の正常な値になる。先駆のこの辺の部分(初期部)では $\alpha$ 型と $\beta$ 型とでパルス間隔の分布はそれ程著しい相違を示すことはない。

(4) 階段ストリーマーの様な負のストリーマーが鉛直下降する時発射されるパルス性電波は放電高度に比較して充分遠方で観測すると正の微分型パルスとして記録される。これに対し同様な距離で観測された雲の放電の波形の場合は、観測された全部の雲の放電の波形の中55~65%が負のパルス性バーストを持つ波形であつて距離如何に無関係であつた。これは雲の放電においては無秩序に発生する負のストリーマーが上昇するか又は同様な性質の正のストリーマーが下降するものが多いことを意味し、更に又多重対地放電の各雷撃休止間に現れる結合ストリーマーの場合にはこれとは逆に正のパルスのバーストを持つものが多い事が期待される。

(5)  $\beta$ 型先駆の波形から推定される正の空間電荷集積領域の最も存在し易い高度は、統計的に云つて地上約1.3kmの丁度雷雲の雲底より少し高い所および雲底より少し降つた0.6km位の所の二つで、これは地表面に散在する突起物からの正の先端放電によつて空气中に生じた正のイオンの集積によつて空間電荷が生ずる事を示すものである。

終りに臨み本研究について終始御指導を賜つた金原所長に厚く御礼を申し上げる次第である。

## 引 用 文 献

- (1) 著者：電力気象彙報, No. 16, 12 (1956)
- (2) 吉田：学振第9特別委員会  
第1分科会研究報告(昭16)
- (3) Schonland B. F. J. : Handbuch d. Phys.  
Bd. 22 (1956)
- (4) Schonland B. F. J., D. B. Hodges and. H.  
Collens : Proc. Roy. Soc. A, 166, 56. (1938)
- (5) 北川：雷研会誌, 3, No. 6. 22. (昭30)
- (6) 北川：電力気象雷研報告資料(昭31)
- (7) Schonland B. F. J. : Proc. Roy. Soc. A, 220,  
25 (1953)
- (8) Meek J. M. : Phys. Rev. 55, 972 (1939)
- (9) 著者：空研報告, 4, 75 (1953)
- (10) 著者：空研報告, 5, 19 (1954)
- (11) 北川：電力気象彙報, No16, 5 (1956)
- (12) Workman E. J. and. R. E. Holzer : Technical  
Notes National Advisory Convmittee. for  
Aeronautics. No. 850, July (1942)
- (13) 著者：空研報告, 6, 1 (1956)
- (14) Malan D. J. and B. F. J. Schonland : Proc.  
Ray. Soc. A, 207, 158 (1951)
- (15) Malan D. J. : Ann. d. Geophys., 8, 385 (1952)