

# 雷観測記録装置の研究 V

試験観測結果(1954年夏期)

石川晴治 鎌田哲夫 高木増美

## I. ま え が き

雷雲の発生からその衰弱に到る雷の1代の間にかかる空中放電が雷雲の発達各段階においてどのような有様を呈するかと云う問題は、単に空電発生機構を考える上から大切であるのみならず、発雷状況の迅速適確な判断やその予知に適した雷の気象学的観測の補助として実際役立つ簡易な記録装置を試作する上から云ってもまた興味深い所である。この観点から我々は各種地球電磁気学的記録装置を試作し(1, 2, 3, 4)昨夏もこれらを用いて雷の同時協同試験観測を行い、個々の雷放電の発生する有様を調べこれによって各試作装置の性能を検討すると同時に、特にその成果の活用留意し雷の気象学的観測の補助として実際に役立つと思われる各種記録装置についてその実用価値を調べた。次に昨夏前橋における試験観測に使用した各種記録装置を掲げておく。

近接雷放電に伴う空電波形記録装置(非平衡増幅型及び平衡増幅型)	2台
近接雷放電に伴う同調型空電平均強度記録装置(28 KC 同調型)	1台
無方位同調型雷放電計数器(100 KC 及び8.15 MC 同調型)	2台
自記回転型静電界強度記録装置	1台
レンズ回転式雷光解析写真装置	2台

## II. 試験観測結果

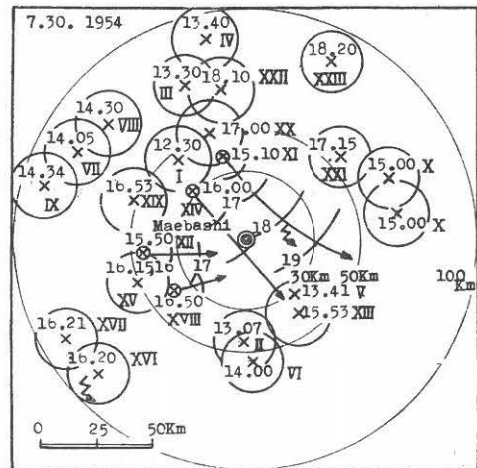
昨夏は30日間の観測期間中を通して発雷報告のない日が6日あり他は観測点を中心に半径100 km以内でも大なり小なり発雷があった。これに対して無方位雷放電計数器及び空電平均強度記録装置は発雷のあった日時には例外なく皆何等かの指示を与えて居り、装置の調整が大体適当であったことが判明した。これ等の資料を逐一説明することは、いたずらに同じ様な説明を繰り返す結果となる恐れがあるので、出来る丈多種の記録装置により互に対応性のある同時観測を行い得た数日の記録を選んで述べることにする。

### 7月30日 界雷(中)

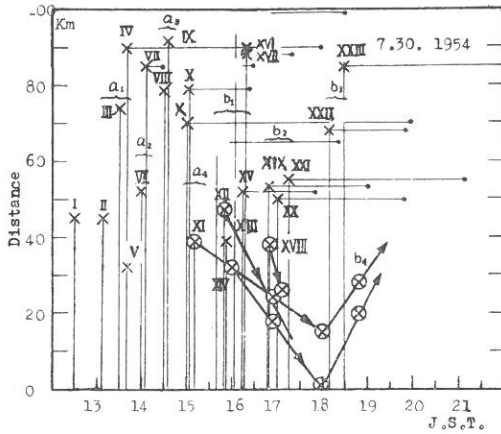
昨夏の観測は1953年夏期に実施した予備的な観測

の結果<sup>(1)</sup>に基づき観測点を中心として出来る丈半径約100 km以内の雷活動丈を取り出して把握するために、雷放電計数器自体の利得を連続波で較正して60 dbに限定し、連続波の受信強度100 db、すなわち0.1 V/m以上の入力(0 db = 1  $\mu$ V/mとする)に対して計数しうる如く調整し実地に用いたが、実際に観測結果を全般的に検討して見ると大体上記の距離の制限を満足していることが判明した。従ってこの日の雷は千島の低気圧から南西にのび本州、瀬戸内海、北九州を通過していた寒冷前線がゆっくり南下したためこの前線に沿って各地に発生した中程度の強度の界雷であるにも拘らず、観測点を中心として半径約100 km以内の雷活動のみを取り出して考えることにする。第1図はこの様にして得られたこの日の雷雨発生図で各雷には発生時刻順に番号を付けてある。(尚この資料は中央気象台予報課作製の東京管区雷雨発生報告図に依ったものである。)更に発雷の時刻と発雷地点迄の距離の関係を見易くする為に第2図に発雷時刻対距離のグラフを示した。図中×印は停止雷、⊗印は移動雷、アフリヤ数字は発生時刻、ローマ数字は発生順位、特に移動雷に対しては曲線を以てその在続期間中の距離変化の様を夫々示した。第1図及び第2図をながめて見ると、先づ発生時刻別に大別して第2図に示した様

第1図 前橋地方雷雨発生図(7月30日)



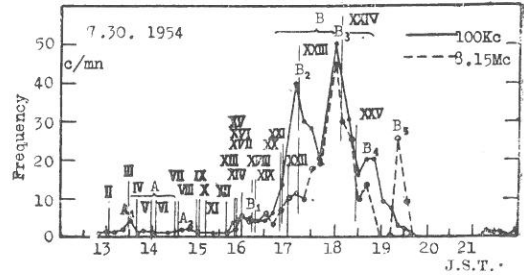
第2図 発雷時刻と発雷距離の関係



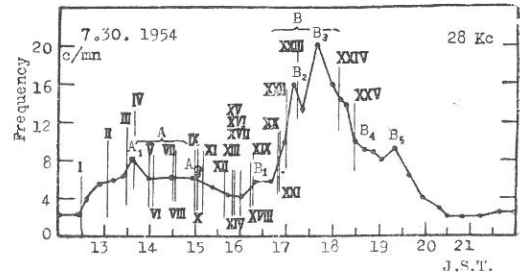
な七つの雷群に分けて考えられる。これらを順次  $a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, b_3$  とする。又各雷群の発雷地点迄の距離的分布模様を見ると 30~60 km に発生したものと 60~100 km に発生したものとより成り立っていることがわかる。従ってこの日の雷を上記の如き観点から考察して見よう。

同調型雷放電計数器 (100 KC, 8.15 MC) 及び同調型空電平均強度記録装置 (28 KC) の記録から得られた適当に定められた制限レベル以上の強度を持つ雷放電の出現頻度の変化を夫々第3図及び第4図に示した。第3図中実線は 100 KC, 点線は 8.15 MC に対するものである。この日の雷活動の様態を空電平均強度記録装置により出現頻度の変化から推定すると, 8.30 J.S.T. から 12.00 J.S.T. 迄は連続波で置き換えた場合 0.003 V/m に相当する振幅(以下同様の表現を用いるがこの場合この論文に記載されている 28 KC, 100 KC, 8.15 MC の各同調型空電記録装置に関する電界強度は真の空電パルス中に含まれている各周波数成分を持つそれを表現するものではなく, 空電パルスを連続波で置き換えた場合前の記録器の指示と同じ指示を与える為に必要な連続波の振幅をあらわすものである。)以下の小さい空電の出現に限られていたものが 12.30 J.S.T. 附近より一定値(連続波による場合の電界強度に換算して約 0.01 V/m)以上の振幅をもつと思われる空電が受信され始め, 17.00 J.S.T. から 18.30 J.S.T. の間で最大に達し 0.1 V/m 位の強度のものが受信されたが, その後次第に強度が弱まり 20.00 J.S.T. に到って振幅はすべて 0.003 V/m 以下のもののみとなっている。第4図には振幅が 0.01 V/m 以上に増大し始めた時刻附近より 0.003 V/m 以下と云う午前中の低いレベルに復帰した 20 時附近迄を画いてある。さて第4図を見る

第3図 雷放電頻度の変化 (100 KC, 8.15 MC)



第4図 雷放電頻度の変化 (28 KC)



と上記の振幅の増大した時間の中で更に 12.00 J.S.T. から 15.00 J.S.T. に互る山, 15.50 J.S.T. 附近より 19.30 J.S.T. に互る大きな山と云う二つの山型変化が認められる。そこでこれ等を夫々 A 及び B 山型変化と名付けて考察することとする。

山型変化 A 部。この部分は先に第2図で考えた雷群の内  $a_1, a_2, a_3, a_4$  の四つの群に対応しているが, これらを構成する雷はいずれも停止雷で発雷地点迄の距離は 30~100 km である。この山型変化の特徴は出現頻度の時間的分布の様態が大體同様であった点で, 13.30 J.S.T. 附近で 10~20 分位の間やや頻度が増加し  $A_1$  と云うピークを, 又 14.30 J.S.T.~14.50 J.S.T. に僅かの頻度の増加が隆起  $A_3$  を形成しているに過ぎない。このことからこの時刻に発生した雷は弱いものであることが察知出来る。それは第3図に見られるように発雷数が多い割合に頻度の上昇が少いことも合せて考えると 100 KC 及び 8.15 MC 成分では 0.1 V/m 以上の強度の空電の到達頻度が少いことを意味するからである。頻度曲線のピーク  $A_1$  は雷群  $a_1$  によると考えられるが特に 30 km の距離に発生した停止雷 V により, 割合ははっきりしたピークとなったものであることは第3図及び第4図から推定出来る。又隆起  $A_3$  は雷群  $a_3$  によるものと見るべきであろう。今一つ考えるべきことは雷雨予報と云う面からすれば雷群  $a_1, a_2, a_3, a_4$  の雷活動は一つの雷群中での各雷の発生時間間隔がすべて 10 分以内の差で起っており, 更に各

群間の発生時間間隔は夫々 20~30 分位で次々と発生しているからこれ等は発生時刻的に考えて各々に孤立した雷活動群と考えると、無方位の雷放電計数器では今迄の経験に依ると孤立した 4 個のピークを示しそうに思われる。しかるに判然とした頻度曲線のピークは全く存在せず僅かにピーク  $A_1$  をかろうじて認めうるに過ぎないのは主として各停止雷の存続時間がまちまちであるため、発生時刻的に見て孤立していると考えた雷群が事実上は波状的活動を繰返して 20~30 分程度の時間間隔では実際は孤立していると思ふし得ない状態にあった為であろう。それに加えて受信距離を 100 km 以内に制限する様にしてあるので或は制限レベルが高きに失し頻度が極端に減少し、その結果頻度曲線が却って不規則となり雷活動の様相を良好に指示さなくなったのも又その他の一つの原因を成していると思われる。従って頻度曲線から雷活動の状況を知り雷雨予報の面に役立せると云う見地からすれば、記録装置の制限レベルを慎重に選定しなければならないことの重要性がわかる。

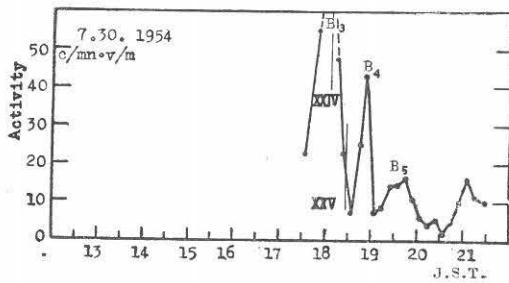
山型変化  $B$  部. この部分は第 2 図に示した雷群  $b_1, b_2, b_3$  に対応している。これ等雷群の発雷地点迄の距離は  $A$  部と同様いずれも 30~100 km の間にあるが、雷群  $b_1$  中に二つの移動雷、雷群  $b_2$  中に一つの移動雷が含まれており、これ等の移動雷はすべて観測点に向って移動し、その内 XIV の移動雷は前橋上を通過している。さてこれに対する頻度曲線の部分は  $B_1, B_2, B_3 \sim B_5$  の五つの顕著なピークを示しているが、次にこれらを一括して  $B$  部とした理由を述べる。先ず  $B_1$  のピークは雷群  $b_1$  に対応するものと考え。この場合発雷地点迄の距離的の分布状況は第 2 図からわかる様に  $A$  部における雷群のものと大差はない。しかるに  $b_1$  部全般に渉る頻度については  $A$  部よりも一般的に高率を示している。このことは仮に雷活動の規模に大差が無かったものと仮定すると雷群  $b_1$  に含まれた発雷数は停止雷 7、移動雷 3 であって頻度曲線の  $A$  部に対応しているいずれの雷群に含まれる発雷数よりも発雷数の多いことによるものと考えるのが妥当であろう。もし実状が上記の仮定が成立しないものであった場合には、次の様な二つの場合が考えられる。すなわち第一は雷活動が  $A$  部に対応する雷群より強い場合で、この時は問題は更に簡単になる。これに対して第二の場合は雷活動規模が小さい場合でこの時は上述の如く発雷数のみで頻度曲線を説明することは危険性が多く、更に移動雷が距離的に 30 km 以内に接近しつつある点も考慮に入れ、 $B$  部においては  $A$  部におけるよりも頻度が顕著に増加し、大きなピークを

示したものと解釈すべきであろう。従って孰れの場合でもピーク  $B_1$  が  $A$  部の場合に比べて発雷地点迄の距離が同程度であるにも拘らず頻度が全般的に高くなりうる可能性は大きいと考えてよさそうである。しかして雷雨観測網による目視観測の結果によると  $a$  群中の雷と  $b$  群中の雷は規模的に大差がなかったと云う報告があり、従って雷群  $b_1$  に含まれる発雷数が多かったことが  $A$  部におけるレベルより著しく高いレベルを指示させた原因であると考えるのが最も妥当の様に思われる。次に雷群  $b_2$  及び  $b_3$  について考えて見ると、これらの群に含まれる雷の発生地点の分布は 30 km 以内に接近して活動した移動雷 XI, XII, XIV, XVIII を除いて考えると、雷群  $a_1 \sim a_4, b_1$  の場合と大体似た様なものとなっている。従って雷群  $b_2, b_3$  に含まれる停止雷 XX, XXI, XXII, XXIII 等が雷群  $a_1 \sim a_4, b_1$  に含まれる個々の雷の活動に比して格段に強烈なものでない限り前例の  $A$  部及びピーク  $B_1$  で示された程度の頻度変化しか与えないであろう。この点は雷雨報告図作製の資料となる目視観測の結果によると雷群  $b_2, b_3$  に含まれる停止雷が雷群  $a_1 \sim a_4, b_1$  に含まれる個々の雷の活動に比べて強烈であったと云う報告はなく、殆ど同程度或はそれ以下のものさえあると云う報告からも裏付けられる。従って 17.00 J.S.T. 附近から 19.00 J.S.T. 附近にかけて見られる頻度の著しい増大は移動雷 XI, XII, XIV, XVIII の接近によるものと断定出来る。しかしてその間に現われているピーク  $B_2, B_3, B_4, B_5$  は移動雷を構成する各雷活動の中心の活動が間接的であることを示すものであり、かつその高さの変化は大略の活動の烈しさの程度を表わすことを示す様に思われる。かかる傾向は 1953 年度の観測においてもすでに経験した所であるが、この点については後で述べることとする。又雷活動域が観測点より 30 km 以内の距離にある場合は受信周波数に関係なく著しいピークを表わすこと。そのピークの出現時刻も測定誤差以内で各周波数共完全に一致することがわかる。更に詳細に 100 KC の頻度と 8.15 MC の頻度とを比較して見ると移動雷が 20 km に接近した 17.30 J.S.T. から 18.50 J.S.T. の間は殆ど同率の頻度増加を与えているが、20 km より遠方へ退去した時刻における 8.15 MC の指示は判然とした減少を示している。このことは明らかに空電電波の伝播時の減衰に左右されていることを示すものと云えよう。

さてすでに雷放電の出現頻度曲線のピークの高さの変化が大略の雷活動の強さの程度を表わすらしいと云うことを述べたが、この推論を確める一つの手段とし

てこの期間内に同時に撮影された空電波形より求めた各 10 分区間内における平均振幅とその出現頻度との積を求め、これをその時間区間の単位時間内に起った雷放電に伴って放射される個々の放射電界強度の総和に比例する量と考え、一種の雷放電活動の烈しさの目安に用いて見ることにする。今この量を仮に雷活動強度と呼ぶこととしその時間的変化を求めて見ると第 5 図が得られる。図中  $B_3, B_4$  は夫々第 3 図及び第 4 図の記号に対応したピークを表わす。これによると前述の推論が大体妥当であることがわかる様になる。

第 5 図 雷活動強度の変化 (7 月 30 日)

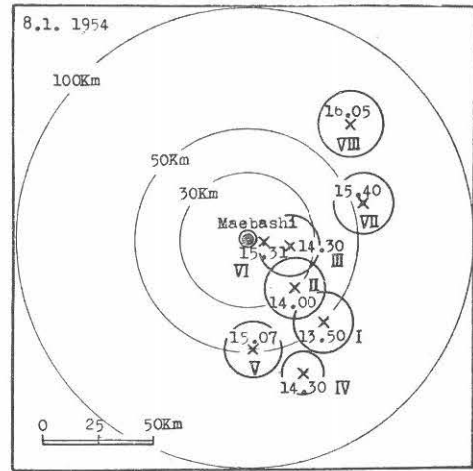


次に第 3, 4, 5 図のピーク  $B_3$  に対しては移動雷 XI 及び XV の雷活動以外にはこれに対応するものがない。それ故このピークは明らかにこの移動雷 XI 及び XV によって生じたものである。これら移動雷はこの時刻には観測点から約 30 km の距離にあり次第に退去し、且衰弱して行きつあった様であるが、その地点で再び若返ったものと思われる。このことは 28 KC 及び 8.15 MC の記録には判然と現われているのに対し 100 KC の記録にはこれが認められないのは 100 KC 記録器の故障によるものである。

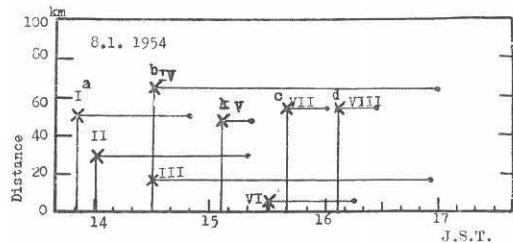
8 月 1 日 熱的昇雷 (弱)

この日の雷は本邦全般が太平洋高気圧と大陸高気圧の間の前線帯に入っており、地上の日射により午後各地で発雷を見たが強度は弱くあまり発達しなかった。第 6 図にこの日の雷雨発生図を、第 7 図に発雷の時刻とその地点の距離の関係を示した。更に第 8 図には 100 KC 及び 8.15 MC に対する雷放電頻度の変化、第 9 図には 28 KC に対する雷放電頻度の変化、第 10 図には雷活動強度の変化を夫々示した。図の記号等はすべて 7 月 30 日のものと同じである。この日の雷は第 7 図からわかる様に互に孤立した五つの雷群から成り立っている様である。しかも発雷地点は半径 100 km 以内に限ると 5~60 km の範囲に散在するが、第 7 図の a, b, c, d の各雷群に対応しては 100 KC 及び 8.15 MC の頻度も 28 KC による頻度も判然としたピーク

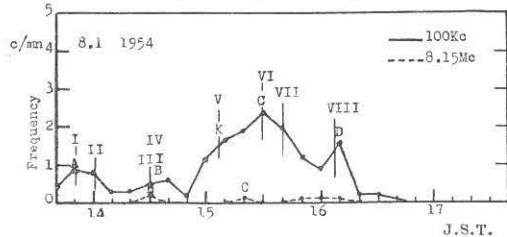
第 6 図 前橋地方雷雨発生図 (8 月 1 日)



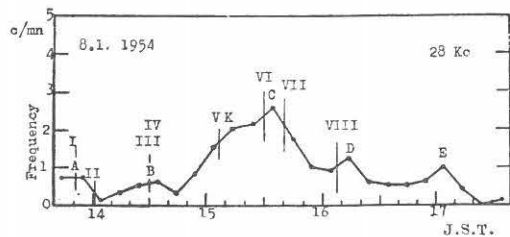
第 7 図 発雷時刻と発雷距離の関係



第 8 図 雷放電頻度の変化 (100 KC, 8.15 MC)

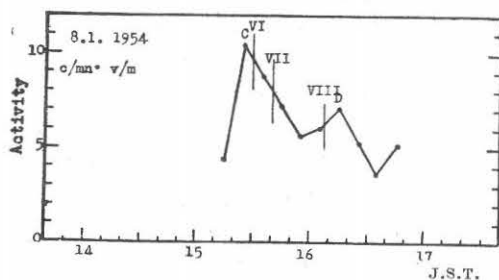


第 9 図 雷放電頻度の変化 (28 KC)



を指示しており、7 月 30 日の例で述べた結果によるとこれ等の四つの群は判然と互に孤立した雷活動を起したことがわかる。然るに第 7 図の雷群  $k$  に対しては頻度曲線は判然としたピークを示していない。その上こ

第10図 雷活動強度の変化

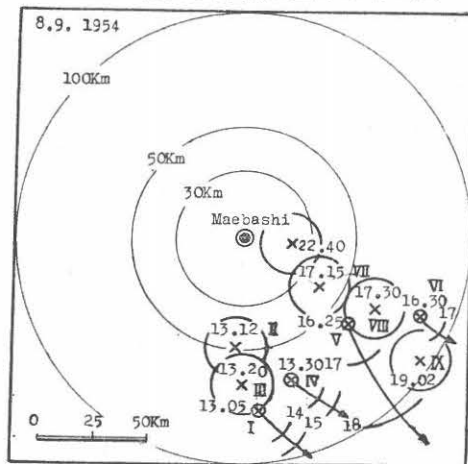


の時刻には雷群 *b* 以外に発雷の報告がないにも拘らず空電の振幅も又その頻度もピークはないが、全体として割合高い値を示している。これは雷雨報告によると雷群 *b* の活動はその持続時間が長く、従って III 及び IV の発雷地点における雷活動は 15.00 J.S.T. 附近において再び活発化し、且つその強度が 14.30 J.S.T. の発雷時より強かった為に雷群 *b* によるピークが判然と現われなかったものと見るべきであろう。これは数個の雷活動が重なり合ったため全般的の頻度の上昇を来し、個々の雷の活動が区別出来なくなった例と思われる。かかる事実は雷雨予報上への応用を考える場合無方位式記録器の持つ大きな欠陥の一つである。猶第9図の 28 KC の頻度曲線において 17.10~17.20 J.S.T. 附近にピーク *E* が現われているが、100 km 以内では全然発雷報告はなく同時刻に 120 km 附近にあった孤立雷が報告にある中では一番近い唯一のものであるので、このピークもそれによって生じたものと解釈される。この様に 28 KC の記録装置の利得が 100 KC 及び 8.15 MC のそれに比べて 5~8 db 低いにも拘らず、28 KC の記録丈に変化が現われたのは長波帯における電波の伝播が 100 KC や 8.15 MC に比してよいことを示す例と考えられる。第10図に示した雷活動強度の変化は7月30日の所でのべた第5図と同じ意味合いのものでこの場合もこの様な表示方法が大略雷活動の烈しさの程度を知る目安になり得ることを示している様に思われる。

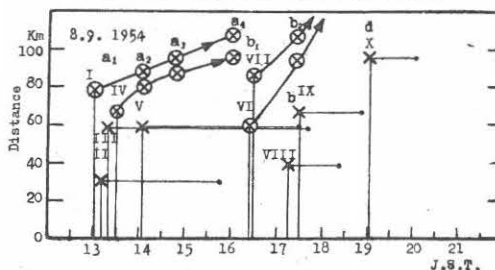
8月9日 界雷(中)

この日は三陸沖の低気圧を通して東西に伸びる停滞前線の多少の動揺によって午後に入ってから主として 60~100 km の範囲の地域に中程度の発雷を見た。第11図にはこの日同調型雷放電計数器、空電平均強度記録器及び近距離用空電波形記録装置の三者で同時記録が得られた 13.00~20.00 J.S.T. に渉る間の雷雨発生図、第12図に発雷時刻と発雷地点迄の距離の関係、第13図に 100 KC 及び 8.15 MC の雷放電頻度の変化、第14図に 28 KC の雷放電頻度の変化、第15図に雷

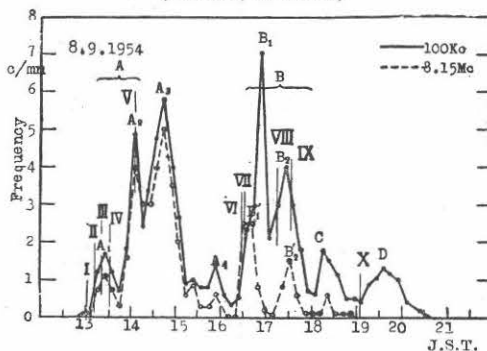
第11図 前橋地方雷雨発生図(8月9日)



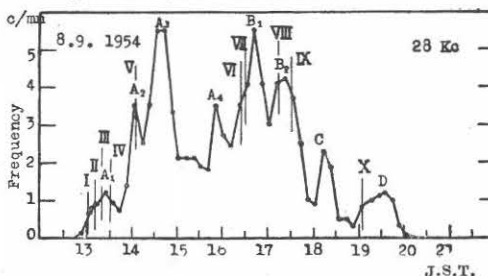
第12図 発雷時刻と発雷距離の関係



第13図 雷放電頻度の変化 (100 KC, 8.15 MC)

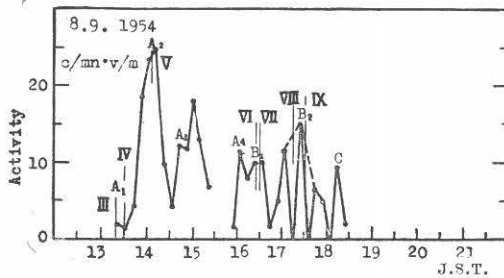


第14図 雷放電頻度の変化 (28 KC)





第15図 雷活動強度の変化



活動の強度の変化を夫々示した。図に附した記号等はすべて7月30日のものと同じである。この日の雷は半径100km以内の地域では桐生における22.40~22.50 J.S.T.の間で発生した弱雷を除けば、ここに取上げた13.00~20.00 J.S.T.の間に発生したものがある丈である。さて第11図及び第12図を見れば判明する様に、発生時刻並びに発生地域が大体一致した三つの群の雷より成り立っている。今これ等を発生順にa, b, cの群と呼ぶことにする。雷群aは三つの停止雷と二つの移動雷を含んでおり、放電頻度の変化を見ると判然とした四つのピークがこれらに対応している様子が見受けられる。次に第13図及び第14図と第15図とを比較して気付くことは、雷群aに対応する各ピークの内A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>のピークの高さの関係が第13図及び第14図と第15図とで互に逆になっていることである。このことは前述の2例の場合に触れて置いた様な頻度曲線に現われるピークの高さが或程度雷活動の烈しさを判定する尺度になりうると云う推論に合致しない例を与えるものである様に思われる。かかる例は次の雷群b中にも明らかに現われているので、この点については後でもう一度やや詳細に述べることにする。

さて雷群bは二つの移動雷と二つの停止雷より成っているが、これ等に対応する頻度の変化にはB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>なる判然とした二つのピークが起っている。この中B<sub>1</sub>は二つの移動雷のみによると見做されるし、B<sub>2</sub>は雷群b中に含まれたすべての雷活動によったものと見做される。従って頻度曲線のピークB<sub>2</sub>には停止雷VIII, IXの他に更に前述の移動雷VI, VIIのこの時刻における若返りの影響が入っている可能性もある。次にこの雷群bに対応する頻度の変化(第13, 14図)と第15図の雷活動強度の変化とを詳細に比較して見ると、ピークB<sub>1</sub>とB<sub>2</sub>の間の比高の関係が第13図及び第14図と第15図とでは互に逆になっていることが認められるが、これはすでに述べた雷群aの時見られた所である。そこでまず雷群aについて考えて見る。この群に対応する頻度曲線の顕著なピークA<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>を比較し

て見ると、第13図、第14図共頻度の上から考えるといずれもA<sub>2</sub>よりA<sub>3</sub>の方が雷活動が盛んであったことになるが、これを第15図について見るとピークA<sub>2</sub>の方がA<sub>3</sub>より高く出ている。この傾向は雷群bに対応する著しい頻度のピークB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>についても同じで、第13図及び第14図の頻度曲線の上ではピークB<sub>1</sub>の方がB<sub>2</sub>より高く出ているのに対し、第15図のこれに対応するピークではB<sub>1</sub>よりB<sub>2</sub>の方が高くなっている。このことはピークA<sub>3</sub>及びB<sub>1</sub>が現われた時刻におけるそれらピークを構成した雷放電の出現頻度が夫々A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>を構成したその出現頻度に比較して高い値を示したのに対し、同じものの振幅は逆にピークA<sub>3</sub>及びB<sub>1</sub>を構成した雷放電の方が夫々ピークA<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>を構成したそれより著しく小さかったことを意味するもので、云い換えるとピークA<sub>3</sub>及びB<sub>1</sub>の現われた時刻に観測点においては強度の弱い多数の雷放電が単位時間内に起った様に観測され、ピークA<sub>2</sub>及びB<sub>2</sub>の現われた時刻にはこれとは反対に強度は強いが数の少い雷放電が単位時間に現われた様に観測されたことになる。然し実際起りつつあった雷放電が事実観測された様な強度の強弱を持っていたか否は、観測点から発雷地点迄の距離を考慮に入れないと判定出来ない。そこでこれ等四つのピークA<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>に対応する雷群a, bの様子を第12図について調べて見ると、上記の四つのピークは夫々雷群a, bを構成する小雷群a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>に相対すると考えてよいことがわかる。更にa<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>の小雷群を比べて見るとa<sub>2</sub>の方は丁度発雷状態にあったことが確認出来るものは、移動雷I, IVと停止雷Vで停止雷II, IIIは発雷後40分以上を経過しているもので、この時刻においても尙活発に活動していたか否か疑わしく、他方小雷群a<sub>3</sub>を明らかに構成するものは移動雷I, IV丈で、停止雷II, III及びVがこの時刻においても尙活発であったか否かと云うことは、前の場合より一層疑わしいと考えられる。従って小雷群a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>を総合的に比較して見ると前者の方が発雷地点迄の距離も近く又雷活動従って個々の雷放電の規模も大きかったことが想像出来る。同様の理由で雷群bを構成する小雷群b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>についても後者の方が発雷地点迄の距離も近い上に個々の雷放電の規模も大きかったものと考えてよいだろう。従ってこのことから前記第13図、第14図及び第15図のピークを解釈して見ると、ピークA<sub>2</sub>及びB<sub>2</sub>は放電数が少いので頻度曲線の上では低く現われるが近距離の雷に関係しているため個々の受信強度は著しく大きく記録され、第15図の様な表現では却ってピークの高さ

が高く出る。これに対しピーク  $A_3$  及び  $B_1$  は距離が比較的遠い雷に関係しているので個々の受信強度は小さく記録され、第 15 図の様な表現ではその高さが低く現われるが、放電頻度については比較的広範な地域にわたる雷活動が距離に無関係に近い状態で記録されるので却って顕著なピークとなって現われることになる。この様な点から考えると放電頻度丈を測定する場合は距離の影響があまり入らないので勿論程度問題ではあるが、雷活動の規模が或程度以上大きく雷放電が相当多数相続して起る様な雷の場合には発雷地点迄の距離の遠近にあまり左右されることなく頻度曲線の山の高さから或程度確実に雷の活動状況を知ることが出来る。これに対し、放電の頻度とその強度を同時に考える測定方法では、発雷地点迄の距離の相違が可成り顕著な影響力を持つので、例えば 30 km 以内の発雷に対しては第 15 図に相当する曲線は顕著なピークを形成するが、それより遠方のものになると発雷点における個々の放電の規模は大きくとも観測点では大きな放電として記録されない様になるので、第 15 図に相当する曲線はこの影響を強く受けたと思われる、放電頻度は相当高くても却って小さいピークしか形成しないと云う結果になり、頻度曲線の様な判然としたピークを与えない。故にこの頻度と強度を同時に考える方法は原理的には距離の影響を除かぬ限り、同じ距離に発生した各雷群間の雷活動の大小しか比較し得ないわけで、距離の遠い雷活動に対しては頻度曲線と逆の関係を示す原因もここにあるわけで、簡便な雷活動測定器としては放電頻度丈を測定した方が特殊な場合を除けばより効果的であることがわかる。

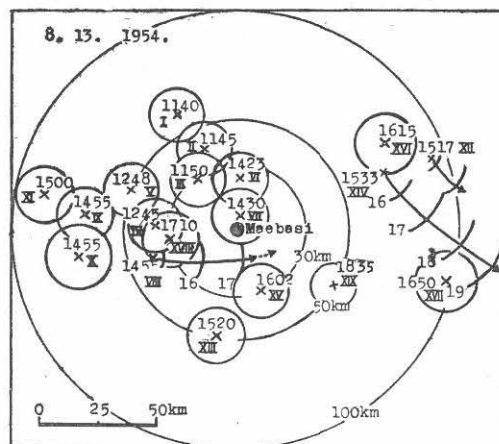
雷群  $d$  は頻度曲線にピーク  $D$  を形成する原因をなしているが、この頻度のピークの高さはそれが 100 km 位離れた地点に発生した唯一つの停止雷によって引き起されたにしては比較的高い様に見える。これは一方において雷群  $d$  自体の活動が著しく活発であったと云うことの一つの証拠を与えるものとも考えられるが、他方そのことよりもむしろピーク  $D$  が現われた時刻は 19.30 J.S.T. 頃で、すでに夜間に入り電波の伝播特性がよくなった為 100 km 附近に発生した停止雷  $X$  の影響が顕著に現われたものと解釈した方が、他のこれに相当する例から考えて妥当である様に思われる。これはかかる方式の雷活動測定機に取って避けられ難い点であって、受信範囲を昼夜を通じて一定に保つためには少なくとも昼と夜とで制限レベルを変更しなければならぬことを示す例である。次に頻度曲線に現われているピーク  $C$  に相当する時間には判然とし

た発雷の報告がないが、この日の半径 100 km 以内の地域では観測点より南東方向一帯の上層大気が不安定化していたことは、雷雨報告図の発雷地点の分布を見れば明らかであり、且又かかる判然としたピークは経験上発雷と見做してよいと思われるので、このピーク  $C$  の発現時刻が停止雷  $VIII$  及び  $IX$  の存続していたらしい時間内に含まれていることから考えて、恐らくピーク  $C$  は停止雷  $VIII$  及び  $IX$  の少くともいずれかの若返りによって惹き起されたものであると思われる。これは在来の発雷報告の方法によると一度或地点で発雷するとその終雷報告が来る迄の間を存続期間としているので、非常に長い期間雷活動が存続していたかの様に見られ勝ちである云う欠点を補うと云う点で、間接的な雷活動の若返りを一段と適切に指示した例と考えられ、停止雷等に対してより正しい報告を行うことが可能なことを示している様に思われる。

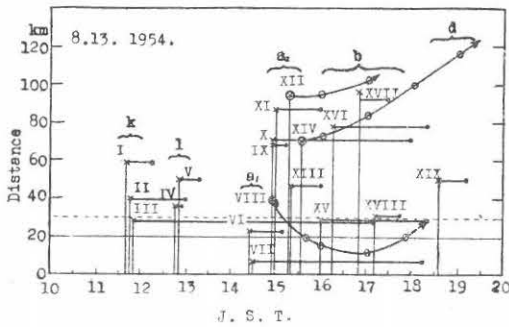
#### 8月13日 熱雷(中)

この日の雷は中程度の熱雷であって、11.30~19.00 J.S.T. に関東北部山沿いに東西に延びた帯状地域の各地点で発雷を見、西端は長野辺迄及んだ。これ等の雷の中発生時刻及び発雷距離を考え、我々のこの日の観測に関係があると思われる観測点を中心とした、半径 100 km 位の範囲内に現われた雷丈を取り出して見ると、第 15 図の様な雷雨発生図が得られる。第 16 図はこれをもとにして作製した発雷時刻と発雷距離の関係で、図に記入してある記号は前述の 7 月 30 日の場合と同じ意味合を持つ。この日は各記録装置共大体満足すべき状態で動作していたので、比較的信頼度の高い互に時間的対応のとれた記録が得られた。第 17 図に

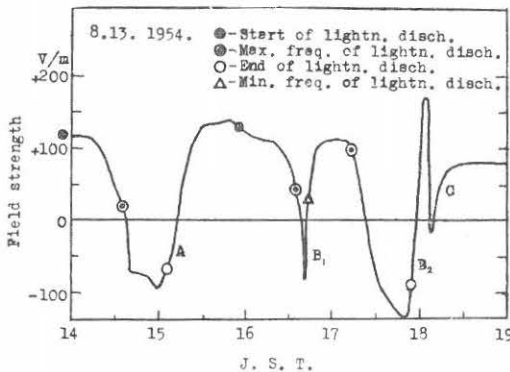
第 15 図 前橋地方雷雨発生図 (8月13日)



第16図 発雷時刻と発雷距離の関係



第17図 帯電雷雲による静電界強度緩変化 (8月13日)



はこの雷雨に際して得られた帯電雷雲の電荷の影響による静電界強度の緩変化を示してあるが、便宜上図には帯電雷雲による変化部分だけを掲げた。従って図に掲げてない時刻における静電界強度記録は帯電雷雲による緩漫な変化とか個々の雷放電によるその急激な変化とかを、その存在を確認することが出来る様な大きさで記録することは全くなく、静電界強度の静穏日の平均レベルに近い 90~110 V/m の間で、はなはだ緩漫且単純な変化をしているに過ぎない。これに対し第16図によると 11.40~11.50 J.S.T. にかけて観測点の北方約 30, 40, 60 km の3地点に夫々停止雷 I, II, III, 12.45~12.50 J.S.T. には観測点の略、西方約 35 及び 50 km の2地点に夫々停止雷 IV, V が発生しており、その上後で述べる様に 11.00~12.00 J.S.T. にかけて 28 KC, 100 KC の空電記録から得られた雷放電頻度曲線 (第19図, 第20図) はいずれも高さは低いが然し明瞭なピーク K 及び L を形成しており、これら雷雨域で起った雷放電の電磁波の影響がこの時刻我々の観測点においても尚相当活発であったことがわかる。又第16図を見ると 18.35 J.S.T. に観測点南東東約 50 km の所に停止雷 XIX, 18.00 J.S.T. から 19.00 J.S.T. 過ぎにかけて東方約 100~115 km の

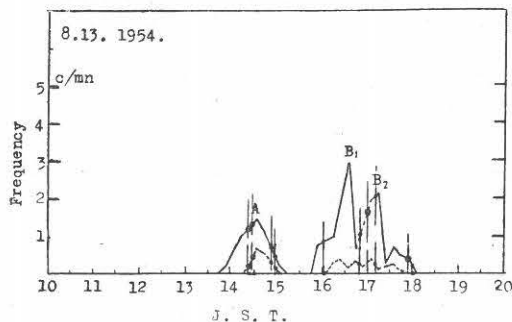
所に移動雷 XIV の末期が報告されており、これに対して 18.30~19.50 J.S.T. の間で 100 KC の記録から得られた頻度も顕著な一つのピークを示している (第20図)。これらの事実を総合して見ると観測点から 30 km 以上はなれた地点にこの時現われた程度の規模の雷雲が発生しても、我々の静電界強度記録装置では、それと認められる様な帯電雷雲の存在を示す緩変化や又個々の雷放電の存在を示す急変化を全く記録することが出来ないと云う結論が得られる。次に観測点から 30 km 以内の地点に発雷があった 14.00~18.00 J.S.T. の間について考察しよう。この時刻における静電界緩変化はすでに第17図に示した様に A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C と云う四つの谷型変化を起している。これを第16図と比較して見ると 14.00~15.20 J.S.T. に現われた谷 A は発雷時刻及び距離から考えて 14.23 J.S.T. 及び 14.30 J.S.T. に夫々観測点北方約 23 km 及び 7 km の地点に発生した停止雷 VI, VII に対応させる以外に適當なものもなく、又 15.50~18.00 J.S.T. に第17図に現われている谷 B<sub>1</sub> 及び B<sub>2</sub> は第16図からわかる通り、観測点南側地区 12~20 km の所を西から東へ動きつつあった移動雷 VIII, 観測点南方 30 km の停止雷 XV 及び観測点西方 30 km の XVIII に関係していると考えられる。然し谷 B<sub>1</sub> の現われはじめた時刻を調べると、それは 15.48 J.S.T. でこの時における移動雷 VIII の中心の位置を推定して見ると観測点南西約 18 km となる。又谷 B<sub>2</sub> の終わった時刻は約 18.00 J.S.T. でこの時刻における移動雷 VIII の位置は観測点南東約 22 km, その後の放電を伴わない小さい谷型変化 C に対応する雷雲についても後で述べる様に衰弱後の移動雷 VIII の中心の推定位置は観測点南東 29 km と云う結果になる。従ってこれらの観測結果によると静電界強度の顕著な谷型緩変化は雷雨発生図に出ている雷の中心が観測点から大略 20 km 以内に近づかないと起らないこと、雷の中心が 20 km 位の所から次第に遠のき 30 km 位の所迄移動して行くと、谷型の緩変化量は次第にその大きさを減じその変化を確認することが困難となって行くこと、及びすでに述べた様に雷雨発生図にある雷の中心が観測点から 30 km 以上離れた地点で報告されている様な場合には、一般にそうであるが停止雷の場合には特に雷雲の存在を認定することが全く出来ないことがわかる。この観点から云うと谷型変化 B<sub>1</sub> 及び B<sub>2</sub> の起っている時刻に観測点から約 30 km はなれた地点で発生した停止雷 XV 及び XVIII はその時刻における移動雷 VIII と比べると距離の上から考えて極めて小さい影響しか与え得ないこ



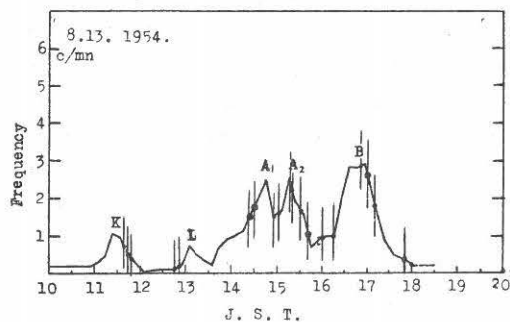
とが推定出来る。故にこれを要するに静電界の谷型緩変化  $B_1, B_2$  はいずれも移動雷 VIII に属する帯電雷雲によるものと考えらるべきである。次に第 17 図の谷  $B_2$  に引き続き現われた谷  $C$  の変化は 18.00~18.20 J.S.T. の間にあるが、その谷の深さは浅くわずか  $-20$  V/m を記録したのみで、又後で述べる様に静電界緩変化に重なって現われる雷放電により引き起される急激な変化を調べて見ても谷  $B_2$  に相当する雷放電は 18.00 J.S.T. で終わっており、その後谷  $C$  に相当する部分で放電は全く起っていないが、(第 18 図) この点移動雷が 18.00 J.S.T.迄持続しなかった様に雷雨発生図に記載されている所と符合する。この様な諸点を考え合せて見るとすでに述べた様に静電界の最後の谷型緩変化  $C$  は移動雷 VIII の衰弱後の後続部をなす単に帯電している方で、放電を全く起していない雲の接近によって引き起されたものと解釈すべきものであることがわかる。

次にこの日の各発雷に際して起った雷放電の出現頻度を考えて見る。第 18 図はすでに述べた帯電雷雲による緩慢な静電界強度変化記録(第 17 図)の上に同時に重なって現われた個々の放電に伴う静電界の急激な変化の頻度で、実線は変化量が  $6$  V/m 以上のもの、点線は  $20$  V/m 以上の大きい変化量の統計であって、雷雨発生図に記載されている発雷時刻は曲線上に縦

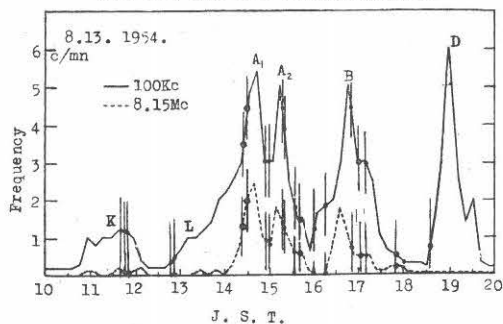
第 18 図 雷放電頻度の変化 (静電界急変化)



第 19 図 雷放電頻度の変化 (28 KC 空電記録)



第 20 図 雷放電頻度の変化 (100 KC, 8.15 MC 雷放電計数記録)



線を入れて示してある(各頻度曲線図共同記号が用いてある)。前のピーク  $A$  では両者の極大の出現時刻も一致し大体の傾向も同じであるが、後のピーク  $B$  の方は制限レベルを  $20$  V/m にあげると頻度値が極端に減少するので頻度曲線は不規則となり、これから雷活動の有様を判断するのが困難なることを明示している。従って頻度曲線から雷活動の状況を論ずる為には記録装置の制限レベルを適当に定めなければならぬことの重要性がわかるが、この点についてはすでに前に一寸触れて置いた。次に第 19 図及び第 20 図は同じくこの日の夫々  $28$  KC 同調型空電平均強度記録及び  $100$  KC と  $8.15$  MC の同調型雷放電計数記録から得られた。適当に定められた制限レベル以上の強度を持つ雷放電の頻度曲線であって、第 20 図中の実線は  $100$  KC、点線は  $8.15$  MC に対するものである。この日の発雷の有様を第 16 図について時間を追って考えると、図に示す様に  $11.40 \sim 11.50$  J.S.T. に観測点北方約  $28 \sim 59$  km に渉る 3 地点で起った停止雷 I, II, III よりなる一群(便宜上雷群  $k$  と呼ぶことにする)、 $12.45 \sim 12.48$  J.S.T. に観測点西方約  $36 \sim 51$  km の二地点に現われた停止雷 IV, V よりなる雷群  $l$ 、 $14.23 \sim 14.30$  J.S.T. に観測点北方約  $7$  km 及び  $25$  km の二地点で起った停止雷 VI, VII よりなる雷群  $a_1$ 、 $14.55 \sim 15.33$  J.S.T. の間に起った観測点南西方約  $40$  km の地点の移動雷 VIII, 観測点西方約  $70 \sim 90$  km の三地点の停止雷 IX, X, XI 観測点北東に約  $70 \sim 90$  km の二地点の移動雷 XII 及び XIV, 観測点南方  $50$  km の停止雷 XIII などを含めた雷群  $a_2$ 、 $16.00 \sim 18.00$  J.S.T. において観測点南方最短距離の地点を引き続き東進中の移動雷 VIII 及び観測点北東  $70 \sim 100$  km の所を引き続き南東へ移動中の移動雷 XII 及び XIV, 更に  $16.00$  J.S.T. に発生した観測点南方約  $30$  km の地点の停止雷 XV,  $16.15$  J.S.T. に発生した観測点北東約  $78$  km の地点の停止雷 XVI,  $16.50$  J.S.T. に発生した観

測点南東東 97 km の地点の停止雷 XVII, 17.10 J.S.T. の観測点西方約 31 km の停止雷 XVIII を含めた一群の雷 *b*, 18.00~19.30 J.S.T. の間において観測点の北東東 100 km を引続いて南東へ移動中であった移動雷 XIV と 18.35 J.S.T. に観測点南東約 50 km の地点に現われた停止雷 XIX より成る一群の雷 *d* の各群に分けて考えると都合がよい。

雷群 *k*. この群は地域的にも一つの群をなし約 10 分の間に相前後して現われており、次の雷群 *l* の発生迄の間に 55 分以上の時間に隔があるので、この雷群 *k* を構成する各停止雷の存続時間はいずれも可成長く、35 分から 6 時間半も続いた様に報告されているが、これは雷群 *k* の終わった後で相續いて発生した各雷群を構成している雷を混同して観測している様な可能性も可成り強く、実際の存続時間が報告通り長かったか否かは停止雷の時には特に甚だ疑問であることをも考え合せると、この雷群 *k* は比較的孤立し各記録の対比を割合明確に行うことが出来る。この雷群はすでに述べた様に我々の静電界記録にそれと確認出来る様な雷雲の存在を示す緩変化も又雷放電を示す急激な変化も与えなかったが (第 17 図及び第 18 図), 28 KC 及び 100 KC の各空電記録には小さいながら明瞭なピーク *K* を与えている (第 19 図及び第 20 図)。これに対し 8.15 MC の空電の記録では、これに相当するピークは更に一層小さく、かろうじてその存在が認められる程度の変化が得られているに過ぎない。このことは発電地点が 30~60 km 程度はなれると静電界の変化は緩変化急変化のいずれも観測にかからない、1 V/m 以下の値に減衰してしまい、雷放電に伴う電磁的变化はふく射電界の成分のみが優勢に残り 10~100 KC の同調型記録器に有効に記録される様な周波成分の強度の強い空電に移行して行くことを示すものである。又 8.15 MC の記録器の増幅器の利得は約 65 db, 100 KC の記録器の増幅器の利得は約 60 db で、前者の方が利得が高くその上観測時の制限レベルは両者共等しく取ってあるにも拘らず、前者 (8.15 MC) の頻度曲線のピークの方が後者 (100 KC) の頻度曲線のピークより低いと云うのはアンテナ回路における両者の減衰度の相違もあるであろうが、それよりむしろ雷放電に伴う電磁気的変化が距離 30~60 km 程度の所を伝播し空電に変化して行く際、10 MC 程度の高周波成分は 100 KC 程度の周波成分に比べて著しく減衰を受けその強が弱められ 8.15 MC のピークが低く現われると云う可能性の方が強い様に思われる。この点については後で再び触れることにする。又第 19 図及び第 20 図によると 28

KC, 100 KC, 8.15 MC の各頻度曲線はいずれも雷群 *k* の発生時刻前 40~60 分前から上昇を開始し、発雷の報告は各図に示す通りむしろこれ等のピークの終りに近い部分で行われているが、この点は 1953 年度の我々の観測結果得られた一般的傾向<sup>(4)</sup>に符合しており雷雨予報に向けた 1 例であるが、どんな雷でも必ずこの様な傾向を示すと云うわけには行かないので事情はなほ複雑である。

雷群 *l*. この群は *k* 群の発生から約 55 分を隔てた 5 分の間に地域的にも観測点の西方 36~50 km の範囲に一群をなして発生したもので、次の雷群 *a*<sub>1</sub> と 95 分の隔りがあるので存続時間も短かく、30 分以下であったことと相俟ってこれも明らかな孤立雷群をなしている。この雷も観測点から 30 km 以上の距離にあるので静電界記録には緩変化も急変化も全く現われなかった。これに対して 28 KC の空電記録にはこの雷群 *l* に相当していると思われる変化が第 19 図のピーク *L* となって現われているが、この時刻の 100 KC の空電の記録は雷群 *a*<sub>1</sub> に相当する顕著なピーク *A*<sub>1</sub> (第 20 図) の最初の昇り初めの部分で、傾斜が急になり隆起状の変化を示している事で明瞭なピークを形成することなく、又 8.15 MC の頻度記録にはそれらしいものは全く現われていない。この様に雷雨活動の中心迄の距離が 30~60 km になると 28 KC や 100 KC の空電から雷放電頻度曲線を求めると可成り明瞭な変化をしている様な場合でも、8.15 MC の空電から放電頻度曲線を求めると殆ど 0 レベルから変化しておらず何の変化も認め難いと云う傾向のあることはすでに雷群 *k* の時にも認められた所である。次に 100 KC の頻度曲線が明瞭なピークを示さなかった理由を考えて見る。この日の 100 KC 及び 28 KC の記録装置の増幅器の利得は夫々約 56 db 及び 63 db に調整してあり、アンテナ回路の減衰は夫々約 -50 db 及び -30 db であるので、アンテナの高さが前者 6 m, 後者 4 m 位であったことを考慮に入れるとアンテナ回路から記録装置の中間周波出力部迄の総合利得は、夫々推定約 10 db 及び 33 db 位となるので、いずれにしても後者の方が利得は高いことになる。然し増幅器の通過帯域幅を考えると 100 KC 及び 28 KC の記録装置のそれは夫々 ±7 KC, ±1.2 KC であるから、この点では後者の方がパルス入力に対しては利得が低下する可能性があるが、単にこれ丈の原因で上記の増幅器の総合利得の差が 20 db 以上あるのを説明することは困難な様に思われる。然るに 28 KC の記録装置の方式はピークボルトメータ式でないペン書き記録方式を用いている

ので、ペンの速応性に限度があり、連続波の入力に対しては理論で期待される通りの振れを与えるが、パルス入力に対してはその高さや幅の両方に関係した振れを与えると考えられるので、パルス幅が或程度以下になると殊にパルス高に比例しない振れを示す様になって、記録部の特性が劣化することが予想される。従って空電パルスの幅ないしその継続時間が短いと、このペン書き記録法で測定されたその電界強度は真の値より著しく低く、しかもパルス幅に強く影響されるのでその測定値は波形の性質によって非常に多様な値を与えるようになるが、いずれにしてもパルス入力に対する記録部の感度は連続波の時のそれに比較して著しく低下することは間違いない所であろう。故に第19図の28 KCの雷放電頻度曲線を求める際設けた制限レベルは連続波で較正すると0.005 mV/m位となり、第20図の100 KCの頻度曲線を求める際設けた制限レベル約0.3 V/mと比較すると36 dbの相違となり、これに上記増幅器の利得の差23 dbを加えると約60 dbの大きさの違ひとなるが、実際空電パルスの強度は28 KCの記録器の場合、増幅器の通過帯域幅、飽和特性、及びペン書き記録部の速応性等により極度の減衰を受けるので、増幅器の利得そのものは充分過ぎる位高いものであっても、非常に小さい振れしか起さないことになる。従ってもしこの様なことが実際起るとすれば28 KCの頻度曲線を求める際設けた0.005 V/mなる制限レベルは入力パルスの真の強度に引き直すと、実は100 KCの場合の制限レベル0.3 V/mを越える値であると云う場合は充分可能である。そこで念の為第19図の頻度曲線を求める時用いた制限レベル0.005 V/mを半分以下に下げて同じ資料に基いて統計を取り直して見ると、この時刻には強度の小さい空電が多数記録されているので、第19図のピークLの右側の裾が特に持ち上げられ第20図の隆起Lの様な形の変化に近づく傾向が明らかに認められる。このことから推定するに第20図の100 KCの頻度曲線の場合も28 KCの記録と比較すると、前に述べた様な理由で総合的な感度が高いので28 KCの頻度曲線と100 KCのそれを比較する時、仮に両者の利得が等しい場合に置き換えて見ると、結局後者の制限レベルが前者の制限レベルより低いことになる可能性が高いが、これは20 km以内に発雷の起った場合(雷群b)に現われた100 KC及び28 KCのピークB(夫々第20図及び第19図)の高さを比較して見ると前者は5 c/mm、後者は3 c/mmであって、100 KCの方が28 KCよりもより多くの放電を数えていることから明

瞭に推定することが出来る所である。故に前記の28 KCの制限レベルを低下させた時その頻度曲線に起った様な変化は100 KCのピークについても起っている筈で、結局記録器の感度が高いのでより小さい強度の空電迄余分に計数する結果、小さいピークLの裾の方が埋められて隆起状の頻度曲線となってしまったものと考えられる。次に頻度のピークLの出現時刻と発雷時刻を比較して見よう。ピークLの出現時刻は28 KCと100 KCで5分の差が認められるが、観測時刻の記録の精度から云っても1~2分程度の誤差はまぬがれ得ぬ所であり、又頻度の統計の取り方も10分間の区間の中に現われる雷放電の数を計数し、それから毎分当りの出現数を求めているので、これをここで用いている様な頻度曲線として表わす場合は10分間程度の時間の相違はこれを問題にすることが出来ない。従って今の場合28 KCと100 KCのピークLの頂の出現時刻は、事実上一致しているものと解釈すべである。又これらのピークLの頂は13.05~13.10 J.S.T.に出現しているがこれに対応する雷群Iは12.45~12.50 J.S.T.に発生しており、そこに少くとも15分の差があるから明らかに発雷の報告があってから後で放電の頻度が増加して行ったことがわかる。故にこの時は雷群kの時とは反対に突然雷鳴を伴う様な規模の大きい放電で雷活動が開始され、その後次第に小規模な放電に移行して行ったものと思われる。

雷群a. これは便宜上前半の小群 $a_1$ と後半の小群 $a_2$ の二つに分けて考えることにする。まづ $a_1$ は観測点北方7 km及び23 kmの2地点に地域的にも群をなし5分の間隔を置いて報告されている二つの停止雷より成っているが(第16図)、観測点からの距離が近いのでこの雷雨の影響は我々の各記録全部に著しい変化を与えた。すなわち静電界の緩変化は谷型変化Aを起し(第17図)、静電界の急変化の頻度は緩変化の谷に相当してピークAの様な変化を示し(第18図)、100 KC及び8.15 MCの各頻度曲線はこれらに相当してピーク $A_1$ の様な変化を示し(第20図)、発雷地点迄の距離が近いのでピークの高さも雷群k, lに相当するピークK, Lに比べると著しく高くなっている。この時の雷放電は第17図及び第18図を比較して見るとわかるが、第17図の静電界緩変化曲線上に黒丸で示した所、谷型変化Aの現われは始める少し前の時刻から発生しはじめ、谷Aの下降部のなかば、黒白丸で示した時刻で最も頻繁に現われ、谷Aの上昇しはじめ白丸で示した時刻で終っている。この事実は静電界の谷型緩変化Aを引き起した帯電雷雲の活動中

心で発生した雷放電がこの雷雲の進行前面側に集中的に現れ、雷雲進行の後面側では単に帯電しているだけで放電を伴わないことを裏書きしている様に思われる。この点は個々の雷放電の切っ掛けをなす雷雲下部に生ずる二次的な正の空間電荷が、雷雲の進行方向前面側に生じ易いことを指摘している Malan の主張<sup>(5)</sup>と符合している好例と考えてよいだろう。又これ等のピークや谷の現われた時刻と発雷報告のあった時刻を比較して見ると、第 17 図の静電界の緩変化では谷型変化  $A$  の下降部の途中黒白丸印をつけた所より少し前の時刻、第 18 図で云うとピーク  $A$  の頂の現われるより 5~10 分前に、又第 19 図及び第 20 図の 28 KC, 100 KC 及び 8.15 MC の頻度曲線ではいずれもピーク  $A_1$  の頻度最大を与えた時刻より 10~15 分前に発雷の報告が行われているのが認められる。又頻度曲線のピーク  $A_1$  の極大は 28 KC, 100 KC, 8.15 MC の各頻度曲線共いずれも 14.40~14.45 J.S.T. の 5 分の間に起っており、測定誤差内で一致しているので同時に起ったものと見做してよいし、又第 18 図の静電界急変化の頻度曲線のピーク  $A$  の頂の位置が 14.35 J.S.T. に現われているのと比較しても矢張り 5~10 分の差が認められるが、これも統計の誤差を考慮に入れると時間的に 28 KC, 100 KC, 8.15 MC のピーク  $A_1$  の頂と同一時刻に現われたものと考えべきである。然しこれらのピーク  $A_1$  の頂の出現時刻と発雷時刻を比べて見ると、どの場合も発雷の報告があつてから 5~15 分後で頻度の方はその頂に達しているから、この場合は統計的に見て発雷報告があつてから後で雷放電の頻度は極大に達したものと解釈される。従つてこの場合も雷群  $I$  の時と同じく雷鳴を伴う規模の大きい放電を以て雷の活動が開始され、それから次第に放電の数が増して行った例である。次に第 18 図の静電界急変化の頻度曲線ではピーク  $A$  が 14.35 J.S.T. でその頂に達してから、その後は単調に減少を続け 15.05 J.S.T. 迄に完全に 0 レベルに戻っているが、これに対し第 19 図、第 20 図の頻度曲線の方は 14.55 J.S.T. 頃より再び上昇を開始し夫々第 2 のピーク  $A_2$  を形成している。これに対応していると思われる雷群は第 16 図で  $a_2$  と印を付けた群で、この時刻には各地区で相前後して少数発雷しているので、それら各地区の雷雲で起った放電が互に重り合い一つの顕著な雷放電の頻度のピーク  $A_2$  を形成しているものと解される。すなわちこの雷群  $a_2$  の前半の部分は 14.55~15.00 J.S.T. に現われた観測点から約 40 km の地点の移動雷 VIII, 同じく 67~89 km の間の三地点に現われた停止雷 IX, X, XI より成

るが、これらは観測点からの距離がいずれも 30 km 以上あるので、我々の静電界記録に対しそれと認められる様な変化を何等与えない筈で、実際静電界の緩変化(第 17 図)を調べて見ると、この時刻における緩変化は前から引き続いて居る第一の谷型変化  $A$  の谷底から上昇をしはじめる部分に当って居るが、この部分で何か前とは異なつた別の帯電雲が踵を接して現われたと云う様な気配は全く認められないし、又静電界急変化の記録より得られた放電頻度曲線(第 18 図)を見ても、14.54~15.00 J.S.T. の所ではピーク  $A$  の終りの部分が単純に減少を続けて居る丈で、ピーク  $A$  を引き起した雷群  $a_1$  とは別な上述の雷群  $a_2$  に属する雷雲中でこの時刻に発生した雷放電が、雷群  $a_1$  に属する雷雲中で発生した雷放電に混入して、両者が同時に記録される結果、頻度曲線に何かそれとわかる様な変化が起つて居る様子は全くない。従つて静電界の急変化の頻度や又その緩変化を考えると、上に述べた雷群  $a_2$  の前半部は静電界強度記録にそれと認められる様な影響を何等与えて居ないことが推定出来る。更に雷群  $a_2$  の後半部について考えて見ると、これは 15.17~15.33 J.S.T. の間で発雷して居るが、この時刻における雷放電は静電界記録には全く何も影響を与えて居ないが、これは発雷地点がいずれも 30 km 以上はなれて居るので当然のことである。さてこの様な点を考えて来ると、第 19 図及び第 20 図の頻度曲線のピーク  $A_2$  と第 18 図に示すピーク  $A$  とは時間的に多少重なる部分があるが、これら二つのものは全く別の雷群に起因して居ることが結論出来る。その上これ等の頻度のピーク  $A_2$  は第 18 図の頻度のピーク  $B_1$  と時間的に全くはなれて居るから、これらのピーク  $A_2$  がすでに上に述べた観測点から 30 km 以上はなれた雷群  $a_2$  により引き起されたものであることは明瞭である。次に各頻度曲線のピークの頂が現われた時刻を考えて見ると、100 KC 及び 8.15 MC の記録では夫々 15.15 J.S.T. 及び 15.10 J.S.T. に起り、又他方 28 KC の記録も矢張り 15.15 J.S.T. に起つて居り、それ等の間の時間差は僅かに 5 分で、これは勿論測定誤差以内の相違である。故にこれら三つの頻度の極大は事実上同時に現われたものと考えべきである。この点はすでに述べたピーク  $A_1$  の場合と同様の傾向である。然しこれらのピーク  $A_2$  に相当する発雷の時刻を見ると雷群  $a_2$  の前半部はピーク  $A_2$  の立ち上がり始めの部分で現われ、後半部はピーク  $A_2$  の下降部に群をなして現われて居ることは明瞭で、ピーク  $A_2$  の頂はこの雷群  $a_2$  の前半部と後半部に挟まれて居る。しかしこの雷群  $a_2$



の前半部と後半部の時間的隔りを見ると 15 分位しかなく、従ってこの程度の期間なら第 16 図にも示されて居る通りピーク  $A_2$  の頂の出現した時刻に雷群  $a_2$  の前半部をなす各雷が未だ活発に活動して居たことは確実である。従って頻度のピーク  $A_2$  は主として雷群  $a_2$  の前半部をなす各雷によって引き起されたものと一応考えられるが、頻度曲線のピークの頂が現われてから後で発雷報告が行われる場合もあるので、その時間に隔りが 15 分程度しかない雷群  $a_2$  の前半部と後半部とでそのいずれが主になって頻度曲線のピーク  $A_2$  を引き起したかをきめることは出来ない。さてこの様に頻度曲線が顕著なピークを示す場合でも発雷時刻と頻度極大の時刻が雷雨迄の距離の遠近に関係なく、必ずしも一致しないことが明瞭に認められる理由を考えて見ると、雷放電に伴う電磁気学的変化から雷の活動状況を知ろうと云う場合には、例えばここで述べて居る様な雷放電の頻度を測定して居るのに対し、他方発雷を目視観測的方法から知ろうと云う場合には雷鳴、電光によってこれを判定するのであるから、この場合はむしろ個々の放電の規模の大小を問題として居ることになる。故にこれら兩者を比べるとその測定の対象及びその方法が異なるので、厳密な意味で例えば雷放電頻度の極大の出現時刻と発雷報告のある時刻は必ずしも一致するとは限らないわけである。

雷群  $b$ . この群はすでに述べた様に三つの移動雷及び四つの停止雷より成るが、観測点から発雷地点迄の距離から考えて見ると 20 km 以内の距離にあるのは移動雷 VIII のみであって、これを除いたその他のものは一番近いものでも約 30 km 以上離れて居り、すでに述べた様にかかる遠方の雷雲による静電界緩変化に対する影響は全くこれを認めることは出来ない筈であるから、この時刻に現われた静電界強度の谷型緩変化  $B_1, B_2$  は全く距離の近いこの移動雷 VIII によって引き起されたものと考え以外には方法がない。更に静電界急変化の頻度を考えても第 18 図の雷放電頻度曲線において雷群  $b$  に相当する頻度のピーク  $B_1$  の最初の昇り始めが現われ始めたのは 15.50 J.S.T. 頃で、第 17 図に谷  $B_1$  の手前に黒丸印で示した時刻であるが、この時近距離で発雷中のものは移動雷 VIII しかなく、この時刻におけるこの雷の中心の位置は観測点から約 20 km の所にあった。従って移動雷 VIII に属する雷雲で発生しつつあった雷放電は雷雨発生図にある雷の中心が観測点から約 20 km の辺迄近づいて来た時始めて静電界強度記録にそれによる変化が現われたことになる。又第 18 図によると雷放電は 17.55 J.S.T.

で終って居るが、この点は前にも述べた様に移動雷 VIII が 18.00 J.S.T. 迄存続しなかった様に報告されて居ると符合して居る。更にこの時刻における移動雷 VIII の中心の位置は観測点から 22 km 位離れて居るから結局この移動雷 VIII に属する雷雲中で起った雷放電は、雷雨発生図に報告されて居る雷の中心が観測点から大略 20 km 程度の所迄近づかないと顕著な静電界の急変化を与えないことになり、この点は帯電雷雲の移動を表す静電界緩変化と大体同じ有効範囲を持つことになる。次に静電界緩変化と急変化の時間的關係を調べて見ると、第 18 図の急変化頻度曲線の雷群  $b$  に対応する第一のピーク  $B_1$  の昇り始めは第 17 図の緩変化曲線の谷  $B_1$  の所に黒丸印で示した様に、谷型緩変化  $B_1$  の下降の始まりの部分から放電が開始され、次第にその頻度を増し下降部のなかば黒白丸印で示した所で頻度極大を示し、以後次第にその頻度を減じ、谷  $B_1$  の上昇部のなかば白三角印で示した所で極小となり、ついで第 18 図のピーク  $B_2$  の部分に入り頻度は再び増加し始め、谷  $B_2$  の下り始め黒白丸印で示した所で、第二の頻度の極大  $B_2$  に達しそれ以後頻度を次第に減じて谷型変化  $B_2$  の上昇し始めの部分に白丸印で示した所で放電は完全に終って居る。従って谷型緩変化と放電による急変化の出現する時間的關係は今の場合も一般的傾向としては、前に谷型変化  $A$  の項で見た所と同じで、雷放電の開始は谷型変化の最初の下降のし始めと大体時刻を同じくし、場合によって少し前になったり、少し後になったりして起り、それ以後雷放電の頻度は次第に増加を続け、谷型緩変化の下降の途中で頻度は極大に達し、それから先は単調に減少を続け、谷型緩変化の上昇部の途中迄に放電を終って居ることがわかる。細い点を考えると谷  $B_1$  と  $B_2$  の間では必ずしも今述べた様な関係になって居ないが、何分顕著な谷  $B_1, B_2$  が相接して現われて居るので、この場合一つ一つの谷を孤立して別々に考えることは適當でない。その様な場合静電界緩変化と急変化の時間的關係が一般的にどの様になるかと云うことは、個々の放電の性質を解析するに必要な資料が少ない現在、これを詳細に論ずることは困難であるが、或は谷型緩変化  $B_1, B_2$  で一つの雷雲の下部正電荷の影響による W 型の変化を形成するのかも知れない。然し少なくとも谷型緩変化の下降部は上昇部に比べて雷活動が活発で、放電頻度も大きいことは事実の様に思われる。従ってこの時刻に観測された移動雷には少なくとも二つの雷活動の中心が有り、その各いで第 18 図の頻度曲線のピーク  $B_1, B_2$  で示される様な放電



の活動が起ったものと解釈される。次に第 18 図の放電頻度曲線のピーク  $B_1, B_2$  を第 19 図及び第 20 図の放電頻度のピーク  $B$  と比較して見よう。これら雷群  $b$  に対応する空電頻度のピークはいずれも大略 16.00 J.S.T. から始まり 18.00 J.S.T. に終って居り、第 18 図のピーク  $B_1, B_2$  の出現時間と一致し、従って時間的に前に述べた雷群  $b$  によって引き起されたものと考えられる。空電記録の場合は静電界記録と異なり観測点からの距離が 30 km 以上になっても放電の頻度が多ければ頻度曲線はそれにより著しい変形を受ける筈である。そこでこれ等の頻度曲線のピーク  $B$  を調べて見ると、近距離放電の頻度曲線が  $B_1, B_2$  の二つのピークに分れて居るのに対し(第 18 図)、比較的遠距離の放電迄数える放電頻度曲線(第 19, 20 図)では二つのピーク  $B_1, B_2$  に対応するものが合して一つのピーク  $B$  になって居ることが明瞭に認められる。これは 16.35~17.10 J.S.T. の間で近距離の雷放電頻度が減少した期間に 80~100 km の地点で活動しつつあった移動雷 XII 及び XIV や停止雷 XVII, XVIII の中で発生した数多くの距離の離れた雷放電迄数えた為に唯近距離の雷放電迄数えた場合生じた第 18 図の頻度のピーク  $B_1, B_2$  の間の谷が埋められて了ったものに他ならぬ。頻度曲線の極大の現われた時刻は静電界急変化のピーク  $B_1$  では 16.35 J.S.T., 100 KC の頻度曲線のピーク  $B$  では 16.45 J.S.T., 8.15 MC の頻度曲線のピーク  $B$  では 16.35 J.S.T. で 3 者の間に約 10 分の違いが認められるが、これはすでに述べた通り統計の誤差以内に入る小さい違いであるから、3 者は事実上同時刻に極大に達したものと解釈してよい。又これ等同じ頻度のピーク  $B$  に相当する 28 KC のピークの頂が平になり、16.35~16.55 J.S.T. の 20 分間頻度極大の状態が続いて居る。勿論これは 100 KC, 8.15 MC 及び静電界急変化の頻度曲線のピーク  $B$  の極大と事実上同時刻に起って居るが、頂が平なのは空電平均強度記録装置の記録部の機構による誤差もありその原因は明らかでない。これ等四つのピークの頂は上記の通り結局 16.35~16.55 J.S.T. の間で起って居るわけであるが、この時刻における最も近距離の地点で引続き活動を続けて居た移動雷 VIII の観測点からの距離は 12 km 位で、この雷 VIII が最も観測点に近接して居た時期に当って居り、この点から考えても各頻度のピーク  $B$  はいずれもこの位置における雷 VIII に属する雷雲内で発生した雷放電によって引き起されたものであることがわかる。又 28 KC, 100 KC, 8.15 MC の各頻度曲線は皆夫々ピーク  $B$  の後半の下降部が前半の上

昇部より傾斜が緩くなって居り、且第 18 図の頻度曲線のピーク  $B_2$  の現われた時刻に相当して、後半の下降部に隆起状の変化が起って居るのが見受けられるが、これ等はいずれも第 18 図のピーク  $B_2$  を引き起した同じ雷放電の影響を表わして居るものと解釈すべきであろう。然し各記録ともその装置の感度とか制限レベルとか云った様な性能が必ずしも一定でないので、これ等のことを数量的に確かめることは不可能である。但し第 20 図の 100 KC と 8.15 MC の記録については、制限レベルを大体等しく取ってあるので、この点に関して頻度曲線の山の高さから測定器の感度とか、空電の周波数成分強度の伝播距離による相違とかを極く大掴みに論ずることが出来る。第 1 表は第 20 図の各雷群に対応する放電頻度曲線のピークを作る各山の平均の高さと、観測点から発雷点迄の距離の関係を 100 KC と 8.15 MC について調べたもので、

第 1 表 発雷距離と雷放電頻度曲線  
(100 KC, 8.15 MC) の山の平均の高さの比較

雷群	発雷距離 (km)	放電頻度の山の平均比高	
		100 KC	8.15 MC
$a_1$	7~23	3.5	1
$k$	29~60	7.8	1
$l$	36~50	27	1

8.15 MC の各山の平均の高さを基準にとり 1 としてある。この表を見ると発雷距離が大略 20 km 以内にあるときは 100 KC と 8.15 MC の頻度の山の平均の高さの比が 3.5 : 1 であるのに対し、発雷距離が 20 km 以上になるとその違いが大きくなり、7.8 : 1 とか 27 : 1 とか云った様な値になってくる。これはすでに一寸触れて置いた様に空電の伝播の距離が増加すると、8 MC 位の周波数成分は 100 KC 位の周波数成分に比べより早く減衰することを意味して居るものと解釈してよい。又発雷距離が 7~23 km の範囲にあり、雷光、雷鳴が観測される様な場合でも 100 KC の頻度は 8.15 MC のそれに比べて、例えば 3.5 倍も頻度の山の平均の高さが高い。この点について考えて見ると、増幅器の利得は前者 56 db, 後者 54 db で殆ど等しい(但し連続波で較正)が通過帯幅は前者  $\pm 7$  KC, 後者  $\pm 2.3$  KC (5 db 低下点で測定)であるから、この点では後者の方がパルス入力に対し利得が低くなる可能性があり、又アンテナ回路の減衰度は前者約 50 db であるのに対し、後者は測定してないのでよくわからないが、周波数が高くなると、垂直アンテナの分布容量及び分布インダクタンスによる等価インピーダンスが増加しア

ンテナコイルのインピーダンスが分布容量の為低下する傾向を生ずる場合も可能であるので、後者のアンテナ回路における減衰は前者のそれ以上であるかも知れない。垂直アンテナの実効高は計算によると、例えばアンテナの高さ 6 m のとき 100 KC に対して 2.98 m, 10 MC に対して 3.5 m でそれ程甚だしい相違は認められない。従って同一強度を持つパルスに対するこれ等の記録器の総合感度とも云うべきものは後者の方がより低いことになり、上記の頻度曲線の山の平均の高さの違いが生じたものとも考えられるが、又他方においてはたとえ距離の近い雷放電であってもそれに伴ってふく射される電磁波の周波数成分の強度は 100 KC 辺と 8 MC 辺とで比べると、前者の方が強く、後者の強度は記録器に到底感じない位、例えば高々推定 10 mV/m の程度に過ぎないと云う原因も考えられぬことはない。然し経験によると 100 KC 迄一様な増幅度を持つ空電波形記録装置で記録された波形を測定した結果では、上記の様に雷放電地点が近距離にある場合は、空電の振幅は 100 KC 辺迄の所では高周波部分といえども少くとも 10 V/m 程度の大きさを持っているので、これから考えると放電点の距離が近いことを重要視する限り、放電に伴う空電の 8 MC 辺の周波数成分が特に弱い強度を持つと云うことは考え難いから、上記の 100 KC の頻度のピークが 8.15 MC のそれより近距離雷の場合でも常に高く出ると云うのは空電波の特性による点も多少はあるであろうが、むしろ記録装置自体の総合感度の相違による所が多い様に思われる。次に同じ周波数について発雷距離と雷放電頻度曲線の山の平均の高さの関係を調べて見たのが第 2 表であって、これによると 100 KC においても 8.15 MC においても発雷距離が著しく近く、20 km 以内の場合は放電頻度の山の平均の高さが遠距離のときと比べ多少の例外を除けば一般的に云って高くなる傾向が明瞭に認められるが、中には雷群 *d* の様に 50 km 位の所の停止雷であっても尙且相当顕著な頻度の山を形成することもあるから、単に空電の伝播の影響を考慮に入れたのでは不十分であって、発雷の強度と云う点も当

然考慮に入れて総合的に判断しなければならないことがわかる。

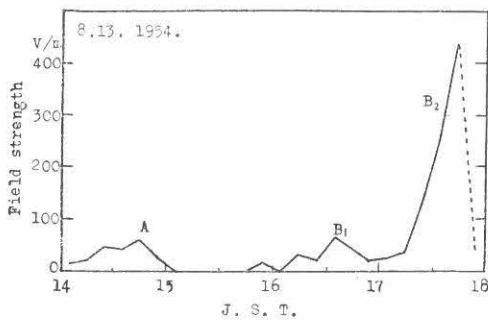
雷群 *d* この群は 18.30~19.55 J.S.T. の間に活動していた移動雷一つと停止雷一つの二つの雷雨より成っているが、発雷距離はいずれも 50 km 以上離れているので静電界記録にはそれと認められる様な変化は何も現われていない。然し第 20 図を見ると 100 KC の頻度曲線は雷群 *d* に相当した時刻に非常に顕著なピーク *D* を示している。このピーク *D* を形成している山の平均の高さは、すでに第 2 表に掲げた様に 2.0 c/mn と云う値を示し、30~60 km 離れた雷群 *k*, *l* の場合、それが 0.7~0.8 c/mn であるのと比べると著しく大きい。雷群 *d* の発雷距離は 50 km 及び 100~120 km の二つの場合しかない。ピーク *D* がその中近い方の停止雷 XIX (第 15 図) により引き起されたものと考えても、尙雷群 *k*, *l* と同程度の距離であるからすでに述べた様に発雷距離丈からこれを説明することは出来ない。又この停止雷 XIX が現われた時刻を調べると第 16 図からわかる様に 18.35~19.10 J.S.T. に涉って存続していた様に報告されているが、この位の期間であれば、停止雷の場合であってもその期間中引き続き活発に電活動が続いていると云うことは考えうるし、更に第 20 図の頻度曲線と比較して見るとピーク *D* の頂は 19.00 J.S.T. に現われているので、勿論この停止雷の活動期間に属している。従ってこの発雷の時間的關係と発雷の距離の關係を考慮に入れるとピーク *D* は距離の遠い移動雷 XIV (第 15 図) による影響も多少入るであろうが、大部分は停止雷 XIX の影響によって引き起されたものと解釈すべきである。従ってこの停止雷はピーク *D* の顕著なものと相俟って停止雷ではあるが、その規模が大きく著しく多数の放電を引き起したものと推定される。然しこの様に頻度の多い放電を起す停止雷の各放電がどの様な周波数特性を持つ空電をふく射するかと云う点については、この期間における空電波形も 28 KC 及び 8.15 MC の頻度もその記録が得られていないので全く不明である。

雷放電に伴う電磁気的変化の強度。この点についてはそれが伝播距離とともにどの位変化するものであるかと云うことは実際各種の電磁気的雷観測装置の設計をする際、しばしば必要となるので一寸触れることとする。第 21, 22 図は雷放電に伴う夫々静電界急変化及び空電の強度が時刻とともに如何様に変遷して行ったかを示すもので、図に表わした両者の強度は 10 分区間内に現われたもののもつ平均の値であって、必ず

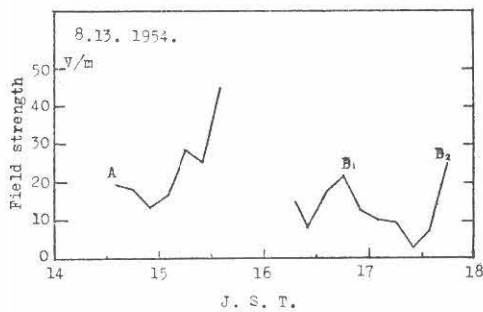
第 2 表 発雷距離と雷放電頻度曲線 (100 KC, 8.15 MC) の山の平均高

雷群	発雷距離 (km)	放電頻度の山の平均高	
		100 KC (c/mn)	8.15 MC (c/mn)
<i>a</i> <sub>1</sub>	7~23	3.4	0.96
<i>k</i>	29~60	0.8	0.11
<i>l</i>	36~50	0.7	0.03
<i>d</i>	50	2.0	—

第21図 静電界急変化平均強度の変遷



第22図 空電平均強度の変遷 (空電波形)



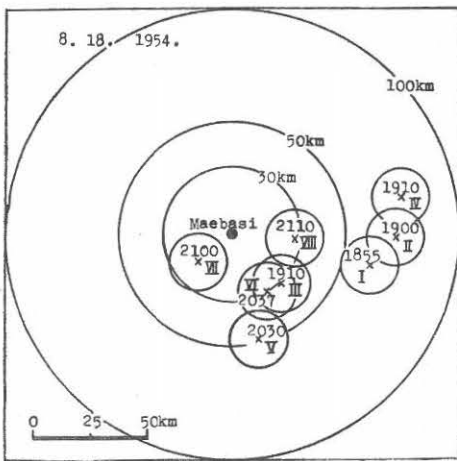
しも同じ雷放電についても両者の記録を取っているわけではないが、観測時刻は両記録とも同じである。第21図の始めのピークAは静電界の記録であるから、当然距離の近い7~25 kmの範囲に現われた雷群a1に対応するもので、雷群の発生とともに現われた放電は時間とともに次第にその強度を増し、極大値50 V/mを経て再びその強度を減じている。その強度が最大に達したのは14.45 J.S.T.頃で、放電強度が最大に達した時刻と大略一致している。これに対して空電波形から得られた空電の大掴みに云って10~100 KCの間に入る周波数成分の平均的な意味での強度は第22図のA部で示された様な経過をたどり、時刻的に考えて雷群a1から出た放電によると思われる曲線A部の前半ではその強度が14~20 V/mであるのに対し、雷群a1の影響が全く静電界記録から消え、より遠方の距離40~90 kmの範囲内にある雷雲の中で起った雷放電を記録している筈の時刻15.00 J.S.T.から後半の部分では空電源迄の距離が増大しているにも拘らず、かえって前半より強度の大きい20~50 V/mの空電を受信している。従って空電の強度は雷放電に伴うふく射電界変化丈を考える限り伝播距離が20 km以内であっても、40~90 km程度離れていてもそれに依る違いを殆ど示さず、専ら空電源における放電の有様如何に依る相違を示しているものであることがわかる。次に雷群bに

対応する時刻における静電界変化の強度は第21図の強度曲線のB部で示される如き経過をたどった。勿論第21図は静電界記録であるから、雷群bの中でも距離の近い移動雷VIIIに属する雷雲中に現われた放電の強度を表すわけであるが、この移動雷VIIIが観測点に最も近接した地区を通った時刻16.35~16.55 J.S.T.に対応して16.35 J.S.T.頃放電強度も第17図の谷型変化B1に相当して一度小さい極大値60 V/mに達し、ピークB1を形成している。これに対し第22図に示した空電の強度も約10分遅れて16.45 J.S.T.頃一度極大値20 V/mに達し、同じくピークB1を形成しているが、これもすでに述べた様に統計の誤差を考えると同じ移動雷VIIIの観測点から最短の距離における雷活動状況を示すものと解釈すべきで、距離が極く近いので各記録ともその強度を増したことになる。次に続いて第21図の曲線は17.15 J.S.T.から17.40 J.S.T.にかけて著しく急激に上昇し、高さ430 V/mのピークB2を形成しているが、これは第17図の谷型変化B2の下降部に相当するもので、この期間には谷型変化B2を起した雷活動の中心が観測点の頭上近く迄近づきつつあり、その距離が前の二つの場合と比べ極度に近かったので個々の雷放電の強度も距離の影響を著しく反映し、第21図のピークB2の様に急激にその強度を増し、20 V/mから430 V/m迄上昇して行った。他方この同じ時刻に得られた空電の平均強度の方も第22図に示す通りB2と云うピークを示し、観測点から放電点迄の距離が極端に近づくに従いその強度も増大し、2 V/mから25 V/m迄上昇して行ったが、その上昇率は12.5倍に止まり、静電界急変化のピークB2の部分の上昇率21倍に比べると小さいことがわかる。この事実は雷放電に伴う電磁気的変化を構成する各周波数成分の中、高々数KC以下の低周波の部分を形成する静電界急変化の強度は伝播距離が0~20乃至30 kmの間で変化すると、それより周波数の高い成分より成る空電波の場合に比較して極度にその影響を受けることを意味する。従って極く近距離の雷放電のみを対象とする様な電磁気的記録装置は成るべく静電界急変化成分を捕捉利用する様心掛すべきで、この意味においてこの目的に用いる記録装置の受信増幅器には極低周波迄一様に増幅する非同調広帯域のものが向いていると云える。然し距離を今少しく延ばし、例えば100 km以内の雷活動状況を知る目的の為に静電界急変化成分を切り棄てた数KCから100 KC迄の間の周波数を用いた非同調及び同調型受信方式の観測装置がその目的にかなっているわけである。

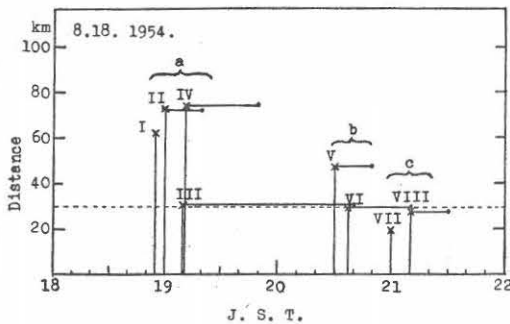
8月18日 熱雷(弱)

この日の雷はいずれも強度の弱いものばかりで従って移動性雷は皆無で停止性の雷が観測点の北東地域に散発しているに止まり、その数も少かった。その発雷の様子は第23図に、発雷時刻と発雷距離の関係は第24図に示す様であって、これを発雷時刻別に区分すると第24図に記した様に a, b, c の3つの群に分けることが出来る。これに対し静電界の緩変化及び急変化が顕著に現われたのは 20.40~21.40 J.S.T. の期間で、これに相当する雷はその発生及び存続時刻から考えて雷群 b 及び c であると考えられるが、実際静電界記録に変化を与えたと思われるものは停止雷 VI (距離 30 km), VII (距離 20 km) 及び VIII (距離 28 km) の三つ丈であって、他の雷はいずれも距離が 40 km 以上であるか又は 30 km の距離を持っていても 20.40 J.S.T. 迄に終雷して了っているので、静電界記録に変化を与える可能性はない。又 18.55~19.10 J.S.T. の間に現われた雷群 a について見ると、発雷距離 30 km の停止雷 III を含んでいるにも拘らず、各記録ともこ

第23図 前橋地方雷雨発生図(8月18日)



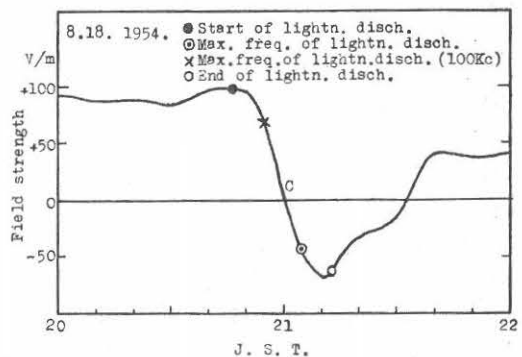
第24図 発雷時刻と発雷距離の関係



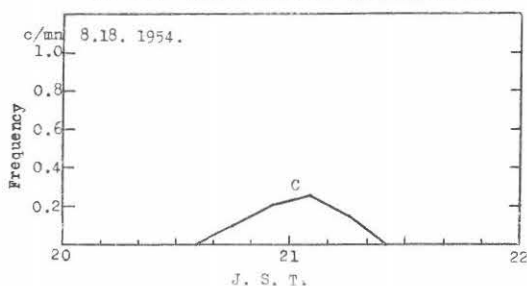
の雷群の発生を認定出来る様な変化を何等与えていないし、その上 8.15 MC は勿論 100 KC の放電頻度記録も又何等雷群 a の発生を示す様な変化を示していない。この点から考えると少くとも 100 KC 雷放電計数器でこの日得られた記録は 8月13日に得られた記録と比較して、ややその感度が低いことになる。然し雷放電頻度記録器の調整は13日と18日とで変えてないし、又この日の雷は13日のそれに比べ強度が弱い様に報告されているから、個々の雷放電の強度も小さいのが当然の様に思われるが、実際 28 KC の空電平均強度記録を見ても距離が比較的遠い雷群 k, l (8月13日) から出た個々の空電平均強度記録は 20 mV/m に達するものがあるのに反し、8月18日の雷群 a においては 5 mV/m に達するものは皆無である。従ってこの日程度の雷になると前述の8月13日の雷の場合に比べ、雷放電計数器の感度を多少あげて置かないと 40 km 以上離れた雷を捕捉することが出来ないことがわかる。これを 28 KC の空電平均強度記録装置について云うと 8月13日程度の雷を 100 km 位の距離迄捕えるには制限レベルを 5 mV/m に定めれば充分であるが、この日程度の雷を 100 km 位の距離迄捕える為には制限レベルを例えば 2 mV/m 位迄下げなければならない。然しあまり制限レベルを下げると、電源電圧の変動などの原因による記録器の動作の不安定性が問題となるので、実際は観測点の状態に応じて適当にこれを定めなければならないが、かかる点か或る意味で雷放電頻度測定等の方法の雷活動監視用としての価値を発揮させる為に必要な測定方式の決定を左右する要因をなすものである。

次に雷群 b 及び c について述べる。この群にはすでに述べた様に静電界記録の有効範囲 30 km 以内の地点に発生した停止雷が三つ含まれているので、これに相当して静電界強度緩変化は第25図に示す様な負極

第25図 静電界緩変化

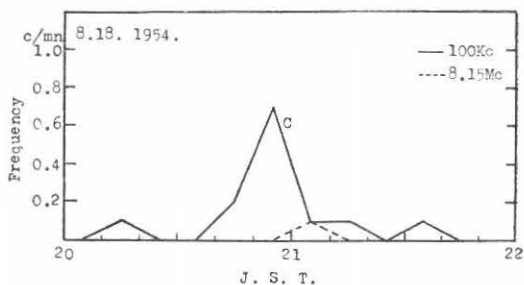


第26図 雷放電頻度変化(静電界急変化)

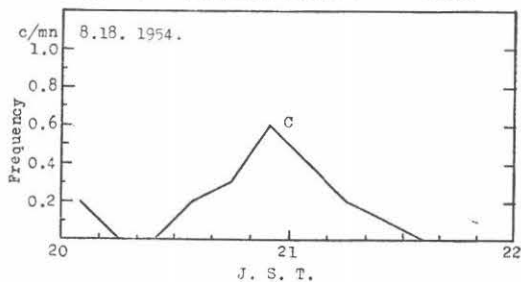


性の谷型変化を示した。この谷型緩変化は詳細に見ると 20.40 J.S.T. から始まっているが、この時刻に 30 km 以内の地点で発雷中のものは停止雷 VI 丈で、これは 21.10 J.S.T. 迄約 30 分間引き続いて存続していた様に報告されているが、これは第 25 図の曲線の谷型変化の下降部全体に涉っており、この谷型変化の下降部では曲線上に黒丸及び白丸印で示した期間雷放電が起っていることが認められたから、もしこの谷型変化が停止雷 VI によるとすれば、この雷はその距離が 30 km であるにも拘らず明瞭な雷放電を伴った帯電雷雲による静電界変化を起し、その存続期間中全体に涉り雷放電を起していたことになり、この雷はこの日の雷としては、並外れた強度の強いものであったと云うことになる。然し一方 21.10 J.S.T. に矢張り東方 30 km 辺で発生した停止雷 VIII について考えて見ると、その発生時刻は第 25 図で云うと谷型変化の底の所に当り、その存続期間は約 20 分と報告されているから、第 25 図では谷型変化の上昇のなかば迄存続したことになるが、この期間を通じて雷放電は最初の 2 分間を除けば全く記録されていないことがわかる。このことは逆に云うと第 25 図の谷型変化の上昇部は停止雷 VIII の影響を殆ど受けていないことを意味するもので、もし事実この様な状況であるならば、停止雷 VI についても恐らく同様の推論が成り立つと思われるから、従ってこの谷型緩変化は発雷距離がもっと近く、13 日の経験によると静電界記録に著しい変化を与える可能性の強い 20 km 以内の所に発生した停止雷 VII によって、主として引き起されたものと云う結果が得られる。故に此处ではこの谷型緩変化が停止雷 VII に属する帯電雷雲によって引き起されたものと解釈して議論を進めることとする。然る時はこの停止雷 VII に属する雷雲の影響は発雷報告のある 21.00 J.S.T. より約 15 分先立って静電界緩変化記録に現われると同時に雷放電が開始され、谷型緩変化の下降のなかばで発雷の報告がなされ、それと相前後して曲線

上に黒白丸印で示した所で、放電の頻度も最大となり、発雷報告後約 15 分で緩変化の谷に達すると大体時を同じくし白丸印の所で放電も終了し、その後は尚残存しているが放電を伴わない帯電雷雲の後続部の影響が雷雲の退かないし衰弱と共に単調に減少して、静電界の静電界強度の平均レベル迄もどっている。いずれにしてもこの雷雲における雷活動は静電界谷型緩変化の下降部で活発であったことは事実で、この点はすでに 8 月 13 日の雷雨について得られた所と一致している。これに対し 100 KC 及び 8.15 MC の放電頻度記録は第 27 図に示す様な経過をたどり、100 KC の方は明瞭な頻度のピークを示しているが、8.15 MC の方は感度不足の為殆ど見るべき変化を示していない。この点から考えてもこの日の雷放電は 8 月 13 日の雷群 *a, b* におけるそれと比較して 8 MC 辺の周波数においてもその強度が弱かったことは事実である。100 KC の雷放電頻度の雷群 *b, c* に対する変化は静電界急変化の頻度と大体同じく、第 25 図の谷型変化の起る約 10 分前から放電の記録が始まり、谷型緩変化下降部のなかば、第 25 図の曲線上に × 印をつけた所で頻度最大に達し、同じ谷型変化の上昇部のなかばで終っており、その期間は静電界急変化の現われた期間と大体一致しているが、前後が約 10 分ずつ両方へ延びている点異なる。これに対して 28 KC の頻度記録の方は第 28 図の様な経過を示しており、ピークの頂の現われた時

第27図 雷放電頻度変化  
(100 KC, 8.15 MC 空電)

第28図 雷放電頻度変化(28 KC 空電)



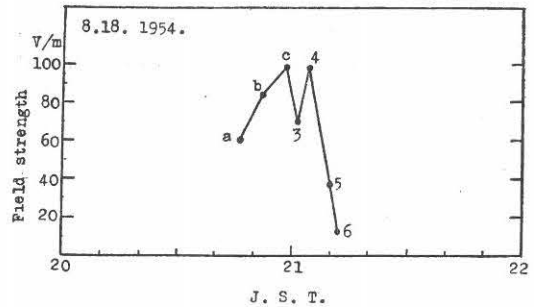


刻は丁度 100 KC のピークの頂と同じ時刻で、第 25 図の曲線上で×印をつけた所に当たっているが、頻度曲線の山の初めと終りは制限レベルを 5 mV/m に取ると 100 KC の頻度の山より 10 分早くから始まり、10 分後迄続いており、静電界急変化の出現時刻と比較すると、20 分早くから始まり 20 分後に終わっている。勿論これ等の各頻度の山の両裾の部分は、測定の誤差が大きな比率で入っているため、これ等の事実から断定的な推論を行うことは危険であるが、静電界記録の感度は 100 KC 及び 28 KC の頻度記録と比較すると、その感度が低いので、後者の二つの方がより遠方の弱い放電迄計数した為、頻度の山の裾幅が後の二つの場合の方がよけいに広がることは確かである。又 100 KC と 28 KC の放電頻度のピークの高さを比較すると、それは前者の方が後者のそれよりも高いが、山の両裾の間の幅はすでに述べた様に後者の方が広い。そこでもしこの山の両裾間の幅の広さの相違が意味を持っているものとするれば、それは 100 KC より 28 KC の記録器の方が感度の高いことを示すものである故、ピークの高さを比較して得られる結果が 100 KC の方が 28 KC の記録器より高感度であることを示しているのと互に相容れない様に見える。然しこの日の雷はその数及びその規模ともに小さいので、8月13日の雷雨の様に 100 km 以内の割に近い地域で多数の発雷を見た場合と異なり、頻度曲線の山の裾の部分に相当する強度の比較的弱い空電は 100 km 以上離れた遠距離から来たものである可能性が強い。故にもしその様な遠方からの空電が頻度曲線の両裾を構成する強度の弱い空電の中に、13日に比べて多数含まれて現われる場合には、その様な遠距離空電は遠距離伝播の影響を比較的著しく受け、その為空電を構成する 100 KC 周波数成分は 28 KC 周波数成分よりよけいに減衰を受け、その為 100 KC 成分強度は 28 KC 成分強度に比べて著しく弱まり、その結果 28 KC の記録器では容易に記録される様な空電も 100 KC の記録器では記録器自体の総合利得は 28 KC のそれより高いにも拘らず、殆ど空電の記録が得られず、頻度曲線の両裾間の幅は感度の高い 100 KC の記録より感度がむしろ低い 28 KC の記録の方が広く現われることは可能である。又頻度の極大の現われている時刻は静電界急変化頻度記録と 100 KC 及び 28 KC の頻度記録では約 10 分の相違が認められるが、これは勿論統計誤差範囲以内に入るから、これ等の三つの記録から得られるこの雷群 b, c に属する各停止雷中、特に停止雷 VII の中で起った放電に相当すると思われる雷放電の頻度のこれ等の三つの

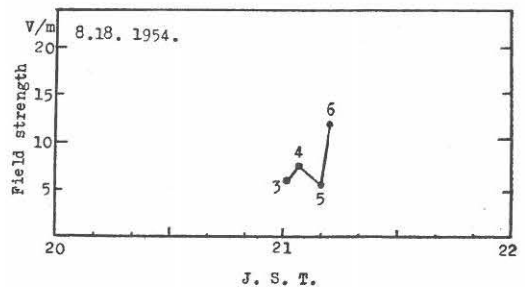
極大は大略同時に起っていると考えてよい。

次にこの時の個々の雷放電の強度を調べて見ると、静電界強度急変化は第 29 図、これに一つ一つ対応する空電波形の高周波成分の強度は第 30 図に示す様な関係になり、静電界急変化は 21.00 J.S.T. 前後に極大を示し、統計の誤差の範囲以内で頻度の極大と大略同時に起っていることがわかる。この点は 8月13日の静電界急変化の頻度とその強度の関係が放電点が極度に観測点に近づかない限り、統計の誤差を考へに入れると、大体同時に起っていると考へられると述べたことと符合している。然し個々の放電に対する互に対応のとれた夫々静電界急変化強度と空電波形を測定して得られた空電波形の高周波成分の強度との関係は、第 29 図及び第 30 図から見られる通り、何か一定した傾向は認め難い。これもすでに 8月13日の両者の平均強度の比較に際しても得られた所であって、その理由としては第一に空電波形記録が一つの雷放電全体に渉る変化でなく、その極めて一部分を記録しているに過ぎない為、大規模な雷放電に伴う空電成分の例えば、最大の変化を波形記録から推定することが出来ないと云うことと、第二に静電界急変化が、放電による全体として見た放電に関与する全電荷の移動に関係しているのに対し、空電波形はむしろ電荷移動の微細な過程に関係するので測定の対象及びその方法が異なるわけで、そ

第 29 図 個々の雷放電強度 (静電界急変化)



第 30 図 個々の雷放電強度 (空電波形高周波成分)



ここに述べた様な静電界急変化強度と空電波形の高周波成分の強度の無関連性の差異が出来るのは当然であろう。このことは個々の雷放電について夫々静電界急変化強度、空電波形の高周波成分の強度及び 28 KC 空電平均強度を比較して見ると、それ等との関係は、測定の対象の相違及び測定の方法の如何による相違により可成り複雑な要素を含む為にあまり簡単でなく、観測資料の少い現段階ではこれについて結論的なことも何も云い得ない状態にある。然し甚だ大掴みな傾向として静電界急変化量が 6~50 V/m, 50~100 V/m, 100~500 V/m の間に入る個々の放電について 28 KC の空電平均強度記録の読みを求め、両者ともその平均値を出して見ると第 3 表の様になり、静電界急変化量が極度に大きくなると 28 KC 空電平均強度記録の方も指度を増すことがわかる。然し第 3 表の中静電界強度急変化量は雷放電による静電界急変化の真の値に近いものを表わすが、28 KC の空電平均強度の方はすでに述べた様に実際の放電に伴う空電の 28 KC 成分の強度を表わすものでなく、恐らく空電の振幅とその持続時間及び空電波形の種類等の数多くの因子と可成複雑な関係にある指度を表わすものであるから一寸断って置くことにする。次に静電界急変化記録が全く認められない様な遠方の個々の雷放電の場合を選び、空電波形の振幅から求められる個々の空電強度が、夫々 5~15 V/m, 15~30 V/m, 30~60 V/m の間に入る個々の空電につき、波形と 1 対 1 の対応のとれた 28 KC の空電平均強度を求め、前と同様両者共その平均値を以て同じ空電の持つ強度の二つの測定方法による差異を比較して見ると第 4 表の様になる。すなわち空電波形記録の方でその高周波成分の振幅が大きくても 28 KC の空電平均強度の記録の方は必ずしもそれに呼応して

第 3 表 静電界急変化強度と 28 KC 空電強度記録

静電界急変化量 (V/m)	28 KC 空電強度記録 (mV/m)
254	21
64	16
20	13

第 4 表 空電波形及び 28 KC 空電平均強度記録による空電強度指示の比較

空電波形強度 (V/m)	28 KC 空電強度記録 (mV/m)
50	8
25	10
8	10

大きい指度を与えていないことがわかる。又波形から強度を測定する際には、勉めてその高周波成分丈を抜き出しその部分の振幅を求める様にし、成る可く 10 KC 以上の部分を選び出しているにも拘らず、波形から得られた強度と 28 KC の記録より求めた強度とでは、その大きさが  $10^2 \sim 10^3$  程度相違しているが、この点についてはすでに 100 KC 及び 28 KC の頻度記録を比較する際述べた様に、28 KC の空電平均強度記録装置の欠陥にその原因があることがわかったので、空電源における雷放電に伴う電磁気的变化が、周波数によってどの様な強度の分布を平均的な意味で持つかと云う点については、更に記録装置に改良を加え観測を進めなければならぬ。

### III. 結 論

以上の観測結果を通して得られる結論をまとめて見ると次の様になる。

1. 雷活動の中心 一つの雷を構成する雷雲の下層部に存在すると考えられる負帯電部は、必ずしも雷雲の一ヵ所に集まっていると云うわけではなく、例えば 8 月 13 日の例では少くとも四ヵ処で負に帯電していたが、その中実際に活動中で雷放電を起していたのは三ヵ処であった。又この観測期間を通して得られた結果によるとこの様な放電を起しつつある雷雲の下層負帯電部における雷活動部分は、いずれもこれら負の帯電部の雷雲進行方向前側に集中していることがわかった。

2. 雷放電頻度 観測点から 20 km 以内に雷が発生し放電が盛に行われるときは、静電界強度急変化記録及び夫々 28 KC, 100 KC, 8.15 MC の雷放電出現頻度記録は発雷に対応して、いずれも顕著な上昇を示しこれによって頻度曲線の一つのピークを形成する。而してそれら頻度曲線のピークの出現する時刻は測定誤差以内で各記録共一致する。この場合 20 km 以内の発雷の雷放電頻度曲線のピークの高さは発雷距離 30~60 km 位の雷に属する雲中で起った放電の頻度曲線のピークの高さと比較すると、数の少い例外的な場合を除けば明瞭に高く、更に発雷距離が 100 km 位になると普通に見られる雷に対してはピークの高さは極めて小さくしか現われない様になるから、一般的傾向としては放電頻度のピークの高さは雷の規模が著しく小さくない限り、発雷距離が大きくなると減少するが結論出来る。発雷の報告の時間とこれ等放電頻度のピークの現われる時間とは、測定の誤差を考慮に入れても尚若干相前後し合って必ずしも一致せず、その傾向も現在の所ではわからない。これは前者が雷放電の規模を問題としているのに対し、後者が雷放電の頻度を問題

としており測定基準が異なる為に起るものである。然し発雷の報告は大部分静電界谷型緩変化の下降部で行われていることは明確である。発雷距離が30~60 km位になると静電界急変化の頻度曲線は全く0レベルからの変化が認められない様になるが、28 KC, 100 KC, 8.15 MCの頻度曲線の方は20 km以内の発雷の場合と比べると、高さは低いが急に角ピークを作る。この場合8.15 MCの頻度のピークの高さを100 KCのそれと比較した比較的高さは、発雷距離20 km以内の場合よりも低く出るが、これは雷放電に伴う空電に含まれている8 MC位の高周波成分が10~100 KC位の低い周波数の成分より伝播によって著しく減衰を受けることによる。この場合も各周波数帯における雷放電頻度のピークの現われる時刻は、測定の誤差の範囲内で一致するが、発雷の報告にある時刻とは一般的に云って必ずしも一致せず。発雷報告前にピークが現われることもあれば又その後でピークの現われることもある。然し雷雨の報告があれば殆ど全部に近い場合放電頻度の方も何等かの変化が認められる。この場合測定器の感度をあげると頻度変化が一般的には明瞭になるが、場合によっては小さい山と山との間の谷が埋まって一つの山に合体して了うことがあるので、測定器の感度は高きに過ぎてても低きに過ぎててもよくない。

発雷距離が50~120 km位になると一般的には28 KC, 100 KCの頻度曲線のピークは著しく低いものしか現われず、8.15 MCの頻度曲線では殆ど変化が認め難い程極めて小さい変化しか与えない様になる。然し100 KCの頻度曲線においては発雷距離が相当離れているにも拘らず顕著なピークを示す場合があり、これは1953年の観測の時にも例外的な場合として観測された。この種のピークは今迄の所ではいずれも夜間の雷の場合について得られているので、100 KC空電の伝播の影響、発雷地点における雷活動の強度及び100 KCの頻度測定器の安定性等の点が考えられなければならないが、現在の所ではその原因については何とも云えない。

3. 雷放電の強度 一つの雷活動の中心における雷放電の観測される強度を考えて見ると、一つの雷活動の中心が観測点近くに出現すると、それによって放電に対応する静電界急変化記録が得られ始め、その記録の強度もはじめは小さいが時間と共に次第に大きさを増し、一度極大に達し、それ以後強度を次第に減じて再び最初のレベルに戻るわけであるが、その極大の現われる時刻は一般的に云って、その同じ雷活動の中心で起った静電界急変化から求められた放電の頻度の極

大の現われた時刻と事実上一致する。この点は同じ放電の空電波形記録から得られる10~100 KCの周波数成分の持つ強度の極大の現われる時刻についても同じことが云える。以上の結果は発雷距離が20 km以内の停止雷について得られたものであるので、この点から考えると一つの雷活動中心における雷放電は、その最盛期において一般的に云って放電強も放電頻度も最大になることを示している。次に移動雷の活動の中心が次第に観測点に接近して20 km以内の範囲に入り、それから観測点の頭上へ向って来る場合は、その活動中心で起っている雷放電による静電界急変化成分の持つ強度は、距離の影響を非常に強く受け、その値は接近前のその20倍以上にも達する。これに対し同じ雷放電に伴う空電波形から得られた10~100 KC周波数成分の強度は10倍程度しか増大しない。更に場合によっては20 km以内の地点で起った放電に伴う空電の強度の方が、40~80 km位の遠方で起った放電に伴うそれに比べて小さい様な場合もある。これは雷放電に伴う電磁気的变化の中、静電界急変化成分の強度は0~20 kmの距離の変化により著しい影響を受けるが、これに反して空電成分の強度は伝播距離が100 km程度迄である限り、10~100 KCの周波数帯では伝播による減衰等の影響より、空電発生母体である雷放電の性質によりきまる場合が多いと云うことを意味している。

4. 各記録装置の性能の検討 次に本試験観測結果から得られた各種記録装置の性能及びその欠陥等を考えることとする。

a. 静電界強度記録装置 この装置の持つ記録可能な有効範囲は観測結果をまとめると次の様になる。すなわち30 km以上の距離の地点に普通規模の発雷の報告があっても、何かそれと認め得る様な変化は全く現われない。発雷の報告が20~30 kmの地点においてなされている様な場合には、雷雲の存在を示す緩変化も、放電を示す急変化もその指度は小さいが記録に現われる様になるが、距離が30 kmに近いと変化が認められる場合もあるし、又全く認められない場合もあり、これは全く雷雨の規模によってきまるが、この辺の距離がこの記録装置の有効半径を示すことになる。20 km以内の地点に発雷の報告がなされている様な場合には緩変化も、急変化も同じ様に著しく記録される。

b. 無方位同調型雷放電計数器 この装置を連続波にて較正して総合利得を60 dbに調整し、0.01 V/m以上の電界強度を有する入力にて計数するようにした場合

(この場合の使用空中線は垂直空中線で実効高約3米のものである)。雷活動指示に対する有効範囲は、2年に亘って行って来た視測結果を総合して、総合して見ると次のようになる。すなわち100 km以上の発雷報告に対しては、殆どの場合判然とした指示を与えない。100~60 kmの間の雷活動に対しては雷活動規模の大小及び同調周波数により、指示が判然とする場合と判然としない場合があるが、現在迄の比率は長波帯及び中波帯(100 KC)では、前者の場合が稍多くなっている。60~30 kmの間の雷活動に対しては例外なく確実な指示を示すが、単位時間内の計数率に対しては同調周波数による差が認められる。30 km以内の雷活動に対しては指示の確実なことは勿論、同調周波数による頻度の差も殆ど認められなくなる。これらの事実から上記の如き調整による有効半径は約100 km附近であることがわかる。次に予報面への応用という立場から考えると、簡便にして或程度有効な補助装置となりうると思われるが、存続期間のごく短い雷活動に対しては指示を与えにくい点、又発雷方位に対しては全く不明である点等の欠点がある。この他電源電圧変化による計数レベル、利得の変動、人工雑音、混信による計数等無線器特有の諸欠点があるわけで、受信周波数、回路方式、計数制限レベル等の撰定に充分意を用うる必要がある。従って報告 I 及び II で提案し現在試作を急いでいる方位分割型の瞬時指示式の雷放電計数器が、予報という立場に利用する場合には最適だという結論に達したように思われる。しかし無方位型の計数器のみを使用して予報の補助資料を得んとする場合は、空電という不規則性の衝撃波を利用する点を考えると、装置の利得等調整を適当にした広帯域の非同調型計数器を用いた方が計数の確実性の点から、同調型のものより一段と有利のように思われる。

c. 同調型空電平均強度記録装置 この装置は報告 III で述べたように、元来長波局の C.W. 波の測定機

として設計したものを流用したので、記録は記録電流計を用いた。従って空電の如き不規則性衝撃波に対しては入力波の継続時間(パルス幅)、ペンの応動、紙との摩擦等複雑な因子に支配されたので、充分な視測資料は得られなかったが、記録計を早廻しにすることにより、出現頻度に対しては或程度の記録が得られた。しかし依佐美局(17.44 KC)に同調した記録からは計算値に近い電界強度値が得られた。従ってかかる装置のパルス特性に対しては、更に検討して改良を加うべき点が多く今後に残された問題である。

空電波形記録装置の性能 この装置についてはさきに述べた様に<sup>(4)</sup>空電の到来時丈波形が再現される様に電氣的起動回路を用い、ブラウン管面上に単掃引を行わせているので、到来空電波形の全変化を記録することが出来ず、特に変化の大きい近接雷放電の場合には、結局その極めて一部分しか記録されないことになる。従って例えば波形記録から空電の振幅強度を測定する際などに、大きな組織的測定誤差を与える筈であるから、起動が現用のものよりもっと波形の前の段階で行われる様にする必要がある。又この装置には波形の選択を行う目的で同調型増幅器を用いた起動部を併せて装備しているが、試験視測の結果によると頻度計数器等の同調型回路方式を用いたものについて起ったと全く同様なことが、この場合にも起り、高周波同調型の起動回路は未だ満足に行く様な動作を与えていない。この点は例えば同周型空電平均強度記録装置の欠点と共に、今後改良して行く必要がある。

## 引用文献

- (1) 鎌田：空研報告，4，125 (1953)。
- (2) 鎌田：空研報告，5，44 (1954)。
- (3) 鎌田・竹内・中島：空研報告，5，No. 2 (本号)。
- (4) 高木・石川：空研報告，5，No. 2 (本号)。
- (5) Malan D. J.: Ann. de Géophys., 8, 385 (1952)。