

雷雲内の電氣分布に就いて⁽¹⁾

工 學 士 田 村 雄 一

1. 緒 言

雷雲の電氣は如何にして發生するかに就いては多くの研究者によりて論じられてゐるが、そのうち特に多くの人々によりて支持されてゐるものは、Simpson (1927) の水滴分裂説と Wilson (1929) の感應説である。前者によれば雷雲の底部に比較的小區域に集中した正電氣の部分があり殘餘の雲體は負電氣を持つことが期待され、後者によれば雷雲の上部は正電氣、下部は負電氣を持つことが期待される (Simpson, Scrase によりて夫々 S 型、W 型と稱されてゐる)。即ち兩説は全く反對の事實を豫想するのである。

雷雲内の電氣分布を推定する手掛りとなる觀測對象は種々あつて、對象の異なるに従つて結論も異つて來ることがあるため、これらの兩説をめぐつて論争が長い間續けられて來たのである。例へば、主として雷放電による地上電場の變化の觀測から、英國及び埃及に於いて Appleton, Watson Watt, Herd (1926), 南阿に於いて Schonland, Craib (1927, 1928) 及び Halliday (1932) 等は W 型であると主張し、一方主として雷雲による地上の擾亂定常電場の觀測から、Banerji (1930, 1933) は印度に於いては S 型なりとし、拔山、能登兩氏 (1928, 1929) は日本に於いては兩型共にあるとしてゐる。これらは凡て地表面に於ける觀測結果であるから、觀測點が一つに限られてゐる場合には電氣分布の推定に任意性があり、同一觀測材料より全く異つた推論すら生ずる惧があり得るので、かやうな制限された觀測條件の下では決定的結論に達することは困難と考へなければならぬ。

然るに Simpson, Scrase (1937) は直接雷雲内の氣球探測により、且地上に於ける電場の變化及び雨滴の帶電を考慮に入れて電氣分布を求めたところ、その結果は一般に雷雲の上部には正電氣下部には負電氣があるが、猶ほ雲底近く正電氣の集中した區域が存在し、恰も W 型と S 型とを組合せた如き構造 (これを Z 型と稱してゐる) になつてゐることを見出し

(1) この報告の概要は昭和十四年及び同十五年度日本數學物理學會年會に於いて發表したものである。

たのである。この Simpson, Scrase の方法は直接的の點で甚だ勝れてゐるが實際には猶ほ種々の困難もあるやうである。最近 Wormell(1939) は英國に於いて、地上電場の觀測から Wilson 説を支持し Simpson, Scrase の推定を反駁してゐる。

我々は昭和8年(1933)以來、長谷川教授(1940)考案の菟電器を用ひて地上電場の觀測を續けてゐるが、この菟電器は動作が早いので緩慢な變化は勿論、急激な變化特に雷放電による電場變化を測定するには極めて適當したものであつて、京都及び別府に於いて多數の雷雲について觀測したところ、多くの人々によりて見出されてゐる既知の事實の他種々の新事實を見出すことが出來て、單一個所に於ける地上觀測の結果によりても、尚ほ任意性が充分制限されて雷雲内の電氣分布を推定することが出來た。以下の記述は凡て定性的事情に止め量的考察は改めて報告する豫定である。

2. 觀測場所及び觀測器械

昭和8~10年(1933~1935)の間は京都(地球物理學教室)に於いて觀測した。昭和13年(1938)には別府(火山溫泉研究所)に於いて觀測した。この報告に於いて調査したものは凡て夏季の熱雷雲であつて、雷の發現距離は、雷鳴可聽の時は雷放電—雷鳴間隔より、又雷鳴の聽き得ない遠距離にあつたものは測候所の好意によりて見積ることを得たものが多數あり、然らざるものは我々が既知の場合に求めてゐる雷の發現距離と雷放電による電場急變化の大きさとの關係から見積ることが出來た。

使用した菟電器は觀測施行中二三の改良を行つた。京都に於いて初期に用ひたものは横軸型であつたが、昭和10年には改良したものを用ひた。然しこれはもとのものとあまり異つたものではない。これらは共に菟電部分が水平軸のまわりに廻轉するもので、絶縁部分が露出してゐるため降雨の際には使用に困難を伴つた。別府に於ける觀測には廻轉軸を鉛直とした縦軸型を使用した。これは絶縁部分に防雨裝置を施したため強雨の際にも何等の不安なく使用し得るものである。これらの菟電器を象限電位計或は纖維電位計に連絡して種々の檢定を行ひ、動作の忠實性を確めることが出來た。實際の觀測に於ては、主として自己週期1秒の象限電位計を使用した。この菟電器による地上電場の觀測方法は前掲の長谷川教授の論文に詳述されてゐる。

3. 調査に關する一般的方針

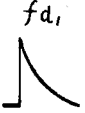
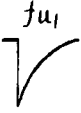
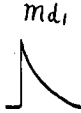
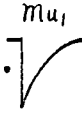
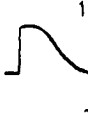
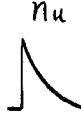
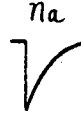
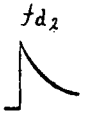
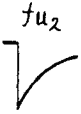
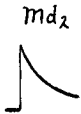
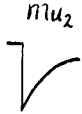
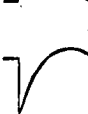
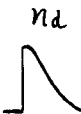
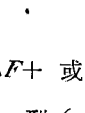
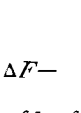
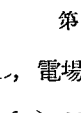
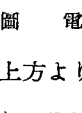
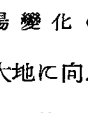
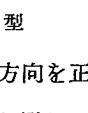
この観測によりて雷雲に起因する地上電場の時間的變化に關する多くの事實が明かにされた。そのうちのあるものは既に多くの人々によりて指摘されてゐるものであるが、我々によりて初めて見出されたものも少くない。特に雷放電に伴ふ電場急變化後の電場再生状態は、放電よりの距離及び電場急變化の正負によりて著しい特性を示すことは甚だ注目すべきことと思ふ。以後、便宜上、雷放電に伴ふ電場急變化とその後に起る比較的緩漫な再生電場の變化を含めて“電場變化”と稱することにする。

個々の特性を考慮して電場變化を數種の型に分類することが出来る。各型の發現回數の統計調査は、他の人々によりて試みられた如き電場の急變化方向を單純に正負に分けてその發現回數を調べたものよりも一層雷雲の電氣的状態を推定するに役立つものと思ふ。種々の型の電場變化の發現頻度は雷雲が發達、衰弱するに従つて時間的變化を示すが、これは雷雲内の電氣分布状態の時間的推移を知にる有力な手掛りを與へるであらう。又電場變化と雷雲全體によりて擾亂されたる定常電場との關係も甚だ有用のものと思ふ。然し我々の観測材料の相當の部分占める遠距離雷雲(遠雷)については擾亂定常電場の事情は全く不明であつて、これらの雲の電氣的消息は單に電場變化のみによりて知る他はない。一般的に云へば観測地が一箇所の場合は、遠雷についてはその中距離若くは近距離に於いて見られる性質は不明であり、中距離雷雲(中距離雷)若くは近距離雷雲(近雷)についてはそれらを別の距離に於いて見る性質は不明となる。且雷雲の電氣分布状態の時間的推移を考へるならば、完全なる材料は種々の距離に於ける同時観測によりてのみ得られるものである。然し観測地が一つに限られてゐる場合でも、種々の距離に發現する雷雲の特性について數多くの観測材料が得られるならば、それらを適宜處理することによりて雷雲の電氣分布の一般的状態を推定することが出来ると思ふ。我々はかやうな方針の下に調査を行つたのである。擾亂定常電場に關しては阿蘇(火山温泉研究所)に於けるラデオトリウム電器による観測材料についても調査した。

4. 雷放電に伴ふ電場急變化及び其後の電場再生の特性

雷放電に伴ふ電場急變化及び其後の電場再生の特性は雷放電よりの距離⁽¹⁾によつて著しい相違を示す。電場變化の典型的のものを第1圖に掲げた。急變化の方向が正或は負に従つ

(1) 距離の分け方は5に示す。

遠 雷		中距離雷				近 雷	
ΔF_+	ΔF_-	ΔF_+	ΔF_-	(md_0)		ΔF_+	ΔF_-
(fd)	(fu)	(md)	(mu)	md_{01}	md_{02}		
fd_1 	fu_1 	md_1 	mu_1 			nu 	na 
fd_2 	fu_2 	md_2 	mu_2 			nd 	
fd_3 	fu_3 	md_3 	mu_3 				

第 1 圖 電場變化の型

て ΔF_+ 或は ΔF_- とし、電場は上方より大地に向ふ方向を正とする。遠雷については四つの型 (fd_1, fd_2, fu_1, fu_2) があり、それらの凡ては急變化の後、電場は大體指數的に再生される。 fd_1, fu_1 の場合は充分再生された後の電場の大きさは放電直前のそれと大體等しいけれども fd_2, fu_2 の場合には急變化の方向に永久的の差が残る。中距離雷については六つの型があり md_1, md_2, mu_1, mu_2 は外見的には遠雷に對するものと同じ形である。然しこれらの各々が夫々 fd_1, fd_2, fu_1, fu_2 を生ぜしめる放電と同じ様式の放電によつて生ずると、いきなり云ふことは出来ない。この點については後述する如く我々は特別の見解を持つてゐる。 md_{01} 或は md_{02} に含まれてゐる三つの型は一見甚だ異つてゐるが、これも後述する如く、これらは同じ部類に屬するものと見られる。近雷については三つの型があるとし、各型は凡て充分再生された後の電場の大きさと放電直前のそれと永久的差はないやうに圖示してある、が然しこれは便宜上の圖示であつて急變化の方向に永久的差が残る場合もあり得ることは他の距離に於ける電場變化の場合から豫想し得るところである。實際は近雷の際には定常電場がかなり動搖するため、この邊の形勢を充分判定するのに困難のことが多く、事實上この區別を統計的に利用することは出来なかつた。

以上の分類に於いて (fd) 型、(md) 型及び mu 型に對しては夫々その符號を反對にした (fu) 型、(mu) 型及び na 型があるけれども (md_0) 型の各々に對してはそれに相應する反對符號のものが全く現はれない(少くとも我々の得た記録の上に於いては)と云ふことと、又 (md_0) 型と同様の形狀の電場變化が遠雷及び近雷の場合には、極めて稀なる場合を除いて

は、現はれないと云ふことは甚だ注目すべきことである。但し nd 型は(md_0)型の第一種のものと同様の性質であつて後者に於いてその特徴が誇張されてゐるものである。

5. 電場變化の發現回數の統計

電場急變化の正負(即ち $\Delta F+$, $\Delta F-$)の發現回數の統計結果より雷雲の極性を論ずる場合に通常、遠雷と近雷に區別して統計が行はれてゐるが、この兩者を區別する距離は人々

第1表 (md_0)型電場變化を生ずる放電よりの距離(上限値)

昭和8年, 京都		昭和13年, 別府	
月 日	秆	月 日	秆
VI 17	14	VII 28	16
VII 16	10	VIII 18	15
VIII 4	11		
17	11		
18	15		
21	16		
平均	13	平均	15,5

によつてまちまちであつて(第17表参照)而もこの方法によると中距離雷についての統計結果は何等積極的主張には寄與しないものである。

我々は、雷雲が近付きつゝある時、電場變化の(md_0)型のものが起り初める距離をもつて遠近を區別する一つの目安とした。この距離を測つたものを第1表に掲げた。平均値よりは異なるが、この距離として15秆を採用する。一方10秆以内に放電が生ずる場合を近雷と見做した。かやうにして次の如く定義する。

放電よりの距離15秆以上のもの：遠雷

〃 10—15秆のもの：中距離雷

〃 10秆以内のもの：近雷

かやうに區別した各々のものについて電場變化の發現回數を調べたものを第2—7表に掲げた。

第2, 5及び6表(遠雷に對するもの)から見られる如く、 $\frac{\Delta F-^{(1)}}{\Delta F+}$ の平均値は京都に於いては年によつて異り、別府に於ては京都のそれと異つてゐる。茲に注意すべきことは、京

(1) 電場急變化の値の比ではない。 $\Delta F-$, $\Delta F+$ の發現回數の比である。

雷雲内の電気分布に就いて

第2表 昭和8年(1933)の遠雷, 京都

雷雨 番號	月 日	時 間	$\Delta F+$			$\Delta F-$			備 考
			fd_1	fd_2	計	fu_1	fu_2	計	
1	VI 14	^h 16 ^m 00~ ^h 17 ^m 20	17	15	33	63	19	82	B~
2	16	13 45~14 40	3	2	5	29	10	39	B~
4	28	11 10~12 45	12	7	19	34	1	35	B~E
5	〃	14 35~15 00	38	26	64	83	28	111	
6	VII 1	15 20~16 40	38	18	56	241	6	247	B~E
7	5	2 40~ 3 25	1	0	1	33	5	38	B~E approx.
9	7	11 50~16 15	216	152	368	816	126	942	B~E
10	8	16 40~17 20	8	11	19	8	2	10	B~E
11	14	14 40~15 10	2	0	2	6	11	17	B~E
12	15	14 30~15 30	2	2	4	11	4	15	B~E
14	17	16 15~17 00	11	5	16	20	2	22	~E
15	20	15 00~15 35	2	3	5	4	2	6	B~E
17	21	13 50~15 50	42	30	122	163	17	180	B~
18	〃	16 50~17 10	20	6	26	5	0	5	B~
19	22	14 40~15 30	13	7	20	29	2	31	B~E
20	〃	15 30~16 20	54	38	92	183	18	201	B~E approx.
〃	〃	17 00~19 10	57	32	89	135	8	143	
21	〃	20 20~20 40	0	1	1	5	5	10	B~E
23	26	13 30~15 00	24	7	31	32	7	39	B~E
24	〃	16 40~17 30	25	10	35	72	15	87	B~E approx.
25	27	13 00~14 15	16	25	41	67	83	100	B~E approx.
26	30	13 10~14 10	14	8	22	15	0	15	B~E
32	VIII 14	11 00~11 10	3	5	8	2	3	5	B~
33	15	16 30~17 00	3	3	6	14	2	16	B~E
38	18	13 30~15 25	147	42	189	248	37	285	B~
39	21	13 10~14 10	8	16	24	45	10	55	B~E
合 計			777	521	1298	2363	373	2736	$\frac{\Delta F-}{\Delta F+}=2.1$

備考欄のB及びEは夫々始雷及び終雷を意味する。(以後同様)

雷雲内の電気分布に就いて

第8表 昭和8年(1933)の中距離雷. 京都

雷雨 番號	月 日	時 間	電 場 變 化 の 型					備 考
			(md)	?	(md_0)	?	(mu)	
1	VI 14	^h 17 ^m 30 ~ ^h 17 ^m 45	1		0		7	A
2	16	14 40 ~ 15 00	6		1		24	A
3	17	16 25 ~ 16 40	5		2		3	A, B ~
〃	〃	16 55 ~ 17 05	2		18		0	R, ~E
5	28	14 20 ~ 14 35	9	5	24		(18)	R
7	VII 5	3 25 ~ 3 40	0		2		1	R, ~E
8	6	20 35 ~ 20 55	0		6		1	A, B ~
13	16	14 50 ~ 15 25	5		14		5	A
16	20	16 40 ~ 17 00	1		4		3	A&R, B ~E
17	21	15 50 ~ 16 35	30		20		56	A&R, ~E
22	25	21 40 ~ 22 10	0		3		5	A&R, B ~E
24	26	17 30 ~ 17 55	0		0		13	A, ~E
25	27	12 45 ~ 13 00	4		5		3	R, B ~
28	VIII 4	13 35 ~ 13 42	0		3		0	R, ~E
30	13	14 10 ~ 14 55	4		14		29	A, B ~
31	〃	15 10 ~ 15 55	28		18		125	A
34	15	17 30 ~ 18 20	3		26		17	A&R, B ~E
35	16	19 10 ~ 20 00	2		7	11	34	R, ~E
36	17	13 35 ~ 13 45	15		0		0	R,
〃	〃	14 15 ~ 14 40	3		1		13	
37	18	12 00 ~ 12 15	1		16		0	A&R, ~E
38	〃	15 25 ~ 15 50	22		15		20	A
〃	〃	17 25 ~ 18 20	(12)		0		22 + (7)	R, ~E
40	21	18 45 ~ 19 18	6		16		4	A, B ~
〃	〃	19 38 ~ 20 15	3		12		18	R, ~E
合 計			150 + (12)	5	222	11	403 + (20)	$\frac{(md) + (mu)}{(md_0)} = 2.5$

備考欄のA及びRは夫々接近期及び退遠期を意味する。(以後同様)

雷雲内の電気分布に就いて

第4表 昭和8年(1933)の近雷. 京都

雷雨 番號	月 日	時 間	$\Delta F+$			$\Delta F-$	備 考
			nu	?	nd	na	
2	VI 16	^h 15 ^m 10~ ^h 15 ^m 15	0	8	0	0	F
13	VII 16	15 30~15 45	0	1	5	0	W
27	30	17 00~17 40	0	88	0	0	F
28	VIII 4	13 25~13 35	7	0	1	1	F
29	8	16 30~16 55	8	12	15	2	W
35	16	18 40~19 00	0	8	0	0	F
40	21	19 18~19 30	14	0	0	0	F
41	22	11 55~12 00	11	0	5	0	F
合 計			40	117	26	3	$\frac{\Delta F-}{\Delta F+} = \frac{1}{61}$

備考欄のW及びFは夫々近雷としての期間の全部及び期間の一部を意味する。(以後同様)

第5表 昭和10年(1935)の遠雷. 京都

雷雨 番號	月 日	時 間	$\Delta F+$			$\Delta F-$			備 考
			fd_1	fd_2	計	fu_1	fu_2	計	
1	VIII 17	^h 13 ^m 00~ ^h 14 ^m 00	?	?	3	?	?	82	B~
2	21	16 40~18 15	14	13	27	320	16	336	~E
3	26	13 00~13 50	0	0	0	5	1	6	B~
4	IX 6	12 30~14 00	54	21	75	173	13	186	B~
合 計			105			610			$\frac{\Delta F-}{\Delta F+} = 5.8$

雷雲内の電気分布に就いて

第6表 昭和13年(1938)の遠雷. 別府

雷雨 番號	月 日	時 間	$\Delta F+$			$\Delta F-$			備 考
			fd_1	fd_2	計	fu_1	fu_2	計	
2	VII 11	^h 12 ^m 50~ ^h 13 ^m 30	1	8	4	37	0	37	B~E
3	〃	15 40~17 00	66	60	126	419	12	431	
5	〃	18 20~19 40	17	6	23	27	4	31	B~E
8	19	15 40~16 00	1	2	3	14	0	14	B~E
9	〃	16 50~17 10			2	4	0	4	B~E
10	21	15 00~15 20			3			34	~E
12	27	17 15~20 00	84	31	115	96	5	101	
13	28	15 30~17 20			83			223	
15	29	14 30~15 30	4	3	7	38	3	41	~E
16	VIII 18	13 30~14 30	9	13	22	187	6	193	B~E
17	〃	14 30~14 50			4			14	
〃	〃	15 00~17 00	13	38	51	284	64	348	B~E
18	19	17 50~19 20			40			88	~E
20	22	22 00~23 10	1	0	1	59	0	59	B~E
22	27	21 30~22 00	2	1	3	6	1	7	B~E
23	28	17 40~18 40	6	3	9	27	1	28	B~E
24	29	15 50~16 30	5	5	10	27	0	27	B~
25	IX 2	15 40~16 50	14	3	17	22	3	25	B~E
26	4	11 30~14 40	25	24	49	167	36	203	B~E
27	〃	15 30~16 00			0	7	0	7	B~E
合 計			572			1915			$\frac{\Delta F-}{\Delta F+} = 3.4$

第7表 昭和13年(1938)の近雷. 別府

雷雨 番號	月 日	時 間	$\Delta F+$			$\Delta F-$	備 考
			nu	?	nd	na 或は?	
1	VII 10	^h 20 ^m 00~ ^h 20 ^m 30	1		0	0	W
4	11	16 00~16 50	5		0	1	W
6	12	12 45~14 50	118 (169)	35	94 (13)	12 (140)	W
17	VIII 18	15 40~15 50	16 (1)		0	(7)	W
24	29	17 10~18 30	2		4	11	W
合 計			142 + (170)	35	98 + (13)	24 + (147)	$\frac{\Delta F-}{\Delta F+} = \frac{1}{11}$

都地方に於て昭和8年夏は異常に多數の雷雨が発現し同10年の夏は異常に少かつた。又別府地方に於て昭和13年の夏は例年に比し比較的小數の雷雨を見たのであつた。かやうに雷雨發現回數の多少により電場急變化の正負の回數比の異なることは、尙ほ長年に互る觀測を待たなければ確實なる相關は得られないけれども、雷雨の機巧を考へる上に一つの暗示を與へるものではないかと思はれる。

中距離雷に對する第3表に於いて、 $\frac{(mu)+(md)}{(md_0)}$ は2.5で、これは同年の遠雷に對する $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ (=2.1)と大略似てゐる。この事實は、此の節で後述する如く雷放電よりの距離によつて電場變化の型の變型すると云ふ豫想を與へるものである。昭和10年及び13年には材料が少かつた爲め、中距離雷についての統計は行はなかつた。

遠雷に對する第4,7表に於いて、 $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ は昭和8年、10年に夫々 $\frac{1}{61}$ 、 $\frac{1}{11}$ であつて夫々同じ年の遠雷に對する $\frac{\Delta F+}{\Delta F-}$ の値 $\left(\frac{1}{2.1}, \frac{1}{5.8}\right)$ と甚しい相違を示してゐる。この事實は、雷雲内に於ける放電は單一な双極間にのみ起るもののみではないことを有力に示してゐる。何となれば、雲中に於ける單一な双極間の放電(簡單のため鉛直方向に起るものとする)によつては電場急變化は遠近兩距離に於て反對方向となるため、遠雷及び近雷に對する $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ は逆數關係に近いものとならなければならない。

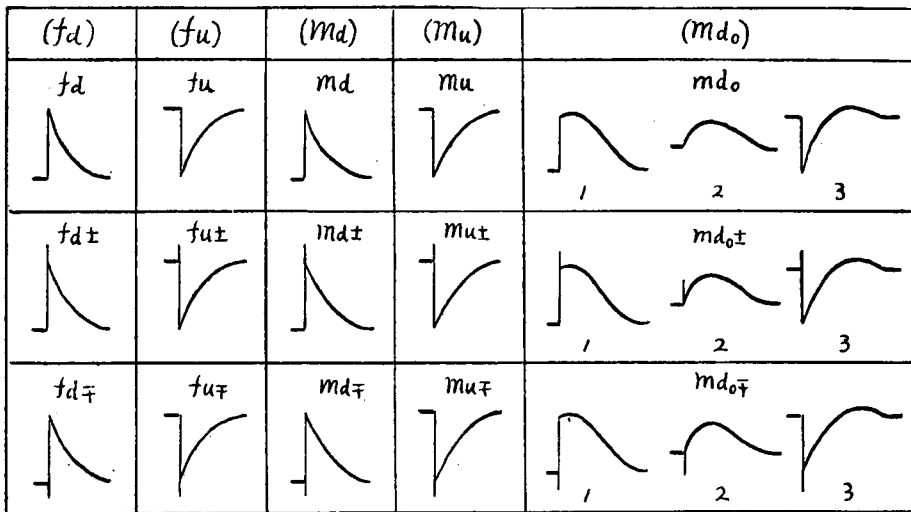
茲に掲げた表に於ては、雲中放電と落雷との區別は附けなかつたが一般に前者は後者に比べて甚だ頻繁に起るから、上に求めた $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ の値は雲中放電によるものとしても大差はないと見られる。

二重性電場變化

4に於いて分類した電場變化の型は急變化を單一のものと見たのであるが、實際には一見同型と見られるものも詳細に調べると、少くとも二つの方向反對の急變化が秒の分數程度の時間をおいて續起してゐる場合が少くない。これは早廻し記録によれば明瞭に看取出來るのであつて、第10圖にこの種の實例を示した。この記録に於ては、二つの(f_d)は明かに正方向の急變化の前に負方向の急變化が先發してゐる。然るに(f_u)の急變化は凡て單一である。遲廻し記録に於いても、光點が鋭いときには急變化の初動方向を追跡することが可能であつて、同様の事實が認められる。又少くとも二つの方向反對の急變化が重疊した急變化のうち、先發する急變化の方向が合成急變化の方向と一致する場合には、これを記録上で直接見分けることは困難であるが、かやうなものの存在することは種々の統計事實

雷雲内の電氣分布に就いて

から示すことが出来る。(第8, 10表参照)



第2圖 單一性及び二重性電場變化

上に述べた性質をもつ電場變化を便宜上“二重性電場變化”と稱し、然らざるものを“單一性電場變化”と稱することとする。そして電場變化の型を第2圖に示す如く改めて分類

第8表 昭和8年(1933)の遠雷. 京都

雷雨番號	時 間	$\Delta F+$		$\Delta F-$	
		計	$fd_{\mp}$	計	$fu_{\pm}$
6	^h 15 ^m 20~ ^h 15 ^m 30	14	0	14	0
7	2 40~ 3 00	1	1	17	1
9	11 50~13 40	130	10	168	0
11	14 40~15 10	2	0	17	1
12	14 40~15 15	4	3	10	0
14	16 15~17 00	16	2	22	0
15	15 00~15 35	5	0	6	0
17	16 50~17 10	26	0	5	0
25	18 00~13 10	12	4	11	2
38	14 10~14 55	62	6	93	9
39	13 10~14 10	24	6	58	0
合 計		296	32	421	13
百 分 比		11		3	

雷雲内の電氣分布に就いて

第9表 昭和10年(1935)の遠雷. 京都

雷雨番號	時 間	$\Delta F+$		$\Delta F-$	
		計	fd 干	計	fu ±
2	^h 16 ^m 40~ ^h 18 ^m 15	27	5	336	0
3	18 00~13 50	0	0	6	0
4	12 30~14 00	75	12	186	0
合 計		102	17	528	0
百 分 比		17		0	

第10表 昭和8年(1933)の中距離雷. 京都

雷雨番號	時 間	(md)	(md_0)の第1種	(md_0)の第2種	(md_0)の第3種	(mu)
		md $md \pm$? md 干	md_0 $md_0 \pm$? md_0 干	md_0 $md_0 \pm$? md_0 干	md_0 $md_0 \pm$? md_0 干	mu $mu \pm$? mu 干
2	^h 14 ^m 40~ ^h 15 ^m 00	4 2 0	1 0 0	0 0 0	0 0 0	3 1 20
3	16 55~17 05	2 0 0	13 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
7	3 28~3 40	0 0 0	0 0 2	0 0 0	0 0 0	0 0 1
8	20 36~20 55	0 0 0	1 0 2	0 0 0	0 0 3	0 0 1
13	14 50~15 25	2 0 3	1 0 4	1 0 5	0 0 3	2 0 3
16	16 40~17 00	1 0 0	0 1 1	0 0 0	0 0 2	0 0 3
17	15 50~16 35	19 10 1	5 3 7	0 1 3	0 1 0	0 1 55
22	21 40~22 10	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 3	0 2 3
30	14 07~14 55	1 0 3	0 0 1	0 0 4	1 2 6	3 4 22
31	15 10~15 55	18 2 8	1 1 5	0 0 6	0 0 5	0 0 125
34	17 30~18 20	2 1 0	0 0 1	0 0 0	0 0 25	0 0 17
々	19 10~20 00	1 0 1	0 0 1	0 1 1	0 0 4	1 6 27
35	17 45~17 55	0 0 0	2 3 3	0 0 1	2 0 1	5 3 4
38	15 28~15 32	9 0 2	0 2 4	1 0 1	0 0 1	3 0 3
合 計		59 15 18	24 10 31	2 2 21	3 3 53	17 17 284
百 分 比		23	56	9	5	6

する。但しこの場合には簡單のため、急變化直前の電場の大きさと電場が充分再生された後の大きさと永久的差の存否の區別はしなかつた。近雷については、記録上では單一性、二重性の區別をすることが困難な爲めこの分類はしなかつたが、然し事實上はあるに相違ない。

電場變化が二重性であるや否やの區別は、計器の分解能に依存するから、若し分解能をより高めると詳細が分るであらうが、茲では上に分類したところに従つて考察を進めて見る。

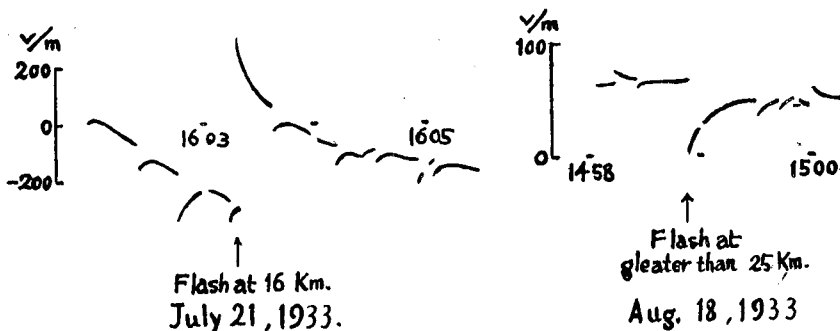
單一性及び二重性電場變化に分けた場合の夫々の發現回数を第8, 9, 10表に示す。これから判る如く遠雷の場合には (fd) の大部分は fd 若くは $fd\pm$ であつて、 (fu) の殆ど全部は fu 若くは $fu\mp$ である。中距離雷の場合、昭和8年には (md_0) 型の第二型及び第三型に對する $\frac{md_0\pm}{(md_0)}$ は夫々9%, 5%であり、同年の $fd\mp$ の發現率(11%)と同様極めて小さい。又 (md_0) 型の第一型に對する $\frac{md_0\mp}{(md_0)}$ は56%となつてゐる。これらの事實より、 $md_0\pm$ は $fd\mp$ を生ぜしめる放電と同様の放電様式によつて生ずること、及び (fd) の中には $md_0\mp$ に相應する $fd\pm$ が多數含まれてゐることが認め得るのであつて、前述したところの $\frac{(mu)+(md)}{(md_0)}$ は遠雷に於ける $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ と近似的に等しいと云ふ關係と共に、10に於て示す電場變化の型が放電よりの距離によつて變型すると云ふ見解を有力に支持するものである。

以上要するに統計結果から豫想される電場變化の型の變型は次の如く表はされる。即ち

	放電よりの距離	遠距離	中距離	近距離
電場變化の型	$fd(\Delta F+)$	$\left\{ \begin{array}{l} md(\Delta F+) \\ md_0 \end{array} \right\}$	$md(\Delta F-)$	$na(\Delta F-)$
	$fd\pm(\Delta F+)$	$md_0\mp$		$nd(\Delta F+)$
	$fd\mp(\Delta F+)$	$md_0\pm$		
	$fu(\Delta F-)$	$mu(\Delta F-)$	$md(\Delta F+)$	$mi(\Delta F+)$

$md\mp$, $md\pm$ の發現率は事情複雑のため、その意味を見出すことが困難である。

落雷による電場變化



第3圖 落雷に伴ふ電場變化の例

雷雲内の電氣分布に就いて

落雷による電場變化の實例を第3圖に示す。これらより見られる如く、急變化直前の電場の大さと充分再生した後のそれとの間に、急變化の方向に永久的の差を残すもの（第一圖に於ける fd_2 , fu_2 , md_2 , mu_2 , md_{02} の如きもの）は落雷によりて起り得ることが期待される。この圖には二例を示したのみであるがこの他、落雷に符合することが確められた凡ての $\Delta F+$ は例外なくかゝる性質を示すことが分つた。この圖の $\Delta F-$ の變化は落雷に符合することが確められた唯一のものであつた。

電場變化のかやうな特徴はおそらく落雷のため雲中より正又は負の電氣が大地に逃げ去り、その結果放電前後の雲中の全電氣量に新しい過不足が出来るためによると思はれる。然しある場合には、明かに雲中放電であつて而もこの型の電場變化を示すことがある。これはおそらく雲中放電に伴つて電氣が單に永久的變位をするためではないかと思ふ。従つて第2, 5, 6表に示した fd_2 , fu_2 の發生回数は落雷の回数であるとする事は出来ない。

落雷に伴つた電場急變化の符號を第11表に掲げる。これらの材料は全觀測期間に較べて

第11表 昭和8年(1933)の落雷. 京都

雷雨番號	距 離 (料)	急 變 化	
		$\Delta F+$	$\Delta F-$
17	16~22	5	
25	10~13	2	
27	<10	8	
29	4	1	
38	>25		1
41	1	1	
合 計		17	1

極めて僅かの期間の觀測結果ではあるが、落雷は主として正の電場急變化を伴ひ、負の場合極めて稀であると云ふことは出来るであらう。

6. 雷放電に伴ふ電場變化の型と雷雲によりて擾

亂されたる定常電場との關係

雷雲内より外部に電氣を逸散せしめるものとしては、雷雲下の空地電流、落雷、雨滴による電氣の運搬或は雲頂より上空に向ふ電氣の逸散等が考へられるが、任意時にこれらの

雷雲内の電気分布に就いて

全効果を見積ることは困難であるから雷雲内の正負兩電気の過不足の状態は不明である。従つて地上に於ける擾亂定常電場の観測のみから雲中の電気分布を推定することは困難である。然るに雲中に放電が起る場合には、消滅する正負兩電気は常に等量であつて、これらの電気が定常電場に寄與する大さは電場急変化の大さに等しい。これは相對的に不明な正負電氣量を含む雷雲全體の及ばず擾亂の場合よりは制約された條件にある。且雷放電による電場變化には種々の特徴のある型があるから、定常電場を電場變化と同時觀測をすることは雲中の電気分布推定には極めて有效であると思ふ。雷雨の全段階に互つて、この同時的調査をすることが望ましいのであるが、茲では單に次の如き特別の段階について相互の關係を調べた。即ち

- (i) 雷雲が近付く時、定常電場が平常値より漸次負の異常値となる場合。
- (ii) 雷雲が近付く時、定常電場が平常値より先づ正の異常値となり、次に負の異常値となる場合。
- (iii) 雷雲が遠ざかる時、定常電場が負の異常値より漸次平常値に復する場合。
- (iv) 雷雲が遠ざかる時、定常電場が負の異常値より先づ正の異常値となり、次に平常値に復する場合。

個々の雷雨についての相關は第4圖に示した。

統計結果を第12表に掲げた。これから次の關係が得られる。即ち

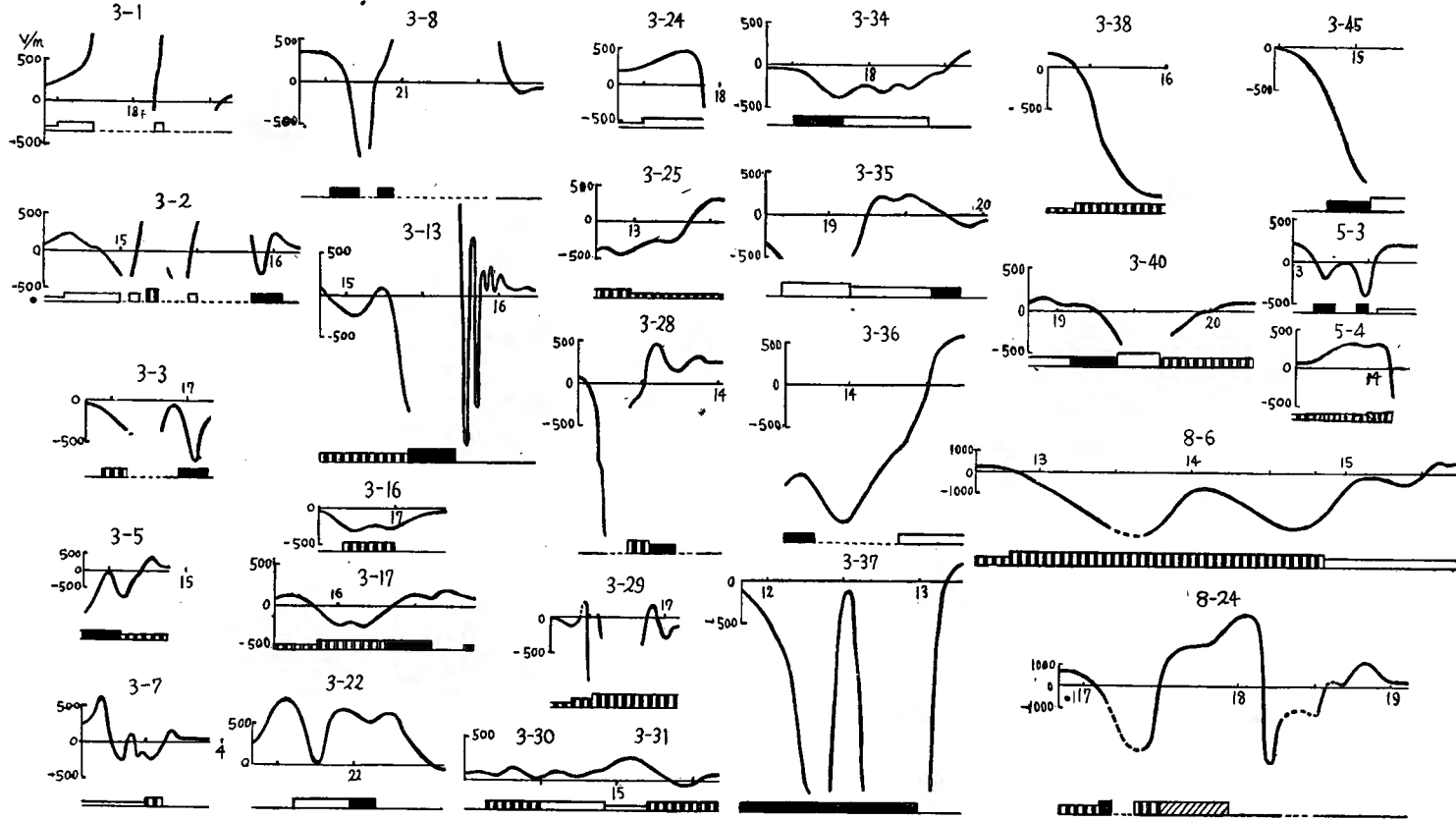
第12表 擾亂定常電場の位相と電場變化との關係

定常電場 發現する 電場變化	(i) 雷雲の近付く場合、 平常→負の異常	(ii) 雷雲の近付く場合、 平常→正の異常 →負の異常	(iii) 雷雲の遠かる場合、 負の異常→平常	(iv) 雷雲の遠かる場合、 負の異常→正 の異常→平常
主として(md)若くは(mu)	1933-4	1933-1, 2, 22, 24	1933-34	1933-35, 36, 1938-6
主として(md_0)	1933-34, 37, 40, 45 1935-8	1933-8, 35	1933-17	1933-2, 5, 22, 28
(md)若くは(mu)と(md_0)が同程度	1933-3, 13, 16, 17, 38 1938-6	1933-29 1935-4 1938-24	1933-7, 16	1933-25

(i)の場合： (md_0) 及び (md) (若くは (mu))が同程度に現はれるか。或は主として (md_0) が現はれることが多く、主として (md) (若くは (mu))が現はれることは少い。

(ii)の場合：主として (md) (若くは (mu))が現はれるか、或は (md_0) 及び (md) (若くは

第4圖 擾亂定常電場と電場變化との關係



□ Mainly Nu ■ Mainly Nd ▨ Nu and Nd in comparative degree ▩ Mainly Nu
 ▤ Mainly (Ma) or (Mu) ▦ Mainly (Md) ▧ (Ma) or (Mu) and (Md) in comparative degree ▪ Mainly Nu
 ▥ Mainly (Fu) ▩ Mainly (Fd) ▫ (Fu) and (Fd) in comparative degree

雷雲内の電氣分布に就いて

雷雲内の電気分布に就いて

(mu) が同程度に現はれることが多く、主として(md_0)が現はれることは少い。

(iii) の場合：認むべき関係はない。

(iv) の場合：主として(md_0)が現はれるか、或は主として(md) (若くは(mu)) が現はれることが多く、(md_0)及び(md) (若くは(mu)) が同程度に現はれることは少い。

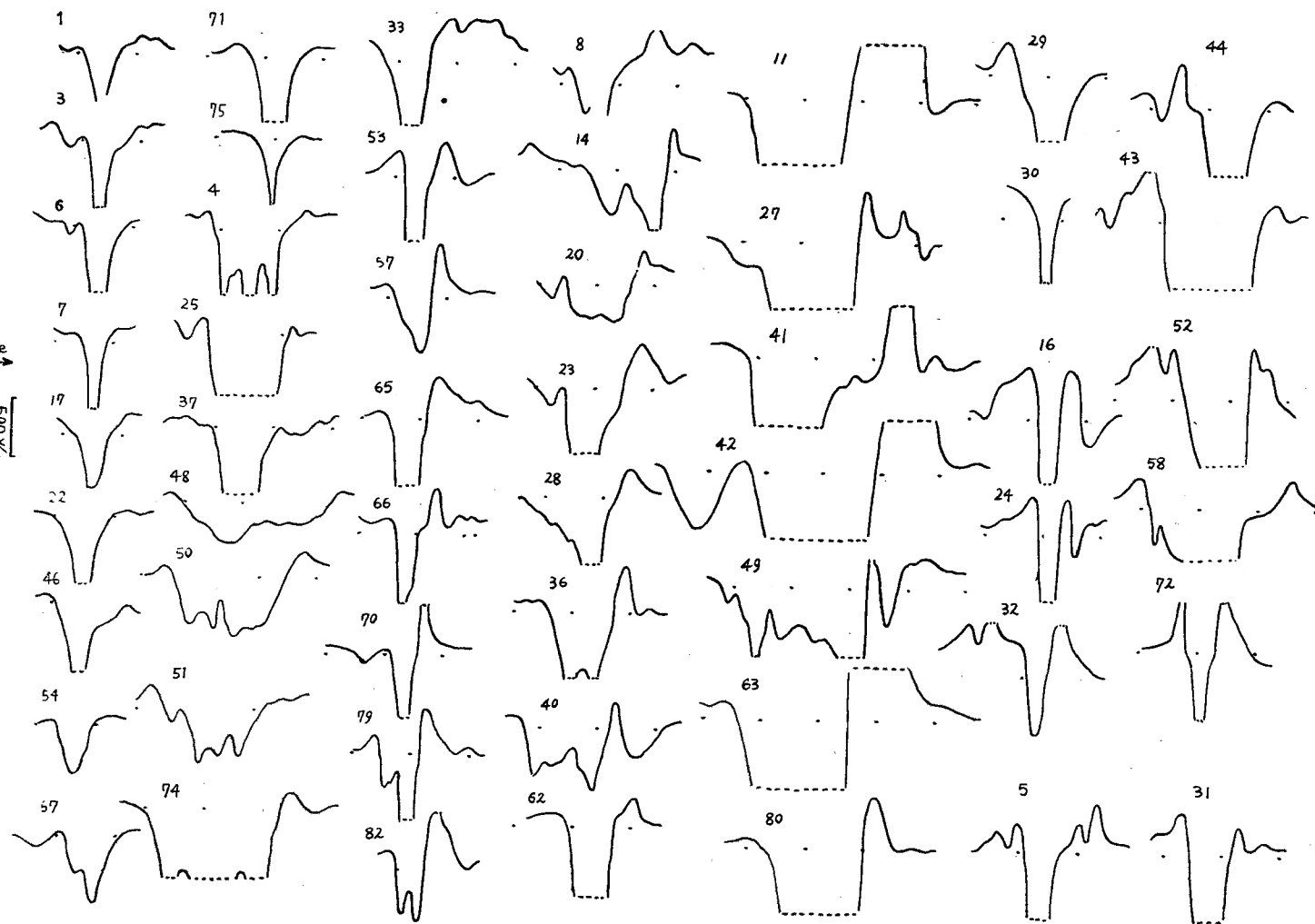
以上に記した相関は勿論重要であるが、擾乱定常電場單獨の観測結果も亦有用である。

昭和9年に於ける観測は、甚だ遅廻しの記録であつたため雷放電に伴ふ電場變化の型は充分區別することが出来なかつた。従てこの場合には擾乱定常電場の消息を知るに役立つに過ぎなかつた。擾乱定常電場の性質を論ずるためには、京都及び別府で得た材料のみでは充分でなかつたため、阿蘇に於て昭和7年より同13年に至る期間に得た夏季に於ける雷雨或は驟雨の際の擾乱定常電場記録の中、比較的簡単な外見を有する例83個について型の分類を試みそれらの發現頻度を調べた。

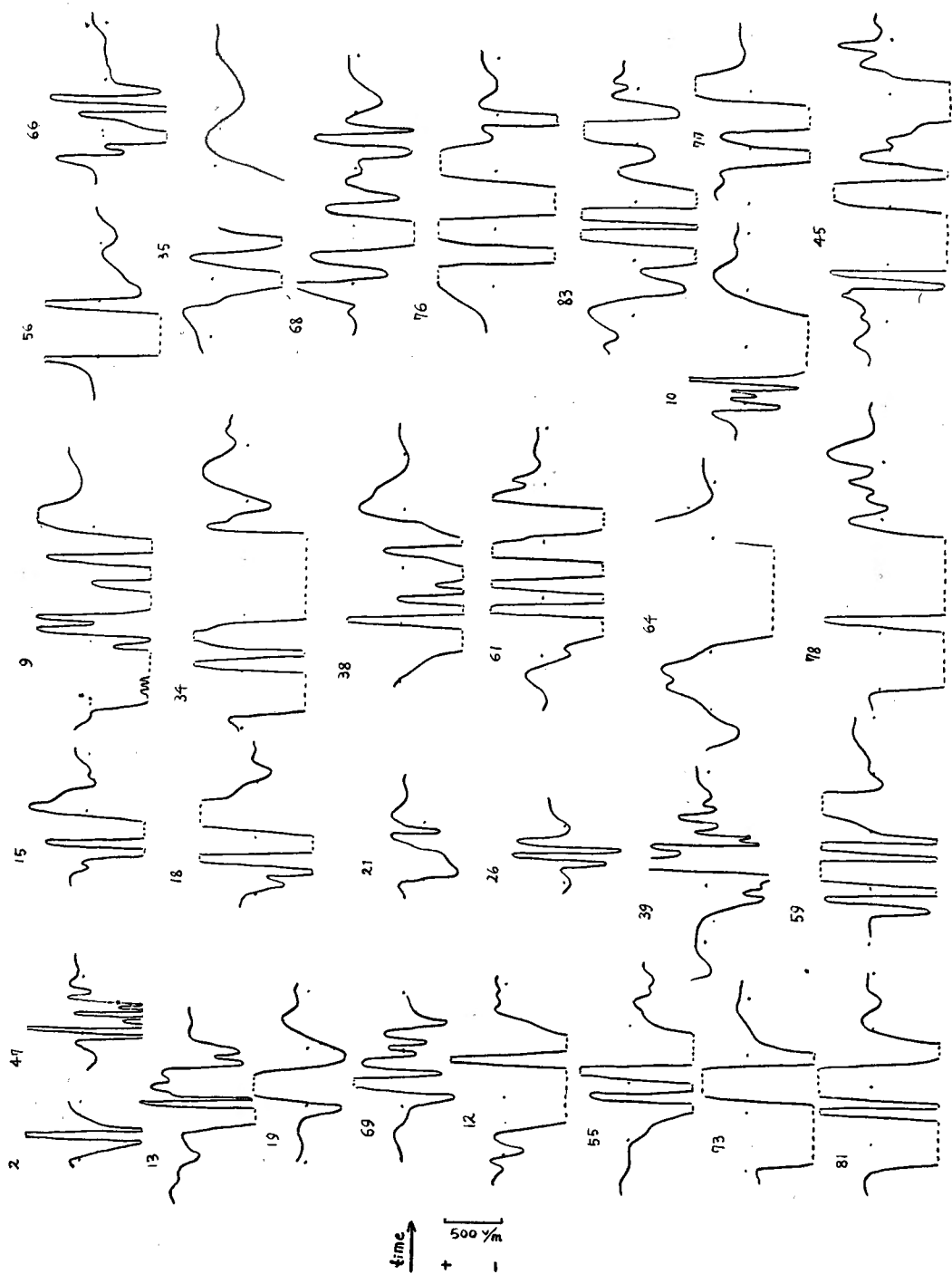
型の分類は第14表に掲げた擾乱定常電場の時間的経過の圖式表示に従ふ如く試みた。定

第13表 雷雨及び驟雨. 阿蘇

番號	年月日	時 間	番號	年月日	時 間	番號	年月日	時 間
1	VIII 3	^h 12,5~ ^h 14,5	29	VIII 20	^h 19,0~ ^h 21,0	57	VII 8	^h 14,5~ ^h 16,5
2	"	14,5~16,0	30	23	14,0~15,5	58	12	11,5~15,5
3	5	21,0~23,0	31	26	13,5~16,0	59	14	11,0~15,0
4	6	4,5~7,0	32	27	10,0~13,0	60	15	17,0~20,0
5	"	9,0~11,5	33	"	14,0~18,0	61	16	13,0~18,0
6	23	10,5~12,0	34	29	15,0~20,0	62	"	20,0~22,5
7	"	19,0~20,5	35	IX 11	15,0~20,0	63	17	14,0~18,5
8	25	15,5~19,0	36	VI 10	5,0~7,5	64	20	13,0~18,0
9	26	2,0~7,0	37	12	13,5~16,0	65	21	17,0~19,0
10	27	14,5~18,0	38	VII 5	13,5~18,0	66	24	12,0~14,0
11	28	14,5~19,0	39	13	12,0~15,0	67	25	0,0~2,5
12	29	15,0~19,0	40	16	16,5~19,5	68	"	7,5~11,5
13	IX 1	13,0~15,5	41	18	13,5~18,0	69	27	17,5~20,0
14	2	8,0~11,5	42	19	16,0~22,0	70	30	15,5~17,5
15	9	12,5~15,0	43	20	14,0~17,5	71	VIII 3	14,0~16,0
16	VI 12	16,0~19,0	44	24	19,0~22,0	72	8	12,0~14,5
17	"	22,0~23,5	45	25	0,0~5,0	73	"	14,5~18,0
18	16	16,5~19,5	46	VIII 13	14,5~16,5	74	11	13,5~17,0
19	17	14,5~17,0	47	"	16,5~18,5	75	16	10,0~11,5
20	VII 9	12,0~14,0	48	14	15,0~19,0	76	21	3,0~8,0
21	"	16,5~18,5	49	16	13,5~18,0	77	22	16,0~19,0
22	18	13,5~15,5	50	17	16,0~19,0	78	23	13,5~19,0
23	22	13,5~16,5	51	20	12,0~14,5	79	28	15,0~17,0
24	26	8,0~10,0	52	"	15,0~18,0	80	29	14,5~17,5
25	29	16,0~18,5	53	29	11,5~13,5	81	"	19,0~22,5
26	VIII 1	14,5~16,5	54	"	17,0~18,5	82	VII 29	12,5~14,5
27	16	16,0~20,0	55	VI 7	23,0~3,0	83	"	14,5~19,5
28	19	15,5~18,0	56	"	9,5~13,0			



第5a圖 雷雲及び驟雨雲による擾亂定常電場，第1群（阿蘇）各一時間毎の點は零位置を示す。



第5b圖 雷雲及び驟雨雲による擾亂定常電場，第Ⅱ群（阿蘇）各一時間毎の點は零位置を示す。

常電場の値が $\pm 250 \text{ Volt/meter}$ を超ゆるものを異常値とした。群別にした各型の發現頻度は表に示す通りとなつた。調査した雷雨或は驟雨の發生日時を第13表に示した。個々の記録を第5a圖及び第5b圖に掲げ、同じ型のものは集めて示してある。

第I群のものは主要な異常値は負であつて、かやうな擾亂定常電場を生ぜしめる雲の底部は負電氣を持つと考へられる。第II群のものは主要な異常値は正負共にあつて、この場合には雲の底部の或る部分は正、他の部分は負の電氣を持つと考へられる。詳しく云へば、一般に正の異常値の繼續時間は負の場合より短いから、正電氣の存在する範圍は負電氣の存在する範圍に比べて甚だ狭いと考へられる。而して正電氣の存在する範圍は一ヶ所とは限らないことは第5b圖から容易に想像される通りである。

以上の如く種々の型があるけれども、擾亂定常電場の時間的經過の著しい特徴として I_A , I_B , II_A , II_B を舉げることが出来る。擾亂定常電場のみの觀測結果を解釋するには種々の方法がある。第I群及び第II群の性質を最も簡単に解釋するためには Simpson, Scrase が用ひた模型雷雲のW型及びZ型を借用すればよい。擾亂の初めと終りに正の異常値がないもの(I_A , II_A)は雲の上部に正電氣が不足してゐるときであつて、然らざる場合には I_D 或は II_D となるであらう。雲の上部に正電氣が不足する可能的原因としては、最初に Wilson が示唆した如く雲頂より上空に正電氣が逸散することが考へられる。擾亂の初めに正の異常値がなく終りにあるもの(I_B , II_B)は、雲の上部の正電氣が下部の負電氣に對して雷雲の進行方向と反對にずれてゐる場合に相當する。

以上の解釋に於いては擾亂定常電場の時間的變化が地表上の分布と等しいと假定したのであるが、この假定は雷雲が電氣分布を不變に保ちて一定速度を以て進行する場合には正當である。然し一般にはかやうに簡單ではないから、これらの解釋の正否は多方面の觀測結果と比較して決定されるべきである。我々は12に於いて述べる如く、雷雲内の電氣分布状態は雷雲の發達につれて變化すると云ふ見解の下に I_B 及び II_B の特徴を解釋したいと思ふ。 I_A 及び II_A の特徴も亦同様の考へを基礎にして充分解釋し得るものである。茲に注意すべきことは、同じ雲についてもその如何なる部分が觀測所の上方を通過するかによつて擾亂の型が異つて來る。例へば雲底の一部に正電氣がある場合、この直下では擾亂は正の異常値を示す筈であるが、この點から遠ざかるにつれて正の異常は漸次消滅する。従つて雲の如何なる部分が頭上を通過したかを明瞭にしない限り、上に類分した I, II 群の相對

雷雲内の電氣分布に就いて

的頻度を論ずることは出来ない。かやうにこの分類方法には議論の餘地があるけれども、雲底の電氣は負のことも正のこともあることは疑なく、又我々が I_B , II_B , I_A 及び II_A についてその特徴を指摘したのは擾亂の初期及び末期、即ち雲の邊緣近くに於けるものであるから、雷雲の中心が頭上を通過するや否やに關係なくこの特徴は觀測し得るものである。

第 14 表 擾亂定常電場の時間的變化の型

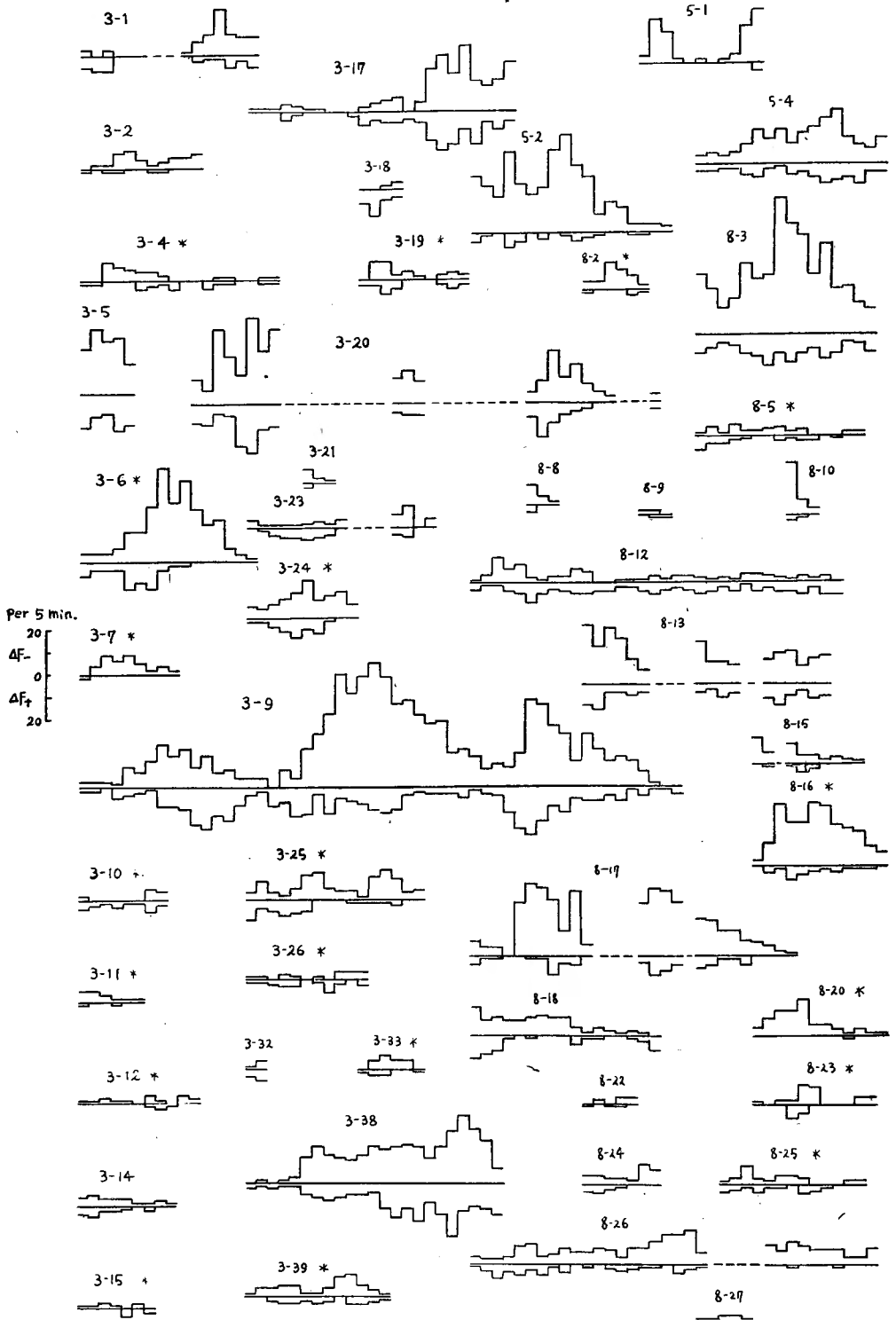
型	異常電場 (圖式表示)	例	%	型	異常電場 (圖式表示)	例	%
I_A		1 3 4 6 7 17 22 25 37 46 48 50 51 54 67 71 74 75 (18)	34	II_A		2 12 13 19 47 55 69 73 81 (9)	30
I_B		8 11 14 20 23 27 28 33 36 40 41 42 49 53 57 62 63 65 66 70 79 80 82(23)	43	II_B		9 15 18 21 26 34 38 39 59 61 64 78 (12)	40
I_C		29 30 43 44 (4)	8	II_C		35 56 60 68 76 83 (6)	20
I_D	 $+(B) \doteq + (E)$	16 24 32 52 58 72 (6)	11	II_D	 $+(B) \doteq + (E)$	10 45 (2)	7
I_E	 $+(B) < + (E)$	5 (1)	2	II_E	 $+(B) < + (E)$	77 (1)	3
I_F	 $+(B) > + (E)$	31 (1)	2	II_F	 $+(B) > + (E)$	(0)	0
I	合 計	(53)	100	II	合 計	30	100

$+(B)$ 及び $+(E)$ は雷雨又は驟雨が、觀測され初めの時期及び觀測され終る時期に於ける異常正電場を意味する。第 II 群の夫々の型の中央の異常正電場は一般に $+$, $++$, $+-$, $+-++$, $+-++$, の經過を意味する。

7. 電場變化發現頻度の時間的變化

雷雲の中心が頭上若くは比較的近距离を通過する場合に、雷雨活動の全期間に互りて完

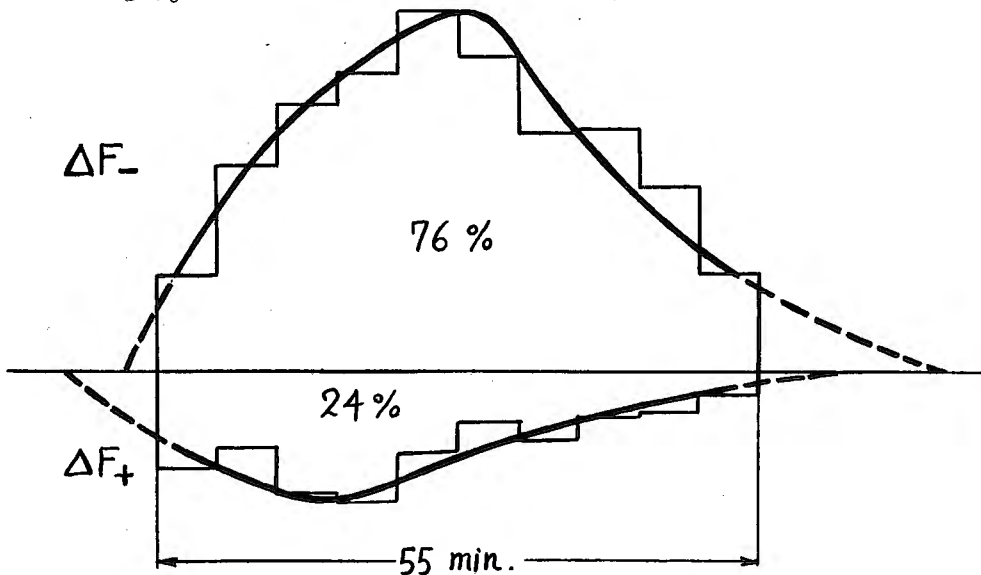
雷雲内の電気分布に就いて



第6圖 $\Delta F-$ 及び $\Delta F+$ の發現頻度の時間的變化.(遠雷)

全に觀測し得たことは多くなかつた。然るに遠雷の場合には、その活動の全期間或はその大部分の期間に亙りて電場變化を觀測したことは少くなく、これらの材料から雷雲内の電氣分離活動の時間的變化を推定することが出来る。

第6圖に掲げたものは凡て遠雷であつて、各5分間を單位としてその間に發現した ΔF_- , ΔF_+ の回数を圖示したもので缺測期間は破線によつて示した。この圖から見られる如く電場急變化の發現頻度(即ち雷放電の發現頻度)は長時間的一般變化をすると共に短時間的の起伏を示してゐる。先づ一般變化を見るため全期間に亙つて觀測されたもののうち、その繼續期間が90分を超ゆるもの或は30分以内のものを除いた19個の雷雲(第6圖で*印を附したのもの)について、その各々の繼續期間を10期間に等分し相繼ぐ期間に發現した ΔF_- , ΔF_+ の回数の平均値を計算して描いたものを第7圖に掲げた。これから見られる顯著な特徴は、 ΔF_- , ΔF_+ 共にその發現頻度は最初比較的急に増大して極大となり然る後徐々に減少を示してゐることと、 ΔF_+ の極大は ΔF_- の極大より時間的に早く現はれてゐることである。



第7圖 雷雨の全期間中に於ける ΔF_- 及び ΔF_+ の發現頻度變化(19例の平均) 及びそれを平滑にして得たる電氣分離の活動度曲線。

單位期間中に發現する雷放電回数は電氣分離活動の指示と考へられるから、第7圖中の計算値を平滑にした夫々二つの曲線は“電氣分離の活動度曲線”と稱し得るものである。破線の部分は個々の例を考慮して外挿的に描いたものである。

第15表 $\frac{\Delta F_-}{\Delta F_+}$ の時間的變化

猶ほ補足的の意味で、第6圖に示した例の中、観測期間が15分以内のものを除く全ての

雷雨についてその前半及び後半期間中の $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ を求め、兩者の比を計算したものを第15表に示した。この比が1より大であるか小であるかに従つて三群に分けたものの平均値は1.9及び $\frac{1}{5.9}$ であり、それらに對應する場合の數は夫々18及び21である。即ち後者の性質が著しく卓越してゐる。このことは遠雷の場合には時間の経過につれて $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ の値が増大することを示し、上に求めた活動度曲線の特性と符合することを示してゐる。

電氣分離活動度曲線の特性は、6にのべた擾亂定常電場の特性と共に雷雲發達の機巧を考へる上に重要な手掛を與へるものである。

第6圖に見られる如く實際の電場變化の發現頻度(即ち電氣分離の活動度)は、上にのべた一般的變化と短時間的起伏との重疊した變化をするものである。然し或る場合には異つた變化を呈することもある。例へば1933—9の雷雨に於てはその全活動期間は明かに三つの期間に分れ、各々の期間中の變化は夫々一個の雷雨の殆ど全歴史を示してゐると考へられる。第二、第三の期間では電場變化の發現頻度は上に記した一般變化と合致してゐるが、第一の期間では $\Delta F-$ の極大が $\Delta F+$ のそれに先行してゐる。1938—3の雷雨では $\Delta F-$ 、 $\Delta F+$ は殆ど同位相で發現してゐる。

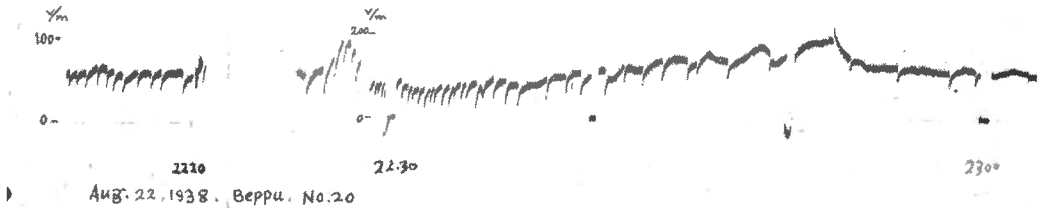
8. 觀測記錄の實例



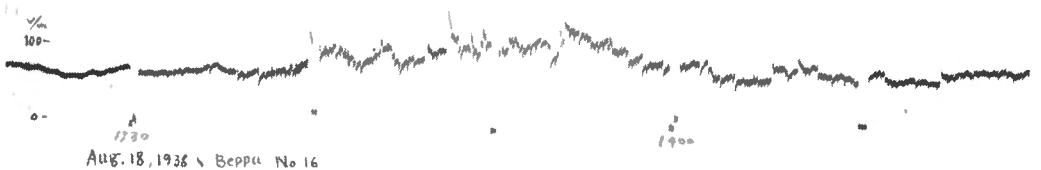
第8a圖(上) 第8b圖(中) 第8c圖(下)

原記録上で記録の痕跡が重り合つて複雑になつたものは、分り易くするため寫しとつたものを示した。然らざるものは復寫したものを示した。

第8a圖(1933—18の雷雨の一部)は(fd)型の電場變化の聚發した例であり、第8b圖(1938—12の雷雨の一部)では大多數は(fd)型であるが(fu)型もある。第8c圖(1933—2の雷雨の一部)は(fu)型の聚發した例である。第8d圖(1938—20の雷雨の殆ど全期間)は夜間の雷雨で放電は凡て雲中に起つた。22時52分に一つの(fd)型の電場變化が起つた以外は凡て(fu)型である。第8e圖(1938—16の雷雨の殆ど全期間)は fd_2 型及び fu_2 型が明かに見られる例である。



第 8 d 圖

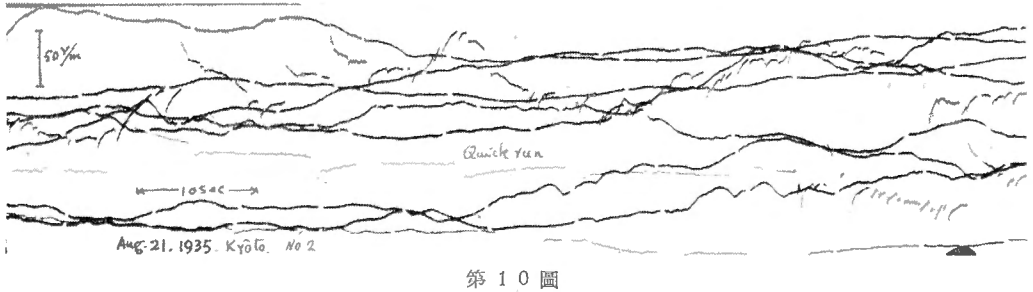
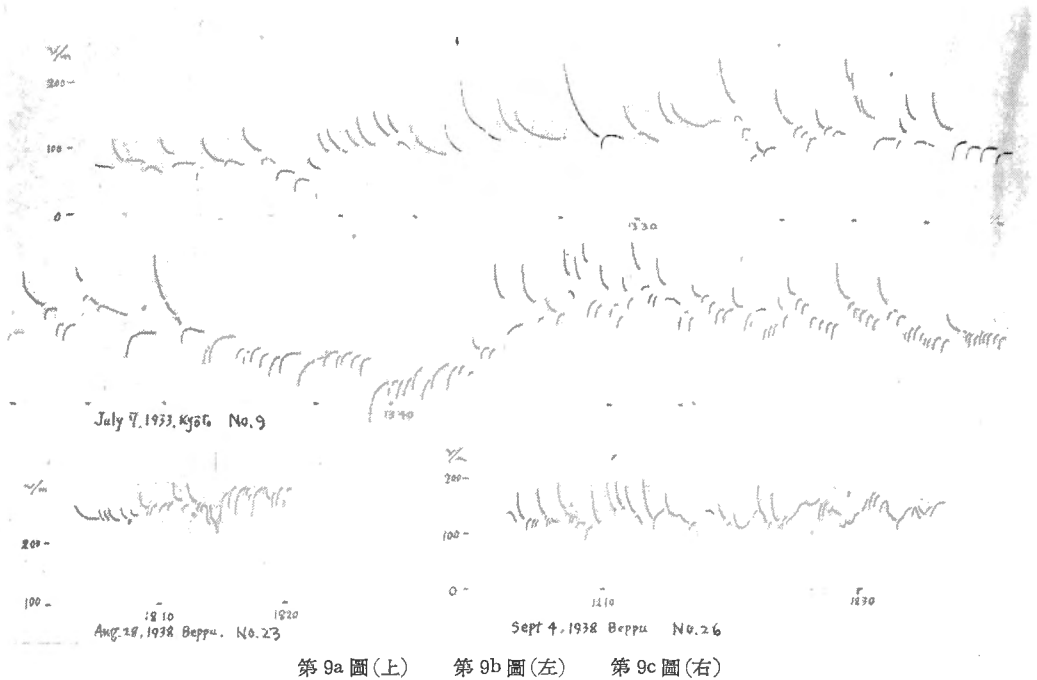


第 8 e 圖

第9a圖(1933—9の雷雨の一部)は(fd)型、(fu)型が交互に聚發した例であつて、その過渡期には両者が混入して發現してゐる。第9b圖(1938—23の雷雨の一部)及び第9c圖(1938—26の雷雨の一部)も顯著ではないが第9a圖と同様の例である。

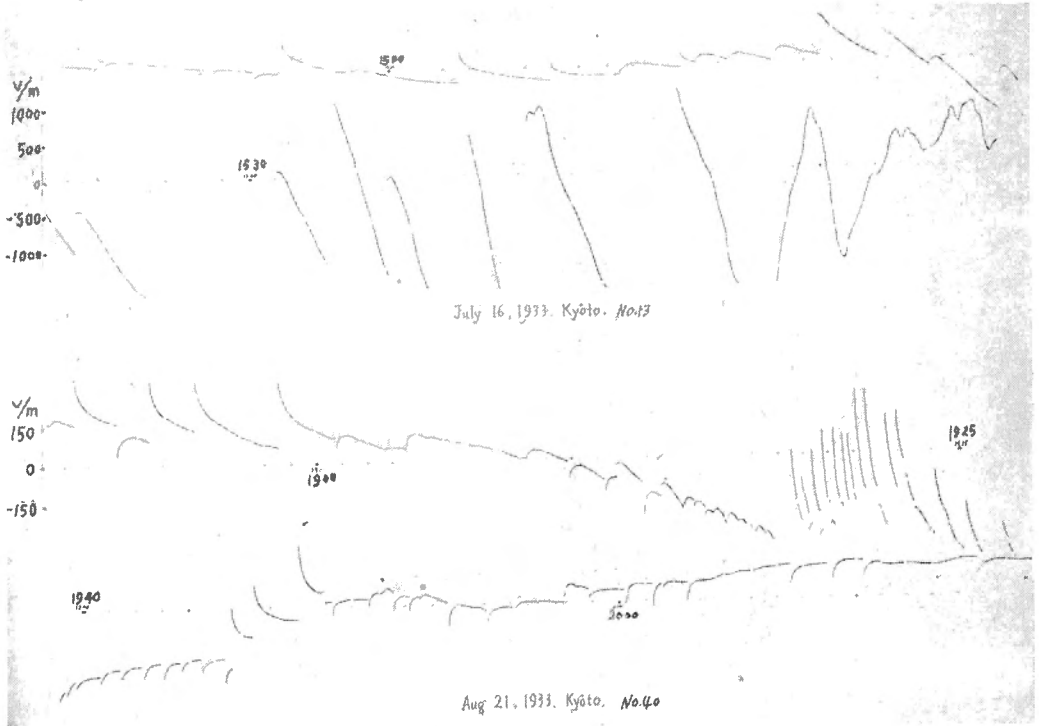
第10圖(1935—2の雷雨の一部)の痕跡の薄い部分は早廻し記録であつて、この圖では約1分間の間が示されてゐる。この時の早廻し觀測は約6分間であつて、その間に2回の $\Delta F+$ と40回の $\Delta F-$ が觀測されたのであるが、この圖では2個の $\Delta F+$ と4個の $\Delta F-$ が示されてゐる。 $\Delta F+$ は二つ共 fd 型であることが、明瞭に見られるが四つの $\Delta F-$ は全部 fu 型である。猶この圖に示されてゐない残りの36個の $\Delta F-$ も凡て fu 型であつた。記録上で小さい漣が見えるのは電器の刷子の不良に因るものであつて、實際の空中電氣現象ではない。痕跡の濃い部分は遅廻し記録である。

雷雲内の電気分布に就いて

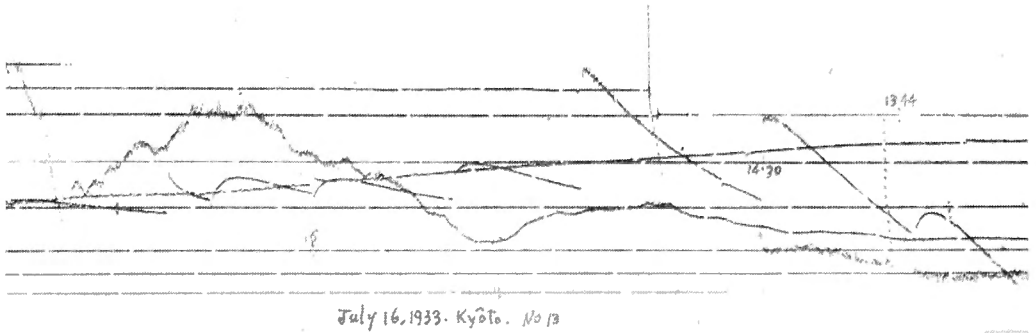


第11a圖(1933—13の雷雨の殆ど全期間)の前半に於ては雷雲の中心は中距離にあつて(md)型、(mu)型及び(md_0)型の電場變化が現はれており、後半に於ては中心が頭上近く來て nd 型の電場變化を示してゐる。記録が時間的に連續してゐないのはスケールアウトしたためである。猶ほこの記録で15時09分から15時21分に至る間の原記録の複寫を第11c圖に示した。二重性電場變化が明瞭に見られる。小さい振動狀の變化は刷子の不良によるものであつて實際の空中電気現象ではない。第11b圖(1933—40の雷雨の殆ど全期間、11分間缺測)の前半に於ては雷雲の中心は中距離にあつて(md)型及び(md_0)型が多數發現してゐるが19時18.5分に至つて急に mu 型の變化が起り、その後少くとも約8分間 mu 型が續いて現はれてゐて而もその間に(md_0)型と思はれる ΔF —が見られる。これはおそらく

雷雲内の電気分布に就いて

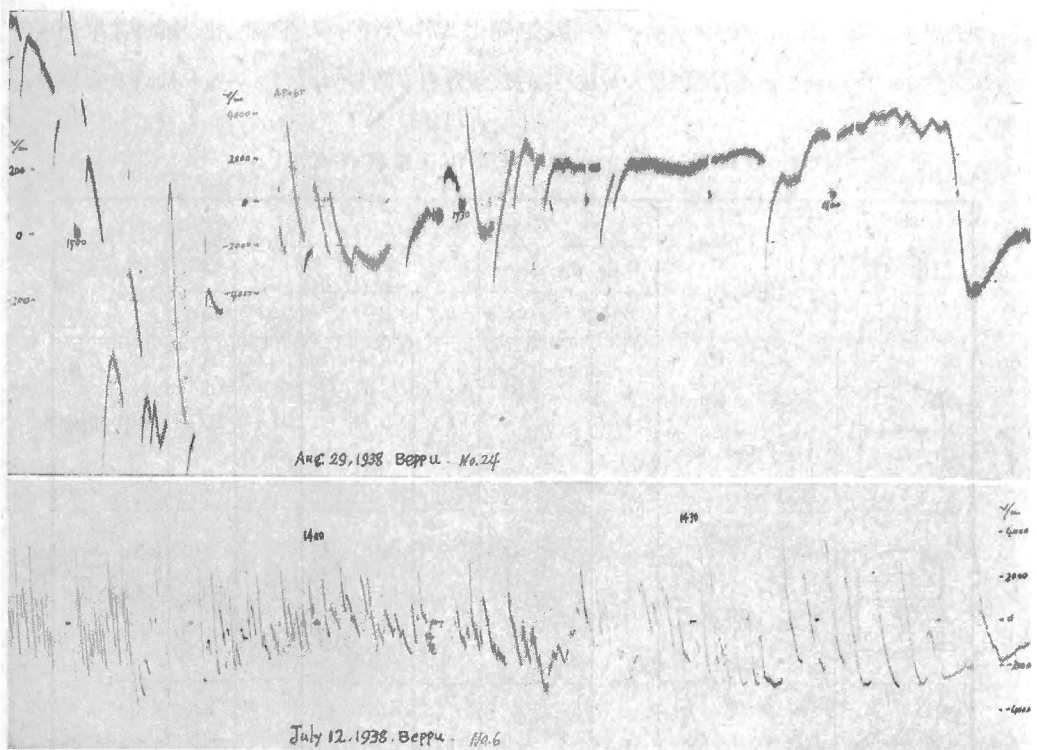


第 11a 圖(上) 第 11c 圖(下)



第 11b 圖

(md_0)型の電場変化を生ぜしめる放電が雲の一部に起きてゐる最中に mn 型を生ぜしめる放電が雲の他の部分に起り初めたものと考へられ、前者は中距離に後者は近距離にあつて両者は判然と雲の別々の部分に存在するものと解釋せられる。19時27分より19時30分に至る間、電場は負の方向にスケールアウトしその後は主として (mn) 型の變化が記録されてゐる。



第 12a 圖(上) 第 12b 圖(下)

第 12a 圖(1938—24の雷雨の一部)に於て17時10分頃までは雷雲の中心は中距離にあつたがその後次第に接近して來て(17時16分に電位計の感度をおとした)17時30分頃には頭上に電光を見、擾亂定常電場は負から正に變つて *na* 型の電場變化が現はれてゐる。落雷は認められなかつた。この雷雨の擾亂定常電場の大略の様子及び電場變化の型は第 4 圖の中に示されてゐる。これは後述するところの *Udd* 型の雷雲(第19圖参照)の特徴を顯著に示してゐる。第12b圖(1938—6の雷雨の一部)も中心が頭上を通過した場合の例であつて、主として *nd*, *nu* 型の電場變化が多數現はれてゐる。この時の擾亂定常電場の大略の様子及び電場變化の型は第 4 圖の中に示されてゐる。これは13に於て後述する雷雲内の電氣分布狀態の變遷を示した理想的の場合(第20圖Ⅲ参照)と甚だ類似したものであることは興味深いと思ふ。

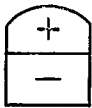
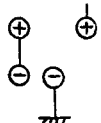
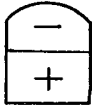
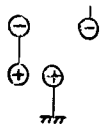
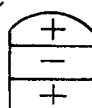
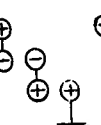
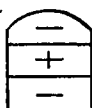
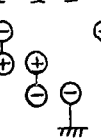
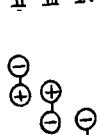
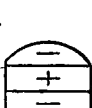
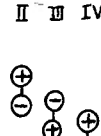
9. 雷放電に伴ふ電場變化より推定される雷雲の極性

4~8に於て觀測結果を述べた。次にこれらの材料によつて雷雲内の電氣分布を推定しよ

雷雲内の電気分布に就いて

うと思ふ。先づ遠雷，近雷についての電場急変化 $\Delta F-$, $\Delta F+$ の發現回数の統計結果を用ひて見る。考へ得る最も簡単なものは双極の電気分布であるが，然し一般にはより複雑の

第16表 $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ より推定される雷雲の極性

極 性	放 電 様 式 (假定的)	雲 中 放 電				落雷	上空に 向ふ 放電	判 定
		遠 距 離		近 距 離				
		$\Delta F \bullet$	$\Delta F - / \Delta F +$	ΔF	$\Delta F - / \Delta F +$	ΔF	ΔF	
a 	I II III 	I -		I +		II +	III -	期待可能
b 	I II III 	I +		I -		II -	III +	期待不能
c 	I II III IV 	I - II +	1	I + II -	1	III -	IV -	期待不能
d 	I II III IV 	I + II -	1	I - II +	1	III +	IV +	期待可能
e 	I II III IV V 	I - II + III -	2	I + II - III +	$\frac{1}{2}$	IV +	V -	期待可能
f 	I II III IV V 	I + II - II +	$\frac{1}{2}$	I - II + III -	2	IV -	V +	期待不能
観 測 値		2,1~5,8		$\frac{1}{11} \sim \frac{1}{61}$		主として +	?	

ものと考へねばならない。茲では六つの場合について、雲内の正負兩電氣は水平方向に層状をしてゐるとし、且放電は相隣れる異種電氣の間若くは雲底より大地に向ひ、又は雲頂より上空に向つて單獨に起るものと假定する。この六つの場合の電氣分布、起り得る放電様式及び電場急變化の符號を示し實際の觀測値と比較したものが第 16 表である。但し $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ は、雲中放電に限りその各様式が均等に起るものとして計算したものであり、又 $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ の觀測値は雲中放電のみならず落雷若くは上空に向ふ放電(あり得るとせば)によるものも含んでゐるが、然しこれらは雲中放電に比較して一般に稀に起るものであるからこの値は雲中放電のみによる電場急變化の發現比と見ても大差はなく、從つて極性の判定に役立つものである。

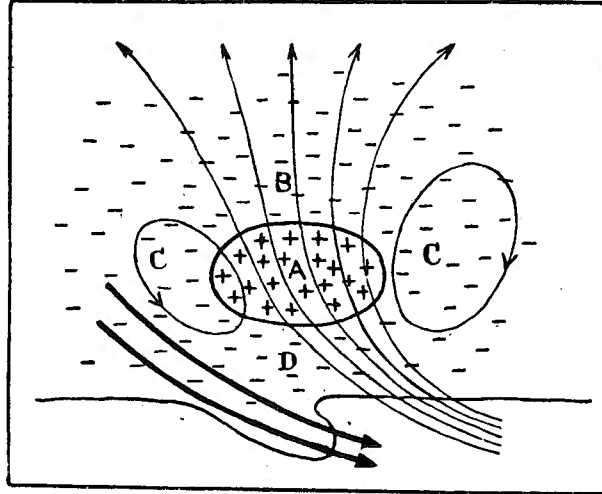
この表から見られる如く電場急變化の符號に關する限り、 a, d, e の分布が可能のやうである。この三者に共通することは雲底に負電氣があることであつて、これは雷雲下の地上の擾亂定常電場は多くの場合負であると云ふ事實と一致する。 a の分布は最も簡單であり從つて放電様式も少數であるが、而も後述する U 型雷雲(第 19 圖参照)と同じである。 d 及び e の分布は a の場合よりも複雑であり放電様式も多い。然し乍らこれらの三者が如何なる相對的の頻度で現はれるとしても、若し初めに假定した如く雲中放電は互に相隣れる異種電氣の間のみに單獨に起ると云ふ制限がある限り、 $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ の假想的の値と觀測値との一致は決して望まれない。何となれば雲中放電によつて起る電場急變化は遠近兩距離に於て夫々反對符號となる筈であり、從つて $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ は遠雷、近雷に對して逆數關係にならなければならないからである。この一致を期待するためには放電様式の、より複雑なものを想像しなければならない。實際 d, e の場合には上に制限したよりも尙複雑な放電様式を想像し得る。これは二重性電場變化の實在することからも考へられるのであつて、10 に於いて述べる如き放電様式を考へるならば、雷雲の極性は a, d 及び e の夫々の場合があり得るとして遠雷、近雷についての $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ の觀測値を困難なしに期待し得るのである。

10. (md_0) 型の電場變化の特性より推定される雷雲下部 に於ける電氣分離過程、電氣分布及び放電様式

5 に於て我々は統計結果から電場變化の型が雷放電よりの距離によつて如何に變型するかを豫想しておいた。變型 (fd) $\rightarrow$ (md_0) $\rightarrow$ nd は初めて我々の觀測から豫想せられたもの

雷雲内の電氣分布に就いて

であつて、これは雲の下部に於ける電氣分離過程、それに相應して現はれる電氣分布及び放電様式を次の如く考へるならば容易に期待し得るものである。即ち第13圖の *A* の領域に



第13圖 雷雲下部に於ける電氣分離の過程

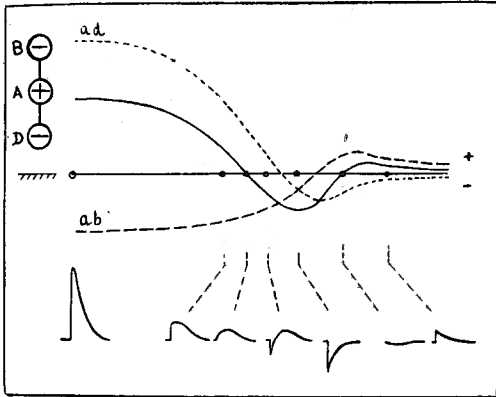
於て電氣分離が起り、正電氣はこの領域に残留し負電氣はこの周圍 *B*, *C*, *D* に、圖示した如き氣流に沿ひて分布されるものとする。細線は上昇氣流；太線は局部的の下降氣流を示す。かやうな事情の下で *A* の附近に放電が生ずるならば、その都度上記の過程が繰返されるであらう。上半部(*AB*)に於ける電氣の再分布は急速に進行するが下半部(*AD*)に於いては徐々であるとし、又兩半部に於ける電氣兩分布は共に指數的に進行するものとする。このやうに假定して、次の二つの場合について雷放電による電場急變化及びその後の電場再生について考へて見る。

- (i) *A* と *B* との間及び *A* と *D* との間に放電が殆ど同時に生ずる場合。
- (ii) *D* にある負電氣が落雷し、それと殆ど同時に *A* と *B* との間に放電が生ずる場合。

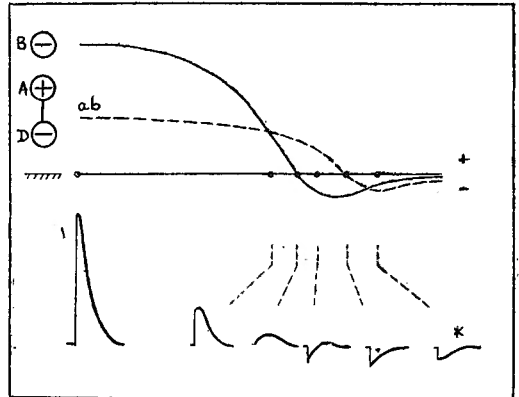
實際にはかやうな電氣分布の場合の放電様式は複雑かも知れないが、茲では簡單のため正電氣の上下に負電氣があり、従つて放電は鉛直方向に起るものとして電場變化の性質を調べて見る。

かやうに考へて定性的表現を(i)の場合に相當するものを第14圖に、(ii)の場合に相當するものをその放電量の相對的の大きさにより二つの場合に分けて第15a, 15b 圖に示した。各圖に於ける實線は放電直下の地點よりの距離と合成電場急變化の大きさとの關係を示し、

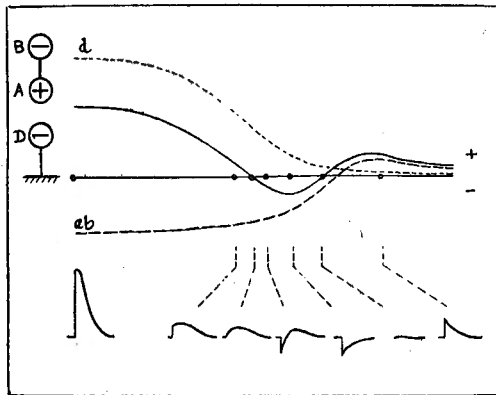
・ 雷雲内の電氣分布に就いて



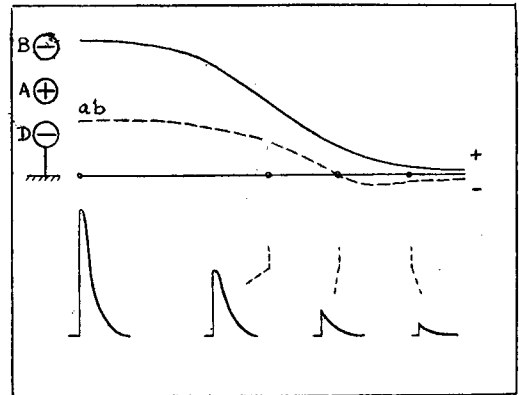
第 14 圖



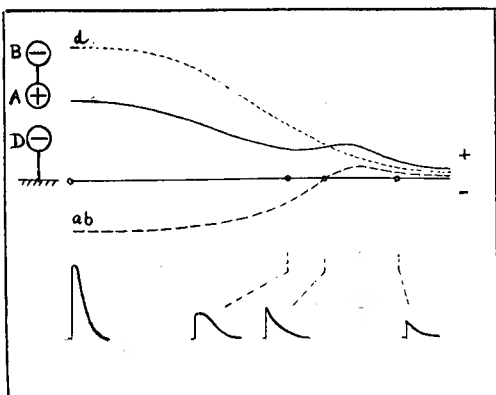
第 16 圖



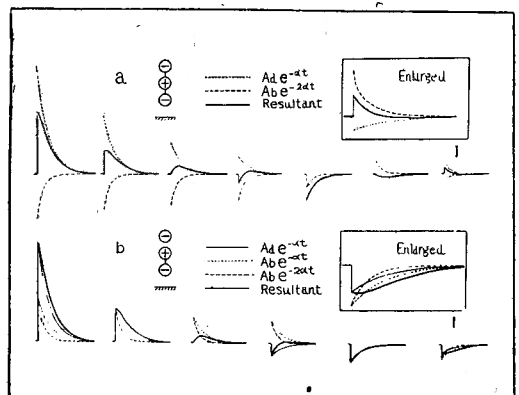
第 15 a 圖



第 17 圖



第 15 b 圖



第 18 圖

二つの破線(第14圖に於ける ab 及び ad , 第15a圖, 第15b圖に於ける ab 及び d)は夫々二つの放電による電場急變化の大きさを示す。二つに分けて考へた場合の各距離に於ける電場變

化を重疊して得た合成電場變化の型も夫々各圖中に示してある。第14圖の場合に相當する重疊の方法を第18圖の a に示した。この時二つの電場再生曲線は次の如く假定した。即ち

$$(AB) \text{ に対して } ABe^{-2\alpha t}, (AD) \text{ に対して } Ade^{-\alpha t}$$

Ab 及び Ad は放電よりの距離の函數で第 14 圖の曲線 ab 及び ad で示されたるも

の、 α は正の常數、 t は放電の起つた時から測つた時間。

第15a, 15b 圖の場合にも同様にして求められる。即ち以上の各場合に近距離、中間距離及び遠距離に於いて夫々 nd 型、 (md_0) 型及び (fd) 型の電場變化が現はれることになる。然し (md_0) 型より (fd) 型に移る中途に於いては、第14圖及び第15a圖の場合に (mu) 型、第15b圖の場合に (md) 型が現はれてゐる。又第14圖及び第15a圖の場合には急變化が現はれないことがあるが、これは實際の記録上で單にショックが見られるものに相當するものと思はれる。二つの放電が同時に或は僅かの時間をおいて發生するに従つて二重性電場變化は夫々、近距離に於ては $nd, nd \pm$ 若くは $nd \mp$ 、中間距離に於ては $md_0, md_0 \pm$ 若くは $md_0 \mp$ 、遠距離に於ては $fd, fd \mp$ 若くは $fd \pm$ となる(第15 a, b 圖の場合には fd)。かやうにして茲に考へた如き電氣分離の過程、それに相應する電氣分布及び放電様式から (md_0) 型の電場變化の發生及びその距離による變型を完全に説明することが出来るのである。

次に又下記の二つの場合について電場變化の様子を考へて見る。即ち

(iii) A と D との間に放電が起る場合、

(iv) D にある負電氣が落雷する場合。

(i), (ii) の場合と同様、放電は鉛直方向に起り、 D にある負電氣は B の部分から C の部分を経て供給されるものと假定して、(iii) 及び (iv) の場合に相當するものを夫々第16圖及び第17圖に示す。各圖中の實線は電場急變化の大きさを表し破線 ab は A 及び B にある電氣によりて生ずる電場の大きさを示してゐる。放電よりの各距離に於ける電場變化の型も夫々各圖中に示した。第16圖に相當するものを求める方法は第18圖 b に示した。この時 (AD) に於ける電氣の再分布による電場再生は次の如く假定した。即ち

$$Ade^{-\alpha t}$$

Ad は第16圖の實曲線で示されたるもの。

又 (AB) に於ける電氣の蓄積及び電氣の散逸による電場の變化を夫々次の如く假定した。

即ち

$$Ab(1-e^{-2\alpha t}), -Ab(1-e^{-\alpha t})$$

Ab は第16圖の破曲線 ab で示されたるもの。

然るときは(AB)に於ける電氣の正味の蓄積による電場の變化は

$$Ab(e^{-\alpha t} - e^{-2\alpha t})$$

となり、實際の電場再生曲線は $Ade^{-\alpha t}$ と $Ab(e^{-\alpha t} - e^{-2\alpha t})$ との重疊として求められる。第17圖の場合にも同様の方法が適用せられる。即ち以上の各の場合に、近距離に於て共に nd 型の電場變化が現はれ、中間距離に於いては第16圖の場合には md_0 型及び mu 型、第17圖の場合には md_0 型の第1型及び md 型が現はれてゐる。遠距離に於いては第17圖の場合には fd 型であるが、第16圖の場合には特別の型(圖中に於て*印を付したるもの)が現はれることになる。實際の記録上に於いても明かにこの*型と見られるものがある。然しそれは極めて稀であるから、從て(iii)の如き放電様式は稀にのみ起り得ると考へなければならない。

(iii)及び(iv)の場合に期待されるものは凡て單一性電場變化である。

以上(i), (ii)及び(iv)の各場合に於いて(md_0)型電場變化の發生機巧及び距離によるその變型を充分説明することが出來た。然し、放電の大多數は雲中に於いて起り落雷は比較的稀であることから、統計的に豫想されたこの種の電場變化の距離による變型は主として(i)の放電様式によりて説明せられるべきものである。⁽¹⁾ 又(iii)の放電様式も極めて稀ではあるが起り得ると考へられ、それによつて遠雷の場合に現はれる*型の電場變化を説明することが出來た。これらのことは逆に第13圖に示した電氣分離に對する見解を有力に支持するものと思ふ。又若し第16表に示した d 及び e の電氣分布に於ける負電氣の層によつて挟まれた正電氣層を、負電氣によつて包圍されたもので置換し且その時假定した放電様式の制限を上述の如く考へ直すならば、遠雷及び近雷についての $\frac{\Delta F_-}{\Delta F_+}$ の實測値の關係は自らその意味を明かにして來るのである。尙雷雲下の擾亂定常電場は一般に負の時が多いが、活動の中心が頭上近くある時はその大きさを減するか或はその符號を變へることがあると云ふ事實も亦、正電氣の集中した領域が雲底近く存在することを示すものである。

(1) この結果より(fd)型電場變化に相當するものとしては(md_0)型の他、(mu)型のものの一部も含まれてゐることになる。從つて第2表に得た $\frac{\Delta F_-}{\Delta F_+} = 2.1$ に相當する値としては第3表に得た 2.4 より小なる値をとることになる。落雷の場合を考慮に入れるならばこの關係は尙複雑な修正を要するけれども、これは大したことはないと思ふ。

電場變化の變型 $fd \rightarrow md \rightarrow mu \rightarrow no$ は第13圖に於いて A と B との間に放電が起るとすれば容易に説明される。

11. 雷雲上部に於ける電氣分布

電場變化の變型 $fu \rightarrow mu \rightarrow md \rightarrow nu$ は第13圖に示した電氣分離過程，電氣分布からは説明することが困難である。このためには，既に多くの人々によりて假定せられたる如く上部に正電氣，下部に負電氣の分布を考へなければならぬ。そして電氣分離は，放電後の電場再生狀態から示される如く指數的に進行するものと思はれる。雲のこの部分に生ずる放電は， (fu) 型の電場變化は殆ど凡て單一性⁽¹⁾であることからして單一性のものは思はれる。

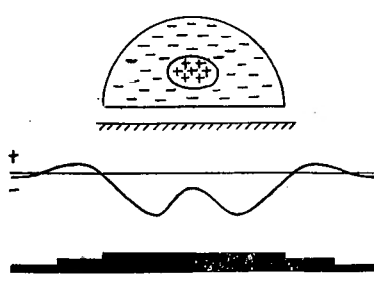
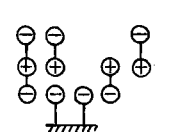
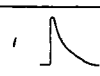
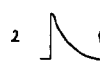
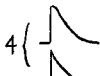
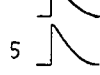
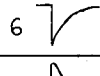
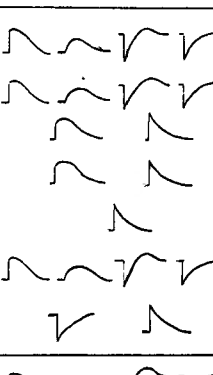
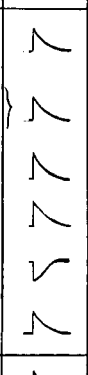
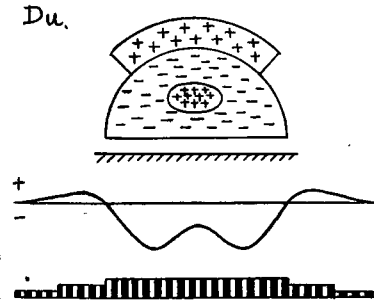
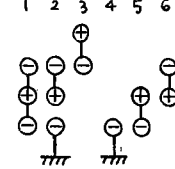
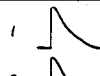
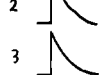
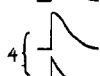
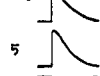
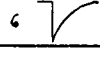
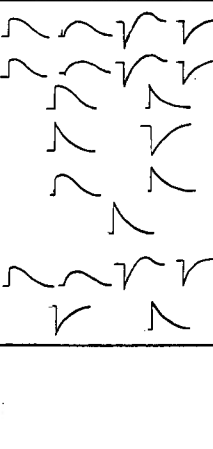
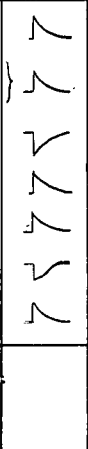
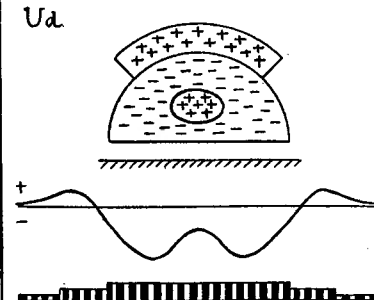
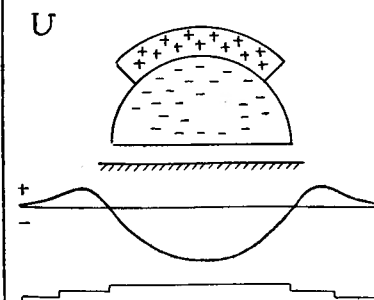
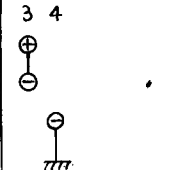
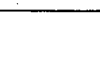
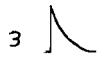
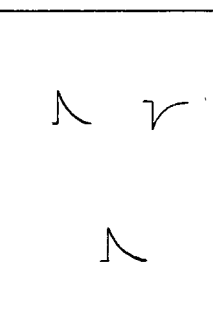
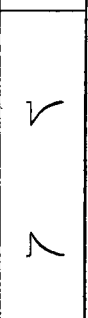
12. 雷雲内の電氣分布の型

9に於て雷放電による電場急變化の統計結果から雷雲の極性を概略推定しておいた。然しこれらは10及び11に得た結果は勿論，6に記述した擾亂定常電場と電場變化との關係及び擾亂定常電場單獨の觀測結果も考慮に入れて修正しなければならない。

かやうにして推定した電氣分布の型，それに相當する擾亂定常電場の型，及び可能と考へられる放電様式による電場變化の型を第19圖に掲げた。 D 型に於ける放電様式4及び Du 及び Ud 型に於ける放電様式4については二つの電場變化を區別した。一方は正電氣域に接近した負電氣の落雷によるものであり，從てこれは第17圖に示した如くなるけれども，他方は正電氣域より離れた場所にある負電氣の落雷によるもので，從つてこの放電によつて電氣分離を直接勵起しないと考へて，電氣の再分布は單純に指數的進行をするものとして電場變化を求めてある。この圖に掲げた落雷の場合(放電様式2,4,7)の電場變化の型は，簡單のため放電前の電場の大きさと充分再生された後のそれとの間に永久的差はないやうに描いてあるけれども，この永久的差は落雷の場合には當然期待されるものと考へられる。遠近兩距離に於ける $\frac{\Delta F_-}{\Delta F_+}$ の値はこれら各種の電氣分布の型が現はれてゐる相對的の繼續時間に依存するものであつて，適當な假定をすれば觀測値を充分説明し得るのである。又擾

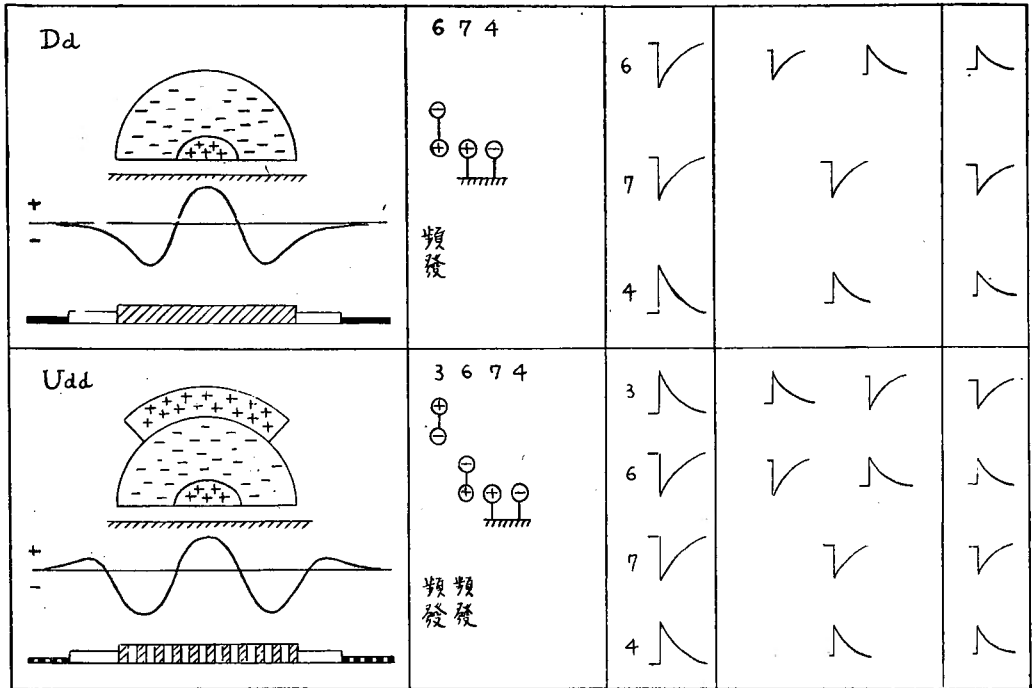
(1) 5に於いては (fu) 型の電場變化の殆ど全部は fu 或は fu 干型であるとしたが，茲に假定した電氣分布からは fu 干或は fu ±型の變化は全く期待されない。從つて (fu) 型の殆ど全部は fu 型であると考へられる。

雷雲内の電気分布に就いて

電気分布 擾乱定常電場 電場変化の型 (雲中放電による)	放電様式	電場変化の型		
		近距離	中間距離	遠距離
D 	1 2 4 5 6  頻發	1  2  4  5  6 		
Du 	1 2 3 4 5 6  頻發 頻發	1  2  3  4  5  6 		
Ua 	Du の場合と同様			
U 	3 4  頻發	3  4 		

第19圖 雷雲の型

雷雲内の電気分布に就いて



第 19 圖 (續 ぎ)

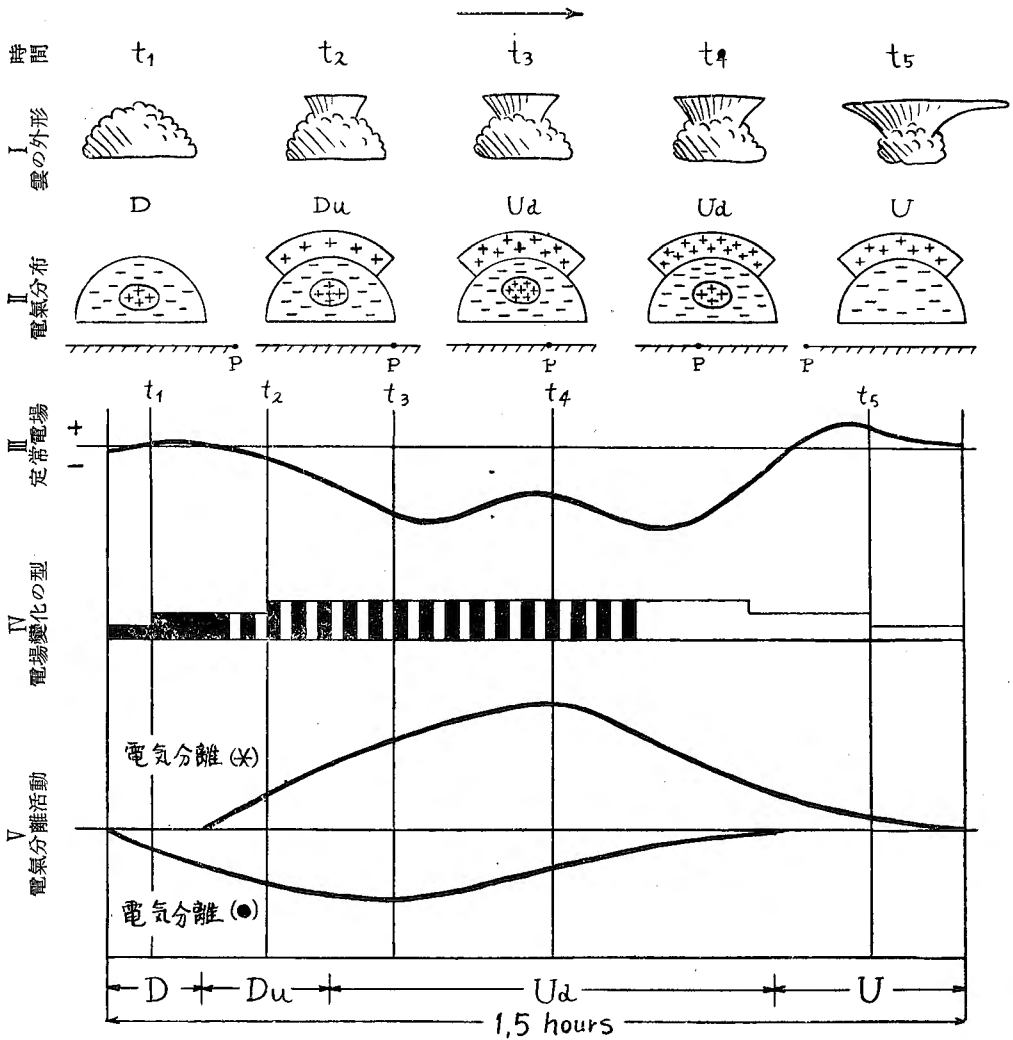
亂定常電場の性質及びそれと電場変化との関係も亦觀測事實とよく符合してゐる。*Dd* 型及び *Udd* 型は夫々 *D* 型及び *Ud* 型の特殊な場合で雲底近くの正電氣域が雲底迄下降したものと見做される。

以上の如く種々の電氣分布の型を提出した理由は、實際の雷雲の電氣現象を説明するのに必要であるためで、單一の模型では不可能である。然しこれらの各型は相互に連絡のあるものである。圖から見られる如く雷雲の内部では電氣分離は確然と異つた二つの場所に起り一方は低所にありこれを電氣分離(●)と稱し、他は高所にありこれを電氣分離(*)と稱することとする。これらのものが同時に活動することもあり又一方のみ活動することもあると考へて、そのため種々の型が現はれるものと解釋せらるべきである。

13. 雷雲内の電氣分布状態の變遷

7 に於いて雷雲活動の全期間に互る電氣分離の活動度曲線を得た。又 10 に於いて(*fd*)型($\Delta F+$)は雲の下部にある電氣分離(●)の場所附近に起る放電に起因することを、又 11 に於いて(*fn*)型($\Delta F-$)は雲の上部にある電氣分離(*)の場所附近に起る放電に起因することを推定しておいた。従つて二つの活動度曲線は夫々電氣分離(●)及び電氣分離(*)の活

雷雲内の電気分布に就いて



第20圖 雷雲内の電気分布状態の變遷

動度を示すものである。⁽¹⁾

これらの活動度曲線より第20圖に示す如く、雷雲内の電気分布状態は時間的變遷をするものと推定することが出来る。茲に我々は電気分布の“型”の代りに“状態”と云ふ言葉を用ひる事とする。この圖のVは電気分離活動度曲線であつて第7圖のものより、分り易くするため多少性質を誇示してある。電気分離(●)の活動開始より電気分離(*)の活動終

(1) 落雷は $\Delta F+$ 若くは $\Delta F-$ 共に起し得る。従て第7圖の曲線は多少の修正をするかも知れないがそれは無視しても差支へない程度である。

止までの間を 1.5 時間とし、この全期間を次の如く四分した。即ち電氣分離(●)の開始より電氣分離(*)の開始までを D とし、これに續いて兩電氣分離活動度が等しくなる迄を Du とし、これに續いて電氣分離(●)が終止する迄を Ud とし、これに續いて電氣分離(*)が終止する迄を U とした。これらの各期間の中央の瞬間を夫々 t_1, t_2, t_4 及び t_5 とし、別に電氣分離(●)が極大に達した時間を t_3 とするとき、 t_1, t_2, t_3, t_4 及び t_5 に相當する電氣分布状態は圖の II に掲げた如くなると推定される。+或は一の印の密度は電氣の密度を性質的に示してゐる。而して電氣分離(●)の場所はこの活動が大なる時高くなつてゐる⁽¹⁾。

扱て茲に求めた電氣分布状態の變遷によつて期待される電氣的現象を觀測事實と比較することが必要である。このため次の場合を考へる。即ち上記の如く變遷し乍ら圖に於て左より右に向つて等速度で觀測地 P の上を通過するとし、雲と觀測地との相對的位置を(II)の如きものとする。この時 P に於て觀測されるべき擾亂定常電場の時間的變化及び雷放電による電場變化の型は圖の III 及び IV に示す如くなる。これらは 6 に於て記した觀測事實の特徴とよく符合してゐる。又電氣分離活動度曲線は、この雷雲を遠距離に於いて觀測する場合に見られる電場急變化 $\Delta F-$, $\Delta F+$ の發現頻度の時間的變化を示すから勿論事實と一致する譯である。即ち上記の推定は我々の觀測結果から見て確かのやうである。以上の状態變遷は簡単に次の如く記される。

$$D \rightarrow Du \rightarrow Ud \rightarrow U$$

實際に於ては雷雲は急激に發達して然る後ある状態に長く停滯することもあり、又發達の途上で衰弱することもあり、或は消滅に向つてゐる時再び活動を開始すること等もあるだらう。それらの事情に従つて種々複雑な現象が期待されるが、一般的に考へて上に記した状態變遷は雷雲活動の歴史を示すものと思はれる。

14. 他の人々の結果との比較

拔山、能登兩氏は主として擾亂定常電場の觀測から日本に於ては S 型及び II' 型(我々の分類の夫々 D 型及び U 型)共に現はれるとしたが、このやうに簡単に分類すれば我々の阿蘇に於ける擾亂定常電場の觀測結果及び京都、別府に於ける電場變化の觀測からも同

(1) 電氣分離(●)は上昇氣流の旺盛なる程烈しくなり、それに従つてその場所も高くなると考へられる。

雷雲内の電氣分布に就いて

第17表 各地に於ける $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$

観測者	年	観測地			遠雷		近雷	
		場所	經度	緯度	距離	$\Delta F-/\Delta F+$	距離	$\Delta F-/\Delta F+$
Wilson	1917	Cambridge	0° 7' E	52° 13' N	5~30 ^{km}	1/1,5	5> ^{km}	1/4
Appleton, Watson Watt & Herd		Aldershot	0 47 E	51 15 N	>150	468/81=5,8	—	—
		Helwan	31 20 E	29 52 N	>500	69/0	—	—
		"	"	"	>500	102/1 =102	—	—
		Khartoum	32 30 E	15 37 N	250	598/46=13	—	—
Schonland & Craib	1926	Somerset East	25 36 E	32 46 S	> 8	666/132=5	6>	9/39 =1/4, 8
Schonland	1927	"	"	"	>15	1482/163= _{9,1}	7>	9/188=1/21
Halliday	1928~ 80	Johannes- burg	28 06 E	26 11 S	> 9	139/9=15	7>	1/8
Whipple & Scrase	1932~ 34	Kew	0 19 W	51 28 N	—	—	5>	125/437=1/3, 5
Wormell	1926~ 36	Cambridge	0 7 E	52 13 N	>15	1546/1699= _{1/1,1}	10>	113/263=1/2, 3
我々の 場合	1933	Kyôto	135 44 E	35 01 N	>15	2736/1298= _{2,1}	10>	3/133=1/61
	1935	"	"	"	"	610/105=5,8	"	—
	1938	Beppu	131 29 E	33 17 N	>15	1915/572= _{3,4}	10>	24/275=1/11

様の結論に達する。

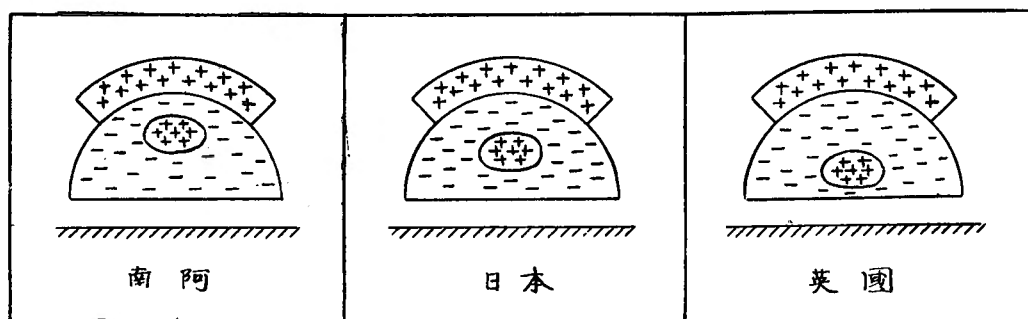
地球上の方々で観測された $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ の値を第17表に示す。これから見られる如く、5~30 km. の範囲に對する Wilson の値及び遠雷に對する Wormell の値を例外として、他は凡て遠雷に對しては $\Delta F->\Delta F+$ 、近雷に對しては $\Delta F+>\Delta F-$ の關係がある。然し各々の數値は非常にまちまちである。Schonland, Craib 及び Schonland 或は我々の結果から見られる如く、同じ観測地に於いても $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ の値は年によつて異つてゐる。然し大觀して遠雷に對するこの値は観測場所の緯度の増すにつれて減少を示してゐる。近雷に對する $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ の値が同じ場所でも年によつて極めて大きい變化を示してゐるのは材料不足に一部起因するものと考へられる。従つてこの値が英國に於いて最大、日本に於いて最小、南阿に於いてその中間にあると云ふことも將來充分の材料によつて變更を來すかも知れない。我々はこの値が遠雷に對するものと同様、観測地の緯度に従つて一方的に變化するものではないかと豫想する。但し變化の方向は遠雷の場合のそれと反對になる。

$\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ の値から推定される各地方の雷雲の平均的型は凡て ⁽¹⁾ U 型である。然しその程度

- (1) Helwan に於ける結果からは純粹に U 型の如くであるが、近雷に對する材料が與へられてゐないので除外する。

雷雲内の電氣分布に就いて

に於ては甚しい相違があり英國に於いてはD型に近く、南阿に於いてはU型に近く、日本に於いてはその中間にある。Simpson, Scrase が示した雷雲内の電氣分布等の理想圖によれば集中した正電氣が雲底近くある。これを参照し且 $\frac{\Delta F-}{\Delta F+}$ の材料を考慮に入れて、各地方に於ける雷雲の平均の型を推定したものが第21圖である。これから見られる如く放電様



第 21 圖 各地に於ける雷雲の型(平均状態)

式は日本に於けるものが最も多様であつて (md_0) 型の電場變化は英國及び南阿に於いては頻發しないこと、或は生じててもその特性が微弱であると考へられる。實際 Wilson(1921) 及び Wormell が Cambridge に於いて、Schonland, Craib 及び Schonland が Somerset East に於て觀測した美しい記録に於て、(md_0) 型のものは我々の場合よりも稀に見られるやうである。然るに一方 Workman, Holzer (1939) が New Mexico の雷雨について觀測した記録には明瞭に(md_0)型が現はれてゐる。同地方は我々の地方と同程度の緯度であり、従つて雷雲もおそらく同様の構造を有するものではないかと思ふ。これらの各地方に於ける雷雲の型は電氣分離(*)域に對する電氣分離(●)域の相對位置により、即ち後者が雲中高所にあるか低所にあるかによつて決定されるもので、これを支配するものは各地方の氣象條件であらう。既に Simpson, も指摘した如く 赤道に接近した地方、電氣分離(●)域は雲中高く存在するものではないかと考へられる。

以上の考察は雷雲の平均状態に關したものであつて、その時間的變遷は考へなかつた。我々の地方以外では必要な觀測材料が報告されてゐないため雷雲が如何に發達するかについては確言し得ないけれども、おそらくは日本に於けると同様のものではないかと思ふ。Simpson, Scrase の理想圖に於ける電氣分布の非對稱性は、我々の見解によれば雷雨の進行方向に關係して期待される空間的非對稱によるのみならず一部分は13に記述した如き、雲の發達による時間的非對稱によるものではないかと思ふ。

15. 結果についての議論

12及13に於て得た雷雲内の電氣分布及びその時間的變遷は全く地上に於ける電場觀測から推定したものであつて、一般に雷雲内に於いては上下確然と離れた二ヶ所で電氣分離が生じ、これら各々の消長によつて電氣分布の型或は狀態が決定されると云ふ結論に到達した。然し如何なる物理的過程によつて電氣分離が生ずるか、又は如何なる氣象條件によつて狀態變化が生ずるかについては何等云ふことが出来なかつた。

D型(若くは狀態)はSimpson, Scraseの所謂S型と殆ど同じもので只Dの場合には電氣分離(●)域の下方にも負電氣が存在してゐなければならない⁽¹⁾。この電氣分離(●)域の高さ⁽²⁾は我々の觀測からは不明であるが、10に於いて考へた如く、この領域に於ける電氣分離は全く“水滴分裂過程”によつて期待されるものと同様であるから、従てこの領域は水が液態にある高さを見てよいであらう。Simpson が同氏の所謂U型、D型放電の生ずる條件として考へたこの電氣分離域の上下振動は、我々の見解によれば第20圖IIに示した如く大規模の昇降運動に相當し且必然的にそれに隨伴する電氣分離(●)の消長によつて電氣分布狀態の變化を來すことになるのである。詳しく云へば第6圖の個々の例に於いて電場變化の發現頻度に短時間的變化のある事實からして、電氣分離(●)域は比較的小規模の上下振動をし乍ら全體として大規模の昇降をするものと考へられる。かやうにして雷雲下部に於ける電氣分離に關する限り我々は水滴分裂説を支持しなければならない。

電氣分離(●)域の近傍に於いて“二重性雷放電”⁽³⁾が起ると期待されるのであるがその様式は一般に複雑であらう。雲中放電の際は電光の全貌を觀察することが困難であるから、如何なる形の電光がこの種の放電に相當するかは今のところ不明であるが、然しある場合には雲中に於いて一つの中心より放射狀に數條の電光が殆ど同時に見られることもあり、又電光が著しい彎曲、枝分れをすることもあつてこれらの場合に於いては、電氣分布は第13

(1) 正電氣が負電氣によつて全く包圍される場合もありうることはSimpsonも示唆してゐる。

(2) Simpson, Scraseの觀測によれば、英國の雷雲についてはこの高さは中心に於て約3軒となつてゐる。

(3) 二重性電場變化を生ぜしめるものを、便宜上二重性雷放電と呼ぶことにする。放電が必しも二重と云ふ意味ではない。例へば第13圖のA, B間に引き續き二回放電し、それと殆ど同時にAD間に放電が起きる場合にも電場變化は二重性となる。

圖の如きものであるとしても矛盾はなく、又これらの放電は第14圖に示した假想的放電と近似した効果を生ずると考へても差支へないであらう。然し二重性電場變化の發生機巧についての我々の見解を確證するためには雲中電光の形狀についての充分なる觀測を必要とする。

これは甚だ奇妙なことであるが、何故第13圖に示した如き電氣分布の場合に二重性雷放電が頻發し A より B に向う單一の放電が稀であるか(この種の放電によりては近距離に於いて ΔF となる。然るに統計によれば ΔF の發現は比較的稀である⁽¹⁾)の理由は今のところ不明である。

電氣分離(*)は雲内の上部に於て生ずる。雲中の上昇氣流が旺盛である程兩種の電氣分離活動は烈しくなると考へられる。第7圖に示した活動度曲線に於いて電氣分離(●)の極大は電氣分離(*)の極大よりも約15分=900秒早く現はれてゐるから、もし活動最盛時に於ける兩電氣分離域の間の上昇氣流速度の平均値が判れば、その時に於ける兩者の間の鉛直距離を見積ることが出来る。今この速度の平均値をかりに3米/秒とすれば、求むる鉛直距離として $3\text{米} \times 900 = 2.7$ 千米を得る。これからして電氣分離(*)は雲中に於いて水は氷晶の形をとる如き高所に於いて起ることが豫想せられ、Simpson, Scrase の觀測結果と符合することになる。

電氣分布狀態の變化を生ぜしめる氣象狀態の變化については茲では深く立入らない。只第20圖1に掲げた雷雲の外見的の形が夫々の電氣分布狀態に對應することの可能性を指摘したい。即ち t_1 に於いては雷雲は單に“Haufenwolke”であつて電氣分離(●)のみが起つてゐるが、この雲の頂上より急激に巻層雲狀の雲が出現する t_2 に於ては既に電氣分離(*)も活動を開始してゐる。 t_3 に於てはエネルギーの供給が最高に達し、 t_4 に於ては雲の上部の運動エネルギーは極大となる。 t_5 に於てはエネルギーの供給は微弱となり電氣分離(●)の活動は止り、雲の上部に殘留してゐる運動エネルギーによつて電氣分離(*)が末期的活動を續けてゐるものと考へられる。

第21圖に掲げた各地方に於ける雷雲内の電氣分布の平均の型は、既に Simpson によつて指摘された如く夫々の地方に特有の氣象狀態即ち空氣中の水蒸氣含有量に依存する上昇氣流のエネルギー、結氷高度及び成層圈底の高さ等によりて決まるものであらう。

(1) これは10に於いて考へた(iii)の放電様式が稀であると云ふことと共に不思議なことである。

我々は雷雲の下に於ける空地電流、雨滴の電氣については觀測をしなかつた。將來はこれらの觀測も行つて一層詳細なる調査を試み度いと思つてゐる。

近雷の場合に於て一般に經驗される放電直前及び直後に於ける地上電場の方向の逆轉に關しては Whipple, Scrase は空間電荷の影響の可能性を擧げてゐるが、これは我々が推定した電氣分布による必然的の結果としても容易に期待されることを、茲では述べないが、示し得るのである。

一樣の密度で球形に分布した正、負電氣の簡単な組合せによつては、實際の雷雲の性質を表現することは困難であるが、第19圖に示した如き形狀の分布を考へるならば種々の觀測事實を量的に充分説明することが出来ると思ふ。數量的考察は近に報告する積りである。

この調査に於いて重要な役割をした (md_0)型の電場變化が我々の特別の注意を惹いたと云ふことは、我々の地方が雷電氣研究に有利な條件にあつたと云はなければならない。然し單一箇所觀測では不充分であつて、より進んだ調査をするためには同一の雷雲を多くの場所で同時觀測をすることが希望される。これは既に Workman, Holzer によりて行はれてゐるのであるが、我々においても目下準備中である。

要 約

- (1) 長谷川式電器を用ひて、約70回の熱雷の際觀測された雷放電による約 8,000 回の電場變化について調査した。
- (2) ラヂオトリウム電器を用ひて約80回の熱雷或は驟雨の際の擾亂定常電場について調査した。
- (3) 雷雲内に於いては上下確然と異つた二ヶ所に於いて電氣分離が生ずる。下方の電氣分離は水が液態にある高さに於て“水滴分裂過程”によつて起るものと考へられる。この近傍に生ずる雷放電は多くの場合二重性である。上下兩電氣分離域の鉛直距離は約3杆程度と見積られる。従て上方の電氣分離は水が氷晶の形である高さに於て起ることが豫想され Simpson, Scrase の觀測結果と符合する。この近傍に生ずる雷放電は單一性である。
- (4) 二ヶ所に於ける電氣分離活動の相互の關係によつて電氣分布の型が決まる。日本に於いては D 型(S 型)及び U 型(H 型)共に現はれるけれども、繼續時間の長さから云へ

ば Du 型及び Ud 型(共に Z 型)が卓越してゐる。

(5)一般に電氣分布の型は雷雲の發達につれて變化する。従つて型と云ふより状態と云ふ方が適當であつて、雷雲は發生より消滅までの間に次の如く變化する。

$$D \rightarrow Du \rightarrow Ud \rightarrow U$$

(6)地球上の各地方に於ける雷雲の平均の型は夫々異つてゐるが、これらは各地方に特有の氣象状態に依存するものと考へられる。

終りに臨み、この調査に對する示唆を與へられ且不斷の激勵を賜つた長谷川教授、及び別府に於ける觀測に助力せられた大木三次氏に深甚の感謝をする。

文 獻

- Appleton, E. V., R. A. Watson Watt and J. F. Herd. Proc. Roy. Soc. A 111, p. 615 1926.
Banerji, S. K. Quart. Journ. Roy. Met. Soc. 56, p. 305 1930; phil. Trans. A 231, p. 1 1933.
Halliday, E. C. Proc. Roy. Soc. A 138, p. 205 1932.
長谷川万吉. 地球物理第4巻3號 161頁昭和15年.
Noto, H. Jap. Jour. Ast-Geophys. 7, p. 1 1929.
Nukiyama, D. and H. Noto, Jap. Journ. Ast-Geophys. 6, p. 71 1928.
Schonland, B. J. F. and J. Craib, Proc. Roy. Soc. A 114, p. 229 1927.
Schonland, B. J. F. Proc. Roy. Soc. A 118, p. 233 1928.
Simpson, G. C. Proc. Roy. Soc. A 114, p. 376 1927.
Simpson, G. C. and F. J. Scrase. Proc. Roy. Soc. A 161, p. 309 1937.
Whipple, F. J. W. and F. J. Scrase. Geophys. Mem. No. 68, 1936.
Wilson, C. T. R. Phil. Trans. A 221, p. 73 1921; Journ. Frankl. Inst. 208, p. 1 1929.
Workman, E. J., and R. E. Holzer. Rev. Sci. Instruments. 10, p. 160 1939.
Wormell, T. W. Phil. Trans. A 238, p. 249 1939.