

福井県地方の雷の研究（そのⅣ）

澤崎 正 廣・宮 本 重 雄・渡 辺 数 男

A Study of Thundu Phenomena in Fukui Districts (No.4)

Masahiro SAWAZAKI, Sigeo MIYAMOTO, and Kazuo WATANABE

The relation between weather and the phenomenon of thunder, and that between those discharge frequency and electric fields of the phenomenon of winter thunder, by our observations, were described in memories of Fukui Institute of Technology, vols. 10. In this study the forms of discharge are exermined in correspondence patterns of changes of electric fields, and the direction and speed of wind are included as the weather conditions. From the data of the measurement on wind speed and electric fields, the scales of thunder clouds are calculated.

(1) は じ め に

研究紀要10号では、気象と雷の発生の関係、冬雷の電界変化と放電頻度との関係について記述したが、本号では電界変化のパターンより放電の形を検討し、また気象条件として風向、風速を加え、風速と電界測定の結果から雷雲の大きさの推定などを行なった。

(2) 等圧線のまばらな弱い冬型の気圧配置における発雷について

図-1は昭和55年12月9日の天気図で日本列島は低気圧の影響で曇がちな天候であり、特に日本海側は雷雨の寒い日であった。図-2は12月8日の電界変化のグラフであり、始めの内は遠くで発雷しているため電界は鋸の歯のようにわずか変化している。AM9時10分ごろから電界は⊕方向に徐々に強くなってゆき9時21分に1回目の雷放電を観測した。2回目は9時36分、3回目は9時40分に雷放電が生じた。1回目の電界急変化は⊕と⊖の電界強度が同じであるが、2回目、3回目の電界変化は⊖方向へ⊕電位の2倍の電界変化を示した。これらの電位変化は

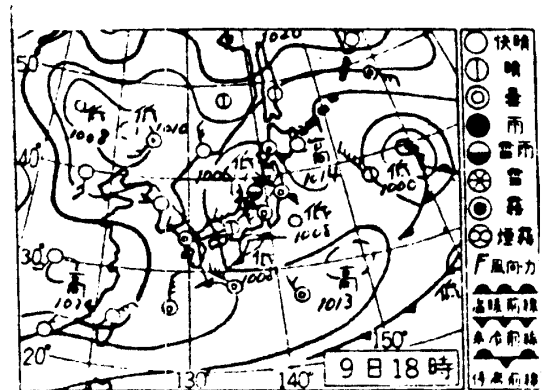


図-1 昭和55年12月9日の天気図

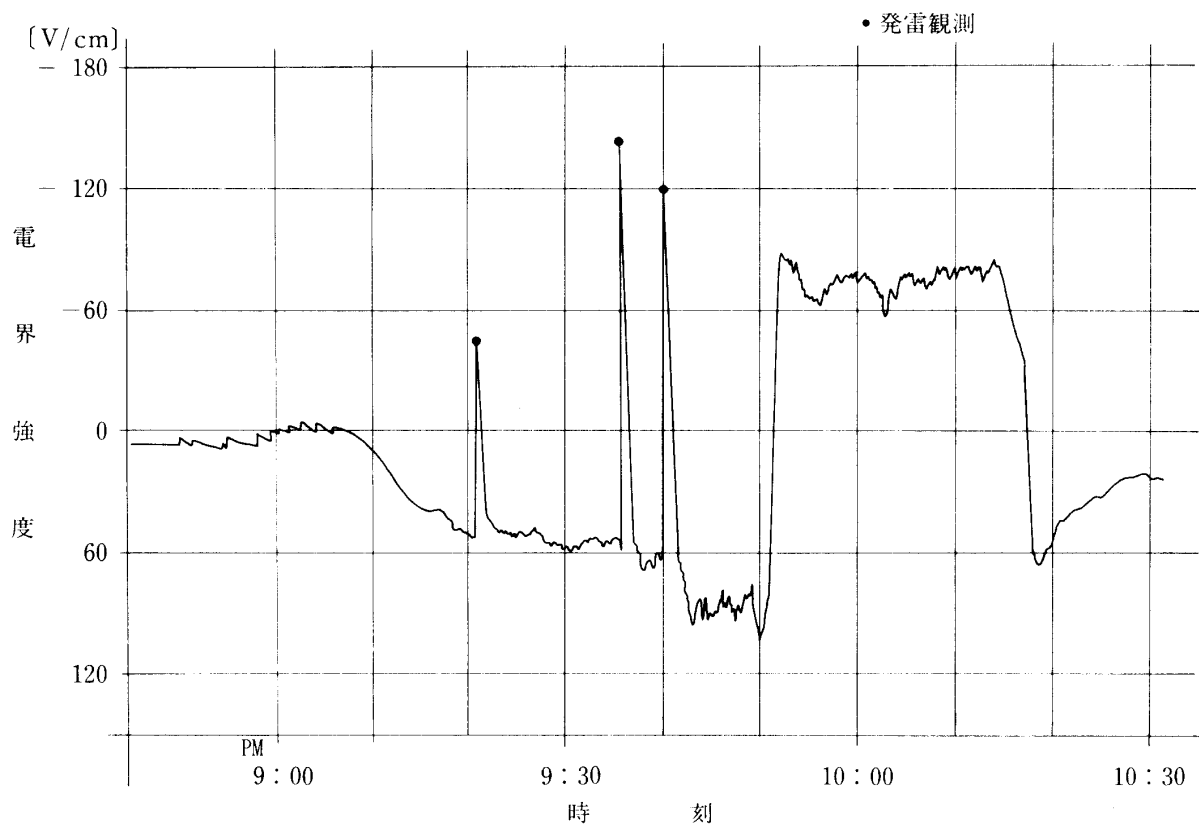


図-2 昭和55年12月8日の地表電界強度

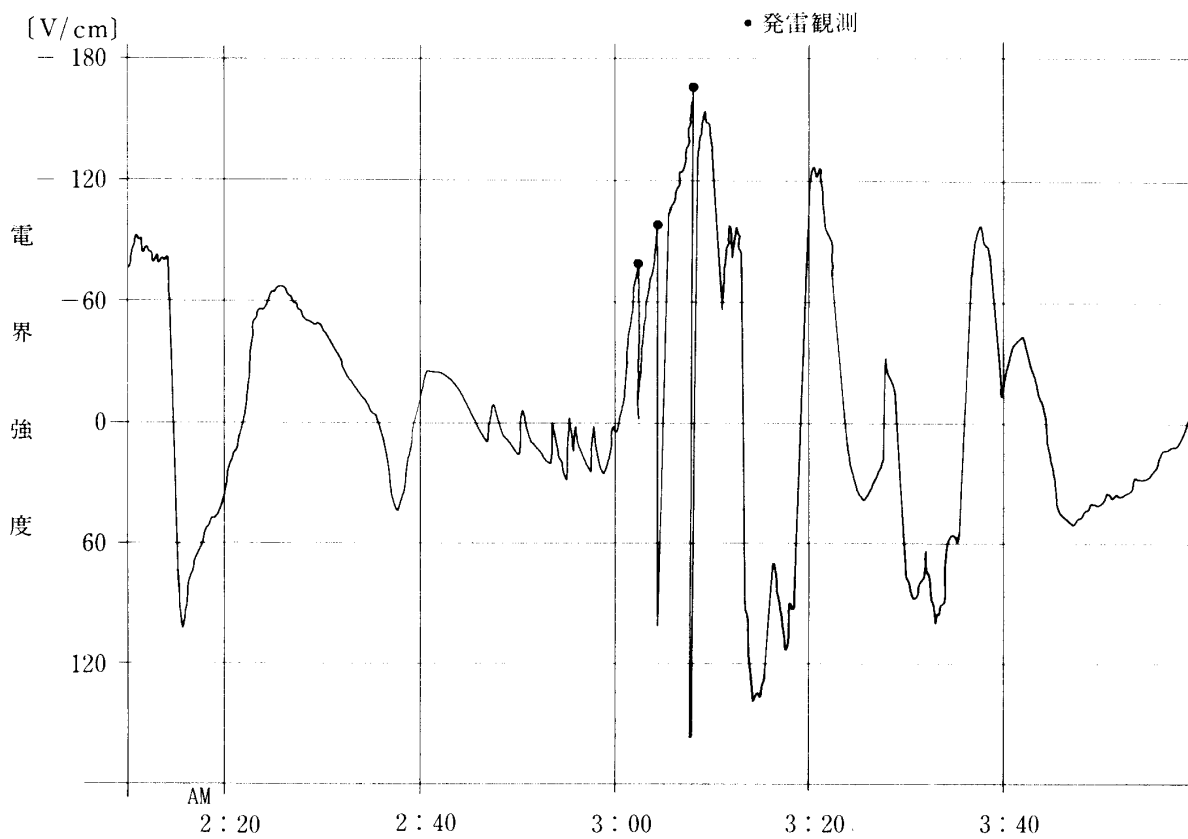


図-3 昭和55年12月9日の地表電界強度

全て⊕方向から⊖方向へ変化した。つまり観測点上の雲底の電荷が+であり、1回目は大地放電あるいは遠方の雲間放電で2回目、3回目は雲間放電であったと考えられる。この大地放電と雲間放電の相異についての考え方は放電による電界急変化のモデル図-5を用いて記述する。9時50分ごろから電界が急に⊕方向から⊖方向に変化した。これは次の電荷極性の異なる雷雲が観測点上に現われたことを示している。先の⊕電荷と次の⊖電荷による地表電界強度が同じ位であり、雲底の高度が同じ程度であると考えられる。このことは雷雲細胞が水平位置に移動していることがわかる。このようにして⊕電荷、⊖電荷をもった雷雲が観測点を交互に通過して、図-3に示すように9日午前3時ごろから再び発雷が始まった。この時も2時45分ごろから遠雷が観測され、3時ごろから⊖方向に電界強度が強くなって行き、3時4分と3時7分に大きな雷放電が観測された。この時の放電による電界の急変化が⊖と⊕の電界強度が同じであり、大地放電があったのではないかと考えられる。

(3) 冬雷の電荷量の推定

12月9日の発雷を例にとって電荷量を推定してみる。表-1は9日の発雷時における雷鳴の到達時間を観測したもので、雷雲が最も観測点に接近したと思われるAM3時7分の発雷地点から観

発雷昭間	AM 2:37	2:47	2:50	2:52	2:53	2:54	2:55	2:57
雷鳴の到達時間	54 s	32 s	30 s	19 s	17 s	28 s	15 s	11 s

発雷時間	AM 2:59	3:02	3:04	3:07	3:27	3:31	3:39	3:41
雷鳴の到達時間	11 s	10 s	5 s	3 s	15 s	83 s	73 s	62 s

表-1 各発雷時における雷鳴の到達時間（12月9日の結果）

測地点までの距離を音の到達時間と音速より求めると、午前3時の気温が1.5[°C]であるから、音速 V[m/s]は

$$V = 331.5 + 0.6t = 331.5 + 0.6 \times 1.5 = 332.4 \text{ [m/s]}$$

であり、距離 X[m]は

$$X = 332.4 \times 3 \approx 997 \text{ [m]}$$

となり、発雷地点からの距離は約1[km]と非常に近距離である。

次に、観測地点から a[m]の位置に存在する電荷 Q[C]による観測点の電界強度 E[V/m]は、次式で表わされる。

$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon a^2} \quad \epsilon \approx \epsilon_0 \quad (\epsilon: \text{大気中の誘電率}, \epsilon_0: \text{真空中の誘電率})$$

とすれば

$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 a^2} \quad (\epsilon_0 = 8.855 \times 10^{-12} \text{ [F/m]})$$

$$= 1.797 \times 10^{10} \frac{Q}{a^2}$$

となり、 Q について求めると

$$Q \doteq \frac{Ea^2}{18 \times 10^9} \quad \dots\dots\dots(1) \text{式}$$

となる。

この式に観測結果を代入して、雷雲の電荷量の推定を行なう。図-4は図-3のAM3時ごろの地表電界を拡大したもので、AM3時7分の発雷直前の電界 E の大きさは、

$$E = 168 \times 10^2 \text{ [V/m]}$$

また、発雷地点までの距離 a は

$$a = 10^3 \text{ [m]}$$

この値を1式に代入すると

$$Q = \frac{168 \times 10^2 \times (10^3)^2}{18 \times 10^9}$$

$$= 0.93 \text{ [C]}$$

となり、冬雷は夏雷に比べて電荷量は小さいことが再度確認された。

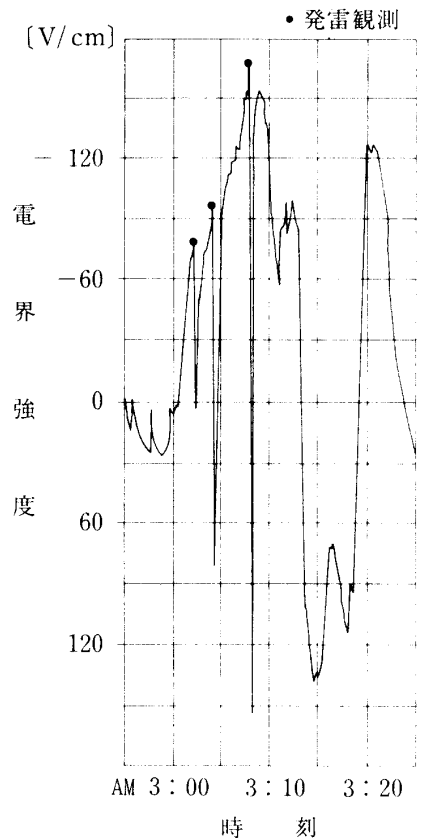


図-4 12月9日の地表電界強度

(4) 冬雷の広がりの推定

図-3より⊕帯電の雷雲の大きさを求めるとAM2時46分からAM3時1分までの15分間に、観測点上空を通過した。雷雲の移動速度として風速計で測定した地上風速の値を用いた。この間の平均風速は0.3[m/s]であり、雷雲の進行方向に対する広がり

$$y = 0.3 \times 900 = 270 \text{ [m]}$$

また⊖帯電の雷雲の広がりを求めてみるとAM3時1分からAM3時13分までの12分間に上空を通過した。この間の平均風速は0.5[m/s]であるから、このときの広がり

$$y' = 0.5 \times 720 = 360 \text{ [m]}$$

となり、⊕, ⊖両雷雲の広がり300[m]前後と推定されるが、地上の風速と上空の風速とではかなりの差があり、実際はもっと大きな広がりをもっているものと考えられる。

(5) 夏雷と冬雷の地表電界の変化

発雷時における地表電界の急変化のモデルは図-5であり、電荷をもった雷雲が放電すると地表上の電界は実線で示すような急変化になる。夏型の帯電雲のように上層部と下層部で異なった電荷が存在する場合には、放電の仕方によってa図、b図のような電界変化を示す。a図のよう

発雷時の地表電界の急変化について

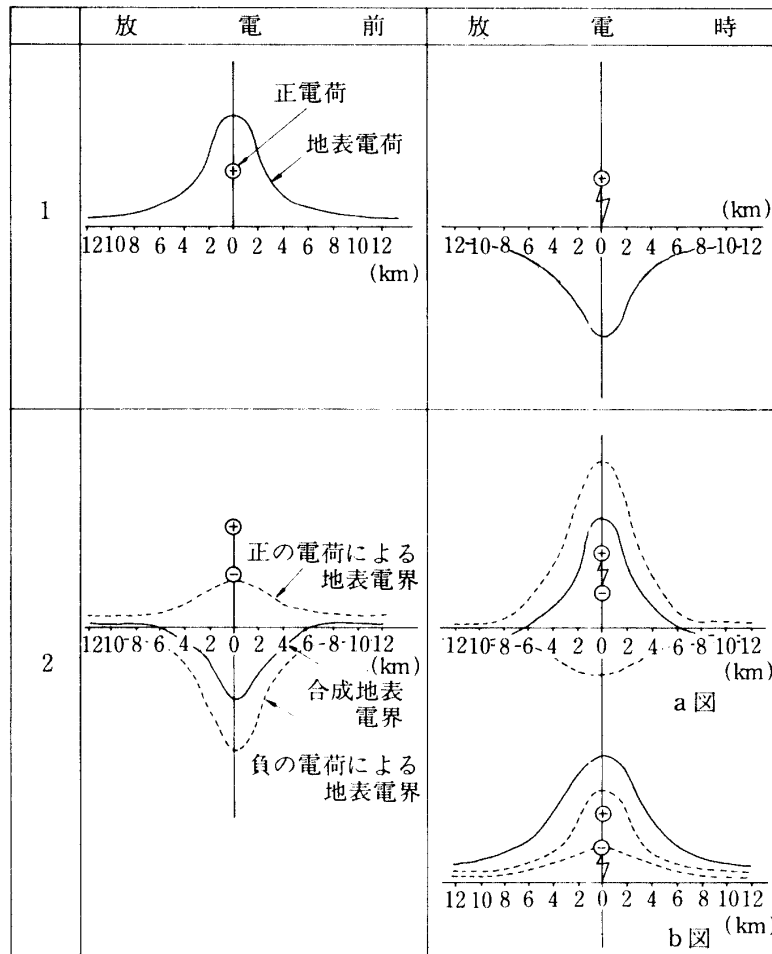


図-5 雷雲内の電荷分布と地表面の電界分布

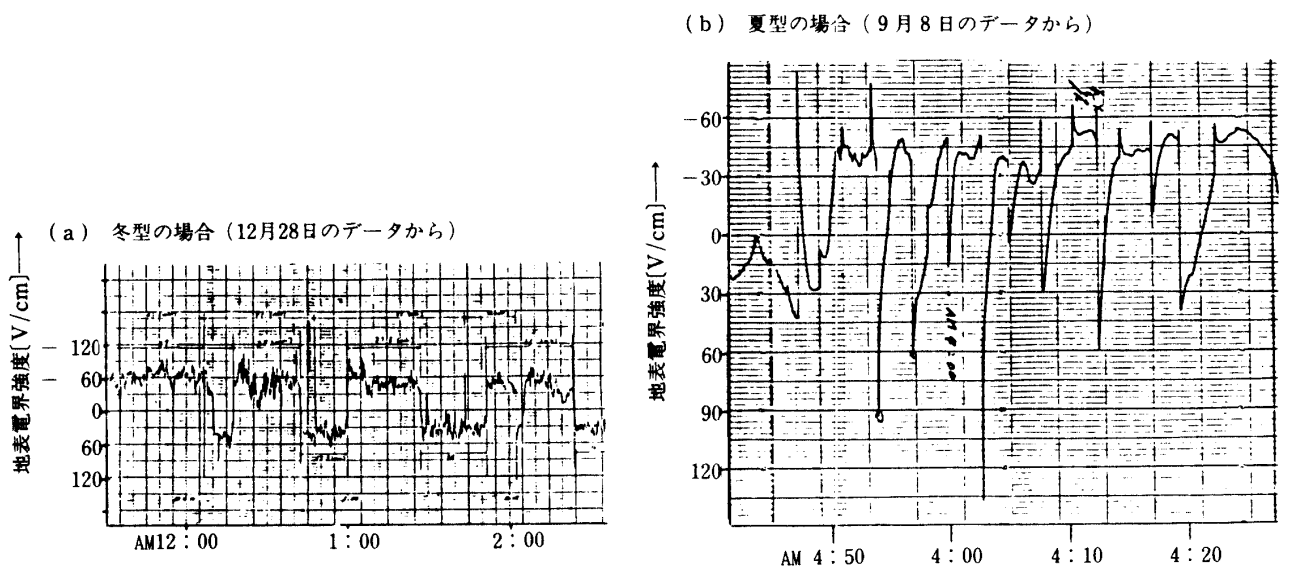


図-6 実際の地表電界の急変化

に雲間放電では⊕電荷、⊖電荷が同時に失われるので、放電前の地表電界をそのまま反転した形となる。b図のように落雷が発生したときは、放電前の地表電界が反転しさらに⊖電荷分に相当する電位が加えられた大きさの電界変化を示す。これらのモデルと実際の地表電界の変化(図-6)の状態を比べてみると、b図の夏型の場合はこのモデルと一致する。a図の冬型の場合は⊕電荷と⊖電荷を持った雷雲が、観測点上空を交互に通過していることを示し、モデルのように雷雲を点電荷で表わすことができず、実際には水平方向にある広がりを持った帯状電荷である。したがって冬雷が発生した時の地上電界を1ヵ所で測定しても、広い範囲の帯電雲の合成電界を測定することになり、モデルのように明確な電界変化を示さなかった。また雷雲の中心(電界が最も強い地点)が、観測上の真上を通ることは希であり、通常は遠方に存在する電荷から受ける電界を

表-2 冬の発雷時における気象条件

昭和 年月日	時分	気温 〔°C〕	湿度 〔%〕	風向	風力	気圧 [mb]	昭和 年月日	時分	気温 〔°C〕	湿度 〔%〕	風向	風力	気圧 [mb]
55.12.8	21:20	4.3	79	S	1	1000	55.12.14	20:22	-0.6	93	S	2	999
	21:35	4.6	79	S	1	1000		20:24	-0.6	92	S	2	999
	21:41	4.8	79	S	1	1000		20:25	-0.5	92	S	2	999
55.12.9	0:47	1.6	85	SW	1	1001	20:27	-0.5	91	SSW	3	999	
	0:50	1.5	85	SW	1	1001	20:29	-0.5	91	SSW	3	999	
	0:53	1.5	85	SSW	1	1001	20:33	-0.5	91	SW	3	999	
	0:55	1.5	85	W	1	1001	20:34	-0.4	91	SW	3	999	
	0:57	1.5	85	SE	1	1001	20:41	-0.3	90	SSW	4	999	
	0:59	1.5	85	SE	1	1001	20:43	-0.3	90	SW	4	999	
	4:10	0.8	85	SW	1	1000	20:45	-0.2	90	SW	3	999	
	4:17	0.8	85	SSW	1	1000	20:46	-0.2	89	SW	3	999	
	4:32	0.8	85	SW	1	1000	20:49	-0.1	89	W	3	999	
	13:02	6.7	40	S	0	997	20:50	-0.1	89	W	3	999	
55.12.13	13:04	6.7	40	S	0	997	20:51	-0.1	89	W	3	999	
	13:08	6.7	40	S	0	997	20:52	-0.1	88	W	3	999	
	23:54	-1.2	93	WSW	4	1001	20:55	0.0	88	WNW	3	999	
55.12.14	23:56	-1.2	93	WSW	4	1001	20:56	0.0	88	WNW	2	999	
	0:00	-1.2	92	SW	4	1001	20:59	0.0	88	WNW	2	999	
	0:10	-1.2	92	SW	4	1001	21:04	0.1	87	WNW	2	999	
	10:00	-0.4	82	SW	3	1002	21:10	0.2	85	W	2	999	
	10:02	-0.4	82	SW	3	1002	55.12.20	12:08	3.0	59	NW	2	997
	16:31	0.1	82	SW	4	999		12:11	2.6	60	NW	2	997
	16:49	0.1	83	SW	4	999		12:12	2.4	61	NW	3	997
	16:51	0.1	83	SW	4	999		12:15	2.2	62	NNW	4	997
	17:10	0.0	84	SW	4	999		12:27	1.4	66	NNW	3	997
	17:51	-0.1	87	SW	2	999		13:13	-0.1	71	NNW	2	998
18:24	-0.5	92	WSW	2	999	13:21		-0.2	72	NNW	2	998	
18:57	-0.8	95	WSW	1	999	13:29		-0.4	76	NNW	1	998	
20:19	-0.6	93	S	2	999								

観測していることが多い。これらのことから、観測点上空に存在する電荷の極性は、遠方に存在する電荷と、上空の電荷の合成を測定していることになるので、正確に判別することは難しく、筆者らは発雷時における極性の変化から、上空の極性を推測している。冬雷を正確に観測するには、1ヵ所の観測だけでなく、数ヵ所で同時観測することにより、雷雲の極性や規模、電気的大きさ、放電時の危険性の有無、進行方向などが正確に割出せる。

(6) 気象条件と発雷の関係

雷は、大気現象の一つであり、気温と湿度気圧、風向、風力等の気象条件と密接な関係にあるものと考えられる。そこで昭和55年12月8日から12月20日までの初冬における発雷時における気象条件を表-2にまとめてみた。この表-2より発雷時における気象条件の大まかな共通点は、気圧が1000[mbar]付近であり、風向は南西方向に集中しており、日本海から吹き込む冷たくて強い季節風である。また発雷時における気温と湿度の関係を図-7に示すと、湿度は70%~95%の間に集中し、気温は0[°C]付近に集中している。

したがって気象条件からみた冬雷の発雷条件は

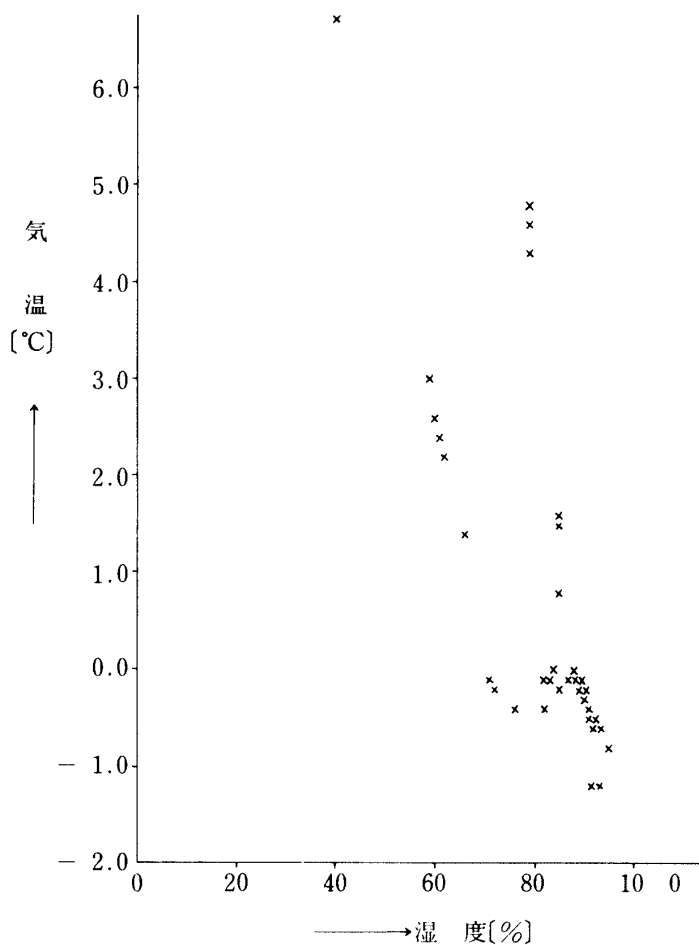
- (1) 気圧は1000[mbar]程度
- (2) 風向は南西方向
- (3) 気温は0[°C]
- (4) 相対湿度は80%程度

となり、これらの条件が揃ったとき発雷と危険性が非常に高くなると考えられる。

(7) ま と め

福井県地方は年末、年始にかけて大雪に見舞われた。このときの雷雲の大きさが測定結果から約26[km]にも及ぶものがあり、小さいものでも5[km]と非常に大きい。また発雷は10~50分間

図-7 昭和55年12月8日~昭和55年12月20日のデータより、発雷に伴う気温、湿度分布。



隔であり長時間断続的に続いた。大雪と発雷の関係は今後の観測結果を積重ねることにより解明することができるかと確信する。最後に本研究の観測および結果の処理に多大な協力を頂いた研究生の山本高行君、木下博幸君、外村敏男君に感謝する。