

# 福井県地方の雷の研究（そのⅣ）

澤 崎 正 廣

## A Study of Thunder Phenomena in Fukui Districts (No.5)

Masahiro SAWAZAKI

The ratterns of the thunder growth depending on seasons, are analysed from the ofserved data, based on the relation between the radar echo and the weather condition.

### (1) は じ め に

雨や雲の存在状態を観測するものとして、気象レーダー及び気象衛星が用いられている。気象レーダーはエコーの状態から雨及び雲の強さ、広がり部分を部分的に探知することができ、気象衛星は雲の状態を広範囲に探知することができる。本号では福井県地方の季節の変化による雷（特に夏雷及び冬雷）の発生ハターンをレーダーエコーと各種気象条件との関係について観測結果をもとに解明したので報告する。

### (2) 夏雷と冬雷の発生の相異

気象レーダーは雨滴に対する反射波（エコー）により降水強度、時間当りの降水量などのほか、雨滴の対流現象、その発達の状態など、雨滴の活動を時間の経過とともに観測することができる。雷は雨滴の状態と関係が深く、雨雲の発達過程を研究することにより、雷放電の危険性を予知することが可能である。しかし、雷放電は雨が降るからかならず発生するものではなく、急激な空気の対流現象が生ずるときに発生する。夏雷は太陽光による地熱により、大量の水蒸気が発生したときに上空に冷めたい気団が入り込んだとき、上空の大気と地表面の大気との間に大きな温度差が生じるためこれを中和すべく対流現象が生じ

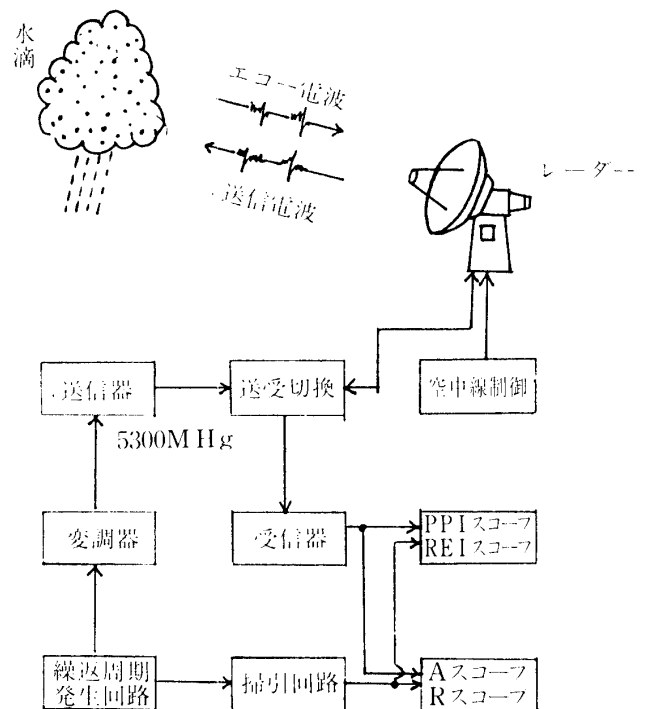


図-1 気象レーダーの基本構成

る。このとき水蒸気は上空5000mの地点で氷結し、電離作用が活発に生じる。電離状態は図-2のように生じ高度12000m程度にまで達する。夏雷の雷放電は午後2時ごろから6時ごろに発生することが非常に多い。放電を時間の経過とともにみると、始めは最上空の正に帯電した雲と中間位に負に帯電した雲との間で雲間放電が生じる。次に上空5000m以上にできた氷晶はしだいに大きな粒子に発達し、重くなって落下し始める。高度3000m程度まで下降すると雨滴になり雨が降り始める。時間当りの雨量は非常に多く、スコールの状態になる。雨により地表面が冷やされると、上昇気流は弱められ雲全

体が下降した状態になり帯電した雲は大地に近づいてくる。この時間になると落雷が生じ、電気設備やその他の施設に被害を及ぼす。雨によりさらにある程度冷されると上昇気流は非常に弱くなり、電離作用は減衰する。このように夏雷は短時間で消滅するのが一般的である。

冬雷は前線雷であり、夏雷と異なり特定の地域に発生するもので、特に日本海沿岸地方によく発生する。冬雷の発生メカニズムは低気圧が日本海から本州、北海道を通過し、太平洋へ抜けるとシベリア方面から張り出した冷たい高気圧が日本海地方に達したとき（西高東低）、その前線の境目にあたる地域に発生する。冬雷の放

電現象は次のような状態のとき生ずるもので対島暖流の温かい海水から低気圧通過により、多くの水蒸気が発生しこれが上昇気流となる。このような状態のときには雨が降るだけで発雷しないが、シベリアから張り出した冷たい高気圧が接近すると、高気圧から吹き降ろす下降気流とが激しくぶつかるとき、活発な対流現象が生じ水蒸気はすぐに氷結し電離作用が生ずる。しかし気温は冷えているため水蒸気は上空1000m～2000m程度の高度で氷晶となり、電離した雲は夏のように垂直方向に分布するのではなく強い季節

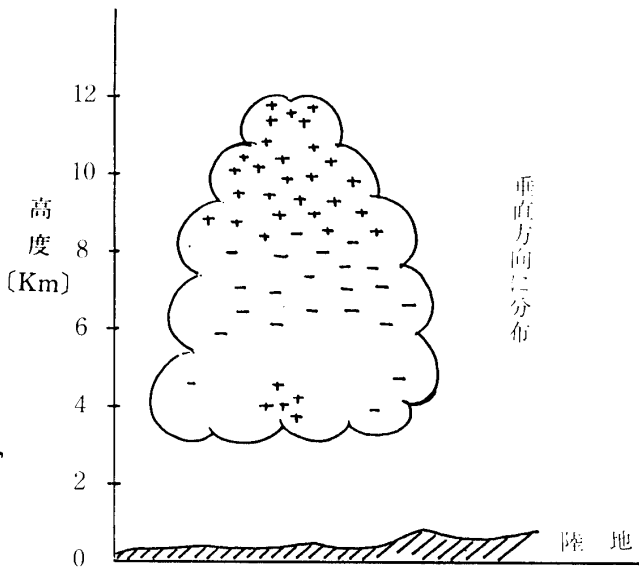


図-2 夏の雷雲電荷分布

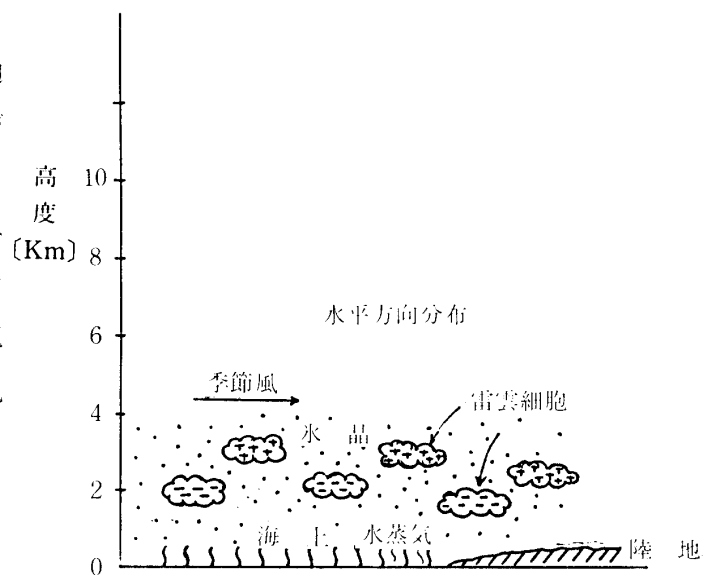


図-3 冬の雷雲電荷分布

風により水平方向に分布していると考えられる。図－3 参照

正、負に帯電した雲が空間を移動する為、その両極に帯電した雲がある程度接近したとき雲間放電を生じ発雷する。夏雷は高度が高いため雲間放電では雷害はほとんどないが、冬雷は高度が非常に低いため、雲間放電で生じた雷撃は電気設備に大きな影響を与える。

冬雷において放電がよく生じる雨滴の状態を観察すると、雨からみぞれが降り始めるころか、あられが降り出したころによく発生し、冷込んで雪が降るときには余り発生しない。このことから、みぞれやあられが降る時は対流現象が活発であり前線の境目に当たることが多い。

### (3) 気象レーダー観測結果から見た季節による雲（雨滴）の相異

東尋坊にある気象観測所の気象レーダーによって得られたレーダーエコーより昭和59年6月から昭和60年1月中旬に発雷があった日の中から抜粋した観測結果から季節による雷雲の相異について検討する。気象観測所のレーダーエコーは1時間ごとに観測しており、その結果を座標変換してデジタル表示し、記録紙に記録している。レーダーエコーは図に記号（図－4 参照）で表わし、雨滴の濃度を表現する。エコー図の中の雲の中にある数字はその地域に降った雨量を表わしており単位は〔mm〕である。

記 号	エコートップ〔km〕
—	0 ← 2
二	2 → 4
三	4 → 6
+	6 → 8
⌂	8 → 10
⌂	10 → 12
⌂	12 → 14
⌂	14 →
■	→

図－4 レーダーエコー図の記号

3－1 昭和59年6月19日は朝方晴れており気温がぐんぐん上がり、午前10時ごろには最高温度に達した。ところが西の方から低気圧が接近して来たため気圧は除々に低下し、午後1時（図－6 参照）ごろには三国

海岸の方に雷雲が現われた。午後2時（図－7 参照）には福井市上空にその雲が到達し弱い雨が降りだし雷放電が始まる。午後4時（図－9 参照）ごろには福井市上空は完全に雨雲の中に入り、午後6時ごろまで続く。午後6時（図－11参照）を過ぎると雨雲は福井市上空を通過し、大野の方へ移動していく。雷雲発生メカニズムは、午前中大太陽光による地表面の加熱によって上昇気流が強まっているところへ、少し気温の低い低気圧がやって来たため、大気は非常に不安定になり大きな対流現象が生じ、帯電雲が発生して発雷した。午後3時ごろから雨が強く降り出したので地表面は少しずつ冷され温度は下がり出したが、下降気流が強くなったので対流はさらに進み午後4時ごろ雷放電は最高になった。この時雨雲は下降し帯電雲が地表に近づくため、落雷の危険性がもっとも高くなる。低気圧通過とともに雨雲は遠ざかっていくので、雨もやみ雷も減衰していく。梅雨どきの雷はほとんど前線によるもので、寒冷前線が通過する時によくおきる。

昭和59年6月19日のエコー図 (図-5～図-13)

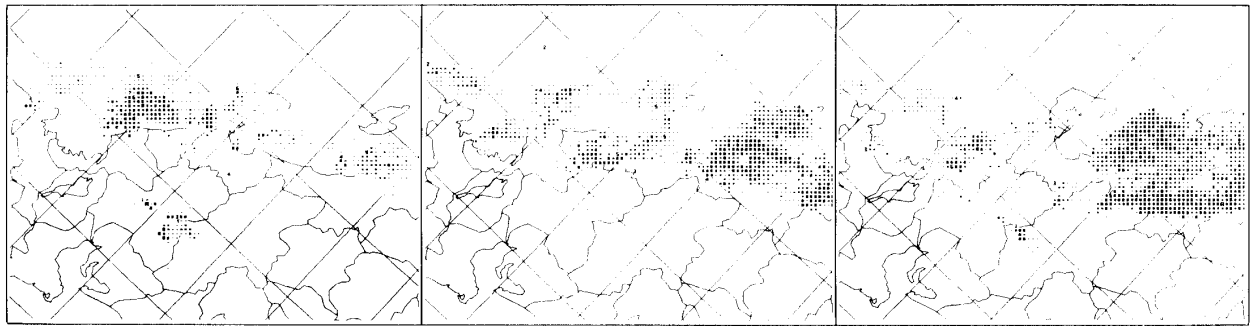


図-5 12:00のエコー図

図-6 13:00のエコー図

図-7 14:00のエコー図

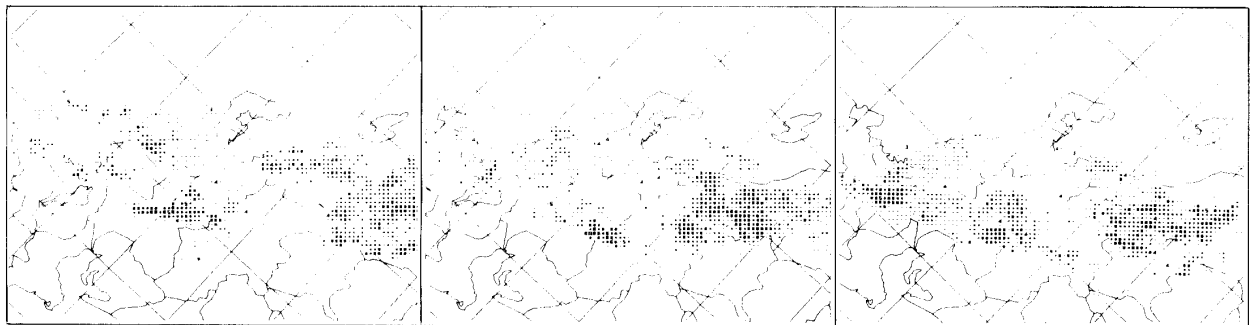


図-8 15:00のエコー図

図-9 16:00のエコー図

図-10 17:00のエコー図

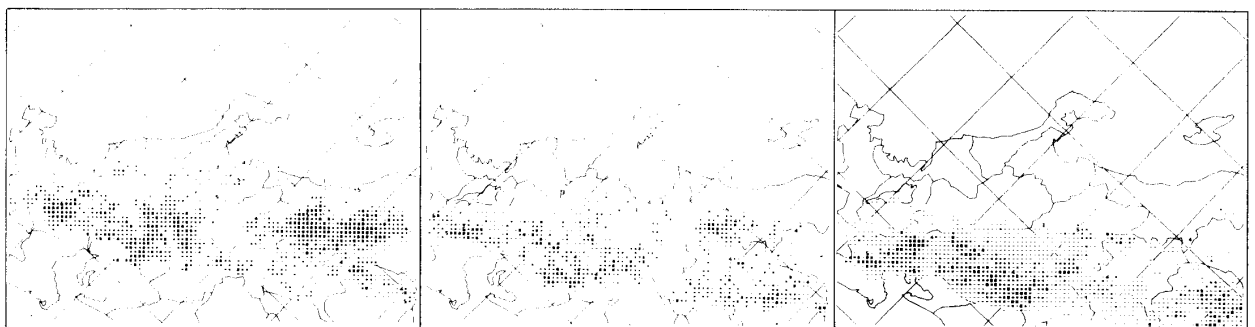


図-11 18:00のエコー図

図-12 19:00のエコー図

図-13 20:00のエコー図

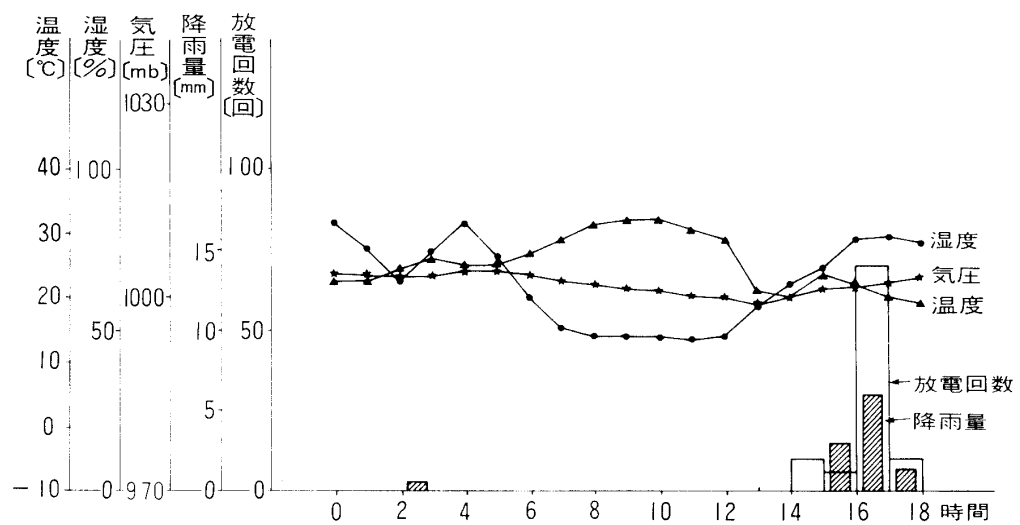


図-14 昭和59年6月19日の測定結果

3-2 昭和59年7月7日は夏雷の特徴で気圧の変化はほとんどみられないが、湿った大気の状態のもとで朝方晴れたため、気温が上昇するとともに湿度は下がっていく。しかし湿った空気が上空へ上がり、ここへやや低温の高気圧がその上空に侵入すると、大気は非常に不安定な状態になる。午前10時（図-15参照）ごろに日本海上空に積乱雲が発生し西風に吹かれて北陸地方へ寄せてくる。午後1時ごろになると福井市上空にも入道雲が発生し、ひんぱんに雲間放電が始まり、積乱雲は時間の経過とともに大きく広がって行き（図-11～図-19参照）、午後4時（図-20参照）ごろになると雨も弱くなり雷も減衰していく。低温の高気圧は東海地方へ移動し午後4時（図-20～図-22参照）ごろから、愛知の方で夕立が強く降り発雷していることがわかる。夏雷の発生メカニズムは上空が低温で地表面が温かいと、大きな空気の対流現象がおき、高度4～5kmのところでは湿った大気は冷やされ氷結し、電離作用が活発におこり帯電した積乱雲は海上では高度8km以上にも達する。スコール状の強い雨が降り出すと地表面は冷されるため、上昇気流は弱められ雨雲の高度は下降し、内陸部では3～4kmの高度まで下がる。山岳地帯では帯電雲と地表との距離が余りにも接近するので、落雷する危険性は非常に高くなる。

3-3 昭和59年9月4日は湿った低気圧が南西方向から福井市上空へ進んできており、午後2時（図-25参照）ごろ兵庫県山間部に発生した積乱雲が午後4時ごろ発達しながら福井に達している。福井市は午後4時ごろ気圧の谷に入り、この時湿った冷たい大気が侵入して来たため、大気は非常に不安定となり対流が強くなり電離作用が活発に生じ大きな帯電雲が発生する。帯電雲のもつエネルギーが大きいので、雲間放電が空一面に発生し時間当の雷放電回数は他の季節に比べて非常に多い。午後5時ごろから雨が強く降り出すので、上昇気流は弱まり放電回数は少なくなるが、気圧は少しずつ高くなるので、湿った下降気流が引き続き強いので発雷は続く。しかし時間の経過とともに気温は下がるので、ほとんど上昇気流はなくなり、午後9時を過ぎると雨が降るだけで雷放電はなくなる。このように湿った前線による雷は前線通過の時点でもっとも雷放電が多くなり、雨が降り出すとともに弱くなり減衰していく。それ以後は雨が降るだけで雷放電がなくなる。

3-4 昭和59年11月1日～2日にかけての雷は前線による雷であって、湿った低気圧が通過するとき発生したものである。低気圧の谷が福井市上空に近づくに連れて、午後2時（図-32参照）ごろから遠雷を雷放電カウンターが測定している。午後4時（図-33参照）ごろになると冷たい湿った気団が福井市をおおい出し午後6時（図-34参照）ごろ弱い雨が降る。午後8時（図-35参照）ごろ再び雨が降り強い雷放電があった。それ以後レーダーエコーにも映らない程、雨滴も弱まり帯電したうすい雲が上空に存在するため、まばらな雲間放電が長時間続くことになる。この雷の発生メカニズムは、上空に冷たい湿った大気が侵入してくると、地表面は季節から10℃～15℃程度の温度があるため弱い上昇気流が起し、低気圧による冷たい湿った下降気流と上昇気流とが対流作用を起し、氷結の際、電離現象が生じ帯電雲が発生する。この現象は前記の夏雷に

昭和59年7月7日のエコー図 (図-15～図-22)

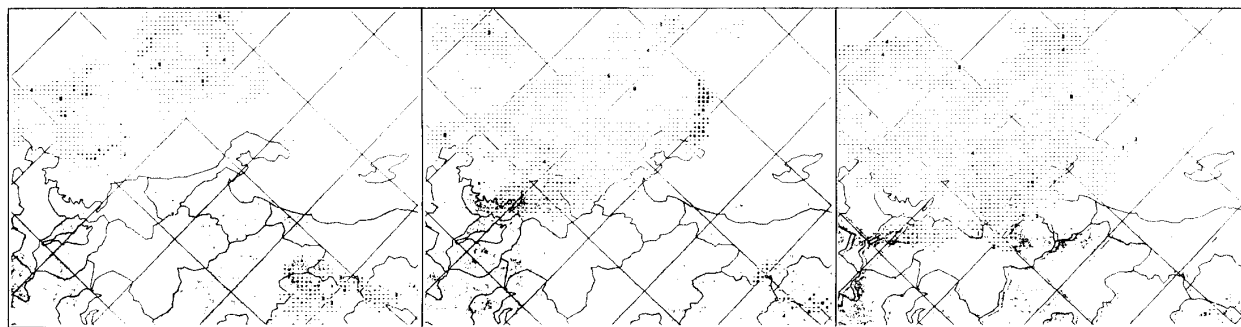


図-15 10:00のエコー図

図-16 12:00のエコー図

図-17 13:00のエコー図

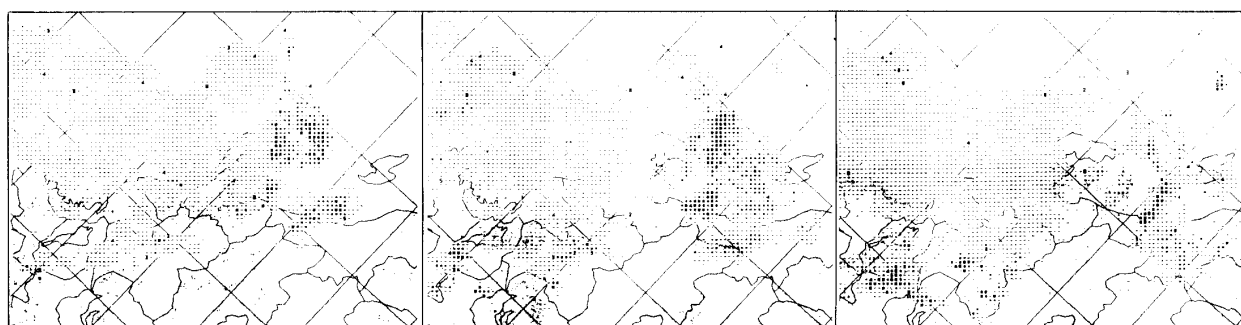


図-18 14:00のエコー図

図-19 15:00のエコー図

図-20 図-16のエコー図

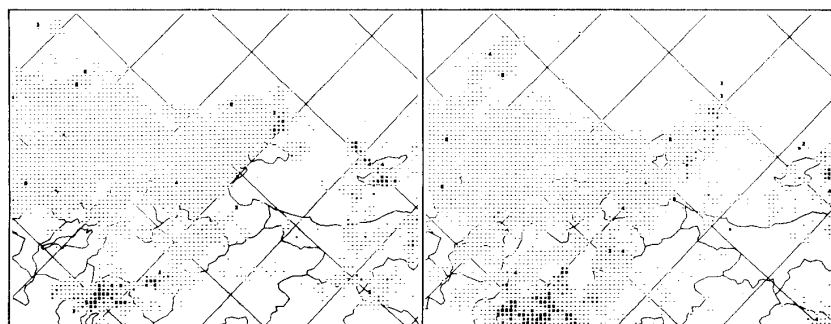


図-21 17:00のエコー図

図-22 18:00のエコー図

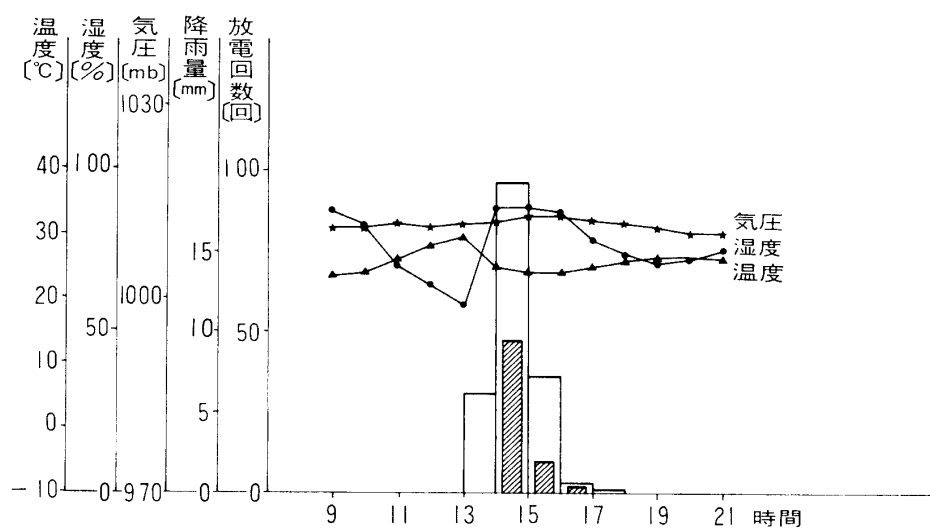


図-23 昭和59年7月7日の測定結果

昭和59年9月4日のエコー図（図-24～図-29）

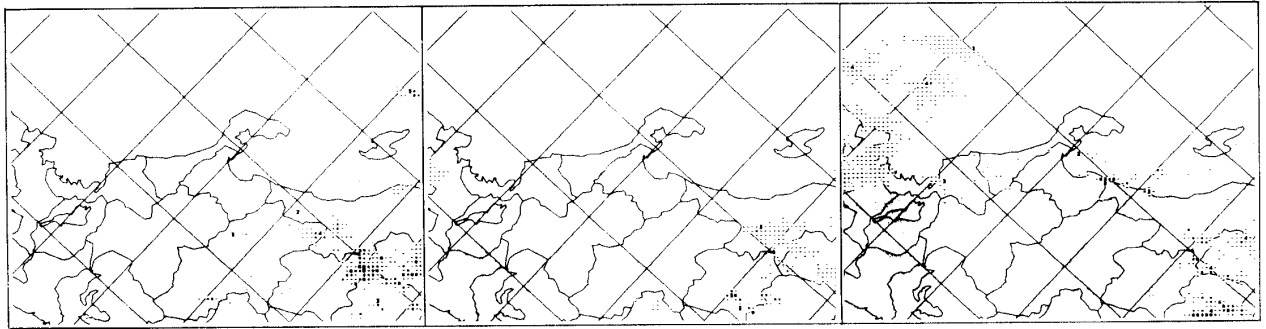


図-24 13:00のエコー図

図-25 14:00のエコー図

図-26 15:00のエコー図

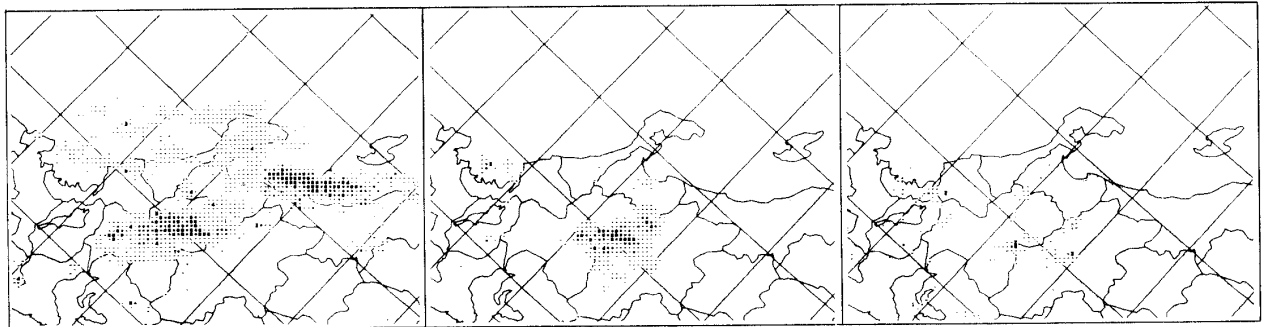


図-27 18:00のエコー図

図-28 19:00のエコー図

図-29 20:00のエコー図

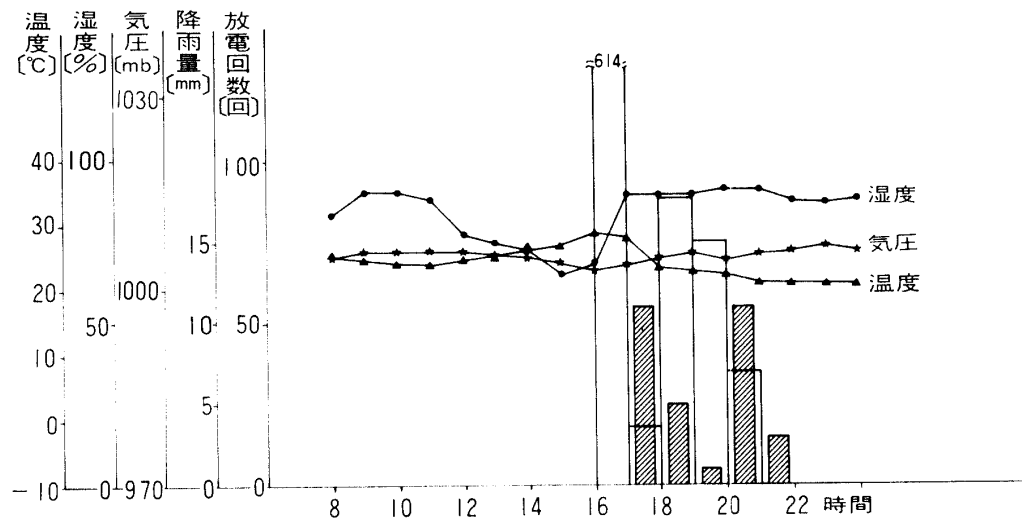


図-30 昭和59年9月4日の測定結果

昭和59年11月1日～2日のエコー図 (図-31～図-37)

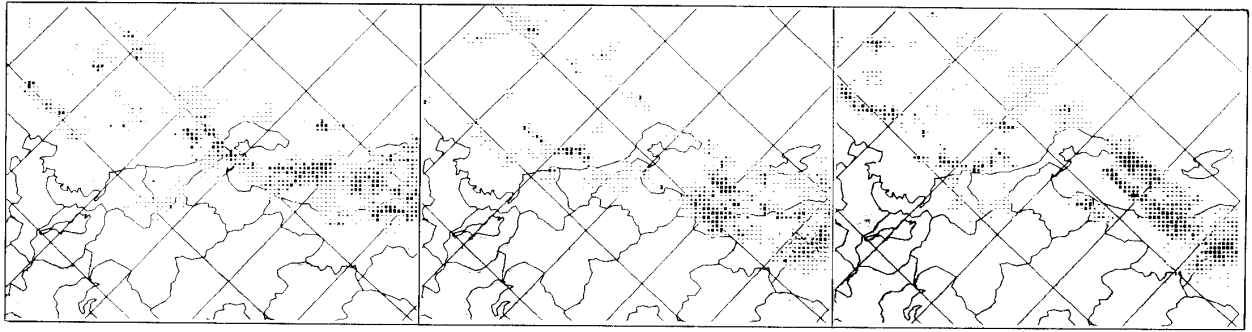


図-31 12:00のエコー図

図-32 14:00のエコー図

図-33 16:00のエコー図

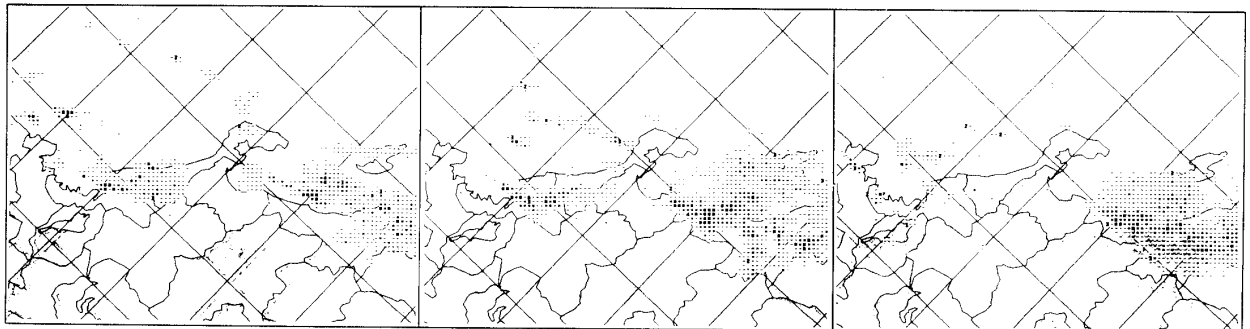


図-34 18:00のエコー図

図-35 20:00のエコー図

図-36 0:00のエコー図

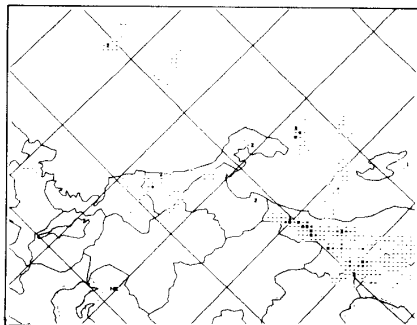


図-37 6:00のエコー図

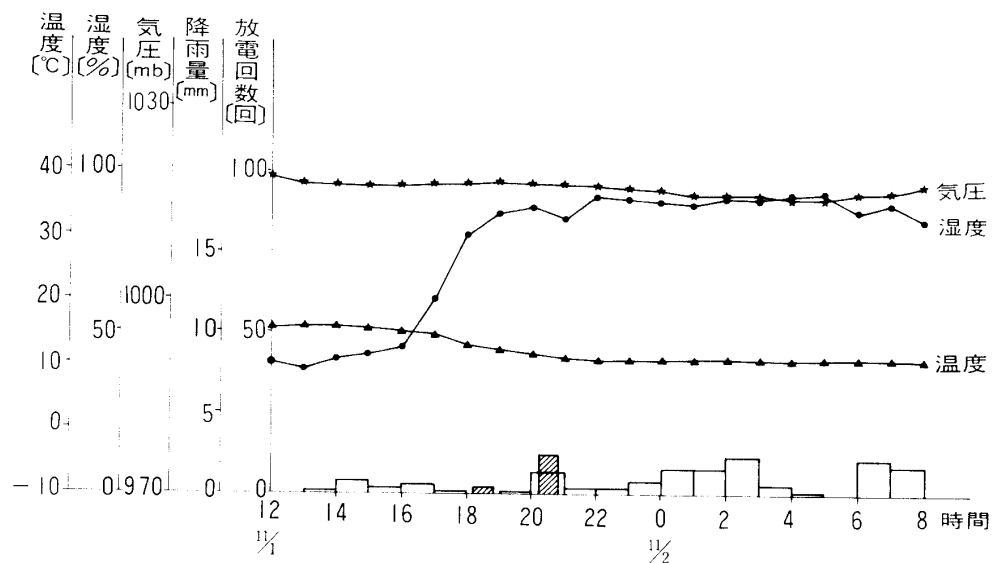


図-38 昭和59年11月1日～2日の測定結果



比べて非常に弱く時間当りの雷放電は少ないが、低気圧が完全に通過し終えるまで長時間に渡って小さな雷放電を繰り返す。この雷の電離現象は非常に小さいため、雲間放電が多く一般の人には雷鳴も聞えずほとんど分からない。ただ雷放電カウンターが放電をキャッチするのみで落雷の危険性の少ない雷であるといえる。

3-5 昭和59年12月23日は前日から冷え込み一日中0℃前後の気温であった。この日発雷した冬雷は低気圧が裏日本から表日本へぬけ、さらにシベリア方面から張り出して来た高気圧の寒気団により西高東低の冬型の気圧配置になって生じたものである。すじ状の雲が日本海上空で発生し、それが強い北風に吹き寄せられて北陸を始め、北日本の日本海側の各地にやってくる。その雲の速度は60km/Hにもなる。午前8時（図-40参照）ごろから雷放電カウンターが作動しこの時間になるとあられや雪が降り出し午後5時（図-40～図-45参照）ごろまで雷放電は続く。それ以後は気温が少しずつ上昇するため、雪は降るが雷放電は減衰している冬雷の発生メカニズムは、日本海を低気圧が通過するとき対島暖流により大量の水蒸気を大気の中へ送り込み、この大気が陸地へ寄せてくるとき雨や雪を日本海側に降らせる。このようにして低気圧が表日本へぬけると、シベリア方面から高気圧がやってくる。対島暖流による水蒸気は、この高気圧から吹きおろす冷たい空気と対流作用を起す。シベリアからの寒気団は非常に冷たいため、水蒸気は低空(1～3km程度)で水晶に変わり、このとき活発に電離現象が生じる。上空が高気圧であるため上昇気流は非常に弱く、帯電した雷細胞は強い季節風（北西風）により吹き飛ばされるので夏雷と異なり水平方向に分布する。水平に分布した正・負両極に帯電した雲が風により接近するとき雲間放電を起す。

3-6 昭和60年1月13日～14日の雷は3-5と同様の冬雷であり、発生のメカニズムは同じである。1月13日午後2時ごろに低気圧が過ぎ去り、シベリア方向からの高気圧が張り出してくる。この高気圧は約1日半福井市上空にあり、この間に雷放電が生じた。夏雷に比べて時間当りの雷放電回数は少ないが、この2日の間で回数の多かった時間帯の気象変化をみると1月13日の午後8時（図-49参照）ごろは、高気圧が接近し上空からの吹きおろしのため、湿度が急激に下がったとき生じている。また1月14日の午前2時（図-55参照）ごろも気圧が過ぎ去ろうとするとき強い吹きおろしがあり湿度は急激に下がった。このように気圧が変化し、湿度が急激に低下するときに、強い吹きおろしによる下降気流により、強い対流作用が生じ電離現象が生じ帯電雲が発生することが分かる。発雷時における気温の変動は夏雷に比べてほとんどなくその変動は-2℃～2℃の範囲内であった。

#### 4 夏雷と冬雷の発生及び経過の相異

3-1から3-6までの季節による雷発生のメカニズム相異について記述したがこれらをまとめると次の通りである。

昭和59年12月23日のエコー図（図-39～図-46）

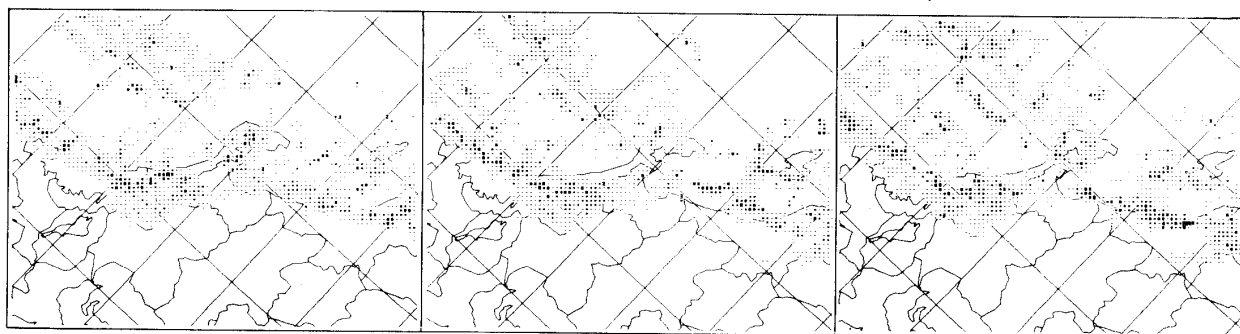


図-39 6:00のエコー図

図-40 8:00のエコー図

図-41 10:00のエコー図

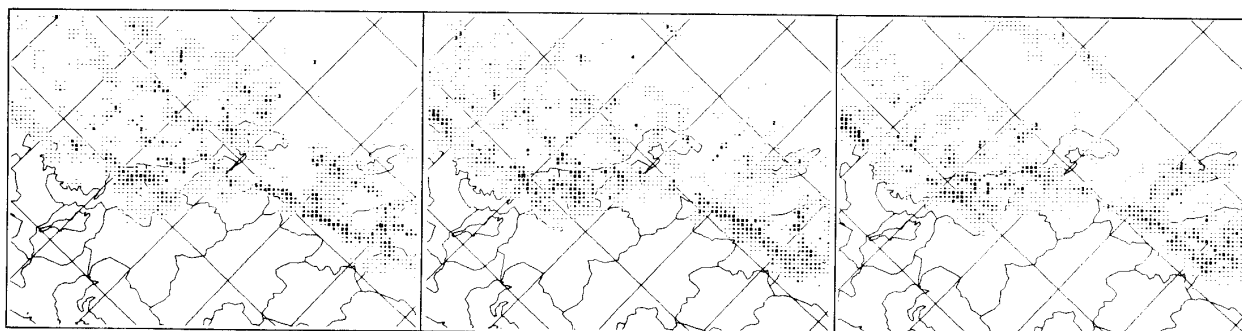


図-42 12:00のエコー図

図-43 14:00のエコー図

図-44 16:00のエコー図

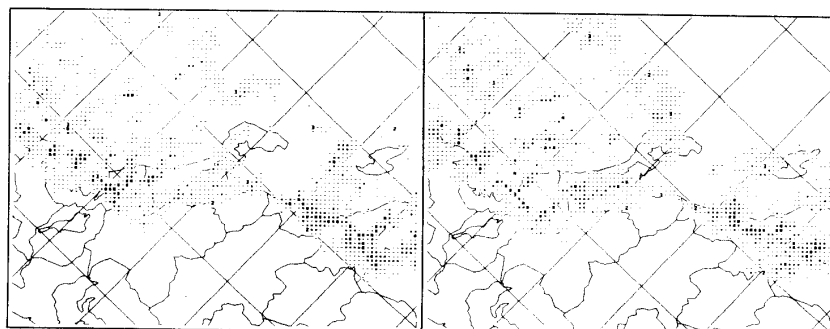


図-45 18:00のエコー図

図-46 20:00のエコー図

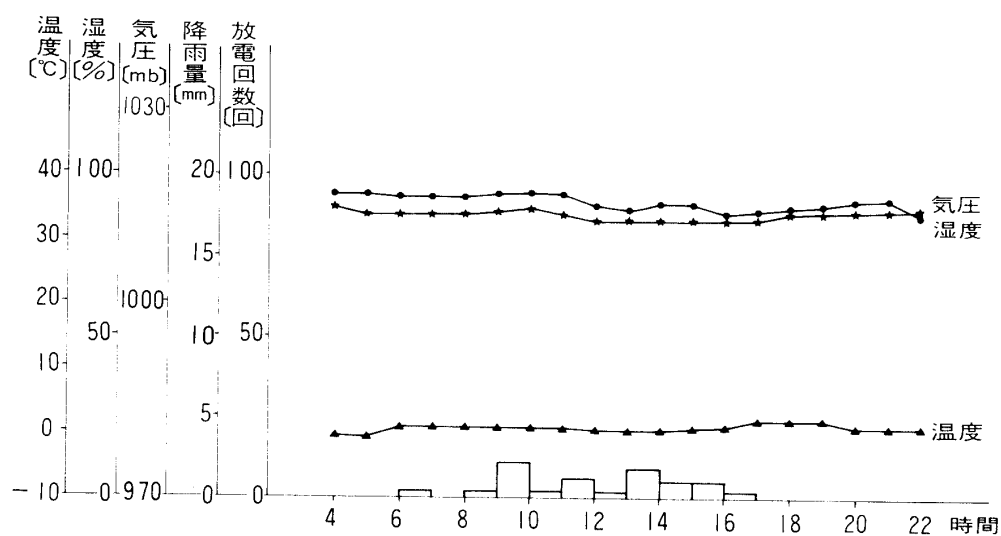


図-47 昭和59年12月23日の測定結果

昭和60年1月13日～14日のエコー図（図-48～図-56）

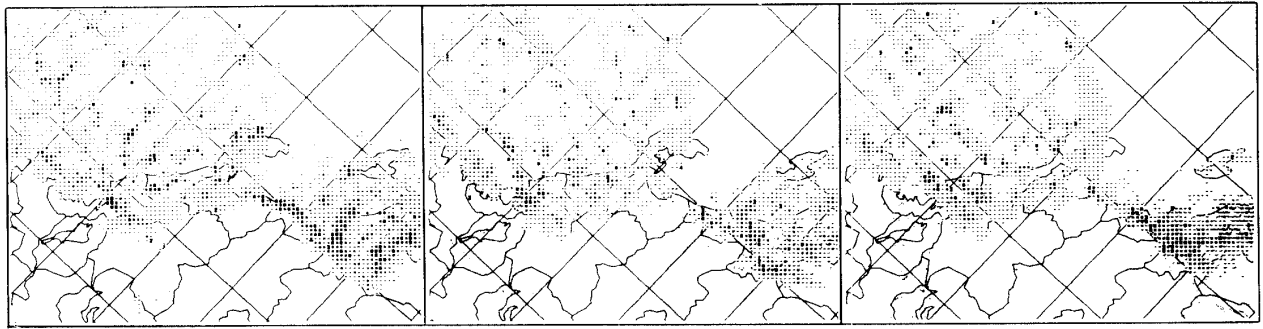


図-48 16:00のエコー図

図-49 20:00のエコー図

図-50 0:00のエコー図

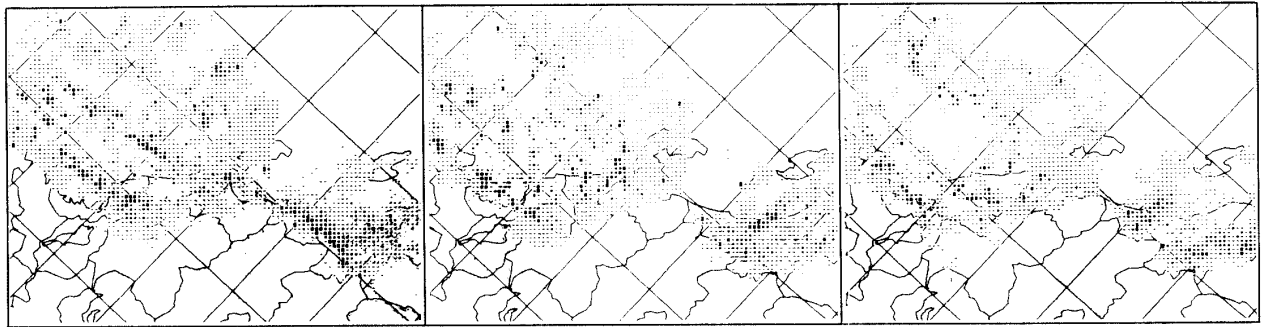


図-51 4:00のエコー図

図-52 8:00のエコー図

図-53 10:00のエコー図

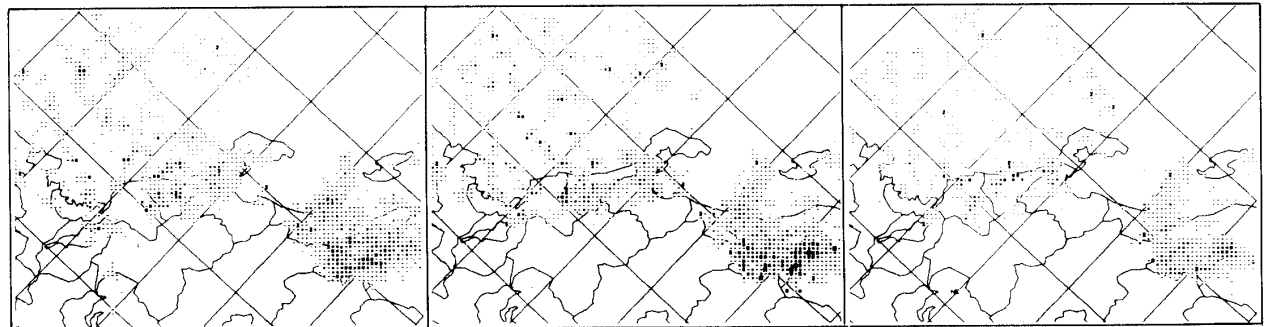


図-54 13:00のエコー図

図-55 14:00のエコー図

図-56 16:00のエコー図

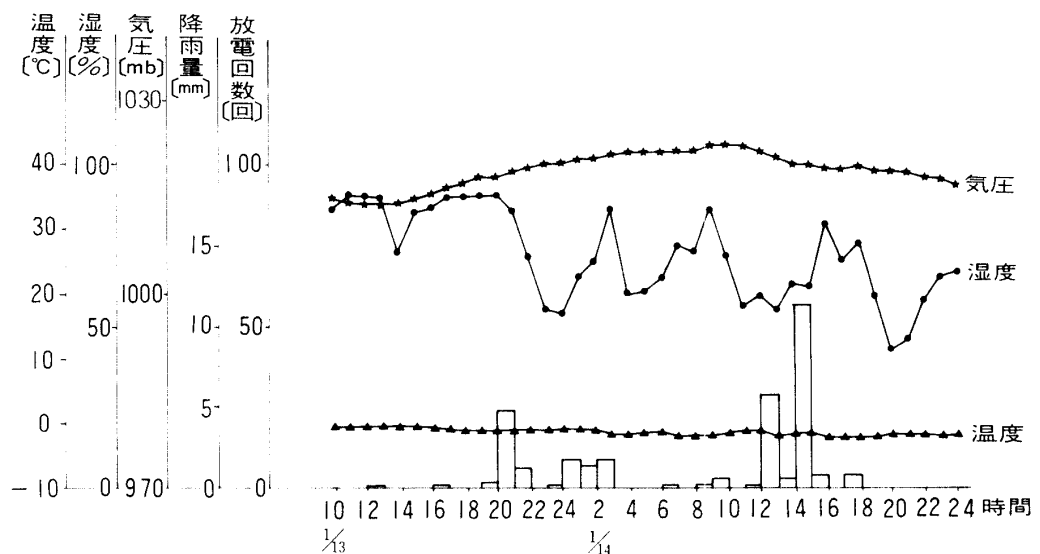


図-57 昭和60年1月13日～14日の測定結果

#### 4-1 夏雷の特徴

- a) 朝方から晴れて大地が加熱されかわいた強い上昇気流があること。
- b) 上空に冷たい湿った大気が侵入する。
- c) 大きな対流作用を生じ、電離現象の結果生じた帯電雲は垂直方向である。
- d) 気圧はほとんど大きな変化はみられない。
- e) 帯電雲のもつエネルギーは非常に大きいので単位時間当りの雷放電回数は非常に多い。
- f) 地表面の大気がある程度加熱されないと大きな上昇気流が生じないため、午後に発雷することがほとんどである。
- g) 雷放電の初期はほとんど雲間放電で落雷することは少ない。
- h) 強い雨が降り地表が冷やされると、帯電雲が下降してくるためこの時間になると落雷が生じ危険である。
- i) 熱雷である為、地表面が雨などで冷却されれば減衰する。
- j) 2～3時間程度で雷は納まる。

#### 4-2 冬雷の特徴

- a) 低気圧通過後、冷めたい高気圧の大気が侵入してくること。
- b) 高気圧からの吹きおろしが強いとき発生する。
- c) 気温の変化はほとんどしない。
- d) 発雷の時間帯は一定しない。
- e) 雷放電はほとんど雲間放電が多い。
- f) 帯電雲の高度は低く（1～3 km程度）、水平方向に分布している。
- g) 前線雷であるため高気圧が通過し終えるまで発雷が続き長時間に渡って発生する。
- h) 雲の層が薄いため、帯電量が少なく電気的エネルギーは弱いため、単位時間当りの雷放電回数は少ない。
- i) 高度が低い為、帯電雲は山脈を越えられず日本海岸地方に多く発生し、表日本ではほとんどみられない。

### 5 謝 辞

本研究に対してレーダーエコーを始めとして各種の気象データを提供して下さいました福井気象観測所ならびに、毎日の気象観測及び帯電雲の電界、電放電回数などの測定に当たるとともに、その結果の処理に多大なる協力を頂いた研究生の松田吉弘君、永井重人君、河野朗君に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 福井工業大学研究紀要 第8号 1978 P 1～18
- 2) 福井工業大学研究紀要 第9号 1979 P 13～21
- 3) 福井工業大学研究紀要 第10号 1980 P 11～22
- 4) 福井工業大学研究紀要 第11号 1981 P 45～52
- 5) 福井工業大学研究紀要 第14号 1984 P 1～9
- 6) 雷の科学 晶山久尚 河出書房新社出版
- 7) 気象の教室 斉藤鍊一 東京堂出版
- 8) 雲と雨の物理 B.J.メイソン 総合科学出版
- 9) 図説気象学 大田正次, 内田英治訳 朝倉書店出版  
根本順吉 その他
- 10) 気象学ハンドブック 技報堂出版
- 11) 気象ハンドブック 気象ハンドブック編集委員会編