

離圏下面にとどく発光が航空機、人工衛星によってしばしば観測され、前者はブルージェット、後者はレッドスプライトと呼ばれている、(4)の話題提供者、福西浩は、さらにごく最近発見された Elves と呼ばれる発光現象も含め、この現象を総合的に解説している。

また各コメンテータは、それぞれの話題の理解を深める補足情報、意見を発言した。今回は時間の制約で、雷研究第3段階全般をカバーすることは出来なかったが、掲げた4課題については参加者の理解を深めるシンポジウムとなった。

1051:1052 (雷; 雷雨)

1. 雷雨の発生環境について*

吉崎正憲**

1. はじめに

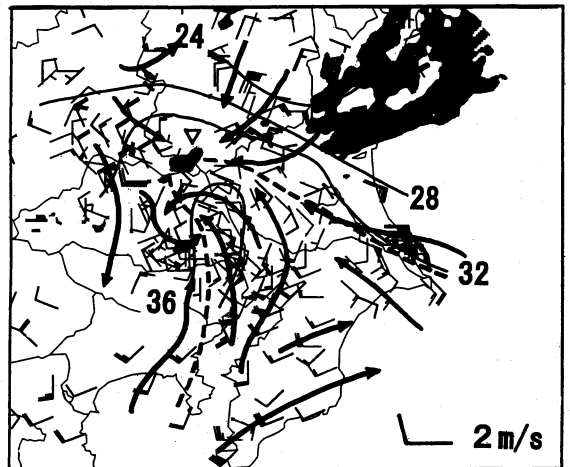
夏の午後になると、中部・関東地方の山岳部に積乱雲が毎日のように発生する。小さな積乱雲のままランダムにある場合もあれば、中には雷を伴って激しい雨・ひょうや突風をもたらす組織化されたストーム(thunderstorms, ここでは雷雨と呼ぶ)に発達する場合もある。そうした雷雨が移動して都市部までやって来ると、落雷・停電・浸水などで大騒ぎとなる。

雷はおおまかに(強い日射による熱的不安定で同一気団内で発生する)熱雷と(寒冷前線など異なった気団の境界で発生する)界雷と(発達した低気圧や台風まわりの強い上昇流で発生する)渦雷の3つに分けられる。1995年の夏は西日本から関東にかけて高温であって、関東地方ではいくつもの熱雷と界雷が発生した。ここでは、2つの界雷の事例解析と熱雷の統計について述べて、それらの発生環境を眺めてみる。

2. 1995年夏に見られた2つの界雷の事例と熱雷の統計

2.1 8月10日の界雷(上清ほか, 1996)

総観規模の寒冷前線が日本海から南東進ってきて関東平野を通る時に、群馬県南東部の平野部に雷雨が発生して東南東に動いてつくば付近で最盛期に達した。これによってつくばでは28mmの1時間雨量(15~16時)と14m/sの瞬間風速(15時25分)を記録した。第1図は、この雷雨が発生する頃の地上風と気温の分



第1図 1995年8月10日14時の雷雨発生期における高さ1kmのレーダーエコー(20 dBZ以上)と地上風と気温(実線, °C)の分布(上清ほか, 1996). 雷雨の位置を白ぬきの三角, 風の不連続線を破線で示す。

布である。銚子あたりから茨城・千葉県境に沿って群馬県南東端まで、および群馬県南東端から三浦半島まで南北に延びる顕著な風の不連続線(破線)が見られた。この不連続線の周りの気流は、茨城・栃木の北東あるいは北寄りの風、群馬・埼玉西部の北西風、および千葉・東京湾付近からの内陸に入る風、の3つに分けられた。いわば、関東平野に3つのミニ気団があったと言える。そうした中で、雷雨は、東京湾付近の南西風が内陸に入って南東風となり群馬県南東端で収束を作ったところに発生した。

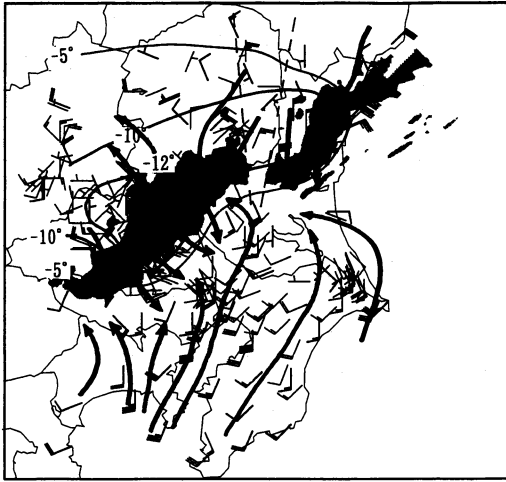
2.2 8月16日の界雷(瀬古ほか, 1996)

この場合は寒冷前線にあたるライン状の降水域が朝

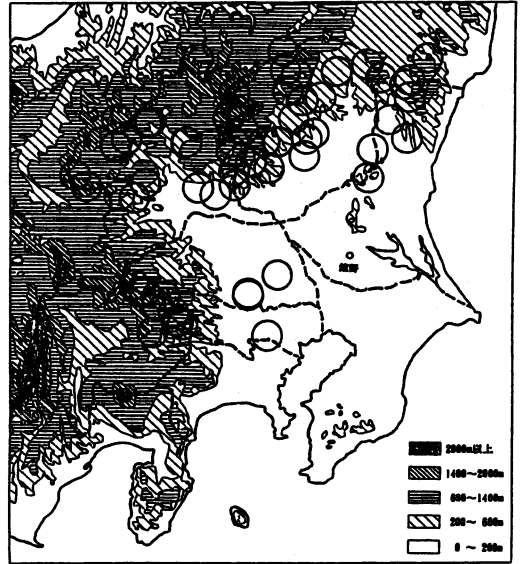
* Review on environments of occurrence of thunderstorms.

** Masanori Yoshizaki, 気象研究所予報研究部.

© 1996 日本気象学会



第2図 1995年8月16日のスクールラインの高さ1 kmのレーダーエコー(20 dBZ以上)と地上風と14時から17時までの間の温度変化(実線)の分布(瀬古ほか, 1996).



第3図 1995年7月24日から8月29日までの期間に発生した熱雷が最初に現れた場所(堀江・遠峰, 1996).

9時にはすでに若狭湾沖から岩手県まで南西から北東に延びていた。それが南東に移動してきて関東平野で最盛期となった(第2図)。ここではこれをスクールラインと呼び、SLと略記する。SL前面の南東側に強い降雨域があり、後面の北西側には弱い降雨域が広がっていた。地上風を見ると、SLの南東側で南よりの暖かい風が、降雨域では北よりの風が吹き、SLの前面に収束が見られた。10度以上温度が低下した埼玉県西部では、風は発散していた。他にドップラーレーダーで見た高層風、地上気圧分布などの特徴を眺めると、スケールは小さいもののアメリカ等で見られるSLと同じような特徴が見られた。

2.3 熱雷の統計(堀江・遠峰, 1996)

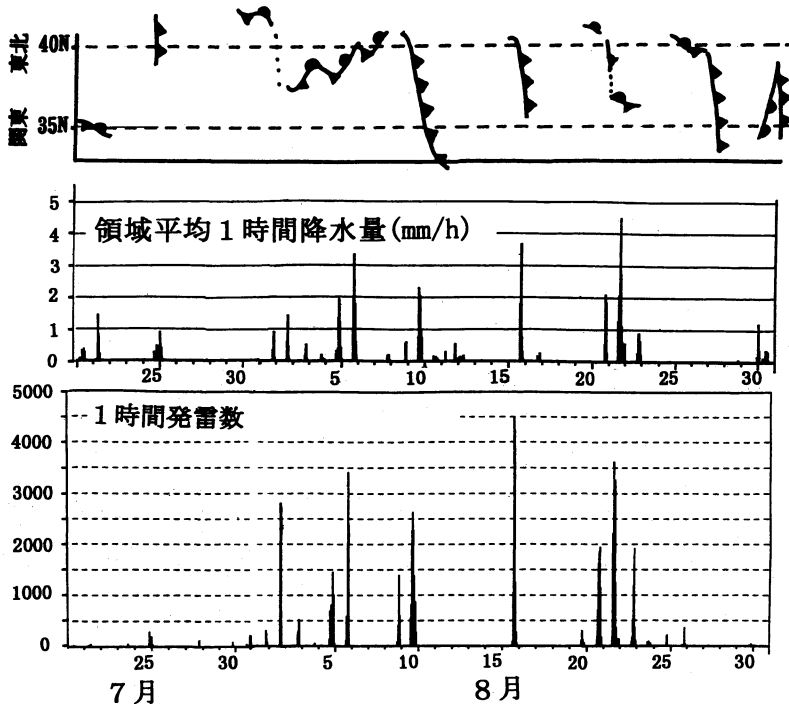
この統計では、まず界雷の場合を除いて、地上における耳目観測で雷を確認した場合とレーダーアメダス解析雨量図のエコー降水強度が1時間16 mm以上でエコー高度が26,000フィート以上であった場合を熱雷とした。そうすると、7月24日から8月29日までの期間に31日熱雷が発生した。第3図は、レーダーに最初にエコーが現れた場所をプロットしたものである。山岳で多く発生したのがわかる。発生時刻は15時あたりがもっとも多かった。これらが発生した頃の地上風系を見ると、海(太平洋・日本海)から山岳に向かって風が吹き、山の尾根付近で収束していた。

3. 1995年夏の全般的な様子と雷雨の発生環境

もっと全般的な様子を見て、雷雨の発生環境を眺めてみる。まず、東経140度の南北線を通った前線の位置、関東平野スケールで平均した1時間降水量、および日本気象協会 SAFIR がとらえた1時間発雷数の、梅雨明け直前から8月31日までの時系列を第4図に示す。ここでは領域平均降水量が多くて発雷数とよく対応するものを雷雨と考える。雷雨は(すべて8月)1~3日、5~6日、9~10日、16日、21~23日に発生した。16日を除けば、「雷3日」の言葉通り、2~3日連続して雷が起こった。雷雨と前線の対応を見ると、1~3日と5~6日は停滞(梅雨)前線が東北中・南部にあった時、21~23日は停滞前線が関東北部にあった時、9~10日と16日は寒冷前線が関東地方を通過した時に雷雨が発生した。いずれも、雷雨の発生には大きいスケールの擾乱があるあるいは近くにあるのが条件のようだ。

次に、つくばにおける地上気温・日照・1時間降水量・対流有効位置エネルギー(CAPE)・高層風の時系列を第5図に示す。地上気温と日照の時系列では日変化が顕著である。日中は連日30度以上となり、東京では37日間熱帯夜が続いた。しかし毎日が同じように暑いというのではなく、8月には前線の通過(あるいは接近)に対応して約5日周期の温度変動が見られた。

雷雨発生環境として、一般風の鉛直シアとCAPE



第4図 東経140度南北線における前線の位置，関東平野スケールで平均した1時間降水量，および日本気象協会 SAFIR がとらえた1時間発雷数の，1995年7月21日から8月31日までの時系列。

が重要と考えられている（例えば，Weisman and Klemp, 1982；小倉，1984；Houze, 1993）。ここでもその観点から第5図の風の鉛直シアと日中のCAPE（黒丸）に注目する。まず鉛直シアとして、(地上では風が弱いので鉛直シアの代わりに) 700 hPa と 500 hPa の風の強さをながめると、雷雨がある時にはない時に比べて風が強いことがわかる。しかし、風の強さは高々 15~20 m/s であって、アメリカ中西部のスーパーセルの発生時の鉛直シアの大きさに比べるとかなり小さかった。

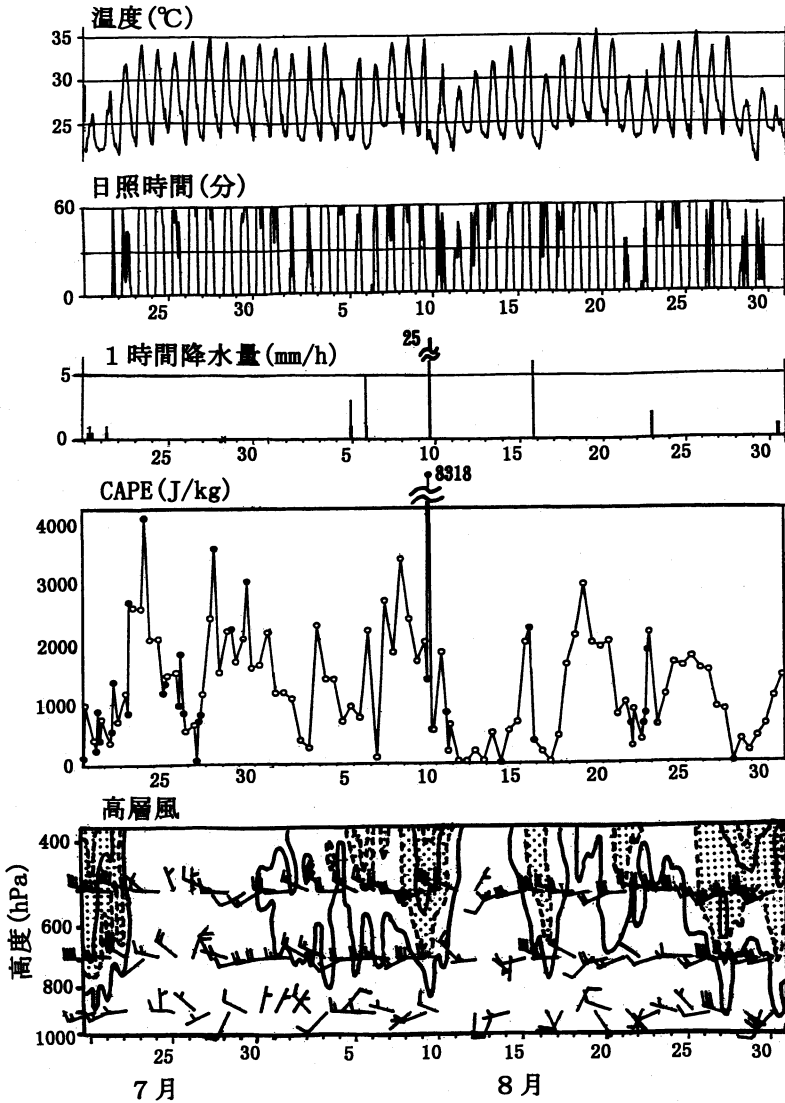
一方、CAPE の方は雷雨と相関があつたりなかったりした。相関があつた場合として9~10日と16日があり、雷雨の直前に大きなCAPEが見られた。一方相関が悪かつた場合として、7月下旬と8月21~23日があつた。しかし、相関が悪かつたのには理由がある。7月下旬に大きなCAPEが見られたのに雷雨が発生しなかつたのは、関東地方が太平洋高気圧におおわれて大きなスケールの擾乱がなかつたためである。雷雨の発生にとって大きなCAPEだけでは不十分というわけである。また、8月21~23日の場合は、雷雨

が埼玉県西部にある時につくば付近では鹿島灘からの(相対的に冷たい)東風が吹いていてCAPEは小さかつた。第1図で見たように関東平野には局地風があつていくつかのミニ気団に分かれ、遠く離れた雷雨に対してつくばのデータは必ずしもその環境を代表しないのである。

(まだサンプル数が少なく結論づけるのはまだむずかしいが、)こうした考察から、関東地方での雷雨の発生に次の4つの状況が同時に重なることが重要と考えられる。(1)寒冷(あるいは停滞)前線など大きなスケールの擾乱が関東地方を通過するあるいは近くにある。(2)大きなCAPEがある。(3)大きな風の鉛直シアがある。(4)(第1図のように)地上付近に収束線がある。

4. まとめおよび今後の方向

1995年夏に見られた雷雨の環境を眺めて、雷雨の発生に上記の4つの条件が重要である場合を示した。しかしながら、こうした雷雨の発生条件は以前から言われてきたことであり、別に目新しいものではない。例



第5図 つくばにおける地上気温・日照・1時間降水量・CAPE・高層風の時系列。黒丸のCAPEは11時から18時までに放球した高層データから計算した。高層風の図の矢羽は、900 hPaと700 hPaと500 hPaの朝9時の風、等値線は10, 15, 20, 25 m/sの風速, ドット域は15 m/s以上の風速を表す。

えば、(1)や(2)は、“中層に寒気が入った時に雷雨が発生する”ということや、櫻庭(1950)の“発雷をもたらすような積乱雲の発達には地上からの加熱だけでは駄目で、より大きなスケールの寒気移流が必要である”と述べたことと同じである。また、(3)に関してはアメリカの雷雨の研究で良く知られていることである。そういう意味で、今回のシンポジウムの話題提供は、1995年の夏の関東地方という身近な例をもと

に雷雨の発生環境について過去の成果まで踏み込んでレビューしたことになる。

しかし、雷雨が発生しそうな気象状況が経験的にわかっているからといって、雷雨の発生や進路、強さや形態まで予報を行えるほど現在の予報技術は進歩していない。1940年代の雷雨特別観測(詳しくは、小倉(1995)を参照)以来関東平野で何回か雷雨に関する観測がなされてきたが、今なお雷雨に関する我々の知識

は不十分である。今後もいろいろな方向から雷雨を調べる必要がある。「つくば域降雨観測実験」グループは1995年7月にドップラーレーダーと高層ゾンデの特別観測を関東平野で行ったが、そのような試みを今後も行うべきである。また、(雷雨の発生には前線など大きなスケールの擾乱が関与しているので) 水平に変化する大きい場を取り込んだ雷雨のシミュレーションなど数値的研究も必要である。

謝 辞

この原稿をまとめるにあたって、気象研究所の瀬古弘・上清直隆・高山 大・嶋村 克・楠 研一、日本気象協会の奥山和彦・小倉義光、東京大学海洋研究所の新野 宏の各氏にお世話になりました。また、観測に協力していただいた「つくば域降雨観測実験」のメンバーと高層気象台、およびデータを提供していただいた東京管区の地方気象台、群馬県大気環境保全課、栃木県環境管理課、茨城県公害対策課、埼玉県大気保全課、千葉県大気保全課には深く感謝します。

参 考 文 献

- 堀江晴男, 遠峰菊郎, 1996: 熱雷の発生と移動について—1995年7月29日と8月2日の事例, 日本気象学会1996年春季大会予稿集, B355.
- Houze, R. A. Jr., 1993: Cloud Dynamics, Academic Press Inc., 570 pp.
- 小倉義光, 1984: 一般気象学, 東京大学出版会, 314pp.
- 小倉義光, 1995: 雷雨研究事始め日米比較. 気象, 39, 14068-14072.
- Weisman, M. L. and J. B. Klemp, 1982: The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy, Mon. Wea. Rev., 110, 504-520.
- 櫻庭信一, 1950: 積乱雲の研究. 「雷の研究」(日本学術振興会雷震防止第9特別委員会), 2-9.
- 瀬古 弘, 吉崎正憲, 楠 研一, 奥山和彦, つくば域降雨観測実験グループ, 1996: 1995年8月16日に関東地方を通過したスコールライン, 日本気象学会1996年春季大会予稿集, P 301.
- 上清直隆, 高山 大, 吉崎正憲, 瀬古 弘, つくば域降雨観測実験グループ, 1996: 1995年8月10日に関東平野で発生したストーム, 日本気象学会1996年春季大会予稿集, B359.

1052 (雷雨)

2. 「雷雨の発生環境について」に対するコメント*

小 倉 義 光**

1995年夏の関東地方での雷雨について、吉崎正憲氏から包括的な興味深い報告があった。ただ時間的制約のため、同氏が触れる余裕がなかった同年夏の熱雷についてお話して、私のコメントにしたい。

1. 一般的な状況

第1図にみるように、1995年の夏は7月20日ごろまでは比較的低温であったが、その後は前年に続いて猛暑となった。そして梅雨中の6月4日を除くと、時間雨量 20 mm を越す雨量を観測したアメダス地点数は

8月22日に飛びぬけて多い。それで、この日を対象とする。

8月22日の高層天気図には、冷たい気圧の谷と呼ぶほどのものはない。事実、吉崎氏の図によると、8月21~23日ではCAPEはいずれも1,000ジュール/kg以下という低さである。また印刷地上天気図によると、21日に寒冷前線が東北地方を通過して、22日9時にはその西端が停滞前線となって、関東地方の北端を東西に延びている。しかし21時には、この前線は本州上にはない。

それでも22日は終日アメダスの地上風向は北関東では東ないし北東であった。館野の9時の高層観測によると、地上から約1.2 kmまでは東ないし北東の風、その上は南よりの風で、高度約2.5 kmから上は西南西ないし西の風であった。高層の風が弱かったのがこ

* Comments on "Review on environments of occurrence of thunderstorms".

** Yoshimitsu Ogura, 日本気象協会.

© 1996 日本気象学会