

雷 Lightning

石 井 勝*
Masaru ISHII

3 部の石井でございます。

3 部といいますと電気・電子系ということでございます。そのなかで私は電力工学部門というところに属しております。もともとは電力の伝送関係が専門でございますけれども、最近は雷の研究にかなりの時間を割いております。なんでそうなっているかとか、その辺のお話を今日はさせていただこうと思っております。

(OHP・写真)

ごらんのような雷というのはよく知られた現象でして、これは夏の雷ではないかと思うのですが、カメラを雷が盛んに落ちているあたりに向けてシャッターを開いておきますと、運がよければこのような写真が撮れるわけです。

これで見ますと、下のほうに向けて上から何か光るものが下りてきているのかなと、枝別れの様子から見ると、そんな感じがいたします。

大体、雷といいますと、我々が身近に見ておりますものは、ほとんどがこんな格好で落ちてまいります。この研究所は総合工学研究所でございます。工学の研究をやっているところである。それが雷とかかわる理由とはいうと、いま落ちてきたあんな代物が、大抵電気に関係のあるシステムであることが多いのですが、そういったものに悪さをするためです。工学系の研究者は、雷による障害の関係を主な研究対象にしています。

(OHP)

私も 20 年ちょっと前まで学生をやっておりましたが、そのときの学位論文の一部にしましたのが、雷が送電線に落ちたらどうなるかという、そのへんのことでして、いまだにそういう研究を続けております。20 年もやっていると、一体その間何やってたのだと言われそうですが、ただ、20 年前も相当大きな計算機はあったことはあったのですが、まだ当時の計算機ではできないようなこ

とも多かったわけです。それがここ数年くらいのところで、私が学位論文の種に一部したことがやっと（これは計算ですが）解決がついたというか、ほとんどつきかけているという状況にあります。具体的には、雷が落ちたときに鉄塔が電氣的にどんなレスポンスをするかという話ですが、今日はそれには立ち入らないことに致します。

雷による障害というのは、雷が落ちてきて、それによる電流が各種のシステムに直接入って来るとか、あるいは直接落ちないまでも、それによって強烈な電界・磁界が発生いたしますから、直接つながっていない回路にもけっこう大きな電圧とか何とかが出てくることによって発生します。最近では特にいろんなシステムに半導体が全面的に使用され、要するに真空管の時代ではなくなってしまった。今は 5 V とか 3 V ぐらいでオペレートされているシステムがほとんどですから、そういったものはごく小さな異常電圧でも簡単に壊れたり、あるいは誤動作を起こす、そんな状態になっています。このため、雷が直接落ちなくとも、誘導によって発生する電圧、電流が、以前よりも脅威になって来ています。

各種の障害が発生するまでの過程の詳しいことについては、いまだによくわからないことが残っております。ただし研究は確実に進んできておりまして、例えば送電線に雷が直接落ちたらどうなるかという話は、理論といえますか頭の中で従来考えられてたことはあったのですが、これが最近になって実際に確認され出しました。

(OHP・写真)

これはどういうことかといいますと、ここに 27 万 5 千ボルトの送電線がありまして、このところから光が上方に伸びている。これは、雷の光みたいな、光のパルスがきたらシャッターを開くような、そんなカメラで撮影されたものですが、このところに、光の点が 5 つ並んでいます。サイコロの 5 みたいな格好になっています。

*東京大学生産技術研究所 第 3 部

何が起こったかという、おそらくこのところに架空地線というのが張ってありまして、その架空地線の途中から雷の放電が伸びだしている。それによって雷の大電流が侵入し、そのうちこの鉄塔のほうに流れてきたものが、このところで碍子の絶縁を破って電力を送る線に入り込んだ。これは専門用語だと「逆フラッシュオーバー現象」と呼んでまして、何十年も前から多分こうなっているのではないかということが言われていました。これは5相閃絡というかなり珍しい現象です。相当大電流が入らないとこんな現象は起こらないのですが、これは一般に多相閃絡現象と呼ばれ、写真に撮られたものでは初期の例であろうと思います。

(OHP・写真)

これはもう一つ別の例です。これも北陸電力さんのご好意でお借りしたものです。多分50万Vの送電線ではないかと思いますが、同じような現象が撮影されています。今度は3つ。これはもうちょっとはっきりしてまして、ここに碍子がぶら下がっておりますが、そのうちの3つで同じ逆フラッシュオーバー現象が起きている。

こういうことで、一応理論的にいろいろ言われておったことが確認されたわけです。実はこういう現象、5つもいっぺんにフラッシュオーバーが起こることとは、確かにそうしょっちゅうではないけれども、予想よりあまりにも多いということで、十数年前ぐらいから、この原因が何であるか、従来考えられてきた逆フラッシュオーバー現象なのか、それとも何かもっと別の変な現象が起こっているのかということがけっこう議論されました。いま、こういう証拠写真もあがってきたことで、従来の理論で多分説明できるのであろうという認識が行き渡って来ています。

(OHP・写真)

ここまでお話し申し上げたのは直撃の例ですが、もう一つ誘導ということを申し上げました。これがその撮影された例です。これも北陸電力さんと電力中央研究所さんのご好意でお借りした写真です。

これは何が起きているかという、ここに多分タクシー会社などが使っているような無線塔がある。高さは大したことありません。精々20mとかそんなものではないかと思いますが、そのてっぺんに雷が落ちている。

無線塔から数十mから数百m離れた配電柱のてっぺんや中程に、よく見ると光の点が幾つか見えます。雷の電流は大地に入ってしまったのですが、こんなところで光っているということは、結局そのエネルギーがこちらのほうにも、それは空間を通してということですが、電界・磁界という目に見えないフィールドを通じて入ってきているわけです。この配電線の上には架空地線が張ってあるのですが、電柱のてっぺんが、あまりちゃんと

くっついてなくて、そこが放電を起こしている。下の方の光は100Vの低圧線からのようです。

というわけで、たまたまこの場合には大した事故にはならなかった。こちらは電気を送っている、6000Vの線ですが、そちらのほうは支障なく運転できたようです。(OHP・写真)

これもやはり北陸電力さんで撮影された写真です。これはもう少し違う現象で、雷がここに落ちているのですが、別のところに明るい点が見えております。落ちた先は配電線ではないのですが、配電線にくっついている避雷器が真っ黒になっていた。そのところで光が出ていたようです。

避雷器というのは、配電線にあまり高い電圧が出て変なところでフラッシュオーバーが起こると、電気を送れなくなりますから、そこで高い電圧を電流のかたちで大地に逃がしてやろうという装置なんです。逃がしてやるために大地に埋めてある線からでも逆に雷の電流が入って来る可能性もあります。この写真の例では、その電流がまたあまりにも過大であったために避雷器が燃えてしまった、そういう現象が起こったのではないかというふうに今のところは考えられています。

こういういろいろな、従来理論だけで予想されていたような現象が、最近になって実証されだしたり、それに伴って説明が今の理論ではつかない現象が見つかったり、そんな状況が起きています。そういうわけで、最近のこのへんの研究は日本ではアクティブで、世界をリードしているといえると思います。

ただ、今たまたまお見せしましたいろんな雷による障害が起こっているような証拠写真は、実は全部冬に撮られております。じゃあ夏の雷は一体どうなっているのだという、わからないことはわからないのですが、夏の雷ではいろいろな事故を経験して、こうすれば少なくとも強くはなるという方策はわかっておりますから、いまのところそういう経験の積み重ねで対策は間に合っている、そういうふうな認識になっているのではないかと思います。

ここで、雷の研究の種々の分野と、その現状についてお話しします。最後にシステムの中に入ってきてしまった電圧、電流を研究するというのは比較的やりやすいわけです。もうモデルがほぼ定まっているから、そのなかで、ばかにかい電圧とか電流が発生したら一体どうなるか。そういうようなことが研究対象になります。

じゃあどんな電圧・電流が入ってくるか、それをきちんと予測するためには、そのもとである落雷という現象から解明しなくてははいけない。落雷という現象は、例えば関連事項としては「雷しゃへい」という問題があります。これはどういうことかという、避雷針で保護され

る範囲はどれだけかという話で、これは技術基準で決められています。しかし、もちろん自然現象が相手ですから、法律のとおり雷が来てくれるかどうか分かりません。これは全くの経験の世界です。

(OHP・写真)

これは多分 1950 年ぐらいに偶然に撮れた珍しい写真で、5m ぐらいの木に落雷した様子が至近距離から撮影されています。これで見ますと、上と下から何かが伸びて、それが結合して放電が完成している。これはかさかさの木でして、しかも幹が一本立っているタイプではなくて、細い枝みたいなのがいっぱい下から生えている、ばさばさとした木のようです。あとでこれを見たら何の痕跡も残ってなかったそうです。結局、電気を通そうが通すまいが、そういう出っ張りがありますと、雷のほうからそちらのほうにいきやすいということになります。このような写真が沢山撮れば、雷しゃへいの問題の解明が進むのですが。

(OHP)

これは私のところでつい最近出したデータです。落雷をごらんになってますと、特に夏の雷は、ちらちらと明滅したりすることがございます。それを時間分解をうんとよくしたカメラで撮りますと、ほぼ同じ放電路が何回か光るという現象が観察されます。多重雷と呼んでいます。細かい話ですが、多重雷と呼ばれている現象で、放電路が同じである確率といいますか、その場合がどのくらいかというのを電磁波による観測で調べたのですが、けっこう我々が予想したのとは違ひまして、半分ぐらいが最初の放電路と別のところを通ることがあったというデータです。そんなようなことも最近になってからわかってきております。

これが落雷関連の話題なんです、もうこのへんになりますと理論でどうこうという話ではなくて、残念ながら現象を観察するしか確かなことは言えないという段階です。

そこでもうちょっと広範囲の雷放電現象を観測できないか。これも光で見ていると限界がありますが、雷というのは電磁気現象ですから、さっきの誘導の例がありますように、大電流が流れますと、非常に大きな電界とか磁界とかが発生いたします。それがけっこう遠くまで伝搬する。そういう性質がありますので、それを利用して雷を観測することによって、色々なことがわかるのではないかと。そんな研究を十数年前から始めてます。

(OHP)

この研究所の貢献の一つだと思われますのは、その応用の一つとしての、雷放電位置標定システムの実用化がございます。

原理は 2 通りありまして、1 つは、ダイレクション・

ファインディング、つまり方位測定という方法ですが、2ヶ所ないしそれ以上のところで雷放電によって発生する電磁波を受信してまして、電磁波が来た方位を 2ヶ所で同時に測れば、交会法という方法でどこで発生したかわかる。もう 1 つの方法は、地震の震源を求めるのと同じ原理でして、多点で、最低 3 点、多くの場合 4 点以上が望ましいのですが、そういうところで電磁波を同時に受信する。もしそれが同じ放射源から出たものだとしますと、多数の点で受信した電磁波の、そこへ到達した時刻の時間差を測ればその放射源の位置がわかる。現在その 2 つの方法で雷の位置標定という研究、もう研究ではなくて実用化されていますけれども、そういう観測が全国で行われています。

一番最初にそのシステムができましたのは、今から 20 年ぐらい前で、これは米国の大学の先生二人が考えたものです。この研究所は、日本で最初にその研究を始めた研究機関の一つです。

現在それでどうなったかといいますと、いろいろ曲折がありましたが、というのは、最初に導入した代物というのは、とても普通のユーザが使えるような代物ではありませんで、それを、誰が使っても何とか一通り結果が出るような格好にするのにけっこう時間がかかりました。その間は、私の研究室と米国の開発者との間の共同研究みたいなこともけっこうやられまして、結局、もう 6、7 年前になりますか、ほぼ日本全国に展開するネットワークが完成しました (図 1)。

ただ、ちょっと困ってますのは、ネットワークがぶつぶつ切れています。当初は確かにコンピュータの情報処理能力に限界があつて、小さなシステムしか組めなかったのですが、現在はそういう制約はなくなったにもかかわらずこうやって切れているというのは、これが多数の別々の会社に所有されているためです。使い途も、電力関係の給電とかそういう業務に使っているところもありますし、いまだに研究用という位置づけのところもありますが、とにかく全電力会社が現在これを運用していて、少なくとも自社の管内では、リアルタイムで雷放電がどこで発生しているのかわかるようになっています。

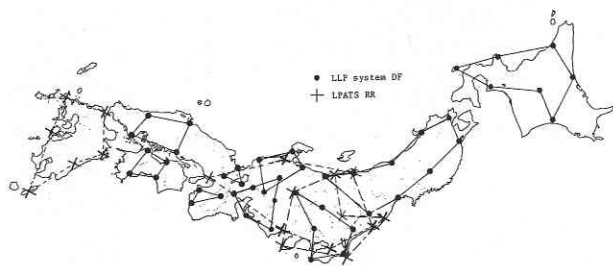


図1 LLPシステムとLPATSの受信局の配置状況 (1997年4月)

(OHP)

warning とか nowcast というのは、そのへんの応用です。warning という、例えば雷がここから 20 ~ 30 km のところに発生していて、それが来る速さでこちらへ近づいている。そんなわかりやすい現象が仮にあれば、例えば 30 分とかそれぐらいの余裕をもって、30 分後には雷がこっちに来る確率がかなり高いということの警報を出せるわけです。nowcast というのは、現状がどうなっているかということです。

(図 2)

どんなふうなディスプレイが得られるかといいますと、これは古いのですが、この研究所のシステムで観測したものです。電磁波の受信局は新潟県に置いていたのですが、これでちゃんと太平洋岸とか、相当遠くも見えます。見えるというのは電波ですが。

これは冬の例ですが、この現象が起こったときには、前線が西のほうから近づいてきて、本州を横断して太平洋岸に抜けた。前線が上陸してしまうと、衛星で雲を見ているとちゃんとあるのですが、それまで盛んに前線に沿って雷が起きてたのが止まってしまう。太平洋岸に前線が抜けて、このへんは暖流が流れているのですが、そのへんに行くともた活発になるという、そういう状況を示しています。

こういうふうに冬の雷というのは結構あることはあるのですが、それが陸上で経験されるのは、わりあいに限定された地域になっている。この例ですと能登半島から新潟にかけての海岸沿い、それぐらいしか発生しない。このように冬の雷というのは、いままでは経験する人口・面積が少なかったということで、研究もあまり進んでなかったといえます。

(OHP)

話を戻しますが、さっきネットワークが日本ではぶつぶつに切れているという話をしました。それでもない

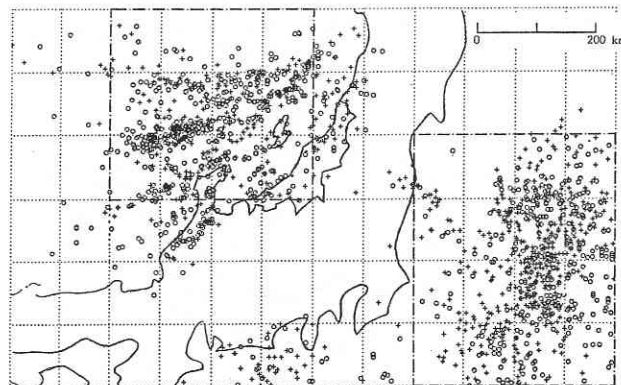


図 2 冬の日本海と太平洋に落雷点分布がある例 (1983 年 12 月 11 日)

よりはましであるということも言えます。これはもうちょっと進んだ例でして、米国での現状です。1995 年と書いてあります。米国でネットワークが完全にできたのは、そんなに古いことではない。ほぼ日本と同じ時期です。ただ米国ではこれが一つのネットワークとして現在機能しています。そのへんが私なんかから見るとうらやましいのですが、それはシステムの最初の成立ちといいますか発達過程が、ちょっと日本とは違った経過をとったせい입니다。こういうシステムが出だした当初は、ぼつぼつとあちこちで独立したネットワークがあったのですが、電力業界の連合体といいますか、ある研究を支援する組織が、ニューヨーク州立大学にお金を出して、東部に大きなネットワークができた。もう一つ、米国政府の所有する森林火災監視用の古いシステムがロッキー山脈一帯に存在した。この 2 つが紆余曲折を経たうえで統合され、電力業界が出資して運用されています。これはいまのところは、ダイヤルアップでかなり安い費用で誰でもアクセスできるのではないかと思います。研究にも使われていますし、オペレーショナルにも使われています。ですから日本でも、ああいうぶつぶつに切れているネットワークをつなげて、研究にも利用し易い形に将来は持っていけたら良いなと思っております。

(OHP・写真)

このシステムで何ができるかという話をもうちょっといたしますと、この研究所のシステムはもう日本にはありませんで、いまインドネシアに持っていつています。現地の大学と一緒にやっているのですが、こんなバナナ畑の中にアンテナを立てまして、もう観測は 3 年目に入りました。

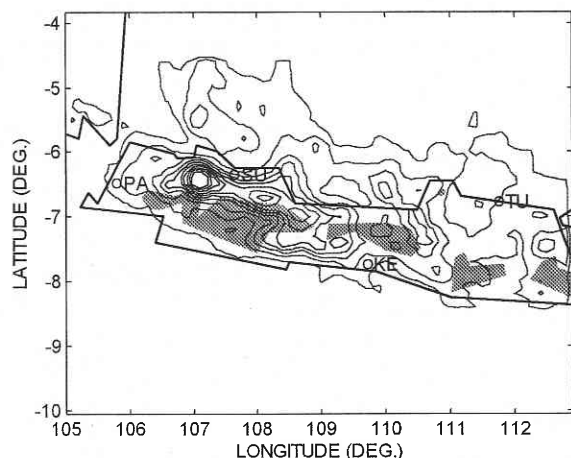
例えば人工衛星による観測でも、どこに雷が多いかということはわかることはわかるのですが、1 年を通してどんなふうに雷が活動しているかは、我々のように地上に設置したシステムで連続観測を行わないとわからない。

図 3 はジャワ島での雷観測結果で、網かけになっている部分は山岳をあらわします。ここにステーションを 4 カ所おいていまのような研究を行っています。図 3(a) は雨期の雷の発生頻度の分布で、日本でこの時期は冬にあたります。図 3(b) は乾期です。雨期のほうが雷がずっと多い。ジャカルタのすぐ東のところにボゴールというところがあるのですが、その近辺で雷のアクティビティが高いということがこれでわかります。この研究が行われる前は、雷雨日数で雷のアクティビティの見当をつけていたのですが、それが非常に大雑把というか、あえていってしまうと、実際と全然違うパターンを示したということがわかりました。雷雨日数というのは人の目と耳だけで観測しますので、世界中どこでも一応のデータはありますが、それが細かいところではあまりあてにはなら

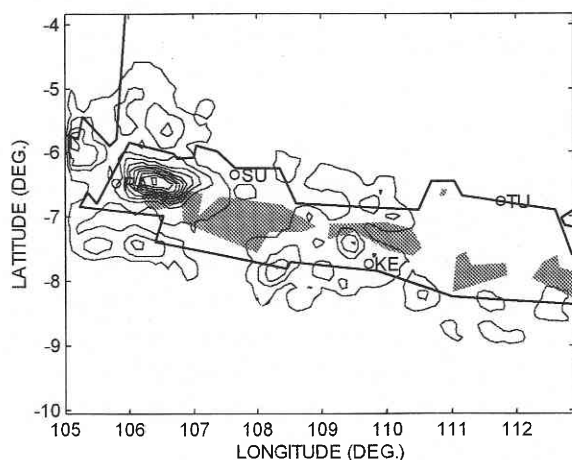
ないというのは、人が住んでいるところと住んでないところとで、観測の精度が大きく違っていた為と思います。どうも人が多いところで雷がたくさんあることになっていたのですが、実際は全然それとは違うということが、落雷位置標定システムによる観測で得た図面から出てまいりました。このシステムは、こんなふうを活用していくと、例えば送電線の経過地の選定などに反映させることも可能です。

(OHP・写真)

これは東北電力さんのシステムで観測した日本の冬の雷ですが、これはさっきの nowcast の例です。これは色で時間を表しています。一つの色が1時間。これは日本海の西のほうから低気圧というか、擾乱が近づいてきて、このへんになるとはっきりした前線が形成されますが、



(a) 1994 年 12 月～1995 年 2 月 (雨期)
(等密度線間隔 0.2/月/km²、最大値 2/月/km²)

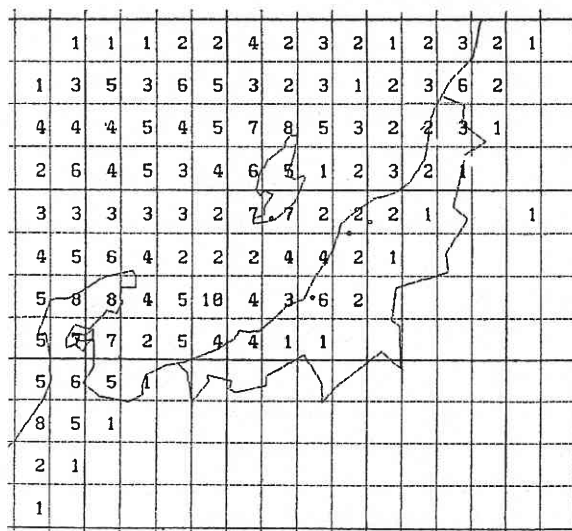


(b) 1995 年 6 月～1995 年 8 月 (乾期)
(等密度線間隔 0.1/月/km²、最大値 1/月/km²)

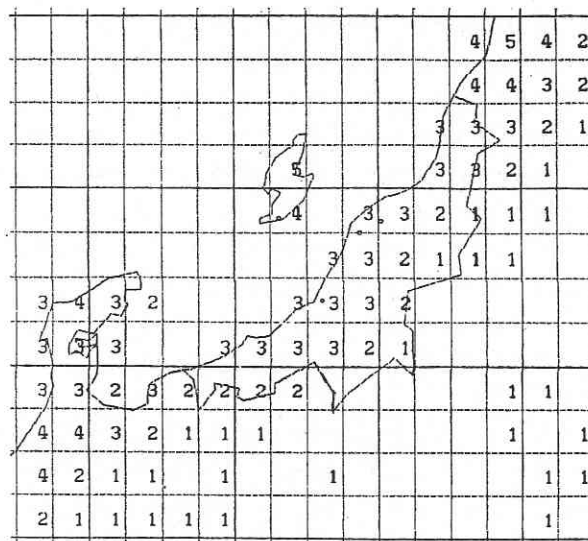
図3 ジャワ島の月平均落雷密度

それに沿って、それが陸に向かって進行してくると、かなりくっきりと雷の落雷点が移動してくるのがわかります。これですとかなり確度の高い予測が可能です。また冬の雷の話にそろそろ戻ろうかと思えます。

これはあまりきれいな図ではないのですが、図4(b)が新潟県周辺の雷雨日数の分布です。これですと海上は全然わかりません。図4(a)は東大のシステムで測定した、雷がどのくらいの頻度で、例えば1 km²当たり月に幾つ落ちるか、そういう図面です。数字がないところは全く雷が観測されなかったということです。これは冬のデータなんですが、これで見ますと大部分の雷は海上で発生し、内陸側は、雷が入ってくる一番奥でも精々数十キロ



(a) 落雷密度 (/月/km²)



(b) 雷雨日数 (日/月)

図4 新潟県周辺の冬の月平均落雷密度と雷雨日数

までで、それより中には入ってこないというのがわかります。

日本の経済活動がかなり活発になってきました昭和 50 年代ぐらいから、このへんにもかなり重要な送電線ができてきて、それに従来あまり経験されなかったような変な事故が冬に起こったということから、冬の雷の研究がかなり行われるようになってまいりました。冬の雷の特異性を示すものとして報告されている幾つかの観測例についてお話しします。

(OHP・写真)

例えばこんな写真があります。これは一見送電鉄塔の真横から雷放電が入ってきているような感じなのですが、多分鉄塔側から放電路がのび出して、雲に到達したという、いわゆる上向き雷であろうと私は推定しています。この場合には、先ほどごらんに入れたものと違いまして、電流値が多分小さかったのだろーと思われ、事故には至っていない。

こういう現象は、冬の雷の特異性の一つを示すものとされてるのですが、べつにこれは冬に限ったことでもないのです。

(OHP・写真)

これは夏の雷で、スイスで撮られたものです。ここに山がありまして、山のとっぺんにテレビの放送塔が立っており、そこのとっぺんから放電がのびているのですが、これは上向きの枝分かれが見えますので、はっきり上向き雷であることがわかります。これは少し上に伸びたあと、向きを変えて真横に伸びています。

これも、それからさっきのも横に伸びている。多分発生原因は似たようなことだろーと思うのですが、冬の送電鉄塔の場合には、なぜとっぺんから出ないで下方のアームの先端から出たかというのはわかりません。何かここらへんに放電を、最初にのび出させやすい、そんなものがあつたのかもしれない。ただこれが真横にのびていったということは、おそらく電荷のかたまりが低いところまで下りてきていて、電界が上向きでなく、明らかに横を向いていたということです。スイスの夏の例でも同様なことがいえます。これは夏でも高い山ですから、そういうことが起こりえた。ところが冬ですと、標高の低いところでもそんなことが起こるという例です。

(OHP・写真)

シャッターを長時間開けていたのでこんな写真が撮れたと思われるかもしれませんが、これはシャッターの開放時間が 8 分の 1 秒だというデータをいただいています。これもさっきと同じ北陸電力さんが撮影されたものです。枝分かれも映ってますので 100 % 全部これらは上向き雷だろーと思います。非常に短い時間に 10 本近くも落雷の放電路が下から伸びている。夏ですと決してこんなこと

は起こりません。冬は雷がゴロゴロとって落ちる回数そのものは少ないにもかかわらず、異様に送配電線の事故率が高いというデータが出ておりますが、こんな現象も関係してるのかもしれない。

こういうことは海外でもあるのかもしれないけれども、あまり騒がれなかったのですが、やっと最近になって報告されだしました。オーストリアで 95 年の 12 月 26 日にかなり奇妙な現象が観測されています。2000 m 級の山岳地帯で、大体 1 時間ぐらいの間に 400 発以上の雷が、先ほど申しましたような落雷位置標定システムで観測されました。

(OHP)

その落雷点がどうなっていたかというのがこれなんです。大部分が直径 1 km ぐらいの範囲に集中しています。そのシステム自体の位置標定誤差が 500 m か 1 km か、それぐらいではないかと思うのですが、それを考えますと、これらはすべてが、もしかしたらある一点への落雷だった可能性もあります。

レーダードームが 2 つ近くにあるのですが、それとは明らかに違った点に落ちてまして、写真を見ても何もないんです。またちょっと離れた山のとっぺんに十字架が立っていますが、それに落ちた様子もない。ですからこれは一体どんな現象なのかというのがいまだによくわかりません。とにかく冬にはいろいろそういう奇妙な雷があるのだということが最近になってけっこう知れ渡ってきました。

(OHP)

結局、冬の雷というのは数が少ないんですね。そのため統計的なデータになるだけの事例がなかなか集まらない。おそらく待っていても私が生きている間には十分集まらないだろーと思います。そうすると待っているわけにもいきませんので、もとを遡っていかなくちゃいけない。

(OHP・写真)

そこでどんな研究手段をとっているかといいますと、位置標定手法ですから原理的には先ほどの広域のものと同じです。いま我々が観測を行っているのは今年冬にタンカーが座礁したところの近くですけれども、あそこに福井平野がございまして、そこで電磁界の多地点観測を行っております。十数 km 四方の範囲に多数の観測点を置き、雲の中の雷放電によって発生する電磁界を記録することにより、雲の中の三次元的な雷放電現象を観測することができます。

それで観測しました一例として、VHF 帯の電磁波が放射されている位置を調べた結果を図 5 に示します。これは数百 ms の間に、電磁波放射源の高さがどんなふうに変わっていくかということを示しております。高さが非常

に低いのが特徴でして、大体 3 km とかそのぐらいのところで放電の生じている点が移動している。これが、夏の標準的な雷ですとだいぶ高さが違ってまいります。

雷雲内の電荷が、温度で決まる高さに存在しているということは、夏の雷についてはほぼ含意されているといっているのよしいかと思ひます。大体 -10°C から -20°C ぐらいのところにマイナスの電荷がたまっていて、それが 6 ~ 7 km の高さに存在し、プラスの電荷はそれより上方に存在します。その下が海拔 0 m なのか、あるいは高原なのかで若干落雷の性質が違ってきます。先ほどのスイスの例では、電荷が相対的には低いところにあつて、けっこう夏でも変な現象が起こったり、あるいは特定の鉄塔にいっぱい落ちたりということがあります。

(図 6)

これは昔ブルックという先生が書いた漫画ですが、日本の冬は、当時はプラスの電荷をもつ雷がたくさん落ちるということで非常に特異であるということが言われたんです。というのは、ふつう夏の雷では、ほとんど 100 % 近くの落雷がマイナスの電荷を落とすことが知られていたためです。この絵は、冬にも雲の中のマイナスの電荷がプラスの電荷の下方にあるとすると、なんでプラ

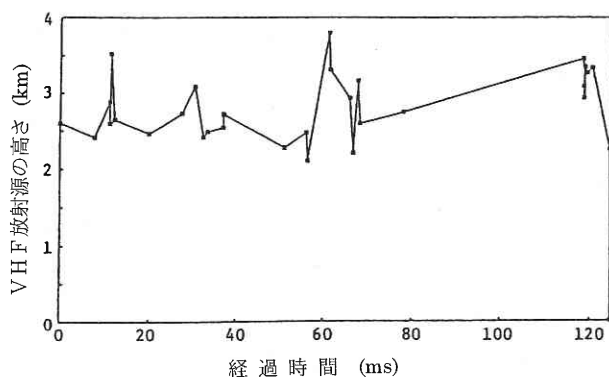


図 5 冬の雷放電で観測された VHF 波放射源の高さの時間変化 (1995 年 1 月 5 日)

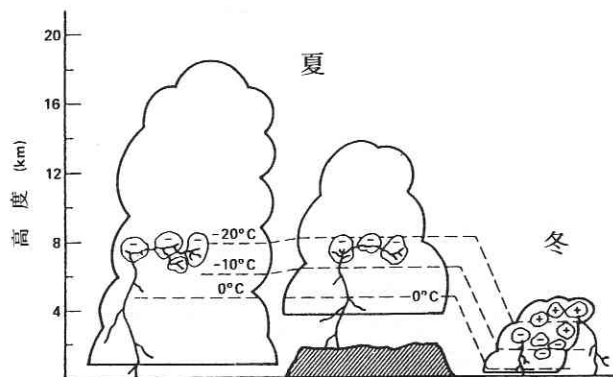


図 6 夏、冬の雷雲内の電荷分布の Brook による説

スが沢山落ちるかというので考えた絵なんです、冬の雲は斜めになっていて、上にあるプラスが横にずれて出てきているから、それで落ちやすいのではないかということが言われました。それはかなりわかりやすい説明でして、けっこう受けたものですから、その後本などにもお書きになる先生もいまして、そういう認識が行き渡ったのですが、最近になってみますと、どうもこんな単純な話ではないということがわかっております。単純な説というのは魅力的ではあるのですが、なかなか危ないところがあります。

(図 7)

これは先ほどの電磁界の多点観測により、放電した電荷の位置を調べた結果のサマリーなんです、放電した電荷があつた雲の中の位置の気温を示します。これを見ますと、ある雷雲はプラスばかり落としていて、その次のやつはマイナスばかり落としているとか、そんなふうになっています。マイナスの電荷は、だいたい -10°C ~ -20°C という、このへんにありますよという定説に合ったようなデータになっています。ところがプラスの電

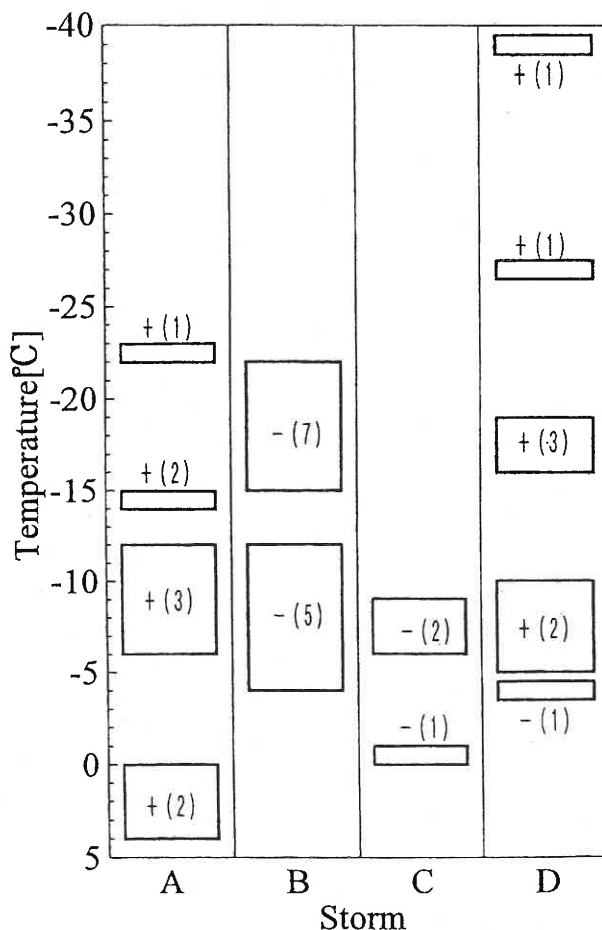


図 7 冬の雷雲で観測された放電電荷の位置の気温 (記号は電荷の極性、数字は数)

荷の高さはいろいろで、先ほどの絵のように単純な話ではなさそうです。実は、夏の雷でも、ローカルには多分電荷分布がそんな風に複雑になっているのではないかという節はあります。しかし電荷が存在するところが地上からかなり離れているので、そのような複雑さは落雷の特性にはほとんど影響しない。

冬になりますと、我々がかかわるような送電線とか地上の観測施設とか、そういったものと雲の中の電荷との距離が非常に近づいてしまう。そうすると電荷分布の複雑さがもろにかかわってきて、いろいろわけのわからない現象が観測される。そんな状況が起こっているようです。そのへんがいまのところ我々の研究で最も注目していることの一つでございます。

こういう工学の研究所が何でこんな雲の上の話までするのか。そこまでやらないとなかなか工学的な研究も進まないという状況をご説明申し上げたつもりでございます。

(OHP・写真)

最後ですが、去年あたりから、米国の雑誌や新聞などには時々こんな写真が出ているようです。これは中間圏の雷と呼ばれている現象です。中間圏といいますのは、成層圏と電磁層の間の空間です。高さが60 km前後から

100 km ぐらいのところ。そのへんに生じている放電現象です。これは雷と関係があるといいますか、雷に伴って発生しているのですが、この下に非常にアクティブな雷雲がありまして、その下でものすごく大規模な放電が起こると多少遅れて（遅れてといってもミリセカンドオーダーですが）この上の空間でこんな大規模な発光現象が起こる。

これにはスプライトという名前がついています。赤外から赤の光が発生し、発光の継続時間が数msとか10 ms。ただ現象のスケールがものすごく大きくて、長さにして数十 km、直径もそのくらいあるわけです。これは現象としては非常におもしろいということのでだいで注目されてまして、研究をしている人もずいぶんいます。私も興味があるのだけど、これどエンジニアリングがどう関係するかと言われると、説明がしにくいというところがありまして、まだこの研究にまでは手をつけていません。そのうち何かうまいきっかけがといいますか、工学的な現象とのつながりが出てきたら、いずれこちらのほうもやってみようかなというふうには思っております。

定刻になりましたので、これで私の話は終わらせていただきます。ご清聴ありがとうございました。

(1997年6月5日講演)