

二つの雷関連国際会議に出席して

Topics in Two International Conferences on Lightning

北 條 準 一*

Jun-Ichi HOJO

は じ め に

雷は自然界における巨大な放電現象であり、古くから多くの災害をもたらし人類の驚異的となっている。この現象は、積乱雲の中でひょうやあられ等がはげしい対流により衝突を繰り返す過程で電荷の分離が生じ、高さが10数 km にもなる雷雲の中で、大まかに言って上方に正、下方に負の電荷領域が形成されることにより生じる。雲の下端の高度は通常 2 km 程度である。電荷の蓄積が進むにつれて、その周辺の電界が局部的に増大し、空气の絶縁耐力を越えると雷放電が発生する。雷放電は、雲内の電荷と大地の間で生じる対地放電、雲内や雲間で放電が完結する雲放電、および雲内から伸展した放電路が大気中で完結する大気放電に大別される。

雷害の主な原因となる対地放電は、他の形式のものと同じく、雲内で放電路が伸展して行く段階からはじまる。夏に見られる対地放電のほとんどは、負極性の落雷（雲内の負の電荷が大地により中和される）で、雲外に伸びた放電路（leader）が大地に向かって伸びて行く。この放電路が大地に到達すると、帰還雷撃（return stroke）と呼ばれる明るい発光現象が、もとの放電路をたどって光速に近い速度で上昇する。この時には継続時間が100 μ s 程度でピーク値が数10 kA 程度の、パルス性の大電流が流れる。このきわめて明るい発光現象は、大音響を伴う。通常の雷放電（lightning flash）は、最長で1秒程度継続し、この間に複数の帰還雷撃が生じる（多重雷）ことが多い。雲内の正電荷が大地に放電して中和される正極性の落雷は、夏には全体の数%を占めるに過ぎないが、日本海沿岸地域の冬の雷では、その割合が50%にもなる等の変った特性が知られている。

落雷による各種の災害の大部分は、上記の大電流によるものであるが、筆者の専門とする電力工学の分野でも、電力輸送の高信頼度化や電力の高品質化を図る上で、電力系統の雷害防止が重要な研究課題の一つとなっている。落雷による長時間の停電はいうにおよばず、各種の情報機器が幅広く利用されている今日においては、従来あま

り問題とならなかった1秒以内の短時間の停電のおよぼす害も、大きな問題となっている。

現象の生じる位置と時刻の制御が不可能である雷放電について、その害を防止するのは容易なことではない。また、雷害防止対策を施す上で知っておくことが必要な、雷電流の大きさ等の雷パラメータに関しては、いまだに十分な情報が得られているとはいえず、より精度の高いデータの蓄積が望まれている。

このような背景のもとに、筆者は、雷放電の位置標定や雷放電に伴う電磁界変化の観測を行い、これにもとづいて雷放電のメカニズムや雷パラメータに関する研究を行っている。

この度、筆者は生産技術研究奨励会より三好研究助成金の援助を受け、第21回雷防護国際会議および1992年雷と静電気に関する国際会議に出席する機会を得た。以下では、これらについて報告する。

第21回雷防護国際会議

この会議は、当初ドイツ、オーストリアおよびスイスなどのドイツ語圏において、雷防護に関する情報交換を目的として組織されたものである。その後東欧、北欧などヨーロッパに加え、アメリカ大陸やアジアからも参加するようになった。開催は当初3年に1回であったが、最近では2年に1回となっている。今回は21回目（21th International Conference on Lightning Protection）に当たる。会議で使用される言語は、当初はドイツ語であったが、最近では英語が主となっている。前回（第20回）の会議からは雷研究で世界をリードしている米国からも多数の参加があり、米国における雷研究の第一人者であるフロリダ大学の Uman 教授が組織委員に加わったことなどと相まって、一段と国際会議としての資質が整い、日本からも多数が参加するようになっている。

今回の会議は、1992年9月22日から25日まで旧東ベルリンのベルリーナコングレスツェントルムで開催された。組織委員長はツイッタウ工科大学の Pilling 教授で、ドイツ電気学会の主催であった。会議の参加者は、登録された者だけで300人余りであり、日本からは筆者を含め

*東京大学生産技術研究所 第3部

11人が参加した。会議はオールセッションとポスターセッションに分けられていたが、前者には常時150人程度が出席し、採択された論文の半数に当たる約50件が発表された。

会議初日には、元ウプサラ大学教授のLundquist博士により招待講演が行われ、高度に情報化された現代社会における各種の雷災が実例を挙げて紹介された。同博士の雷研究において蓄えた幅広い知識と経験にもとづいて、現代および将来の社会における雷防護の重要性が強調され、必要とされる研究の方向が具体的に述べられた。これらには、雷パラメータや落雷位置標定等、筆者が研究対象としている分野も含まれており、日頃行っている研究の重要性を改めて自覚できたのは幸いであった。

4日間に行われたセッションで発表された論文は、雷放電現象、雷放電による電磁界パルスと電磁誘導、雷放電の位置標定、電力系統や通信システム等の雷防護など、幅広い分野をカバーするものであった。

雷放電現象に関しては、フロリダ大学から、多重雷における後続雷撃の電流が第1雷撃よりも大きい場合が全体の約1/3もあることが報告された。従来は第1雷撃の電流値が後続雷撃のそれより大きいとされていたが、上の結果が地域や季節に拘らず一般的なものであるとすると、電気設備の雷防護に関して検討すべき新たな課題を提供したことになる。

電磁界パルスと電磁誘導に関するセッションでは、落雷に伴って配電線や通信線に誘導電圧が生じる現象（誘導雷）に関するものが、アメリカや日本等から発表された。この分野の研究は古くから行われているが、近年になってその理論が急速な進歩を遂げている。日本からは、傾いた雷放電路による誘導雷現象に関する研究結果が、本所石井教授らにより報告された。

雷の防護のために避雷針が用いられるが、その形状を変えて避雷効果を改善する試みがオーストラリアから報告された。よく見られる先の尖った形状のものでは、襲雷時の強い静電界に曝された避雷針の先端部に生じるコロナ放電により、そのまわりに空間電荷領域が形成されるために、雷撃の吸引効果が低下することを強調している。

雷放電の位置標定に関しては種々の方式が提案されているが、落雷点の位置標定や電流波高値等の雷パラメータの収集が可能なものとしては、二種類のシステムが広く使用されている。一つは、複数の観測点で直交ループアンテナで電磁波の到来方位を計測し、交会法により落雷点を求めるもの（LLPシステム）、他は複数の観測点への電磁波パルスの到達時間差にもとづいて落雷点を知るもの（LPATS）で、ともに米国で考案されたものである。運用に当たっては位置標定の精度など性能の検証が必要であり、本会議ではこのシステムによる観測結果

と性能評価に関する論文が多数発表された。

この分野で先進的な立場にある米国では、すでにLLPシステムによる全米ネットワークが1989年に出来ているが、LPATSによる同様のネットワークも1991年に完成したことが報告された。これらのデータは、気象官署や電力会社などに提供されている。わが国においても上述の二種類のシステムが電力会社等により運用されており、ほぼ日本全土の落雷が観測範囲に入っている。筆者らは両システムの特性に関していくつかの点を明らかにしたが、本会議ではLPATSにおける落雷と雲放電の識別に関する研究結果を発表した。この他、スウェーデンをはじめとしたヨーロッパ数ヶ国から関連の報告があり、観測結果や性能に関する活発な討論が行われた。

会議場となったベルリーナコンgresstuenturmは、旧東ベルリンの観光名所の一つであったテレビ塔の近くにあった。筆者は、地下鉄で30分程度のところにあるホテルから通ったが、会議場前の駅の一角に女性用ストックキングの繕い専門の店があるのに気付いた。中年を過ぎた一人の女性が、小型のミシンのような機械を使って丹念に作業しているのが印象的であった。東ベルリン時代の物不足の名残りなのであろうか。物の有り余った現在の日本からは想像困難な情景であった。

1992年雷と静電気に関する国際会議

この会議は当初アメリカ国内の会議で、1982年から国際会議となった。最近では1年半おきに開催され、今回は15回目（1992 International Aerospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity）で、米国ニュージャージー州アトランティックシティで1992年10月6日～8日の会期で行われた。会議は航空関係の複数の政府機関（FAA, NASA, NOAAなど）が合同で主催している。3回のうち1回は欧州で開催されることが定着しており、今回はドイツのマンハイムで1994年5月に開かれる予定である。日本からは毎回数名が参加している。今回の会議はアトランティックシティのホテル・タジマハールリゾートで開催された。出席者は約200名、プログラム上の参加国数は14、オールセッションでの発表件数は70余りであった。日本からの参加者は6名であった。会議のスタイルは、3日間すべてを使用して、二つの会場に分かれてオールセッションを主体として発表が行われた。内容は、雷放電現象、雷放電や降水の電荷が航空機等に与える害とその防止対策、地上設備の雷害対策および雷放電の位置標定など多岐にわたるものであった。

会議の性質から、約半数の論文が航空機や宇宙飛翔体の雷害に関するものであり、これらには軽量化のために用いられる複合材料による機体内の電子機器の保護、耐雷設計に当たって必要とされるデータの収集および試験

法など広範囲にわたって研究が行われている。これらの内には、実際の軍用機を用いた大規模な実験により、米国海軍が耐雷性の評価を行った結果の報告もあった。

雷現象については、雷雲頂から成層圏に向かって生じる雷放電が NASA から報告された。この現象はスペースシャトルに搭載したビデオカメラにより記録されたもので、成層圏に向かって伸びた放電路の長さは 30km 以上にもなる。

観測された電磁界から雷撃電流を推定する際によく用いられるモデルとして伝送線路モデルがあるが、地上で観測される電磁界についてはその妥当性がほぼ実証されている。このモデルでは、地面に垂直な雷放電路上を雷電流パルスが進行波として上昇することが仮定されており、電流波形と遠方で広帯域で観測される電磁界波形が相似となる。今回の会議では、このモデルの提唱者の一人であるアリゾナ大学の Krider 教授が、電磁界の観測条件によっては、このモデルに補正が必要であるとの発表を行った。補正量は、観測点と落雷点を結ぶ線と放電路のなす角度が 90° より小さくなるに従って増加するため、航空機による観測等、高高度で観測されるデータの解釈においては十分に考慮する必要がある。

雷放電の位置標定については数件の発表があったが、ここでも LLP システムおよび LPATS に関するものが多かった。筆者らは、LLP システムによる東北地方の観測結果と LPATS の性能評価に関する研究発表を行った。

製品化された位置標定システムには上で述べた二種類

の他に、フランスで開発された SAFIR というシステムがある。これは雷放電路の伸展に伴って間欠的に放射される VHF 帯電磁波を複数の点で受信し、放射源の位置を知るものである。したがって、雲内の放電に関する情報も得ることができるが、VHF 帯電磁波だけでは落雷と雲放電を区別することは出来ない。このシステムによる観測結果の報告が日本およびフランスからそれぞれ 1 件ずつあった。対地放電の前に生じる雲内の放電も検出するため、落雷の予測が可能であることを強調している。

アトランティックシティは、米国ではネヴァダ州に次いでカジノが公認された都市である。会議の行われたタジマハールにも大きなカジノがあった。熱心に講演や討論を行っている会議場のすぐ下の階で、数 100 台のスロットマシン等を相手に多くの人が四六時中頑張っているのを想像すると、何となく奇異な感じもした。また海岸のリゾートだということで、美しい海岸の景色を想像していたが、季節のせいなのか海の水はあまり澄んでおらず、少々期待外れであった。

お わ り に

三好研究助成金により出席した二つの雷関連国際会議について報告した。筆者の研究分野である雷放電に伴う電磁界変化に関しても、多くの最新情報に触れることができた上に、この分野の研究の重要性を改めて自覚できたのは大きな収穫であった。

このような機会を与えて頂いた生産技術研究奨励会に深謝する。 (三好研究助成報告書 1993 年 4 月 7 日受理)