

報告番号 <sup>\*</sup> 甲 第 1901 号

# 主論文の要旨

題名

雷放電のモデル化による  
冬季雷の対地放電特性に関する研究

氏名 高木伸之

## 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	高木伸之
<p>今日、電気は万能なエネルギーであるがゆえに、社会生活の中の動脈として利用されるだけでなく、我々の生活の細部にまで浸透している。そのために、一度停電が起きればその及ぼす影響は大きい。たとえ、数十ミリ秒程度の瞬間的な電圧降下（瞬断）であっても、コンピュータを組み込んだ機器は誤動作防止のためその機能を停止してしまう。ますますコンピュータ化が進む現在の高度情報化社会では、停電が社会的混乱を招き易いため、消費者から質の高い電力を求める強い要請がある。</p> <p>この停電を引き起す第一の原因は雷であるが、冬季に日本海側地方で発生する雷（以下冬季雷と言う）による災害が、電力のみならず、航空、通信等の様々な分野で発生し、特に問題となっている。今日、北陸地方は電力需要の増大に伴い、大容量の電力供給地となっている。したがって、北陸地方と大都市を結ぶ送電線は重要な送電径路である。このような重要幹線では、落雷による瞬断が高度情報化社会に大きな影響を及ぼすだけでなく、落雷による送電線での多回線にわたる事故は、大量の電源脱落を招き、さらには電力系統全体の崩壊につながり、大停電事故の原因となる可能性が大きい。電力の安定供給という点において、冬季雷は大きな脅威となっている。</p> <p>この冬季雷は、雷雲を作り出す気象条件が夏とは違うために、雷の性質も異なっている。冬季雷の研究の歴史は浅く、まだ十分に解明されていないのが現状であり、その放電特性の解明が急がれている。そこで本論文では、電力設備での雷災害を減らすことを目的とし、対地放電を雷雲、前駆放電、帰還雷撃の3つの過程</p>				

# 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	高木伸之
<p>に分けて、それぞれの過程をモデル化し、そのモデルを用いて、冬季雷の対地放電特性の解明を行っている。</p> <p>以下、本論文の各章の内容を要約する。</p> <p>第1章では、本研究の背景および雷放電モデルについて述べる。電力設備における事故において雷は最大の事故原因である。その中において、冬季雷による送電線の事故率は夏の場合に比べて6倍も高く、さらに、電力の輸送において致命的である2回線にわたる事故率は、夏に比べ37倍も高い。冬季雷による雷事故の防止が急がれる理由がここにある。</p> <p>夏季雷に比べて冬季雷が電力設備にとって脅威である主な原因は、冬季雷に特有な性質に在り、それは冬季の気象条件が作り出している。代表的な冬季雷の特徴として、以下に示す性質があげられる。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 500 mbの気温が<math>-20^{\circ}\text{C}</math>～<math>-40^{\circ}\text{C}</math>のとき発雷し易く、発雷領域は秋から冬にかけて日本海側地方を南下する。</li><li>・ 発雷に夏のような顕著な日変化はない。</li><li>・ 雷雲の電荷構造は夏季雷の場合と全く同じである。</li><li>・ 雷雲の高度が低い。</li><li>・ 正極性落雷の発生頻度が高い。</li><li>・ 正極性雷撃電流の波高値が高い。</li><li>・ 連続電流を伴う雷撃が多く、その電流値も高い。</li><li>・ 放電で中和される電荷量が大きい。</li><li>・ 落雷が単一雷撃である割合が高い。</li><li>・ 両極性型雷撃電流がある。</li></ul>				

## 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	高木伸之
<p>・ トリガー雷（地上の高建築物からの上向きの一ストリーマで開始される雷放電）が発生し易い。</p> <p>雷放電をモデル化するには、これら冬季雷の性質をシュミレートできるだけでなく、夏季雷をも同時にシュミレートできなくてはならない。そこで、ここでは、雷放電を雷雲、前駆放電、帰還雷撃の3つの過程に分けて、これまでに提案されているモデルを紹介している。</p> <p>第2章では、夏季雷では発生頻度が数%しかないが、冬季雷では30%~100%にも達する正極性落雷の発生原因の解明を行う。ここでは、雷雲内の電荷を正と負の2つの円柱状電荷領域で表わし、その表面からリーダがその先端での電位傾度の最も大きな方向に進展する雷放電モデルを用いている。そして、雷雲内の電荷の位置（正と負の電荷中心間の距離は3km一定とする）によって正極性落雷の発生頻度がどう変わるか、計算を行う。計算の結果、夏の雷雲に相当する負電荷の高さ（5km）では、電荷中心間の水平距離がかなり大きくなると正極性落雷は発生しない。日本海側地方の冬季雷に相当する負電荷の高さ（3km）では、電荷中心間の水平距離が300m以上になると正極性落雷が発生し、水平距離の増加と共に正極性落雷の発生頻度も高くなる。冬のノルウェーの雷雲に相当する負電荷の高さ（1km）では、電荷中心間の水平距離が0でも正極性落雷の発生頻度が高くなることがわかった。さらに、電荷中心間の水平距離の大きさによらず、負電荷の高さが低くなるほど正極性落雷の発生頻度は高くなる。これらの計算結果は、風の垂直シアーが大きいほど（正と負の電荷間の水平距</p>				

# 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	高木伸之
<p>離が大きくなる)、かつ<math>-10^{\circ}\text{C}</math>の温度高度が低いほど(負電荷の高さが低くなる)正極性落雷の発生頻度が高くなるという観測結果と一致している。すなわち、雷雲内の電荷の位置が正極性落雷の発生頻度に大きく関わっていることが明らかにされている。</p> <p>第3章では、冬季雷において、落雷点から10~30kmという近距離で、数多く観測される両極性振動型電界変化の発生原因の解明を行う。ここでは、放電路を伝送線で、放電に寄与する雷雲内の電荷領域を導体球で模擬し、これを伝送線の下端が大地に、上端が導体球の静電容量に等しいコンデンサーで終端された電氣的等価回路で表した対地放電モデルを用いる。この導体球は、放電路に電荷を供給するために、電荷領域内に無数に枝分れして広がった放電路群に相当する。夏季雷と冬季雷の大きな違いは雷雲の大きさである。日本の夏の雷雲は雲底の高さが約1.5km、雲頂が約10kmであるのに対して、冬季の場合、雲底が約0.3km、雲頂が約5kmである。このように、雷雲の大きさが冬季雷の方が夏季雷よりも小さいために、電荷領域も冬季の雷雲の方が小さいと考えられる。したがって、コンデンサーの容量が冬の場合は小さくなり、放電路の上端は開放端に近くなる。その結果、上昇していった雷撃電流は、上端で反射し、逆極性となって下降し、両極性振動型電流となる。この雷撃電流に伴う電界変化は、当然、近距離においても両極性振動型になる。</p> <p>このモデルを用いて、放電路を流れる電流およびそれによって生じる地上電界を計算した結果、帯電球の半径が200m以下では、放電路からの距離が10km以上で電界変化が両極性振動型になり、</p>				

## 主 論 文 の 要 旨

報告番号	※甲第	号	氏名	高木伸之
<p>帯電球の半径が2 km以下では、放電路からの距離が20km以上で電界変化が両極性振動型になることがわかった。この結果から、雷雲のスケールが小さい冬季雷で両極性振動型電界変化が発生し易いことが明確にされている。</p> <p>第4章では、帰還雷撃放電路のある高さだけからの情報を簡単に測定できるのは、発光強度の測定であることに着目し、放電路の発光強度測定から、帰還雷撃の伝送線モデルにおける伝送線の伝達特性を明らかにしている。その特性には2つのタイプがあり、1つはローパス・フィルタの特性と同じで、周波数とともに位相差と振幅比が単調に減衰するタイプ(A)で、もう1つは数十kHz付近に滑らかでない部分があるタイプ(B)である。ロケット誘雷による雷の約半数および自然雷のほとんどはタイプAの特性を持っている。発光強度が電流の1乗に比例すると仮定した場合、伝達特性の振幅比は4kHzで約-1dB、80 kHzで約-6dBで、位相差は4kHzで約<math>-\pi/20</math>、80kHzで約<math>-3\pi/7</math>である。さらに、この伝達特性に等価な伝送線の線路定数を求めた。放電路の半径を1mmと仮定した場合、代表値として、抵抗Rは<math>27\Omega/m</math>、漏れコンダクタンスGは<math>16nS/m</math>、インダクタンスLは<math>26\mu H/m</math>、静電容量C=<math>3.9pF/m</math>となる。これらの線路定数は、タイプAの伝達特性を示したロケット誘雷による帰還雷撃の測定データより求めている。その伝達特性は、ほとんどの自然雷や他のトリガー雷のものとほぼ同じであり、また、電磁界変化からみた立ち上り、立ち下がり時間等の雷撃特性においても、ロケット誘雷放電と自然雷および他のトリガー雷の放電の間に異なる点は見られていない。したがって、求</p>				

## 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	高木伸之
<p>められた線路定数値はロケット誘雷以外の雷にも十分適用できると考えられる。</p> <p>以上のように、本論文では、夏季雷および冬季雷の両方を模擬できる雷放電モデルを用いて、冬季雷の対地放電特性の解明を行っている。これらの結果を、日本海側地方の電力設備で現在特に問題となっている冬季雷による雷災害を防止するために応用することが可能である。</p> <p>今後に残された課題として、モデルを実際の雷により近づけるために、気象的、地理的要素を取り入れた雷雲のモデル、およびプラズマ物理学を基礎とした放電路のモデルの開発がある。また早急な解決が望まれている送電線での多相多回線事故を解明するために、送電線への雷撃がリーダからリターンストロークへ移行する過程を掌握できるような観測が必要となっている。</p>				