

## 論文の内容の要旨

論文題目 日本海側における冬季落雷の電磁界観測による研究

氏名 齋藤 幹久

現代の社会において電力の安定供給は必要不可欠である。しかしながら現在でも、屋外の送電線、配電線の故障は数多く起こっており、中でも雷による故障が最大の故障原因となっている。従って、雷放電の性状を詳しく知る事は電力の安定供給の上で重要である。

冬季でも雷が多く観測される本州の日本海側では、落雷数が夏季雷に比べて少ないにもかかわらず、2回線にわたる重大な送電線故障が夏季よりも多く経験されている。また、近年では風力発電用の風車でも多くの雷被害が報告されている。冬季に日本海側で観測される落雷は夏季の落雷と様々な点で異なるパラメータを持つが、この冬季雷の性状は海外でも観測例が少なく、詳しくわかっていない。

本研究の目的は、本州の日本海沿岸で顕著な冬季雷に対して適切な雷害対策を実施するため、その特性を明らかにすることである。放電路が数kmにも及ぶ大規模な放電現象である落雷は、同じスケールでの実験は不可能であり、解明のためには実際の雷放電現象の観測が不可欠である。具体的には、観測手段として、福井平野に設置したVHF帯電磁波放射源の3次元位置標定システムと電界変化観測システム、および日本全国を観測範囲とする雷放電位置標定システムJLDN (Japanese Lightning Detection Network) を用いて冬季の落雷、特に送電線故障と同時に観測された雷放電に関して主に電磁界観測による解析を行った。

まず、冬季の正極性落雷に伴い消失した雲内電荷の位置、大きさを推定した。従来定説となっていた、上空 $-30^{\circ}\text{C}$ 領域に存在する正電荷から下向きリーダが大地に伸展して正極性落雷に至るという tilted dipole model に当てはまる例は観測されず、 $-20^{\circ}\text{C}$ より温かい領域の正電荷が落雷していた。また、冬季に観測された200m高構造物からの負極性上向き雷放電で中和された電荷高度も、ほぼ同じ高さの $-10^{\circ}\text{C}$ 付近、高度2km以下に推定された。解析した上向き負極性雷放電では、リーダが高構造物から伸展開始する以前には雲の中で放電は開始していない。

そして、JLDNの雷放電捕捉特性を調べた。冬季の正極性、負極性雷放電について、よく知られている夏季の負極性帰還雷撃の捕捉特性と大きな違いは無い事を明らかにした。JLDNの位置標定誤差についても明らかにした。JLDNの各センサの捕捉率距離依存性及び最適なセンサ配置に関する検討を行った。冬季の捕捉率距離依存性は夏季のそれとは大きく異なっていたが、

JLDN では季節によらず、効率よく落雷の捕捉が可能なセンサ配置になっている事が確認された。

冬季の送電線故障と同時に観測された雷放電による電界変化波形を詳細に調べた結果、負極性雷電流が大地に流入したものはすべて、正極性雷電流が大地に流入したものは約 90%が、上向きリーダで開始する落雷であったと推定された。また、それに伴う大電流は帰還雷撃で発生したものではないことを推論した。冬季に上向きリーダで開始したと考えられる、送電線故障と同時に観測された雷放電に伴う電界変化波形は通常の帰還雷撃とは大きく異なる特徴を持っていた。また、それらの電界パルスのピークの電界強度を、その発生源に置いた負極性帰還雷撃電流の値に換算すると、絶対値の平均は極性を問わず 200 kA 相当を超える大電流であった。夏季の負極性第 1 帰還雷撃の電流値は平均 20~30kA 程度に比較して、これは非常に大きな値である。

日本海沿岸で冬季に発生する大電流を伴う負極性雷放電は、海上ではほとんど観測されず、逆に陸上で観測された大電流を伴う負極性雷放電は、殆どが上向き落雷特有の電磁界波形の特徴を持っていた。対照的に冬季の正極性大電流雷放電では、海上と陸上で発生状況にそれほど違いは見られなかった。冬季の送電線故障と同時に観測された雷放電は、海岸線からの距離により正負の比率、雷放電密度が異なり、それらの雷放電の極性ごとの空間分布と、JLDN で観測された雷放電の極性ごとの空間分布はほぼ一致する事が確認された。従って、大電流の雷放電が引き起こす送電線故障率は、JLDN などの LLS (Lightning Location System) で観測される雷放電密度から推定できると考えられる。さらに冬季に観測された高構造物への雷撃回数と周囲の雷撃密度との関係を調べ、直線近似ではあるが、雷撃密度と高構造物への雷撃回数と構造物高さの関係を求める事ができた。この結果と JLDN で観測された雷撃密度より、500kV 送電線の冬季の故障率を計算し、実績に近い数値を得るのにはじめて成功した。

冬季雷雲の電荷構造について得た知見にもとづき、風力発電システムと送電線の雷被害実績、高層気象要素を総合して、日本列島周辺を 3 地域に分け、それぞれの地域における高構造物への落雷様相をモデル化し、JLDN による雷放電密度の観測データと組み合わせて、冬季の上向き落雷を考慮した落雷リスクを算出する方法を提案した。平地の 100m 構造物に関する落雷リスクマップを実際に作成し、高構造物への落雷リスクは通年でも日本海沿岸地域が突出しており、夏季に落雷が多い関東地方北部より数倍から 1 桁高いことを明らかにした。今後観測データが蓄積されれば、マップの実用性及び算定されるリスクの精度は向上する見通しである。

以上、送電線に重大な事故を多発させるにもかかわらず、その原因が解明されていなかった日本海沿岸地域の冬季雷の性状を、電磁界観測を通じて究明し、従来知られていなかった上向き大電流雷放電が原因であることを突き止めた。さらに冬季雷の種々の特異性の要因が雷雲中の電荷構造に起因するとの仮説を立て、高構造物への通年の落雷リスクを評価する方法を提案した。これらの成果は、冬季に日本海側で多く発生する、上向きリーダで開始する落雷への雷害対策に必要な雷放電モデルの構築、侵入電流値や落雷頻度の推定などに有用である。冬季雷を中心とした雷害対策には、本研究の成果が大いに貢献すると考えられる。