

研究報告書

「落雷位置標定システムの受信周波数拡大による冬季雷の標定率向上に関する研究」

2024年9月

湘南工科大学 成田知巳



目的

雷放電による災害によって生じる経済損失は膨大である。地上にもたらされる落雷は、そのほとんどが雷雲側の極性が負となる負極性の下向き雷である。これに対して冬季の日本海沿岸では、大陸からの強い季節風と対馬暖流によって大気が不安定となり、夏季と比較して低い高度に雷雲が広く分布して空を覆う状況が発生し、雷雲側が正極性になる落雷の割合が増えることが知られている。また、低い高度のため、数十 m 程度の地上構造物の先端からの上向き雷が高頻度に発生することも知られている。新潟県から福井県の沿岸が、特に被害が甚大な地域である。冬季雷(正極性雷)が夏季雷(負極性雷)に比較して、エネルギー量が 100 倍となるケースがしばしば発生するためである。冬季雷による損失は膨大であり、人命への対策は無論のこと、風力発電設備、電子機器などの対策が重要となる。これらの自然災害の防災対策として、落雷分布の傾向、設備の設置地域の選定やリアルタイムでの落雷の状況監視、エネルギー分布の把握などが有効である。従って、リアルタイムの落雷位置を把握できる落雷位置標定システムが必要となる。電力会社など商用で使用されている LLS は LF 帯、Blitz は VLF 帯の周波数を捉えている。しかし、冬季雷の周波数成分は ELF 帯よりも低い帯域に周波数成分が多く、商用で使用されている LLS や Blitz では、冬季雷を捉えることが困難であり、捕捉率が低い。そこで、従来の Blitz の周波数帯を低周波域まで拡大することにより、冬季雷の捕捉率が向上するのではないかと推定される。そこで Blitz の磁界アンプを改良し、周波数特性の低域遮断周波数を VLF 帯の 1kHz から ELF 帯の 100Hz まで下げることにより、低周波である冬季雷の捕捉率の向上を目指す。

必要性

日本海沿岸に洋上風力発電所を建設するには、冬季雷の洋上での落雷分布およびエネルギー分布の把握が欠かせないが、実際にはデータはほとんど存在しない。一方、直接観測は困難であり、間接的な電磁波観測により、把握できる可能性がある。ただし、LF 帯や VLF 帯を用いた落雷位置標定システムは、夏季雷には有効であるが、冬季雷は標定率が低い。そこで、冬季雷の主成分である ELF 帯での落雷位置標定システムを世界で初めて構築し標定率の向上を目指す。本研究は、日本海沿岸の洋上風力発電の建設および運用に影響のある、洋上および陸上での落雷分布の把握に寄与する。なお、雷放電に伴う電磁波観測は、レーダ

のように大がかりな装置を必要とせず、カバー領域も広く、最近の IT 技術の進展により安価で高性能な電子部品で構成されることから、他のエリアへの拡大も想定され、国際貢献も期待できる。

独創性

日本海沿岸に発生する冬季雷は、世界でも珍しい現象であることから、各種研究がされてきた。これまでの冬季雷研究の主なテーマは、放電が上向きであることの解明である。鉄塔のような高い構造物から上空に向かって放電し、それが上に向かって枝分かれしていることから、映像による観測が主体であった。また、電荷量が大きい傾向があることから、直接電流を観測して電荷量の分布が求められた。ただし、LF 帯や VLF 帯の電磁波観測から到来時間差方式で落雷位置を算出し、その地域分布を作成することは、従来から研究されてきたが、冬季雷の捕捉率は 20% 以下であり捕捉率を向上させる研究は、ほとんど実施されていなかった。

本研究では、2021 年に冬季雷の電流波形の周波数分析を実施したところ、300Hz 以下が主成分であることが分かり、ELF 帯での電磁波観測から落雷位置を標定すると、捕捉率を向上させることが可能ではないかと推定したところに独自性がある。以上から周波数の変更により冬季雷の密度マップの作成など研究が進むと期待できる。

研究方法

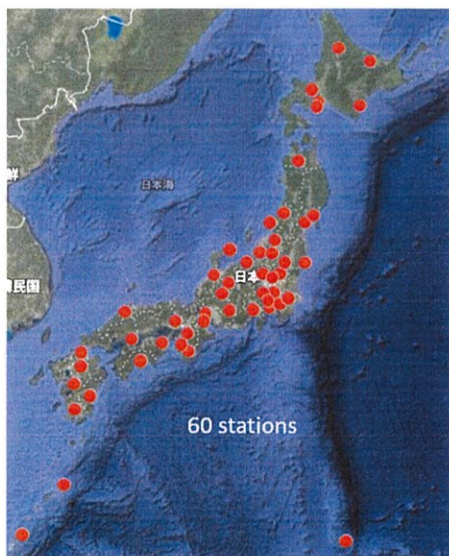
冬季雷の周波数成分は 300Hz 以下の低い帯域に成分が多く、商用で使用されている LF 帯を受信する LLS や VLF 帯を受信する Blitzortung では、周波数の面からも冬季雷を捉えることが困難であり、実際に捕捉率が低い。この課題を解決するために、回路図が公開され、低い周波数の拡大が可能であり、なおかつ安価な Blitzortung に改良を加えることにより、課題解決を試みる。

本研究では冬季雷（上向き雷）の捕捉率を向上させるために、Blitzortung の受信周波数の下限を 1kHz から 100Hz に拡大することを試みる。ハイパスフィルタにあるコンデンサの値を変更した回路を設計し、周波数特性をシミュレーションした結果、改良前は 1kHz～50kHz であるが、拡大後は、100Hz～50kHz であった。今後は、回路図から基板作成用のガーバーデータの作成、電子パーツの発注及び半田付けを実施した後、実測してシミュレーションを実証試験する。その後、冬季雷地域である富山から新潟県の日本海沿岸に装置を 3 カ所に設置して受信を開始する。受信したデータは、ネットワークを通じて、レンタルサーバーおよび大学の研究室に転送され、落雷位置を自動計算する。

検証方法は、実際に新潟県の避雷鉄塔で電流を観測している電力会社から落雷データを手し、捕捉率を評価する。

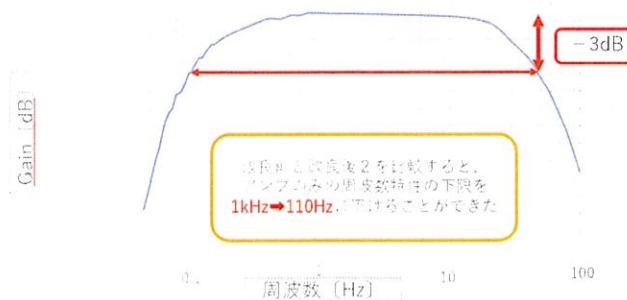
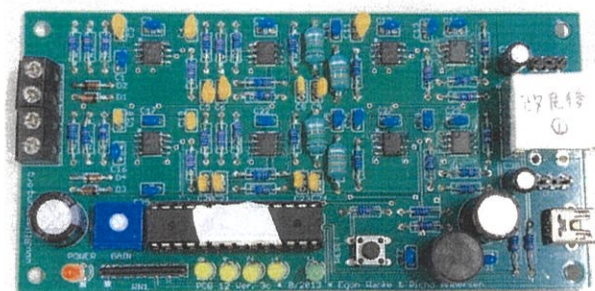
本研究の実施結果

VLF 帯を用いた電磁波観測による落雷位置標定ネットワークは構築済みである。すでに国内 60 カ所、海外 20 カ所で運用しており、落雷位置データや磁界波形を大学のサーバに蓄積中であり、このネットワークを活用する。



申請者が運用中の VLF 帯電磁

観測ネットワーク(丸が受信局)



試作したアンプおよびその周波数特性

本研究では冬季雷（上向き雷）の捕捉率を向上させるために、Blitz の受信周波数の下限を 1kHz から 100Hz に拡大した。具体的には、ハイパスフィルタにあるコンデンサの値を変更した回路を設計し、周波数特性をシミュレーションした結果、改良前は 1kHz～50kHz であるが、拡大後は、100Hz～50kHz であった。また、試作した回路図から基板作成用のガーバーデータの作成、電子パーツの発注及び半田付けを実施した後、周波数特性を実測した結果、110Hz-50kHz まで受信周波数が拡大したことを確認済みである。

観測装置の設置場所は、日本海沿岸の Blitz が設置してある場所を中心に 3 カ所に設置した。具体的には、富山県魚津市、新潟県粟島、群馬県沼田である。

受信したデータは、ネットワークを通じて、レンタルサーバーおよび大学の研究室に転送され、落雷位置を自動した。検証方法は、実際に新潟県の避雷鉄塔で電流を観測している電力会社から落雷データを入手し、捕捉率を評価した。。

検証結果

新潟県柏崎市にある高さ 100mの避雷鉄塔への落雷を直接測定しているデータを真値として、LLS および Blitzortung の標定結果と比較した。電流値 5kA 以上、時間差 1 ms 以内を同一雷として判定した。下表に LF 帯を用いた落雷位置標定システム LLS と VLF 帯および今回導入した ELF 帯観測を用いた Blitzortung の比較データを示す。

Blitzortung の周波数改造前である 2021 年度および 2022 年度の比較結果から示す。2021 年度は、直接測定した冬季雷のデータ 24 件中 LF 帯の LLS は標定せず、捕捉率は 0%であった。一方、VLF 帯を用いた Blitzortung では、24 件中 5 件であり、捕捉率は 21%であった。2022 年度は 20 件のデータに対して、LLS は 15%、Blitzortung は 35%となり、Blitzortung の方が捕捉率が高かった。

今回の研究で、周波数帯を変更した装置を導入した 2023 年度については、13 件のデータ中、LF 帯の LLS は 4 件、捕捉率 30%であったのに対して、Blitzortung は、6 件、捕捉率 46%となり、LLS に対して、約 1.5 倍の補足率に向上したことから、効果があったと推定される。

なお、Blitzortung の受信局は年々増加していることから、局数が増加したことによる捕捉率の向上と ELF 帯の受信局が増加したことによる捕捉率の向上の 2 つの効果が含まれている。

また、LF 帯を用いた LLS の冬季上向き雷の捕捉率は、メーカー公表値では、5kA 以上で 57%であるが、今回の結果では、最大で 30%程度であった。

標定システム	2021年度 捕捉率	2022年度 捕捉率	2023年度 捕捉率
電力会社 LLS (LF帯)	0件/24件 0%	3件/20件 15%	4件/13件 30%
Blitzortung (VLF帯)	5件/24件 21%	7件/20件 35%	6件/13件 46%

今後は、低周波数に改造した Blitzortung の受信局を増やすことにより、冬季雷の捕捉率の向上を目指す。

以上