

# 電磁界アンテナおよびインフラサウンドセンサを用いた 雷位置探知システムの構築

Development of a lightning position detection system by using  
electromagnetic field antennas and infrasound sensors

1205067 齋藤 耕 (宇宙地球探査システム研究室)  
(指導教員 山本 真行 教授)

## 1. 序

インフラサウンドとは 20 Hz 以下の低周波域の圧力波のことであり、火山噴火、雷、津波などの地球物理現象を波源として発生する。この領域の音波は大気中の減衰の影響を受けにくい性質を持ち、長距離伝搬することから、自然現象や核実験などのリモートセンシング技術として注目を集めている。本研究では、VLF 電磁界、インフラサウンド、VHF 電波、光学観測を併用した複合観測システムを構築し、雷などの地球物理現象をリモートセンシングすることを目的とする。具体的には、直交ループアンテナおよびインフラサウンドセンサを用いて、雷の発生に伴う電磁界および雷鳴の同時観測を行い、観測された VLF 電磁界および低周波音波の観測データから雷発生位置の精密算出を行う。

## 2. 雷観測およびイベント位置算出方法

製作した 2 成分 1 対の直交ループアンテナを用いて到来電磁波中の VLF 磁界変動を観測し、南北および東西のループアンテナで捉えた波形を使い振幅から方位角を算出する。これを二地点以上で同時観測し、それらの角度差から落雷位置を推定する。これを MDF (Magnetic Direction Finder) 法と呼び、電磁波観測によるイベント位置算出方法として用いた。

音波観測による算出方法としては、交会法とグリッドサーチ法のそれぞれで解析を行った。グリッドサーチ法は地震波による震源推定方法の 1 つであり、今回は雷鳴発生位置の算出方法として適用した。

## 3. 観測システムの構成

香美市 (高知工科大学) および芸西村においてインフラサウンドセンサ (Chaparral Physics Model 25)、光学ビデオカメラ、VHF 電波受信アンテナによる同時観測を行い、さらに大豊町にインフラサウンドセンサのみを設置し計 3 地点で 2016 年 12 月より多地点総合観測を行っている [1]。さらに本研究で製作した VLF 電磁界アンテナを 2017 年 1 月に香美市に 2018 年 1 月に芸西村にそれぞれ設置し、雷による電磁界変動の観測を行ってきた。Fig. 1 に各観測地点の位置関係とそれぞれの地点で稼働中の観測機器の一覧を示す。



Fig. 1 観測地点および観測機器の一覧

## 4. 結果

直交ループアンテナによる VLF 電磁界観測は、1 地点観測を約 1 年間行い、2 地点観測としては約 1 カ月の連続観測を行った。2018 年 1 月 8 日 10 時 34 分に雷が発生し、この雷は香美市と芸西村の 2 地点でそれぞれ到来方向が観測され交点が求められた (Fig. 2)。フランクリンジャパン社が Web 上に公開している JLDN 観測網による全国落雷データ観測地より

100 km 以内との比較において、年間を通して香美市 1 地点で行われた VLF 電磁界アンテナのみを用いた観測による雷検知率は最小の日で 53.7% となり期間全体では約 90% であった。また雷が発生した計 7 日以外の期間では明瞭なイベントは検知されなかった。

2016 年 12 月 13 日 18 時 59 分に発生した落雷をインフラサウンドセンサおよび光学ビデオカメラ、VHF 電波観測 (5ch 流星電波干渉計) で観測した。雷鳴として発生した音波は 3 地点全てで観測されており、比較的大きな振幅ピークが 1 秒以内に 2 回確認できた。

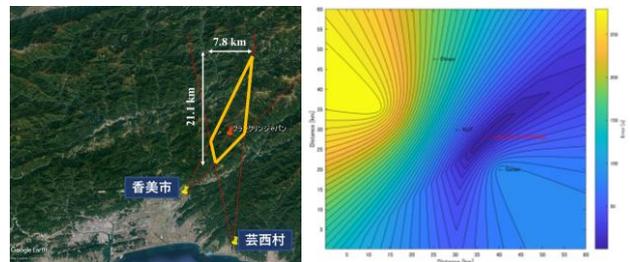


Fig. 2 2 地点 VLF 電磁界観測 (左) および音波観測 (右) による位置推定例

## 5. 考察

香美市に設置した VLF 電磁界観測による方位角算出精度を調べた。JLDN 観測網によるデータに対して、34 例の方位角解析結果を比較し差異を算出すると分布の平均を中心に  $\pm 10^\circ$  前後の方位角誤差があり、全体としては統計的に時計回りの方向に方位角解析結果が  $3^\circ$  程度ずれる傾向が認められた。この誤差を考慮し観測誤差範囲を算出した。観測誤差の領域を Fig. 2 (左) の橙色の線で表している。

本実験の観測期間に計 10 回の雷鳴が観測された。3 地点観測の事例では、音源は 300 m 程度の誤差で位置推定できた Fig. 2 (右)。観測結果から本実験の雷鳴の観測可能範囲を調べると JLDN による観測で電流値が 70 kA を超えるような落雷の場合は 20 km  $\times$  50 km の範囲で観測可能であることが分かった。しかし、電流値が 20 kA またはそれ以下の雷では 3 地点での雷鳴の同時検出を行うことは難しかった。

## 6. 結論

本研究では VLF 電磁界用直交ループアンテナやインフラサウンドセンサなどの複数の観測機器を用いた雷観測システムの構築と、電磁波観測と音波観測を複合させた雷位置の精密算出を目的として取り組んできた。全国的に見て高知県の雷の発生は多くないが、約一年間の連続観測を維持し、電磁波観測機器および音波観測機器により複数の雷の同時観測に成功した。それぞれの方法の観測から雷波源位置の推定を行うことができた。音波観測は電磁波観測に比べて観測範囲は狭くなるものの波源位置算出精度が高いため、センサ配置を見直すことでより効率的に観測と位置算出を行えると見込まれる。

## 参考文献

[1] 水本聡, "多地点電波観測による流星飛跡情報の算出と流星総合観測システムの構築," 高知工科大学 大学院工学研究科平成 29 年度特別研究報告 修士論文, 2017