

雷鳴インフラサウンドの多地点観測によるエネルギー推定の試み

1200169 山本 大誠 (宇宙地球探査システム研究室)

(指導教員 山本 真行 教授)

1. 目的

インフラサウンドとは、周波数 20 Hz 以下の音波のことであり、火山の噴火や、雷、津波、土砂崩れ等の地球物理学的イベントにより発生する。インフラサウンドの特徴として低周波の為、空気の粘性による減衰の影響を受けにくく、長距離伝搬する為、防災、減災につながる新たなリモートセンシング技術として期待されている。

雷活動の分布と豪雨発生域には相関があることが知られており、これにより地域性のある気象メカニズムの解明や、豪雨被害の予想に有効と考えられる。本研究では、雷鳴インフラサウンドの多地点観測を行い、雷鳴の波源位置推定およびエネルギーの推定を行う。

2. 算出方法

エネルギー推定に必要な雷鳴発生地点からセンサまでの距離を求める為に、波源位置推定を行う。計 6 台のインフラサウンドセンサ(ADXIII-INF04)で多地点観測を行い、音波の到来時刻差を用いて双曲線を描き、波源位置推定を行う。これを TOA(Time of Arrival)法と呼ぶ。TOA 法は雷の電磁波観測の波源位置推定方法としても利用されている。

エネルギー推定として式(1)より、雷鳴全体の音圧を取り、点音源の雷鳴が、球状に広がると仮定し、当該距離における球の表面積 A を掛けることにより、継続時間分の総エネルギー値を求める。

$$E = \frac{A}{\rho c} \int p(t)^2 dt \dots \dots \dots (1)$$

3. 観測システム

先行研究により雷鳴の伝搬距離は 15 km 程度であると考えられ[1]。これより、センサの設置間隔をおよそ 15 km 以内に収めることで効率よく雷鳴の多地点観測が行えるようになると考えられる。図 1 に 6 台のセンサ設置地点と各センサからの雷鳴の観測エリア(半径 15 km)、および波源位置推定に必要な 3 地点以上の重複領域を強調して示す。

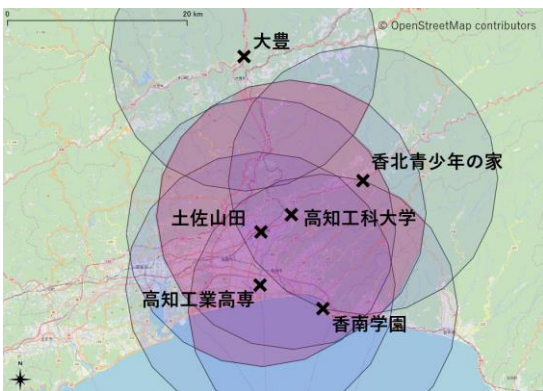


図 1. 各センサにおけるインフラサウンドの観測エリア(半径 15 km)と 3 地点以上の重複領域

4. 観測結果

3 地点観測を始めたのが 2019 年 11 月末からであり、2020 年 1 月末までの計 2 日間に観測エリア付近で雷が発生し、雷鳴を捉えることが出来た。(株)フランクリン・ジャパンが提供する電磁波観測に基づく落雷報告書を元に落雷位置から各センサまでの距離を確認し、理論到達時間付近の波形を確認し、雷鳴と思われるイベントかどうかを判断

した。図 2 にセンサから落雷報告地点までの距離に対する雷鳴検出の可否の頻度分布を示す。距離が 15 km を超えると検出できない例が大きく増えることが分かる。

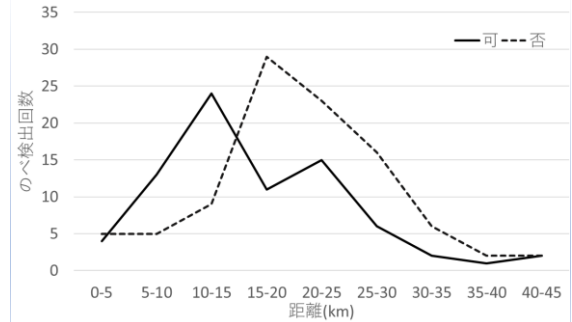


図 2. 落雷報告書に対応する雷鳴データ検出可否のべ回数

センサ型番	INF04		INF01
設置地点	土佐山田	高知工科大学	南国
距離(km)	7.0	8.5	2.7
エネルギー(kJ)	89.9	724.1	27.7

図 3. 各センサで捉えた同一雷鳴波形を用いたエネルギー推定結果

図 3 に 2019 年 12 月 2 日 1:49 に発生した 311 kA の正極性落雷と同一と思われる雷鳴波形から算出した各センサでのエネルギー推定結果を示す。

5. 考察

今回の観測では 2 か月という短い期間であったが、計 13 例の雷鳴について 3 地点以上の同時検出に成功した。観測結果より 20-25 km 地点で検出数が増えているがこれは風雨等のノイズによるインフラサウンド波形と考えられる。今後ローパスフィルタ等でノイズ対策を行うべきである。

今回の音波波形を用いた波源位置推定では落雷報告書と比べ 0.76 km の距離差となった。高精度な波源位置推定を行うためにはセンサ台数を増やし幾つかの点に三角形音響アレイを設置し到来方位角を算出後、現在の TOA 法を組み合わせた波源位置推定を今後行うべきである。

エネルギー推定では距離の遠い高知工科大学からの結果が近い土佐山田からの結果よりも高い値となった。エネルギー推定を行った観測データが複数のイベントを拾っており、どの範囲を雷鳴と判断するかにより値が大きく変化することも課題である。INF01 と INF04 の両センサによる推定エネルギー値の違いは各センサの測定周波数帯域が違うことが関係していると考えられる。

6. 結論

本研究では、雷鳴インフラサウンドの多地点観測を行い、多地点の波形情報を用いて波源位置推定とエネルギー推定を行った。2 か月間の計 2 日に発生した雷鳴を捉え、落雷報告書を元に計 30 例について雷鳴を調べた。

エネルギー推定の結果では一連の雷鳴観測データ中に複数の衝撃波イベントが混合し、その解釈に難しさがあることが判明した。

参考文献

[1] 斎藤 耕, “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,” 2018 年 2 月,