

# 高知県沿岸に配置されたインフラサウンドセンサ群を用いた音波源位置推定法の開発

## Development of estimating method for sound sources by using a group of infrasound sensors distributed along coastal line of Kochi Prefecture

1217001 藤本 将司 (宇宙地球探査システム研究室)  
(指導教員 山本 真行 教授)

### 1. 研究背景

インフラサウンドとは 20 Hz 以下の超低周波音波であり、長距離を伝搬できる特性を持つ。津波や火山噴火といった災害につながる自然現象をリモートセンシングできる技術として近年、防災・減災の分野で注目されている。著者の所属研究室ではこれまで低コストインフラサウンドセンサの開発や、解析ソフトウェアの開発が行われてきた。近年では高知県沿岸部にインフラサウンドセンサ 15 台が面的に配置され現在も観測中である。高知県だけでなく県外にも観測地を置き、大規模な同時観測が行われている。観測地の整備が進んだことによってより高精度な解析が行われるようになり、反町(2018)によって、グリッドサーチ法による波源位置推定が行われた。

### 2. 目的

本研究は先行研究にも使われていたアルゴリズムを取り入れつつ、現在、高知県内に面的配置されているセンサに対して有効な新方式の波源位置推定方法の開発を目的とする。

### 3. 波源位置推定方法

本研究では、波源と発生時刻が既に分かっている音源として霧島の新燃岳が噴火した際の空振を高知県の複数地点で計測したものをを用いる。

#### 3.1 イベント検出について

火山噴火の波形は突発的な圧力変化を示すため、反町(2016)によって開発された N 型波形イベント自動検出ソフトウェアが有効で本研究では Python でこれを再構築した。インパルス的な N 型波形イベントの特徴は広い周波数成分を含む点にあり、スペクトル成分の急変動を見ることでイベントの検出を行う。

#### 3.2 音波到来方向の算出および波源位置の決定

センサ A,B,C の 3 台があり、基準となる A についてイベント検出をかけた後、得られたイベント波形と B,C それぞれ窓をずらしながら相互相関をとって時間差を得る(図 1)。ここでスローネス  $S = t/d[s/m]$  を定義すると式(1),(2)から音波到来方向と音速が求まる。

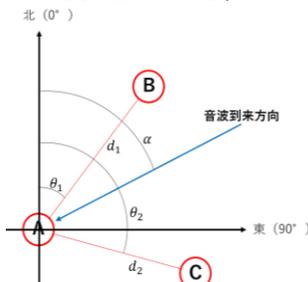


図 1 音波到来方向算出法

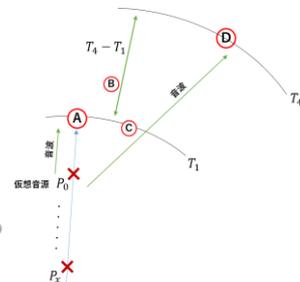


図 2 波源位置推定法

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{S_1 \cos(\theta_2) - S_2 \cos(\theta_1)}{S_2 \sin(\theta_1) - S_1 \sin(\theta_2)} \right) \dots (1)$$

$$v = \frac{\cos(\alpha - \theta_1)}{S_1} = \frac{\cos(\alpha - \theta_2)}{S_2} \dots (2)$$

次に A から方位角方向への線上のどこかに波源があると仮定し、一定間隔区切りで仮想音源を置き、そこから音波が A、D にそれぞれ届くまでの時間をそれぞれの距離と式(2)で求めた音速 v により計算する。また A と D の N 型波形到達の時間差も相互相関で求める。計測された A-D の時間差と、仮想

音源から A、D までの距離を v で除算した時間差、これら 2 つの差分が限りなく 0 に近づいたときの仮想音源の位置を波源と推定する。

### 4. 結果、考察

2018年3月10日4:27から30分間のインフラサウンドデータのうち、火山の波形が目視で確認できる地点のデータを高知工科大学インフラサウンド観測ネットワークシステムからダウンロードした。前述の波源位置推定法では4点のセンサの組み合わせのみで波源推定を試みる。すべての組み合わせで波源を求めた結果を地図にプロットした(図 3)。

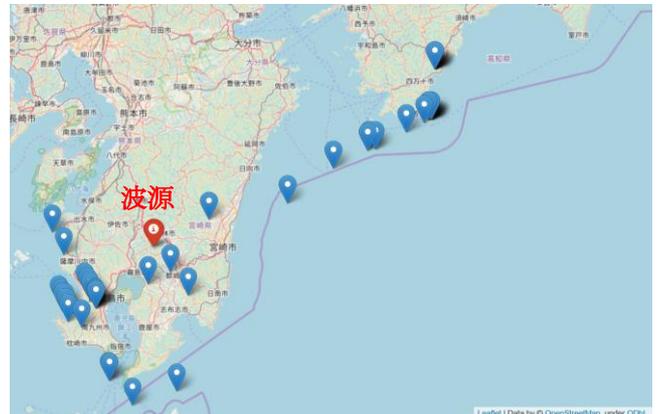


図 3 波源位置推定結果

最も近い地点で、波源(図 3 の赤いピン)から南南東方向に 23 km の位置に推定された。またその時の csv8、csv12 の波形および相関値、上述した時間差の差分を図 4 に示す。

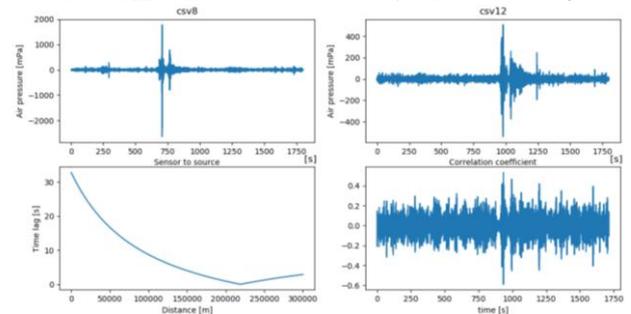


図 4 波源に近い地点の波形

図 4 (左下)のグラフから、センサから波源までの距離は 218.5 km と推定された。実際の火口とセンサまでの距離は 219.2 km なので 700 m の誤差であるが、方位角の誤差が 7° であるため、23 km の誤差になる。

### 5 結論

今回提案した波源位置推定法は、波源位置とセンサ群、4 台目のセンサの位置関係で精度が変わってくる。九州南部の火山噴火イベントでは厳しい条件の中で波源まで 23 km の位置に波源推定することができた。

### 参考文献

[1] 反町玲聖, インフラサウンドセンサの面的配置における波源位置推定方法の最適化, 高知工科大学 平成 27 年度 卒業研究報告, 2016.