

令和 3年 4月30日

公益信託 NEXCO関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱UFJ信託銀行株式会社 御中

研究概要書

研究課題：高速道路沿線インフラサウンド多地点計測による災害事象遠隔検知の現場実証的研究

研究代表者：高知工科大学 教授 山本 真行

はじめに

本研究は、インフラサウンド（超低周波音）という人間の耳には聞こえない音を計測可能なセンサー群を用いて災害事象を遠隔検知し、高速道路沿線における防災・減災を目指す研究課題である。

1. 研究の目的

インフラサウンドとは人間が感知できない周波数 20 Hz 以下の超低周波音波のことで、主に地球物理学的事象によって発生する。この音波を検知可能なセンサー群を多地点に配置して計測すれば、防災に繋がる重要情報を道路路線に沿った帯状の領域について遠隔検知できると期待される。我々はこれまで主に津波検知を目的として高知県内をモデル地区とした実証的研究を進めており、高知県内の観測において、九州における火山噴火、県内地域での落雷・前線通過・ゲリラ豪雨・台風直撃などの検知に成功している。小規模なインフラサウンド事象としては斜面崩壊等の検知にも有効と期待されるが、確率的事象のため、その利活用には山間部での実証的研究が急務である。

2. 研究の手法

2021年現在、インフラサウンドを検知可能な国産センサーとして我々のグループが産学連携で開発した製品が2種類あり、比較的自由に使える状況にある。津波による超低周波音の検知を主目的に2017年11月末に低周波感度の良い膜面型センサー（INF01D）を高知県内15箇所に展開済みで、上述した成果をあげてきた。その後さらに大分県から北海道に至る地域の15箇所にも追加設置され計30台体制での全国規模の観測ネットワークを当研究室にて維持している。津波の場合の海面上昇域の規模は100 kmスケールであり、低周波音波の周期に換算して20分程度の微気圧波を励起するため、膜面型センサー（最新型はINF01LE：㈱サヤ製）が適していると言える。

一方、道路防災で重要と考えられる斜面崩壊は数100 mスケールから大きくとも数kmスケールと共振波長が遥かに小さい結果、最近開発された小型マイクロホン型センサー（INF04LE：㈱サヤ製）でも検知可能である。ただし当該音波の伝搬可能距離は高々数kmから数10 kmの範囲と考えられる。本研究では高知県内をモデル地区と選定し、高速道路などの道路沿いに数km間隔でマイクロホン型インフラサウンドセンサーを複数配置し、これらセンサー群を用いた到達時間差から音源位置を推定、音波振幅と継続時間から規模（エネルギー）を推定する。これにより、斜面崩壊等の規模に応じた遠隔検知による情報取得が可能となる他、準リアルタイムの被害発生有無等の調査に活用できる。さらに直接被害を及ぼさない程度の斜面崩壊の分布を把握することで予防的な交通遮断等による被害低減にもつながる。

3. まとめ、本研究で得られた成果、今後の課題等

令和2年度は、本研究の2年度目であり、令和元年度までに達成された成果である可搬型データ収録システム（昨年度の研究概要書を参照）を発展させ、量産型のデータロガー2種類を超小型PCであるラズベリーパイを用いて開発した。一方は企業へ開発委託して7台を調達（IFS-LOG2020：(株)数理設計研究所製）し、他方では当研究室にて大学院修士課程学生の研究テーマを兼ね自作開発し21台（KUT-INF04S）を量産した。^[1]

機材を量産しても、斜面崩壊等の事象が確実に起きる訳ではないため、当初より例えば火山噴火や落雷等の比較的頻度の高い超低周波音の自然励起源や人工的な音源を探しつつ本研究を進めてきたが、令和2年春までに、同年12月に予定されたJAXA探査機

「はやぶさ2」地球帰還カプセルの大気圏再突入時に衝撃波として励起されることが確実な超低周波音を地上多地点で観測する機会がJAXA公募への提案採択により得られたため、JAXA他との共同研究契約を締結した。同年9月に高知工科大学キャンパス内で機器群の動作確認・予備観測を行った後、計28台のINF04LEセンサーとデータロガーのセットはオーストラリアCurtin大学へ一時輸出した。日本からの観測者はCOVID-19の影響下では現地入りできなかったため本観測はCurtin大学の研究者らに全面委託し、機材群の一時輸出入に関わる輸送経費等は、別の研究助成を得て実施した。結果として、令和2年12月6日の同カプセル地球帰還時に上空で励起された超低周波音を28地点全てで計測することに成功した。我々のグループが得た同一イベントの多地点観測事例としては最大の成果である。さらに本研究費等で調達した簡易地震計（Raspberry Shake）でも励起地震動の同時計測成果を得た。これらの結果については現在データ解析中である。

同時期に、国内に残された数少ないINF04LEセンサーにより冬季の北陸地域で多発する落雷をターゲットとした電磁波・低周波音波の同時観測を実施した。こちらも当研究室における大学院修士課程学生の研究テーマを兼ねてCOVID-19の影響下のため福井県内の協力者3名に機器群を発送して委託観測を実施した。結果として、観測期間が短く僅か1例のみではあるが1km以内に発生したと推定される落雷に対し、エネルギー推定を行うことに成功した。^[2]

高知県内では、高知市内の浦戸湾沿岸域に3箇所、高知工科大学香美キャンパスが位置する香美市内に10箇所程度の観測地点を準備できており「はやぶさ2」帰還観測から戻ってきた機器群を設置し、令和3年度も地域での観測を継続していく予定である。



図-1 研究室で開発したデータロガー

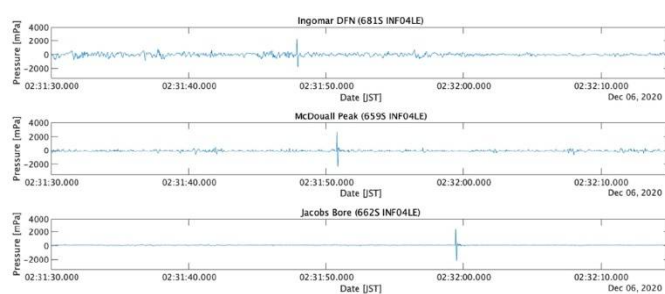


図-2 「はやぶさ2」帰還時衝撃波による観測波形

参考文献：

- [1] 井上 祐一郎，多地点アレイ観測のための小型インフラサウンドデータロガーの開発，令和2年度 高知工科大学大学院工学研究科 修士論文，2021。
- [2] 永松 萌，三軸ループアンテナ及びインフラサウンドセンサを用いた多地点観測による雷のエネルギー推定，令和2年度 高知工科大学大学院工学研究科 修士論文，2021。