

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：31310

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02396

研究課題名（和文）聴覚に学ぶ災害関連インフラサウンドの高効率情報センシング

研究課題名（英文）Efficient infrasound sensing based on good knowledge of hearing

研究代表者

鈴木 陽一（SUZUKI, Yoiti）

東北文化学園大学・工学部・教授

研究者番号：20143034

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：津波や噴火の早期検出に有効なインフラサウンド（超低周波音）の効率的モニタリング実現に向け、聴覚情報処理過程に着目し、少数のインフラサウンドセンサーによる環境情報の取得・解析技術の実現を目指した。まず、音源位置の変化に伴う聴覚興奮パターンの変化と人間の検知限の関係を定量的に示した。その成果とインフラサウンドの実測結果から、インフラサウンドでは聴覚系の音空間知覚過程モデルに基づく効率的な信号処理が可能であることが示唆された。インフラサウンドの伝搬モデルの精緻化を進め、伝搬特性および到来方向、波形の推定技術構築を進めた。さらに、インフラサウンドの波形と到来方向の同時推定アルゴリズムの開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

インフラサウンドの長距離伝搬特性、到来方向、波形の推定と、到来方向の同時推定アルゴリズムを開発したことは高い学術的意義を持つ。津波と噴火の双方に対応できるMEMS気圧センサとマイクロフォンを組み合わせた装置の広帯域、低雑音な測定データから、遠く離れた地点で発生したインフラサウンドの効率的なモニタリングを図ったことにより、今後のより効率的なモニタリング網の基盤が構築できた。以上は学術的、及び、社会的に大きな意義を持つ成果である。また、聴覚科学研究にも、音源位置の変化に伴う聴覚興奮パターンの変化と人間の検知限の関係を定量的に示したことは大きな意義をもつ成果である。

研究成果の概要（英文）：A new signal processing procedure to effectively monitor infrasound generated by high tidal waves caused by huge earthquakes particularly under seas and explosions of volcanos considering highly effective spatial perception process of human hearing. It was quantitatively shown that auditory excitation patterns in the inner ear and the difference limens of sound signals had a simple relationship. Examining the results of infrasound measurement outdoor along with the knowledge, it was suggested that effective estimation of the direction of arrival (DOA) was possible considering human spatial hearing signal processing. Then the infrasound propagation model was refined based on the present research results to derive new estimation models of the infrasound propagation characteristics, the infrasound incident direction, and the infrasound waveform. Moreover, the new algorithm was developed to simultaneously estimate both the waveform and the incident direction.

研究分野：マルチモーダル情報処理

キーワード：インフラサウンド 超低周波音 低周波空気振動 噴火 IoT 頭部伝達関数 聴覚 津波

1. 研究開始当初の背景

減災には、災害を引き起こしうる事象を早期に検知、特定することが必須の要件である。津波や噴火で発生するインフラサウンド（超低周波音）は、これらの事象の早期検出に有効である。従来のインフラサウンドモニタリングシステムは高価であった。これらのモニタリングシステム構築と展開にあたり、IoT 時代の到来を考慮すると、効率的な環境モニタリング実現に役立つ技術開発が急務である。しかし、そのような観点からの研究開発は未だ不十分であった。

2. 研究の目的

ここで人間の持つ聴覚系に着目すると、ヒトは両耳というわずか 2 つのセンサからの信号をコンピュータとは異なる計算原理に基づく聴神経および脳内聴覚野での極めて効率的な情報処理により、生活上必要十分な精度で周囲の環境を瞬時に把握することができる。

そこで本研究では、人間の聴覚が持つ情報処理機構を取り入れ、少数のインフラサウンドセンサによる効率的な環境情報の取得・解析技術を実現することを目指した。

3. 研究の方法

(1) ヒトの音空間定位能に関する検討

ヒトは、耳に入力される音の周波数スペクトルを、音色と音到来方向判断の手かがりとなる情報として用いている。このとき耳入力信号には音源で発せられた音そのものと伝搬経路の影響が混在しているが、ヒトは両者を巧みに切り分けて知覚している。その知覚情報処理過程の解明とモデル化が有効と考え研究を進めた。実験には、聴取者に音の伝搬を模擬した周波数スペクトルの変形を与えた音刺激を用い、心理物理学実験によって、その影響を定量的に検討した。モデル化には従来提案されている FDBM、オルデンプルク大学モデル、Two!Ears プロジェクトの Binaural simulator などの音空間知覚モデルの評価に基づき、実験結果を説明するモデルの考察を行った。

(2) インフラサウンド伝搬経路に対する障害物の影響

屋外環境においてインフラサウンド信号の観測を進めた。音源には電車が駅を通過する際に発生するインフラサウンドを用いた。観測装置の周辺に障害物を設置し、障害物の種類や大きさを変えた場合のインフラサウンド計測への影響を検討した。具体的には、駅プラットフォームの階段および単純な直方体の構造体である。インフラサウンドの向き（電車の進行方向）と地形（駅ホームの階段や構造体）の違いによるインフラサウンド観測信号の特徴を比較した。

(3) インフラサウンド計測システムと、波形および到来方向推定

人間の聴覚は、両耳というわずか 2 つのセンサで音の空間的な情報を取得している。これは、先見的知識や経験・学習に基づくものであると考えられる。これらの内的情報は探索空間に一定の縛りを与え、聞こえてきた音のみから判断される多くの可能性の中から尤もらしい解を導出するに役立つ。この考えに基づき、定式化において制約項を加えることにより、従来よりも少ないセンサ数で安定に音源に関連する情報を推定する手法について検討した。

これまでに、分担者西村を代表とする総務省 SCOPE「音波・電波センサネットワークによる早期災害検出に向けた研究開発」と基盤研究(C)「機動性の高い超低周波音観測技術の開発」により、インフラサウンド観測装置の開発と改良を行い、国内複数地点にこれを配備し、研究用の実データ取得を目的とする常時観測を継続してきた。その後も津波と噴火の双方に対応できるような MEMS 気圧センサとマイクロフォンを組み合わせた広帯域、低雑音化を図ってきた。

インフラサウンドを対象とした場合、それがラム波として伝搬していると音速が可聴音よりも遅くなる。したがって、音速を与えた上で到来方向を推定する従来アルゴリズムが適用できない。音速と到来方向を同時に推定する必要がある。そこで、任意配置のマイクロホンアレイに適用可能で、かつ、音の伝搬速度と到来方向を同時推定する信号処理手法について検討した。従来研究として、センサ間の到来時間差に基づき、音源位置と音速を同時推定する手法が提案されている。この考えを参考に、さらに拘束条件付きの最小化問題として到来方向と音速の同時推定を定式化することで、より少ないセンサ数に適用でき、かつ精度および安定化の向上を試みた。

4. 研究成果

(1) ヒトの音空間定位能に関する検討

音源位置の変化に伴う聴取者の音弁別実験結果と内耳に生ずる聴覚興奮パターンの変化の様相を推定した結果、興奮パターンの変化が聴覚フィルタ 1ch の出力に相当するときに変化が知覚できることを定量的に示した。これは、音源到来方向と音色という、同じ音情報（周波数スペクトル形状）の切り分けが、多数のチャンネルからなる聴覚フィルタ出力の比較というシンプルな過程で行いうる可能を示したものである。

(2) インフラサウンド伝搬経路に対する障害物の影響

電車の進行方向に向かって観測装置を設置した場合、障害物が階段であると、それに近い装置の方が遅れてインフラサウンドが観測された。観測装置を障害物（階段）と逆方向に設置した場

合は、直方形の構造体に囲まれた装置の方がより遅くインフラサウンドを観測していることが示された（図 1）。これらの結果から、音源の方向と障害物の有無および大きさによって観測されるインフラサウンドの時間ずれが異なる特徴を示しており、障害物を適切に設定することにより、地形によるインフラサウンド計測への影響を特定できる可能性があり、その影響はインフラサウンドの波長の長さを考えると比較的単純な構造を持つことが示された。

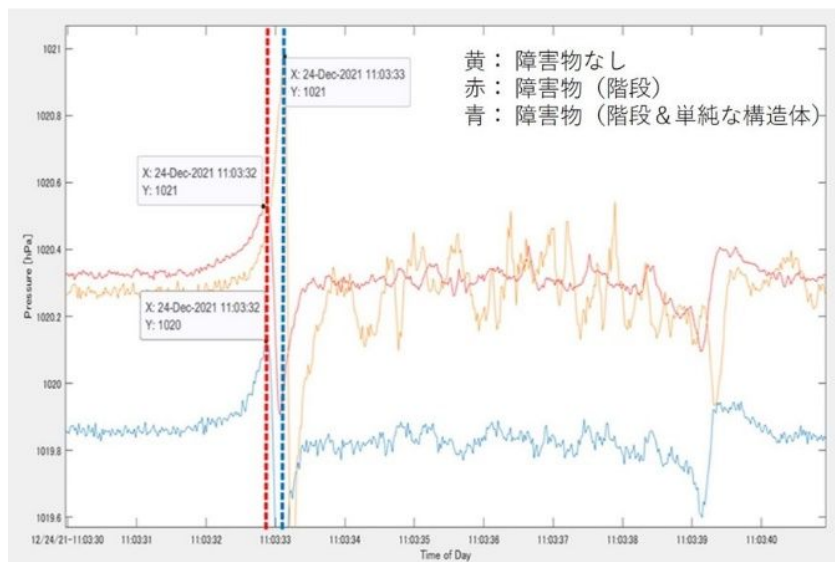


図 1 インフラサウンド伝搬に対する障害物の影響

(3) インフラサウンド計測システムと、波形および到来方向推定

図 2 は前述の本研究以前に構築されたインフラサウンド観測ネットワークが捉えた、2022 年 1 月に発生したトンガの海底火山噴火に伴い発生したインフラサウンドの信号である。この信号に本研究課題で開発した新しいアルゴリズムを適用し、推定された到来方向を方位線として地図上に示したものが図 3 である。風の影響がない場合、推定方向が正しければ方位線は音源位置で交差するはずのものであり、実際に宮城と東京からの方位線は海底火山の位置近くで交差することが確認された。2022 年 1 月当時、東京における観測地点は 4 地点であったため、最低 5 地点での観測データが必要となる先行研究の手法は適用できない。本研究で開発した手法は 4 地点での観測データに適用可能であることから、東京からの方位線を描くことができた。従来よりも少ないセンサ数に適用可能な信号処理手法の実現は、観測地点を容易に増やすことが困難な自然環境計測においては極めて重要なポイントのひとつである。

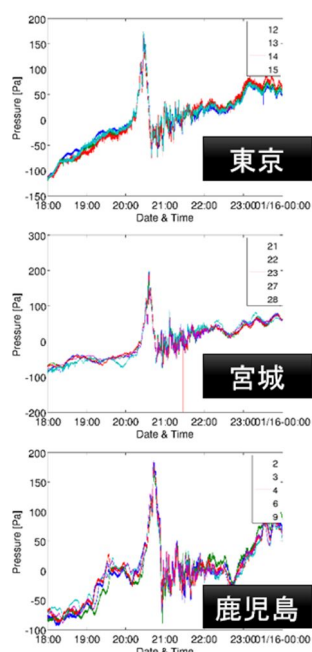


図 2 インフラサウンド観測データ



図 3：推定された到来方向の方位線

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 R. Nishimura and Y. Suzuki	4. 巻 2020
2. 論文標題 ML and EM Estimation of Sampling Intervals of Sensor Devices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)	6. 最初と最後の頁 4915-4919
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICASSP40776.2020.9053693	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山高正烈，坂本修一，鈴木陽一	4. 巻 18
2. 論文標題 ノッチフィルタが広帯域雑音の音像定位に及ぼす影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 愛知工科大学紀要	6. 最初と最後の頁 21- 26
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 R. Nishimura and K. Takizawa	4. 巻 2023
2. 論文標題 Simultaneous estimation of direction of arrival and sound speed using a non-uniform sensor array	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICASSP49357.2023.10096550	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山高正烈，坂本修一，鈴木陽一	4. 巻 19
2. 論文標題 頭部伝達関数におけるノッチ幅と中心周波数の偏移が音色知覚と音像定位に及ぼす影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 愛知工科大学紀要	6. 最初と最後の頁 19-24
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山高正烈, 坂本修一, 鈴木陽一	4. 巻 20
2. 論文標題 ノッチフィルタの中心周波数が広帯域雑音の音像定位に及ぼす影響	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 愛知工科大学紀要	6. 最初と最後の頁 23-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 西村竜一, 伊藤平, 足立大, 中島康貴, 樹所賢一, 蓮見敏之, 鈴木 陽一, "インフラサウンド観測が可能な試作超小型マイクロホンの 評価
2. 発表標題 インフラサウンド観測が可能な試作超小型マイクロホンの 評価
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西村竜一
2. 発表標題 サンプルホールド信号に対する最適読み取り間隔に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 マルチメディア情報ハイディングエンリッチメント研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zhenglie Cui, Yoiti Suzuki, Shuichi Sakamoto and Brian C. J. Moore
2. 発表標題 Effect of notch bandwidth simulating N1 in the human HRTF on timbre perception
3. 学会等名 The 24th International Congress on Acoustics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Nishimura
2. 発表標題 Infrasound sensing for disaster management
3. 学会等名 World BOUSAI Forum 2023 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西村竜一, 菊田和孝, 村田健史, 滝沢賢一, 鈴木陽一
2. 発表標題 インフラサウンドの複数地域でのアレイ観測に基づく音波推定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	西村 竜一 (NISHIMURA Ryouichi) (30323116)	国立研究開発法人情報通信研究機構・ネットワーク研究所レジリエントICT研究センター・主任研究員 (82636)	
研究分担者	山高 正烈 (崔正烈) (CUI Zhenglie) (60398097)	愛知工科大学・工学部・准教授 (移行) (33934)	
研究分担者	坂本 修一 (SAKAMOTO Shuichi) (60332524)	東北大学・電気通信研究所・教授 (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	モア ブライアン (MOORE Brian C. J.)	ケンブリッジ大学・Department Psychology・Professor Emeritus	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
英国	ケンブリッジ大学			