

大学実験室における音響情報の解析

2020年3月修了予定 環境システム学専攻 47186691 廖 智聡 (リョウ チソウ)

指導教員：大島 義人 教授

キーワード：実験室、音響情報、実験装置音、実験者動作音

1 緒言

場の状態を正確に把握するために、対象とする場で起こる様々な事象をモニタリングすることによって解析可能な客観的かつ定量的なデータとして取得する手法が用いられる。大学実験室のような実験研究現場では、行われる作業のほとんどが非定常作業である^[1]ため、定常的な作業が行われている場と比較して、あるべき通常の状態を規定することが困難であり、どのような場で何が起きているかを把握し解析するためのモニタリング手法の開発がより重要な意味を持つ。このような観点に基づき、実験室を構成する人、モノ、場に関する情報について、実験者が実験室内を歩行した際の視線情報^[2]や、RFID(Radio Frequency Identification)などの通信機器を用いたモノや被験者の位置情報^[3]、気流解析を用いた実験室内の場の情報^[4]など、様々な手法について検討がなされてきた。

本研究は、実験室の稼働状況を表す一つの情報として、新たに音響情報に着目した。大学の実験室では複数の実験者が各々の作業を行い、複数の実験機器や分析機器が稼働している状況であり、様々な音が組み合わさって実験室の音は構成されている。これらの音響情報は、実験者の行動に起因するものや、実験機器の運転状況など、様々な情報が取得でき、音とその要因を紐づけた形で情報を抽出可能である。また、室内の状態を観察や解析に画像情報(ビデオカメラ)がよく用いられるが、画像だけでは、実験機器や什器の稼働情報を取得することが困難であり、音響情報から実験室全体の稼働状況を反映することが期待される。一方で、実験者が実験中に視覚情報だけではなく、音の情報を活用して行動していることや、音環境自身が実験者の作業性に及ぼす影響を考えると、音響情報を用いて実験室の分析が必要と考えられる。このように、新たに実験室の音響解析をすることは、実験室の稼働状況を可視化する指標が明らかになるだけでなく、実験者の行動と音の関係が明らかになることが期待される。

音響情報の活用例としては、音響による動作・作業内容の判別や個人の感情・状態などの情報の抽出^[5]、音響情報・音環境による人への影響の究明と作業性の向上^[6]などがあるが、実験室を対象とした研究例はない。

本研究は、実験室の状態を記述するための一つの手段として、音響環境に関するモニタリング手法の開発を目的とし、その基礎情報として、実験室内の音の周波数成分を分析し、測定結果と実験作業との関係性について議論した。

2 実験方法

2.1 測定対象

測定対象は、Fig. 1に示した工学系の実験室であり、各実験者が有機合成、材料合成、分解反応等、それぞれのテーマに従って適宜実験を行っている。主な使用装置は、合成・分解反応装置、分析装置(TOC GC-FID)、遠心分離機等である。

2.2 測定・分析方法

音響測定にはマイクロフォン UC-59 (リオン製)を用いて、測定対象に応じて①-③のいずれかに配置した。

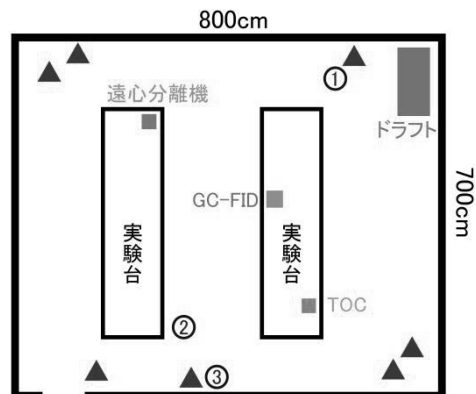


Fig. 1 測定した実験室
(○:マイク ▲:カメラ)

室内の様子を撮影するために Fig. 1 に示すように室内7か所に Web カメラ (Qwatch TS-WLC2) を設置した。Table 1 に音響測定のパラメータを示す。

音響データの解析には波形分析 (リオン AS-70) と FFT (Fast Fourier Transform) 分析 (GoldWave) を用いた。波形分析とは、収集した音響データを、縦軸に dB SPL、横軸に時間 (s) に変換し、解析する方法である。ここで、dB SPL は 1 Pa を基準 (0 dB SPL) としてデシベルで表したものであり、音の大きさを表す指標としてよく使われている。また FFT 分析とは、高速フーリエ変換によってある時刻の音 (一般的には合成音) を、異なる周波数を持つサイン波に分解し、時間領域の信号を周波数領域信号へ変換する方法である。FFT 分析によるスペクトログラムは、音響データを、縦軸を周波数 (Hz)、横軸を時間 (s)、振幅の大きい周波数のところを濃く、低い周波数のところを薄い色をつけることで表せ、単位としては 1 V を基準とした dBV である。また、実験室における各種の音を定性的かつ定量的に見るため、音のスペクトログラムにおける特徴について定義した。「持続時間」はスペクトログラムに音が現れたあと、音の大きさを示した色が持続した時間である。

Table 1 音響測定条件

項目	内容
操作装置	リオン SA-A1
プリアンプ	リオン NH-22A
ビット長	24Bit
サンプリング周波数	51200Hz
窓関数	ハミング
オーバーラップ	75%
サンプリング点数 N	2^{12} 、 2^{16}

3 結果と考察

3.1 実験装置音と実験者行動音の分類

実験室全体の音を収集して音と画像を分析した結果、実験室音はバックグラウンド音以外、実験装置音と実験者行動音とに分類できる可能性が示された (Fig. 2)。そこで、実験室の非定常性と深く関係する実験装置音と実験者行動音のそれぞれについて、さらに詳細に解析を行った。

3.2 実験装置音の分析

実験装置音の場合、一つの機器から発せられる音は同種のスペクトログラムの特徴を有するため、個人による差の影響がなく、スペクトログラムの解析から、機器の特定や作動状況などを解析することが可能であると考えた。そこで、分析機器やヒュームフード、遠心分離機などの実験装置音のスペクトログラムを例に、各機器の音響に関する特徴を抽出し、異常検知の可能性について検討を行った。

3.2.1 分析機器 (例: TOC、GC-FID)

TOC では、洗浄過程の機械音、稼働中の特徴的な周波数 (約 9200 Hz)、測定完成のアラーム音 (約 2100 Hz と 4200 Hz、持続時間約 0.3 s) により、TOC の稼働状況を表すことが可能と考えられる。GC-FID では、点火の際に約 5000 Hz と約 10000 Hz の特徴的な周波数が現れ、またアラーム音が昇温と冷却過程で一定な温度に至った時に現れた。冷却過程では、約 10000 Hz の周波数がなくなり、約 5000 Hz の周波数が残った。機器によって周波数の絶対値は異なることが予想されるが、このような機器はそれぞれに固有な特徴的周波数を有するので、それらのセットによって装置の稼働状況を表せると考えられる。

3.2.2 ヒュームフード

ヒュームフードでは、給気やフード開口部での風量の変化による音の周波数成分の変化に着目した。模擬実験を行ったところ、主な音源は給気音であった。また、風量を一定として開口部の面積を変化させ、風速を変化させたが、周波数成分はほとんど変化しない結果が得られた。風速の変化に伴ういわゆる“風切り音”の変化を観察できれば、ヒューム

フードの稼働状態を記述することが期待できるため、今後はマイクの位置などについてさらに検討することが必要であると考えられる。

3.2.3 遠心分離機

遠心分離機の運転条件を、試験管の本数、最大回転数、加減速の緩急について条件を変えて測定を行った結果を解析したところ、それぞれにおいて特徴的な周波数成分が得られ、実験者がどのような操作を行っているかを音から判断可能であることが示された (Fig. 3)。このように、異常音について検知可能であり、事故予防につながる音の役割を具体的な事象を通して示すことができたと考えている。

3.3 実験者行動音の分析

ゴミ箱の蓋の開閉に関する予備的な実験から、同じ被験者の同一動作によるスペクトログラムは類似しているが、被験者が異なると個人差の影響により蓋の開閉のスペクトログラムが異なることが確認された。このことから、どの実験者がどのような行動をしたかをスペクトログラムから特定することは困難であると考え、まずはいくつかの実験者行動音について、周波数成分と行動との関係性の「パターン」に着目し、作業者の違いが音にどのような違いを生じているかについて検討を行った。

3.3.1 試薬庫の開閉動作

今回の実験で用いた試薬庫の場合、試薬庫を開ける動作は、「アラーム音」「扉の取手を掴む」「開ける」の三つの動作から構成され、このうち「アラーム音」は約 2200 Hz と 4500 Hz の特徴周波数を持つ。また、試薬庫を閉める動作 (Fig. 4) は、「閉める」「ロック音」から構成され、アラーム音が存在しないが、「ロック音」は試薬庫自身の音であり、約 10400 Hz から 14400 Hz までの周波数帯域に色が深くなり、「ロック音」の特徴音である。このように操作に対応して特徴的な音が発生するものの扱いについては、開閉した者の特定は困難であるが、開閉までの時間などから試薬の出し入れという作業に関する異常性は検出できると期待される。

3.3.2 足音

歩き方による差異を分析するため、「普通に歩く」と「速く歩く」の模擬実験を行った。まず、どちらの歩き方も周波数帯域の分布が変わり、ステップごとに一定な間隔があるが、スペクトログラムの特徴が変化していた。歩くことによって発生する音であることは、ステップの周期性によってある程度判別可能であると考えられるが、各ステップの持続時間が短く、音量も小さいため、歩いている人の特定や歩き方について議論するためには、マイクの位置や雑音除去などの技術的な改良が必要であると考えられる。

4 結言

本研究では実験室の音を収集、解析した結果、実験装置音と実験者行動音に大別することが可能であることを示した。実験装置音については、スペクトログラムの形状や特徴的な周波数が装置の稼働状況にある程度対応することから、動作状況の確認や異常の検知などにも適用できる可能性が示された。また、実験者行動音については、個人差など様々な影響が出やすく、行動の違いを音の情報から直接明らかにするには至らなかったが、各動作に特徴的な音のパターンが存在することが明らかになり、測定法の改良を含め、このパターンについてさらに詳細な解析を行う必要があることが示された。このように、音響情報が実験室の状態を記述するための手段としての有効性が示されたことから、今後は、音響情報以外のモニタリング結果と組み合わせることによって、実験室全体の安全や異常検知に関する議論に展開することが期待される。

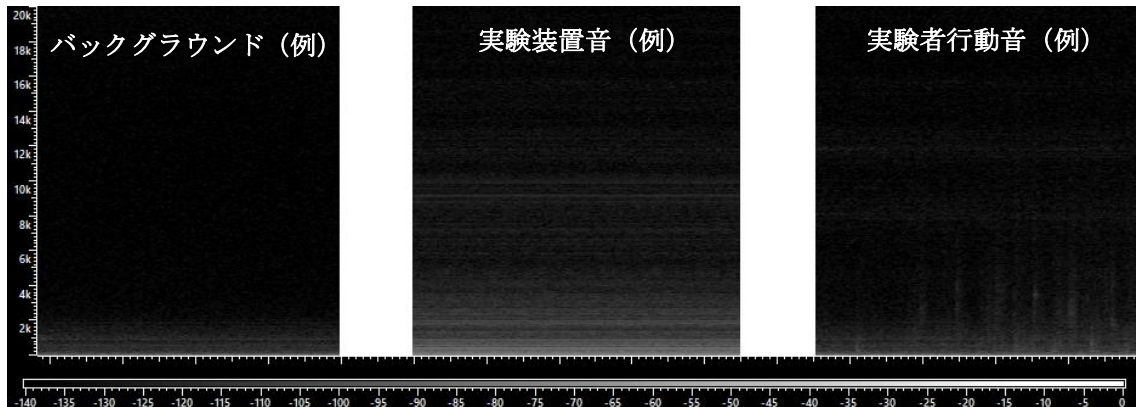


Fig. 2 バックグラウンド・実験装置音・実験者行動音の比較 (N: 2^{12})

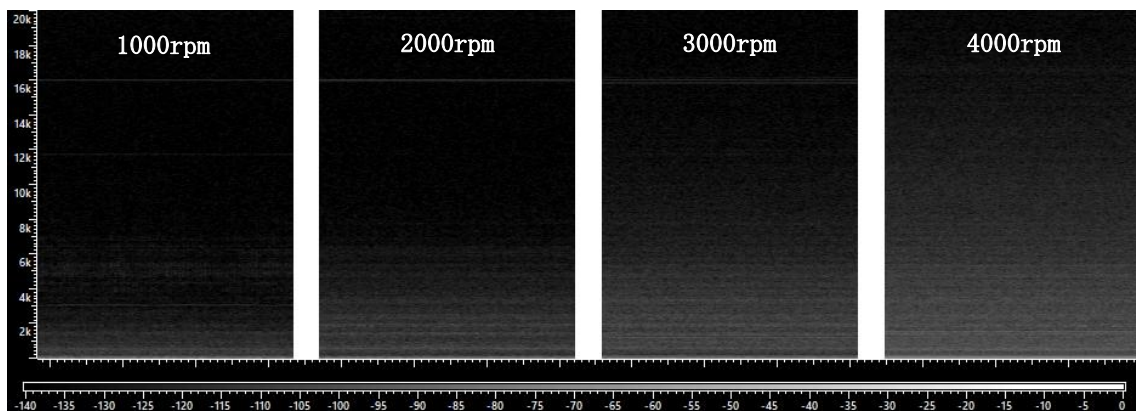


Fig. 3 異なる回転数による遠心過程音の比較 (N: 2^{12}) →異常検知

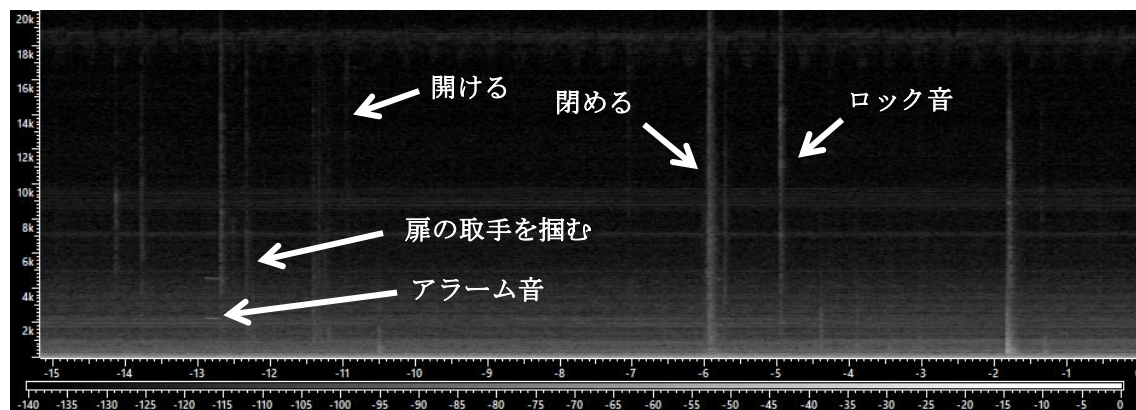


Fig. 4 試薬庫の開閉音 (N: 2^{12}) →構成動作の分析

参考文献

- [1] Yukiko Nezu, et al., *Journal of Environment and Safety*, **5(2)**, 99-105(2014).
- [2] 主原ら, *安全工学*, **48(3)**, 148-154(2009).
- [3] 神田ら, *情報処理学会論文誌*, **49(5)**, 1724-1742(2008).
- [4] Rina Yamaguchi, et al., *Journal of Environment and Safety*, **10(2)**, 41-44(2019).
- [5] 松田 宅司, 京都大学修士論文 (2018).
- [6] 宇野ら, *情報科学技術フォーラム講演論文集*, **13(2)**, 253-256(2014).