

# 音声特徴相関分析を用いた聴覚過敏者のための 不快音回避システムの実現

渡邊 莉子<sup>†</sup> 岡田 龍太郎<sup>‡</sup> 中西 崇文<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 武蔵野大学データサイエンス学部データサイエンス学科 〒135-8181 東京都江東区有明 3-3-3

E-mail: <sup>†</sup> s2022039@stu.musashino-u.ac.jp, {ryotaro.okada, takafumi.nakanishi}@ds.musashino-u.ac.jp,

**あらまし** 本稿では、音声特徴相関分析を用いた聴覚過敏者のための不快音回避システムの実現について示す。現在、多くの ASD, ADHD の人が、基礎感覚（前庭覚、固有感覚、触覚）と視覚・聴覚の統合がうまくできない感覚統合の問題を抱えているが、いまだ一般の認知が少ない。本稿では、感覚統合の問題の一つである聴覚過敏について着目する。本システムは、事前に聴覚過敏者によって登録された不快音データ群を対象として、リアルタイムで取得される音声データについて登録された不快音データ群との音声特徴の相関を計算することで、相関が高い場合、不快音として検知をする。本システムは、聴覚過敏者が不快音を回避する一助となりうる。

**キーワード** 音声特徴抽出, 聴覚過敏者支援, 不快音回避, ASD, ADHD

## 1. はじめに

近年、自閉スペクトラム症、アスペルガー症候群 (ASD) や注意欠如・多動症 (ADHD) に関する一般の人の理解が増え、学校、職場などに様々なサポート体制が実現されつつある。一方で、ASD, ADHD の人が一般の人に理解されない症状に悩まされるケースがまだ多く存在している。その 1 つとして、ASD, ADHD の人が、基礎感覚（前庭覚、固有感覚、触覚）と視覚・聴覚の統合がうまくできない感覚統合の問題を抱えているという事実である。この感覚統合の問題の中で多くみられる症状として聴覚過敏が挙げられる。

聴覚過敏は、通常より感覚が敏感となり、特定の音に関して極度の苦手意識をもつような状況を指す。聴覚過敏の理解が足りない人にとっては、気のせいだ、努力や我慢が足りないと誤解されがちであり、聴覚過敏者にとっては二重のストレスを抱える要因となっている。また、聴覚過敏者の中でも、人によって苦手意識を持つ音が異なり、サポートする側にとっても理解しづらい症状であることが問題となっている。

辻富彦[1]によると、現在 ASD の聴覚過敏に行われている対策は主として不快音の削減と回避、不快音への慣れの二つに集約される。本稿では、不快音の削減と回避に着目することとする。一般的に、不快音の削減と回避を実現するためには、大きな音の近くは避ける、気分が悪くなったら離れる/退室する、耳栓やヘッドホンを活用する、心の準備や理解ができるようにサポート側から声がけをすることが挙げられる。日常的にこれらの対策をして実行するためには、聴覚過敏者自身にとっては、苦手とする音が発生する場所をなるべく早く検知するシステムの実現が重要であり、サポートする側にとっては、聴覚過敏者、聴覚過敏者それぞれの苦手の差異を加味した苦手とする音を理解、共

有するシステムの実現が重要であると考ええる。

本稿では、音声特徴相関分析を用いた聴覚過敏者のための不快音回避システムの実現について示す。本稿ではこれまで述べた ASD, ADHD に悩む多くの人が抱える問題の一つである聴覚過敏の問題に着目し、聴覚過敏者が苦手としそうな音を検知した場合にアラートを出すシステムの実現方式を示す。本システムは、事前に聴覚過敏者が苦手となる音サンプルをいくつか選択しシステム内に保持し、それらの音サンプルの音声特徴を抽出しておき、常時マイクで音を取得しながら音声特徴を抽出しながら、苦手とする音サンプルの音声特徴との相関を導出し、相関が高い場合にアラートを出力するものである。本システムは、事前に選択した音と同じ音はもちろんのこと、音声特徴として類似した音でもアラートを出すことが可能となる。本システムを実現することにより、聴覚過敏者にとっては、苦手とする音が発生する場所をなるべく早く察知することが可能となり、不快な状態を事前に避けることが可能となる。また、サポートする側にとっては、聴覚過敏者のそれぞれで異なる不快と感じる音の差を理解しながら、助けることが可能となる。

さらに、本システムを実現するアプリが一般的に普及することによる、聴覚過敏をはじめとする感覚過敏、感覚統合の問題を抱える人への理解が進み、より一層多様な人々が安心安全で暮らすことができる環境を持続していくことが可能になると考えられる。

本稿の構成は次の通りである。2 節では、関連研究を述べる。3 節では、音声特徴分析を用いた不快音回避システムの実現方式について述べる。4 節では、簡単な実験システムを構築し、不快音の音声特徴の抽出、および、音声特徴の相関による類似不快音の検知の可能性について検証した。最後に 5 節でまとめる。

## 2. 関連研究

発達障害，特に ASD と聴覚過敏は密接な関係にある．高橋[2]が ASD を持つ 75 人と定型発達者 113 名に「感覚の過敏・鈍麻」に関するアンケートをとったところ，前庭感覚，触覚，固有感覚，視覚，聴覚，嗅覚，味覚の 7 分野すべてで本人のチェック率が定型発達者の 10 倍以上（聴覚は 12.8 倍）もあった．また，感覚過敏への理解・支援も人によってばらつきがあり十分ではない．

高橋[3]によると，ASD は視覚・聴覚・触覚・嗅覚・味覚・固有覚などさまざまな感覚の分野で非定型的な感覚の特徴を持つ．長井[4]は ASD の感覚を再現した知覚体験シミュレーションで ASD への理解を深めようと試みている．他にも，市川[5]は ASD の聴覚特性を可視化させることで感覚特性をモデル化させた．

島井[6]は環境音の音圧と音量に着目し不快評価との関係を検証した．音圧が一定のレベルを超えると不快を感じることは明らかだが，環境音の範囲内での音圧では快不快の判定は行えないと結論づけた．

白石[7]は朗読中の騒音に注目し，環境音が特定の音の取得に及ぼす影響を測定した．使用する環境音の種類によって許容レベルに有意差が認められるなどの結果が出ており，感覚鈍麻の支援に役立つと考えられる．

柴田ら[8]は，精神疾患の治療の一つとして音楽療法に着目し，様々な音サンプルから周波数特徴量を抽出すると同時に，被験者にその音を聴かせ，そのときの脳波を測定し，その脳波の周波数特徴量と音自体の周波数特徴量の関係を導出することによって，脳波による音聴取時の情動の評価指標の実現を試みている．この研究においては，不快音の特性について，一定の性質を見出すことはできたが，脳波による音聴取時の情動の評価指標を実現するためには，被験者ごとの特徴を考慮した教師データの作成が重要であることを示唆している．

坂田[9]は聴覚過敏の不快音閾値を求めようとしたが，一定の共通点は見られたが，個体内あるいは特定集団の経時的評価が主であり，定点での観測値を個体間で比較することは難しいと考えられた．

本方式では，聴覚過敏者個々に不快音を登録し，現在聞こえる環境音との類似度計算を実現することにより，聴覚過敏者の個人差を考慮した不快音回避のためのシステムが実現できる．

## 3. 音声特徴分析を用いた不快音回避システム

### 3.1. 全体像

本節で示す音声特徴分析を用いた不快音回避システムの全体像を図 1 に示す．本システムは，不快音登

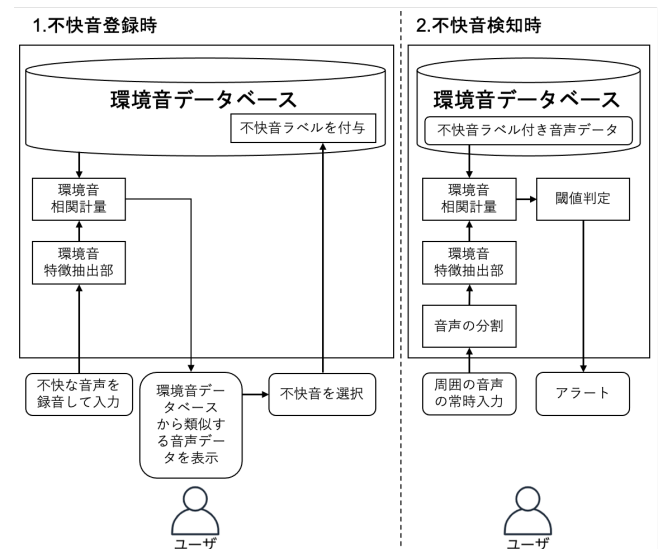


図 1. システム全体像

録時と不快音検知時の 2 つのフェーズを持つ．不快音登録時のフェーズにおいては，本システムは，環境音データベース，環境音特徴抽出部，環境音相関計量からなる．不快音検知のフェーズにおいては，不快音登録時に加えて，音声の分割および閾値判定の処理からなる．

システムの利用の流れは以下の通りである．まず環境音データベースを作成しておく．環境音データベースには，不快音として判定される可能性のある音声データを登録する．次に，不快音登録時には，ユーザは自分の不快と感じる音を録音し，システムに入力する．システムは，入力された音声データと環境音データベースに登録されている音声の類似度を計量し，類似度の高い音声をランキングにして表示する．ユーザは表示された音声の中から自分が不快に感じる音を選ぶことによって，その音声に不快音のラベルを付与する．また，入力した音声も不快音のラベルを付けて環境音データベースに登録する．最後に，不快音検知時には，ユーザはマイクを常時有効にし，音声をシステムに入力し続ける．システムはそれを短時間の音声に分割し，環境音データベースに保存されている不快音のラベルの付いた音声との類似度計量を行う．類似度が閾値以上に高い音声が見つかった場合，システムはアラートを通知する．ユーザはアラートを受けて不快音を回避する行動を取ることになる．

### 3.2. 環境音データベース

環境音データベースには，多くの聴覚過敏者が不快と感じる環境音とそのメタデータである音声特徴の組みが格納されると同時に，ユーザごとに，不快と感じる音に関してのラベルが付与されたデータ集合が格納される．

松井ら[10]によると、聴覚過敏者は「大勢の会話や人ごみの声」「選挙カーやラッピングカーの音」「工事現場の騒音」「バイクや車のクラクション」「ゲームセンターやボーリング場の音」「祭りの和太鼓の音」「館内放送」「バスの停車・進入を知らせる音」「レジの操作音」「信号の音」といった音を不快に感じる。これらの環境音を事前に集約し、環境音データベースに保存しておく。音声データの類似度計量をする際には、音声データから環境音特徴抽出部で周波数に基づく特徴ベクトルを抽出し、それを用いて計量を行うため、環境音データベースに登録する音声は、あらかじめこの処理を行って特徴ベクトルを格納しておく。

各音声には、ユーザーにとって不快であるかどうかを判定した結果である不快音ラベルを付与することができる。

### 3.3. 環境音特徴抽出部

実際にマイクで取得される音と環境音データベースに格納される音をマッチングさせるためには、音声データをその音響特性を表す特徴量ベクトルからなる音声特徴に変換する必要がある。ここで抽出される音声特徴には、人間の聴覚の特性に沿った特徴を採用することが求められる。なぜならば、ある音声を不快と感じるのは人間の主観であり、客観的な音響特性よりも人間の聴覚特性に沿った特徴の方が、類似性を計量する場合にも有用であると考えられるからである。本稿では音声特徴抽出手法として MFCC(Mel Frequency Cepstral Coefficient)を使用する。MFCC は、スペクトラム値の分散を防ぐために個別の周波数ビンの値をグループ化する処理であるメルフィルタバンクを割り当て、出力を対数変換し、対数パワースペクトルからグラフの包絡を抽出する処理を行う。本稿では、フィルタバンクのチャンネル数を 20 にし means と var の 40 次元ベクトルに変換した。つまり、本システム内のすべての音声データは、40 次元ベクトルの音声特徴で表される。

### 3.4. 環境音相関計量

本節では、3.3 節で定義した音声データの特徴メタデータ同士の類似度を計量することで、音声の類似度を計量する方式について述べる。入力した音声データと環境音データベース内の音声の相関を計測するために類似度計量を行う。取得した音声データと環境音データベース内の音声データはそれぞれ、環境音特徴抽出部によって、40 次元ベクトルの音声特徴に変換されるため、音声の相関はこの二つのベクトルの  $\cos$  類似度を計算することで求められる。

この処理は、不快音登録時には、ユーザーが入力した音声と、環境音データベースに登録されているすべての音声との相関を計量するために用いられる。ユーザーに対しては、計量された類似度に基づいて、環境音を

ランキング表示して提示する。不快音検知時には、入力された音声と、環境音データベースに登録されている音声のうち、不快音のラベルがついている音声データとの相関を計量するために用いられる。ユーザーに対しては、計量された類似度を用いてアラートを出すか田舎の判断を行う。

### 3.5. 不快音選択・ラベル付与

図 2 は聴覚過敏のユーザーによる不快音選択画面である。不快音登録時には、ユーザーが不快と感じた音声データを入力として、環境音データベースから環境音相関計量で出力された類似度をもとに類似度の高い音声をランキングにして提示する。ユーザーはそれを見て、不快であるか否か評価をおこなう。ユーザーが入力した音声データと、ユーザーに不快と評価されたデータに不快音ラベルを付与する。この操作により、不快音ラベルを細やかにラベルづけしていくことが可能となる。また、聴覚過敏のユーザーにとっても自分が不快とする音についての新たな発見が可能となり、事前に心の準備を備えながら生活するのに役に立つ。

### 3.6. 音声の分割

不快音検知時には、マイクを常時オンにして音声を取得し続ける必要がある。しかしながら、環境音特徴抽出を行い音声データの特徴メタデータを抽出する際には、長時間の音声データを用いると、様々な音が含まれてしまい、不快音を特定することが難しくなってしまう。したがって、入力する音声データは短時間の音声データに文化する必要がある。分割の方法としては、数秒程度の一定時間で分割する方法が考えられる。

### 3.7. 閾値判定

不快音検知時には、システムは現在入力している音声と環境データベースに保存されている不快音との類似度を常時計量している。その際、類似度は連続値として現れるため、ユーザーに対してアラートを出すか否かの判定は、類似度に対して閾値で区切ることで行う。入力音声と環境データベースに保存されている不快音の類似度計量を行い、類似度が最大の音声についての

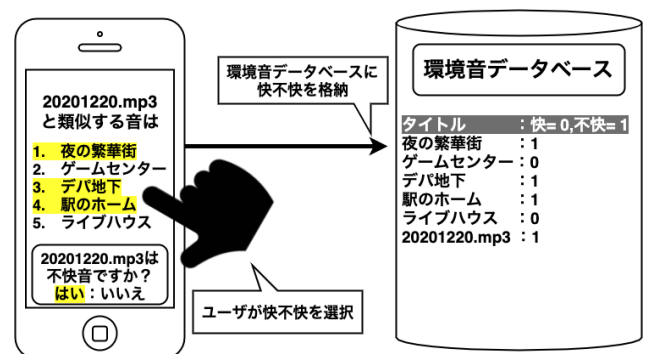


図 2. 不快音選択とラベル付与の流れ

類似度が閾値を上回った場合、システムはユーザにアラートを出す。

4. 実験

4.1. 実験環境

3 章で説明したシステムのうち、不快音登録部までを実装した。不快音検知時のシステムの実装は今後の課題とする。

実験では、実際にユーザが音声データを入力し環境音データベースから類似する音声データが出力されるか検証する。

環境音データベースには、主に効果音ラボ[11]や無料効果音で遊ぼう！[12]から生活音を 1177 ファイル格納している。

今回ユーザの音声として、「食器の重なる音」「自動車の走行音」「電車がホームに進入するサイレン」を入力した。

4.2. 不快音検出の検証

ユーザが入力した 3 つの音声データの特徴ベクトルと環境音データベース内の音声データの特徴ベクトルとの類似度を計量し、合致する環境音データベース内の音声データが選出されるか検証する。

まず、「食器の重なる音」を検証する。以下の表 2 は類似度計算の出力結果である。具体的には、陶器の食器同士が重なり合いカチャカチャと音を立てている音声が含まれている。下の表 1 によると、1,3,4,5,6,7,9 位は硬質の物体が触れ合う音であり、入力した音声データと聴覚的な不快さにおいて類似性があるものである。また、陶器と同じく高く鋭い音がでる金属同士が当たる音としてシートベルトやフライパンの音も候補に挙がっており、聴覚特性に基づいて柔軟に類似検索が行われていることがわかる。

次に、「自動車の走行音」を検証する。この音声は、歩道から車道の自動車の走る音を録音したものである。「自動車の走行音」と環境音データベース内の音声データとの類似度を表 2 に示す。表 2 によると、トラックも含め 1,3,4 位が車の走行音を提示しており、正しく検索が行われていることがわかる。その他ランキングに含まれている野球場やカラスの大群、火事などの直接関係のない音声出力された。これらの音声は、空間的な幅と厚みがある点から、同じく複数台の走行音が含まれる「自動車の走行音」が空間的に厚みのある音声としてそれらの候補と類似したと考察する。

最後に、「電車がホームに進入するサイレン」を検証する。この音声は、ホームに電車が到着する際のブアという警告音である。表 3 は類似度計算の出力結果である。しかし、表 3 に示す通り、ランキング上位にはサイレン音は現れなかった。表 3 で表示された音声は全て周囲のざわめきを拾ったものであり、入力音声に

表 1. 「食器の重なる音」と環境音データベース内の音声データとの類似度

順位	環境音データベースの音声名	類似度
1	シートベルトを外す	0.9998592
2	解体作業	0.9997872
3	ディスクをドライブに入れる + 起動音	0.9997788
4	ディスクをドライブに入れる	0.9997678
5	ディスクをドライブから出す	0.999757
6	電子レンジ開く	0.9997318
7	フライパンを置く	0.9997303
8	サイドブレーキ引く	0.9997272
9	ロッカー閉める	0.9997056
10	ビニール袋	0.9996602

表 2. 「自動車の走行音」と環境音データベース内の音声データとの類似度

順位	環境音データベースの音声名	類似度
1	トラック	0.9986509
2	地下鉄発車	0.9985813
3	トラック（曲がり角）	0.9985732
4	車道	0.9985042
5	プロ野球場	0.9983186
6	野球観戦（拍手強）	0.9978217
7	野球観戦（拍手弱）	0.9975926
8	カラスの大群	0.9975392
9	工事現場	0.9975117
10	火事	0.9974493

含まれるざわめき音と類似性があると判断されたと考えられる。純粋なサイレン音を抽出するために、Audacity[13]を使用し、入力音声からノイズとなる低音を削減した。ノイズ削減処理を行った「電車がホームに進入するサイレン」と環境音データベース内の音声データとの類似度は下記の表 4 である。表 4 では、3 位に電車のサイレンがあり、狙い通りの結果となった。

加えて、「電車がホームに進入するサイレン」は大音量かつ突然鳴る特徴がある。ランキングの「グーでノック」や「風船破裂」など打撃音や爆発音など瞬発的な音が提示されているところから突発性も正確に検出されていると考察する。

### 4.3. 考察

必ずしもユーザが入力した音声に対し環境音データベースから該当する音声データが1位として検索されるわけではないが、10個ほど候補を挙げるとその中に含まれている可能性が高い。また、ユーザが入力した音声と全くカテゴリーの異なる音声データも候補に挙がるため、「プレーキ音」が不快と感じる場合「猫の喧嘩」も不快と感じる可能性が高いといったように、一見音の関係性が見られない音同士を結びつけることができる。聴覚過敏者は自身でも自分にとって不快な音を言葉で説明できないことが多く、不快と感じる音を特定するのが難しいという問題を抱えているが、本システムは聴覚特性に基づいて不快音をリコメンドするため、言語化が難しいカテゴリーの不快音についても、特定しやすくなるという利点があると言える。実験結果はこうしたリコメンドシステムが実現できていることを示している。

ただし、録音した際に判定したい音以外が入っている場合、ユーザのねらった音を優先的に提示することができない可能性がある。その際、ノイズ除去の処理を行うことで検索結果を改善できると考えられる。

また、現時点では、環境音データベースに松井[10]が述べる全ての生活音が揃えられてはいないため、より精度を高めるためには、さらに環境音データベースを充実させる必要がある。聴覚過敏者にとって不快になりうる生活音のタイプについても網羅性において不十分な点があるため引き続き調査する必要がある。

## 5. おわりに

本稿では、音声特徴相関分析を用いた聴覚過敏者のための不快音回避システムの実現について示した。本稿ではこれまで述べた ASD, ADHD に悩む多くの人々が抱える問題の一つである聴覚過敏の問題に着目し、聴覚過敏者が苦手としそうな音を検知した場合にアラートを出すシステムの実現方式を示した。本システムは、事前選択した音と同じ音はもちろんのこと、音声特徴として類似した音でもアラートを出すことが可能となる。本システムを実現することにより、聴覚過敏者にとっては、苦手とする音が発生する場所をなるべく早く察知することが可能となり、不快な状態を事前に避けることが可能となる。また、サポートする側にとっては、聴覚過敏者のそれぞれで異なる不快と感じる音の差を理解しながら、助けることが可能となる。

さらに、本稿では、様々な環境音の類似度計量を行

表 3. 「電車がホームに進入するサイレン」と環境音データベース内の音声データとの類似度

順位	環境音データベースの音声名	類似度
1	空港搭乗口	0.9931291
2	プロ野球場（応援歌）	0.9924315
3	おみあげ売り場（空港）	0.9917096
4	横断歩道（とおりゃんせ）	0.9877072
5	パーティ会場	0.9869519
6	プロ野球場	0.9869351
7	土砂の工事現場	0.9865284
8	電車の進入音	0.9859222
9	シャベルカー	0.9856113
10	電車の走行音	0.9852916

表 4. ノイズ処理をした「電車がホームに進入するサイレン」と環境音データベース内の音声データとの類似度

順位	環境音データベースの音声名	類似度
1	高架線下	0.99994
2	携帯閉じる	0.9999376
3	電車のサイレン	0.9999325
4	グーでノック	0.999932
5	段ボール箱を置く	0.9999235
6	外から車ドア閉	0.9999232
7	釘を打つ	0.9999201
8	風船破裂	0.99992
9	鞆を置く	0.9999199
10	鞆を乱暴に置く	0.9999079

う実験システムを構築し、不快音検知に活用できるかについて検証を行った。

本システムは、聴覚過敏者が不快音を回避する一助となりうると考える。また、本システムを実現するアプリが一般的に普及することによる、聴覚過敏をはじめとする感覚過敏、感覚統合の問題を抱える人への理解が進み、より一層多様な人々が安心安全で暮らすことができる環境を持続していくことが可能になると考

えられる。

今後の課題は、本システムを実現するモバイルフォン向けアプリケーションの開発、聴覚過敏者による本システムのテスト利用によるアンケート調査、本システムによる聴覚過敏における医学的見地からの貢献が挙げられる。

## 参 考 文 献

- [1] 辻富彦, “自閉症スペクトラムなどにおける聴覚過敏について-保護者に対するアンケート調査と文献的考察-”, 日本耳鼻咽喉科学会会報, Vol.121, No.5, pp679-687, 2018.
- [2] 高橋智, 増渕美穂, “アスペルガー症候群・高機能自閉症における「感覚過敏・鈍麻」の実態と支援に関する研究: 本人へのニーズ調査から”, 東京学芸大学紀要 総合教育科学系, Vo59, pp287-310, 2008.
- [3] 高橋秀俊, 神尾陽子, “自閉スペクトラム症の感覚の特徴” 精神神経学雑誌, Vol.120, No.5, pp369-383, 2018.
- [4] 長井志江, 奏世博, 熊谷晋一郎, 綾屋沙月, 浅田稔, “自閉スペクトラム症の特異な資格とその発生過程の計算論的解明: 知覚体験シミュレータへの応用”, 日本認知科学会第32回大会発表論文集, pp32-40, 2015.
- [5] 市川樹, 長井志江, 金沢星慶, 米倉将吾, 國吉康夫, “自閉スペクトラム症者の聴覚特性を対象とした主観的体験の再現による感覚特性のモデル化”, 人工知能学会全国大会論文集, 2020.
- [6] 島井哲志, 田中正敏 “環境音の快-不快評価と音圧の関係”, Vol.49, No.4, pp243-252, 1993.
- [7] 白石君男, 田中良和, “健聴者における環境騒音の許容レベルと不快レベルの測定”, 第55回日本聴覚医学会主題演題特集, Vol.54, No.2, pp138-146, 2011.
- [8] 柴田慎一, 秋田貴俊, 木村春彦, “簡易脳波センサを用いた快・不快音聴取時の情動推定に関する一考察”, 大同大学紀要, Vol.51, pp97-103, 2016.
- [9] 坂田俊文, 上野哲子, 市川大輔, 大庭哲, 久保田由紀子, 中川尚志, “聴覚過敏に対する不快閾値の有用性”, Vol56, No3, pp218-225, 2013.
- [10] 松井温子, 佐久間哲宣哉, “発達障害を伴う聴覚過敏と音環境に関する実態調査”, 日本建築学会技術報告集, Vol26, No62, pp169-172, 2020.
- [11] 効果音ラボ, <https://soundeffect-lab.info/>
- [12] 無料効果音で遊ぼう!, <https://taira-komori.jpn.org/index.html>
- [13] Audacity, <https://www.audacityteam.org/>