

# アウェアネス支援のための足音表現手法の検討

越後宏紀<sup>†1</sup> 小林稔<sup>†2</sup>

**概要:** 離れて暮らす家族がすぐ近くにいるような感覚を得られるシステムの実現に取り組んでいる。これまでに、複数のマイクロホンを用いて移動する足音を録音・再生することで生活の様子を伝達する方法を実験してきたが、不連続な移動が感じられ、目的を達成できていなかった。本稿では、複数のスピーカで再生する足音の音量を変化させる方法を複数種類比較検討する実験について報告し、目的の足音表現手法について検討する。

**キーワード:** 足音, アウェアネス支援

## Study on Footstep Expression Method for Awareness Support

HIROKI ECHIGO<sup>†1</sup> MINORU KOBAYASHI<sup>†2</sup>

**Abstract:** We are working on realizing a system that can obtain a feeling that a family living apart is nearby. We have experimented with a method of communicating the state of life by recording and playing footsteps moving using multiple microphones. However, discontinuous movement was felt and the object could not be achieved. In this paper, we report experiments comparing multiple kinds of methods for changing the volume of footsteps played by multiple speakers. In addition, we considered the footstep expression method for awareness support.

**Keywords:** footstep sound, awareness support

### 1. はじめに

家族が一つの屋根の下で暮らしていると、二階から聴こえてくる足音や、階段を昇降する足音、キッチンで料理する音、パソコンの操作音など様々な音が聴こえてくる。このような暮らしの中で聴こえる環境音は、実際に自分が音源の場所を目視していなくても、音の情報のみで音を出している人の行動を想像し、推測することができる。環境音を聴くことで、相手の存在感や安心感を感じることができたり、これらの環境音から相手の行動を推測し、コミュニケーションをとる機会を伺うことができたりする。例えば、「母親に聞きたいことがあるけれど、料理している音が聴こえるから後で話そう」、「今パソコンの操作する音が聴こえないから、父親に就職活動の相談をしにいつでも大丈夫かな」という具合である。

しかし、こういった体験は家族が離れ離れになると減少してしまう。近年では、高齢者の独り身世帯や単身赴任、学生の一人暮らしなど家族が離れ離れに暮らすことが増えてきている。日本の国勢調査では2015年現在、全世帯の約34.5%が一人世帯となっている[1]。日々の暮らしが共有できないことで、孤独感や生活リズムのずれ、コミュニケーション不足により気持ちが離れるなどの影響が生じる。これらの影響を解決するために、本研究では、離れて暮らし

ている家族がまるで近くにいるような感覚を得られるシステムの実現に取り組んでいる。遠隔地に暮らす家族の足音を記録し伝達することで、天井に設置したスピーカから遠隔地の足音が聴こえるシステムを開発している(図1)。

我々はこれまで、マイクロホンとスピーカを複数利用し、足音を聴いたときにどのように感じるのか調査してきた[2][3]。足音を録音するマイクロホンと足音を再生するスピーカを有線で接続し、足音の不快感や、スピーカから足音を聴いたときに足音と感じるのか、足音の軌跡がどこまで把握できるのか、について調査した[2]。その調査をもとに、遠隔地に足音を伝達する手法を検討した[3]。実験で用いた足音記録システムは、マイクロホンで足音を録音する手法を用いていたが、このシステムでは複数人が歩いているように聴こえたり、歩いている人がワープしたりしているように聴こえたりと、不自然な動きに聴こえてしまう問題があった。また、マイクロホンを利用すると、話し声や足音以外の環境音も伝達されてしまう可能性があることから、プライバシーへの影響が大きくなってしまった。

本稿では、不自然な動きに聴こえてしまうことを解決するために、足踏みの音源を音量制御し再生することで、足音の動きを表現する手法を試みた。音量制御した音声ファイルを複数種類用意し、どの変化が一番自然な動きとして伝達することができるのか比較実験を行った。

<sup>†1</sup> 明治大学大学院先端数理科学研究科先端メディアサイエンス専攻  
Program in Frontier Media Science, Graduate School of Advanced Mathematical Sciences, Meiji University

<sup>†2</sup> 明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科  
Department of Frontier Media Science, Faculty of Interdisciplinary Mathematic Science at Meiji University

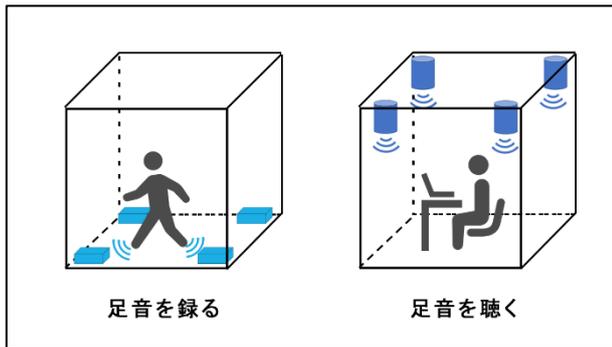


図1 本研究のイメージ図

Figure 1 Image of our goal.

## 2. 関連研究

### 2.1 プライバシーとアウェアネス

遠隔地の情報を伝達するシステムは、プライバシーへの配慮を考慮すると、伝達する情報量は限定的で少なくなりアウェアネスを感じにくくなる可能性がある。一方で、プライバシーへの配慮を低くすると、伝達する情報量は多くなり、アウェアネスを感じやすくなる。すなわち、プライバシーとアウェアネスはトレードオフの関係にあると考える。

#### 2.1.1 プライバシーへの配慮が高い遠距離支援システム

離れて暮らす家族の生活を支援するシステムは近年増えてきている。象印のみまもりポット[4]は、電気ポットを利用することで離れて暮らす家族にメールが届くようになっており、ポットの利用状況を把握することができる。辻田らの SyncDecor[5]は、遠距離恋愛支援システムとして、開閉が遠距離と同期しているゴミ箱 SyncTrash や、明るさが同期しているランプ SyncLampなどを提案している。椎尾らの Peek-A-Drawer[6]は、片方の引き出しの中の写真を遠隔地に自動転送することで、離れて暮らす家族に引き出しの中身を共有するシステムとなっている。Rowanらの Digital Family Portrait[7]は、ポートレートを通して、遠隔地に住む家族と繋がることによって、家族の生活を共有するシステムとなっている。これらのシステムは生活に溶け込みながら生活の様子を伝達することができ、伝達する側のプライバシーへの配慮が高い。一方で、伝達される側が得られる情報は少ない。

#### 2.1.2 情報量が多い遠隔地伝達システム

CSCWの分野では、遠隔地とのアウェアネスに着目した研究が多く取り組まれている。Dourishらの Portholes[8]は、複数の部屋にそれぞれカメラが設置してあり、部屋にいる人たちが何をしているのか、一目でわかる機能を提供している。Robertらの Video Window System[9]は、大型超ワイドスクリーンで遠隔地の部屋同士を接続しており、映像や

音声常時遠隔地に離れた部屋からわかるようなシステムとなっている。これらのシステムは、空間全体を伝達するため、得られる情報は多い。一方で、視覚的に遠隔地の情報を把握することができるため、プライバシーへの配慮は高くない。

#### 2.1.3 本研究の位置付け

本研究では、プライバシーへの配慮も考慮しつつ、情報量もアウェアネスを感じるために十分な量を伝達することを目的としている。足音の動きを空間的に伝達することで、ポットの利用状況やゴミ箱の ON/OFF の情報よりも多くの情報を伝達できると考える。また、足音のみを伝達するため、2.1.2 節の視覚を用いたシステムよりも情報量が少なく、プライバシーへの配慮が期待できる可能性がある。

## 2.2 音の定位を利用した研究

北岸らは、指向性スピーカを利用して足音の音場を移動させるところで、講演空間を歩き回る AR 型仮想 TA エージェント[10]を提案している。講演中に足音が聴衆者に近づいてくることで、聴衆者に存在感を与えることができる。織田らは没入型仮想共有環境において、発話内容を吹き出しで提示することで、聴覚障がい者の会話を支援するインタフェース[11]を提案している。発話ユーザと受話ユーザとの距離と視界によって吹き出しの提示方法を調整することで、聴覚障がい者が発話ユーザを容易に把握でき、会話の遷移がスムーズになる。Dhruvらは、HMD (Head Mounted Display)を用いて音の方向を可視化することで、聴覚障がい者が音の定位を把握しやすくするシステム[12]を提案している。会議や複数人でディスカッションする際、視野に入っていない人が発言していた場合、誰が話しているのか把握するには時間がかかってしまう。そのため、発話者の位置を HMD で可視化することで、現在誰が、どの方向から発話しているのか把握しやすくなる。

本研究では、AR 型仮想 TA エージェントのように足音を利用して存在感を伝達することを目指している。しかし、音の定位を正確に伝達することは重要視していない。足音の動きが伝達することができれば、正確な位置が把握できなくてもアウェアネスを感じるのではないかと考えている。また、音の定位の曖昧さを利用することで、伝達する側の正確な位置を伝達することなく、伝達される側はアウェアネスを感じるのではないかと考える。

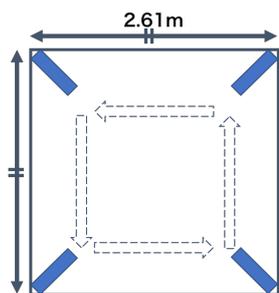


図2 録音時の歩行軌跡

Figure 2 Walking locus during recording.

### 3. 音量制御

#### 3.1 録音した足音

先行研究[3]で1辺が2.61mの正方形のスペースの中を辺に沿って歩行したときに録音した音を利用した。このときの歩行軌跡を図2に示す。

先行研究[3]で利用した足音の波形を図3に示す。4つのマイクロホンで録音し、足とマイクロホンの距離が最短であったところから2.61m移動するまでの足音の振幅を示している。縦軸は音の信号の振幅を正規化したもので、横軸は時間を表している。録音した足音の音声ファイルは全部で8つあったが、1つは足音以外の雑音が多く入っていたため7つのデータを使用して分析した。7つの録音データで2乗平均平方根(RMS)を行い、音の大きさの時間推移を調べた。RMSの推移は図3のオレンジ色の線で表している。RMSに着目すると、約0.1秒のところでRMSの値は最大となっていて、その0.8秒後には0.2以下になっていることがわかる。先行研究[3]で録音した際、歩速は約0.6秒であったため、最大で録音したときから2歩移動する間に0.2以下まで音の大きさは小さくなっていることがわかる。

#### 3.2 足踏みを使用し制作した音

前節の波形をもとに、足踏みの音源を利用して、足音の動きを表現する。使用した足踏みの音源は、効果音ラボ[13]で公開されている“フローリングの上を歩く2”を用いた。音源の音量調整は、音楽作成ソフト Cubase[14]を用いて行った。先行研究[3]では同時に4つのマイクロホンで足音を録音していたため、同時に録音していた4つの音声ファイルを参考に、足音の音量を調整した。

先行研究[3]で足音を録音した際、2.61mの距離を6歩で歩いていたので、1歩は約43.5cmとなる。また、使用した音源は歩速が約0.485秒/1歩であった。そのため、2.61m移動するための所要時間は2.91秒となる。このことを考慮し、音量を時間軸で変化させることとした。ここでは、マイクロホンから足音が遠ざかっていく様子について言及する。0.00秒-0.37秒間でRMSの値が最大となっているところを

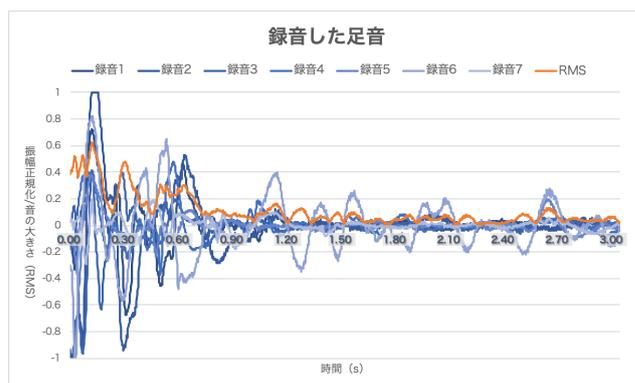


図3 録音した足音の波形

Figure 3 Waveform of Footsteps during recording.

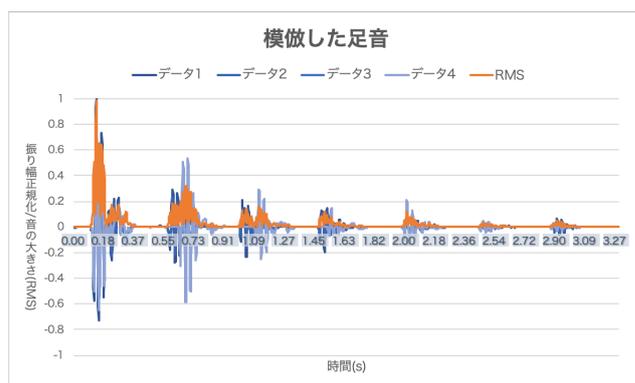


図4 録音時を模倣した足音の波形

Figure 4 Waveform of Footsteps imitating recording.

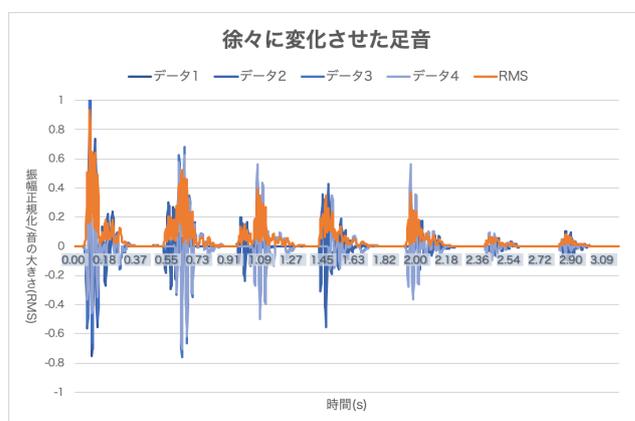


図5 音量を徐々に変化した足音の波形

Figure 5 Waveform of Footsteps whose volume is gradually changed.

1歩目、0.55秒-0.91秒間でRMSの値が最大となっているところを2歩目、といったように表現することとする。

#### 3.2.1 模倣した足音

3.1節の波形をもとに、足踏みの音源を用いて制作した音声ファイルの波形を図4に示す。2歩目のRMSの値が0.3程度、それ以降の足音のRMSの値は0.2以下になっており、図3と同じようなRMSの値の推移担っていることが分かる。

### 3.2.2 足音の音量を徐々に変化させた音

足踏みの音源の音量を徐々に変化させて制作した音声ファイルの波形を図5に示す。1歩目のRMSの値は図4とほとんど変わらないが、2歩目のRMSの値は0.5程度になっており、図4よりも大きい値になっていることがわかる。また、その後の足音も図4より大きくなっており、図4に比べて滑らかに音量が小さくなっていることがわかる。

図5に示した波形を制作した過程について述べる。マイクロホンで録音した際、マイクロホンから2.61m以上離れているときにも小さい足音が聴こえていたことから、2.61m以上離れているときは-18dBの音量になるように制作した。すなわち、最大音量の足音が聴こえたときを0dBとしたとき、2.91秒間で-18dBまで線形的に音量が小さくなる。音量をG(dB)、時間をt(s)とした数式で表すと、以下のようなになる。

$$G = -\frac{600}{97}t$$

この音量を信号処理する際、音の強さを計算するために振幅特性を用いる。振幅特性を $|F(\omega)|$ としたときの計算式は、以下のように表すことができる。

$$G = 20 \times \log_{10}|F(\omega)|$$

### 3.2.3 足音の音量を徐々に変化させた音2

3.2.2節よりも傾きが急な音声ファイルを制作する。2.61mで-18dBになるのではなく、その半分の距離の1.305mで-18dBになるように設計した。すなわち、1.455秒で-18dBになるように音量を変化させる。これを式で表すと以下のようなになる。

$$G = -\frac{1200}{97}t$$

この式を参考に制作した音源の波形を図6に示す。図6では式の結果と多少誤差があるが、図4よりも滑らかに音量が変化しており、図5よりも早い時間で音の大きさが小さくなっていることがわかる。2歩目のRMSの値は図4とほとんど変わらないが、その後の0.9秒-1.82秒間のRMSの値は大きくなっている。一方で、図5と比較すると、2歩目以降RMSの値は小さくなっていることがわかる。

## 4. 実験

### 4.1 実験目的

本稿では、足音が瞬間移動する、複数人に聴こえるといった、不自然に移動しているように聴こえることを解決することを目的とし、音量制御方法について調査している。また、マイクロホンではなく、足踏みの音源を利用して足音の移動を表現しても違和感がないかということ調査した。

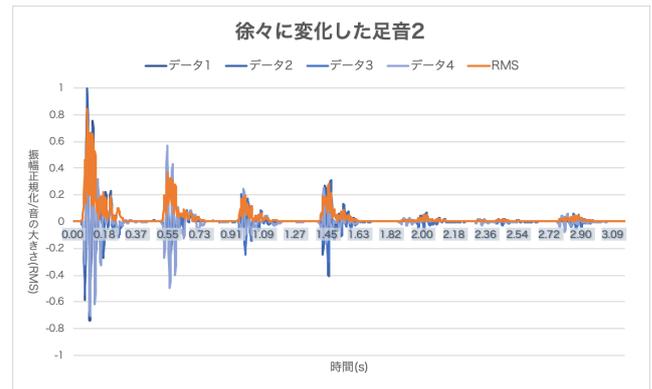


図6 音量を徐々に変化させた足音2の波形

Figure 6 Waveform of Footsteps No.2 whose volume is gradually changed.



図7 実験の様子

Figure 7 Experimental situation.

### 4.2 実験スペース

実験スペースは、先行研究[2][3]と条件を揃えるために、1辺が2.61mの正方形スペースを用意した(図7)。実験スペースの各頂点に仮説ポールを設置し、床から天井に向かって2mの高さにスピーカを下向きに設置した。スピーカは4つそれぞれ仮説ポールに設置されており、Raspberry PiとBluetoothで接続している。実験参加者は、実験スペースの中央に座ってもらった。実験に使用したスピーカはソニー製のSRS-XB10を使用した。

### 4.3 足音再生システム

足音を4カ所のスピーカから同時に再生する為、先行研究[3]と同様の足音を再生するシステムを構築した。Pythonを用いて、ノートパソコンをサーバ、Raspberry Piをクライアントとした。UDP (User Datagram Protocol)通信でノートパソコンからRaspberry Piに同時に再生の合図を送る。足音の再生時間を同期するために、NTP (Network Time Protocol)[14]を使用した。NTPとはネットワークに接続している機器の時刻を同期するプロトコルであり、端末間の誤差を減らす。そのため、複数のRaspberry Piの時刻をNTP

に設定し、すべての Raspberry Pi の時刻を合わせる。再生の合図と再生する時刻を同時に送ることで、Raspberry Pi 同士の誤差を減らすことができる。日本標準時グループ[15]によると、NTP のサーバのタイムスタンプ精度は日本標準時に対して 10 ナノ秒以内であるとされている。今回の実験では 10 ミリ秒以内の誤差を許容するように設計したが、Raspberry Pi とスピーカが Bluetooth で接続されている影響もあり、最大で 100 ミリ秒程度の遅延が生じていた。

#### 4.4 実験条件

実験は表 1 の 4 条件で比較する。実験参加者には、表 1 に示した 4 条件の音声をそれぞれ再生し聴かせた。アンケートは表 1 の条件ごとに回答させた。実験参加者への質問と選択肢を表 2 に示す。表 2 の Q1, Q2, Q4 は 7 段階のリッカート尺度で評価させた。条件の順番は、順番による結果への影響を考慮し、ラテン方格法を用いた。

実験後、実験参加者には表 3 に示した質問を行った。実験参加者には「何回目」と回答してもらったが、ラテン方格

表 1 実験の条件

Table 1 Experimental conditions.

条件 a	録音した足音
条件 b	条件 a を模倣した足音 (3.2.1 節)
条件 c	徐々に変化させた足音 (3.2.2 節)
条件 d	徐々に変化させた足音 2 (3.2.3 節)

表 2 実験の質問一覧

Table 2 Questionnaire list of Experiment.

Q1	足音だと感じましたか (1. 全く感じなかった - 7. 非常に感じた)
Q2	この足音は、遠隔地にいる人が瞬間移動しているように感じましたか (1. 全く感じなかった - 7. 非常に感じた)
Q3	上記の Q2. で回答したように感じた理由をご記入ください (自由記述)
Q4	複数人の人が歩いているように感じましたか (1. 全く感じなかった - 7. 非常に感じた)
Q5	上記の Q4. で回答したように感じた理由をご記入ください (自由記述)

表 3 実験後の質問一覧

Table3 Questionnaire list of After experiment.

Ex-Q1	4 回聴いて、1 番 1 人が生活しているように感じたのは何回目の時でしょうか (1 回目, 2 回目, 3 回目, 4 回目, どれも変わらなかった)
Ex-Q2	Q1. のように感じた理由があればご記入ください (自由記述)

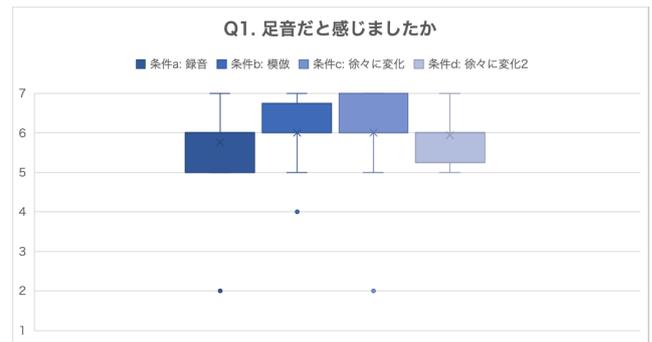


図 8 Q1 のアンケート結果

Figure 8 Result of questionnaire Q1.

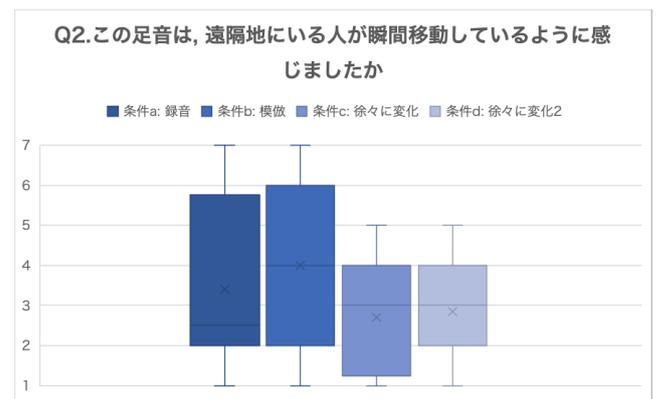


図 9 Q2 のアンケート結果

Figure9 Result of questionnaire Q2.

法を用いて条件の順番を変えているため、結果では条件ごととして評価および分析を行っている。

実験参加者は 22-25 歳の学生 20 名 (男性 15 名, 女性 5 名) である。実験前に「マンションやアパート、一軒家などで「上の階から足音が聴こえる」という経験はありますか」という質問を行ったところ、「はい」と答えた実験参加者が全体の 85% であった。また、実験参加者には実験で足音が聴こえて来ることは事前に伝えたが、何人歩いているか、については伝えなかった。

#### 4.5 実験結果

「Q1. 足音だと感じましたか」という質問の結果を図 8 に示す。どの条件も 5 以上に集中しており、条件間に大きな差は見られなかった。

次に、「Q2. この足音は、遠隔地にいる人が瞬間移動しているように感じましたか」という質問の結果を図 9 に示す。どの条件も平均するとほとんど差は見られないが、条件 a と条件 b は 1-7 まで選択されているのに対し、条件 c と条件 d は 6, 7 を選択した実験参加者はいなかった。Q3 で Q2 の選択した理由を記述させたところ、条件 a で 2 と答えた実験参加者は「瞬間移動というより、複数人がいるように感じた」という意見が多かった。一方で、7 と答えた実験参加者は「1 つの足音が消えてから他の方から足音が聴こ

えたから」という意見があった。条件 b で 2 と答えた実験参加者は「生活の中の音と比べて違和感を感じなかったから」という意見があった。一方で、6 と答えた実験参加者は「(右前方から左後方) にむけて一瞬で移動しているように聞こえた」「足音が不自然な場所で発生していた気がする」といった意見があった。

「Q4. 複数人の人が歩いているように感じましたか」という質問の結果を図 10 に示す。条件 a, b, c はほとんど差が見られなかったが、条件 d は他の条件に比べて複数人が歩いているように感じないことが分かった。Q5 で Q4 の選択した理由について記述してもらったところ、条件 a, b では「自分から見て、右の人は右側だけ、左の人は左側だけを移動している印象だった」、条件 c では「いくつかの箇所です同時に音が出ていた気がしたため」といった意見が多かった。条件 a, b では 5 と答えた実験参加者が一番多く、条件 c では 6 と答えた実験参加者が一番多かった。一方で、条件 d では 1 と答えた実験参加者一番多く、平均も 3.1 と 4 条件の中で唯一 4 未満であった。

実験後、「Ex-Q1. 4 回聴いて、最も 1 人が生活しているように感じたのは何回目の時でしょうか」という質問の結果を図 11 に示す。条件 d と答えた実験参加者が一番多く、全体の 50% であった。2 番目に多かったのは条件 a の 25% であった。条件 d を選択した実験参加者は「軌跡が追いやすく特に不快に感じる要素がなかった」「人が歩き回っている感じがしたから」「重複する音が少なかった」という意見があった。条件 a を選択した実験参加者は「ノイズがそれっぽかった」「足音以外のノイズっぽい音が、ライブ感(加工されてない音)を感じさせた」とノイズについての意見が多かった。

#### 4.6 結果の考察

Q1 で条件ごとに差が見られなかったことから、足踏みを音量制御したものを利用しても、足音であると感じることが分かった。

Q2 では条件 a と条件 b が 1-7 まで選択されているのに対し、条件 c と条件 d は 1-5 に選択が集中していることから、急激に音に変化すると、瞬間移動しているように感じやすいのではないかと考えられる。1 や 2 を選択していた実験参加者も、瞬間移動のように感じていないが、複数人歩いているように感じていたことから、一人が歩いているとしたら不自然な動きだと感じていると考える。

Q4 の結果から、条件 d が他の条件に比べて複数人に聞こえず、最も自然に聞こえるのではないかと考えられる。条件 a と条件 b は、足音が「左右それぞれで別の人が歩いているように感じる」という実験参加者が多く、条件 c では「明らかに二つ以上の足音が同時に聞こえたため」という複数の足音が同時に聞こえたことから、複数人に感じた実験参加者が多かった。すなわち、条件 a と条件 b は同じ

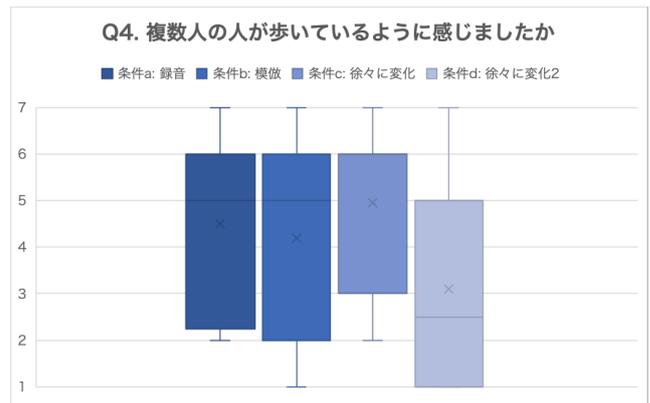


図 10 Q4 のアンケート結果  
 Figure 10 Result of Questionnaire Q4.

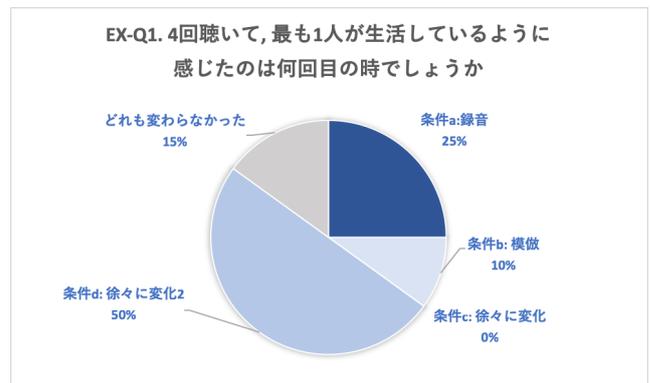


図 11 実験後アンケート結果  
 Figure 11 Result of questionnaire after experiment.

ような結果になっているが、複数人に感じた理由は異なっていると考える。条件 c の足音は時間の誤差が無い場合、一つにつながっているように聞こえるが、Raspberry Pi 間で若干の誤差が生じているため、足音が複数人に聞こえるのではないかと考える。条件 d では、その若干のずれが生じていても、他のスピーカの音量が大きくなる前に、足音が聞こえているスピーカからの音が小さくなるため、複数人に感じにくいのではないかと考える。

実験後の質問結果から、条件 d が最も一人が生活しているように感じると考えられる。しかし、条件 a と答えた実験参加者から、ノイズが入っていた方が生活感を感じるという意見も得られた。これまで、生活するにあたって自然に足音が感じられるようにと考えていたため、ノイズは排除しようと考えていた。今回の実験結果から、足音の音源にノイズを付与することで「遠隔地の足音が伝わってきている」ということをアウェアネスに伝えることができるのではないかと考える。また、ノイズを入れることで足音が知覚的補完され、連続聴効果[16][17]が期待できるのではないかと考える。すなわち、条件 d にノイズを付与することで、スピーカ間の足音の音量の変化がより滑らかに感じられ、より自然な足音の動きを表現できるのではないかと考える。

次に、マイクロホンではなく足踏みの音源を利用して足音の移動を表現しても違和感がないのかについて実験結果より考察する。条件 a と条件 b を比較し、マイクロホンで実際に録音した足音と、足踏みの音源を音量制御させた足音とでは、どの結果も差がほとんど見られなかった。そのため、マイクロホンで録音せず、足踏みの音源を用いて、その音量を変化させるだけで足音が動いていることを表現できると考える。すなわち、マイクロホンを使用せず、赤外線センサや超音波センサなどの距離を測定するセンサや画像処理、トラッキングによる位置測定で足音の動きを表現できると考える。また、センサで得た数値による音量制御した足音にノイズを付与することで、マイクロホンで録音した時よりも複数人に感じず、より正確で自然な足音の動きを伝達できると考える。

## 5. 距離による音量制御手法

4章の実験結果から、3.2.3節で述べた条件 d の式を距離で算出する。センサを2つ以上用いた場合のセンサ間の距離を L (m)、センサと足との距離を l (m)としたとき、音量 G (dB)は以下の式で表すことができる。

$$G = -36 \times \frac{l}{L}$$

従って、振幅特性 $|F(\omega)|$ は以下の式で表すことができる。

$$|F(\omega)| = 10^{\frac{-9l}{5L}}$$

距離で表すことで、センサに近づくに連れて足踏みの音量は大きくなり、センサから遠ざかるに連れて音量が小さくなる。また、このとき歩幅や歩速によって音量の変化が左右されない。すなわち、センサ間の距離が分かれば、センサと足との距離を測定するだけで足音の動きを表現することができる。

## 6. まとめと今後の展望

本稿では、先行研究[3]で解決できなかった、「足音が複数人聴こえる」「足音がワープしているように聴こえる」といった不自然な動きに聴こえてしまうことを解決することを目的として、足踏みの音源の音量制御方法について調査した。また、マイクロホンで録音した足音と足踏みを音量制御した足音を比較し、マイクロホンを使用せずに足音の動きを表現できるかどうか調査した。実験の結果、5章で述べた式を用いて音量を制御することで、自然な動きを表現できることが示唆された。また、マイクロホン以外のものでも足音の動きを表現できる可能性が示唆された。今後は、マイクロホンに代替する足音記録伝達システムについて検討していきたい。

**謝辞** アンケート及び実験にご協力頂いた皆様に、謹んで感謝の意を表す。また、本研究は JSPS 科研費 JP18K11410 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] “平成 27 年国勢調査人口等基本集計結果”, 総務省統計局, <https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/kekka.html>, (参照 2019-02-24).
- [2] 越後宏紀, 小林稔. アウェアネス支援を目的とした足音記録伝達システムの検討. ワークショップ 2018(GN Workshop 2018)論文集, 2018, p.1-8.
- [3] 越後宏紀, 小林稔. アウェアネス支援のための足音伝達手法の検討. 研究報告グループウェアとネットワークサービス, 2018, vol.2019-GN-106, No.20, p.1-8.
- [4] “みまもりほっとライン | 象印マホービン株式会社”. <http://www.mimamori.net/>, (参照 2019-02-24).
- [5] 辻田眸, 塚田 浩二, 椎尾 一郎. 遠距離恋愛者間のコミュニケーションを支援する日用品“SyncDecor”の提案. インタラクティブシステムとソフトウェア, 2009, Vol.26, No.1, p.25-37.
- [6] Siiio, I., Rowan, J., Mima, N. and Mynatt, E. Digital Decor: Augmented Everyday Things. in Graphics Interface 2003, 2003, p.159-166.
- [7] Rowan, J. and Mynatt, E. D. Digital Family Portrait Field Trial: Support for Aging in Place. in CHI '05: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, New York, NY, USA, ACM Press, 2005, p.521-530.
- [8] Dourish, P. and Bly S. Portholes: Supporting Awareness in a Distributed Work Group. Proc. CHI'92, 1992, p.541-547.
- [9] Robert, S. F., Robert, E. K. and Barbara, L. C. The VideoWindow System in Informal Communications. in Proc. of ACM Conf. on Computer Supported Cooperative Work, 1990, p.1-11.
- [10] 北岸佑樹, 米澤朋子. 講演中の聴衆の聴講態度に応じて移動する音響 AR 型足音 TA エージェントの検証. 2017 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集, 2017, p.1-8.
- [11] 織田修平, 八木貴史, 小林稔, 石橋聡. 没入型仮想共有環境における聴覚障害者の会話支援インタフェースの開発. 情報処理学会論文誌, 2002, Vol.43, No.11, p.3385-3394.
- [12] Dhruv, J., Leah, F., Jamie, G., Benjamin, H., Ramani, D., Dmitry, Z., Christian, V., Jon, E. Head-Mounted Display Visualizations to Support Sound Awareness for the Deaf and Hard of Hearing. In CHI'15: Proceedings of the 33<sup>rd</sup> Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, New York, NY, USA, ACM Press, 2015, p.241-250.
- [13] “効果音ラボ”, <https://soundeffect-lab.info/sound/various/>, (参照 2019-02-24).
- [14] “Cubase”, <https://japan.steinberg.net/jp/home.html>, (参照 2019-02-24).
- [15] “日本標準時 (JST) グループ”, <http://jty.nict.go.jp/tsp/PubNtp/index.html>, (参照 2019-02-24).
- [16] 柏野牧夫. 音韻修復-消えた音声を修復する脳. 日本音響学会誌, 2005, p.263-268.
- [17] “Illusion Forum イリュージョンフォーラム 錯聴 知覚的補完連続聴効果”, <http://www.kecl.ntt.co.jp/IllusionForum/a/continuityIllusion/ja/indn.html>, (参照 2019-02-24).