

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

Auditory AR Agent with Footstep Sound Localization
Corresponding to Audiences' Attitude in One-to-many Communication

北岸 佑樹[†] 米澤 朋子[†]
Yuki Kitagishi Tomoko Yonezawa

1. はじめに

一人対多数のコミュニケーションシーンとして、大学などで行われるような講演において、講演者は講演内容を話す以外に、聴衆の反応に応じて講演内容を変更したり、講演進行の妨げとなる聴衆に注意喚起を行わなければならない。聴衆の数が多くなると、聴衆の反応を把握することが困難になったり、聴講態度などの問題で個別の対応を行う必要が生ずるシーンや対象者が増えるなど、講演者への負担が大きくなる。大学で行われるこのような講演では、TA (Teaching Assistant) を活用することで講演者の負担を軽減することが可能である。しかし、TA の業務は質疑応答や資料配布などであり [1]、個別の対応が必要な聴講態度の聴衆に対する対応は本来の業務ではない。

我々はこれまでに、パラメトリックスピーカをサーボモータを用いて回転させて音場を移動させることで、講演空間を歩きまわる AR 型仮想 TA エージェント (以下、仮想 TA) を提案してきた [2]。仮想 TA は我々がこれまでに提案してきた講演中の聴衆の参加度推定結果 [3] に基づく自動制御やユーザの手动操作により、周囲の聴衆や講演進行の妨げとなっている聴衆に向かって歩いて行くように歩行音の音場移動を表現するものである。仮想 TA が近づいて講演者が聴衆に対して注目していることを婉曲的に伝えることで、問題のある聴衆の自省及び沈黙化を目的とする他、個別対応のある聴衆への講演者の意図を知らせることができる。このシステムの実現により、個別対応が必要な問題発生時も講演者や TA の時間や労力を軽減させ、本来行うべき役割 (聴衆の反応に合わせた講演進行や質疑応答) に注力できると考えた。

本稿では、指向性を持つスピーカを利用して足音の音場を移動することで、姿の見えない誰か (本稿における仮想 TA) が歩いているように表現することができるかを検証するとともに、仮想 TA が聴衆に対して持つ影響力を調べた。尚、本稿では姿の見えない仮想 TA が“そこ”を歩いている、“そこ”にいると感じる感覚を、存在感*として扱う。

2. 関連研究

2.1 パラメトリックスピーカについての研究

パラメトリックスピーカ (超指向性スピーカ、超音波スピーカ) は、オーディオ信号によって振幅変調された超音波がほぼ平行ビームとして伝搬されることで、強い指向性を持つ音が出力されるスピーカである [5]。パラメトリックスピーカから出力された超音波を音源としたい位置に直接照射したり、超音

波の反射性を利用して反射位置に音源を生成する利用方法がある。

2.1.1 反射音を用いた研究

障害物に対してパラメトリックスピーカからの音を照射することで、反射音により視覚障害者に障害物の存在を気付かせるシステム [6] や、マーカ付きの対象物にカメラとパラメトリックスピーカを搭載するデバイスを向けることで、マーカを認識してそれに応じた音声情報を発するシステム [7] がある。これらは、対象物にパラメトリックスピーカから発せられた音を照射することで、対象物を音源とするものである。本研究では、これらと同様に反射音を利用することで、仮想 TA の足音を表現してその存在感を提示する。

また、音像プラネタリウム [8] を利用した視聴覚併用 MR システムがある [9]。このシステムは、音像定位知覚精度を向上させるため、パラメトリックスピーカによる移動音像に対して、音源位置の仮想物体を CG で重畳描画する。この研究は超音波照射位置からの反射音の利用と音源移動の知覚を用いるという点で、本研究と類似している。しかし、DBAP (Distance-Based Amplitude Panning) を用いた音源移動は、聴取者がその移動地点間にいる場合において、音に包まれたような感覚を起こしてしまう。本研究では照射角度が可変なデバイスを導入してこの問題を防ぐとともに、教室前方の高所に 2 軸パラメトリックスピーカを設置するだけで比較的設置が容易となる [10]。

将来的には足音に加えて、音像の仮想物体である仮想 TA のシルエットや足跡を床に CG で重畳描画することが考えられるが、足音そのものがもたらす仮想 TA の存在感と聴衆への影響を調べるため、現段階では音像定位のみを用いることとした。

2.1.2 特定対象への音声伝播研究

パラメトリックスピーカを用いた特定の聴衆への呼びかけシステムがある [10]。このシステムは教室前方のパラメトリックスピーカをサーボモータを用いて回転させることで、特定の聴衆のみに音声を伝搬している。一人対多数コミュニケーションの支援を行うという点で本研究と目的は類似している。

2.1.3 パラメトリックスピーカを用いた行動誘発

パラメトリックスピーカを用いて対象者が快・不快を感じるような音場を生成することで、特定対象者の行動を誘発するシステムがある [11]。実験の結果、不快音 (ホワイトノイズ) を用いることで、不快音の照射位置から対象者を遠ざける効果が示唆された。本研究と同様に、局所的な音場を生成することで特定対象者の行動変容を狙うものだが、同様に聴衆に対して不快音を照射することは倫理的問題を伴う。また、不快音を用いると対象者の移動しか誘導できないため、聴衆を教室から追い出すという結果に繋がりがかねない。また、注意対象の付近の聴

[†] 関西大学 総合情報学部, Kansai University, Faculty of Informatics

* 辞書での意味は、そこに確かに存在しているという実感、である [4]

衆に対しても悪影響を及ぼす影響があり、講演において不快音を使用することは推奨されないと考えられる。よって本研究ではアンビエントな足音の異動により気づきをもたらす行動変容させることを狙う。

2.2 仮想エージェントの存在感についての研究

エージェントの存在感を音を用いて表す ITACO システムがある [12]。この研究は、音を用いて仮想エージェントの存在感をユーザに提示するという点で似通っているが、ユーザがエージェントに親近感を抱くことを目的としており、本研究の目的と異なる。我々の仮想 TA の役割は聴衆への注意であり、親近感のある存在となることではない。しかし、将来的に仮想 TA の役割を聴衆への注意に限らず、インタラクティブにコミュニケーションを行う存在へと拡張する時、この研究によって得られる知見は必要だと考えられる。

こっくりさんシステムや仮想同居人表現システムなど、文脈によって仮想エージェントの存在感を表現するシステムがある [13]。これらは、仮想エージェントの動作を明示的に表現するのではなく、文脈により間接的に表現することで、仮想エージェントの存在感をユーザに提示するものである。本研究とは、間接的なエージェントの存在提示という点で類似している。本研究では、一人対多人数のコミュニケーションにおいて聴衆に対し他者の存在をアンビエントに提示する手法を適用する。

2.3 TA 補助についての研究

近年、TA の役割を担うシステムが開発されつつある。時間外の外国語会話教育を支援するため、仮想空間上に TA ロボットが常駐するシステムがある。[14]。この TA ロボットは入力に対して自動応答するプログラムであるチャターボットが使用されていて、授業時間内外に関わらず、また会話練習のためのコミュニティ形成の手間なく学生の支援が可能である。また、e-Learning 学習を支援するための汎用 TA エージェントシステムがある [15]。予め用意された手順書と学生の画面キャプチャをもとに、学生の現状を把握して PC の画面上で TA エージェントがアドバイスをを行う。これらはいずれもオンライン上でのサポートを行うものであり、AR という形で TA システムが実世界に影響を及ぼす本研究とは異なる。

Goel らは IBM 社の提供する Watson[†]を用いて、学生のグループワークに対する認知的補助を行わせたり、オンライン上での質問に対応させている [16]。このシステムにより、学生の学習の質が高まり、結果として授業に臨む姿勢が良くなり、最終的には授業環境の良好化に寄与する可能性があるが、本研究のように受講姿勢に対してアクションを行うことはできない。

3. システム

3.1 システム概要

本システムは、一人対多人数講演を行う教室において仮想 TA の足音移動の音響的表現を行う。講演時の聴衆の様子を USB カメラで撮影して、聴衆の動きから推定される彼らの局所的な参加状況 [3] に応じて、仮想 TA の待機位置から注意対象となる聴衆のもとへ仮想 TA が歩いて行くように足音の移動が表現される。また、講演者のシステム操作によって、講演者

が指定した位置を仮想 TA が歩くように表現することも可能である。

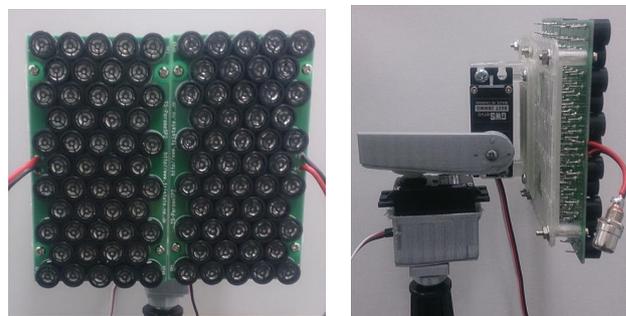
3.2 システム構成

3.2.1 構成ソフトウェア

- ARDUINO1.6.13 (マイコン制御用)[‡]
- Python3.5.3[§]

3.2.2 構成ハードウェア

- 2軸サーボモータ搭載パラメトリックスピーカ (以下、2軸パラメトリックスピーカ、図 1)
 - パラメトリックスピーカ[¶]
 - サーボモータ (GWS S03T 2BBMG)^{||}
- Arduino Uno (サーボモータ制御用マイコン)
- Macbookair 13-inch Mid 2012(Intel Core i5-3427U, 8GB 1600MHz DDR3)**



[1] 前面 [2] 側面

図 1 2軸パラメトリックスピーカ

3.3 仮想 TA の体格

仮想 TA の歩幅と歩行ペースを決定するため、仮想 TA の体格を設定した。身長は厚生労働省が公開している身体情報調査結果 [17] を参考に、大学院生として多いと考えられる 23-25 歳の男性の伸長を参考に、170.0cm とした。歩幅は、オムロン [18] やタニタ [19] の web ページを参考に 76.5cm / 歩 (式 1) とした。歩速は、不動産の案内で用いられる徒歩所要時間 (80m / min.) を参考 [20] に 0.6sec. / 歩とした (式 2)。

$$\text{身長 (170.0cm)} \times 0.45 = 76.5\text{cm/歩} \quad (1)$$

$$76.5\text{cm/歩} \div (8000\text{cm/min.} \div 60\text{sec.}) = 0.6\text{sec./歩} \quad (2)$$

2軸パラメトリックスピーカを A, 2軸パラメトリックスピーカの設置床面を B, 足音発生位置を P, A と P の直交点を C とする (図 2)。この時, x, y 軸のサーボモータの角度 $\angle APC, \angle APB$ は式 3 に従う。

$$\angle APC = \arccos\left(\frac{AC}{\sqrt{AC^2 + CP^2}}\right)$$

[‡] <https://www.arduino.cc/>

[§] <https://www.python.org/>

[¶] 有限会社トライステート パラメトリック・スピーカ実験キット: <http://www.tristate.ne.jp/parame.htm>

増設スピーカキット: <http://www.tristate.ne.jp/parame-addsp.htm>

^{||} <http://www.gws.com.tw/english/product/servo/standard.htm>

** https://support.apple.com/kb/SP650?locale=ja_JP&viewlocale=ja_JP

[†] <https://www.ibm.com/watson/>

$$\angle APB = \arccos\left(\frac{AB}{\sqrt{AB^2 + BP^2}}\right) \quad (3)$$

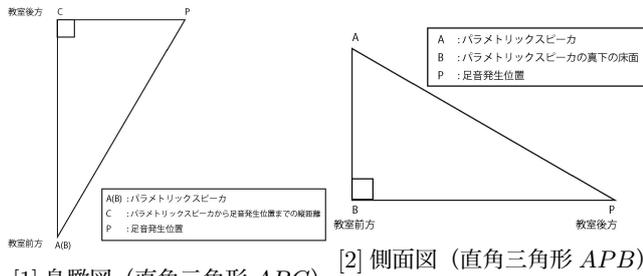


図2 サーボモータ制御

4. 検証

本稿で提案したシステムが、講演を聴講中の聴衆へ与える影響について2つの実験により評価した。2つの実験の実験環境、実験参加者、実験刺激素材は共通しているため、まず以下に記す。

実験環境 (共通) : 幅 719.3cm, 縦 1739.6cm の実験室の前側 855.9cm で実験を行った (図3)。この実験室の床材はカーペット材のため、パラメトリックスピーカの音が吸収、乱反射されることで音の指向性が減少してしまうと考え、床一面に模造紙を敷き詰めて、音の吸収、乱反射を軽減した。実験室の静音時の騒音レベルは約 37dB である。

刺激動画は短焦点プロジェクタを用いて、幅 300cm, 高さ 180cm で実験室前方ホワイトボードに投影した。音源再生用のスピーカとして、パラメトリックスピーカとラウドスピーカ^{††}を用いた。

実験参加者 (共通) : 正常な聴力を有している 19-24 歳の大学生 32 名 (女性 12 名, 平均年齢 21.66 歳, 標準偏差 1.36) を対象とした。ここで正常な聴力を有していることを条件としたのは、本実験が音刺激を用いるため、聴覚に何かしらの障害を有していた場合、実験結果に影響すると考えたためである。また、提案システムが行動を誘発する対象は学生などの日常的に講演を聴講している対象であることが多いと考え、学生であることを条件とした。

実験刺激素材 (共通) :

システム: 本稿で提案するシステムを利用する

足音: 効果音ラボ^{†††} で公開されている“スタンダード歩行音”に対して、パラメトリックスピーカの特性を考慮して 400Hz のハイパスフィルタ処理を行ったものを用いた。足音はラウドスピーカで再生される時は実験参加者位置で 45dB となるように、パラメトリックスピーカから再生される時は実験参加者横を仮想 TA が通過する時に、実験参加者位置で 45dB となるように再生される。

刺激動画: 数独ゲームのプレイ動画を 45 秒程度に分割したものを条件数用意した

^{††} 周波数特性: 180Hz-20KHz

<https://www.sanwa.co.jp/product/syohin.asp?code=MM-SPU8BK>

^{†††} <http://soundeffect-lab.info/>

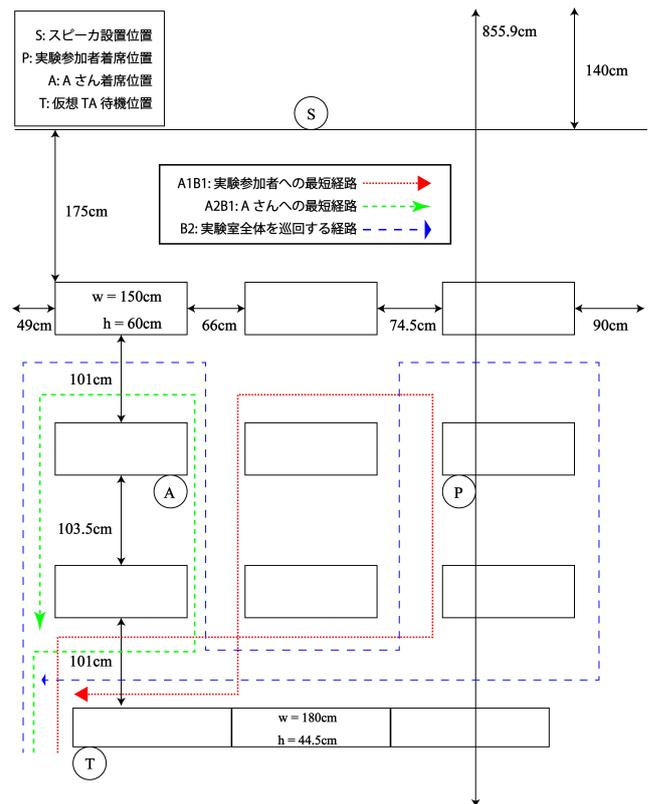


図3 実験環境

漫画: “動物のお医者さん”の1, 2巻 [21]

4.1 実験1: 足音の指向性をもたらす姿の見えない誰かの存在感の検証

実験目的: パラメトリックスピーカをサーボモータを用いて回転させて足音の音場を移動させることで、姿の見えない存在がその場を歩いているように表現することが可能であることを検証する。

実験仮説: 足音の音場が指向性を持って移動することで、姿の見えない誰か (本稿における仮想 TA) がそこを歩いているような存在感を提示することができる。

実験条件: 被験者内実験計画として、1 要因 2 水準の計 2 条件を設定した。

A 音の指向性: A1 あり (パラメトリックスピーカ), A2 なし (ラウドスピーカ)

実験手順: 実験開始前に、実験参加者に、1) 授業中であると想定し、実験参加者は受講生として振る舞う、2) 実験参加者と実験者以外に誰も居ないが、各座席には受講生が座っているものとする、ということが教示内容として伝えられた。

実験の手順は、1) 実験者の合図で刺激動画が流れ始め、実験参加者はそれを授業内容として視聴する。2) 刺激動画の再生開始から 5 秒後に、提案システムにより実験条件に応じた指向性を持つ足音が再生される。3) 足音の再生終了から 5 秒後、実験者の指示で実験参加者はアンケートに回答する。以上の 1-3 の手順を全条件分繰り返した。この時、実験参加者には足音が

流れることは伝えず、映像を視聴することだけを指示した。足音は、実験室内全体を巡回するように表現した。

実験参加者は上記の実験課題に取り組む前に、実験条件とは関係ない音で練習課題に取り組んだ。実験条件は順序交差を考慮して提示した。実験環境を統制するため、条件に関わらず実験空間内のパラメトリックスピーカは制御サーボモータを用いて回転させ制御音を同じタイミングで発生させた。

評価項目:

- Q1 教室内を音をたてるものが動いていた
- Q2 教室内に音をたてるものがあつた
- Q3 あなた自身と実験担当者を除く、誰かが教室内に居た
- Q4 あなた自身と実験担当者を除く、誰かが教室内を歩いていた
- Q5 あなたに向かって、誰かが歩いてきた
- Q6 足音は誰の足音だと思いましたか (1: 教員, 2: TA, 3: 他の受講生, 4: その他)

実験参加者は Q1-Q5 に対して MOS (Most Opinion Score) 法に従い、1: 全くそう思わない, 2: あまりそう思わない, 3: どちらとも言えない, 4: ややそう思う, 5: 強くそう思うの 5 段階で回答した。また、Q6 に対して選択肢の中から最も適していると思うものを選択した。さらに、自由記述欄も設けた。回答の際、実験参加者には設問に対して深く考えすぎず 10 秒ほどで直感的に回答するように指示した。

Q1, 2 は実験室内に音をたてる存在があると感じるかどうかが調査するために設けた。Q3-5 は姿の見えない人である仮想 TA の存在を感じるかどうか調査するために設けた。また、Q4, 5 は仮想 TA が移動 (歩行) しているように感じるかどうか調査するために設けた。Q6 は足音に対する認識を調査するために設けた。授業中に発生する足音の原因として考えられる項目として、教員、TA、他の受講生が妥当だと考えた。

実験結果: 図 4 に Q1-5 への回答値の平均とその標準誤差を、表 1 に回答値に対する t 検定 (対応あり, 有意水準 $\alpha = 0.05$) の結果を示す。t 検定の結果、全ての質問項目において有意な結果を得られた。Q2 のみ A2 条件が大きく、それ以外は A1 条件が大きかった。また、図 5 に Q6 の回答結果を示す。Q6 の回答に対して 2 条件間の 2×4 のクロス表に対して χ^2 検定 (有意水準 $\alpha = 0.05$) を行ったが、有意な結果は得られなかった (表 2)。そこで、各条件に対して、 1×4 の χ^2 検定 (有意水準 $\alpha = 0.05$) を行った (表 3)。その結果、各条件ごとに有意な結果が得られた。下位検定の結果、A1 (指向性あり) 条件では教員 > 他の受講生, 教員 > その他, TA > その他, であった。A2 (指向性なし) 条件では教員 > その他, であった。また、A2 条件の時、Q6 に対してわからないに回答した実験参加者が 2 名居たが、その時の回答は「雨漏りのような音」と「何の音かわからない」であった。

4.2 実験 2: 聴衆に対する仮想 TA の影響力の検証

実験目的: 仮想 TA が授業中に教室内を歩き回ること、授業に集中していない学生に対して注意喚起するなどの影響力を持つか調査する。

実験仮説:

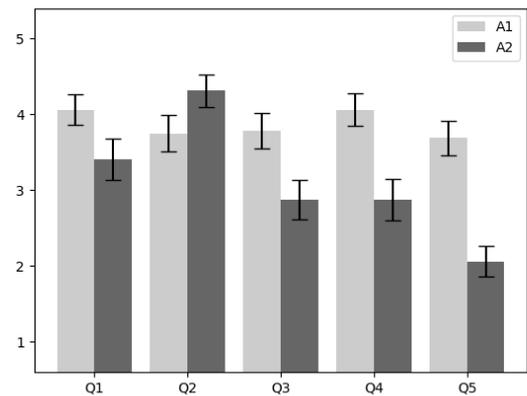


図 4 実験 1: Q1-Q5 回答 (平均とその標準誤差)

表 1 実験 1: Q1-Q5 t 検定結果

	t	p	Cohen's d[95%CI]
Q1	2.164	*	0.479[-0.018, 0.976]
Q2	-2.290	*	0.431[-0.064, 0.927]
Q3	3.790	***	0.641[0.138, 1.144]
Q4	4.644	***	0.838[0.327, 1.350]
Q5	5.293	***	1.312[0.771, 1.854]

$p < 0.05 = *$, $p < 0.01 = **$, $p < 0.005 = ***$, $p < 0.001 = ****$

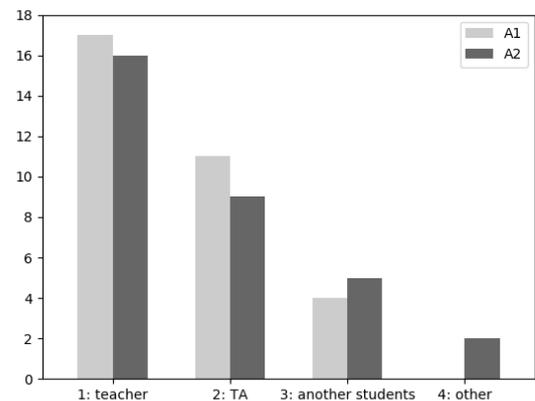


図 5 実験 1: Q6 回答数

表 2 実験 1: Q6 χ^2 検定 (条件間比較)

	実測値 (期待値)				$\chi^2(3)$	p	効果量 Cramér's V
	1	2	3	4			
A1	17(16.5)	11(10.0)	4(4.5)	0(1.0)	2.341	0.505	0.191
A2	16(16.5)	9(10.0)	5(4.5)	2(1.0)			

1. 仮想 TA が学生の周囲を歩き回ること、学生は自分自身が TA から注目されていると感じる。また、授業に集中していない時に仮想 TA が自分を注意しようとしていると感じる。
2. 仮想 TA の歩き方によって、仮想 TA が学生に与える印象

表3 実験1: Q6 χ^2 検定 (条件内比較)

	実測値 (期待値)				$\chi^2(3)$	p	Cohen's w	多重比較 (p, w)
	1	2	3	4				
A1	17(8.0)	11(8.0)	4(8.0)	0(8.0)	21.250	****	0.815	$1 > 3(*, 0.619), 1 > 4(****, 1.000), 2 > 4(***, 1.000)$
A2	16(8.0)	9(8.0)	5(8.0)	2(8.0)	13.750	***	0.656	$1 > 4(****, 0.778)$

$p < 0.05 = *, p < 0.01 = **, p < 0.005 = ***, p < 0.001 = ****$

は変化する。

- (a) 学生に向かって仮想 TA が直接近づいてきた時場合、学生は仮想 TA がより強く自分に注目していると感じる
- (b) 学生の付近で仮想 TA が立ち止まることで、学生は仮想 TA がより強く自分に注目していると感じる
- (c) 学生に向かって仮想 TA が速く近づいてきた時場合、学生は仮想 TA がより強く自分に注目していると感じる

実験条件: 被験者内実験計画として、4 要因各 2 水準の計 16 条件を設定した。

- A 仮想 TA の歩行音源移動先 (ターゲット): B1 実験参加者, B2 第 3 者 (A さん)
- B ターゲットに向かう歩行経路: C1 最短経路, C2 実験室全体を巡回
- C ターゲット付近での停滞: D1 あり (約 3 秒), D2 なし
- D 仮想 TA がターゲットに向かう歩速: E1 変化あり (100m / min.), E2 変化なし (歩行ターゲット通過後は, 80m / min. で歩行する)

歩行経路は図 3 に示す通りである。実験手順: 実験 1 終了後、実験参加者は実験 2 に連続して取り組んだ。実験前に実験参加者には、1) 授業中であると想定し、実験参加者は受講生として振る舞う。2) 実験参加者と実験者以外には誰も居ないが、各座席には受講生が座っているものとする。3) ただし、1 人だけハリボテの受講生が配置されていて、その人を実験では A さんと呼ぶ。4) 姿の见えない TA が教室内を歩き回ることがあるかもしれない、ということが教示内容として伝えられた。

実験の手順は、1) 実験者の合図で刺激動画が流れはじめる。この動画は授業内容として見ないといけないものであるが、実験参加者は不真面目な受講生として動画は視聴せずに漫画を読む。2) 動画の再生開始から 5 秒後、提案システムにより仮想 TA の歩行が実験条件に従って表現される。3) 仮想 TA の歩行終了から 5 秒後、実験者の指示で実験参加者はアンケートに回答する。以上の 1-3 の手順を全条件分繰り返した。

実験参加者は上記の実験課題に取り組む前に、実験条件とは異なる歩行経路で事前練習課題に取り組んだ。実験条件は順序交差を考慮して提示した。

評価項目:

- Q1 教室内に TA がいた
- Q2 教室内を TA が歩いていた
- Q3 TA はあなたが授業に集中していると感じた

- Q4 TA はあなたに注目していた
- Q5 あなたは TA に注目していた
- Q6 あなたは TA に負の感情を感じた
- Q7 TA はあなたに負の感情を感じた
- Q8 TA は A さんが授業に集中していると感じた
- Q9 TA は A さんに注目していた
- Q10 TA は A さんに負の感情を感じた
- Q11 あなたは A さんが授業に集中していると感じた
- Q12 あなたは A さんに注目した
- Q13 あなたは A さんに負の感情を感じた

実験参加者は各設問に対して MOS 法に従い 5 段階で回答した。また、自由記述欄も設けた。回答の際、実験参加者には設問に対して深く考えすぎず 10 秒ほどで直感的に回答するように指示した。

Q1, 2 は実験参加者が仮想 TA の存在感を感じるか調査するために設けた。Q3, 4, 7 は実験参加者が仮想 TA にどのような印象を抱かれていると感じるか調査するために設けた。Q5, 6 は実験参加者から仮想 TA に対する印象について調査するために設けた。Q8-10 は実験参加者は仮想 TA が A さんに対してどのような印象を抱いていると思うか調査するために設けた。Q11-13 は実験参加者が A さんに対してどのような印象を感じるか調査するために設けた。

実験結果: 巻末の図 6 に回答値の平均とその標準誤差を、表 4 に回答値に対する分散分析 (有意水準 $\alpha = 0.05$) の結果を示す。分析の結果、要因 A, B は Q13 以外で有意な結果が得られた。要因 C は Q2, 8 以外で有意な結果が得られた。要因 D は有意な結果は得られなかった。また、交互作用の単純主効果では主に要因 A-B, 要因 A-C 間で有意な結果が得られた。

5. 考察

5.1 足音の音源移動と音の指向性による存在感の提示について (実験 1 の結果より)

Q1 (音をたてるものが動いていた) の結果より、指向性のある足音の音場を移動させることで、足音が移動している感覚を与えることができたと考えられる。Q2 (音をたてるものがあつた) の結果では、指向性がない方が評価が高かった。これは、音をたてるものが“あつた”という表現が実験参加者に動いていないもの (つまり、指向性がない) という印象を与えたためだと考えられる。Q1 の“動いていた”という表現も、より強く“あつた”という表現に動いていないものという印象を与えた可能性がある。Q3 (誰かがいた), Q4 (誰かが歩いていた), Q5 (誰かが歩いてきた) では、指向性のある足音を用いた方が姿の见えない誰かの存在感を与えることができたと考えられる。また、Q4 と Q5 の結果より、実験参加者は音場が移動する足音

表 4 実験 2: 分散分析結果

	factor A			factor B			factor C			factor D			交互作用の単純主効果 { p, η_p^2 }
	F	p	η_p^2										
Q1	17.601	****	0.036	29.095	****	0.059	4.400	*	0.009	0.022	0.881	0.000	A(b1){****, 0.236}, B(a1){*, 0.179}, B(a2){****, 0.291}
Q2	18.841	****	0.039	53.047	****	0.102	1.564	0.212	0.003	0.005	0.941	0.000	A(b1){***, 0.289}, B(a1){***, 0.231}, B(a2){****, 0.461}
Q3	33.514	****	0.067	12.065	****	0.025	18.938	****	0.039	0.129	0.720	0.000	A(c1){****, 0.337}, A(c2){*, 0.144}, C(a1){****, 0.368}
Q4	59.056	****	0.113	67.440	****	0.127	31.083	****	0.063	0.000	1.000	0.000	A(c1){****, 0.629}, A(c2){***, 0.246}, C(a1){****, 0.651}
Q5	31.637	****	0.064	39.771	****	0.079	12.209	****	0.026	0.182	0.670	0.000	A(b1){****, 0.515}, B(a2){****, 0.464}
Q6	33.598	****	0.067	29.968	****	0.061	17.525	****	0.036	1.659	0.198	0.004	A(b1){****, 0.559}, B(a2){****, 0.551}
Q7	24.467	****	0.050	43.848	****	0.086	13.468	****	0.028	0.159	0.690	0.000	A(b1){****, 0.379}, B(a1){*, 0.186}, B(a2){****, 0.530}, A(c1){****, 0.313}, C(a1){****, 0.336}
Q8	12.754	****	0.027	22.951	****	0.047	3.035	0.082	0.006	2.193	0.139	0.005	A(b1){****, 0.340}, B1(a2){****, 0.324}
Q9	14.566	****	0.030	22.505	****	0.046	11.482	****	0.024	0.561	0.454	0.001	A(b1){****, 0.289}, B(a2){***, 0.255}, A(c1){****, 0.395}, C(a2){****, 0.309}
Q10	6.085	*	0.013	14.177	****	0.030	7.913	**	0.017	2.564	0.110	0.005	A(c1){***, 0.260}, C(a2){****, 0.265}, B(d2){****, 0.267}, D(b2){****, 0.246}
Q11	4.482	*	0.010	10.084	***	0.021	8.994	***	0.019	0.008	0.930	0.000	A(b1){****, 0.290}, B(a2){***, 0.253}
Q12	5.988	*	0.013	10.813	***	0.023	12.918	****	0.027	1.316	0.252	0.003	A(b1){****, 0.252}, B(a2){****, 0.253}
Q13	2.398	0.122	0.005	0.482	0.488	0.001	6.297	*	0.013	1.782	0.183	0.004	A(b2d1){*, 0.157}, D(a1b1){*, 0.121}, D(a2b2){*, 0.129}

$p < 0.05 = *, p < 0.01 = **, p < 0.005 = ***, p < 0.001 = ****$

に対して音源定位ができていたと考えられる。Q6の結果では、足音の指向性の有無は足音の主が誰かという印象に差がない可能性が示された。条件内の χ^2 検定の結果より、足音に指向性がある時は、足音が学生のものでなく教員のものであるという感覚が強いことが示唆された一方、TAと学生の間では差はなかった。足音の主が教員のものであると思われると一対多人数のコミュニケーションにおける講演者の意識が注がれたと解釈することで注意喚起効果は高いと考えられる。

まとめると、指向性のあるスピーカを用いて足音の音場を移動させることで、足音に対して誰かがそこにいる、歩いているという存在感を与えられる可能性が示唆された。また、足音の移動を感じられる程度には音源定位ができたことも示唆された。これらより、本稿において我々が立てた仮説は支持されたと考える。

5.2 歩行経路による仮想 TA の効果について (実験 2 の結果より)

Q1, 2 (仮想 TA の存在感についての設問) では仮想 TA が実験参加者に向かう最短ルート歩かない時、仮想 TA の存在感が弱まる傾向が示された。しかし、条件に関わらず全体的に平均値が高い (4 を上回る) ことから、指向性を持つ足音の音場が移動する時、その移動パターンによって仮想 TA の存在感が著しく損なわれることはないと考えられる。

Q3, 4, 7 (仮想 TA から実験参加者への印象についての設問) の結果より、実験参加者の側で仮想 TA が立ち止まると、実験参加者は、仮想 TA が自分が授業に集中していないと感じる、仮想 TA から注目されている、仮想 TA が自分に負の感情を抱いていると解釈する傾向が示された。これは、仮説 1, 2(b) を支持するものだと考えられる。また、仮想 TA が実験参加者へ向かう最短ルートを通過せずに実験室全体を巡回するように歩く時、特に A さんを目標とした時に、仮想 TA が実験参加者自身に負の感情を抱いていると解釈する傾向が示された。これは、仮想 TA が自分に良い印象を持っておらず、良い印象を抱いていない対象から遠ざかったと実験参加者が感じたのではないかと考えられる。この結果は、仮説 2(a) を指示するものではなかった。

Q5, 6 (実験参加者から仮想 TA への印象についての質問) の結果より、仮想 TA が実験参加者に最短経路で歩くと、実験参加者は仮想 TA に注目し、負の感情を感じる傾向が示された。

また、A さんの所へ最短経路で歩くと、実験参加者は仮想 TA に注目しなくなり、負の感情を感じなくなる傾向が示された。これらより、実験参加者が授業に集中していない時の仮想 TA への注目や負の感情の抱き具合は、仮想 TA との距離に対して負の相関関係にあると考えられる。

Q8-10 (仮想 TA から A さんへの印象についての質問) の結果より、仮想 TA が A さんに向かって最短経路で歩くと、仮想 TA が A さんに注目しているように感じ、仮想 TA が A さんに負の感情を抱くと解釈する傾向が示された。また、仮想 TA が A さんに向かう最短経路を歩かない時、A さんが授業に集中していると仮想 TA は感じる、という解釈の傾向が示された Q11-13 (A さんから仮想 TA への印象についての質問) の結果より、仮想 TA が A さんに向かい最短経路を歩く時、A さんの授業態度が悪いと仮想 TA は判断した、と実験参加者が解釈する傾向が示された。

まとめると、授業に集中していない学生の周囲を仮想 TA が歩き回することで、学生は仮想 TA から注目されている、仮想 TA が自分に良い印象を抱いていないと解釈する傾向が示された。その印象の強さは、仮想 TA の歩行経路や停滞によって左右されることが示された。これらより、本稿において我々が立てた仮説は部分的に支持されたと考えられる。

一方、仮想 TA が実験参加者に向かって歩くと、実験参加者は仮想 TA に対して注目する、負の感情を抱く傾向が示された。これらより、聴衆が仮想 TA の接近に気付くことで気まずい気持ちになるなどして、授業態度改善のトリガーとなる可能性がある。

しかし、仮想 TA の歩行速度による仮想 TA への印象の変化はほとんど示されなかった。Q10 の結果や自由記述欄に仮想 TA の歩速の変化に気付いたとする記述があったことから、実験参加者が仮想 TA の歩速の変化に気付いていないわけではないと考えられる。この点については今後、歩速の変化幅を広げたり、緊急性や授業態度の様々な度合を準備することで、仮想 TA の歩行速度が与える影響について検証する必要があると考える。

6. おわりに

本稿では、一人対多人数コミュニケーションにおいて、聴衆の聴講態度による自動制御や講演者の手動操作に応じて、教室内を歩き回り婉曲的に聴衆への注意を行う音響 AR 型仮想 TA

エージェントの効果について検証した。実験の結果、足音の音源移動を指向性スピーカで実現することで、姿の見えない存在（仮想 TA）の存在感とその移動を表現できることが示唆された。また、仮想 TA が授業に集中していない学生の周囲を歩き回することで、学生が仮想 TA に注目することも示唆された。これらより、仮説は部分的に支持されたと考える。

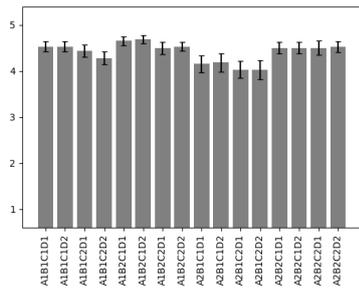
今後は、足音という刺激に対して慣れが生じて仮想 TA の効果が弱まらないように、仮想 TA にインタラクティブ性を追加して、単なる刺激だけではなくコミュニケーションを行える存在としていくことが必要だと考える。また、仮想 TA の歩速や歩いてくる向き（前、後）などが有効に作用する文脈を検討することも必要だと考える。

謝辞

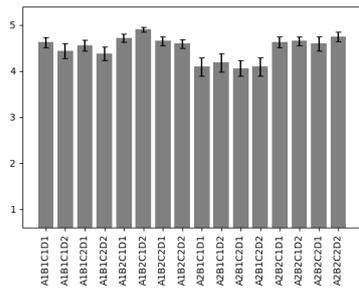
本研究は科研費 25700021 および科研費 15H01698 の助成の一部を受け実施したものである。実験に協力いただいた実験参加者に感謝する。

参考文献

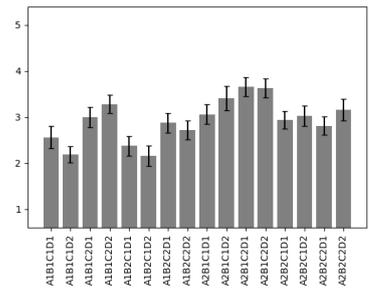
- [1] 文部科学省：ティーチング・アシスタント (TA) について。http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo4/003/gijiroku/07011713/001/002.htm.
- [2] 北岸佑樹, 米澤朋子：多人数授業における聴講姿勢に対応する AR 型足音 TA の提案 (教育工学), 電子情報通信学会技術研究報告 = IEICE technical report : 信学技報, Vol. 116, No. 438, pp. 7-11 (2017).
- [3] 石川佑樹, 中 祐介, 米澤朋子：聴講者の参加状態推定に基づくカラーマッピング重畳画像を用いた講演者の状況把握支援システムの提案 (教育工学), 電子情報通信学会技術研究報告 = IEICE technical report : 信学技報, Vol. 115, No. 492, pp. 129-136 (2016).
- [4] 松村明：大辞林第三版, 三省堂 (2006).
- [5] 鎌倉友男, 酒井新一：パラメトリックスピーカの原理と応用 (音響・超音波サブソサイエティ合同研究会), 電子情報通信学会技術研究報告. EA, 応用音響, Vol. 105, No. 556, pp. 25-30 (2006).
- [6] 宮里 勉：音響 Augmented Reality により障害物自体に警告音を発せさせる視覚障害者歩行支援装置, 映像情報メディア学会誌, Vol. 67, No. 9, pp. J352-J355 (2013).
- [7] 中垣 拳, 寛 康明：指向性スピーカを用いた空間拡張デバイス SonalShooter の基礎検討, インタラクション 2011, デモ発表 (2011). <http://www.interaction-ipsj.org/archives/paper2011/interactive/0221/1LNG-7.pdf>.
- [8] 森勢将雅, 杉林裕太郎, 栗元総太, 西浦敬信：音像プラネタリウム：超音波スピーカを利用した 3 次元音場再生方式 (特集) 教育・訓練・協調, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 4, pp. 687-693 (2011).
- [9] 伊藤仁一, 中山雅人, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行：X-Media Galaxy における移動音像実現のための音像補間, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 18, No. 3, pp. 405-414 (2013).
- [10] 石野 力, 伊納洋介, 中谷友香梨, 吉田直人, 米澤朋子：複数パラメトリックスピーカを用いた一対多コミュニケーション手法の提案 (人体・動作の認識と理解, 福祉と共生, 国際会議報告), 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol. 113, No. 402, pp. 53-58 (2014).
- [11] 藤縄英佑, 泉 雅彦, 鳴海拓志：音響 AR による行動誘発に関する基礎的検討 (ヒューマンインフォメーション 人工現実感), 映像情報メディア学会技術報告 = ITE technical report, Vol. 38, No. 25, pp. 53-58 (2014).
- [12] 板垣祐作, 小川浩平, 小野哲雄 (編)：エージェントの存在感によるインタラクティブ音を用いた存在感の創出-, HAI シンポジウム (2006). <http://www.ii.is.kit.ac.jp/hai2011/proceedings/HAI2006/pdf/1e-3.pdf>.
- [13] 尾関基行, 高島愛理, 前田真梨子, 岡 夏樹 (編)：存在しないエージェントへの文脈による存在感の付与について, HAI シンポジウム (2013). <http://hai-conference.net/hai2013/proceedings/pdf/P28.pdf>.
- [14] 大月美佳, 大月伸男, 鈴木右文, 岡野 進：仮想三次元空間での外国語教育を支援する TA ロボットシステム, 情報教育シンポジウム 2001 論文集, Vol. 2001, No. 9, pp. 115-122 (2001).
- [15] 高橋 勇：e-Learning 学習を支援する汎用 TA エージェントの設計, 第 75 回全国大会講演論文集, Vol. 2013, No. 1, pp. 451-452 (2013).
- [16] Goel, A., Creeden, B., Kumble, M., Salunke, S., Shetty, A. and Wiltgen, B.: Using Watson for Enhancing Human-Computer Co-Creativity, AAAI Fall Symposium Series (2015). <http://www.aaai.org/ocs/index.php/FSS/FSS15/paper/view/11713>.
- [17] 厚生労働省：健康日本 21 (第二次) 分析評価事業 身体情報調査結果. http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/kenkounippon21/eiyouchousa/keinen_henka_shintai.html.
- [18] OMRON: よくある質問 No: 4195 (2014). http://www.faq.healthcare.omron.co.jp/faq/show/4195?site_domain=jp.
- [19] タニタの健康応援ネットからだカルテ：タニタのダイエット・健康コラム ウォーキングの適切な歩幅が知りたい. <http://www.karakarute.jp/tanita/column/columndetail.do?columnId=158>.
- [20] 不動産公正取引協議会連合会：不動産の表示に関する公正競争規約施行規約 (2016). http://www.rftc.jp/kiyak/hyouji_sekou.html.
- [21] 佐々木倫子：動物のお医者さん, Vol. 1-2, 白泉社 (1995). 文庫本.



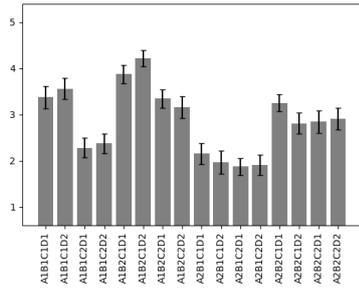
Q1



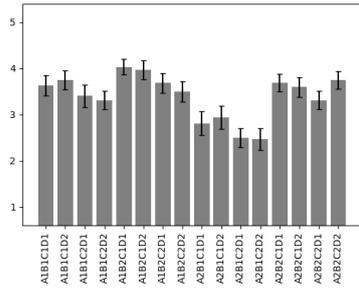
Q2



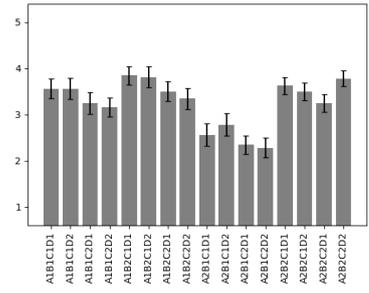
Q3



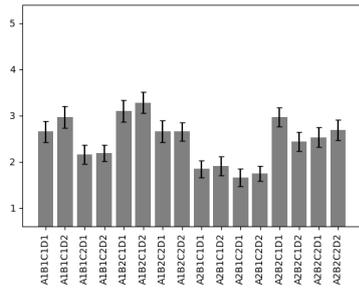
Q4



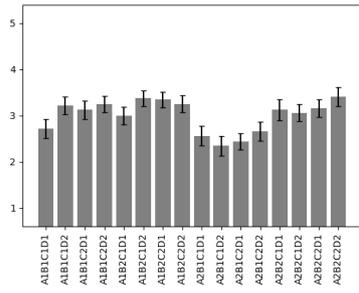
Q5



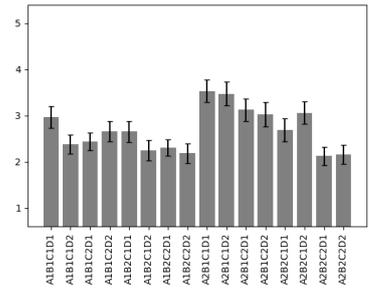
Q6



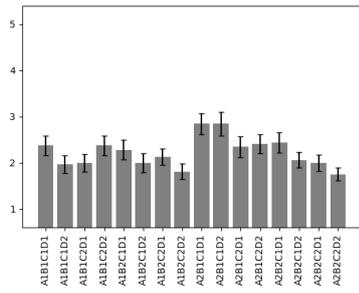
Q7



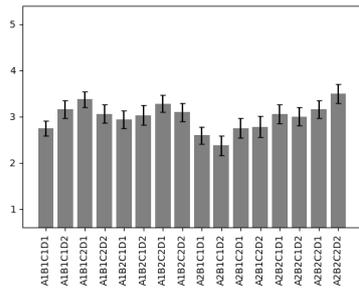
Q8



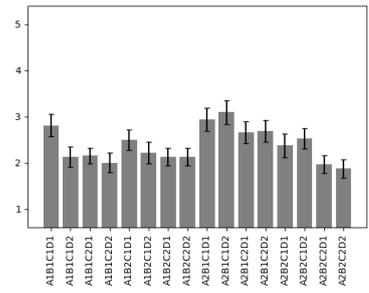
Q9



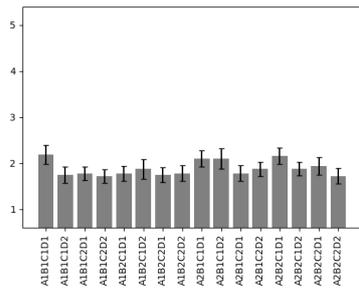
Q10



Q11



Q12



Q13

図6 実験2: 回答 (平均とその標準誤差)