

振動刺激を用いた学習支援ロボットの安心感動作に対する 学習者の意図推定の誘発

田和辻可昌^{*1}, 本野凜太郎^{*1}, 松居辰則^{*1}

^{*1} 早稲田大学

The Effect of Vibrotactile Information on Learner's Attitude to Estimate Robot's Intentions

TAWATSUJI Yoshimasa^{*1}, MOTONO Rintaro^{*1}, MATSUI Tatsunori^{*1}

^{*1} Waseda University

In order to induce a sense of *anshin* by a learning support robot, it is necessary for the learner to actively interpret “the intention” of the robot (e.g. “this robot must help me to correct the answer”). In this study, we hypothesized that the use of vibrotactile information would facilitate the learner's active interpretation of the robot's intentions for the actions. Experimental results showed that the ability to read intentions from robot actions was differently affected according to patterns of vibrotactile information and robot actions. This effect was found to be that pleasant vibration tended to promote the reading of intentions, while unpleasant vibration tended to suppress.

キーワード: 学習支援ロボット, 安心感, 振動

1. はじめに

近年, 教育学習支援研究におけるロボットの役割が期待されている⁽¹⁾. 以降, 本研究ではこのようなロボットを学習支援ロボット (特に誤解の恐れがない場合は単にロボット) と呼ぶ. 学習支援ロボットには多様な役割 (“Tutor or teacher”, “Peer”, “Novice”) が期待されており⁽²⁾, 様々な場面に応じて適切に役割を与える設計ないし制御が求められる. 一方で, 我々は学習支援ロボットも IMS (Intelligent Mentoring System) ⁽³⁾のインターフェースとして重要であると考えている. “Mentor” (ただし, Tutor or teacher と共通の役割を担うことが多い) として利用する場合を考えたときは, ロボットが表出する動作からロボットの「意図」が適切に学習者に伝達する必要がある. しかし, 一般的にロボットの動作可動域や呈示可能な表現は人間とは異なるため, 人間と同様な意図の表示をロボットで行うことは容易ではなく, ときに設計者の意図しない解釈を成されることもしばしば存在する. 例

えば, 「やったね, 一緒に頑張ろう」という意図でロボットに動作をさせるときにハイタッチ動作を生成したとしても, 学習者にとっては「何か質問でもあるのだろうか」とか, 場合によっては「手を挙げて何をしているのだろうか」といった風に読み取られかねない. このように「意図の誤帰属」を避けることは重要な課題であるが, そのためにこれまでは発話による意図の明示が一般的であった.

ところが, 発話による意図の明示は必ずしも有効であるとは言えない. Chen らによれば, 看護ロボットの愛情的な意図の言語的伝達に基づく接触は, 道具的な意図の言語的伝達に基づく接触と比較するとネガティブ, 言い換えると継続的な接触に対して否定的であることが実験的に確認されている⁽⁴⁾. この研究の示唆することは, 明示的な意図の伝達はその意図が「真正な」ものであるかを評価する機構を誘発し, その受容を一旦忌避させる可能性がある点である (特に, 発現された意図が好意的な内容であればあるほどこの効果は顕著であると考えられる). このことは恐らく学習支援ロ

ロボットにおいても同様に発生すると考えられ、特に人間同士のやり取りを考えてみれば、信頼関係が構築されていないコミュニケーション初期の状況で起こりうることは想像に難くない。したがって、いかに言語情報に頼らず、学習者にとってその意図が適切に伝達できるかを検討することは重要な課題である。

本研究では発話による意図の伝達を行わない方法として、非言語情報である振動に着目する。触覚情報は多様な意図を伝達する⁽⁵⁾と考えられており、学習文脈における意図もまた表現可能であると考えられる。さらに、振動は直接ロボットが学習者に触れることによって受容されるその他の触覚情報と異なり、学習支援ロボット自体の開発とは独立して開発できる有用性がある。そこで、振動が意図伝達において有効であるかを確かめるためには、学習支援ロボットの意図伝達における振動の役割を明らかにする必要がある。以上から、本研究では学習支援ロボットの意図伝達において、振動によってロボットの動作意図の読み取りがどのような影響を受けるかを明らかにすることを目的とする。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、第2章では関連研究を示し、この研究の位置づけを明確にする。第3章では、用いる振動刺激の心理学的特性の検証を行う。続く第4章では学習支援ロボットの動作に対する学習者の意図推定が振動によってどのような影響を受けるか、実験によって明らかにする。またこの影響が、ロボット動作に対して抱く安心感と関連があるかについて調査をする。本研究の貢献は、学習支援ロボットに快振動(あるいは不快振動)を付与することで、学習者の意図推定を誘発(あるいは抑制)する可能性を示唆したことである。

2. 関連研究

2.1 ロボットに対する意図推定

教育学習ドメインに限らず、ロボットに対する意図推定は Human-Agent Interaction (HAI) 分野において重要な課題である⁽⁶⁾。特に、Dennett が提案した三つのスタンス⁽⁷⁾は、HAI 研究の中で重要視されている。Dennett のスタンスとは、(HAI 分野においては) ロボットを含むエージェントの振る舞い動作に対する観察者の心的姿勢あり、(i)物理スタンス：動作主体の物

理的組成、物理的性質、物理法則に基づいて振舞いを予測、(ii)設計スタンス：動作主体がある設計意図のもとで作られており、その設計意図に基づいて振る舞いを予測、(iii)意図スタンス：動作主体が意図、信念、願望などに基づいて合理的に生成されている前提のもとで、振舞いの起源を心的状態に帰属したうえで振る舞いを予測、の三つからなる⁽⁷⁾⁽⁸⁾。学習支援ロボットが Mentor として機能するためには、学習者がそのロボットがそのように設計されている (i.e. 設計スタンス) と解釈するよりは、むしろその背後にある意図や信念 (e.g. 「学習者の学習を支援したい」) を認め、そこからその動作・振る舞いが解釈される (i.e. 意図スタンス) 必要がある。このような意図や信念に関わる内部状態を人間に伝達可能であるかは、例えばビープ音⁽⁹⁾や LED 明滅⁽¹⁰⁾では検討されているが、振動におけるその伝達可能性やスタンスに対する影響は HAI 分野においても著者らの知る範囲では明らかにされていない。

2.2 ロボットからの安心感の誘発

ロボットから意図・信念を感じ取り、肯定的に解釈 (e.g. 「ロボットは自分の学習を支援してくれている」) することができる学習支援ロボットの下での学習は、学習者から安心感を誘発することが期待される。ロボットに対する安心感は近年特に注目されており、日本を中心に様々な研究が進められている⁽¹¹⁾。一方で、学習支援ロボットと安心感に関する研究はまだまだ取り組みが少なく⁽¹²⁾、今後 Mentor としての役割をもつ学習支援ロボットを考える上では重要なテーマである。

3. 実験 1：振動刺激の心理学的特性

本章では本研究で用いる振動刺激の心理学的特性に関する実験的について述べる。

3.1 目的

以降の実験で学習支援ロボット動作と併せて呈示する振動刺激単体をもつ心理学的特性について明らかにする。ただし、本研究では振動に関する物理的パラメータと振動から認知される印象との間の心理学的に詳細な関係に関心があるわけではない。むしろ、用いる振動と心理学的特性との間の大域的な関係を把握することを目的とする。

3.2 振動刺激

心拍振動をもとに作成した4種類の振動刺激を作成した。心拍振動は20代男性の平常時の心拍(76bpm)を、聴診器(FOCAL スーパースコープ)にマイク(SONY: ECM-CS3)を当て録音した。録音機には、OLYMPUS リニア PCM レコーダーLS-11を使用した。録音機より得られた音は Audacity を用いて、ヒスノイズの除去、4.079dBの増幅を行った。さらにテンポを変更することで、再生速度-20%、0%(変化なし)、25%、150%のものを作成した。これらの再生速度については、-20%の心拍は鎮静効果⁽¹³⁾が、25%、150%の心拍鼓動音から生成した振動はそれぞれ幸福、怒りの印象を与えること⁽¹⁴⁾が示唆されており、多様な心的影響を調査する目的で採用した。

振動刺激は、先行研究⁽¹⁴⁾で採用された音声から振動を生成する振動生成装置を用いて、各振動子から実験参加者に提示した。図1に本実験で用いた振動生成装置と振動子を示す。以降、この装置によって生成された-20%、0%、25%、150%の音声に基づく振動刺激を、それぞれ振動A、振動B、振動C、振動Dと呼ぶ。



図1 実験で用いた振動生成装置と振動子。

3.3 印象評定尺度

各振動刺激に対して心理学的特性を評価するための印象評定語を表1に示す。これらの印象評定語として採用された形容詞対は、後にロボット動作による印象を踏まえ、振動特有の評定項目にならないように配慮して作成された。具体的には、対エージェント(人間/ロボット)とのコミュニケーションや動作、触覚刺

表2 実験で用いた印象評定語(49形容詞対)。

あたたかい—つめたい	近づきやすい—近付き難い
親しみやすい—親しみにくい	賑やか—寂しい
明るい—暗い	人間的な—機械的な
好きな—嫌いな	派手な—地味な
軽い—重い	能動的—受動的
賢い—愚かな	活発な—鈍い
気が利く—気が利かない	おもしろい—つまらない
敏感な—鈍感な	複雑な—単純な
幸せ—不幸	小さい—おおきい
安全な—危険な	快—不快
かわいい—醜い	思いやりのある—わがままな
穏やかな—動揺している	速い—遅い
誠実な—不誠実な	たくましい—弱々しい
強い—弱い	やさしい—こわい
感じの良い—感じの悪い	安心な—不安な
注意深い—不注意な	静かな—騒々しい
積極的な—消極的な	自然な—不自然な
人工的な—生物的な	無関心な—反応のある
無知な—物知りな	わかりやすい—わかりにくい
興味深い—退屈な	カッコ良い—カッコ悪い
粗い—細かい	規則正しい—不規則な
さわやか—うっとうしい	リラックスした—緊張した
落ち着いた—怒った	無防備な—警戒した
迫力がある—物足りない	躍動感がある—躍動感がない
印象深い—印象が薄い	

激に対して用いられている形容詞対を網羅的に調査^{(14)~(19)}・抽出し、それらの意味的類似性が認められるものは採用されている表現のうち最も多いもので単一化し作成した。各形容詞対に関して7段階のリッカート尺度(1は各評定項目の左側の形容詞対(e.g.あたたかい)に対して「強くそう思う」)で回答を求めた。

3.4 実験参加者と実験手続き

実験には早稲田大学学部生30名が参加した。実験ではまず質問紙による属性の回答およびパルスオキシメータによる実験参加者の心拍を計測した。次に、実験参加者に振動子を握ってもらい、各振動をランダムで5秒間3回提示した。これは49の形容詞対に対す

る評価のうち後半の評定項目では振動の印象が薄れている可能性を加味したためであり、1回目の提示で17対、2回目の提示で16対、続く3回目の提示で残りの16対の形容詞対について評価してもらった。すべての振動刺激の回答が終了したのち、再度パルスオキシメータを用いて実験参加者の心拍を計測した。

3.5 結果

振動に関する評定項目の評価値から振動間での相関があるかを検討した。図3(左)に各振動間の評定項目の相関行列をヒートマップで表したものを示す。色が濃いほど負の相関があり、色が白に近いほど正の相関があることを示している。

振動Aと振動B($r = .68$)、振動Cと振動D($r = .60$)にやや強い正の相関が、振動Aと振動D($r = -.28$)、振動Bと振動D($r = -.20$)の間に中程度の負の相関があることが認められた。このことから、振動刺激は印象語が表す心理空間において大きくA/B、C/Dの組に分かれることが示唆される。そこで、各刺激を最も広く説明する軸を得る目的で、各刺激に関する評定点がある軸に射影した際に得られる点の分散が最大になるものを求めた。これは主成分分析の第一主成分を得ることに等価である。第一主成分の主成分得点を表したグラフを図3(右)に示す。このことから、主成分得点が負のグループ(振動Aと振動B)と正のグループ(振動Cと振動D)に大きく分かれることが示唆された。また、主成分得点を第一主成分で寄与率0.66(第二主成分の寄与率は0.20)であり、第一主成分でデータの多くを説明していることが分かった。そこで、二つのグループA/B群、C/D群がどのような心理学的特徴を持つかを検討した。

各群の評定項目に関する合成変量を作成し、それら

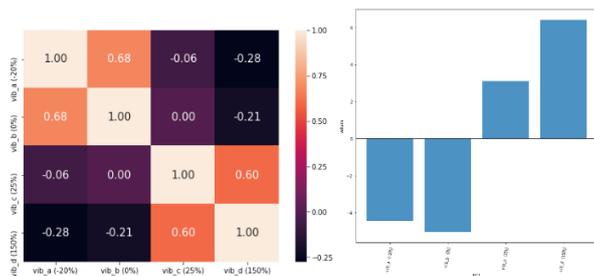


図3 各振動の相関行列と第一主成分の主成分得点。

の値と主成分ベクトルの値を比較した。具体的には、それぞれの振動 $\lambda \in \{A, B, C, D\}$ の評定項目*i*に対する実験参加者*j*の評定値を x_{ij}^λ とすると、A/B群、C/D群のそれぞれの合成変量を

$$z_{ij}^0 = \frac{1}{2}(x_{ij}^A + x_{ij}^B)$$

$$z_{ij}^1 = \frac{1}{2}(x_{ij}^C + x_{ij}^D)$$

でそれぞれ定義した。これらの実験参加者間での平均値と第一主成分の固有ベクトル(負荷量)の絶対値と符号はそれぞれ、絶対値が大きくなるほど各平均合成変量間の差が大きくなり、負荷量の符号はいずれの平均合成変量が大きいかと対応している(図4)。たとえば、正に値が大きい「近づきやすい—近付き難い」の項目では、平均合成変量について $\bar{z}_2^1 > \bar{z}_2^0$ (\bar{x} は算術平均を表す)が成り立ち、その値の差は大きくなる。今、負荷量の絶対値が0.15を大きくするものに各合成変量の差を説明するだけの説明力がある項目であり、さらに評定の中央値(=4)に関して $\bar{z}_i^0 < 4$ かつ $\bar{z}_i^1 > 4$ 、あるいは $\bar{z}_i^0 > 4$ かつ $\bar{z}_i^1 < 4$ となる評定項目*i*を抽出

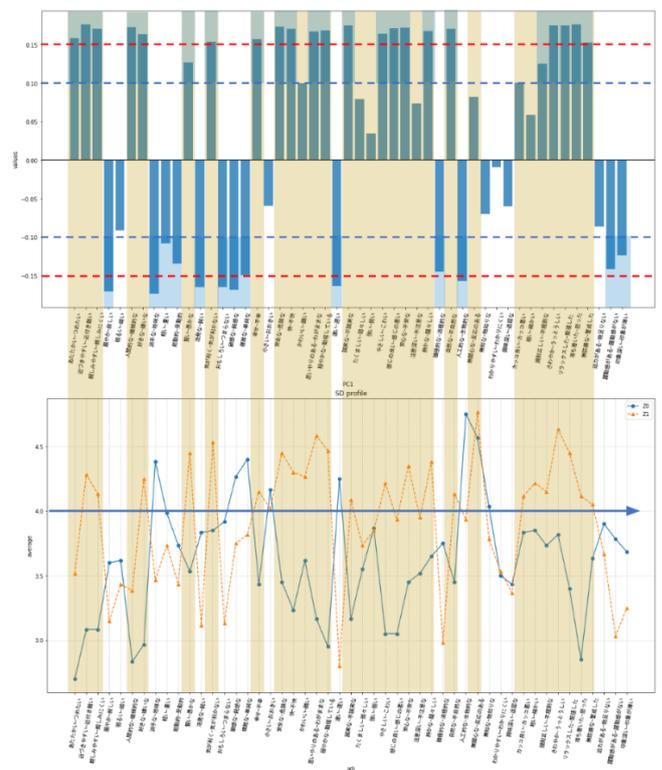


図4 (上) 主成分固有ベクトルの値。点線は絶対値が1.0、1.5の個所でそれぞれ引いている。(下) 合成変量の各評定項目に関する値。実線矢印は評定項目の中央値である4(どちらでもない)に引いている。

表 2 振動刺激の各群の差を説明する形容詞対

プラスに寄与する項目 ($\bar{z}_i^0 < 4$ かつ $\bar{z}_i^1 > 4$)	
近づきやすい—近付き難い	親しみやすい—親しみにくい
好きな—嫌いな	幸せ—不幸
安全な—危険な	快—不快
思いやりのある—わがままな	穏やかな—動揺している
誠実な—不誠実な	やさしい—こわい
安心な—不安な	静かな—自然な
さわやかな—うっとうしい	リラックスした—緊張した
落ち着いた—怒った	無防備な—警戒した
マイナスに寄与する項目 ($\bar{z}_i^0 > 4$ かつ $\bar{z}_i^1 < 4$)	
派手な—地味な	敏感な—鈍感な
速い—遅い	人工的な—生物的な

すると、それぞれ表 2 の形容詞対が得られた。このことから、A/B 群は C/D 群と比較すると「近づきやすい」「親しみやすい」「好きな」「幸せ」「安全な」「快」「思いやりのある」「穏やかな」「誠実な」「やさしい」「安心な」「静かな」「さわやかな」「リラックスした」「落ち着いた」「無防備な」といった印象を感じさせる一方で、「地味な」「鈍感な」「遅い」「生物的な」といった印象を感じさせる振動群であることが分かった。

3.6 考察

振動 A/B 群に対する感情価 (Emotional Valence) は振動 C/D 群の感情価と比較すると、Positive valence を有する振動であることが分かる。振動 A/B 群はそれぞれ速度が安静時の心拍とそれを 20%遅くした心拍の音声情報から生成されており、この意味でも周波数成分としては C/D 群と比べても低空間周波数成分が多い。Hasegawa らによれば、振動の物理的特性においてエンベロープ (包絡線周波数) は Arousal について Positive に、Comfort (Preference や familiarity) について個々人には依存するものの Negative に寄与することが示唆されている⁽²⁰⁾。各振動刺激の違いは振動元の音声情報の速度を速めることに起因しており、これらはエンベロープの違いと対応しているため、A/B 群は Positive に評価されていると考えられる。また、Zheng らは、4 つの感情 (Joy, Anger, Sad, Relaxation) を表現する振動を実験参加者にそれぞれ

生成させ、それらを生成者本人あるいは他者が適切な感情カテゴリに帰属させることができるかという実験を行っている⁽²¹⁾。帰属がされやすかった Joy や Anger を表す振動は、一定のリズムを有している一方で、その周期幅の大きさに違いが見られた。Joy は比較的周期幅が小さいことから、本 A/B 群と同様の様相を有しており、本 A/B 群も Positive に評価されているものだと考えられる。以上から、振動 A/B は快振動、振動 C/D は不快振動をそれぞれ表していると言える。

4. 実験 2&3

本章では前章で作成した振動刺激を学習支援ロボットの動作と併せて呈示することで、ロボットの意図推定 (実験 2) および安心感構造 (実験 3) にどのような影響を与えるかを検証した。それぞれ採用した評価項目が異なるのみであるため、併せて本章で報告する。

4.1 実験目的

学習支援ロボットと学習するという環境において、ロボットの動作と振動を組み合わせることで、ロボットの意図推定および安心感構造にどのような影響を与えるかを明らかにする。

4.2 実験刺激：ロボット動作と振動刺激

実験ではロボットとして NAO (Softbank Robotics) を用いた。NAO は多くの学習支援研究で用いられており⁽²²⁾、自由度の高い手足を用いた動作を設計可能であり、本研究の目的に合致する。NAO の身体動作としては、安心できる動作である「ハイタッチ」「うなずき」「中腰」⁽²²⁾の 3 種を採用した。

振動刺激は実験 1 で作成した 4 つの振動を用いた。このことから、振動刺激に関する条件 5 種 (振動なし (N), A, B, C, D) と動作条件 3 種の計 15 パターンの実験刺激を採用した。

4.3 評価尺度：意図推定項目および安心感構造尺度

ロボット動作に対する評価尺度として、意図推定 (実験 2)、安心感構造尺度 (実験 3) をそれぞれ用いた。意図推定項目は、Dennett のスタンスに基づき、それぞれ出来る限り物理スタンス、設計スタンス、意図スタンスに基づく解釈になるように設定した (表 3)。

表 3 意図推定項目

動作	スタンス	項目
ハイタッチ	物理	腕が上がっている
	設計	ばんざいしている
	意図	あなたを褒めようとしている
		祈りをささげている
うなずき	物理	首が縦に動いている
	設計	うなずいている
	意図	強く確信している
		同意を示している
		理解を示している
中腰	物理	腰を曲げている
	設計	中腰の姿勢をとっている
	意図	親身な態度を示している
		礼儀正しさを表現している
		一緒に頑張ろうと伝えている

また、安心感構造尺度は、Kamide らによって提案された尺度であり、5 つの大項目（直接的安心感、親近感、信頼感、無害感、見守られ感）とそれぞれ 5 つの小項目からなる計 25 の尺度である⁽²²⁾⁽²³⁾。意図推定項目および安心感評定尺度それぞれ、7 段階のリッカート尺度で、「1.非常に同意できない」から「7.非常に同意できる」で評価を求めた。

4.4 実験参加者と実験手続き

実験 2、実験 3 とともに早稲田大学学生 10 名が参加した。まず、学習環境の設定を行うことを目的に「あなたは、自室でオンデマンドコンテンツで学習しています。その際に、ロボットがあなたの学習を支援してくれます。」と口頭で伝えた。この上で、実験参加者に 1 パターンの刺激を提示間隔を空けずに連続で 2 回呈示し、実験参加者に意図推定項目（安心感尺度）の回答を求めた。回答が終わると次の刺激パターンを呈示した。なお、呈示する刺激パターンは振動なし条件の動作 3 種を先に呈示し、その後振動あり条件の動作 12 パターンを呈示した。

4.5 実験結果

4.5.1 意図推定項目

振動なしを基準として、各振動における動作に対する意図推定項目に対する評価値の変化量を求めたところ、意図スタンスに関わる項目が影響を受けており、物理スタンス・設計スタンスに関する項目はほとんど影響を受けていないことが分かった。図 5 にうなずき動作を一例として示す。図は大きく左から N 条件における項目評定値と振動 A,B,C,D における項目評定値との変化量を表し、それぞれの区画の棒は左から物理、設計、意図スタンス各 3 種の項目における評価値の変化量を表す。定性的に評価の変化量が大きいものとして、変化量が 0.5 以上認められるものを抽出した結果を表 4 に示す。表の文字の赤色で示した項目は、基準となる振動なしに対して負の方向、すなわち評定値が減少した項目であり、青色で示した項目は正の方向、すなわち評定値が増加した項目である。

評定項目において振動条件間（N, A, B, C, D）で平均値に差があるかを確認するために分散分析を行った。この結果、うなずき動作における項目「同意を示している」において有意水準 5%で仮説の棄却 ($p < .05$) が認められ、中腰動作における項目「中腰の姿勢をとっている」、項目「一緒に頑張ろうとしている」および項目「礼儀正しさを表現している」で有意傾向 ($p < .1$) が認められた。一方、上記項目において Tukey の多重比較を行ったが、いずれの組み合わせにおいても平均値に差は認められなかった。

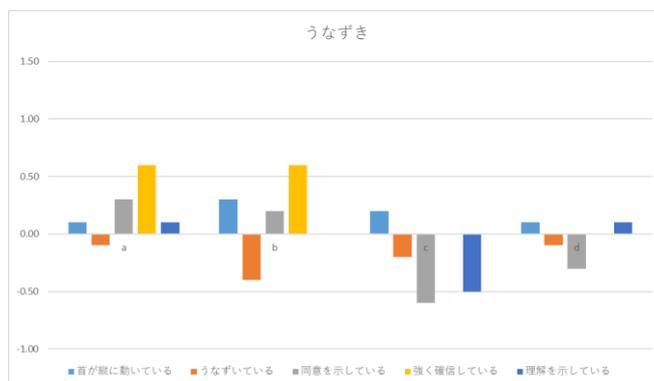


図 5 振動なしを規準とした各振動におけるうなずき動作に対する項目評定値の変化量。

4.5.1 安心感構造尺度

紙面の都合上、安心感構造尺度のうち振動付与によって意図推定項目に影響が認められたうなずき動作と

表 4 振動の付与によって振動なし条件よりも値が定性的に増加（青）・減少（赤）した項目。

	動作		
	ハイタッチ	うなずき	中腰
振動刺激A (-20%)		強く確信している（意図）	一緒に頑張ろうと伝えている（意図）
振動刺激B (0%)	祈りをささげている（意図）	強く確信している（意図）	一緒に頑張ろうと伝えている（意図）
振動刺激C (25%)		同意を示している（意図）	中腰の姿勢をとっている（設計） 礼儀正しさを表現している（意図）
振動刺激D (150%)	あなたを褒めようとしている（意図） 祈りをささげている（意図）		親身な態度を示している（意図） 礼儀正しさを表現している（意図）

中腰動作に関する結果を述べる．図 6 に，振動なし条件を基準とした振動条件での安心感構造尺度の得点の変化量を示す．なお，図で記されている「安心感」はすべての安心感構造尺度の平均値で定義している．

うなずき動作でも中腰動作でも振動を生成する音声情報の速さが速くなるにつれ，安心感の値が振動なし条件と比較して減少する傾向がある．うなずき動作では，振動 A 条件において振動なし条件からの変化量が 0 であることが分かる．また，振動 C/D 群の付与では安心感構造尺度に関する評価のうち，直接的安心感，親近感，信頼感が大きく減少している．これに対して，中腰動作では，振動 A,B 条件では安心感の変化量が

正の方向に寄与しており，振動 D 条件では安心感の変化量が負の方向に寄与していることが分かる．

4.6 考察

実験の結果より，定性的に各動作とも振動の付与によって，快振動は意図推定に対して促進的に，不快振動は意図推定に対して抑制的に寄与することが示唆された．これらの影響の受け方は，各動作の中でも項目ごとに異なることが明らかとなった．うなずき動作について言えば，ロボット自身の内部状態（確信度）の伝達が快振動によって促進されている．これは，HAI 分野における ASE (Artificial Subtle Expression) ⁽²⁴⁾，すなわちエージェントの内部状態をユーザに伝達するための非言語情報の一つの形態として振動が利用できることを示唆している．対して不快振動の付与では，ロボットの学習者に対する態度（同意）の伝達が阻害されている．特に不快振動の付与によって直接的安心感，親近感や信頼感が大きく下落していることから，ユーザに指向した親和的な意図に不快振動を付与すると，信頼感を損ないかねないことが示唆された．

一方，中腰動作では，快振動は直接的信頼感や親近感を高め，一緒に頑張ろうというユーザ指向の意図を強めた．快振動は Comfort に positive に寄与する⁽²⁰⁾ことが示唆されており，これは振動が齎した効果であるとも言えよう．このような振動が齎す心的状態によって，意図を肯定的に解釈した可能性がある．

5. まとめと今後の展望

本研究では，非言語情報である振動の付与が学習支援ロボット動作に対する意図推定に与える影響を検討した．実験の結果，快振動は意図推定を促進し，不快振動は意図推定を抑制していることが示唆された．一



図 6 振動なしを規準とした各振動におけるうなずき動作と中腰動作に対する項目評定値の変化量。

方で、これらの影響の受け方は動作によって異なる側面があることも示唆された。今後は、より実環境に近づけた学習場面对象にした実験の検討、多様な動作の検討、動作意図の設定の精緻化などを行う。

参 考 文 献

- (1) 柏原昭博: “ソーシャルロボットを用いた学びの研究”, 教育システム情報学会誌, Vol.37, No.2, pp.73-82 (2020)
- (2) Belpaeme, T., Kennedy, J., Ramachandran, A., et al.: “Social robots for education: A review”, *Science Robotics*, Vol.3, No.21 (2018)
- (3) 松居辰則: “生体情報を用いた学習者の心的状態推定と学習支援の試み”, 教育システム情報学会誌, Vol.36, No.2, pp.76-83 (2019)
- (4) Chen, T.L., King, C.H.A., Thomaz, A.L. et al.: An investigation of responses to robot-initiated touch in a nursing context, *International Journal of Social Robotics*, Vol.6, pp.141-161 (2014)
- (5) Sailer, U. and Leknes, S.: “Meaning makes touch affective”, *Current Opinion in Behavioral Sciences*, Vol.44 (2022)
- (6) 山田誠二, 寺田和憲, 小林一樹: 人を動かす HAI デザインの認知的アプローチ, 人工知能学会誌, Vol.28, No.2, pp.256-263 (2013)
- (7) Dennett, D.C.: “The intentional stance”, Cambridge Mass, Bradford Books/MIT Press (1987)
- (8) 寺田和憲, 岩瀬寛, 伊藤昭: “Dennett の論考による三つのスタンスの検証”, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J95-A, No.1, pp.117-127 (2012)
- (9) Komatsu, T. and Yamada, S.: “How do robotic agents’ appearance affect people’s interpretation of the agents’ attitude?”, In *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, pp.123-126 (2007)
- (10) Funakoshi, K., Kobayashi, K. Nakano, M. et al.: “Smoothing human-robot speech interactions by using blinking-light as subtle expression”, In *Proceedings of the 10th International Conference on Multimodal Interface*, pp.293-296 (2008)
- (11) 上出寛子, 新井健生: “人間らしいロボットに対する心理的安心”, 科学技術社会論研究, Vol.16, pp.43-53 (2018)
- (12) 志村友, 田和辻可昌, 松居辰則: “学習支援ロボットの表情と身体動作が学習者に付与する「安心感」に関する実験的検討”, 第 87 回先進的学習科学と工学研究会 (2019)
- (13) Azevedo, R.T., Bennett, N., Bilicki, A. et al.: “The calming effect of a new wearable device during the anticipation of public speech”, *Scientific Reports*, Vol.7, No.2285 (2017)
- (14) 牧野圭佑: “ビデオ通話における話者同士の距離感を近づけるための振動付与アプリケーションの開発”, 早稲田大学人間科学部卒業論文 (2015)
- (15) 神田崇行, 石黒浩, 石田亨: “人間-ロボット間相互作用に関わる心理学的評価”, 日本ロボット学会誌, Vol.19, No.3, pp.362-371 (2001)
- (16) 神田崇行, 宮下敬宏, 長田拓ほか: “人ロボット相互作用における人型ロボットの外見の影響”, 日本ロボット学会誌, Vol.24, No.4 pp.497-505 (2006)
- (17) 野村達也: “Human-Agent Interaction (HAI) における人の主観評価”, 人工知能, Vol.32, No.2, pp.224-229 (2016)
- (18) 氏家良浩, 井上健司, 田窪朋仁ほか: “バーチャルリアリティを用いたヒューマノイドロボットの二足歩行動作に対する印象評価”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.11, No.2, pp.245-252 (2006)
- (19) 白神翔太, 木下雄一郎, 郷健太郎: “スマートフォンにおける振動の印象を考慮したフィードバックの設計”, 第 78 回情報処理学会全国大会, pp.291-292 (2016)
- (20) Hasegawa, H., Okamoto, S., Ito, K. et al.: “Affective vibrotactile stimuli: Relation between vibrotactile parameters and affective responses”, *International Journal of Affective Engineering*, Vol.18, No.4, pp.171-180 (2019)
- (21) Ju, Y., Zheng, D., Hynds, D., et al.: “Haptic empathy: Conveying emotional meaning through vibrotactile feedback”, In *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, No.225, pp.1-7 (2021)
- (22) 志村友: “非言語情報を伴う学習支援ロボットが創発する安心感と学習意欲に関する実験的検討”, 早稲田大学大学院人間科学研究科修士論文 (2019)
- (23) Kamide, H., Kawabe, K., Shigemi, S., et al.: “Anshin as a concept of subjective well-being between humans and robots in Japan”, *Advanced Robotics*, Vol.29, No.24, pp.1624-1636 (2015)
- (24) 小松孝徳, 山田誠二, 小林一樹ほか: “Artificial Subtle Expressions: エージェントの内部状態を直感的に伝達する手法の提案”, 人工知能学会論文誌, Vol.26, Vol.6, pp.733-741 (2010)