

脳波計を用いた不気味の谷の評価に関する研究

EEG-Based Evaluation of the Uncanny Valley

伊藤 優花子[†] 横田 悠右[‡] 成瀬 康[‡] 矢入 郁子[†]
 Yukako Ito Yokota Yusuke Naruse Yasushi Ikuko E Yairi

1. はじめに

ロボットなどの人工エージェントは現在さまざまな場所で活躍を広げている。それに伴って人工エージェントと人間との関係性や信頼性に関する研究は盛んに行われている[1][2]。今後も家庭、病院、学校などさまざまな場所で、仲間やヘルパーとして人間と関わるようなロボットが増えていくと考えられる。ロボットと人との社会的相互作用が日常で大きな役割をはたすようになる時、ロボットを人間社会がどのように受け入れていくのかということは大きな課題になる[3]。ヒューマノイドロボットが人間の姿に似ている場合の人間の感情的な反応として不気味の谷と呼ばれる現象がある[4]。不気味の谷の克服に向けて、現象を理解することは学問だけでなく社会的にも重要な課題である。本研究は脳波計測技術を応用した不気味の谷評価手法確立を目的に、ロボットおよび人間の画像を提示刺激とした脳波計測実験を実施し、その結果の分析を行う。

2. 脳波計を用いた不気味の谷の評価

2.1 不気味の谷仮説

不気味の谷仮説は、ロボット工学やその他多くの分野で主張されており、図 1 のようにヒューマノイドなど人間に似せて作られた人工エージェントに対して、その造形を実際の人間に近づけていくと、急に観察者に不気味さや嫌悪感、親しみやすさの低下を引き起こす現象が起こるといわれるものである[4]。

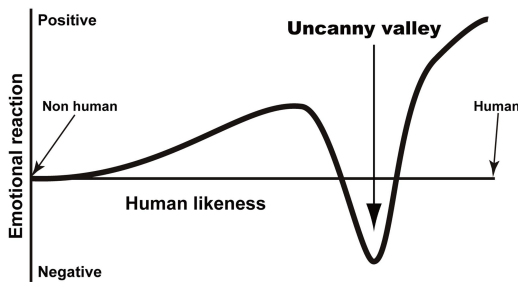


図 1. 不気味の谷仮説[5]

2.2 提示刺激

本実験は、研究または商業目的で作成された、オープンソースのデータベース上にある実世界の擬人化ロボット 251 体からなる ABOT Database (version: 2019.04) [6] を使用して、不気味の谷を評価する。使用したロボット画像の一部を図 2 に示す。不気味の谷仮説は、ロボットがどれくらい人に似ているかという Human-likeness に関わるものである。当データベースは Human-likeness score という最小値を 0、最大値を 100 とする人間らしさの評価値がロボットの画像毎に付されている。比較対象として使用する人間の画像は、Shutterstock より男性 4 人、女性 4 人の計

8 人の画像を、ロボット画像と同様に白背景で上半身のものと全身のものを含むという条件で選択し用いた。これらの画像提示は jsPsych (version 7.1) で作成したアプリケーションによって行われた。

Human-likeness score 70~100



Human-likeness score 50~60

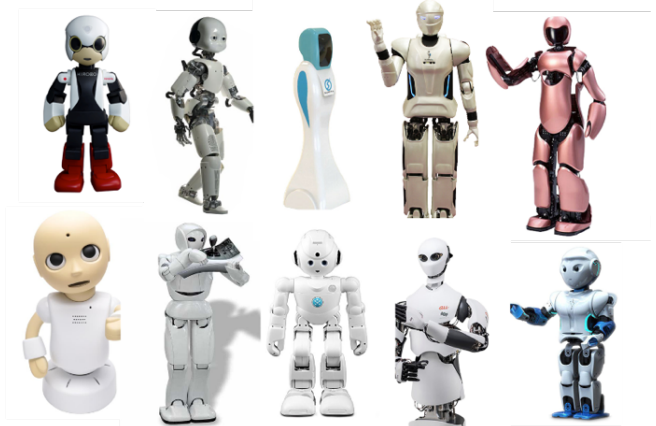


図 2. 使用したロボット画像 (一部)

2.3 実験機器

実験は刺激提示用モニターとして EIZO FlexScan EV2335W (23.0inch), 画像提示タイミング取得のためにフォトディテクタ、脳波測定にワイヤレス生体測定装置 Polymate mini AP108 を用いて行った。図 3 は実験システム概要、図 4 は脳波計の電極の配置である。拡張 10-20 法における、前頭中央領域電極位置 6 箇所 (AF3, AFz, AF4, F3, Fz, F4) に配置し、さらに眼電図計測のために目の横と上にも電極を配置した。なお、全てのデータはサンプリング周波数 500 Hz で計測し、左右の乳様突起に基準電極を配置した。

[†] 上智大学 Sophia University

[‡] 情報通信研究機構 NICT

2.4 実験概要

図 5 に実験プロトコルを示す。実験を行う前に、画像提示のタイミング教示のためのデモンストレーションが約 15 秒行われた。その後、安静時の脳波を約 1 分間計測してから、約 10 分間画像の提示と脳波計測を行った。画像はロボット画像 251 枚と人間の画像 8 枚の計 259 枚であった。黒い背景上に白い十字の視線固定が約 1 秒続いたあと刺激用画像 1 枚が約 1 秒提示される形式で、連続してランダムに画像の提示を行った。実験参加者には提示された画像が人間かロボットかを識別するように指示した。実験後には知っているロボットや人の画像の有無に関するアンケートを行った。

実験参加者は 21-24 歳の健康な男性 11 名、女性 4 名の計 15 名である。全ての協力者は実験内容について十分に理解し、参加の同意を得た上で実験を行った。15 名のうちフォトディテクタおよび脳波計の PC 接続不良によりデータが不足していた 1 名と、実験中に激しく咳き込んだため刺激提示を中断した 1 名の計測データを分析から除外し、13 名のデータを使用した。本研究は上智大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認を受けている。

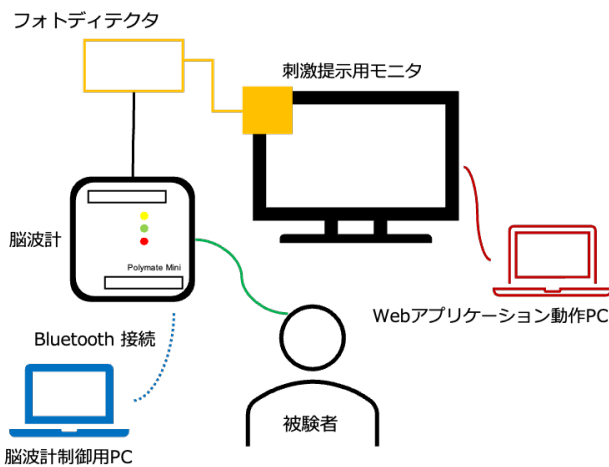


図 3. 実験システム図

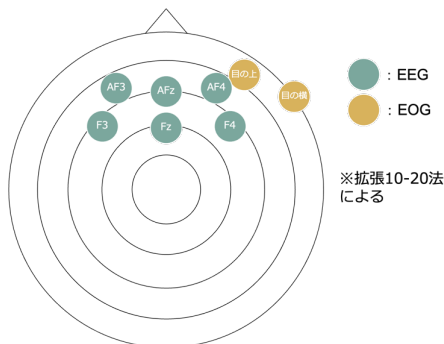


図 4. 電極配置図

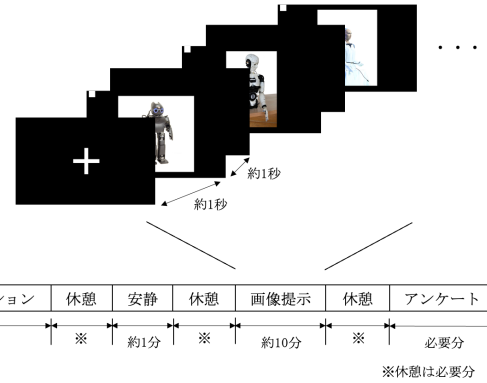


図 5. 実験プロトコル

2.5 解析方法

計測された脳波は、MATLAB によって処理された後に、EEGLAB という脳波解析用 MATLAB ツールボックスを用い、フィルタリング、エポッキング、独立成分分析を行った。得られた脳波データに対し 1Hz のハイパスフィルタ、40Hz のローパスフィルタをかけることで電源ノイズや低周波ノイズを取り除いた。その後、フォトディテクタのトリガと画像提示アプリケーションからそれぞれの画像提示のタイミングを取得し、画像提示前 100ms から画像提示後 700ms の時間幅でエポッキングした。以上の前処理を行ったデータに対し、独立成分分析を用いて眼電アーチファクトを取り除いた。ノイズの多いエポックに対しては目視によるエポックリジェクションを行った。以降、画像毎、端子毎、参加者毎、Human-likeness score 毎などの様々な条件で、脳波データを加算平均し、事象関連電位 (ERP) を算出した。

3. 結果

3.1 Human-likeness score による分類と着目成分

Human-likeness score (以下 HL) でロボット画像を分類し人の画像提示時との ERP 比較を行った結果を図 6 に示す。図 6 では加算平均時に計測用 6 端子のデータを全て使用した。以降、本稿では事象関連電位の代表的な成分である N1 および P3 に着目する。

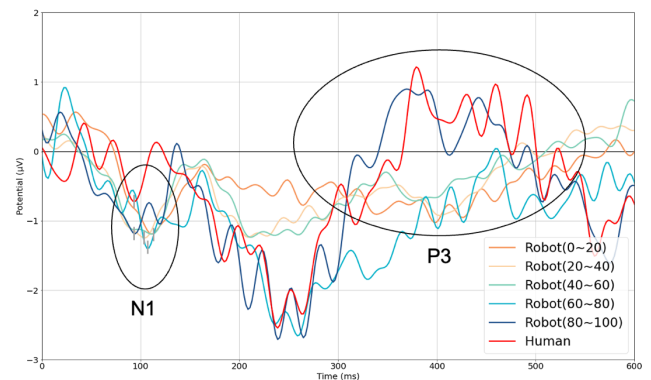


図 6. HL ごとの事象関連電位

3.1.1 事象関連電位 N1

N1 は潜時約 100ms 前後に現れる刺激提示最初の陰性波である。N1 の振幅と潜時は呈示された刺激のもつ情報に影響を受けると考えられており、視覚的な N1 の信号源は高次視覚野に存在するとされている [7]。また最近の研究で

は、脳波の N1 成分を使用して視覚的なオブジェクトを識別することが可能になるなど、N1 が視覚的特徴の知覚と処理を反映していることが明らかになっている。図 6 で示した各 HL 区分での N1 成分に着目すると、人間とロボットの間で振幅の大きさが異なっている。人の画像提示時の振幅と比べ、各分類それぞれでロボット提示時の振幅が大きくなっていることがわかる。また、人の画像提示時と高い HL (80 以上 100 未満) のロボット提示時に比べ、他の HL 画像提示時では N1 出現に遅延が生じている。これらより N1 から、提示された視覚情報に対し、人がロボットと人のどちらと判断しているかの情報を得られる可能性がある。

3.1.2 事象関連電位 P3

P3 は潜時約 400ms に現れる陽性波として知られており、潜時は 300ms から 900ms まで及ぶこともある。また刺激の評価または分類に関与するプロセスを反映していると考えられており、識別の難易度などに影響を受けることがある [8]。さらに刺激に対する人の反応に関連していることから、内因性の成分であると考えられている。図 6 で示した人の画像、HL80~100 の画像、HL60~80 の画像それぞれを提示した時の P3 に着目すると、人の画像、HL80~100 の画像提示時は同様の振幅で、HL60~80 の画像提示時はそれと比較して振幅が小さくなっている。また、図 7 に人の画像、HL90~100 の画像、HL80~100 の画像それぞれを提示した時の ERP を示す。P3 に着目すると、人の画像、HL90~100 の画像、HL80~100 の画像提示時はそれぞれ同程度の振幅であることがわかる。これらから、HL が非常に高い画像を提示されたときに、その刺激をロボットではなく人と認識している可能性が考えられる。

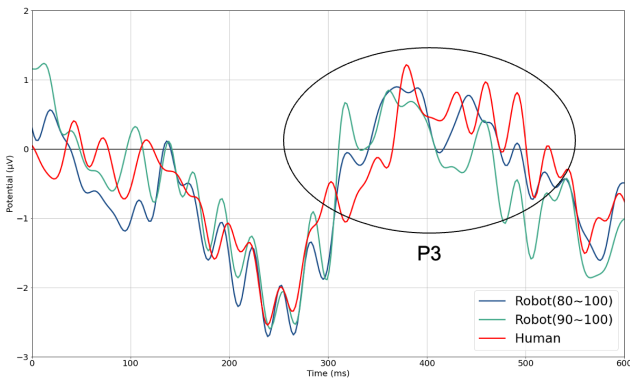


図 7. 高い HL 画像提示時の P3 比較

3.2 Human-likeness score による分類と不気味の谷

3.2.1 不気味の谷の検討

今回使用している ABOT Database 上の 251 台のロボットの静止画像に対して、参加者が不気味さで評価するという実験を行った論文がある [9]。この論文ではロボットが人間に非常に似ているとき 1 つの大きな谷が存在し、それが HL70~90 の時であると結論付けている。さらに今回の実験結果より、P3 の特徴から HL が非常に高い画像を提示されたときにその刺激をロボットではなく人と認識している可能性があることから、被験者が不気味と感じているのは HL が 70~90 の時であると考えられる。

以上より HL が 70~90 の画像提示時の脳波に着目することで不気味の谷にいるロボットを見た時の特徴を捉えることができると考えられる。

3.2.2 事象関連電位 N2

N2 とは潜時約 200ms に現れる陰性波で、人間の刺激評価、選択的注意、および意識的識別に重要な ERP とされている。また一般的な刺激の形式またはコンテキストの逸脱に起因する否定性を示しているとも言われる [10]。図 8 に HL が 50~60 の画像、HL が 70~90 の画像、人の画像提示時の脳波を示す。HL が 70~90 の画像提示時の脳波では、人の画像提示時と HL の低いロボット画像提示時に比べ、N2 振幅が大きくなっていることがわかる。この脳波成分に着目することで、あるロボットが不気味の谷にいるかそうでないかの判断ができる可能性が示される。

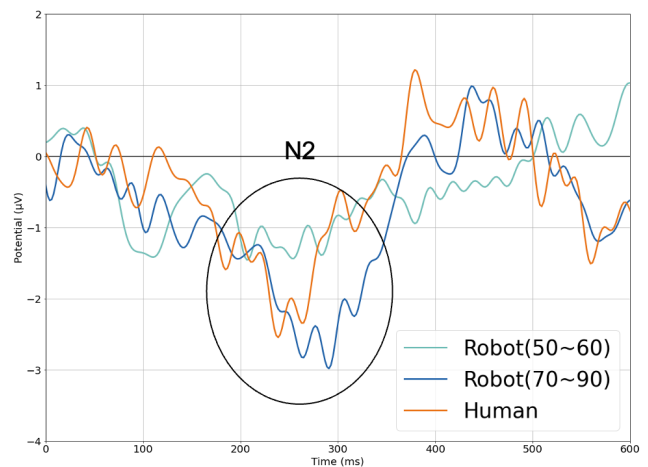


図 8. 提示画像分類ごとの ERP 比較

3.2.3 各端子における脳波

今回は拡張 10-20 法における、前頭中央領域電極位置 6 箇所 (AF3, AFz, AF4, F3, Fz, F4) での計測を行っており、6 端子それぞれで、人の画像を提示した時と HL が 70~90 のロボット画像を提示した時の ERP 算出結果を図 9 に示す。図から F4, AF4 で HL が 70~90 のロボット画像を提示した時の N2 の特徴が顕著であることがわかり、データの収集を進めることでより不気味の谷を示す可能性の高い端子が特定される可能性がある。

3.3 考察

本実験結果より、N1 から、提示された視覚情報に対し、人がロボットと人のどちらと判断しているかを知ることができる可能性があること、また不気味の谷にいるとされる HL が 70~90 のロボット画像を提示した時には N2 振幅が大きくなるという特徴がある可能性が示された。また、端子によってその特徴が特に現れるものとそうでないものがあることがわかった。N2 は一般的な刺激の形式またはコンテキストの逸脱に起因すると言われている。今回人間かロボットかを識別するというタスクを課しているため、その文脈に合わない人間の姿にとっても近いロボットという刺激が、N2 を誘発した可能性がある。同様の実験を行いデータを増やし分析することで、N2 と不気味の谷の関連を明らかにする必要がある。

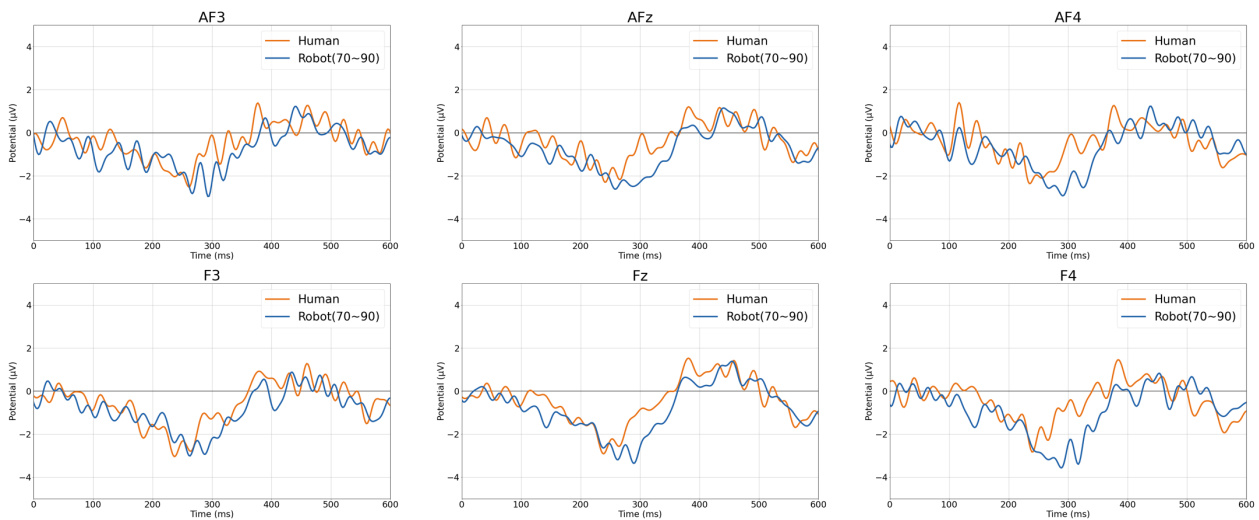


図 9. 端子ごとの ERP 比較

4. おわりに

本研究は脳波計測技術を応用した不気味の谷評価手法確立を目的に、ロボットおよび人間の画像を提示刺激とした脳波計測実験を実施し、その結果から事象関連電位(ERP)の各成分からロボットと人の分類および不気味の谷に関する洞察を得た。本実験結果より、提示された視覚情報に対し脳波から人がロボットと人どちらと判断するのかについて明らかになる可能性、また不気味の谷を評価するために用いられる可能性のある脳波の特徴を捉えることができた。

今後追加で同様の実験を行いデータを増やして分析を行うことで、N2 と不気味の谷の関連および不気味なロボットに対して特徴的な脳波が計測される端子の探索、さらにHLによる分類だけでなく各ロボットでの変化の検証を行う予定である。

謝辞

実験に参加下さった皆様に深く感謝します。本研究はJSPS 科研費基盤研究(B) 20H04476 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Grodzinsky, Frances S., Keith W. Miller, and Marty J. Wolf. "Developing artificial agents worthy of trust: "Would you buy a used car from this artificial agent?"" *Ethics and information technology* 13.1 (2011): 17-27.
- [2] Hortensius, Ruud, Felix Hekele, and Emily S. Cross. "The perception of emotion in artificial agents." *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems* 10.4 (2018): 852-864.
- [3] Broadbent, Elizabeth. "Interactions with robots: The truths we reveal about ourselves." *Annual review of psychology* 68 (2017): 627-652.
- [4] Mori, Masahiro, Karl F. MacDorman, and Norri Kageki. "The uncanny valley [from the field]." *IEEE Robotics & Automation Magazine* 19.2 (2012): 98-100.
- [5] Sasaki, Kyoshiro, Keiko Ihaya, and Yuki Yamada. "Avoidance of novelty contributes to the uncanny valley." *Frontiers in Psychology* 8 (2017): 1792.
- [6] Phillips, Elizabeth, et al. "What is human-like? Decomposing robots' human-like appearance using the anthropomorphic robot (abot) database." *Proceedings of the 2018 ACM/IEEE international conference on human-robot interaction*. 2018.
- [7] Antal, Andrea, et al. "Early and late components of visual categorization: an event-related potential study." *Cognitive brain research* 9.1 (2000): 117-119.

- [8] 開一夫・金山範明(2020)『脳波解析入門 Windows10 対応版 EEGLAB と SPM を使いこなす』東京大学出版会
- [9] Kim, Boyoung, et al. "A comprehensive approach to validating the uncanny valley using the anthropomorphic RoBOT (ABOT) database." *2020 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*. IEEE, 2020.
- [10] Patel, Salil H., and Pierre N. Azzam. "Characterization of N200 and P300: selected studies of the event-related potential." *International journal of medical sciences* 2.4 (2005): 147.