

ミラーニューロンシステムを指標とした「ヒトらしさ」の評価： アンドロイドはヒトかロボットか？

Evaluation of human-likeness by using the mirror neuron system activity: An android is a human or robot?

松田 剛[†], 開 一夫[†], 石黒 浩[‡]
Goh Matsuda, Kazuo Hiraki, Hiroshi Ishiguro

[†] 東京大学大学院総合文化研究科, [‡] 大阪大学大学院工学研究科
The University of Tokyo, Osaka University
matsuda@ardbeg.c.u-tokyo.ac.jp

Abstract

We evaluated human-likeness of humanoid robots by use of electroencephalograms (EEG). Since activity of the human mirror neuron system (MNS) is thought to reflect perceived human-likeness of observed agents, we used MNS activity as an index of human-likeness of robots. In the first experiment, we measured MNS activity while participants observed actions performed by a human (Human), an extremely human-like android (Android), and a machine-like humanoid (Robot). Although motions of Android and Robot were almost the same, MNS was significantly activated only when participants observed Human and Android, not Robot. In the second experiment, point-light motions extracted from the Human and Robot's motions were used as stimuli, and significant MNS activity was elicited only when participants observed a human-origin point-light motion. These findings indicate that human-like appearance and kinematics activate MNS even if an agent is not a real human.

Keywords — Humanoid Robot, Android, Mirror Neuron System, EEG, Mu Suppression

1. はじめに

近年、ヒトとの社会的相互作用を目的としたロボットが数多く開発されている。ヒトにとって最も社会的な存在はヒト自身であり、ヒトとロボットの円滑なコミュニケーションを実現するためには、ロボットをヒトに近い存在として認識させることがひとつの近道と考えられる。では、ロボットのどのような要素がロボットをよりヒトに近い存在と認識させるのであろうか。本研究では、ロボットの「見た目」と「動き」がロボットに対する「ヒトらしさ」の認知に与える影響に着目し、本物のヒトと、ヒトに形も見た目も近いアンドロイド、形はヒトに近いが見た目は機械的なロボッ

トを刺激として用いた2つの脳活動計測実験を行った。

「ヒトらしさ」の指標としては、運動の実行時と観察時に共通して活動するミラーニューロンシステム (MNS) に着目した。MNS はビデオ映像やCGで描かれたヒトの動作に対しては、本物のヒトの動作を見ているときよりも反応が小さくなることが知られており [1][2]、主観的評価だけでは検出できない動作主の「ヒトらしさ」を測る指標になる可能性がある。

これまでもヒトとロボットの動作に対するMNSの反応を比較した研究はいくつか存在するが、動作主としてロボットアーム [3][4][5] やCG [6] を用いたものが多く、本研究のように実在するアンドロイドを用いた研究はほとんどなかった。本研究では実在するアンドロイドの、しかも全身の映像を用いるため、より現実 に即したロボットに対するMNSの反応が観察できる。

脳活動計測には脳波計を使用し、感覚運動野付近の μ 波帯 (8~13Hz) のパワーの変化をMNSの活動強度の指標とした。MNSを含む運動関連領域が活動すると、感覚運動野付近で記録される μ 波帯のパワーが減衰することが知られている [7]。

実験1では特にロボットの「見た目」が、実験2では「動き」がMNSの活動に与える影響を検討した。実験1と2は被験者と刺激映像以外の実験設定は全て同一であった。いずれの実験も東京大学大学院総合文化研究科の倫理審査委員会の承認を得ており、被験者には事前に実験の内容や装

置の安全性について十分な説明をし、書面による同意を得た上で実験を開始した。

2. 実験 1: 「見た目」の影響

ロボットの見た目をヒトに近づけることで、ロボットに対する MNS の反応は、本物のヒトに対する反応に近づくのだろうか。実験 1 では、動きが同一で見た目のみが異なる 2 体のロボットを用い、ロボットの見た目が MNS の活動に与える影響を検討した。

2.1. 被験者

17 名（男性 8 名、女性 9 名、平均 21.0 歳、全員右利き）の被験者が参加した。いずれの被験者も本研究で用いたロボットとの接触経験はなかった。

2.2. 刺激

刺激映像として、3 種類の動作主が 2 種類の動作を行う映像と、視覚的ホワイトノイズの計 7 種類のモノクロ映像が用いられた。動作主は本物の女性 (Human) と、見た目が精巧に作られた女性型アンドロイド (Android)、そして形状はヒト型だが見た目は機械的なロボットであった (図 1)。Android は Repliee Q2 (大阪大学石黒研究室) であり、Robot はその外皮を取り除き、機械部分を剥き出しにしたものであった。したがって両者の動きはほぼ同一であった。動作は右手を伸ばして物を取りに行く動作 (Reaching) と、右手を左右に振り机を拭く動作 (Wiping) であった。

映像の長さはいずれも約 3.5 秒であり、繰り返し再生しても自然に繋がるように、映像の後半は前半の映像の逆再生になっていた。映像のフレームレートは毎秒 30 フレームであり、被験者の顔から約 90cm 離れた 17 インチ CRT モニターに縦 9.4cm、横 9.7cm の大きさで提示された。いずれの映像も中央に注視点として白い十字が常に表示されていた。

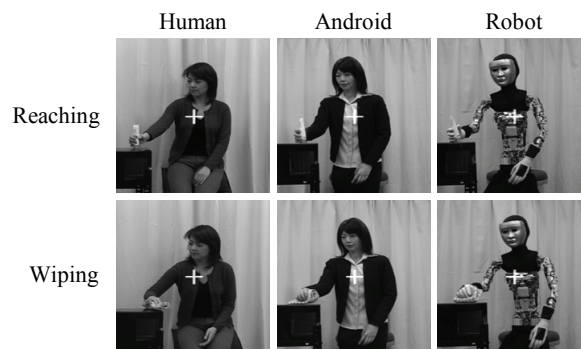


図 1 実験 1 で用いた刺激映像

2.3. 脳波の測定と解析

脳波測定には 64 チャンネルの同時計測が可能なネット式脳波計 (Geodesic EEG System, EGI) を用いた。データのサンプリングレートは 500Hz であり、測定時のリファレンスは Cz であった。

解析は左右および正中部の感覚運動野上に位置する 3 つの電極 (C3, C4, Cz) を対象とした。各電極のデータに 0.1~30Hz のバンドパスフィルタをかけた後、リファレンスを両マストイドに変更した。そして 512 ポイント (約 1 秒) ごとにセグメントを分け、各セグメントにおける μ 波 (8-13Hz) のパワーを FFT によって求めた。その際、セグメント内の振幅の最大値と最小値の差が $150 \mu V$ 以上あるセグメントは除外した。

先行研究[3]に習い、各映像観察時の μ 波の平均パワーをホワイトノイズ観察時の μ 波の平均パワーで割り、その Log 値を μ 波の変化量とした。この Log 比が負の値となれば、ホワイトノイズ観察時よりも各映像観察時に μ 波が減衰したことを意味している。

2.4. 手続き

脳波の測定は 14 ブロックに分かれていた。1 つのブロックで提示する映像は 1 種類のみであり、約 3.5 秒の映像を 24 回連続的に提示した。被験者の注意を注視点に集中させるため、被験者には注視点の色が一瞬 (5 フレーム間) 黄色く変わった回数を数え、ブロック終了後に口頭で報告してもらった。黄色く変わる回数はブロックごとに異なり、2~4 回であった。前半の 7 ブロッ

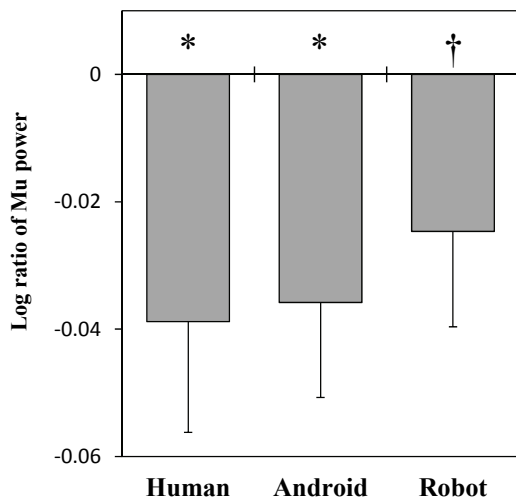


図2 実験1の各動作主に対する μ 波減衰量
(*: $p < 0.05$, †: $p < 0.1$)

クで7種の映像を全て提示し、後半の7ブロックは前半7ブロックの繰り返しであった。ブロック間には1分以上の休憩を挟んだ。映像の提示順序は被験者間でランダムとした。

2.5. 結果

μ 波パワーのLog比を用いて電極(C3/Cz/C4) × 動作主(Human/Android/Robot) × 動作(Reaching/Wiping)の3要因で分散分析を行ったところ、有意な主効果や交互作用は認められなかったため、電極と動作をまとめて各動作主におけるLog比を計算し、その値が有意に0よりも小さいか(μ 波が減衰したか)どうかをt検定によって確認した(図2)。その結果、HumanとAndroidに対しては有意な μ 波の減衰が見られたが($t(16) = 2.23$, $t(16) = 2.40$, いずれも $p < 0.05$)、Robotに対する μ 波の減衰は有意な傾向を示すに留まった($t(16) = 1.64$, $p < 0.1$)。いずれの動作主に対してもMNSは反応したものの、その傾向はRobotよりもHumanとAndroidの方がやや強かったと考えられる。

3. 実験2:「動き」の影響

動作主の見た目の影響を排除し、動きのみの影響を検討するため、実験1で用いた刺激映像から8点のpoint light motion (PLM)による動画を

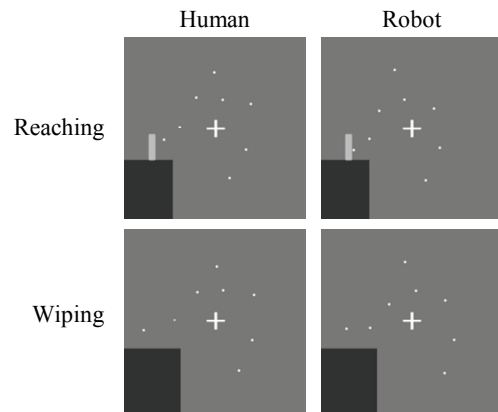


図3 実験2で用いた刺激映像

作成し、被験者には元がロボットの映像であることを隠した上で実験1と同様の実験を行った。

3.1. 被験者

実験1とは異なる19名(男性10名、女性9名、平均19.6歳、全員右利き)の被験者が参加した。

3.2. 刺激と手続き

AndroidとRobotの動きはほぼ同一であるため、刺激映像にはHumanとRobotの動作(Reaching, Wiping)をPLM化した4種類の動画(図3)と、視覚的ホワイトノイズを用いた。それ以外の装置や手続きは実験1と同様であり、計10ブロックの脳波測定が行われた。

解析も実験1と同様に各PLM観察時の μ 波の平均パワーとホワイトノイズ観察時の μ 波の平均パワーのLog比を求め、それらを使って統計処理を行った。

3.3. 結果

電極(C3/Cz/C4) × 動作主(Human/Robot) × 動作(Reaching/Wiping)の3要因で分散分析を行ったところ、動作の主効果(Wipingの方が値が小さい)が有意な傾向($p < 0.1$)を示したため、電極だけをまとめ、各PLM観察時のLog比が0よりも小さいかどうかをt検定によって確認した(図4)。その結果、HumanのWiping動作に対してのみ有意な μ 波の減衰が見られた($t(18) = 1.84$, $p < 0.05$)。

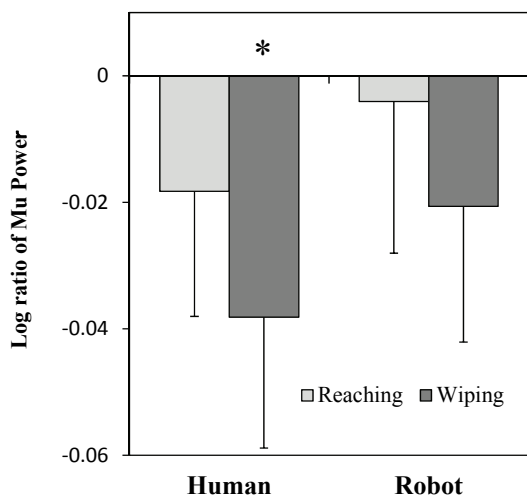


図4 実験2の各PLMに対する μ 波減衰量
(*: $p < 0.05$)

脳波測定後の口頭質問によると、いずれの被験者も本研究で用いたアンドロイドとの接触経験はなく、またPLMのモデルがロボットだとは思っていないかった。

4. 考察

実写映像を用いた実験1において、AndroidとRobotの動きはほぼ同一であるにもかかわらず、 μ 波減衰量はAndroidの方がHumanに近い結果となっていた。これはロボットの「見た目」をヒトに近づけることで、MNSの反応がより本物のヒトに対するものに近くなる可能性を示唆している。ただし動作主間の μ 波減衰値に有意差はなく、3者に対するMNSの活動量にそれほど顕著な違いはなかったとも言える。

一方で、point light motion (PLM)を用いた実験2においては、Robotの動きを模したPLMに対しては有意な μ 波減衰が見られず、Humanの動きを元にしたPLMに対してのみ有意な μ 波減衰が生じていた。この結果は、「動き」のヒトらしさがMNSの活動に影響を与えることを示している。ReachingよりもWipingの方が μ 波減衰が大きくなっていったのは、動作の反復回数による影響の可能性もある。Reachingは3.5秒間で1回のみ物に手を伸ばすのに対し、Wipingは3.5秒間に4回机の上を手が往復していた。その運動量の違

いが、MNSの活動量にも影響を及ぼしていたのかもしれない。

実験1と2の結果を合わせると、実験1のみでは明確な結論が得られなかった、MNSに対する動作主の見た目の影響が見えてくる。実験2ではRobotを元にしたPLMに対し有意な μ 波減衰は見られなかったが、実験1ではRobotの実写映像に対し有意な傾向を示す μ 波減衰が見られた。つまり同じ動作のPLMと実写映像を比べると、実写映像の方がMNSの活動が大きかったことになる。本来MNSを顕著に賦活させるほどヒトらしくはなかったロボットの動きに対し、ヒトらしい見た目が加わることによって、MNSの活動が増幅されたのではないだろうか。

本研究と同様に、ヒトとロボットに対するMNSの反応を比較した先行研究においては、様々な結果が報告されている。Obermanら[3]は、ヒトの手と、ヒトの手に似せたロボットアームの手のひらの開閉運動を観察しているときの脳波を比較し、いずれも μ 波減衰が生じており、両者に有意差はなかったと報告している。またGazzolaらによるfMRI研究[4]では、ヒトの手の動作を見ているときも、ロボットアームの動作を見ているときも、共通して運動前野などのMNS関連領域が賦活したと報告されている。ただし有意水準を厳しくすると、ヒトの手のみがMNS関連領域を賦活させたと解釈することもできると述べられており、本研究の実験1と同様に、ヒトとロボットの間には僅かな差があったことが示唆されている。一方でTaiらのPET研究[5]では、ロボットアームが物を掴む動作を見ているときの方が、ヒトの同じ動作を見ているときよりも運動前野の活動が有意に小さかったと報告されている。ただしこの研究では、産業用のロボットアームが用いられており、形状がヒト型とは言えない点に注意する必要がある。

これらの先行研究と本研究の結果を踏まえると、MNSは動作主の見た目が本物のヒトに近づくほどより強く反応する傾向があるものの、ある程度以上に見た目がヒトに近い存在に対しては、本物のヒトと同様の反応を示すのかもしれない。実験

1 で用いられた映像は、表層こそ違え、いずれもヒトの形状をした動作主による動作であった。体や顔などが本物のヒトに近い形状であれば、多少動きが不自然でも、脳の一部はその対象をヒトと区別せずに処理しているのかもしれない。少なくとも本研究で用いたアンドロイドは、MNS にとっては十分ヒトらしい存在だったのではないだろうか。

よりヒトに近い存在感を持ち、ヒトとの円滑なコミュニケーションを目指すロボット開発において、見た目や動きといった物理的特徴をヒトに近づけることには、それなりの効果が期待できそうである。今後はロボットに対する事前知識がない乳児を対象に同様の実験を行い、ヒトに近い存在に対するより本能的な反応を検討していきたい。

謝辞

本研究は科研費（20220002）および科研費（18200018）の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Perani, D., et al., (2001) "Different brain correlates for watching real and virtual hand actions", Vol.14, No.3, pp.749-58.
- [2] Jarvelainen, J., et al., (2004) "Activation of the human primary motor cortex during observation of tool use", Vol.23, No.1, pp.187-92.
- [3] Oberman, L., et al., (2007) "EEG evidence for mirror neuron activity during the observation of human and robot actions: Toward an analysis of the human qualities of interactive robots", Vol.70, No.13-15, pp.2194-2203.
- [4] Gazzola, V., et al., (2007) "The anthropomorphic brain: The mirror neuron system responds to human and robotic actions", Vol.35, No.4, pp.1674-1684.
- [5] Tai, Y. F., et al., (2004) "The Human Premotor Cortex Is 'Mirror' Only for

Biological Actions", Vol.14, No.2, pp.117-120.

- [6] Shimada, S., (2010) "Deactivation in the sensorimotor area during observation of a human agent performing robotic actions", Vol.72, No.3, pp.394-9.
- [7] Pineda, J. A., (2005) "The functional significance of mu rhythms: translating "seeing" and "hearing" into "doing"", Vol.50, No.1, pp.57-68.