

生理指標に着目した擬人化エージェントの顔画像提示時間の違いが情動反応に与える影響

Effect of Duration of Exposure to Humanlike Face with Physiological Indices on Human Emotional Response

田和辻 可昌^{*1} 村松 慶一^{*2} 松居 辰則^{*3}
Yoshimasa TAWATSUJI Keiichi MURAMATSU Tatsunori MATSUI

^{*1}早稲田大学 大学院人間科学研究科 ^{*2}埼玉大学 大学院理工学研究科
Graduate School of Human Sciences, Waseda University Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

^{*1}早稲田大学 人間科学学術院
Faculty of Human Sciences, Waseda University

Recently, the uncanny valley problem has been widely paid attention to and many researches have been conducted to clarify how negative feeling. We proposed a model based on the brain function, integrating the previous two models which provided an explanation for the occurrence of the uncanny feeling towards the human-like objects. In the former part of this paper, the explanation about our model and the simulation to verify our model is provided. And in the latter part is the experiment described which was conducted to investigate which physiological indices were suitable for the simulation results to be associated with. In the experiments, NIRS, galvanic skin reflex (GSR) and blood volume pulse (BVP) were measured as the physiological indices. In the results, however, the effective features were not captured.

1. はじめに

近年、人間のような外見を模したロボットやコンピュータプログラム（本研究では、これらを総称して擬人化エージェントと呼ぶ）が開発されている。技術の進歩によりこれらの擬人化エージェントの外見が人間のそれと見分けがつかなくなってきている反面、不気味の谷と呼ばれる現象 [Mori 70] が注目されている。一般的に擬人化エージェントの外見が人間に近づくにつれ、人間のエージェントに対する親和度は上昇すると考えられているが、人間との類似度がかかなり高くなったある地点において親和度が急激に負の方向に下落することがあると考えられている。この親和度はさらに類似度が高まり人間と完全に見分けがつかなくなった際には、非常に高い正の値を取ると考えられており、このことから類似度が極めて高い個所にてできる、親和度の負の値を指して不気味の谷と呼ぶ。

人間がわずかに「人間」と異なる物体を見たときに生じるこの特異的な反応は、自己防衛反応のひとつであると考えられている [Mori 70]。このことから、この反応がなぜ生じるのかといった課題は、いかにヒトが他者をヒトとして本能的に捉えているのか、またヒトとわずかに異なるといったことに対してなぜ鋭敏に反応するのかといった重要な課題を同時に有していると考えられる。したがって、このヒトとわずかに異なる対象に対して不気味さを形成するメカニズムが、どのような情報処理基盤によって成立しているのかを明らかにすることはヒト理解において重要な課題であるといえる。

2. これまでに構築されたモデル

2.1 先行研究で提唱されたモデル

筆者らが以前行った実験の結果から、人間に似た CG 顔画像を観察する場合と人間の顔画像を観察する場合とでは、初めの 5 秒ほどではそれぞれの顔の特徴部位（目鼻口）に対する

視線停留時間に有意な差は見られないが、時間が経過するに従い、CG 画像の目に対する視線停留時間は人間のそれに比べて長くなることが示唆された。このことから、人間は人間に似た CG 画像に対して二段階の知覚情報処理を行っていることが示唆された。そこで、LeDoux の感情の二重経路 [LeDoux 96] を用いてこの二段階の情報処理が説明できると考えた。この感情の二重経路を用いたモデルは、Shimada らによっても同様のモデルが提案されている [Shimada et al. 07]。まず、雑多で処理の早い系（低位経路）ではアンドロイドを人間として処理し、これに後続する詳細な情報処理系（高位経路）ではアンドロイドを非人間として処理する。この結果、二つの情報処理の齟齬が不気味さを誘発する [Shimada et al. 07]。扁桃体は脳のうち大脳辺縁系に含まれ、情動、記憶に深く関与していると考えられており、また扁桃体は処理した情報を視床下部へ伝え、情動反応を生起させる [小野ら 12]。また Moore は、不気味の谷に表されるグラフの形状が、知覚心理学における「Perceptual Magnet Effect（知覚のマグネット効果）」の概念を用いて、説明できることを示した [Moore 12]。このモデルでは人間が誤って擬人化エージェントを人間と知覚することによって知覚の齟齬が発生し、この齟齬が大きければ大きいほど、強い負の感情が形成されると考えられている。

2.2 既往モデルの統合

著者らは上記の二つの不気味の谷の説明モデルを人間の知覚情報処理および情動反応に関する脳機能という観点から統合し、不気味さ形成メカニズムを表す神経基盤モデルを構築してきた。二つのモデルの統合にあたり、Moore のモデルを脳機能の観点から再構築した。Guenther らは、自己組織化マップを用いて視床-大脳皮質のモデルを構築し、知覚のマグネット効果を試みた [Guenther et al. 12]。そこで、Moore のモデルにおける、二つの情報の齟齬とは、大脳皮質における知覚対象の弁別課題において、知覚対象がどちらのカテゴリに属するかを判別する際に生じる齟齬であると解釈された。異常から、まず擬人化エージェントに対する初期の知覚は、低位経路によって人間に対する知覚処理と同等の処理がなされる。これと同時に

連絡先: 田和辻 可昌, 早稲田大学 大学院人間科学研究科, 埼玉県所沢市三ヶ島 2-579-15, watskcoreverfay@akane.waseda.jp

かやや遅れて、「人間」であるか「非人間」であるかの判断に関して大脳皮質と海馬における記憶との照合がなされる。この弁別課題に生じる知覚の齟齬が扁桃体に伝達され負の情動反応として生起すると考えた。図1に本モデルの概要図を示す。

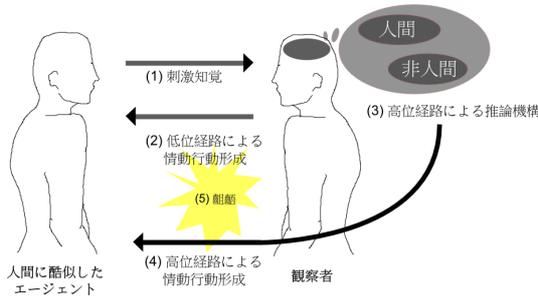


図1: これまでに構築されたモデルの概要図

2.3 視線実験を踏まえた神経基盤モデル

先に述べたように、人間の顔画像観察時とCG描写による顔画像観測時では、それぞれの目に対する視線停留時間に差が見られた。この点に関しては、線条体を中心とした強化学習で説明されると考えた。すなわち、人間に対する類似度が高いCG顔画像を観察すると、知覚対象が人間であるということが低位経路の処理によって期待される。このため、高位経路による情報処理で人間ではないという情報処理がなされると、その差分だけ、視線を対象に向ける行動が強化される。一方で、人間の顔画像を観察した際は、対象が人間であるからこのような期待との差分が生じず、視線を対象に向ける行動が強化されないと考えられる。

3. モデルの定性的記述とシミュレーション

本モデルで取り上げた脳部位は、視床、扁桃体、大脳皮質、海馬、線条体である。まず、これらの脳部位の各機能を脳科学的知見をもとに抽出し、次いで各部位の神経生理学的結合関係から機能の結合を試みた。

視床は網膜などの感覚器において受容された情報を扁桃体と大脳皮質に連絡する [LeDoux 96]。次に扁桃体は、知覚された対象の情動評価を行い、それが個体にとって価値がある(快)か、価値がない(不快)かを判断する [小野ら 12]。また、線条体を含めた大脳基底核は強化学習との関連性が指摘されている [Wichmann et al. 14] ことから、期待報酬量と報酬の差分だけ行動を強化するものとして考えた。

次に、これらの機能を定性的に記述・定式化を行う。扁桃体は、知覚した情報の情動評価を $v(t) \in Q$ (Q は定性値を表す) を決定し、その定性的な値に沿って情動行動を起こさせる(本シミュレーションでは対象に対して視線を向けさせる)と仮定した。また、大脳皮質は対象に対する期待値(報酬予測) $r \in Q$ を計算すると仮定した。海馬は扁桃体と協調記憶形成にかかわっている [小野ら 12] ことから、扁桃体で形成された情動評価は、その政府の情報が海馬へと蓄積されると仮定した。さらに、この海馬に蓄積された情報が直前の情報と同じであれば扁桃体の活動を抑制させると仮定した。

最後に統計処理言語および処理環境であるフリーソフトウェア R^{*1} を用いてこれらの機能的結合関係を定性的に記述した。本研究で構築したモデルでは、入力情報を人間が擬人化エー

ジェントの「顔」から知覚される顔の形態的特徴(目鼻口の大きさ、強膜の広さ)に関する情報(形態情報の異常度)と、出力を対象に対する評価値と扁桃体の活動度とした。この結果、異常度が高いエージェントに対しては、対象に対する評価値は増加傾向にあり、各形態的特徴の異常度が増えるに従い、評価が時間とともに負の方向へ下がることが示唆された。

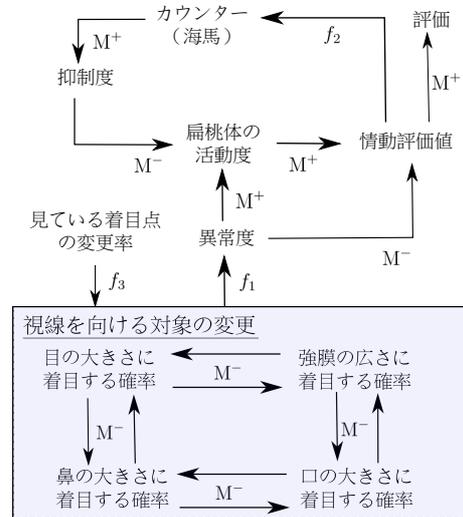


図2: シミュレーションで用いられたパラメータの定性的関係

4. 擬人化エージェント観察時に生じる情動反応に関する生理計測実験

これまで行ったシミュレーション結果は、実際に外的に観測される脳血流や生理データなどの情報との比較がなされていなかった。このため、どのような生理データを用いれば、本研究で仮定しているような現象をとらえ、シミュレーション結果と比較・対比ができるかという課題を解決する必要がある。そこで、擬人化エージェントを観察した際に生じる特異的な情動反応、すなわち扁桃体の二段階の応答を生理データの時系列的な変化から外的に抽出できるかについて実験的に検討した。

4.1 実験デザイン

4.1.1 刺激

人間に対するの類似度を段階づけるにあたり、一方に人間の男性の顔を模して作成された 3DCG^{*2} (以下、マスク)を、他方に男性 9 名の平均顔を用いて、モーフィング画像を作成した。モーフィング画像作成に当たっては、MorphX (<http://www.norrkross.com/software/morphx/morphx.php:ver.2.9.5>) が使用された。各刺激は、マスクを 0%、平均顔を 100%として、20%ずつ一方を他方に变化させた計 6 段階の画像を用いた。本実験で用いた刺激を図3に示す。



図3: 実験に用いられた顔刺激 6 種類。左: マスク (0%) から 20%ずつ右: 似顔絵 (100%) に対する類似度が上昇する。

*1 The R Project for Statistical Computing: <http://www.r-project.org/index.html>

*2 TurboSquid - 3d male head: <http://www.turbosquid.com/3d-models/3d-male-head/256000>

提示される顔刺激の大きさが、実際の画面から同距離にある人物の顔の大きさとおおよそ同じになるように、刺激呈示用提示モニター的位置が調整された。この結果、被験者は画面から90cm離れた位置に着席するよう求められ、刺激画像は BenQ XL2420Z を用いて提示された。刺激提示には Microsoft Office PowerPoint の自動再生機能を用いて、各刺激画像は指定された時間だけ提示された。刺激提示時間は各類似度の刺激に対して 2 秒、5 秒、10 秒が設けられた。

4.1.2 計測機器

顔刺激を観察中および評価中の被験者の脳血流、発汗 (galvanic skin reflex:GSR)、容積脈波 (blood volume pulse:BVP) を、NIRS (日立製作所性製 WOT-100) および NeXus-10 MK II (Mind Media 製) を用いて取得した。発汗 GSR を取得するセンサーは被験者の利き手でない方の人差指と薬指に、容積脈波 BVP を取得するセンサーは同手の中指に装着した。

4.1.3 手続き

まず計測機器をそれぞれ装着されたのち、被験者は手元にある評価用紙に年齢と性別の回答を求められた。次に、実験者から実験内容の説明があったのち、NIRS 調整のため目を閉じ深呼吸を求められた。これが終わると、被験者は刺激の快-不快評価を行う課題に取り組むよう指示された。ここでは、先行研究 [浅野ら 11] に倣い、Visual Analog Scale(VAS) を評価尺度として用いた。ただし、本実験では印刷された際の軸の長さが 120mm であったため、分析の際は k 番目に得られた評定値 (左端点から印がつけられた箇所までの長さ: 単位 mm) x_k に対して、 $x_k/120$ によって補正值を求めた。

課題の全体の流れを図 4 に示す。10 秒間の休息、顔刺激の提示、VAS 評価用紙への記入 (5 秒間)、10 秒間の休息を一つのタスクとして、計 18 パターンの顔刺激 (類似度 6 段階、提示時間 3 段階) に対してタスクが与えられた。顔刺激の提示順序はあらかじめ乱数を用いてランダムに並び替えられた。ただし、被験者間での提示順序は等しい。また 10 秒間の休息の際は、「+」マークが画面の中央に表示され、被験者はこの「+」の中心点を注視し安静にするよう求められた。すべての画像が提示され、被験者の回答が終了したのち、評価用紙の余白に本実験において刺激などで気づいたことや感じたことなどを自由記述の形式で意見を求めた。

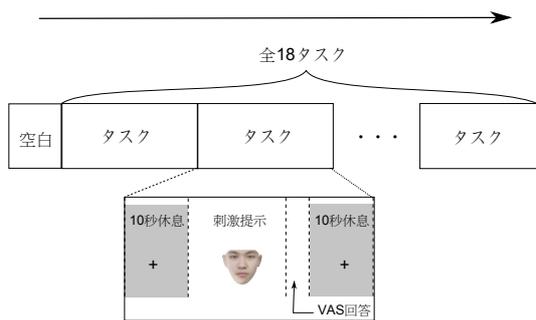


図 4: 本実験の流れ

4.2 刺激に対する評価とタスク中の生理指標の変化に関する分析

被験者は早稲田大学大学生 5 名を対象に行った (男性 4 名、女性 1 名; 平均 22.2 歳, 標準偏差 1.1)。ただし、うち女性 1 名は NIRS のプローブ調整結果が良好にならず実験データの正常値が取れないと判断したため、実験から除外された。

図 5 に刺激提示時間ごとの快-不快評価の平均得点を示す。この平均得点からはおおむね全体的な刺激に対する評価は類似度に依存せず横這いであることが示唆される。また評価は全体的に不快に偏っていることが示唆された。

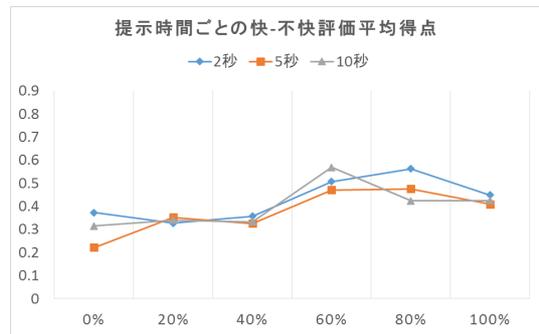


図 5: 刺激提示時間ごとの快-不快評価の平均得点

次に被験者ごとの快-不快評価の結果を図 6 (上) に示す。それぞれ左から刺激を 2 秒提示した場合、5 秒提示した場合、10 秒提示した場合の快-不快評価の結果を表す。縦軸が快-不快評価で正の方向に行くに従い快評価がなされていることを表す。また横軸は刺激の平均顔への類似度を表しており、0%はマスク刺激を表す。提示時間 5 秒における評価は、被験者によって評価の傾向が異なることが示唆される。一方で、被験者 4 (sub04) を除くと、刺激提示時間 2 秒の場合は、評価は類似度が上昇するに従い、快評価になる傾向があることが示唆される。また、被験者 4 を除いて、提示時間が 10 秒の場合は、類似度が低いと刺激に対する評価が低くなることがグラフから読み取れる。最後に刺激やその他実験に関して意見を求めた際に、次のような回答が得られた。(1) 頭の上部分がなかったため快評価が最大になることはないと思った (被験者 1) (2) (NIRS の装着のための) バンドがきつかった (被験者 4) (3) 提示された顔は三種類あるように感じた (被験者 5)

まず、(1) から、VAS による評価の平均得点結果から刺激画像は提示時間に依存せずほぼ一定の低い値を取ることに對して、人間の頭部画像のうち額部分より上がなかったために全体的に不快と判断された可能性がある。次に、(3) に関しては、Cheetham らは、CG 画像から人間の顔へとモーフィングにより段階的に変化させた顔刺激を用いて、それらの画像を人間/非人間に分類させる課題を行った [Cheetham et al. 13]。この結果、類似度と人間判断率の間にロジスティック関係が確認された。このことから、人間は刺激を CG 画像、人間、そのカテゴリー境界に弁別していると考えられる。本課題においても、この三種類のカテゴリーによって刺激が知覚されていたと考えられる。

本実験で行った生理指標のうち、発汗データ (GSR: Galvanic Skin Reflex の時系列的变化) を図 6 (下) に示す。特に、被験者 4 は、類似度 0% および 100% の顔刺激提示に関して、5 秒の刺激提示が他の時間長の刺激提示に比べて評価が低かったことから、それぞれの時間長における 0% 刺激画像および 100% 刺激画像に関するタスク課題時の被験者 4 の生理データに着目した。マスクングを施している箇所が前後の休息区間を表している。この区間の定性的な発汗の変化を確認すると、平均顔刺激が 2 秒もしくは 10 秒提示されている間はほとんど定常状態である。マスク刺激が 5 秒間提示された際は、提示数秒後に増加傾向があることが示唆された。

この上昇が評価シートへの記入のタイミング付近になるた

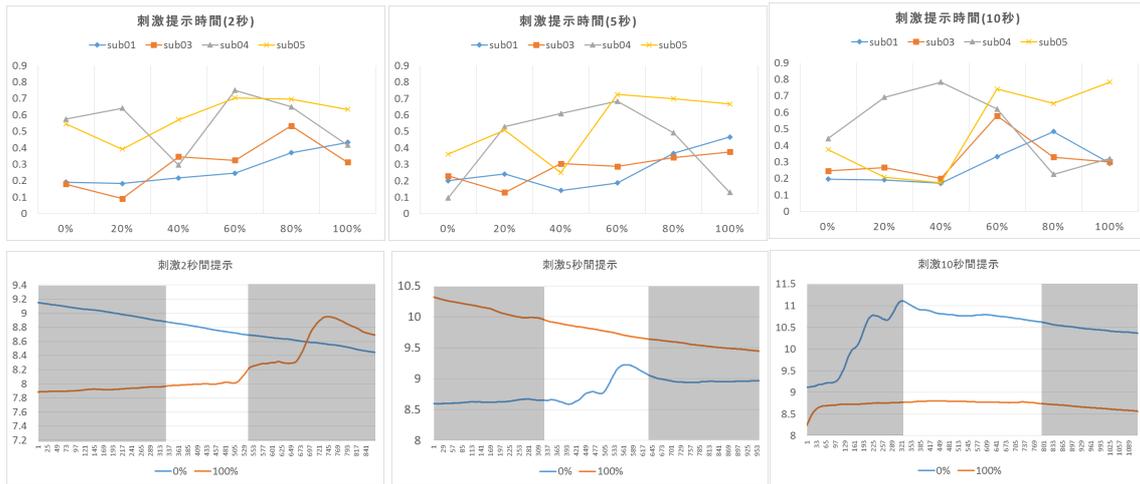


図 6: 上: VAS 評価の結果 (それぞれ左: 2 秒提示, 中央: 5 秒提示, 右: 10 秒提示), 下: タスク時におけるある被験者の発汗データ (GSR) の時系列的推移 (それぞれ左: 2 秒提示, 中央: 5 秒提示, 右: 10 秒提示: 青色はマスク提示時, 赤色は平均顔提示時. 图中的灰色部分は前後 10 秒休憩区間を表す.)

め, 評価をすることによる緊張から GSR が上昇したと考えられるが, その他の評価の時に明確な上昇が見られないため, 評価をすることに対する緊張とは別の要因があると考えられる. ただ一方で (2) において, 被験者 4 はバンドがきつかったと答えているため, このバンドによる頭部の締め付けが生理指標の上昇に関与した可能性がある.

また, 今回 NIRS によるデータを得たものの, 体動によるアーチファクトの影響が大きく, 本実験では有効なデータが得られなかった. この体動による影響は評価シートへの記入による頭部の揺れなどが原因として考えられる.

5. まとめと今後の展望

これまで著者らが構築した脳機能を基盤とした, 擬人化エージェントに対する不気味さ形成モデルの妥当性を検証するため, 擬人化エージェントに対する扁桃体の特異的な反応を, 生理・情動反応が計測可能かを先行研究の快-不快評価と生理データの関係性をもとに実験的に検証した. しかし, 今回の実験からはこの特異的な反応は確認されなかった.

今後の課題としては, 得られた NIRS データに含まれるアーチファクトが含まれないように刺激の提示方法などを踏まえた詳細な実験デザインを, 顔モデルにも留意しつつ構築する必要がある. また, これまで作成したモデルに対するシミュレーション結果と比較可能な生理データに関して更なる検討を行う.

謝辞

本研究の一部は早稲田大学特定課題研究 (課題番号: 014K-6225, 代表: 松居辰則) の支援を受けて行われた.

参考文献

[浅野ら 11] 浅野 裕俊, 広重 暁, 井出 英人: 機能的近赤外分光法を用いた快-不快音聴取時の脳活動評価, 電気学会論文誌 C, Vol.131, No.1, pp.70-75 (2011)

[Cheetham et al. 13] Cheetham, M., Pavlovic, I., Jordan, N., Suter, P., Jäncke, L.: Categorical processing and the human likeness dimension of the uncanny valley

hypothesis: eye-tracking data, *frontiers in Psychology*, Vol.4, No.108, pp.1-12 (2013)

[Guenther et al. 12] Guenther, F.H., Bohland, J.W.: 音カテゴリーの学習-ニューラルモデルとそれを支持する実験結果-, *日本音響学会誌*, Vol.58, No.7, pp.441-449 (2002)

[LeDoux 96] LeDoux, J.E.: *The Emotional Brain - The Mysterious Underpinnings of Emotional Life*, Simon & Schuster Paperbacks (1996)

[Moore 12] Moore, R.K.: A Bayesian explanation of the 'Uncanny Valley' effect and related psychological phenomena, *Scientific reports*, Vol.864, No.2, pp.1-5 (2012)

[Mori 70] Mori, M.: The Uncanny Valley, *Energy*, Vol.7, No.4, pp.33-35 (1970) <http://www.getrobo.com/>, 2013/2/16 閲覧

[小野ら 12] 小野 武年: *脳科学ライブラリー 3 脳と情動 - ニューロンから行動まで-*, 朝倉書店 (2012)

[Shimada et al. 07] Shimada, M., Minato, T., Itakura, S., Ishiguro, H.: Uncanny Valley of Androids and Its Lateral Inhibition Hypothesis, *Robot and Human Interactive Communication*, 2007. RO-MAN 2007, The 16th IEEE International Symposium, pp.374-379 (2007)

[Wichmann et al. 14] Wichmann, T., DeLong, R.M., 南部 篤訳: *カandel神経科学 Principles of Neural Science Fifth Edition (日本語版第一版)*, 『第 43 章 大脳基底核』, In Kandel, R. E., Schwartz, H. J., Jessell, M. T., Siegelbaum, A. S., Hudspeth, J. A. (Eds), 金澤 一郎, 宮下保司 (日本語版監修), *メディカル・サイエンス・インターナショナル*, pp. 963-978 (2014)