

即応型擬人化エージェントの外見と動作がユーザ印象に与える影響

萩原愛*1, 田和辻可昌*2, 松居辰則*2

*1 早稲田大学大学院人間科学研究科, *2 早稲田大学人間科学学術院

Influences of Appearance and Movement of Real-Time Responding Anthropomorphic Agents on Users' Impressions

Megumi Hagiwara*1, Yoshimasa Tawatsuji*2 and Tatsunori Matsui*2

*1 Graduate School of Human Sciences, Waseda University,

*2 Faculty of Human Sciences, Waseda University

Adaptation gap plays an important role in human-agent interactions. In this study, we experimentally investigated the relationships between appearance-function combinations of agents and humans' negative impressions on agents. In our experiment, we changed how accurate and how fast the agents responded to the human users' instructions, and analyzed the influences of these two variables on the users' impressions on the agents. The results show that when the adaptation gaps were negative, the users' post-interaction impressions were worse than their pre-interaction ones. On the other hand, the positive adaptation gaps did not necessarily improve the users' impressions.

キーワード: 擬人化エージェント, 適応ギャップ, Woz 法, SD 法, 外見と機能

1. はじめに

近年日常生活における様々な場面で、コンピュータシステムやネットワーク上で当事者の代理を務めるエージェントの利用が広がっており、今後さらに一般家庭や企業への導入が進行すると予想される。その中でエージェントは人間とインタラクションを持つことが一般的となり、人間からのより積極的かつ有効なインタラクションが行われることが求められる。このようなエージェントの中でも人間になぞらえた外観や挙動を示すエージェントのことを擬人化エージェントという。機械に目や手を付け加えただけのものから、人間に非常に良く似たCG(コンピュータグラフィック)まで様々な種類が存在するが、本研究では特に人間に良く似たCGエージェントに注目した。

近年CG技術の進歩に伴い人間と見間違えるほどにリアルな擬人化エージェントの制作が可能となっているが、このようなリアルな擬人化エージェントを作成する上で避けては通れない問題として「不気味の谷」(1)という問題がある。一般的に、エージェントの外見や振る舞いがより人間らしくなるのに伴い、人間のエージェントに対する親和度は高くなると考えられている。しかし、実際には本物の人間と少しでも異なる箇所があれば人間は強い嫌悪感を抱くようになり、親和度は急激に下落してしまう。そして、外観や動作が人間と見分けがつかなくなるほどに近似すると再び親和度が高くなる。擬人化エージェントの設計を考える際には、この問題を考慮に入れなければ人間に嫌悪感を与えるエージェントになってしまう恐れがある。エージェントが人間に嫌悪感を与えるようなものであれば、

人間とのインタラクションを妨げる要因となってしまう。そのため、嫌悪感を与えないような擬人化エージェントの設計手法を検討する必要がある。擬人化エージェントの外見や動作がエージェントに対する印象に及ぼす影響についてはこれまでも様々な先行研究が行われてきた。

例としては、Mathur(2)、Chaminadeら(3)の研究が挙げられる。Mathurら(8)は段階的に類似度の異なる6体の人型ロボットの画像(類似度0~100%)を用意し、それらの画像のエージェントに対する好ましさと信用度を被験者にビジュアルアナログスケールで回答してもらう実験を行った。その結果、エージェントの類似度が上昇していくに連れ、画像のエージェントに対する好ましさと信用度は上昇していく傾向にあったが、類似度40%~60%付近で好ましさと信用度が下落する点があり、その後再び上昇していくという結果が得られた。この結果から、人間は実際に不完全な人間(人間を模した存在)に否定的な印象を抱くことを示した。Chaminadeら(3)は、7体のCGエージェントにそれぞれキーフレームアニメーションにより作成した動作とモーションキャプチャーを用い作成した動作を付与した映像を被験者に提示し「動作が自然であるか」を評価させる実験を行った。その結果、エージェントの動作が自然であると人間に知覚されるかどうかは、対象となるエージェントの外見によって変化し、同じ動作を行っても人間に対しての類似度が低いエージェントに動作に比べ、人間に対しての類似度が高い外見を持つエージェントの動作は不自然であると評価される傾向があることを示した。しかし、これらの先行研究で行われている実験は映像や静止画像を用いた実験

が一般的であり、人間と実際にコミュニケーションをとるようなエージェントを用いた研究は行われていない。現在、人型のコミュニケーションロボットの開発や仮想空間でのアバターの使用などが広がっており、コミュニケーションの場面で擬人化エージェントの利用が盛んになっている。このことから、エージェントの否定的印象についてもコミュニケーション時においてどのような印象が抱かれるか議論することが必要不可欠である。そこで、本研究では擬人化エージェントの中でもリアルタイムに人間とコミュニケーションをとるエージェントに着目した。

擬人化エージェントに対する否定的印象には、外見から予測した振る舞いと実際の振る舞いととの不一致が影響していると先行研究により示唆されている。Saygin ら(4)は、人間とロボットとアンドロイド(見た目は人間で動作が機械的)の3種類の映像を被験者に提示し、映像を観察している時の脳活動を比較する実験を行った。その結果、アンドロイドを観察した時のみ特異的な神経活動が観測されたとの知見を得ており、この原因を「外見から予測される動作と実際の動作との不一致に違和感を感じたため」と考察している。また、小松ら(5)は外見から予測される機能と実際の機能との差を「適応ギャップ」と定義し、それがユーザに与える印象に強く影響を及ぼしていることを実験により明らかにした。更に、山田ら(6)は「適応ギャップ」と「不気味の谷」との関連を述べており、実際の機能が外見から予測される機能を上回った場合は肯定的印象を得るが、実際の機能が外見から予測される機能を下回った場合はエージェントに対し嫌悪感を抱くと考察している。そこで、本研究では擬人化エージェントの「外見から予測される機能と実際の機能の差」に着目し、外見から予測される機能を上回るような優れた機能を擬人化エージェントに実装することで、肯定的印象を得ることができるのかをエージェントとのコミュニケーション実験を通して検証した。

2. 実験

実験では、エージェントの外見と機能の組み合わせによる印象の変化を調査するためCGエージェントを用いたコミュニケーション実験を行う。そこで、本研究におけるエージェントの「機能」について定義を行う必要がある。山田ら(6)によると「どのような入力情報に基づいてどのような出力情報を生成できるのかが、人間やエージェントの機能に相当する」とされている。そのため、本研究では入力情報を人間からの指示、出力情報をエージェントによる指示の実行として、人間からの指示の実行度をエージェントの機能と定義した。なお、実験で用いるエージェントは身体動作のみを行うエージェントであり、音声や文字情報などの表出は行わないこととした。

2.1 タスク

本研究ではエージェントの機能を人間からの指示の実行度と定義している。そのため、エージェントの機能の違いとして人間からの指示の実行度を変化させる必要がある。そこで、人間からエージェントに指示を出し、エージェントがそれに応答するというタスクと

して「探し物ゲーム」を行うタスクを考えた。CGで作成された仮想空間上にいるエージェントに対し、人間が指示を出して探し物があると思われる場所に誘導するというゲームである。実験前に被験者には前提条件として以下の状況設定について説明をした。ゲームの詳細を以下に記す。状況設定とタスク内容は以下の通りであった。

(状況設定)

1. 昨日部屋を借りていた人物が部屋の中でのものをなくした。
2. 寝る時にも身に付けていて玄関を出た時になくなっていることに気が付いた。(部屋の中でなくしているのは確実)
3. 部屋の主(エージェント)が探し物を依頼された。

(タスク内容)

1. 被験者は探し物がある場所のヒントを実験者より提示される。
2. 被験者は画面に提示されたエージェントに対して指示をして探し物があると思われる場所に誘導する。
3. 2分以内に見つけ出せればクリアとなり、見つけ出せなかった場合であっても2分でゲームは終了となる。また、2分未満であっても見つけ次第コミュニケーションは終了とする。

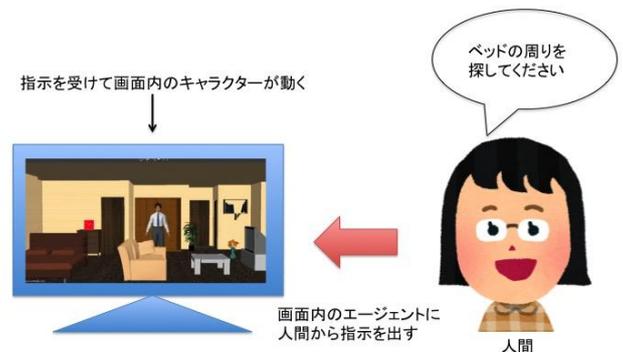


図 1 タスクのイメージ図

図1はタスクのイメージを図にしたものである。図のように人間が画面内のエージェントに対し、声をかけ探し物があると思われる場所へ誘導する。画面内のエージェントは人間からの指示を受け、探し物を開始する。

2.2 実験システム

実験ではWoz (Wizard of Oz) 法(7)を用いたリアルタイムコミュニケーションを行った。Woz法とはシステムのふりをした人間(Wizard)がシステムの挙動を制御する方法である。本研究の実験では、人間の動きをモーションキャプチャー装置によりキャプチャーし、そのデータをリアルタイムでCGソフトウェアのMotionbuilderにストリーミングすることで、CGエージェントの動きを人間が制御した。このようなシステムで、モーションキャプチャー内での人間の動きと

同じように画面の中のキャラクターが動く仕組みを構築した。実験機器として、モーションキャプチャーシステムと BENQ XL2420Z のディスプレイ、DELL ALIENWARE17STD の PC を使用した。

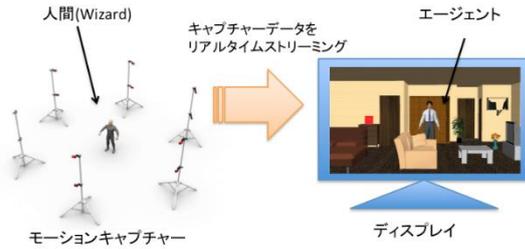


図 2 実験システムの概略図

2.3 エージェントの外見

実験に用いるエージェントとして以下の 4 体を用いた。

1. 人間に対する類似度が非常に低く Model2 よりも親和度が低いと考えられるもの (Model1)
2. 不気味の谷の手前に位置しており親和度が高いと考えられるもの (Model2)
3. 不気味の谷に位置しており親和度が低いと考えられるもの (Model3)
4. 不気味の谷を超えた地点に位置しており親和度が高いと考えられるもの (Model4)

Model2~Model4 のエージェントとしては先行研究(8)の実験結果から得られた 3 体のエージェントを用いた。Model1 のエージェントとしては Model2~Model4 のエージェントから頭部のみを変更し作成した。刺激作成には Maya2015 を使用した。図 3 は実際に実験に使用した 4 体のエージェントの画像である。

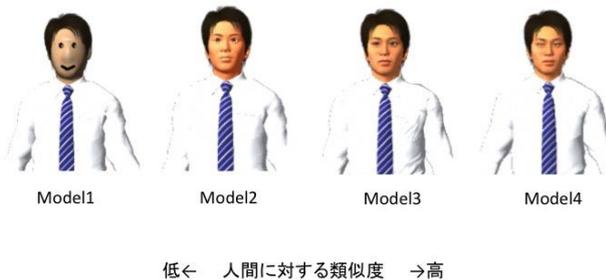


図 3 実験に使用したエージェントの静止画像

2.4 エージェントの機能

本研究ではエージェントの機能を人間からの指示に対する実行度と定義した。人間からの指示に対しての反応の正誤、そして指示に対して応答するタイミングを変化させることで指示の実行度を段階的に変化させた。山田ら(6)によると「不気味の谷の右では人間との類似度が高いため、人間なみの機能をモデルするため人間以上の機能を実現したエージェントでない限り親和感は下降する」と言われている。そこで、人間以上

の機能を実装することで、人間なみの機能を期待されたエージェントであっても親和度が上昇するかを検証するため、エージェントの機能のパターンとして「人間以上の機能」を実装することを試みた。「人間以上の機能」として、人間からの指示を先読みし行動する機能を実装した。実験で行ったエージェントの人間の指示に対する応答パターンは以下の 5 パターンである。

1. 指示に従わない (パターン 1)
2. 数回に一度指示に従わない (パターン 2)
3. 指示通りに動く (パターン 3)
4. 数回に一度指示内容を先読みし動く (パターン 4)
5. 指示内容を全て先読みして動く (パターン 5)

被験者は与えられたヒントを元に部屋内の家具の場所を順番に指示するように教示を受けている。エージェントの裏で動いている人間はあらかじめヒントの用紙に書かれた内容を把握しており、先読みして動くことが可能となっている。

2.5 被験者

実験には早稲田大学大学院の学生 8 名 (女性 2 名, 男性 5 名, 平均年齢 22 歳, 標準偏差 1.07) が参加した。

2.6 調査項目

実験ではまず、エージェントの外見から受ける印象を調査するため 4 体のエージェントの静止画像を用いて表 1 の項目について調査を行った。そして、エージェントとのコミュニケーション終了後に表 2 の項目について調査を行った。印象評価の方法には SD 法(9)を用いた。なお、SD 法に用いる形容詞対については人型ロボット等の擬人化エージェントの印象評価を行った先行研究(10)と擬人化エージェントの外見と動作の組み合わせに対する印象評価実験(8)の結果を踏まえ、決定した。適応ギャップの値を取得するため、エージェントとのコミュニケーション前に被験者に表 1 の Q1 と Q2 の 2 項目を、コミュニケーション後に表 2 の Q1 と Q2 の 2 項目への回答を求め、この 2 つの値の差を求めることで適応ギャップ値を算出することとした。また、被験者のコミュニケーション前後のエージェントに対する印象の変化を調査するため、SD 法による印象評価をコミュニケーション前後に同じ形容詞対を用いて行った。さらに、エージェントの「外見と機能」に対する違和感、そして自律的に動作しているかどうかエージェントに対する否定的印象に影響しているかを調査するため表 2 の Q3,4 の質問を行った。

表 1 調査項目 (コミュニケーション前)

<p>Q1. エージェントに対してどの程度の機能を期待するか (ここでは人間と同等の判断と行動ができるかを指す)。 ※7段階で評価 (それぞれの数字が表す機能は以下の通り)。 1-非常に劣る, 2-かなり劣る, 3-やや劣る, 4-人間と同等, 5-やや優れている, 6-かなり優れている, 7-非常に優れている</p> <p>Q2. SD 法 (7段階) 好きな-嫌いな, 人間的な-機械的な, 好意的-敵対的, 近づきやすい-近づきたくない, 気持ちのよい-気持ちの悪い, 安全な-危険な</p>
--

表 2 調査項目（コミュニケーション後）

Q1. エージェントに対して感じた実際の機能（ここでは人間と同等の判断と行動ができるかを指す）。 ※7段階で評価（それぞれの数字が表す機能は以下の通り）。 1-非常に劣る, 2-かなり劣る, 3-やや劣る, 4-人間と同等 5-やや優れている, 6-かなり優れている, 7-非常に優れている
Q2. エージェントは自発的に動いていると感じるか, 操作されていると感じるか。
Q3. エージェントの外見と機能に違和感を感じたか（はいかいいえで回答）。
Q4. SD法（7段階） 好きな-嫌いな, 人間的な-機械的な, 好意的-敵対的, 近づきやすい-近づきたくない, 気持ちのよい-気持ちの悪い, 安全な-危険な

2.7 実験手順

本実験は予備実験と同様に以下のような手順で実施した。まず、エージェントの外見から受ける印象を調査するため4体のエージェントの静止画像を用いて印象の調査を行った。被験者には画面に提示された画像を見て、表1の項目について回答を求めた。画像の提示順はランダムで提示した。次に、エージェントと上記のタスクを行い、コミュニケーションをとった。外見4種類×機能5種類の全20パターンのコミュニケーションを行った。各コミュニケーション終了時に被験者に表2の項目について回答を求めた。

- 4種類のエージェントのうち1体のエージェントの静止画像をランダムで提示される。
- 被験者は表1の項目について回答する。4種類の静止画像全てにこれを行う。
- 被験者はタスクを開始する前に先ほどの静止画像を提示され、画面の人物が探し物をしてくれると教示を受ける。
- エージェントと「探し物ゲーム」を行う。
- ゲーム終了後に表2の項目について回答する。20パターン全てに対し、これを行う。

3. 実験結果

3.1 適応ギャップ値の算出

被験者に回答してもらった表1と表2のQ1の「期待した機能」と「実際に感じた機能」の平均値の差から適応ギャップを算出した。表3はエージェントに「期待した機能」と「実際の機能」の平均値とそこから算出した適応ギャップ値を示したものである。

表3を見ると、静止画像においては外見の類似度が上がるに連れ期待する機能も上昇する傾向が見られ、類似度が高いほど、人間に近い機能が期待されていることが分かる。Model1の外見では、平均値2.14と人間よりもかなり機能が劣ると評価されている一方で、Model4の外見では平均値3.57と人間よりも若干劣るが、ほぼ人間と同等の機能が期待されていた。そして、コミュニケーション後に実際に感じた機能では、どの外見においても共通でパターン1が一番機能が低いと評価されており、パターン5が一番機能が高いと評価された。特に、パターン4とパターン5ではどの外見においても実際に感じた機能の平均値が4以上となっており、人間以上の機能であると評価されていた。

以上の結果から適応ギャップ値を算出した。実際に

感じた機能と期待した機能の差が負になるものは適応ギャップが負であるとし、実際に感じた機能と期待した機能の差が正になるものを適応ギャップが正であると判断した。表中に適応ギャップが負であったものを青色で、適応ギャップが正であったものを赤色で表示している。

表 3 エージェントに期待した機能と実際の機能

	期待した機能	実際の機能	適応ギャップ値
Model1-機能 1	2.25	1.75	-0.5
Model1-機能 2	2.25	3.38	1.1
Model1-機能 3	2.25	3.88	1.6
Model1-機能 4	2.25	4.13	1.9
Model1-機能 5	2.14	5.13	2.9
Model2-機能 1	3.38	1.88	-1.5
Model2-機能 2	3.38	3.13	-0.3
Model2-機能 3	3.38	3.88	0.5
Model2-機能 4	3.38	4.25	0.9
Model2-機能 5	3.38	4.88	1.5
Model3-機能 1	3.50	2.13	-1.4
Model3-機能 2	3.50	3.00	-0.5
Model3-機能 3	3.50	4.00	0.5
Model3-機能 4	3.50	4.13	0.6
Model3-機能 5	3.50	5.50	2.0
Model4-機能 1	3.63	1.75	-1.9
Model4-機能 2	3.63	3.13	-0.5
Model4-機能 3	3.63	3.88	↔ 0.2
Model4-機能 4	3.63	4.25	0.6
Model4-機能 5	3.63	4.75	1.1

3.2 適応ギャップの印象変化への影響

上記で算出した適応ギャップ値を用いて、適応ギャップがエージェントに対する印象に与えた影響を分析していく。図4～図7は印象評価値の平均値を表しており、4種類の外見ごとに分けてグラフに表示している。それぞれのグラフの緑色は静止画像、赤色は適応ギャップが正、青色は適応ギャップが負であることを表している。点数が高いほど評価が悪く、点数が低いほど評価が高いことを表す。

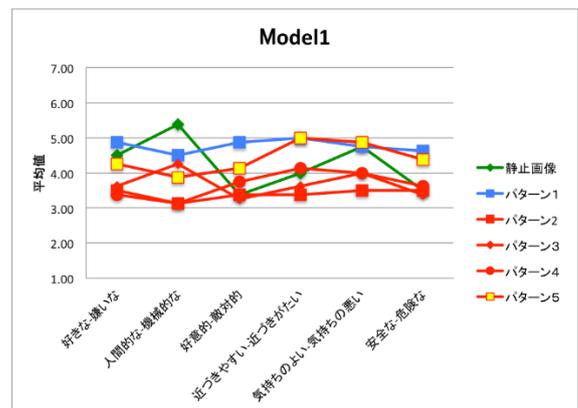


図 4 SD プロファイル (Model1)

全体的に見ると適応ギャップが負となっているパターン1の機能については、どの外見においても静止画像を見て感じた印象より印象が悪くなっており、この結果は先行研究(5)と同じ結果となっていた。しかし、Model2～Model4とパターン2の機能の組み合わせ(弱い負のギャップがある組み合わせ)においては、「機械的」という評価を除いては、静止画像よりも印象が良くなる傾向があった。このことから、負のギャップがある場合でもそのギャップが弱い場合には肯定的印象を与える可能性があることが示された。そして、適応ギャップが正の場合全体的に見ると、静止画像より

も印象が良くなっているが、パターン5のエージェントが指示を先読みして動く場合は印象が悪くなる傾向が確認された。この結果から適応ギャップが正となることは、必ずしも肯定的印象につながらないことがわかった。

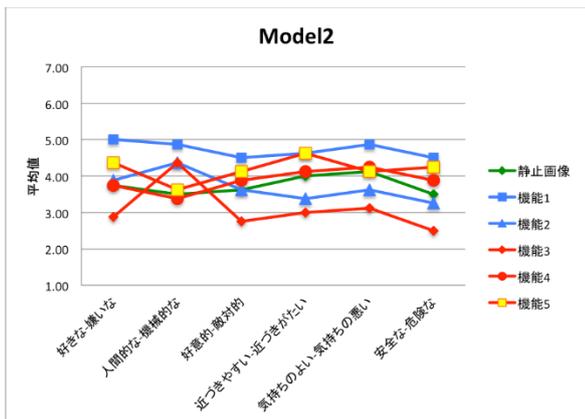


図 5 SD プロファイル (Model2)

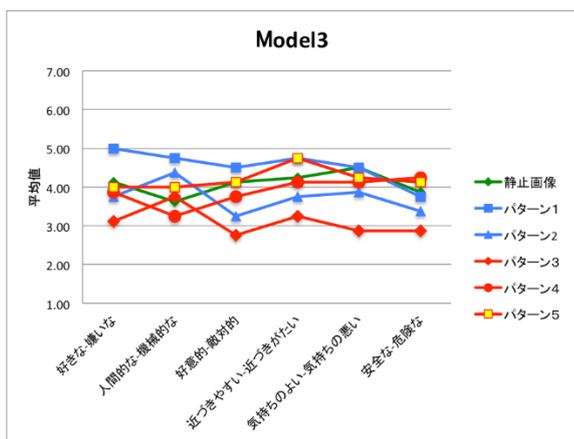


図 6 SD プロファイル (Model3)

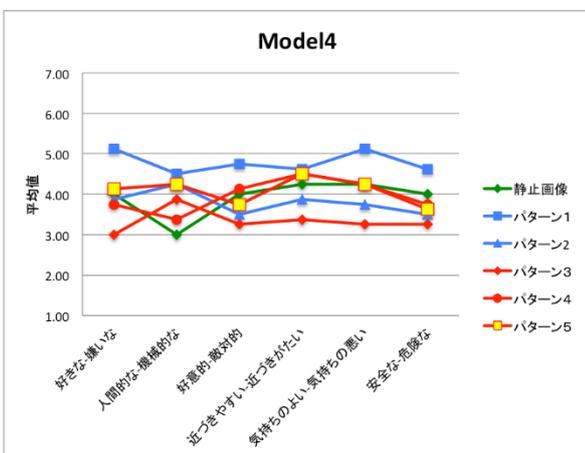


図 7 SD プロファイル (Model4)

3.3 エージェントの自律性による影響

エージェントの自律性がエージェントに対する否定的印象に影響しているかを調査するため表 6 の Q3 と Q4 の質問に対し「自律的に動いている」と感じた群と「操作されている」と感じた群に分けて結果を分析した。まず、それぞれの人数を見てみると、全体的にどのエージェントも半数以上の人

が「自律的に動いている」と感じていた。しかし、

Model2 の外見ではどの機能との組み合わせでも「操作されている」と感じている人が多かった。続いて、「自律的に動いているか」がエージェントに対する印象に与える影響を検証するため、エージェントが「自律的に動いている」と感じた群と「操作されている」と感じた群それぞれの印象評価得点の平均値を求めた。結果を表 4 と表 5 に示す。表を見ると全体的に「操作されている」と感じる場合は、「機械的な」という評価が高いことが分かる。Model1 とパターン1 の組み合わせでは、「操作されている」と感じる群の平均値が「自律的に動いている」と感じる群の平均値よりも高くなっており、「操作されている」と感じているほうが印象が悪くなっていることが分かる。パターン5 の場合においても全体的に「操作されている」と感じた群の印象が悪くなっており、特に「近づきがたい」という評価が高かった。しかし、Model4 とパターン5 の組み合わせのみ「自律的に動いている」と評価された方が「近づきがたい」と評価されていた。Model1 とパターン2 の組み合わせが群間の平均値の差が最も大きく、「操作されている」と感じた場合に印象がより良くなることが分かった。

表 4 自律的に動いていると感じた群の平均値

	好きな嫌いな	人間的な機械的な	好意的敵対的	近づきやすい近づきたくない	気持ちのよい気持ちの悪い	安全な危険な
Model1-機能 1	4.67	4.33	4.67	5.00	4.50	4.67
Model1-機能 2	3.60	3.00	3.80	3.60	4.00	3.80
Model1-機能 3	3.33	4.00	3.33	3.33	3.67	3.33
Model1-機能 4	3.43	3.43	3.86	4.29	4.29	4.00
Model1-機能 5	4.00	3.43	4.00	4.86	4.71	4.43
Model2-機能 1	5.20	4.20	4.80	5.00	5.00	4.80
Model2-機能 2	3.80	4.00	4.00	3.40	3.60	3.40
Model2-機能 3	2.75	4.00	2.50	3.25	2.75	2.50
Model2-機能 4	3.86	3.29	4.00	4.29	4.29	4.00
Model2-機能 5	4.40	3.20	4.00	4.20	4.00	4.20
Model3-機能 1	5.00	4.40	4.60	4.80	4.40	4.00
Model3-機能 2	3.33	3.67	3.00	3.33	3.67	3.33
Model3-機能 3	3.20	3.40	2.80	3.20	2.80	2.80
Model3-機能 4	4.25	3.25	4.00	4.50	4.25	4.00
Model3-機能 5	3.40	3.80	4.00	4.60	3.80	3.80
Model4-機能 1	5.00	4.17	4.67	4.50	5.00	4.83
Model4-機能 2	3.33	3.67	3.33	3.67	3.67	3.67
Model4-機能 3	2.75	3.50	3.00	3.25	3.00	2.75
Model4-機能 4	3.60	3.40	4.20	4.20	4.20	3.80
Model4-機能 5	4.17	4.00	3.67	4.67	4.17	3.50

表 5 操作されていると感じた群の平均値

	好きな嫌いな	人間的な機械的な	好意的敵対的	近づきやすい近づきたくない	気持ちのよい気持ちの悪い	安全な危険な
Model1-機能 1	5.50	5.00	5.50	5.00	5.50	4.50
Model1-機能 2	2.50	2.50	2.00	2.25	2.00	2.25
Model1-機能 3	3.80	4.40	3.20	3.80	4.20	3.40
Model1-機能 4	3.00	1.00	3.00	3.00	2.00	1.00
Model1-機能 5	6.00	7.00	5.00	6.00	6.00	4.00
Model2-機能 1	4.67	6.00	4.00	4.00	4.67	4.00
Model2-機能 2	4.00	5.00	3.00	3.33	3.67	3.00
Model2-機能 3	3.00	4.75	3.00	2.75	3.50	2.50
Model2-機能 4	3.00	4.00	3.00	3.00	4.00	3.00
Model2-機能 5	4.33	4.33	4.33	5.33	4.33	4.33
Model3-機能 1	5.00	5.33	4.33	4.67	4.67	3.33
Model3-機能 2	4.00	4.80	3.40	4.00	4.00	3.40
Model3-機能 3	3.00	4.33	2.67	3.33	3.00	3.00
Model3-機能 4	3.50	3.25	3.50	3.75	4.00	4.50
Model3-機能 5	5.00	4.33	4.33	5.00	5.00	4.67
Model4-機能 1	5.50	5.50	5.00	5.00	5.50	4.00
Model4-機能 2	4.20	4.60	3.60	4.00	3.80	3.40
Model4-機能 3	3.25	4.25	3.50	3.50	3.50	3.75
Model4-機能 4	4.00	3.33	4.00	5.00	4.33	3.67
Model4-機能 5	4.67	5.00	4.00	4.00	4.50	4.00

3.4 外見と機能の違和感

どの外見と機能の組み合わせが違和感があると評価されるか、そして外見と機能の違和感がエージェントに対する否定的印象に影響を与えたかを分析していく。

表 6 に「エージェントの外見と機能に違和感を感じたか」という質問の回答結果とそれぞれに対応する適応ギャップ値を示す。表 6 を見ると負の適応ギャップが強い組み合わせに対し、違和感があると回答した人数が多いことが分かる。また、類似度の低い Model1 の外見にパターン5 の先読みする機能の組み合わせにおいても「違和感がある」と回答した人数が多く、正の適応ギャップが強い場合でも「違和感がある」と評価

されることが分かった。適応ギャップが弱い組み合わせでは「違和感がある」と評価した人数は少ない傾向にあった。パターン 3 の機能が特に「違和感がない」と評価された。

表 6 外見と機能に違和感があるかの回答結果

	違和感があると答えた人数	適応ギャップ値
Model1-パターン 1	3	-0.5
Model1-パターン 2	3	1.1
Model1-パターン 3	1	1.6
Model1-パターン 4	2	1.9
Model1-パターン 5	5	2.9
Model2-パターン 1	5	-1.5
Model2-パターン 2	3	-0.3
Model2-パターン 3	0	0.5
Model2-パターン 4	2	0.9
Model2-パターン 5	3	1.5
Model3-パターン 1	5	-1.4
Model3-パターン 2	2	-0.5
Model3-パターン 3	0	0.5
Model3-パターン 4	1	0.6
Model3-パターン 5	2	2.0
Model4-パターン 1	5	1.9
Model4-パターン 2	4	-0.5
Model4-パターン 3	1	0.2
Model4-パターン 4	3	0.6
Model4-パターン 5	2	1.1

続いて、「違和感がある」と感じた場合と「違和感がない」と感じた場合で印象評価の結果に差が出るかを検証するため、「違和感がある」と感じた群と「違和感がない」と感じた群に分けて印象評価値の平均値を算出した。結果を表 7 と表 8 に示す。全体的には「違和感がある」場合と「違和感がない」場合で「近づききたい」という評価に差が出ており、「違和感がある」と感じた場合に「近づききたい」という印象が強くなっていた。特に Model1 とパターン 1 の組み合わせと Model4 とパターン 5 の組み合わせにおいて印象評価得点の平均値に大きく差が出ていた。表 7 と表 8 は Model1 とパターン 1 の組み合わせの印象評価得点の平均値を「違和感がある」と感じた群と「違和感がない」と感じた群に分けて算出したものであり、表 7 は「違和感がある」と回答した群の印象評価得点の平均値を表しており、表 8 は「違和感がない」と回答した群の平均値を表したものである。なお、各群の平均値を求める際、群の人数が 0 人になってしまう箇所は平均値を求めることができないため、空欄にしており、分析対象としなかった。表を見ると全体的には「違和感がある」感じた群の平均値が「違和感がない」と感じた群の平均値よりも高くなっていることが分かる。しかし、Model1 とパターン 1 の組み合わせでは、「人間的な-機械的な」という形容詞対を除き、「違和感がない」と評価された群の平均値が高くなっており、「違和感がある」と感じた群より印象が悪くなっていた。

以上の結果をまとめると、負の適応ギャップが強い場合にエージェントの「外見」と「機能」の違和感を感じる傾向があり、「外見」と「機能」の違和感はエージェントに対する印象に強く影響を与えていた。「違和感がある」と感じた場合には印象が悪くなり、特に「近づききたい」という印象が強くなるということが分かった。Model4 とパターン 5 の組み合わせにおいては、「違和感がない」と回答された場合に肯定的印象を得ており、外見の類似度が高く、非常に優れた機能をもつエー

ジェントは「違和感がない」場合には肯定的印象が得られると考えられる。

表 7 違和感があると感じた群の平均値

	好きな 嫌いな	人間的な 機械的な	好意的 敵対的	近づきやすい 近づきたくない	気持ちのよい 気持ちの悪い	安全な 危険な
Model1-パターン 1	5.00	5.00	4.50	4.50	4.25	4.25
Model1-パターン 2	4.00	3.33	3.67	4.00	3.67	4.00
Model1-パターン 3	3.00	2.00	3.00	3.00	4.00	3.00
Model1-パターン 4	2.50	2.50	3.50	4.00	4.50	4.50
Model1-パターン 5	4.00	4.20	3.80	5.20	5.00	4.40
Model2-パターン 1	5.00	5.40	4.20	4.40	4.60	4.40
Model2-パターン 2	3.67	4.67	3.33	3.67	3.67	3.33
Model2-パターン 3						
Model2-パターン 4	4.00	3.50	4.00	5.00	4.00	4.500
Model2-パターン 5	4.33	3.00	4.33	4.33	4.33	4.33
Model3-パターン 1	5.00	4.80	4.60	4.60	4.20	3.80
Model3-パターン 2	4.00	4.50	4.00	5.00	4.00	4.00
Model3-パターン 3						
Model3-パターン 4	4.00	4.00	4.00	5.00	4.00	4.00
Model3-パターン 5	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	4.50
Model4-パターン 1	5.40	4.40	4.60	4.80	5.20	4.80
Model4-パターン 2	3.80	4.00	3.40	3.80	3.60	3.40
Model4-パターン 3	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Model4-パターン 4	4.00	3.00	4.33	5.33	4.67	4.00
Model4-パターン 5	5.50	6.00	4.50	5.50	5.50	4.00

表 8 違和感がないと感じた群の平均値

	好きな 嫌いな	人間的な 機械的な	好意的 敵対的	近づきやすい 近づきたくない	気持ちのよい 気持ちの悪い	安全な 危険な
Model1-パターン 1	4.75	4.00	5.25	5.50	5.25	5.00
Model1-パターン 2	3.20	3.00	3.20	3.00	3.40	3.20
Model1-パターン 3	3.71	4.57	3.29	3.71	4.00	3.43
Model1-パターン 4	3.67	3.33	3.83	4.17	3.83	3.33
Model1-パターン 5	4.67	3.33	4.67	4.67	4.67	4.33
Model2-パターン 1	5.00	4.00	5.00	5.00	5.33	4.67
Model2-パターン 2	4.00	4.20	3.80	3.20	3.60	3.20
Model2-パターン 3						
Model2-パターン 4	3.67	3.33	3.83	3.83	4.33	3.67
Model2-パターン 5	4.40	4.00	4.00	4.80	4.00	4.20
Model3-パターン 1	5.00	4.67	4.33	5.00	5.00	3.67
Model3-パターン 2	3.67	4.33	3.00	3.33	3.83	3.17
Model3-パターン 3						
Model3-パターン 4	3.86	3.14	3.71	4.00	4.14	4.29
Model3-パターン 5	4.00	4.00	3.83	4.67	4.00	4.00
Model4-パターン 1	4.67	4.67	5.00	4.33	5.00	4.33
Model4-パターン 2	3.00	3.50	2.75	3.00	3.00	2.75
Model4-パターン 3	2.71	3.71	3.00	3.14	3.00	3.00
Model4-パターン 4	3.60	3.60	4.00	4.00	4.00	3.60
Model4-パターン 5	3.67	3.67	3.50	4.17	3.83	3.50

4. 実験結果のまとめ

実験の結果をまとめると、エージェントの「外見」と「機能」の差はエージェントに対する印象に大きく関わっているが、適応ギャップの正負によってのみ印象が決定するわけではないことが分かった。実験の結果からは、適応ギャップが正である場合は良い印象を与えられる場合もあれば、悪い印象を与えてしまう場合もあることが示された。特に、正のギャップが強い場合には印象評価の結果に大きく差が出ていた。そして、適応ギャップが負である場合も悪い印象を与えるとは限らず、むしろ弱い負のギャップがある場合には良い印象を与えることができていた。

エージェントの外見と機能の違和感についての分析結果からは、負のギャップが強いものの多くは半数以上の被験者から外見と機能に「違和感がある」と評価されており、「違和感がある」と評価された場合により印象が悪くなるということが分かった。正のギャップが強いものについては、「違和感がない」と評価された場合には「違和感がある」と評価された場合と比べ、印象が良くなっていた。このことから、エージェントの外見と機能に違和感を感じるかどうかは、人間に与える印象に深く関わっており、違和感を感じさせないことが、良い印象に繋がると予測される。

エージェントの自律性による影響の分析結果からは、全体的に「操作されている」と感じる場合には「機械的な」という印象が強くなっており、印象が悪くなるということが分かった。しかし、Model4 とパターン 5 の組み合わせにおいては「自律的に動いている」と評価された方が「近づききたい」という評価が高くなっていた。そして、Model1 とパターン 2 の組み合わせにお

いては「操作されている」と感じる方が良い印象となっていた。

5. 考察

今回の実験結果からは、エージェントの機能の差による人間に与える印象への影響がエージェントの外見の違いによる影響よりも強く、外見による印象の差はあまり大きくないことが分かった。実験の結果から、全体的に適応ギャップの強いパターン1の「指示に従わない機能」やパターン5の「指示内容を全て先読みする機能」をもつエージェントは印象が悪く、適応ギャップが弱いパターン2やパターン3の機能をもつエージェントが好印象が得られることが分かった。以上のような実験結果となった考察について以下で述べる。

まず、値の正負に関わらず適応ギャップ(外見から予測した機能と実際に感じた機能の差)が強いものが印象が悪い傾向にあった理由について述べる。適応ギャップが強いものは外見と機能に違和感があると感じられ、その違和感が否定的な印象につながったと考えられる。実際に、エージェントの「外見」と「機能」に違和感があるかという質問では、適応ギャップの強いエージェントは多くの被験者から「違和感がある」と評価されていた、また、強い正のギャップがあるエージェントは「違和感がない」と感じていた場合には印象が良くなり、「違和感がある」と感じていた場合には印象が悪くなる傾向があった。Sayginら(4)は不気味の谷の原因として、外見と動作の不一致に脳が違和感を感じ、それが嫌悪感を与えた原因であると考察している。本研究の実験結果からも、「違和感がある」と感じた場合に否定的印象を与える傾向があり、外見と動作の不一致による違和感が否定的印象を与えたことが確認された。このことから、エージェントの機能を外見からの予測を上回る非常に優れたものにすることは、強い適応ギャップを生み、それが違和感となってしまい、否定的印象を与える要因となってしまうと考えられる。

次に、人間よりも少し劣った機能と評価されたパターン2の「数回に一度指示を間違える」機能が良い印象が得られた理由について述べる。パターン2の機能が良い印象を得た理由として、人間の自分よりも下位の人間に対する心理的特性が原因であると考えられる。人間は様々な対象に対して社会的に反応すると考えられており、コンピュータや映像、音声といったメディアに対しても社会的に振舞う傾向があるとされている(11)。そのため、人間によく似た擬人化エージェントに対してももちろん人間と同じような認知を行い、社会的反応を返していると考えられる。対人認知の研究によると、人は自尊心に対する脅威を感じたときに自分よりも下位にあるものとの比較によって自分の主観的幸福感を増大させようとする性質があると考えられている(12)。パターン2の「数回に一度指示を間違える」という機能が肯定的印象が得られた理由は、人間にとって下位のものとして認知され、優位性を保てる存在であると判断されたからではないかと考えられる。

続いて、パターン5の指示を先読みする機能が印象が悪くなった原因としては、未知なる振る舞いに対する恐れがあったのではないかと考えられる。恐怖とは

自己防衛的反応であり、脅威刺激からの回避・逃避動因として機能している(13)。山田(14)によると「制御下をはずれた機械は恐れの対象になる。この恐怖心は未知なる振る舞いに対する恐れであり、振る舞いの予測可能性に関係している。」と言われている。人間を超えるほどの機能と評価されたパターン5の機能を有したエージェントは、人間にとって制御不可能なものであり、未知なる振る舞いをする脅威的存在とみなされたのではないかと考えられる。

パターン5の機能が否定的印象を得た理由として、もう一つ「非好意の表明」が考えられる。これはパターン1の機能が悪い評価を得た理由とも共通している。パターン1とパターン5の機能ではそれぞれ、「指示に従わない」、「指示を聞く前に動き出す」といった行動をとっていた。これらの行動は人間に対する非好意の表明と受け取られた可能性がある。人間には自分に対して好意を持つ人物を好ましいと思う「好意の返報性(reciprocity of liking)」があるとされている(15)。その逆に、自分に対しネガティブな反応を返す人物に対しては、否定的な印象を抱くと考えられている。山本(16)はある人物がスピーチを行い、それをもう一人の人物が聞いているという映像を被験者に提示し、スピーチを行っている人物が被験者自身であると過程したとき、スピーチに対する聞き手の反応がネガティブであるかポジティブであるかによって、聞き手に対する印象が変化するか実験を行った。その結果、相手からネガティブな反応が自分に向けられたとき、相手への印象は全体的に否定的になることを明らかにした。本実験で行ったコミュニケーションにおいて、エージェントの「指示に従わない」、「指示を聞く前に動き出す」といった行動が被験者に対するネガティブな反応だと捉えられた可能性がある。そして、それがエージェントに対する否定的印象に繋がったと考えられる。

以上の結果をまとめると、今回実験で使用したようなある程度類似度の高い外見をもつエージェントでは、外見から予測した機能を上回る機能を実装することは必ずしも肯定的印象に繋がらないと考えられる。強い適応ギャップは人間に「違和感」を感じさせる原因となってしまう、かえって否定的印象を与えてしまう恐れがある。ある程度人間に近い外見の擬人化エージェントが肯定的印象を得るためには、外見からの予測よりも少し優れた機能や少し劣った機能といった予測に近い機能を実装することが有効であると考えられる。

近年では、人間の予測を超える高度な機能を持ったエージェントが次々と開発されている。かつての人工知能技術は人間から操作指示を送り、それに対しコンピュータが応答を返すものであった。しかし、近年人工知能技術は急速な発展を遂げており、機械学習といったデータから学習し、自ら考える技術が開発されている。人間からの操作を一切受けることなく自律的に動く機械の研究開発も進んでいる(17)。しかし、本研究の結果から「人間からの指示なく自ら動く」という行為に人間は否定的な感情を抱く可能性があると考えられる。したがって、人間からの指示を一切介さない自律機械というものは望ましくなく、人間が操作できる部分を残しておくことがエージェントの機能設計としては望ましいと考えられる。

謝辞

本研究の一部は、早稲田大学特定課題研究助成費(特定課題 B)「FACS に基づく人工物の表情生成過程と表情認知・感情の関係構造の形式化と実装方式」(課題番号: 2015B-390) による支援を受けて行われた。

参考文献

- (1) 森政弘: "不気味の谷", *Energy*, Vol.7, No.4, pp.33-35 (1970)
- (2) Mathur Maya B, David B. Reichling: "Navigating a social world with robot partners -A quantitative cartography of the Uncanny Valley", *Cognition*, Vol.146, pp.22-32 (2016)
- (3) Thierry Chaminade, Jessica Hodgins, Mitsuo Kawato: "Anthropomorphism influences perception of computer animated characters' actions", *Cognitive and Affective Neuroscience*, Vol.2, No.3, pp.206-216 (2007)
- (4) Aya Pinar Saygin, Thierry Chaminade, Hiroshi Ishiguro, Jon Driver, Chris Frith: "The thing that should not be : predictive coding and the uncanny valley in perceiving human and humanoid robot actions", *Cognitive and Affective Neuroscience*, Vol.22, No.2, pp.1-10 (2011)
- (5) 小松孝徳, 山田誠二: "適応ギャップがユーザのエージェントに対する印象変化に与える影響", *人工知能学会論文誌*, Vol.24, No.2, pp.232-240 (2009)
- (6) 山田誠二, 角所考, 小松孝徳: "人間とエージェントの相互適応と適応ギャップ", 特集 HAI: ヒューマンエージェントインタラクションの最先端, *人工知能学会誌*, Vol.21, No.6, pp.648-653 (2006)
- (7) 萩原愛, 田和辻可昌, 村松慶一, 松居辰則: "動作の滑らかさに着目した擬人化エージェントの最適な外見と動作に関する実験的検討", 第 11 回日本感性工学会春季大会 (2016)
- (8) Fraser Norman M, G. Nigel Gilbert: "Simulating speech systems", *Computer Speech and Language*, Vol.5, No.1, pp.81-99 (1991)
- (9) 岩下豊彦: "SD 法によるイメージの測定 その理解と実施の手引き", 川島書店 (1983)
- (10) 神田崇行, 石黒浩, 石田亨: "人間・ロボット間相互作用にかかわる心理学的評価", *日本ロボット学会誌*, Vol.19, No.3, pp.362-371 (2001)
- (11) Reeves Byron, Clifford Nass: "How people treat computers, television, and new media like real people and places", Cambridge, UK: CSLI Publications and Cambridge university press (1996)
- (12) 中島義明: "現代心理学[理論]事典", 朝倉書店 (2001)
- (13) 中島義明, 安藤清志, 子安増生, 坂野雄二, 繁榊算男, 立花政夫, 箱田裕司(編): "心理学辞典", 有斐閣 (2004)
- (14) 山田誠二: "人とロボットの<間>をデザインする", 東京電気大学出版局 (2007)
- (15) Beckman, Carl W., Paul F. Secord: "The effect of perceived liking on interpersonal attraction", *Human Relations* (1959)
- (16) 山本眞理子: "好意性を含んだ対人情報の処理", *日本心理学会第 52 会大会発表論文*, pp.276 (1998)
- (17) 羽沢健作, 辛振玉, 藤原大悟, 五十嵐一弘, FERNANDO D, 野波健蔵: "ホビー用小形無人ヘリコプターの自律制御(実験的同定に基づくモデリングと自律制御実験)", *日本機械学会論文集 C 編*, Vol.70, No.691, pp.720-727 (2004)
- (18) Mori Masahiro, Karl F MacDorman, Takashi Minato: "The uncanny valley", *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol.19, No.2, pp.98-100 (2012)