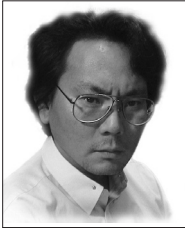


特集 ■アンドロイドやエージェントに感じる人の存在感

アンドロイドの存在感

石黒 浩
ISHIGURO HIROSHI

大阪大学

1. はじめに

筆者はこれまで、複数のアンドロイド(主に見かけが人間に酷似したロボット)を開発してきたが、アンドロイドの開発において最も驚くのは、その人間らしい存在感と、人間らしくない存在感である。すなわち、観察や状況に応じてその存在感は、正の方向にも負の方向にも強調される。人間はそれほど、人間らしい見かけに敏感なのであるが、この現象は人間とロボットの関係を考える上で様々な基本問題を提示する。本稿では、筆者のこれまでの研究を振り返りながら、特に、アンドロイドやロボットが持つ存在感という観点において、どのような基本問題があり、それを解決するどのような研究アプローチが考えうるかを議論する。

2. 見かけと動きの問題

近年に至っては、様々な研究機関で人と関わることを目的とした様々なロボットが開発されるようになってきた。

図1に、これまでに開発された幾つかのロボットの外見を示す。左からATR 知能ロボティクス研究所のRobovie II [1], 三菱重工のWAKAMARU [2], ATR 知能ロボティクス研究所のRobovie IV [3], 大阪大学石黒研究室のRepliee R1 [4]である。徐々に人間に近い姿が取り入れられている。

これらのロボットにおいて重要なのは、見かけに応じた動きを持つことである。ロボットらしいロボットには、ロボットらしい動きが必要とされ、人間らしいロボットには人間らしい動きが必要とされる [5]。また、見かけと動き以外にも、見かけと声の間でもバランスが必要になる。すなわち、人間がロボットや人間を認識する際には、様々な特徴全てにおいてロボットや人間であることを期待する。そして、その期待からはずれるような場合、例えば、人間らしい姿形をしながらもロボットのように動く場合は、違和感を感じる。

この違和感是不気味の谷の問題 [2] と関係する。不気味の谷とは、1970年に森によって指摘された現象で、

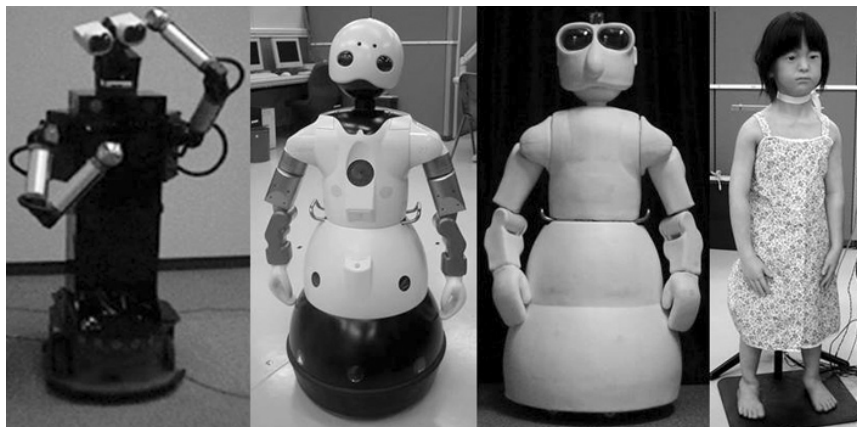


図1 様々な外見を持つロボット

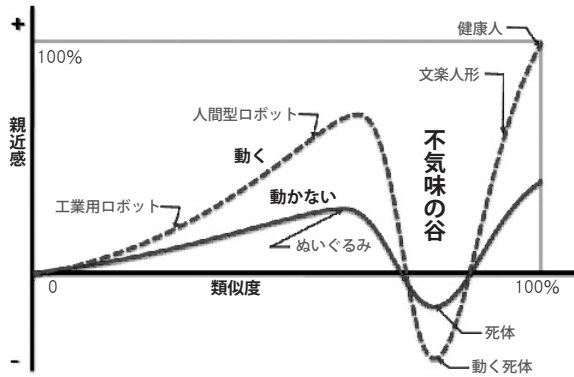


図2 不気味の谷

ロボットの見かけが人間にかなり近づいたとき、急に負の親近感を感じるようになるというものである(図2参照)[6].

動かないロボットについて考えると、ぬいぐるみのような見かけを持っていれば、動かなくとも不気味な感じはないが、青ざめた顔の人間が動かなければまさに死体のように見えて不気味を感じる。それが赤みのある皮膚をもってさらに人間に近づくと、その不気味感は少なくなっていく(もっとも動かない場合は、人間に抱くほどの親近感を得られないが)。ロボットが動きを伴うと、さらにこの不気味の谷は強調される。人間型ロボットが動く場合、親近感是非常に高まるが、死体が動く場合は、非常に強い不気味さ(負の親近感)を感じる。そして、文楽人形を少し離れた場所から見るような場合には、まるで人間を見ているかのように感じる。

この不気味の谷の問題で重要なのは、見かけの類似性において、かなり人間に近づいた時に、急に不気味の谷が表れるということである。人間は人間とは少し違うものに対して非常に敏感である。

ではなぜこのような不気味の谷が存在するのであるか。この問題は今なお多くの研究者の興味の対象になっている[7]。筆者自信は、この問題は、脳が持つ側抑制機能にあると想像している[8]。視覚細胞におけるエッジ抽出の機能に代表される側抑制は、脳が情報処理を行う際の基本的な機能とされている。脳が人間を認識する際に、エッジの区別に始まり、顔の区別、個人の区別、人間の区別とマイクロからマクロまでの様々なレベルで人間を認識し、それらすべてにおいて側抑制の効果が働いているとするなら、不気味の谷はマクロなレベルで、人間を認識するモデルに対する側抑制かもしれない。

もう一つ興味ある問題は、このような不気味の谷は、人間の成長に伴って、どのように発達するかということ

である。これも実験データの不足により、未だ明確なことは言えないが、これまでの多くの経験から、おそらくは次のような発達をすると、筆者らは想像する[4].

不気味なものをいろんな年齢の人間に見せたとしよう。生後間もない頃は、視覚機能の発達により徐々にその不気味なものに対する反応は良くなる。しかし、2歳から4歳頃、急に反応がネガティブになり、その後、年を追う毎に、徐々に反応は良くなる。すなわち年を取れば、4歳頃にはすごく不気味だったものも、平気になってくる。この不気味感の変化には、もう一つの不気味の谷(2-4歳頃)がある。

3. 人間らしさの探求

では現在のアンドロイドは、この不気味の谷を越えているであろうか? これまでに筆者らが開発したアンドロイド[4]には強い不気味感はない。図3のアンドロイドには、人間に酷似した見かけに加えて、動きの範囲は限られてはいるが、人間らしい自然な動作(上半身に組み込まれた43本の空気アクチュエータによる)、訪問者を発見しその動作を認識するセンサネットワーク、皮膚に埋め込まれた高感度の触覚センサなどにより、かなり人間らしく振る舞うことができ、そこには、動く死体が持つような強烈な不気味感とはもはやない。無論細部にわたって観測すれば、すぐに人間と異なることはわかり、それがなにかしら、妙な気分させるのではあるが。

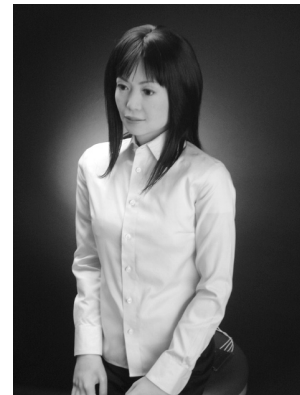


図3 アンドロイド(大阪大学と(株)ココロの共同開発)

4. 人間らしい存在の実現

アンドロイドは、もはや大きな不気味感に伴わなくなったが、多くの人はその見かけから人間らしく対話することを期待する。しかしながら、その対話能力には限界がある。これはすべてのロボットに言えることで、人工知能研究の限界でもある。



図4 ジェミノイド (ATR 知能ロボティクス研究所開発)
* 口絵にカラー版掲載

この問題を解決し、さらに研究を進めるために、筆者自身をモデルにした、遠隔操作機能を持つ実在人間に酷似したアンドロイドを開発した。これをジェミノイド (Geminoid) と呼ぶ (図4)[9][10]。このシステムでは、音声と大まかな動作に関する情報を送ると、アンドロイドがそれに応じた唇の動きや、人間らしい自然な動きを再現するようになっている。すなわち、遠隔操作によってジェミノイドに本人が乗りうつり、遠隔地の人と対話することができる。

このシステムは非常に興味深い現象を生む。例えば、しばらくシステムを使うと、ジェミノイドの体が自分の体であるかのような錯覚を覚える。それと同時に、ジェミノイドと対話する訪問者も、自然にジェミノイドの目 (カメラの機能は無い) を見て、普通に話すようになる。すなわち、相互に適応し、相互にこのジェミノイドを私本人の体であるかのように思うようになるのである。

5. アンドロイドサイエンス [4]

5.1 見かけや動きを通じた人間らしさに関して、アンドロイドの完成度を高めるための開発と、その完成度を確認するための認知心理学的実験

アンドロイドを開発した直後に行える実験は、その見かけや動きがどれほど人間に酷似しているか、さらにそれら異なるモダリティ間のバランスをどのように取ればいいのかという問題である。先に述べた不気味の問題は、見かけと微少な動きのバランスが取れなかったことに起因すると考えられるが、この不気味感を克服するように技術開発を進めることで、人間が感じる人間らしさに関する重要要件が明らかになる。

この人間らしさの探求は、表面的な見かけや動きに留まるものではない。例えば、人間はじっと座ったり立っ

たりしている状態でも必ず体のあちこちが動いているが、そのような人間らしい自然な動きを、単純に人間の動きをコピーしてランダムに再現するだけでは、十分に人間らしくならない。最初は、すごく人間らしいと感じるのであるが、しばらくすると、その不自然さに気づく。これを克服するには、人間の動作生成メカニズムを脳科学的に研究し、そのモデルを実装してみるという方法が考えられる。そして、それが十分に人間らしくあれば、逆に、その脳科学的に立てられたモデルを構成論的にサポートすることにもなる。

このようにアンドロイドサイエンスの最初のアプローチは、純粹により人間らしいアンドロイドの実現を目指しながら、人間らしさを工学的に実現すると共に、それを脳科学や認知科学のモデル検証を行うことにある。

研究の手法としては、SD法などのアンケート調査に基づく心理学的手法や、視線や体の動き等、脳の活動を反映していると考えられる指標を用いる方法、fMRIやNIRS (赤外線光トポグラフィ) や EEG を用いたものが考えられる。ただし、fMRIは映像を基にした実験しか今のところできないという問題を持ち、NIRSはアンドロイドと直接対面した状況での計測が可能であるが、解像度が低く、脳表面の活動した計測はできないという問題も持つ。

5.2 相互作用のための反応動作を基にした人間らしさに関して、アンドロイドの完成度を高め、確認する研究

先の課題では、人間は一方的にアンドロイドを観察するだけであった。さらに発展したアンドロイドサイエンスの課題として、相互作用を通じた人間らしさの探求が考えられる。

これまでに開発したアンドロイドでは、人間らしい見かけや動きだけでなく、人間らしい知覚の実現にも注力してきた。その知覚を使えば人間と相互作用できる。しかし、単純な相互作用では、人間はすぐに不自然さを感じる。例えば、アンドロイドの肩に触れると、アンドロイドが振り向くという相互作用は、皮膚センサを使えば簡単に実現できるが、何度肩を叩かれても同じ動作を繰り返すアンドロイドは、壊れた人間のように見えてくる。感情表現が単純すぎるのである。この問題を解決するには、かなり巧妙な感情モデルを取り入れなければならない。すなわち心理学的モデルが必要になり、問題はさらに難しくなる。

また、相互作用を伴うと、人間らしい見かけや動きが伴わなくとも人間らしさを感じる可能性がある。最

近, 筆者らはロボットらしい見かけを持ったロボット Wakamaru (三菱重工業) を使ったロボット演劇を試みた。ロボットはあらかじめ決められた動作や会話を順次実行するだけであるが, 平田オリザ氏の脚本と演出により, まるで心を持つかのようなロボットに見えた。すなわち, 人間は長期的な相互作用においては, 見かけよりも相互作用を通じて感じられる相手の心に人間らしさを見いだすようになる。

5.3 遠隔操作において操作者の適応を促進するための開発と, その完成度を検証する研究

しかし, 残念ながら, ロボット演劇で見せたレベルの人間らしさを一般の状況で見せることができるロボットを実現するには, 人工知能研究のさらなる発展を待たないといけない。そして, それは今のところかなり難しい。故に, 人と関わる全てのロボットは, 遠隔操作の機能を持たざるを得ない。これはロボットに限ったことではない。使い捨てではない世の中のあらゆる製品には, カスタマーサポートがあり, 最後には人間が対応する。人間と関わるロボットの場合, そのサービスをリアルタイムで提供しなければならないために, 遠隔対話の機能を必要とする。

先に述べたように, 遠隔対話の機能をロボットに実装し, 一旦話し始めると, 訪問者も操作者もシステムに適応し, 訪問者は, そのジェミノイドがあたかも, その人本人であるかのような錯覚に陥り, 操作者は自分の体であるかのような錯覚を持つ。前者の問題は, 先に述べたアンドロイドの人間らしさの問題の延長と考えられる。ここで興味深いのは, 後者の問題である。

操作者がジェミノイドへの適応は様々な方法で確認できると期待している。最も単純な方法は, 操作者にモーションキャプチャを取り付け, 仮想的に感じる感覚に応じた反応動作を計測するというものである。ジェミノイドの頬をつつけば, 操作者がつつかれた感覚を持ち, 体を反射的に動かすという仮説である。より直接的な方法は, ここでも NIRS を用いる方法である。直接脳活動を計測することにより, 触られているという仮想的な感覚を実際持っていることを確認できると期待している。

この操作者のジェミノイドへの適応に関する実験における問いは, ロボットと操作者の一体感はどうのような条件の基に感じられるようになるかというものである。ジェミノイドを操作する仕組みとしては, 可能な限りジェミノイドの自律性を向上させたものから, 極力ジェ

ミノイドの自律性を排除したもので, 様々設計することができる。最も自律性を排除したインターフェースは, 操作者の体にモーションキャプチャを取り付け, ジェミノイドの目にカメラを埋め込んだものになる。このインターフェースによって, 操作者の動きとジェミノイドの動きは完全に同期するとともに, 操作者には, ジェミノイドの目から見た映像情報が提示される。このようなインターフェースを用いれば, 操作者は, 容易にジェミノイドの体を自分の体と認識できるであろう。

しかしながら, 実際にはそこまで完全に, 操作者の動きに応じてジェミノイドを制御しなくても, また, カメラがジェミノイドの目に埋め込まれていなくても, 十分に操作者はジェミノイドに適応できる。その理由はまだ分からないが, それを模索することが重要な研究テーマになる。人間らしい姿をしている必要があるか? どのくらいの頻度で, どのくらいの情報を操作者からジェミノイドに送り, 逆に, ジェミノイドのセンサから操作者に送り返さないといけないのか? これらの疑問を条件にわけ, 細かに調べていくことで, 人間が機械に適応する条件を明らかにできる。

ただ, ここでも我々のこれまでの経験に基づけば, ロボットの見かけはさほど重要でない可能性がある。無論, 短時間にはそれが人間らしい姿形をしていることが重要なのであるが, 長時間遠隔操作した場合には, ロボットらしいロボットであっても, 自分の体であるかのような錯覚をおぼえるのである。先に述べた心の問題とも重ね合わせて考えると, この問題はさらに深まるだろう。

遠隔対話のインターフェースとして, さらに興味深いのは, BMI (Brain Machine Interface) の利用である。筆者らが検討しているのは, EEG の利用であるが, 脳波を基に直接ジェミノイドの動作を制御できれば, これまでよりもさらに, 自分の体であるという感覚は強まるかもしれない。BMI によって, 全てではなく, その一部でも人間と機械を繋ぐことができれば, 人間は十分にその機械を自分の体であると錯覚を起こす可能性がある。

こうした, 人間の異なる体への適応の問題を明らかにしていくことは, 人間の脳において, 物理的な体と思考がどのようにつながっているかを理解することでもある。

5.4 操作者と訪問者の相互適応に基づく人間の関係性に関する研究

遠隔対話システムであるジェミノイドの開発で学んだことは, 操作者も訪問者もある一定のシステムとのつながりがあれば, それを対話相手として, また自分の体と

して認識できるということである。すなわち、前者は知的人工物が人間として見なされる問題と、後者は自他分離の問題との深い関わりを持つ。さらに言うなら、これらは、人間が他の人間を認識し、自分との境界を意識しながら、他の人間と社会的な関係を築くという人間社会の成り立ちの仕組みそのものと関係する問題である。

これまでに述べた三つの問題は、どれもロボットと人間の一对一の関係を扱っているが、一对一の関係から、社会的な関係にどのように発展するかという問題を考えていくことは、ロボットを用いた方法論が、認知科学や脳科学の枠を超えるという意味でも重要である。またこれは、ロボットだけでなく、他のインタラクティブな機械や、仮想世界のエージェントに対して、人間は社会的な関係を築けるのかという問題にまで繋がっていく。

5.5 制御可能な人間としてのアンドロイドやジェミニノイドを用いた研究

アンドロイドやジェミニノイドを用いた研究が最終的に目指すのは、工学的には人間として見なされるロボットを用いたアプリケーションの開発であるが、一方、認知科学や脳科学的には、制御可能な人間として実験に用いることである。

無論、完全に人間と同じアンドロイドが実現できるわけではない。非常に限られた状況で、非常に限られたタスクに対してのみ、人間と区別ができないアンドロイドが実現できる可能性がある。しかしながら、一旦アンドロイドが人間と同じと見なされれば、その状況やタスクにおいて制御可能な人間としてアンドロイドを用いることができる。例えば、アンドロイドが人間と見なされた後に、その目の動きだけを変更することで、目の動きがもたらす人間らしさを検証することができる。

謝辞

ここで紹介した研究は、板倉准教授(京都大学)、開准教授(東京大学)、松本特任教授(大阪大学)、港研究員、吉川研究員(JST ERATO 浅田共創知能システムプロジェクト)、坂本研究員(JST ERATO 五十嵐プロジェクト)、神田研究員、宮下研究員、西尾研究員(ATR 知能ロボティクス研究所)と多くの研究者や学生と共に取り組んできている。ここに多くの協力者に感謝の意を表する。

参考文献

[1] H. Ishiguro, T. Ono, M. Imai, T. Maeda, T. Kanda and R. Nakatsu, Robovie: An interactive humanoid robot,

International Journal of Industrial Robotics, Vol. 28, No. 6, pp. 498-503 (2001)

[2] 石黒浩, 日浦亮太: コミュニケーション支援ロボットビジネス, 日本ロボット学会誌, Vol. 20, No. 7, pp. 12-15 (2002)

[3] 垣尾政之, 宮下敬宏, 光永法明, 石黒浩, 萩田紀博: ヒューマノイドロボットの揺れ動作が人の動作と印象へ与える影響, 日本ロボット学会誌, vol.26, no.6, pp.485-492 (2008)

[4] H. Ishiguro: Scientific issues concerning androids, International Journal of Robotics Research, Vol. 26, No. 1, pp. 105-117 (2007)

[5] T. Chaminade and J. Hodgins: Artificial agents in social cognitive sciences, Interaction Studies, Vol. 7, pp. 347-353 (2006)

[6] 森政弘: 不気味の谷, Energy, Vol. 7, No. 4, pp. 33-35 (1970)

[7] J. Giles: What puts the creepy into robot crawlies? New Scientist, No. 2627, P. 32 (2007)

[8] M. Shimada, T. Minato, S. Itakura, and H. Ishiguro: Uncanny valley of androids and its lateral inhibition hypothesis, Proc. IEEE Symp. Robot & Human Interactive Communication (2007)

[9] D. Sakamoto, T. Kanda, T. Ono, H. Ishiguro and N. Hagita: Android as a telecommunication medium with human like presence, Proc. Int. Conf. Human-Robot Interaction, pp. 193-200 (2007)

[10] 西尾修一, 石黒浩: 人として人とつながるロボット研究, 電子情報通信学会学会誌, Vol. 91, No. 5, pp. 411-416, 2008.

【略歴】

石黒 浩 (ISHIGURO Hiroshi)

大阪大学工学研究科知能・機能創成工学専攻教授およびATR 知能ロボティクス研究所客員室長。1991年大阪大学大学院修了。工学博士。山梨大学助手,大阪大学助手,京都大学助教授,カリフォルニア大学サンディエゴ校(客員研究員),和歌山大学助教授及び教授を経て現在に至る。知能ロボット,アンドロイドロボット,知覚情報基盤の研究に興味を持つ。主な著書は「アンドロイドサイエンス」(毎日コミュニケーションズ)と「コミュニケーションロボット」(オーム社)