

立石賞特別賞の受賞記念講演概要

## 人と関わるロボットメディアの研究開発

大阪大学基礎工学研究科 教授 石 黒 浩

### 人間への興味とロボット

人間が生きる目的の中で最も重要なのは、人間を知ることではないだろうか。日常生活の中で仕事や勉強に追われていると、自分の興味の根源を深く掘り下げて考える機会を失いがちであるが、改めて考えれば、その興味根底には人間そのものがあることに気が付くのではないかと思う。そしてここでいう人間とは、自分自身も含む。というより他人よりもむしろ自分自身に、誰しもより深い興味を持っているように思う。どうして他人と関わるのか、他人と関わって何を知りたいのかと問えば、その答えは自分自身に他ならない。他人は自分を映す鏡なのである。

我々人間の持つ感覚器は全て、体の外を向いており、外の世界を知覚するよう設計されている。それ故、自分の脳の中や体の中で何が起きているかを知覚することはできない。特に脳の中で何が起きているかを知ることは非常に難しい。自分が何者で、何を考えているのか。そうしたことの答えの多くは他人を通して知ることができる。故に、我々人間は人間そのものに興味を持つのではないかと思う。

大学で取り組まれる研究においても、殆どの学問が人間への興味の上に成り立っている。法学、経済学、工学、文学、教育学等、どれも人間について研究をしている。工学も人間に役に立つ物を作るということが目的になっている学問である。

無論、私が専門とするロボット工学も同様である。

ロボット工学の研究には、主に二つの目的がある。一つは、人間作業を代行させるという工

学的な目的である。もう一つは、人間のよう  
なロボットの開発を通して、人間について調べるという科学的な目的である。人間は非常に複雑で、従来の認知科学や脳科学だけでは解明できないことも多い。従来の認知科学や脳科学は、人間の身体の一部や、脳の一部に焦点を当てて、その機能の解明に取り組んでいる。しかし、体全体や脳全体を観察しなければ解らない人間の性質も非常に多い。例えば、意識とは何かを理解するには、脳の様々な部位を観察したり、人間の行動全体を見たりする必要がある、理解することは非常に難しい。

このような問題の解明に、人間のよう  
なロボットを用いることが考えられる。開発したロボットと人間が関わり、その人間がロボットから意識を感じるようになれば、そのロボットの仕組みを調べなおすことで、意識の仕組みを理解できる可能性がある。

このような、ロボットに関する学問を、私自身は「ロボット工学」ではなく、「ロボット学」と呼んでいる。人間に似たようなロボットを開発し、人間の活動を支援するだけでなく、それを用いて、人間をも理解するという学問である。

### ジェミノイドの研究開発

私の研究が様々なメディアで取り上げられるようになったのは、自分自身のコピーである遠隔操作アンドロイド、ジェミノイドを開発してからである。人間理解とロボット開発を同時に



進めることを目的に、2000年頃から、人間に酷似したアンドロイドの研究開発に取り組んだ。2004年には世界発の人間に酷似したロボットであるアンドロイド、リブリーを開発し、2005年の愛知万博に展示し世界的な注目を集めた。その後、2007年に今度は自分をモデルとして、遠隔操作アンドロイド、ジェミノイドを開発した。アンドロイドとは、人間に酷似したロボットであり、ジェミノイドとは、双子の遠隔操作アンドロイドのことである。

このジェミノイドをアバターとして用いれば、遠隔地から講演等を行うことができ、非常に便利である。一方で、私自身との比較によって、人間らしさの科学的研究を進めることができる。すなわち、先に述べたロボット学を実践する最適なロボットである。



図1 ジェミノイド

### ロボット社会と人と関わるロボット

ジェミノイドをはじめとするロボットの研究を通して実現したいのが図2に示すロボット社会である。



図2 ロボット社会



図3 人と関わるロボット

そしてこのようなロボット社会の実現を目指して、図3に示すような様々な人と関わるロボットの研究開発に従事してきた。

図3で紹介しているロボットは、どれも人間似たロボットである。人と関わることを目的に開発された、人間にそっくりだったり、人間と違って、顔や手があったりするロボットである。では、なぜ人と関わるロボットは、このような人間型でないといけないのかというと、人間は人間を認識する能を持つからである。

人間にとって最も理想的なインターフェースとは何かと問えば、それは人間である。人間が最も関わりやすいものは人間なのである。故に、人間と関わるロボットは人間らしくあるべきで、少なくとも部分的には人間らしい機能を持つ必要がある。そうでなければ、そのロボットを利用する人間は、ロボットの使い方をかなり努力して学ぶ必要がある。そして、また一方で、人間らしいロボットは、人間を理解するテストベッドにもなる。

### これからのロボット研究

図4は、これまでのロボット研究をこれからのロボットを研究を示している。従来のロボットの研究は、メカニクス、マニピュレータ、センサ、画像認識、音声認識等の、要素技術の研究開発が中心であった。これらの研究は特に、

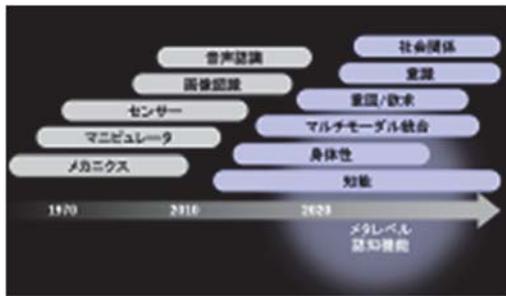


図4 これからのロボット研究

ロボットの利用目的が明確で、その作業範囲が厳密に限定されている産業用ロボット等には非常に有用なものであった。

これらの要素技術の中で、従来画像認識や音声認識の性能がボトルネックになっていた。しかし、2012年に登場したディープラーニング（深層学習）によって、飛躍的にその性能が向上した。要素技術の研究開発においてボトルネックであった画像認識や音声認識の技術が、一定のレベルで確立され、次の研究開発のフェーズに入れるようになった。

その次のフェーズにおいて対象となるのは、知能や意識など、人間のようにメタレベルの認知機能を持つロボットの研究開発である。人間にとって最も親和性の高いコミュニケーション相手は人間であり、ロボットも人間に近づくことが期待されている。人間のように知能や意識を持つロボットが実現できれば、今以上に人間とロボットは親和的な関係を築けるようになる。

まずは、「知能」である。2012年のディープラーニングの発明依頼、人工知能ブームが巻き起こっている。しかし、残念ながら、ディープラーニングで実現される知能、いわゆる人工知能と、人間の知能は全く異なる。ディープラーニングで用いられるニューラルネットワークは、人間の神経回路を模倣して設計されており、その意味では、根本的な仕組みは似ている。しかし、ただそれをたくさん集め、階層的に配置したディープラーニングと人間の脳の構造はかなり異なっている。人間の知能の本質に迫るのはこれからである。これから人工知能の研究

開発に本格的に取り組まなければならない。

知能に続いて重要な問題が「身体性」である。身体性とは、体を持つことの意味や体と脳の関係の意味する。今の人工知能にはコンピュータが使われているが、そのコンピュータとロボットの違いは、体を持つかどうかである。ロボットは、体を使って、移動したり作業したり、身振り手振りで、人とコミュニケーションすることができる。

そうした体を人間は、知能を高めるためにどのように使っているのだろうか。体の最も必要な意味は、環境と直接関わることができ、環境の構造に応じて行動できるということである。人間には、環境の特定な構造等に対して、無意識に反応してしまう反射行動がたくさんあり、高度な知覚や思考に頼らずとも、複雑な環境で自由に活動できる。

すなわち、体が環境との関わりの中で、高度な知覚や思考に匹敵する問題を解いているということである。これが身体を使って行動するということの意味であり、身体性である。またこの身体性は、体は環境という外部記憶にアクセスする手段という考えを生み出す。環境が外部記憶で、体がそこから記憶を読み出し、活動を生み出しているという考え方である。

マルチモーダルとは、複数のモダリティ（感覚）という意味なのだが、人間型ロボットの場合は、視覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚等の人間が持つ様々な知覚の統合という意味で用いられる。人間は単一モダリティで世界を認識しているのではなく、常に複数のモダリティを組み合わせていると考えられる。複数の感覚を同時に使うことで世界をありありと認識しているはずである。また工学的にもマルチモーダル統合のメリットは、学習の効率化にあることは解ってきている。しかし、人間が複数のモダリティをどのように組み合わせ、そこからどれ程世界をありありと認識しているのかは、まだ明らかになっていない。

知能、身体性、マルチモーダル統合は、知的

なシステムにおける言わば基礎的な研究開発である。こうした基礎的な研究の上で実現すべきなのが、意図や欲求である。自律的に行動するロボットを実現するなら、その自律行動を引き起こす、意図や欲求を持たせる必要がある。しかしながら、これまでのロボット研究は、ロボットに意図や欲求を持たせるまでに至っていない。意図や欲求をロボットに持たせるには、無論細心の注意が必要になる。SF 映画にもあるように、ロボットに社会的に許されない間違った意図や欲求を持たせると、人間に危害が及ぶ。一方で、人間に親和的に関わり、人間を支援するような意図や欲求を持たせることができれば、人間にとっては非常に扱いやすい存在になる。

意図や欲求を持つロボットが実現できれば、そのロボットとの関わりを通じて、多くの人は、ロボットの意識を感じるようになると想像する。

意識は三段階あり、それらは、覚醒しているという医学的意識、夕日を見て感動する自分に気付くという現象的意識、自分という存在を認識するアクセス意識の三つである。現象的意識やアクセス意識は、本当にそのロボットが持っているのかどうかを確かめることは難しいのであるが、意図や欲求を持ち「私は」と話して来たり、欲求が満たされれば喜んだりするロボットを相手にすれば、多くの人は、そのロボットに意識を感じる可能性がある。

そして、意識を感じることができるロボットは、人間とも人間らしい関係を築くことができる。人間は日常生活において、他者の意識を感じながら、人間関係を構築していく。意識を感じるロボットは人間と同様に、人間と社会関係を形成できる可能性がある。

### マルチモーダルチューリングテスト

ロボットのメタレベルの認知機能を実装する一方で、常にロボットの性能を評価することが重要になる。

コンピュータと人間を比べるテストはチュー

リングテストと呼ばれる。コンピュータの利用者が、チャットで、誰かと話しをしているとしよう。その際、チャットの相手が別のコンピュータなのか、人間の操作者なのか区別がつかなくなった時、その別のコンピュータの知能のレベルは、人間に等しいと認定するテストである。

我々の研究でも、このチューリングテストを拡張した、マルチモーダルチューリングテストを定義し、それによって、ロボットの人間らしさの評価を試みている。

人間のパートナーとなる条件は、見かけも含めて厳密に人間らしくあることではなく、人間を相手にするように対話できることである。この人間を相手にしているように対話できるかどうかを確かめるテストが、マルチモーダルチューリングテストである。

マルチモーダルチューリングテストは、人間による遠隔操作と、コンピュータによる制御の比較を行う。図5に示すように、人間の操作者が遠隔操作するロボットと、コンピュータによって制御されているロボットを比較して、区別がつかなくなった時、コンピュータによって制御されるロボットは、人間と同程度に関わることができる、人間らしいロボットになったと認められる。

我々の研究グループでは、このマルチモーダルチューリングテストをパスできるロボットの実現を目指して、研究開発に取り組んでいる。



図5 マルチモーダルチューリングテスト

### 自律対話アンドロイド、エリカ

これまでに開発したアンドロイドの中で、その内部の仕組みも含めて最も人間らしいアンド



図6 自律対話アンドロイド，エリカ

ロイドが、図6に示す、自律的に対話ができるアンドロイド、エリカである。このエリカは、科学技術振興機構（JST）の戦略的創造研究推進事業（ERATO）において、筆者が研究統括を務める、石黒共生ヒューマンロボットインターラクシオンプロジェクト（2014年7月～2021年3月）で開発した。それまでに培った人間酷似型ロボットの技術を進化させ、可能な限り人間に近いロボットを実現することを目標に、研究開発に取り組んだ。

エリカの研究開発では、自らの意図や欲求で自律的に行動するアンドロイドの実現を目指したのであるが、自我を持つ大人が持つと思われる、比較的単純な意図や欲求の仕組みを採用した。大人は自我を持ち、多くの場合、自分の欲求を理解している。そして、その欲求を満たすために、意図を生成して、その意図を基に、いろんな行動を取る。欲求が意図を生み、意図が行動を生むという比較的単純な階層構造になっていると想像される。

人間の意図や欲求がどのように、その脳や体に埋め込まれているかは、理解が非常に難しい。しかし、予想される意図や欲求の仕組みをロボットに実装し、そのロボットが人間らしく振る舞うことができたなら、その実装された仕組みは、人間の複雑な意図や欲求の仕組みを理解するきっかけになる可能性がある。先に述べた人間らしく振る舞うロボットを開発することによって、人間を理解するという研究アプローチである。

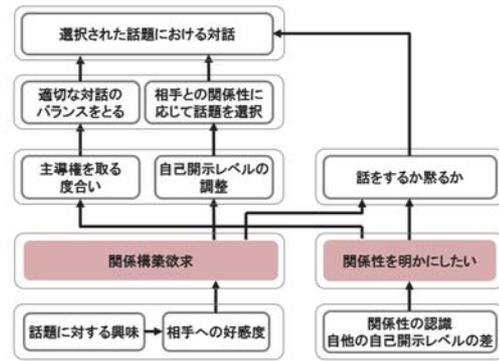


図7 エリカの意図や欲求

図7は、実際に実装したエリカの意図や欲求の構造を示している。この意図や欲求の構造に至るまでに、何度もシステムを作り変えた。何度もシステムを作り変えながら、最終的には、欲求として与えるべきは、個人的な欲求と、社会的な欲求であるという結論にたどり付いた。

エリカは、国際電気通信基礎技術研究所（ATR）の1階の受付近くのロビーに常に座っている。そして、ATRにやってくるいろいろな人達と対話している。エリカは、主に初対面の人との対話においてよく話される150以上の話題について、自分の状態や相手の状態に応じて、話題を選びながら話しをする。そしてこれまで数百人の対話者と対話を重ねてきた。そのたびに、対話における不具合を修正し、足りないボキャブラリーや動作等を補ってきた。その結果、今では、初対面の人と5分から10分くらい、自然に対話ができるようになっている。

このエリカの最終的な開発目標は、先に述べたマルチモーダルチューリングテストに合格することである。これに関して、25人の被験者にエリカと対話してもらい丁寧に印象評価を行った。その結果、25人のうちの4人が「エリカは絶対に人によって遠隔操作されている」と回答し、その4人を含む12人が何かしら遠隔操作されていると回答した。すなわち、少なくとも4人に対しては、エリカはマルチモーダルチューリングテストをパスすることができたのである。

このエリカが対応できる状況や目的は非常に

限定されたもので、あらゆる状況で人間らしく対話できるロボットを実現するには、まだまだ多くの時間がかかる。しかしながら、一方で、本稿で紹介したより人間らしいメタレベルの認知機能の研究に踏み出すきっかけになったと考えている。

[参考文献]

- ・ JST ERATO 石黒共生ヒューマンロボットインタラクティブプロジェクト, <https://www.jst.go.jp/erato/ishiguro/index.html> (2014)
- ・ 新学術領域対話知能学, <https://www.commu-ai.org/> (2019)
- ・ 石黒 浩, 港 隆史, 小山 虎: 意図欲求を持つ自律対話アンドロイドの研究開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 37, No. 4, pp. 321-317 (2019)
- ・ H. Ishiguro and D.L. Fabio (Eds.): Geminoid studies, Springer (2018)