

パネル討論

なぜ認知ロボティクスは有望なのか？

Why is cognitive robotics promising?

中村恭之*1 佐藤知正*2 國吉康夫*3 開一夫*4 柴田智広*5 浅田稔*6 カール マクドーマン*7 谷淳*8
Takayuki Nakamura*1 Tomomasa Sato*2 Yasuo Kuniyoshi*3 Kazuo Hiraki*4 Tomohiro Shibata*5 Minoru Asada*6 Karl F. MacDorman*7 and Jun Tani*8

1. はじめに

この記事は、9月11, 12日にけいはんなプラザで開催された若手知能ロボット研究会での「認知ロボティクス」に関する討論をまとめたものである。この研究会では、まず本特集の執筆者らによる認知ロボティクスに関する研究発表があり、最終日に、執筆者らを中心として、現状のロボットに欠けていること、「認知ロボティクス」の有望性、将来などについて議論された。なお、紙面の都合上、この原稿に当日なされた議論のすべてが書いてあるわけではないし、また、討論会の時間の都合上十分な議論ができておらず、まだまだ言い足りない執筆者はたくさんいる。この原稿は、本原稿の第一筆者の中村が、当日なされた討論をもとに、その内容を要約して会話風にまとめた。なお、討論はマクドーマン氏の参加を考慮して、約80%が英語でなされたものを翻訳しているため、不自然な部分や各討論者の正確な意図が反映されていない可能性が十分あることをお含み頂きたい。討論会当日は、東京大学の佐藤先生が司会をなされ、次のような問いかけから討論が始まった。

2. なぜ認知ロボティクスは有望なのか？

佐藤知正（東京大学）：なぜ認知ロボティクスは有望なのでしょう？ 認知ロボティクスでは、どんな切り口で問題に取り組んでいるのでしょうか？ また、どんなブレークスルーがあるのでしょうか？ 将来、認知ロボティクスはどこへ向かっていくのでしょうか？

カール マクドーマン（大阪大学）：なぜ認知ロボティクスが有望であるかについて話すことは、そんなに難しくありません。なぜなら現状の人工知能・ロボティクスの手法では、適応的でなく、あまり有効ではないロボットしか作れなかつ

たから、ロボットは未来を予測するためのアフォーダンスを学習できる[3]と考えているし、これによって非常に興味深いハードウェアが将来作られると考えている。しかし一方では、このようなことが今すぐ実現するとは思っていない。

浅田稔（大阪大学）：確かに、現状のロボットは、あまり適応的とは思えないし、そんなに役にたっているとも思えない。ただし、「役にたつ」ことの明確な定義は難しいと思うけど。

カール：そう思う。もし、役にたつロボットを作るだけでよいなら、きっと、非常に愚であるが非常に役に立つロボットが作れる。つまり、工学的な解決策として、機能が非常に特化された役に立つロボットを作ることができるはず。だから、「ロボットが役に立つ・立たない」については、いろいろな側面から考えないといけない。ここでは、人間が楽しめる、または、役に立つロボットを作るという視点から、認知ロボティクスが有望であるとかないとかを議論しているわけではないと思う。そこで認知ロボティクスが何に役に立つのかを考えると、脳の活動に関する新たな見解が得られたり、よりバラエティにとんだ行動をとる機械を作ることに役立つかも知れない。

浅田：ロボティクスは、工学的問題だけでなく、脳科学や認知科学に関する問題に密接に関係しているという特徴がある。もちろん、問題のどの部分が工学であるとか、科学であるとかを明らかに区別することは難しいし、問い自身が意味をなさないと思う。むしろ、最初からロボティクスを工学や脳科学、認知科学などが一体となった学問とみなすべきだろう。したがって、「なぜ有望であるか？」という問いに対する答えは、各研究者がロボティクスのどの側面（大抵は専門領域？）にポイントをおきたいか依存しているからだ。私自身に関しては、工学的側面と科学的側面が半分ずつある。しかし、どこが工学的側面で、どこが科学的側面であるかを正確に分けることは難しい。

佐藤：ロボティクスに関する科学的側面については理解できるし、ロボットが科学的側面を持っている事、科学的な実験のための道具としてのロボットが重要である事についても理解した。しかし、たとえ、科学的領域においても、

原稿受付 1998年10月29日

*1奈良先端科学技術大学院大学

*2東京大学大学院工学系研究科機械情報工学専攻

*3電子技術総合研究所

*4電子技術総合研究所/科学技術振興事業団

*5科学技術振興事業団

*6大阪大学大学院工学研究科

*7大阪大学大学院基礎工学研究科

*8ソニーコンピュータサイエンス研究所

何かについて明らかにするためには、何か新しい道具を持つ必要がある。例えば、我々が小さな細胞に関して調べるために、顕微鏡が開発された。そういう意味で、ロボットも、科学にとっての非常に良い道具になり得ると思う。そのような科学的道具として、なぜ有望であるかについて明らかにしたいと思う。

浅田：そういってしまうと、ロボット研究者は、ただ単に科学のための道具を開発するだけの、工学者または技術者に過ぎなくなってしまうように思う。ロボット研究者は科学に関する何らかの要素、本質とかかわりあっているはず。もちろん、ロボット研究者の純粋に技術的な側面を否定するつもりはないけど、もっとロボティクスとしての本来の意味を引き出すためには、ロボティクスを基本にして、科学に影響を与える貢献をすべきだと思う。

佐藤：そう思う。そのような二つの側面が我々には必要だと思う。

カール：ロボティクスは、神経学的科学や生物学的科学など、科学に影響を与えるだけではないと思う。例えば、私の研究は、哲学に影響を与えているかもしれない。

谷淳(ソニーコンピュータサイエンス研究所)：最近、「工学」という言葉の意味は、変わってきていると思う。ソニーにおいては、工学はエンターテインメントに貢献すると思っている人が多いようだ。実際、去年のソニーの売り上げにおけるプレイステーション(ゲーム機)の貢献はとても大きいものだった。ゲーム機は、非常に大きな産業になっている。現在では、ロボット産業全体よりも大きいかもしれない。最近、ソニーの本社で、ペットロボットのプロトタイプを作られ、みなさんもお存じだと思う。私も何度かみせてもらったが、まだまだペットというよりは機械という感じがする。本当に、興味深く、楽しめる「ペット」を作るためには、この2日間で議論してきたスキームが非常に本質的になってくると思う。例えば、もし、情緒モデルをシンボルだけで構成し、それをペットロボットに搭載すれば、ユーザーはすぐに飽きてしまうと思う。なぜなら、そういった仕組みはもとから硬直しているから。もし、自然発生的に常に新しい構造を生成するようなダイナミカルな枠組みを組み込む事ができれば、ユーザーはペットロボットとの間に真に intimate な関係を築けるのではないだろうか？ エンターテインメントのための新しい工学の要素として、多様性を生む複雑系の原理、内部観測などの生物論理、意識および認知の問題を考えるための現象論的アプローチは重要になってくると思う。

3. 「機械」をどう定義するか？

佐藤：ロボットエンターテインメントと谷さんの研究の自己意識との関係はどのようなものなのでしょう？

谷：それは非常に重要な点である。ここに何台かのペットロボットがあり、それぞれが何かしら異なっているとすると、そのときこれらを単に機械であると考えるか、機械以上のものとして考えるかのどちらかだと思う。この違いは何だろうか？この問いは、非常に哲学的な問いで、ちょうど、生命とは何かというような問いに、似ている。生命とは、逆説的に機械とは一体何だろうか？ 95, 96年の京大基礎物理研複系研究会では、「機械」は、「我々が常に予測することのできるものである」と議論した。つまり、その内部には理解可能なメカニズムがあり、それに従い決定論的に作動しているわけである。一方、生命的なものとは、その根元にいつも何かミステリアスなところが残っているものを指す。ミステリアスなところとは、いつも何か新しい事を生成することのできる何か得体の知れない機構のことである。時には、それを我々は生命認知の根源という事ができるかもしれない。だから、我々はそのようなミステリアスなところを探している。そして、まだ我々は、この予測不可能な、非決定的なものがどのようにして現れてくるかについて分かっていない。生物の認知とは、そのようなミステリアスな領域に存在している。最近の生物学の進歩のおかげで、ミステリアスな部分もだいぶ少なくなってきた。多くの部分は機械のメカニズムのように理解可能になったが、まだ意識、高次認知の部分にはミステリーが残っていると思う。

カール：今回の AISB (Artificial Intelligence and the Simulation of Behavior) [2] 会議においても、「創造力」に関する話題が取り上げられる。「適応力」だけでなく、「創造力」も人工知能研究において、かなり一般的な話題になってきている。現在では、静的な環境に特化されてはいるが、何かしら適応するために有効なアルゴリズムは非常に多く存在する。だから、谷さんのいいたい事は、予測のできない事を生成する方法をどう構築するかを考えないといけないということだと思う。これまでの研究にみられるような、適応的な行動を実現する方法でもなく、また最適手法に基づいて行動を決定するというものではないということだと思う。

浅田：適応的な行動の影響によって予測不可能な動きなどが生成される可能性は十分あると思う。というのも、他のエージェントを含めた環境との相互作用は、環境の複雑度によって、可能な選択の多様性を爆発的に増大させるからだ。特に、他者による個別の意志決定が学習者と独立してなされる場合、我々は何も予測する事ができないのかもしれない。

谷：私は、「創発」という言葉に関してもちよっと紹介したいと思う。なぜなら、「創発」という言葉は、多くの研究者によって使われているが、これは今までの話題に出てきた予測不可能な事に関して非常に関係しているから。

Crutchfield [1] の説明に従って「創発」について少し説明する。まず、レベルの生成が重要であるといわれている。例えば、もしあなたが、ある現象パターンを眺めているとする。始めは、ただの不規則なランダムなパターンにしか見えないかもしれないが、あるとき、ふと隠れた規則性に気づき、なーんだそうだったかと思うかも知れない。このとき、あなたの記述の階層が一段あがり、そこに「創発」がある。認知ロボットでもその発達過程で、このような「創発」の過程が実現できればと思う。

4. 「ロボット」という言葉を新しい言葉に換える時期になったか？

谷：最近ちょっと不思議に思っている事がある。「ロボット」という言葉は、良くないのではないかと。これだと、何か非常に受動的に思えてしまう。つまり、人間に服従しなければならないというような感じがする。そろそろロボットという言葉を変えて時期にきているのではないだろうか？ エージェントとかって言うのだろうか？

柴田智広（科学技術振興事業団）：ロボットというと、現在のロボットを考えることができるが、我々はそのロボットにいくらかでも意味付けすることができる。例えば、ロボットを実現する際の大きな困難の一つが、ロボットの材料であると思う。生物学的な筋肉みたいなものが、それに代われば有望であると思う。我々の生活の中では、生物学的なものが、機械的なものに比べて非常に良いと思う。今、我々がロボットという言葉で想像すると、ロボットはどのような機械的なものであるべきだと思ってしまう。もしそのような考えを変える事ができれば、ロボットという言葉は生き続けるだろう。しかし、現実はそのようなので、ロボットという言葉を変えて、新しい他の言葉を考える時期なのかもしれない。

谷：「認知ロボット」に関して有望な事の一つは、ロボットに関して人々が持っている考え方を考える事ができるということではないだろうか？ そして、そのことが実世界の中でロボットを使用する可能性を大きくすることができるようになるのかもしれない。エンターテインメントロボットがそれに相当するのではないだろうか？

佐藤：何か、哲学とか芸術みたいな話に思える。

谷：人々は新しい実物とのかかわり合いを欲しいと思っているのではないだろうか？ 仮想的なコンピュータゲームだけでは飽きてしまう。人々は、何か触れる事のできる、物理的な実体を本当に欲しているのだと思う。なぜ、人々が本物のペット、犬を欲しがるかといえば、世話をするために同じ時間を過ごして、その実体とのかかわり合いを継続する楽しみがあるからだと思う。一方、コンピュータゲームだと、いつでもかかわり合いを止める事ができるので、真に親密なかかわりを継続することはできない。

5. ロボットに埋め込むべきものは何か？

佐藤：國吉さんの意見を聞きたいと思う。なぜ「認知ロボティクス」は有望なのだろうか？ つまり、現存するロボティクスや認知科学の限界は何だろうか？ また、「認知ロボティクス」における具体的なアプローチとか、ブレークスルーは一体何だろうか？ 最後に、「認知ロボティクス」はこれからどうなるのだろうか？

國吉康夫（電子技術総合研究所）：人間との相互作用…まず、適応力である。いくつかのレベルの相互作用に関して概説したいと思う。まず、センサ・モータ系を通して、何らかの相互作用を構築することが重要であると思う。そして、そのようなセンサ・モータの相互作用を通じた適応力によって、ある規則性が推論されるべきだと思う。そして、そのような構造が創発されるべきだ。おそらく、もし、相互作用している適応エージェントがいたとすると、いろいろなパターンの相互作用が生成される。そして、ロボットがある程度の適応力を持っていれば、突然、人間とロボットの相互作用がおこる。我々は、ブートストラップ的に、どんどん複雑な相互作用を構築していけるようなロボットの構造を、どのようにして構築すればよいかについては分かっていない。複雑さには、いろいろな次元がある。多くのパターンがあり、それらが並列的に作用している。だから、相互作用のためのこの種の学習機構が、開発されるべき技術だと思う。

「これからどうなるか？」については、谷さんが全部いったから私はいうことがないが…もし、私があるロボットのことを我慢できるとして、それを何日も、何週間も、何年もの間、そのロボットを我慢できたとしたら、私はそれだけで非常に満足に思う。つまり、そういう状態というのは、その実体との相互作用を楽しむ事ができているという事だから。

佐藤：ロボットが学習しなければならぬ事とは何だろうか？

谷：それはかなり難しい問いである。学習は、他のものとは切り離す事はできない。学習する以前には、探索しなければならぬ。それはちょうど、相互作用している。すべては、相互作用から始まっていると言える。

國吉：ロボットが学習しなければならぬというタスクを、あらかじめ定義できないことこそが本質である。私が先ほど述べたように長期間にわたって楽しむ事ができるというのは、何がおこるか予測できないという意味である。私自身も変わるし、ロボットも変わる。そういう固有の関係が生じるのである。

柴田：「認知ロボティクス」においては、ロボットに先天的に埋め込むプログラムはどのようなものかをしっかり議論しておく必要があると思う。この研究会で発表されたア

アイデアにも多くの共通点があるし、計算学習理論の世界で研究されている内容にもいくつかの飽和点が見えてきていると思う。例えば、谷さんは、階層的な再帰結合型ニューラルネットワークを構築しているし、最近の、計算理論家たちは、そのようなモジュール手法、モデル切り替え手法に関して非常に興味を持っているようだ。それらの手法は、非常に単純な戦略であるかもしれないが、多くの計算機資源を手軽に利用できるようになった我々にとって、意外と強力な手法といえるのではないかと思う。あらかじめ必要なものがたくさん埋め込まれたロボットと共に試してみる価値があるのではないだろうか？ その意味で、ペットロボットは非常に良いと思う。開さんの研究[4]では、そのような生得的な物や、学習によって得られた物を見究めたいのだと思う。だから、その意味で、もし、我々がそのような生得的な、必要なものを見つけ、定義するための努力をすることができれば、非常に良いと思う。カールさんの話では、アフォーダンスという考え方も紹介された。アフォーダンスは有用な思考のスタンスの一つだとは思いますが、私には透徹した計算論的思考の方がより重要に思える。アフォーダンス理論では、ものの価値は環境に不変にあって、我々はその情報を拾っているのだというが、ものの価値はそれを使う主体の意図にも非常に深くかかわっているわけで、より一般的に考えれば、やはり外部のものに何らかの価値を見出し、脳内に自分なりの世界を作ろうとしている主体の計算理論に目を向けることが重要だと思う。

國吉：例えば、反射行動の集合を用意したとして、まず、どうやってそれらを構造化するの？ エージェントの中のどこかに、そういう概念的なものを埋め込むの？ 反射行動を入れないといけないというのはわかるが、入れたら簡単になるから、できるだけたくさん入れた方が良いいって話なの？ 入れたあと、何が起きるのか、どう起こさせるのか？ そこがわかっていないのではないだろうか。

柴田：そういう場面では、やはり階層性があるのは当然だと思う。階層Q学習とかを研究している人がいるが、そういう人たちがやっている例がグリッド世界でのナビゲーションを扱ったものがほとんどであるということに不満を感じている。現実世界や良くできたVRシミュレータなどでそれらの手法を、より現実的な認知ロボティクスの問題に対して試すことのできる時代になったと思うが、やらないのはどうしてだろうと思う。

何かしたいという目的があってこそ、何かができるようになるはず。だから、そのしたいという意図みたいなものが重要じゃないかと思う。我々の作るロボットプログラムの中で欠けているのは、「意図」だと思う。ロボットの「意識」というお話もあったが、「意識」というものは、創発してくるものであると思うので、まず、我々がしなければならぬ事は、試行錯誤を繰り返して、そのような「意

図」の核となるようなものを見つける必要があると思う。具体例としては、「人間を認識するモジュール」が基本的かつ有用だと思う。聞いた話したが、単なる立方体があって、それをある様式に従って動かすと、多くの人が、瞬時にそれを人間のように見えると思うそうである。

開一夫（電子技術総合研究所・科学技術振興事業団）：それを作るには、色々なレベルがあると思う。我々が見てあたかもほんとの人間のように見える、というレベルと。まったく人間のような格好をしていないんだけど、何か生き物のように見えるというレベルがあると思う。人間のような高等動物には、生物とそうでないもの、また、敵なのかそれとも食べてもいいものなのかといったことを見分ける能力、さらには相手の意図や心を読むための能力が、非常に基本的なレベルの能力として備わっていると思う。こうした能力は、生存あるいは種の保存にとって非常に重要で、例えば、自分の子孫を残すための相手かそうでないものなのかといった能力が備わっていなければ種を存続していくことはできない。

面白い例としてHeiderら[5]の仕事を紹介したいと思う。彼らの仕事は『3角形や円形、四角形といった抽象的な図形の動画を被験者に見せ、その動画について説明（口述）させたところ、ほとんどの被験者はそれぞれの図形やその動きを擬人化して表現した』というものである。被験者は、例えば、『三角は円のことを好きで追いかけて回しているが、三角は円が嫌いで逃げている』といった風に動画を説明したわけである。こうした実験を基にしたハイダーの議論には、いろいろ問題があるかもしれないが、人間には能動的な対象の『心のモデル』を形成するモジュール（擬人化モジュールといってもよいかも）があり、対象がたとえ抽象的な図形の動画であってもそうしたモジュールが起動される可能性があることをこの実験は示唆していると思う。

私は相互作用の本質的な部分を明確にする方が良いと思う。外面的な部分でも人間のように見せるというのは非常に重要であると思うが、認識する側（人間）がどうやって対象を認識するかという部分を考えないと、人間らしいものを作るためのデザインする方法が分かってこないと思う。

谷：それが、ペットロボットでも問題で、あの格好がすでに動物であるかのようなものになっているので、それに接する人間の方が期待を持ってしまっていて、犬はこうでないといけないとかいう…それに合わせて、デザイナーは、犬だからしっぽでも振らさないとけない、という事をしないとけいなくなる。それに併せていろんなことをしないとけいなくなる。それよりは、格好が変であっても、そのほうが人間と親しくなれる可能性があると思う。

開：レベルの違いはあるにせよ、見たことがないものであっても、それが生物だと認識してしまうということだっ

てあると思う。

國吉：そうだとすると、相手の理解という意味では、非常に狭い範囲に限定されると思う。

谷：手が二本、足が二本、頭が一個というのは、それほど重要なのだろうか？

國吉：重要だと思う。例えば、車輪のロボットでできる事は、限界があると思う。

谷：そうだろうか、まだ、できていない事はたくさんあると思うが…

柴田：僕は、手を伸ばしたいとか、あそこへ行きたいとかいう、そういうことをロボットに入れ込めばいいと思う。「それがあと思えばそれを埋め込む」という方法で。

國吉：それは、今までたくさんの人がやってきた事で、それはそれで正しい方法である。ブルックスのところでも、そうで、認知、心理、生物学とかで見つけられてきた知見をどんどん工学的にロボットに埋め込んでいくという方法をとっている。それが主流のアプローチだと思う。でも、足りないところは、この研究会で議論したところだと思う。

開：認知科学の知見というのをそのまま入れていくといっても、『何』を『どう』入れていくのかということが問題である。実際に認知科学の個々の研究者の多くは限定された現象に対して、実験やモデルを作っている。そうすると、何をどうロボットに埋め込むのかということが非常に重要になると思う。

國吉：これに関連して私が問題だと思うのは、ある行動に関して、人間の観察に基づくと、ある非常に固定されたパターンがあると見えた場合に、それをモジュールを仮定して埋め込むのは概念的な間違いだと思う。今までは、ほとんどそういう例ばかりで、それを回避しつつやるためには、どういう手法が必要であるかを考えることが本質であると思う。

浅田：それは時空間の相関が取れるというのが、大事だと思ってる。

國吉：確かにそう思う。まず、反射的なものとか、生得的な結線以外の部分は、時空間の相関が取れる。それが大事だと思ってる。逆にいうと、そういう方法しか見えてない。構造を入れ込むという事は、それだけでもう、制約してしまう。だから、どこまで構造を入れ込むのかという部分が難しい。

浅田：わからないから、今は、各人がそれぞれ、構造を埋め込んでやってみて、どういう行動が出てきているのかを調べている段階であると考えられるんじゃないの？

佐藤：そういうところに問題があって、そこに面白さがある。ということでしょうね。そこでロボットが必要であるという話があるわけですね。

6. おわりに

本パネル討論は、研究者の率直な意見を聞くことを目的として開かれた。その意味で執筆者の方々から興味深い様々な意見を伺えたと思う。

最近、本田技研からは人間型ロボット P2, P3 が、ソニーからはエンターテインメントロボットが開発された。これらのロボットは、人間の歩行動作や猫の動作を非常にうまく模擬しており、今までにない生物としての reality を感じさせてくれるし、意識とか意図を実現する必要に迫られるほど行動に余裕がある。我々にいよいよロボットが人間社会の中で共存しそうな予感を与えてくれる。しかし、今回討論されたように問題なのは、ロボット有効性の新たな定義が必要とされていること、意図、意思、創造力、創発力、適応力、社交性を持ったロボットを実現するために、先天的に埋め込むべき能力は何か、また後天的に学習させるべきものは何か、そういうプログラムはどう書いたらいいか、などの問題が山積みであることである。ただ、明確に感じることができるのは、これらの問題に取り組むためには、コンソールベースのチューリングテストでは不十分で、人間や環境と全身で相互作用できる実体としてのロボットが必要であるという観点を基本としているのが「認知ロボティクス」であろうということである。なお、「認知ロボティクスとは何か？」に関しては、より総括的に「展望」で述べられている（柴田智広・中村恭之）。

7. 謝辞

最後に、討論会の場を提供して下さった、けいはんな（株）けいはんな若手知能ロボット研究会の世話役高田司郎氏に、感謝の意を表す。

参考文献

- [1] J.P. Crutchfield: Is any thing ever new? Considering emergence, In *Complexity: Metaphors, Models and Reality*, edited by G. A. Cowan, D Pines and D. Meltzer, Reading, MA.: Addison Wesley, 1994.
- [2] <http://www.cogs.susx.ac.uk/aisb/index.html>.
- [3] Karl F. MacDorman et al: "Robots that Recognize Affordance: A Predictive Approach," 第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.901-902, 1998.
- [4] 開一夫: "認知科学とロボット: 認知モデリングにおける仮説形成ツールとしてのロボット", 日本ロボット学会誌, vol.17, no.1, 1999.
- [5] Heider, F. and Simmel, M: "An experimental study of apparent behavior," In *American Journal of Psychology*, vol.57, pp.243-259, 1944.