

特集●ロボットと社会

人と共存するロボットを目指して

出席者(敬称略・順不同)



東京大学人工物工学研究センターサービス工学研究部門教授
 浅間 肇
 一九八四年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。理化学研究所研究員等を経て二〇〇二年より現職。工学博士。自律分散型ロボットシステムの研究、複数自律移動ロボットの協調技術、知的データキャリアとその応用技術の開発などに従事。



産業技術総合研究所知能システム研究部門安全知能研究グループリーダー
 山田 陽滋
 一九八三年名古屋大学大学院工学研究科電気電子工学専攻修士課程修了。豊田工業大学助教授、スタンフォード大学客員研究員等を経て現職。工学博士。専門はロボティクス、安全知能。著書に『新版ロボット工学ハンドブック』等。サービスロボットの拠点形成を推進中。



慶應義塾大学理工学部機械工学科教授
 前野 隆司
 一九八六年東京工業大学理工学研究科機械工学専攻修士課程修了。キヤノン株式会社を経て九五年慶應義塾大学理工学部機械工学科専任講師。同助教授を経て二〇〇六年四月より現職。工学博士。専門はロボティクス、アクチュエータ、触覚センサ・触覚ディスプレイ等。



慶應義塾常任理事、慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科教授
 吉田 和夫(司会)
 塾員(昭48工、53工博)。一九九四年より慶應義塾大学理工学部教授。専門はロボット工学。振動工学、制御工学。二〇〇二年、二〇〇四年、二〇〇五年ロボカップ世界大会にて吉田研究室チームが優勝。

様々なロボット研究

吉田 今日、ロボット研究の若手リーダー三人が集まっていた。まず自己紹介を兼ねて、ご自分のロボット研究の話をしていただけますか。

前野 私はもともとロボットの研究者というより、超音波モータのようなアクチュエータや触覚センサなど、いわゆるロボットの部品の研究者でした。同時に、ミミズやアオムシの動き方や、人の触覚メカニズムの研究など、生物のアクチュエータとセンサの研究も行ってきました。アクチュエータやセンサの研究を行っていますと、それらを組み合わせたくらいで、触覚を持ったロボットハンドや、進化するロボットなど、ロボットの身体の研究も行うようになりました。さらに、ロボットの身体の研究をやっていると、今度は心にも興味がわきまして、最近では、『脳はなぜ「心」を作ったのか』

という本にも書きましたように、人とロボットの心の研究も行っています。学際領域としてのロボティクス、あるいはロボットと人の関係に興味を持っていて、哲学者や心理学者の方とも交流しています。加えて、現在では、技術者倫理に関する授業もやっています。『心を持ったロボットを作ってもいいか』というような内容も題材にしています。

山田 私は二年前に大学から産業技術総合研究所に移ったのですが、大学の研究者としては当初、センサとか通信といったロボットの要素技術、あるいはロボットシステムとしての知能化の問題を研究課題としていて、その後、人間と共存するロボットの研究にドーンと入りました。つまり、ロボットと人間の協調、人間がロボットと安全に共存できるかといった研究を始め、そのようなシステムの実用化の研究をやってきました。具体的にはいま、産総研に移ってか

らは、引き続き、人間共存ロボット実用化のための安全技術、知能化技術の研究を行っています。これに加えて、ロボットの実用化を取り巻くルールをしっかりとつくっていくという「制度設計」の研究を行っています。

浅間 私は最初からずっとロボティクスの研究をしていました。もともととは例えば、原子力プラントで何か問題が起こったとき、そこへ行って見てきたり、ちよつとした作業をしてくる、いわゆるメンテナンスタスクの研究をやっています。そのうち状況に応じて柔軟に作業できるようなインテリジェンスが重要だということになり、そこから複数のロボットをどう協調させるかとか、複数のモジュールのものを合体して構成される自己組織型ロボットなどの研究をしました。さらに分散的システムというところから今度はユビキタス、いろいろな環境にあるいろいろな知的モジュールを埋め込み、ロボットを協調させて動かすシステムの研

究を理化学研究所でやっております。

その後東大に移ってからロボティクスをベースにどのようなサービスをつくるかという、いわゆる「サービス工学」の研究をしています。つまりここではモノをつくるのではなく、どうサービスをつくるのが非常に重要なテーマで、そのサービスを提供するのが人間ではなくロボット技術やユビキタス技術であると考え、それらを使い、人にとどういうサービスを提供できるかといった研究をしています。また、そのためにはヒトを理解しないとできないものですから、最近移動知というプロジェクトを始め、ロボット技術を使いながら、動物や人間の持っている典型的な適応的行動能力のメカニズムを解明していくという研究をやっています。

吉田 私はもともと鉄道や自動車などの振動の制御が専門で、世の中にたくさんある振動制御の問題をずっとやってきました。

ロボット研究のほうは十五年以上前、事故情報を分析再利用して二度と同じような事故が起こらないようにする枠組みがどうしても必要なのです。

それから事故の事例を集めるだけでなく、ロボットを安全にするためにはみんなですべていくべき標準規格技術をつくりあげていくわけです。それで規格に対しては認証と、それを規制する人たちが必要ということになる。最近の耐震データの偽装問題は、認証機関がうまく働かなかつたから起こったと言えるわけです。ロボットにだって当然そういう問題が将来起こり得るわけですから、ロボットに対する認証と規格と、規制との関係、そこにメーカー、ユーザーも加わり、これからの人間共存ロボットのための責任分担構造を社会とつなげなければならぬ。

構成要素の全部がしっかり機能しなければならず、どこか一つだけ発展していても社会的にはそういう制度がうまく機能しない。どこかに歪みが生じ、それがもとで事故になる。そのような

スキアの宙返り演技をロボットにやらせ、きちんと着地させるといのが、私のロボット研究の最初の具体的テーマでした。これは非線型問題という結構難しい問題をニューラルネットワークで解けないかという研究で、これに成功したんです。着地に成功したので、そのあと半捻りや半回転など三次元的技の研究までやったのですが、もともと制御屋ですから具体的なロボット研究をもっとやりたくはなりました。

となると一台のロボットだけではなく、複数のロボットでさらにいろいろなことができないか、学生への教育という観点からも「ロボカップ」というフィールドに参戦すればおもしろいかなど、ロボットのサッカーチームをつくってロボカップに参加し、いま世界で二連覇中と成果をあげています。

でも、やはり制御のほうに興味があるものから、この「安全・安心」が要求される時代のなか、「安全・安心」の技術としてのテストベッドとして、

ことをいま経産省に提言しているところで、現在、このような社会的システムの構築を推進するセンターを発足させていこうという状態です。

吉田 まだロボットの事故例は少ないということですが、私が以前やっていた原子力の安全問題も同じなんです。だから、私はコンピュータ上で事故をどんどん起こす。コンピュータ上では事故が起きても大丈夫なので、それでデータベースをつくったりしました。

山田 まさにロボット研究も同じです。リスク・アセスメントのためのシミュレーターをつくり、それに例えばこんなふうにはユーザエラーが生じた、とより汎用性の高い言葉のレベルで表現されたことがらを入力する。シミュレーターはそれを物理的な局面としていろいろなパターンを考える。それは「一を聞いて十を知る」ということだと思のですが、具体的に何か誤って手を置いたのが机の上であることもあれば、どこかの台の上に置くこと

ロボットを利用しているというのが現実です。

「安全・安心」を保証するために

吉田 「安全・安心」という見地から、山田さんの考えている「具体的ルール」というのはソフト面、ハード面も含め、どういうものなんですか。

山田 制度設計ももちろん知能にかかわるわけですが、安全を確保するため、例えば人間とロボットが社会で一緒にいるとどんなリスクがあるのかといったリスク・アセスメントをまず最初に考えます。

それがどれぐらい大きなリスクなのかを評価するためには、過去の事故の知見が必要になる。なにせまだロボットはろくに社会に出たことがないので、衝突したらどんな事故、どんな傷害を人間にもたらすのかというのがわからない。したがって、まず事故データを漏れなく集めないといけない。そして、集めた知見をフィードバックし、

もあるだろう。そこにどんなリスクが潜んでいるかを考え、一つの想定された事故から二度と類似の事故が起こらないよう、多くの警告を発することができるようになりたいわけです。

吉田 そういう意味では倫理に関係する話にもなっていますが、ヒューマンエラーには人間の心とか内的な問題もあるのかもしれないね。

前野 私の興味は、ロボットそのものを具体的にどう産業用につくりこむかということより、人間の構造とロボットの構造とはどう違うかということにあります。倫理の問題がおもしろいと思うのは、人間は人工物を設計目的にしたがって設計するのですが、同時に、より安全でなければいけないとか、使い勝手がよくなければいけないといったマクロな目的も、実は同時に持っている。それに対し、従来のロボットは、一つの目的に対して一つのことをやるという融通のきかないものでした。私の興味の一つは、そこを打破し

たいというところにあるんです。つまり、階層の異なる目的に対する答えを並列分散的に同時に解いている心や身体の仕事に興味があります。

その一つのシンプルな例が触覚の研究です。人間は、ツルツル、ザラザラといったような触感を大腦により意識下で感じると同時に、無意識のうちに物を滑り落とさないような制御も行っている。これは非常にマイクロな例ですが、倫理も同じだと思うのです。生命の随所に現れるこのようなアナロジーは面白いですよ。

要するに、これまでのロボットは倫理感など持っていないかった。倫理観は、ロボットを設計する側が持つべきものだと考えられていたわけです。そして、ロボットは、与えられた仕事をするだけでした。そうではなく、「私はどう振る舞うべきか」という倫理あるいは行動規範のようなもの、つまり、マクロな目的を、ロボットに埋め込むべきだと思っんです。倫理教育によって倫

理観を持った人をつくるという話と、倫理を持ったロボットをつくるということ、オーバーラップして考えていきたいと思うのです。将来の夢みたいな話ですが。

理観を持った人をつくるという話と、倫理を持ったロボットをつくるということ、オーバーラップして考えていきたいと思うのです。将来の夢みたいな話ですが。

吉田 まさにサービスロボットはその両面が必要でしょうね。浅間 そうです。サービスを語るにはその価値は何かということを考えないといけない。価値にもいわゆるプラスの価値とマイナスの価値があつて、倫理とか安全であるという話は、マイナスの価値をいかに減らすかということだと思っんです。サービスというと、ロボット技術で何ができるのか、何をしてくれるのかという議論が多いなか、むしろこうなつてはいけないのだという議論も重要なのです。

人間と共感できるロボットとは

吉田 なるほど。人間がロボットに期待するもののなかに一種の高度な道具というか、自分の奴隷といったイメー

ういう心的な結びつきの概念というのが、システムを設計していく段階では非常に重要になり、例えば、相互の信頼関係を構築するのに個々の要素に求められる技術要件は何かという問題は、すでに工学の対象になつている。

吉田 特に「安心」が難しいのは、自分にしてほしいサービスが明確にわかっている人は、しっかり設計できるかもしれないけれど、何をしてほしいかわからない人もいますからね(笑)。

浅間 サービス工学で最近感じる一つ重要な概念は「適応」という概念です。サービスの価値を決めるのは結局人間なので、主観に依存することになるわけです。するといろいろな価値観を持つている人に対してサービスを提供するためには、その人に合わせる機能がサービスシステムにないといけないわけ、**「適応」**が必要になる。

そして、もう一つ重要な概念が「誘導」です。いま吉田さんが言われたように、人間の場合、何がほしいかと聞

ジが特に欧米人には強くある。だから欧米には自分の道具だと思つていたロボットが人間を襲うといった恐怖が常にあつて、そういう映画やSFというのがたくさんありますよね。ところが日本ではドラえもんや鉄腕アトムもそうだけど、人間的で倫理観もある優しいロボットが多く登場し、あたかもロボットを人間のように見ている。これは欧米とかなりアプローチが違うような気がします。

欧米人がびつくりしたのは、日本の工場へいったら産業用ロボット一台一台にみな名前がついていたということだそう。そのような違いがあるのだ。安全とかサービスとか心とか、そういう面では逆に日本のロボット技術者が最も、ある種独自のロボット文化をつくつていけるのではないかとこの期待感を持つていけるのです。

山田 「安全・安心」の定義の議論をするのは大変です。安全のほうはかなり明確な定義が社会的にもできつあ

かれると、実はわからないという人がほとんどで、例えば自分は本当はこんなものを買つつもりなどなかったのに、見たら欲しくなつて買つてしまつたというケースがよくある。これは環境に誘導されて、欲しいという主観が生まれたわけ。そういう意味ではサービス工学というのは奥が深い(笑)。

山田 それも共感みたいなものですよ。例えば人間とロボットが一緒にいると、ロボットを人間って大体こんなものが好きなかなというのをわかるようにするという意味では、シンビオティックにできるだけ一緒にいると、その人の価値観がわかってくる。だけどそれだけでなく、もつと働きかけることによつて共感を生む方法もあるでしょう。

例えば餅つきを例にするなら、人間が作業しようとするロボットもそれに合わせ、杵を持ち上げホイホイついていく。となると人間にも熱い気持ちが出てきて、もつと早くやりたくなつ

るのですが、安心はもつと奥深いものだと思っ。安全の定義というのは、許容できないリスクがまつたくないということ。つまり自分にとつてだけでなく、例えばあるシステムのなかにあるリスクをみんな拾い出し、そのリスクが許容できる程度のもの、あるいはそれ以下のものばかりであれば、「安全だ」となる。ところが「安心」の話になると「心」にかかわることなので、主観の問題になつてくる。だから安心していても安全じゃないということがありうるわけです。信号が青なので歩き出したら車におつつけられたとかです。

となると安心を本当に確保しようと思つたら、さつき前野さんがおっしゃつたように、システムティックにある安全を超えるような信頼関係がないといけない。だから「信(しん)」というものが出てきて、その信を支えるものは、例えば『里見八犬伝』じゃないけど忠義心だとかになつて(笑)。そ

てくるというような(笑)。

ロボットに映し出される文化的背景

吉田 ヒトとロボットのインタラクションというか、サービスロボットな人間と共存するロボットの場合は、ヒトとロボットの関係が少なくとも人間側に、信頼しうる何かがないと成り立たないし、それに呼応するロボットにも何かないと無理でしょう。

昔、安西塾長がやった有名な実験があります。学生のいる教室にロボットが入ってきて「この教室は五時までしか使えません。皆さん出ていってください」と言うわけです。するとロボットの言っていることは関係ないと無視する学生もいる。一方ただのロボットといっても、そう言わせているのは大当局で規則はそうなっているんだな、と裏側にある見えない社会を読める人はちゃんとそれを守る。

要するにこれは一台の物理的なロボットが同じことを言っても、そのロボ

ということだと思えます。

吉田 特に欧米の場合、宗教的背景が影響しているかもしれません。日本人の場合、神がどうかでなく、人間の形をしていたほうが可愛いというのもあります。もともと機械に人間を求めている。すべてに魂ありという感じ。それがやはりロボット研究にも色濃く出ている気がするんです。しかし、いまはヨーロッパも逆にヒューマノイドに慣れてきていますね。

浅間 ヒューマノイドの研究はアメリカではあまりやられてなくて、ヨーロッパでは少し出てきましたが、日本のヒューマノイドとはずいぶん違う。それは単に人間の形をしたロボットなのですが、日本のヒューマノイドの研究はコミュニケーションできるのか、人間の形をしたロボット以上のものが求められているような気がするんです。

ヨーロッパには「ロボットコンパニオン」という概念がありますが、そこに人間的な情を入れる対象だといった

ットの背景にあるものまで考えるかどうかで人間の捉え方が違ってくるということ。これはサービスロボットには常につきまとう問題です。文化的に日本人は人工物に対してもそういう背景に思いを馳せやすいけれど、欧米人はかなり違っている。もともとある文化的背景を反映してくるのではないかと思うんです。だから「安全・安心」に関して日本でスタンダードをつくって世界にそのまま持っていけるかというと、自動車とか新しい工業物だけであればわりとスタンダードがはつきりするけれど、「安全・安心」は人間の文化を背負ったものになっていくような気がします。

山田 そうですね。例えばヨーロッパでもサイエンスだと割り切って、ロボットをツールとして利用し、それで脳や身体性といったものを研究している人ももちろんいる。しかし彼らには、ロボットはやはり機械だという醒めた部分が大きく、これは人間にとつてど概念はまったくなく、われわれの生活を支援してくれる単なる機械という意味合いが非常に強い。そういう意味で日本の場合、情を移入する気持ちが強いせいか結構外観にこだわる人が多いように思います。ヨーロッパのものはまず見栄えが全然違いますね。

山田 ロボットの奥に設計者の意図があり、モノにはみな魂があつて、大事に使えばいつまでも使えるのは、そこに自分の魂が反映してるからだ。だからわれわれは心みたいなものを平気でモノに埋め込むことができるわけです。だけどヨーロッパは現実的で、機械は壊れるものではないから、生命だとか人間の心とかいったものと乖離した無機的なもの、として見ることを基本に考えているのではないかと思うんです。

浅間 文化的に言うと、東洋文化はコトを重視し、西洋文化はモノを重視する。東洋文化のコトというのは、モノとモノとの関係なので、例えば人間と

う役に立つんだとか、経済的にどんな効果を生むのかというように、やはり出口から入っていく。

例えば移動ロボットにしても、案内ロボットや掃除ロボットなど、そういう出口が見えると、それを達成するためには知性が必要だというわけで、そこに人工知能を導入していこうとする。そこには何か醒めた機械としての見方があるというか、ロボットは人間とは違うんだというところからスタートしているような気がするんです。

前野 慶應のドイツ人の語学の先生が、面白いことをおっしゃっていました。ヨーロッパ人から見ると、日本人のつくるヒューマノイドに違和感があるだけでなく、日本人がヒューマノイドをつくるということ自体が、得体の知れない感じがして、心の根底で実は日本人を理解できないのだとおっしゃっていた。すでに日本で長くお過ごしなのに、ですよ。東洋と西洋の文化には、実はそれぐらい大きな断絶がある

ロボットが共有する場というところからその価値が決まってくる。ところが西洋文化にはそういう概念がないので、ロボットはロボット、人間は人間だという、はじめからそういう先入観があるような気がするんです。

前野 私が本に書いたのはまさにそのことです。人間には自由意思と確立した自己があり、それが積極的に働いているんだというのが西洋的な考え方で、私はむしろ人間もロボットと同じで、自由意思だと思っているものさえ自律分散的なもののなかから生まれてくる受動的なものじゃないかと思うんです。所詮は人間もロボットも一緒。それは釈迦の思想や老荘思想と同様だと思います。先ほどの誘導の話や安心の話もそうで、絶対私はこれをやるとか、絶対安心だ、などという本来の価値はなく、価値は相互作用のなかから出てくるのだということです。これはまさに、本来、東洋的な思想ですよ、現代哲学もこれに近いですけれども。

吉田 少し違う切り口で言うと、欧米の人工頭脳というのは全部大脳というか、意識の世界をモデル化しようとしている。だけど生命には無意識の世界があり、たぶんロボットも同じで、欧米人はそれに気づかず、すべて意識のフアンクションを実現しようとしている。

逆に言えばロボットが無意識の世界を持つのが欧米人には怖い話なんですよ。でも「安全・安心」の時代に役立つロボットにはそういうメカニズムがないといけない。「こうなったらこうしなさい」というシナリオに基づいたアプローチでは、「安全・安心」はつくれない。何となく危ないとか、大脳レベルで明確に感じなくても体が動いてしまうような世界もつくらないと。生物は非常に曖昧な情報で動いていますし、そこがキーポイントだと私は思っているんです。

生物はどんな仕組みで行動するか

浅間 最近、移動知の研究を生物学や

報で形成されており、最終的には行動に結びつけなければならぬのだけど、「そういうえば、自分はこれはやりたい」とか、「あれはやりたくない」という局面が多々あるわけです。

このようなときは、いくつものやりたいことや、やりたくないことが互いにおつかる。その部分で過去の経験を振り返り、いまだったら、きつとこつちをやっておいたほうがよいだろうという、ある意味では強化された自分の判断基準に基づき、行動を一つに決めて発現させるといふメカニズムが「意」だと考えています。だから「知」と「情」が集まって「意」にかけられる。ただ、その「情」の部分を個体レベルで「感情」と言うと、もちろんこれもいままでも脈々と個々の生命を維持するために備わっているプログラムということになるのですが、「情動」というとさらにスケールの大きな側面が出てくる。

例えば東洋的な情動、西洋的な情動

医学の先生方といろいろ議論しながらやっているのですが、これまでの脳科学や神経生理学でわかり始めたのが、いわゆる情動レベルの行動です。適応的に行動することは、どんな動物にも備わっている知的機能なんです。でもそれは、大脳皮質、高次脳のほうから指令されてそういう行動が出ているのかというところじゃない。むしろ体性感覚から上がってくるもので、情動的な行動をすることによって、非常に適応的で安定的な行動が出るような仕組みがあることがわかってきた。実は脳科学にしろ神経生理学にしろ、高次脳機能に関しては注目度も高く、研究も進んでいるのですが、その下の無意識のレベルでどうやって生物が適応的な行動をするのかは、実はほとんどわかってない。

実際ロボティクスでも、サービロボットの、人間に接する機会も多くなるので、適応的に行動できることが求められるわけですが、それを実現す

というのがあって、そこには民族や社会構造の違いによって脈々と埋め込まれ形成されてきた互いに異なるプログラムがあるわけです。ある民族から見るとどうってことないものに、その民族の人はみなものすごくこだわる、しかもそれがどうしても起こってしまうというレベルの、自分の運動を決めるためにあらかじめ埋め込まれている指令みたいなものがあると感じているのですけれど。

吉田 生物は自然に「知・情・意」のバランスがとれているのかもしれないよ。それこそ四十億年の進化の過程でいろいろな遺伝子とその環境に適應し、いろいろなプロセスでバランスを保つてない限り淘汰されてしまう。自然界にいま生き残っている生物には一種の摂理があると思うのです。

人間がつくるものにはそのバランスが非常に欠けているものが多く、そのアンバランスが「安全・安心」を設計するときすごく大きな問題になると思

るにはどうしたらいいのかは、いま、まだ方法論がないんです。移動知という研究では、われわれの適応的な行動は、移動することによって生まれるというコンセプトに基づいています。ただ座っていたら知的な機能は得られません。動くことが重要なんです。移動知の研究によってそういう無意識レベル、情動レベルの生物のメカニズムを明らかにしていき、生物学にも貢献しながら、それをまたフィードバックし、どうしたら適應して行動できるロボットをつくれるかという設計原理が、研究のなかから得られるのではないかと期待しているのです。

山田 私は意図の推論という研究をしてきています。「知・情・意」ということがありますが、「知」とは感覚系つまり外界から取ることのできるもので、「情」というのは、お腹がへったから何か食べたいとか、生命維持に関わるもつと根源的、内発的なところからくる。当然、「知」はたくさん情

うし、そのへんのメカニズムが設計論に反映されてないんです。そこを今後反映させていきたいというのが、私のアプローチなんです。

前野 私は、「情動」は意識のクオリアに色付けをする機能だと考えていて、「知・情・意」の中で特別扱いすべきだとは思っていません。私の考えはニヒリズムに近くて、「情動」だけでなく「意思」とか「意図」さえ、同じように無意識の世界から湧き上がってきたものであるにもかかわらず、私たちがそれをあたかも自分で決定しているかのように感じているに過ぎないと考えています。

「知」も「情」も「意」も同じように無意識から湧き上がってくるものだというふうに考えれば、人間というのは思っているほど偉いものじゃないのではという気がするし、逆にロボット研究のラストリゾートは「意識」だと思おうのです。

一方、意識とセットになって重要な

点は、自律分散的な無意識下の情報処理がどのように行われているかということだと私も思います。脳の神経細胞数は一千億もあり、無意識の構造はあまりにも複雑なので、いかに生物に学び、どのように作り込んでいくかというところが非常に難しい。

新しいアプローチの可能性

吉田 最初のアプローチとしては、私は曖昧な情報を積極的に利用するメカニズムをつくることだと思います。というのも生物というのはかなり曖昧な情報を使っているからです。「情」のなかでも「やる気」が重要です。「絶対成功する」、「絶対失敗する」とわかつていたら、やる気はゼロになる。だから人間が一番やる気になるのは普通は五分五分でうまくいくかもしれないというときなんです。だけどそういう「やる気」のメカニズムが普通ロボットにはほとんど埋め込まれてない。だから情の世界は人間の永遠の課題

で、説明されるとは思わないけど、その解明を目指す上で、一番欠けているのはコンピュータを使って情報処理をするとき、曖昧な情報をどう生かすかということだと思えます。何となく危ないんじゃないかという程度の曖昧さで人間は行動しますから。

浅間 移動知研究の中で、東北大学の矢野雅文先生の話に「みなし」というのがありますね。例えばロボットで何か判断しようとする、基本的に環境が無限定だから行動を決定するための情報が絶対的に不足する。そういうなかで何か行動を決定しなければいけないときは、なんらかの情報を自分のなかでつくりださないといけないわけで、それを彼は「みなし」と呼んでいる。いま得られている情報からだけでは、ものすごく限られたことしかわからない。だから、その情報以外のところで、次に必要な情報をつくり出す機能が必要になってくる。人間にはそれができるけど、いまの機械はそれがで

きない。いままでのロボット工学で扱われてきたアルゴリズムとかアーキテクチャというのは、同じようなものばかりで、新しいアルゴリズムやアーキテクチャがいまなかなか出てきにくい状況なんです。でも生物は非常に多様なそういう仕組みを持っている。

吉田 そういう意味ではいままでのロボットと全然違ったつくりのロボットが、これからどんどん出てこないといけないということですね。

浅間 ええ。それから「バランスの力学」という視点から生物を見てみると、あるシステムと、もう一つの対立するシステムが常に並行して走っていて、これが状況に応じてうまくバランスがとれている。これはロボット工学にはない思想です。私たちはその一方を動かすか止めるかだけ、一つの要素でまさせようとしてしまう。

例えば常に前に行こうとするものと、後ろに行こうとするものを両方動かさせ、それをバランスさせるとい

る。基本的には暴走を抑えることで、バランスをとろうとするメカニズムが大事ななと思うんです。

浅間 私の考えはちょっと違っていて、いわゆる脳幹、脊髓に出てくる投射は、大脳基底核からのいわゆるGABAによる抑制性の投射だけでなく、大脳皮質から興奮性の投射があり、これがバランスしているからうまく動いているのではないかと思うのです。例えばパーキンソン病の場合にドーパミンが低下すると、抑制が強くなりすぎて逆に興奮性出力が抑えられてしまい、バランスが崩れる。それによってうまく歩けなくなったり、手のコントロールができなくなったりします。そこがまさにバランスの力学ではないかなと思うのです。

□ロボット研究の二つの方向

吉田 話が随分、高度に面白くなってきましたが、少し現実に戻って、まずサービス系ではどんなロボットが必要

のは機械工学的に言えば無駄な機構です。だけどその冗長性の中に、何かことが起こったときに即対応できるようにわざと余裕を持たせてあるという構造があるわけです。そんなメカニズムが生物の場合いろいろなところに仕込まれているんです。しかし、いまのロボットにはそういうのがまったくない。そこに一つの新しいアプローチが隠されているのではないかと思っているのですが。

前野 サブサンクション・アーキテクチャみたいなものは、原理的にはそういう考え方ですよ。並列的に上位と下位にはなっていますが、バランスによってそういう情報処理をしようとする。

吉田 だからいろいろな事象をいかにバランスさせるかということになるのだけれど、抑えるほうと、もつと頑張れという競争的な二つのことをうまくバランスさせると。

前野 バランスのためのメカニズムとして私がイメージするのは、人間の脳

の神経には抑制性結合が非常に多いということ。サルにはあまり多くないのですが、高度な生き物になるほど多い。つまり、要素の数が多くなるほど、互いに抑制し合わざるをえないというイメージです。

山田 私もそう思います。そこをフォロイするだけのため、僕はいま一生涯「大脳基底核」の持つ意味が大事だという話をしているんです。いまかなり研究も進んでいる大脳基底核のなかには線条体というところがあって、そこにドーパミンが入ってくると、それに応じて抑制強化されたり脱抑制されたりするという。

もともと、たくさん情報が入ってくると、脳のなかでは全部それが活性のほうに働き、それをまた全部運動系に持ち込むと、行動がもうバラバラに定まらなくなってしまうわけです。だからできるだけ維持しておきながら、自分が報酬を得られそうなものだけ行動発現に結びつけようとするところがあ

とされているのか、これからの夢とも語っていただきたいのですが。

浅間 急に俗世界の話に戻ってしましますが、最近経産省が「新産業創造戦略」ということで、ロボットを重点分野として取り上げた。日本は非常にロボット研究が盛んだし、産業用ロボットも保有台数、生産台数ともに世界一で、ITでアメリカに遅れた分、RT（ロボットテクノロジー）とかIRTとか呼ばれているロボット技術で世界をリードしていて、そのために重点化すべしと言っています。

ただ、一家に一台ヒューマノイドが入って、身の世話をしてくれるような状況には、私はなかなかならないと思っています。でもロボット技術というのは、例えばセンサとかアクチュエータとか、そういうものがいろいろなもの、環境のなかに埋め込まれているという状況で、人の役に立ち、一つの大きな産業になるというふうに考えています。

吉田 そういう意味でロボットとRT

思っています。

一方、そもそも、ロボット研究者のモチベーションの源泉は、言ってしまうと、面白いから、なんだと思います。二足歩行ロボットの研究を始めた人は、実は、二足歩行を実現できたらおもしろいと直感的に思ったから始めたんだと思います。私がロボットの心をつくりたいと思っているのも、直感的に面白そうだから、という一面があります。それだけでは実学である工学として責任を果たしていないと言われるすし、私も役に立つロボットをつくりたいですから、心を持ったロボットが、例えば老人介護の場や心の病を持つ人のために、心安らぐようなコミュニケーションをできるようにしたいと思っています。しかし、究極的には面白いからです。

言い換えれば、心について考えるという面白いことに携わるのは、これまでは哲学者や心理学者だと思われてきたんですが、これからは、ロボティク

というのはいぶん違いますよね。

浅間 ええ。RTというのは例えばゼンシングの機能や、アクチュエータ、つまり動く機能があつたり、情報処理機能があつたりするものをすべてRTと捉え、それらがいまのユビキタスの技術と相俟つて、われわれの身の周りのいろいろなものや環境に入っていく。それがヒトをいろいろな形で検知したり、認識、判別しながらいろいろサービスを提供してくれるとなっていく。それがロボット技術、すなわちRTが産業として花開いていく、一つの方向性じゃないかと思っています。

そしてもう一つの方向性として、それとは逆に、サイエンスに役立つようなロボティクスというのが重要になると思います。生物学のこれまでの手法でヒトや生物を知るには、限界があるんです。例えば実験動物でできることに、技術的にも倫理的にも限界がある。そういうときロボット技術が役に立って、いわゆる実世界でどういうインタ

スや認知科学など、多くの分野の者が、文系、理系という枠を超えて、学際的に協力し合っていく。そのようなかに身を置いて、科学技術そのものと、科学技術のあり方を、同時に考えていきたいと思っています。

「社会的な備え」のためのロボット

山田 安全技術でいえば自動車などその典型ですが、いまいろいろな分野で、冬の時代を迎えつつあると考えています。機械に対して安全な装置を搭載するという点では、やれることは本当に高いレベルまできている。ただ、産業用機械もそうですが、本当に問題になっているのはヒューマンエラーなんです。

ヒューマンエラーをどう機械が認識、あるいは察知して、それを未然に防ぐかという問題は、はるかに解決が難しい。ヒューマンエラーのモデル化はそんなに単純ではなく、どこかを刺激すれば必ずこういう間違いを人間は犯すという必然性がないのですか

ラクシオンがあるのかも含めたモデル化が行われ、適応的行動が発現するメカニズムが、そのロボットなりシミュレータを構成することによって明らかになる。そんなふうにはロボット技術が学術的に大きな貢献をし、それによってまた技術がより発達する、そういう方向に発展していくだろうと私は予想しています。

前野 浅間さんが非常にわかりやすくまとめてくださいましたが、私も全く同感です。ロボット自体が産業として売れるという時代はそう簡単にはこないと思います。ですから、まず、マシン・インターフェースといいましょうか、人間にとって意識的にも無意識的にも使いやすいインターフェースとしてのRTといったようなものが、今後非常に重要になっていくだろうと思います。自動車や家、家電、携帯、文房具など、様々なもののロボット化といえます。私自身も、そのために何らかの形で貢献できたらと

ら、ヒューマンエラーに対応できる技術という極めて限られている。技術者や研究者は一生懸命ヒューマンエラーを防ぐための、あるいはこれらに早期に対応できるように提案はしているのだと思うのですが、本当にそれが状況に応じて確実に働くのかという疑念があつて、企業などでもなかなか上司から「GO」のサインが下りない。そういう意味ではなかなか方法論が見つかっていないという状況です。

吉田 これからはどうしてもヒューマンエラーに対応していかなければいけないと。山田 はい。よく「許容リスク水準の状況依存性」と言うのですが、安全の対抗軸に必ず経済性という規範があるので、ここまでならよさそうだと水準を変えて無理をすると、平常と比べてちよつとの差でヒューマンエラーにつながるというメカニズムになっているんです。

ですから、「この人はこういう状況

だとハイリスク、ハイリターンの行動に出る」というように機械が対象のヒトとしばらく一緒にいることによって、状況に応じたその人の行動を機械が察し、わかってくれるような技術がブレイクスルーを生んでくれたらいいなと考えています。そういう意味ではロボット単体だけでなく、いろいろな場面でRTで人間を見張りながら、この人はこういうことをしがちだとわかるシステムができればよいと思います。

その実現には社会知の考え方も重要になる。みんなの技術知見を集積し、それぞれ信頼性の高い部品がシステムの中かで個々にしつかり機能するような技術構築の世界的枠組みをやはり人間がつくっていかないといけない。だから、いま私は制度設計というのをやってみるわけです。ただ、制度設計というのはいま答えが出るものでなく、十年、二十年後にやつと秩序をもってできるような議論なので、いまからやっておかないと、高信頼で寿命の長い

部品ができない、あるいはそのような部品が出てきても、それらを組み上げるところで失敗が繰り返されることになりかねない。

浅間 まとめていただく意味で、ぜひ吉田さんの一つ話していただきたいのは、「社備」という話。ロボットのもう一つの重要な貢献には、その社会に災害なり何かが起こったとき、人間では対応できないところをいかに機械が対応してくれるかということですよ。

吉田 二十世紀のテクノロジ、あるいはサイエンスは不幸なことに軍備に使われたんです。私は二十一世紀のテクノロジは「社会的な備え」でなければいけないと思う。それを「社備」と言っているわけです。要するに二十世紀のテクノロジは地球号がこれから遭遇するさまざまな問題に備える形のテクノロジであって、ぜひ日本が先頭を切って世界に貢献することが重要なのではないか。

社会的な備えとしてのレスキューを

持ちうるし、工場のなかだけでなく社会に出てくるロボット、世界で何か問題が起きればそこへ飛んでいって、落下傘で降りていき、問題解決の加勢をしたりするようなロボットの実現が夢といえは夢です。日本は世界の消防署になるべきだと思うし、日本はそこに国家的な予算をかけてもやるべきだと思います。

浅間 「日の丸サンダーバード」みたいな(笑)。

吉田 社会的備えというのは地震とか災害だけのテクノロジではない。いま実際に地雷の問題もあれば、大気汚染や水の問題など多くの環境問題もあるわけです。

山田 そう指摘されてみると、日本のセキユリティーそのものも、決している状態ではなくなりつつあるので、吉田さんのおっしゃるような工学的な概念で、日本はもとより世界を救えるようなインフラとしてのRTの役割が見出されていくといいですね。