

「人と機械の関係」の未来を探る

—人間のさまざまな個性を機械が理解する。人と機械のインタラクションへの挑戦は面白い—

九州工業大学大学院 生命体工学研究科教授

柴田智広さん

オムロン株式会社 技術・知財本部
センシング研究開発センター

諏訪正樹

「Sensing & Control + Think」をコア技術に、人と機械の関係を探ってきたオムロンでは、「人と機械の融和」をめざし、さまざまな研究開発を進めています。ロボティクスと脳科学を活用し、介護支援ロボットなどの研究を手がけている九州工業大学大学院 生命体工学研究科教授の柴田智広さんと、オムロン入社以来、画像センシング技術を追求している技術・知財本部の諏訪正樹に、機械と人が融和をはかる上で重要となる技術の進歩について語っていただきました。

ビッグデータだけでは見えない、 個別能力の差異化がカギを握る

柴田 私の専門は知能ロボティクスと脳科学(特に計算神経科学)です。これらの技術と知見を活用して、人や社会を学習・適応するシステムとして理解し、支援することをテーマに研究を行っています。中でも私の研究の特徴は、人や社会を、情報処理課題を実行する機械とみなし、深く本質的にモデル化する「理学的アプローチ」と、人や社会の出力を予測できる程度に、あるいは支援できる程度にモデル化を行う「工学的アプローチ」の両面から研究を行っていることです。また開発した支援システムが社会の中で持続的に受容されたならば、「支援できる程度のモデル化」が成功したという強い傍証となると考えています。そこで私は九州工業大学で「スマートライフケア社会創造ユニット」(<https://www.facebook.com/smartlife.careunit/>)を立ち上げ、支援システムを医療や介護の現場などで実証的に評価しつつ研究開発を行う体制を構築しています。

支援システムにとって大変重要なのが環境適応、個人適応というキーワードです。一人ひとりの認知能力、身体能力はそれぞれ非常に異なる特性を持っており、しかもそれは経時的にも社会的にも変化するものです。そのため支援システムは、自律的な個人適応能力を有する必要がある、そこはまだ研究の余地が非常に大きいです。私は、動物の行動学習理論や脳科学から大きく発展してロボットの自律的学習理論の定番となった「強化学習理論」を応用し、個人適応を実現する運動学習支援ロボットや生活機能支援ロボットの研究を推進しています。

諏訪 オムロンでは、主力事業であるFAの世界ではセンサーからロボットまで一貫通貫方式で手がけています。人と機械の関係性や関連技術の進展を考えると、FAの現場ではこれから20年、30年と人と機械が一緒にものづくりをしていくと考えています。言い換えると、あらゆるものづくり現場が完全自動化されるのはまだまだ遠いということですね。オムロン創業者の立石一真は、「機械にできることは機械に任せ、人間はより創造的な分野での活動を楽しむべきである」と説きました。私もこの考えにすごく共感します。実はこの言葉は、先ほどのFAの話のように、「人間にしかできないことは、機械がいくら進化しても残り続ける」ということの裏返しとも言えますね。世の中の社会的課題を解決していく上で、機械が人をどうサポートできるかを日々考えています。そういう意味では、柴田先生が話された、社会における持続的な受容性、環境適応、個人適応といったキーワードはまさにオムロンのめざす方向と同じであると感じました。

特に、個人適応は私たちにとっても大きなテーマです。FAの現場では私たちが想定しているユーザーは機械の扱いに慣れていない人たちであり、その人たちに役立つ「熟達者の知恵」をどう機械に実装していくかを考えています。また、日本のものづくりを海外に持っていくときに、日本で築いた知見をそのまま移転できるかという、文化や言語の壁もあり簡単にはいかないことも実感しています。

またクルマの世界は、事故や渋滞の発生を防ぐために自動運転に向かっていますが、私たちは完全な自動運転社会が到来するにはまだ遠いと考えています。少なくともここ20年は車とドライバーが何らかの形でインタラクションをするシーンは残っているはずで、ドライバーがより安心して、そしてより運転すること自



柴田智広先生(左)と諏訪正樹(右)

体も楽しむことができるような自動運転レベルを実現するための技術開発を行っています。車と人がどうインタラクションするか、例えば認知能力が落ちてきた高齢者をどうサポートするかというようなこと一つ考えても、人の状況は個別性、多様性の嵐です。また、安全性と快適性は一部トレードオフの関係にあり、それをどう両立させるかといった問題もあります。この両立の度合は一意ではなく、ドライバーの個性や多様性に大きく依存します。

いずれにせよ平均値を取るという考え方は通用しない社会構造になりつつあります。

柴田 科学論文では例えば、「マウスを使った研究では平均的にこういう結論が出た」というような書き方をするのが常識で、マウスの個性は無視してきたわけですが、マウスにも個性あるいは個体差があるという指摘が多くされるようになってきました。育った環境の違いで、同じ系統のマウスでも実験パフォーマンスが変わるのです。どういう育て方をしたか、過去にこのマウスを使ってどういう実験をしてきたか、というメタ情報の記録が重要であると認識されるようになってきています。関連して、東北大学大学院医学研究科の大隅典子先生は「多様な個性を創発する脳システムの統合的理解」を研究する「個性創発脳」という新学術領域を立ち上げられ、「個性を科学的に理解し社会に還元しましょう」ということをおっしゃっています。私も一つの計画班代表を務めています。

諏訪 「平均をとるということの意味」を今一度深く考えないといけないわけですね。また、「メタ情報の記録が重要」というのは興味深い観点です。センシングの世界もビッグデータやクラウドによるアプローチが有効に働き、検証が進んでいる

一方で、例えばセンシングがどのような環境で行われたのか？といった情報を付与することの重要性については、まだまだ議論の余地があると思っています。ものづくりでいうと製品に関するセンサデータに「どういう生産プロセスの条件で作られたものなのか？」という情報を付与することが品質管理の質を高めることに繋げるイメージです。生産プロセスの中でメタ情報として定量化しにくい情報、例えば熟達度みたいなものはどのように定量化していけばいいのでしょうか。一つヒントになるのではないかと考えているのは、データの質を追い求めていく場合に「スモールデータ&エッジ」のアプローチに戻るというのも何かの手掛かりになるのでは？ということです。

柴田 2015年に日本神経回路学会論文賞を受賞した「強化学習エージェントによるヒト運動学習加速の研究」は、先ほど言った個人適応を実現する運動学習支援ロボットの研究です。ダーツを選んだのは、投げるという動作の中で最も単純な動作の一つだからです。科学研究はできるだけ単純なものから取り組んでいかねばなりませんから。この研究を行っていて、熟達者の運動は個人内でも個人間でも非常に似通っているけれど、非熟達者のそれは実にバラバラだということが痛いほどわかりました。プロスポーツ選手の研究は数理工学にも乗りやすいし、かっこよくて羨ましく思ったこともありました(笑)。

非熟達者の熟達支援という課題は、まさにスモールアンドエッジのアプローチが必要です。熟達者と非熟達者の運動を比較し、最も乖離しているところ、つまり非熟達者の下手さをうまく説明する特徴量を見つけていき、それに対してロボットが持っている手札の中でこうすれば支援ができるのではないかと考えていきました。

諏訪 いかん特徴量を抜き出して分解できるかが重要ですね。先生の研究でご紹介いただいた着衣アシストロボットも、「円滑にアシストすることのコツ」みたいなものを低次元空間内で表現しており、感銘を受けました。私も自分の下手さ特徴を見てみたいものです(笑)。

柴田 上手な人と下手な人の違いをモーションキャプチャなどの計測データから統計的に見出し、ロボットによる支援方法の設計に役立てました。そしてダーツのスコアを短期間で向上させるために、試行錯誤型のモデルフリーの強化学習を適用して、被験者がダーツを投げるたびに、言わば上手になればなるほどロボットが支援力を弱めるようにしました(Assist-As-Needed (AAN)原理に基づいた個人適応)。一般的には、モデルを用いたほうが試行錯誤回数を減らせるため、今後はもっとモデルベース強化学習の適用が必要と思っています。また、FAの例で言えば、熟達者が長年の経験で感じている「初心者はこういうところが下手なんだよ」というところを、いかん特徴量の決定やモデル設計に生かすことができるかは研究課題です。

諏訪 今のAI技術でもまだまだ解決されていない領域ですね。先生のおっしゃられる方向で研究が進むと、ものづくりの世界で実現した技術は、今後、対人の世界、例えば介護や医療の世界でも汎用化できるものでしょうか。

柴田 そうですね。例えば既に教育分野では進んでいます。ある大手通信学習塾では、全員に同じ問題集を送るのではなく、一人ひとりの能力に合わせて違う問題集を送るということをしているそうです。これはモデルベース型の例ですね。介護や医療の分野では、まだまだ実例はありませんが、介護従事者や医療従事者の早期育成には強いニーズがあるので、前述のよう

な先進的な熟達支援技術をより一般化していくことで、介護や医療の世界へも適応されるようにしていきたいです。

人のクリエイティビティを向上させる ロボティクスと脳科学の融和へ

諏訪 人間が五感で得ることのできる情報を機械が自ら取得する必要性を感じ、オムロンでも取り組みを開始しています。柴田先生が専門の一つとされている脳科学の領域におけるアプローチで、エンジニアリングに応用できることはありますか。

柴田 五感そのものを読み取る話は、脳科学としてはまだまだ進んでいないと思います。視覚については、fMRI装置と機械学習を組み合わせ、被験者が今見ているものの読み取りとか、夢などある程度推定できるなど、特段に進歩しています。一方、意思決定科学に脳イメージング技術を用いる神経経済学という分野の発展も著しい。人の意思決定や行動選択を脳深部にある大脳基底核系に加えて複数の皮質部位も含めた脳の全体的な働きで理解することができるようになってきています。

諏訪 脳のメカニズムを深掘りする話と、ある情報が目的志向行動を形成するための重要な役割を担う脳の基底核まで届いているかどうかという話。2つの大事な側面があります。特に後者についてはセンサを扱う中で、それをいかに真に近い形で情報を取り出せるかが重要であり、我々が取り組むべき技術領域だと思っています。

柴田 現実的に実環境で脳深部領域を見ることはできませんが、市販のウェアラブル型の近赤外光を用いた脳イメージ



ング装置で前頭前野の浅い皮質部位の活動は手軽に計測できるようになりました。寝てジーンとしている状態で撮像するMRIであれば脳の深部まで含めて高解像度の脳活動情報が得られるのに対し、ウェアラブル型だと部位限定で空間解像度も低いですが、実環境で脳活動を計測できるメリットがあります。前頭前野だけでも注意の集中とか、報酬や情動に関連した情報を読み取ることができると考えられます。事前知識だけに頼るのではなく、現場で脳活動データの裏づけを取りながら支援を行うシステムを構築できると思います。

ただ、現在の技術では、人の思考まではわからないので、プラクティカルな方法、例えばロボットとのコミュニケーションを用いた思考推定などの開発も重要と思っています。先ほど、運動学習支援システムのところで、AAN原理に触れましたが、このコミュニケーションについてもAAN原理が役に立つと思います。例えば、カーナビ。案内機能がしつこすぎたりするとスイッチを切りたくなることがありますよね。ドライバーの不注意をインタラクションでカバーする前にスイッチを切られたら、事故を防げない(笑)。

諏訪 私も即座に切るタイプです(笑)。センシングでわかることを究めていく努力はもちろんですが、それを補うためのインタラクション、検証のモデルベース型や試行錯誤のモデルフリー型を使っていくのが現実的だと思います。ものづくりの現場でも学習を煩わしく感じる熟達者、非熟達者がいるので、ちょうどいい塩梅でチューニングしないといけないこともたくさん経験しています。工場にもそれぞれ個性があり、生産性を上げるためのノウハウも異なり必要な情報は臨機応変です。

柴田 ものづくりの現場では、特にそうですね。

諏訪 人を理解するという意味でのモデル化と、その上で機械が何をするのかというモデル化をセットで考えないといけないと思います。柴田先生のお話を聞いて、「人というのはやはり個性があってばらつくものだ」という前提を機械が理解すること、人と人は100%わかり合えないのだから、いかにインタラクションするかを前提にセンシング&コントロールの技術を磨いていくことが大切であるということに改めて痛感しました。

柴田 もう一つ強化学習で難しいのは、ゴールである報酬関数をどう決めるかです。人間が恣意的に知識で決める方法と、人間の学習の様子をデータ化しておいて、そこからその人間の報酬関数を推定するという方法があります。しかしこれも一意に決めることはできません。実際に何がモチベーションになるか、何を幸せと感じるかは人によって異なるので難しいので、やはり個人適応技術が必要だと思います。しかし結局のところ、最後は哲学。貴社のように企業理念がしっかり浸透している会社は素晴らしいですね。

諏訪 「われわれの働きで われわれの生活を向上し よりよい社会をつくりましょう」という社憲を中心にした企業理念は、

我々の技術開発の軸となっています。常に企業理念を振り返り、自分の仕事に落として考えてみる。そして「本当にそうなのか?」と実践し、「確かにそうかも」と確認することで、社会的課題解決につながる技術開発を進めようと常日頃から心がけています。今回先生とお話をして、人と機械のインタラクションについて、機械がすべきことは何かについての新しい発想がいろいろ生まれそうです。ありがとうございました。



着衣の介助をする双腕ロボットの前で、ロボットの学習方法生活機能支援の動作について話し合う柴田先生と諏訪。これは、柴田先生が代表を務める「スマートライフケア社会創造ユニット」の主研究の一つで、ICT/IoTやロボティクスを最大限に活用するスマートライフケア社会の創造をめざしている。

柴田研

柴田智広さん

1991年 東京大学工学部修了。1996年 東京大学大学院工学系研究科修了。奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授および准教授などを経て2014年1月1日より現職。北九州市国際戦略特区介護ロボットグループWGメンバー、日本ロボット学会理事、日本神経回路学会理事なども務める。

諏訪正樹

技術・知財本部 センシング研究開発センタ

専門領域:画像センシング。過去には特に信号処理や機械学習のアルゴリズム、3D画像計測の計測原理や計測アルゴリズムの研究開発に従事。