

ロボットやアバターと共存する未来社会へ ～ムーンショットプロジェクトの挑戦～

中村 尚樹

はじめに

マンガとアニメはいまや、日本を代表する文化となっている。その中の有力なジャンルのひとつとしてあげられるのが、ロボットの登場する未来社会を描いた SF ものだ。そのロボットは、タイプによって大きくふたつに分けられる。ひとつは「鉄腕アトム」に代表される、人間のように自律的に活動するタイプのロボットだ。もうひとつは、人間が操縦するタイプだ。こちらは「鉄人 28 号」のように遠隔操縦するタイプと、「機動戦士ガンダム」のように、操縦者がロボットの中に乗り込むタイプがある。

こうしたロボットは、かつては空想の世界の産物だった。しかしいまや、現実のものになるうとしている。アメリカ映画「アバター」の大ヒットで知名度を上げたアバターも、バーチャル空間ですっかり市民権を得ている。本稿では、ロボット先進国日本で研究開発が進められているロボットやアバターの最先端プロジェクトを紹介し、私たちの社会の未来像を展望してみることにはしたい。

1-1 ムーンショットとは

「ムーンショット」という言葉がある。アメリカの第 35 第大統領、ジョン・F・ケネディが 1961 年 5 月 25 日のスピーチで、次のように述べたことに由来している。

「私たちは今後 10 年以内に人間を月に着陸させ、安全に地球に帰還させるという目標に取り組むべきだと信じています」⁽¹⁾

その頃のアメリカは、宇宙開発競争でソビエト連邦（現・ロシア他）に大きく遅れをとっていた。ソ連は 1957 年、人工衛星の打ち上げに世界ではじめて成功し、アメリカが受けた衝撃は人工衛星の名前に因んで「スプートニク・ショック」と呼ばれた。その後もソ連は地球周回軌道にはじめて、生き物である犬を乗せた人工衛星を打ち上げた。1961 年 4 月には人類ではじめて、ボストーク 1 号に乗ったガガーリンが地球軌道を周回した。

その翌月に行われたケネディ演説は、宇宙開発競争でソ連に大きく遅れをとったことに対するアメリカ国民の不安を取り除くためのものだった。しかし地球から 38 万キロも離れた月に

着陸する計画は、高度数百キロで地球を回る人工衛星とは違って、実現不可能な夢物語のように思われた。ところがケネディのスピーチから 8 年後の 1969 年 7 月 20 日、アポロ 11 号に搭乗したアームストロング船長が人類としてはじめて、月面にその第一歩を記したのである。

このエピソードを踏まえて、一見すると実現不可能のように思えるが、しかしきわめて独創的な計画で、専門家の叢智を結集すれば成功する可能性があり、しかも実現すれば社会にきわめて大きなインパクトをもたらすプロジェクトをムーンショット、日本語に訳せば「月への挑戦」と呼ぶようになったのである。最近では世界の最先端の研究やビジネスで、ムーンショットという言葉がよく用いられるようになってきている。アメリカの巨大 IT 企業グーグルで、「研究開発の中心組織『グーグル X』のキーワードは『ムーンショット』」⁽²⁾ だという。

1-2 科学技術分野の衰退

これを踏まえて日本政府が 2018 年度に打ち出した、壮大な科学技術政策が「ムーンショット型研究開発制度」だ。なぜ政府がムーンショットと銘打った国家プロジェクトに取り組むのかというと、その背景には、このままでは国家の基盤が衰退するかもしれないという危機感がある。

高度経済成長を経た 1980 年頃までの日本は「ジャパン・アズ・ナンバーワン」と呼ばれるほど、この世の春を謳歌した。しかし 1991 年に始まったバブル崩壊で日本経済が停滞する。

いまから 20 年前、2002 年の『科学技術白書』は、科学技術の国際競争力が激しさを増し「日本は生き残れなくなっている」と、はじめて危機感を表明した。2011 年には、東京電力福島第一原子力発電所の事故で、原子力の安全神話が崩壊した。

2015 年の『科学技術白書』は、STAP 細胞や高血圧治療薬の臨床研究などで相次いだ研究不正問題を特集で取り上げ、「科学や社会の発展を妨げ冒とくするもの」と指摘した。白書がこう書かざるを得ないほど、社会の科学に対する不信感が増大したと言える。

2017 年の『科学技術白書』は、科学技術やイノベーション⁽³⁾の「基盤力」に多くの課題を指摘し、「わが国の国際的な地位のすう勢は低下していると言わざるを得ない」と分析した。同白書によれば、2000 年と比較した科学技術関係予算の伸び率は、中国が 13.48 倍（2016 年）と最も高く、韓国が 5.1 倍（2016 年）、アメリカが 1.81 倍（2017 年）なのに対し、日本は 1.15 倍（2018 年）にとどまっている。

科学技術予算の金額で見ると、中国が 2016 年で 22 兆 4000 億円、アメリカが 2017 年で 14 兆 9000 億円なのに対し、日本は 2018 年度で 3 兆 8400 億円と、大きく水を開けられている。

さらに注目度の高い研究分野への参画度合いでは、アメリカ 91%、イギリス 63%、ドイツ

55%に対し、日本は32%と大きく引き離されている。新たな分野に挑戦しようという姿勢が見られないのだ。

2018年の『科学技術白書』は、学術論文の減少に危機感をあらわにした。それによれば、日本の研究者による論文は2004年の6万8000本をピークに減少し、2015年は6万2000本となった。これに対して同期間で中国は約5倍の24万7000本に、アメリカは23%増えて27万2000本となった。主要国で減少したのは日本だけとなっている。さらに研究の影響力を示す引用回数では、日本はピーク時は世界4位だったのが、9位に下がっている。

一方、アメリカ経済はIT産業を中心に劇的に復活した。中国はあれよあれよという間に日本を追い抜いて世界第二の経済大国に躍り出た。かつて「モノづくり大国」を自負していた日本は、自動車など一部を除いてアメリカや中国のはるか後塵を拝している。

1-3 国家プロジェクト

そこで起死回生の策として、政府がひねり出したプロジェクトが「ムーンショット型研究開発制度」なのだ。その取り組むテーマは、超高齢化社会対策や地球温暖化問題など、多岐にわたる。それらは世界でも日本が先陣を切って直面している課題であり、逆に言えば日本が世界初のイノベーションを巻き起こす可能性を秘めている。政府は2018年度の補正予算で1000億円、2019年度の補正予算で150億円を計上して同制度の基金を造成した。

事業を主管する内閣府では、学識経験者や企業経営者、それにSF作家やアーティストなど多彩なメンバーによる有識者会議を立ち上げ、ムーンショットの目標となる事業のアイデアを聴取した。これを踏まえて内閣府は2020年1月、内閣総理大臣を議長とする「48回 総合科学技術・イノベーション会議」を開催し、「ムーンショット目標」を公表した⁽⁴⁾。当初は目標6まで設定されたが、後に目標9にまで拡大された。各目標は以下の通りである。

目標1：人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現

目標2：超早期に疾患の予測・予防をすることができる社会を実現

目標3：AIとロボットの共進化により、自ら学習・行動し人と共生するロボットを実現

目標4：地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現

目標5：未利用の生物機能等のフル活用により、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業を創出

目標6：経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現

目標7：主要な疾患を予防・克服し100歳まで健康不安なく人生を楽しむためのサステイナブル

ルな医療・介護システムを実現

目標 8：激甚化しつつある台風や豪雨を制御し極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現

目標 9：こころの安らぎや活力を増大することで、精神的に豊かで躍動的な社会を実現

目標を達成する期限は目標 7 が 2040 年まで、それ以外の目標は 2050 年までとされた。それぞれの目標について研究代表者が PD（プログラムディレクター）として指名されている。公募に応じた研究グループの中から、各目標についてそれぞれ複数のプロジェクトが選ばれ、2020 年度から研究が始まっている。各プロジェクトの代表者は PM（プロジェクトマネージャー）と呼ばれる。

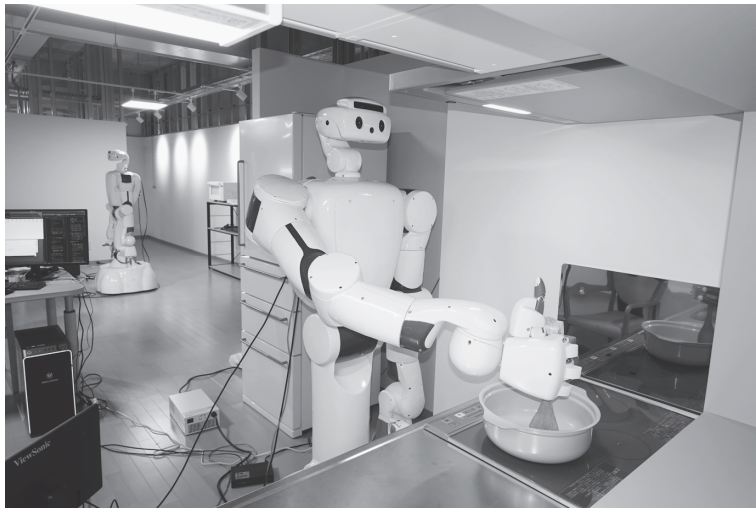
本稿では政府のムーンショット型プロジェクトのうち、目標 1 と目標 3 の中から、「一人に一台一生寄り添うスマートロボット」「人と AI ロボットの創造的共進化によるサイエンス開拓」「誰もが自在に活躍できるアバター共生社会の実現」「身体的能力と知覚能力の拡張による身体の制約からの解放」の 4 つの研究開発プロジェクトを紹介したい。なぜこれらを選んだかという、ロボット開発は日本のお家芸とも言うべき分野であり、さらに遠隔操作によるアバターの活用とあわせて、労働力不足が懸念される私たちの生活をどのように変えていこうとしているのか、その具体的な未来の姿が提示されているからである。

各プロジェクトは、目標とする年次のあるべき姿を設定し、その未来を起点にして、そこからいまに至る目標を逆算する「バックキャスト型」の手法をとっている。その反対に、現状を踏まえて適切な目標を設定する方式がフォアキャスト型だ。ムーンショットのプロジェクトの場合、いまの技術の延長線上にはないゴールを設定するため、バックキャスト型の課題設定となっている。

最初に紹介するのは、「究極のロボット作り」である。

2-1 アイレック

2020 年、早稲田大学は新たな研究開発拠点として、東京都新宿区に「リサーチイノベーションセンター」をオープンした。ここでムーンショットの研究が始まっている。厳重なセキュリティで守られたドアから研究室の室内に入ると、床はフローリング張りのバリアフリーで、リビングルームや浴室、広々としたトイレも備えられている。マンションのモデルルームのような雰囲気だ。そのキッチンで料理していたのが、人型ロボット（ヒューマノイド）だ。身長 166 センチ、体重は 150 キロ。頭部の両目部分にはカメラ、口にはスピーカー、耳にはマイクが備



研究室のキッチンで調理に取り組む AIREC

(早稲田大学リサーチイノベーションセンターにて)

えられていて、会話が可能だ。人間そっくりに作られたアンドロイドとは違い、シンプルで機能的な、いかにもロボットという外観である。楕円形の頭部に長い首という輪郭は、アメリカのSF映画「E.T.」に出てくるエイリアンにちょっと似ていて、ユーモラスだ。これが AIREC = AI-driven Robot for Embrace and Care (以下、アイレック) のプロトタイプなのだ。正式名称は、「AI 駆動で優しく包み込み、ケアするロボット」という意味である。

アイレックは右手で木製のヘラを器用に持ち、鍋の中をぐるぐるとかき混ぜている。AI が搭載され、学習を重ねた結果、鍋の中身をすくいあげて、隣のボウルに移すこともできるようになった。その行為がプログラミングされたものではなく、AI が学習を重ねた結果、道具を自分で選んで、作業ができるようになったというところがミソだ。ボディは青みがかかった白色で、移動は二足歩行ではなく、4 つの特殊な車輪「オムニホイール」で、真横も含めすべての方向へ自由自在に動くことができる。安定性や安全性、制御性や経済性を考慮し、2 足歩行ではなく、車輪式を選択した。バッテリー内蔵のコードレスで、人混みで混雑するところでも、ぶつからないよう人をよけるのはもちろん、「ちょっと、すみません」と声をかけて道を開けてもらいながら移動することもできる。衝突を回避するだけの、これまでのロボットではとれなかった行動だ。室内では家事のほか、入浴介助など福祉や介護作業の実証実験が行えるようになっている。

開発の中心となっているのが早稲田大学理工学術院長で、創造理工学部教授の菅野重樹である。菅野は、「目標 3」の「自ら学習・行動し人と共生する AI ロボット」に応募し、「一人に一

「台一生寄り添うスマートロボット」と題したプロジェクトが採択されたのだ。

2-2 人間のパートナー

「現代の私たちがスマートフォンを持っているような感覚で、2050年の社会ではひとりひとりがパートナーAI ロボットを持っているだろう。パートナーAI ロボットは子どもの見守り、学習、仕事や家事、健康管理や介護まで、持ち主の個性と年齢に合わせて様々なサポートをしてくれる存在だ」

これはムーンショット型研究開発事業の目標 3 で示された、2050年のイメージの一節である。少子高齢化が急速に進む中で、福祉や介護はもちろん、オフィスやサービス、工事など様々な労働現場をはじめ、生活のサポートまで、これまで人手に頼っている社会のあらゆる場面でロボットの活用が期待されている。

とはいいながら、様々な場面に対応した専用の機械はすでに多く存在している。掃除は移動式自動掃除機、食器洗いは食洗機、洗濯はホームランドリー、アイロンは形状記憶で不必要。音声認識でコンピューターと会話もできる。

これに対して菅野が目指すのは、人に優しく、1台で何でもこなせる人型ロボットだ。家庭では炊事や洗濯などの家事、一般のビジネスの世界では様々な仕事、社会福祉では食事介助や歩行リハビリ支援、病気やケガをしたときには治療や看護、さらには手術まで、1台の同じロボットがあらゆる場面に対応する。菅野が挑むのは、そんな「人と共生できる汎用ロボット」だ。

2-3 ロボットとは

映画やアニメを見ていると、私たちはつい「なんでもこなすロボットなんて、簡単にできそう」と思ってしまいがちだ。特に最近ではロボット技術の進化が著しい。2000年に登場したホンダのアシモは、優れた歩行技術が世間をあっと言わせた。それから20年がたち、アメリカのボストン・ダイナミクス社が2021年に公開した動画を見ると、身長約150センチ、体重86キロの2足歩行ロボット「アトラス」が階段をすばやく駆け上がったり、片手をついて障害物を飛び越えたり、さらには華麗なバク宙を2回連続で決めたりする。香港のハンソン・ロボティクスが開発した看護ヒューマノイド「ソフィア」は、患者の体温や脈拍を測ったり、英語と北京語で会話したりする。60パターン以上の表情を組み合わせて、自然な会話ができるという。産総研＝産業技術総合研究所のヒューマノイド「HRP-5P」は身長が約180センチあり、建設現場

で大型の石膏ボードを軽々と持ち上げて、壁面でビス留めまで施行することができる。いずれも私たちを驚かせる。アメリカの電気自動車メーカー、テスラも本格参入を表明した。

その一方、テレビやYouTubeで言及されないこともある。それは、それぞれのロボットが得意とする場面が、きわめて限られているということだ。菅野は開発者の立場から、次のように説明する。

「シチュエーションを決めて、場所や対象物を限定した上で作業をやらせようと思えば、何でもできるのです。ロボットのデモンストレーションって、大体決まった動きなんです。そこだけ見てみなさん、『すごい』と思ってしまうので困るんですよ。『それでは他に何ができるんですか』という問いかけに、答えられない。普通の生活の中で自然に、あらゆる場面に対応できるかと言えば、明らかに限界があるのです」

ここでロボットとは何か、機械とはどう違うのかについて確認しておこう。経済産業省のロボット政策研究会は2005年に「センサー、知能・制御系、駆動系の3つの要素を有する、知能化した機械システム」をロボットと定義した。人間で言えばそれぞれ感覚、脳、そして手足が該当する。3要素の内、ひとつでも欠ければ、機械ということになる。とは言うものの、「検索ロボット」のようにコンピューター上のプログラムまでロボットと言う場合もあり、使う人によってロボットの定義は様々なのが現状だ。

次にロボットを用途別に見てみると、産業用ロボットとサービスロボットに分類できる。危険なところで作業したりする特殊環境用ロボットという区分もある。

というわけで、ロボットが人型である必要はない。ロボットの語源がチェコ語の「robota」（強制労働）と言われるように、第一の役割は労働の担い手である。日本ロボット工業会によれば、工場で働く産業用ロボットの生産は、国内では1960年代後半から始まり、日本は現在、質量ともに世界トップの座を保っている。

もちろん人型ロボットもある。そもそもロボットはチェコの作家、チャペックが1920年に発表した戯曲で、人型ロボットを登場させたのが最初である。アメリカではアシモフが1950年にロボットもののSF小説を発表して以降、フィクションの世界では様々な人型ロボットが登場するようになり、アニメや映画で人型ロボットはおなじみである。そして菅野が目指すのも人型ロボット、それも1台ですべてをこなせる究極のロボットだ。

2-4 身体知と原始的感情

問題は、それをどう実現するかだ。

「最初のアプローチは、AIがハードウェアを含んだ『身体知』です」

これまでのAIは、ハードウェアを動かすためのソフトウェアでもあるが、ハードウェアそのものの特性はあまり考慮されていない。例えばディープラーニングで画像を解析し、何らかの認識を得て行動を決めると、ロボットがそれを実行する。その場合、ハードウェアの特性は特に考慮されない。しかし、何でもできる汎用型のロボットには、言語化することの難しい「巧みさ」が要求される。その巧みさはロボットの身体機能にかかっている。人型ロボット開発から学んだその仕組みを、菅野は身体知と呼ぶ。そこでアイレックに搭載するAIには、ロボットの身体機能を含めたリアルタイム予測と感覚、運動制御を深層予測学習し、身体知に基づくロボット独自の世界モデルを獲得させる。

もうひとつのポイントは、ハードウェアに「ドライ・ウェットハイブリッドメカニズム」を取り入れることだ。これまでのロボットは動作はモーター、ボディは硬い素材で作られている。菅野はそれをドライメカニズムと呼ぶ。その内部は隙間だらけだ。これに対して生身の人間は、硬い骨格が内部にあるものの、基本的に柔らかい。内部の隙間は体液で満たされている。つまりウェットなメカニズムである。

「究極の、何でもできるロボットを目指すのであれば、人に近い柔らかさを持っている方がいい。ドライではなく、ウェットになっていきます」

ロボットの構成要素を流体ベースに転換し、人工筋肉の動作は粘性流体アクチュエーター(駆動装置)、エネルギーは燃料電池、表面はゴム弾性を有するエラストマーでカバーして無数のセンサーを配置し、内側には流動性のあるゾルを充填する。構造的には生体のような「自己修復」も重要になってくる。しかしすべてをウェットなシステムにするのは技術的に難しく、骨格部分には金属素材を取り入れたドライメカニズムとのハイブリッド型を目指すことにしている。この節の冒頭で紹介したアイレックのプロトタイプは、まだウェットメカニズムを取り入れておらず、ドライタイプだ。

「かなり生体に近いような構造のロボットを作ろうと考えています」

こうして人体に近い身体機能を持たせることで、AIは生体器官の維持や環境適応のための身体変化も担うことになり、「原始的感情」を作り出すことになると菅野は予想する。

2-5 汎用ロボットの課題

菅野の目指す汎用ロボットが広く社会に行き渡るようになれば、従来のロボットのイメージも大きく変わるだろう。

「ロボットが人と一緒にいろんなことやることによって、生活や人生を豊かにできる可能性が、すごくあるはずです。便利さだけでなく、何でもできて知的なロボットは、私たち人間を高め

るきっかけにもなると思います」

同時に新たな課題も出てくる。

「どこまでロボットの自律性を人間が許容できるのか。現時点でバラ色の夢を描くのは簡単ですが、現実的にロボットが進化してきたとき、いろいろ問題が起きてもおかしくないと思います。世界的にロボットが受け入れられるかどうか、地域によっても違うでしょうし、宗教によっても違うでしょう。一方で産業化を考えると、自動車と同じように世界的に普及しないと、産業にはなり得ない。そこには非常に難しい問題があります」

そこで菅野は、社会的ニーズの把握と実用化戦略を準備している。2050年は、ジェネレーションZと呼ばれる1990年代後半から2010年代にかけて生まれた世代が、究極のロボットを使う時代になる。ビジネス展開をにらんだ市場では、日本国内だけでなく、文化や宗教の違う地域でも使ってもらえるようにする必要がある。そこで欧米やアジア8カ国のZ世代を対象に1万人規模で、ロボットのニーズを把握するための社会受容性調査を2023年以降に実施する計画だ。

産業として社会に汎用ロボットを広く受け入れてもらうための戦略としては、新たに開発するロボットのOS=オペレーティングシステムを誰でも自由に使ってもらえるようにするオープン化戦略を描いている。プログラムの設計図であるソースコードを無償で公開するのだ。これまでのオープンソースとしては、スマートフォンのアプリを動かすGoogleのOS「アンドロイド」、コンピューターOSの「リナックス」、国産ではデジタル家電をはじめ、自動車やビル、工場など様々な場面で利用されているOS「トロン」が有名だ。オープンソース化することで、世界標準を狙うのだ。

蒸気力で走る自動車が発明されて250年以上が過ぎた。交通戦争と呼ばれるほどの事故被害者を出しながら、免許制度や保険、法律や道路整備などの対策がとられてきた。環境対策として電気自動車へのシフトが世界的に進む。このように様々な問題があっても、自動車そのものを廃止しようという話にはならない。それは自動車が便利だからだ。汎用の人型ロボットも同じように社会に受け入れられるかどうか。社会の受け入れ体制を含めた準備をはじめるときが来ている。

次に紹介するのは「人とAIロボットの創造的共進化によるサイエンス開拓」プロジェクトである。

3-1 ロボットとの対話

「あの細胞に薬品を注入したら効果がありそうだけど、小さくて柔らかいし難しいのよね」

2050 年のある日、科学者はそうつぶやきながら、試薬 A と試薬 B の入った試験管を手にとり、ロボットに問いかけた。

「A と B を混ぜて、少しずつ量や位置を変えながら注入できる？」

「やってみます。でも調整は苦手なので、ほかのロボットと一緒にやりますね」

ロボットは、人ができないような難しい作業も苦にしない。人では操作が難しい対象物に対しても、ロボットの性能を生かした操作や解析を行う。加えて自分の苦手な作業だと、他のロボットを頼ることもある。必要とされる機能をセルフオーガナイズするのだ。

「この試薬に一番反応します」

疲れを知らないロボットは粘り強く作業を進めた。

「この場所に同時に注入したらうまくいきました」

ロボットは工夫した結果やコツなど、新たな知見を科学者に報告した。

「面白いやり方ね。それならあの細胞に使えるかも」

ロボットからインスピレーションを得た科学者は、さらなるサイエンスの探求を行うことにした。

あたかも星新一の SF 小説のような世界を紡ぎ出そうとしているのは、東京大学大学院医学系研究科准教授の原田香奈子だ。原田の思い描く物語は、AI ロボットを活用することで、人間に秘められた可能性を最大限に引き出そうという未来ビジョンだ。

「AI ロボット科学者と人間の科学者が共にサイエンスを探求することを目指します。AI ロボット科学者が、人では思いつかないような AI による仮説、解釈あるいは、ロボットによる観察、操作を行うことで、人の創造性を刺激し、また人の創造性から AI ロボットが刺激を受けるという相互作用によりサイエンスを探求してゆきます」

3-2 あきらめないロボット

原田は、内閣府が設定したムーンショット目標のうち「2050 年までに、自ら思考・行動し、自動的に科学的原理・解法の発展を目指す AI ロボットシステムを開発する」に取り組む。その具体的内容として、以下を提示する。

科学者と対等に議論しながら、人では困難な環境におけるサイエンス実験を行う AI ロボットを開発する。AI ロボットは科学者と共に試行錯誤することで、未経験の対象物や環境にも対処する。それにより、サイエンス分野において AI ロボットによる科学原理・解法の発見を実現する。

これを一口で言えば「人と AI ロボットの共進化」である。

「AI ロボット科学者が、人では思いつかないような仮説、解釈を提案し、あるいは AI ロボットによる観察、操作を行うことで、人の創造性を刺激し、さらに人の創造性から AI ロボットが刺激を受けるという相互作用によりサイエンスを探求してゆきます」

これまでの人間とロボットの関係は、人が決めたことをロボットがやり、ロボットができないことを人がやってきた。これに対して原田の目指す世界は、ロボットが得意なところと、人が得意なところをうまく組み合わせで進化する。原田はそれを「共進化」と呼ぶのだ。

ロボットは人間から指示されていない可能性を自ら探ることになる。

「これまでロボットが獲得した知識だったり、仲間のロボットが経験したことだったり、そういう過去の経験や知識を共有しながら、探索していくイメージです」

工場で働くロボットは、ひたすら同じ作業を速く、正確に行えるよう改良されてきた。その目的とする作業がしやすいよう、ロボットは設計されている。対象となる部品もロボットが扱うことのできる形や硬さに限られる。しかもロボットが届く場所からはずれないように、部品を置かなければならない。エラーが出たら作業はストップし、人間が対応しなければならない。

「手取り足取り、人間が面倒を見なければなりません。それは今の AI ロボットがそのまま高度化しても解決できることではありません」

自分のやっている仕事がかまくいかなかったとき、人間だったら自分で打開策を検討する。一方、これまでの AI やロボットだと「エラー」と認識して停止してしまう。原田の創り出そうとしている AI ロボットは、予想外の事態に直面したとき、停止するのではなく、踏みとどまる。

「人から言われてもないようなことをロボットがやり出すというようなイメージではなくて、やるべきタスクをできなかったとき、あきらめないロボットです」

原田の目指す AI ロボットは、自分で「何をすればいいのか」を理解し、そこでベストのパフォーマンスを発揮する。そのためにはまず、ロボットが自分の機能や構造と知識、過去の経験を踏まえて、自分でいま、できることとできないことを判断する。その上で、自力で対処するためには、例えばロボットアームを自分で組み替える場合があるかもしれない。自分だけで対処できない場合、対処できそうな機能を持つ仲間の AI ロボットに助けを求めることもあるかもしれない。こうした作業ができるよう、原田は独自のアルゴリズムを開発しようとしているのだ。

「例えばロボットが、あのロボットと一緒にできるとか、人がここだけやってくればあとは自分でできるとか、そんな双方向の関係性を実現したいと思っています」

プロジェクトでは「ロボット科学者」という呼び方をしているが、目指すのは人型ロボットなのだろうか。

「私はロボットを人に近づけたいという気持ちはありません。例えばペットの犬を見て、犬を人間に近づけたいとは思いませんが、犬と人間は共存しています。おなじようにロボットはロボットらしく、ロボットとして発展してくれればいいと思っています。人型もあれば産業ロボットのような形、形がなくて音声だけなど、様々な形態の AI ロボットが混在していいと思っています」

3-3 植物に対する理化学実験

プロジェクトで対象とするサイエンスの探求は、特定の領域に留まるものではない。しかし、コンセプトを具体化し、かつ早期に社会貢献を行うためとして、原田のプロジェクトでは、耐性のある植物を作るための「バイオスティミュラント」を開発することになっている。植物の薬とも呼ばれ、近年注目が集まっているバイオスティミュラントは農薬でも肥料でもなく、土地改良でもない。日本語に直訳すると「生物刺激剤」であり、植物の能力と価値を高めるのが目的だ。具体的には高温や低温、乾燥や塩害など非生物学的ストレスに対する耐性を強化し、肥料の吸収効率を高める。遺伝子に手を加えることなく植物を制御できる技術であり、農薬の代替として期待されている分野だ。特にヨーロッパで先進的に取り組まれている。日本でも農薬や肥料を補完するバイオスティミュラント製品がすでに商品化されて収穫量が増えるなどの成果をあげている。

しかし従来の研究方法では多大な労力がかかる割に、得られるものが少なかった。

「化学物質の候補は何億もあり、それを一つひとつ調べるのはものすごく大変です。『この化合物が良さそう』と場当たりのにやってみて、やっぱり効果がなかったという場合が大半です。計測も人がしているので、値が違ったり、計測自体を失敗したりという不確かさもあります」

原田たちは何度も収穫できるような植物の再生力や最適な培地も研究することになっている。そこで AI ロボットがどのように活躍するのだろうか。

「現状では、これまで良かった化合物に似た化合物を調べているのですが、それは人間の探せる範囲が限られているからなのです。しかし化合物は無数にあるので、AI ロボットがまったく違う領域を探して、人間の科学者が探したこともない化合物の集団から『もしかしたらいい』という化合物をピックアップできる可能性があります。さらに新しい候補について AI ロボットは『結合を変えると、さらに効果があります』という発見をもたらしてくれるかもしれません」

確かに創薬などの分野では、すでに一部で AI を使ったこうした取り組みが始まっている。これに対して原田たちは化合物の探索や計測だけでなく、それに続くすべての過程で AI ロボッ

トを組み合わせ、研究システムを最適化しようとしている。

3-4 AI ロボット開発の課題

原田のプロジェクトで開発する AI ロボットが活躍を特に期待される環境とは、どのような現場だろうか。

ひとつは人間が入りたくないような危険な環境だ。例えば毒のある材料を触るような危険な作業やウイルスに汚染されたバイオハザードでの作業、低酸素環境での作業などがある。逆に人間が対象物を汚染してしまうような非常にクリーンな環境も含まれる。宇宙や深海など人間が簡単に行けないところでも、自律的に活動できる AI ロボットが期待されている。コロナ禍による社会変化に伴い、理化学実験を遠隔で行いたいというニーズも増えている。これはまさに AI ロボットが最も得意とする場面でもあると言えるだろう。

別の側面から見てみよう。理化学実験では、対象物の個体差が非常に大きく、事前にすべての手順を設計することは困難であり、臨機応変な操作が必要だ。サンプルサイズも限られ、特に動物を対象とした実験におけるサンプル数は、倫理的問題とも直結する。

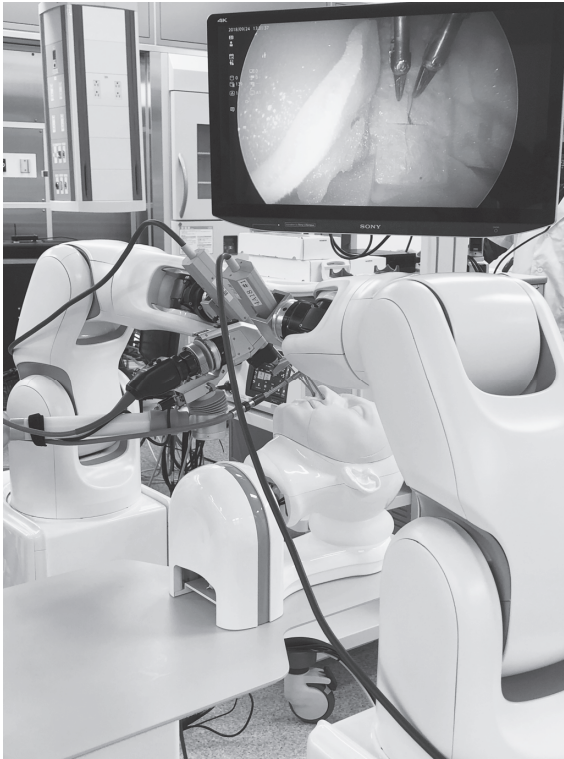
限られた時間で、あるいは決められたタイミングで実験を行うことが求められることも多く、非常に小さく、柔軟な対象物をウェットな環境で扱うことも重要なテーマだ。

実験が上手い、下手などの評価があるように、職人的な技術が求められる分野でもある。例えば人間が遠隔でロボットを操作して、実験動物の臓器を取り上げる場合、非熟練者はつかんで潰してしまうことがある。これに対して熟練者は、すくい上げるように持つことができる。具体的に言えば、臓器の下にツールを差し込み、臓器を壊さない程度の弱い力で持ち上げることができる。ツールを差し込む位置は、ほかの臓器との接続部という解剖学的知識が必要となる。

別の例をあげると、特定の反応を起こす有機化合物を探索する場合、まず実験条件を設定するが、条件を変えても同じようなグラフしか出ないような場合がある。一方で、大きく反応が変わり、解決のヒントが得られる場合もある。このとき、勘に頼るのではなく、科学的に根拠のある仮説を立て、最短で解決に導くような実験条件を自律的に探索することで、効率的に研究を進めることが可能となる。

このような場面に対応して、AI ロボットの知覚や運動を設計し、最終的に自律化することで、人間では知覚できない情報を使って、また人間では制御できない運動を行うことで、実験の成功率を向上させ、さらに実験を高速化することで、効率的なサイエンス探究につなげていく。

こうした課題は手術ロボットなど、ほかのロボットにも共通しており、このプロジェクトの



内閣府 ImPACT プロジェクトで開発した
評価用患者モデルと、手術ロボット。

(提供：東京大学)

成果は、様々な AI ロボット技術の発展にも繋がるだろう。

「人の臓器は個体差があり、柔軟なため、AI ロボットの対象としてはとてもチャレンジングです。まずは理化学実験を対象として技術開発を行い、手術支援に転用していきたいと思っています」

原田は、内閣府が 2018 年度まで実施した ImPACT (以下、インパクト) = 革新的研究開発推進プログラムというプロジェクトで、やはりプロジェクトマネージャーを務めた経験がある。原田たちはインパクトで、センサー付きの精巧な人体モデル「バイオニックヒューマノイド」を開発し、すでに実用化されている。手術ロボットの「スマートアーム」の開発にも取り組んだ。

「医師のやりたいことを精度よく実現

するのが手術ロボットの役割ですが、これからのロボットは自分ができない事もロボット自身で模索していくような能力が必要ではないかと考え、このプロジェクトにつながりました」

ムーンショットで開発するロボットの初期版はスマートアームとほぼ同じシステム構成になり、インパクトの成果が活かされることになっている。

次に紹介するのは、コミュニケーションの可能性を拡げる「アバター」である。

4-1 ジェミノイド

人間とロボットが共存する SF 映画のような世界を作り出そうとしている研究者がいる。ロボット工学者として世界的に著名な石黒浩だ。自分の身代わりロボットが当たり前になっている世界を描いた 2009 年のアメリカ映画「サロゲート」で石黒は、彼自身にそっくり似せて作られたアンドロイドとともに登場している。石黒は、モデルとなった人にそっくりの外見を持つロボットを、双子のアンドロイドの意味で、「ジェミノイド」と名付けている。



大阪大学 石黒浩教授（左）とジェミノイド HI-4
（提供：国際電気通信基礎技術研究所）

ちなみに人型ロボットの総称が「ヒューマノイド」で、その中でも見た目が人間のように作られたものがアンドロイドである。

有名人に似せて石黒の製作・監修したアンドロイドは、落語家の桂米朝をモデルにした「米朝アンドロイド」や、タレントのマツコ・デラックスの分身としてテレビ番組で活躍した「マツコロイド」が有名だ。埼玉県深谷市の依頼で製作され、2021年に公開された「渋谷栄一アンドロイド」は、渋谷の肖像画が1万円札の図柄に採用されることもあって評判を呼んだ。

石黒の作るアンドロイドの特徴のひとつは、豊かな表情だ。アンドロイドの体内には空気を使って肌や関節などを動かす駆動装置が多数配置され、まぶたや眼球を細かく動かしたり、オペレータの話す声にあわせて口元を動かしたり、息をしたり、さらには相手の発話に応じて様々な相槌を打ったりすることで、いかにも人間らしい表情や仕草、振る舞いをすることができる。

一方、ヒューマノイドを機能面で見ると、大きく「自律型」と「遠隔操作型」に分けることができる。前者は搭載されたセンサーで環境を認識し、その結果をロボット自身が解釈して自律的に行動する。ホンダのASIMO（アシモ）は二足歩行する世界初の自律型ヒューマノイドとして注目を集めた。これに対して後者は、無線やインターネットなどを介してロボットのカメラやセンサーから情報を受け取り、オペレーターが動きを操作する。わかりやすく言えば操り人形である。石黒はどちらの型も開発してきたが、ジェミノイドは、基本は遠隔操作型で、離れた場所にいる人間が操作し、ロボットが発する言葉や仕草でぴとと意思疎通をはかる。一口で言えば、コミュニケーション・ロボットなのだ。

4-2 アバターとは

「ムーンショット型研究開発制度」の目標のひとつが「2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現」することだ。事業を所管する内閣府では、その手法として「サイバネティック・アバター」の活用を提示した。内閣府によればサイバネティック・アバターとは「身代わりとしてのロボットや3D映像等を示すアバターに加えて、人の身体的能力、認知能力及び知覚能力を拡張するICT技術やロボット技術を含む概念」と規定する。

同制度で、石黒は「誰もが自在に活躍できるアバター共生社会の実現プロジェクト」を提案して採択された。ムーンショットプロジェクトに応募した理由を、石黒に聞いてみた。

「私がやってきたこと、そのままだからです。遠隔操作型のアンドロイドを作ったり、アバターの研究を早期に始めた一人だと思っています。私がやってきた研究がそのままプロジェクトになったと思って応募しました」

アバターという言葉の語源は「化身」という意味のサンスクリット語で、いまは「自分の分身」という意味で用いられている。2009年製作のアメリカ映画「アバター」は、実写と組み合わせた3D映像の美しさも相まって記録的な大ヒットとなった。インターネットなどでのアバターを使ったサービスは、この映画をきっかけに普及したといっても過言ではない。

しかし石黒はそれ以前の早い時期から、遠隔操作ロボットとしてのアバターの研究に取り組んできた。1999年にはテレビ会議システムと移動台車を合体させた遠隔操作型ロボット（アバター）を発表している。

石黒が作る人間そっくりのジェミノイドは、もちろんアバターだ。一方で、その対極とも言えるアバターの「テレノイド」を10年以上にわたって研究している。テレノイドが特徴的なのは、ひと目で人間だと分かるが、しかし誰であるかがわからないことだ。個性的なジェミノイドとは対照的に、徹底して没個性なのだ。見方によって男性とも女性とも、おとなとも子どもとも思えるニュートラルなデザインだ。柔らかく、肌触りのよい外観と、小型ボディの採用で、容易に抱きかかえることができる。テレノイドはすでに高齢者向けサービスとして事業化され、要介護や一人暮らしの高齢者の健康管理や見守りに役立っている。認知症高齢者の反応としては、人によっては暴言などの問題行動が抑えられ、うつ傾向の改善も人によっては見られているという。

こうした石黒の様々な取り組みが、ムーンショットのプロジェクトで活かされることになる。

4-3 2030年までの目標

ムーンショットのプロジェクトで内閣府は、年代別に目標を設定している。まず2030年までに達成すべき目標として「1つのタスクに対して、1人で10体以上のアバターを、アバター1体の場合と同等の速度、精度で操作できる技術を開発し、その運用等に必要な基盤を構築する」ことをあげている。

これを踏まえて石黒が2021年から開始したのが「遠隔対話ロボットで働く」をテーマに、大阪大学とサイバーエージェントがムーンショットプロジェクトのもとに取り組んだ実証実験だ。その第一弾として、大阪大学の学内保育園で、アバターによる保育サポート事業を実施した。なぜ保育園が選ばれたのかというと、保育士の有効求人倍率が年々増加し、保育をサポートする人材が慢性的に不足しているからだ。実証実験では、73歳から83歳の高齢者5人が離れた場所から「あいさつ運動」に、またコロナ禍で新たな活動の場を探している劇団員など2人が「からだ遊び」や「ロボットへの質問会」などに取り組んだ。

実験で使ったアバターは、言葉に加えて身振りや手振りも使った自然な対話を実現する小型会話ロボット「Sota」（以下、ソータ）をベースに、独自に開発したシステムだ。このアバターは高さ28センチで、カメラやマイク、スピーカーのほか、無線装置などを備えている。

実験には、サイバーエージェントが大阪大学基礎工学研究科に設定している共同研究講座で開発した遠隔操作ロボットシステムが使われた。ソータはリアルタイム音声変換で、オペレーターの声をかわいいロボットに相応しい声に変える。さらに音声認識によるロボット動作生成などの最新技術を組み合わせて、オペレーターは話すだけで、ソータの基本的な動きを操作することが可能となっている。

その結果、高齢者がアバターを通して行ったあいさつ運動では、12日間でアバターが245回の声掛けをしたのに対し、子どもたちから62%の割合で返答があった。園長に対するヒアリングでは「人間の保育士と同程度の役割をこなすことができた」との回答が寄せられた。劇団員らは遠隔から約30分のアクティビティを4回行ったが、子どもたちはみなアバターの声に耳を傾け、質問に元気よく答えていた。劇団員は「人に無条件で肯定される体験として、生活をうるおす貴重な体験であると感じました」と話し、オペレーターにとっても貴重な体験となったことが伺われた。

保護者に対する聞き取りでも「はじめてロボットと触れ合いましたが、自分から積極的に関わっていました」「またソータくんに会いたいと言っていました」など、好意的な評価だった。実験の結果、特殊なスキルがなくても、あいさつ運動をサポートできることが示された。

続いてスーパーマーケットでは、アバターによる販売促進の実現可能性を1週間、検証した。

スーパーなどの小売店では新型コロナウイルスの感染防止を目的に、接客や販売促進の手段が制限されている。アバターによる接客なら、感染リスクはない。しかし「購買の促進」は、難易度が高いという課題があった。実験では1日あたり9時間にわたり2台のアバターを使い、20代から50代までのべ36人が操作を担当した。結果はというと、店員が配布するより約5倍のチラシを配布することができた。また時間にして45%にわたり、客が立ち止まってアバターと会話をしており、約半分の時間で利用されていたことが確認された。一方で買い上げ率は、人間の店員が販売員をした場合に比べて42%にとどまり、売上の向上にはつながらなかった。利用客に対するヒアリングでは「楽しく会話できた」「ロボットのインパクトが強すぎて、商品が目に入らなかった」などの回答が多く、アバターを商品の売上にいかにつなげるかが今後の課題となった。

さらに水族館と動物園、美術館を融合させた大阪市内の新感覚アミューズメントパーク、NIFREL（ニフレル）では1週間にわたり6台のアバターを設置し、常に3から4人のオペレーターが館内の案内や展示説明などの接客業務、クイズの出題や来場者からの質問対応にあたった。実験の結果は、訪問客の67%がアバターと会話し、そのうちの70%が対応に満足した。

実験の結果、来場者と数多くの接触機会を生み出し、アバターが顧客とコミュニケーションをとるための有力な手段となりうることを実証した。アミューズメント施設はリピート率の向上に特に力を入れており、リピーターの獲得にも貢献できると期待される。

課題となったのは、複数のアバターに対して同時に、複数の来場者が会話しようとしたときのことだ。事前に立てた対策としては、アバターが自律して対話できる仕組みを構築した。「話しかけてくれたから、豆知識を教えるね。〇〇という魚は～」などと、オペレーター不在時の時間を稼ぐ。その間に手の空いたオペレーターが順次対応するという対策をたてていた。しかしこの対応は十分ではなく、立ち止まった人のうち、ロボットの反応が不十分のため立ち去った割合が42%もあった。来場者に滞在し続けてもらうための自律対話のあり方や、遠隔操作を優先的にみるべきアバターの表示、自律対話と遠隔操作の対話を自然に切り替えできる発話の支援などが、今後の課題として明らかになった。

4-4 2050年までの目標

2050年までの目標として設定されているのが「複数の人が遠隔操作する多数のアバターとロボットを組み合わせることによって、大規模で複雑なタスクを実行するための技術を開発し、その運用等に必要の基盤を構築する」ことだ。その具体的なイメージを石黒に聞いてみた。

「コロナ禍で、家でできることは家ですという風に生活様式が変わってきています。しかし

オンラインの会議システムだけでは、十分な活動ができません。学校や会社では、世界中の人がアバターに乗り移って活動し、プロジェクトを進める環境が重要になってくると思います」

コロナ禍の感染予防で在宅勤務が推奨されている。ひとりで仕事に集中する時間も必要だが、だれかと対話することで作業が進むことも多い。しかし自宅には、相談できる仲間や専門家は少ない。そんなとき経理や法律、コーチングなどの専門家がアバターで助けてくれると、仕事は、はかどるだろう。仕事に社会性は不可欠であり、孤立して仕事をすることはできないからだ。これまではオフィスや学校が担ってきたその役割を、アバターが担当してくれる。

高齢者や障害者を含む誰もが多数のアバターを用いて、認知能力や知覚能力を拡張しながら、様々な活動に自在に参加できるようになる。いつでもどこでも仕事や学習ができる。ワークライフバランスを取りながら、自己実現が可能となる。人生の時間は有限だが、アバターは限られた自分の時間を有効に使う助けになるだろう。

さらに新型コロナウイルス感染症の初期の診断は、病院に行くより、家でアバターに診察してもらったほうが安心だ。認知症や重症患者を在宅や施設で看護する場合も、複数のアバターによる重層的な見守りが役に立つ。

「専門医と、ふだんの状態をよく知っている看護師やソーシャルワーカーが連携すれば、専門的な知識も使いながら、日々の看護をより充実させることができます」

あらゆる人が自分の人生の過ごし方を、自分の好みにあうようデザインすることができる。そんな未来を石黒は目指している。

最後に紹介するのは、究極のブレイン・マシン・インターフェースである。

5-1 ブレイン・マシン・インターフェース

「人の意図が推定できれば、思い通りに操作できる究極のサイバネティック・アバターが可能になります」

そう語るのは、身体的能力と知覚能力の拡張による身体の制約からの解放」のプロジェクトマネージャーである、金井良太だ。金井は脳科学者で、イギリスのサセックス大学准教授を務め、現在は人工知能ベンチャー「アラヤ」のCEOである。

彼が構築を目指すのが BMI-CA (ブレイン・マシン・インターフェースーサイバネティック・アバター) である。生身の人間の代わりとなる CA=「サイバネティック・アバター」を脳で動かすインターフェースという意味である。

金井はこの目標について、ふたつの意義を強調する。ひとつは医療的な観点で、不自由な状態からの機能回復を目指すというものだ。例えば、ALS=筋萎縮性側索硬化症の患者や、「ロッ



脳波取得実験

(提供：アラヤ)

クトイン・シンドローム」＝閉じ込め症候群の患者は、身体を動かしたり、しゃべったりすることが困難だ。こうしたコミュニケーションをとることが難しい人たちの支援技術として、これまでも AAC＝「拡大（補助）・代替コミュニケーション」と呼ばれる技法がある。

手を動かせる人は、自分の表現したい意思を示すカードを指し示したり、手や足が動かなくても、まぶたを動かすことのできる人は、瞬きの回数で「はい」「いいえ」を意思表示したり、眼球を動かせる人は、透明なアクリル板に書かれたアイウエオ表を目線で指すことで言葉を表現したりする。手や足、首など身体の一部がわずかに動く人は、その動く部分に対応した専用のスイッチを入れたり切ったりすることで、パナソニックなどが製品化している「意思伝達装置」を操作し、自分の思いを伝えることができる。しかしこうした手法は当事者、介助者ともに高度な習熟が求められるのに加え、口でしゃべるのに比べて大幅に時間がかかる。そこで従来の技法と比べて圧倒的に便利な AAC として、BMI が期待されているのだ。

日本 ALS 協会の協力で ALS 患者にアンケートしたところ、有効回答の 4 分の 3 以上が BMI に興味を示し、BMI が実用化されれば高いニーズがあるだろうことを裏付けている。そこで期待されているのは「意思伝達」と「運動機能の補助」だ。加えて、いまは元気な人たちも、加齢や病気でコミュニケーションが難しくなる事態も想定される。誰にとっても他人事ではないはずだ。

もうひとつの意義は、健康な状態にある一般の人にとっても役に立つという視点だ。情報過

多な日常生活の中で、効率よくたくさんの情報を得たり、発信したりしたいとき、BMI を使えば、文章を読んだり書いたりする手間を大幅に省くことができるようになる可能性がある。人間の能力を補うだけでなく、拡張することができるのだ。

5-2 侵襲型と非侵襲型

人間の脳は、膨大な数の神経細胞＝「ニューロン」からできている。ニューロンは何らかの刺激を受けると、細胞膜に一過性の電位が生じ、次々と他のニューロンへ電気信号を伝えていく。こうした脳の活動に伴って発生するのが脳波だ。その脳波も様々あり、リラックスしているときはアルファ波、興奮しているときはガンマ波など、そのときの意識や心の状態に応じて違った種類の脳波が出ていることがわかっている。

そうした脳波の種類や強さ、それに脳波を検出した部位などを的確に捉えることで、その人の考えていることを読み取ったり、逆に情報を脳に入力したりできたりする可能性をもった装置がBMIなのである。

ただし、それは簡単なことではない。ひとりの人間の脳内にあるニューロンは1000億個とも2000億個とも言われ、その結合部分であるシナプスは、数百兆個にも上る。この数は銀河系の星の数にも匹敵する。なんとも壮大な取り組みなのだ。

そのBMIを装着する方式は、大きく「侵襲型」と「非侵襲型」に分けられる。

「侵襲」とは身体に何らかのダメージを伴う行為のことで、BMIで侵襲型という場合は、手術で頭蓋骨に小さな穴を開けて情報を得る方式を言う。その際、脳波を読み取る電極の設置方法で、脳の内部にまで電極を埋め込む侵襲性の高いタイプと、大脳皮質表面を覆う硬膜の下で脳の表面から脳波を感知する侵襲性の低いタイプに分けられる。後者は「低侵襲型」と呼ばれることもある。得られる脳波は侵襲性が高いほどクリアで、情報量が多くなる。同時に侵襲性が高いほど人体への負担は大きく、電極による脳の損傷や、免疫機能の低下による感染症などのリスクも生まれる。

身体を傷つけない非侵襲型は、頭部に装着するヘッドギアタイプの脳波計が一般的だ。脳が発する脳波と磁場信号を頭皮上から測定するほか、NIRS（近赤外分光脳計測法）^{ニルス}を使って血中ヘモグロビン濃度を読み取ることもある。市販されているものも多く、自宅で手軽に測定できるが、侵襲型に比べれば精度はかなり劣る。金井は従来からある脳波計を利用するのはもちろん、新しい非侵襲型BMIも開発することになっている。

「運動に関係する部位は頭頂部付近にあるのですが、いまある簡易脳波計は、運動の部位からとれるものが少ないのです。そこに対応した脳波を取れるタイプを開発して、ビッグデータ化

することを狙っています」

金井たちのプロジェクトがユニークなのは、侵襲型、非侵襲型に加えて「非接触型」BMIの開発も重視している点だ。人間が頭で考えた結果は、表情や身振り手振り、歩き方や行動など身体の動き、心拍数や呼吸にも現れる。身体の不自由な ALS 患者も、視線で表現できることがある。

「人間の行動の意図は、その人の外側にも現れます。そうした簡易にとれるものを全部、ディープラーニングで学習させて、その人の意図を予測することで、詳細な脳の中の情報が得られなくても、機能的に同じことを実現しようという作戦です」

5-3 世界の BMI

海外では脳研究と BMI 開発が重要なテーマとなり、すでに熾烈な開発競争が始まっている。

国家レベルで見ると、アメリカ政府は 2013 年に当時のオバマ大統領が、脳の全容解明を掲げて「ブレイン・イニシアチブ」プロジェクトをスタートさせた。その予算規模は、かつてのアポロ計画に匹敵するとも言われている。

これとは別に米国防総省の DARPA^{ダーパ}＝国防高等研究計画局は、ヘルメット内部に装着した BMI で兵士の脳から情報を取得し、意思疎通を可能とする「サイレント・トーク」の開発を進めている。味方の声が敵に聞こえることなく、あるいは爆音が響く戦場でもコミュニケーションできることを目指している。

EU は同じ 2013 年に「ヒューマン・ブレイン・プロジェクト」をフラッグシッププログラムのひとつに採択し、10 年間で約 110 億ユーロという大規模予算をつけている。中国でも「チャイナ・ブレイン・プロジェクト」を 2016 年から 15 年計画で実施している。

民間レベルでは、特にアメリカのハイテク企業が熱心だ。中でもテスラ CEO のイーロン・マスクが中心となって 2016 年に創業した「ニューラリンク」が注目の的だ。同社の開発した超小型マイクロチップには、髪の毛の 10 分の 1 ほどの太さしかない糸状の電極が 1000 本以上接続され、頭蓋骨に小さな穴を開けて電極を脳内に埋め込むと、脳神経の働きをパソコンやスマートフォンに伝達する。侵襲性の高い方法だが、2020 年 8 月にはブタを使った動物実験が成功したと発表し、大きなニュースとなった。ニューラリンクは電極を埋め込むための自動手術ロボットも開発し、手術の簡易化も目指している。埋込み型のチップは脳波だけでなく、血流などの異常も感知し、脳卒中や心臓発作などの予防にも役立つという。

これに対して日本も遅れをとっているわけではない。2008 年には文部科学省が脳科学研究の「推進プログラム」を、2014 年には理化学研究所が中心になって脳機能ネットワークの「全容

解明プロジェクト」を開始した。2018年には京都府精華町の国際電気通信基礎技術研究所で、人が両腕を使いながら「第3の腕」としてロボットアームをBMIで使うことに世界ではじめて成功した。基礎研究で日本は一定の成果をあげている。その一方で、ベンチャーなど企業の参入による事業化の取り組みが弱いとの指摘も出されていた。また予算規模も欧米諸国に比べて十分ではなかった。こうした背景を踏まえ、ムーンショットのプロジェクトで、金井の提案が採択されたのである。

5-4 BMIの目標

今回のプロジェクトで、金井が直近の目標として示しているのが、健常者向けのBMIサービスだ。脳の活動パターンを分析することで、例えば人が難しい課題に取り組んでいるときと、簡単な課題をこなしているときで、それぞれに要する脳の労力を定量化する。

「日常的に使える脳波計と組み合わせることで、この課題をやるときはこれぐらいの仕事量というように、自分にとって必要な労力を管理できるようにしたら、効果的に成果を出すことができるのではないかと考えています」

効果を期待できる例として金井のあげたのが、ピアニストなど音楽家の脳神経疾患として知られるジストニアの予防だ。うまくなりたくて指や腕を酷使した結果、特定の動きをしようとしたとき、本人の意図に反して筋肉が収縮したり、別の筋肉が動いたりする。作曲家のシューマンがピアニストの道を断念した疾患としても知られている。

「脳の状態で評価して『練習しすぎだから、休んだほうがいいですよ』と、分かるようにしたい。音楽家だけでなく、ふつうに働いていても、勉強していても起こることだと思います。状態をモニタリングし、人の状態と脳波の関係をデータとして蓄積すれば予測の精度も上がり、予防につながります」

客観的に自分の精神状態を把握し、自分で自分をうまくコントロールできるようにするということだ。いざというとき、必要以上に力んだり、あがったりして実力を発揮できないことが誰にでもある。そうならないために、BMIで精神をコントロールする練習をしておけば、いつも平常心でのぞめるようになるかもしれない。

「ストレスを抱えて心が疲れてしまうとか、過去の重大な事件がトラウマになって、そこからなかなか回復できないとか、心に関する問題を解決することも、目標としています」

BMIで特に期待されるのが、医療分野での貢献である。ALSなどの患者に対し、頭で思い浮かべるだけで装置を操作できるようなBMIシステムを構築する。そのシステム設計で、金井らしさが発揮されることになる。

例えばBMI利用者が目の前にあるりんごを食べたくなくて手にとろうとしたとき、腕をどう動かすかという細かな信号を脳の運動野から読み取ることは、技術的には可能だ。しかしその場合、脳の内部に電極を深く埋め込む必要があり、侵襲性が高くなる。

侵襲性を低くすれば人体に対する負担は少ないが、一方で情報量は少なくなる。

「我々が、莫大な資金力のあるニューラリンクと同じことをやろうとしてもできません。そこで必要となるのは、違う視点です」

例えばスマートフォンの低倍率レンズでも、ズームする際にはデジタル補正されてきれいな写真が撮れるように、金井たちは侵襲性が低くても、AIを活用することでそこから読み取れる情報量を増やし、侵襲性の高いBMIと同程度の性能を出せるようにする戦略だ。

「そうすれば、脳の表面でも重要な情報は取れそうだと感じています。侵襲性を下げるためにAIで計算をがんばるのが、ニューラリンクと我々の違いだと思います」

先程のりんごの例の場合、「りんごを手に取りたい」という意図さえ読み取ればよいと考えれば、低侵襲型で得られる脳波だけで分かるかもしれないし、場合によっては視線と表情だけで分かるかもしれない。ここでAIが活躍する。測定した脳波の分析だけでなく、外面的な表情や行動から、その人が何をしたいのか、つまり「りんごを食べたい」のか、「りんごを手に取りたい」のか、「りんごの絵を描きたい」のか、利用者の意図をAIが分析して推定する。そのあとのプロセス、つまりロボットアームでりんごを取るなどの制御もすべて、AIに任せてしまう。

「脳の細かな信号が取れなくても、その人のやりたいことを叶えるという観点で見れば、目標が実現されます。使えるものは全部使って、侵襲性が低くても、侵襲性が高いBMIと同じ成果を達成することができるわけです」

資金力にもものを言わせて侵襲型の開発を推し進めるイーロン・マスクのアプローチを「剛」とするなら、表情や動作も含めたあらゆるデータを細大漏らさず活用する金井のアプローチは「柔」とも言える。「柔よく剛を制す」に期待したいところだ。

5-5 究極のBMI

金井は2025年ごろの目標として、動物実験で低侵襲型BMIの効果や安全性を実証したうえで、人に対する臨床研究も始めたい考えだ。

「障害のある人が使うスマートフォンやパソコンなどの入力手段で、従来の方法に比べて同等かそれ以上のスピードで入力できることを目指します。それによって障害者の社会参加に貢献できればと思っています」

もちろん検討課題は多くある。人が考えることと、それを口にしたり、実行したりすること

とはまったくの別物である。たったひとつの意思決定に際しても、人間の脳内では肯定的な思考や否定的な思考、さらに感情的な情動が渦巻いている。思っていることがすべて、勝手に表現されてしまうと大変なことになる。そこでBMIでは、本人が伝えたいことだけ表現できるようにしなければならない。逆にBMIで、他人の考えを勝手に読み取ることは許されない。

米国防総省が研究に力を入れていることからわかるように、軍事利用される可能性もある。

長期的な目標として金井は、脳と脳をつなぐBMIの技術開発を目指している。言葉にしなくても自分の気持ちが相手に伝わる「以心伝心」が、本当に現実のものになるかもしれない。

人間の脳は、部位によって役割が細かく異なっている。そのうえで右脳の人格と左脳の人格がつながって、ひとりの人間を構成している。その延長線上でBMIによって、別々の人の気持ちが直接的につながるという可能性も考えられないわけではない。

「脳と脳をつなぐと、人と人の心が融合するということも考えられます。私たちは、一人ひとりの心はバラバラに存在していて混ざったりしないし、人はひとりの人間だと思っています。そんな常識が変わるのではないかと考えています」

おわりに

脳科学や認知科学とAI研究の強みを次世代ロボットやアバターに取り入れる研究は、世界的にも競争が激しさを増している。

AIの研究で世界的権威とされるアメリカの未来学者レイ・カーツワイルは、AIが人類の知能を越える転換点を“シンギュラリティ”（技術的特異点）と定義した。カーツワイルはシンギュラリティが「2045年に到来する」と予言する。

ムーンショットで研究開発が進むAIロボットは、シンギュラリティへと導くのだろうか。ロボットが暴走するSF映画や、監視社会を扱った海外のドキュメンタリー番組でロボットが色々使われているのを見ると、知らないところでロボットが進化しているのではないかと疑心暗鬼にもなる。

早稲田の菅野は「AIは確かにすごいけれど、それでもやはり人間には叡智というものがあって、どうしてもロボットではできないこともあります。SF映画のようになることはありえないと思います」という。人間の巧みさをロボットに取り入れようと研究を重ねて、その難しさを知る菅野の言葉だけに、説得力がある。

東大の原田は「単に人を超えるというようにはならない方向で進めています。人とAIロボットが役割を分担して協働するイメージを持っています」という。AIロボットはAIロボットとして進化する一方で、人はそれぞれ自分の才能を開花させる。それが原田の考える「誰でも科

学者になれる未来」だろう。

今まではひとりの人間にとって世界はひとつのものだった。それが様々なアバターを使うことで、実世界での活動が多様に広がり、あるいは仮想世界で働いたり活動したりすることが可能になってくる。同時にそこでは匿名性の問題、能力をアバターで拡張することの問題、複数の存在を持つことの問題など、倫理面も含めた様々な問題が出てくる。

阪大の石黒は「社会が受け入れるかどうかという問題もあります。みんなが『使わない』と言ったら、それで終わってしまいます。どういうタスクで、どういう使い方をすれば、世の中の人は受け入れてくれるのか。それがきちんと世の中に定着するのかを見定めないといけないのです」と語る。

アラヤの金井も「研究としては、面白いことがいっぱいできると思うのですが、事業化が難しい。一般の人が役に立つと思うもの、使いたいものを作らないと、普及していかないと思っています。そこに研究とはまた別の、難しさがあります」と述べる。

人とロボットやアバターの関係は、新たな段階を迎えようとしている。

(敬称略)

<註>

(1) John F. Kennedy, “Special Message by the President on Urgent National Needs,” May 25, 1961, National Archives Catalog website

<<https://catalog.archives.gov/id/193915>>

(2) 2015年1月3日付け毎日新聞

(3) イノベーションという言葉は「技術革新」と理解されることが多いが、2021年4月に施行された科学技術基本法の改正案では「イノベーションの創出」の定義規定が新設され、「発見または発明、その他の創造的活動を通じて新たな価値を生み出し、経済社会の大きな変化を創出すること」と、技術面に限らず幅広く捉えている。

(4) 「多くの研究者に配分される科研費などを重視すべきだ」という意見は、研究者の間で根強い(2019年6月6日付け朝日新聞)、「予算は5年間で約1千億円と聞けば、中途半端さに首をひねる人も多いのではないか(2019年8月21日付け朝日新聞)、「ムーンショット研究 壮大なバラマキでは困る(2019年9月11日付け毎日新聞)、「大学の基盤的経費を削り、じっくり研究できる環境を奪っておきながら、気宇壮大な研究テーマにトップダウンで大金をつぎ込む。経済成長のための成果を焦って求めるあまり、ばくちに手を出したように映る」『誰が科学を殺すのか 科学技術立国「崩壊」の衝撃』(2019年、毎日新聞「幻の科学技術立国」取材班)など、新聞ではムーンショット型研究開発制度に批判的な論調も見られる。

<参考文献>

菅野重樹『人が見た夢 ロボットの来た道 ギリシャ神話からアトム、そして…』2011年、JIPM
ソリューション

石黒浩『アンドロイドは人間になれるか』2015年、文春新書

金井良太『個性のわかる脳科学』2010年、岩波書店