

バイオテクノロジーの応用可能性

cellF と YCAM の試み

津田和俊

(山口情報芸術センター 研究員)

iPS 細胞ときくと、2012 年のノーベル生理学・医学賞を共同受賞した京都大学の山中伸弥教授や、再生医療や創薬への応用を真っ先に思い浮かべる方がほとんどかもしれません。その一方で、海外ではロックスターに憧れるアーティストが iPS 細胞の技術を使って楽器をつくっていることをご存知でしょうか。2017 年 1 月、オーストラリア南西部のタスマニア島にある美術館「Museum of Old and New Art (MONA)」で、その楽器の演奏があると聞き、タスマニアに飛びました。

羽田空港からシドニー空港まで約 9 時間半、さらにシドニー空港から約 2 時間飛び、1 月 19 日の夕方、タスマニアのホバート空港に到着しました。ホバート空港は、横長の平屋建てで、飛行機からはタラップで降り立つ小さな空港です。空港からはタクシーで 20 分程で滞在先の市街に入ることができます。日本との時差は 2 時間と比較的少なく、気候も思っていたほど暑くありませんでしたが、20 時を過ぎても外は明るく日が長いことでようやく遠方のタスマニアに来たという実感がわきました。また、ホバートは港町であり、散策中のカモメの鳴き声が印象的でした。

翌日 20 日の朝、あいにく小雨が降って少し肌寒いなか、埠頭から専用のフェリーに乗船して、約 30 分のクルーズで目的地の美術館に向かいます。人波の流れに従って棧橋から階段を上がり切り、ひずんだ鏡張りのファサードの小さな入り口を抜けると、地上階から地下 3 階まで、中には洞穴のような美術館が広がっていました。美術館 MONA は、賭博師で財を成した大富豪のデヴィッド・ウォルシュが自身の蒐集したコレクションを収蔵するため、2011 年にオープンした私設の美術館です。初日はとにかく興奮して館内を巡りました。「Disneyland for Adults」、「Museum of Sex and Death」とも形容されている大胆で挑発的なこの美術館は、雰囲気としては民族学博物館と美術館に秘宝館を掛け合わせた感じでしょうか。



最初に企画展「On the Origin of Art（芸術起源論）」を駆け足で鑑賞しました。企画展の入り口は4つあり、それぞれ独立した空間が広がっています。興味深いのは、キュレーションしているのが美術専門のキュレーターではないという点です。根源的に芸術は生物学に基礎を置いているとする本企画では、生物学分野に文化的にも関わる研究者4人（進化神経生物学者・認知科学者であるマーク・チャンギー、英文学者のブライアン・ボイド、心理学者のジェフリー・ミラー、実験心理学者のスティーブン・ピンカー）をゲストキュレーターに招き、テーマである芸術の起源とは何かという問いに対してそれぞれ、自然の身体性の模倣、パターン抽出、性淘汰、喜びの描写にみていると感じられるキュレーションがされていました。



また、この美術館では、芸術と音楽のフェスティバル「MONA FOMA」（略して「MOFO」）が毎年開催されています。キュレーターはベーシストのブライアン・リッチーで、2017 年は 1 月 20 日から 22 日までの 3 日間、館内各所や周辺の施設内、ジェームズ・タレルの空間のステージ、大型の野外ステージなどをつかって夜暗くなるまで即興演奏が繰り広げられます。その演奏のひとつに、館内の organ room と呼ばれる部屋の中での、iPS 細胞の技術をつかった楽器のパフォーマンスがありました。楽器のオルガンが置かれている部屋ですが、オルガンには器官や臓器という意味もあることから、この部屋が会場に選ばれたようです。

この楽器は〈cellF（セルフと読む）〉と名付けられていて、世界初の神経細胞を用いたミュージック・シンセサイザーとして紹介されています。作者の Guy Ben-Ary（ガイ・ベン＝アリ）は、オーストラリア・パースにある西オーストラリア大学の研究機関 SymbioticA を拠点に活躍するアーティスト兼研究者です。冒頭ではアーティストとだけ紹介しましたが、彼はイメージング技術、組織工学を専門とする研究者でもあり、新しいバイオテクノロジーが内包する社会的な問いに対して、実験や制作に取り組みながら、芸術的枠組みの中で先回りして表現しています。作品名の通り、彼の分身となるセルフ・ポートレイトをつくるというソロプロジェクトとしてはじまった本作品は、エンジニア、デザイナー、神経科学者らとの領域横断型プロジェクトとして 4 年間にわたる共同制作期間を経て、2015 年 10 月にパースで最初のパフォーマンスを行なっています。

この作品〈cellF〉では、神経細胞をつくるために iPS 細胞の技術が用いられています。iPS 細胞は人工多能性幹細胞です。ヒトなどの細胞を初期化することで「人工」的につくることができ、分裂して自分と同じ細胞をつくることのできる自己複製能と、神経細胞や心筋細胞をはじめ様々な細胞に分化させることのできる分化「多能性」をもった「幹細胞」のことを指します。再生医療や創薬への応用が期待されていますが、彼はそれを楽器に応用し、自身の細胞を初期化して iPS 細胞を作り出し、分化させた神経細胞からなるウェットな神経ネットワークを、楽器のいわば「脳」機能として使用しています。また、それと対をなす「身体」機能は、アナログ・モジュラー・シンセサイザーで構成されていますが、ウェットな神経ネットワークもアナログ・モジュラー・シンセサイザーも電気信号を利用していることが類似しており、それらが併用されていることがこの作品の特徴のひとつとなっています。

神経ネットワークは 8x8 マトリックスの計 64 つの電極からなる多電極電位計測システムを内蔵したペトリ皿（シャーレ）の中で形成され、それらの電極が「脳」と「身体」をつなぐインターフェースとして機能しています。ペトリ皿にはラップフィルムがかけられており、自作のインキュベータにより、温度 37°C、二酸化炭素濃度 5%が保たれています。ライブパフォーマンスでは、奏者（共演者）の演奏が神経ネットワークに電気刺激を与え、その神経活動はアナログ・モジュラー・シンセサイザーへの電気信号となり、シンセサイザーを経由して 16 チャンネルのサラウンドスピーカーからサウンドが鳴り響き、そのフィードバックに対して奏者が応答することにより、奏者と〈cellF〉による掛け合いの即興演奏となります。奏者の演奏スタイルが〈cellF〉のサウンドにどう影響を及ぼすか、また、それによって奏者の演奏

がどう変化するかという実験です。

今回のタスマニアでの最初のライブパフォーマンスは、中国の古箏の奏者とのセッションでした。パフォーマンス中、ロブスター柄の T シャツを着たある子どもがひときわ元気に会場を歩き回っていました。事前に目を通していた本作品の論文の中で、この神経ネットワークを構成する神経細胞の数は約 10 万個で、それはちょうどロブスターの脳と同じくらいという記述があったことを思い出しながら、その様子を眺めていたのですが、後から作者の息子と聞き、妙な納得をしてしまいました[1]。

2 日目はトランペッターのスコット・ティンクラー、3 日目はチェロ奏者のオキュッグ・リーとのセッションでした。毎回、作者による 5 分くらいの作品説明のあと、人間の奏者を紹介してから、セッションが始まります。来場者は部屋の壁ぎわに配置された 16 チャンネルのスピーカーの前を歩き、耳を傾けながら、興味深く鑑賞していました。言葉で表現するのはとても難しいですが、人間の楽器奏者とペトリ皿の中のロックスターが掛け合いを行う、非常にインクレディブルで実験的で素晴らしい共演でした。また、パフォーマンスの後には、制作に関わったアーティストやエンジニア、神経科学者が作品や電極に合わせて 8x8 マトリックスの制作プロセス写真の前に立ち、それぞれの視点から作品や制作プロセスについて来客者に解説し、また来客者からの質問に丁寧に受け答えしている姿がとても印象的でした。



ところで、今回の作品を観に行くことになったきっかけですが、いま私は共同研究者として、山口情報芸術センター[YCAM]（以下、YCAM）のバイオ・リサーチ・プロジェクトに関わっています。YCAM は以前から SymbioticA とは繋がりがあありますが、2016 年にもプロジェクトメンバーの伊藤隆之が約 3 ヶ月間滞在し、cellF の制作者達から直接、iPS 細胞の培養とその神経細胞や心筋細胞への分化の技術を学んできていました。それらの技術を用いた作品の可能性や課題についての調査をはじめることが今回の目的でした。続く本稿の後半では、まず YCAM の紹介をした後、バイオ・リサーチ・プロジェクトの紹介に誌面をさきたいと思います。

YCAM は、山口県山口市にあるアートセンターです。メディアアートやパフォーマンス・アーツを中心とした芸術作品や、ワークショップなどの教育コンテンツをつくり、国内外に向けて発信していく施設として誕生しました。現在は事業の幅も広がり、地域振興や研究発表なども行っています。2003 年にオー

プンして以来、13 年が経ち、これまでに延べ 1000 万人程度の来場者がある施設です。

これまでの作品例としては、例えば「Forest Symphony (フォレスト・シンフォニー)」(Ryuichi Sakamoto + YCAM InterLab) があります。樹木の生体電位データを計測する機器をオープンソース・ハードウェアとして開発し、オーストラリアの SymbioticA を含む国内外 8 カ所世界各地の合計 24 本の樹木からデータを集積・解析し、変換して奏でられる音源をもとにシンフォニーを構想しています。また、YCAM で滞在制作された「supersymmetry (スーパーシンメトリー)」(Ryoji Ikeda) は、量子力学や量子情報理論を美学的な視点から解釈し、データ観測表現の限界に迫るインスタレーション作品ですが、こちらは上述の美術館 MONA でも公開されています。

YCAM では、芸術作品や教育プログラムを通じて、広く領域横断型の学びを提供する場であることを目指しています。メディアテクノロジーをはじめ、日々新しい革新的な技術が発表され続け、世の中は目紛しく変化しています。その中でテクノロジーの在り方や、人間がそのような新しいテクノロジーとどのように付き合いしていくべきなのか、といったことを考えながら、その可能性の提示を行っています。YCAM のプロジェクトの参加者や鑑賞者が、さまざまな物事をより複合的な視点からより高解像度でとらえて論理的に思考するための考え方や技術を、身体性を伴う体験を通じて身につけていくことが共通の目標です。

YCAM の施設には、劇場、図書館、多目的な展示スペースなどがあり、また図書館が併設されており、事業ごとに柔軟に活用しています。作品を制作するための設備としては、電子回路デバイスを制作できる環境や、身体などの動きを記録できるモーション・キャプチャー、バーチャル・リアリティ (VR) コンテンツの制作設備、木工や金属加工のための機材・工具類や、CNC マシンや 3D プリンタといったデジタルファブリケーション設備、そして、それらに加えて、バイオテクノロジーの実験設備があります。

また、組織として特徴的なのは、内部に実質的な企画・運営から技術開発・研究開発までを行うチーム「YCAM InterLab」があり、キュレーター、プロデューサー、エドゥケーター、デザイナー、照明、音響、映像、ソフトウェア、ハードウェア開発の専門家などで構成される 25 名程度のスタッフが常駐しています。その他に事務スタッフが 15 名程度おり、全体で約 40 名の組織です。YCAM のプロジェクトは、そのほとんどが内部のスタッフと、外部のアーティストや研究者、地域の市民とのコラボレーションで成り立っています。



続いて、YCAM が最近取り組みはじめた事業であるバイオ・リサーチ・プロジェクトについてご紹介します。バイオテクノロジーの応用可能性を、芸術や教育、地域など多様な切り口で模索するプロジェクトです。YCAM がこれまで積み重ねてきた知識や経験と、バイオテクノロジーを組み合わせることで、新しい表現の可能性や価値観を提案していくことを考えています。

バイオテクノロジーは、古くは発酵や醸造などの食文化、近年は医療やエネルギー分野など多くの側面で私たちの生活に関係しています。特にここ数年、その飛躍的な技術発展により、遺伝子の分析や活用といったバイオテクノロジーに関わるコストが急激に低下しているという背景があります。例えば、まず第一に DNA シーケンシングのコストが挙げられます。どんな生き物も、それぞれの設計情報を記した DNA を持っています。DNA はひも状の二重らせん構造をした物質です。4 種類の物質の並び方によって情報を記録していて、その情報を解読していくことで、生き物の遺伝的な特徴などを知ることができます。そのため、現在世界中で多くの生き物を対象に DNA を解析する試みが行われています。DNA の構成要素であるアデニン・チミン・グアニン・シトシンと名付けられている物質の並び順を読み取り、それぞれ A・T・G・C といった文字の列に変換することを「DNA シーケンシング」と呼びます。この DNA シーケンシングのコストが、この 15 年間で 10 万分の 1 の価格まで下がり、個人でも手が届くようになってきました[2]。このシーケンシングは、生き物の情報を「読む」技術ですが、一方で「書く」方についても技術革新が起きています。「ゲノム編集」という、いろいろな生き物に適用できて、成功率も高く、さらに技術として比較的簡単な、画期的な技術が注目されています。

このバイオテクノロジーに関する「読み書き」を進めることが今後もっと身近になっていくとしたら、私たちがコンピュータやインターネットを使って情報を読み書きしたりするのと同じように、生き物について考えていくことができるようになるかもしれません。そのため YCAM では、リテラシーが大幅に変化していく時代における、あたらしい学びの在り方について考えていきたいと思っています。また、上述の技術を扱う上で問題となる安全面や倫理的な側面についても市民の方々と一緒に考えていきたいと思っています。

YCAM バイオ・リサーチのスタンスですが、アートセンターで取り組むからといって、必ずしもバイオアートのみに限るとは限りません。これまで同様、市民の方と一緒に、メディアテクノロジーの延長線上で、バイオテクノロジーを捉え直して取り組んでいきたいと思っています。ご存知の通り、市民と一口にいてもいろんな方がいます。農家の方がバイオテクノロジーを手にしたら作物の育て方が変わるかもしれないですし、料理をつくる方がバイオテクノロジーを手にしたらもっとうまくなるかもしれません。現在、バイオテクノロジーを実験して学びながら、その応用可能性を模索しています。どうやって学んでいるかという点、「DIY バイオ」「シティズン・サイエンス」「オープンデザイン」といったテクノロジーの民主化の流れの中で、オープンな国内外のネットワークを通じて学び、また自分たちが学んだことは基本オープンに公開していこうとしています。

デジタルファブリケーションを取り入れた市民によるものづくりの在り方を提案している、ファブラボのネットワークもそれらの潮流のひとつです。私は、2010 年からファブラボを日本に紹介する取り組みに参画し、2012 年から特に関西での可能性を検討しはじめ、2013 年には大阪・北加賀屋にファブラボを共同設立したという経緯があります。ファブラボのメンバーとしての役割から、2014 年に YCAM との共同リサーチがはじまり、その流れでバイオ・リサーチに関わりはじめるようになりました。2015 年には、ハーバード大学・マサチューセッツ工科大学の遺伝学者である George M. Church (ジョージ・チャーチ) がディレクションするシンセティック・バイオロジーに関する学習プログラム「Bio Academy (How To Grow Almost Anything)」のオンライン講義を受講し、自分たちと同じようにバイオテクノロジーについて取り組みをはじめている国内外の方たちと演習形式で一緒に学びました。

YCAM バイオ・リサーチは、2014 年から計画がはじまり、2015 年はバイオテクノロジーを扱うための機材や設備を備えたスペースを館内に立ち上げ、レクチャー・ワークショップ企画やフィールドワークなどを実施しました。2016 年は、自分たちのリサーチ・プロセスを紹介する公開展示するイベント「オープンデイ」を年間 6 回開催することにしました。これまでに実際どのようなリサーチを行なっているか、かいつまんで紹介したいと思います。

第 1 回の「パンと酵母」では、山口市内にフィールドワークに出かけて自然界にいる野生の酵母を採集し、館内のバイオリボに持ち帰って培養し、顕微鏡で観察したり、パンを焼いてみたりすることからはじめました。また、第 2 回の「発酵と DIY」では、同じく微生物が対象なのですが、今度はザワークラウトやキムチといった発酵食品を仕込みながら、その中にある乳酸菌などの発酵微生物を観察しました。あわせて発酵プロセスで有用な機材のひとつであるインキュベータ (保温機) を DIY で試作する方法をことで、市民の方々にバイオ・リサーチをより身近に感じてもらえる機会をつくりました。

第 3 回の「森の DNA」では、森の生き物の種を特定するための方法として、昆虫や植物の採集道具や「DNA バーコーディング」と呼ばれる方法をその手順に沿って紹介しました。また、山口市内にある森で市民と一緒に植物や菌類を採集し、顕微鏡での観察や DNA 解析をおこない、その結果を収録した「森

の DNA 図鑑」というウェブサイトを制作しました。続く、第 4 回の「ヒトと共生微生物」では、大阪市にある市民農園と共同で山口市や大阪市内の農地や公園から土壌を採集し、バイオ系企業の協力のもと「メタゲノム解析」をおこないました。メタゲノム解析とは、土壌に含まれる微生物群集に関して網羅的に解析するためのアプローチです。このときの展示では、この「土壌微生物群集のメタゲノム解析」の一連の手順を紹介するとともに、手のひらサイズのポータブル DNA 解析装置も紹介しました。「DNA バーコーディング」「メタゲノム解析」といった技術の可能性や課題に関して、実際に自分たちで実験することを通じて明らかにしてきました。

第 5 回の「生物とプログラミング」では、生物に関連する情報の検索や解析、設計支援をおこなうための方法を共有しました。さらに、ゲノムが解読された生物だけを食材に用いた「ゲノム弁当」というアイデアを通じて、DNA やゲノムの情報から何がわかるのか、今後どのような活用方法があるのか、国立の研究機関や大学の専門家とともに考えました。最終回の「細胞と遺伝子」は、本稿執筆段階ではまだ開催していませんが、遺伝子が機能する環境としての細胞をテーマに、特に幹細胞や iPS 細胞に焦点をあてて、その応用例として〈cellF〉についても紹介しながら、研究者と市民が意見交換できる機会をつくる予定です。

本稿では、バイオテクノロジーの応用可能性について、領域横断型のアプローチで模索している事例をご紹介します。今後、ますます私たちにとって身近になっていくと考えられるバイオテクノロジーについて、引き続き、皆さんと一緒に議論していければ幸いです。

参考文献・サイト

[1] Darren Moore, Guy Ben-Ary, Andrew Fitch, Nathan Thompson, Douglas Bakkum, Stuart Hodgetts & Amanda Morris (2016) cellF: a neuron-driven music synthesiser for real-time performance, *International Journal of Performance Arts and Digital Media*, 12:1, 31-43

<http://dx.doi.org/10.1080/14794713.2016.1161954>

[2] DNA Sequencing Costs, National Human Genome Research Institute (NHGRI)

<https://www.genome.gov/sequencingcostsdata/>