

Spiberの挑戦

菅原 潤一

(1) はじめに

Spiber株式会社は2007年、慶應義塾大学で研究されていた技術をもとに立ち上がったスタートアップ企業である。クモ (spider) と糸 (fiber) を掛け合わせて生まれた社名が表す通り、夢の素材と言われ続けた「クモの糸」を実用化することを掲げて立ち上がったプロジェクトであるが、「タンパク質を工業材料として使いこなす」ことが研究の本質であると位置づけ、来たるべき時代の主導権を取れる技術の開発、事業開発に鋭意取り組んでいる。Spiberの誕生は2004年に遡る。当時、大学学部生であった関山和秀 (現Spiber社代表) と筆者が、学生研究として取り組み始めたのが「クモ糸タンパク質の微生物生産」というテーマであった。その3年後にスパイバー株式会社 (社名は2015年からローマ字表記に変更) を創業することになり、幸運にも筆者はそこに関わることができた数少ないメンバーの一人となる。編集者のご好意によりこのような企画を頂いたので、僥越ではあるが「Spiberの挑戦」を語ってみたいと思う。

(2) SFCで学んだこと

関山も筆者も、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス、通称SFCの出身者である。SFCの特色は学問を課題解決の手段と割り切っている点にあると思っている。21世紀の社会が直面する問題を発見し、それを解決するため

のありとあらゆる施策を分野横断的に考え実践する。これがSFCに根付く文化であり、それゆえ一つの専門性を突き詰めることよりも、近未来に起こり得る課題を発見する能力や、複数の専門領域を持ち包括的に問題解決に取り組む能力の育成に重きが置かれている。文理融合、一つの学部の中でアートからバイオ、政策やメディアに至るまでさまざまな分野の講義を受講することができる。時に「あそこの卒業生には専門性がない」と批判を受けることもあるが、問題を発見し、その解決策を考え、それを社会実装にまでつなげるためには、さまざまな学問分野を結合し、縦横無尽に使いこなす幅の広さと柔軟性が求められる。SFCは30年も前からそのような人材の育成に取り組んできた草分け的なキャンパスだろう。

私は高校時代、映像作品を作ることはまっていた。友人とデジタルカメラで動画を撮影し、それをパソコンに読み込んで映像を加工・編集しては、短編映画のようなものを作っていた。祖父が美術系の仕事に携わっていたこともあり、なんとなく自分も芸術の世界に惹かれていた時期、SFCにはデジタルアートを学べる環境があることを知り、同学部への進学を決意した。そんな動機で入学した大学であったが、一年目から大きな転機を迎えることになる。SFCで生命情報科学領域を統括されていた富田勝教授との出会いである。「食糧不足や温暖化をはじめとする気候変動。21世紀、社会はさまざまな課題に直面する。バイオテクノロジーにはこうした課

Spiber株式会社

<会社概要>

設 立 2007年9月26日
代 表 関山和秀
資 本 金 172億4,366万円 (資本剰余金等を含む)
従業員数 186名 (2018年4月現在)
事業内容 次世代バイオ素材開発
U R L <http://www.spiber.jp>
本 社 山形県鶴岡市覚岸寺宇水上234番地1

<企業理念>

将来誰かが取り組まなければならない全地球的課題はたくさんありますが、リスクとリターンを考えると、より短期的に高い収益を得られる事業が優先されがちです。世界を見渡せば、日本はきわめて恵まれた国であることがわかります。そんな恵まれた国の企業は、人類社会の大きな問題や課題を率先して解決し、これからの人類が歩むべきビジョンを世界に示す義務があります。私たちは、たとえリスクが高くても、パラダイムを大きく変えるような、本当の意味で人類社会を前進させるプロジェクトに挑戦するチームであり続けます。

題を解決できる力がある。」「バイオテクノロジーはこれから情報科学と融合していく。その新領域を我々が切り拓く。」と、壇上で熱く語る富田教授の目の輝きに筆者は大いに刺激を受けた。先述の通り、元々生命科学を専攻するつもりなどなかった筆者であったが、教授との出会いから「21世紀はバイオの時代だ」と思うに至り、一転してこの分野に足を踏み入れることになった。富田教授は山形県鶴岡市にある慶應義塾大学先端生命科学研究所の所長も兼任しており、関山も筆者も学部生時代から同研究所にて実験生物学と情報科学を融合した画期的な研究教育を受ける機会を得た。

2004年、関山と筆者はSpiberプロジェクトを立ち上げた。持続可能な社会の実現に向けて大きな役割を果たすことが目的で、研究ありきではない。「クモ糸の人工合成」というテーマを選んだのは、それがその時思っていたアイデアの中で、もっとも社会的な要請に合致していると思えたからである。人工クモ糸研究を進める上で必要な要素技術の中には、高分子化学や繊維工学など、当時の自分たちの専門外の技術領域もあったが、その時々で必要な知識やスキルを取捨選択し、研究所の外から貪欲に吸収してきた。そして視線の先には、常に社会実装、すなわち事業化があった。

大きな課題を解決するには多くの資金や仲間が必要であり、そのためには投資が集まる魅力的なビジネスプランが必要である。幸いにも、SFCには充実したアントレプレナーシップ教育も用意されていた。ビジネスプランの作り方、会社の立ち上げ方、初期の資金調達や社会的地位のあるビジネスパーソンとのネットワーキングなどを支援する「SFC Incubation Village」という拠点があり、研究を進める傍ら、テクノロジーとビジネスを結びつけるための手厚いサポートを受けることができた。

そもそも何のために研究するのかという本質的な思考と、必要であれば専門外の領域でも躊躇なく飛び込む気質は、SFCで大いに育まれた。

(3) テクノロジーイノベーションへの挑戦

大気中の二酸化炭素濃度が上がり続けていることは事実であり、それと呼応するかのようにさまざまな気候変動が起きている。因果関係に結論が出る日はそう遠くないだろう。太陽光や風力などを利用したクリーンエネルギーの普及もきわめて重要である一方、輸送セクターの二酸化炭素排出量は全体の約37%を占めており、こうした産業の抜本的な見直しも急務なのである。たとえば、輸送機器をもっと軽くすることができれば、燃費が良くなり、排出される二酸化炭素量も劇的に減らすことがで

きるだろう。クモの糸は強度と衝撃吸収性に優れ、かつ軽量な天然素材として古くから注目を集めていた。これを自動車部品に応用できれば、安全性と軽量性を兼ね備えた未来の自動車を作れるのではないかと、そうした夢を持って、スパイバー株式会社は2007年に立ち上がった。

構造タンパク質 クモが命綱に使う牽引糸の主成分は「フィブロイン」とよばれるタンパク質である。たとえば、ある種のクモが紡ぐ牽引糸は1.6 GPaもの高い引張り強度を有しながらも50%を超える伸度も両立しており、その結果354 MJ/m³というきわめて高い衝撃吸収性（タフネス）を示す¹⁾。これは密度あたりで言えば高張力鋼の340倍以上であり、同素材を樹脂強化繊維として使えば鉄材料を置き換える軽量で安全性の高い次世代材料が実現するかもしれない。クモ糸だけではない。アリの顎はチタン合金並みの硬度を有することが知られているし²⁾、イカの歯は既存樹脂よりも高い接触剛性を示すことが知られている³⁾。昆虫の肢や羽の付け根に存在する「レシリン」というタンパク質は優れたエネルギー貯蔵率を有し、スーパーゴムタンパク質として注目されている⁴⁾。

生産原料を石油に依存せず、廃棄すれば微生物によって分解され植物の肥料となる構造タンパク質は、持続可能で環境負荷の低いモノづくりに大きく貢献するだろう。また、分子設計の容易さも魅力である。遺伝子配列を設計することで、数千アミノ酸の並び方を一文字単位で厳密に制御することができる。配列と機能の関係性が明らかになっていけば、ユーザーの細かなニーズに迅速に応えることが可能になるだろう。機能性、環境性、デザイン性に優れた未来のポリマー、それがタンパク質なのである。

低コスト化と量産化技術の開発 構造タンパク質材料普及のための第一のハードルはコストである。生物の構造を成すタンパク質は分子量が大きく、かつ特定のアミノ酸が何度も繰り返し出現するリピート構造を有するものが多い。このようなタンパク質は一般的に微生物生産には向かないと考えられている。こうした中Spiberは、クモ糸フィブロインに代表される超高機能構造タンパク質を微生物発酵により生産し、加工する技術開発に取り組んできた。宿主となる微生物において安定化・高発現化する遺伝子配列を情報科学的に再設計したのみならず、微生物培養条件、および精製条件を抜本的に見直したことで、工業材料として利用可能なコスト水準での生産に目処をつけることができた。さらに構造タンパク質の量産化技術、およびタンパク質を素材に加工するための紡糸技術、連続薄膜塗工技術、および立体成形技術の



図1. 発酵設備を収容するPrototyping Studio (左) と紡糸設備を収容する本社研究棟 (右)



図2. Spiberで製造した構造タンパク質原料 (左) とそこから加工された繊維 (右)

開発にも並行して取り組み、2013年には発酵のパイロットプラントを、2015年には紡糸のパイロットプラントを鶴岡に立ち上げ、いずれも製品開発を行える規模で素材供給ができる製造工程を確立した(図1)。

自社で開発・製造した構造タンパク質素材(図2)を、自動車関連メーカーやアパレル関連メーカーに提供し、基礎研究・製品開発を進めている。2015年には株式会社ゴールドウインとともに工業ラインでの製造では世界初となる人工クモ糸アウターウェアのプロトタイプ「MOON PARKA®」を発表した。2016年にはトヨタ自動車が発表したKinetic Seat Concept、このクモの巣状のネットシートの裏側に人工クモ糸を採用して頂いた。いずれもコンセプチュアルな試作品であるが、遺伝子レベルでデザインされ、微生物により合成された新世代の「構造タンパク質」素材が世の中に製品として普及する未来を示唆することができたと思っている。

素材進化の加速 生命が環境に適応して多種多様で優れた素材を発明してきたように、タンパク質の魅力の一つは素材の性能を自由自在に進化させられることにある。Spiberでは、多様な地域から生物材料を採取・分析し、どの素材がどのような物性を有するか、それがどのような分子構造、およびアミノ酸配列に起因しているのかを相関解析できる膨大なデータベースを構築している。今後、こうしたデータに基づき実際にタンパク質を人工合成し、その機能を評価し、分子設計にフィードバックするプロセスをさらに加速させていく。過去10年間で約1,200種類の構造タンパク質を設計、合成し、その生産性や機能性の評価を実施してきたが、今後このス



図3. 開発中の全自動DNA合成装置

ループットをさらに高めていくため、遺伝子合成やタンパク質合成工程の徹底的な自動化に取り組んでいる。ChurchらがDNA“Read”だけではなく“Write”の重要性を提唱したように⁵⁾、DNA合成のスループットとコストを改善することが、合成生物学研究の開発スピードを上げる初めの一歩となる。Spiberにおいても、NEDOのスマートセルプロジェクトの支援を受けた全自動DNA合成装置の初号機が近々完成する予定である(図3)。

膨大な観察データに基づき新素材を設計し、その評価をミニマムスケールで最短で行う。蓄積した実験データを再度学習することで、さらに正確な材料設計ができるようになる。ロボティクスと機械学習を取り入れることで、21世紀のバイオプロダクションは大きな変革を遂げるであろう。我々もその先端を走り続けたいと思っている。

(4) パラダイムシフトへの挑戦

構造タンパク質事業は持続可能な社会実現に向けた手段であり、目的ではない。目的達成のための手段は一つではなく、必要な要素はテクノロジーだけではないと考えている。一人ひとりの価値観やライフスタイルが変わることが時に大きな力を生み出すし、そうしたパラダイムシフトの引き金になり得るようなロールモデルを作れないだろうか。会社のフェーズが進むとともに社員数は増え、今では180人を超えるチームとなった。このチームを一つの小さな社会と捉え、さまざまな実験を行うことに挑戦している。ここでは、2015年から取り組み始めた独自の給与制度と、2017年に開設した企業所内保育「やまのこ保育園」を紹介したい。

給与制度 地球の資源は限られており、それを皆で分かち合っていかなければならない。戦争や紛争の本質的な原因は、この資源の奪い合いである。Spiberの社員である私たちは、この課題に対して大きな役割を果たすことを志ざし、鶴岡に集まった。そんな私たちが体現すべき給与制度とは、いったいどんなものであろうか。

ここで社会を一つの生き物と捉えてみよう。生き物は

常に限られた資源をすべての細胞で分かち合わなければならぬ。生き物が置かれた環境や状況は刻々と変化していくので、それに合わせて臨機応変に対応し、適応していかなければ生き残れない。個体（社会）の置かれた状況を敏感に感じ取り、近くや遠くの細胞と連携しながら、それぞれの場所でそれぞれの役割を適切に果たしていける細胞が多ければ多いほど、その生き物が生き残り続けられる可能性は増していく。逆に、それができない自分勝手な細胞、つまり「がん細胞」が増えすぎると、その個体はやがて死を迎えることになる。

このシチュエーションは、会社にも当てはまる。会社の資源は常に限られている。特にスタートアップではそれが深刻である。日々、生き残りを賭けた戦いを強いられながら、企業としての目的や役割を果たしていかなければならない。社員一人ひとりが会社の置かれた状況を敏感に感じ取り、それぞれの場所でそれぞれの役割を適切に果たしていける社員が多ければ多いほど、会社が生き残れる可能性は増していく。

Spiberでは、あなたの給与を誰かが決めることはしない。自分自身で適切な給与を決め、それを皆に宣言し、それがそのままあなたの取り分になるのである。Spiberは社員の10%以上が国外から来たメンバーであり、多様な価値観が共存する。そのような中で、相手の価値観を受け入れつつ、一方で共通の価値観や基準を模索、形成し、会社の財務状況、自身の会社への貢献度、ライフステージなどを考えて、他者から支持される給与額、組織を維持するために適切な給与額を自分の力で決めるのである。この前提には、情報格差を生じさせない工夫が存在する。Spiberでは互いの給与額も含め、社員が会社のほぼすべての情報にアクセスすることが可能であり、会社の財務状況や今後の見通しも、必ず月に一度全社員に最新状況を共有している。自ら積極的に情報を取りに行き、自らの給与を決めなくてはならない。決して楽な作業ではないが、これを通して社員一人ひとりの大局観、つまり経営的視点を養い、それぞれが個性や才能を最大限活かし、果たすべき役割を果たせるようになることを期待している。その結果として、中長期的に組織が社会に果たせる役割を最大化できるものと信じているし、マインドセット次第で「限られた資源を分かち合わなければならない状況」を乗り越えられるという道筋を、Spiberという組織をもって示したいと思っている。

幼児教育 2017年9月、Spiberでは企業所内保育「やまのこ保育園」（園長：遠藤綾）を開設した（図4）。Spiberのメンバーの平均年齢は35歳。子育て世代が多く、また海外からの移住者が増える中でその受け皿として英



図4. Spiber社企業所内保育園，やまのこ保育園

語対応できる保育所を自社で作ることは必然であった。一方、やるからにはSpiberらしい教育を実践しようと思い、園長を中心にさまざまな実験の取組みに挑戦している。未来社会を先導する人、変化が早く不確実な時代を幸福に生きられる人とはどのような人間か。それは「競争に勝てる人間」ではなく、「よりよい社会を築くために自ら考え、行動できる人間」ではないかというのが私達の答えであった。そのような人間を育むためには、地球に生きているという感受性を持つことや、自分と他者との主張を調整し、折り合いをつける能力を持つことが大切になる。

先進国では身の回りに物が溢れているが、実は地球規模で見れば、少ない資源をシェアしていることを知ってもらいたい。たとえば、園庭で子供達が遊ぶ水は雨水を使っている。雨が降った時に溜まった雨水がなくなれば、水遊びはできなくなる。水という資源が有限のものであるということを実感するのである。

幸福に生きるためには、自分が欲しい自由と、相手の欲しい自由とをお互いに調整し合うことが重要になる。たとえば園では、あえてクラスにハサミを一挺しか置かないことで、子供達は自分の番が来るまで待つことや、「これと交換しない？」とか「使う？」と声をかけあうようになっていく。さらに、0歳・1～2歳・3～5歳の異年齢保育を採用しており、違うことが当たり前にある環境を作っている。社会に出れば周囲が全員同じ年齢ということはない。その子が将来どんな場所で、どんなコミュニティの中で暮らすことになるのかは誰にもわからない。異なる才能、多様な価値観や人種の人々が生きる社会の中で、お互いに共有できる感覚を見つけたり、妥協点を見つけたりするから、それぞれが置かれている状況を敏感に感じ取り、自分の果たすべき役割を見つけ出すからを備えていれば、きっとその子はどんな状況でも幸せに生きることができる。

テクノロジーや給与制度、幼児教育への挑戦。こうしたSpiberの取組みが、うまくいくかどうか、広く一般に普及するかどうかは分からない。しかし、社会的な実験としてユニークであること、それゆえ価値のある挑戦

であると、自信を持って言える取組みにしたいと思っている。

(5) 挑戦する街、鶴岡 —読者へのメッセージに代えて—

織田信長も謡ったように、無限の宇宙に思いを馳せれば人の人生など夢幻のように儚いものである。たかだか50年でできることは限られているし、私の人生がどうなろうが大勢に影響はない。であれば、自分自身が自分の人生でベストを尽くせたと思えるかどうか重要であり、「生まれて良かった」「自分の人生に価値はあった」と思える最高の瞬間を何回迎えられるかが大切なのだと思っている。

私は雨風を凌げる屋根と壁のある家に生まれ、明日食べるものに苦労することなく、病気をすれば薬で治してもらえ、豊かな社会で育てられた。日本では当たり前のように思うが、世界を見渡せばこれらが揃っている環境は多くない。自分が持って生まれた能力、与えてもらった恵まれた環境、そして残された時間を100%使い尽くして、どれほどの形跡をこの世界に残せるか挑戦したいと思っている。そして嬉しいことに、Spiberが本社を構える山形県鶴岡市が、そうした「ベストを尽くして挑戦する人たちが」集まる街に変わりつつあることを、筆者は日々実感している。

SpiberからスピンアウトしたYAMAGATA DESIGN社（代表：山中大介）は、「挑戦する街、鶴岡」のグランドデザインを手がけるスタートアップである。地域に根を下ろし、地域から集めたお金を使ってさまざまなハードやソフトを開発している。鶴岡に魅力を感じ、この地を訪れてくれる人たちをもてなし、さらなるファンになってもらうための宿泊滞在施設「SUIDEN TERRASSE」を2018年9月にグランドオープンする。同時にオープンする「Kids Dome SORAI」は、外国や県外から移住してきた子育て世代が安心して暮らせる環境づくりを最大限サポートしてくれる県内最大規模の子育て支援施設である。英語と日本語の2か国語対応で、世界中から集まる研究者やアントレプレナーの子供たちと地域の子

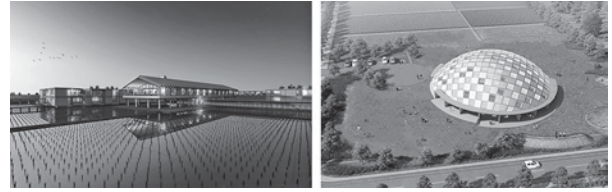


図5. 鶴岡の挑戦。左からSUIDEN TERRASSE, KIDS DOME SORAI. (写真提供: YAMAGATA DESIGN社).

供たちが交流しながら遊び、学べる。ライブラリーやカフェも備え、親の学びや親同士の交流もしやすいようにデザインされている。先述した「やまのこ保育園」も、施設の一部を借りて拡大する。SUIDEN TERRASSEとSORAIは、木造建築の世界的権威である坂茂氏に設計を手がけていただいた。広大な庄内平野の水田をランドスケープとして活用した、地に足のついた等身大の逞しさと創造性を感じさせてくれるデザインである(図5)。そして、豊かな人生には豊かな食が欠かせない。鶴岡市は、ユネスコの創造都市ネットワーク食文化部門に登録されるほど、元来食文化の発達した土地柄であり、旬の地の食材を使った本当に美味しいお食事処がたくさんある。SUIDEN TERRASSEでは、夕食をホテルで提供せず、代わりに地域のレストランと提携してハイヤーを準備してくれる。美味しいものをいただいてホテルに帰ったら、源泉掛け流しの温泉を満喫し、バーで山形県内選りすぐりの地酒とワインを堪能できる。

自分を信じ、自分のベストを尽くし、時にはリスクを負ってでも勇気を持って挑戦する。そんなマインドを持った人たちが、ここ鶴岡に集まっている。

文 献

- 1) Agnarsson, I. et al.: *PLoS One*, **5**, e11234 (2010).
- 2) Schofield, R. M. et al.: *Naturwissenschaften*, **89**, 579 (2002).
- 3) Miserez, A. et al.: *Acta Biomater.*, **3**, 139 (2007).
- 4) Lyons, R. E. et al.: *Insect Biochem. Mol. Biol.*, **41**, 881 (2011).
- 5) Boeke, J. et al.: *Science*, **353**, 6295 (2016).