

# バイオエコノミー、 デジタル×バイオ時代の チャンス



山本一彦

神戸大学大学院  
科学技術イノベーション研究科教授

の新たな枠組みが世界的に注目されている。生物資源と最新のバイオテクノロジーを活用することにより、人口増、食料・水不足、気候変動などの地球的規模の課題を克服しつつ、持続可能性が高い経済発展を可能にする社会構造である。経済協力開発機構（OECD）は、二〇三〇年にはバイオエコノミー市場の規模が約一八〇兆円（約一・六兆ドル）に成長すると予測している（図①）。その内訳は、ホワイトバイオと名付けられた工業分野（この予測では、環境関連もここに含まれている）が三九%、グリーンバイオの農業分野が三六%、レッドバイオに分類されたヘルスケア・医療分野が二五%となっている。なお本稿の中では、農業分野に加えて、海洋生物関連のいわゆるブルーバイオ、食品関連のイエローバイオ、環境関連のグレーバイオも、広義のグリーンバイオと捉えている。

バイオテクノロジーという用語は、バイオロジー（生物学）とテクノロジー（技術）の合成語である。生物が有する元来の機能を工学的に研究し、さまざまな目的に利用する広範な技術を意味するが、生物の機能を人間の生活に役立てる試みは今に始まったことではない。私たち日本人も、昔から微生物の働きを利用して味噌や醤油、清酒、酢、鰹節、納豆などの多くの発酵食品を作ってきた。

例えば、世界遺産として名高い白川郷・

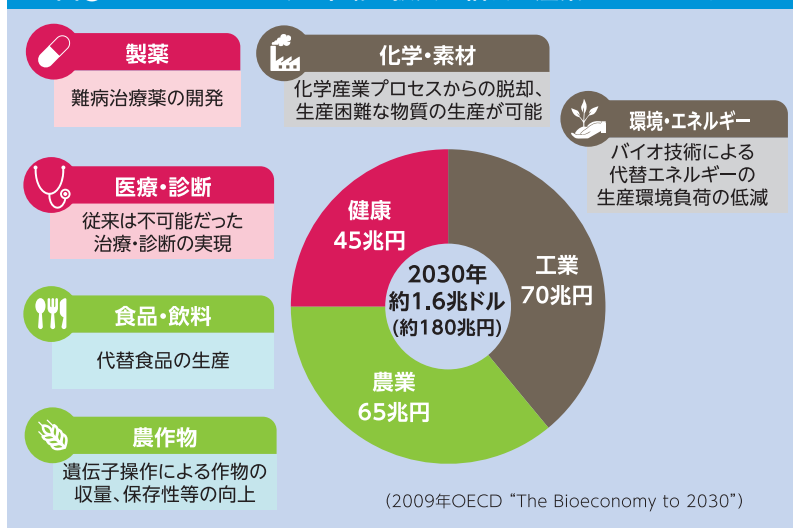
五箇山<sup>ごかやま</sup>では、囲炉裏端<sup>いろりばた</sup>に穴を掘り、蚕糞<sup>さんがん</sup>やヨモギなどを何層にも積み重ね、人尿をかけて発酵させる手法によって火薬原料（塩硝<sup>しんじょう</sup>）を生産していた歴史があり、江戸時代の加賀藩における一大産業であった。これなどはバイオテクノロジーの産業利用そのものと言えよう。

## 勃興するバイオエコノミーと 「デジタル×バイオ」時代の到来

近年、バイオエコノミーという経済社会

バイオエコノミーの背景にある技術革新には、「デジタル×バイオ」と称される、デジタルテクノロジーとバイオテクノロジーの研究融合が大きく貢献している。あらゆる地球上の生物の遺伝情報（ゲノム）は、アデニン（A）、チミン（T）、グアニン（G）、シトシン（C）の四つの化学物質からなる。コンピュータにおける0/1と同じく、生物はA/T/G/Cの四文字のデジタル情報でプログラミングされている。デジタル技術の発達により、ゲノムの解読

図① バイオエコノミー市場の拡大と幅広い産業へのインパクト



コストは、一九九〇年と比較して百万分の一以下に低減したと言われており、生物の遺伝情報が加速度的に蓄積されつつある。一方、バイオ領域では、生物プログラムを意図的に操作できる二つの技術、「ゲノム編集」と「DNA合成」が出現した。「ゲノム編集」はプログラムの一部を書き換える技術、「DNA合成」はプログラムをゼロから書く技術である(以下、「ゲノム編集」と「DNA合成」を総称して、「ゲノム技術」という)。

生物学とプログラミングが完全に融合することで、生物を「観察し、知り、解析する」時代から、生物を「デザインし、利用する」時代へとパラダイムシフトが起こった。さらに、この潮流を決定的に加速させた要因に、いわゆる第四次産業革命がある。IoT(モノのインターネット)、ビッグデータ、AI(人工知能)、ロボティクス分野での技術革新により、デジタル化や自動化の技術が驚異的に進展し、膨大かつ複雑な生物資源情報を一層効率的に扱えるようになった。

このような技術革新により、バイオ領域における破壊的イノベーションが極めて現実的となってきた。例えば、これまで大規模な化学プラントで合成・精製されていた化学品を微生物によって効率的に生産させる「生物工場」の出現である。化学プラントよりもコスト優位な「生物工場」が実現すると、既存の製造業のサプライチェーンは抜本的に変化することになる。これが、第五次産業革命とも呼ぶべき「デジタル×バイオ」の姿である。

### 破壊的イノベーションの予感と変革を迫られる産業・企業

図②にいくつかの事例を取り上げた。「デジタル×バイオ」の進展によって、ホワイトバイオ、グリーンバイオ、レッドバイオの分野を問わず、さまざまな可

能性が生まれていることが分かる。グリーンバイオ分野では、一〇〇%植物由来の原料で作られた人工肉や、受粉しなくても実がなるトマトなどが開発されている。受粉を不要とする技術は、トマト以外の作物にも応用可能と考えられており、植物工場での農作物生産の道が拓けるかもしれない。

新しい技術は、人類の欲望をより効率的かつ効果的に満たすことが期待される。かつて石油とプラスチックが産業・企業のあり方を劇的に変えたように、「生物工場」で生産する新素材や、ゲノム技術によって生み出される農作物、治療薬・診断ツール等が、あらゆる産業・企業に変革を迫る可能性がある。その一方で、生物が持つ潜在能力は極めて多様で未知の領域が広大であり、デジタルテクノロジーとバイオテクノロジーの融合が生み出す変化を全て予測することはできない。

グリーンバイオを例にとろう。農作物や水産物、木材など一次製品の生産地は消費地から遠く離れた場所、例えば米国の小麦畑や北大西洋の漁場である。そのため、消費者に届くまでのサプライチェーンは極めて長く、多大な流通コストがかかっている。しかし、最先端のバイオテクノロジーを使えば、冷蔵庫のボトルの中で簡単にビールを造る酵母菌や、ペランダのプラントナーで高い収量を得られるトマト種の開発などが、少なくとも理論的には可能である。最

終製品の形で産地から遠路はるばる輸送するのではなく、種子や菌という小さくて軽い形態で流通させるほうが圧倒的に低コストである。従って、バイオエコノミーが実現された際には、既存企業の競争優位の源であったサプライチェーンとそれを支えるインフラがもつ価値が、大きく毀損（破壊）される可能性が高い。

技術革新によって生まれる新製品の品質が、既存のものより少し劣っていたとしても、生産量の増大につれて改善が進み、やがて追いつくと考えられる。そして、新製品は、従来とは全く異なるサプライチェーンによって消費者に提供される可能性が高い。ハーバード大学のクリステンセン教授が提唱した、破壊的イノベーションの実現である。

一方、最先端の技術を産業に応用することは、未知の危険性を伴う。医療への応用には、倫理面の問題もある。実際には、遺伝子組み換え食品（GMO）は法規制されてきた。しかし、米国ではすでに「ゲノム編集」で生まれた農作物はGMOではないとされている。日本においても、本年十月、「ゲノム編集」技術で開発した食品の販売届け出制度の運用が開始された。これによって、狙った遺伝子を壊して特定の機能をなくした「ゲノム編集」食品は、届け出のみで販売できるようになり、安全性審査は不要になる。早ければ年内にも、一部の

図2 「ゲノム技術」が幅広い産業にもたらす多様な可能性



「ゲノム編集」食品の流通が始まる見通しである。今後、技術革新に応じた法制度の整備が進めば、既存市場を支配するプレイヤーの顔ぶれは大きく変わってしまうかもしれない。

いま企業が行っていくべきこと

大きな変革期を迎えつつあるいま、企業

は何をすべきだろうか。「まずは知る」ことである。例えば製造業の経営者は、既存の製造プラントが生物工場に代替されたとき、現有の設備や生産技術といった資産が一気に陳腐化するリスクをどれだけ当事者意識を持って想定しているだろうか。あるいは、破壊的イノベーションに對峙することを決意し、バイオテクノロジーを活用した新規事業を志向したとしても、ゲノム技術の基礎特許を保有する企業や大学等への莫大なロイヤルティー支払いで、新規事業の採算がとれないリスクがあることを認識しているだろうか。そのような事態に備えるためには、特許権者との間でのクロスライセンスに値する独自技術を開発するか（これは多くの中小企業にとつて極めて困難だろう）、特許権者と互いの強みを活かしか合う戦略的なパートナーシップを構築しておく必要がある。

次に、バイオエコノミーの本質を「知った」後に、何をすべきか。実際にバイオエコノミー市場に参入し、「ひとまず取り組んでみる」べきである。その際、もちろん自社の独自性や強みを活かすことは必要だが、全てにおいて自前主義に拘る必要はない。事業企画（ニーズの探索）や販売は自社が担い、研究開発は大学との共同研究

や大企業との戦略的提携といった具合に、外部のエコシステムを活用したオープンイノベーションのほうが、コスト・スピード・品質の側面でも有利になることもある。

そして、市場参入にあたっては、明確に「目的を定める」ことが重要である。目的は新製品の共同開発なのか、新しいニーズやウオッチの探索なのか、それとも自社の事業を破壊する可能性がある新しい技術の監視なのか、その他の戦略的または経済的な目的なのか。この目的は、自社のビジネス環境や、強みと弱み、戦略的なゴールによって変わるだろう。加えて、バイオエコノミーの世界は日進月歩なので、最初に設定した目的には、後から変えられる柔軟性を与えるべきである。実際に行動する中でさまざまな学びがあるはずなので、その都度、軌道修正していけばよい。

### 中小企業でも取り組める

バイオエコノミーの潮流を商機と捉え、独自の技術とアイデアで新規事業に取り組んでいるバイオベンチャーの事例を紹介したい。オーピーバイオファクトリー(株)(沖縄県うるま市。以下、OPバイオ)は、代表取締役である金本昭彦氏が、前職の海洋環境調査会社で培った技術を基盤として、二〇〇六年二月に創業した中小企業である。もともとは、金本氏の専門である海洋を

中心にした天然生物資源の探索に強みを持つスタートアップであり、生物多様性に富んだ沖縄県をメインフィールドとして、海洋生物、陸上植物、海洋・陸上微生物、微細藻類等の天然物ライブラリーを保有している。その一方で、バイオエコノミーの勃興を受け、地元の琉球大学(安全性評価等)や神戸大学(育種等)との共同研究や、国内最大手の食品会社との資本・業務提携など、外部との効果的な協力関係によって、天然物由来の有用化合物(候補物質)の分析・同定から、物質生産・原料供給へと事業範囲を拡大してきた。

近年同社は、自社の微細藻類ライブラリーの中から健康食品・化粧品向けの有望素材である Pavlova (「パプロバ」。商品名)を見出した。Pavlova の特徴は、抗肥満、抗糖尿病関連の機能性で注目度の高いフコキサンチンや、血液中のコレステロールや中性脂肪を減少させ血液循環の改善に有効な不飽和脂肪酸(DHA、EPA)の含有量が非常に高いことである。加えて、栄養成分は六十一種類以上と、他の微細藻類健康食品素材(クロレラ、スピリリナ、ユーグレナ)に比べても多いことが分かっている。

その成分特性から、アンチエイジング領域での機能性が期待できるスーパーフード候補と見られており、一九九年度末に健康食品市場に投入すべく、国内初となる屋外ガ

ラスチューブ式フォトバイオリアクター(微細藻類屋外培養設備)を中心とするバイロットプラントを構築し、大量培養・精製技術の確立を急いでいる。さらには、神戸大学との共同研究等を通じて最先端のゲノム技術を活用した第二、第三の新製品開発にも精力的に取り組もうとしている。

\*

冒頭で述べたように、日本にはバイオテクノロジー先進国としての古くからの歴史がある。そして、中小企業であってもOPバイオのように、自社の独自性と強みを活かしながら、大学との共同研究や大手企業との戦略的提携といった外部のエコシステムを上手く活用することで、バイオエコノミー市場に参入することができる。バイオテクノロジー分野で日本が蓄積した技術や多様で柔軟な中小企業の個性をもつてすれば、日本の中小企業もバイオエコノミー市場を必ずや開拓できるはずである。

いずれにしても、他社よりも「生みの苦しみ」を「早く」味わったものだけが商機をつかむことができる、大きな時代の転機であることだけは確かであろう。

謝辞…本稿の一部は、A. T. カーニー(パートナー) 井上真氏、同(プリンシパル) 濱口典久氏、神戸大学(教授) 近藤昭彦氏と筆者による共著論文「知られざるゲノム技術の衝撃」の内容に依拠したものであり、本稿での利用に快く同意してくれた共著者各位に深謝する。