

〈特集論文〉

# 食のものづくりの改革、フードテックの現状

石川 伸一

## 1. はじめに

「新しい食」をつくる技術はフードテックとよばれ、さまざまなテクノロジーが食の分野にイノベーションを引き起こしている。人口増加などに伴うタンパク質の需要増加を満たすために、培養肉や植物性代替肉の開発が激化している。また、3Dフードプリンターによって、栄養面、機能面、嗜好面が反映された個別化食が生み出される可能性がある。しかし、フードテックの今後の発展や社会実装には、科学と技術の融合や人の心理、思想、文化、価値観への配慮などが必要であり、それらがうまく解決されることが必要である。

## 2. SF 食の登場

昔のSFの物語の世界で見たような未来的な食が、すでに手に届くところに迫ってきている<sup>1)</sup>。食料不足や環境問題、ウェルビーイングなど、人間が抱える課題を解決するためのさまざまな新しい食の開発が進んでいる。たとえば、都市でも食料を効率的に栽培できる「バーティカル・ファーミング（垂直農法）」や、細胞を培養して食肉とする「培養肉」の開発などが進んでいる。第4次産業革命とよばれるサイバーフィジカルシステムを基にした製造業の革命が食の分野でも起こり、リアル空間とデジタル空間が融合したスマート化やロボット化も急速に進展してきている。

## 3. フードテックによる食のアップデート化

新しい食の技術は、現在「フードテック (FoodTech)」とよばれている。フードテックとは、フード (Food) とテクノロジー (Technology) を掛け合わせた言葉で、最先端のさまざまなテクノロジーを食の分野に活用することとされる。具体的には、培養肉、植物性代替肉、3Dフードプリンター、全自動で料理を作るロボット、AI (人工知能)・IoT (モノのインターネット) を活用した調理機器、さらに個人に最適化したテーラーメイド食など、さまざまなテクノロジーが食の分野に登場、応用されはじめている。フードテックが担う領域は食材の生産から消費、さらにその周辺を含むフードシステムとよばれる幅広い分野に及んでいる<sup>2)</sup>。フードテックの分類とその具体的な事例を図1に示す。

## 4. フードテック勃興の背景

フードテックが注目される背景に、年々増え続ける世界の人口がある。人口増加にともなって食料需要が増し、なかでも問題となるのがタンパク質である。最大の供給源である従来の畜産では持続可能な生産が難しく、しかも拡大すれば温室効果ガスの排出を増やしてしまう可能性がある。

また、もうひとつの大きなタンパク質供給源である水産物については、多くの魚種で資源の枯渇が懸念されている。こうした状況のなかでも、食料生産の持続可能性を実現し、世界の人々の需要は満たしていかなければならず、その解決策として期待されているのがフードテックである。

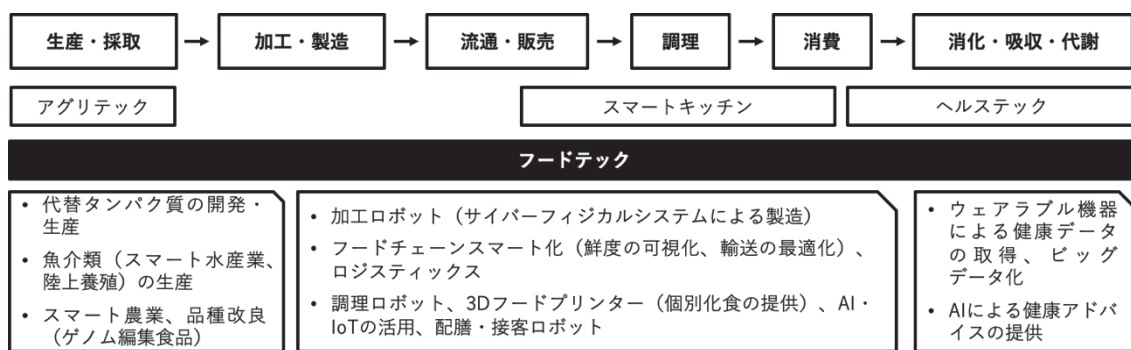


図1 フードテックの分類と具体的な事例

表1 フードテックによる「新しい食」の例

タイプ	代替肉・魚介類		代替乳・卵製品		昆虫食	微生物利用食	藻類利用食
	植物由来	培養細胞由来	植物由来	培養細胞由来			
内容	大豆、エンドウ豆、緑豆など豆類の植物性原料などを使って、畜肉の風味や食感を再現した加工食品	牛、豚、鶏、サーモン、ブリ、エビなどから採取した細胞を大量培養し、立体的に整形したもの	植物性原料のみを使い、乳製品、卵製品の代替品として作られた加工食品（豆乳、アーモンドミルクなど）	微生物による発酵技術を用いて、乳・卵成分を生産したものや、細胞を用いて人工的に特定成分を生産したもの	コオロギ、ミルワーム、バッタなどの昆虫を原料として作られた加工食品	麹菌などの微生物が発酵したものを整形し、代替タンパク質源としたもの	クロレラ、ユーグレナ、スピルリナなどの微細藻類を大量培養し、タンパク質源としたもの

フードテックはほかにもヴィーガンやベジタリアン、あるいは宗教上の規律によって食べるものが制限されている人への対応策や、食の生産現場における課題や飲食店の人手不足などの解決策にもなり得ると考えられている。

## 5. 代替肉の開発

現在、最も注目されているフードテックの分野が、国内外のスタートアップ企業などによってし烈な開発競争が繰り広げられているタンパク質食品の開発であり、特に培養肉や植物性代替肉がその代表格である<sup>3)4)</sup>。培養肉の製造は、家畜や魚介類の細胞を元にして人工的に培養し、増やしていくものである。それに対し、植物性代替肉は、豆類などに含まれているタンパク質を加工し、ハンバーグのように利用するものである。他にも藻類や微生物由来のタンパク質を使って肉様のものを作る技術なども盛んに開発されている。代替タンパク質の分類を表1に示す。

食肉を細胞培養によって得る考え自体は昔からあったが、社会的に大きな脚光を浴びたのは、オランダのマーストリヒト大学教授、マーク・ポストによって開発された世界初の「培養肉バーガー」の試食会が行われた2013年であった。この培養肉バーガーの価格は、1年間にわたる研究費を含めて約3,250万円（25万ユーロ）であり、培養肉が食用になり得ることは示したものの、実用化されるにはコストの問題をクリアする必要がある。

その後、培養肉製造を目指すスタートアップ企業が数多く誕生し、2020年12月には、サンフランシスコを拠点とするイートジャスト社が製造した培養肉が、シンガポールで世界初の一般販売を許可された。イートジャスト社はシンガポールの規制当局と交渉を重ね、規制当局側は食品毒性学や栄養学、疫学、食品科学、食品技術、公衆衛生政策、バイオインフォマティクスの専門家を集めて、製造におけるすべての工程を評価した結果、培養肉は食用とするのに十分安全だとの結論を出した。実際に販売が開始されたのは、鶏の羽根の細胞にアミノ酸やブドウ糖、ビタミンなどの栄養源を与え、培養されて製造

されたチキンナゲットで、シンガポールの会員制レストランで提供され、価格は一皿約1,800円である。

培養肉の社会的な普及にはまだ課題が多くあり、その形をいかに家畜の肉のように3D化（三次元化）することや大量に培養することといった技術的な課題だけでなく、国の法規制や一般の消費者が抱く培養に対する心理的な抵抗感をいかに払拭できるかなどが鍵といわれている。

これに対して、植物性の代替肉は、国内外の新興のスタートアップ企業だけではなく、大手食品メーカーも参入するようになり、普通の加工食品としてスーパーマーケットの食品売り場にすでに並んでいる。植物性代替肉は、食習慣、食経験があるという点で培養肉と比べてアドバンテージがあるといえる。

## 6. 3Dフードプリンターによる個別化食の開発

3Dフードプリンターに注目が集まるきっかけになったのは、2013年にNASAが、3Dフードプリンターを開発する企業に多額の助成金を提供したことであった。その内容は、3Dプリント技術とインクジェット技術を使い、インクジェットカートリッジに乾燥したタンパク質や脂肪などの主要栄養素や香料などをセットして、ピザなど、さまざまな形や食感の食べものを出力するというものであった。NASAが着目したのは、食を3Dで“プリントアウト”する技術が、宇宙に長期滞在する飛行士向けに役立つのではないかという点である。

食事は、単なる栄養摂取だけではなく、味わうことで精神的な満足が得られ、人々のパフォーマンスの維持・向上につながるという側面がある。この食べておいしいと感じることに、テクスチャーは重要な働きをしている。3Dフードプリンターの大きな特徴は、食を立体的に作れることであり、それは多種多様なテクスチャーの食品を生み出せる可能性があるということである<sup>5)</sup>。

また、3Dプリンターは、複雑な立体構造を容易に作ることができることにくわえて、「誰でもどこでも作ることができる」というメリットも有している。つまり、宇宙空間という限られた場所、宇宙飛行士

という限られた人、限られた食材という“とことん限られた状況”であっても、3Dフードプリンターであれば食事を作れるということである。このような状況は、宇宙に限らず、地球上の被災地や貧困地などにも当てはまる。将来的に、緊急事態に対応する3Dフードプリンターを持ち込んで、食事を作るといった利用法も考えられる。「現場で最も必要なものを、最も適切なタイミングで供給する」という3Dプリンターの特性が、食の分野においても、社会を大きく変える可能性がある。

さらに、3Dフードプリンターのメリットは、三次元のものが作れるという点だけではない。これから先、遺伝子診断により一人一人の欲する栄養素や疾病リスクが分かるようになれば、個々人に合わせた「個別化食」を作ることができる<sup>6)</sup>。食べる人の年齢や性別、遺伝情報、病気の有無など個人のデータと、そのとき食べたい好みのフードデータを3Dフードプリンターに入力するだけで、栄養面、機能面、嗜好面が反映された究極のテーラーメイド食が生み出される可能性がある。

## 7. 新しい食をつくるための科学と技術

代替肉や3Dプリンターによる個別化食は、食の生産、製造、流通などを変え、さらに私たちの身の回りの食生活全体をも大きく変革し、最終的には私たちの身体や健康、さらには、家族団らんや個人のアイデンティティなどの心にも影響を及ぼしていくのではないかと考えられる。将来、私たちが何を食べるか、何を食することができるかは、これからの食の新しい技術、そしてそれを支える科学にかかっているとみえる。

そもそも科学と技術とは何であろうか。広辞苑によれば、科学は体系的で経験的に実証可能な知識であるのに対し、技術は物事を巧みに行う技、科学を実地に応用して自然の物事を改変・加工し、人間生活に役立てる技である。世の中を見渡せば、テクノロジーが先行し便利なものが生まれている一方で、サイエンスはあくまで知識であり、私たちの生活に直接的には役に立たないといえる。現状、テクノロジーだけの開発は試行錯誤しなければいけないので時間がかかる、あるいは新しいブレークスルーが生まれにくいといった課題がある。食のイノベーションを引き起こすには、テクノロジーとサイエンスをうまく融合させることが一層求められる。

イギリス出身のSF作家、アーサー・C・クラークが定義したとされる「クラークの三法則」というものがある。その第3法則に「Any sufficiently advanced technology is indistinguishable from magic. (十分に発達した技術は、魔法と見分けがつかない。)」という言葉がある。未来に発明される

かもしれないテクノロジーを予想するとき、現時点でその可能性や限界を明確に示すことは非常に困難である。未来において発明されるかもしれない斬新なテクノロジーは、その斬新さゆえに、現時点で存在している価値観の延長上では、なかなか理解されにくいからである。そのため、現在予測することができる未来の食は、まるでSFや魔法のように扱われ、「ありえない」で切り捨てられるおそれがあることはあらかじめ念頭に置いたほうが良いかもしれない。

## 8. 新しい食をつくる技術の進化

食の未来は、食べものをつくる「テクノロジーの未来」に大きく依存するであろう。たとえば、新しい調理技術、新しい調理機器などの登場によって新しい料理が誕生することはこれまでの料理の進化を振り返ればよくあることである。まずは、食の未来のいわば前提となる「食のテクノロジーの進化」について目を向けてみよう。米国『WIRED』誌の創刊編集長であったケヴィン・ケリー氏は、その著書『テクニウム』の中で「テクノロジーは生物学と同じような方法で理解できる」と語っている。

生物の進化の特徴として、徐々に「複雑化」していることが挙げられる。生物個体の進化をざっくりと見ていくと、まず「自己複製する分子」から始まり、それがもっと複雑な構造をもち、自己維持できる「染色体」へ移行し、さらに「原核生物から真核生物」へと複雑化してきた。この生物個体の複雑さに加え、生物種の「多様化」も進んだ。実際、地球上に生存している生物の種の数は、過去6億年の時間を経て、劇的に増加している。地球の歴史のある時期には、小惑星の衝突などがあり、多様性を後退させることもあったが、全体的に見れば、多様性は広がっている。現在の生物の分類学上の多様性は、2億年前の恐竜時代に比べて約2倍となっている。

テクノロジーの進化でも、生物学の進化と同じような傾向を見てとれるとケリー氏は語っている。たとえば、最もシンプルな調理道具である「包丁の進化」を考えてみよう。まず石器時代に、黒曜石を割ったものが包丁の原型であり、その後、それを手で握るための柄が付き、さらに刃の材質は、青銅、鉄、鉄鋼、炭素鋼、ステンレス鋼、モリブデン鋼などへと変わった。さらに、形も和包丁、洋包丁、中華包丁などをはじめ、現在、多様な包丁の種類が存在する。その包丁の“進化”の過程で、ピーラー、スライサー、チョッパーなどの切る道具も登場してきた。比較的シンプルな調理道具の包丁ですら、それは生物の進化のように、複雑化、多様化してきた。刃を丈夫なものにし、かつ鋭く研ぐにも、それぞれの技術の進化があって成し遂げることができるものである。



テクノロジーは今後も、生物の進化のように複雑性、多様性をますます増していくであろう。そして、その進化にともない、未来の食もより複雑化、多様化するであろうと予想される。

## 9. 新しい食の社会受容

食のテクノロジーであるフードテックを社会実装するにあたり、その科学・技術の発展が前提にあるが、新規開発食品が消費者に受け入れられるかという受容性の課題が大きく立ちはだかっている<sup>7)</sup>。車や携帯電話など他分野のテクノロジーは、新しいものが比較的受け入れられやすい傾向にあるが、食のテクノロジーの受容は、食べる人の心理、思想、文化、価値観などの影響がかなり大きく、フードテックが生み出す新規開発食品の社会的受容の予測は極めて難しいといえる。

異質な食に出会った時、人はそれを自らの食として受け入れるか拒絶するかを決める。日本人が食の違いに遭遇した歴史的な例のひとつは、明治期の文明開化の際に人々の間で牛肉を使った「牛鍋」が大流行した時である。牛鍋は、従来あった牡丹鍋などといった調理法にそれまでなかった食材である牛肉を具として取り入れることで、料理に新規性を取り入れつつ、一方で、食の保守性、すなわち食文化という連続性は維持されていた。フードテックによる新しい食も、牛鍋と同じように既存の料理との融合などが重要であろう。たとえば、これまで食文化の流れにある“伝統的”な「料理」とテクノロジーによる“革新的”な「食品」の組み合わせから、食の受容性を調べるアプローチもあるだろう。

## 10. おわりに

人が求める食は、食材や調理法などが限られている場合、選べるものは限定されるが、食のサイエンスとテクノロジーの発展は、その制約を解消し、選択肢の幅を広げ、それによって、自分の価値観により合った食べものを選ぶ機会が増えていくであろう。ブリア＝サヴァランのいった「ふだん何を食べているのか言ってみなさい。あなたがどんな人だか言ってみせましょう」という言葉は、過去や現在よりも、価値観の多様化が顕著にあらわれ、テクノロジーが駆使された多種類の食べものがより自由に選べる未来の世界で、よりいっそう重みのある言葉となるであろう。

## 参考文献

- 1) 石川伸一、「食べること」の進化史 ～培養肉・昆虫食・3D フードプリンタ～、光文社 (2019)
- 2) 田中宏隆、岡田亜希子、瀬川明秀：フードテック革命、日経 BP (2020)
- 3) 石川伸一、「食」の未来で何が起きているのか～「フードテック」のすごい世界～、青春出版社 (2021)
- 4) 竹内昌治、日比野愛子：培養肉とは何か？、岩波書店 (2022)
- 5) 古川英光、貝沼友紀、川上勝、3D フードプリンター開発の現状と未来、食品と開発、55(11)、10-13 (2020)
- 6) 石川伸一、ヘルス・フードテックによる個別化食の未来、臨床栄養、142(1)、28-31 (2023)
- 7) 石川伸一、「新規開発食品」の受容拡大を模索する ～消費者との対話の深化に向けて～、Bioscience & Industry、81(4) 359-360 (2023)

---

いしかわ・しんいち

(宮城大学 食産業学群 教授)