国立国会図書館 調査及び立法考査局

Research and Legislative Reference Bureau
National Diet Library

論題 Title	第 1 章　フードテック総論
他言語論題 Title in other language	Chapter 1 General introduction to food tech
著者 / 所属 Author(s)	石川　伸一（ISHIKAWA Shin-ichi）／宮城大学食産業学群教授
書名 Title of Book	フードテック―「食」を変える先端技術の課題と可能性― 科学技術に関する調査プロジェクト報告書
シリーズ Series	調査資料 2024-6（Research Materials 2024-6）
編集 Editor	国立国会図書館 調査及び立法考査局
発行 Publisher	国立国会図書館
刊行日 Issue Date	2025-3-28
ページ Pages	1-29
ISBN	978-4-87582-939-3
本文の言語 Language	日本語（Japanese）
摘要 Abstract	フードテックとは、生産から加工、流通、販売、消費等へとつながる食分野の新しい技術及びその技術を活用したビジネスモデルのことである。本章では、その端緒、施策、将来予測等を概観する。

＊ この記事は、調査及び立法考査局内において、国政審議に係る有用性、記述の中立性、客観性及び正確性、論旨の明晰（めいせき）性等の観点からの審査を経たものです。

＊ 本文中の意見にわたる部分は、筆者の個人的見解です。

国立国会図書館
National Diet Library, Japan

第 1 章　フードテック総論

【要　旨】
フードテックは、生産から加工、流通、販売、消費等へとつながる食分野の新しい技術及びその技術を活用したビジネスモデルのことである。フードテックはアグリテック、スマートキッチンやヘルステックの一部も含む。フードテック勃興の背景は、タンパク質危機や人手不足への対応といった社会面、SDGs や気候変動のリスクといった環境面、ベンチャーキャピタル投資といった金融面、ビーガン・ベジタリアン食への対応、健康意識の増加といった消費面等、多岐にわたる。フードテックの基盤技術は大きく二つあり、一つは仮想空間と物理空間を高度に融合させたサイバーフィジカルシステム、もう一つは食料生産、新規食品開発に関わるゲノム編集といったバイオテクノロジーである。フードテックは、マクロ環境の変化や、個々人の食への価値観の多様化等、多くの複合的な課題を解決するものとして期待されている。

はじめに

2010 年代の米国のカリフォルニア州で始まった、食と先端テクノロジーを組み合わせた「フードテック」が、大きく注目されるようになった。現在、食料安全保障といった食に関する様々な課題の解決や、個々人の食への価値観の多様化への対応として、社会のフードテックへの期待が高まっている。

Ⅰ　フードテックとは何か

1　クロステックの中のフードテック

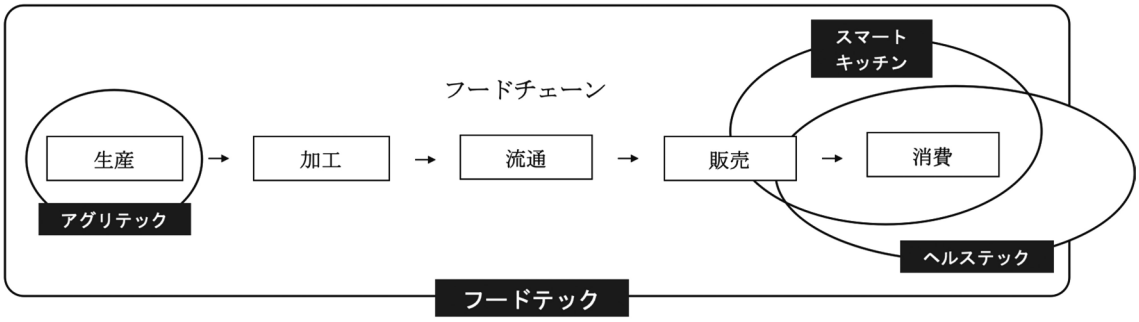
2010 年代半ばから「クロステック」（X-tech）という言葉が使われるようになった。クロステックとは、既存のビジネスと AI（人工知能）（IV-2 (2) で後述）やビッグデータ、モノのインターネット化である IoT（Internet of Things）（IV-2 (1) で後述）等といったデジタル技術の先端的なテクノロジーを結びつけて生まれた新たな製品やサービス、あるいはその取組を通じて新しい価値や仕組みを提供する活動のこととされる。具体的な例として、テクノロジーを用いて新たな金融サービスを生み出す「フィンテック」（FinTech）、広告配信の最適化等を行う「アドテック」（AdTech）、教育にテクノロジーを活用する「エドテック」（EdTech）等がある。様々な業界や分野で、情報分野のテクノロジーを用いた新たな取組が進んでいる。

食品の分野では二つのクロステックが立ち上がっている。食料生産の農業分野の「アグリテック」（AgriTech）とフードチェーンの広範囲をカバーする「フードテック」（Food Tech）である。フードテックに関する厳密な定義は定められていないが、農林水産省のフードテック官民協議会においては、「フードテックは、生産から加工、流通、消費等へとつながる食分野の新しい技術及びその技術を活用したビジネスモデルのことである。」とされている[(1)]。そのため、フードテックはアグリテックの分野である食の生産分野を含む概念となっている。

＊ 本稿におけるインターネット情報の最終アクセス日は 2025（令和 7）年 2 月 28 日である。
(1)　フードテック官民協議会「フードテック推進ビジョン」2023.2.21, p.1. 農林水産省ウェブサイト <https://www.maff.go.jp/j/shokusan/sosyutu/attach/pdf/index-19.pdf>

さらに、キッチン周辺で使われる調理機器等がインターネットとつながった「スマートキッチン」や、人の健康に関わるビッグデータ解析や健康アドバイス等に関連した「ヘルステック」（HealthTech）の一部もフードテックの一分野として扱われることもある。図 1 に食材の生産、加工、流通、販売、消費というフードチェーンとフードテック等の関係を示す。

図 1　フードチェーンとフードテック等の関係



（出典）筆者作成。

2　フードテックの分類

フードテックには、植物工場、垂直農法（水耕栽培等の装置を垂直方向に積み重ねた面で、野菜や果物等を生産する方法）、植物性代替肉、培養肉、ゲノム編集食品、スマートフードチェーン、リテールテック（小売業に IT 技術を導入すること）、3D フードプリンター、全自動で料理を作るロボット、AI・IoT 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といった様々なテクノロジーが含まれる。フードテックが担う領域は、フードチェーンとその周辺を含むフードシステム全体に及んでいる。表 1 にフードテックの分類とその具体的な事例を示す。

表 1　フードテックの分類と具体的な事例

大分類	小分類	具体的な例
生産	農業	植物工場、垂直農法、スマート農業、農業ロボット、アグリテック
	水産業	スマート水産業、陸上養殖
	代替タンパク質	植物性代替肉、培養肉、菌糸体食品、藻類食品、昆虫食
	品種改良	遺伝子組換え、ゲノム編集
	発酵	バイオマス発酵、精密発酵
加工		加工ロボット、センシング技術、IoT、AI
流通		スマートフードチェーン、スマートコールドチェーン、次世代冷凍技術
販売		レストランテック、リテールテック、調理ロボット、配膳・接客ロボット
消費		スマートキッチン、AI 家電、キッチン OS、3D フードプリンター、テーラーメイド食、ヘルステック

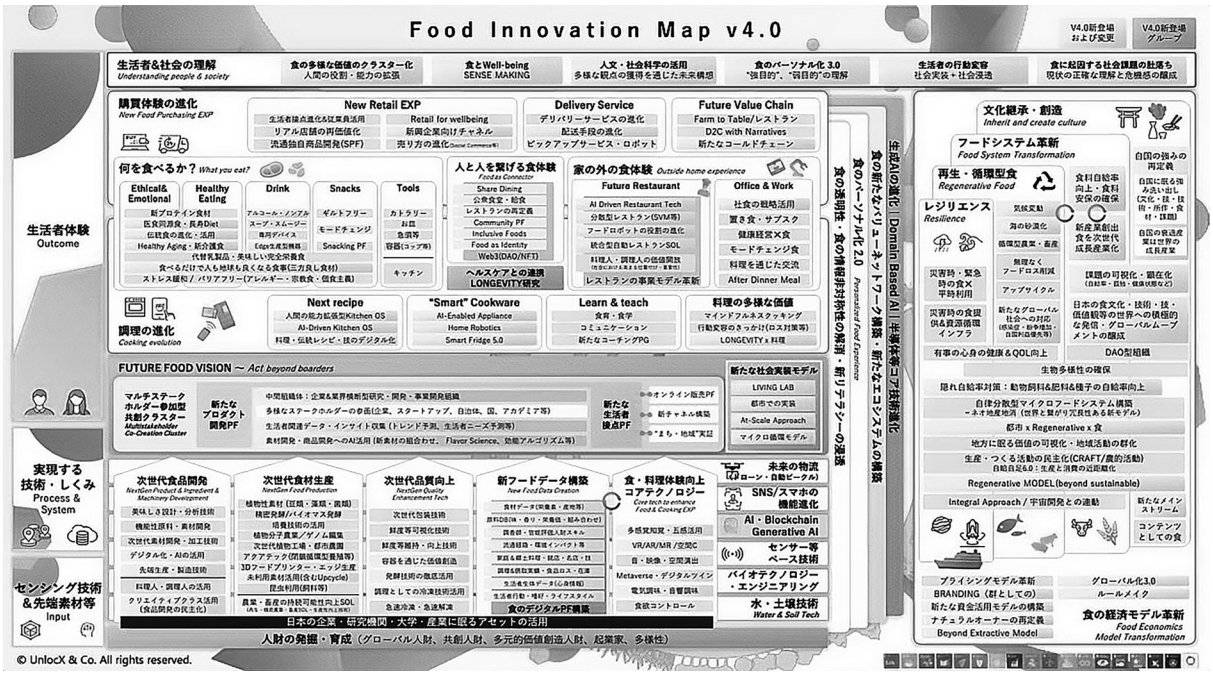
（出典）筆者作成。

また、フードテックが関わる分野全体を分かりやすく図解するものの一例として、コンサルティング会社である株式会社シグマクシス（東京）は、食に関するイノベーションの全体像を把握できる「Food Innovation Map」（フードイノベーションマップ）を作成してきた。フード

イノベーションとは、食産業における技術革新や新しいビジネスモデルの創造等、食に関するあらゆる革新のことを指している。

2024 年 10 月には、世界中から食に関わるイノベーターが結集する日本国内最大のフードテックイベントである「Smart Kitchen Summit Japan 2024」において、シグマクシス社の担当者が独立し新しくイベントの主催者となった株式会社 UnlocX（東京）が、最新版の「Food Innovation Map 4.0」を発表した（図 2）。バージョンアップされたマップでは、生成 AI の活用やフードデータ構築を食材生産や食品開発に役立てるとともに、日本の食文化を活用する等の自国の強みを再定義する動きが加わった。

図 2 「Food Innovation Map v4.0」（UnlocX）



（出典）「Food Innovation Map v4.0」株式会社 UnlocX ウェブサイト <https://unlocx.tech/sksj2024/conts/wp-content/uploads/2024/10/FOOD-Innovation-Map-4.0.pdf> から作成者の許諾を受け転載。

Ⅱ　フードテック勃興の背景

食と先端テクノロジーを組み合わせたフードテックが大きく注目されるようになった背景は、社会面、環境面、金融面、消費面等、多岐にわたる。具体的には、人口増加、環境保全、ベンチャー投資といった世界的なマクロ環境の変化や、健康意識の増加、ビーガン（完全菜食主義者）・ベジタリアンへの対応等の個々人の食への価値観の多様化等、フードテックは多くの複合的な課題を解決するものとして期待されている。

1　フードテックはどのように始まったのか

世界的に見て、フードテックが最初に注目されたのは、2010 年頃の米国のカリフォルニア州である。カリフォルニア州政府は、長年にわたって農業や食料に関する研究支援プログラムを実施し、シリコンバレーのスタートアップ企業に期待してきた。具体的には、植物性のタン

パク質で作ったハンバーガー、卵を使わないマヨネーズ、微生物を使って乳や卵成分を再現した製品、牛の筋肉細胞を培養し、3D プリントしたステーキ肉等が盛んに研究された。さらに完全無人レストランや、ディープラーニングのアルゴリズムを利用して個別化された食事の提供等も考えられた。フードテックに関連するカリフォルニア州発のスタートアップ企業の例を表 2 に示す。

表 2　カリフォルニア州発のフードテック関連企業

会社名	事業内容	創立	本社
Beyond Meat	植物性代替肉の製造・開発	2009 年	カリフォルニア州エルセグンド
Impossible Foods	植物性代替肉の製造・開発	2011 年	カリフォルニア州レッドウッドシティ
Eat Just	卵製品の植物由来代替品や培養肉製品の開発と販売	2011 年	カリフォルニア州アラメダ
Perfect Day	乳タンパク質の精密発酵	2014 年	カリフォルニア州バークレー
UberFRESH（注）（後の Uber Eats）	オンラインフード注文・配達プラットフォーム	2014 年	カリフォルニア州サンフランシスコ
eatsa（現 Brightloom）	無人レストラン、レストラン運営者向けの高度な顧客分析プラットフォーム	2015 年	カリフォルニア州サンフランシスコ
Memphis Meats（現 Upside Foods）	培養肉の生産	2015 年	カリフォルニア州バークレー

（注）　サービス名。会社名は Uber Technologies。
（出典）筆者作成。

これらの企業が生まれたのは、カリフォルニア州が、①農業と農産物加工業の歴史的な中心地であったこと、②多くの大学と研究施設が集積していたこと、③ GAFA（Google 社、Apple 社、Facebook 社（現 Meta 社）、Amazon 社）を中心とするベンチャーキャピタル投資が盛んであったこと[2]等が要因であると思われる。

2　フードテック勃興における社会面の要因

日本でフードテックが注目されるようになった社会面での要因には、世界人口の増加や世界全体におけるタンパク質危機といった課題や、特に日本国内における食料安全保障や人手不足への対応等がある。

(1) 世界人口の増加

人口増加は食料問題と密接に関連しており、世界的な食料需給のひっ迫が懸念されている。2024 年 7 月に発表された国連経済社会局による『世界人口推計 2024 年版』によると、世界の人口は、今後 60 年間で増加し、2024 年の 82 億人から 2080 年代半ばには 103 億人でピークに達する見込みであるとされている[3]。その後、今世紀末までに 102 億人になると推計されている[4]。

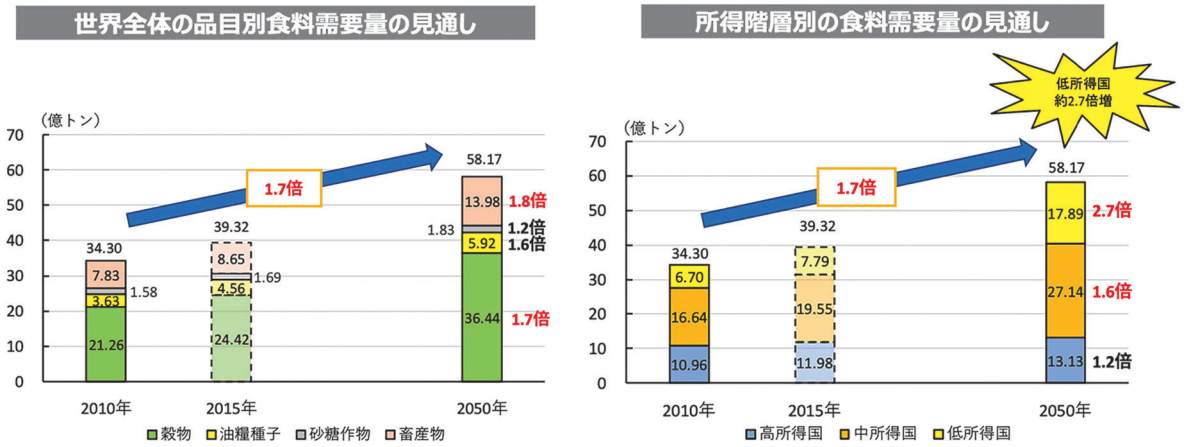
(2)　ジル・フュメイ, ピエール・ラファール（土居佳代子訳）『食物の世界地図―起源・歴史・交易・文化―』柊風舎, 2021, p.205.（原書名 : Gilles Fumey et Pierre Raffard, *Atlas de l'alimentation*, Paris: CNRS éditions, 2018.）
(3)　「世界の人口は今世紀中にピークを迎える、と国連が予測（2024 年 7 月 11 日付国連経済社会局プレスリリース・日本語訳）」2024.7.22. 国際連合広報センターウェブサイト <https://www.unic.or.jp/news_press/info/50542/>
(4)　同上

また、国連食糧農業機関（Food and Agriculture Organization: FAO）は、人口増による食料需要増に対応するため、2050 年の農業（食料・飼料・バイオ燃料）の生産量を 2012 年の水準より 50% 以上増加させる必要があると予測している[5]。アジア・アフリカを中心とした世界人口の増加に伴い、グローバルな食料需要の増加が確実視され、食料供給に対するプレッシャーが高まっていることが、フードテックといった最新テクノロジーへの期待が集まっている大きな要因の一つである。

(2) タンパク質危機

日本の農林水産省によると、世界の食料需要量は、2050 年には 2010 年比 1.7 倍（58 億トン）となり、畜産物は 1.8 倍、穀物は 1.7 倍、油糧種子は 1.6 倍になると考えられている（図 3 左）[6]。また、人口増加や経済発展を背景に、低所得国の食料需要量は 2.7 倍に、中所得国でも 1.6 倍に増加すると予想されている（図 3 右）。低・中所得国が経済発展すると、嗜（し）好の変化（パンやコメなどの炭水化物から肉や魚介類等のタンパク質へ消費がシフトすること）により畜産物や魚介類の需要が高まると考えられる。肉や魚は三大栄養素の一つであるタンパク質の重要な供給源である。そのため、今後、食料の安定供給の一環として、タンパク質源をいかに確保するかが課題となる可能性がある。

図 3　世界の食料需要の見通し



（出典）農林水産省大臣官房政策課食糧安全保障室「2050 年における世界の食料需給見通し」2019.9, pp.10-11. <https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/j_zyukyu_mitosi/attach/pdf/index-12.pdf>

世界的なタンパク質の供給不足により、タンパク質の需要と供給のバランスが崩れることは、「タンパク質危機」（Protein Crisis. プロテインクライシス）と呼ばれている。タンパク質危機において特に課題視されているのが、食肉の消費量である。現代の食生活においてタンパク質摂取は、肉に大きく依存している。新興国で人口が増加し、さらに GDP が成長して食生活が向上してくると、肉の消費量は必然的に増えると予想される。

(5)　「世界の食料・農業の見通し」『世界の農林水産』847 号, 2017.6, pp.5-6. 公益社団法人国際農林業協働協会（JAICAF）ウェブサイト <https://www.jaicaf.or.jp/fileadmin/user_upload/publications/FY2017/wns_17summer.pdf>

(6)　農林水産省大臣官房政策課食料安全保障室「2050 年における世界の食料需給見通し」2019.9, pp.10-11. <https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/j_zyukyu_mitosi/attach/pdf/index-12.pdf>

肉を増産するためには家畜に与える穀物の飼料が必要になる。穀物を増産するには新たに土地が必要となるため、森林を開拓する必要がある等、環境面で持続可能とは言えない状況になる。人口増加を支えるタンパク質の確保という意味では、この肉の生産がボトルネックになると考えられている。そのため、タンパク質危機の解決策として、フードテックによる畜肉や魚介類を代替する植物性代替肉や培養肉等の新しい食の開発に注目が集まっている。

(3) 食料安全保障（国際的な食料不足のリスク）

日本は、食料安全保障上の課題を多く抱えている。食料安全保障とは、FAO によると、「食料安全保障は、すべての人が、いかなる時にも、活動的で健康的な生活に必要な食生活上のニーズと嗜好を満たすために、十分で安全かつ栄養ある食料を、物理的にも経済的にも入手可能であるときに達成される」ものとされている[7]。加えて、供給（Food Availability）、アクセス（Food Access）、利用（Utilization）、安全（Stability）の食料安全保障の 4 要素が満たされているとき、食料の安全が保障されていると定義されている。すなわち、食料安全保障は、生存に必要な食料の量を確保することだけではなく、質、アクセス面、利用面、安定性等の複合的な要素を含み、さらには個人の健康や社会的・経済的要因にも注意を払う必要があると言える。

世界的にも食料安全保障が注目を集めている。その背景には、新型コロナウイルス感染症禍で顕在化したパンデミックリスクや、2022 年のロシアによるウクライナ侵攻がきっかけとなり、世界情勢の不安定化による食料不安が広がったこと等が挙げられる。

日本の 2023 年度における食料自給率は、カロリーベース（基礎的な栄養価であるエネルギーに着目して、国民に供給される熱量に対する国内生産の割合を示す指標）で 38%、生産額ベース（経済的価値に着目して、国民に供給される食料の生産額に対する国内生産の割合を示す指標）で 61% となっており、欧米主要国等と比較すると、カロリーベース、生産額ベースともに低い水準にある[8]。

品目別の 2023 年度における食料自給率（カロリーベース）を見てみると[9]、日本で昔から食べられてきた米、野菜、魚介類については米 100%、野菜 76%、魚介類 49% と比較的高くなっている。畜産物については牛肉 14%、豚肉 6%、鶏肉 9%、鶏卵 13% である。また、外国で大規模に生産されている小麦、大豆等は輸入依存度が高く、小麦 18%、大豆 26%、油脂類 4% と、その自給率は低い数値となっている。

日本の食料自給率は、米の消費が減少する一方で、畜産物や油脂類の消費が増大する等の食生活の変化により、長期的には低下傾向が続いてきたが、2000 年代に入ってからはおおむね横ばい傾向で推移している。一方、畜産物の生産には、将来にわたり飼料（とうもろこし等）を安定的に確保することが欠かせないが、国内の農地面積は国土面積のおよそ 1 割を占めるに過ぎず、必要な飼料を国内では確保できないため、海外飼料に頼らざるを得ない現状がある[10]。そのため、食料安全保障の強靭（じん）化に資する可能性として、食料生産に関わるフードテックが期待されていると言える。

---

(7)　公益社団法人国際農林業協働協会『世界食料農業白書　2016 年報告』2017, p.9. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/3926f1bc-7880-4c9d-ab3b-724d2c8a268c/content>

(8)　「世界の食料自給率」農林水産省ウェブサイト <https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/013.html>

(9)　「令和 5 年度食料自給率について」 農林水産省ウェブサイト<https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/attach/pdf/012-9.pdf>

(10)　「お肉の自給率」農林水産省ウェブサイト<https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/ohanasi01/01-04.html>

(4) 人手不足への対応（自動化・省人化）

フードテックは、食品業界の人手不足を解消する手段としても注目されている。人口減少や職業の多様化等に伴い、生産、加工、流通、販売、消費等、それぞれのフードチェーンで一定の働き手を確保することが難しくなっている。

とりわけ農業従事者の人手不足は、これまでの農業が熟練者の感覚に頼る面が多く、また経験の浅い若手の参入が難しい点で、より深刻である。農林水産省『令和 5 年度食料・農業・農村白書』[11] によると、基幹的農業従事者（仕事として主に自営農業に従事している人）の数は約 20 年間で半減しており、2000 年の 240 万人から 2023 年は 116 万 4 千人にまで減少している。このうち 49 歳以下の基幹的農業従事者数は 13 万 3 千人と全体の約 1 割を占めている一方、65 歳以上は 82 万 3 千人と全体の約 7 割を占めている。また、2023 年の基幹的農業従事者の平均年齢は 68.7 歳となっており、高齢化が進行している[12]。

こうした中、スマート農業と呼ばれる農業分野におけるフードテック（アグリテック）が人手不足解消に期待されている。スマート農業とは、ロボット技術や ICT（Information and Communication Technology. 情報通信技術）を活用して省力化・高品質生産を実現する新たな農業のことである。ロボットやドローン等を積極的に活用し作業を自動化すれば、生産者の負担は軽くなり、また、AI 解析等を利用して熟練者による暗黙知をデータ化すれば、経験の浅い若手の農業従事者でもより安定した農業経営が可能になると考えられている。

また、多くの飲食店は慢性的な人手不足に悩んでいる。帝国データバンクが 2024 年 7 月に行った調査[13]によると、「飲食店」の企業の約 6 割が人手不足であり、さらに、非正社員の人手不足割合に関しては、飲食店が全業種でトップの 67.5% となっている。深刻な人手不足や人件費の高騰といった課題が、フードテックによる調理や配膳を自動化するロボットの開発や導入等を加速させていると言える。

3　フードテック勃興における環境面の要因

(1) SDGs（持続可能な開発目標）

「SDGs」（Sustainable Development Goals. 持続可能な開発目標）は、2015 年 9 月に国連サミットで採択された「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」にて記載された目標で、2030 年までに、持続可能でより良い世界の実現を目指している。SDGs には気候変動、貧困、教育等の 17 のテーマでそれぞれ目標設定が行われており、日本でも各項目に関して様々な取組が進められている。

フードテックは SDGs と関連が深く、「目標 1　貧困をなくそう」「目標 2　飢餓をゼロに」「目標 3　すべての人に健康と福祉を」等の目標実現に関係している。さらに、IoT や AI の食産業への活用や普及は「目標 9　産業と技術革新の基盤をつくろう」に、バイオマスエネルギーといった再生可能エネルギーの活用は「目標 7　エネルギーをみんなにそしてクリーンに」に関係している。ほかにも、食品ロスの削減は「目標 12　つくる責任つかう責任」、食料生産に伴う環

(11)　農林水産省『令和 5 年度 食料・農業・農村白書』2024. <https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r5/>
(12)　農林水産省「第 2 節 力強く持続可能な農業構造の実現に向けた担い手の育成・確保」『令和 5 年度 食料・農業・農村白書』2024. <https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r5/r5_h/trend/part1/chap4/c4_2_00.html>
(13)　株式会社帝国データバンク「人手不足に対する企業の動向調査（2024 年 7 月）」2024.8.22. <https://www.tdb.co.jp/report/economic/rehr7dnc5xp3/>

境負荷の低減は「目標 13　気候変動に具体的な対策を」につながるものである。SDGs の各目標に照らし合わせながらフードテックを上手に活用し、拡大・発展させることは、SDGs の達成を後押しするのに役立つと言える。

(2) 温室効果ガスの削減

地球温暖化の影響を抑えるために、原因である温室効果ガスの排出量削減、あるいは温室効果ガスを吸収して濃度を下げるような取組である緩和策がとられている。地球を取り巻く大気は地球上の全ての国でつながっているため、緩和策が十分な効果を上げるには、特定の国や業界だけで取り組むだけではなく、あらゆる国や業界が一斉に取組を進めることが求められている。そのような視点から、国際社会は 2015 年に策定されたパリ協定[14]に見られるように、様々な国際ルールの策定を進めている。

カーボンニュートラルは、温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させ、実質的な排出量をゼロにすることである。日本政府は 2020（令和 2）年 10 月に、2050 年までにカーボンニュートラルを目指すことを宣言した[15]。

また、カーボンフットプリント（Carbon Footprint: CFP）は、商品やサービスの原材料調達から廃棄・リサイクルに至るまでのライフサイクル全体を通して排出される温室効果ガスの排出量を二酸化炭素（CO_2）に換算して、商品やサービスに分かりやすく表示する仕組みである。カーボンフットプリントの制度としての導入は、英国政府が規格を作って 2007 年に表示を始めたのが世界で最初の例とされる[16]。カーボンフットプリントに取り組む意義として、経済産業省と環境省は「気候変動は、世界が直面する最大の課題の一つとして認識されており、今後数十年に渡ってビジネスと市民に影響を与え続けることが予想される。気候変動対策のためにCFP に取り組むことは、環境保護の観点でも、我が国の産業の発展の観点でも重要である。」[17]としている。消費者が商品やサービスの CO_2 排出量を知ることで、商品を選ぶ態度を変容させたいという目的がある。また、消費者が環境に配慮して CO_2 排出量が低い商品・サービスを選ぶようになれば、事業者は CO_2 排出量を低減させ、カーボンフットプリントを採用するようになるだろうとも考えられている。

世界中で人為的に排出される温室効果ガスの1/3は、食に関係していると報告されている[18]。日本では、2023（令和 5）年に、食品関係事業者等が中心となって、原材料調達段階から廃棄・リサイクル段階までを対象とした加工食品共通のカーボンフットプリント算定ガイド案が策定された[19]。フードサプライチェーン全体での脱炭素化を後押しするために、フードテック分野のスマート化等により効率的な生産、加工、流通が求められている。

---

⑭　「パリ協定」外務省ウェブサイト <https://www.mofa.go.jp/mofaj/ila/et/page24_000810.html>

⑮　「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」経済産業省ウェブサイト <https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html>

⑯　「「見える化」に関する国外の動向（詳細版）」（温室効果ガス「見える化」推進戦略会議（第 1 回）参考資料 2）2008.7.1, p.11. 環境省ウェブサイト <https://www.env.go.jp/council/37ghg-mieruka/y370-01/ref02.pdf>

⑰　経済産業省・環境省「カーボンフットプリント ガイドライン」2023.5, p.7. 経済産業省ウェブサイト <https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_footprint/pdf/20230526_3.pdf>

⑱　M. Crippa et al., “Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions,” *Nature Food*, Volume2, 2021.3, pp.198-209. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00225-9>

⑲　農林水産省「加工食品のカーボンフットプリント（CFP）の算定ガイド案と実証結果について」2024.8.23. <https://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/b_kankyo/240823.html>

(3) 気候変動のリスク

地球温暖化による長期的な高温や洪水等、様々な気候変動によって私たちの社会や生活への影響が大きくなり、今後異常気象の影響や頻度が高まることが懸念されている。特に自然の動植物に、気候変動による影響が現れている事例が観測されている。

日本国内の事例として、水稲の生育環境の高温化により、不良環境条件によって発生する稲の品質低下の結果である白未熟粒や胴割れといった米の品質低下が見られるようになった。このため従来の水稲生産地では、高温対策種の開発や栽培方法の改良が進められている[20]。その一方で、北日本等の従来は寒冷な生育環境が課題だった地域で高品質な水稲栽培が可能になっている事例も見られる。また、温州ミカンの浮腫（温度や湿度が高いほど、果皮と果肉が分離してしまう生理障害）[21]、リンゴ[22]やブドウ[23]の着色悪化等、様々な果樹にも影響が確認されており、品種改良や栽培方法の改善等が進められている。

さらに、漁業においても様々な魚種の不漁等が発生しており、サンマ、イカ、サケ等の価格高騰が毎年のように報じられている。これは、気候変動による海水温の上昇や海流の変化等が影響していると考えられている[24]。

今後、地球全体で温暖化及び気候変動が更に進むことにより、生態系や食料生産への影響があらゆる地域で起こりうると予想されている[25]。このような影響を受け、世界各地で食料不足が懸念されており、世界的な気候変動に適応する上でも、フードテックが期待されている。

(4) 食品ロス

食品ロスを「フードロス」ということがあるが、食品ロスとフードロスでは意味合いが若干異なる。FAO は、フードサプライチェーンにおける生産、加工、流通までの過程で出るロスを「フードロス」（Food Loss）、小売での販売や食品サービス事業者（外食等）、消費者の家庭で発生するものを「フードウェイスト」（Food Waste）と定義している[26]。日本では、「まだ食べられるにもかかわらず、何らかの理由で廃棄される食品」のことを指して「食品ロス」と呼んでいる。農林水産省の説明では、事業系と家庭系に大きく分けているが[27]、FAO の定義とは必ずしも一致しない。

---

⑳　対策の事例をまとめた資料として、例えば農林水産省「農業生産における気候変動適応ガイド　水稲編」2020.12 <https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/attach/pdf/index-131.pdf> がある。

㉑　中谷章「和歌山県のウンシュウミカン栽培における気象変動の影響と適応策」（令和 2 年度 地域における気候変動適応実践セミナー 近畿地域セミナー（果樹）　資料 5）2020.12.18. 農林水産省ウェブサイト（国立国会図書館インターネット資料収集保存事業（WARP）により保存されたページ）<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11967655/www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/seminar/attach/pdf/r2seminar-28.pdf>

㉒　「（研究成果）「わい化栽培リンゴ『ふじ』における着色向上のための窒素施肥」の標準作業手順書を公開」（プレスリリース）2022.3.2. 農研機構ウェブサイト <https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nifts/151556.html>

㉓　「（研究成果）温暖化に伴う、ブドウ着色不良の発生拡大を予測」（プレスリリース）2019.6.17. 農研機構ウェブサイト <https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nifts/131026.html>

㉔　不漁問題に関する検討会「不漁問題に関する検討会とりまとめ―中長期的なリスクに対して漁業を持続するための今後の施策の方向性について―」2021.6. 水産庁ウェブサイト <https://www.jfa.maff.go.jp/j/study/attach/pdf/furyou_kenntokai-19.pdf>

㉕　国立研究開発法人国立環境研究所・農研機構「最新の予測では世界の穀物収量に対する気候変動影響の将来見通しが顕著に悪化―気候変動適応の正念場、従来の想定より早い時期に―」2021.11.1. 国立研究開発法人国立環境研究所ウェブサイト <https://www.nies.go.jp/whatsnew/20211101/20211101.html>

㉖　FAO, *The State of Food and Agriculture*, Rome: FAO, 2019, p.29. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/11f9288f-dc78-4171-8d02-92235b8d7dc7/content#page=32>

㉗　「食品ロスとは」農林水産省ウェブサイト <https://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syoku_loss/161227_4.html>

日本における食品ロス対策は、明らかに進展してきた。事業者における商慣習の見直しに加え、消費者にも課題意識が浸透し、消費期限と賞味期限の正しい理解に基づく行動変容が起きている。それでも本来食べられるのに捨てられる食品ロスの量は、日本人全員が一人当たり毎日茶わん 1 杯分のご飯を捨てていることに相当する。そのうち、事業系食品ロスと家庭系食品ロスは約半々となっており、想像以上に日々の家庭から発生する食品ロスは少なくないと言える[28]。個人が食品ロスを減らすには、家で食品ロスが出ないようにするだけでなく、食品の購入や外食の際にも意識することが重要である。

法律面では、2001（平成 13）年 5 月に「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律」（平成 12 年法律第 116 号。以下「食品リサイクル法」）が施行され、2019（令和元）年 10 月に「食品ロスの削減の推進に関する法律」（令和元年法律第 19 号。以下「食品ロス削減推進法」）が施行された。食品リサイクル法と食品ロス削減推進法との違いは、対象者が誰かということと、多様な主体の連携の有無にある。食品リサイクル法は「事業者」に対する法律であり、食品メーカー、卸売・小売業者、飲食店といった食品関連事業者が取り組むべき事項を定めた法律である一方、食品ロス削減推進法は「国、地方公共団体、事業者、消費者の多様な主体」が対象であり、事業者だけでなく国民全体で連携し取り組むことを目指した法律である。

フードサプライチェーンの中で、事業系食品ロスにせよ、家庭系食品ロスにせよ、規格外品、返品、売れ残り、食べ残し等、食べられるのに捨てられているものを完全にゼロにすることは極めて難しいであろう。下げ止まり感のある食品ロスを低水準で維持していく、あるいは更に削減を行うためには、新しい対策に着手していく必要がある。例えば、廃棄されている野菜等をペーストにしてカートリッジに詰め、3D フードプリンターで食品の形にすることで、食の生産から加工、流通を効率化し、食品ロスやカーボンニュートラルといった問題を抜本的に変える可能性が考えられる。

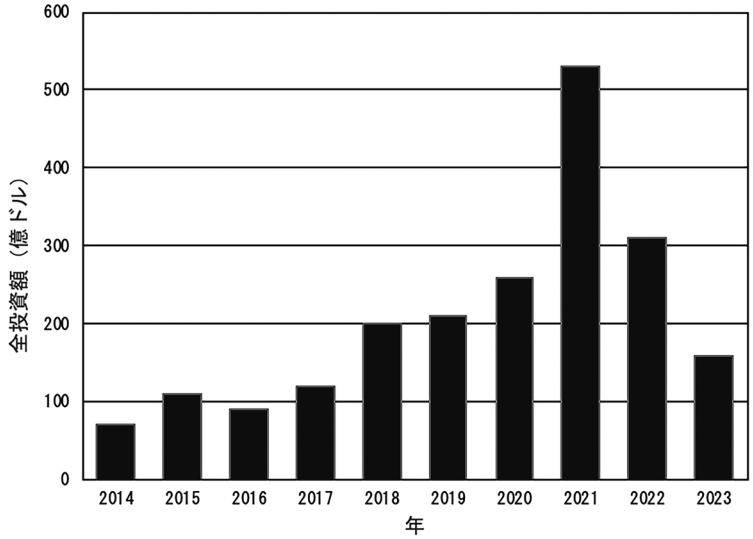
4　フードテック勃興における金融面の要因

フードテックに関する研究開発は、米国を始めとする海外で先行している。米国のベンチャーキャピタル AgFunder 社のレポート[29]によるフードテック分野への過去 10 年間の新規投資額の推移を見ると、世界全体では 2020 年まで増加傾向であった（図 4）。さらに、2020 年の 260 億ドルから 2021 年の 530 億ドルへと一気に約 2 倍となった。しかし、2022 年には 310 億ドルと前年比約 40% 減、2023 年には 160 億ドルと更に半減した。2022 年以降の縮小は、米国でのインフレ率や金利上昇で、スタートアップ企業への投資そのものが冷え込んだことや、既存の産業や食文化との摩擦もあるとされている[30]。

国別に 2022 年の投資額を見ると、米国の投資額は最大で、124 億ドルに達しており、2 位のインドや 3 位の英国を凌駕（りょうが）している。一方、日本の投資額は上位 10 位になく、6780 万ドルにとどまっており、日本のフードテック関連企業は、投資調達の規模において、海外と比べて圧倒的に小さい[31]。

⑵⑻　同上
⑵⑼　AgFunder, “Global AgriFoodTech Investment Report 2024.”
⑶⑽　「代替肉ブームに陰り、新興投資 6 割減　世界の飢え満たせず　チャートは語る」『日本経済新聞』（電子版）2024.8.31.
⑶⑴　AgFunder, “Global AgriFoodTech Investment Report 2023.”

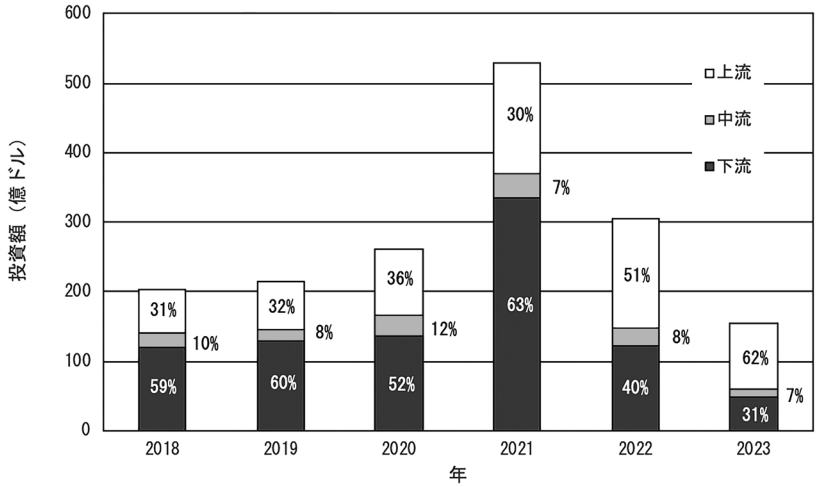
図 4　世界のフードテック投資額の推移



（出典）AgFunder, “Global AgriFoodTech Investment Report 2024” を基に筆者作成。

2018 年から 2023 年までの 6 年間のフードテック投資額の中身を見ると、投資額が最大であった 2021 年には、サプライチェーンの下流である小売や消費への投資の割合が、全体の 63% であったのに対し、2023 年は 31% へと大きく低下している（図 5）。この要因は、2021 年が新型コロナの流行で ICT を活用したフードデリバリーやデジタルサービス等といったフードチェーンの下流部分への投資が最も活発化した時期であったからと考えられる。一方、サプライチェーンの上流部分（代替タンパク質関連等）の投資額全体から見た割合は、2021 年は 30%、2022 年は 51%、2023 年には 62%と上昇している。

図 5　サプライチェーンごとの世界のフードテック投資額の推移



（出典）AgFunder, “Global AgriFoodTech Investment Report 2024” を基に筆者作成。

三菱総合研究所の試算では、2020年時点で24兆円だったフードテックの世界市場規模は、2050年にはその12倍の約280兆円まで成長する可能性があるとしている[32]。この間、世界の既存の食料市場は230兆円から490兆円へと2倍強になる見込みで、フードテック市場は、2050年時点で食料市場の約6割を占めることになると予想している。また、同報告では、生産側と消費側の二つの技術に期待するとし、生産側では環境制約の下で必要な食料需要を満たす技術として、代替肉（植物性肉と培養肉（細胞性食品））と昆虫飼料を挙げ、消費側では、より健康的で豊かな食生活を実現する技術として、完全栄養食品（完全食）とスマートキッチンを挙げている。

5　フードテック勃興における消費面の要因

(1) ビーガン・ベジタリアン、宗教食への対応

消費者の健康や環境志向の高まりで、食に求める価値が多様化している。これらのニーズに合わせた新たな食の提供が求められている。世界には、宗教上の決まりで肉や魚を食べられない人がもともといる。また、環境保護や動物保護を目的としてあえて動物性の食品を避けるビーガンを選択する人も増えている。健康や美容を意識してビーガン食をとる人もいるであろう。

現在、注目を集めているのが、大豆や小麦、エンドウ豆といった植物性原料を使った代替肉である。スーパーマーケットやレストランでは大豆ミート等の名前で販売されている。従来のビーガン食やベジタリアン食と比較して、近年では、より動物性の肉に近い風味や食感を有しているものが多数開発されており、消費者に広く受け入れやすくなった。動物性の肉と比較すると、環境負荷が少なく、また動物の命を奪うことなく生産が可能になる。フードテックが普及すれば、ビーガンや宗教上の理由で動物性の食事をとることができない人等、多様化する食のニーズにも対応できるようになると考えられる。

(2) 健康意識の増加

人々が健康に生きていくに当たり、食が大きな役割を担っていることは言うまでもない。食品企業も、食と健康との関係性を強く認識している。医療費と介護費の抑制のための疾病予防やウィズ・コロナ時代の国民の健康意識の高まりによって、更なる市場成長が期待されている。

食を通じた健康へのアプローチは、食文化や食習慣に基づいた「栄養バランスの取れた食事の提供」や「健康食品による不足栄養素の補完」等といった形で以前から取り組まれているが、フードテックの活用によってその関わり方に変化が生じている。その例が「完全食」である。完全食とは1日分の必要となる栄養素が全て含まれた食事のことを指し、概念自体は以前から存在していたものの、一つで全ての栄養素を満たせる食材は無く、幾つかの食材を組み合わせて最適な食事を構成することが必要であった。しかし近年、フードテックの活用によって、人工的に完全食を作ることが可能となった。

日本国内においては、毎日食べる主食に着目し、必要栄養素を全て含んだパスタやパンを提

---

(32)　山本奈々絵・古屋花「2050年の「フードテック」世界市場、280兆円に（フードテックのミライ展望　第3回）」2024.2.15. 三菱総合研究所ウェブサイト <https://www.mri.co.jp/knowledge/column/20240215_2.html> この資料では、既存食料市場とは、フードテック市場における、「代替肉」に対する「食肉」、「昆虫飼料」に対する「飼料」、「完全栄養食」に対する「健康食品」のような、すでに世界で一定の市場規模を形成している類似目的の商品・サービスの市場のことを意味している。

供しているスタートアップ企業が注目を集めているほか、大手の食品企業も完全食のブランドを立ち上げている。

また、食のパーソナライズ化（個別化）も注目されている。食の個別化とは、PHR（Personal Health Record. パーソナルヘルスレコード）に対する関心の高まり、個人のゲノムや腸内細菌叢（そう）、日常の食事内容や栄養摂取量等のデータ取得が可能となった技術の進歩等を背景とした取組である。将来にわたって健康であり続けるために、潜在的なリスクも含めて考慮し、データに基づいた個々人に最適な食を提供しようというものである。

個別化食の例として、3D プリント技術を活用したパーソナライズ・サプリメントグミがある。ウェブサイト上で回答した睡眠状況等の直近の体調、食生活、運動頻度や味の好み等を基に、一人ひとりに合わせたサプリメントグミを届けるというものである[33]。

(3) アニマルウェルフェアやエシカル（倫理的）消費への対応

人が利用する動物の快適度を向上させる「アニマルウェルフェア」（動物福祉）の考え方は、動物利用に関する世界の潮流となりつつある。アニマルウェルフェアの考え方自体は 1960 年代に欧州で広まったもので、SDGs や ESG（Environment（環境）、Social（社会）、Governance（ガバナンス）の頭文字を取った言葉で、企業が持続的に成長するために重視すべき観点のこと。）の文脈で再び注目を集めている。

また、人や社会・環境に配慮した「エシカル消費」（倫理的消費）の関心も高まっている。消費者庁によると、「エシカル消費」とは、「消費者それぞれが各自にとっての社会的課題の解決を考慮したり、そうした課題に取り組む事業者を応援しながら消費活動を行うこと」を指す[34]。「エシカルフード」は、環境や社会の課題解決につながる食べ物とされる。フェアトレードやオーガニック、アニマルウェルフェア、地産地消、フードロスというキーワードは、どれもエシカルフード関連である。

植物性代替肉の開発等は、宗教や動物愛護等を理由に肉を食べない人の食の選択肢を広げるであろう。

Ⅲ　フードテックに関わる政策と関連団体

1　フードテックに関わる日本の政策

フードテックに関わる日本の政策には、食料・農業・農村基本計画[35]、みどりの食料システム戦略[36]、農業 DX 構想[37]、2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略[38]、バイオエコノミー戦略[39]等があり、主なものを概観する。

⑶3　日沼諭史・坂本純子「なぜ 3D プリンターでサプリメント・グミをつくるのか―日本上陸、英レメディ・ヘルス CEO に聞く―」2023.8.23. CNET Japan ウェブサイト <https://japan.cnet.com/article/35207334/>

⑶4　「エシカル消費とは」消費者庁ウェブサイト <https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_education/public_awareness/ethical/about>

⑶5　「食料・農業・農村基本計画」農林水産省ウェブサイト <https://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/>

⑶6　「みどりの食料システム戦略トップページ」農林水産省ウェブサイト <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/>

⑶7　農林水産省「「農業 DX 構想 2.0」が取りまとめられました」2024.2.22. <https://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/joho/240222.html>

⑶8　「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」前掲注⑴5

⑶9　「バイオエコノミー戦略」内閣府ウェブサイト <https://www8.cao.go.jp/cstp/bio/index.html>

(1) 食料・農業・農村基本計画

農林水産省では、「食料・農業・農村基本法」（平成 11 年法律第 106 号）第 17 条に基づき、農業・農村の中長期的なビジョンとして「食料・農業・農村基本計画」（以下「基本計画」）を策定している。基本計画はおおむね 5 年ごとに見直しがなされ、2020（令和 2）年 3 月に閣議決定されたものが最新である[40]。最新版で新たに「我が国の食と活力ある農業・農村を次の世代につなぐために」というサブタイトルが設定され、従来よりも明確にメッセージを届ける配慮がされている。

基本計画では、「産業政策と地域政策を引き続き車の両輪として推進し、将来にわたって国民生活に不可欠な食料を安定的に供給し、食料自給率の向上と食料安全保障の確立を図る」ことを掲げている[41]。従来の継続的な施策に加え、輸入の拡大や、スマート農業の普及をはじめとした農業のデジタルトランスフォーメーションの推進、住みやすい農村の確立、といった新しいテーマに焦点が当てられている。フードテックは、消費者や実需者（小売、外食、宿泊、中食（惣菜や弁当、デリバリーを利用して家で食事をすること）、食品加工、仲卸等のバイヤー）のニーズの多様化・高度化への対応として、その展開を産学官連携で推進し新たな市場を創出するとされている。

また、基本計画では、食料自給率の目標も設定・更新されている。カロリーベースの食料自給率の 2030 年度の目標は、従来の目標と同様の 45% に設定されている。また、新たな指標として「食料国産率」が設定された。食料自給率と食料国産率の違いは、飼料自給率を反映するかどうかにある。食料自給率は、国内で消費された食料のうち国産（輸入した飼料を使って国内で生産した畜産物は含まない）の占める割合を示す指標である一方、食料国産率は、畜産に用いられる飼料が国産か輸入かにかかわらず、畜産業の活動を反映して国内生産の状況を評価した値である。

農林水産物・食品の新たな輸出目標も明示されている。2030（令和 12）年に 5 兆円という目標である。2023（令和 5）年の農林水産物・食品の輸出額は過去最高の 1 兆 4547 億円であり[42]、目標達成のためには輸出額を更に大幅に増やす必要がある。加えて輸出の戦略においては、農林水産物・食品といったモノの輸出に加えて、日本の技術やノウハウを活用したグローバル・フードバリューチェーンの構築を通じた食産業の海外展開等も重視されるようになった。日本の人口が減少し、国内マーケットの縮小が見込まれるなか、フードテックの展開を産学官連携で推進し、新たな市場を創出することが期待されている。

また、農林水産省では、基本計画に基づき 2024（令和 6）年 6 月に「農林水産研究イノベーション戦略 2024」を策定した[43]。食料安全保障の強化、環境と調和のとれた食料システムの確立、農林水産物・食品の輸出促進、人口減少下においても農業の生産性を向上するスマート農業等の実現に向け、研究開発を推進するとされている。

---

(40)　「食料・農業・農村基本計画」前掲注(35)

(41)　「食料・農業・農村基本計画」（令和 2 年 3 月 31 日閣議決定）p.4. 農林水産省ウェブサイト <https://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/attach/pdf/index-13.pdf>

(42)　農林水産省「「2023 年の農林水産物・食品の輸出実績」について」2024.1.30. <https://www.maff.go.jp/j/press/yusyutu_kokusai/kikaku/240130.html>

(43)　農林水産省「「農林水産研究イノベーション戦略 2024」の策定について」2024.6.4. 農林水産技術会議ウェブサイト <https://www.affrc.maff.go.jp/docs/press/240604.html>

(2) みどりの食料システム戦略

持続可能な農・食を実現するために、世界各国で戦略策定が進んでいる。EU は、2020 年 5 月に「公平で、健康的な、環境に優しい食料システム」を目指す戦略として「Farm to Fork 戦略」（Farm to Fork strategy）を発表し[44]、植物、微生物、昆虫等の代替タンパク質・代替肉分野を重要な研究開発分野と位置付けるとともに、グリーン化・デジタル化への移行の推進を提唱した。米国農務省においても 2020 年 2 月に、農業生産の向上と環境負荷の低減を同時に達成することを目標とする「農業イノベーションアジェンダ」（Agriculture Innovation Agenda）を公表した[45]。2050 年までの農業生産量の 40% 増加と環境フットプリント（原材料の調達、消費やリサイクルの過程において、直接的間接的にかかわらず使用された水や汚染された水の量を定量的に算定したもの）の 50% 削減の同時達成を目標に掲げている。

こうした流れを受けて、日本の農林水産省は、2021（令和 3）年 5 月に「みどりの食料システム戦略―食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現―」を公表した。生産から消費までのサプライチェーンの各段階において、カーボンニュートラル等の環境負荷軽減に資する技術革新を促し、生産力向上と持続性の両立を図ることを目指したものである。

本戦略では、調達過程においては「資材・エネルギー調達における脱輸入・脱炭素化・環境負荷低減の推進」、生産過程においては「イノベーション等による持続的生産体制の構築」、加工・流通過程においては「ムリ・ムダのない持続可能な加工・流通システムの確立」、消費過程においては「環境にやさしい持続可能な消費の拡大や食育の推進」、全体を通じて「サプライチェーン全体を貫く基盤技術の確立と連携」等の取組項目が挙げられている[46]。

本戦略の目標はかなり意欲的であり、現状の延長線上の対策では達成が難しい。このことが、持続可能な食料システムの構築のため、代替肉の研究開発等のフードテックのイノベーションを産学官連携で推進することや、AI・ロボット等による食品製造の自動化を推進すること等が記載されている理由であると思われる。

(3) 農業 DX 構想

基本計画では、農業振興のための基本的な視点の一つとして、「スマート農業の加速化と農業のデジタルトランスフォーメーションの推進」を掲げている。それを受けて、農林水産省の検討会が 2021（令和 3）年 3 月に「農業 DX 構想―「農業×デジタル」で食と農の未来を切り拓く―」を策定し[47]、さらに 2024（令和 6）年 2 月に「農業 DX 構想 2.0―食と農のデジタルトランスフォーメーションへの道筋―」（以下、「農業 DX 構想 2.0」）を取りまとめた[48]。

農業 DX 構想 2.0 の「はじめに」において、「デジタル技術の活用は、その程度に応じて、デジタイゼーション、デジタライゼーション、デジタルトランスフォーメーションと、段階的に高度化していくものであるが、いずれも、労働力不足に対応したより効率的な生産・流通の実現

(44)　“Farm to Fork strategy.” European Commission Website <https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en>

(45)　“USDA Agriculture Innovation Agenda,” U.S. Department of Agriculture Website <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/agriculture-innovation-agenda-vision-statement.pdf>

(46)　「みどりの食料システム戦略トップページ」前掲注(36)

(47)　農業 DX 構想検討会「農業 DX 構想―「農業×デジタル」で食と農の未来を切り拓く―」2021.3. 農林水産省ウェブサイト <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/dx/attach/pdf/nougyou_dxkousou-6.pdf>

(48)　農林水産省　前掲注(37)

や、消費者に評価されるような価値の創出につながるものと期待されており、これは、ひいては食料の安定供給の確保にも資することになる」と示されている[49]。

DX は、生産者、流通業者、飲食店、消費者等、食に関係する全ての者が「顔の見える相手」として相互につながって、情報や意見を交換できる関係を築き、心身共に健康的で幸せな生活を営む世界を実現するためのものとされている。農業 DX 構想 2.0 は、デジタル化に取り組む農業・食関連産業の関係者へのメッセージであり、本構想をすでにデジタル化に取り組み、又はこれから取り組もうとする農業者等や、今後、他産業から農業・食関連分野に参入しようとするテック企業も含めた関係者に、農業・食関連産業のデジタル化に向けた「マイルストーンを示すナビゲーター」として使ってもらうことが期待されている。成果の具体例として、農業・食関連産業に多くの人が携わり、デジタル技術によって、都会に住む者であっても、農業や農村での活動に日常的に関わることができ、食卓では、新鮮な農産物や、地域ごとの特色が発揮された、味わい深い郷土料理を楽しめるような世界が挙げられている。

(4) 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

世界の国々では、カーボンニュートラルの実現の目標設定と、そのための戦略策定を加速させている。日本では、2020（令和 2）年 10 月に「2050 年カーボンニュートラルの実現」を宣言したことを皮切りに、2021（令和 3）年 4 月には、地球温暖化対策計画において 2030（令和 12）年度に温室効果ガス排出量を 2013（平成 25）年比 46% 減、さらに 50% 減の高みを目指すという目標を示した[50]。私たちの暮らしや経済活動は、温室効果ガスの排出と密接に関わっており、カーボンニュートラルの実現は容易ではない。従来の発想を転換し、積極的に対策を行うことで産業構造や社会経済の改革をもたらし、「経済と環境の好循環」を実現し、次なる大きな成長につなげるための産業政策として政府は 2021（令和 3）年 6 月に「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（以下「グリーン成長戦略」）を策定した[51]。

この戦略では、カーボンニュートラルの実現に向けて、特に成長が期待される 14 分野の産業が示されている。それぞれに意欲的な目標が設定され、予算、税、規制・標準化、民間の資金誘導など、政策ツールを総動員した工程表が示されている。「食料・農林水産業」が 14 分野の一つに選定されており、「スマート農林水産業等の実装の加速化によるゼロエミッション化、農畜産業由来の GHG［温室効果ガス］の削減、農地・森林・木材・海洋における CO_2 吸収・炭素の長期・大量貯蔵等の取組を強力に推進し、食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現する。」、「世界の GHG 排出量のうち農林業等由来の排出が 1/4 を占めている現状を踏まえ、我が国の優れた技術の国際展開、国際的な議論・ルールメイキングへの積極的な関与により、世界のカーボンニュートラルに貢献する。」ことがうたわれている[52]。

グリーン成長戦略の内容には農林水産省が策定した「みどりの食料システム戦略」（III-1 (2)）に基づき、食料・農林水産業の生産力向上と持続可能性の両立をイノベーションで実現するた

---

(49) 「農業 DX 構想 2.0 ―食と農のデジタルトランスフォーメーションへの道筋―」2024.2, p.1. 農林水産省ウェブサイト <https://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/joho/attach/pdf/240222-2.pdf>

(50) 「地球温暖化対策計画」（令和 3 年 10 月 22 日閣議決定）環境省ウェブサイト <https://www.env.go.jp/content/900440195.pdf>

(51) 「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」前掲注(15)

(52) 「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」2021.6.18. 経済産業省ウェブサイト <https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_gaiyou.pdf>

めの方策が示されているのに加えて、二酸化炭素吸収・固定、温室効果ガス排出削減として、農林水産業においてカーボンニュートラルに資する具体策が示されている。フードテックの必要は各所に含まれていることから、各所においてフードテックが貢献できるものと考えられる。

(5) バイオエコノミー戦略

培養肉やゲノム編集食品等はバイオテクノロジーを活用した食品であり、フードテックにとってバイオテクノロジーは基幹技術である。内閣の統合イノベーション戦略推進会議は「2030 年に世界最先端のバイオエコノミー社会を実現」することを目標に、2019（令和元）年に「バイオ戦略 2019―国内外から共感されるバイオコミュニティの形成に向けて―」を策定した[53]。さらに 2024（令和 6）年の改定時に「バイオエコノミー戦略」へと名称を変更した[54]。バイオエコノミーとは、バイオテクノロジーが経済生産に大きく貢献できる市場として経済協力開発機構（OECD）によって提唱された概念である[55]。バイオエコノミーは、環境・食料・健康等の諸課題の解決、サーキュラーエコノミー（資源の効率的・循環的な利用を図りつつ、付加価値を最大化することを目指す社会経済システム）と持続可能な経済成長の実現を可能にするものとして期待されており、投資やルール形成等、グローバルな政策・市場競争が加速している。

バイオエコノミーが貢献する主なものとしては、①改良した微生物や動植物の細胞等から様々な物質を生産するバイオものづくりによる化石資源からの脱却や資源自律経済の実現、②ゲノム情報を駆使した新品種開発により化学肥料等の環境負荷を減らしながら生産性を高めることによる食料の安定供給への貢献、③従来の低分子医薬品に比べて分子が大きく構造が複雑なバイオ医薬品による健康的な生活への貢献、④健康医療情報等のデジタル化・データ連携等によるヘルスケア領域への異分野からの参入促進、新市場の創出等が挙げられている。フードテック等先端技術に対する国民理解の促進についても取り上げられている。

(6) その他の政策文書

上記以外にも、2020（令和 2）年 3 月に閣議決定された「健康・医療戦略」では、「健康に良い食」を科学的に解明し、ヘルスケアサービスに連結したビッグデータを整備することとされている[56]。

また、2022（令和 4）年 6 月に閣議決定された「新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画・フォローアップ」においては、フードテックのビジネス化の実証支援や、食品企業の労働生産性向上のため、AI・ロボットの普及・定着に向けた対応等を行うこととされている[57]。

---

(53) 「バイオ戦略 2019―国内外から共感されるバイオコミュニティの形成に向けて―」（統合イノベーション戦略推進会議決定）2019.6.11. 内閣府ウェブサイト <https://www8.cao.go.jp/cstp/bio/bio2019_honbun.pdf>

(54) 「バイオエコノミー戦略」前掲注(39)

(55) OECD, *The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda*, Paris: OECD Publishing, 2009. <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2009/04/the-bioeconomy-to-2030_g1gha07e/9789264056886-en.pdf>

(56) 「健康・医療戦略」（令和 2 年 3 月 27 日閣議決定）首相官邸ウェブサイト <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kenkouiryou/suisin/ketteisiryou/kakugi/r020327senryaku.pdf>

(57) 「フォローアップ」（令和 4 年 6 月 7 日閣議決定）内閣官房ウェブサイト <https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/atarashii_sihonsyugi/pdf/fu2022.pdf>

2　フードテック関連団体

フードテックの推進や普及等に取り組んでいる団体・組織について下記に解説する。

(1) フードテック官民協議会

農林水産省は、産学官の多数のステークホルダーの参画を得て、2020（令和 2）年 10 月に「フードテック官民協議会」[58]を発足させた。食・農林水産業の発展と食料安全保障の強化に資する資源循環型の食料供給システムの構築や、高い食の QOL（Quality of Life. 生活の質）を実現する新興技術の国内の技術基盤の確保に向けて、課題解決の促進や新市場の開拓を後押しする官民連携の取組を推進することを目的としている[59]。会員は、食品企業やスタートアップ企業、研究機関、行政機関等、フードテック官民協議会の目的に賛同する個人で構成されている。

具体的には、スタートアップ、企業、アカデミア、農林水産・食品分野と他分野が連携するオープンイノベーションの創造や、フードテックの事業化におけるスタートアップの育成のための適切な資金供給や情報開示の在り方等の環境整備に取り組んでいる。協議会には、細胞農業（本来は動物や植物から収穫される産物を、特定の細胞を培養することにより生産する方法）、昆虫ビジネス研究開発、ヘルス・フードテック、食生活イノベーション、Plant Based Food［植物由来食品］普及推進、食と教育、美食テックの七つの作業部会が置かれ（2025（令和 7）年 2 月時点）[60]、各分野における課題整理や法的規制整備、政策提案等、官民が連携して議論が進められている。また、同協議会の会員である経済産業省でもフードテックに注目しており、特に日本のフードテックの強みがいかせる領域として、植物タンパク質の加工技術やコールドチェーン（一定の温度管理が必要な商品を生産から消費地まで低温で流通させる仕組み）、調理ロボットを使った技術等を挙げている[61]。

(2) Food Bio Plus 研究会（バイオインダストリー協会）

「一般財団法人バイオインダストリー協会」（JBA）は、バイオサイエンス、バイオテクノロジー及びバイオインダストリーの発展を産学官連携で総合的に推進する日本唯一の組織である[62]。その JBA 内に、「人と社会と地球」の健康を目指して、フードテックをいかした食料システムにおける社会課題の解決とグローバルを意識した産業の発展を支援するため「Food Bio Plus（FBP）研究会」が 2022 年 12 月に立ち上がった。幅広い技術を結集する「オールジャパンでの技術力」と新規開発食品の市場化に関わる「国内外でのルール形成力」、そして世界でも強い影響力を持つ日本の「食文化、美味創造力」を軸にして活動している[63]。具体的には、精密発酵、細胞性食品、昆虫資源活用、市場受容性等のワーキンググループを立ち上げ、フードテックを総合的に推進している。

---

(58)　「フードテック官民協議会について」フードテック官民協議会ウェブサイト <https://food-tech.maff.go.jp/about/>
(59)　同上
(60)　同上
(61)　「経産省がなぜフードテックの旗を振るのか」『METI Journal ONLINE』2021.2.19. <https://journal.meti.go.jp/p/14198/>
(62)　「JBA について」一般社団法人バイオインダストリー協会ウェブサイト <https://www.jba.or.jp/outline>
(63)　「研究会活動　Food Bio Plus 研究会」一般社団法人バイオインダストリー協会ウェブサイト <https://www.jba.or.jp/activity/study_group/food_bio_plus/>

(3) 細胞農業研究機構

「一般社団法人細胞農業研究機構」は、2023 年 5 月に設立された団体である。細胞農業に着目し、食料安全保障や持続可能性を始めとする日本の課題解決に貢献するため、日本として細胞農業に対してどのように向き合うべきか、戦略の立案から社会実装までを目的としている[(64)]。約 40 の企業やアカデミアが参加し、食品としての安全性や表示方法、細胞提供者の権利保護、消費者への情報提供の在り方等について議論し、透明性の高い形で産業の形成に努めている。

(4) 食用タンパク質研究会（大日本農会）

農業及び農村の振興・発展に寄与することを目的とした活動を行っている「公益社団法人大日本農会」が、2021 年から「食用タンパク質研究会」を設立し、食料需給の不安定化など食用タンパク質をめぐる状況の変化のなか、大豆等の多様な食用タンパク質の現状と課題、今後の発展方向を議論した。その内容をまとめた報告書が、2023 年 4 月に『新たな食用タンパク質の可能性―開発・利用の現状と課題―』として刊行された[(65)]。研究会で取り上げた、大豆ミートの現状と課題、新たなタンパク源としての食用コオロギ、消費者の新食品の受容とリスク認識等の話題がまとめられている。

Ⅳ　フードテックのコア技術

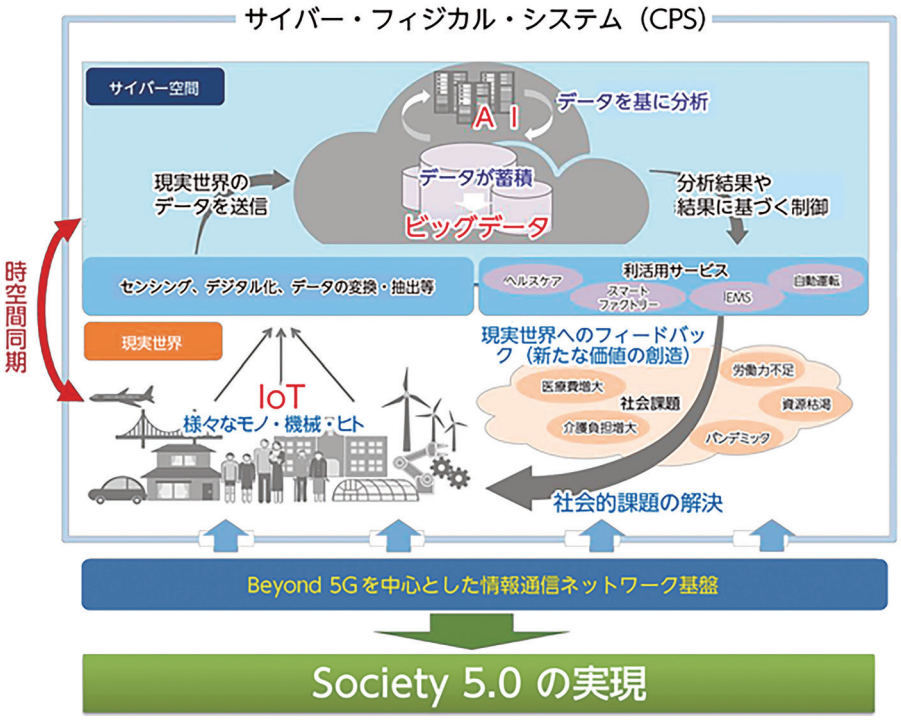
フードテックに関わる技術には、製造業の機械化といった従来のテクノロジーもあれば、AI を活用した最新のテクノロジーもあり、フードテックの「テック」部分が何を指すかを分かりにくくしている。現在のフードテック分野の具体例を考えた場合、その基盤技術は大きく二つあると考えられる。一つは「サイバーフィジカルシステム」というサイバー（仮想）空間とフィジカル（現実）空間を高度に融合させた生産効率を高めるシステム、もう一つは食料生産、新規食品開発に関わる遺伝子組換えやゲノム編集といった「バイオテクノロジー」である。

1 「サイバーフィジカルシステム」とは

サイバーフィジカルシステムは、サイバー空間とフィジカル空間がより緊密に連携するシステムであり、あらゆるモノがネットにつながる IoT を用いたフィジカル空間のデータ取得、AI や最適化を活用した処理、フィジカル空間のオペレーションへのフィードバック等を実現しようとする概念である（図 6）。

(64)　「細胞農業研究機構とは」一般社団法人細胞農業研究機構ウェブサイト <https://jaca.jp/about/>
(65)　大日本農会編『新たな食用タンパク質の可能性―開発・利用の現状と課題―』（大日本農会叢書　10）大日本農会, 2023.

図 6　サイバーフィジカルシステムによる Society 5.0 の実現



（出典）総務省「データ主導型の「超スマート社会」への移行」『令和 2 年版　情報通信白書』2020. <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/html/nd141100.html>

日本政府が提唱する未来社会のコンセプトとして、このサイバーフィジカルシステムを中心とした「Society 5.0」がある。「科学技術・イノベーション基本法」（平成 7 年法律第 130 号）に基づき、5 年ごとに改定されている「第 5 期科学技術基本計画」2016（平成 28）～ 2020（令和 2）年度）でキャッチフレーズとして登場した。Society 5.0 は、「サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会」と提唱され[66]、サイバーフィジカルシステムが強調されている。Society 5.0 は、狩猟社会（Society 1.0）、農耕社会（Society 2.0）、工業社会（Society 3.0）、情報社会（Society 4.0）に続く新たな社会のことである。

2021（令和 3）年 3 月に閣議決定された「第 6 期科学技術・イノベーション基本計画」（2021（令和 3）～ 2025（令和 7）年度）では、日本が目指すべき Society 5.0 の未来社会像を「持続可能性と強靱性を備え、国民の安全と安心を確保するとともに、一人ひとりが多様な幸せ（well-being）を実現できる社会」と表現し、Society 5.0 の実現に必要なものとしてサイバー空間とフィジカル空間の融合による持続可能で強靱な社会への変革を挙げている[67]。

サイバーフィジカルシステムは、広範囲にわたる考え方であり、IoT、ビッグデータ、AI、ロボット等の個々の要素技術が成熟したことを受けて、それらを統合・再構成することで、新しいテクノロジートレンドを産業全体で形成しようという試みと言える[68]。

(66)　総務省「データ主導型の「超スマート社会」への移行」『令和 2 年版　情報通信白書』2020. <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/html/nd141100.html>
(67)　「第 6 期科学技術・イノベーション基本計画」（令和 3 年 3 月 26 日閣議決定）内閣府ウェブサイト <https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index6.html>
(68)　石元良武「全産業を覆う新技術「CPS（サイバーフィジカルシステム）」とは？」『日経クロストレンド』2024.5.22. <https://xtrend.nikkei.com/atcl/contents/18/00739/00014/>

例えば食品製造業では、サイバーフィジカルシステムの導入によって生産ラインの状況がリアルタイムでモニタリング可能になり、工場内の機械や設備の不具合や故障を予測して保全し、また品質管理を自動化することが可能になる。こうした例は、産業全体における生産性の革新とコスト削減に大きく貢献することへの期待が大きく、今後、サイバーフィジカルシステムは食産業分野全体にも着実に実装が進んでいくと予想される。

2　フードテックコア技術としてのサイバーフィジカルシステム

Society 5.0 では、食品情報、店舗の在庫情報、各家庭の冷蔵庫内の食品情報、個人のアレルギー情報といった様々な情報を含むビッグデータを AI で解析することにより、「生産者や店舗としても顧客ニーズに合った生産や発注、在庫管理を行うこと」、「冷蔵庫の食材管理が自動でなされ、必要な分だけ発注・購入することができ、食品ロスを削減すること」、「家族の嗜好や日々の健康状態などに合わせた料理の提案を受けることができ、快適に食事を取ること」といったことが可能になると考えられている[69]。また、社会全体としてもフードサプライチェーンの効率化による食品ロスの軽減や日本の食産業の競争力強化を図ることできる。それを支える技術に、IoT、AI、ロボティクス等の各テクノロジーがある。

(1) IoT

IoT（Internet of Things）とは、身の回りの様々なモノがインターネットに接続され、相互に情報を交換するシステムである。IoT の導入により、従来では埋もれていた膨大なデータをサーバー上で処理・分析することが可能になる。

IoT を活用したフードテックの例としては、農地情報を IoT で監視するスマート農業や、熱源と調理器具とレシピが連動するスマート調理家電、センサーで食品を管理する冷蔵庫（IoT 家電）等がある。IoT や AI を活用したスマート農業では、センサーで栽培施設内の温度・湿度の管理や、野菜の生育状況をリアルタイムに把握したり、気象データを収集・解析したりすることで農産物の効率的な生産・収穫・流通を可能にしている。IoT は、エネルギー消費の最適化や生産性の向上、健康管理の改善等、様々な分野での効率化や問題解決が期待されている。

(2) AI

フードテックにおいて、AI が活用されている領域には、需要予測、外観検査、疾病予防・健康増進等がある。AI を活用することで、過去の膨大なデータを基にした精度の高い需要予測が可能となり、その結果、例えば食品製造や飲食店における生産計画や在庫管理の精度も向上し、廃棄ロスの大幅な削減につながる。また、食品工場における AI による製造した食品の外観検査の自動化は、画像認識の技術向上により、過去の検査データを基にした高精度の外観検査が可能となっている。特に、少子高齢化により人手不足が深刻化する中、人件費や作業時間を大幅に削減できる外観検査の AI 化には大きな注目が集まっている。

さらに、健康長寿づくりに AI を活用するという研究も行われている[70]。将来 AI が、個人の

(69)　「Society 5.0 新たな価値の事例（食品）」内閣府ウェブサイト <https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/food.html>
(70)　国立大学法人千葉大学・日本電気株式会社「千葉大学と NEC、AI 技術を活用し健康長寿社会づくりに向けた共同研究を開始」（プレスリリース）2018.4.25. 日本電気株式会社ウェブサイト <https://jpn.nec.com/press/201804/20180425_02.html>

栄養状態に合った食事メニュー提供や、生体センサーから得たデータを基にした運動の提案といった方法で、私たちの健康を支援するようになることが期待されている。

実際にAIが活用されている例として、ジャガイモ選別作業の自動化へのAIの導入、AIによる異物除去の精度向上、AIによるサプライチェーンの最適化、回転寿司の鮮度管理や需要予測の自動化へのAIの導入、販売動向と気象データのAIによるひも付け、顔画像解析AIを活用した従業員の健康管理、健康無関心層へのセルフケアAI支援サービス(71)等がある。

さらに、食品開発分野でもAIの活用が進んでいる。米国のアナリティカル・フレーバ・システムズ社は、食品開発AIである「Gastrograph」（ガストログラフ）を開発している。ヒトの味覚と嗜好をモデリングするAIで、消費者の味覚の変化や、嗜好調査を基にし、消費者の嗜好に最適化した新商品開発の支援を行うというものである(72)。

(3) ロボティクス

ロボティクスとは、ロボットの設計や製作、制御に関する研究を行う学問分野で、「ロボット工学」とも呼ばれる。ロボティクスは、少子高齢化に伴う労働力不足や人件費の上昇による自動化需要の増加、部品価格の下落や技術の進歩等により注目を集めており、医療・介護分野等の幅広い分野で研究開発と活用が進められている。さらに、ロボティクスにIoT、AI技術を統合することで、ロボットの自律性が向上し、より高度で正確な作業ができるようになることが予想されている。

フードロボットは、食品工場、飲食店や大規模調理施設等において、調理や配膳、食品の製造等を行うロボットのことである。少子高齢化が進む国内では、飲食サービス業に従事する人材が年々減少し、深刻な労働力不足が常態化しており、フードロボットはこうした課題を解決することができると期待されている。また、ITの発達により人が遠隔で操作するロボットの普及も見込まれており、農業分野での遠隔監視ロボットや遠隔収穫ロボットの実証実験も行われている(73)。また、人と共同作業ができる比較的新しいタイプのロボットとして協働ロボットがあり、レストランや家庭で一緒に調理することも考えられる。

3　フードテックコア技術としてのバイオテクノロジー

バイオテクノロジーである遺伝子組換え技術やゲノム編集技術は、農作物や家畜等の品種改良に用いられる技術である。これまで品種改良を行うために、突然変異の選択、有用種同士の交配、放射線や化学物質による人為的突然変異等を行ってきた。1953年のワトソン（James Dewey Watson）、クリック（Francis Harry Compton Crick）によるDNAの2重らせんモデルの発見以後、急速に発展した遺伝子工学が、遺伝子組換え技術やゲノム編集技術の基盤となっている。

(1) 遺伝子組換え

遺伝子組換えは、従来の品種改良のように交配を繰り返すのではなく、特定の遺伝子のみを

(71)「セルフケアAI支援サービス」富士通株式会社ウェブサイト <https://www.fujitsu.com/jp/solutions/uom/healthy-living/self-care-ai/>

(72) “Optimize Your Products for Consistent Market Wins.” Gastrograph.ai Website <https://www.gastrograph.com>

(73)「「遠隔監視ロボット農機」とは何か？」『スマート農業オンライン教材　第2章応用編』p.104. 農林水産省ウェブサイト <https://www.maff.go.jp/j/keiei/nougyou_jinzaiikusei_kakuho/attach/pdf/smart_kyoiku-40.pdf>

組み込む技術である。また、全く類縁関係ではない遺伝子を組み込むという点も、従来の品種改良とは違っている。自然界で発生しない現象を実現できるのが、遺伝子組換え技術である。

遺伝子組換え食品は、遺伝子組換え技術によって改良された農作物やその加工食品を指す。遺伝子組換え技術で農作物に様々な性質を持たせることができる。例えば、除草剤に耐性を持つセイヨウナタネ、害虫に抵抗性を持つトウモロコシ、有用成分を多く含むダイズ等の遺伝子組換え農作物が開発されている。

厚生労働省は、2001（平成 13）年 4 月から遺伝子組換え食品の安全性を食品衛生上の義務としており、組み込んだ遺伝子によって作られるタンパク質の安全性や、組み込んだ遺伝子が有害物質等を作る可能性がないことを確認している[(74)]。なお、2024（令和 6）年 4 月から、食品衛生基準行政は、厚生労働省から消費者庁に移管されている[(75)]。

(2) ゲノム編集

ゲノム編集は、品種改良を行う目的で生物の特定の遺伝子を変化させる技術であり、ゲノム編集された食品をゲノム編集食品という（第 2 章 VI で後述）。ゲノム編集食品は、遺伝子操作を行った食品という点で遺伝子組換え食品と似ていると言える。しかし、ゲノム編集食品は、元の生物の遺伝子とは異なる外来遺伝子が残らないことが原則であり、外来遺伝子を残す遺伝子組換え食品とは異なる。

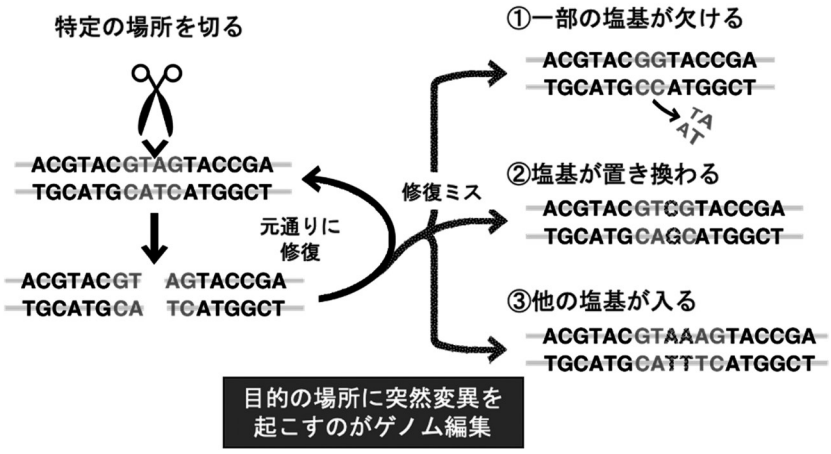
ゲノム編集は、ゲノム中の形質に関わる遺伝情報の特定の DNA 配列を変化させる技術であり、その技術の中でも、「CRISPR/Cas9」（クリスパー／キャスナイン）は、2012 年に報告された代表的なゲノム編集の方法である。2020 年に、このゲノム編集の新技術を開発した二人の科学者がノーベル化学賞を受賞した。ゲノム編集自体は従来、別の方法でも行われていたが、二人の科学者が開発したゲノムを切る「遺伝子のはさみ」の技術は、ゲノム編集を素早く、簡便に、正確にできるようにした。

この CRISPR/Cas9 には、切断しようとするターゲットの DNA 配列と結合できる案内役のガイド RNA と、Cas9 という DNA を切るはさみ酵素のヌクレアーゼが含まれている。ガイド RNA に案内された Cas9 は、ターゲットの DNA の特定の配列を効率よく切断する。DNA は切断されると、元どおりに修復しようとする機構が備わっているため、CRISPR/Cas9 で切断された DNA は、修復の際にミスが起こると、元の DNA 配列とは異なる情報に書き換えられる（図 7）。ゲノム編集では、この現象を利用して目的の場所に突然変異を起こす。ゲノムの狙った場所に突然変異を起こすことができるのが、自然に起こる突然変異やこれまでの人為的な方法とは異なる点である。

(74)　厚生労働省医薬食品局食品安全部「遺伝子組換え食品 Q&A（平成 23 年 6 月 1 日改訂第 9 版）」消費者庁ウェブサイト <https://www.caa.go.jp/policies/policy/standards_evaluation/bio/genetically_modified_food/assets/qa.pdf>

(75)　「バイオテクノロジー応用食品」厚生労働省ウェブサイト <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryou/shokuhin/bio/index_00013.html>

図 7　ゲノム編集技術の原理



（出典）『ゲノム編集―新しい育種技術―　第 6 版』農業・食品産業技術総合研究機構, 2022 <https://www.affrc.maff.go.jp/docs/anzenka/attach/pdf/genom_editting-5.pdf> を基に筆者作成。

ゲノム編集技術を使って品種改良を行う場合、対象が動物か植物かで方法や過程が異なる。魚類や哺乳類等の動物の場合は、はさみ酵素であるヌクレアーゼを作るメッセンジャー RNA を受精卵に注入して、受精卵の中でメッセンジャー RNA からはさみ酵素を作らせる。はさみ酵素は DNA を切断するが、最初に注入されたはさみ酵素のメッセンジャー RNA は後に分解され次世代には受け継がれない。

一方、植物の場合は、植物の細胞に細胞壁があることから、動物の受精卵のようにメッセンジャー RNA を直接注入できない。そのため、遺伝子組換えの技術を使って、はさみ酵素を作るメッセンジャー RNA の鋳型遺伝子である DNA を組み込むと、はさみ酵素を作った後も組み込まれた DNA は分解されず、次世代にも受け継がれる。そこで最終的には、はさみ酵素の DNA を含まない品種にするために、ゲノム編集する前の元の品種と交配し、外来遺伝子であるはさみ酵素の DNA が受け継がれていない品種を選抜するという方法が取られる。

ゲノム編集技術で懸念されていることは、オフターゲットという、はさみ酵素が目的以外の DNA 配列を切ってしまうことである。そのためゲノム編集で切断する DNA 配列は、切断する標的部位のみに含まれている特異的な DNA 配列を選択し、標的以外の部位で DNA を切断してしまうことを防ぐ対策が行われている。さらに、万が一、目的以外の遺伝子を切断したとしても、従来の品種改良と同様に目的以外の変異がないものだけを選抜して利用する。

(3) 遺伝子組換えとゲノム編集の比較

遺伝子組換え技術は、元の生物には無かった外来の遺伝子を組み込み、最終的に組み込んだ外来遺伝子は新品種に残る。自然界で行われる交配では発生しない現象であるため、安全性審査や表示が義務付けられ、組換え DNA の検査法が厚生労働省から公定法として通知されている。一方、ゲノム編集技術は、元の生物の遺伝子を切断し、切断された遺伝子が修復される際に起こる変異、すなわち自然界でも起こりうる突然変異を意図的に起こさせる技術である。安全性審査や表示の義務はなく、最終的に外来遺伝子は新品種に残らないため、ゲノム編集の跡を検出できる検査法は確立されていない。そのような遺伝子組換え食品とゲノム編集食品の違いを表 3 に示す。

表 3　遺伝子組換え食品とゲノム編集食品との違い

遺伝子組換え食品	ゲノム編集食品
類縁関係ではない遺伝子を組み込む（外来遺伝子を残す）	標的配列の遺伝子を切断する（外来遺伝子を残さない）
自然界で発生しない現象	自然界でも起こりうる突然変異を意図的に起こさせる
安全性審査が義務	安全性審査なし
表示義務あり	表示義務なし
栽培・飼育の承認・確認の申請が必要	栽培・飼育の商品・確認の申請は不要
組換え DNA、プロモーター、ターミネーター等の証拠あり	DNA を切るだけでは（ゲノム編集の）証拠なし
検査法あり（厚生労働省から検査法が通知）	確立された検査法なし

（出典）神奈川県衛生研究所「『ゲノム編集食品』ってなに？『遺伝子組換え食品』とはどう違うの？」『衛研ニュース』No.218, 2023.9 <https://www.pref.kanagawa.jp/sys/eiken/005_databox/0504_jouhou/0601_eiken_news/files/eiken_news218.htm> を基に筆者作成。

ゲノム編集食品に検査法がないからといって、法令上の規制が何もないということではない。遺伝子組換え食品やゲノム編集食品は、事前に、使用の目的に従って次のような法律に基づき、科学的に安全性を審査し、問題が生じないと評価されて初めて使用できる仕組みとなっている。

・生物多様性への影響は「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」（平成 15 年法律第 97 号。「カルタヘナ法」）

　遺伝子組換え生物等の使用による生物多様性の影響を防止するための施策を定めた法律である。ゲノム編集生物を開放系（一般的な方法）で使用しようとする場合には、使用に先立ち、使用する目的に応じた所管省庁に対して、事前相談と情報提供を行うことが求められている。

・食品としての安全性は「食品衛生法」（昭和 22 年法律第 233 号）

　食品の安全性の確保のために公衆衛生の見地から必要な規制等の措置を講ずることにより、飲食に起因する衛生上の危害の発生を防止し、国民の健康の保護を図ることを目的とする法律である。遺伝子組換え食品の安全性に関する審査が義務付けられており、審査を受けていない食品の製造・輸入・販売は禁止されている。ゲノム編集食品の場合、外来遺伝子が存在せず、自然界で起こりうるような変異を持つものは、遺伝子組換えとしての規制の範囲外とされている。

・飼料としての安全性は「飼料の安全性の確保及び品質の改善に関する法律」（昭和 28 年法律第 35 号。「飼料安全法」）

　飼料及び飼料添加物の製造等に関する規制、飼料の公定規格の設定及びこれによる検定等を行うことにより、飼料の安全性の確保及び品質の改善を図り、公共の安全の確保と畜産物等の生産の安定に寄与することを目的とする法律である。ゲノム編集食品の扱い方は、基本的に食品衛生法と同様の考え方である。

Ⅴ　フードテックがもたらす未来予想

フードテックは、食の何を変え、私たちにどのような影響をもたらすのだろうか。フードテックがもたらす未来として、テクノロジーの技術史やこれまでに考えられてきた食の未来予想を紹介する。

1　フードテックの進化予測

グローバル化の時代、未来に私たちが食べるものは、環境、社会、経済など様々な外部要因に影響を受けることは間違いないだろう。さらに自分が何を食べたいかという価値観で選ぶこともベースとなる。上記の要因は、フードテックの今後に影響を及ぼすと考えられる。

そのフードテックの進化を考える上で、テクノロジーという大きなくくりがどのように変化していくかの知識は、将来の予測に役に立つ。米国『WIRED』誌の創刊編集長であったケヴィン・ケリー（Kevin Kelly）は、その著書『テクニウム』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」という指摘をしている[76]。

同書によると、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。生物個体の進化を大まかに見ていくと、まず自己複製する分子から始まり、それがより複雑な構造を持ち、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。

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、小惑星の衝突等があり、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。

フードテックというテクノロジーの進化も、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と思われる。そして、それに伴い、今後、私たちが選択できる食べものやサービス等もより複雑化、多様化するのではないかと考えられる。その過程で、生物の進化の自然選択のように、残るものは残り、無くなるものは無くなると予想される。その選択圧（淘汰（とうた）圧）が何であるかを考えることが、フードテックによる食が今後どうなるかを考える上で重要であると思われる。

2　フードテックの食の選択圧とは

イギリスの結晶物理・生物物理学者で、20 世紀最大の科学啓蒙家の一人であったジョン・デスモンド・バナール（John Desmond Bernal）は、1929 年出版の著書『宇宙・肉体・悪魔』の中で壮大な人類未来論を展開している。その冒頭で、未来には「願望の未来」と「宿命の未来」があることが書かれている[77]。これは、未来の正確な分析は、未来がこうあってほしいとか、こうあってほしくないといったあらゆる願望をいったん脇に置き、客観的に宿命を眺めたときに可能になることを意味している。一方で、私たちの願望は、未来を変容させる動機となる。現実の変化は、私たちの望んだ結果と合致するとは限らないが、未来を動かす大きな要因

---

(76)　ケヴィン・ケリー（服部桂訳）『テクニウム―テクノロジーはどこへ向かうのか？―』みすず書房, 2014, pp52-68.（原書名 : Kevin Kelly, *What technology wants*, New York: Viking, 2010.）

(77)　J･D･バナール（鎮目恭夫訳）『宇宙･肉体･悪魔―理性的精神の敵について―　新版』みすず書房, 2020.（原書名 : J.D. Bernal, *The World, the flesh and the devil*, London: Kegan Paul, 1929.）

となる。願望と宿命を分けて考えることが重要と同書の冒頭に書かれている。

未来予測は、多くの場合予想どおりとはならない。予測が難しい原因として、米国の理論物理学者で未来学者のミチオ・カク（Michio Kaku）は、「穴居人の原理」という考えで説明している[78]。穴居人の原理とは、「洞窟や横穴などを住居としていた穴居人の時代から、私たちの望み、夢、人格、欲求は変わっておらず、またこの先もそうそう変わらないだろう」というものである。

現代のテクノロジーと人の原始的な欲求との間に軋轢（あつれき）があるところでは、たいてい穴居人の原理、すなわち人の昔ながらの欲求が勝利を収めてきたという歴史がある。例えばフードテックによる新しい食が受け入れられるかどうか等についても、この穴居人の原理という視点が重要と思われる。

3　新しい食の社会の受け止め方

イギリス出身の SF 作家、アーサー・C・クラーク（Arthur C. Clarke）が定義した「クラークの 3 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。）という有名な言葉がある。今後、発展するかもしれないテクノロジーを考えるとき、現時点の知見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。なぜなら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、将来重要な技術であるにもかかわらず、フードテックの中にはまるで SF のように扱われ、社会実装に届かないものもあるだろう[79]。

また、社会には、遺伝子組換え食品といった新しいテクノロジーで作られた食べものへの不安も存在する。テクノロジーと社会の関係を考える際に重要な点は、フードテックの特徴として、フードテックによる食を受け入れるか受け入れないかに、人の心理的な影響が大きいことである。これが例えば、電子機器のテクノロジーであれば、私たちは「新しいもの＝優れたもの」と感じる場合が多いであろうが、食の世界ではそうとは限らず、むしろ新しい食べものを拒否することが少なくないこと等を、フードテックの今後を予想する上では考慮しなければならないと思われる。

4　フードテックが進展した先の「未来予想図」

いろいろな食の未来予測がなされている。国内の例をいくつか紹介する。

(1)「農業 DX 構想 2.0」での未来予想

III-1 (3) にて前述した「農業 DX 構想 2.0」の第 5 章「農業 DX によって広がっていく「未来予想図」」において[80]、1. 生産、2. 経営、3. 流通・消費、4. 農村、5. 行政の五つの項目について未来予測が書かれている。抜粋すると、

---

(78)　ミチオ・カク（斉藤隆央訳）『2100 年の科学ライフ』NHK 出版, 2012, pp.23-27.（原書名 : Michio Kaku, *Physics of the future*, New York: Doubleday, 2011.）

(79)　石川伸一『「食べること」の進化史―培養肉・昆虫食・3D フードプリンター―』光文社, 2019.

(80)　「農業 DX 構想 2.0―食と農のデジタルトランスフォーメーションへの道筋―」前掲注(49), pp.28-33.

1. 生産では、
　・気温、湿度、土壌環境、病害虫等、様々なデータがセンサーで自動的に検知され、サーバー上で集約・連携された上で、分かりやすく見える化されて、農業の担い手の持つ端末上に農作業に関するアドバイスとともに示されるサービスが、安価に提供されている。
　・消費者の購買データの分析を通じて精度の高い需要予測が行われるようになっている。
等が示されている。
3. 流通・消費では、
　・デジタル技術の活用により、物流拠点の荷捌き作業をロボットが行うことで、無人化されるとともに、AI 搭載アプリが最適な配送ルートや積載方法を提案することで、事業者の連携による共同輸配送等が行われている。
　・生産、消費両面での需給情報の精緻化により、「いつでも、どこでも、誰にでも」画一的なものを提供するレディ･メイド型のモノ消費のみならず、高価格帯の商品を中心に、「いまだけ、ここだけ、あなただけ」の、付加価値を生み出すテイラー・メイド型のコト消費も盛んになり、生産物や食の提供スタイルが変容している。
等の未来予想が示されている。

(2) 博報堂生活総合研究所の「未来年表」

博報堂生活総合研究所が、「FUTURE　LAB 未来人」の編集・制作によるデータを基として、「未来年表」をウェブサイト上で公開している[81]。キーワード検索を行うと、例えば 2030 年には「食品のイノベーション市場が、7000 億ドル（約 74 兆円）の規模に成長する」、「人工知能（AI）による調理ロボットが、この年までに実現する」、2040 年には「月面基地で 1000 人分の宇宙食をまかなう技術が確立する（植物工場、培養肉生産装置の効率化）」といった未来予測が出典、資料、発表日等とともに記載されている。

(3) OPEN MEALS の「FUTURE 2100」

株式会社電通の社内横断フードテック・プロジェクトである「OPEN MEALS」は、企業や大学等との産業や領域を超えた共創を通じて、未来の食体験の発信と新たな食産業の創出を目指した活動を行っている。

その OPEN MEALS は、デジタル化された食の未来を 2100 年まで予測し、それを分かりやすいビジュアルで示している[82]。その中には、2030 年には「食データプラットフォーム＆専用 3Dプリンター、リリース！」、2045 年には「デジタルシェフ「食チューバー」が大活躍。」、2060 年には「飢餓ゼロ、栄養不足ゼロへ。新たな食提供システムを確立。」等のフードテックがより発展した未来像が描かれている。

おわりに

私たちが食べるものは、フードサプライチェーンを経て私たちの手元に届く。自分だけで

(81) 「未来年表」博報堂生活総合研究所ウェブサイト <https://seikatsusoken.jp/futuretimeline/>
(82) 「FUTURE 2100」OPEN MEALS ウェブサイト <https://www.open-meals.com/future100year/index.html>

日々の食事を調達することは難しく、誰かの手助けが必要である。簡単に食べものが手に入る現代では、食べるという行為は、個人のものと考えがちであるが、世界的な人口増加によるタンパク質危機やSDGsの目標達成等の世の中にある多くの課題を踏まえれば、社会的な営みであると言える。現代は、様々なことを考えて食べることが求められている一方で、日本はサステナビリティへの意識が他国よりも低く、今の生活に精一杯で、次世代につなぐ意識も低いという調査結果もある[83]。

現在だけでなく未来の食、自分だけでなく他の人々の食を考えると、現在の食の生産、加工、販売、消費では間に合わないことが予想され、それに対応するためにフードテックは誕生し、発展してきたとも言える。フードテックは未来的であり、利他的な要素が多分に含まれる。

フードテックは、食の世界にサイバーフィジカルシステムやバイオテクノロジーを導入することであるが、食産業に「precision」（精密さ）を取り入れることであると言える。必要なタンパク質だけを生産する、フードシステムを効率的して食品ロスも抑える、個々人に足りない栄養素を補給する食事を提供する等、ムリ、ムダ、ムラをできるだけ排除する方向でフードテックは発展している。またその一方で、食の多様性の拡大、食文化の広がり、食の楽しさといった観点からもフードテックは影響を及ぼすと考えられる。

フードテックは食産業の広範囲にわたる技術の総称であり、個々の技術だけを見てもその世界的な潮流や変化の全体像を把握することは難しい。そのため、食産業全体の大きな枠組みでフードテックの研究開発動向やその課題を知ることが重要であろう。

（石川　伸一）

⑻　株式会社電通広報局「電通と電通総研、2010年に続き「サステナブル・ライフスタイル意識調査2021」を12か国で実施」2021.9.8. <https://www.dentsu.co.jp/news/release/pdf-cms/2021059-0908.pdf>