



食と包装の未来

大和製罐株式会社 環境室長
赤地 利幸

1. はじめに

皆さんは「インターステラー」という SF 映画をご存じでしょうか。SF 映画というと、星間戦争や地球外からの侵略者、AI の暴走など、いわゆるレーザー光線が飛び交う「ドンパチ」や勧善懲悪的にヒーローが活躍する SF 映画が人気を博することが多いですが、環境破壊や自然災害等による人類文明の終局を扱った、クライシス SF という分野があります。前述のインターステラーの冒頭では、地球全体の砂漠化が進行し、画一化された食糧生産が衰退していく世界が描かれています。このような状況がすぐさま訪れるとは言いませんが、昨今の地球環境の変化は SF が SF ではなくなる時代の到来を予感させるものです。事実、スマートフォンや生成 AI の普及、VR やメタバースの浸透、ドローンを無人兵器として使う戦争など、つい最近まで SF の世界で見たものが現実のものとなってきており、技術開発に携わる身にとっては、SF と侮るなかれ、と感じるのです。

現実においても、食品包装を取り巻く環境は近年大きく変わってきています。人口爆発による食糧難、先進国と途上国の間での南北問題、環境汚染問題、地球温暖化問題など、未来に向けて外部環境要因が大きく変わっていく中で、技術開発の視点も、食品の長期保存や安全・安心の確保から、食糧源の確保、食の多様性、フードロス削減、資源循環や 3R の推進、温暖化ガス削減など、広い分野に対応していく必要性が出てきています。

これらの環境変化に対応すべく、国連主導で「持続可能な開発目標」SDGs が推進されています。今回、貴重な紙面に私見を述べさせていただく機会を頂くに当たって、食品と包装の未来について、SDGs のうち食品包装に関わる目標との関連を視点として、現況と想いを交えて述べさせていただきたいと考えました。

2. 代替食品とフードロス

世界的な人口爆発により、世界の食糧需給は逼迫しており、現在は南北問題に代表されるような先進国と開発途上国の格差によって食糧分配に偏りがあり、途上国の貧困、食糧難という形で顕在化しています。一方で、先進国ではサプライチェーン上でフードロス問題が発生しており、食糧が無駄に廃棄されるという矛盾を生んでいます。将来的に人口増と食糧需給はますます悪化することが懸念され、食糧の増産、供給はますます重要視されています。

しかしながら、農地の拡大、食料資源の確保には限界があり、今までのような農業、水産業、畜産業では成り立たない未来が待っています。特にプロテインクライシスと呼ばれるタンパク質源の確保は重要な課題となっています。これらの対策のために、新たな食糧





源を模索する研究として、植物代替肉、細胞培養肉、昆虫食などの研究、開発が始まっていますが、必ずしも順調とは言えない現況と課題について述べたいと思います。

2-1. 植物代替肉

植物培養肉は大豆ミートと呼ばれて国内市場に浸透しつつあります。日本は世界的に見ても豆腐や納豆など伝統的な大豆加工食品があり、古くからタンパク源として活用されてきた背景があるため、代替食品としての障壁が比較的少ないと言えます。今後も市場は拡大していくと考えられますが、農産物としての生産にも限界があり、新たな食糧源というよりも選択肢の増加に過ぎないとも言えます。

2-2. 細胞培養肉

細胞培養肉は 2013 年に世界で初めてオランダのマーストリヒト大学のマーク・ポスト教授によって発表されました。培養肉を調理して作られたハンバーガーは、1 枚のミンチ肉のハンバーグ状のものを作るのに約 3,000 万円のコストがかかり未だ実用性はなかったものの、将来のタンパク質源の新たな製造方法として注目を集めました。これ以降、多くのスタートアップ企業が立ち上がり、世界で培養肉開発競争が始まりました。

東京大学と日清食品のグループは、ミンチ状の肉ではなく、筋繊維構造を再現したステーキ様の食感が感じられる肉塊の生産に挑んでいます。2019 年に 3 次元筋組織培養の技術を用いて、世界で初めて約 1cm 角の立体筋組織の作成に成功しました。また、2022 年には牛由来の培養細胞と食べられる原料のみを用いて培養された「食べられる培養肉」を開発し、実際に試食が行われました。

また、インテグリカルチャー社は、法外な生産コストを実用可能なレベルに落とすことを目的として、独自の Cul-Net システムという培養方法の開発を行っています。培養肉のコストが高いのは、培養液に含まれる高価な原料（成長因子ホルモンやトランスフェリンなど特定の物質）が必要なのが原因です。Cul-Net システムは、培養系内に人工臓器と言えるような臓器培養槽を設け、それらの高価な原料を作らせることによって、より安価な原料だけで培養液を構成できるシステムです。技術的課題は未だあるものの、2023 年に食用可能なアヒル肝臓由来の細胞性食品を発表し、複数の企業体に参加する Cul-Net コンソーシアムを立ち上げて開発スピードを加速しようとしています。

アメリカでは、Memphis Meats 社が 2017 年に世界で初めて人工家禽肉の生産に成功、また、Eat-Just 社は 2020 年 6 月にシンガポールで世界初の培養鶏肉のチキンナゲットの製造販売を開始しました。また、イスラエルでは、Future Meat Technologies 社や Aleph Farms 社などが参入し、培養肉の生産システムの開発や 3D バイオプリンティングによって製造



図1 インテグリカルチャー社
アヒル肝臓由来細胞性食品例



された世界初の細胞ベースリブアイステーキなどを発表しています。

残念ながら、日本の開発状況はアメリカ、イスラエル、オランダなど競合国に水をあけられている状況にあります。背景として、開発にかかる投資額の違いがあります。日本の細胞農業にかけられている投資額は、2016～2020年の累計投資額で25億円程度に過ぎません。一方、同時期の投資額は、アメリカが約2,300億円、イスラエルが約900億円と言われており、官民挙げて積極的に投資が行われています。

また、培養肉は全く新しい製造工程による食品となるため、法規制の問題も存在します。この点でも日本は海外に遅れをとっており、アメリカではFDA（食品医薬品庁）、USDA（農務省）、FSIS（食品安全検査局）で、培養肉も一般の食品安全規制に則って管理することを決め、培養肉の製造方法、リスク評価に対するレビューを完了し、製造販売に向けたガイドラインを発表しています。シンガポールでも2020年12月に、前述したアメリカのEat-Just社の培養鶏肉ナゲットを商品化するにあたり、新規食品規制の認可を行っています。日本では厚労省が2022年度に培養肉の法規制に関する調査、ヒアリングを開始しましたが、未だ具体的な方針は検討中の状態にあります。

2-3. 昆虫食

培養肉のような技術的ハードルがなく、また生産効率の良さからも注目される昆虫食ですが、国内スタートアップ企業は苦戦しています。コオロギやイナゴなどの食用昆虫は東南アジアや、国内でも長野県など一部地域で伝統的に利用されていますが、一般的には受け入れられていないのが実情です。収穫物としてのタンパク質重量あたりの生産コストが畜肉よりも大幅に低く、プロテインスコアや栄養価も高い良質な食糧源であっても、見た目や味に食品としてのなじみがなく、嫌悪感を抱く人も少なくありません。2023年2月、徳島県の高校で学校給食にコオロギエキスが使用され、その是非についてネット上で炎上がありました。また、2024年1月、国内ベンチャーの一つであるクリケットファーム社が経営破綻しています。昆虫食を許容するための正しい情報開示、市場の雰囲気醸成がまだまだ必要で、市場に受け入れられるには未だ時間がかかりそうだと感じます。

3. 3D フードプリンティング

食品の新たな提供方法の一つとして、新たな技術と言えるのが3Dフードプリンティングです。前述した培養肉や昆虫食のような新たな食糧源を食べられる形で提供するための手段として、またフードロスの削減に貢献できる可能性がある製法として注目されています。



3-1. 3D フードプリンティングの利点と課題

3D フードプリンティングは、樹脂や金属の3Dプリンターと同様の特長を持っていま



す。3D プリンターの基礎性能としての立体造形性は、食感をデザインできる可能性があります。代替食や疑似食品のバリエーションを広げる可能性があります。また、オンデマンド成形性があり、食品原料をフードインキとして、粉体やスラリーの状態で保管することができ、フードロス低減や未利用食品の利用に貢献できる可能性があります。また、カスタマイズ性があり、画一的な工業生産による食糧生産と異なり一品一様に生産ができるので、例えば病院給食や介護食品、アレルギー食やビーガンなどのように個人ニーズに合わせた提供ができる可能性があります。また、造形データを共有できることで、世界中の誰でも同じ食品を生産できるというメリットもあります。

一方、課題としては、3D プリンター共通の課題として造形速度があります。一般的な樹脂や金属のプリンターは、金型など一定の精度を求める代わりに速度が問題になることは少ないですが、食品では、精密な精度は求められない代わりに、工業生産レベルとまでは言わないものの、一定の造形速度、繰り返し生産が求められると考えられます。また、フードインキは食品としての安全性、衛生性は最低限の前提条件として、その造形性に対して流動性、保形性、接着性が求められます。これらの発現には食品の物性変化を利用することができ、タンパク質の熱変性、デンプンの糊化、熱可塑・熱硬化性のある増粘剤、ゲル化剤などの添加物、比較的高融点の硬化油脂などの食品原料が必要になります。

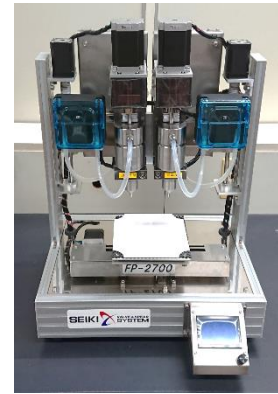


図2 3D フードプリンター
(世紀社製)



図3 3D プリント食品の例

3-2. 社会実装に向けて

3D フードプリンターは未だ開発途上にあり、社会実装を進めていくためには、少なくとも家電製品レベルの価格帯での提供、誰でも簡単に扱うことができるオペレーションの簡便さが必要となります。装置の一般化、簡便なインターフェース、設計のツール化、共有化などが必要になっていくと考えられます。

和・洋菓子や寿司などには意匠性が求められ、一見 3D フードプリンターが適合する市場に見えます。

しかし、一過的な話題性はあっても「面白い」の範疇を出ないと結局、市場拡大には繋がらないジレンマがあります。3D フードプリンターの特性を考慮すると、介護食、医



図3 みやぎセントラルキッチン
で実施した試食評価会の様子



療向け給食、病院食の分野が最も適した市場と考えられます。我々は、一般社団法人みやぎ保健企画セントラルキッチン様にご協力いただき、介護食、病院食のセントラルキッチン向けに、3D フードプリンターの社会実装に向けたメニュー開発、評価を始めています。3D フードプリンターで全てを賄うのではなく、既存の給食の加工手段の一つとして考え、その特性を生かした利用法を検討していきたいと考えています。

4. 食品包装のリサイクル

一方、食品包装容器を取り巻く情勢の変化は進んでおり、企業に求められる環境問題への対応は社会的責務となりました。容器包装材料のポジティブリスト制導入や EU の国境炭素税



など、新たな輸入障壁、経済摩擦の一面も多分にありますが、サステナビリティを高めるための商品設計、サプライチェーン構築が不可欠となりつつあります。

3R (Reduce、Reuse、Recycle) の中で、リサイクルは技術的ハードルも高く、素材によってはまだまだ課題が多いのが実情です。素材メーカー、容器包装メーカー、食品メーカー、消費者に至るサプライチェーンの上流から下流まで、社会全体で取り組む必要があります。日本は国民性として比較的分別回収に丁寧かつ積極的ですが、自治体毎に回収ルールが異なったり、個別の回収ルートが存在したりしており、リサイクルシステムとして包括的ではありません。容器包装リサイクル法によって不採算素材もリサイクル循環が進んできましたが、プラ容器、紙容器などはまだまだ低い水準にあります。

ガラスびんのリサイクル率は 72.0% (2022)、びん to びん率は 76.1% (2022) で比較的高水準でしたが、近年は伸び悩みが見られます。また、金属缶は古くからリサイクルの優等生であり、スチール缶でリサイクル率 92.7% (2022)、アルミ缶でリサイクル率 93.9% (2022)、缶 to 缶率 70.9% (2022) と 10 年以上前から高水準を保っており、リサイクルシステムが包括的に完成されていると言えます。

一方で、プラスチック容器では PET ボトルのみが先行してリサイクル化が進んでおり、リサイクル率 86.9% (2022)、ボトル to ボトル率 29.0% (2022) に達しました。しかしながら、これはあくまで指定 PET ボトルに限った分別であり、指定 PET ボトル以外の PET 容器や、他のプラスチック容器の回収、リサイクルはまだまだ低い水準にあります。プラスチックのリサイクル率は 87% (2021) ですが、サーマルリサイクル 62% (2021) を含んでおり、実リサイクル率は 25% (2021) に過ぎません。化粧品や日用品など、広い分野・用途の業界間で、プラ容器の回収、分別、リサイクルの仕組みを構築する必要があります。また、紙容器も回収率 22.9% (2022) と低い水準にあります。EU では包装及び包装廃棄物規則が発効され、各素材の分別回収の義務化や野心的なリサイクル目標も定められ、これに合致するリサイクル技術も積極的に検討されています。他産業も受け皿となって再生材を活用する社会構造や、リデュース、リユースの各種取り組



みによって、国が一丸となってサーキュラーパッケージの実現を目指していることにも目を向けると良さそうです。

2023 年 12 月、経産省と環境省の共催で、「サーキュラーエコノミーに関する産官学のパートナーシップ」が立ち上がり、企業や自治体を中心に約 300 団体が参加しました。本活動が循環型社会の実現に向けて、特にプラ容器や紙容器のような容器包装の包括的なリサイクル循環システムの構築に繋がっていくことが期待されます。

5. 気候変動と食品包装

気候変動への対応も企業の社会手責務になりつつあります。容器包装食品の GHG 排出量の割合は、メーカー、製品種によってバラツキはあるものの、Scope3（サプライチェーン排出量）の Category1（購入した製品・サービス）が製品の CFP 全体の半分以上を占め、その大部分は容器であることが多いのが実情です。食品・飲料メーカーの Scope3 削減のため、容器サプライヤーに容器の GHG 削減が求められ、リデュース、リサイクルの推進のみならず、再エネ導入、グリーン素材の使用などが必要になっています。GHG ガス排出量削減による環境価値が商品の付加価値となる時代が来ています。



6. おわりに

細胞培養肉の登場や 3D フードプリンターの活用が進むと、食品の提供形態、保存形態が進化し、サプライチェーンも変わってきます。自ずと容器に求められる機能、役割も変わってくる可能性があります。また、環境性能はもはや必須の品質条件となりつつあり、容器に求められる付加価値も変化しています。我々はイノベーションとサステナビリティという 2 つの面に対応していく必要があります。これらの挑戦に対して食品包装産業は未来を形成する重要な役割を果たしていかなければなりません。

参考文献

- 岡田健成, 島亜衣, 竹内昌治, 細胞性食品としての培養ステーキ肉実現に向けて. オレオサイエンス, 23(6): 35-41 (2023).
- 川島一公, 培養肉の研究開発動向と国内市場可能性. 月刊フードケミカル, 35(9): 25-28 (2019).
- 堀内真美, 赤地利幸, 川上勝, 古川英光, 3D フードプリンターで造形される巨視的な 3 次元構造による介護食品などに適した軟質食品の食感設計とその効果. 日本食品工学会誌, 22(4): 119-134 (2021).
- リサイクルに関する統計値は日本容器包装リサイクル協会、3R 推進団体連絡会に所属する各リサイクル推進協議会 8 団体の統計値を引用。



謝辞

本記事の執筆にあたり、インテグリカルチャー株式会社、山形大学工学部古川教授、一般社団法人みやぎ保健企画セントラルキッチンより情報提供いただきました。謹んで御礼申し上げます。

著者情報 -----



赤地 利幸 (AKACHI, Toshiyuki)

1994 年 4 月、大和製罐株式会社に入社。1998 年 10 月、同総合研究所に異動。2010 年 3 月に博士(農学)修了。2018 年 6 月より同総合研究所長。主に介護食品の開発、3D フードプリンターの研究などに従事。2023 年 4 月より同環境室長。2024 年 4 月より山形大学工学部客員准教授を兼任。＜趣味＞滝巡り

〒100-7009 東京都千代田区丸の内 2-7-2

E-mail: t-akachi@mail.daiwa-can.co.jp