

## 代替肉と培養肉に関する調査研究

かわしま けい  
川島 啓  
いがらしみか  
五十嵐美香

一般財団法人日本経済研究所 調査局 研究主幹

一般財団法人日本経済研究所 調査局 副主任研究員

### 1. はじめに

「肉」は人類の歴史を通して、単なる栄養源以上の意味を有している。現代においても、「ごちそう」といえば肉料理をイメージする人が多いのではないだろうか。しかし、人類の祖先は菜食で、アフリカの熱帯雨林で樹上生活を営み、果実を主食としていたことが分かっている。その後、気候変動により森林が後退しサバンナが拡大した結果、食べるのに適した植物が不足したことが、人類の肉食を促したと考えられている。人類は約260万年前～250万年前に肉を食べ始め、約200万年前には肉の摂取が定着したとされ<sup>1</sup>、この肉食への転換が、人類の身体的な進化や社会・文化の形成、さらには地球規模の環境変動へも大きな影響を及ぼすことになる。

現在、「肉」の摂取は、地球環境や人の健康に悪影響を与えると一般的に認識されている。畜産業においては、家畜生産に必要な多量の水資源の確保や家畜の排泄物による水質汚染が問題視されているほか、家畜の消化管内発酵や糞尿からの温室効果ガス（GHG）の排出は、気候変動の大きな原因と考えられている<sup>2</sup>。また、世界保健機関（WHO）の専門組織である国際がん研究機関（IARC）は、ハムや

ソーセージなどの加工肉を「ヒトに対する発がん性がある」グループ1に分類し、牛、豚、羊などの哺乳類の肉<sup>3</sup>についても「ヒトに対しておそらく発がん性がある」グループ2Aに分類している<sup>4</sup>。2015年のIARCの発表によると、加工肉については、「毎日継続して1日当たり50グラム摂取するごとに大腸がんのリスクが18%増加」し、哺乳類の肉については、加工肉と比べてがんとの関連性を示す証拠は弱いものの、「毎日継続して1日当たり100グラム摂取するごとに大腸がんのリスクが17%増加する」としている<sup>5</sup>。

それでも「肉」に対する需要は減るところか増え続けている。2050年には97億人に達すると推計されている人口の増加<sup>6</sup>と、新興国の経済発展に伴う食の嗜好の変化が肉類の消費を牽引し、世界の食肉消費量は、2000～2030年の間におよそ70%、2030～2050年の間にさらに20%拡大すると予測されている<sup>7</sup>。ただし前述の通り、地球環境は従来の方法による畜産物の増産を際限なく許容できるわけではない。また、農地面積や単収の伸び率は鈍化しており<sup>8</sup>、生産される畜産物の量の何倍もの飼料穀物を必要とする家畜を増やすことは、人口増加に伴う食料需給逼迫を一層促進するだろう<sup>9</sup>。

<sup>1</sup> Marta Zaraska 『人類はなぜ肉食をやめられないのか』 2017年

<sup>2</sup> 『世界の農林水産』 2019年春号（通巻854号）

<sup>3</sup> 鶏肉や七面鳥などの家きん類の肉は対象外

<sup>4</sup> IARCのウェブサイト（<https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/>）

<sup>5</sup> IARCのウェブサイト（[https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/Monographs-QA\\_Vol114.pdf](https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/Monographs-QA_Vol114.pdf)）

<sup>6</sup> 国連の世界人口推計（2019年版）

<sup>7</sup> FAO. The Protein Puzzle.

（<http://www.fao.org/Ag/againfo/themes/en/meat/home.html>）

<sup>8</sup> 農林水産省「知ってる？日本の食料事情～日本の食料自給率・食料自給力と食料安全保障～」平成27年4月

このように、さまざまな問題を抱えているにも関わらず、多くの人にとって、肉食を諦めることは非常に困難な選択である。環境破壊や飢餓への対応は急務とはいえ、国連食糧農業機関（FAO）が肉に代わる動物性タンパク質源として推奨している昆虫食や、ヴィーガンやベジタリアンなどの菜食主義が急激に普及することは、現状では考えにくい。そこで、昨今注目されているのが、最新技術により生みだされた「代替肉（フェイクミート等）」や「培養肉（クリーンミート、細胞肉等）」である（図表1）。

大豆などの植物由来の原料で、本物の肉と見た目も味も遜色なく作られる「代替肉」や、家畜を殺さずに細胞を人工的に培養する細胞農業（特定の細胞の培養による食品の生産方法）によって作られる「培養肉」は、従来の「肉」の概念に大きな変革をもたらしつつある。本稿では、代替肉と培養肉の市場と業界の動向や、現状の技術課題について調査・分析した結果をまとめることとする。

## 2. 代替肉・培養肉の市場・業界の概要

### (1) 代替タンパク質源の開発

「持続可能な開発目標（SDGs）」の達成に向け、真に持続可能な食料生産システムの開発に対する国際社会の関心が高まるなか、「AgTech（アグテック）」や「Food-Tech（フードテック）」と呼ばれる分野に注目が集まっている。農業や食にAIやIoT、ロボット技術などの最先端テクノロジーを応用した新たな商品やサービスが生まれており、食に関わるさまざまな問題解決の糸口となることが期待されている。その一例が、「代替肉」や「培養肉」であり、欧米諸国では、高い購買力を持ち健康や食の安全への意識が高く、環境や動物愛護などの社会問題への関心も高い「ミレニアル世代」が牽引する新たな消費トレンドになっていることを背景に、肉のみならず、卵、乳製品、魚介類などの動物性タンパク質源の代替品の開発が、スタートアップ企業を中心に進められている。また、これらの企業に対する出資や買収も活発化している（図表2）。

図表1 代替肉・培養肉

#### ① Beyond Meat 社が販売する代替肉製品



出所：Beyond Meat ウェブサイト  
(<https://www.beyondmeat.com/products/>)

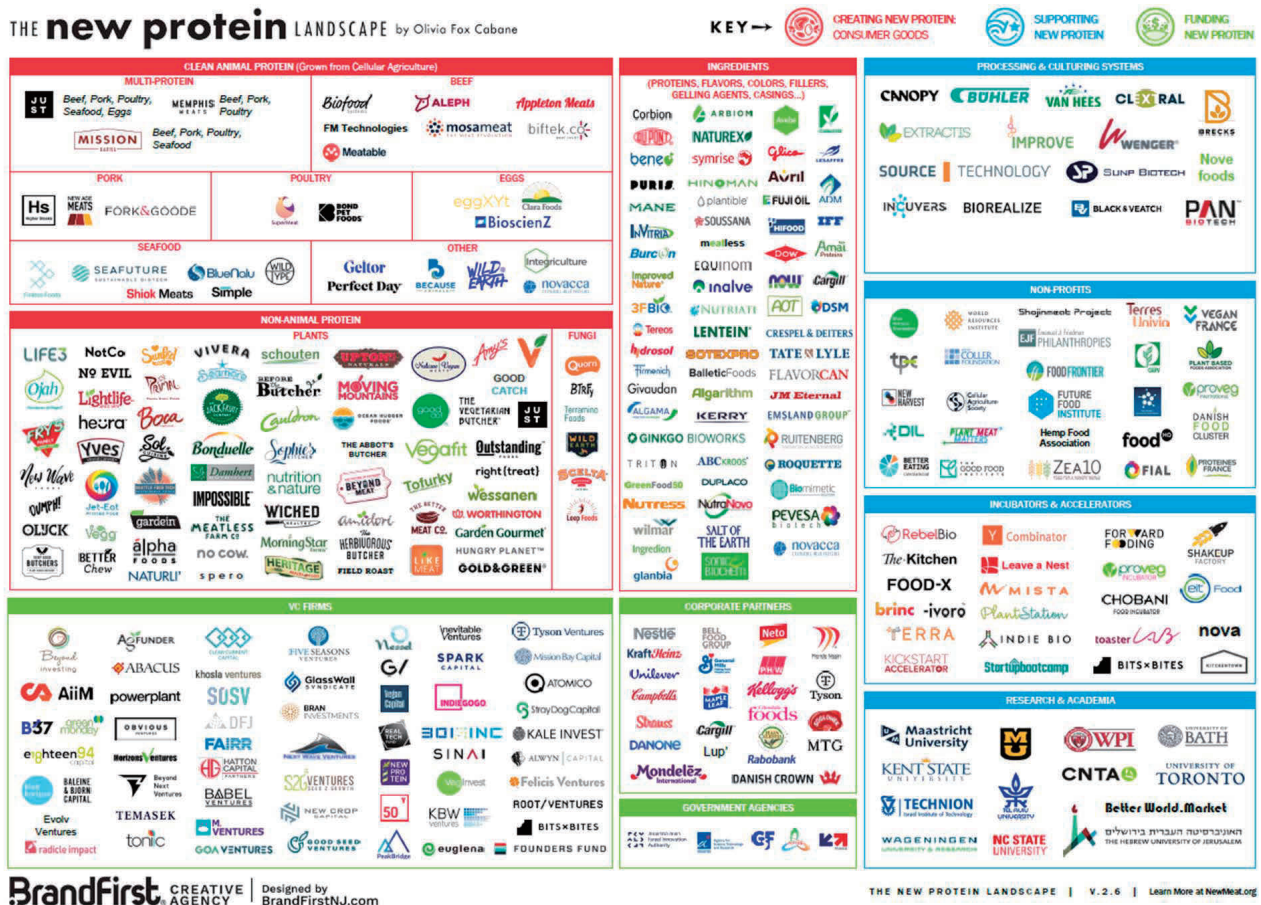
#### ② Mosa Meat 社が開発を進める培養肉



出所：Mosa Meat ウェブサイト  
(<https://www.mosameat.com/our-meat>)

<sup>9</sup> 一般的に、1kgの鶏肉には4kg、豚肉には7kg、牛肉は11kgの穀物（トウモロコシ換算）が必要とされている。

図表2 代替タンパク質業界のプレーヤー



出所：KET KindEarth.Tech のウェブサイト (<https://newprotein.org/maps>)

注：CLEAN ANIMAL PROTEIN：細胞農業により培養肉等の食品を開発製造する企業群

NON-ANIMAL PROTEIN：植物由来の原料により代替肉等の食品を開発製造する企業群

## (2) 代替肉の市場規模と業界動向

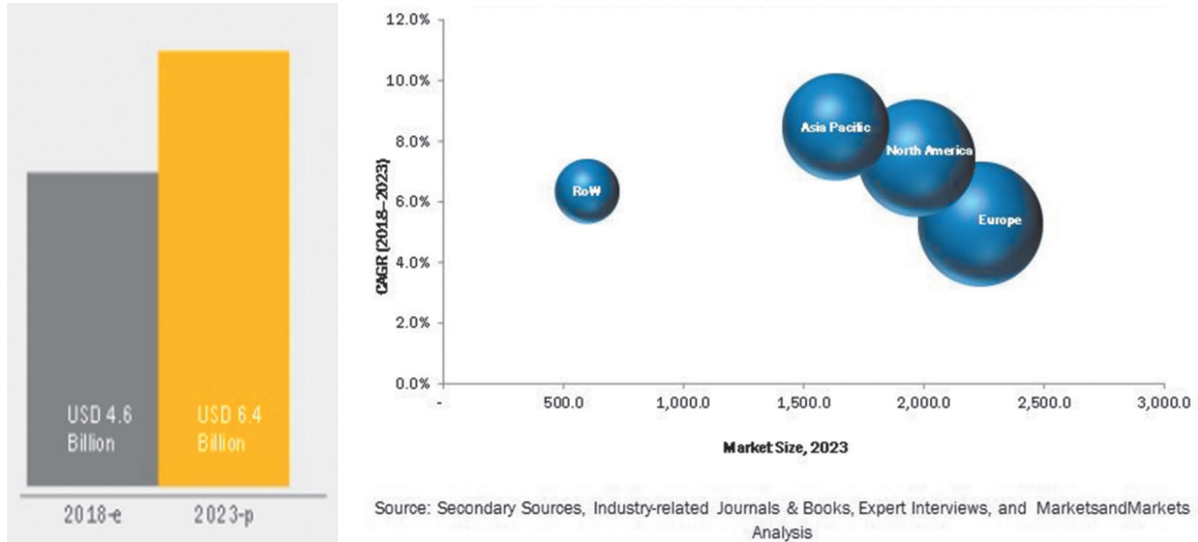
米調査会社の Markets and Markets は、代替肉の世界的な市場規模を、2017年で43.3億米ドル（約4,816億円<sup>10</sup>）、2018年で46.3億米ドル（約5,150億円）と算出している。2018年からは年平均成長率6.8%で拡大し、2023年には64.3億米ドル（約7,152億円）に達すると推定している。地域別では、2017年時点及び2023年の予測において、欧州が最大の市場シェアを占め、北米がそれに続く。また、アジア太平洋地域は、中国を牽引役に最も高い成長率が見込まれ

ている（図表3）。中国は、都市部を中心に健康関連の商品・サービスに対する支出が増えており、健康志向の消費トレンドの高まりが、代替肉市場の主な成長要因になるとみられている。一方、欧米諸国は、前述の通り、健康面や安全性に加え環境負荷や動物愛護などに配慮した商品を好むエシカル消費の広がりも、代替肉商品の普及に貢献すると考えられている。

代替肉の開発製造を手掛ける企業で急成長しているのは、植物由来のバーガーパティやソーセージを

<sup>10</sup> 1米ドル = 111.22円として計算

図表3 代替肉の世界市場規模（2018年 & 2023年）及び地域別の代替肉市場規模（2023年）と成長率（2018年－2023年）



出所：Markets and Markets.

“Meat Substitutes Market by Type (Tofu & Tofu Ingredients, Tempeh, Textured Vegetable Protein (TVP), Seitan, and Quorn), Source (Soy, Wheat, and Mycoprotein), Category (Frozen, Refrigerated, and Shelf-Stable), and Region - Global Forecast to 2023”.

(<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/meat-substitutes-market-979.html>)

販売する米「Beyond Meat (ビヨンド・ミート)」である。同社は2009年に設立され、マイクロソフト共同創業者のビル・ゲイツ氏や俳優のレオナルド・ディカプリオ氏などの著名人が出資していることでも有名だが、2019年5月、米ニューヨークナスダック市場に上場し、代替肉を開発製造する新興企業として初の新規株式公開 (IPO) を果たした。IPO 価格を1株25ドルとして960万株余りを発行し約2億4,000万ドルを調達したうえ、初日の終値は2.6倍まで高騰した。現在同社の商品は、国内のみならず、カナダ、イギリス、イタリア、イスラエルの3万店におよぶスーパーマーケット、飲食店、学校に導入されている。なかでも特筆すべきは、他の多くの代替肉食品が火を通した肉を模した商品で、冷凍食品の棚に陳列されているのに対し、同社の一部の商品は、精肉コーナーで販売されている点である。価格は、通常の肉の商品より2倍程度高いが、これまで代替肉関連のスタートアップへの投資や買収を進め

てきた大手企業が代替肉市場への参入を始めているため、今後価格は下がると予想される。大手食肉企業の「タイソンフーズ」が代替肉市場への参入を表明しており、食品大手の「ネスレ」も、2019年4月から欧州で大豆、小麦、ビートルートなど植物の抽出物を主原料とした「Incredible Burger (インクレディブル・バーガー)」を「Garden Gourmet」というブランド名で販売している。

### (3) 培養肉の市場規模と業界動向

培養肉は商品化に向けた研究開発段階であり、まだ一般に販売されてはいない。そのため不確定要素が多く、前述の Markets and Markets は3つのシナリオのもと、培養肉の市場規模を算出している。通常のシナリオでは、培養肉の世界的な市場規模は、2022年で1,550万ドル（約17億円）となり、北米が最大のシェアを占めると予測している。その後、年平均4.0%で成長し、2027年には2,000万ドル（約22

億円) までに至ると見込んでいる (図表4)。

培養肉が世間に広く認知されたきっかけは、2013年にオランダのマーストリヒト大学の生理学教授マルク・ポスト氏 (「Mosa Meat (モサ・ミート)」) の創立者がロンドンで開催した世界初の培養肉バーガーの試食会である。このハンバーグに使われた培養肉140グラムの生産には33万米ドル (ハンバーガー1個で約3,000万円以上) かかっていた。現在どの企業も商品をいち早く市場へ投入することを目指して、製造コストの大幅な削減に取り組んでおり、複数の企業が数年内の一般販売を計画している。

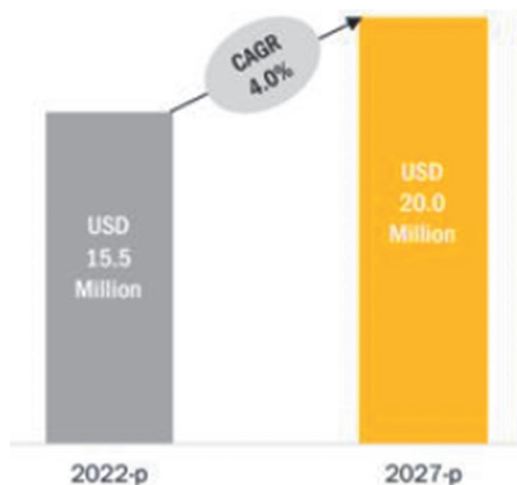
価格以外にも、規制や心理的抵抗感の払拭など課題は多い。それでも、培養肉の開発企業は大手民間企業や政府機関などから投資を集めている。米

「JUST, Inc. (ジャスト)」や「Memphis Meats (メンフィス・ミーツ)」、イスラエルの「SuperMeat (スーパーミート)」、オランダの「Mosa Meat (モサ・ミート)」、日本の「インテグリアルチャー株式会社」などが多額の資金調達を行い、注目を集めている。

### 3. 代替肉・培養肉の開発課題

農業や食の分野で世界トップの研究機関である「ワーヘニンゲン UR」が立地するオランダは、代替肉や培養肉の研究開発の先進国であり、代替肉を使った多種多様な商品が流通している (図表5)。本調査では、ワーヘニンゲン UR や植物性タンパク質に関するコンソーシアム Green Protein Alliance、代替肉や培養肉を開発・製造している民間企業等にインタビューを実施し、業界ニーズと開発課題について整理した。

図表4 培養肉の世界市場規模



出所: Markets and Markets.

“Cultured Meat Market by Source (Poultry, Pork, Beef, Duck), End Use (Nuggets, Burgers, Meatballs, Sausages, Hot Dogs), and Region (North America, Europe, Middle East & Africa, South America, Asia Pacific) - Global Forecast to 2027”.

(<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/cultured-meat-market-204524444.html>)

#### (1) 代替肉の開発課題

肉の代替品は古くから存在し、代替商品の第1世代といわれる豆腐やテンペなどは、現在も代替肉市場で最大のシェアを占める<sup>11</sup>。第2世代以降の商品は、肉の模造品として開発され、ベジタリアンやヴィーガン以外の顧客層を拡大している。1985年に英国で販売を開始したマイコプロテイン (真菌由来のタンパク質) を原料とする「Quorn (クォーン)」は、初期に登場し広範囲に普及した商品の一つで、現在欧米諸国を中心に19カ国で販売されている<sup>12</sup>。

そして、昨今の代替肉の開発は、技術の進歩により新たな局面を迎えている。肉の分子構造をナノメゾスケールで分析し、より肉に近い構造や食感の再現が可能な材料の探索と開発、それらの最適な組合

<sup>11</sup> 前述の Markets and Markets の調査より

<sup>12</sup> Quorn のウェブサイト (<https://www.quorn.us/language-select>)

せや混合割合を研究し、本物の肉と変わらない味、食感、芳香を徹底的に再現しようとしている。第3世代の代替肉の製造工程は、まず肉の構造を模した

塊を作り、(あたかも胸肉の塊からナゲットに使う分を切り取るように) そこから商品となる断片に分けるというプロセスにより、肉独特のテクスチャー

図表5



スーパーマーケット



コンビニエンスストア



レストラン

出所：筆者撮影



自動販売機

図表6 多様な代替肉商品



第1世代商品例

出所：筆者撮影

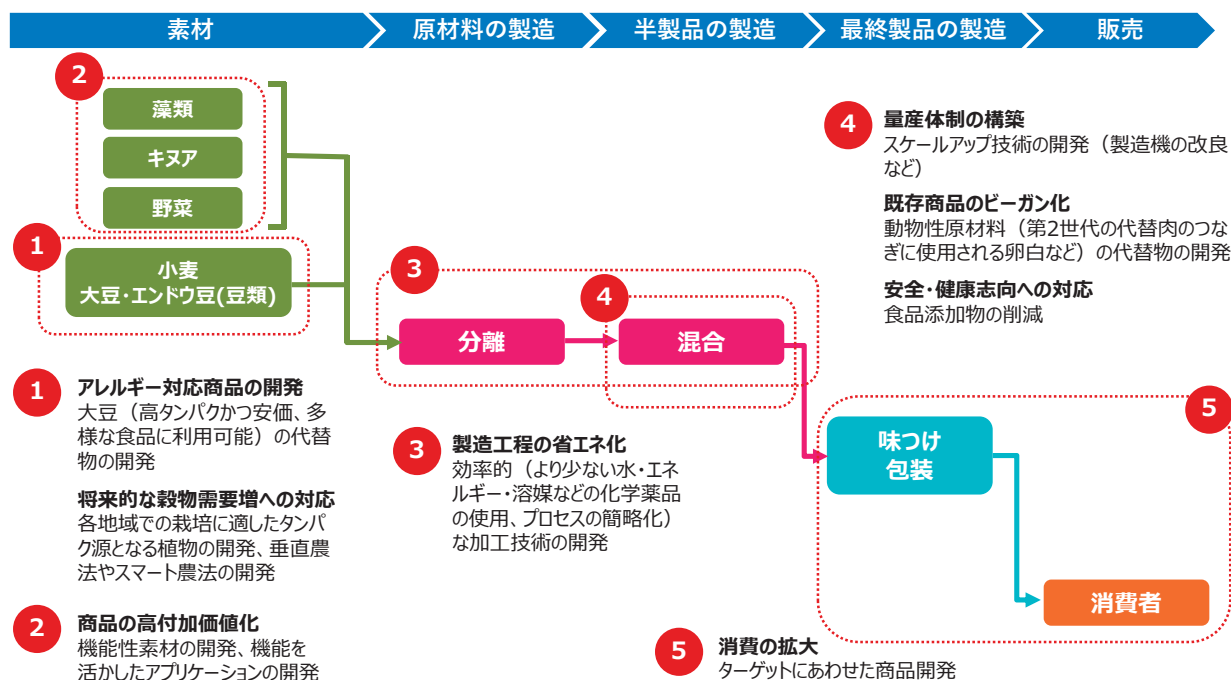


第2世代商品例



第3世代商品例

図表7 代替肉サプライチェーン上のイノベーション領域



出所：ヒアリング調査より

を再現することに成功したが、もはや肉の代わりではなく、新しい肉という意味で「ミートサクセッサ」と呼ばれている。

代替肉市場は成長途中であり、代替肉関連企業は市場ニーズに応える商品を開発し、新たな消費者層を取り込むことで、市場を拡大しようとしている。

前述の通り、肉の食感等を再現するための適切な材料の組みあわせなど、混合のプロセスにおいて、活発な研究開発が行われているが（図表7）、味や食感などの美味しさ以外にも、より栄養価が高く安全で、環境にも配慮した商品を安く購入したいという消費者のニーズは、通常の食品に対するものと同様であり、研究機関や民間企業で技術開発が進められている。また、食肉や食肉加工品の種類に比べ、代替肉商品の種類はまだまだ少なく、新商品の開発に積極的に投資しているほか、需要の伸びに対応するため、量産化へ向けた技術開発も急務となっている。

## (2) 培養肉の開発課題

前述の価格の問題のほか、肉の構造をどのように再現するかが課題となっている。例えば、ステーキ肉は筋肉や脂肪、血管など多くの組織により構成されており、1種類の細胞を培養するだけでは十分ではない。

## 4. 日本の現状と展望

### (1) 代替肉

欧米諸国での代替肉ブームがNHKなどのテレビ番組でも取り上げられ、日本でも認知度は高まってきている。大手食品企業により、代替肉商品の上市が続き（図表8）、ロッテリアやモスバーガーなどのハンバーガショップでも代替肉の導入が始まっている。ただし、スーパーマーケットやコンビニエンスストアでも代替肉を利用した商品が流通している欧米諸国と比較すると、日本ではベジタリアンなどを対象とした小規模小売店やネットでの販売など限定的であり、商品数も少ない。今後の国内市場の拡

図表8 国内企業による代替肉商品

**marukome**

日本のあたたかさ、未来へ。

2015年3月上市  
“ダイズラボ”シリーズ



**omoto 丸大食品**

2018年9月上市  
“ごちソイ”シリーズ



**Otsuka 大塚食品**

2018年11月上市  
ゼロミート



出所：各社ウェブサイトより

大には、日本の実状にあわせたマーケティングと商品開発が必要であると考えられる。

前述の通り、欧米諸国では肉食による健康被害への関心の高まりが代替肉の消費拡大を後押ししているが、肉の摂取量が欧米人より少ない日本人にとっては、あまりぴんとこないかもしれない。つまり、通常の肉を避けたいという理由で代替肉を選択することは考えづらく、むしろ積極的に代替肉を選択したくなるような国内の消費者に響く商品コンセプトを打ち出していく必要がある。例えば、肉らしさを強調するのではなく、植物性タンパク質にフォーカスして商品の価値を提示することが考えられる。植物性タンパク質は、動物性タンパク質に比べ、持久力のある筋肉をつけるのに有効といわれ、こうした特徴を訴求した商品の開発が可能である。また、東京オリンピック・パラリンピックを控え、「食のバリアフリー」といった食に関するスタイルとして、代替肉メニューの導入を提案することも考えられる。日本は豊かな食文化を持ち、さまざまな国の料

理が楽しめるにも関わらず、食のバリアフリーへの意識が低いといわれる。ベジタリアン以外にも、宗教上や健康上の問題で肉を食べることができない人もいる。食事に対しどのような主義や事情を抱えているかに関わらず、全ての人と一緒に食事を楽しむ空間を提供することも大切ではないだろうか。

ヒアリング調査を行ったオランダの代替肉開発製造企業によると、高い技術力を要する代替肉商品を一から開発するには非常に時間がかかるというが、これらの海外の企業との技術提携を進めれば、より速くより多様な商品を短期間で市場に出すことも可能である。既存商品の輸入ではなく日本で商品開発を行うことで、日本人好みの味つけが施せるとともに、藻類等から抽出した機能性の高いタンパク質を添加してより付加価値の高い商品を開発するなど、日本の強みである培養技術の活用も期待できる。

## (2) 培養肉

インテグリカルチャーは2017年に、人工鶏フォアグラの試作に成功している。また、2019年3月には、東京大学生産技術研究所と日清食品が共同で「ステーキ肉（長さ1センチ、幅0.8センチ、高さ0.7センチ）」を開発した。培養肉の開発にあたっては、日本の強みである再生医療分野の技術が転用可能であり、培養肉の商品化に向けた可能性は大きいと思われる。

人類が野生動物を家畜化したのはおよそ1万5,000年前といわれている。その後貴重なタンパク質源である肉を安定的に手に入れるため、畜産業は巨大な規模に成長したが、本稿で紹介した代替肉や培養肉は、近い将来食料供給システムにゲームチェンジを起こす可能性もあるのではないだろうか。