

2023年度 業界動向レポート サマリー版 代替タンパク質

細胞性食品

食肉・シーフード



gfi / Good Food
Institute.

発酵由来食品

代替肉・シーフード
・卵・乳製品



gfi / Good Food
Institute.

植物性食品

代替肉・シーフード
・卵・乳製品



gfi / Good Food
Institute.

gfi / Good Food
Institute.

目次 (各項目をクリックするとそれぞれのページに移動します)

目次.....	2
GFI発刊「State of the Industry Report」シリーズ / Good Food Institute とは.....	3
細胞性食品——食肉・シーフード	5
市場状況.....	6
投資.....	9
消費者インサイト.....	10
科学とテクノロジー.....	12
政府と規制.....	17
今後の見通し.....	18
発酵——代替肉・シーフード・卵・乳製品.....	20
序論.....	21
市場状況.....	22
投資.....	26
消費者インサイト.....	27
科学とテクノロジー.....	30
政府と規制.....	35
今後の見通し.....	38
植物性食品——代替肉・シーフード・卵・乳製品.....	40
市場状況.....	41
売上.....	47
投資.....	49
消費者インサイト.....	52
科学とテクノロジー.....	54
政府と規制.....	57
今後の見通し.....	61

GFI発刊「State of the Industry Report」シリーズ

GFIが毎年発刊している「State of the Industry Report（業界動向レポート）」シリーズでは、代替タンパク質業界を深掘りし、分野全体の発展に貢献している世界各地の事業の動向、主要な技術、政策に関する最新情報、そして科学的なブレークスルーなどに焦点を当てています。このレポートは、以下の3つの報告書のサマリー版となっています。

- 「細胞性食品——食肉とシーフード」：細胞性食品の製造工程の概要については、GFIの「細胞性食品の科学」ページをご覧ください。
- 「発酵——代替肉・シーフード・卵・乳製品」：次世代の代替タンパク質をつくる上で微生物発酵が果たす新たな役割については、GFIの「発酵の科学の深掘り」ページをご覧ください。
- 「植物性食品——代替肉・シーフード・卵・乳製品」：植物性の代替タンパク質に関する科学や技術開発の最新情報については、GFIの「植物性食品の科学の深掘り」ページをご覧ください。

Good Food Institute とは

GFIは非営利シンクタンクであり、慈善活動を原動力とする組織団体の国際的なネットワークです。科学者や企業、政策立案者などとともに、代替タンパク質を従来の食肉と同じくらい美味しく、手頃な価格で、広く普及させることを目標に活動しています。アジア太平洋地域、欧州、ブラジル、インド、イスラエル、そして米国に拠点をおき、市場や科学技術を活用して、従来の有害な生産方法を気候や生物多様性、食料安全保障やグローバルヘルスなどの面においてより適したものに置き換えるよう、国際社会に働きかけています。

GFIでは次の3点に重点的に取り組んでいます。

科学分野を支える 強力なエコシステムの構築

GFIの科学・技術チームは、代替タンパク質が従来の食肉と味や価格の面で競争できるよう、特に開発が遅れている分野を特定し、オープンアクセス型の研究やリソースを提供しています。また、次世代の科学者や起業家の育成・連携を図り、代替タンパク質の開発に役立つ研究に資金を提供することで、市場競争を促す環境づくりに取り組んでいます。

政策への働きかけや 政府による投資の確保

GFIの政策チームは、代替タンパク質が気候変動緩和やグローバルヘルスに関する政策議論の場においてディスカッションに組み込まれるよう活動しています。また、活動範囲内の地域における各国政府に代替タンパク質への投資を促し、規制当局に対し、細胞性食品（いわゆる「培養肉」等）などの新規タンパク質についての情報を提供しています。

代替タンパク質産業 における発展の推進

GFIの経営チームは、過去の市場変革をモデルとし、世界中の企業や投資家と協力して、市場の自然な推進力に頼るだけでは実現できない速度で投資の促進、イノベーションの加速、サプライチェーンの拡大を促しています。

GFIとつながる

- **ニュースレター** | 厳選された最新のニュースや情報、ご案内などをメールでお届けしています。ニュースレターの配信をご希望の方は gfi.org/newsletters から気になるトピックをお選びください。
- **月例セミナー** | 毎月、世界中からトップクラスの専門家を招いて**オンラインセミナー**を開催しています。「The Business of Alt Protein（代替タンパク質の事業）」シリーズでは、成功する食ビジネスの立ち上げや拡大に関連するトピックを取り上げ、商業的な視点から読み解いていきます。また、「The Science of Alt Protein（代替タンパク質の科学）」シリーズでは、代替タンパク質のイノベーションを促進する最先端の研究開発等の技術的なトピックに焦点を当てていきます。

この「**State of the Industry Report**（業界動向レポート）」シリーズをはじめとする、GFIのオープンアクセスとなっている全ての情報やデータは、世界各国からの寄付や助成金などのご支援のもと提供されています。GFIへの寄付にご関心のある方は、[こちら](mailto:philanthropy@gfi.org)をご覧ください。また、philanthropy@gfi.org までお問い合わせください。

細胞性食品

食肉・シーフード



2023年は、米国のレストランに初めて細胞性の食肉が登場し、科学、イノベーション、人材、官民の支援などの面においても細胞性食品の進歩が見られた年となりました。しかし同時に、細胞性食品の技術に対して疑問を呈する歪められた報道などにより、この未だ発展途上の産業は多くの障壁にも直面しました。そうした逆風の中でも、細胞性食品は依然としてタンパク質の生産を大きく変える可能性を秘めています。

170を超える細胞性食品企業、および急速に数を増しつつある科学者らが、消費者が好みの食品を妥協することなく楽しむことができるよう、細胞性食品のイノベーションと最適化に尽力しています。また、世界的に有名なシェフ2名により、米国のレストランで初めて細胞性の鶏肉が提供された上、新たな消費者インサイトや市場分析から、細胞性食品への国際的な関心が高まっていることが明らかになっています。細胞性食品に関する科学の発展および規模の拡大を目指し、新たなパートナーシップやグローバルアライアンスも形成されています。細胞性の代替肉・シーフード企業は2023年の厳しい民間資金調達的环境下でも、2.259

USDの資金調達を実現しました。そして2024年1月には、マイルストーンであった細胞性の牛肉がイスラエルで承認され、細胞性食品業界は食肉生産のあり方を再定義する上でさらなる飛躍を遂げました。

2023年度「State of the Industry Report（業界動向レポート）」シリーズの一環である「細胞性食品――食肉とシーフード」レポートでは、業界全体を俯瞰し、過去1年間の進展をたどっていきます。

市場状況

市場進出に向け達成された重要なマイルストーン

- 米国で、**UPSIDE Foods** および **GOOD Meat** の細胞性の鶏肉食品が2軒のレストランで初めて提供されました。
- 6月に米国で細胞性食品の販売が承認され、The New York Times、NPR、TIME、CBS Sunday Morningなどのメディアで大々的に報じられました。
- シンガポールの **Huber's Butchery** がビストロにて **GOOD Meat** の細胞性鶏肉の取り扱いを開始し、世界で初めて細胞性の食肉を販売する精肉店となりました。
- イスラエルは、2024年1月に **Aleph Farms** の細胞性の牛肉製品を承認し、細胞性食品を承認した国としては世界で3カ国目、その中でも細胞性の牛肉を承認した国としては世界初となりました。

企業の現状

- 2023年までに細胞性食品企業（主に細胞性食品の原料や最終製品に特化した企業）として公表された企業数は、全世界で2022年の**166社**からさらに増え、**174社**にまで達しました。
- 最終製品の製造にとどまらず、細胞性食品のバリューチェーンにも注力する企業が増加しており、少なくとも50社の企業が、バイオプロセスの設計や細胞株の開発、細胞培養培地に焦点を当てています。

大手食品会社の関与

- **ADM** と **Believer Meats** は細胞性食品の生産プロセスの改良と拡大を目指し提携しました。

- 大企業による細胞性食品への関与も深まり、**Danone** と、コカ・コーラ・イスラエルを保有する **Central Bottling Co.** は2社ともに細胞性ミルクに投資しました。

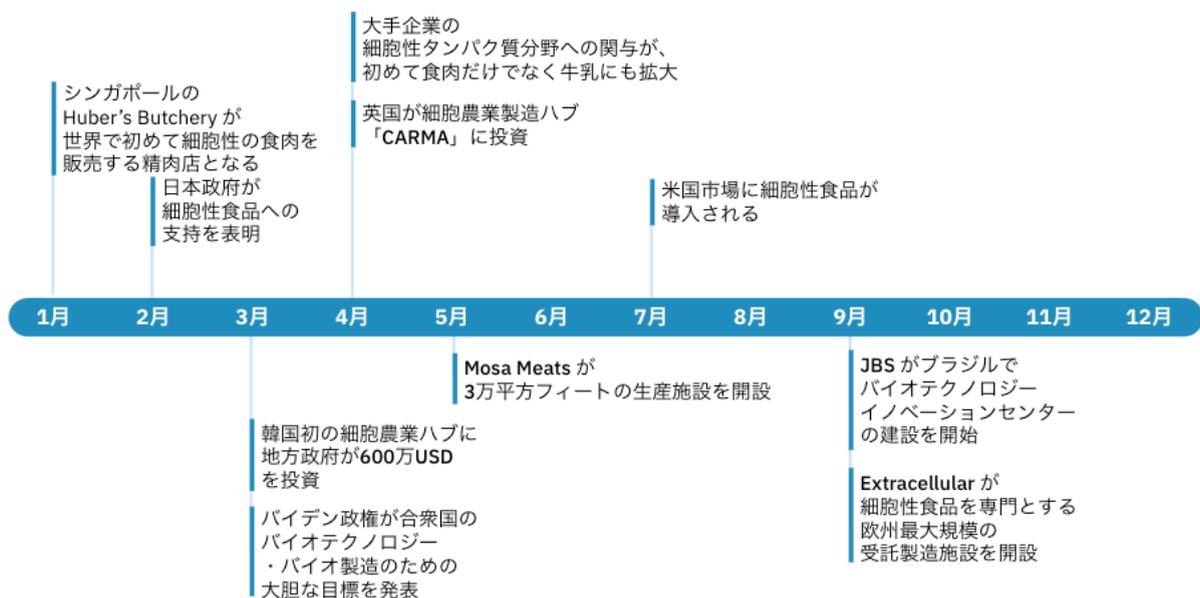
パートナーシップが担う役割

- **JBS** は、細胞性食品の研究開発を目指し、**サンタクララ大学**と提携しました。
- **Aleph Farms** は、同社製品の **Aleph Cuts** ステーキが承認され次第米国で製品の提供を開始できるよう、シェフの Marcus Samuelsson と提携しました。先行して、**UPSIDE foods** や **GOOD Meat** など同様の動きをみせており、細胞性食品企業の間で米国市場への製品導入に向けシェフと提携する傾向がみられています。

インフラ整備の勢い

- 2023年には、アジア、オーストラリア、ヨーロッパ、北米、中東で新たに10箇所の細胞性食品施設が開設されました。大規模な工場としては、オランダにおける Mosa Meat の3万平方フィートの工場と、上海における CellX の工場がオープンしました。
- 上記の施設以外にも少なくとも7箇所の細胞性食品施設が2023年に発表されました。

図1：2023年における細胞性食品に関する主要な動向



施設

細胞性食品生産のスケールアッププロセスは一般的にラボスケール、パイロットスケール、デモスケール（産業的）、商業（商品）スケールの4段階に分けられます。パイロットスケールでは、企業や投資家が原材料や生産コスト、製品の歩留まりを見極めることができるため、コンセプトを実証するものとして極めて重要な段階です。

デモや商業スケールの施設では、年間数百から数千キログラムの細胞性の製品が生産されます。すなわち企業は、規制当局による市場

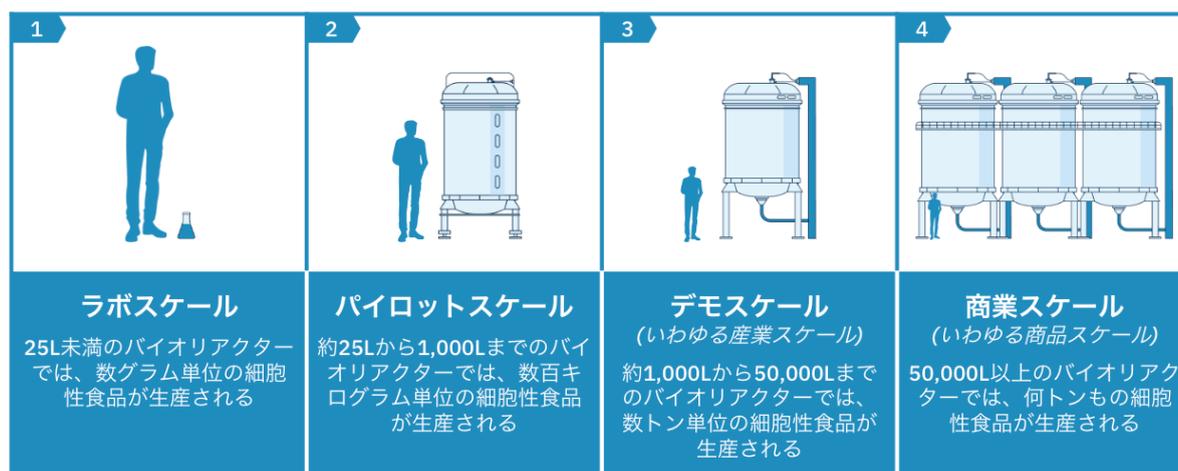
参入への道筋が確立されれば、それから1~3年以内に一部のレストランへの供給をまかなうだけでなく、規制当局や業界の主要パートナー向けのサンプルの生産もこなせるようになることが見込まれます。

2023年には、複数地域において細胞性食品施設が開設、発表、または施設の建設が開始さ

れ、世界的なサプライチェーンがより一層拡大をみせました。こうした新たな施設は、スケールアップの各段階にわたり展開されています。従来よりもはるかに大規模な施設が建設されていることに加え、新たにラボスケール

ルやパイロットスケールの施設も整備されていることから、細胞性食品分野は単に拡大しているだけでなく前進も遂げていることがわかります。

図2：細胞性食品のスケールアップにおける4つのフェーズ



2023年に開設された施設

- 韓国では、地方自治体から700万USDが投じられ、国内初の細胞農業ハブが立ち上げられました。3月に開設された慶尚北道細胞農業産業支援センターは、研究所や分析室、品質管理室、研究センター、および5社の企業が収容されています。
- 細胞性の豚肉メーカー **Fork and Good** は、ニュージャージー州ジャージーシティに1.3万平方フィートのパイロット施設を開設し、従来の豚肉製品と同等のコストを目標に掲げています。
- イスラエルを拠点とする細胞性食品企業 **Aleph Farms** は、イスラエルのレホボトにある同社のパイロット生産施設から VBL Therapeutics の資産と技術を取得し、シンガポールの Esco Aster と新たに製造委託契約を締結しました。
- オランダに拠点を置く細胞性食品企業 **Mosa Meat** は、マーストリヒトに3万平方フィートの生産施設を開設しました。同施設には、1,000リットルのバイオリアクターにより年間何万個ものバーガーを生産する設備が整えられています。
- 上海を拠点とする **CellX** は、同社初となる大規模な細胞性食品工場 Future Food Factory X (FX) の建設を完了しました。FXには1,000リットルのバイオリアクターが複数設置される予定です。
- 英国を拠点とする細胞性の脂肪のスタートアップ企業 **Hoxton Farms** は、ロンドンに1.4万平方フィートのパイロット施設を開設しました。同施設には、年間10トンに及ぶ脂肪を培養する設備が整えられています。
- 英国を拠点とする細胞性食品企業 **Extracellular** は、ブリストルに細胞性の食肉・シーフード専門の受託製造パイロット施設を開設しました。この種の施

設としてはヨーロッパ最大規模であり、開発やスケールアップ、製造サービスを提供します。

- オランダに拠点を置く細胞性食品企業 **Meatable** は、細胞性の豚肉を生産する設備の拡大を目指し、パイロット施設を開設しました。同施設は容量200リットルのバイオリクターを備えており、最大500リットルまで増量できる見込みです。
- オーストラリアの細胞性食品企業 **Magic Valley** は、**Co-Labs** インキュベーターの新しいパイロット施設にて事業を拡大しました。同施設のバイオリクター容量は3,000リットルであり、年間15万キログラムの製品を生産する能力を備えています。
- 細胞性食品企業 **SCiFi Foods** は、CRISPR技術によって編集された細胞を用いて細胞性の牛肉を生産するパイロットプラントをカリフォルニアのベイエリアに建設しました。

投資

2023年、細胞性の食肉・シーフード企業は世界全体で2.259億USDの資金を調達しました。これにより、(2013年以降の)業界全体における資金調達の総額は31億USDに達しましたが、再生可能エネルギーなど、排出量の削減や気候変動目標の達成への貢献が期待される他の技術やイノベーションへの投資と比較するとごくわずかな額です。2023年の調達額は、前年の9.223億USDを大幅に下回る結果となりましたが、これは、民間資金調達環境が全体的に低調であったことを示しています。この年、企業や投資家はインフレ率や金利の上昇、そして不確実な経済の見通しに直面しました。その結果、全世界のベンチャーキャピタルによる2023年の資金調達額は前年比で42%減少し、2017年以來の最低水準となりました(参考までに、フードテックのスタートアップ企業への投資も前年比で61%減少しています)。**Meatable** がシリーズBラウンドで調達した3500万USDが、2023年の取引において最高額となっています。また、細胞性の食肉とシーフードに投資した投資家の数は、2022年の204名から2023年には111名に減少しました。

2023年に建設が開始された施設

- **Believer Meats** は、ノースカロライナ州ウィルソンで20万平方フィートの細胞性食品生産施設の建設を着工しました。同社によると、この新施設は世界最大規模であり、少なくとも年間1万トンの細胞性食品を生産できるようになるとのことです。
- **JBS** の子会社である **BioTech Foods** は、スペインで商業規模の細胞性食品施設を着工しました。同施設は2024年半ばまでに完成する見込みであり、年間1,000トン以上の細胞性の牛肉を生産できる計画となっています。

2023年には上記以外にも少なくとも7つの細胞性食品施設が発表されました。

図3：細胞性食品に投資された資本

区分	2023年	2022年	通算 (2013年以降)	2023年度における摘要
総投資資本	\$226MM	\$922MM	\$3.1B	細胞性食品への投資全体の83%は、過去3年間に実施されている
投資資本の取引件数	53	72	416	2023年最大の投資は3500万USD (Meatable) であった
投資家数	111	204	590	累計の投資家数が13%増加
成長段階における取引数 (シリーズB以上)	2	2	13	Meatable や BlueNalu も含まれる

出典：Net Zero Insights プラットフォーム上のデータに基づくGFIの分析

消費者インサイト

細胞性食品に関心を持つ消費者にとっては、2023年はまさに革命的な年だったといえるでしょう。2店舗にはとどまったものの、米国のレストランのメニューに細胞性食品が初登場したほか、シンガポールでは地元の精肉店という新たな舞台に細胞性食品が進出しました。

しかし、細胞性食品を試食・購入したことのある消費者はまだ少なく、細胞性食品に対する世間の認識や理解も依然として不十分であるのが現状です。このことから、細胞性食品という新たなカテゴリーの誕生を盛り上げ、消費者の関心を引き寄せて細胞性食品のイメージを形作る上で、膨大な可能性がまだ残されていると言えます。

GFIによる2022年版「State of the Industry Report (業界の動向レポート)」の「細胞性食品—代替肉とシーフード」に示されている消費者インサイトは依然として細胞性食品に対する消費者の心情や信念をおおよそ示してはいますが、2023年に新たに発表された調査によってさらに理解は深まり、新たな機会や課題も示唆されています。

世界各地における消費者調査とデモグラフィックに関するインサイト

消費者の動機

細胞性食品に関する訴求や情報がどれほど共感を呼ぶかを見極めるのはまだ時期尚早だと言えますが、これまでの調査から、健康や好奇心、環境面の利点、妥協なしに贅沢を味わえることなどの誘因が、消費者の細胞性食品への関心を高めている可能性があることは一貫して指摘されています。

- **International Food Information Council (国際食品情報協議会)** が2023年に実施した代替タンパク質に関する調査では、代替タンパク質に関心を持っている消費者の間で、好奇心 (32%)、環境面の利点 (28%)、動物の屠殺を必要としないこと (28%)、健康 (26%) が細胞性食品を試すきっかけとなっていることが明らかにされました (最大2つまでの理由を選択可能)。
- GFI と Embold Research が2022年に行った調査によると、様々な種類の情報発信が消費者が細胞性食品に対して感じる魅力を高めていることがわかっており、健康 (55%が健康面に関する情報発信により細胞性食品への関心がやや高まった、または大いに高まったと回答)、気候変動や環境面の利点 (いずれも47%)、従来の食肉と同等の、または将来的にはそれ以上の味・食感・鮮度であること (同じく47%) などに関するものが挙げられます。健康面に関する情報としては、食品由来疾病やパンデミックを引き起こすリスクの低減といった公衆衛生に関するものと、ホルモン剤や抗生物質、ステロイドを含まないといった個人レベルでのものの両方が含まれており、消費者にとっては、個人的および公衆衛生に関して細胞性食品がもたらす多様なメリットが関心の的であることが示唆されました。
- GFI APAC が2022年に発表した調査によると、日本、シンガポール、韓国、タイの消費者にとって、細胞性の代替シーフードへの関心が高まる最大の決め手になっているのは、水銀や重金属の混入がないことです。この4カ国では、味が劣るというイメージや、新鮮さ・天然でないことへの懸念が共通して最大の障壁となっています。

デモグラフィック

- GFI に代わって Morning Consult が実施した消費者調査によると、米国では、男性やZ世代・ミレニアル世代の消費者、また、リベラル派など、細胞性食品に魅力を感じる傾向が強いグループが見られることがわかりました。
- 雑食やフレキシタリアンの消費者もまた、細胞性食品を魅力的と感じる傾向が特に強いことが明らかにされており、シンガポールでは、雑食やフレキシタリアンの消費者が、細胞性食品を早い段階から受け入れたアーリーアダプターの大半を占めているという結果が出ています。このことは、現時点で、従来の食肉を食生活から排除していない消費者の多くが、細胞性食品を魅力的に感じ得ることを示唆しています。
- 最近 USDA・FDA によって細胞性食品が承認されたことや、他人が細胞性食品を食べているところを目撃することなど、特定の要因がきっかけとなって細胞性食品が消費者に受け入れられるようになる可能性が高いことを示唆する調査結果もあります。2023年度のIFICによる調査 (2023年6月にUSDA・FDAの承認が下りる前に実施されたもの) から、消費者の63%が、USDA・FDAの承認が得られれば細胞性食品は安全なものだと受け入れる、と考えていることが明らかになりました。

科学とテクノロジー

新たな研究によって、コスト削減や生産規模の拡大が実現され、将来的な製品の品質向上における業界の適応力が高められたほか、世界中の大学で研究のエコシステムがさらに広がりを見せ、細胞性食品分野の長期的な発展性も高まりました。

細胞株

2023年に実施された 研究のハイライト

細胞性食品の研究コミュニティでは、高品質の細胞株を研究や商業化に利用できるよう、継続して開発が行われました。また、細胞株に関する細胞性食品企業のニーズの理解を深めるため、GFI APAC は業界全体を対象に調査を実施し、特に優先度の高い種属や細胞の種類、現在使用されている細胞株の開発・特性評価・増殖方法、そして、規制に関する文書化や検査についての主要な洞察をまとめた報告書を作成しました。

GFI の助成金を受けている Mukunda Goswami 博士と Reza Ovissipour 博士を交えた研究チームは、淡水の鯉「Labeo rohita」の新しい筋細胞株を報告し、**国立釜慶大学**の研究者らは、ヒラメの筋細胞株を報告しました。ステーキや鶏ムネ肉のようなホールカットの食肉を生産する上では、筋細胞のほかにも脂肪細胞などを含む複数の細胞や、その培養のための三次元構造を構築する必要があります。**南京農業大学**の研究者らは、同じスキャフォールド（足場）上における筋細胞と脂肪細胞の分化を含む、ブタの新しい不死化脂肪細胞株の誘導を報告しました。こうしたプロセスを効果的にスケールアップすることで、従来の同等品により近い細胞性の製品の製造や生産プロセスの大幅な簡素化が期待できます。

Believer Meats の研究者らによる別の研究では、鶏の繊維芽細胞を一般的な食品成分であるレシチンで処理することにより、脂肪細胞としての特性を持たせることができると示されました。

加えて、**Aleph Farms** の研究者らからは、ウシの胚性幹細胞株の開発とキャラクターゼーションへのアプローチが紹介されました。このような胚性細胞は、筋肉や、脂肪をはじめ、細胞性食品の生産者が求めるあらゆる種類の細胞の出発点として使用することができます。こうした研究は全体として、細胞性食品生産に使用される細胞に関して残されている疑問の多くに答え、研究で利用できる細胞株の選択肢を広げることに繋がります。

B2Bの細胞株開発においても飛躍的な1年となりました。 GFI では、細胞性食品に関連した細胞株で、一般公開されているレポジトリや細胞株のオーナーから直接注文できる細胞株を**65種類**（2022年の41種類から増加）特定しました。このうちの多くの細胞株は **OpoBio**、**QuestMeat**、**Roslin Technologies**、**PluriCells** といったB2Bプロバイダーが所有しています。これに加え、受託製造業者である **Extracellular** は、**Multus Media** との提携により、細胞性食品業界向けにライセンスフリーの細胞バンクを新たに立ち上げたことを発表しました。

Extracellular は、まずは牛、豚、子羊の筋肉や脂肪の初代細胞から供給を始め、今後、対応可能な動物種や組織の種類を増やす計画です。細胞性食品企業 **Ohayo Valley** もまた、特注細胞株のサプライヤーとして、部分的なB2Bモデルを目指す意向を示しています。さらに、バイオテクノロジー企業 **Triplebar** と細胞性のシーフード企業 **Umami Bioworks** が、細胞性の魚類の細胞株開発を加速化するために提携することも発表されました。**Triplebar** は、2022年末に開催された GFI の細胞性食品共同セミナーにて同社の技術を紹介しています。

細胞培養培地

2023年に実施された 研究のハイライト

これまでに実施されてきた細胞培養培地に関する研究では、動物性成分を排除して高コストな成分をより安価な代替品へ置き換えたり、生産工程における培地使用の効率を最適化したり、また、全体的に使用する培地成分の削減を図ったりといったアプローチが見られました。2023年には、この研究開発パイプラインの様々な段階において進歩を遂げました。

有望なアプローチのひとつとして、ある産業で発生する廃棄物を別の産業で原料として使用するというものがあり、コストと持続可能性の両方の指標の改善が期待できます。GFIと共同研究者らが北米で農産物から出るサイドストリームを細胞性食品の製造に利用できる可能性を模索した結果、大豆粕、トウモロコシ蒸留粕、キャノーラミール、使用済みのビール粕、およびコーングルテンミールはすべて、細胞培養培地にアミノ酸を供給する際の加水分解物として使用できることが分かりました。

作物から出るサイドストリームを利用する上での最終的な目的は、血清を代替し、より安価かつ持続的に培養細胞に栄養成分を供給することです。これに関する研究ははすでに始まっており、発酵大豆粕やおから（豆腐や豆乳を製造する際に出る廃棄物）が血清の代替品として使用できる可能性があることが韓国とシンガポールの研究グループによって明らかにされています。また、シアノバクテリアから抽出された化合物や、異なる種の微細藻類からの抽出物の使用を検討する研究もいくつか実施されており、細胞培養への栄養補助剤として効果がある可能性があることが分かっています。

しかし、加水分解物や抽出物を得るためのプロトコルの最適化など、依然として課題は残っています。ある研究では、ブラジルのカンピーナス大学の研究者らが、大豆とピー

ナッツのタンパク質ミールからのペプチドとアミノ酸の収量を最大化する方法を探るため、様々な酵素や条件の検証を行いました。将来的には、原料抽出物や加水分解物を採取する際のプロトコルを最適化する研究が細胞性食品業界にとって極めて重要になるとみられており、また、利用できる代替品を用い、細胞培養培地のコスト削減や環境への影響の軽減を図る研究も引き続き期待されています。

他にも特筆すべき研究として、培地全体の配合を最適化し、効率的な使用を促すことに焦点を当てたものもあります。最近の研究では、数学的手法やアルゴリズムを用いて、培地コストの最適化と環境負荷の軽減を図るとともに、血清を含む培地よりも優れた無血清培地の開発が行われています。

システム生物学や代謝モデルの技術は、培地開発の促進にもつながり、細胞性食品産業が成長するにつれますますます重要になってきています。こうした培地開発を積み重ねることで、食肉の培養に使用される多様な生物種や細胞型における培養条件の開発を促進することができ、新たに分野に参入する研究所や企業がより容易にスタート地点に立てるようになります。しかしながら、これまでのところ、培地研究の大部分が哺乳類や鳥類の細胞に着目しており、シーフードの培地の最適化は依然として重大なボトルネックとなっています。

2023年にはまた、アンモニアなどの有毒な代謝物の蓄積を防ぐという公知の課題の解決においても進展がみられました。解決策としては、吸着から遺伝子操作、培地成分の調整まで、さまざまな方法が考えられています。Mosa Meatの研究者らは、培地成分を調整するというアプローチを実証し、細胞に与えるものを変えることでアンモニアの発生を最小限に抑えられることを明らかにしました。単純な解決策ではありませんが、業界全体で採用されれば、非常に大きな効果が期待できます。

スキャフォールド（足場）

2023年に実施された

研究のハイライト

細胞性食品の足場に関する研究では、スケラブルでコスト効率の良い足場を実現するために、最適な材料（または材料の組み合わせ）を特定し革新的な製造技術を開発することに焦点が当てられています。

植物や菌類、またその他の持続可能な供給源に由来するバイオマテリアルを細胞性食品の足場として利用することが、2023年の主要な研究テーマのひとつでした。従来の組織工学では、コラーゲンなどの動物由来のタンパク質や、合成ポリマーなどが足場として多用されてきましたが、現在では、植物や菌類にも足場として利用できる有用な機能が豊富にあることが細胞性食品業界の研究者により証明されつつあります。

ボストンカレッジとウースター工科大学の研究者らは、既存の廃棄物ストリームの中から、マイクロキャリアとして脱細胞化した植物材料（特にトウモロコシの皮やジャックフルーツの果皮）を活用しました。同研究チームはまた、細胞性食品に脱細胞化技術を応用することを視野に、従来の溶剤や界面活性剤を代替する方法や食品に安全な化合物を用いて効果的な脱細胞化ができる条件を特定する方法についても検証を行いました。さらに、**サンジャイ・ガンジー医科学大学院**（インド）の研究者らのもとで、脱細胞化したキノコを筋芽細胞（筋肉の前駆細胞）の足場として使用できることが実証されました。

同様に、**A*STAR** の研究者らはバイオインフォマティクス解析により、RGDモチーフ（動物細胞の細胞外マトリックスへの接着に重要であるとして知られるアミノ酸配列）が植物および菌類の両方に共通していることを発見しました。また、菌類からのRGDに富むタンパク質抽出物が、動物由来のマトリックスタンパク質であるコラーゲンやフィブロネクチンと比較して優れていることも示され、植物や菌類が細胞性食品製造の足場材料とし

て期待できることを裏付ける結果となりました。

シンガポール国立大学での研究では、カボチャの種のタンパク質が動物性ゼラチンと同程度に細胞の接着と増殖を助け、マウスの筋肉と脂肪細胞の長期的な増殖、ニワトリとブタの筋細胞の接着、また、筋細胞の分化を支えることが可能であることが明らかにされました。また、カボチャの種のタンパク質がRGD配列に富んでいることも確認され、このことから研究結果の説明がつくと考えられます。同じ研究グループによるもう一つの研究では、ヒヨコ豆のタンパク質は、未処理の状態ではあまり効果が見られないものの、加水分解物として使用すると、接着、増殖、そして分化を助けるのに非常に効果的であったと報告されています。また、アルギン酸は通常、細胞接着性が低いとされていますが、**建国大学**、**NoAH Biotech**、および**ソウル国立大学**の研究者らによって、クロスリンクの条件を変えることでこうした特性を改善できることが実証されました。

細胞性食品の足場に適した特性も含め、植物、菌類、藻類由来のバイオマテリアルは多様性に富んでいます。バイオインフォマティクスと実験に基づくスクリーニングによって望ましい特性を探り出し、足場が作られる条件を注意深く検証することによって、2023年の研究では、細胞の接着と増殖を助け、最終製品の風味、食感、栄養的特性にプラスまたは中立的な作用をもたらす、食品として安全な足場材料を特定することができました。

こうした一連の調査結果は、将来、細胞性食品の製造において動物由来原料が不要になるという仮説を裏付けるものとなります。

バイオプロセスデザイン

2023年に実施された 研究のハイライト

企業は、魚からエビ、牛肉、鶏肉、豚肉に至るまで、様々な製品に使用する筋肉や脂肪細胞を培養するために、多種の細胞株を積極的に取り入れています。しかし、知識のギャップを埋めることや細胞培養のプロトコルを最適化すること、また適切なバイオリアクターを開発・選定することなど、依然として課題が残っています。

従来の製品と同等の価格や味を確保するためには、培地成分や原材料、バイオリアクターの高コストや入手の困難さへの対策など、バイオプロセスの分野の中で研究者やサプライヤー、投資家による取り組みが必要とされる領域がいくつかあります。今後特に更なる研究や開発が必要とされる領域としては、バイオリアクターのコストや入手の難しさの改善、食品グレードの素材の使用、細胞の採取などで使用する、目的に合った装置の更なる開発などが挙げられます。その他にも、バイオプロセス、モデリング、シミュレーション、および自動化に関する技術者の育成という領域も重要視されています。

2023年には、細胞性食品のバイオプロセスにおいて注目すべき進展がいくつかみられました。**Ark Biotech**が発表した技術経済性分析では、既存のバイオマニュファクチャリング技術によって、1ポンド29.50USDという推定価格で細胞性食品を大規模生産できる可能性があることが明らかにされました。同報告では、販売製品のコストをさらに下げするための戦略として、培地コストの削減、バイオマス収率の向上、バイオプロセスの最適化、そしてより大きなバイオリアクターの利用の4つが挙げられています。また、培地によってコストが大きく左右されると指摘されており、細胞性食品の価格水準を従来の製品と同等にするためには、培地のコストを1リットル当たり1USD程度まで引き下げることが不可欠であるとしています。さらに、減価償却費と労働力の費用負担の軽減を図るためにも、生産規模

を拡大することが重要であるという洞察も示されています。

同分析ではまた、異なるバイオプロセス方法を用いたシナリオが比較され、費用対効果においてはフェドバッチまたは連続プロセスが望ましいとされました。生産規模を拡大した場合、ほとんどの例においてフェドバッチプロセスの方が優れていることが明らかにされた一方で、連続プロセスでは必要とされる全体的な資本的支出とスペースがより少ないことが示されました。Ark Biotechは結論として、細胞性食品を従来の食肉と同等の価格で提供するためには、培地、バイオリアクター、細胞、バイオプロセスを統合的に開発すべきであると指摘しています。

ノルウェーとオランダの研究者らは、培地成分と細胞培養パラメーターの調整・最適化に注力することにより、細胞性食品生産の費用対効果と効率を高めました。同研究グループは、ベンチスケールのバイオリアクターを用いて、無血清条件下で骨格筋サテライト細胞を最長38日間増殖させることに成功しました。これにより、各細胞株やバイオプロセス特有の様々なパラメーターの最適化を図ることを通し、ウシ胎児血清（FBS）への依存をなくしつつ、コスト削減と収率向上を実現できる可能性が示されました。

細胞性食品生産は、再生医療のような分野と共通した課題や機会を有しており、将来的な分野間の連携した取り組みや資源配分といった協力が期待できます。再生医療は、組織を生成するための足場開発、幹細胞生物学、または培地開発といった分野において新しい知見を提供することができます。またバイオリアクターは医療においても細胞性食品の生産においても極めて重要なものであり、細胞培養を拡大し、細胞増殖のための条件を一定に保つことで、効率性の向上と規模の拡大を可能にします。この総説では、細胞治療や培養された食肉製造におけるバイオリアクター技術についての調査・評価がなされています。

フランスの研究チームによって、細胞性食品生産における三次元培養にまつわる課題に対処するための革新的なソリューションが開発されました。従来の三次元培養方法は、スケラブルでない足場に依存していることが多いことか

ら、同研究チームは、生物模倣型の三次元培養の利点を、バイオリアクターを用いたスケールアップな生産方法と掛け合わせ、in vitro 培養システムを創出しました。この研究では、幹細胞生産のスケールアップに成功したほか、10リットルの攪拌槽型バイオリアクターを用いてわずか6.5日で277倍という驚異的な増殖率を達成し、生産規模に左右されない効率の維持を実証しました。これはヒトの細胞を使って実証されたものですが、理論的には細胞性食品産業にも適用できる概念だと考えられます。

最後に、細胞性食品の加工を最適化し、従来の製品と同等の価格を実現するためには、コンピューター・モデルとシミュレーションを活用していくことが不可欠になります。特に大規模な生産を行う場合においてその重要性は高まります。このプロセスにおける大きな課題のひとつとして、バイオリアクターの高速ローターによる破壊的なシェアストレスが挙げられます。最近実施された研究では、研究者らによりエージェントベースモデリングと数値流体力学を統合した計算モデルが開発され、攪拌槽型バイオリアクターにおけるバイオマス成長が調査されました。同研究では、ローター速度によって引き起こされる機械的ストレスが球状のマイクロキャリア上の細胞増殖に及ぼす影響に焦点が当てられました。その結果、シミュレーションによって得られた結果が実際の実験結果と一致し、ローター速度を上げると機械的ストレスが高まるため、細胞増殖率が低下し、細胞死が増加することが示されました。このシミュレーションは、バイオリアクションの設計や培養条件の最適化への情報提供を通じ、バイオマス生産を向上させながらコストを削減できるような包括的なモデル構築するへの第一歩となりました。

最終製品の処方設計と特性評価

細胞性食品の商業的成功を収めるためには、効率的で安定したバイオプロセスの開発と、美味しく栄養価の高い製品を生産するために必要なものを

明確に理解することが必要です。こうした観点から年々、細胞性食品に関する学術論文に風味、食感、また栄養的な特性評価が含まれることが一般的になってきており、具体的には、脂肪特性（Yuen Jr. et al. 2023; Louis et al. 2023）、食感特性（Xu et al. 2023; Yen et al. 2023; Guan et al. 2023; Liu et al. 2023; Zhu et al. 2023）、また、調理による製品の変化（Yen et al. 2023; Kawecki et al. 2023; Guan et al. 2023）に関する情報などが挙げられます。

細胞性食品の特性評価は、従来の食肉と同じような方法で実施されることが予想されています。例えば、Mariano et al. (2023)による総説では、細胞性食品における認証やトレーサビリティに使用される特性評価によって、細胞性食品を検証し、従来の食肉との差別化を図ることができると論じられています。

細胞性食品分野では、培養した筋肉と脂肪をいかに効率的に結合組織にできるかという重要な課題への取り組みが始まっています。筋原性（筋肉）細胞と脂肪生成（脂肪）細胞の同時培養は、それぞれの培地要件が異なり、互いの活性に影響を及ぼす傾向があることから、複雑になることが予想されますが、実際にブタの脂肪細胞とマウスの筋細胞の同時分化の成功が実証されており、この課題は必ずしも越えられぬ壁ではないようです。

また、同時分化を用いない他のアプローチも検証されています。例として、ある研究では、脂肪と筋肉を予め分化させたコンストラクトを組み合わせることで、凝集した組織を形成できることが示されています。さらに、別の研究では、分化させた筋肉のコンストラクトを植物性のオレオゲルと組み合わせたプロトタイプが作成されました。今後、バイオプロセスの効率化、また製品の品質向上に向けた、最も効率的なアプローチを特定し確実に実現するためには、さらなる研究が必要です。

政府と規制

複数の地域にわたる多額の公共投資から、細胞性食品にとって有益な公共政策の導入・採用、さらには米国農務省（USDA）による米国での細胞性の鶏肉の承認まで、各国政府による細胞性食品の支援に関する取り組みが著しく進展しました。

- ドバイで開催された第28回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP28）では、初めてフードシステムの変革が主要な気候変動対策のひとつとして脚光を浴びました。
- 中国、イスラエル、日本、英国、米国など、多くの国々が細胞性食品の新たなインフラ整備と市場開拓を支援しました。
- 2023年度の細胞性食品への資金提供に関する発表は英国が主導し、バース大学における新たな研究ハブに1200万GBP（1500万USD）が、細胞性食品に関する7つの研究プロジェクトに推定340万GBP（430万USD）が割り当てられました。

グローバルな連携と調整

2023年には、代替タンパク質に関する科学技術の推進に加え、相互に連携した国際的な研究および事業のエコシステムの構築を目指し、政府間で共同の研究プロジェクトを実施するという新たなトレンドが始まりました。

COP28

また、代替タンパク質の開発において、互いの利益のためだけでなく、地域社会の利益を上げるために、各国政府がいかに協力し合えるかについても、新たな見解が示された年でもありました。

ドバイのCOP28で発表された国連環境計画（UNEP）の報告書は、100%代替タンパク質に焦点を当て、各国政府が個別または連携して実施できる有望な取り組みをまとめています。多国間協力の項目では、各国政府が二国間や多国間の研究活動に乗り出すこと、貿易政策を見直してより協力的な内容に改めること、国際的な食品安全基準を策定すること、そして開発金融機関と協力して世界的な体制を整えることが提言されています。

また、COP28では、米国、中国、EU27、およびブラジルを含む159カ国が「持続可能な農業、強靱な食料システム及び気候行動に関するエミレーツ宣言」に署名し、2025年の「国が決定する貢献（NDC）」において食料システムが引き起こす排出に対処することを約束しました。同宣言では代替タンパク質について明確に言及されていないものの、1.5°Cの気温上昇を抑えるためには、畜産に代わる方法を支援することが必要です。

CAC46

「国際食品規格委員会」（または「コーデックス委員会」）は、国連食糧農業機関（FAO）と世界保健機関（WHO）が共同で運営する国際機関です。188カ国の加盟国や欧州連合（EU）のほか、GFIを含む多くの公式オブザーバー機関が参加しています。同委員会は、「Codex Alimentarius」（略称「コーデックス」）と呼ばれる出版物を通して、食品の安全性や貿易に関する自発的な規格やガイドラインを公布しています。

コーデックス事務局は2023年4月、加盟国およびオブザーバーに対し、代替タンパク質を含む新たな食料源と生産システム（NFPS）に関するコーデックス規格の策定が必要となるようなトピックについてコメントを求める回状を発行し、コーデックス内において適切にNFPSに対応するためのプロセスについても意見を求めました。GFIを含むメンバーやオブザーバーは、現行のコーデックスの制度

がNFPSに関する問題に対処するのに適切であるかどうかについてコメントし、委員会にてまだ検討されたことのないNFPSの規格設定に関連する事項を指摘しました。2023年12月に開催された第46回コーデックス総会（CAC46）においてNFPSに関する議論がなされ、今後発生し得るNFPSに関する問題については、現行のコーデックスの制度で十分対応できることが決定されました。コーデックス委員会の一部のメンバーは、NFPSに関連する新規の作業について、将来的に具体的な提案書を提出する意向を示しました。

FAO・WHO

2023年4月にFAOとWHOにより「Food Safety Aspects of Cell-Based Foods（細胞由来食品の食品としての安全性）」と題した報告書が発表されました。同報告書には、代替タンパク質に関する用語、また、開発、安全性、持続可能性などについての関連事項がまとめられており、代替タンパク質に関する有用なリソースや世界的なレベルでの取り組み、規制要件の足並みを揃える上で関連当局が検討すべき事項についても記載されています。また、2022年11月にシンガポールで開催されたFAO主導の専門家会合の結果も含まれています。FAOはこの報告書とともに、調査結果をまとめたファクトシートも発表しました。

今後の見通し

規制当局の承認、公的資金の増加、プロセスのスケールアップなど、2023年の細胞性食品セクターを形作った要素は、2024年も引き続きこの業界をリードしていくことでしょう。

現在、シンガポールでは1社、米国では2社が細胞性の鶏肉製品を販売する許可を受けています。こうした認可の取得によって世界の規制に関する基盤が作られ、2024年にも一部の地域において規制面での進展が期待されています。イスラエルでは2024年の初めに **Aleph Farms** が世界で初めて細胞性の牛肉製品の承認を取得し、世界で3番目に細胞性食品の承認を押し進めた国となりました。英国、スイス、オーストラリア、ニュージーランドではいずれも現在、細胞性食品の承認申請が審査段階にあり、年内に承認が見込まれる製品もあります。

現在審査段階にある製品には、多様な生産プロセスや最終製品がみられます。2024年には、鶏肉以外の細胞性の製品が初めて市場に登場するほか、無血清培地を使用した細胞性の製品も初めて販売される予定です。また、より多くの製品が市場に出回るということは、それだけ多くの企業が収益を上げることになります。製品の数量は依然として限られるため、収益の合計は比較的少額にとどまることが考えられますが、それでもこのセクターにとって新たな節目となることは間違いありません。

2024年に収益を生み出す企業が一握りにとどまるということは、細胞性食品業界における資金調達を引き続き重要になってくることを意味しています。細胞性食品企業の大半は、依然として事業の収益が上がる前の段階にあるので、細胞性食品業界の健全性のためには資金調達環境が極めて重要です。研究開発段階にあるスタートアップ企業は資金調達によって財源を確保しなければならず、販売承認を取得した製品をもつ企業にとっては、パイロット生産と商業生産の間の「死の谷」と呼ばれるスケールアップの課題を乗り越える上で資金調達が鍵となります。

一部の細胞性食品企業は、事業の成長に必要な資金を確保することが期待されますが、資金調達環境は例年よりも厳しいものとなる見込みです。そのため、世界各国の政府が、研究開発への投資、助成金、融資や保証付融資、またその他の形態の資金提供を通じて、発展途上にある細胞性食品セクターの支援に乗り出すことがますます重要とされています。このことから、2023年に、各国政府が細胞

性食品を気候変動やバイオエコノミー、食料安全保障の解決策として認識するようになったことは、このセクターにとって良い兆しです。しかし、代替タンパク質への投資と、これまでにその何倍もの資金が投じられてきた他の気候変動対策への投資との差を埋めるためには、さらなる取り組みが必要です。

2024年には、販売が開始される予定の細胞性食品の数はまだわずかですが、細胞性食品セクターの企業は生産プロセスを改良し、規模を拡大していくことが見込まれています。これから数年の間に、ノースカロライナ州にある Believer Meats の20万平方フィートの工場を含む工業規模の新たな施設の開設が予定されており、細胞性食品産業の生産能力が大幅に拡大されることが期待されます。また、GFIの2023年度細胞性食品バイオプロセス調査（2024年公表予定）では、世界の細胞性食品生産量が2026年末までに12.5万トンまで達する可能性が示唆されています（この予測の制限に関する考察については報告書を参照）。この規模は世界の食肉生産量のごく一部にすぎませんが、現在の細胞性食品の生産量と比較すると大幅な増加となり、世界中で何千人もの消費者に細胞性食品を味わう機会を提供できることとなります。

発酵由来食品

代替肉・シーフード
・卵・乳製品



序論

代替タンパク質の加工・製造ソリューションとして、数種類の発酵方法が採用されています。代替タンパク質産業における発酵とは、食品向けに微生物を利用することを指します。ここでは、代替タンパク質企業が発酵をどのように活用しているのか、3つの代表的な方法を紹介します。

発酵について

伝統的な発酵は、何千年も前からパンやビールなど身近な製品の製造に使用されてきた発酵方法です。完全で生きたままの微生物を利用して植物由来の成分を調整・加工することで、独特の風味や栄養価、食感をもった食品をつくることができます。クモノスカビを利用して大豆を発酵させてテンペを作る方法や、乳酸菌を使ってチーズやヨーグルトを製造する方法などがこれに当たります。伝統的な発酵を利用することで、多くの代替タンパク質原料の味や食感、機能、栄養などの要素を改善することができます。

伝統的な発酵は、従来のタンパク質および代替タンパク質のセクターで広く用いられていることから、独自の原料や最終製品に応じてうまく発酵プロセスをアレンジできる企業こそが、代替タンパク質の分野において差別化を図ることができる可能性が高いといえます。**Chunk Foods** や

Planetarians のような企業は、伝統的な発酵やその副産物を利用し、独自のホールカットの植物性代替肉製品を製造しています。こうした企業間の発酵プロセスにおける違いは、コスト面においてもスケラビリティの面においても大きな差をもたらします。

バイオマス発酵は、微生物のタンパク質含有量の多さと増殖の速さを利用して、効率的に大量のタンパク質を生産する発酵方法です。微生物の多くは、数時間で倍近くの重さになるほど迅速に成長するため、たくさんのタンパク質を生産することができます。微生物バイオマス自体、細胞を壊すことなくそのまま、もしくは最小限の加工を施して、食品の原料として使用することができます。微生物バイオマスは、食品の主要原料となることもあれば、他の原料と混ぜ合わせて使用されることもあります。酵母、糸状菌、微細藻類など、様々な微生物のバイオマス発酵への応用が検討されており、特に日光を当てる代わりに糖分を与えて育てる従属栄養培養とよばれる方法で育てられた微細藻類に着目するバイオマス企業も増えています。藻類の従属栄養培養は一般的に、光源や太陽光を必要とする光合成による培養と比較すると、より速く、標準的なバイオリクターを活用することができます。

バイオマス発酵は、**Quorn** をはじめとする企業により1980年代から大々的に利用されており、**Meati** など、実際に国内外で製品の販売を実現している企業もあります。工程、原料、対象微生物などにおける違いが企業間の差別化の主な要因となっており、最終製品の価格の手頃さやスケラビリティに影響を与えることがあります。

精密発酵は、微生物を「細胞工場」として利用し、特定の機能性成分をつくる特殊な醸造方法です。タンパク質、ビタミン、酵素、天然色素、脂肪などをつくることができ、植物性食品や細胞性食品の風味や食感、機能的特性などを向上させる高付加価値な原料の生産に適しています。また、ヘムを含む、アニマルフリーの代替肉のタンパク質、卵白タンパク質、乳タンパク質、ペプシン、脂肪などの製造にも使用することができます。肉の独特な味や香りの源となるミオグロビンなどのタンパク質を植物性食品に取り入れることで、従来の食肉製品に近い食体験を提供することができます。

1990年代にレンネット（チーズ凝固剤）の主要酵素であるキモシンが精密発酵によって初めて作られて以来、精密発酵は食品製造に利用されてきました。**Perfect Day**の乳清（ホエイ）タンパク質や**Impossible Foods**の大豆レグヘモグロビンなど、精密発酵由来の重要な代替タンパク質成分も、一握りではありながら、広く流通しています。とはいえ、キモシンやレグヘモグロビン、ホエイ、カゼイン、パーム油など、成分によって製造工程の複雑さが大幅に異なってくるため、特に製品開発やスケールアップなどの段階でプロセスに差が出てきます。

市場状況

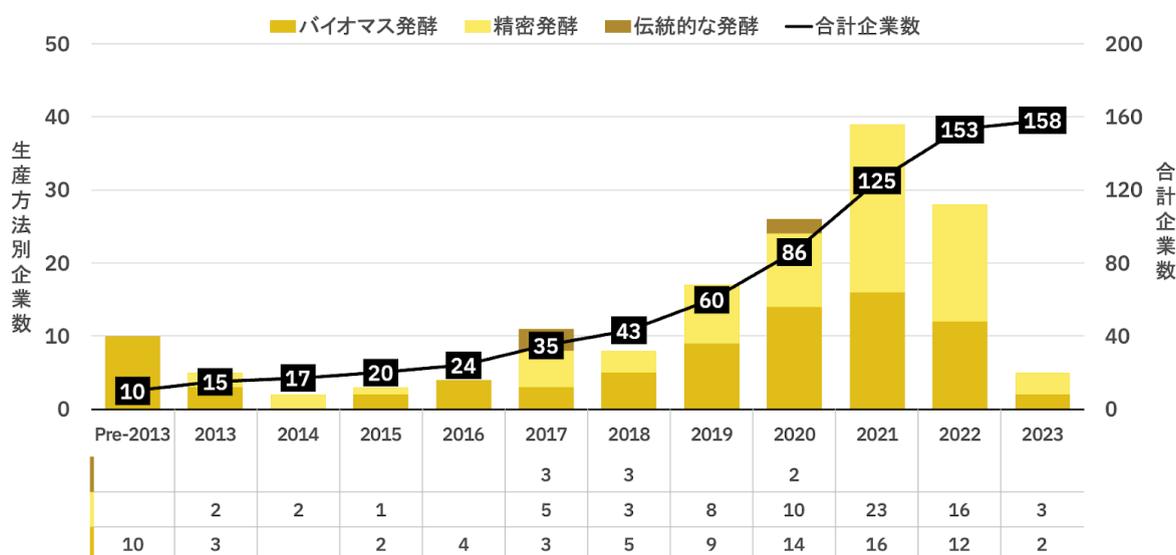
概要

発酵を利用してつくられる代替タンパク質は、サステナブルな食品源の需要に応える上での有効な手段として2023年もさらなる発展を遂げてきました。

少なくとも7つの発酵施設が新たに開設され、新しい製品や企業も登場し、大手食肉企業や消費者向けパッケージ商品（CPG）企業が発酵セクターに積極的に参入し続けるなど、極めて重要な進展が見られた1年でした。こうした動きはすべて、同セクターのレジリエンスの高さや長期的な成長の可能性を物語っています。

- 2023年までに、主に代替タンパク質生産に使用される発酵の原料や最終製品の生産に重点的に取り組んでいるとして公表された企業数は158社に達しました。
- 同年、新たに7つの発酵施設が開設され、他にも発表または建設が開始された施設も複数みられました。米国では特に、**Meati Foods**がコロラド州ソートンに10万平方フィートの商業施設を建設し、**Liberation Labs**がインディアナ州に60万リットルの施設の建設を開始しました。
- 大手食品企業も発酵産業への関与を続けました。**FrieslandCampina**や**Danone**などの世界的な乳製品会社は精密発酵への取り組みを強化し、世界最大級の水産会社**Thai Union**は微細藻類から作られた原料に投資しました。

図4：設立年別の公表された新規企業数および合計企業数



出典：GFIの関連企業データベース

施設

近年、発酵による代替タンパク質製品の市場が拡大しており、それに伴いより多くの、より大規模な発酵施設が不可欠となってきています。

しかし、GFI と Integration Consulting による2023年度の発酵生産能力分析から明らかになったように、製薬、工業用酵素、燃料、飲料業界における既存の発酵施設の大半は、代替タンパク質生産に適しておらず、このことは発酵を利用した代替タンパク質産業の成長を阻む要因となっています。発酵業界の一部の企業間では生産能力が依然として課題となっていますが、2023年には有望な進展もいくつかみられました。

2023年に開設された施設

- キノコの根を主原料とする製品を生産する **Meati Foods** は1月、コロラド州ソートンに10万平方フィートの施設「Mega Ranch」を開設しました。同施設は、年間4500万ポンド（7000軒以上の小売店やレストランに供給できる量）の製品を生産することができます。
- Motif FoodWorks** は、マサチューセッツ州ノースボローに2つ目の施設となる市場開発・研究センターを開設しました。植物性の代替肉と代替タンパク質の原料を生産する同社は、新たに発酵とバイオプロセスサービスの提供も開始すると発表しました。
- 菌類から食品を生産するスウェーデン企業 **Mycorena** は、食品科学開発施設の規模を拡大し、発酵設備の増設および製造用厨房の完備をしたことを発表しました。
- 発酵を利用してホールカットの植物性の代替肉製品を生産する **Chunk Foods** は、イスラエルに年間数百万枚のステーキを生産できる施設を新たに開設しました。
- 発酵を利用して二酸化炭素からタンパク質を生産するオーストリアのスタートアップ企業 **Arkeon Biotechnologies** は、ウィーンで新たなパイロット生産工場の開設に成功しました。
- ドイツのバイオマス発酵企業 **MicroHarvest** は、ポルトガルのリスボンにパイロット施設を開設しました。これにより、同社の単細胞タンパク質を1日あたり25キログラム生産することが可能となりました。
- ドイツを拠点とするバイオマス発酵企業 **Nosh Biofoods** は、ベルリンにある醸造所 **Berliner Berg** 内にパイロット施設を開設しました。

新製品の発売

2023年には、発酵を利用した製品の種類が多様化し、また入手しやすくなりました。今や、小売店の店頭やレストランのメニューで、発酵によって作られた代替タンパク質を見かける機会はかつてないほどに増えています。

一般的に、代替タンパク質製品における発酵は、次のいずれかを作り出すために用いられます。1) 肉類、シーフード、乳製品、卵などがもつ風味や食感などの感覚的な特徴を再現するための個々の成分（通常、精密発酵によるもの）、または、(2) 菌糸体をベースとする製品のような、独立した製品のタンパク質のベース（通常、バイオマス発酵によるもの）。

発酵由来の代替肉から、シーフード、乳製品、卵、および各種原料のそれぞれのカテゴリーに至るまで、2023年には数々の顕著なイノベーションが展開され、今後も発酵分野の長期的な成長が期待されています。

食肉とシーフード

2月	<p>スペインを拠点とする Libre Foods は、キノコベースの代替ベーコンを発表しました。同社は、この種の製品が欧州連合（EU）で発売されるのは自社製品が初めてだとしています。</p> <p>イスラエルの Mush Foods は、動物性の食肉と菌糸体ベースの代替肉をブレンドした、食肉製品用に開発された菌糸体タンパク質原料ソリューション「<u>50CUT</u>」を発表しました。</p>
3月	<p>マイコプロテインのパイオニア企業 Quorn は、英国の Sainsbury's の店頭で、<u>マイコプロテインからつくられた代替鶏肉とネギを使用したパイ</u>の販売を開始しました。</p> <p>使用済みのビール酵母を再利用して食品を生産するスイスのアップサイクル・スタートアップ企業 brewbee は、スイス全土のコープ小売店で同社の<u>植物性の代替肉</u>やその他の食品の販売を開始しました。</p>
4月	<p>Quorn は、<u>マイコプロテインベースのチキンフィレカツ</u>を新しく発表し、英国の Tesco、Morrisons、Waitrose、Asda で販売を開始しました。</p>
5月	<p>カリフォルニアを拠点とするキノコベースの代替肉メーカー Shroom meats は、<u>キノコからつくられたミートボール、ハンバーグ、牛挽き肉の3種の代替肉</u>を新製品として発売しました。どの製品も6種類のための原材料を使用して作られています。</p> <p>コロラドを拠点とする RollinGreens は、発酵させた椎茸、ピープロテイン（エンドウ豆タンパク質）と米をブレンドした、<u>常温保存が利く新製品のチキンファヒータ</u>を発表しました。</p>
10月	<p>Meati Foods は新たに、菌糸体からつくられた<u>常温保存が可能な3種類の風味</u>（オリジナル、ペッパー、スイートチリ）の<u>ジャーキー</u>を発売しました。</p>
11月	<p>Meati Foods は、菌糸体をベースにした<u>4種類</u>の新しい代替肉製品を発売しました。</p>

乳製品

1月	<p>Bel Brands USA は、代替乳製品の「The Laughing Cow Plant Based」と「Nurishh Incredible Dairy Animal Free Cream Cheese」を全米の Kroger および Whole Foods の店頭で発売しました。「Nurishh Incredible Dairy Animal Free Cream Cheese」は、Bel Brands USA 初の動物性原料を使用しない製品で、Perfect Day との提携により開発されました。</p>
----	---

5月	上海を拠点とする Changing Bio は、ホイップクリームや粉状のパルメザンチーズを含む、 <u>微生物からつくられた同社初の代替乳製品ライン</u> をデビューさせました。
6月	シンガポールのレストラン Fico は、フィンランドのフードテック企業 Solar Foods による発酵由来の代替タンパク質「 <u>ソレイン</u> 」を使ったジェラートを初めて提供したレストランとなりました。
8月	Puretrue は、酵母ベースの伝統的な発酵プロセスを利用した <u>アニマルフリーカゼイン</u> を発表しました。同社は、このカゼインは従来の同等品より低い価格で提供できているとしています。
12月	Nature's Fynd は、発酵によってつくられたタンパク質 Fy を使用した <u>ヨーグルトの製品ライン</u> を発表しました。

卵

3月	オランダを拠点とする revyve は、 <u>使用済みのビール酵母をアップサイクルして作られた卵白の代用品</u> を発表しました。この卵白の代替製品は、植物性の代替肉のつなぎとして使用でき、また食品にうまみを加える役割も果たします。
12月	The EVERY Company は、精密発酵由来のオボアルブミンを使用した、従来の卵と1：1の比率で代替できる液状卵「 <u>EVERY Egg</u> 」を発売しました。

原料

3月	ボストンの Motif FoodWorks は、 Rhizome Network と共同で開発した植物性の代替肉に <u>食感を加える成分</u> を発表しました。この成分は、植物性タンパク質と植物性の炭水化物を組み合わせることにより、動物性の結合組織の食感を再現します。
----	--

ペットフード

3月	植物性や菌類ベースのペットフードメーカー Wild Earth は、同社の <u>新たなコレクション「Core」および「Performance」</u> の一環として、新しいドッグフード製品を発表しました。
----	--

投資

発酵企業によって2013年に初めて開示された投資から始まり、主に発酵分野に携わる企業が現在までに調達した投資額は総額41億USDに上ります。このうち95%は過去5年間に調達されたものです。2023年の資金調達額は2022年から減少しましたが、フィンテックなど主にベンチャー支援を受けている他のセクターでも、前年比50%の減少が見られました。

発酵企業は2023年に5.147億USDの資金を調達しており、2022年の7.585億USDから32%減少しています。世界的なベンチャーキャピタルによる資金調達や、気候テックやフードテックのようなベンチマークとなる分野においても同様に資金調達額の減少が見られました。

発酵セクターは、依然として比較的発展途上の分野であり、世界全体における同分野の企業数は200社未満です。そのため、少数の取引でも、当セクターの年間投資総額は大きく影響を受けます。例えば、2022年には、年間投資総額のおよそ半分にあたる3.55億USDがわずか3件の案件から調達されました（**MEATI FOODS** によるシリーズCラウンドの1.5億USD、**Remilk** によるシリーズBラウンドの1.2億USD、**Mycotechnology** によるシリーズEラウンドの8500万USD）。通常、先進的な企業による大規模な資金調達は2年連続では行われないため、年間投資総額には、いつも一定の変動が生じます。

2023年の発酵セクターでは、同規模の資金調達ラウンドは見られず、上位3件の取引総額は1.687億USDにとどまり、2022年の資金調達レベルを満たすことができませんでした。しかし、地域別にみると資金調達の増加が見られた地域もあり、欧州における2023年の同分野への投資総額は前年から22%増の1.794億

このような困難な状況下においても、発酵産業は2023年度も進展し続け、世界中の発酵企業が、生産プロセスと製品のイノベーションを追求しながら、製品開発、流通、規模拡大において重要なマイルストーンを達成しました。

USDに達し、同地域の年間最高額を更新しました。

発酵セクターを含むより広範囲な代替タンパク質産業においても、2023年度の民間の資金調達額は減少しました。代替タンパク質企業は2014年から2023年までに157億USDを調達していますが（そのうち半分以上が2020年から2021年にかけて調達されたもの）、2023年の投資額は2022年の29億USDから16億USDに減少しています。ただし、こうした投資総額や発酵企業へ投資された額は実際に調達された額よりも低く見積もられている可能性があります。この理由としては、一部の企業が、資金的なランウェイを長くしようと、ブリッジラウンドや将来株式取得略式契約スキーム（SAFE）のもとで公表されていない資金を調達したことが考えられます。一般的に、開示されない投資案件もありますが、今年度のSAFEやブリッジラウンドの件数の多さや、市場参加者との対話から、報告されていないケースが増加したものと推測されます。こうした報告されていない投資の一部は、最終的に2024年の投資額として計上される可能性があります。

2023年は、金利やインフレ率の上昇、混迷する経済の見通しにより、様々な業界が低調な民間資金調達環境に苦しみました。その結果、2023年の世界的なベンチャーキャピタルによる資金調達額は全セクターで前年比42%減となり、2017年以来の最低水準となりました。また、気候テック分野では、インフレ削減法や、その他リスク回避・投資促進を支援する政策を通じて政府から多大な支援が行われたにもかかわらず、エクイティ投資が前年比で40%も減少しました。さらに、フードテック分野のスタートアップ企業への投資も前年比で61%減少するという結果となりました。

図 #: 2023年の主要な資金調達ラウンド



出典：Net Zero Insights プラットフォームからのデータに基づくGFIの分析

注記：Net Zero Insightsのアナリストによるデータの確認は行われていない。「2023年の主要な資金調達ラウンド」において、4件以上の案件があった資金調達ラウンドのカテゴリには、ドルベースで75パーセント以上の投資案件が含まれている。案件が3件以下であった資金調達ラウンドのカテゴリについては、全ての案件が含まれている。

発酵を利用した代替タンパク質への出資に関心を示している投資家の一覧については、[こちらからGFIの投資家ディレクトリへのアクセス権限をリクエストしてください。](#)

消費者インサイト

消費者の認知度と親近感

消費者の多くは精密発酵という製造方法を認識していない一方で、精密発酵を用いた製品の 카테고리について知っている消費者は、全体的に見て少数派ではありながらも人数としては相当数存在しています。また、チーズ、ビタミン、サプリメントなど、実際に発酵を利用した製品を使用している消費者も少なくありません。

- 2023年11月に Morning Consult が GFI に代わって実施した調査では、新興の代替タンパク質技術（精密発酵によって作られた乳製品やマイコプロテインを原料とする代替肉など）に対する米国成人の認識と受容度が評価されました。同調査によると、30%がキノコや菌類を使った代替肉製品があることを認知しており、全体の27%が「よく知っている」または「ある程度知っている」と回答しました。
- International Food Information Council（国際食品情報協議会、IFIC）による2023年の調査では、米国の消費者の29%が「発酵タンパク質」について聞いたことがあり、16%が「マイコプロテイン」について聞いた事があると明らかにされました。

- Hartman Groupと **Perfect Day** によって2022年に米国で実施された調査では、回答者の29%が精密発酵によって作られた乳製品について認知していることがわかりました。

他国でも関連技術において、似たような数値が確認されています。

- Powell et al.が2023年にカナダで実施した、酵母由来の乳製品に対する消費者の認識を確認した調査では、参加者の56%が細胞農業（参加者には、「食肉、乳製品、卵やその他の動物性製品などの農産物の生産を、動物に頼らずに細胞培養を用いて行うための一連の技術」という定義を説明）について「聞いたことがある」と回答したのに対し、44%は「聞いたことがない」と答えました。さらに全体の35%が、細胞農業について理解していると回答しました。この技術がまだ新しいことを踏まえると、この数値は高いと感じられますが、こうした消費者は、実際に食肉、酪農、皮革、医薬品の生産における細胞農業の用途を識別することができました。
- BCGとBlue Horizonによる2022年の調査では、世界中の47%の消費者が発酵を利用して作られたタンパク質について「聞いた事がある」と回答し、英国ではその割合が73%にも上ることがわかりました。

精密発酵製品のほとんどのカテゴリーに対する消費者の認知度は低いものの、すでに多くの発酵製品（ザワークラウト、味噌など）が一般的に使用されていることから、ある程度の知識はあるものと認識できます。新しい商品の発売やマーケティングにより、今後数年間で、認知度や理解度がさらに高まっていくことが期待されます。

商品の魅力

消費者に対して発酵由来製品の定義を説明した上で製品の魅力について尋ねると、多くが製品に関する魅力や興味について好意的な反応を示します。

- 2023年11月に Morning Consult が GFI に代わって実施した調査では、全体の42%に及ぶ消費者が「発酵」という言葉を含んだ簡単な説明文を読んだ後、動物性の原料を含まない乳製品を「魅力的である」と評価しました。また、マイコプロテインについての簡単な説明文を読んだ後には、35%が「魅力的である」と評価しました。さらに、GFIとAccentureは、フランス、ドイツ、スペイン、英国、米国の消費者の47%が精密発酵から作られた乳製品を魅力的だと感じていることを明らかにしました。
- IFICによる2023年の調査では、米国の消費者の37%が発酵タンパク質を使用した製品に「興味がある」と回答しており、2021年の調査の27%から著しい成長が見られました。また、同程度の消費者（33%）が、マイコプロテイン製品を試す事に関心を示しています。
- Powell et al. がカナダで行った調査では、回答者の46%が「酵母由来の農業」という言葉に対して好意的な印象を抱いていることが明らかになりました。

消費者の試飲・試食に対する意欲

多くの消費者が精密発酵製品を試し、購入する意欲を示していますが、これは、味、健康、持続可能性の観点から精密発酵製品に対して一定の期待があるためだと考えられます。多くの消費者にとって馴染みのない食品ジャンルであるにも関わらずこのような傾向が見られることは、注目に値するものであり、今後精密発酵製品についての理解が深まっていくにつれ、より多くの消費者が試飲・試食や購入に対して関心を示すようになり得ることが示唆されています。

試食と購入

消費者がどれほどの確率で精密発酵製品を購入し得るかを予測するのは困難であり、製品の多様性、入手経路の制約、また、消費者の理解度の差異によってその確率は大きく異なります。しかし多くの調査では、少なからぬ数の消費者が、様々な発酵を利用した製品を試食・購入したいと考えていることが示されています。



Perfect Day, inc. は、発酵を利用した乳タンパク質を生産している。

画像提供：Perfect Day, Inc.

- GFI と Accenture の調査によると、フランス、ドイツ、スペイン、英国、米国の消費者のうち平均して51%が、精密発酵で作られた乳製品を試してみたいと考えています。
- Thomas et al.による米国、ドイツ、シンガポールでの2023年の調査では、精密発酵を利用して作られた卵の試食に対して、3カ国全てにおいて高い意欲（50%以上）が見られました。GFI と Accenture による調査でもまた、フランス、ドイツ、スペイン、英国、米国において同様に平均50%の消費者が、精密発酵を利用して作られた卵の試食に意欲的である事を明らかにしました。
- Morning Consult が GFI に代わって実施した2023年11月の調査では、消費者の23%が動物性原料を使用しない乳製品を購入する可能性があり、20%がマイコプロテインから作られた代替肉を購入する可能性があることが分かりました。
- Hartman Group と Perfect Day による米国での2022年の調査では、消費者の43%が精密発酵を利用して作られた乳製品を購入する意向を持っていると回答しました。さらに、精密発酵を利用して作ることができると消費者に伝えられた複数のカテゴリーやフォーマット（プロテインパウダー、飲むヨーグルト、プロテインバー、エナジードリンク、スポーツドリンク、フレーバーウォーターなど）に対する消費者の購入意欲も高いことが明らかになりました。
- Hartman Group と Perfect Day による米国での2022年の調査によると、消費者が購入意欲を示すかどうかの基準として上位にあるのは、精密発酵で作られた乳製品が安全かどうか（60%）、次いで味（59%）、健康（53%）があり、他の、プライスバリュー、アレルギー、機関から承認を受けているかどうか、非遺伝子組み換えであるかどうかなどといった要素の重要度は低いことが明らかになりました。
- Dear et al. が2023年に実施した多国間における分析では、マイコプロテインを使用した食肉に対する試食と購入意欲は、平均して、植物性の食肉よりやや高いものの、購入意欲はやや低い事が明らかになりました。この結果は、消費者が植物性の肉に比べ発酵タンパク質にはあまり馴染みがないためだと考えられますが、将来的な試行と普及に向けて、望ましい指標であると言えます。2018年から2019年に行われた初期の分析では、「健康に対する認識」が、マイコプロテインを使用した食肉の試食・購入意欲を予測する上で最も決定づける要素で、「味に対する見方」

は、従来の製品に対し、マイコプロテインにプレミアム料金を支払う意欲をより予測できる要素であることが明らかになりました。

- Thomas と Bryant による2021年に実施された研究では、5カ国（ブラジル、ドイツ、インド、英国、米国）の消費者が、動物性の原料を使用しないチーズが植物性のチーズよりも美味しく、一般的で高級でない動物性のチーズと同等であると想定していることが示されました。また、全5カ国において、動物性の原料を使用しないチーズは、ヴィーガンチーズや従来のチーズよりも道徳的で持続可能であり、ヴィーガンチーズと同様に健康的かつ栄養価が高いと認識されていることもわかりました。

総合して、これらの調査・研究からわかるのは、消費者は、精密発酵製品に関する情報を一度受け取ると、そこから容易に倫理的、環境的、健康的、味覚的な面での精密発酵製品の利点を連想することができるようになること、そして、「健康」が味覚や価格と並んで、購入意欲を掻き立てる大きな要因の一つとなる可能性が高いということです。

科学とテクノロジー

概要

革新的な企業や食品研究者によって、従来の食肉、シーフード、卵、乳製品に代わる美味しい食品を作るために、発酵を利用した新たな手法の模索が続けられています。

マイコプロテインベースの代替肉、精密発酵を利用して作られたチーズ用のカゼインや乳清（ホエイ）タンパク質、また、微生物油脂などには、この自然から発想を得た、発酵という技術が用いられています。発酵の分野は広がりを見せているものの、膨大な種類の微生物や菌類があることを考えると、開拓の余地はまだまだありそうです。

発酵由来の食品はこの数年で広く定着してきてはいますが、依然として従来の製品と同等の価格や味を提供できるまでには至っていません。

過去1年間だけを見ても、発酵科学や技術は顕著な進展を遂げています。特に、**味・食感・栄養特性の改善、廃棄物の削減やアップサイクルの促進、食品安全への取り組み、脆弱な食品サプライチェーンの多様化などにおける微生物の活用方法が注目を集めました。**今年行われた研究では、微生物を利用することで、いかに効率的により多くの人々に食料を供給できるかが実証されました。すなわち発酵は、食品システムの変革だけでなく、強靱

な循環型バイオエコノミーの構築にも寄与しているのです。

発酵分野では、主に民間の研究開発がイノベーションを牽引しています。2010年代前半から特許の出願が徐々に増え始め、2021年から2023年にかけて約178件の特許が付与されました。さらに、2022年には417件、2023年に319件の特許出願がありました（詳細については「科学的エコシステム」の項を参照）。このように、特許の出願が行われている技術や知的財産は、今後も発酵のエコシステムへの貢献が期待される加工法、組成物やデザインとなります。

こうした特許が付与されるイノベーションは、大半が民間部門におけるものですが、今後、知識の民主化を図り、手頃な価格で美味しい代替タンパク質や脂肪の生産を実現させるには、オープンアクセス型の研究も依然として不可欠です。公共部門の研究では、微生物の「細胞工場」の多様な活用方法のひとつとして、食品タンパク質や油の生産における発酵の利用が研究されています。

以下に紹介する研究成果の多くは、こうした2023年の官民両部門による研究開発の取り組みを示しています。代替タンパク質や食品に焦点を当てているものがほとんどですが、中にはセクターを超えた発酵技術の活用につながる内容のものも含まれています。



助成金に関する情報や、食肉、卵、乳製品などの食品への発酵技術の応用に焦点を当てた、オープンアクセス型の研究を率いる科学者についての詳細は、[研究助成金](#)ページからご確認ください。

原料に関する 最新の動向とハイライト

バイオマス

パテ、ステーキ、カツレツなど、料理の「主役」となる食品を含めたタンパク質製品が、真菌、酵母、微細藻類、細菌などの微生物から、バイオマス発酵を利用して生産されるようになってきています。マイコプロテインや菌糸体においては、その市場への馴染みやすさ、技術経済性、また味と食感の特性から、2023年も供給源の拡大がみられました。同年に行われた菌糸体や菌類のバイオマスに関する研究の多くでは、味、食感、価格などのために、株や工程の改良に焦点が当てられました。菌類のバイオマスの配合や栄養特性に関する研究も増加したことから、より主流な最終製品開発への移行が示唆されています。

2023年にはまた、バクテリア、微細藻類、ガスを飼料とする微生物、およびこれまで未開拓であった菌類などから得られる単細胞タンパク質（SCP）などの新規のバイオマスタンパク質源についても進展が見られました。こうした研究の多くは、廃棄物バイオマスのアップサイクルや炭素隔離によって得られるよりサステナブルな飼料を活用するために、技術的経済性の改善や新規プロセスの開発に焦点を当てました。また、SCP供給源に関する研究でも、ハイブリッド、そして単独の微生物の配合を改良するため、最終製品の処方設計に重点が置かれました。

精密発酵におけるターゲット

精密発酵によってつくられるタンパク質は多くの場合、乳製品や食肉の味や食感の再現、または各種食品組成物の風味や栄養特性の向上を目的に用いられます。なかには、低濃度でも食品の品質を向上させることができるタンパク質もあります。例えば、食肉タンパク質の品質向上に用いられるレグヘモグロビン（濃度2%未満）、代替タンパク質甘味料（0.1%未満）、または生理活性の栄養タンパク質（1%未満）などのタンパク質です。その一方で、機能性と感覚的な特性に寄与する卵や乳タンパク質は、前述のタンパク質と比べて格段に多い、5%から35%で最終製品に添加されることが多いです。精密発酵におけるこのようなターゲットは、2023年も引き続き注目を集めました。

乳製品

精密発酵によってつくられるホエイやカゼインなどの乳タンパク質は、その乳化、ゲル化、泡沫化などの特性や、栄養的に完全なタンパク質であることから、依然として高い関心が寄せられています。江南大学の研究者が発表した商業的な精密発酵による乳製品製造に関する総説と概要では、精密発酵を利用した乳タンパク質とその技術的・経済的な実行可能性について簡潔にまとめられており、産業生産に経済的に適していることが示されています。ホエイタンパク質の研究、特許取得、規制当局の承認は2023年も拡大を続けました。

- **Perfect Day** は、組換えβ-ラクトグロブリンタンパク質製品と、同社の乳清（ホエ

イ) タンパク質を配合した食品（甘味タンパク質、脂肪、またその他の栄養素など）の処方設計に対して、2023年に特許を取得しました。

- 麹菌である *Aspergillus oryzae* を使用したβ-ラクトグロブリン生産の先駆者 **ImaginDairy Ltd.** は、FDA に GRAS (Generally Recognized as Safe、一般的に安全と認められている) 書類を提出しました。
- **Bon Vivant** は、同社の動物原料を使用しない発酵由来乳清（ホエイ）タンパク質に関する詳細なライフサイクルアセスメントを発表しました。

ラクトフェリンは多機能の鉄結合性の乳清タンパク質で、食品、乳児用粉ミルク、サプリメントなどの栄養補助食品として重宝されており、2023年も引き続き研究的となり、商業的な関心を集めました。ウシの乳中のラクトフェリンタンパク質の濃度は低く、抽出にコストがかかるため、精密発酵を使ったラクトフェリンタンパク質の生産は商業的な価値が高く、サステナブルな代替品となると考えられています。

- **ハノイ大学**の研究者らは、ウシラクトフェリンを *K. phaffii* の高細胞密度培養により生産するアップストリームの培養戦略を開発しました。この培養戦略は、2リットル、10リットル、100リットルの各スケールで実証され、ラクトフェリンの細胞内における発現が確認されました。
- 同様のバイオプロセスを通してウシラクトフェリンを生産している **TurtleTree** は、2023年に自社製品 **LF+** をデビューさせました。
- 乳児用粉ミルクや成人用の栄養剤としてヒトラクトフェリンを商品化している **Helaina** は、引き続き製品のスケールアップおよび各種安全性評価を進め、同社のラクトフェリン栄養成分である **Effera™** の臨床試験を開始しました。また、*K. phaffii* で発現させた精密発酵ラクトフェリンに関する詳細な特性評価も発表しました。

精密発酵カゼインに関しては、待望の製品の発売、特許出願、精密発酵から作られたカゼインチーズの組成物の解明を目指したオープンアクセス型の研究などが行われ、大きな進展がみられました。

- **New Culture** は脱リン酸化された精密発酵αカゼインを配合した、動物性原料不使用のミセル状でないモッツァレラチーズの代替食品に関する特許を2023年に取得しました。
- さらに、**ヴァーヘニンゲン大学**の研究者らは、精密発酵由来のチーズの処方設計に関する複数の論文で、人工のカゼインミセルの配合を評価しました。

卵類

卵白タンパク質は、その包括的なアミノ酸組成とゲル化などの用途の広い機能特性により、焼き菓子、アイスクリーム、栄養補助食品、代替肉などの様々な食品に幅広く利用されています。このため、精密発酵による卵白タンパク質の再現を目指した動きがいくつかみられました。

- **The EVERY Co.** は組換えタンパク質の精製方法と精密発酵由来の組換えオボムコイドに関する特許取得を受け、2023年12月に精密発酵による世界初の液卵製品を発表しました。
- **Onego Bio** は、自社のオバルブミンタンパク質製品を **Bioalbumin** と称し、2024年にB2B市場における製品化を目指しています。

卵白は、ベジタリアン向けの組成物において、長年にわたって結合剤として広く使われてきました。したがって、精密発酵由来の卵白タンパク質や代替の結合剤として機能するタンパク質を用いることができれば、動物性原料を使用しない最終製品の処方設計が実現できる可能性があります。

- **Quorn Foods** と **リーズ大学** は、真菌タンパク質の組成物において卵白タンパク質が担う役割を詳細に調査し、この研究により、ジャガイモタンパク質を使用した代替の結合剤も開発されました。

- **Marlow Foods** は、卵白タンパク質の代わりにジャガイモなどの植物性タンパク質を使用したマイコプロテインの処方設計に関する特許を取得し、動物性原料を使用しない最終製品の改良に成功しました。



New Culture のモッツアレラは、精密発酵由来の動物性原料不使用のカゼインプロテインを使用。

画像提供：New Culture

食肉・動物性タンパク質

多くの場合、植物性の代替肉や細胞性の食肉は、食感や口当たりといった感覚面での品質を向上させることができる発酵由来の成分を添加することで、より一層優れた食品に仕上げることができます。ミオグロビンやレグヘモグロビンのようなヘムタンパク質へ商業的・研究的な関心は、この1年も引き続き高まりをみせました。

- **Impossible Foods** の主導で、精密発酵由来のレグヘモグロビンの安全性をさらに特徴づける研究が行われました。
- 複数の学術研究グループによって、異なる微生物宿主を用いた新規で改良されたレグヘモグロビンの生産方法が実証されました。精密発酵によって生産された最初のタンパク質のひとつであるレグヘモグロビンが原料として注目を集めていることは、公共部門におけるさらなる研究の需要の高まりを示しています。

甘味タンパク質

ブラゼインやモネリンなどのタンパク質は、砂糖ベースの甘味料と比べはるかに少ない量で甘味料として機能します。完全に動物由来のタンパク質を置き換えることはできませんが、ターゲットの選択やバイオプロセス、処方設計において、新しい洞察を提供することで、イノベーションの促進に貢献することが期待されます。共同で開発やインフラ整備を行うことは、発酵由来の栄養タンパク質と甘味タンパク質の両方にプラスになります。こうしたタンパク質が広く利用されるようになると、砂糖ベースの飼料と食用となる砂糖作物との間の競争が将来的に軽減される可能性があります。

- バイオマスタンパク質とエンドウ豆・真菌タンパク質の最終製品を生産する **Mycotechnology** は、トリュフ菌から作られる 新規甘味タンパク質に関する特許をオーストラリアで取得しました。
- **Oobli** は、Komagataella phaffii (GRN No.1142) から作られる甘味タンパク質ブラゼインに関するGRAS書類を米国FDAに提出しました。

代替油脂

脂肪は従来、動物組織や植物組織に由来するものでしたが、需要の増加に伴い、サステナブルな代替品の探求が進められており、特に微細藻類や油性の菌類などの微生物が、有望な供給源として注目を集めています。脂肪酸や油は、代替タンパク質の肉や乳製品の風味、機能性、持続可能性を高めることができ、代替タンパク質食品産業において重要なターゲットとなっています。例えば、ココナッツ油やパーム油などの油は、多くの植物性代替肉の組成物に含まれていますが、発酵によってより持続可能な形で生産できる可能性があります。

- **Nourish Ingredients** は、代替タンパク質製品の品質向上を目指し、動物性脂肪と同等の味や感覚的な特徴を実現する 「最も効果的な」脂肪を生産することのできる微生物を特定しました。その一部は、オーストラ

リアのキャンベラ周辺に生息する野生の菌類から発見されています。

- **Melt & Marble** は、真菌類から得られる脂肪とタンパク質の生産を最大化するために、真菌における脂肪酸とタンパク質の生産量を増加させるための株改良に関する特許を複数取得しました。



発酵科学の現状に関する包括的な情報については、GFIの発酵科学のページをご覧ください。

図6：精密発酵プロセス



図7：バイオマス発酵プロセス



2023年には、複数の施設が着工段階から稼働開始へと移行しました。

- **Liberation Labs** は6月、インディアナ州リッチモンドで専用の食品向け精密発酵施設の建設を開始しました。
- **LiDestri Foods** と **Fermentum** は、ニューヨーク州ロチェスターにある既存の51万リットルの食品原料用発酵施設の運営に関する発酵パートナーシップの提携を発表しました。
- **Mycotechnology** は9月、コロラド州オーロラにある施設を利用した受託製造サービス **FermentX** の開始を発表し、パイロット段階から90,000リットルまでの発酵処理を手がけることを明らかにしました。
- **ADM** と **Nurasa** の合同ベンチャーCDMO（受託開発製造組織）である **ScaleUp Bio** は11月、**Nourish Ingredients** と **C16 Biosciences** を含む最初のクライアント企業を発表しました。

こうした施設によって、生産者は革新的な微生物や製品の委託製造を活用できるようになり、産業全体として大きな進展が期待できます。

ここで取り上げた発酵分野の進歩から、世界中で官民を問わず新しい発酵由来成分の開発に取り組む研究者が多数存在することがわかります。

政府と規制

世界各国の政府は、こうした新技術を導入することで、雇用を創出し、排出を削減し、さらにより少ない資源でより多くの人々に食料を供給できるようになることを認識し、2023年には発酵技術への支援を強化しました。

国ごとの規制

微生物発酵は長い間、食品産業における加工方法として、また微生物培養に由来する成分を作り出すために用いられてきました。発酵はまた、多くの食品や飲料に見られるナチュラルな風味や甘味料の生成にも利用できます。発酵利用の歴史は長く、大半の政府が、食品システムにおける微生物発酵の使用を管理する規制システムを既に確立しています。新規食品規制のもとで新たな発酵製品を審査し、通常は市販前承認を必要とする国もある一方で、米国のように、より複雑な規制制度を適用している国もあります。



オーストラリア ・ニュージーランド

2022年12月、Food Ministers' Meeting (FMM) は、オーストラリアとニュージーランドで実施されている既存の食品基準コードと表示要件が、精密発酵製品を適切に規制するのに十分であることを認めました。こうした食品は、新規食品基準に基づく市販前承認が必要となり、FMMは、受領した市販前承認申請の数と種類に基づき、追加の基準の必要性を引き続き監視する意向を示しています。



ブラジル

2023年12月、ブラジルの国家衛生監査庁（Anvisa）は、ブラジルの新規食品および原料に関する規制を更新するRDC 839/2023を発表しました。この規制には、細胞や組織の培養から得られた製品や革新的な発酵プロセスにより得られた製品の安全性を評価するために、企業が従うべき手順が含まれています。Anvisaの発表は、規制プロセスの次の段階である、表示規則、満たすべき識別および品質基準、製造施設の検査規則からなる製品登録に関する規則を定めるための前提条件となり、こうした規制はすべて農業省の責任下で定められます。



カナダ

Health Canada（カナダ保健省）は、国の健康基準と政策を担当するカナダ連邦政府機関です。同省は、精密発酵製品を新規食品として評価しており、食品の販売許可がおりる前に、詳細な科学的データを提出し、審査を受けるよう製造業者に要請しています。植物と微生物に由来する新規食品の安全性評価のためのガイドラインには、新規食品の安全性を評価する上での具体的な基準が示されています。2023年8月、シカゴを拠点とする企業 **Nature's Fynd** は、Health Canada より、代替肉と乳製品を商品化する認可を受けました。同社は、発酵を通して、「Fy」と呼ばれる新規菌類タンパク質を生産しています。



欧州連合（EU）

欧州連合（EU）における企業は、新たな発酵由来原料の使用にあたり、EUの新規食品規制に基づいて市販前承認を取得する必要があります。また、遺伝子組換えにより生産された製品は、遺伝子組換え食品及び飼料に関するEU規則（EC 1829/2003）の対象となり、欧州食品安全機関によるリスク評価が実施されます。市販前承認はEU全体で一元的に管理さ

れるため、欧州委員会とEU加盟国の代表者によって製品が承認されると、EUの27カ国全てにおいて認可が適用される仕組みになっています。

2023年初頭、欧州委員会は **MycoTechnology** の新規食品申請を承認し、「FermentIQ」と称される、シイタケの菌糸で発酵させたエンドウ豆と米のタンパク質を認定しました。

Nature's Fynd、**Solar Foods**、**Perfect Day**、**The Protein Brewery** もそれぞれ同様に、欧州連合に新規食品の申請を提出しています。さらに、EUは、**Impossible Foods** の大豆レグヘモグロビンを遺伝子組み換え食品および食品添加物の両カテゴリーのもとで評価しています。この評価の一環として、**Impossible Foods** はEUからの要請に従い食事調査を実施し、2023年10月10日に調査結果を公表しています。今後とも各企業は承認に向けて手続きを進めていくことが見込まれています。



イスラエル

2023年4月、**Remilk** はイスラエルで初めて、同社の精製発酵由来の乳タンパク質を含む製品の販売承認を取得しました。この承認はイスラエル保健省から下されたものであり、それ以前に同社は米国とシンガポールで既に許可を取得していました。



シンガポール

2022年10月、シンガポールで、フィンランドのスタートアップ企業 **Solar Foods** が開発した、ガス発酵を利用した微生物由来のタンパク質 Solein（ソレイン）が世界で初めて承認されました。

シンガポールでは、発酵により作られた新しい食品は新規食品として規制されており、シンガポール食品庁（SFA）の承認が得られるまで販売が許可されません。こうした食品の販

売を望む食品メーカーは、製品の安全性に関する査定を実施し、SFAの審査を受ける必要があります。さらに、シンガポール国内のすべての食品と同様、認可を受けた発酵由来の新規食品は市場監視の対象となり、製造業者による継続した高い安全基準の維持が求められます。



英国

英国は現在、欧州連合の加盟国ではないものの、欧州連合が定める新規食品規制の大部分をそのまま維持しています。同国内での製品販売を目指す発酵企業は、当該製品やプロセスがすでに一定の生産・消費実績を有しているか否かに応じて、英国食品基準庁（FSA）に認可を申請する必要があります。FSAでは、新規食品の申請方法に関する一般的なガイドラインが提供されています。現在、同国の新規食品規制の改正が検討されており、精密発酵製品の承認の迅速化が期待されています。

Deloitte が2023年にFSAからの委託により発表したレポートでは、精密発酵食品や細胞性食品の規制プロセス改善に向けた英国規制当局のためのロードマップが提示されています。同レポートに対して英国政府は前向きな反応を示しており、技術の進歩によって新規食品（発酵食品を含む）の開発が加速していること、また、この産業が同国にとって商業的かつ経済的な機会をもたらすものであることが認識されています。



米国

発酵を利用した食品は米国食品医薬品局（FDA）によって規制されており、米国内で発酵を利用した新規の食品や原料の販売を目指す企業には、規制に適合し、承認されるまでの道のりとして2つの選択肢があります。

1つ目は、食品添加物申請です。これはFDAとの協議や、原料や添加物の特定の使用方法を

許可する規制の発布を要請する申請書の提出が必要となるため、時間を要します。2つ目は、GRAS 通知です。これは、意図された使用方法が既に専門家によって「一般的に安全と認められている」と食品製造者が認識している原料に対して実施できるものです。

近年、米国では後者を選択する発酵企業が大半を占めています。以下に、FDAからGRAS申請に対し「意義なし」のレターを取得した企業を紹介します。

- **Perfect Day** はホエイに含まれる主要タンパク質であるβラクトグロブリンのGRAS 通知に対し、FDAから2020年3月に「異議なし」のレターを受け取りました。
- **Nature's Fynd**（旧 Sustainable Bioproducts）は2021年3月に、真菌由来タンパク質のGRAS通知に対し、FDAから「異議なし」のレターを受け取りました。
- **EVERY** は酵母からつくられた可溶性卵白タンパク質のGRAS通知に対し、FDAから2021年9月に「異議なし」のレターを受け取りました。
- **Motif FoodWorks** は同社が HEMAMI™ と呼ぶ酵母由来のヘムタンパク質のGRAS通知に対し、FDAから2021年12月に「異議なし」のレターを受け取りました。
- **ENOUGH**（旧 3F BIO Ltd.）は同社の ABUNDA® マイクロプロテインに対し、FDAから2022年4月に「異議なし」のレターを受け取りました。
- **Remilk Ltd.** は同社の生産株 Komagataella phaffii に対し、FDAからGRAS「異議なし」のレターを受け取りました。

世界的な協調：コーデックス委員会（CAC）

コーデックス事務局は、2023年4月に、発酵を利用して作られる新規食品を含む新たな食品源および生産システム（NFPS）に関連してコーデックス規格の策定が必要となる具体的なトピックについて、加盟国とオブザーバーからのコメントを募集する回覧文書を発行しました。

回覧文書では、コーデックスにおいてNFPSに対応するための適切な手続き方法についても意見が求められました。GFIを含むメンバーおよびオブザーバーは、現行のコーデックスの手続き上の仕組みがNFPSに関する課題に対処するのに適切であるかどうかについてコメントし、また、委員会によってまだ考慮されていないNFPSの基準設定に関連する点についても指摘しました。

NFPSについては、2023年12月に開催された第46回コーデックス総会（CAC46）の場で議論が行われ、今後発生しうるNFPS関連の課題は、既存のコーデックスの手続き上の仕組みで十分に対応できることが決定されました。

今後の見通し

長期的な見通し

地球上の居住が可能な土地のおよそ半分が農業に利用されていることを考えると、世界的な食料システムの変革が、大規模かつ集中的、また長期的な取り組みになるであろうことは言うまでもありません。

ほぼゼロの状態にある分野を商業的な規模にまで拡大させることは、とてつもなく大きな挑戦です。精密発酵を使ったキモシンやその他の原料の生産は浸透までに10～20年の歳月を要しました。さらに複雑化する様々な最終製品を、コスト競争力を維持しながら市場に浸透させることは、決して容易なことではありません。バイオマスや伝統的な発酵によって作られた製品においては、味、食感、栄養、価格に関する水準がますます高まっており、幅広く普及させるには長く険しい道のりが待ち構えています。

手頃な価格で手に入りやすく、かつ美味しい発酵由来の食品を提供するためには、企業、政府、そして投資家による継続的な技術革新や投資が不可欠です。消費者が望む製品を地球により良い方法で製造することにより、発酵食品企業は長期的な成長への道を切り開いていくことができます。さらに、バイオマス発酵、精密発酵、培養肉産業における菌株開発や設備、原料調達などを継続的に革新することで、生産能力の向上と事業コストの削減を図ることができ、これによって幅広い食品セクターの中でこの産業全体の競争力を高めることができます。

しかし、成長というのは一定ではなく、確実なものでもありません。発酵由来の代替肉、シーフード、卵、乳製品産業が、長期的に安定した成長を果たすためには、乗り越えなければならない壁が依然として残されています。企業は、需要を創出するような美味しい食品を提供できるよう、工程を改善し引き続き効率性を最大限に高めていく必要があります。またブランド側は、消費者にそれぞれの製品ならではの魅力を伝えていくことが重要になります。さらに、こういった取り組みは、近年よりもさらに厳しい民間の資金調達環境の中で行わなければならないことが予想されます。その上、世界的な規制上の課題や生産能力向上の妨げとなっていることと向き合いながら取り組まなければならないなりません。

こうした要素に加え、1兆USDの世界食肉市場の規模を考慮すると、発酵セクターがもつ可能性は依然として計り知れません。このカテゴリーはまだ初期の段階にあり、消費者から、発酵由来成分によってより良くなった既存の製品や、発酵を利用した全く新しい製品への支持が集まるにつれ、拡大への道筋が大きく開けてきます。今後数年間で、企業による工程の改善、消費者への訴求、市場シエ

アの確保が期待されており、そのためには投資、協力、そしてコミットメントが不可欠となります。地球と世界の食料システムが直面する課題を踏まえると、この分野の進歩が単に実現可能なものだけでなく、国際的な目標を達成するために必要不可欠なものだということがわかります。

市場予測

代替タンパク質、および発酵由来の代替肉、シーフード、卵、乳製品市場に関して、コンサルティング会社やシンクタンク、研究機関が発表している今後の展望には大きなばらつきがみられるものの、どの予測も現在の市場規模からの堅調な成長を見据えています。

2030年までの展望では、発酵由来の代替肉、シーフード、卵、乳製品の市場が150億USDから740億USD規模に成長するという大胆な推測がありますが、数年前に発表された予測も含まれており、現在では正確な予測を反映していない可能性もあります。この展望は、発酵を利用した代替タンパク質製品を年間0.4~2.8百万トンしか生産できない現在の市場規模からすると、大幅な拡大になります。全ての代替タンパク質（植物性・発酵由来・細胞性のものを含む）の2030年の市場予測については、580億USDから5700億USD規模になると予測されています。このような市場の拡大には、セクターにおいてこれまでにない規模の投資と技術革新が必要不可欠となります。

発酵食品市場は、2030年までにこうした予測を達成することができるでしょうか。控え目な予測でさえ、達成するためには生産効率、コスト、そして何よりも生産能力における著しい進歩が必要です。強固な受託製造インフラを迅速に整備するだけでなく、多数のビール、ワイン、バイオ燃料産業などの発酵施設を代替タンパク質生産用に改修しなければなりません。現在の状況からすれば、こうした想定市場規模の達成は可能ではありますが、そのためには現在の一般的な水準の何倍もの公的・民間投資が必須となります。

気候変動、公衆衛生、食料安全保障の観点から、代替タンパク質を支持する声が急速に高まっています。企業には、コストを下げつつ、消費者の要求とニーズを満たすために、引き続きイノベーションを図ることが求められています。

植物性食品

代替肉・シーフード
・卵・乳製品



市場状況

概要

世界的な植物性の代替肉、シーフード、卵、乳製品産業は、2023年も更なる成長と発展を遂げました。

Euromonitor の推計によると、植物性の代替肉、シーフード、ミルク、ヨーグルト、アイスクリーム、およびチーズ類における2023年の世界的な小売売上高は総額290億USDに達しました（Euromonitor は植物性の卵については報告していません）。2019年の売上高（216億USD）と比較して34%の増加が見られたものの、代替タンパク質の世界における市場規模は、従来の動物性食品の市場規模と比較するとまだ小さいのが現状です。業界をさらに拡大させるためには、製品イノベーション、リーズナブルな価格、入手のしやすさなどの面での前進が不可欠です。2023年には、新たな施設の発表や完成、新製品の発売、戦略的パートナーシップの形成など、新たな動きが見られましたが、その中でも特に注目すべきものを以下に挙げています。

- **Tyson、Nestle、Kraft Heinz** など、大手食品・食肉会社が引き続き同分野へ進出しました。
- **Burger King、Subway、Taco Bell、Starbucks** など、大手チェーン店にも続々と商品が登場しました。
- 航空会社、病院、学校など、商用目的でないフードサービス環境といった新たなチャネルや市場へ流通が拡大されました。
- 植物性のステーキ、寿司、ゆで卵など、新たな製品の形態や種類、製法、ラインの拡張が世界市場で展開されました。
- 既存の製品および将来的な製品を改良・開発し、分野全体の発展を促進すべく、企業や組織による新たなパートナーシップが形成されました。

2023年にみられたこうした動きは、世界的な植物性代替食品市場の絶え間ない発展に貢献しています。このような取り組みを継続することで、世界中の消費者のニーズに応える製品が提供され、従来の食品と肩を並べることができるようになるでしょう。

最新情報については、
毎月配信しているニュースレター
「**Alternative Protein Opportunity**」をご覧ください。

世界中で植物性食品の発売や流通の拡大が続々と進むなか、刻一刻と変動する植物性食品業界の動向をいち早く把握できるよう、GFIの月刊ニュースレター「Alternative Protein Opportunity」では、植物性食品に関する流通の最新情報や新製品の発売、パートナーシップ、施設の開設などを取り上げてご紹介しています。

ニュースレターの購読をご希望される方は[こちら](#)からご登録ください。

施設

植物性食品産業の短期的・長期的な発展において、植物性タンパク質の生産能力を強化し、サプライチェーンのインフラ整備をさらに進めることが不可欠です。[GFIの最新分析](#)では、植物性の代替肉の生産環境を最適化するための機会について取り上げています。既存施設の改修や戦略的な受託製造パートナーシップの構築、新たな施設の建設などが同業界の世界的な発展のために重要となってきます。

2023年には、多くの企業や組織によって各地で施設の建設が発表、開始、または開設されました。

2023年に開設した施設

- 食品・飲料メーカーの **SunOpta** は、テキサス州に1.25億USD・28.5万平方フィート

トの植物性飲料生産施設を開設し、これにより、175人分の雇用が創出され、さらに、同社の植物性飲料事業を2020年水準から2025年までに倍増させることが可能になりました。

- 高水分押出し技術を専門とする植物性タンパク質メーカー **Ojah** は、同社のオランダの施設を6,500平方メートルから10,000平方メートルに拡張し、生産能力を現行の2倍以上に増強させました。
- 植物性の粉ミルクを扱う **Else Nutrition** は、生産能力をこれまでの3倍に引き上げることを目指し、米国で2箇所目となるパウダーの製造施設を新設したほか、欧州にある新しい工場でも製造を開始しました。
- アラブ首長国連邦を拠点とする食品メーカー **The IFFCO Group** は、中東で同社初となる100%植物性の代替肉製造工場を開設しました。ドバイにある施設では、そら豆を原料とする The IFFCO Group の **THRYVE** ブランドの製品が生産されています。
- 植物性油脂・食品メーカーの **AAK** は、植物性食品の味や機能性の向上を目指し、オランダのザンダイクに Innovation Center of Excellence を正式に開設しました。
- スウェーデンを拠点とする **Lantmännen Biorefineries** は、生産能力を拡大するため、スウェーデンのノーショーピングに7700万USDの小麦タンパク質抽出施設を開設しました。
- スペインを拠点とする **Mommu Foods** は、月に10万個の植物性チーズを生産することができる 新しい工場を開設しました。
- フランスを拠点とする原料会社 **Roquette** は、植物性原料市場を対象に技術や研究開発のサポート、設備、研究施設、スケールアップテストを提供するため、450万EUR規模の イノベーションセンター を新たに開設しました。
- シカゴを拠点とする食品・日用品会社 **ADM** は英国に、厨房、シェフ用のプレゼンテーション・シアター、風味開発のた

め研究室を備えた、800平方メートルの植物性食品イノベーション・センターを開設しました。

- **ADM** はまた、カナダの豆類加工業者 **Prairie Pulse** を買収し、同社の植物性タンパク質事業のための施設を新たに増やしました。

2023年に建設が開始された施設

- **ブリティッシュコロンビア大学**により、教育および製品開発のための、9,500平方フィートの Food & Beverage Innovation Centre の建設が開始されました。同施設は2024年までに完成する見込みで、植物性の和牛風牛肉製品の開発も研究プロジェクトのひとつとして計画されています。
- ドイツの植物性食品会社 **Planteneers** は、イリノイ州で植物性の代替肉生産施設の建設を開始し、2024年夏に開設する予定です。

2023年に発表された施設

- フランスの植物性代替肉メーカー **Umiami** は、Duppigheimにある **Unilever** の 1.4万平方メートルの工場を買収したと発表しました。
- 大手農業企業 **Bunge** は、植物性の食品やその他の製品の原料となる 濃縮大豆タンパク質の製造のために、インディアナ州の新たな施設に約5.5億USDを投資することを約束しました。
- バークレーを拠点とする代替乳製品会社 **Climax Foods** は、ロサンゼルス、ニューヨーク、サンフランシスコで同社初の植物性のアルチザンチーズが発売されるタイミングに合わせ、同社初の生産施設の建設を発表しました。
- **Danone North America** は、**Silk** のコーヒークリーマーなどの米国の主要ブランドによる生産の拡大に向け、フロリダ州において新たなボトル製造ラインを設けた

はなく、Tyson ブランドのもとで植物性食品を販売するのは初めての試みであり、米国内の小売店およびフードサービスで販売・提供されています。

- 世界最大手の食品・飲料会社 **Nestlé** は、常温保存が可能な植物性の代替肉食品ブランド Maggi Veg をチリで展開することを発表しました。Maggi Veg の製品ラインナップには、大豆を原料とした植物性のひき肉も含まれています。同社はまた、**Häagen-Dazs** の植物性シリーズを初めて発表し、カナダにて最初の発売を予定しています。
- **Kraft Heinz** は、Kraft Heinz Not Company の植物性スライスチーズ製品を全米の小売店で、また、NotMayo 製品を米国の Target 店舗で発売しました。NotCo との提携により、定番商品である Kraft Mac & Cheese の植物性版も発売されました。植物性の Philadelphia Cream Cheese シリーズにおいても、トライアルの成功を経て、新たに3つの風味が全米で売り出されました。

小売業者による業界への関与も高まっており、植物性食品を扱う独自のプライベートブランドを立ち上げたり、商品ラインナップの拡大を確約したりと、植物性食品を取り扱うことに積極的な姿勢を示しています。

- 米国スーパーマーケットチェーン **Albertsons** は新たに、シュレッドチーズ、ヨーグルト、アイスクリームを含む 12種類の植物性食品 を発売し、プライベートブランド「**Open Nature**」の拡大を図っています。
- スペインを拠点とするスーパーマーケットチェーン **Eroski** は、ミルク、バーガー、チキンナゲットを含む植物性食品を プライベートブランド として展開することを発表し、2023年にはさらに多くの商品がラインナップに追加されました。
- ドイツのディスカウントストア **Aldi** は、2024年末までに植物性の代替肉や乳製品を含む植物性商品の取り扱いを 1000種類以上 に拡大することを発表しました。

植物性の代替肉を中心とする植物性食品のカテゴリーでは、店頭で商品の新たな種類や形態、製法や、ラインの拡張が展開され、2023年も革新的な進化を遂げました。

- カナダの植物性シーフードブランド **Konscious Foods** は、同社の 植物性冷凍寿司シリーズ が北米の **Whole Foods Market** で発売されることを発表しました。
- 韓国の **UNLIMEAT** は、大豆を原料とする 植物性ツナ の発売を発表しました。UNLIMEAT の既存製品である植物性プルードポークシリーズは、全米の **Albertsons** の店頭で販売されています。
- 植物性食品ブランド **Daring** は、同社初の冷凍食品シリーズ の発売を発表しました。Daring の看板商品である植物性チキンに加え、照り焼き味の食品やバッファローウィングといった新商品など、複数の種類が販売される予定です。
- **Impossible Foods** は、同社の代表的な植物性ビーフ製品の低脂肪版を発売しました。Impossible Beef Lite は、従来の牛肉（90%赤身肉・10%脂肪のもの）に比べ、飽和脂肪酸が75%、総脂質が45%少なくなっています。
- **Beyond Meat** は、オランダ全土の スーパーマーケット で、Beyond Burger Chicken-Style、Beyond Schnitzel、Beyond Tenders を発売しました。同社はまた、米国にて、American Heart Association（米国心臓協会）が初めて認定した植物性ステーキである Beyond Steak と Popcorn Chicken 製品の 流通を拡大 しました。
- ホールカットの植物性の代替肉メーカー Juicy Marbles は、オーストリアのスーパーマーケット **BILLA PLUS** と **BILLA PFLANZILLA** で植物性の フィレスステーキ の販売を開始しました。また、Juicy Marbles の植物性フィレミニヨンの長期販売店契約を英国の小売店 **Waitrose** と締結したほか、初となる骨まで食べられる植

物性の骨付き代替リブ肉の開発を発表しました。

- 植物性食品会社 **Crafty Counter** は、カシューナッツ、アーモンド、ココナッツを原料とした卵不使用の代替ゆで卵製品「WunderEggs」を全米の **Whole Foods Market** にて発売しました。
- イスラエルを拠点とする **Redefine Meat** は、イスラエル最大手のスーパーマーケットチェーン **Shufersal** で、自社の植物性食品を販売しています。
- スペインのフードテック企業 **Foody's** と **Cocuus** は、3Dプリンターを用いて製造された植物性のベーコンをスペイン全土のスーパーマーケット **Carrefour** で発売しました。

外食産業

2023年の外食産業セクターは、2020年の新型コロナウイルスの大流行による歴史的な落ち込みから立ち直りを見せました。行きつけのレストランに再び足を運ぶ人が増えるにつれ、植物性食品会社もこのユニークなチャンネルにますます力を入れるようになっていきます。消費者にとって特別な、また多くの場合初めてとなる植物性代替食品の食体験を提供する上でフードサービスの場は極めて重要な役割を果たし、将来の食体験の土台を築くことにも繋がります。

利便性は、消費者の行動に大きな影響を与える要素の一つですが、クイックサービスやファストカジュアルレストラン以上に利便性を追求している事業者はありません。以下では、植物性の代替食品がチェーン店のメニューにどのように組み込まれているか、いくつかの例を取り上げていきます。

- **Starbucks Malaysia** は **Green Rebel Foods** と提携し、植物性の代替鶏肉・牛肉を使ったサンドイッチを発売しました。
- ジャックフルーツを原料に使用する代替肉メーカー **Jack & Annie's** は、ファストカジュアルチェーン **Smashburger** と提携し、コロラド州、ニューヨーク州、

ニュージャージー州の **Smashburger** の一部店舗でジャックフルーツバーガーの提供を開始しました。

- 北欧各地の **Subway** 店舗で、**The Vegetarian Butcher** の植物性のスライスビーフが、新製品の Plant-Based Steak Sub の具として提供されることになりました。
- オスロ、ストックホルム、コペンハーゲンの北欧3都市にある **Burger King** 店舗は、**The Vegetarian Butcher** のパティを使った植物性ハンバーガーの提供により、1ヶ月間、完全に植物性のメニューに移行しました。
- チリに拠点を置く **NotCo** は、チリ最大の小売店のひとつ **JUMBO** で新たな NotCheese 製品を発売したほか、**Burger King Peru** と提携し、植物性の Whopper 商品向けに植物性のチーズ製品を提供しました。
- カリフォルニア州の植物性代替シーフード会社 **Impact Food** は、ファストカジュアルチェーン **Pokeworks** と戦略的販売店契約を締結しました。
- ファストカジュアルチェーン **TGI Fridays UK** は、TGI Fridays の植物性商品メニュー用に、ブラジルの会社 **Future Farm** による植物性のパティを使用することを発表しました。
- **Taco Bell UK** は132店舗で植物性の味付けビーフ製品を発売しました。
- **NotCo** の植物性のミルクおよびチーズ製品は現在、メキシコとアルゼンチンの Starbucks 店舗にて販売されています。
- ファストフードチェーン **Shake Shack** は、米国全土の260以上の店舗で、植物性のカスタードとシェイクの新商品を発売しました。アイスクリーム商品は、**NotCo** の **NotMilk** 製品を使用して作られています。また、**Shake Shack** の全国メニューに植物性のハンバーガーが導入されました。

- **Caribou Coffee** と **Eat Just** は、Caribou の JUST Egg Roasted Tomato & Pesto Flatbread が、既存のベジタリアン向けの朝食オプションの売上げを45%上回るほど人気があったことを受け、全米400店舗で常設メニューの一品として導入したことを発表しました。
- **Oatly** は **Insomnia Cookies** と提携し、北米の250以上の **Insomnia Cookies** 店舗にて **Oatly** のオリジナルとチョコレート風味のオートミルクを販売開始しました。

フルサービス型のレストランは、植物性食品を扱う会社にとって、ワンランク上の空間で自社製品を味わってもらうのに格好の場所です。2023年には、様々なスペシャリティレストランで若手ブランドがデビューを果たしました。

- イスラエルを拠点とし、3Dプリンターを用いて植物性の代替肉製品を製造する **Redefine Meat** は、イタリア国内の十数軒のレストランにて同社製品を取り扱っていることを明らかにしました。
- イスラエルのスタートアップ企業 **Chunk Foods** は、自社製品のホールカットの植物性ステーキをフロリダ州オーランドにある **Talk of the Town Restaurant Group** の **Charley's Steak House** にて発売しました。ステーキハウスチェーンで植物性のステーキが登場したのは、この店舗が初めてです。
- ヒヨコ豆と大豆からとろりとした卵の黄身を再現するイスラエルの **Yo Egg** は、ロサンゼルス6つのレストラン (**Real Food Daily**、**Junkyard Dog**、**Flore**、**Swingers Diner**、**Coyote Grill**、**Loma Linda's Vegan District Asian Eatery**) でデビューを果たしました。
- 植物性の代替卵を扱う **Zero Egg** は、米国の **The Friendly Toast** レストラン全店にて、Zero Egg Breakfast Sandwich を発売する予定です。

学校や企業、空港、病院、娯楽施などの非営利目的のフードサービス施設は、時に見過ごされがちですが、忘れてはならない存在です。ここでは、植物性の代替食品が日常的な場所で、多くの消費者に親しまれている例をいくつか取り上げていきます。

- **ニューヨーク市の公立病院**では、パイロットプログラムの成功を経て、11の公立病院すべてで、入院患者向け夕食メニューのデフォルトの選択肢として植物性の食事が提供されるよう切り替えられました。
- 映画館チェーン **AMC Theaters** では、**Dr. Praeger** の植物性製品を使用した植物性のグリルチキンサンドイッチ、パティメルト、グルメチキンテンダーの販売が開始されます。
- ドイツの航空会社 **Eurowings Discover** は、**Beyond Meat** のミートボールを機内のフードメニューに取り入れ、ドイツ国内で初めて機内食に植物性の代替肉を導入した航空会社となりました。
- ドイツの全国的な鉄道サービス **Deutsche Bahn** は、植物性のカリーヴルストの提供を開始し、引き続き植物性食品を積極的に取り入れる姿勢を示しました。
- スペインを拠点とする植物性代替肉メーカー **Heura** は、スペイン各地の450校以上の学校と提携し、同社の植物性代替肉製品を給食のメニューに導入する取り組みを実施しています。
- 米国の植物性の代替鶏肉会社 **Rebelloyous Foods** は、同国の医療・教育機関のための購買組織 **Vizient** と販売店契約を締結しました。

売上

世界の小売売上高の概要

この章でこれまでに取り上げた植物性食品カテゴリーは、米国だけではなく世界中でカテゴリーとして確立されています。Euromonitor International が発表している世界の小売売上高データの推計では、主要な植物性分野の世界的な位置付けが示されています。Euromonitor の推計によると、植物性の代替肉、シーフード、ミルク、ヨーグルト、アイスクリーム、およびチーズ類における2023年の世界的な小売売上高は総額290億USDに達しました（Euromonitor は植物性の卵については報告していません）。

植物性の代替肉

2023年における植物性の代替肉とシーフードの世界的な小売売上高は64億USDに達すると推計されており、その大部分はヨーロッパと北米に集中しています。

一方で、植物性の代替肉の売上は従来の食肉に比べると依然として少なく、Euromonitor の推計によると、従来の食肉の小売及びフードサービスにおける世界的な販売量は2023年には4.1億トンに達したのに対し、植物性の代替肉は65.6万トンに過ぎませんでした。

植物性のミルク

2023年の植物性のミルクの世界的な小売売上高は、推計で187億USDに達すると予測されていました。APAC地域は推定売上高において世界でトップに立ち、その売上高は世界2位にランクインした北米地域の推定売上高の2倍以上でした。

植物性のヨーグルト

植物性のヨーグルトにおける2023年の世界的な小売売上高は、ヨーロッパを中心に16億USDに達すると推計されています。

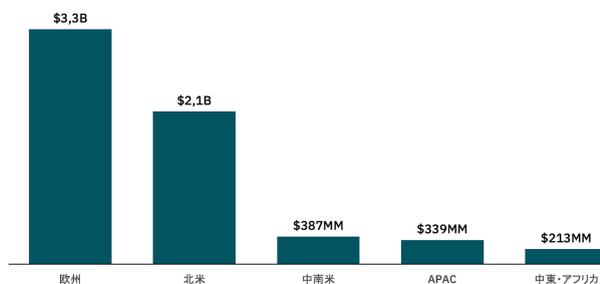
植物性のアイスクリーム

2023年の植物性のアイスクリームの世界的な小売売上高は14億USDと推計されており、主に欧米と欧州に集中しています。

植物性のチーズ

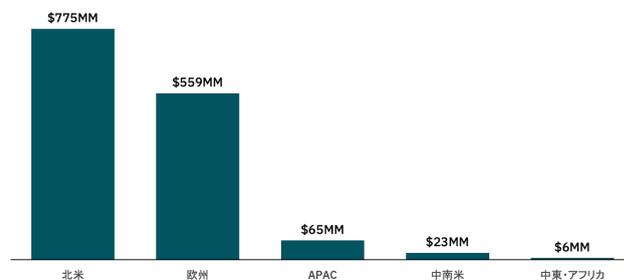
植物性チーズの2023年における世界的な小売売上高は8.96億USDに達すると推計され、欧州と北米が世界をリードしています。

図9：植物性の代替肉・シーフードにおける
2023年の世界的なドル建て小売売上高の推計



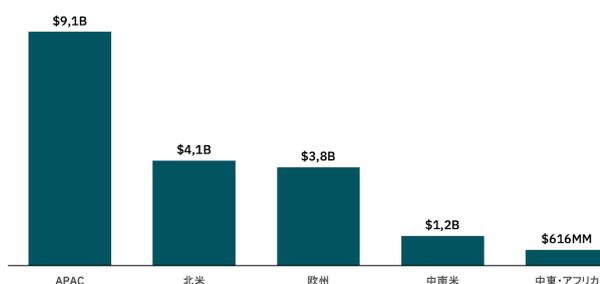
出典: Euromonitor International Limited, Staple Foods 2023, Meat & seafood substitutes, retail value RSP incl. sales tax, US\$.

図12：植物性のアイスクリームにおける
2023年の世界的なドル建て小売売上高の推計



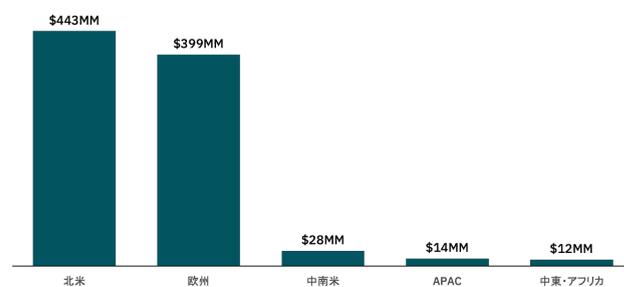
出典: Euromonitor International Limited, Snacks 2023, Plant-based ice cream, retail value RSP incl. sales tax, US\$.

図10：植物性のミルクにおける
2023年の世界的なドル建て小売売上高の推計



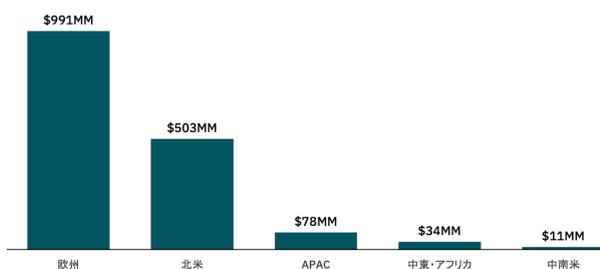
出典: Euromonitor International Limited, Dairy Products and Alternatives 2023, Plant-based milk, retail value RSP incl. sales tax, US\$.

図13：植物性のチーズにおける
2023年の世界的なドル建て小売売上高の推計



出典: Euromonitor International Limited, Dairy Products and Alternatives 2023, Plant-based cheese, retail value RSP incl. sales tax, US\$.

図11：植物性のヨーグルトにおける
2023年の世界的なドル建て小売売上高の推計



出典: Euromonitor International Limited, Dairy Products and Alternatives 2023, Plant-based yogurt, retail value RSP incl. sales tax, US\$.

米国におけるカテゴリー別の小売売上高

図14：植物性食品カテゴリー別の2023年のドル建て売上高・ドル建て売上高成長率
・売上個数・売上個数成長率



カテゴリー	2023年 ドル建て売上高	1年間の ドル建て 売上高成長率 (2022-2023)	2年間の ドル建て 売上高成長率 (2021-2023)	2023年 売上個数	1年間の 売上個数成長率 (2022-2023)	2年間の 売上個数成長率 (2021-2023)
植物性のミルク	\$2.9 B	1%	9%	744 MM	-8%	-10%
植物性の代替肉・シーフード	\$1.2 B	-12%	-13%	215 MM	-19%	-26%
植物性のクリーム	\$701 MM	10%	35%	141 MM	4%	14%
植物性の料理	\$498 MM	-14%	-15%	96 MM	-22%	-28%
植物性の液体・粉末プロテイン	\$392 MM	8%	21%	26 MM	2%	10%
植物性のヨーグルト	\$384 MM	-3%	1%	145 MM	-10%	-15%
植物性のアイスクリーム・冷凍デザート	\$351 MM	-9%	-14%	65 MM	-13%	-21%
植物性のバター	\$292 MM	-1%	5%	70 MM	-10%	-23%
植物性のバー	\$253 MM	7%	22%	59 MM	-1%	-5%
そのまま飲める植物性の飲料	\$247 MM	-1%	20%	60 MM	-3%	12%
植物性のチーズ	\$219 MM	-9%	-10%	43 MM	-12%	-15%
豆腐・テンペ・グルテンミート	\$201 MM	3%	8%	67 MM	-2%	-2%
植物性のクリームチーズ・サワークリーム ・ディップ	\$129 MM	-2%	7%	23 MM	-4%	-1%
植物性の焼き菓子やその他デザート	\$105 MM	8%	23%	17 MM	1%	5%
植物性の調味料とドレッシング	\$90 MM	1%	7%	15 MM	-5%	-8%
植物性の卵	\$43 MM	-5%	11%	9 MM	-13%	8%
合計	\$8.1 B	-2%	4%	1.8 B	-9%	-12%

売上高データに関する注記：この表で示されたデータは、SPINSの標準カテゴリーを精査してつくられたGFIおよびPBFA独自の植物性カテゴリーに基づくものであるため、標準的なSPINSカテゴリーとは一致しない。

出典：Total market = SPINS Natural Grocery Channel + SPINS Conventional Multi Outlet Channel + SPINS Convenience Channel (powered by Circana, formerly IRI & NPD) | 52 Weeks Ending 12-3-2023

植物性カテゴリー全般、植物性の代替肉やミルクのカテゴリーに関する詳細、また消費者の購買動向など、米国小売売上に関する包括的な情報については、GFIウェブサイトの[市場関連データのページ](#)をご覧ください。

投資

概要

2006年以来、植物性の代替肉、シーフード、卵、乳製品を主に扱う企業は、総計で85億USDに上る資金を調達しており、そのうちの半分以上は過去3年間に調達されています。

2023年の植物性食品企業による資金調達額は前年と比較して減少しましたが、これは植物性食品セクターに限られたことではなく、フィンテックなど、主にベンチャー支援を受けているセクターにおいても資金調達額が前年比で約50%減少し、民間資金調達環境が低調であったことがわかります。

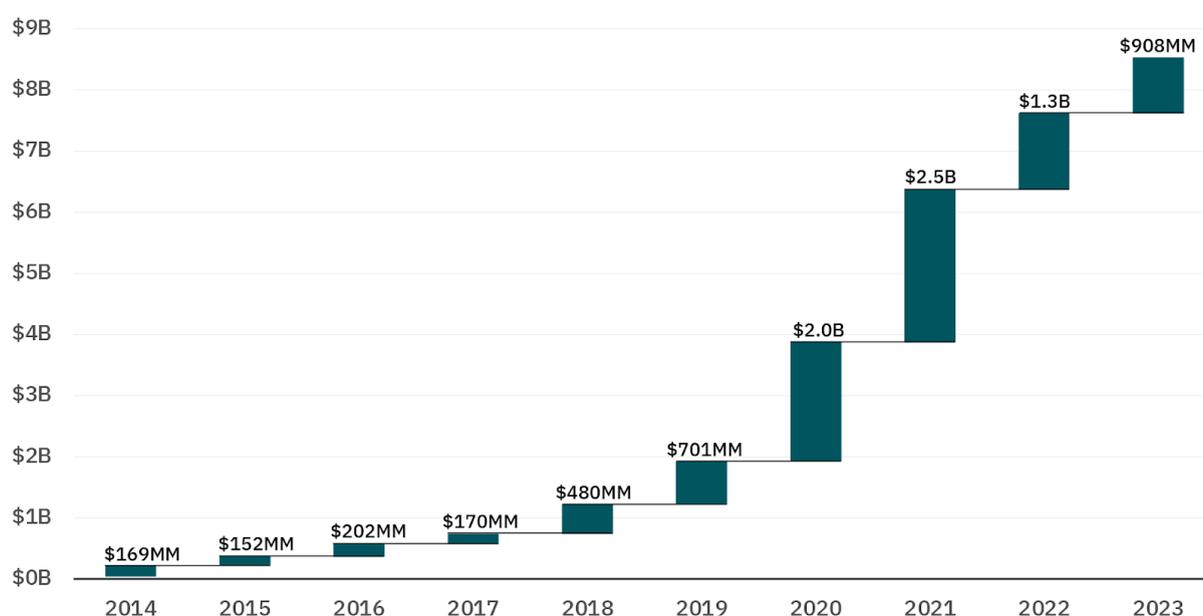
2023年は、金利やインフレ率の上昇に加え、不確実な経済の見通しなどにより、様々な業界が低調な民間資金調達環境に悩まされた1年となりました。

その結果、2023年における世界のベンチャーキャピタルによる資金調達額は全セクターにわたり前年比で42%減少し、2017年以来の最低水準となりました。さらに、クライメートテックのセクターにおいては、インフレ削減法や、リスク削減と投資促進を目的としたその他の政策を通じて政府から多大な支持を得たにも関わらず、エクイティ投資額が前年比で40%減少しました。また、フードテックのスタートアップ企業への投資においても前年比で61%の減少が見られました。

植物性食品企業は、2023年に9.77億USDを調達し、前年の13億USDと比較して28%減少しましたが、世界全体のベンチャーキャピタルによる資金の減少率と比べると低い減少率です。

一方で、植物性食品関連の投資が増加した地域も見られました。2023年の欧州における資金調達額は2年連続で増加し、前年比で74%増の5.84億USDに上り、同地域の年間総額としては過去最高を記録しました。また初めて、欧州からの投資金が植物性産業への投資額の半分以上を占めました。

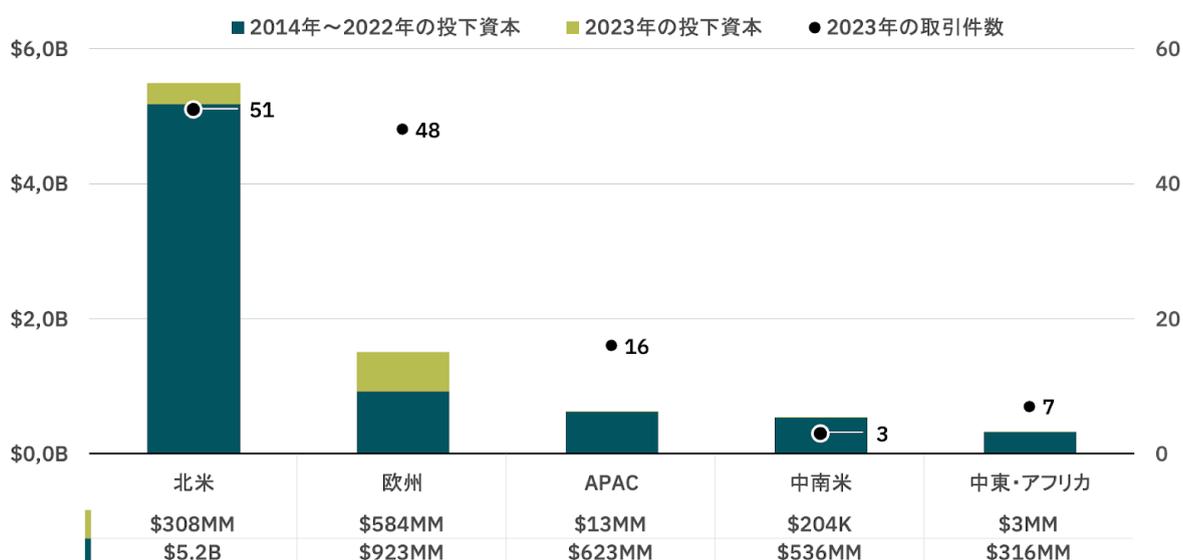
図15：植物性食品企業への累積および年間投資額（2014年～2023年）



出典：Net Zero Insights からのデータに基づくGFIの分析

注記：Net Zero Insightsのアナリストによるデータの確認は行われていない。合計取引件数には金額が未公表の取引も含まれる。

図16：植物性食品企業への地域別投資額（2014-2023年）



出典：Net Zero Insights からのデータに基づくGFIの分析

注記：Net Zero Insights のアナリストによるデータの確認は行われていない。合計取引件数には金額が未公表の取引も含まれる。

リクイディティイベント（流動性イベント）

「リクイディティイベント」とは通常、合併、買収、株式買占め、またはIPOなどによる、企業の株式所有者の持分を売却するイベントを意味します。リクイディティイベントは、企業の合併・買収（M&A）を通し、貴重な技術や生産方法、人材を持つ企業が、財務基盤がより安定した企業の手に渡ることから、産業発展の過程でよくみられることです。ただし、リクイディティイベントはさらに広範な経済状況に影響を受けて発生することもあります。

2023年には、16件のリクイディティイベント（イグジットとも呼ばれる）が起きています。

- 特に注目すべき出来事は、**Morinaga Nutritional Foods** の推定5000万USDの植物性食品企業 **Tofurky** の買収でした。これにより、Tofurky のブランド **Moocho** の統合されたサプライチェーンが強化され、Tofurky は新たな成長段階に移行することができました。
- また、植物性の原料や最終製品を扱う **Above Food** は、上場 SPAC（特別買収目的会社）の **Bite Acquisition Corp.** との合併計画を発表しました。この合併で Above Food の企業価値は3.19億USDとされました。合併が成立すれば、ABVEというティッカーシンボルのもと、NYSE（ニューヨーク証券取引所）で取引されることとなります。

全世界のM&A件数が過去10年以上で最低水準に落ち込んだこの1年、比較的低調であった植物性食品分野のリクイディティイベントの動きは、より広範な資金調達・M&A環境を象徴するものでした。資金調達難を招いた不安定な経済や厳しい資金調達環境は、M&Aの動きを制限する一因ともなりました。

電気自動車などの他の画期的なイノベーションでも見られたように、植物性食品分野に関するリクイディティイベントの動きも今後数年間で加速化することが期待されていますが、その速度は金利や景況感、また、同セクターに対する見解などの条件にも左右されることとなるでしょう。

植物性食品への出資に関心を示している投資家の一覧については、
[こちら](#)からGFIの[投資家ディレクトリ](#)へのアクセス権限をリクエストしてください。

消費者インサイト

ここでは、植物性の代替肉に対する米国の消費者の意識、行動、ニーズに焦点を当て、世界の消費者や特定の地域との比較も示していきます。他地域における消費者インサイトについては、ブラジルやヨーロッパ、イスラエル、アジア太平洋、および中国におけるGFIの関連組織やパートナーが発表しているレポートをご確認ください。

認知度・身近さ・魅力

GFIに代わってMorning Consultが2023年12月に実施した世論調査では、米国の成人の58%が植物性の代替肉について知っていると回答し、47%が「よく知っている」または「やや知っている」と回答しました。過去1年間に植物性の代替肉に関する情報を見たり、読んだり、聞いたりしたことがあるかについては、41%が「かなりある」または「ある程度ある」と回答しましたが、そのうち「かなりある」と回答したのはわずか10%でした。この結果から、米国における成人の多くが、最近の植物性の代替肉に関する情報を把握しておらず、企業に消費者意識を形作る余地がまだ残されていることがわかります。

試食

米国において、植物性の代替肉製品を試したことがあると報告した成人は、43%にとどまっています（GFI/Morning Consult、2023年12月）。すなわち、10人に6人近くが植物性の代替肉市場にまだ足を踏み入れていないこととなります。今後、こうした消費者層に実際に製品を試してもらい、さらに味や価格などのニーズを満たすことで、試食段階を超えたより深い消費者エンゲージメントを実現することができます。

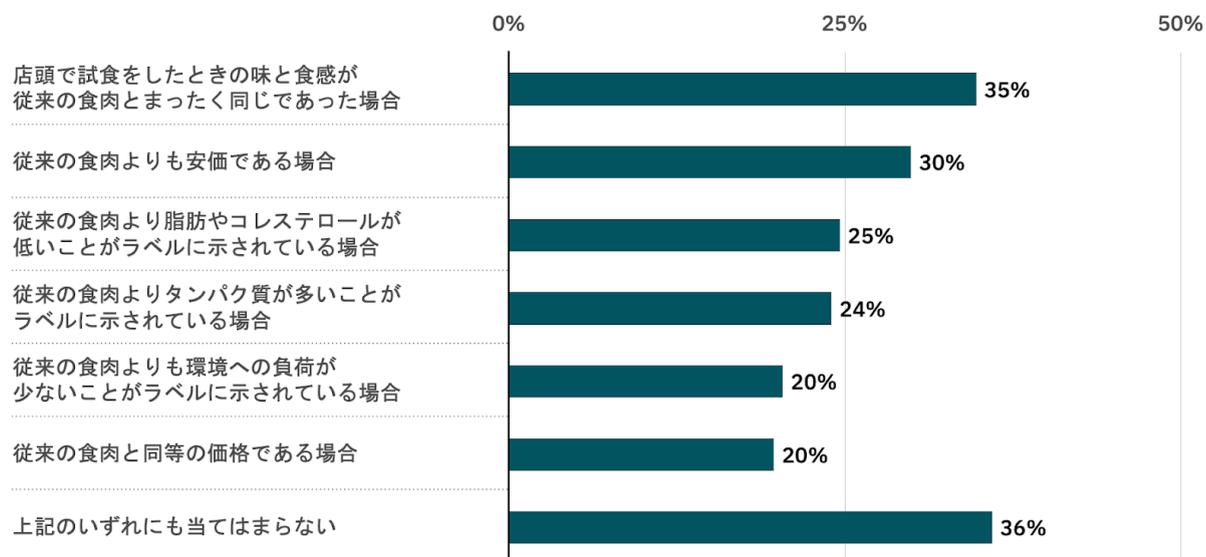
購入・消費頻度

米国では、まだ植物性の食肉を食べたことがない人が圧倒的に多いものの、食べたことがある人の大部分は、日常的に植物性の代替肉を消費し続けています。

- 米国人の13%が植物性の代替肉を週に1回以上食べています。
- 12%が週1回未満、少なくとも月1回は食べています。
- 11%が年に数回、または少なくとも1回は食べると答えています。

2023年には全体的な売り上げは減少しましたが、こうした結果から、今後も引き続き植物性食品を消費し続けるであろう、本カテゴリーに忠実な消費者層が存在することがうかがえます（GFI/Morning Consult、2023年12月号）。

図17：新しい植物性の代替肉製品の購入意欲に繋がりそうなものは以下のうちどれですか？
当てはまるものをすべて選んでください。



出典：Morning Consult が GFI に代わって実施した世論調査, n=2,228 US adults, December 2023

東南アジアにおける消費者動向

Good Growth Co. が2023年後半に実施し、GFI APAC により発表された調査によると、東南アジアの消費者の大半が従来の動物性の食肉を食べ続ける意向を示しており、およそ4分の1がさらに消費量を増やしたいと考えていることが明らかになりました。興味深いことに、植物性の代替肉への関心が最も高かったのは、ベジタリアンでもフレキシタリアンでもなく、従来の食肉の消費量が最も多く、今後さらに多くの食肉を消費する見込みがある消費者でした。

東南アジアの消費者の多くが植物性の代替肉は健康的でおいしいものだとして認識しているものの、消費する上で依然として価格が大きな妨げになっていることが調査によって明らかになりました。東南アジアの消費者の80%以上が、植物性の代替肉の価格が従来の食肉より20%安ければ購入すると答え、その中には、現行のままでは購入しないと答えている消費者のおよそ半数が含まれています。逆に、植物性の代替肉の価格が従来の食肉より20%高い場合、最も高い関心を示している消費者層以外のすべての消費者の間で、購入意欲が大きく減退します。現時点で、植物性の代替肉の平均価格は従来の食肉に比べて35%高いことを考慮すると、（価格を下げることであれば）消費者をこの分野に引き込む上で膨大なチャンスがあることがうかがえます。

東南アジアの消費者は、主として植物性の代替肉を食生活におけるタンパク源の選択肢を増やす機会としてとらえているため、植物性の代替肉と従来の食肉をブレンドした製品に対する関心が全体的に非常に高く、完全に植物由来である代替肉製品に関心のない消費者層からも高い支持が得られています。調査対象となった消費者の圧倒的大多数（93%）が、ブレンドされた食肉を試すことに関心を示しており、その中には、完全植物由来の代替肉を試すことに対して否定的な消費者層の75%以上と、植物性の代替肉を食べたことはあるが、再び食べるつもりはないという消費者層の80%も含まれています。この調査結果は、消費者の味と価格に関するニーズを満たすことができる新規タンパク質製品とその技術革新の絶大な市場機会を物語っています。

科学とテクノロジー

作物の優れた特性と

関連遺伝子の特定および活用

2023年には、学术界、産業界、および行政にまたがる様々な科学者によって、高品質のタンパク質原料に使用できる、優れた特性を持つ作物の遺伝子が特定されました。

英国の **John Innes Centre** の研究者らが、高鉄分のエンドウ豆の基盤となる遺伝子配列について報告したほか、コペンハーゲン大学の研究者らは、白ルパン豆において苦味化合物の生成を妨げる遺伝子変異を発見しました。微量栄養素の密度や風味成分の濃度などといった作物の特性や、それらに寄与する遺伝子に関する理解を深めることは、タンパク質の量と質を改善する商業的な育種プログラムを継続する上で非常に重要です。このような取り組みのひとつとして、欧州科学技術研究協力機構 (COST) による DIVERSICROP Action が挙げられます。この事業は、エンドウ豆やヒヨコ豆などといった活用率が低い作物の生産の妨げとなっている遺伝子型や地域における環境上の制約を特定し、農家によるこうした作物の栽培を拡大するための戦略開発を目的としています。

2023年は、遺伝子の特定だけでなく、以下に紹介する育種の目覚ましい優良な取り組みも多数公表されました。

- 欧州を拠点とし、総事業費が860万EURである Legume Generation プロジェクト は、欧州におけるタンパク質の供給源としてマメ科植物の育種を推進しており、欧州の先進的な植物研究機関と、大豆、ルパン豆、エンドウ豆、レンズ豆、インゲン豆、およびクローバーの育種に携わる植物のブリーダーとの連携を図っています。
- **Amfora** はAI企業 **McClintock** と提携し、植物性タンパク質の生産用に特別に育種された 高収量・高タンパク質な大豆品種 の供給準備の加速化を図りました。

- **Plantae Bioscience** は、CRIPSR 遺伝子編集技術を用いて、苦味のあるサポニン化合物の含有量を低減させた黄エンドウ豆を開発しました。

新規作物の商業規模生産

「食料・土地利用システムが、2050年までに90億人を超える世界人口に対して食料安全保障と健康的な食を提供すること、またそれと同時に、気候、生物多様性、健康、そして貧困などの核心的な課題への対処も可能にするための10の重要な変革」の一つとして代替タンパク質が含まれるよう、The Food and Land Use Coalition (食料・土地利用連合) は、タンパク源を多様化することを挙げました。持続可能なタンパク質のカテゴリにおいては、植物性のタンパク源をさらに多様化する余地が広がっています。農作物の多様化を通して 生物多様性や生態系サービス、食料システムのレジリエンスを向上させることができるため、植物性食品における原料の種類を増やすことは、より幅広い製品生産の促進と、持続可能な農業生産にもつながります。

2023年には、作物の生産者らが数多くの新規植物性タンパク源の生産の効率化を図りました。英国の **ヨーク大学** の研究者らは、

Innovate UK から資金援助を受け、植物性タンパク質を生産することで英国の大豆やエンドウ豆の輸入を減らすことを目指し、一年を通じた作物の栽培・収穫を可能にする 垂直農法により、高タンパク質なアマランスの作物 の栽培を開始しました。また、**Texas A&M AgriLife Research** と **AgriVentis Technologies** の科学者らは、テキサス州での緑豆栽培を検討しています。南アジア諸国で主に栽培されている緑豆は、干ばつに強く、代替タンパク質のスケラブルな供給源として大きく期待されています (詳細については GFI のレポート「知られざる緑豆の可能性」を参照)。

水生植物は、耕地を必要とせず、成長が早いタンパク源であることから、植物性食品としての実用性がますます探求されています。その一方で、水生植物の商業目的での栽培を実現するためには、素材のコストを削減する工夫が求められています。アヒル藻（レンズ豆、アオウキクサ）は、豊富な栄養素と水面に浮かぶ性質を持つ植物で、高品質のタンパク質を最大40%含有します。こうした特性を踏まえ、**Sustainable Planet** は、乾燥した土地を活用し、塩分濃度の高い水においても栽培できるようなアヒル藻の大量生産に注力しています。

海藻はまた、優れた機能性を備えた将来的に期待される水生植物の原料源でもあります。海藻の養殖を拡大するため、**North Sea Farmers** はオランダの洋上風力発電所のタービン間での海藻養殖の実行可能性について実証しています。なお、同プロジェクトは最近、**Amazon** より150万EURの支援を受領しています。

水生植物は、世界中で最も需要が高いタンパク質のひとつ「RuBisCO」への扉を開く鍵となり得る。栄養面、機能面ともに動物性・植物性タンパク質より優れた特性を持ち合わせ、アレルギーを含まず、そのうえ正しく生産されれば無色・無味であるこのタンパク質は、食品産業が動物への危害や社会的混乱のない持続可能な農業食品エコシステムへの移行を実現する上で決定的な要素となるだろう。

Tony Martens

Plantible Foods 共同設立者

タンパク質原料の新規供給源

植物性食品産業はまた、2023年、食品フォーミュレーターが利用できる植物性タンパク質の種類と機能性の多様化を図り、多数の新たな水生タンパク源、豆類タンパク源、およびアップサイクルされたタンパク源の調査を実施しました。

前述のように、水生植物栽培の最適化に関する研究が進められている一方で、水生植物の分画成分の応用方法についての探究も実施されています。例として、**HN Novatech** により、海藻から抽出された、肉ならではの風味を提供できるヘム成分が発見されました。このヘム成分からこれまでに、牛肉、豚肉、鶏肉、羊肉の4種類の風味が開発されており、成分の適応性が実証されています。

タンパク質の原料として、エンドウ豆以外に他のマメ科植物の原料も研究対象となっており、独特な特性をもった新規製品が生み出されています。

- **ChickP** は、ヒヨコ豆タンパク質が持つ優れたゲル化機能と乳化機能の実証を目指し、ヒヨコ豆タンパク質の分離物からつくられたチーズの試作品を開発しました。
- **InnovoPro** は、同社のヒヨコ豆タンパク質原料が、植物性の焼き菓子やチョコレートにおいて、乳製品や卵の代替品として機能することを披露しました。
- **Haofood** は、ピーナッツのタンパク質を使用した植物性ポークミンチと植物性チキンを開発しました。
- **Kraft Heinz** は、多様な豆を活用し、自社の植物性食品の種類を拡大する方針を発表しました。

動物性原料とのブレンドによって 広がる風味の可能性

2023年も、昨年の報告に続き、従来の食肉企業が植物性原料と動物性原料をブレンドして作る製品の開発を進め、さらに、より新しい専門企業もその取り組みに加わりました。

Momentum Foods は、同社の消費者向けブランド **Paul's Table** のもとで初の製品ラインを発表しました。プルドポークやカルネアサダなど、同ラインの製品には、植物性原料が90%（健康や環境への配慮のための大豆や玄米など）と、動物性原料が10%（感覚的な特徴や食体験のためのコラーゲンや脂肪など）使用されています。

ブレンドした代替肉に特化した別の企業 **Asentia** は、トリュフ・マッシュルームを使ったミートボールや、バーボン・ベーコン・アーティチョークを使ったソーセージなどを含むユニークな製品ラインを発売する計画を立て、ステルスモードから脱却しました。こうしたブレンドされた製品に関する適切な情報発信や顧客価値の提供、そしてさらなる研究・製品開発が行われれば、このカテゴリーに対する消費者の注目がより一層高まることが期待されます。

代替タンパク質の「工具箱」 を駆使した製品の最適化

植物性、発酵、細胞性代替タンパク質を掛け合わせることで、分野全体における製品の品質が向上します。この1年間も、植物性、発酵、細胞性成分を使ったハイブリッド製品の開発が進み、新たな製品や取り組みが発表されました。

植物性 + 発酵

- 植物性チーズのメーカー **Daiya** は、次世代製品の開発に向け、発酵技術に投資しました。
- 植物性の代替シーフード製品を扱うスタートアップ企業 **Oshi** は、**The Better Meat Co.** と共同でハイブリッド型のサーモンの開発資金を調達することに成功しました。
- **Beyond Meat** は、そら豆と菌糸体を使ってホールカットのステーキをつくる取り組みを明らかにしました。

植物性 + 細胞性

- **SciFi Foods** はパイロットプラントを開設し、最初の製品として細胞性の原料と植物性の原料を組み合わせた製品を製造すると発表しました。
- **Big Idea Ventures** は、細胞性食品用の植物性の足場に特化したバイオマテリアル企業 **Nexture Bio** を立ち上げました。
- **Tender Foods** は、培養された動物細胞によって強化されたホールカットの植物性代替肉の開発に向け、全米科学財団の資金援助を受けました。

代替脂肪で植物性タンパク質をさらに美味しく

脂肪は、食肉や乳製品のような従来の動物性タンパク質において重要な要素であり、食感、香り、ジューシーさ、風味など、独特な効果をもたらします。

代替タンパク質製品において、従来の製品と同等の味を実現するためには、動物性脂肪に代わる革新的な代替脂肪が必要とされます。一般的に、市販の代替肉製品ではココナッツオイルが代替脂肪として使用されていますが、より機能性の高い、健康的でサステナブルな代替品の探求が進められています。こうしたなか企業は、2023年、ココナッツオイル以上に、植物性の代替肉・乳製品の味や食感といった感覚的な特性および栄養特性を向上できるような植物性脂肪原料の開発に注力するようになりました。

他の非動物性脂肪に関する技術もまた、植物性食品に応用されつつあります。発酵や培養を使用して作られた脂肪は、植物性の技術と比較して、動物性脂肪の分子構造をより忠実に模倣できる可能性を持っています。例として、**Mycorena**、**Nourish Ingredients**、**Yali Bio** によって、植物性の代替肉・乳製品に使用するため、高精度な発酵由来の脂肪の技術革新が進められています。また、**Upstream Foods** は、植物性タンパク質から作られた代替シーフード製品の味の向上を目指し、サーモンの細胞から培養した脂肪を開発しています。

代替タンパク質産業が発展するにつれ、良質な代替脂肪・油脂の技術をスケールアップしていくことは、ココナッツオイルの代わりに動物原料を使用しないオメガ3が豊富な油脂の製造を加速させるために不可欠です。また、コストと原料の確保は、長期的なインパクトを目標とする代替脂肪企業が重視すべき点であると考えられます。

政府と規制

世界各地における公的資金

アメリカ州

アメリカ州全域にて、各国政府による植物性タンパク質への投資が行われ、同産業の科学的・商業的な発展が推進されています。

こうした取り組みにおいて西半球を率いるカナダでは、作物の開発から製品のマーケティングまで、植物性タンパク質のあらゆる側面に取り組む、企業・研究機関・非営利団体からなる企業群 **Protein Industries Canada (PIC)** を通じて、国内の当該産業に数億USDに上る投資が行われてきました。2023年初め、カナダ連邦政府はPICへの資金援助を5年間延長し、1.5億CAD (1.1億USD) を提供することを決定しました。これにより、2018年から2028年までの公約された資金総額は3.53億CAD (2.6億USD) に達しました。また、同国の特産品である豆類、マメ科植物、油用種子からなるタンパク質の改良を目指す**サスカチュワン大学**の複数の研究プロジェクトも、国の公的資金援助を受けました。

米国でもまた、植物性タンパク質に関する研究への支援が行われました。**国立食品農業研究所**は、バージニア工科大学およびノースカロライナA&T州立大学の研究プロジェクトに資金を提供したほか、全米科学財団から、細胞性と植物性の原料を組み合わせたハイブリッド製品に関する調査を目的とした、タフツ大学細胞農業センターと植物性食品のスタートアップ企業 **Tender Foods** との共同研究に対し、およそ100万USDの助成金が支給されました。さらに、海藻から植物性タンパク質を製造する、カリフォルニアに拠点を置くスタートアップ企業 **Umaro Foods** は、**米国エネルギー高等研究計画局 (ARPA-E)** から170万USDを授与され、海藻の処理によって、美味しく健康的な食品に加え、貴重な希土類元素や白金族金属をいかにサステナブルに生産できるかの検証を進めています。

ブラジルでは同年、ブラジル国営研究機関 **Embrapa** が実施している植物性および細胞性のハイブリッドなソーセージ製品の開発研究プロジェクトなどを通し、代替タンパク質研究に関するエコシステムが強化されました。

欧州

欧州では、気候や経済、農家へ植物性の代替食品がもたらす潜在的なメリットが認識され、研究開発や商品化プロジェクトを通して植物性食品への継続的な支援が実施されました。

EUの **European Maritime and Fisheries Fund**

(欧州海洋漁業基金)は、藻類を資源として活用するための取り組みの一環として、微細藻類などの原料から作られるシーフードの開発に向けたプロジェクト「Seafood Alg-ternative」に200万EUR (220万USD)の資金を提供しました。

欧州の植物性食品分野を率いるデンマークは、2022年に発表された世界最大規模の植物性食品基金に続き、研究開発への資金増額などを含む世界初の植物性食品に関する国家行動計画を策定しました。また、以前発表された1.95億USDの植物性食品基金 Plant

Foundationの一次募集では、業界、スタートアップ企業や研究センターなどから100件を超える応募があり、初年度にして「圧倒的な」反響を呼びました。

フランスも遅れはとらず、2023年には、SOYSTAINABLE、AlinOVeg、LETSPROSEED、Just Adopt pulses from Cook to forK (JACK)などをはじめとするプロジェクトを通じて、同国における豆類作物の代替タンパク質製品への利用を推進することを目指し、研究資金を大幅に増額しました。同国政府はまた、植物性タンパク質企業の商業規模の開発も支援しており、2022年後半にはフランス企業 **Umiami** に対し740万EUR (790万USD)を拠出し、ストラスブール郊外の農業生産施設の購入・再設備を支援しました。この取り組みは、新技術の開発者が産業スケールにおいて商業的な実行可能性を確立する支援を行う事業「Première Usine (一つ目の工場)」の一環として行われ、また、フランスのグラン＝テスト地域圏から300万EUR (320万USD)の奨励金も受けています。2023年には、政府が支援する2つのシードファンドが主導で資金調達

を行い、**Umiami**がホールカットの植物性製品を米国で発売することを支援しました。

英国も同様に、2023年に代替タンパク質に関する支援を拡大しており、低排出の食品生産システムを支援する事業を通じて、植物性代替タンパク質に関する3つの研究プロジェクトに資金を提供しました。また、**Innovate UK**は、「Better Food for All」コンテストを主催し、植物性のテクノロジー企業4社を選出したほか、同国にて垂直農法によって栽培しやすいアマランサスの葉から植物性タンパク質を作る2年間のプロジェクトに対する資金提供も行っています。アイルランドでも、政府による植物性食品に関する研究の支援が実施されており、農業・食料・海洋省からは、植物性食品の加工・処理手段としての発酵を調査するコーク大学とダブリン工科大学の研究プロジェクトに100万EUR (110万USD)以上が授与されました。

ドイツでは、2024年に向けて持続可能なタンパク質への移行を促進するため、連邦政府から3800万EUR (4100万USD)の資金援助が発表されました。この資金は、代替タンパク質生産の技術革新や栄養価の向上を推進し、また、畜産から植物性・細胞性・発酵由来のタンパク質生産への転換を図る農家や企業への支援などを目的としています。

準国家レベルにおいては、スペインのカタルーニャ州が、代替タンパク質事業の生産規模拡大を支援するため、代替タンパク質イノベーションセンター (CiPA)に700万EUR (732万USD)を投資しました。

アジア太平洋

アジア太平洋地域の各国政府は、引き続き植物性食品への支援を実施しましたが、同地域における代替タンパク質への主要な資金提供者による新たな取り組み事例はわずかなものでした。

シンガポールは、植物性食品分野でアジア太平洋地域をリードしており、多額の資金が投じられている **Singapore Food Story 2.0** 研究

プログラムを通じて、植物性食品の研究開発への投資を継続して実施しました。2023年には、中小企業等に注力する政府機関

Enterprise Singapore が、食品技術プログラムを立ち上げ、植物性食品を含む代替タンパク質のスタートアップ企業が中国本土の市場に進出する際の支援を行いました。

韓国と日本ではともに、2023年に植物性食品への新たな支援が発表されました。韓国政府は、研究センターや、国産作物から植物性タンパク質を生産する取り組みなどを含む、植物性食品に関する計画を公表しました。日本の**農林水産省**は2023年末、植物性の卵を生産する日本のスタートアップ企業 **Umami United** に対し、製品開発と欧米市場への進出のための支援として、総額9.17億JPY（650万USD）の中小企業向けの補助金を交付することを発表しました。

オーストラリアでは2023年に、6つの州政府のうち2つの州が的を絞った公共投資を行い、

規制に関する最新情報の抜粋



オーストラリア・
ニュージーランド

2022年、オーストラリアの上院による植物性食品の適切な呼称に関する調査結果が発表され、植物性食品のメーカーが「beef（牛肉）」や「chicken（鶏肉）」といった、食肉に類似した用語を使用しないよう、表示規制を導入することが提言されました。この調査を受け、**APC（Alternative Proteins Council：代替タンパク質評議会）**は2023年4月にオーストラリアとニュージーランドで Industry Guidelines for the Labelling of Meat Alternative Products（オーストラリアおよびニュージーランドにおける食肉代替製品の表示に関する業界ガイドライン）の最新版を発表し、2023年8月には、植物性の代替乳製品についても同様のガイドラインを策定しました。ガイドラインはいずれも任意となっています。

農家や食品生産者の支援を通して地元の植物性タンパク質産業の活性化を図りました。また、西オーストラリア州政府は、地元で栽培された作物から、ルパン豆タンパク質を豊富に含むオーツミルクを生産する工場の建設支援として、500万AUD（330万USD）を割り当てました。さらに、ニューサウスウェールズ州は、発酵、細胞性食品、植物性食品を含む代替タンパク質の主要な柱すべてに関して、大規模な製法開発と研究開発を行う「**Alternative Protein Application Centre**」の設立に220万AUD（160万USD）を割り当てました。

ニュージーランドでは、政府の基金 Endeavour Fund より、グリーンピース、オーツ麦、アサなどの国産の作物から作られる代替タンパク質製品を開発するプロジェクト「**Plant-Based Food Ingredients: a Systems Approach to Sustainable Design**」に約1200万NZD（700万USD）が投じられました。



カナダ

CFIA（Canadian Food Inspection Agency：カナダ食品検査庁）は2023年10月に植物性食品を含む「模造」肉・家禽肉製品に関する基準を更新しました。CFIAは、植物性食品が食肉または家禽肉製品に類似しておらず、食肉または家禽肉製品と間違われる可能性がない限り、当該植物性食品に対する「ハンバーグ」、「ソーセージ」、「ジャーキー」といった食肉に関連する表現の使用が容認されることを明らかにしました。



インド

FSSAI（Food Safety and Standards Authority of India：インド食品安全基準局）は2022年に Vegan Foods Regulations（ヴィーガン食品に関する規制）を最終決定し、動物性の原料を使用しない食品および食品原料に関する規制の枠組みを構築しました。この規制により、植物性食品メーカーはFSSAIに自

社製品をヴィーガンと表示するための認可申請を行わなければならない、承認された製品は政府指定のロゴマークの使用が必須となります。当該規制は、2023年1月からヴィーガン製品のメーカーによる遵守が義務化されました。



南アフリカ

南アフリカは2022年に、植物性食品に対して「バーガー」や「ナゲット」といった「肉らしい」用語の使用を禁止することを発表しました。その後、ヨハネスブルグ高等裁判所によって2023年5月まで植物性食品メーカーに販売継続を認める猶予が与えられたため、2023年に禁止令の施行が停止されました。本レポートの作成時点では、依然として施行の停止が続いています。

同国における植物性食品の表示に関するもう一つの勝利例として、2023年に植物性食品企業 **Fry Family Foods** が、**食品安全庁 (FSA)** と **Red Meat Industry Forum** に対して、2022年に提起した上訴に勝利した件があげられます。両団体は、Fry Family Foods の6製品の商品名と表示が、「肉らしい」用語を使用することによって、南アフリカの加工肉規制に違反しているとして異議を申し立てました。この勝利の結果、上訴委員会は2023年8月、**農林水産省**は代替肉製品に特化した規制を策定するよう指示されるべきとの判決を下しました。



韓国

韓国の**食品医薬品安全省**は2023年11月、植物性食品の表示に関する基準や方法を定めた「**Alternative Foods Labeling Guidelines** (代替食品の表示に関するガイドライン)」を発表しました。このガイダンスでは、「ビーフ」や「ミルク」といった動物性食品の名称の使用が制限されています。ただし、「プルコギ」や「ハンバーガー」など、製品の性質を示す言葉については、植物性食品の表示に使用することが認められています。また、製品の製

造において、動物性の食肉の代わりに使用された代替原料の名称を記載することも認められています。したがって、「植物性ハンバーガー」や「大豆から作られたプルコギ」などと表記することには問題ありません。

今後の見通し

長期的な見通し

地球上の居住可能な土地のおよそ半分が農業に利用されていることを考えると、世界的に食料システムを変革することは、大規模かつ集中的、また長期的な取り組みとなることは言うまでもありません。

ゼロに近い状態にある分野を商業規模にまで拡大させることは、とてつもなく大きな仕事です。こうした観点から見ると、代替タンパク質分野は既に目まぐるしい進歩を遂げていると言えるでしょう。実際に、植物性のミルク、代替肉、卵産業はそれぞれ、2023年の米國小売市場の14.5%、0.9%、0.4%を占めています。

しかし、成長というのは一定ではなく、確実なものでもありません。植物性の代替肉、シーフード、卵、乳製品産業が、長期にわたる安定した成長を果たすためには、乗り越えなければならない壁が依然として残されています。ブランド側は引き続き消費者に対しそれぞれの製品の価値を訴求していかなければならず、分野としても製品の味と食感の改善に継続的に取り組んでいく必要があります。その上、こういった取り組みは、近年よりも厳しい民間の資金調達環境の中で行わなければならないかもしれません。また、迫りつつある製造キャパシティの不足や、比較的はまだ新しい植物性食品原料のサプライチェーン、さらには表示をめぐる規制当局との継続的な闘いなどにも対処する必要があります。

手頃な価格で手に入りやすく、かつ美味しい植物性食品を提供するためには、企業、政府、そして投資家による継続的な技術革新や投資が不可欠です。植物性食品企業が、消費者が望む製品を人にも地球にも優しい方法で製造することは、長期的な成長へとつながり

ます。また、各国政府からの支援も同様に業界にとって極めて重要です。ドイツのように、植物性食品の消費が急増している国は、世界的な植物性食品産業の概念実証の場となります。欧州連合（EU）でも、今後10年間で、植物性食品の需要が増加すると見込まれています。

こうした要素に加え、1兆USDの世界食肉市場の規模を考慮すると、植物性セクターがもつ可能性は依然として計り知れないものです。植物性食品の一般家庭への普及率は、米国ではまだ15%程度、世界全体ではもっと低い水準にとどまっており、米国でも世界でも、普及拡大の余地は十分にあるといえます。企業は今後数年間で、消費者の支持を獲得し、製品を改善し、自立的な成長を実現できでしょう。そのためにも、投資、協力、そしてコミットメントが必要となります。地球と世界の食料システムが直面する課題を踏まえると、進歩というものは単にできるものではなく、国際的な目標を達成するためにも必要不可欠なものなのです。

市場予測

植物性の代替肉、シーフード、卵、乳製品市場に関して、コンサルティング会社やシンクタンク、研究機関が発表している今後の展望には大きなばらつきがみられるものの、どの予測も現在の市場規模から見て堅調な成長を見据えています。2035年までの展望では、植物性代替肉の市場だけで880億USDから3680億USD規模に成長するという大胆な推測がありますが、数年前に発表された予測も含まれており、2035年時点の正確な予測を反映していない可能性もあります（この予測は、現在の市場規模の14倍から58倍に相当するものです）。代替タンパク質（植物性・発酵由来・細胞性のものを含む）の同年の市場予測については、870億USDから5940億USD規模になると予測されています。

図18：植物性の代替肉産業の世界的市場規模の予測



出典：A.T. Kearney; UBS; Mintel; Bloomberg Intelligence; Stephens, Inc., Research Brief (3/18/2021); EY & Protein Industries; RBC Imagine.