

誰かと話したくなる！

# 代替タンパク質の基礎知識

世界が取り組む5つの代替タンパク質



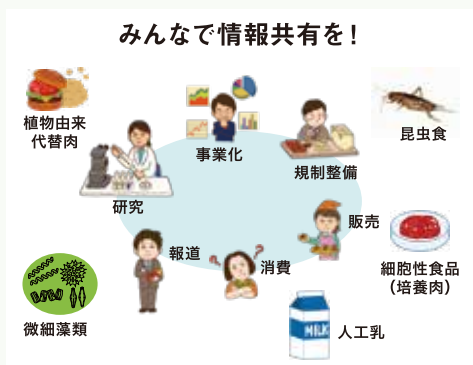
発行・監修 大阪公立大学 小泉 望

# 代替タンパク質という選択肢を考える

近頃、耳にする「代替タンパク質」。その背景には世界中で懸念されている「タンパク質危機(プロテイン・クライシス)」があることをご存知でしょうか。様々な要因が重なり、諸外国では今、畜肉や乳あるいは魚に代わる「代替タンパク質」への取り組みが盛んに行われています。

## 研究開発から実用段階までの情報を共有する

慣れ親しんだ食習慣を持った消費者に新しい食品の選択肢を提示し、変化を促すことは容易ではありません。食料危機という課題が目前に迫っていても、食習慣を変えることはなかなか難しいのが現状です。その普及には、研究開発と製造工程の透明性、安全性、食品イメージ、メリット、価格、そしておいしさや満足度が重要な要素となります。



日本でも昨今代替タンパク質が注目されていますが、その実態について十分な情報が共有されているとは言えません。そこで2023年2月～3月にかけて、代表的な代替タンパク質について、一般の方々を対象にしたオンラインセミナーを開き、代替タンパク質が台頭してきた背景、研究開発の動向、社会実装の現状等について多様な視点、立場の専門家に分かりやすく解説していただいた内容を本書にまとめました。

## この冊子で紹介する代替タンパク質

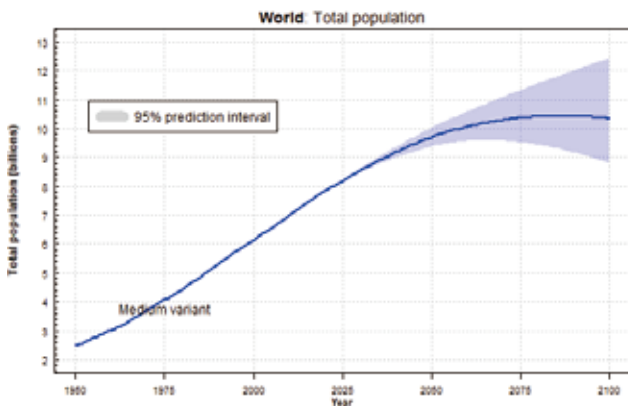
植物由来代替肉	大豆やエンドウのタンパク質を繊維状に加工し肉に似せたもの。多くの企業が参入。代替タンパク質の中でもっとも普及が進んでおり、実用段階にある。	P5
微生物類	水中で光合成する藻類の中でも大きさが微細なもの。参入している企業は比較的多く、研究・試食品の開発が始まっている。	P7
昆虫食	高タンパク質で栄養価が高く、家畜に比べ環境負荷が少ない。参入している企業は比較的多く、試食品の開発、試験的販売に進んでいる。	P9
細胞性食品(培養肉)	家畜や魚を殺生することなく、それらの細胞を体外で細胞培養してつくる食品。参入している企業は比較的多いが、現在は研究段階でコストダウンが課題。	PII
人工乳	妊娠・出産させた雌牛から得る牛乳と違い、微生物に作らせた乳成分を混ぜて作る。風味の再現には至っていないが、実用段階にある。	PI3

## 代替タンパク質のことを考える前に 知っておきたい「食料危機」の現状

「世界の人口が増え続けると人類は将来、食料危機に陥る」という食料危機問題は、常に重要な社会問題の一つとして受け止められてきました。

ところが2023年現在、状況は変わりつつあります。国連は世界人口が2100年頃から減少するという予測を発表。私たちの目の前にこれまでとは異なる未来予想図が浮かび上がり、同時に次なる課題も見えてきました。

### 世界の人口は110億人で頭打ちに！



国連ウェブサイトより

<https://population.un.org/wpp/Graphs/DemographicProfiles/Line/900>

食べられるものが足りなくなる可能性は低い？

世界人口

気候変動

農地分布

未来型の新しい  
食料生産システムに

アフリカの地域では紛争や経済ショックなどの要因が複雑に絡み合い、飢えに苦しむ地域がある一方で、実は一部の地域では食料を無駄にするフードロスが多発。また日本の農林水産省によると、気候変動により2010年から2050年の間に平均気温が2°C上昇。それによって穀物の生育や土壌に影響が出て、世界的に農地の分布が変化するとされています。世界の農地面積が変われば、地球規模の食料事情にも影響が及びます。こうしたことを踏まえて今、未来に適した新しい食料生産システムが必要とされています。

## 生命の維持に欠かせないタンパク質 体の構成要素となり、大切な調節機能の役割も

ここでさらに話を進める前に、私たちヒトにとってタンパク質とは何かということをお話しておきましょう。

タンパク質は炭水化物、脂質と共に三大栄養素と呼ばれています。これに、ビタミンとミネラルを加えると五大栄養素と言われます。

タンパク質は20種類のアミノ酸から構成されており、**筋肉や皮膚、臓器、毛髪などの人体を構成する要素だけでなく、生命を維持するために必要な酵素やホルモンなどの調節機能を担うたいへん重要な役割を果たします。**



### 日本人の食事摂取基準による一日に必要なタンパク質

18～49歳は摂取エネルギーの13～20%

50～64歳は14～20%

65歳以上は15～20%が理想。

推奨量は

18～64歳の男性は一日65g

65歳以上の男性は60g

18歳以上の女性は一日50g



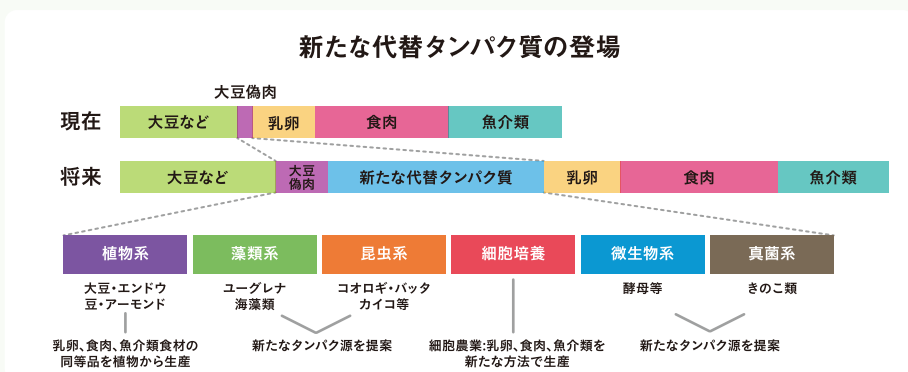
水を除いた人体の約60%がタンパク質！  
年齢、性別によって必要な量が異なる

## 世界の肉食化の進行とともに懸念されている 「2030年タンパク質危機(プロテイン・クライシス)」

さて、将来的に世界人口の頭打ちが控えているとはいえ、現状では右肩上がりの人口増加や新興国のGDP増加に伴う食生活の向上により、今後肉類や乳製品の需要が爆増することは、避けられない事態です。となると必然的にタンパク質の供給量も増え続け、人口が90億人に達する2030年から世界のタンパク質の需要と供給のバランスが崩れる「タンパク質危機(プロテイン・クライシス)」が懸念されています。



そこで現在、世界各地で研究・開発が盛んに行われているのが、畜産物や魚介類ではないものからタンパク質を摂取する「代替タンパク質」です。



ここから先は具体的に「5つの代替タンパク質」の話題を見ていきましょう。

# 植物由来代替肉



イメージです。

## 植物由来代替肉とは？

植物性タンパク質を粒状や繊維状に加工し、肉の食感に近づけたもの。東アジアで古くから日常的に食されてきた大豆由来の代替肉などが知られています。これまで主なタンパク質源といえば、牛や豚、鶏などの畜産物が筆頭に挙げられていましたが、穀物(植物)などの飼料を食べて育つ牛をヒトが食べた場合、穀物中に含まれていたタンパク質が牛からヒトに移行するのは元の10%程度。ヒトが植物を直接摂取することができれば、そのタンパク質は**100%活用できるというメリットがあります**。代替タンパク質の中でも植物由来のものはすでに製品化が進んでいますが、併行してアレルギー表示の徹底やどこで購入できるかなど、消費者にわかりやすい販売手法が求められています。

## 人気食材「大豆」の特徴

タンパク質中に含まれる9種類の必須アミノ酸の含有率を示す「アミノ酸スコア」を見ると、動物性タンパク質が植物性タンパク質を上回る中、**大豆とエンドウは動物性タンパク質と同等のスコア100をマーク**。しかも大豆はエンドウの生産量が年間約1,400万トンに対して年間約3.9億トン。生産量が多く供給が安定しているため、安価で市場に出回っています。

動物性タンパク質		植物性タンパク質	
品名	スコア	品名	スコア
牛肉(赤味)	100	<b>大豆</b>	<b>100</b>
豚肉(赤味)	100	エンドウ	100
鶏肉(皮なし)	100	そば粉	100
鶏卵	100	精白米	61
牛乳	100	小麦粉	42
鰯	100	サツマイモ	83
鮭	100	トウモロコシ	31

### POINT

大豆はタンパク質含有量も40%と高い

## 現状と課題

アメリカでは食品会社ビヨンド・ミートやインポッシブル・フーズが先行してハンバーガーやソーセージ、ナゲットを販売。日本でも2015年に設立した熊本県のDAIZが発芽大豆ミートを製造・通販しています。植物由来代替肉は低コレステロールや畜産に起因する環境負荷の軽減が期待される一方で、「肉の旨味やおいしそうな色をいかに再現するか」「大豆独特の風味をどう低減するか」という課題も指摘されています。これらの改善を目指して、大豆そのものの品種改良も進んでいます。

### Q ここが知りたい!

#### 遺伝子組換え大豆を使っているんですか？

A. 遺伝子組換えのものと遺伝子組換えではないものの両方が流通しています。豆の臭いの原因となる物質を含まない大豆にもこの2種類があり、後者には突然変異を利用したものとゲノム編集によって開発されたものがあります。

# 微細藻類



イメージです。

## 微細藻類とは？

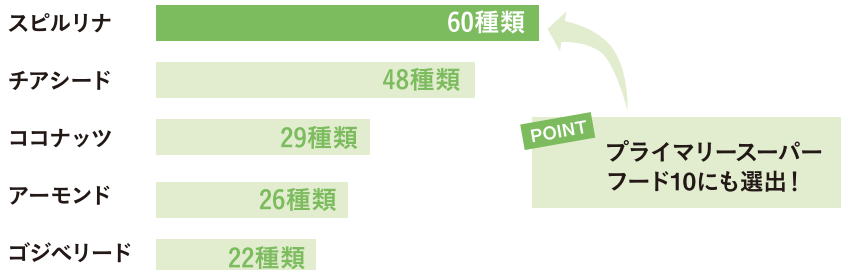
陸上植物の祖先となった生物を含むグループである藻類は主に水中に生息し、大半が光合成を行います。大型藻類のコンブやワカメに比べると微細藻類はまだ知名度が低いものの、その種類は特定されているものだけでも2〜3万種。中でもスピルリナ、クロレラ、ユーグレナなどが食品や化粧品として実用化されています。藻類が他の代替タンパク質と大きく異なる点は、水と光があれば容易に培養できることです。地球温暖化が進めば、現在の主要穀物生産地は大きく減少と言われる中、微細藻類ならば従来農地にできなかった荒地や砂漠地帯でも生産可能です。光合成とバイオテクノロジーで培養する循環型社会の食材、微細藻類の実用化にあたり各メーカーは食卓になじむ色やおいしさを追求しています。



## 人気食材「スピルリナ」の特徴

スピルリナは微細藻類の中でもたんぱく質含有量が非常に高く（大豆33%、クロレラ50%のところ、スピルリナは75%）、「**スーパーフードの王様**」とも呼ばれています。スピルリナを原料とした製品（スムージーやスープ、ヨーグルト、パスタ、乾麺、アイスクリーム、クッキー、マヨネーズなど）は世界中で発売されており、**欧米では2,000億円市場に成長しています。**

### スピルリナと他スーパーフードとの栄養素との比較



## 現状と課題

藻類培養に適した環境条件と消費地に近いという立地から、現在は東南アジア、赤道近くのブルネイでもスピルリナの生産が始まっています。国内ではタベルモ社が、生で食べられるスピルリナの製造に着手。粉末や錠剤だと気になる独特の臭いや苦味のない無味無臭の生鮮食品として売り出しています。メーカーの目標は「認知度を高め、生産量を大豆並みに拡大し商品価格に反映させること」。ネーミングを含め一般家庭が普段使いしやすい商品を展開中です。

**Q** ここが知りたい!

**スピルリナを使ったマヨネーズの購入層は？**

**A.** 卵の代わりにスピルリナを使うマヨネーズは卵アレルギーの家族がいるご家庭に好評です。卵を避けるベジタリアンやヴィーガン層にも広がっています。

日常食の事例を知り、選択肢の一つに

# 昆虫食



イメージです。

## 昆虫食とは？

2013年にFAO(国連食糧農業機関)が発表した報告書によると、世界では1,990種類の昆虫が20億人以上の人々によって食されており、高タンパク質で栄養価が高いことや飼育による温室効果ガス排出量が牛・豚よりも桁違いに少ないこと、人獣共通感染症のリスクが低いことなどの理由から、現在、昆虫は食料問題の解決策の一つとして推奨されています。2021年にはEUがコオロギ、トノサマバッタ、ミールワームをノベルフード(新規食材)として認可。

## 昆虫食先進国ラオスの事例

昆虫食が日常に溶け込んでいるラオス。母子手帳に「昆虫食」の記述があるほど、国の保健行政は昆虫の栄養に注目しています。一方、農村部では栄養知識が乏しく、昆虫は純粋に「おいしいから」食べられているという実態も。大豆や乳製品など地元の文化に合わない食材を用いた栄養介入の試みは軌道に乗らず、現在は日本のJICAの支援もあり、昆虫養殖による栄養と所得の改善が始まっています。

### 農家の収入源でもある昆虫食の直売風景



### POINT

日本で開発された  
「昆虫食」おまごとセットもある



作品提供：アートディレクター / 北恭子  
監修 / 佐伯真二郎

## 現状と課題

2022年に徳島県の高校給食に国内で初めてコオロギパウダーが使用され、賛否両論がわき起こりました（生徒考案のかぼちゃコロッケに使い、食べるか否かは生徒に委ねられました）。そのとき聞こえてきた「コオロギを食べると流産する」「人類はコオロギを食べてこなかった」といった声からは、伝統的な昆虫食文化の実状が消費者に全く届いていないことが明らかに。昆虫食に限らず、新たな普及に挑む食のジャンル全般において食文化を尊重する双方向のサイエンスコミュニケーションが必要であることが浮き彫りになりました。

### Q ここが知りたい！

ラオスではコオロギをどうやって食べているんですか？

A. 炭火で焼いたり、スープにしたり、ラオスの伝統的な辛味噌「チェオ」の材料に。鮮度の高いもののクリーミーな「コク」と「香り」が楽しまれています。

# 細胞性食品(培養肉)



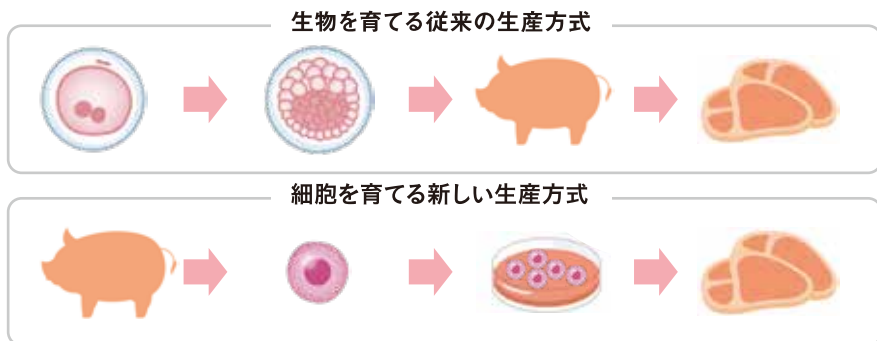
イメージです。

## 細胞性食品とは？

従来の農水産業に対して大量の水や土地、飼料を使わずに家畜・魚の細胞を体外で培養して育てていく「細胞農業」。そうして出来上がった細胞性食品の筆頭が「培養肉」です。オランダやアメリカ、シンガポール、イスラエルなどの国々で官民による研究開発が進んでいます。2020年にはシンガポールが世界で初めて細胞性チキナゲットの販売を認可し、一般人が細胞性食品を購入できる国となり、同分野で世界最多の企業数を誇るアメリカでも2023年に細胞性鶏肉の生産・販売認可が下りました。今後も世界でマーケットが活発になることが予測される中、日本はまだ販売の前段階。安全性に関する評価・検証が入念に行われています。

## 細胞性食品研究開発の背景

細胞培養はもともと医学の分野で発展を遂げてきた科学技術です。2012年には京都大学の山中伸弥教授が、世界で初めて多能性幹細胞であるiPS細胞の作製に成功したことによりノーベル生理学・医学賞を受賞しています。こうした医学の知見を食の世界に転用した細胞性食品は、「2030年タンパク質危機」を控えた今、**地球環境に優しい培養環境や動物愛護の視点でも共感を得やすく、生産もスピーディー**。関心を示す企業が今後増えていくことが予測されます。



POINT

細胞が生物の体内で育つか、体外で育つかの違い  
土・水が不要な細胞農業は宇宙での培養も可能！

## 現状と課題

オランダでは2013年に培養細胞を使ったハンバーガーを世界に先駆けて発表。その時点ではハンバーガー1つが約3,300万円という超高コストでしたが、このまま普及が進めば流通に適した価格帯になるのも夢ではありません。ただし、**培養に必要とされる高額な電気代対策や「どの動物由来の細胞が、何%入っているのか」等の成分表示の取り決めはこれから**。牛と豚の細胞を混ぜた合挽き肉も、いずれ店頭で見かける日が来るかも知れません。

Q ここが知りたい！

**細胞性食品（培養肉）の味は本物の肉と同じですか？**

A. 肉の味は肉の部位だけでなく脂の香りや噛みごたえでも左右します。どの細胞をどう組み合わせるか、各メーカーが工夫を凝らしています。

# 人工乳



イメージです。

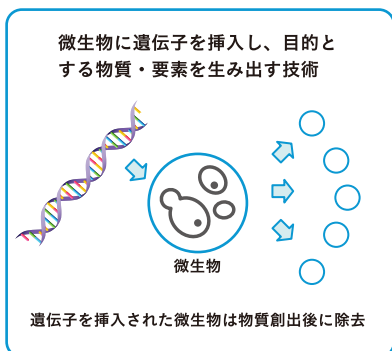
## 人工乳とは？

培養肉と同じように「細胞農業」から作られる人工乳。ただし、こちらは牛の細胞そのものを増やしていくのではなく、**微生物を精密発酵させて目的のものを作る手法から「精密発酵乳」とも呼ばれています**。日本では代替肉ほどまだ浸透しておらず、「精密発酵」や「人工」というワードから「製造過程が想像つかない」「あまり飲みたいと思わない」等の声も聞こえてきますが、イスラエルやシンガポール等の諸外国では研究が盛ん。**この分野の世界最大手である米国企業パーフェクトデイ社が「アニマルフリー（非動物性）ミルク」と題して様々な商品展開を行っています**。新しい食文化を生み出す際にネーミングが与える影響を考える上でも気になる新食材になりそうです。

## 人工乳研究開発の背景

コロナ禍で大きな話題となった牛乳廃棄問題はまだ私たちの記憶に新しく、「その状況でなぜ人工乳を？」と疑問に思う人もいるのではないのでしょうか。しかしその一方で、牛のゲップによる温室効果ガスは世界共通の課題であり、現状右肩上がり続く人口増加やたんぱく質の需要増等を考えると、**将来的な乳製品不足の懸念は未だ払拭されていません**。それに対して今から着手できる対策の一つが、「人工乳」。**環境問題・食料問題の解決を目的に開発が進んでいます**。

### 精密発酵のプロセス（イメージ）



### 精密発酵企業の例

国	企業	製品
アメリカ	Perfect Day	乳製品
イスラエル	Remilk	乳製品
シンガポール	Turtle Tree	母乳
アメリカ	The Every Company	卵
オランダ	Fooditive	はちみつ

#### POINT

現在、精密発酵企業は  
世界に60～70社

## 現状と課題

国民の環境問題への関心と比例して、各国で浸透状況が異なる人工乳。気になる味や栄養を本来の牛乳と比較すると、「全く同じ」ではありません。現在、精密発酵で作れる乳成分はホエー（乳清）とカゼイン（凝固するたんぱく質）のみ。乳脂肪や乳糖はまだ試行錯誤中で、牛乳本来のココの再現には至っていません。他方、お菓子作りなどの加工食では牛乳と全く遜色なく使われており、欧米では人工乳を使った「ヴィーガンアイス」などが人気です。

### Q ここが知りたい!

#### 遺伝子組換え技術を使っているのが不安です

A. 人工乳の製造工程では遺伝子組換えを行った微生物は取り除き、ホエーやカゼインなどの目的の生成物のみを使用しています。

## オンラインセミナー（6回）の情報提供者とテーマ

- 1) 五十嵐圭介 NPO法人 日本細胞農業協会 代表理事（兼）東北大学大学院農学研究科 環境適応植物工学研究室 助教  
「新食材“代替タンパク質”はなぜ求められているのか」
- 2) 杉崎 麻友 NPO法人日本細胞農業協会 理事（兼）Forsea Foods 研究員  
「細胞農業と培養肉」
- 3) 佐々木俊弥 株式会社タベルモ 代表取締役COO  
「タンパク質源としての微細藻類」
- 4) 橋詰 寛也 株式会社Kinish 代表取締役CEO  
「消費者目線の精密発酵」
- 5) 穴井 豊昭 九州大学大学院農学研究院 教授  
「植物由来代替肉の現状と今後」
- 6) 佐伯 真二郎 NPO法人食用昆虫科学研究会 理事長  
「地域課題解決と養殖昆虫食の共進化」

---

### 冊子タイトル 誰かと話したくなる！ 代替タンパク質の基礎知識 世界が取り組む5つの代替タンパク質

発行日	2023年9月29日
発行・監修	大阪公立大学 小泉 望
連絡先	大阪公立大学 農学研究科 〒599-8531 大阪府堺市中央区学園町1-1 Tel 072-254-9424
協力	大阪公立大学 山口 夕
制作	編集、デザイン/株式会社スペースタイム ライティング/佐藤優子

この冊子は令和3(2021)年度 厚生労働科学研究費補助金（食品の安全確保推進研究事業）「新たなバイオテクノロジーを用いて得られた食品の安全性確保とリスクコミュニケーションのための研究（21KAI002）」の一環として作成されました。