

# 動物性蛋白質の代替技術

The alternative technology of animal protein production

本堀 雷太  
HONBORI Raita

近年、動物性蛋白質の代替技術に注目が集まっている。本稿では、植物由来蛋白質（植物性蛋白質）、昆虫由来蛋白質、菌類由来蛋白質、代替肉等の動物性蛋白質の代替物について、蛋白源から製造し、食品素材として利用する際の技術的なポイントを詳述した。これらの動物性蛋白質の代替物が社会に受け入れられるためには、栄養面でのバランスのみならず、環境面における持続可能性や倫理的な課題への適切な対応も求められる。

The alternative technology of animal protein production has garnered attention in recent years. In this article, substitutes for animal proteins made from plant proteins, insect proteins, fungal proteins, and cultured meat are described from the point of manufacturing for food use. These substitutes need to be environmentally sustainable and ethically correct as well as nutritionally balanced for social acceptance.

キーワード：動物性蛋白質，植物性蛋白質，昆虫由来蛋白質，菌類由来蛋白質，培養肉

## 1 代替蛋白質台頭の社会的背景

世界的な人口増加と経済発展に伴い動物性蛋白質への需要が劇的に増加している。しかし、畜産や水産養殖の分野における飼料供給体制の不安定化、地球温暖化や水質汚染に起因する水産資源の減少等の供給面で様々な問題が顕在化し、近い将来に動物性蛋白質の供給が逼迫して滞る可能性がある。

また近年、健康への関心の高まりに加え、ヴィーガンやベジタリアン等の菜食中心の食志向への変化を望む動きも活発となっている。そのため動物性蛋白質を回避し、植物性蛋白質を中心とする代替蛋白質を用いた食品への注目が高まっている。

図1に一般社団法人日本植物蛋白食品協会が公表している大豆蛋白質と小麦蛋白質の出荷・自社使用量（出荷は国内向けのみならず輸出も含む）のデータを基に経年推移をグラフ化したものを示す<sup>1)</sup>。

小麦蛋白質の出荷・自社消費量には大きな変化は見られないものの、大豆蛋白質については出荷・自社消費量が増加傾向にあることが分かる。

これは大豆肉に代表される大豆蛋白質を利用した健康志向型食品への注目の高まりによる市場拡大を反映した結果であると考えられる。

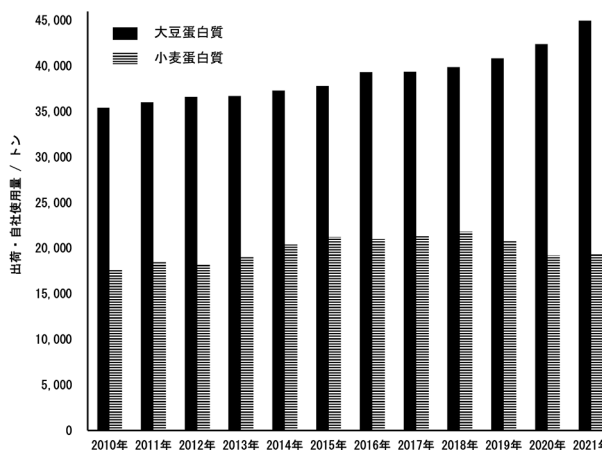


図1 植物性蛋白質の出荷・自社使用量の推移<sup>1)</sup>

## 2 動物性蛋白質代替化の技術動向

### 2.1 大豆蛋白質

動物性蛋白質の代替として現在最も普及しているものに大豆蛋白質が挙げられる。「畑の肉」と呼ばれる大豆は、約34%の蛋白質と約20%の油脂を含み<sup>2)</sup>、食肉に匹敵する程の蛋白質を有している。

大豆蛋白質の出発原料は「脱脂大豆」である。大豆搾油後の粕（搾油粕）であり、かつてはその多くが飼料として利用されてきたが、近年、その栄養性や機能性の高さから食品用途が急拡大している。

脱脂大豆中には、蛋白質に加え糖類、大豆の細胞壁由来する繊維質（いわゆる「おから」）、灰分を含んでいる。脱脂大豆から酸処理やアルコー

ル洗浄を経て糖類と灰分を除いたものを「濃縮大豆蛋白質 (Soy Protein Concentrate : SPC)」と呼ぶ。また脱脂大豆から糖類とおからと灰分を取り除き、純度の高い蛋白質のみに精製したものを「分離大豆蛋白質 (Soy Protein Isolate : SPI)」と呼ぶ。SPIは粉末状に乾燥された「粉末状大豆蛋白質」と、高温高压条件下で熔融してから繊維状に組織加工された「繊維状大豆蛋白質」の形で上市されている。さらに脱脂大豆に必要なに応じて SPC や SPI を加えて二軸押出機内で混練し、大気圧下に戻る際に膨化・組織化させて造粒した「粒状大豆蛋白質」も存在する。

これらの大豆蛋白質は特性や栄養成分が異なり、用途に応じて使い分ける必要があるが、いずれの場合も多かれ少なかれクリアすべき技術的な課題を抱えている。その一つが「臭気」の問題である。

筆者は以前、食品加工業を営む顧客からの依頼で大豆蛋白質を原料の一つとした珍味製品の開発に関する技術指導に従事したが、試作段階において大豆に由来するマメ臭やキノコ臭の制御で大変苦労した。大豆は蛋白質に加え油脂等の成分を含むため、大豆蛋白質の製造工程で酵素の作用により蛋白質や油脂が分解したり、加熱によってオフフレーバーが生成したりする。例えば、大豆中に含まれるリノール酸からは酵素の作用によりキノコ臭や金属臭を呈する 1-オクテン-3-オンやマメ臭 (青臭さ) の原因となる n-ヘキサナールが生じる<sup>3)</sup> (図 2)。

これらの物質の臭覚閾値は低いため、低濃度でも大豆蛋白質に含まれていれば不快な臭気を感じ

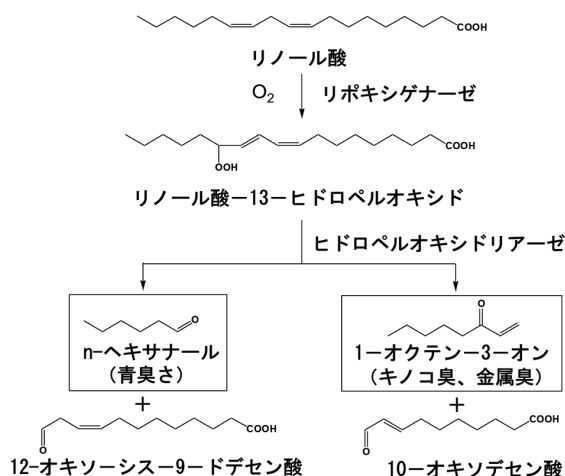


図 2 大豆に由来する不快臭気の発生機構<sup>3)</sup>

取ることができてしまう。SPC や SPI の製造においては、洗浄や抽出の過程で多くの臭気成分の除去が行われるものの完全に除くことは難しく、このような不快臭気の制御が大豆蛋白質を用いた食品製造における大きな課題となる。通常の技術戦略としては、マスキングにより不快な臭気を目立たなくさせるが、大豆蛋白質由来の不快臭気のみをマスキングし、目的とする食品 (珍味製品) の香りのみをエンハンスすることは非常に難しい。マスキング香料が他の素材の香りにも大きく影響を及ぼしてしまうからである。

大豆蛋白質に限らず代替蛋白質を食品素材として用いる際には、調味調香技術の適切な利用が商品開発の鍵となる。

## 2.2 小麦蛋白質 (グルテン)

小麦には約 15% の蛋白質が含まれており、その主たるものがグルテンである。グルテンは、弾力性に富むグルテニンと粘着性と伸張性に富むグリアジンが水分を吸収して網目構造を形成している。

故にグルテンは弾力性と粘着性を兼ね備えており、食感 (テクスチャー) の面から食肉の代替品として利用されてきた。

グルテンを主成分とする食品の代表例に「麩」が挙げられるが、麩を油で揚げて調味することで食肉加工品のような味と食感を生み出す技法は精進料理における「もどき料理」で多用されてきた。

京都の大徳寺に伝わる「大徳寺麩 (利休麩)」はその好例であるし、現在も中国や台湾で食されている精進料理「素食 (スーシー)」においてもグルテンが食肉の代替食材として広く利用されている。

グルテンは、小麦粉に水と適量の塩を加え混練したドウ (塊) を調製した後、水洗して余剰の小麦デンプンを除去することで得られる。これを目的に応じて加工することで、「粒状小麦蛋白質」、「粉末状小麦蛋白質」、「ペースト状小麦蛋白質」が得られる。

グルテンを主体とする小麦蛋白質を調味して得られるのがグルテンミートであり、食肉の代替品 (代替肉、ミートアナログ) として現在広く流通している (図 3)。

グルテンミートは大豆蛋白質に比べ臭気が少な



(a) グルテンミートを使ったカツ丼



(b) グルテンでできた魚の切り身もどき

図3 グルテンを利用したもどき食品の例

く、テクスチャーの調整や調味も比較的容易であるが、グルテンは食物アレルギーやセリアック病、非セリアックグルテン過敏症などのグルテン関連障害を引き起こす可能性がある。ゆえにグルテンを食品素材として利用する際は、食品中にグルテンが含有されている旨を適切に表示して消費者に告知する必要がある。国際食品委員会（コーデックス委員会）の定める食品表示に関わる国際規格においては、グルテンが含まれていない食品（グルテンフリー食品）の表示に関する基準が定められており、グルテンの含有量が 20 mg/kg 未満であれば「グルテンフリー」と表示できるとされている<sup>4)</sup>。食品製造における食物アレルギーへの適切な対応は必須事項であり、消費者への責任として取り組まねばならない。

グルテン等の穀物由来植物性蛋白質では、動物性蛋白質に多く含まれている必須アミノ酸の一つ「リジン」の含有量が低い傾向がある。故にグルテンを食肉や魚介類の代替素材として用いる場合は、動物性蛋白質と栄養分の構成が異なるため、用途によっては他素材による栄養分の補強が必要となる。他方、先述の大豆蛋白質については、動物性蛋白質に匹敵する量のリジンを含んでおり、栄養価の点では卵や牛乳に引けを取らない必須アミノ酸の供給源として期待される。代替蛋白質は動物性蛋白質と栄養的に異なる場合もあり、利用に際して栄養バランスへの配慮や消費者への適切な情報提供が必要となる。

### 2.3 昆虫由来蛋白質

国際連合食糧農業機関（FAO）が 2013 年に発表したレポートでは、食料問題の解決のために

昆虫の食料や飼料として利用を推奨している<sup>5)</sup>。

昆虫は蛋白源としても非常に優秀で、我が国では農村部を中心に古くからイナゴやカイコの蛹を蛋白源として利用してきた。昆虫の蛋白質含有量は乾燥体で 50 % を超えるものも存在し、構成するアミノ酸も動物性蛋白質に類似している<sup>6)</sup>。例えば、先述の必須アミノ酸の一つであるリジンも昆虫由来蛋白質には多く含まれており、リジンが不足するグルテンなどの穀物由来の植物性蛋白質と組み合わせる技術的な選択肢も存在する。

最近では、コオロギの仲間を食品添加用にパウダー化した食品素材も上市され、蛋白質補強の目的で添加されている菓子等の商品も見受けられる。

但し、昆虫由来蛋白質の中にはトロポミオシンのような甲殻類アレルギーを引き起こす物質も存在し、エビやカニに対するアレルギーを持つ場合は昆虫を体内に摂取することで交差反応を引き起こす可能性がある。従って、昆虫由来蛋白質を食品素材として利用する場合は、アレルギー発症の可能性を十分に鑑み、他製品との製造ラインの住み分けの実施や消費者に向けてのアレルギーに関する危険性の告知等の対策を徹底する必要がある。

### 2.4 菌類由来蛋白質

菌類は動物や植物と並ぶ真核生物のグループであり、キノコやカビ（糸状菌）、酵母を含む。

菌類由来蛋白質の食材へ利用の歴史は古く、代表例として 1985 年に英国で代替肉として上市された「Quorn」という商品が挙げられる。Quorn は土壌由来の糸状菌である *Fusarium venenatum* に由来し、蛋白質と食物繊維を含み、糸状菌の菌糸体構造が繊維質であるために鶏肉に近い食感を持っている。

この蛋白質は「菌類に由来する蛋白質」ということで「マイコプロテイン」という呼称が付されている。

他の代替蛋白質に比べ、必須アミノ酸含有量の偏りが少ないものの、食物アレルギーを誘発する可能性も指摘されている点は留意すべきである。

## 3 培養肉の概要と普及のための課題

近年、動物細胞を培養して動物性蛋白質を直接

生産する試みが進められている。いわゆる「培養肉」である。培養肉は、(1) 家畜等の動物の幹細胞を採取し、(2) これを培養して増殖させ、(3) 増殖した細胞を組織化するという流れで製造される。

培養肉は畜産や養殖に比べて生産に必要な栄養分が少なく、衛生的な環境下において天候に左右されることなく、安定かつ集約的な生産が可能である。

また動物細胞を培養しているため、得られる蛋白質のアミノ酸組成も動物性蛋白質と変わらず、必須アミノ酸を万遍なく摂取することが可能である。

他方、培養肉の社会への普及のためには解決すべき課題が散在している。培養肉生産における最大の課題は莫大な生産コストにある。高コスト要因の一つが細胞の培養に用いられる培地のコストである。培地の選択は細胞の増殖における大きな制御因子であり、安定な培養肉生産に向けて適切な組成が求められる。通常、動物細胞の培養に用いる培地には牛胎児血清 (Fetal Bovine Serum: FBS) を添加することが多いが、FBS は高価であるため培地調整における大きなコスト圧となってしまう。コスト低減のために無血清培地による細胞培養技術の開発が盛んに進められており、今後の開発動向が注目される。

法的な課題への対応も重要である。2018年に大阪府の男性が和牛の受精卵と精子を中国へ持ち出そうとし、家畜伝染病予防法違反と関税法違反の容疑で刑事告発された事件が発生した。遺伝子資源を含めた生物資源を知的財産権として法的に保護することの重要性が認識されると共に、我が国における法整備の不十分さが露呈した重大な事案である。

仮に我が国の純系和牛の体細胞を非合法な手段も含めた何らかの方法で持ち出し、海外で培養・組織化して食肉として商品化された場合、これは純系の和牛 (WAGYU) と表記して流通させることが可能なのであろうか? 仮に可能であるとすれば、和牛の系統保存を行っている畜産農家等の権益は如何にして保護されるのであろうか?

我が国の歴史と風土に根差した和牛という生物資源について、商標や地理的表示 (GI) 等の知的財産権を含めて法的に保護し、適切に利用して地域に利益を還元するための制度設計を検討すべ

きである。

倫理的な課題も一つ指摘しておきたい。家畜等の動物ではなく、ヒトの幹細胞を培養して人工肉を作成した場合、これを食材として用いることは倫理的に許されるのだろうか?

現代社会において人肉食 (カニバリズム) が嗜好の一つとして認められることは道徳や倫理、社会秩序の維持の観点からあり得ないだろう。

しかし、仮に人肉嗜好を持つ者がヒトの細胞を培養して作成された培養肉を食した場合、どのような根拠 (倫理的な基準) に従って悪と断ずることができるのだろうか? 技術士諸兄のご意見を賜りたい。

## 4 おわりに

自然界に存在する様々な蛋白源から安全かつ食味が良く、しかも栄養的にも優れる「食品加工原料としての蛋白質」を製造することは、大きな可能性を秘めた魅力的な挑戦である。蛋白質代替化の流れをチャンスと捉え、ビジネスの可能性を追求したい。

### <引用文献>

- 1) 日本植物蛋白食品協会ホームページ, <https://www.protein.or.jp>
- 2) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会: 日本食品標準成分表 2020年版 (八訂), 2020年12月
- 3) 高村仁知: 食品中の脂質の酸化生成物による風味劣化, オレオサイエンス, vol. 7, No.6, 231-235 (2007)
- 4) 国際食品規格委員会 (CAC): CODEX STANDARD FOR FOODS FOR SPECIAL DIETARY USE FOR PERSONS INTOLERANT TO GLUTEN (Codex Standard 118-1979) (2008)
- 5) 国際連合食糧農業機関 (FAO): Edible insects: Future prospects for food and feed security (2013)
- 6) 三橋淳: 世界昆虫食大全, 313-335, 八坂書房 (2008)

**本堀 雷太** (ほんぼり らいた)  
技術士 (衛生工学/生物工学部門)

本堀技術士事務所 代表  
労働衛生コンサルタント (労働衛生工学部門)  
環境カウンセラー (事業者部門)  
e-mail: pehombori@xj.commufa.jp

