

注目を集めるマイコテック

— キノコ・菌類が作る新産業 —

2022 年 3 月

野村アグリプランニング & アドバイザリー株式会社
調査部 上級研究員 石井 佑基

1. はじめに

(1) 歴史の浅い農業としてのキノコ栽培

キノコという鍋物の定番ではあるが、高度経済成長期に菌床栽培が普及するとブナシメジ、マイタケ、エリンギといった多種多様なキノコが食卓に並ぶようになり、一大産業となった。特に菌床キノコ大手のホクト(株)と(株)雪国まいたけは、上場企業として日本のアグリビジネスの成功例にもなっている。

キノコが人工的に栽培できるようになったのは意外にも昭和に入ってからであり、長らく野生採取によって賄われていた。江戸時代中頃から林床の原木にナタで傷をつけて発生を促進させるナタ目栽培が開発され、シイタケやエノキタケの栽培が始まった。種菌を植え付ける原木栽培は、原始的な手法は 1900 年から始まり、くさび型菌種を使う現在の手法はキノコ種菌では最大手の(株)森産業の創業者である森喜作氏によって 1942 年に特許取得と実用化がなされた。また、現在主流の菌床栽培は、森本彦三郎氏によって 1928 年にエノキタケで実用化されるなど、比較的歴史の浅い栽培法である。

世界に目を向けると、16 世紀にフランスに伝わったメロン(熱帯植物)の栽培用に厩肥(きゅうひ)発酵熱¹を利用する温室栽培が普及し、その厩肥中に発生したハラタケを品種改良したものがマッシュルームとなった。

キノコは野生採取やナタ目栽培の時代では生産量が少なくその多くが高級品であった。例えば、マイタケは菌床栽培が普及するまでは高級品であり、シイタケも原木栽培が普及して一気に大衆化したキノコである。その一方、現代では高級品として知られるマツタケは、第 2 次世界大戦前までの農村部では燃料として使われていたアカマツ林の管理が行き届いていたため、現在よりも生産量が多く、当時は大衆向けのキノコであった。マツタケは人の手が入ったアカマツ林を好むため、戦後のエネルギー革命で薪炭需要が減るとアカマツ林が荒廃し、現在は絶滅の危機に瀕している。

数千年の栽培史を持つ他の農産物があることに比べると、キノコの農業としての歴史は 500 年程度と短い。また、一部が漢方原料とされているものの、用途のほとんどが食用に限られている。

(2) 商用栽培化が進むキノコは一部の腐朽菌に留まる

元々、アジア圏とゲルマン系の消費量が多いキノコであったが、近年は健康意識の向上やヴィーガン向けといった市場が拡大を続けており、アングロサクソン系の国でも消費量が拡大している。調査会社のグローバルインフォメーション社の予想によると、世界のキノコ類市場規模は 2027 年には 533 億 4,200 万米ドル(2019 年は 335 億 5,300 万米ドル)に達すると予想されている。

なお、現在栽培されているキノコはほぼ全て「木材腐朽菌」といい、木や落ち葉を分解して生きているキノコである。植物と共生して生きるキノコを「菌根菌」というが、その商業栽培にはまだ成功していない。代表的な菌根菌にはマツタケ、アミガサタケ(モリーユ)、タマゴタケなどがある。今後、環境保全意識の高まりにより、こうしたキノコの栽培需要が見込まれる。特にアミガサタケは欧州圏での需要が大きく、欧州は現在も世界中から輸入している。アミガサタケは 2010 年頃から人工栽培が普及し始めた有望なキノコである。逆にマ

¹ 厩肥は厩舎の敷材である糞と馬糞の混合物を発酵させた堆肥である。発酵の際に微生物の活動で発酵熱が生じるため、古来は温室暖房にも使われた。日本でも堆肥類の発酵熱は第二次大戦前までは育苗用暖房に使われ、特にアカマツの葉に家畜糞尿を加えたものが最も熱発生効率が良くとされていた。

本レポートは、業界に関する情報の提供を目的としたもので、投資判断の参考となる情報提供や投資勧誘を目的としたものではありません。本レポートは野村アグリプランニング&アドバイザー株式会社が信頼できると判断した情報源から取得した情報に基づいて作成しておりますが、その正確性や完全性を保証するものではありません。本レポートのいかなる部分も、一切の権利は野村アグリプランニング&アドバイザー株式会社に帰属しており、電子的または機械的な方法を問わず、いかなる目的であれ、無断で複製または転送等を行うことを禁止いたします。© Nomura Agri Planning & Advisory Co., Ltd. 2018

ツタケはほぼ日本のみでの消費であり、欧米人には「軍人の靴下のように臭いキノコ」と言われて嫌われており、欧米市場への拡大は難しいと考えている。従来型のキノコ利用(生鮮・乾燥キノコ)としては、菌根菌キノコの技術開発余地があるものの、市場規模を考慮すると、そうしたキノコの消費量拡大余地は一部の種に限られるだろう。一例として、菌根菌キノコとして高級品であったホンシメジはタカラバイオによって 1999 年に実用化されたものの、既に代替品であるブナシメジが安価に普及しており、一般化には至らなかった。

図 1-1 アミガサタケ



出所: NAPA

図 1-2 タマゴタケ



出所: きのご図鑑 (Web)

(3) 食品以外で広がるキノコの用途

このようなキノコ業界において、筆者が注目しているのは、近年世界中で急速に立ち上がっているキノコの新しい活用法である。例えば、代替タンパク質や代替皮革、石油代替品開発、廃棄物再利用といった新しい産業向けの技術開発である。このような分野のスタートアップは、菌糸体を意味する Mycelium と技術を意味する Technology の造語で「マイコテック(Myco Tech)」と呼ばれ、近年注目を集めている。

キノコは様々な物質を生産する生物であり、かつ様々な物質を分解する能力を持ちながら、一部を除いて人工栽培が難しく、その用途は食用に限られてきた。しかし、近年では、キノコのタンパク質の生産能力を代替タンパク質の開発に活用する事例をはじめ、菌糸の特性の人工皮革や石油代替品への活用、分解能力の廃棄物処理への活用といった新しい用途開発が盛んに行われている。

近年、マイコテックが急速に立ち上がった背景には、急速に発展したゲノム工学によってキノコの様々な分類や特性が明らかにされてきた点が挙げられ、人工栽培法の開発への道が開きつつある。

本レポートでは従来型の食用以外のキノコ産業の勃興と SDGs との関係、今後の市場展望について執筆する。

2. 様々な応用が可能なキノコとスタートアップの勃興

(1) 食用以外の用途が乏しかったキノコ

農業としての歴史が浅いキノコだが、用途としては生薬原料としても使われている。有名なものではマンネンタケ(霊芝)、サルノコシカケ、アガリクス(マッシュルームと同じハラタケ属)等である。しかし、これらの多くは野生採取に頼っており、アガリクスのみが大規模栽培されている。マンネンタケは菌床栽培技術が存在するものの、コスト面での問題から現実の栽培は進んでいない。

図 2-1 マンネンタケ



出所:きのこ図鑑(Web)

図 2-2 サルノコシカケ



出所:ホクト

図 2-3 アガリクス



出所:ホクト

腐朽菌は理論的には栽培可能であるものの、市場規模や生産コスト等から量産されているのはマッシュルーム、ブナシメジ、エリンギ、マイタケ、ナメコ、エノキタケ、シイタケ、キクラゲ等である。

栽培されていないキノコにも様々な可能性があるものの、栽培が難しいキノコや栽培可能でもコスト面で不利なものが多かった。それ以前の問題として、キノコの科学的な解明が十分に進んでいなかったことも理由の一つである。しかし、21 世紀になってゲノム解析コストが急速に低下したことで、学術研究分野で大きな進展があった。一例として、従来別種とされていたヨーロッパマツタケと日本のマツタケが同一種であることが解明されたほか、菌根菌キノコの生態の解明も飛躍的に進み、今まで栽培できなかったキノコを現実的に栽培できるようになりつつある。

付け加えるならば、キノコを漠然と「食材」という先入観を持ち、別の用途を考えてこなかったこと、文化的に好んで食べる地域が偏っており、市場規模が小さい(キノコ市場 335 億ドルは世界の農業生産の約 1%)ことから、研究者のすそ野が狭く、積極的に研究や商品開発の対象とされなかった。近年、マイコテックというワードが注目され始めたように、キノコは様々な応用用途の可能性を秘めている。

(2) キノコを使った代替肉開発と上市

キノコの代替用途として、昨今、大きな注目を集めているのが代替肉である。米国の Meati Foods 社は「Meati Fungi-Based Chick'n®」というキノコベースの代替肉を販売している。Meati Fungi-Based Chick'n® は培養タンクで 18 時間培養した菌糸を使った植物由来肉で、肉に似た食感と見た目を実現している。

キノコはタンパク質の含有量が豊富で、乾燥シイタケは重量の約 20%がタンパク質である。しかもキノコは低カロリーであり、健康食材としても欧米で人気を博している。また、精製植物タンパク質を使用した既存の植物肉では再現が難しい筋繊維の食感や見た目が再現できる点も評価されている。元来、キノコに対して日本人ほど好意的でない欧米（例外としてフランスや北欧はキノコ好きが多いが）でも、キノコベースの代替タンパク質は注目されている。

図表 2-4 菌糸培養タンク



出所: 左右ともに Meati Foods 社

図表 2-5 Meati Fungi-Based Chick'n®



スウェーデンのスタートアップである Mycorena 社もキノコ由来の代替肉を開発している。基本的な作り方は Meati Foods と似ており、製品のもととなる培養キノコ菌糸からキノコタンパク質である「Promyc®」を生産し、それを加工している。商品ラインナップが多岐に渡り、欧州で最も量産に近い会社であると考えている。当社はステーキ肉やチキンフィレといった肉模造品の他、ハンバーグやチキンナゲットといった肉加工模造品、フィッシュフィンガーやツナフレークといった代替魚肉の加工品も開発している。

Promyc®は他のキノコよりもタンパク質含有量が高く、乾燥前の段階でタンパク質を 21%含有している（図 2-8）。必須アミノ酸含有量（全タンパク質比）は卵や鶏肉などよりも高い 54%であり、筋肉増強用サプリメントとして使われる BCAA（分岐鎖アミノ酸：必須アミノ酸のうち、持久運動の向上や筋繊維損傷軽減効果があるとされるバリン、ロイシン、イソロイシンの総称）もタンパク質量の 26.7%となっている。このように良質のタンパク質であるため、プロテインバーも商品ラインナップに加えている。

現在、Promyc®を年間 100 トン生産可能であるため、最終製品の製造能力は 150 トン程度と推察される。当社は 2022 年 1 月末の段階で総額 3,500 万ユーロを調達し、2023 年中に商業生産プラントを稼働させる計画を発表している。

図 2-6 Promyc®製チキン

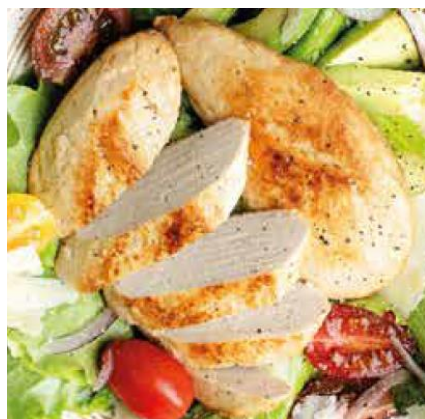


図 2-7 Promyc®製ステーキ



図 2-8 Promyc®成分表

PROMYC® NUTRITIONAL CONTENT

	PER 100G OF FRESH PRODUCT	PER 100G OF POWDER/DRY PRODUCT
Energy (kJ)	507 kJ	1690 kJ
Energy (kcal)	121 kcal	403 kcal
Protein	21 g	70 g
Fiber	6.4 g	21 g
Fat	2.67 g	9 g
- Saturated fat	0.68 g	2 g
- Monounsaturated fat	1.01 g	2g
- Polyunsaturated fat	0.94 g	3 g
Carbohydrates	0.87 g	3 g
- Sugar	0.31 g	1 g
Salt	<0.012 mg	<0.04 mg

出所:上記いずれも、Mycorena 社の製品カタログ

キノコ由来の代替肉は高タンパク、低コレステロール、高食物繊維などの特徴があり、健康を重視する層に訴求しやすいという特徴がある。実際に当社の開発商品も、健康志向やエクササイズをアピールポイントとしている。

(3) キノコから作られる皮革や繊維製品

キノコの代替用途として、様々な製品開発を行っているのが米国の Ecovative Design 社である。当社は子会社でキノコ由来ベーコン「MyBacon®」の製造に成功しているが、その他に、菌糸を使ったプラットフォーム (Air Mycelium®) を活用した代替皮革 (ヴィーガン・レザー) がある。当社はキノコの菌糸を培養し、菌糸を固めることで代替皮革を製造する技術を有する。使うのは天然物であり、環境にやさしいことをアピールしている。代替皮革以外にもプラスチック製品代替 (スリッパ等)、断熱材など様々な応用が考えられる製品であり、アメリカのマイコテック企業では最も注目されているスタートアップの一社である。

本レポートは、業界に関する情報の提供を目的としたもので、投資判断の参考となる情報提供や投資勧誘を目的としたものではありません。本レポートは野村アグリプランニング&アドバイザー株式会社が信頼できると判断した情報源から取得した情報に基づいて作成しておりますが、その正確性や完全性を保証するものではありません。本レポートのいかなる部分も、一切の権利は野村アグリプランニング&アドバイザー株式会社に帰属しており、電子的または機械的な方法を問わず、いかなる目的であれ、無断で複製または転送等を行うことを禁止いたします。© Nomura Agri Planning & Advisory Co., Ltd. 2018

図 2-9 Ecovative Design 社の MyBacon®



出所: Ecovative Design 社

同じく米国の Myco Works 社は、マンネンタケの一種を使った代替皮革「FINE MYCELIUM®」を開発しており、エルメス社をはじめとする複数の高級ブランドとコラボレーションした製品の上市を計画している。当社によると、マッシュルームレザーと呼ばれる他社の製品よりも耐久性に優れ、製造も単純であり、拡張性に優れると発表している。皮革製品は靴、バッグ、財布等耐久性が重視される製品が多く、耐久性は製品化において重要な要素となるだろう。

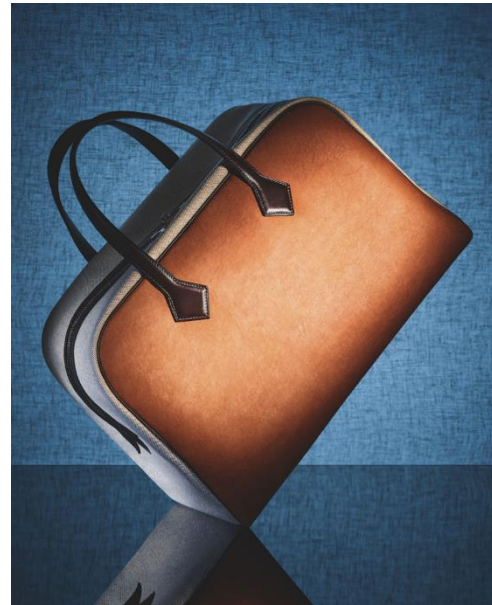
当社は最も代替皮革の上市に近いスタートアップと言われ、2022 年 1 月のシリーズ C では 1 億 2500 万ドル(約 143 億円)を調達している。調達した資金は、年間生産量が数百万平方フィートの量産工場の建設や研究開発費に充てられる。

図表 2-10 Ecovative Design 社の製品



出所: Ecovative Design 社

図表 2-11 Myco Works 社の製品



出所: Myco Works 社

皮革製品をキノコで代替する動きは東南アジアでも始まっており、インドネシアの Mycotech Lab 社はインドネシアの伝統発酵食品であるテンペ菌を活用した菌糸由来の代替皮革「Mylea®」を開発した。当社は Mylea® のデータも公表しており、引張強度は 1~11MPa、厚さ 0.3~0.9mm であり、羊皮と同等の性能を実現している。しかし、羊皮は最もよく使われるカーフスキンの 1/3 以下の強度であり、靴などに加工した場合の耐久性の懸念は残る。ただし製造コストは安い模様で、インドネシアのファッションブランドに製品を供給している。

図表 2-12 Mylea®



出所: Mycotech Lab 社

本レポートは、業界に関する情報の提供を目的としたもので、投資判断の参考となる情報提供や投資勧誘を目的としたものではありません。本レポートは野村アグリプランニング&アドバイザーズ株式会社が信頼できると判断した情報源から取得した情報に基づいて作成しておりますが、その正確性や完全性を保証するものではありません。本レポートのいかなる部分も、一切の権利は野村アグリプランニング&アドバイザーズ株式会社に帰属しており、電子的または機械的な方法を問わず、いかなる目的であれ、無断で複製または転送等を行うことを禁止いたします。© Nomura Agri Planning & Advisory Co., Ltd. 2018

3社のスタートアップとともに、ビジネスモデルとしては代替皮革素材の生産販売であり、最終製品の製造販売は行わない方針である。ファッションブランド等への原材料供給に特化する素材産業を目指していると言える。ファッションビジネスはブランドやデザイナー等の力が強く、参入障壁が高いため、協力していく戦略が最適解という事であろう。

(4) キノコ由来プラスチック代替品

上述した Ecovative Design 社が、創業から基軸製品としている梱包材 (Mushroom Packaging®) にも注目している。家電製品などショックに弱い製品の梱包には石油由来の発泡スチロールが使われるが、当社はキノコ菌床生産の技術を活用して環境にやさしい梱包材を生産・販売している。特に欧米企業はこうした脱石油の材料に注目が高く、Mushroom Packaging®は既にスウェーデンの家具大手イケアや、パーソナルコンピュータ大手のデルが採用している。

Mushroom Packaging®は、菌糸を培養する培地にトウモロコシの芯や大豆粕、おがくずなどの農林副産物を使っているのも特徴で、使用後は土に埋めれば自然に分解されるため、処理が容易である。こうした点から、コストは高いものの、SDGs に熱心な企業を中心に採用が進んでいる。

最大の問題は生産コストであろう。キノコ由来梱包材の生産コスト削減は進んでいるものの、基礎化学品は 150 円/kg 程度であり、生分解性プラスチック等も同水準までコストが低下してきている。競合と考えられる段ボール製緩衝材や、発泡スチロール緩衝材と競争力がある価格にまで低下するのはまだ時間を有すると考えられる。そのため、当面は高級品や SDGs 色を強く打ち出したい企業製品等の梱包に限られるだろう。コスト削減のためにはより安価で環境負荷が少ない培地の生産が必要と考える。おがくずや大豆粕等の価格が梱包材 1 個当たり 100 円程度、培養設備、培養後の乾燥燃料費 (培地の 50~70%は水分) を考えると、図 2-13 にあるような当社の梱包材 1 個当たりの生産コストは 200 円弱と推察される。一方、発泡スチロールの場合は数十円程度と考えている。また、発泡スチロールは理論上どの樹脂でも製造できるため、バイオプラスチックでも生産は可能であり、既に実用化もされている。

図 2-13 Mushroom Packaging



出所: Ecovative Design 社

本レポートは、業界に関する情報の提供を目的としたもので、投資判断の参考となる情報提供や投資勧誘を目的としたものではありません。本レポートは野村アグリプランニング&アドバイザー株式会社が信頼できると判断した情報源から取得した情報に基づいて作成しておりますが、その正確性や完全性を保証するものではありません。本レポートのいかなる部分も、一切の権利は野村アグリプランニング&アドバイザー株式会社に帰属しており、電子的または機械的な方法を問わず、いかなる目的であれ、無断で複製または転送等を行うことを禁止いたします。© Nomura Agri Planning & Advisory Co., Ltd. 2018

3. マイコテックの市場展望

(1) キノコ由来代替皮革と成長余地

キノコ由来の代替皮革市場の成長の背景にあるのが、代替タンパク質拡大の兆しである。近年、畜産業の環境負荷や動物愛護の考え方などから代替肉の開発が急速に進み、日本のスーパーでも大豆ミートや大豆ハンバーグがみられるようになった。筆者は 2050 年には食肉消費量の 4 割以上がこうした代替タンパク質に置き換わり、植物肉と培養肉がシェアを伸ばすと予想している。そのような場合、畜産副産物の増産にも影響が出て、代替品の需要が増加すると予想している。例えば家畜の非可食部位である骨や皮から作るコラーゲン、そして皮革製品である。皮革製品は既に石油由来の人造皮革が存在するが、筆者は、石油由来であるがためにプラスチックのようにいずれは削減対象となると予想している。

さらに、新興国の経済発展によってファッション・アパレル産業の成長が期待される。皮革製品市場も例外ではなく、実際、足元で約 8% の成長を続けている。米国の調査会社 REPORTOCEAN 社によると、世界の革製品市場は、2027 年には 5,887 億 1,000 万ドル(2020 年は約 3,941 億 2,000 万ドル)に達すると予想されている。ファッション・アパレル産業は製品をデザインするブランドと、製造する企業が分業体制となっている場合が多い。ファッション・アパレル業界では原価率は最終価格の 30~40% 程度と言われており、高級品ブランドほど原価率は低くなる傾向にある。製造原価のうち、皮革製品の場合は裁縫加工料 40%、原材料 40%、副素材 10%、利益等 10% と言われるため、皮革素材の世界市場規模は 2027 年で 706 億ドル(日本円で約 7.7 兆円)と予想する。また、脱炭素の流れから人工皮革市場もターゲットになると考える。REPORTOCEAN によると 2019 年に約 291 億 3000 万ドルと推計しており、こちらも 2027 年までに年平均成長率(CAGR)7.8%で成長し、市場規模は 531 億ドルに達すると予想している。

なお、皮革製品は動物愛護上の問題があるかという点、必ずしもそうとは言い切れない部分もある。少なくとも牛皮革製品は本来廃棄される廃棄物のリサイクルであり、有効利用といえるためである。

加えて、ゼラチンの需要拡大で皮革生産への影響が出る可能性は考えられる。ゼラチンは家畜の骨や皮から抽出するため、原材料が競合する。市場調査企業の Grand View Research 社によると、コラーゲンとゼラチンの世界市場規模は 2019 年にはそれぞれ 47 億ドルと 33 億ドルであったが、2027 年にはコラーゲンの市場規模が 75 億ドル、ゼラチンの市場規模は 67 億ドルに拡大すると予想されている。

新興国の経済発展によってタンパク質需要は増加すると考えているが、当面は植物肉などの代替タンパクの生産が増加し、畜産物の増産は限定的だろう。現在の皮革生産のすべてが代替皮革に置換することは考えにくい、2020 年から 2027 年までの皮革製品需要増加分と、石油由来人造皮革に関しては、主産物である畜産の生産余地が少ないことと、石油製品代替の理由で置換の可能性が考えられる。NAPA では 2027 年の代替皮革素材の市場規模は、皮革製品の代替分野で最大 233 億ドル、人造皮革素材の代替市場規模を最大 63.6 億ドル、合計 296.6 億ドルと予想する。この潜在市場規模を考えればスタートアップに大規模な資金流入が起きても不思議ではないだろう。

(2) キノコ由来代替タンパク質と成長余地

新興国の経済発展により、タンパク質需要は今後も拡大が見込まれる。その一方、農地の拡大余地は限定的であり、穀物生産を劇的に増加させるのは困難が伴うことが予想される。そのため、穀物を餌とする畜産の増産は難しいと考えている。さらに、莫大な穀物と水を消費し、大量のメタンを排出する畜産業の持続可能性が低いことは、環境学者の間では四半世紀前から常識である。近年はその認識が若い世代を中心に広がったため、代替タンパク質需要が増加している。

筆者は、当初は技術的に容易な植物肉市場がシェアを伸ばし、2030年には技術的な問題を解決した培養肉市場が立ち上がりはじめ、2050年には植物肉以上のシェアになるものと予想している。培養肉には培養特有の技術的な難しさが存在する。例えば、培養廃液処理や肉特有の食感の再現(筋細胞を培養しただけでは柔らかすぎる)等、技術開発面で多くの課題を抱えており、本格的に普及するにはまだ10年程度かかると考えている。当面は植物性タンパク質や菌類タンパク質による代替肉の消費が伸びていくだろう。

筆者は、植物肉の世界市場規模を現在2,000~2,500億円、2030年には15兆円程度に達するものと予想している。全てがキノコ由来になるわけではないが、ポテンシャルは大きいと考える。

植物肉市場のうち、キノコ由来代替肉市場は2030年に最大で300億ドル程度(食肉需要の1.5%程度)と考えている。特にSDGsに熱心な欧州、食生活改善が課題である米国、キノコが食生活に根付いている中国、日本等が有望な市場であると考えられる。

(3) キノコ由来プラスチック代替品と成長余地

キノコ由来プラスチック代替品の競合品は、生分解性プラスチック(石油由来)と、微生物・植物由来樹脂である。キノコ由来プラスチック代替品はこれらと競合し、苦戦する可能性があると考えている。

生分解性プラスチックは、大きく分けて天然物系、微生物系、石油化学系があるが、近年石化メーカーの技術革新によって急速に性能が向上し、価格も低下している。汎用化学品(従来プラスチック)が150円/kgだが、近年生分解性プラスチックもこれに近い水準まで価格が低下してきている。キノコ由来プラスチック代替物でこの水準を早期に達成するのはかなり難しいだろう。

そのため、生分解性プラスチックの増産に押され、高コストのキノコ由来プラスチック代替物に置き換えるプラスチック需要は、全プラスチックの1%程度ではないかと考えている。エシカル消費を好む層がどうしても使わなければならないプラスチック製品のみが置き換わると予想しているが、競合する製品が多すぎるためである。2019年の発泡スチロール需要1,000億ドルのうち、約半分を占める梱包材が有望と考えている。梱包材のうち、コストが高いキノコ由来梱包材は高級品向けがターゲットになると考える。筆者は、発泡スチロール梱包材の10%である50億ドル程度の市場規模を予想しており、これは全プラスチック需要約5,600億ドルの約1%に当たる。

(4) SDGsに貢献するマイコテック

こうしたマイコテックに使われるキノコは腐朽菌という種類で、自然界ではさまざまなものを分解して栄養分にしている。従って、栄養源として、食品残渣や農業残渣も活用できる。極端なことを言えば、キノコは人の排

本レポートは、業界に関する情報の提供を目的としたもので、投資判断の参考となる情報提供や投資勧誘を目的としたものではありません。本レポートは野村アグリプランニング&アドバイザー株式会社が信頼できると判断した情報源から取得した情報に基づいて作成しておりますが、その正確性や完全性を保証するものではありません。本レポートのいかなる部分も、一切の権利は野村アグリプランニング&アドバイザー株式会社に帰属しており、電子的または機械的な方法を問わず、いかなる目的であれ、無断で複製または転送等を行うことを禁止いたします。© Nomura Agri Planning & Advisory Co., Ltd. 2018

排泄物を使った堆肥でも栽培可能である。勿論、食品衛生上、人の排泄物は使えないが、食品衛生法上で問題がない素材であれば、かなり広範なものが再活用できる。

図 3-1 に代表的な個体培地を示したが、キノコ由来代替タンパクを製造するときに使う液体培地は、上記の培地を改変した液体培地(寒天を含まないもの)を使っていると考え。実験用培地は精製した糖類とイーストなどの窒素源で構成されているが、これは実験室で使う場合である。発酵工学分野の実務ではこれら的高額な化学薬品の代わりに、原材料として廃糖蜜やビール粕などの食品残渣等を活用することが多い。例えば、味の素は地域ごとに手に入りやすい糖液(廃糖蜜、タピオカなど)を使って発酵法でアミノ酸を生産しているが、キノコ由来代替タンパクも同様の手法となるだろう。この分野は伝統的に発酵に強い日本のお家芸ともいえる。

図 3-1 代表的なキノコ類培養培地(個体培地)

培地名称	組成	利用可能なきのこ
1 ポテト・デキストロース寒天培地 (PDA 培地)	ジャガイモ 200-400g、グルコース 20g、寒天 15g	腐生菌
2 ペプトン・デキストロース寒天培地	ポリペプトン 5g、グルコース 20.0g、酵母エキス 2.0g、 MgSO ₄ ・7H ₂ O 0.5g、KH ₂ PO ₄ 1.0g、寒天 20.0g、蒸留水 1,000ml、(pH5.0).	腐生菌
3 ペプトン・デキストロース・イースト寒天培地 (PGY 培地)	グルコース 20.0g、酵母エキス 2.0g、ポリペプトン 02g、 MgSO ₄ ・7H ₂ O 0.5g、KH ₂ PO ₄ 0.5g、寒天 20.0g、蒸留水 1,000ml、(PH5.5).	腐生菌
4 エビオス・ショ糖寒天培地	エビオス 5.0g、ショ糖 20.0g、寒天 20.0g、蒸留水 1,000ml、 pH を 5.1-5.2	菌根菌

出所: 信州大学

また、植物由来代替肉は食肉と比べると温室効果ガス排出量が少ないものの、原料となるタンパク質の精製には高温高圧にする必要があり、この点が技術課題となっている。精製しない場合は植物特有の臭気が残るためである。植物由来代替肉とキノコ由来代替肉には一長一短があるものの、両社はともにタンパク源生産の持続可能性向上に大きく寄与するポテンシャルがあるという点では一致している。

プラスチック製品の代用としてキノコ由来のものが注目されているが、最大の理由は自然に分解されて土に還るという点である。石油由来の人造皮革の場合、カーボンフリー製品ではないことと、廃棄物処理や再利用が課題となるが、キノコ由来代替皮革は土に埋めればよく、焼却処理は必要ない。

また、キノコ由来代替肉やキノコ由来人造皮革は動物愛護の観点から優れていると考えられる。

4. マイコテックの課題

(1) キノコ由来人造皮革の課題

キノコ由来人造皮革の課題は、耐久性とスケール化であると考ええる。キノコ由来代替皮革は、製品によっては耐久性や強度で若干の課題があると思われる。Myco Works は既存の皮革製品と同等の耐久性を達成したと発表しているが、皮革製品でも羊皮とカーフスキンでは強度が約 3 倍も異なる。カーフスキン並みの強度と低コスト化を達成すれば普及に弾みがつくだろう。Web 上に製品スペックを詳細に公開しているのは Mycotech Lab の Mylea®である。引張強度 1~11MPa で羊皮並であり、強度が課題といえる。

スケール化も Myco Works が先行している。当社が 2022 年 1 月に実施した資金調達で初の大規模生産工場を建設予定であり、工場の立ち上がりに期待が高まる。基本的には菌床栽培や発酵産業の応用であり、スケール化のハードルはそれほど高くないと考えている。

また、キノコ由来代替皮革はヴィーガンレザーの一種で、幾つか競合品が存在する。一つは英国の Ananas Anam 社が開発した「Pinatex®」である。Pinatex®はパイナップル繊維 72%、ポリ乳酸 18%、ポリウレタン 10%を原料としている。パイナップル生産の副産物を使い、バイオマス量も十分に耐久性に優れ、安価に製造できる一方、ポリウレタンが含有されていて生分解性に難がある。同様の製品としてサボテンの皮革である「DESSERTO®」も存在するが、サボテンは大規模生産されているとはいえず、供給に難があるだろう。したがって、現時点では Pinatex®や DESSERTO®よりもキノコ由来代替皮革に優位性があると考えている。

(2) 代替タンパク質の課題

代替タンパク質の生産について、様々な方法が開発され、上市されているものの、それぞれ課題は存在する。最も重要なのは食味の改善であるが、キノコ由来製品は残念ながら米国の一部で販売されているだけで、筆者も試食をした経験がない。しかしながら、原材料を見る限り、植物原料由来のものと大差はないだろう。それに、ジャンボマッシュルームはヴィーガン向けステーキ代替品として長く親しまれており、調味料で肉に似せるのは難しくないと考えている。

キノコ由来の代替タンパク質は、培養タンクに糖液(想定されるものはコーンシロップ、タピオカ、廃糖蜜等)や窒素源となる植物性ペプトン、酵母エキスを添加した培養液で菌糸体を培養し、菌糸体のみを回収して洗浄・成型している。培養液の処理方法が問題になるかもしれないが、動物細胞の培養と比べてはるかに少ないだろう。動物細胞から培養肉を製造する場合はキノコよりも高度に精製した物質を使い、正確に濃度を調整する必要があるが、キノコ培養の場合は必ずしも精製物である必要はない。

したがって、キノコ由来代替肉の課題はいかにして食味を向上させ、植物由来代替肉と差別化を行うかという点である。

(3) キノコ由来プラスチックの課題

梱包材などのプラスチック代替品について、キノコを使ったものは既存製品との差別化が課題となろう。プラスチックが抱える課題は自然界で分解しないという問題と、石油由来という点である。これらはリサイクル率を高めればある程度解決が可能である。

具体的には、梱包材やインテリア、内装品向けにマイコテックによるアップサイクルをどう組み込んでいくかが問われるだろう。微生物を活用して代替プラスチックを生産する場合はコーンシロップや糖蜜といった食品に加工可能な廃棄物と競合することになるため、キノコを使う場合はコーンの芯や農業残渣粉碎物、おがくずなどのアップサイクルと組み合わせればエシカル消費を好む層への訴求力が高くなり、市場を拡大できる余地があると考ええる。

5. おわりに マイコテックが切り開く 2040 年の世界

マイコテックによって、廃棄物を活用する代替皮革と代替タンパク質の各産業が大きく進展すると予想している。しかも、スケール化によってビジネスとしても十分に成立し、成長可能だと考えている。キノコ由来の人造皮革、キノコ由来の代替肉の技術は、日本が長年培ってきた菌床キノコ栽培の技術や、菌類培養技術の発展形であり、基礎技術は既にできている。問題はスケール化と品質の向上だが、この 2 点は研究を進めれば解決可能だろう。

社会的には SDGs というと、社会貢献としての理解が未だ強いように感じている。しかし、その中には十分にビジネス化できる素地のある事業の種も多数眠っていると考えている。マイコテックはそうした技術の一つであり、新しい産業を開花させる可能性がある。

ほとんど有効活用されていなかったキノコの力によって廃棄物の活用や温室効果ガスの削減に寄与し、人類社会の持続可能性が向上するとともに、新たな経済成長にも繋がると予想している。