



# 培養肉生産技術の課題と今後の展開

2020/11

三井物産戦略研究所  
技術・イノベーション情報部コンシューマーイノベーション室  
佐藤佳寿子

## Summary

- 世界人口増加による食肉供給不足への対応や環境保全といった側面から、代替肉が現在注目されている。代替肉には植物由来代替肉と培養肉の2種類があり、培養肉は人工的に屋内生産が可能であることから植物由来代替肉と比較して環境負荷が小さく、気候変動の影響を受けにくいといわれている。
- 培養肉生産の技術課題は生産時に用いられる材料（培養液等）および量産化方法であり、それらの課題を解決するためにスタートアップだけではなく大手企業も取り組みを始めている。
- 培養肉関連事業を行う際には培養肉生産企業だけではなく、サプライチェーン全体の中で重要な技術を保有している企業に注目していくことが必要である。

## 1. 代替肉について

### 1-1. 代替肉需要増加の背景

代替肉には植物由来代替肉、培養肉の2種類がある。既に植物由来代替肉は市販されており年々需要が増加している<sup>1</sup>。培養肉はまだ市販されていないものの、付加価値の高い牛肉のような食肉需要を担うべく研究開発が進められている。この代替肉に対する需要増加の背景として食肉供給不足への対応と環境保全の二つの視点がある。

食肉供給不足は世界人口増加によるものである。2020年に77億人である世界人口は2050年には97億人に達する見込みであり、人口増加に伴って食肉需要は2010年から2050年の間に1.7倍、特に所得向上が見込まれる発展途上国ではその需要は2倍になると予測されている<sup>2</sup>。農地利用量の観点から見ると農地全体の77%もの面積が家畜飼育や飼料栽培に利用されており、気候変動の影響により農地拡大が難しいと考えられているなかでこれ以上の家畜飼育増加は難しいと考えられている。家畜と比較して農地利用が少なく済む代替肉によって、食肉供給不足への危惧を解消できるのではないかと期待されている<sup>3</sup>。

2点目の環境保全については代替肉の生産効率の高さが注目されている。タンパク質変換効率（供給したタンパク質量に対して得られるタンパク質量）を見ると家畜の中で最も効率のよい鶏であっても19.6%で

<sup>1</sup> "Plant-based market overview", The good food institute <https://www.gfi.org/marketresearch>（最終アクセス：2020年10月23日。以下同）

<sup>2</sup> Hannah Ritchie, "Half of the world's habitable land is used for agriculture", Our World in Data, Nov. 11, 2019 <https://ourworldindata.org/global-land-for-agriculture>

<sup>3</sup> "World Livestock 2011 Livestock in food security", FAO

あるが、代替肉（植物由来代替肉、培養肉）は70%以上と非常に高効率となっている（図表1）。このことから代替肉は、少ないインプット（肥料、飼料、培養液といったタンパク質）で環境に多くの影響を及ぼすことなく多くのアウトプット（タンパク質）を得るための選択肢の一つとして考えられている。

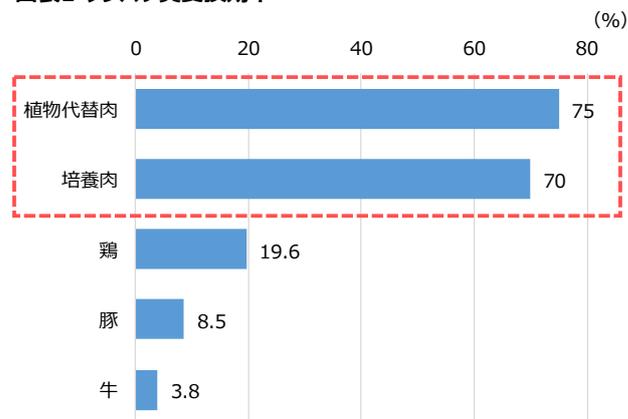
また、新たな潮流として注目されているのが動物福祉の視点である。動物福祉の視点から、単位面積当たりの家畜飼育頭数が制限されること（家畜生産効率の抑制）に加え、消費者視点において、殺処分を伴う食肉を控える人々が増えている。2019年12月にドイツとフランスにて代替肉に関する調査が実施されており、代替肉が好ましいと考えられる理由について動物福祉、環境保全の2点が上位に挙げられている<sup>4</sup>。

一方、これらの背景において代替肉として先行する植物由来のものでは、大豆を中心とする原料調達において気候変動が安定供給に影響を及ぼすことが懸念されている。培養肉は植物由来代替肉と比較しても1年、2年といった年単位での生育過程を経る必要がないこと、人工的に屋内生産を行うために気候変動の影響を受けにくいこと、国・地域といった制限がなく設備を整えばどのような場所でも生産が可能となるといったメリットがある。

## 1-2. 代替肉生産工程と参入企業の現状

前述したように代替肉には現在、植物由来代替肉と培養肉の2種類がある。植物由来代替肉は既存の大豆といったタンパク質を多く含む植物を加熱調理後、押し出し加工を行い肉形状にするという工程で生産される。既存の技術や設備の流用にて生産が可能であることから各企業の参入ハードルは低いと考えられる。植物由来代替肉生産スタートアップである（米）Beyond Meatは2019年に上場し中国スターバックスでの販売を開始している。また（米）Impossible Foodsは全米で1,000店以上のレストラン等で採用されている。そのほかにも食品大手企業である（スイス）Nestle、（米）Kellogg、（米）Tyson Foodsも植物由来代替肉への参入や参入表明をしている。さらに（日）信越化学工業が植物肉加工時に用いる添加剤へ参入するなど、食品企業だけではなく化学企業までもが注目する分野となっている。まだ味、食感の再現や製品展開先の模索（現状はチキンナゲットやハンバーグといったもののみの展開）といった課題は残るものの、市場のニーズに応えるだけの量産および市販に耐え得る製品レベルにまで技術は確立している。今後はより多くの改良がなされることにより、さらなる市場への浸透が期待される。

図表1 タンパク質変換効率



出所：AT Kearneyレポート、Our World in Dataを基に三井物産戦略研究所作成

<sup>4</sup> Hanna L Tuomisto (2019) "The eco-friendly burger", EMBO Rep 20 e47395

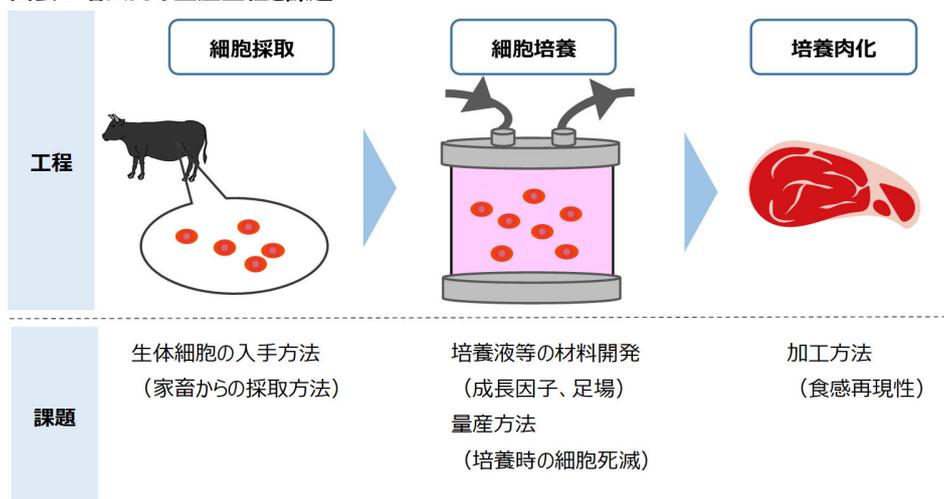
培養肉は人工的な細胞培養を用いることによって生産された食肉のことを指す。牛または豚といった家畜からサンプルを採取して生み出したマスター細胞を成長させて作り出され、細胞採取工程以外では既存の家畜を用いることなく人工的に肉を生産する。家畜を殺処分することなく家畜肉を再現できる新規食品分野の技術として注目されている。このような背景を受けて培養肉の開発を行うスタートアップは年々増加しており、全世界で2016年には4社程度だったものが2020年6月現在では60社近くにまでになっている<sup>5</sup>。

## 2. 培養肉生産技術の課題と技術推進

### 2-1. 培養肉生産技術の課題

培養肉の課題は肉そのものの安全性や消費者への受容性などに加え、製品として販売するために必要な生産技術課題が残っている。培養肉の生産工程は、細胞採取、細胞培養、および培養肉化の3つの工程に分かれるが、細胞採取では生体細胞の入手方法、細胞培養では培養液などの材料開発・量産方法、培養肉化では加工方法がそれぞれ課題として挙げられる（図表2）。（米）Good Food Institute（代替肉を推進する非営利団体）のレポートをはじめとする各種文献によると、その中でも大きな課題は細胞培養における培養液の開発、量産方法となっている<sup>6</sup>。培養肉の開発を行うスタートアップも培養肉生産の全工程を行うのではなく、培養液開発や量産方法に特化した企業も多数出てきている（図表3）。そのことから培養液および量産方法に関する課題を求める声が多くあるものの最適解が見つかっていないという状況であることが分かる。

図表2 培養肉の生産工程と課題



出所：三井物産戦略研究所作成

<sup>5</sup> Christopher Bryant, Lea van Nek, and Nathalie C. M. Rolland "European Markets for Cultured Meat: A Comparison of Germany and France", Foods 2020, 9(9), 1152

<sup>6</sup> "An analysis of culture medium costs and production volumes for cultivated meat", Good Food Institute

図表3 主要な培養肉関連スタートアップ

培養肉生産	
 IntegriCulture  mosa meat	 Meatable  ALEPH FARMS CLEAN MEAT GROWERS
 MEMPHIS MEATS  SuperMeat	 FM
培養液	量産工程
 multus media  FUTURE FIELDS	 MERCK  OSPIN Modular Bioprocessing  MATERIALS
 tiamat	

出所：三井物産戦略研究所作成。企業ロゴは各社ウェブサイトより

## 2-2. 培養液開発技術

培養液には一般的にアミノ酸、ビタミン、無機塩、グルコース、成長因子（ホルモン）などの、細胞が成長するための栄養分が含まれている。その培養液成分の中で最も重要となってくるのが成長因子である。一般的に成長因子が存在しない場合、細胞は増殖することができないといわれており、既存の細胞培養においては成長因子の使用が必須となっている。成長因子は現在、牛や馬といった家畜の胎児から採取しているが、大量に入手することが困難であることに加え、精製方法が複雑であり価格が高いという課題がある。既に医薬品製造の分野では成長因子は利用されているものの、医薬品と比較して安価での提供が期待される培養肉に対して利用するには非常に高価なものである。成長因子が高価であることが培養肉自体のコストを押し上げており、本課題を解決するために多数のスタートアップが研究開発を推進している。

培養肉生産スタートアップである（日）インテグリカルチャーは生体内臓器を模倣したシステムを構築することによりシステム内にて成長因子を産生させ、外部から成長因子を添加することなく培養肉を作り出すことに成功しており、量産化技術が確立した後は培養肉を300円/kgにて生産可能となると試算している<sup>7</sup>。また（蘭）Mosa Meatでは非動物性由来である成長因子の培養液開発に成功したことを発表しており、生産コストを80分の1にまで下げることが可能になったと報告している<sup>8</sup>。

一方で、前述したように培養肉生産は行わずに培養液開発のみにフォーカスを当てているスタートアップもある。（英）Multus Media、（加）Future Fields、（独）Tiamat Sciences等である。各社ともに培養液中の成長因子をなくす、あるいは、動物由来ではない成長因子を用いた培養液を安定的に安価に供給するための開発を推進している（図表4）。

<sup>7</sup> インテグリカルチャー事業概要 <https://www.slideshare.net/YukiHanyu/ss-166477453>

<sup>8</sup> Michael Wolf, "Mosa Meat Achieves 80x Reduction in Medium Cost For Creating Lab-Grown Meat", The Spoon <https://thespoon.tech/mosa-meat-achieves-80-reduction-in-medium-cost-for-creating-lab-grown-meat/>

図表4 主要な培養液開発関連スタートアップ

企業分類	企業名	概要
培養肉生産スタートアップ 培養肉生産のために自ら培養液開発を実施	(日) インテグリカルチャー	生体内臓器模倣により成長因子を人工的に生産
	(蘭) Meatable	牛のへその緒からの多能性幹細胞（成長因子代替品）を利用
	(蘭) Mosa Meat	動物由来である成長因子を含まない培養液を開発
培養液専門スタートアップ	(英) Multus Media	イースト菌由来の成長因子代替品を生産
	(加) Future Fields	遺伝子編集により特定の細胞から成長因子代替品を生産
	(独) Tiamat Sciences	植物由来の成長因子代替品を生産

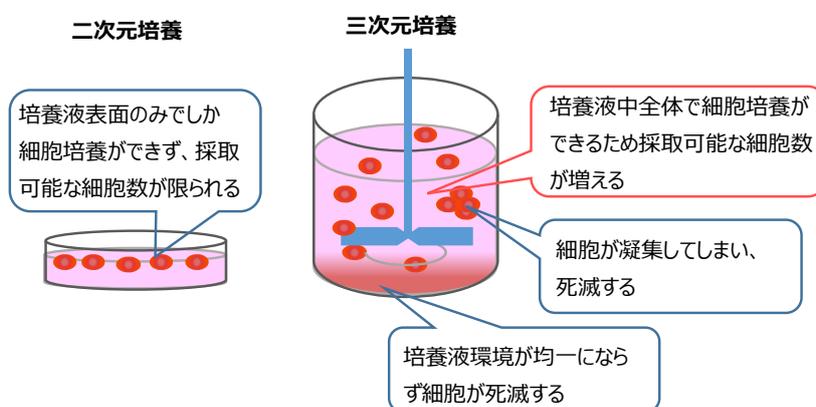
出所：三井物産戦略研究所作成

今後の培養肉生産においてキーとなる材料である培養液を安価かつ安定的に供給できるようになれば、培養液市場において多くの生産者とつながるだけでなく、自ら培養肉の生産設備投資をせずともファブレスによる生産など、ビジネスの選択肢に柔軟性を持つことができる。直接的に培養肉は生産しなくとも、培養液を生産している企業は大きな影響力を持つことが想定されるため、最も注目すべきであると考えられる。

### 2-3. 量産化技術

細胞培養はこれまで培養皿を用いて行われる二次元細胞培養が一般的であった。しかし二次元細胞培養では培養可能な細胞数が限られており大量生産が非常に難しい。そこで考えられたのが三次元培養である。二次元から三次元になることにより培養可能部分が増え大量生産が可能となった。一方で課題も明らかとなり、細胞凝集、バイオリクター内環境（内容物濃度、温度、pH等）の均一化方法といったものが挙げられる。細胞は一つ一つが呼吸をしているが細胞凝集が発生すると凝集した細胞は呼吸ができなくなり死滅してしまう。またバイオリクター内環境が不均一であると、十分な栄養が行きわたらない、温度が高すぎる、あるいは低すぎるといった細胞増殖に不適切な環境になるといった問題が発生し、細胞が死滅する（図表5）。

図表5 二次元培養、三次元培養比較



出所：三井物産戦略研究所作成

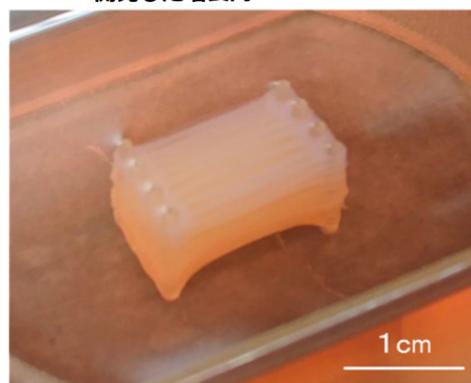
これらの課題を解決し細胞培養を円滑に進めるためのポイントとして、バイオリアクター内の細胞数、培養完了までの日数、1バッチごとの収率、1バッチごとに必要な培養液量の4つが挙げられる。これらを最適化するために現在、米国にてCultivated Meat Modeling Consortiumと呼ばれるコンソーシアムが設立されている。スタートアップ、大企業、非営利団体が集まって設立されたものであり、細胞培養技術をコンピューターにてモデリングすることにより、大量生産に向けた課題の解決を目指している。本コンソーシアムには世界的な化学品・医薬品メーカーである（独）Merckが参加している。彼らはこれまで製薬製造時に培ったスケールアップ技術を提供することにより、いち早く培養技術を用いた培養肉生産への足掛かりを得たいと考えているものと推測される。培養肉を量産化するためにはこれまでにない規模での細胞培養が必須となっており、再生医療分野や食品発酵分野といった多様な分野において細胞培養を行ってきた企業の知見が必須となっている。

また（米）Tyson Foodsや（米）Cargillといった食品大手は培養技術を用いたスタートアップに対して初期の段階から投資を行っている。今後、食料品、化学品企業と食品に関わる多くの大企業が、培養技術を保有しているスタートアップの技術を活用して培養技術のスケールアップを行い、市場へ参入することを企図していくのではないかと考えられる。

#### 2-4. その他の技術課題

肉の食感、筋肉に含まれる筋組織から得られるものである。バイオリアクターから得られた培養肉には筋組織は含まれていないため、現状ではペースト状の肉細胞が得られるのみとなっている。そのため既存の植物代替肉と同様に加工方法として考えられるのは、ハンバーグなどのミンチ肉を活用する製品のみとなっている。その問題を解決するために必要となってくるのが筋組織の再現である。細胞が付着するような足場（筋組織代替）を培養液中に入れることによってステーキ肉のような肉本来の食感を生み出す技術も検討されている。足場としてはコラーゲンやキノコ繊維などがある。日清食品ホールディングスは2019年3月、東京大学と共同で、コラーゲン足場を用いることによりサイコロステーキ状のウシ筋組織の作製に成功したと発表している<sup>9</sup>（図表6）。ステーキ再現までは時間がかかるものの、大きな一歩といえるであろう。また足場としてキノコ繊維を用いたスタートアップとして（米）Matrix Meats、（米）Atlast Foodが2019年、2020年と相次いで設立されている。大量培養技術が確立した後、培養肉用途を増やすためには足場は必須となる材料であり、培養液と同様に安価で安定的に大量生産可能となるものが求められるようになるであろう。

図表6:日清食品ホールディングスと東京大学が開発した培養肉



出所：日清食品ホールディングスプレスリリース『肉本来の食感を持つ「培養ステーキ肉」実用化への第一歩！世界初 サイコロステーキ状のウシ筋組織の作製に成功』

<sup>9</sup> 『肉本来の食感を持つ「培養ステーキ肉」実用化への第一歩！世界初 サイコロステーキ状のウシ筋組織の作製に成功』日清食品ホールディングスプレスリリース <https://www.nissin.com/jp/news/7707>

### 3. 今後の展望

これまでは培養肉の生産が可能となったことが注目されていたが、今後は市場への展開を目指して既存の食肉との比較に耐え得るほどの価格が求められてくる。培養肉生産における技術課題を解決するために培養液開発に特化したスタートアップが登場したり、大量生産の経験のある大企業が知見を活かしたスケールアップ技術を確立しつつあったりといったように、それぞれの工程における最適化を行うための動きが加速していくと考えられる。そのようななかで培養液のようなポイントとなる材料製造方法や量産化技術といった、培養肉生産において幅広く採用されるような技術課題解決方法を保有する企業に、より注目していく必要があるであろう。

2020年現在では培養肉はまだ販売されておらず、(日)インテグリカルチャーはメディア向けに試食会を小規模で行ってはいるものの、試験販売等の開始は先になる見込みである。また、価格についても量産化方法が確立されておらず、現状、コスト試算は難しい状況である。しかし2022年には最初の製品販売が開始され、2026年には牛肉生産価格(4.5ドル/kg)に拮抗するまでになるという予測もある<sup>10</sup>。既存牛肉価格と同程度となることにより、ベジタリアンやビーガンといった人々や、動物福祉への関心のある世代がアーリーアダプターとなり、その後、市場へ広がっていく可能性は大きいと考えられる。

今後、大企業の参入や、各国での培養肉に対する規制確立が推進されることで、安心・安全を重視する消費者の受容性も徐々に高まっていくと考えられる。そのようななかで、関連各社の関わり方を注視していく必要がある。

<sup>10</sup> "Rethinking Food and Agriculture 2020-2030", RethinkX, Sep. 2019

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できると思われる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社及び三井物産グループの統一した見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社及び三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。