

<目次>

1章：はじめに

2章：培養肉が開発される背景

1. 環境問題
2. 動物虐待
3. 健康問題
4. 世界食料不足問題

3章：培養肉とは

1. 細胞農業とその歴史
 - 1.1 細胞農業の概要
 - 1.2 細胞農業の歴史
2. 培養肉の仕組み
3. 培養肉の利点
 - 3.1 環境面
 - 3.2 動物福祉に貢献
 - 3.3 健康
4. 培養肉の欠点・問題点
 - 4.1 コスト
 - 4.2 消費者の反応
 - 4.3 法整備がまだ整っていない

4章：培養肉の可能性

1. アンケート
2. 培養液は思想的に・文化的に受け入れられるのか?
 - 2.1 ユダヤ教
 - 2.2 イスラム教
 - 2.3 仏教
 - 2.4 ヴィーガン
3. 培養肉の未来への影響を考える
 - 3.1 宇宙農業
 - 3.2 食料不足問題
 - 3.3 産業の変異
 - 3.4 食料偽装問題
4. 培養肉の課題から考える解決策
 - 4.1 コスト
 - 4.2 消費者の反応
 - 4.3 特定の種類の肉の代用として使う
5. Shojinmeat で行われている取り組み

5章：結論・終わりに

6章：参考文献

1章：はじめに



図 1: 培養肉ハンバーガー David Parry/PA Wire

2013年8月、ロンドンで世界初の「培養肉ハンバーガー」の試食会が行われた。一個の値段は、なんと3500万円だった⁹⁾。

普通のハンバーガーの何万倍の値段のするこの培養肉ハンバーガーは、普通の肉ではなく、培養肉というものを使っている。培養肉とは「動物の個体からではなく、可食部の細胞を組織培養することによって得られた肉」のことである¹⁴⁾。培養肉は動物の命を奪わずに作ることができ、環境への負担が少ないという。また、世界食料不足問題への解決策となるかもしれないと話題になっている。その一方で、培養肉に嫌悪を示す人も多数いる。

培養肉の研究が着々と進められている中だが、そもそも培養肉が市場に出て成功するのだろうか。消費者はこれを食べたいと思うのだろうか。いずれ動物を殺さずに肉を食べられる日が来るのだろうか。

本論文では、「世界において培養肉がどう受け止められるのか、また受け入れられるためにはどうすればいいのか」を検証することを目的とする。

2章：培養肉が開発される背景

1. 環境問題

畜産業はここ30年で目覚ましい発展を遂げている。世界の食肉生産量は三倍に増え、2050年にはさらに現在の二倍になるとと言われている¹⁷⁾。しかし、加速しているのは技術の発展だけでなく、近年は畜産業に関わる環境問題が世界的な問題となっている。この節では、仮想水、温暖化ガス排出量、土地使用量、廃棄物の4つの視点で見ていきたいと思う。

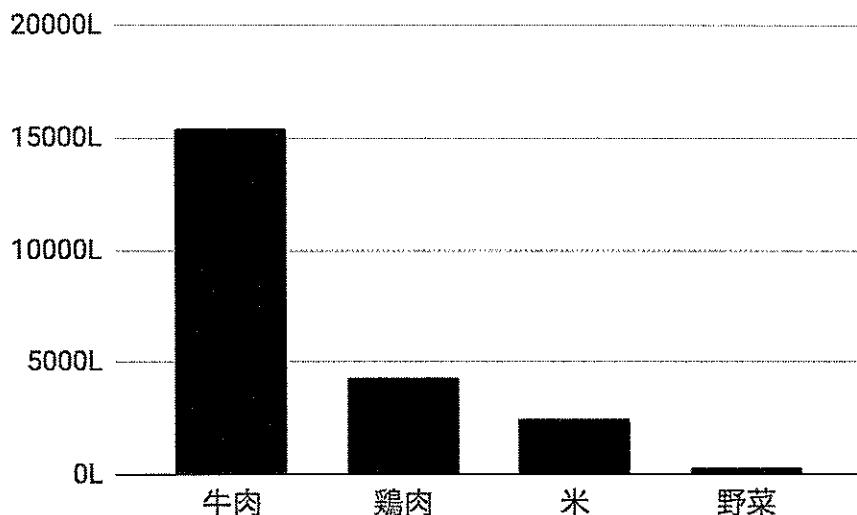


図2 肉 1kg を生産するのに必要な水の量¹¹⁾

まず水問題について述べる。畜産において必要な水は、家畜自身が飲む水だけでなく、家畜が食べる飼料を育てるのに必要とする水も考慮しなければならない。これを仮想水という。世界中で利用可能の水資源の28%が畜産に使われている⁸⁾。特に、牛は世界中の利用可能な水資源の10%を消費している⁸⁾。表2からわかるように、牛肉は米や野菜などの作物に比べて圧倒的な量の水を必要とする。1kgの牛肉生産には10kgの飼料が必要であり、その10kgの飼料を育てるためには、15000Lの水が必要である³⁾。これは、お風呂の浴槽75杯と同じ量だ。対してコメ1kgの生産に必要な水の量はたった3000Lである。畜産業はただでさえ足りていない水資源を使い込んでいるのである。

また、畜産は大量の温暖化ガスを排出する。畜産業による温暖化ガスの排出量は、人類全体の排出量のうち20%近くを占める⁸⁾。これは、自動車、電車、船、飛行機など全てを合わせた移動機関の温暖化ガス排出量を超える。

次に土地利用面積だ。世界中の74億の人々の需要に応えるため、年間に2.8億トンの肉が生産されている¹⁵⁾。その家畜のために作る飼料は莫大な量であり、その分の土地も確保する必要がある。実は、世界中の26%もの土地が畜産業に使われている¹⁵⁾。つまり世界の土地の3分の1は人間ではなく家畜のために使われている。また、世界中の農業用地の80%が畜産用の土地である¹⁵⁾。この後にも触れるが、世界に食料が不足しているのは、直接食べられる穀物を生産せずそれを食い尽くす肉を生産しているからである。よって、食

糧不足問題を解決したいのなら土地を飼料の生産に使うのではなく、穀物を直接生産するために使うべきである。

最後に、家畜の排出物だ。家畜の排出物の中には病原体、抗生物質耐性菌、ホコリ、ダイオキシンなどの非衛生的な物質が多く含まれる。アメリカでは毎秒、700万トンの家畜の廃棄物が排出されているとも言われている⁸⁾。多量の廃棄物の排出は水質汚染につながる。

これらから、現在の畜産業は多くの環境問題を抱えていることがわかる。

2. 動物虐待

できるだけコストを抑え、食料の需要に応えるため、畜産業は大量生産で行われる。その結果、多くの倫理問題が発生する。

例えば、ニワトリのほとんどはバタリーケージという、ワイヤーでできた狭い空間の中で飼育される。共食いや病気などを防ぐことはできるが、ニワトリの行動範囲を制限させ、骨粗鬆症に至らせることがある。また、産卵において、一年経つと産質や産卵率が低下するため、殺されるか強制換羽が行われる。強制換羽とは、「鶏に絶食などの給餌制限を行い、栄養不足にさせることで、羽を新しく生えかわらせること」である¹⁴⁾。多大のストレスと身体的ダメージを伴う。

家畜の屠殺方法の倫理問題も問われる。まず、屠殺場に行くまでの長い道のりで、狭いトラックの中、何日間も水や食物を与えられないことが多い、この段階で死ぬ家畜が多い。また、処分はスタンガンや麻酔なしで行われる場合がある。特にユダヤ教やイスラム教では宗教上このような屠殺が行われる必要がある。

現在の畜産業では動物虐待がたくさん起こっているにもかかわらず、畜産の現状を知る人はとても少ない。2050年までには人口がまた20億人増えると言われているが、その食べ物の需用量に応えるためにより大量生産を行わなければいけなくなる。さらなる動物虐待をどうやって防ぐかが議論されている。

3. 健康問題

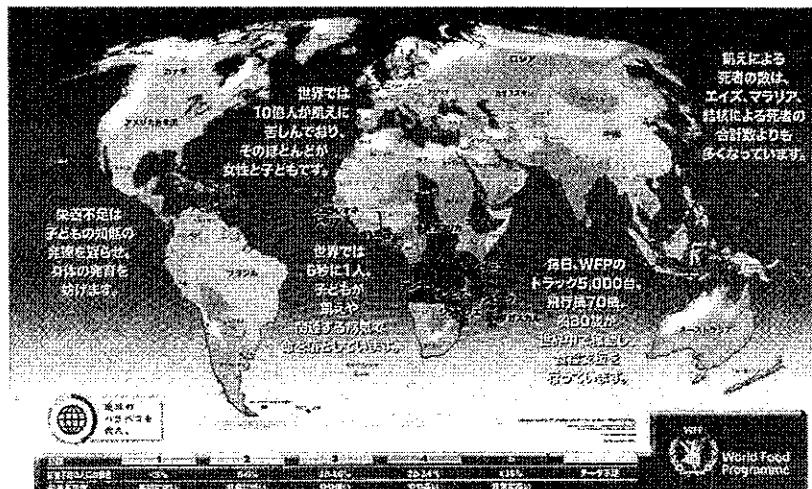
畜産は多くの健康問題を抱えている。たくさんの家畜が飼育されている畜舎は滅多に掃除されないため、糞や菌であふれている。衛生の悪さを誤魔化すために、家畜は大量の抗生物質を与えられる。アメリカで生産される抗生物質のうち、70%は豚、牛、鶏などの家畜に与えられると言われている⁸⁾。

抗生物質の過剰の利用によってスーパー・バグの発生が起こっている。スーパー・バグは、どの抗生物質も効かない耐性菌のことだ。抗生物質の乱用でどれにも耐性を持ってしまったのである。ジム・オーネイル氏によると、2050年には、スーパー・バグが起こす感染症によって、世界中で1000万人の死者が出る可能性があるという¹⁵⁾。これは、現在死因第1位となっているがんによる死者数を超えるものだ。今後の畜産業でさらなる問題となるだろう。

畜産業による健康被害はそれだけではない。近年、肥満が世界中で大きな問題となっている。これには様々な原因が考えられるが、代表的なものは肉の消費の増加であろう。世

界保健機関(WHO)によると、世界の死の原因の三分の一は、糖尿病と心血管疾患によるものだという¹²⁾。この二つの病気は、動物性脂肪分の過剰の摂取によるものだ。また、過剰の動物性脂肪の摂取は大腸がん発症のリスクを高める¹²⁾。これらのことから、肉は様々な病気を起こし、過剰の摂取が死に至ることも少なくないことがわかる。

4. 世界食料不足問題



現在の世界人口は74億人である。過去最大の人口と急激な気候変動により、食糧不足が深刻な問題となっている。実は、食糧不足問題というのは、単純に食料が足りない、という問題ではない。むしろ、食料は世界で過剰に生産されているのだ。世界で穀物は年間24億トン生産されているが、これは世界中の人が生きていくのに必要な量のおよそ二倍となる¹³⁾。ではなぜ未だに飢えのために命を落とす人がいるのだろうか。それは、地域によって、食料の供給量には大きな差があるからだ。アメリカや中国は農業や畜産業にぴったりな広大な平地を持つため、国全体として食糧不足に悩むことは少ない。しかし、アフリカなどの乾燥した地域では、食物を生産することが難しい。ココアのガーナ、砂糖のキューバ、紅茶とゴムのスリランカ、ヤシとココア、落花生、石油などを生産しているナイジェリアなどのモノカルチャーの国であったとしても、それは国や国民の利益のためにほとんど輸出してしまう。このようなアフリカや赤道付近の発展途上国は、先進国や新興工業国より飢餓に苦しむことが多い。一方で、先進国では食料が有り余っているため、平気で食べ物を捨ててしまう。日本では年間1800万トンの食料を捨てているという¹³⁾。これは、途上国の5000万人分の年間食料に匹敵するほどの量だ¹³⁾。

ただでさえ食糧不足問題に悩んでいるのに、この先も人口が増えると予想されているため、問題はさらに深刻となるだろう。2050年には世界人口が90億人に増加すると言われている。その人口の食料の需要を満たすためには、今の食料の1.5倍が必要となる。

以上から、現在の畜産業はたくさんの問題を抱えていることがわかる。また、今後の人口増加でさらに問題が深刻になるだろう。

3章：培養肉とは

1:細胞農業とその歴史

1.1 細胞農業の概要

培養肉は、細胞農業(cellular agriculture)の技術から作られるものである。細胞農業とは、「本来は動物や植物から収穫される産物を、特定の細胞を培養することにより生産する次世代の方法」のことを指す¹⁸⁾。イメージとしては、iPS細胞の食糧生産版のようなものである。

細胞農業によって生産される産物は細胞性産物と非細胞性産物に分けられ、どちらも生産過程が違うだけで動物や植物から収穫されるものと同じものを生産することができる。細胞性産物とは生きた、もしくは生きていた細胞により構成される産物をさす。例としては食肉、革、毛皮、木材、臓器などがあげられる。非細胞性産物とは、細胞から生産されるタンパク質や脂質などの有機分子で作られ、生産物に細胞は含まれていないものを指す。例としてはインスリン、レンネット、牛乳、卵白、ゼラチンなど、細胞が出すエキス・成分があげられる。本論文では扱わないが、これら非細胞生産物の培養の研究も培養肉同様に活発に進んでいる。例えば、Perfect Day社は酵母から牛乳を、Finless Foods社は魚肉培養を、Modern Meadows社は皮革製品の開発に取り組んでいる。

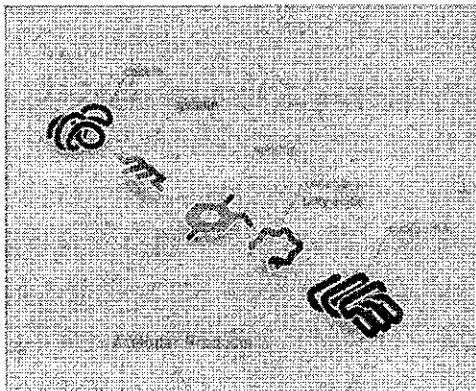


図4：細胞生産物のイメージ⁹⁾

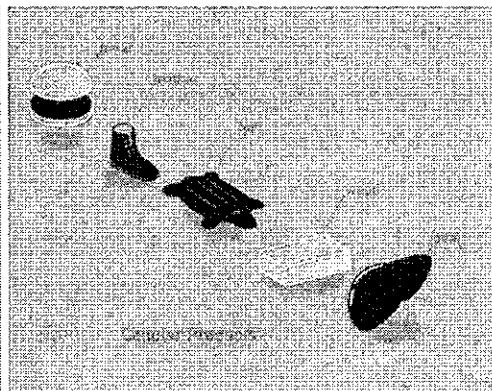


図5：非細胞生産物のイメージ⁹⁾

1.2 細胞農業の歴史

培養肉の大まかな歴史を説明する。¹⁶⁾

1912 Alexis Carrel(フランスの生物学者)が筋組織が体外で生存できる可能性を実証

1950 Willem van Eelen が組織培養から肉が形成される可能性を示唆した

1971 Russel Ross が in vitro での筋管の培養に成功

1999 Willem van Eelen が培養肉の最初の特許取得者になる

2004 New Harvest 設立

2005 オランダ政府が培養肉に関する研究への支援を始める

培養肉に関する初の論文“Tissue Engineering”

2007 In vitro Meat consortium →資金統かず停止

2013 オランダのマークポスト教授が世界初の培養肉バーガーの試食会を開催

2015 “Cellular Agriculture” (細胞農業)の単語発生

以上からわかる通り、細胞農業は昔から概念としてはあったが、実際に技術として確立したのは最近である。

● Cultured meat

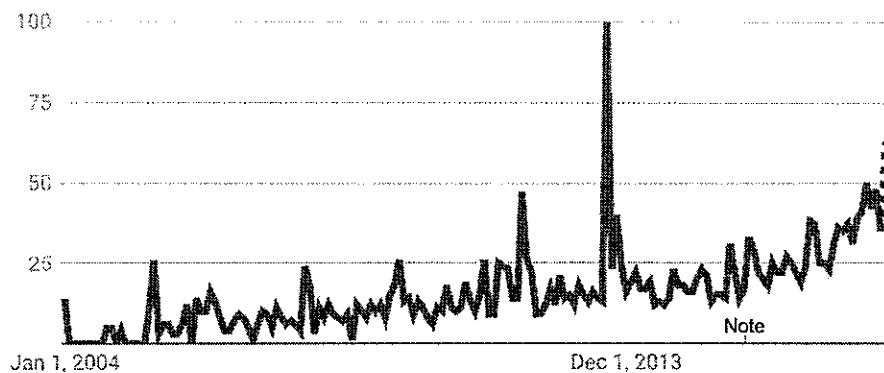


図 6：培養肉への興味 (Google Trends)

図5は、Google Trendsによる、「培養肉」と検索された回数である（最高回数を100としている）。培養肉の初めての試食がされた2013年が一番興味が持たれている。2004はほぼ検索されていなかったが、ここ10年でじわじわ伸びてきていることがわかる。

2: 培養肉の仕組み

培養肉は細胞農業の技術で作られている。肉の細胞、例えば鶏の細胞を培養液の中に入れ、それを増殖させる。これは、本来動物の体内で起きていることを、人の手により専用のディッシュの中で再現していることになる。

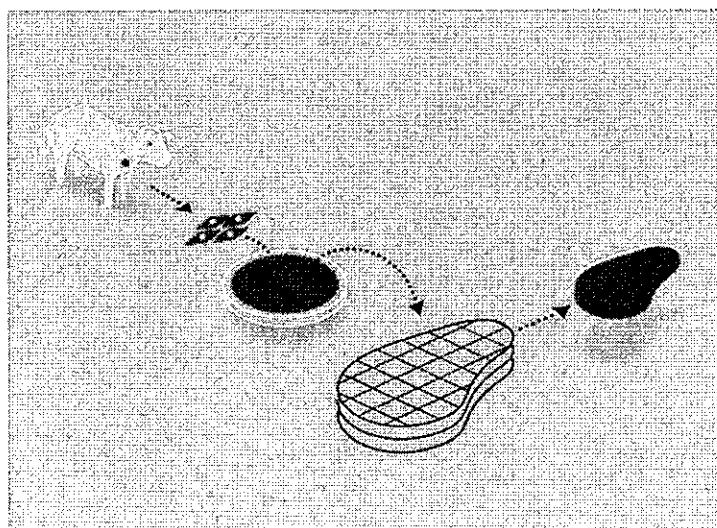


図 7：培養肉の培養のイメージ図²⁹⁾

技術についての話は専門性を必要とするため、詳細は追わない。

3: 培養肉の利点

培養肉には、現在の畜産業が抱えている問題を解決できるような利点がたくさんある。その中で特に注目されている利点を挙げる。

3.1 環境面

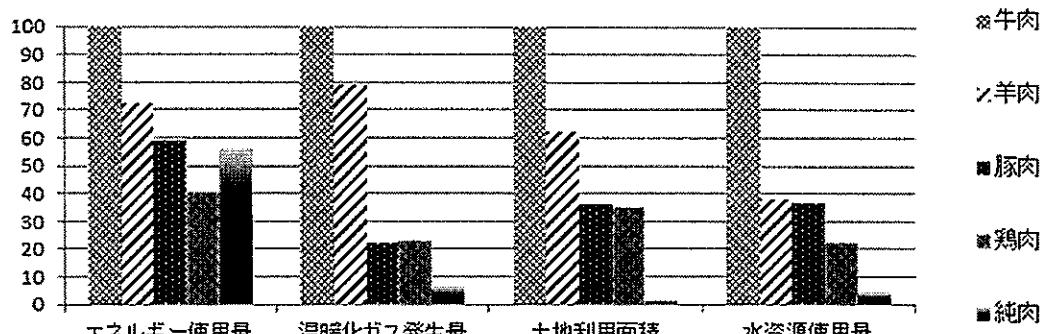


図 8：各種類の肉が環境に与える影響⁴⁾(純肉は培養肉のことをさす)

図 8 は、オックスフォード大学が 2011 年に発表した研究結果をもとにしたものである。牛肉に比べて各種類の肉がエネルギー使用量、温暖化ガス発生量、土地使用量、水使用量においてどのくらいの比率で環境に影響を与えていているかを示している。

まず、培養肉を生産するのに必要なエネルギー使用量は牛肉の他の肉に比べて少ない。特に、牛肉に比べて半分しか水を使わない。

次に、温暖化ガス発生量は、培養肉は牛肉の約 20 分の 1 である。他の肉に比べてもかなり発生量が少ない。また、地球温暖化の原因となるメタンは 1 頭当たり 500L/日も排出され⁵⁾、自動車や飛行機などから発生するものよりもはるかに多い。その上に、肉を生産し終わっても、消費者の国まで運ぶ必要がある。日本が消費する肉のほとんどは輸入されているが、例えばアメリカから日本まで運ぶのに、大量の温暖化ガスが排出される。培養肉であれば、その国に施設さえ整っていれば作れるため、温暖化ガス発生量が少なくなると考えられる。

土地利用量においても、培養肉は環境に優しいと言える。培養肉は従来の畜産業の肉に比べて、土地は 50 分の 1 しか使わない。これは、培養肉は家畜の飼料を生産する必要がないからだ。今後も増え続ける人口と食物需用量にも応えられるため、大きな利点である。

最後に水使用量である。培養肉は畜産業の肉の 20 分の 1 しか水を使わない。これも、土地使用量と同じように飼料をつくる必要がないからだと考えられる。気候変動、地球温暖化により水不足問題がどんどん深刻となっている世界で、これはとても有利なことである。

3.2 動物福祉に貢献

肉の大量生産において、家畜の扱い方の倫理的問題は必ず発生するだろう。1 匹 1 匹、手間をかけて育てるることもできるが、それでは食料が足りなくなる。しかし、培養肉はそもそも家畜を育てる必要はなく、その家畜の筋肉細胞さえ抽出してあれば、それを培養肉

できる。よって、家畜を育てるときに発生する倫理的問題や、処分方法についての問題も考慮する必要がなくなる。

3.4 健康

2章で、従来の肉の生産方法ではスーパーバグが問題となっていることを紹介した。肉の大量生産において、抗生物質は乱用されていることが多い。しかし、培養肉は工場、科学室のような場所で生産されるため、菌の混入は考えにくい。

4. 培養肉の欠点・問題点

培養肉は利点もたくさんあるが、欠点もある。現時点での問題点を紹介する。

4.1 コスト

一番の技術的課題となっているのはコストだ。2013年時点で培養肉ハンバーガーはつをつくるのに3500万円かかっていた⁹⁾。一方で一般的な市販のバーガーは1つ300円である。消費者はどちらを買うだろうか。

培養肉の高いコストは、培養液が一番の原因だ。現在の培養液は・基礎培地・ウシ胎児血清・成長因子で構成されている。基礎培地(以後DMEM)はアミノ酸・糖・ビタミン・無機物が含まれ、細胞の成長に必要な栄養素を供給するため最も重要な要素となる。500mlあたり1250円と、それほど高くない。問題となるのはウシ胎児血清と成長因子だ。ウシ胎児血清(以後FBS)はウシの胎児の血液から調整された血清である。細胞培養において、本来の動物の体内と同じような環境を作るために、血清が必要となる。その中でも、比較的入手しやすく、品質が管理できるウマやウシのものが使われているのだが、それでも500mlで¥64000とかなり高価なものとなっている。成長因子とは動物体内において、特定の細胞の増殖や分化を促進する内因性のタンパク質の総称である。これもまた高価であり一本¥45000する。これら三つの物質は細胞培養において必須なものとなり、コスト削減するのはなかなか難しいことが考えられる。

もう一つの大きな要因は人件費である。現時点の培養肉は薄い一層を作るのが限界のため、実際に食べれる肉を作るには、この層を何枚も作り、組み合わせる必要がある。この作業に多くの人件費がかかってしまう。

4.2 消費者の反応

培養肉の普及において、一番の課題となるのは、消費者の心理的問題である。培養肉、と初めて聞いて嫌悪感を持つ人は少なくないだろう。5章で紹介するアンケートでも同様の結果が出ている。「偽物感」を感じる人もいる。漁業を例にとると天然の魚は貴重とされ、養殖の魚は安物・本物じゃないとされる。人工的なものにネガティブな意見を持つ人が多いだろう。近年「オーガニック」な食品が流行しているのと同じ原理だ。

培養肉のイメージに一番影響を与えるのはメディアだ。メディアが培養肉の存在を取りあげるとき、無意識に印象操作をする可能性がある。日本の有志団体 Shojinmeat Project(以下Shojinmeat)の一員である篠田直樹さんは、培養肉の誤解されやすそうな点に

ついて、「発がん性がある」「奇形児が生まれる危険性がある」「添加物まみれである」「優良誤認を追求」などをあげている。

また、「動物を殺さない、傷つけない」と謳っている培養肉だが、実はこれはまだ完全には断言できない。なぜなら、培養液の FBS は牛の胎児と牛自体を屠殺してでしか得られないからだ。まだ動物が完全無傷である食べ物からは程遠い。

4.3 法整備が整っていない

培養肉が注目を集め始めたのも近年であるため、法整備が全然整っていない。まず、培養肉が普通の食品とどう違うのかを見極める必要がある。例えば、培養肉を培養するのに使う培養液が添加物なのか食料なのかが問題になる。また、培養肉が遺伝子組換え作物という枠に入るのかも問題となっている。4章でも触れるが、当然ながら宗教の聖書や決まりでは培養肉を食べることの可否は明らかにされていない。

開発が始まってから何年もたった今、やっと 2018 年 7 月 12 日に米国 FDA が純肉・細胞農業に関する公聴会を実施することが決まった。これによって法整備が大きく変わつて行くだろう。

4章：培養肉の可能性

1. アンケート

二章・三章から得た情報から、世界や日本で培養肉がどう受け止められるかを検証する。生の意見を聞くために、まずアンケートを行った。（「培養肉」ではなく「人工肉」という名称で行ったため、バイアスがかかっている可能性がある。）

<u>実施目的</u>	培養肉に対しての認識を調べる
<u>実施期間</u>	平成28年3月25日～平成28年4月10日
<u>回収数</u>	152人
<u>調査対象</u>	全年齢、全性別、全国籍
<u>実施方法</u>	Google Formでアンケートを作り、リンクをTwitter, Facebook, RedditなどのSNSに貼る。
<u>協力者</u>	Shojinmeatの羽生雄毅様、松吉雄二様
<u>質問内容</u>	<ul style="list-style-type: none">簡単な個人情報:性別、年齢、出身(国別)人工肉について知っていますか？人工肉を食べたいと思いますか？なぜですか？人工肉と聞いて何を連想しますか？(人工肉が何かを教えた上で)以上のことを知って、改めて人工肉を食べたいと思いますか？なぜですか？もし人工肉が可能となった世界で買う決め手は何ですか？人工肉についてどのようなことを知っていますか？

アンケート結果・考察(共著の同人誌、「純肉じゃぱりまんを作ってみた」より引用)

Q: 人工肉を食べてみたいと思いますか？

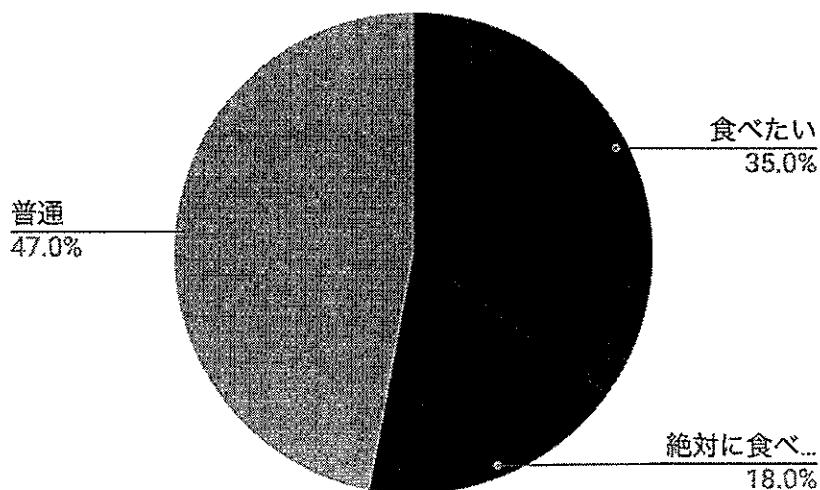


図9：人工肉を食べたいと答えた人の割合

「食べたい」と答えた人(53人、34.9%)の意見

- 食料問題を考えたとき、また、生命の在り方を考えた時に一番適切だから
- 普通の肉と変わらないと思うから
- 好奇心。実際に筋細胞のみだとどのような味がするのか気になる。
- 食べない理由がないため

「絶対に食べたくない」と答えた人(28人、18.4%)の意見

- 偽物のような気がするから
- 健康に悪そう
- いきものの生を感じられないから
- 単純に怖い。

「普通」と答えた人(71人、46.7%)の意見

- 挑戦はしたいが、常に食べたいとは思わない
- 安全性が確保&肉と変わらない美味しさなら食べたい
- 倫理的問題を感じなくはないが、実際に動物を殺すよりも道徳的である。
- 拒否するほどではないが、安全性がわからないから。自身は食べてみてもいいが、子どもたちには食べさせたくない

この問い合わせるために、男女別、国別で調べた。

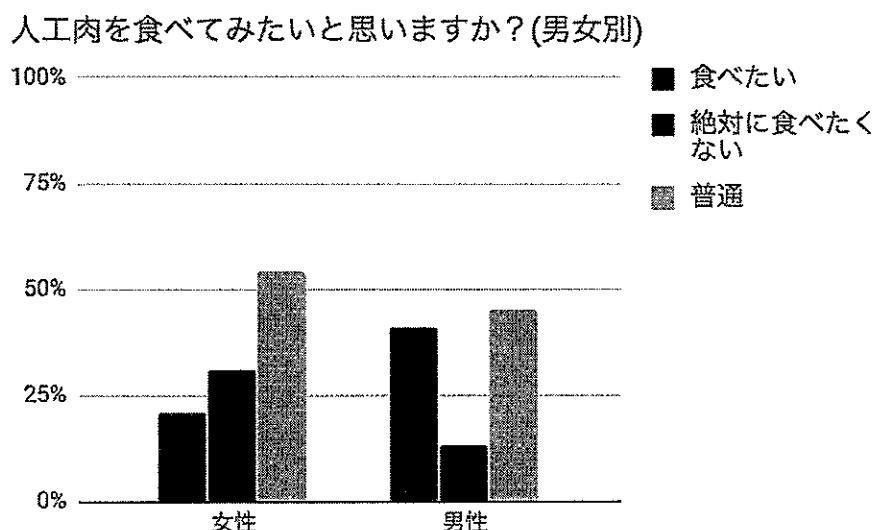


図10：人工肉を食べてみたいと答えた人の男女比

以上より、男性の方が培養肉を「食べたい」と思っていて、女性の方が培養肉に対しての拒否反応が強いことがわかった。

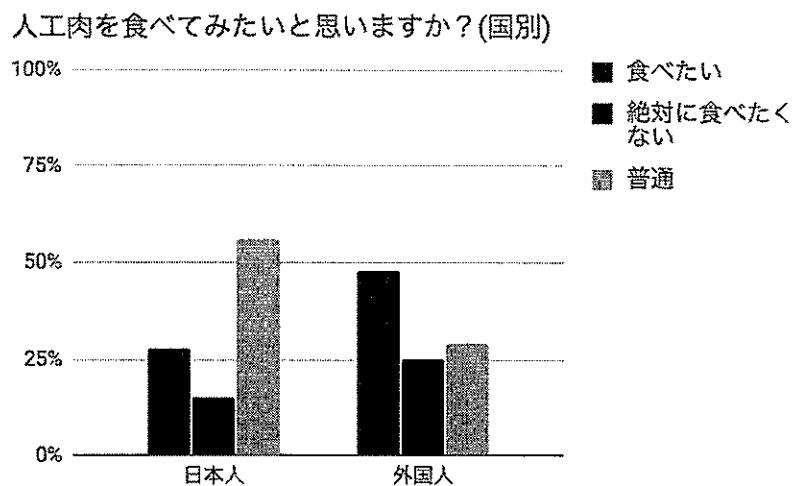


図 11: 人工肉を食べてみたいと答えた人の国別比

以上より、日本人より外国人の方が培養肉を食べたい、と思っていることがわかる。しかし、日本人は「食べたい」「絶対に食べたくない」が少ない代わりに「普通」が多い一方で、外国人は「普通」が少ない。

この質問の後、アンケート上で、

「人工肉とは、動物の可食部の細胞を組織培養することによって得られた肉のことです。現在の畜産に比べてとても環境に優しく、動物に優しく、病気を防ぐ・カロリー・栄養分を調整できるなど様々な利点があります。」

ということを伝え、反応がどう変化したか検証した。

Q: 以上のこととを知って、改めて人工肉を食べたいと思いますか？

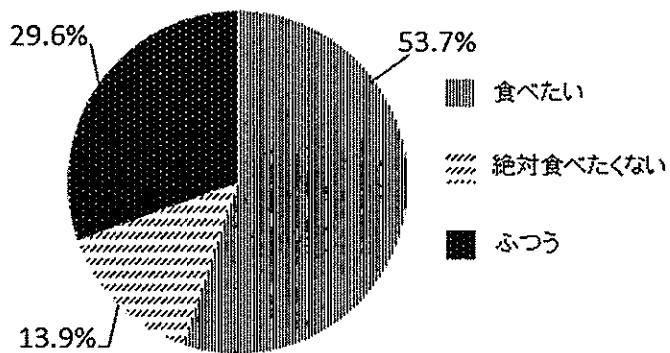


図 12: 人工肉を改めて食べてみたいと答えた人の国別比

その結果、「食べたい」という方が 20% も増えた。特に「普通」と答えていた人が「食べたい」になったことが大きな要因になったようだ。しかし、「絶対に食べたくない」人の割合があまり変わっていなかった。人工肉を食べたくない一番の理由が「偽物のような感じがする」だったので、環境・動物に優しいと聞いても意見が変わらなかった。

Q. 人工肉が可能となった世界で、一番の買う決め手となるものは何？

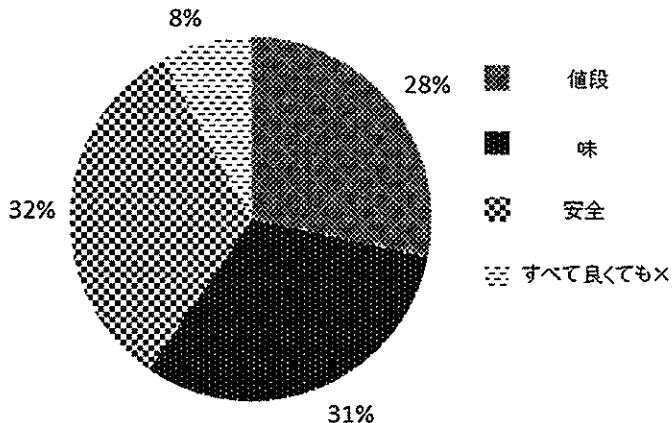


図 13: 人工肉が可能となった世界で、一番の買う決め手となるものは何か
綺麗にばらける結果となった。

Q. 人工肉と聞いて何を連想しますか？

- 近未来
- 実験室のような場所
- 肉の安い部分の切れ端を接着剤でつけたもの
- 宇宙食
- カニバリズム
- 畜産業界の崩壊
- 美味しくなさそう、体に悪そう

一番多かった意見は「未来感・実験室」だ。まだ市場に普及していないだけあって、人工肉はやはり SF っぽいイメージがあるようだ。

2. 培養肉は宗教的・思想的に受け入れられるのか？

2.1 ユダヤ教

ユダヤ教では、コーチャ(Kosher)という食べ物に関する規定がある。Jewish Community of Japanによると、ユダヤ教徒が食べられる物は、「自然の産物であり、魚（限られた種類）、特殊な屠殺のみによる牛肉、羊、鳥肉など、野菜、果物。加工される物に関してはその製造過程で混ざり物、身体に安全でないものなどが入らないように、厳しく管理されて加工されたもの」の条件を満たしたものだ。培養肉が認められるかはコーチャに規定されていないため、議論されている。

コーチャでは、生きている肉からとった手足を食べることが禁止されている。意識のある状態で首を切られなければいけない。よって、細胞を生きている家畜から抽出すると、規定に反してしまう、ということだ。逆に、規定通りに屠殺されたばかりのコーチャ肉（ウシ目で反芻する家畜）から細胞を抽出すれば、規定に反さない、ということだ。しかし、そもそもコーチャの屠殺の仕方は動物虐待に値するほど残酷であり、生命倫理的に培養肉は良い代替案とならないことが事実だ。コーチャでは「死んでしまった肉は食べてはならず」、スタニング(気絶処理)をしてしまうと万一死んでしまう可能性があるため、スタニ

ングなしで行われている。よって、ユダヤ教徒が培養肉を食べる唯一の利点は、環境に良い、ということだ。

逆に、培養肉が普通の肉として考慮されなければ、このような議論なしで食べれる。ユダヤ教では、「天から落ちてきたミラクルな肉」は食べることができる。培養肉は「本物の動物」から由来しないと判断されれば、自動的にコーシャとなる。

また、chabad.org というウェブサイトで、ユダヤ教徒が実際培養肉に対してどのような意見を持っているかを調べた。「食べたくない」という意見がほとんどだった。理由としては、そもそも培養肉が自然的に作られた肉ではなくユダヤ教の律法トーラーに反するから、という意見が挙げられた。

故に、ユダヤ教を宗教とする人々はおそらく培養肉を食べないだろう。

2.2 イスラム教

イスラム教の食についての法のハラルは、ユダヤ教のコーシャと似ている。特殊な屠殺方法でないと、食べられない。よって、イスラム教徒が培養肉を食べる利点としては、

「動物に優しいから」というものは、自動的に消される。ユダヤ教と同じように、イスラム教では培養肉はあまり受け入れられないと考える。

2.3 仏教

仏教では、動物性の食材は禁忌とされている。戒律によって仏教徒の僧は殺傷が禁じられていて、大乗仏教では僧の肉食も禁止されていた。そのため、僧俗への供養や伏せとして、野菜や豆類、穀物を工夫して調理される。これがのちの、精進料理という、「仏教の戒律に基づき殺傷や煩惱への刺激を避けることを主眼として調理された料理」となる¹⁴⁾。

卵や乳製品の扱いは、時代や地域によって異なる。よって、精進料理の定義も地域によって違う。上座部仏教圏のタイ、ミャンマー、カンボジア、ラオスなどの国々は、僧侶は、「三種の淨肉」を食べることが認められている。「三種の淨肉」とは、殺された現場を見なかつた動物の肉・僧侶本人のために殺されたと聴かなかつた動物の肉のことである。よって、これらの地域では、菜食を基本とした精進料理は発達していない。しかし、大乗仏教では、肉食そのものが禁止されているため、中国、朝鮮、日本、ベトナムなどでの地域では菜食料理が発達した。

では、培養肉は仏教の「精進料理」に当てはまるのだろうか。精進料理の共通する条件は「三種の淨肉であるもの」である。政治的・文化的に受け入れられるかは別として、論理的には受け入れられるだろう。

しかし、そうでないと考える人もいる。京都の料亭「木乃婦」の高橋さんによると、培養肉は精進料理には当てはまらないと考える理由が二つある。一つは、「食材の制限がある中で作る側も食べる側も工夫し、思想を深める。制限を解除することはこの点においてポジティブに作用しない」からだ。精進料理は戒律による様々な規定がある。上に挙げた三種の淨肉の他に、五葷（にんにく、ねぎ、にら、玉ねぎ、らっきょう）も禁忌とされている。なぜなら、これは煩惱を刺激し、食材の匂いも強いからだ。これらの条件のもとで作られる料理が精進料理であるのに、培養肉の使用を認めては、普通の肉も使っていいこ

とになってしまい、精進料理の文脈を壊してしまう。二つ目の理由は、「培養肉の特徴である、『持続可能的であること』は人間を生き長らえることを目指している点において、「人間優先」の考え方と繋がる」からである。精進料理の考え方は手に入るもので生きること。人間もまた自然の一部に過ぎない、というフラットな考え方。人間を上位に置く考え方にはあっていいという。

2.4 ヴィーガン

近年、環境と動物虐待への関心が高まるとともに、「ベジタリアン」「ヴィーガン」という存在が出てきた。ベジタリアンは様々な菜食主義者の総称であり、「ヴィーガニズム(絶対菜食主義)は「人々は動物を摂取することなく生きるべき」という考え方のことをする¹⁴⁾。

培養肉の普及においてヴィーガンは大きな影響を与えると考え、実際彼らが培養肉をどう考えているのかをアメリカの掲示板サイト Reddit で調べた。案の定、培養肉の支持者は多かった。動物に負担を与えていない、環境にやさしいなどの点が一番注目された。

しかし、反対意見も多数でた。一番大きい理由として、「そもそも培養肉はヴィーガンではない」があげられた。2章に書いたように、培養肉の生産において必須な培養液の中には、ウシ胎児血清が含まれている。よって、完全に動物の使用を止められるわけではないのだ。

また、そもそも研究費自体が無駄であり、菜食主義の考え方を昇進させるような教育にお金を回したほうがいい、と考える人もいる。

少なくとも、培養肉は畜産業の肉よりは動物に優しいため、ベジタリアンはより食べたいと思う肉だろう。

3. 培養肉の未来への影響を考える

3.1 宇宙農業

培養肉は、装置や工場などの整備が整っていればどこでも作れるという圧倒的な利点がある。家畜をそもそも扱わないと、飼養場も農場も必要ない。装置や工場さえあれば生産できるのだ。どこでも作れるということは、地球外でも作れるということである。技術革新がされていけば、いずれか宇宙農業もできるようになるだろう。

3.2 食料不足問題

世界食料不足問題は単に食料が足りていないことが問題ではなく、食料が逆に有り余っているのに均等に分散されないことが問題である。食糧生産は膨大な資金と人手を必要とし、地形的条件もあるため、どの国でも簡単に作れるわけではない。培養肉の生産は同じように膨大な資金と設備を必要とするが、気候や地形による制限はない。また、より大量生産しやすい。よって、肉が均等に生産、分配され、世界食料不足問題は解決に向かって行くだろう。

逆に、食料不足問題が加速する可能性もある。これは3.2の「食料不足への解決策」に完全に矛盾するように聞こえるが、程度の問題である。培養肉によって食料が一時的に需

要と供給が満たされるが、その結果人口が増え、増えすぎて食料不足になることも考えられる²⁾。

3.3 産業の変異

培養肉の生産の仕方は従来の肉と大きく変わる。まず、動物を育てて処理するという産業ではなくなり、細胞農業という完全に新しく専門性の高い分野を扱うようになる。そのため、培養肉が主流となれば、畜産農家や作物を作る農家は消えるかもしれない。技術と膨大な資金がないと始められない産業になるだろう。培養肉の生産が完全に自動式になれば、1人で産業全体を独占する人が出てくるかもしれない。

逆に、培養肉が各家庭で作れるようになって産業自体が潰れる未来もある。Shojinmeatは一般人に培養肉を身近に感じてもらうために「自宅で作る培養肉」を目指している。

この新しい産業によって現存の産業が大きく変わるのは確かである。

3.4 食料偽装問題

食料偽装問題とは、食料品において生産地、原材料、消費期限等が偽装されて市販されることである。近年よく起こる食料偽装問題としては、養殖物が天然物として偽装されるのが多い。

培養肉でも同じことが起こると考えられる。「培養肉」を「天然物」として偽装される事件が起こるだろう。

4 培養肉の課題から考える解決策

3章で挙げた培養肉の欠点を見つめ、問題の解決方法、現時点の研究の進捗状態を考える。そして、もう一度培養肉の可能性を考える。

4.1 コスト

2011年当時では培養肉ハンバーガーは3500万円した。この高いコストは、3章で説明した通り人件費と培養液が主な原因だった。

この7年で、かなりコストダウンの目処が立ってきたという。まず、培養液の代替品が開発されている。ShojinmeatはFBS(ウシ胎児血清)の代用として酵母エキス(以下sYE)を使うことでコスト削減ができるとを見出した。また、Shojinmeatは最も値段の高い成長因子の代用として、共培養という解決策を出した。これは体内で行われている「細胞間臓器間相互作用」という、血清血液が全身の臓器にさまざまな成分を送っている仕組みを注目したものである。これを体外で再現することで、高価な成長因子を必要としない。また、培養液の主成分である基礎培地の代理まで見つかっている。Shojinmeatは、DMEMに含まれている糖・アミノ酸・ビタミン・ミネラルがスポーツドリンクの成分と似ているとしている。DMEMをGreen DAKARAに置き換えることで、基礎培地のコストまで下げることが可能となった。これら三つを考慮すると、通常だと500ml 8万円もする培養液を¥1300まで下げることができる。コストが大きな問題となっている培養肉の世界では大きな進歩だ。また、培養肉が普及すれば、全て自動化され、人件費もカットできる。

4.2 消費者の反応

培養肉の普及にあたって、消費者の印象が大きなカギを握っている。どうすれば消費者の理解を得ることができるのだろうか。

一番効果的なのは、教育だろう。まず、畜産業によって環境問題や動物虐待などが起こっていることを知る必要がある。これを認識すれば、培養肉の必要性が一層と感じられるだろう。

また、培養肉を開発する際に、技術人だけで開発するだけでは消費者の支持を得られない。社会実装にどのようなことが必要なのか、そもそも培養肉がなぜ必要なのか、どのような世界になるのかを一般人と一緒に考えて行く必要がある。

もう一つ考えられる対策は、培養肉の一般名称を変えることだ。現在業界では培養肉と呼ばれているが、アンケートの結果からわかる通り、「培養」という言葉が入っていると不安を煽る。現在、これに対する取り組みは進んでいる。例えば、アメリカのある企業は培養肉を "cultured meat" ではなく、"clean meat"（純粋な肉）と呼んでいる。Shojinmeat でも培養肉を純粋培養肉、略して純肉と呼ばれている。このような取り組みはイメージ改善に大切であり、今後も行われて行くべきだ。

4.3 特定の種類の肉の代用として使う

2章で培養肉がどの肉に比べても圧倒的に環境にいいと紹介した。これは培養肉の環境への影響についての最初の研究結果なのだが、実は培養肉は謳われているほど環境に良くないという研究結果も出ている。

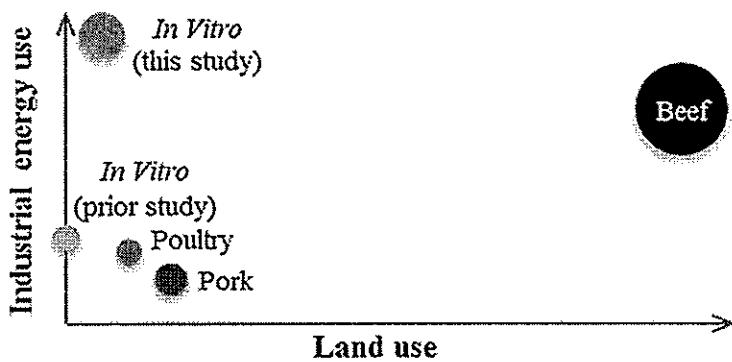


図 14：各種類の肉の土地利用量、エネルギー使用量³⁰⁾

図 14 は 2015 年にアメリカの科学者 4 人が発表した研究データである。この研究によると、培養肉は他の肉と比べて土地使用量は圧倒的に少ないがエネルギー使用量は牛肉を超えるという。また、培養肉は牛肉よりは地球に優しいが、鶏肉や豚肉よりは環境に悪いとも発表している。(横軸が土地使用量、縦軸がエネルギー使用量、丸の大きさが地球温暖化への影響の大きさを示している。) つまり、培養肉は牛肉のみの代用になれば環境保全に繋がるだろう。

また、3 章で説明した通り、培養肉は現段階では培養のレイヤーを何枚も組み合わせて作るものである。ステーキを再現するのは難しいが、ミンチ肉としては最適なのだ。

本論文では培養肉を諸問題の解決策として推奨しているが、必ずしも培養肉を全ての肉と置き換えなければいけない、という訳ではない。例えばここで提案している通り、牛肉のミンチ肉として培養肉を使うという方法がある。ベジタリアンと同じ様に人それぞれには食の好みやこだわりがある。培養肉を食べたくない人には押しつける必要はないし、食べたいと思う人には提供する。培養肉を選択肢として作ることが大事だと考える。

5. Shojinmeat で行われている取り組み

本論文での研究を進めるにあたって、以前紹介した日本の有志団体 Shojinmeat Project と連帯して様々なことを行い、学ばせていただいた。日本の唯一の培養肉の普及に取り組む団体として、研究だけでなく、消費者に理解・興味を持ってもらうために様々な活動を行なっているので、紹介したい。

まず、Shojinmeat は、年に二回行われる「コミックマーケット」で、活動記録や研究報告を同人誌で頒布している。この三日間のイベントで50万人が来場するため、多くの人にこの団体について知ってもらえるのだ。図 15 の「純肉じゃぱりまんをつくってみた！」に共著させていただいた。気楽に培養肉が何かを知ったり、研究やプロジェクトに参加できる。



写真 15：過去の純肉本（表紙）

次に、同人誌だけでなく、動画に培養肉の培養肉方法などの情報をまとめ、公開している。「培養肉作って食べてみた！」という動画は約5万回再生されていて、これをみて興味を持つ人が多いという(写真 16)。



写真 16：「培養肉作って食べてみた！」の動画の一部

これに関連して、Shojinmeat は研究室だけでなく、実際に自宅で作ってみようという活動が行われている(写真 17)。これは、一般人にも親しみやすくするためにある。

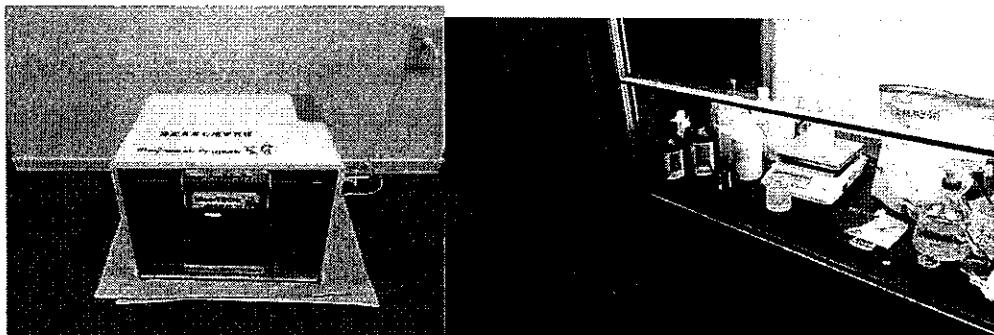


写真 17：個人宅で細胞培養が行われている

また、Shojinmeat は研究だけでなく、芸術・創作方面的活動をしている。培養肉を普及するにあたって、大切なのは、技術自体だけでなく、消費者の反応である。培養肉を産業化につなげるための技術開発や社会実装のあり方を研究し、一般人にも親しみやすいように努力している。写真 18 は、培養肉大量生産における機械を再現してみたものである。

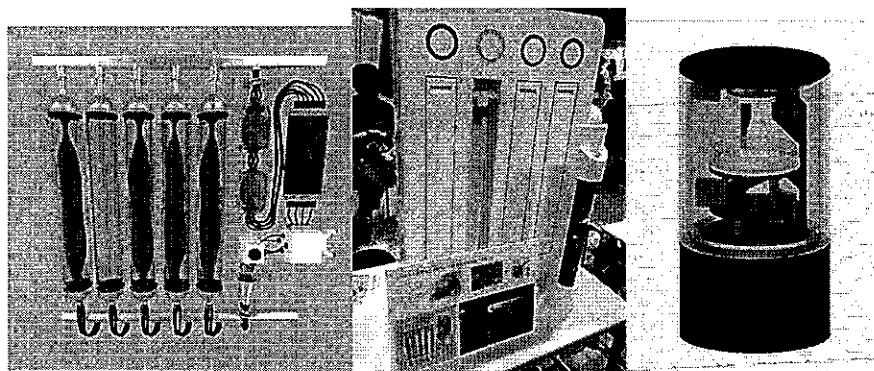


写真 18：Shojinmeat が考える培養装置の案

最後に、より多くの人に培養肉について知つてもらうために、Shojinmeat は様々なイベントに登壇し、メディア対応をしている。主なイベント：第一回細胞農業会議、世界食品安全会議 2018、コミックマーケット、Singularity などなど。主なメディア対応：6/17「おはよう日本」、6/25 クローズアップ現代、5/25 日経新聞など。8/21 NHK「シブ5時」に出演させていただいた(写真 19)。



写真 19：8/21 NHK 「シブ5時」の映像の一部

第5章：結論・まとめ

本章では、これまで述べてきたことをまとめ、研究テーマであった「世界において培養肉がどう受け止められるのか、また受け入れられるためにはどうすればいいのか」に対する答えを導く。

まず、培養肉が生まれる背景には、従来の畜産業が生み出した環境問題や動物虐待、世界食料不足問題などの様々な問題がある。培養肉はこれらの問題を解決、軽減できるとし、生まれたものだ。しかし、宗教的信仰や偏見、嫌悪感で消費者が好意的に受け入れない可能性もありうる。培養肉を世間にも認めてもらうには、技術者がひたすら開発を進めるのではなく、一般人を取り囲んで一緒に考えて行く必要がある。また、未来に大きな影響をあたえるだろう技術なので、どうやって培養肉を利用して行くか世界全体で考えて行くべきである。

本論文を書く上で、担当していただいた■先生に様々なことをご指摘いただき、そして優秀論文に推薦していただきありがとうございました。また、培養肉の技術的課題において Shojinmeat Project のみなさんにご協力いただきありがとうございました。最後に、3-A の中塚くんは共同研究者として、研究に付き合っていただきありがとうございました。

第6章：参考文献

論文・書籍・PDFデータ

1. Belluz Julia "A woman died from a superbug that outsmarted all 26 US antibiotics" Vox, 2017 (最終閲覧日 : 2017/07/13)
2. Dilworth, Tasmin & McGregor, Andrew. "Moral Steaks? Ethical Discourses of In Vitro Meat in Academia and Australia" Journal of Agricultural and Environmental Ethics. Springer Link. Volume 28, Issue 1, pp 85-107, 2014 (最終閲覧日 : 2018/07/08)
3. Erik Millstone and Tim Lang 「食料の世界地図 第2版(翻訳版)」丸善出版, 2009 (最終閲覧日 : 2017/06/19)
4. Hanna L. Tuomisto and M. Joost Teixeria de Mattos "Environmental Impacts of Cultured Meat Production" University of Oxford Wildlife Conservation Unit, University of Amsterdam Swammerdam Institute for Life Sciences, 2011 (最終閲覧日 : 2018/07/09)
5. Johnson, K.A. & Johnson, D.E. 1995. J. Anim. Sci. 73:2483-2492. (最終閲覧日 : 2018/07/07)
6. Mattick, Landis, Allensby, Genevese "Anticipatory Life Cycle Analysis of In Vitro Biomass Cultivation for Cultured Meat Production in the United States" American Chemical Society, 2015 (最終閲覧日 : 2018/07/09)
7. Stephens, Silvio, Dunsford, Ellis, Glencross, Sexton "Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture" Science Direct, 2018 (最終閲覧日 : 2018/07/09)

Webページ

8. International Panel on Climate Change "Working Group III: Mitigation" International Panel on Climate Change (最終閲覧日 : 2018/07/09)
9. New Harvest "Mark Post's Cultured Beef", 2015 (最終閲覧日 : 2018/07/09)
10. Shurpin Yehuda "Is the lab-created Burger Kosher? The halachic status of lab-created meat" Chabad, 2013 (最終閲覧日 : 2017/07/20)
11. Water Footprint Network "Product Gallery" (最終閲覧日 : 2017/07/20)
12. World Health Organization "Top 10 Causes of Death" 2016 (最終閲覧日 : 2017/07/20)
13. World Food Programme "Hunger Map" 2017 (最終閲覧日 : 2017/07/20)
14. Wikipedia 「精進料理」「強制換羽」(最終閲覧日 : 2017/07/20)
15. United States Department of Agriculture "FY-2005 Annual Report Manure and Byproduct Utilization National Program 206", 2005 (最終閲覧日 : 2018/07/09)
16. 羽生雄毅「Shojinmeat Project: 純粹培養肉: 細胞培養による食糧生産へ」2018 (最終閲覧日 : 2018/07/09)
17. 農畜産業振興機構 「主要畜産國の需給」2017 (最終閲覧日 : 2017/06/19)
18. 松吉雄二 「細胞農業とは」Shojinmeat@wiki, 2017 (最終閲覧日 : 2017/07/20)