

第32回衛星設計コンテスト

ジュニア概要書（3 ページ以内）

応募区分 ジュニアの部

1. 作品情報・応募者情報

作品名（20文字以内） 宇宙産！麩由来の食料製造計画
副題（自由記入） ～微小重力環境で麩菌は育つのか～
学校名 山口県立岩国高等学校

2. ミッションの概要（プレスリリース等で使用するので、200 字程度でわかりやすく表現して下さい。）

本ミッションは、宇宙空間での長期間にわたる活動において、人間が生きていくのに必要な栄養素を補うために麩菌から作られた培養肉の活用を検討するものである。麩菌にはタンパク質が豊富に含まれており、麩菌は他のタンパク源と比べて、非常に少ない日数、飼料で成長する。これらの点から、麩菌が資源、空間が限られている宇宙空間において重要な栄養源となりうると考え、いくつかの実験を通して実現可能性を推測する。

3. 目的と意義（目的・重要性・技術的意義等）

(a) 目的(今回考えたアイデアを何に利用するか等)

日本の国菌に指定されている麩菌は毒素を生成せず、乾燥重量当たりのタンパク質含有量が 50～60% と豊富⁽¹⁾で、すべての必須アミノ酸や多くのビタミン類を含む⁽²⁾など栄養に優れている。また、成長スピードが早いことや繊維状の構造を持っていることから代替肉素材として有望視されている。筑波大学の萩原大祐准教授は麩菌を用いて代替肉を作る研究をしており、麩菌や麩菌以外の菌を原料とした代替肉を販売している企業もあるなど、菌を原料とする代替肉の生産には大きな期待がなされている。

今回私たちは、この菌から食料を作る技術が、将来的な月や火星上でのタンパク質の調達に向けて大きな役割を果たすのではないかと考え、以下の研究目的を設定する。

(1) 麩菌が微小重力環境でどのように成長するのかを検証すること。

(2) 宇宙で麩菌から代替肉を生産するときのシステムと食品としての利用を検討すること。

これらの研究を行うことにより、麩菌が月や火星上などでの食料生産におけるタンパク質の調達に貢献できるのかを検証するとともに、宇宙で生産するときに必要な設備を検討する。

(b) 重要性・技術的意義等（ex：宇宙空間で利用する理由、ほかにない技術など）

私たちが、限られた資源、空間しか利用できない宇宙空間において麩菌の活用を試みる理由は大きく分けて三つある。

① 生産に必要な資源、時間が少ない

図1より麴菌の生産に必要なとされる穀物、水の量は他の動植物と比べて非常に少ないものとなっている。物資をそれほど必要としない点は、1kgの物を宇宙に運ぶのに100万円⁽⁵⁾かかるという現状の中で、とても価値のある点だといえる。そして麴菌は培地を選ばないため、酒かすなどを再利用することも可能である。麴菌は速い成長速度を持ち、筑波大学で行われている方法では、1週間で1000万倍⁽³⁾にまで増加する。

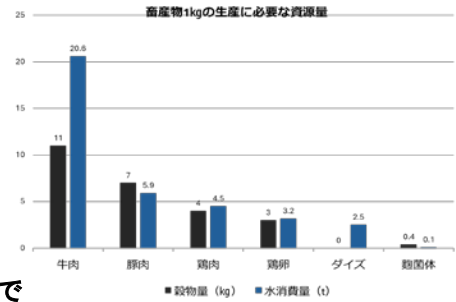


図1: 畜産物1kgの生産に必要な資源量⁽³⁾

② 豊富な栄養

麴菌には乾燥重量あたり約50~60%のタンパク質が含まれているほか、必須アミノ酸がすべて含まれており、麴菌が成長する際にビタミンBを合成することからビタミンも含まれている。麴菌は栄養に優れているといえるだろう。

③ 麴菌がもつ長い歴史

麴菌は、山口県岩国市において有名な日本酒をはじめ、味噌や醤油といった私たち日本人が長年にわたり親しみ食用として利用し続けてきた歴史がある。そこで、培養肉の素材に麴菌を用いることで、菌を食べることに対する抵抗を減らす効果があるとも考えられる。また、長年にわたって麴菌を利用してきた歴史から、一から安全性を検証する必要がなく、すぐさま実用化できると期待される。

また①②から、穀物を400g、水を100g用意すれば、0.1mgの麴菌は1週間で1000gまで増殖し、1000gの約50%にあたる500gのタンパク質を得ることができる。これは、1日に65gのタンパク質を必要とする成人男性の8日分のタンパク質となる。もし、同じだけのタンパク質を一般に代替肉に用いられている大豆で賄おうとすると、大豆が約1470g(大豆100gあたりタンパク質34g)、水3.7tが必要となるので、宇宙で栽培する場合、地球から直接輸送する場合のどちらでも麴菌から作られた代替肉の方が優れているといえる。

4. アイデアの概要

筑波大学では、黄色コウジカビを用いて食肉の代わりに果たす菌肉(培養肉)を製造するという研究が行われている。この研究から着想を得た本プロジェクトの最終的な目標は国際宇宙ステーションなどの微小重力環境においても菌肉の生産を可能にすることである。ここで「菌肉」とは糸状菌が持つ糸状の構造体「菌糸」を培養、ろ過、成形したもので、この菌糸を重層的に集積することで、筋繊維のような微細構造を再現し、本来の食肉に近い培養肉を作り出すことである。

(1) 微小重力環境で麴菌がどのように成長するのかを検証する

麴菌が微小重力環境でどのように成長するのかを検証するために、麴菌の重力走性の有無と、力による成長速度と成長方向の違いの実験・観察を行った。(詳細は補足説明資料参照) 今後は、3Dプリンターで自作したクリノスタットを用いた微小重力環境やサーキュレーターのもーターを利用した過重力環境での麴菌の成長を観察したい。

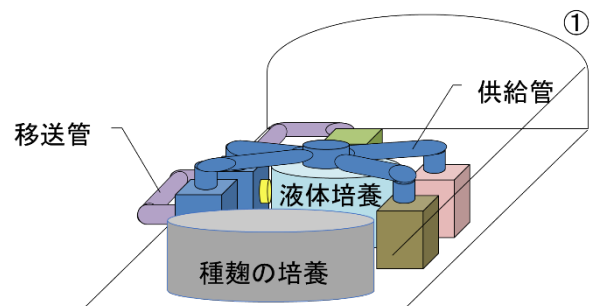


図2 宇宙空間での麴菌培養のイメージ図

(2) 宇宙空間における麴菌培養方法の検討

麴菌から培養肉を作るうえで、①麴菌の培養②培養した麴菌を加工、の主に二つの工程が必要である。

① 麴菌の培養

アイデアに関する説明資料

私たちは微小重力環境においても麹菌からの食料の生成を可能にすることを最終目的としている。その目的を達成するために、私たちは

- ①微小重力環境で麹菌がどのように成長するのかを検証すること
 - ②実際に宇宙で麹菌から食料を生産するシステムと食品としての利用を検討すること
- という2つの研究目的を掲げており、現在は①について研究を行っている。その研究をここに示す。

実験1 麹菌の重力走性

麹菌の分生子柄と菌糸が力に対してどのような成長をするのか観察し、重力走性の有無について調べ、麹菌の地上での重力に対してどのように適応しているのか調べる。

<方法>

- ① 麹菌を寒天培地で事前に培養する。
- ② ①の培養した麹菌から1mm²をピンセットでつまみ取り、新たな培地の中心に置く。
- ③ ②で作成したシャーレを水平1（シャーレの蓋を下）、水平2（シャーレの蓋を上）、垂直（図5）、回転台の4通りの方法で置き（図3）、インキュベーター内で培養する。
- ④ 6日間培養した培地の寒天を切り取り顕微鏡で分生子柄の伸びている向きを観察する。



水平1 水平2 垂直 回転台

図3 シャーレの置き方

<結果>

（菌糸について）

図4から4通りの方法でそれぞれ菌糸が成長していることを確認したが、菌糸を顕微鏡で観察したところ、目立った特徴は見つからなかった。

（分生子柄について）

4通りの方法それぞれで分生子柄が成長していることを確認した。

水平1は分生子柄の成長方向が一様ではなく、様々な方向に向かって成長していた。また、水平2と比べると分生子柄が短く見えた。

水平2は水平1よりも分生子柄を明瞭に観察することができた。

垂直は水平1、2と比べるとシャーレの中心から斜め上方向に向かって成長していた。

回転台は目立った特徴や、特有の成長の仕方などを見られなかった。

<考察>

4通りの方法すべてにおいて菌糸を観察することができるため、麹菌にどのような力が働いても菌糸は成長すると考えられる。

垂直は斜め上方向に分生子柄が成長していたことから、麹菌の分生子柄は負の走性を持つと考えられる。

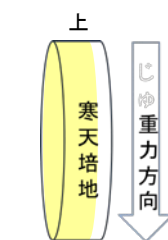
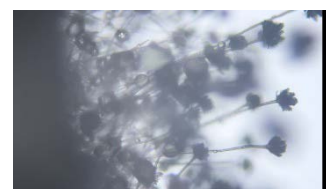


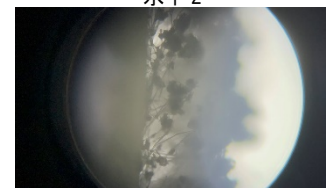
図5 垂直の置き方



水平1



水平2



垂直



回転台

図4 顕微鏡観察の写真

（写真の上側がシャーレの上端）

水平1(図6)について、顕微鏡で観察した際に分生子柄が重なり見えづらくなっていたのは、分生子柄は重力に対する負の走性をもっており、シャーレの上方向に向かって伸びようとしたことで分生子柄が寒天培地に向かって倒れこむように成長したことによって生じたものではないかと考える。

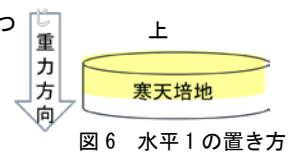


図6 水平1の置き方

水平2(図7)について、分生子柄が負の走性をもってしていることでシャーレの上方向に伸びようとして、水平1とは異なって寒天培地とは反対の方向に成長したため、顕微鏡で観察した際に水平1より分生子柄が長いように見え、明瞭に観察できたのではないかと考えられた。

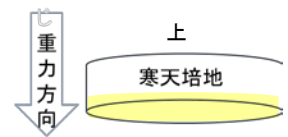


図7 水平2の置き方

回転台について特に目立った特徴を見つけることはできなかつたため、回転台の遠心加速度を算出した結果約0.09Gであった。そのため、この回転台でシャーレを回すことによって生じる遠心力は重力と比べると微量であり、分生子柄の成長の仕方に影響をあまり及ぼさなかつたのではないかと考えられた。以上より、麹菌の分生子柄は重力に対して負の走性を持っていると考えられる。また菌糸は4通りの置き方すべてにおいて成長していたため、力によって麹菌の成長が大きく妨げられることはないと考えられる。菌糸が重力に対して走性を持っているかについては今後の課題としたい。

実験2 コロニーの面積と成長方向

麹菌にかかる力の向きの違いによってコロニーの成長方向がどのように違うのかを観察し、麹菌の力への適応と走性を調べる。

<方法>以下の方法①、②の手順で実験を行った。

- ① 菌をおいたシャーレの中心を原点としてx軸とy軸をとる。
- ② 水平1、垂直の2通りの方法でシャーレをそれぞれ4枚ずつ培養し、1日2回(朝と放課後)、広がったコロニーの正のY軸切片、正のX軸切片、負のY軸切片、負のX軸切片をそれぞれ記録する。

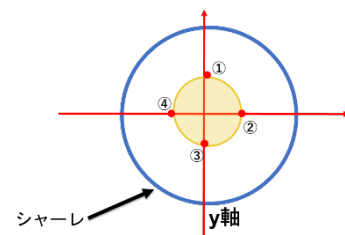


図8 軸の取り方

<結果> 図9は垂直に立てたシャーレの一つのコロニーの成長を+y方向に観察した結果である。計測を追うごとにコロニーが成長している様子が分かる。この近似直線の傾き、すなわち平均変化率をコロニー成長速度と定義し、各シャーレの+y, -y, +x, -xの4方向でこれを算出、それぞれ合計12枚の平均を取り比較した。

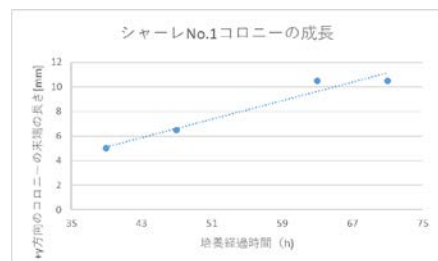


図9 シャーレNo.1のコロニー

垂直に立てたシャーレの+yと-y方向について比較したものが図10である。我々は重力の影響により菌糸が-yに有意に成長速度を伸ばすと考えていたが、+yと-yで差は見られず、t検定の結果も95%信頼区間において差があるとはいえなかつた。

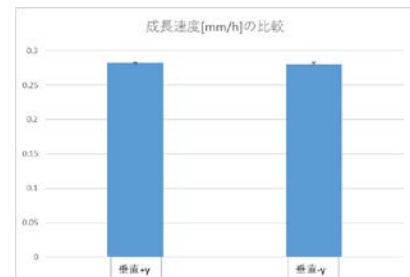
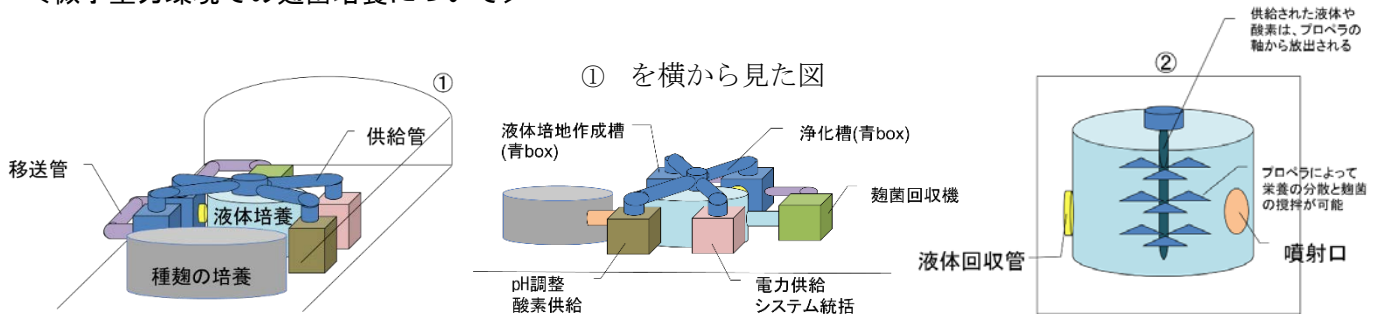


図10 成長速度[mm/h]の比較

<考察>

菌糸は重力の影響で成長速度が変わるとは言えない。むしろ重力に関係なく培地のある方向に菌糸を伸ばしている。また、筑波大学の研究においては浮力と重力のつりあう液体培地環境下で菌糸が問題なく成長していることから重力に関係なく菌糸は成長できるのではないかと考える。これは微小重力環境での菌糸の成長に希望が持てることを示唆するのではないかと考えられる。

<微小重力環境での麹菌培養について>



上図①のような栽培棟で麹菌を培養し、集めた種麴を②の液体培養機に噴射する。液体回収管を通じて液体を青 box（浄化槽と液体培地作成槽）に回収し、液体の浄化と液体培地の作成を青 box で行う。青 box は移送管でつながれている。供給管を通して、液体培養機への酸素と青 box で作成した栄養の供給を定期的に行う。菌糸が適当に育ったら、麹菌回収機で液体と菌糸を回収し、移送管を通じて液体のみを浄化槽へ移送する。

<液体培養機>

液体培養機には麹菌や液体培地の栄養素を攪拌するプロペラがついており、プロペラの軸からは青 box から供給された液体や酸素などが噴出される機能を持つ。

<クリノスタットの製作>

私たちは、麹菌が宇宙空間という微小重力下でも培養が可能かということ調べるために、クリノスタットを利用することを考えている。ネットで公開されていた設計図から 3D プリンターでクリノスタットを制作したが、長時間の使用でモーターが焼き切れてしまい、今回の実験では使用することができなくなってしまった。（図 11）

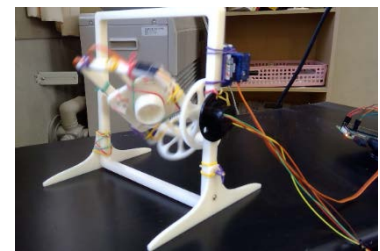


図 1011 作成したクリノスタット

※クリノスタットの参考資料

[Simulating Microgravity with Random Positioning Machines | The Factory - YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...)

<https://github.com/CoreElectronics/CE-Random-Positioning-Machine?tab=License-1-ov-file#readme>

<過重力状態での実験>

過重力環境での実験も行うことで、微小重力環境での成長をより深く考察できるのではないかと考えた。遠心分離機を使い過重力環境を作り出そうとしたものの、長時間の使用に耐える遠心分離機が無かったため、サーキュレーターで代用した。実験を行ってみたところ、寒天培地が遠心力に耐えられず壊れてしまう結果となった。

<今後の展望>

麹菌の菌糸が重力走性を持っているのかについて、さらに実験を重ねて考察していきたい。クリノスタットで実際に微小重力環境において麹菌がどのように成長するのかを観察し、地上での成長の仕方との違いについて研究していきたいと考えている。また、過重力実験からのアプローチをしていきたい。

<謝辞>

筑波大学萩原大祐准教授、広島工業大学様、旭酒造株式会社様、本研究を進めるにあたりご協力頂きました。心から感謝いたします。