

第23回衛星設計コンテスト

事務局使用欄

受付番号 2736

年 月 日

アイデア概要説明書

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） 宇宙空間における植物の栽培方法の提案			
作品名 副題（これは公式文書では省略する場合があります） 宇宙空間で地球上と同様の植物栽培を行うのに必要な条件			
	氏名(フリガナ)	学校名、学科	学年
代表者(正)	吉野有咲 (ヨシノアリサ)	熊本県立第二高等学校 理数科	2年
代表者(副)	山口薫 (ヤマグチカオル)	熊本県立第二高等学校 理数科	2年
メンバ1	新川悠香 (シンカワハルカ)	熊本県立第二高等学校 理数科	2年
メンバ2	吉住朱 (ヨシズミアヤ)	熊本県立第二高等学校 理数科	2年
メンバ3	磯崎涼介 (イソザキリョウスケ)	熊本県立第二高等学校 理数科	1年
メンバ4	伊藤瑞輝 (イトウミズキ)	熊本県立第二高等学校 理数科	1年

2. アイデアの概要（プレスリリース等で使用するもので、200字程度でわかりやすく表現して下さい。）

私達は、宇宙空間での植物栽培について、地球—他惑星間における移動中の宇宙船内で植物栽培を提案する。

その第一歩として、光屈性を利用した植物の成長度合、及び低気圧における植物栽培の可能性について実験を行った。その結果、宇宙空間での植物の栽培に適している照度と気圧を調べ見つけることに成功した。植物栽培の弊害となる無重力や真空などの問題の解決や、展開型植物栽培槽について調査し、宇宙空間で植物を栽培するための条件なども提示する。

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）

国際宇宙ステーションへの長期滞在や、宇宙開発において、宇宙飛行士は宇宙食のみを食べて任務にあたっている。そんな中、「宇宙でも新鮮な野菜を食べたい」という要望を出す宇宙飛行士も少なくはない。また、将来的に他惑星への移住を考えると、宇宙船に搭載できる食料は限られるため、宇宙船内での食糧生産も考えなければならない。そこで、私たちは惑星間航行を行う宇宙船内での植物栽培を検討する。しかし、宇宙空間は無重力であり、真空状態であるため与圧しなければならないという弊害もあり、このままでは植物は生産できない。そのため、私たちは宇宙船に格納された展開型植物栽培槽を用い、そこで植物を生産する方法を提案することを目的とする。

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

宇宙空間と栽培槽との気圧の差が大きいと、栽培槽に加わる力が大きくなる。そこで、栽培内の気圧を小さくするとその分栽培槽に加わる力は小さくなり、設計が比較的容易になる。

しかし、低圧環境下では発芽率が落ちることが分かっている(脇山 2014、橋本 2011 より)。そこで、「1気圧下で発芽させ、低圧下で成長させる」というようにプロセスを分けることによって、低圧下で発芽率が低下するという問題を解決できる。

そのほかの問題点として、無重力空間下では重力屈性が起きない。これにより植物の伸長方向が制御されず、栽培スペースが圧迫されるため非効率的となってしまう。また、地上とは異なる形状の植物になってしまう。そこで、重力屈性の代わりとなるものとして光屈性に着目し、植物の伸長方向を制御す

る。これは光源のみを利用することで、他の擬似重力発生装置より低電力で運用が可能である。
宇宙船内での植物栽培が可能になれば、月や他の惑星などの低圧、低重力下にも応用できると考える。

4. アイデアの概要

私達は、宇宙空間で植物を育てるにあたって、展開型植物栽培槽を宇宙船に設置することを提案する。

1. 宇宙空間の環境

ア、 気圧

宇宙空間は真空状態（0気圧）であるため、仮に展開型植物栽培槽を作ったとしても、栽培槽内の気圧と宇宙空間の気圧の差があまりにも大きいと、栽培槽の耐久性を強くしなければならないため、よりコストがかかる。そのため、少しでも栽培槽内の気圧と宇宙空間の気圧の差が縮まるようにしたい。

イ、 重力

植物は地球上では重力を受けて、茎は重力に逆らう方向に、根は重力に従う方向に伸びる。これは重力によって植物に重力屈性が起きるためである。しかし、宇宙空間は無重力であり重力屈性が起きないので、これにより植物の伸長方向が制御されず、非効率的となってしまう。また、地球上とは異なる形状の植物になってしまう。

そのため、高速回転による遠心力で擬似的な重力を生み出す装置を用いたり、大電力を二極間に通し、静電気力で擬似的な力を生み出すことで植物の生長方向を制御する方法もある。しかし、どちらも大規模な設備や大電力を用いるため宇宙空間での植物栽培には適さないと考えられる。そこで、植物の持つ光屈性という性質を用いて、光源のみを用いて植物を地球上で見慣れた形状で育てられるようにしたい。

2-1. 低圧環境に対する問題解決

脇山 2014 によると、低圧環境下では発芽率が落ちることが分かっている。そこで、資源が限られた宇宙船内で未発芽で無駄となる種子を減らすために、発芽と成長のプロセスを分ける。具体的に言うと、1気圧下の別の容器で種子を発芽させ、成長段階では低圧下の栽培槽内で栽培する。このことによって低圧下で発芽率が低下するという問題を解決できる。

アイデアに関する説明資料より、今回は成長のプロセスに着目し、1.0気圧下で発芽させた実験植物を1気圧下、0.4気圧下、0.2気圧下、0.1気圧下で栽培を行った。その結果、茎の長さにおいて、0.4気圧では、1気圧と同様の成長が見られるということが改めて確認された。しかし、0.2気圧以下では1気圧と比べ、成長に大きな差が見られた。これにより、実験植物の栽培には最低0.4気圧必要だと考えられる。

ただし、脇山 2014 において、0.4気圧下で育てた実験植物は1気圧下で育てた実験植物に対し茎の伸びが悪かった。しかし、今回の実験においては、0.4気圧下で育てた実験植物のほうが、1気圧下で育てた実験植物より伸びが良かった。

2-2. 無重力に対する問題解決

アイデアに関する説明資料より、暗所で発芽させた実験植物を100~0lux下で栽培を行った。

その結果、照度が大きくなるにつれて光屈性が強く表れ、それが比例関係にあることがわかった。

なお、実験植物においては、約60luxで重力屈性と光屈性が同様の強さ(水平面に対し45度の屈性)で現れた。

また、「低圧環境に対する問題解決」で行った実験において、1気圧下の暗所で育てた実験植物(重力屈性のみによる成長)は、重力屈性に従って水平面と鉛直上向きに成長したことが確かめられている。

よって、無重力空間において、実験植物に60lux以上の照度の光を当ててやれば、地球上の暗所(0lux下)で育てた場合と同様の成長が見られると考えられる。

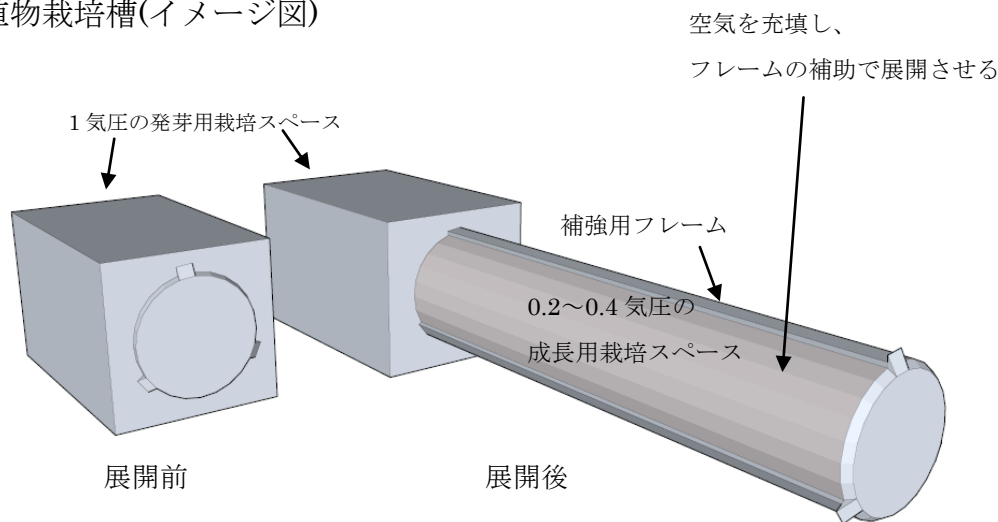
また、他の植物でも照度を変えることで、同様の結果が得られると考えられる。

3. 展開型植物栽培槽

発芽させた植物を育てる栽培槽として、風船のように膨らませて栽培スペースを確保する「展開型植物栽培槽」を提案する。

これは、栽培槽を宇宙空間へ投入する際、スペースや重量を考えると、大型の栽培槽を打ち上げるのには非常にコストがかかる。そこで、必要最低限の制御装置と圧縮した栽培スペースをまとめた栽培槽を打ち上げ、その栽培スペース内に空気を充填することで栽培槽を膨らませ、栽培スペースを確保することができる。なお、宇宙空間は真空なので、フレームなどで補強すれば栽培スペースを膨張させるのは低圧でも容易である。

展開型植物栽培槽(イメージ図)



5. 得られる成果

- ・展開式植物栽培槽開発におけるコストの削減
- ・無重力（低重力）、真空状態（低気圧）での植物栽培
- ・低圧における植物栽培の条件

6. 主張したい独創性または社会的な効果

- ・低圧における、植物栽培が可能なることの提示。
- ・将来、宇宙船への展開式植物栽培槽の搭載への可能性により、他惑星への移住や長期探索への貢献。

7. 今後の課題

- ・一定の光量を与えた場合の、気圧別の成長度合いの測定
- ・他の植物における、気圧別の成長度合いや光屈性の特徴

8. 参考文献

- 橋本博文(2011)極限環境下での植物利用のアストロバイオロジー 日本惑星科学会誌 Vol.20,No2
 山本興太郎(2011)植物の屈光性・オーキシンの作用 バイオメカニズム学会誌 Vol.35,No4
 高橋秀幸 植物は無重力でどうなるの http://www.jaxa.jp/article/special/kibo/takahashi_j.html
 JAXA 宇宙インフレータブル構造の宇宙実証 (SIMPLE)
http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/simple_imp_120921.html
 脇山加奈子 佐藤佑季乃 岩永渚沙 (2014)火星の環境における植物の栽培方法の検討 第22回衛星設計コンテスト

スプラウト（ハツカダイコン）における重力屈性と光屈性のつりあい

1 目的

地球上において、重力と直交するように光を照射し、重力屈性と光屈性がつりあう光の照度の強さを調べる

2 実験使用道具

容器、パラフィルム、寒天、ハツカダイコンの種子(Raphanus sativus)、アルコール、ピンセット、黒いビニール、段ボール、光源、easysense 本体、easysense 光センサー、ストップウォッチ

3 方法

3-1 発芽

- (1)熱湯で殺菌した容器に、お湯で溶いた寒天を入れ、パラフィルムで密閉し冷蔵庫で固める。
- (2)用意したハツカダイコンの種子を水に浸し、5~6時間置く
- (3)固まった寒天培地に、アルコールで消毒したピンセットを使い、同じ数の種子を並べて、暗所で発芽させる。

3-2 重力屈性と光屈性がつりあう光の照度の強さを調べる

- (1)発芽したハツカダイコン（スプラウト）を段ボール箱の中に横倒しに置く。
- (2)ハツカダイコンに対し、穴から入射した光を水平方向に当て、重力と光が直交するようにする。
- (3)15分ごとに写真を撮りそれを4回繰り返す
- (5)実験後、ハツカダイコンの鉛直方向の傾きと照度の関係性を調べる

4 仮説・光屈性のプロセス

1. 鉛直下向きに重力がはたらくため鉛直上向きに重力屈性が生じ、植物は上を向こうとする。
2. 植物に左から光を当てると水平左向きに光屈性が生じ、植物は左を向こうとする。
3. 1と2の屈性が同時かつ同様の強さで働くことで植物は左斜め上45度を向く。この時に、重力屈性と光屈性がつり合っている。

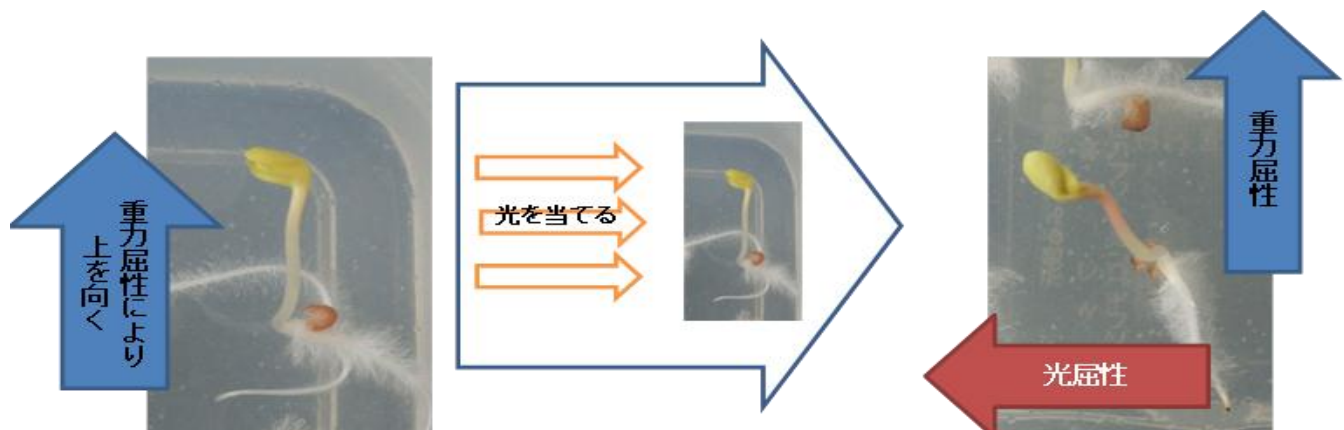


図 1



図 2

5 結果

下の図は 11 回実験を行ったうちの 1 回の図である(図 3)。照度が大きくなるにつれて光屈性が強く表れることが分かった。

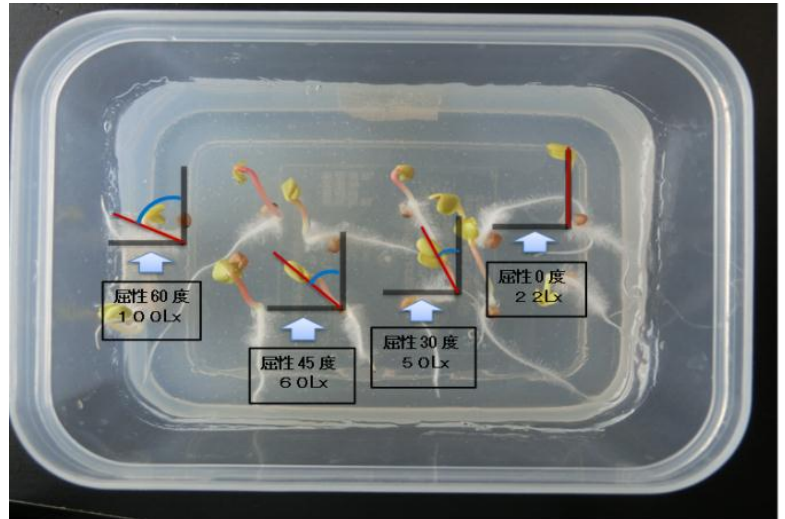


図 3

ハツカダイコンにおいては、75lux 前後で重力屈性と光屈性が同様の強さで現れた。(図 4)

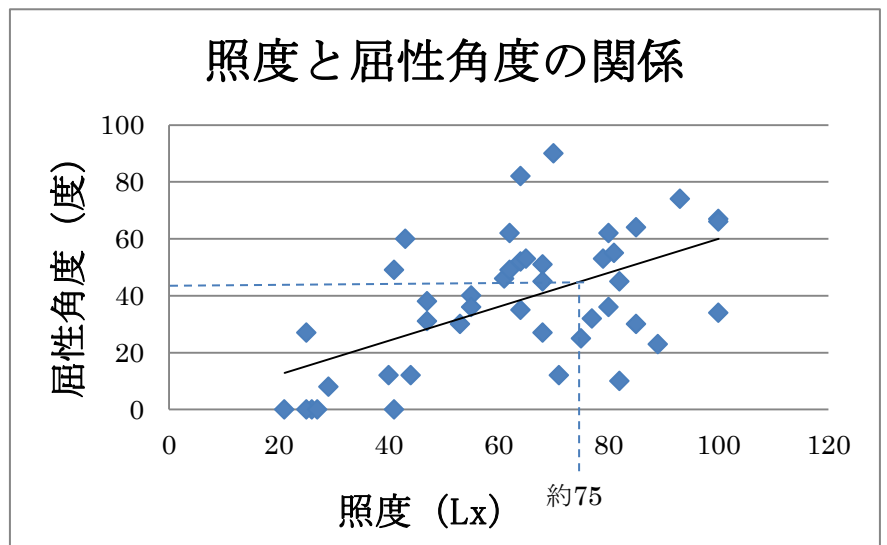


図 4

6 結論

結果より光屈性と重力屈性は約 75lux でつり合うことが分かった。よって無重力下では、約 75lux の光の照度で、1G 時の重力屈性と同様の植物栽培が期待できる。

7 参考文献 (最後にまとめて記載)

1 気圧(100kPa)で発芽させたハツカダイコンの低圧条件下における成長の特性

1. 目的

植物の食用として栽培可能な、最も低い気圧を調べるために、1 気圧下で発芽させたハツカダイコン (スプラウト) を低気圧下で生育し、気圧と茎の長さの関係を探る。

2. 実験使用道具

容器、パラフィルム、寒天、ハツカダイコンの種子(Raphanus sativus)、ピンセット、黒いビニール、真空グローブボックス、デジタルノギス、電子天秤、真空ポンプ

3. 方法

3-1 実験 1

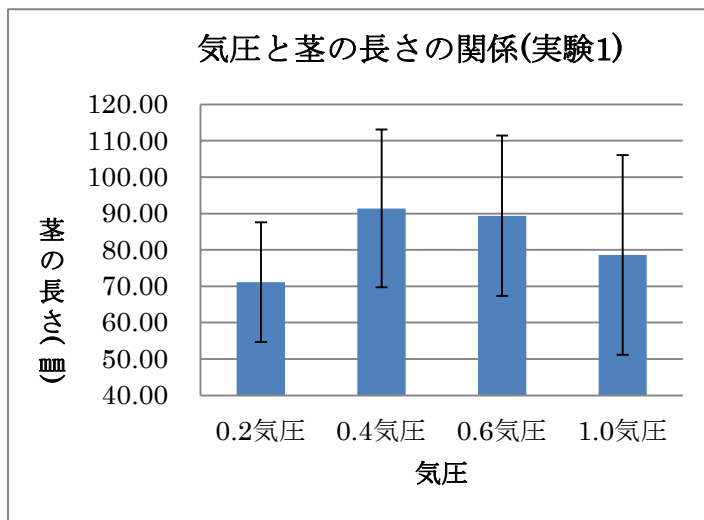
1. 種子を 1 気圧で発芽させる。
2. 発芽したものを真空グローブボックスに入れ、真空ポンプで気圧を下げ、4 日間放置する。(光を当てる)
3. 4 日後、真空グローブボックスから取り出し、取り出したハツカダイコンの質量を容器ごと計る。次に、根が切れないように収穫し、容器の質量を計る。全体の質量と容器の質量との差で総収穫量を求める。
4. ハツカダイコンの茎の長さをデジタルノギスで一本ずつ計る(根の付け根から葉の付け根まで)。

3-1 実験 2

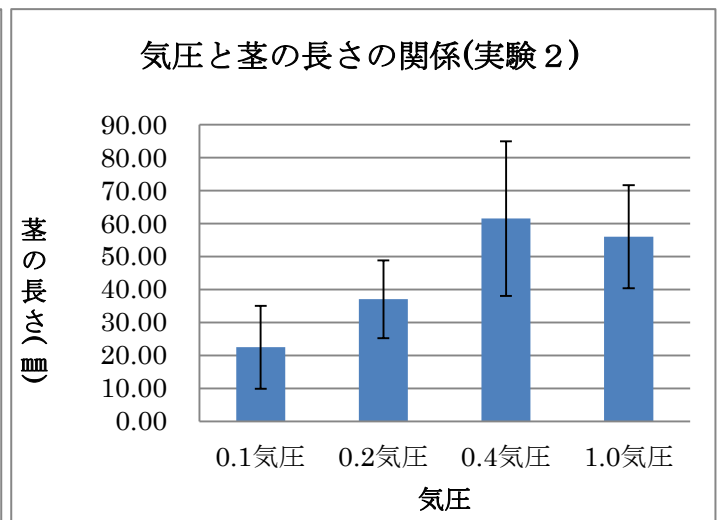
5. 発芽させたハツカダイコンを上記のように処理し、黒いビニールで覆い、同様の計測を行う。(遮光条件)

4. 結果

下のグラフは、真空グローブ内の気圧と茎の長さの関係を表したものである。(図 1) (図 2)



(図 1) 光を当てて生育した結果



(図 2) 遮光して生育した結果

実験 1 0.6 気圧と 1 気圧、0.4 気圧と 1 気圧の茎の長さに有意な差は見られなかった ($p>0.01$)

0.2 気圧と 1 気圧の茎の長さにも有意な差は見られなかった ($p>0.01$)

実験 2 0.4 気圧と 1 気圧の茎の長さに有意な差は見られなかった ($p>0.01$)

5. 結論

脇山 2014 では、スプラウトの発芽から成長までを低圧環境で行った。その結果、0.4 気圧が成長に適した最も低い気圧だとわかった。今回の実験では 1 気圧下で発芽させることで、0.4 気圧と 1 気圧で茎の長さに有意な差は確認できなかった。よって、発芽と成長を分けると、0.4 気圧でも 1 気圧と遜色なく成長することが分かった。また、実験 1 の結果より、0.4 気圧を下回る 0.2 気圧でも成長の可能性が確認できた。

6. 参考文献

橋本博文 (2011) 極限環境下での植物利用のアストロバイオロジー 日本惑星科学会誌 Vol. 20, No2

山本興太郎 (2011) 植物の屈光性・オーキシンの作用 バイオメカニズム学会誌 Vol. 35, No4

高橋秀幸 植物は無重力でどうなるの http://www.jaxa.jp/article/special/kibo/takahashi_j.html

宇宙インフレーター構造の宇宙実証(S I M P L E) http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/simple_imp_120921.html

脇山加奈子 佐藤佑季乃 岩永渚沙 (2014) 火星の環境における植物の栽培方法の検討 第 22 回衛星設計コンテスト