

| | |
|----------|--|
| 氏名 | たけむら かおり 竹村 香里 |
| 学位(専攻分野) | 博士(学術) |
| 学位記番号 | 博甲第846号 |
| 学位授与の日付 | 平成29年9月25日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 |
| 研究科・専攻 | 工芸科学研究科 バイオテクノロジー専攻 |
| 学位論文題目 | 過重力下で栽培したヒメツリガネゴケの光合成能力と形態変化 |
| 審査委員 | (主査)教授 半場祐子 教授 秋野順治 教授 原田繁春 九州大学大学院農学研究院 教授 久米 篤 准教授 北島佐紀人 |

論文内容の要旨

第1章では序論として、研究の背景および目的を述べている。有人宇宙実験施設である国際宇宙ステーションでは、微小重力という宇宙に特有の環境を利用した様々な実験や研究が行われている。植物の重力応答メカニズムを解明するには、微小重力および過重力環境を用いた研究がきわめて有用であり、単純な構造をもつコケ植物は、高等植物と比較して重力変化に対する成長や形態変化が計測しやすいことから、実験材料に適している。さらに、宇宙ステーションで人間が長期滞在するためには、ガス処理機能を持つコンパクトな植物栽培システムの構築が重要課題であるが、コケ植物は小型で容易に栽培できるため、空間容積と使用可能エネルギーが限られる宇宙ステーション内では被子植物より利用しやすいことが期待できる。しかし、重力変化とコケ植物の成長様式の関係は全く明らかになっていない。そこで、本論文では、モデル生物であるヒメツリガネゴケ(*Physcomitrella patens* Bruch & Schimp subsp. *patens*)を実験材料に用いて、地上実験が可能な「過重力」条件下でのコケ植物の成長応答の調査を行い、成長に影響する可能性がある形態変化の観察と光合成速度測定を行い、過重力がコケ植物の成長に及ぼす影響を実証的に評価することを目的にしている。

第2章では、ヒメツリガネゴケの成長に影響を及ぼす重力条件を探るための実験について述べている。本論文で用いられた過重力栽培装置は遠心機を応用したものであり、光を連続して照射しつつヒメツリガネゴケの長期栽培を行うことが可能になっている。このような装置を使った実験はこれまでに行われたことがないため、どの程度の重力変化でヒメツリガネゴケに影響が現れるのかを明らかにする必要がある。実験の結果、少なくとも $2\times g$ 以上で一部の形態に変化が現れることが示されている。

第3章では、本論文で用いている2種類の過重力栽培装置、MIJ-17とMK3についての評価実験を行っている。遠心機を応用した過重力栽培装置は振動の影響が問題となるため、振動の程度を定量化し、さらにその影響を成長計測によって評価した。その結果、振動の程度はMIJ-17とMK3で違いがあったものの、成長に与える影響は同等であることを確認している。

第4章では、 $3\times g$ と $10\times g$ という過重力条件で栽培した、ヒメツリガネゴケの成長と形態について評価している。本章ではまず成長の計測方法および光学顕微鏡や電子顕微鏡を用いた形態観察の方法について説明している。成長に関しては、 $10\times g$ および $3\times g$ ではコントロール条件である $1\times g$ と比較して、茎葉体1個体あたりの伸長が減少していることが示された。さらに、ヒメツリガネゴケのコロニー（シャーレ）あたりの茎葉体数は $10\times g$ 条件で大幅に増加し、その結果、コロニーあたりの乾燥質量は大きく増加していることが示された。また、茎葉体の太さは、頂端部において $10\times g$ で $1\times g$ より太くなる傾向が確認され、過重力に対する抗重力反応の可能性を示唆している。細胞及び葉緑体形態を比較することによって、 $10\times g$ では $1\times g$ よりも表皮細胞の長辺が小さくなり、葉緑体は長辺・短辺が大きくなっていることが示されている。

第5章では、 $3\times g$ と $10\times g$ という過重力条件が光合成に与える影響について評価している。本章ではまず光合成機能を「植物体内における二酸化炭素の透過性（植物体内 CO_2 コンダクタンス）」に基づいて計測するための測定技術および理論的背景を述べている。コケ植物の光合成を評価した研究例は少なく、さらに植物体内 CO_2 コンダクタンスについての研究例は数例に留まっている。本章ではヒメツリガネゴケのコロニーにおける植物体内 CO_2 コンダクタンスを炭素安定同位体法で計測するための測定装置の概略および計測方法について説明している。コロニーあたりの光合成特性を測定・比較した結果、 $10\times g$ 条件下は $1\times g$ と比較して単位面積当たりの光合成速度が高く、植物体内 CO_2 コンダクタンスの上昇が示された。その結果から、過重力による成長や形態の変化は $10\times g$ で特に顕著にみられること、 $10\times g$ でヒメツリガネゴケのコロニーあたりの光合成速度が増加したのは茎葉体数の増加に加えて、過重力環境下で表皮細胞が小さくなり葉緑体が大きくなることで、細胞壁面に接する葉緑体表面積が増大し、大気からの CO_2 の取り込みが促進されたことが影響している可能性が考えられた。

第6章では、本論文で得られたヒメツリガネゴケの過重力応答についての総括と今後の展望について述べている。まず、シロイヌナズナを始めとする高等植物を用いてこれまでに行われてきた重力応答に関する研究では、地球上の重力の数十倍から数百倍という極端な重力環境が用いられていた。しかし、ヒメツリガネゴケでは $10\times g$ というそれよりもはるかに穏やかな重力環境で成長や形態に明瞭な変化が認められることを明らかにしている。 $10\times g$ におけるヒメツリガネゴケの葉緑体の大きさの拡大は、植物の重力応答としては初めて見出されたものであるが、ヒメツリガネゴケにオーキシンを添加したときに得られる結果と類似していた。したがって、今後の展望として、コケ植物の重力応答メカニズムを解明するためには、オーキシンをはじめとする植物ホルモン動態の解析が必要であると締めくくられている。

論文審査の結果の要旨

原始的な植物であるコケ植物の重力に対する光合成や形態の応答を解明することは、植物が進化する過程で獲得してきた重力応答メカニズムの解明につながるという学術面にとどまらず、植物の宇宙生活への利用につながる成果となる。申請者は、コケ植物の重力応答メカニズムの解明

およびコケ植物の宇宙生活利用を目的としたプロジェクトの中で、ヒメツリガネゴケの過重力応答研究のためのデータ取得や解析を中心となって行ってきた。

申請者の研究により、 $10\times g$ という比較的穏やかな重力変化でもヒメツリガネゴケの成長に明瞭な変化が認められ、ヒメツリガネゴケの成長の大幅な促進が初めて示された。これは、これまで被子植物で得られた結果からの予想とは全く異なっており、これまでに知られていない重力応答メカニズムの存在を示唆する大きな意義がある研究成果である。さらに、これまでの植物の重力応答に関する研究ではほとんど焦点が当てられてこなかった光合成に注目し、光合成に関与する形質である「葉緑体のサイズ」や「植物体内の CO_2 コンダクタンス」の評価を行ったところ、 $10\times g$ によって明瞭な葉緑体サイズの拡大やコンダクタンスの上昇が見出された。これも初めて得られた成果であり、学術的な意義はきわめて大きい。

このように、申請者の研究は、植物の重力応答メカニズムの研究において、光合成というこれまで注目されてこなかった観点からヒメツリガネゴケを用いた研究を行い、成長、形態、光合成について初めてとなる知見を得た。この研究は、学術的に意義深いだけでなく、今後、植物を宇宙での生活に利用する上で極めて貴重な知見となると期待される。

本学位論文は、レフェリーシステムのある学術雑誌に掲載された下記2報の学術論文を基礎としている。そのうち1報は申請者が筆頭著者である。また、投稿中の参考論文は申請者が筆頭著者であり、本学位論文の内容と密接に関連している。

【発表論文】

- 1) Hypergravity environment increases chloroplast sizes, photosynthesis and plant growth of the moss *Physcomitrella patens*. Takemura, K., Kamachi, H., Kume, A., Fujita, T., Karahara, I., Hanba, Y. T. (2017). *Journal of Plant Research* **130**: 181-191.
- 2) Comparisons of the effects of vibration of two centrifugal systems on the growth and morphological parameters of the moss *Physcomitrella patens*. Mori, A., Kamachi, H., Karahara, I., Kume, A., Hanba, Y. T., Takemura, K., Fujita, T. (2017). *Biological Sciences in Space* **31**: 9-13.

【参考論文】

- 1) Hypergravity of $10 \times g$ changes plant growth, anatomy, chloroplast size, and photosynthesis in the moss *Physcomitrella patens*. Kaori Takemura, Rina Watanabe, Ryuji Kameishi, Naoya Sakaguchi, Hiroyuki Kamachi, Atsushi Kume, Ichirou Karahara, Yuko T. Hanba, Tomomichi Fujita. *Microgravity Science and Technology* in revision