

過重力植物栽培装置の振動の影響について

森 耀久（富山大）、蒲池浩之（富山大）、唐原一郎（富山大）、久米 篤（九州大）、
半場祐子（京都工繊大）、竹村香里（京都工繊大）、藤田知道（北海道大）

Effects of Vibration on Plant Growth in a Hypergravity Plant Cultivation System

Akihisa Mori¹, Hiroyuki Kamachi^{1*}, Ichirou Karahara¹, Atsushi Kume², Yuko T. Hanba³,
Kaori Takemura³, Tomomichi Fujita⁴

¹ University of Toyama, ² Kyushu University, ³ Kyoto Institute of Technology, ⁴ Hokkaido University
E-Mail: kamachi@sci.u-toyama.ac.jp

Abstract: A hypergravity experiment is useful to understand plant responses to gravity on Earth. We have developed two centrifuges equipped with a lighting system, named MIJ-17 and MK-3, to investigate the effects of long-term cultivation under moderate hypergravity conditions on the growth of the moss *Physcomitrella patens*. In the use of these centrifuges, however, a rigorous 1-G control experiment should be required especially in a long-term experiment, because several factors (vibration, pressure, gas circulation, humidity and temperature) are presumed to change during centrifugation in addition to gravity. The most difficult factor to control is vibration; there is no information available on the vibration generated during centrifugation. In the present work, we described the vibration properties generated by MIJ-17 and MK-3 using a three-axis micro acceleration sensor, and showed that distinct random vibration occurred in MIJ-17, but little in MK-3. We also demonstrated that the vibration in MIJ-17 at 10 G did not affect significantly on the growth and morphological parameters of *P. patens* gametophores, suggesting that the influence of centrifugal vibration may be negligible in experiments to investigate the effects of long-term hypergravity conditions (< 10 G) on the growth of *P. patens* gametophores.

Key words; Centrifuge, Hypergravity, *Physcomitrella patens*, Plant cultivation, Vibration

1. はじめに

植物は、重力の方向だけでなくその大きさも的確に認識し、置かれた重力環境下で形態形成や機械的強度を最適化しながら成長していると考えられている。このような重力応答（抗重力反応）のしくみを理解することは、植物がかつて水中から陸上へと進出した適応過程を理解するのに役立つと同時に、異なった重力環境下での植物の成長を予測する上でも重要であると考えられる。

地上では、重力は非常に安定した環境要因であるため、異なる重力環境下で植物栽培実験を行うことは容易ではない。地上の過重力下での植物栽培実験の多くは遠心力を利用したものであり、そのほとんどは通常の遠心分離機を用いた暗黒下におけるきわめて強い重力刺激を短時間与えることによって得られたものである。このような実験系は、過重力刺激が組織・細胞レベルでの形態や代謝、あるいは細胞内情報伝達系に与える影響の解析には適しているが、長期にわたる個体の成長や器官形成への影響を調べることはできない。そこで我々は、光源を備え、穏やかな過重力環境下 (<10 G) で長期間植物を栽培できる遠心機の開発を目標として、これまで3台の

過重力植物栽培装置を製作してきた（図1）。これらの装置を用いて植物の過重力栽培実験を行ったところ、これまでに知られていない新しい重力応答も見つかり¹⁾²⁾、この装置の有用性が実証されつつある。



図1 過重力植物栽培装置

一方、植物成長の過重力影響実験には、いくつかの考慮すべき栽培環境があり³⁾、厳密な対照実験を行うことは簡単ではない。たとえば、遠心中に発生する振動は、対照実験において揃えることが難しい条件の一つである。しかしながら、植物は振動に対し

て敏感に反応し、その形態や代謝に影響を受けることが知られており、そのため振動については特に配慮する必要がある。そこで本研究では、2台の過重力植物栽培装置 (MIJ-17, MK-3) について、それらの振動特性を解析し、さらにその振動がコケ植物の成長にどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることを目的とした。

2. MIJ-17 と MK-3 における振動特性

小型の3軸加速度センサー (G-MEN, 株式会社スリック) を用いて、MIJ-17 (日本環境計測株式会社) と MK-3 (株式会社松倉) の遠心時における振動の様子を測定した (図2、表1)。MIJ-17 では、はっきりとした不規則な振動が観察され (図2)、10 G での遠心時において、測定値の最大値と最小値は、それぞれ 10.5 G と 9.8 G であった。また、記録された G 値 ($n = 200$) の標準偏差は、回転数が高い方が大きくなっており、すなわち回転数が高いほど振動も大きくなることが示された (表1)。しかしながら、平均 G 値を 100 に正規化して相対的な振動の程度を比較したところ、MIJ-17 では、68 rpm で 1.5 であった標準偏差が、154 rpm で 1.2 となり (表1)、回転数が高い方がむしろ相対的な振動は小さくなることがわかった。一方、MK-3 では、10 G (200 rpm) でさえほとんど振動は見られず、5 G 以下では振動は検出されなかった。

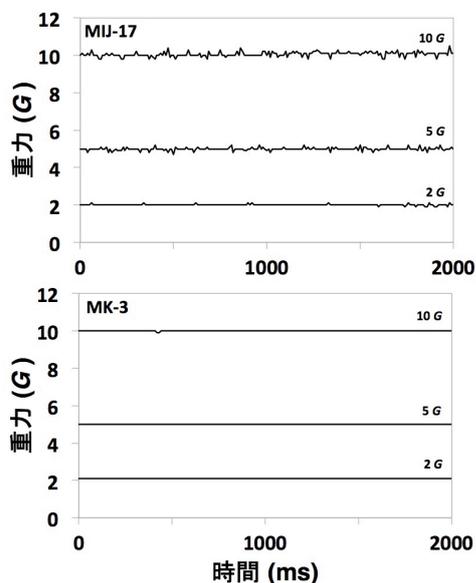


図2 MIJ-17 と MK-3 における遠心時の振動パターン

これはMIJ-17ではダイレクトドライブ方式でローターを回転させているため、低速域ではモーターのトルク不足によるノッキング現象によって駆動力が不安定になり、それが振動の原因になっているものと考えられ、これは開発当初より懸念されていたこ

とであった。一方、MK-3では、ベルトドライブ方式でローターを駆動しているため、低速域でも十分なトルクが得られ、回転が安定しているものと考えられる。

表1. MIJ-17とMK-3の遠心栽培中における重力値の変動

	MIJ-17		MK-3	
	68 rpm*	154 rpm	90 rpm	200 rpm
Mean gravity (G)	2.0 ± 0.029	10 ± 0.12	2.1 ± 0.0	10 ± 0.010
Relative gravity	100 ± 1.5	100 ± 1.2	100 ± 0.0	100 ± 0.10

値は、平均値 ± SD ($n = 200$)
* rpm, revolutions per minute.

3. 遠心の振動がヒメツリガネゴケ茎葉体の成長に及ぼす影響

私たちの研究グループ「スペース・モス」では、コケ植物の特徴に注目し、モデル植物でもあるヒメツリガネゴケを用いた重力応答の研究をすすめている⁴⁾。そこで、本研究では、MIJ-17の過重力実験中に生じる振動がヒメツリガネゴケ茎葉体の成長にどの程度の影響を及ぼすのか、低振動のMK-3で栽培したものとの比較実験を行った。測定項目として、茎葉体 ($n = 34 \sim 36$) における仮根長、シュート長、茎の直径および葉の枚数、およびコロニー ($n = 12$) における乾燥重量と茎葉体の数について比較した。結果は、MIJ-17とMK-3で10 G、4週間成育したコケにおいて、これらの測定項目に有意な差はないことを示していた (Student's *t*-test ($P < 0.05$))。以上の結果から、MIJ-17の遠心時の振動は、ヒメツリガネゴケの形態形成にはほとんど影響しないことが確認できた。

参考文献

- 1) Karahara, I., Ohara, K., Katayama, M., Kume, A., Kamachi, H., Kamisaka, S. Effects of long-term hypergravity treatment on the development of arabidopsis plants. In *10th Asian Microgravity Symposium*, Seoul, South Korea (2014)
- 2) Takemura, K., Kamachi, H., Kume, A., Fujita, T., Karahara, I. and Hanba, Y. T.; A hypergravity environment increases chloroplast size, photosynthesis, and plant growth in the moss *Physcomitrella patens*, *Journal of Plant Research*, 130:181-192 (2017)
- 3) 久米篤、蒲池浩之、唐原一郎、半場祐子、藤田知道; 植物成長の重力影響実験において考慮すべき栽培環境について、*宇宙環境利用シンポジウム (第30回)* (2016)
- 4) 藤田知道、蒲池浩之、唐原一郎、久米篤、坂田洋一、高林厚史、田中歩、長嶋寿江、西山智明、橋本博文、長谷部光泰、半場祐子、日渡佑二、松田修、本村泰三、矢野幸子; コケ植物を用いた宇宙実験に向けて: スペース・モスの活動報告、*宇宙環境利用シンポジウム (第29回)* (2015)