

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

藤田 知道(北大)、蒲池 浩之(富大)、唐原 一郎(富大)、久米 篤(九大)、坂田 洋一(東農大)、高林 厚史(北大)、田中 歩(北大)、長嶋 寿江(東北大)、西山 智明(金大)、橋本 博文(JAXA)、長谷部 光泰(基生研)、半場 祐子(京工繊大)、日渡 祐二(宮城大)、松田 修(九大)、本村 泰三(北大)、矢野 幸子(JAXA)

Toward microgravity experiments in moss: The emerging model land plant, *Physcomitrella patens* on International Space Station and more

Tomomichi Fujita^{1*}, Hiroyuki Kamachi², Ichiro Karahara², Atsushi Kume³, Yoichi Sakata⁴, Atsushi Takabayashi¹, Ayumi Tanaka¹, Hisae Nagashima⁵, Tomoaki Nishiyama⁶, Hirofumi Hashimoto⁷, Mitsuyasu Hasebe⁸, Yuko Hanba⁹, Yuji Hiwatashi¹⁰, Osamu Matsuda², Taizo Motomura¹, Sachiko Yano⁷

¹Hokkaido Univ., ²Toyama Univ., ³Kyushu Univ., ⁴Tokyo Univ. Agric., ⁵Tohoku Univ., ⁶Kanazawa Univ., ⁷JAXA, ⁸NIBB, ⁹Kyoto Inst. Tech., ¹⁰Miyagi Univ.

E-Mail: tfujita@sci.hokudai.ac.jp

Abstract: Mosses are the pioneer plants that colonize first on previously uncolonized land, showing characteristic resistance against extreme environmental stresses. Mosses are tiny plants without roots, requiring only a small area for their growth. Thus, mosses have several advantages toward sustainable human development on the earth and utilization in space.

This proposal will use molecular and systems biology tools in combination with an emerging model plant, the moss *Physcomitrella patens*. The objectives of this project are to better understand the physiology and genetic network under microgravity and distinct electromagnetic field, and to rewire the network to generate a novel 'super moss' that grows even under extreme environmental conditions such as in space.

Key words; Pioneer plant, Mosses, *Physcomitrella patens*, Extreme environmental stresses, International space station

1. はじめに

コケ植物はパイオニア植物であり、地上のあらゆる極限環境に最もよく適応した植物である。またコケ植物は小型であり大量増殖が容易であるため、宇宙ステーションなどごく限られた空間での栽培にも有利な植物である。

私たちの研究グループ「スペース・モス」ではこのようなコケ植物の特徴に着眼し、モデルコケ植物ヒメツリガネゴケを用い、重力場や電磁波の変化に応じた成長や形態、光合成機能等の変化を明らかにし、さらにそれらを裏打ちする遺伝子ネットワークの動態を研究する。そして宇宙環境でもよく育つ植物、スペース・モスの開発に挑み、持続的な人類社会の早期実現を目指す。

2. スペース・モスの意義、ミッション、活動

不毛の地に最初に出現するパイオニア陸上植物は、コケ植物である（一次遷移）。根を持たないコケ植物はラン藻をはじめとしたバクテリア類と共に有機物を蓄え、新しく土壌を作る。こうして漸く時間をかけて土壌に根を張る維管束植物の生存が可能とな

る(1)。このようにコケ植物は地上の土を増やす役目を担っており、荒地緑化には植生遷移の観点からもコケ植物が不可欠である。それにも関わらず、コケ植物が極限環境にどのように適応し成長できるのか、また環境変化に応じてどのように生育状態を変化させるのかについての分子機構は、まだ多くの点でよくわかっていない。

本研究グループを構成する研究者らは、コケ植物が他の植物群には見られない際立った能力を持つことに気づき、その分子メカニズムの解明を目指して研究を進めてきた。生物にとって陸上環境は、強い紫外線、激しい温度変化、著しい浮力の減少などを伴う非常に過酷な環境であり、なかでもコケ植物は、極寒の南極から灼熱の砂丘地帯、温泉地、重金属で汚染された地域になどあらゆる環境に最も適応し生存している植物である。乾燥により細胞水分の90%以上が失われても死ぬことはなく、水が得られれば再び活動を再開する。またひと際高い再生能力を持つコケ植物も多数知られており、水と光さえあれば一部の断片からでも無限に再生・増殖できる能力は

驚異的である。

このようにコケ植物に特筆すべき生存戦略の分子機構を解明するため、相同組換えが容易であり遺伝子機能解析に有利なモデル植物ヒメツリガネゴケ (*Physcomitrella patens*)に着目し研究を進めてきた(2)。この過程でヒメツリガネゴケは、ストレス応答と成長応答が極めて明快であり、両者の応答を遺伝子レベルで迅速に解明できることに気がついた。またヒメツリガネゴケは再生能力が高く、かつ非常に高い乾燥耐性能力も有していることにも気がついた。

近年植物のストレス応答反応と細胞増殖などの成長反応は互いに拮抗していることがわかってきた。したがって、ストレスに強ければ強いほどその成長は阻害される。その究極が種子や胞子であり、何百年もの乾燥に耐えうる能力を持つ一方で、そのままでは土壌を緑にすることはできない。したがって砂漠のような連続悪環境の緑化には、ただ耐えるだけでは不十分であり、このような状況でもよく育ち有機物を蓄積できる植物を開発することが重要である。このような植物を創出するために、ヒメツリガネゴケの明快な応答系に着目し、ストレス応答プログラムと成長プログラムのクロストークを解明し、両者の拮抗的な関係を改変することができれば、ストレス耐性を示しながらも活発に増殖できるヒメツリガネゴケを創出することができ、荒廃地を緑に変えることができると考えつき、研究を進めている。

現在の急激な人口増加、地球環境の悪化は、炭素エネルギーに依存しない植物そのものに委ねた循環型社会の早期実現の必要を迫っており、また人類の宇宙への進出を不可避なものにしている。コケ植物は被子植物に比べて小型で根がなく、省スペースで、容易にかつ大量に培養できる。このことは、地上のみならず宇宙においてもコケ植物は環境維持や有用物質の生産に活用しやすいことを意味している。また国際宇宙ステーションきぼうにおいて、限られた空間における船内実験にも有利な材料となる。

そこで本研究グループは地上におけるヒメツリガネゴケの成長や発生と重力場との関係の解明を目指し、さらにヒメツリガネゴケが宇宙空間でどのように生育し、発生するのかを分子レベルより明らかにすることを目的とし、地上研究を展開している(細胞周期制御、アブシジン酸情報伝達系、光合成、UV-Cなどのストレス耐性、過重力における形態、成長、生理応答など)。さらにこれら地上研究に基づき、近い将来、微小重力環境や宇宙放射線、電磁波などのストレス環境に着目し、きぼう船内実験室(与圧部内)での実験を実施を目指している。そしてこれらの解析結果を統合することにより、さらに宇宙環境下でも生育の旺盛な Neo コケ植物、スペース・モス(space moss)の創出も視野に入れ、宇宙ステーション内での人類の長期滞在の早期実現を目指す。本

研究グループの成果は将来、宇宙の地に土壌を育み、緑の地に変えうる技術への発展(テラフォーミング)も視野に入れ、日本発の革新的な宇宙研究開発技術として世界をリードしていきたい。このようにスペース・モスの活動は、人類の生存域および生存時間の拡大に非常に重要な貢献もできると考えられ、科学的意義、社会的意義がともに高く、国内外に類を見ないものである。

参考文献

- 1) Coe, K., Sparks, J.P., Belnap, J.; Physiological ecology of dryland biocrust mosses, *In* Photosynthesis in bryophytes and early land plants, (eds. Hanson, D.T., Rice, S.K.) 2014. pp. 291-308.
- 2) Cove, D., Bezanilla, M., Harries, P., Quatrano R.; Mosses as model systems for the study of metabolism and development, *Annu. Rev. Plant Biol.* 2006. 57: 497-520.



Fig. 1 ヒメツリガネゴケの茎葉体

(比較的シンプルな茎葉構造をしており、成長や環境応答の分子、細胞レベルから器官、個体レベルでの研究に有利な材料である。植物体のサイズは小さく(高さ5-10mm)、狭い空間での研究にも好適の植物研究材料である。)