

宇宙における植物の生活環

－茎の組織形成に対する長期過重力影響および根系形態可視化の試み－

唐原一郎(富山大・院・理工), 篠筈公隆(富山大・院・理工), 黒金智文(富山大・院・理工), 村本雅樹(富山大・院・理工), 玉置大介(富山大・院・理工), 矢野幸子(JAXA), 谷垣文章(JAXA), 嶋津 徹(JAXA), 笠原春夫(有人宇宙システム), 山内大輔(兵県大・院・生命理学), 上杉健太郎(JASRI), 星野真人(JASRI), 峰雪芳宣(兵県大・院・生命理学), 蒲池浩之(富山大・院・理工), 久米 篤(九大・院・農学), 西内 巧(金沢大・学際科学実験センター), 曾我康一(大阪市立大・院・理), 吉田久美(名大・院・情報科学), 半場祐子(京工織大・応用生物), 藤田知道(北大・院・理), 神阪盛一郎(富山大・院・理工)

Life cycle of plants in space

– Effects of long-term hypergravity on tissue formation in Arabidopsis stem and preliminary morphological analysis of Arabidopsis root system –

Ichirou Karahara¹, Kimitaka Sasaki¹, Tomofumi Kurogane¹, Masaki Muramoto¹, Daisuke Tamaoki¹, Sachiko Yano², Fumiaki Tanigaki², Toru Shimazu^{2,3}, Haruo Kasahara⁴, Daisuke Yamauchi⁵, Kentaro Uesugi⁶, Makoto Hoshino⁶, Yoshinobu Mineyuki⁵, Hiroyuki Kamachi¹, Atsushi Kume⁷, Takumi Nishiuchi⁸, Kouichi Soga⁹, Kumi Yoshida¹⁰, Yuko T. Hanba¹¹, Tomomichi Fujita¹², Seiichiro Kamisaka¹

¹Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama, Gofuku, Toyama, 930-8555 Japan ²Japan Aerospace Exploration Agency, ³Japan Space Forum, ⁴Japan Manned Space Systems Corporation, ⁵University of Hyogo, ⁶Japan Synchrotron Radiation Research Institute, ⁷Kyushu University, ⁸Kanazawa University, ⁹Osaka City University, ¹⁰Nagoya University, ¹¹Kyoto Institute of Technology, ¹²Hokkaido University

E-Mail: karahara@sci.u-toyama.ac.jp

Abstract: Plant cultivation is essential to secure a stable food supply in a long-term manned space exploration as a component of bio-regenerative life support system. It is necessary to clarify effects of different gravity conditions on the life cycle of plants that have evolved on earth, because effects of different gravity conditions on every process of life cycle of plants are still largely unknown. In this year we have examined effects of long-term hypergravity on tissue formation in Arabidopsis stem and tried preliminary morphological analysis of Arabidopsis root system using X-ray microCT.

Key words; Life cycle, Arabidopsis, Stem tissues, Plant, Hypergravity, Root system, X-ray microCT

1. はじめに

地球上の植物は4.7億年前に水中から陸上というニッチに進出した。その際、浮力がなくなったため、自らの地上部の重みを支えるため、植物はリグニン合成能力を獲得し、体に機械的強度を与える支持組織を発達させたと考えられる。重力は植物の生活環を通じて常に影響を及ぼすが、全生活環の観点から見ると、植物の生理機能に重力が与える影響について明らかになっていることは、まだ一部に過ぎない。

植物栽培は、宇宙進出において、長期の有人宇宙活動を支える生物再生生命維持システムの一部としてのみならず、様々な局面で必須である。従って、地球とは異なる重力環境下において、地球の植物を継代栽培していくための条件を整え、またそのような環境に適した植物を選抜・開発していくことも必要である。そしてこのことは、

地球上の環境変動に強い作物種の開発にもつながるかもしれない。また、植物の生理機能が地球の重力にどのように対応してきたかを明らかにすることは、陸上植物の進化を探り、植物から未知の機能を引き出す、あるいは機能強化に結びつけることにもつながる^{1) 2)}。これらを念頭におき、筆者らは宇宙環境利用専門委員会コミュニティーにおいて「宇宙における植物の生活環」の活動を継続している。本年度は、次の項目について研究を行った。

2. 茎の組織形成に対する長期過重力影響

陸上植物は重力の大きさの変化に対する抗重力反応として、地上部を力学的に支持するための茎組織を発達させたと考えられる。このことを検証するため、私達はシロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana*)

(L.) Heynh.) Col-0 株を用いて、地上で遠心機を用いて抽だい時からの 10 日間を 10 G の過重力環境下で生育させた試料³⁾、および微小重力 (μG) 環境下でより長期間の 33 日間生育させた試料⁴⁾の解析を行った。その結果、長期間のこれらの異なる重力環境下では短期間では見られなかった、髄腔や繊維形成に対する重力の影響が観察されることを明らかにした。そこで本研究では、地上において、より長期間の過重力環境下で生育させた試料を用い、過重力環境がシロイヌナズナの花序柄の内部組織形態に与える影響を調べた。現時点では調査試料数がやや少なく予備的であるが傾向は見てきたので、その結果を報告する。

1 G または 3 G 環境下で 45 日間栽培された花序柄の先端部および基部の節間を切り出し、固定と包埋を行い、横断切片を作製した。切片を観察し、横断面全体と各組織の面積を調べた。その結果、3 G 区の基部では、横断面全体、表皮、篩部、形成層、木部、髄腔の横断面積が、1 G 区と比べ有意に増加していた。また、先端部の各組織では増加傾向が見られた。先端部での横断面積の増加割合は 10 G 実験区での増加ほどでなく、重力加速度の大きさの違いを反映していると考えられる。組織横断面積の増加に細胞数の増加が伴うのか否かについては今後の課題である。また、3 G 区では髄腔の形成が抑制傾向であったが、先行研究での μG 区では促進傾向であり、重力が髄腔形成を抑制する可能性が示された。現在、茎の組織に与える重力の影響について多変量解析を試みている。

3. X-ray microCT を用いたシロイヌナズナ根系形態可視化の試み

個根の総体としての根系形態は、植物の収量に大きく影響する。そのため、地球と異なる重力場が根系形態に与える影響を解析することは、宇宙基地での植物栽培の最適化に必須である。個根に対する重力の影響は、主根の重力屈性をはじめとして解析が進んでいるが、根系レベルでの形態解析は進んでいない。根系全体の形態を可視化するためには、リゾトロン等を用いた二次元的な根系の解析が広く行われてきた。一方、まだ方法論確立の域を出ないものの X 線 CT 等による三次元的な可視化も試みられている。筆者らは、国際宇宙ステーションにおいて栽培された植物体の、ロックウール中で発達した根系形態の解析を進めている。シロイヌナズナの根は一般的な作物と比べて細いため、繊維構造をとるロックウールと識別するためには、従来法よりも高い解像度での可視化が必要と判断された。そこでシンクロトロン放射光を用いた屈折コントラスト法での X 線マイクロ CT により、ロックウール中で生長させたシロイヌナズナの根系全体の可視化を試みた。シロイ

ヌナズナの種子をロックウール培地の表面に播種し、46 日間栽培した後、地上部とともに根系をロックウール培地ごと乾燥させた。大型放射光施設 SPring-8 の BL20B2 ビームラインにおいて、25 keV の X 線を用いて実効ピクセルサイズ 25.5 μm の投影像を取得し、トモグラムを再構成した。トモグラムと、それをもとに描いた等値面のサーフェイスモデルを併用しながら、根系をトレースした。その結果、解像度は低いものの、根系の像が確認され、主根の基部側から根系をトレースできることがわかってきた。

3. 今後の展望

生殖生長に対する影響評価も含め、地上では長期の過重力栽培実験を進めている。今後も、これらを発展させた宇宙実験として、引き続き「きぼう」利用フィジビリティスタディ等に応募していく。

4. 謝辞

本研究は、科研費 (24620003, 15K11914) の助成を受けたものである。JASRI 利用課題 2014A1265, 2014B1225, 2015B1556, 2016A1390, 2017B1225 で行った。

参考文献

- 1) 唐原一郎, 玉置大介, 久米篤, 蒲池浩之 植物栽培における重力環境制御の試み. *アグリバイオ*, **1**, 76-79 (2017).
- 2) 唐原一郎, 玉置大介, 久米篤, 蒲池浩之, 半場祐子, 藤田知道 植物栽培における重力環境制御の基礎. *アグリバイオ*, **1**, 1172-1175 (2017).
- 3) 篠原弘徳, 唐原一郎, 村本雅樹, 玉置大介, 久米篤, 井上 弘, 神阪盛一郎; 長期間の過重力環境がシロイヌナズナの花茎における組織形態に与える影響, 日本宇宙生物科学会第 28 回大会, 大阪府立大学(中百舌鳥キャンパス), (2014).
- 4) 唐原一郎, 村本雅樹, 筋師洵也, 玉置大介, 矢野幸子, 谷垣文章, 嶋津徹, 笠原春夫, 笠原宏一, 山内大輔, 上杉健太郎, 星野真人, 竹内晃久, 鈴木芳生, 峰雪芳宣, 蒲池浩之, 西内巧, 久米篤, 曾我康一, 吉田久美, 半場祐子, 神阪盛一郎; 宇宙における植物の生活環 -微小重力環境下におけるシロイヌナズナ花序柄の支持組織形成-, 第 31 回宇宙環境利用シンポジウム, 相模原, SA6000061023 (2017).