

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—

唐原一郎（富山大・院・理工），村本雅樹（富山大・院・理工），筋師洵也（富山大・理），玉置大介（富山大・院・理工），矢野幸子（JAXA），谷垣文章（JAXA），嶋津 徹（JAXA/JSF），笠原春夫（有人宇宙システム），笠原宏一（東海大・生物），山内大輔（兵県大・院・生命理学），上杉健太郎（JASRI），星野真人（JASRI），竹内晃久（JASRI），鈴木芳生（JASRI），峰雪芳宣（兵県大・院・生命理学），蒲池浩之（富山大・院・理工），西内 巧（金沢大・学際科学実験センター），久米 篤（九大・院・農学），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），神阪盛一郎（富山大・院・理工）

Life cycle of plants in space

—Effects of microgravity on supporting tissue development in the peduncle of Arabidopsis—

Ichirou Karahara¹, Masaki Muramoto¹, Shunya Sujishi², Daisuke Tamaoki¹, Sachiko Yano³, Fumiaki Tanigaki³, Toru Shimazu^{3,4}, Haruo Kasahara⁵, Hirokazu Kasahara⁶, Daisuke Yamauchi⁷, Kentaro Uesugi⁸, Makoto Hoshino⁸, Akihisa Takeuchi⁸, Yoshio Suzuki⁸, Yoshinobu Mineyuki⁷, Hiroyuki Kamachi¹, Takumi Nishiuchi⁹, Atsushi Kume¹⁰, Kouichi Soga¹¹, Kumi Yoshida¹², Seiichiro Kamisaka¹

¹Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama, Gofuku, Toyama, 930-8555 Japan

²Faculty of Science, University of Toyama, ³Japan Aerospace Exploration Agency, ⁴Japan Space Forum, ⁵Japan Manned Space Systems Corporation, ⁶Tokai University, ⁷University of Hyogo,

⁸Japan Synchrotron Radiation Research Institute, ⁹Kanazawa University, ¹⁰Kyushu University,

¹¹Osaka City University, ¹²Nagoya University

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

Abstract: Developing a successive plant-cultivation system is crucial 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 altered gravity on the life cycle of plants because effects of space environment, including microgravity, on various processes of life cycle of plants are still largely unknown. Anatomical observation of supporting tissues of Arabidopsis peduncles obtained in the “Space Seed” experiment was performed in order to understand roles of gravity in the development of such tissues. In this experiment, plants were grown under either ground 1 G, artificial 1 G on orbit, or microgravity and harvested. Segments were excised from the peduncle of plants grown for 33 days, and fixed and embedded in resin. Morphological characteristics of the tissues composing peduncle were examined in cross sections. Additionally, X-ray microCT was performed using the basal part of the peduncle of plants, which had been grown for 62 days to complete their life cycle under each condition.

Key words: Space experiment, Life cycle, Arabidopsis, Supporting tissues, Plant, Microgravity

1. はじめに

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、浮力による支持がなくなったため、自らの体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と推測される。

植物栽培は、人類の宇宙進出において、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、また建築資材の生産などの様々な局面で必須で

ある。そして、月面・火星を始めとする宇宙基地での、地球とは異なる重力環境下において、地球の作物を継代栽培していくための条件を整えるとともに、こ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須の課題である。そしてこのことは、同時に、地球上における環境変動にも強い作物品種の作出にもつながる。また、植物の生理機能が地球の重力にどのように適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るためのみならず、植物から未知の機能を引き出し、その機能強化に結びつけることができる可能性も秘める。そこで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、これらの課題

解決を目指している。本年度は、次の項目について研究を行った。

2. 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

陸上植物の茎では、地上部を力学的に支持することに寄与すると考えられる、管状要素、導管要素や繊維が発達する。これらの構造の発達に与える重力の影響を調べた筆者らの先行研究は、シロイヌナズナを24 hの300 G、または10日間の10 Gという過重力処理すると、花序柄において一次後生木部要素の数と横断面積が増加することを明らかにした^{1, 2)}。他方、宇宙で発芽し生育させた5日齢のダイズ芽生えのシュートにおいて、一次木部の形態は地上対照区と比べた場合、明確な差は見られないことが報告されているが³⁾、地上対照区との比較によるものであり、更なる検証が待たれていた。

本研究では、国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」における“Space Seed”実験で栽培した、シロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.) Col-0 株の解剖学的解析を行った。微小重力区 (μG 区)、宇宙1 G区、地上1 G区の試料を観察に用いた。33日間栽培され軌道上で固定された試料からは、花序柄の基部及び先端部に近い部分を切り出し、樹脂に包埋し、作製した横断切片を観察し、花序柄の横断面全体と各組織の面積・細胞数を調べた。地上1 G区では解析できた試料数が少なかつたため、主に μG 区と宇宙1 G区の間で比較した。62日間栽培され生活環を終え乾燥した試料は、花序柄の基部切片をX線マイクロCTにより解析した。その結果、花序柄の横断面積および全細胞数は、基部では有意差は見られなかったが先端部において、 μG 区では宇宙1 G区と比べ有意に減少した。組織別に比べると、表皮、篩部、形成層、髓の横断面積および細胞数は、 μG 区で宇宙1 G区と比べ有意に減少していた。支持組織である木部については、宇宙1 G区と比べ μG 区では、有意ではないものの減少傾向が見られ、他の組織と同じ傾向を示した。しかし維管束間繊維については、宇宙1 G区と比べ μG 区では、有意ではないものの、逆に、増加傾向が見られた。 μG 下で花序柄の成長が促進されたことや、花序柄の straightening における繊維の役割も考慮すると興味深い。また基部において、 μG 区では宇宙1 G区と比べ髓腔の発達傾向が見られたことから⁴⁾、根圏も含めて植物体を取り巻くガス環境変化が関わる可能性も考慮する必要があるかもしれない。

3. 今後の展望

支持組織に関しては二次生長も含めた影響評価が今後の課題である。加えて、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予定である。

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 で行った。

参考文献

- 1) Nakabayashi, I., Karahara, I., Tamaoki, D., Masuda, K., Wakasugi, T., Yamada, K., Soga, K., Hoson, T., Kamisaka, S. Hypergravity stimulus enhances primary xylem development and decreases mechanical properties of secondary cell walls in inflorescence stems of *Arabidopsis thaliana*. *Ann Bot (Lond)*, **97**, 1083-1090 (2006).
- 2) Karahara, I., Shinohara, H., Yamaguchi, T., Tamaoki, D., Kume, A., Inoue, H., Kamisaka, S. Effects of long-term hypergravity treatment on the development of inflorescence stems of *Arabidopsis*. *The 40th COSPAR Scientific Assembly F1.1-0016-0014*, Moscow, Russia (2014).
- 3) De Micco, V., Aronne, G., Joseleau, J. P., Ruel, K. Xylem development and cell wall changes of soybean seedlings grown in space. *Ann Bot (Lond)*, **101**, 661-669 (2008).
- 4) Karahara, I., Muramoto, M., Sujishi, S., Tamaoki, D., Yano, S., Tanigaki, F., Shimazu, T., Kasahara, H., Kasahara, H., Yamauchi, D., Uesugi, K., Hoshino, M., Takeuchi, A., Suzuki, Y., Mineyuki, Y., Kamisaka, S. Effects of microgravity on the development of supporting tissues in the peduncle of *Arabidopsis*. *The 11th Asian Microgravity Symposium (AMS2016)*, 27SPI-4, Sapporo (2016).