宇宙微小重力・高放射線環境ストレスに対する植物の応答解析に関する宇宙実験の準備状況

日出間　純（東北大・院・生命科学）

Combined effects of microgravity and simulated solar UV radiation on plant in space

*Jun Hidema**
*Graduate School of Life Sciences, Tohoku Univ., Sendai, Miyagi 980-8577
E-Mail: j-hidema@ige.tohoku.ac.jp

Abstract: In order to establish sustainable life support systems for securing the long term human life with plant functions in space, we have to develop the fundamental research on elucidating physiological and ecological influences of space environment on plants. However, space environment is not only microgravity but also higher energy radiation, including UV and space radiation, condition. It is necessary to understand gravitational and space radiation including UV radiation effects on plant at molecular, cellular and individual levels through the space experiments or grand experiments using 3D clinostat etc. Such experiments clarify direct and/or indirect gravity effects on vegetative and reproductive growth and new evidences of antigravity reactions, and possibly find not only novel biological knowledge such as molecular mechanisms in gravity reactions, but also novel growth control in crop production on earth. In addition, experiments with including space specific radiation environment will elucidate combined influences of low gravity and high level visible, ultraviolet and space radiations on plant growth and regeneration in a whole growth stage. Now, we are planning to carry out space experiment at ISS in order to clarify the combined effects of microgravity and UV radiation on plant growth. Here, we report the preparation status of our space experiments.

Key words; Space experiment, Plant, Microgravity and UV radiation, International Space Station (ISS)

1. はじめに

今日、人類は宇宙という環境へと活動の場を広げつつある。人類の宇宙における長期活動には、全ての生命の源ともいえる植物（作物）の宇宙環境における安定かつ効率的な光合成機能を発揮できる植物育成技術の基盤研究が必要不可　欠であるとともに、急務な課題である。しかし、宇宙は地球とは異なり、微小重力環境に加え、高強度の紫外線・放射線という特殊な環境である。宇宙紫外線・放射線環境は、動物のみならず全ての生物に変異誘発、オルガネラ障害、細胞死誘発といった様々な障害の誘発頻度を上昇させる可能性が地上実験の結果から想定されている。しかしながら、これまでの研究では、動物を対象に精力的に実施されている“重力ストレス”という観点からの分子、細胞、生理学的解析、さらには、宇宙環境で重力環境と同様に重視すべき環境である高強度の紫外線・放射線環境、そして高強度の紫外線・放射線と微小重力の複合環境が植物の生育に及ぼす影響という、植物を対象とした研究は国内外を通して実施されていない。重力ストレス、微小重力環境下における高強度の紫外線・放射線による障害、そしてその修復に関する基礎データの蓄積は急務な課題と言える。

これまでに我々は、非電離放射線である太陽有害紫外線（UVB: 280-320 nm）による植物の障害、ならびにその修復・耐性機構に関する一連の解析を、分子、細胞、個体レベルで解析を行ってきた。これまでに、紫外線 UVB による植物の生育障害は、線量の高低によって異なるが、主には①紫外線による直接的なDNA損傷（ピリミジン二量体の生成）[1-3]、および②活性酸素誘発によるオルガネラ障害に起因することを示してきた [4-6]。そしてこれらの障害に対する修復機構として、DNA 修復酵素（CPD 光回復酵素）、また障害オルガネラ除去に関わるオートファジー機能の重要性を報告してきた [2, 5]。

さらに我々は、紫外線光を含む地球外環境での太陽光を模擬した LED 光源ユニットを作製し（H29-30フロントローディング研究ISASからの支援）、本ユニットを 3D クリノスタットに搭載し、疑似微小重力条件が植物（シロイヌナズナ、ゼニゴケ）の紫外線 UVB 障害に及ぼす影響を解析した。その結果、疑似微小重力環境では1*G* 環境と比較して、UVB による葉緑体障害には大きな影響を及ぼさないものの、ミトコンドリアの断片化が明らかに促進され、結果とし

This document is provided by JAXA.

て細胞死が誘導されて UVB 感受性が高くなることを見出した。近年実施された宇宙実験、MyoLab（PI: 二川健）では、ラット筋細胞を材料に微小重力環境での筋萎縮に関する研究が実施され、微小重力環境で培養された筋細胞では、ミトコンドリアの挙動の変化（断片化）が観察されている。現時点では、この変化は微小重力による酸化ストレスに由来するものと考察している(http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/first/myolab/seika.html)。したがって、微小重力、および高放射線（含紫外線）といった宇宙環境は、植物にとっても高ストレス環境であり、宇宙では両ストレスが相加的または相乗的に働きストレス生育障害を引き起こしている可能性が考えられた。そこで我々は、これらの可能性に関して、宇宙環境を利用して分子、細胞、個体レベルで検証することを目的に宇宙実験を立案し、2018 年度フィージビリティスタディに応募・採択（課題名「宇宙微小重力・高放射線環境ストレスに対する植物の応答解析」）された。現在、JAXA の支援の下、FS 課題を遂行するための準備を行っている。本項では、現在までの準備状況を報告する。

2. UVB-LED 装着植物培養器の開発

宇宙実験を実施するための植物培養器は、昨年度の H29-30 フロントローディング研究 ISAS からの支援により、既存の PEU に搭載可能な植物培養器で、これまでに神坂らにより実施された Space Seeds 実験で用いられた植物培養器に UVB-LED を装着した培養器を、千代田化工建設、および AES に協力いただき、作製した（Fig. 1）。本装置では、単三乾電池 2 本を使用して、3 時間、UVB-LED を 20 W/m^2 の強度で照射することが可能である。また、本装置の特徴としては、UVB-LED を 5 cm 角容器の上方隅に設置することで、栽培されている植物への照射強度はグラデーションがかかり、異なる照射強度での照射が可能な UVB-LED 光源装着植物培養器となっている。しかし、具体的な宇宙実験の計画を練る過程で、限られた宇宙実験の機会で、信頼性の高いデータを取得し、的確に微小重力と紫外線の複合ストレス影響を評価するためには、同じ UVB 強度処理のサンプル数を増やすことが望ましいと判断した。そこで、既に作製した UVB-LED 装着植物培養器に更なる改良を加え、UVB パネルを上面中央に設置し、床面（栽培面）での UVB 強度を均一に照射できる装置の開発を現在行っている。

3. 実験概要

UVB-LED パネルを装着した植物培養器にて、シロイヌナズナ（野生型 wild-type とオートファジー欠失シロイヌナズナ変異体）を、CBEF 内の 1G 区と μG 区で培養する。その後、適切な時期に UVB を短時間照射し、一過的な UVB 障害を引き起こす。UVB 照射後、経時的にサンプリングを実施する。サンプリングした植物体（地上部・）は、蛍光顕微鏡、電子顕微鏡観察による細胞内のオルガネラ挙動・動態を解析、および網羅的な遺伝子発現解析のため、地上に回収しこれらの解析を実施する予定である。そして、UVB にオルガネラ（ミトコンドリア、葉緑体）障害とその修復に微小重力環境がどのような影響を及ぼすかを調査する。

現在、開発した UVB-LED 装着植物培養器は 3D クリノスタットにも搭載可能で、本装置を用いて、宇宙実験を想定した地上での予備解析を実施している。

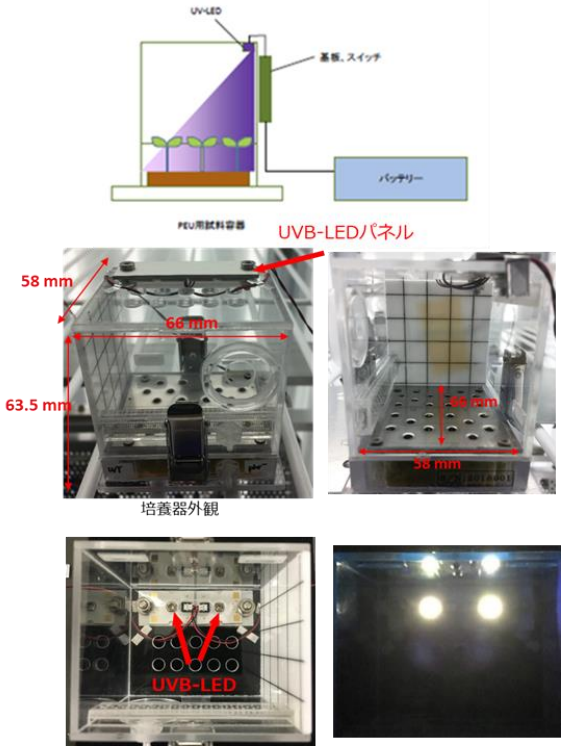


Fig.1 ISS 内の PEU に搭載可能な、UVB-LED 装着植物培養器の概略と作製した植物培養器の外観

謝辞

本研究は、H29-30 フロントローディング研究（ISAS）、2018 年度フィージビリティスタディ（JAXA）、および新学術領域研究「宇宙に生きる」（科学研究費補助金・JSPS・15H05945）のサポートにより実施された。また、本研究を進めるにあたり、JAXA（鈴木智美氏、笠原春夫氏）、日本宇宙フォーラム（嶋津徹氏、永井正恵氏）、および AES（鎌田源司氏）の協力の下実施されている。

参考文献

1) Hidema J, Kumagai T, and Sutherland BM. UV-sensitive Norin 1 rice contains defective

This document is provided by JAXA.

cyclobutane pyrimidine dimer photolyase. *Plant Cell* 12: 1569-1578. (2000).

2) Hidema J. Taguchi T. Ono T. Teranishi M. Yamamoto T. and Kumagai T. Increase in CPD photolyase activity functions effectively for preventing ultraviolet-B-caused growth inhibition in rice plant. *Plant J.* 50: 70-79. (2007).
3) Takahashi S, Teranishi M, Izumi M, Takahashi M, Takahashi F, Hidema J. Transport of rice cyclobutane pyrimidine dimer (CPD) photolyase into mitochondria relies on a targeting sequence located in its C-terminal internal region. ***Plant J.*** 79: 951-963. (2007)
4) Takahashi M, Teranishi M, Ishida H, Kawasaki J, Takeuchi A, Yamaya T, Watanabe M, Makino A, and Hidema J. CPD photolyase repairs ultraviolet-B-induced CPDs in all DNA-containing organelles in rice. *Plant J.* 66: 433-442. (2011).
5) Izumi M, Ishida H, Nakamura S and Hidema J. Entire photodamaged chloroplasts are transported to the central vacuole by autophagy. ***Plant Cell***, 29: 377-394. (2017).
6) Nakamura S, Hidema J, Sakamoto W, Ishida H, Izumi M. Selective elimination of membrane-damaged chloroplasts via Microautophagy. *Plant Physiology* 177: 1007-1026. (2018).

This document is provided by JAXA.