

# 宇宙環境に対する植物反応解明のための実験系構築—植物栽培試験装置の開発—

北宅善昭、平井宏昭、徳田綾也子（大阪府立大学）、矢野幸子、橋本博文（JAXA）

## Establishment of experimental system for clarifying plant responses to space environment - Development of experimental plant culture system

Yoshiaki Kitaya\*, Hiroaki Hirai\*, Ayako Tokuda\*, Sachiko Yano\*\*, Hirofumi Hashimoto\*\*\*

\* Osaka Prefecture University, Gakuen-cho, Sakai, Osaka 599-8531

\*\* JAXA, Sengen 2-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8505

\*\*\*ISAS/JAXA, Sagami-hara, Kanagawa 252-5210

E-Mail: kitaya@envi.osakafu-u.ac.jp

Abstract: Parabolic airplane flight experiments were conducted as a fundamental study to develop the experimental system to investigate effects of space environment on vegetative and reproductive growth of plants in their life cycles. Sap flow in plant stems plays an important role to transport water and nutrients internally from roots to leaves. In this study, the sap flow in sweetpotato stems was assessed using a simple heat flow method at low gravity levels in order to estimate the effect of low gravity on the water transportation in plants and through leaves to the atmosphere. In addition, control and monitoring systems of a prototype plant culture chamber were examined.

Key words; Gravity, Plant culture chamber, Parabolic airplane flights

### 1. はじめに

数世代にわたる植物の生活環と遺伝的変異に及ぼす宇宙環境の影響解明は、宇宙生物学に資する情報であると同時に、植物を中心とした生命維持システムや宇宙農場システムの構築に不可欠な生物学的情報として重要である。宇宙環境が植物の成長に及ぼす影響を植物の生活環を通して解明する実験を科学的に遂行するためには、長期間にわたる成長過程を健全に進行させる必要がある。そのためには、精密な環境管理の下で植物を育成し、全生育ステージにおけるガス・熱交換、乾物生産、形態形成などを個体あるいは組織レベルでモニタリングできる植物栽培・モニタリング装置が必要となる。

ここでは、その装置開発にあたって、低重力下で

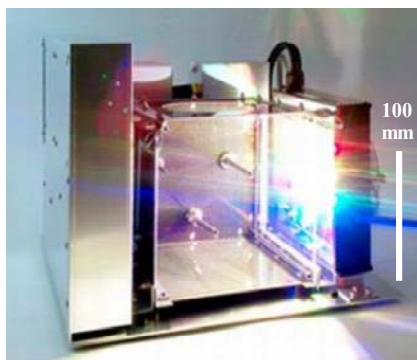


図1. 宇宙用植物栽培実験装置の試作機

生じ得るモニタリング・制御技術の問題点を探索するとともに、植物体内および葉面での水輸送に及ぼす低重力場の影響を解明するこ

とを目的に、航空機放物線飛行実験により試作植物栽培実験装置（図1）を用いて、低重力場での植物体内での根から葉、さらには大気に向かう蒸散流について検討するとともに、放物線飛行中の環境制御や植物情報モニタリングの動作確認を行った。

### 2. 茎内蒸散流に及ぼす低重力の影響

植物材料のサツマイモは、植物育成室内で約1ヶ月間、ロックウール培地を用いて養液栽培した。

茎内の水の移動に及ぼす低重力の影響を調べるため、微小ヒータで加熱された茎の表面を熱画像カメラを用いて連続撮影した。茎内を通る水の動きについては、茎表面温度分布画像を用いて、微小ヒータで加熱された部位周辺の水の流れに伴う熱伝達の状況から解析した。

航空機搭載用実験システムは、主にロックウール培地に固定した植物体、茎加熱用の微小ヒータ、デジタルビデオカメラ、熱画像カメラ、照明装置、データロガーから構成される。その他、環境計測装置として、気温、湿度、気流速の計測器を取り付けた。実験期間中、機内の温度は約20–25°C、気圧は約0.9 atm、葉近傍の風速は約0.5 m s<sup>-1</sup>であった。

図2に示す仮説のように、植物の茎内や培地内の水の流れによって、微小ヒータにより加えられた熱

の伝達が促進され、加熱部近傍の温度分布が変形する。系内の水の流れが促進される場合には、水の流れに伴う熱の伝達が促進される。放物線飛行中において茎の表面温度をモニターすることにより、茎の道管を通る水の流れで熱が移動する状況から、水の流れを定性的に解析した。

その結果、攪拌ファンによる強制気流（植物近傍の気流速度  $0.5 \text{ m s}^{-1}$ ）がある場合、微小重力下（ $0.01 \text{ g}$ ）と地上重力（ $1.0 \text{ g}$ ）下での茎における温度差の分布（図 3）は、図 2 の仮説と同様の変化を示し、微小重力下では茎内蒸散流が促進された。また茎内蒸散流の促進は、重力の低下に伴い顕著になった（図 4）。

これまでの航空機実験で明らかにしてきたように、強制気流がない場合（植物近傍の気流速度  $0.1 \text{ m s}^{-1}$  以下）、低重力は葉での蒸散を抑制し（Hirai and Kitaya, 2009）、茎内の蒸散流を抑制する。しかし今回の実験により、強制気流があり葉での蒸散が促進される場合には、低重力下での鉛直上向きの茎蒸散流が促進されることが確認できた。このことは、強制気流により葉での蒸散が維持され、根の吸水が維持される条件では、低重力は、上向きの蒸散流に対して抑制的に働く重力の影響を除去するため、茎内の水の流れを促進したと考えられる。このメカニズムについては、今後の検討課題である。

### 3. 微小重量下での試作植物栽培実験装置における環境制御・植物情報モニタリングの確認

以下の項目について、動作確認を行った。

- (1) 植物育成用チャンバー内の気温制御
- (2) 葉での光合成、蒸散機能の指標となる気孔開度指数（北宅ら、2015）のモニタリング
- (3) 植物育成チャンバー内外の  $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  濃度差計測による植物ガス交換のモニタリング

その結果、(1) について低重力下でも植物育成用チャンバー内の気温は設定値に維持できた。(2) の重力変動に伴う気孔開度指数については、重力には影響されなかった。このことから、この気孔開度指数は、宇宙の低重力環境でも、植物のガス交換（光合成・蒸散）活性をモニタリングできることが確認できた。また (3) についても動作確認ができた。

### 4. 終わりに

今回の実験では、宇宙の低重力下における植物栽培では、根での吸水、根から葉に向かう水移動を促進して健全な植物を育成するためには、強制気流が重要であることを再確認した。また試作植物栽培実験装置は、宇宙の低重力下でも動作することが期待できる。

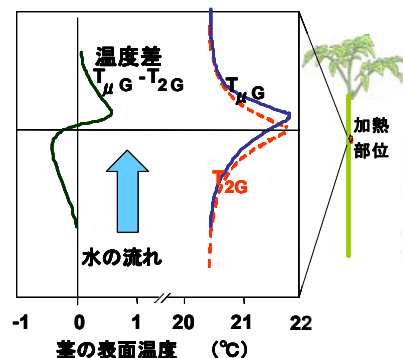


図2. 茎蒸散流の挙動に伴う茎表面温度分布の変化

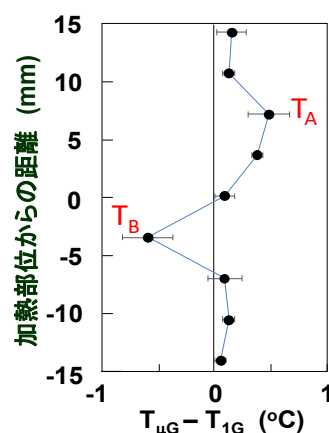


図3. 加熱部位周辺における低重力(0.01 g)下と1 g下での茎表面温度の差の分布平均±標準偏差(n=5)

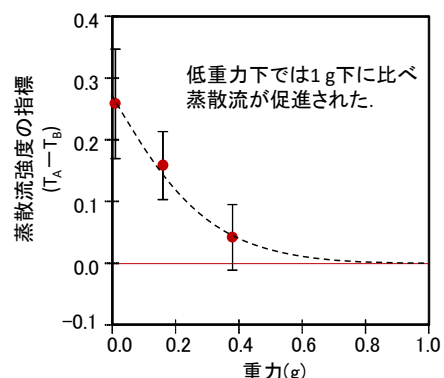


図4. 低重力下と1 g下での茎表面温度差の分布における  $(T_A - T_B)$  の変化  $T_A$ 、 $T_B$ は、図3参照、平均±標準偏差(n=5)

### 引用文献

Hirai, H., Kitaya, Y., The effect of gravity on transpiration of plant leaves, 166-172, Annals of the New York Academy of Sciences, 1161, 2009.

北宅・東谷・唐原・高橋・保尊・平井・矢野、宇宙植物実験における栽培・実験システムの開発、

p27-28、第 29 回宇宙環境利用シンポジウム、2015.