

## 植物の抗重力反応解明

大阪市大・院・理 保尊隆享  
 東北大・院・生命 高橋秀幸  
 大阪府大・院・生命環境 北宅善昭  
 横浜市大・木原生研 村中俊哉  
 兵庫県大・院・生命理学 園部誠司  
 東北大・院・生命 西谷和彦  
 富山大・理 唐原一郎  
 大阪市大・院・理 若林和幸、曾我康一

富山大・理 神阪盛一郎  
 宇宙航空研究開発機構 山下雅道  
 東京学芸大・教育 飯田秀利  
 奈良先端大・院・バイオ 橋本 隆  
 名古屋市大・院・自然科学 谷本英一  
 愛媛大・理 井上雅裕  
 埼玉大・理 小竹敬久

## Understanding the Mechanism of Gravity Resistance in Plants

*Takayuki Hoson\*, Seiichiro Kamisaka, Hideyuki Takahashi, Masamichi Yamashita, Yoshiaki Kitaya, Hidetoshi Iida, Toshiya Muranaka, Takashi Hashimoto, Seiji Sonobe, Eiichi Tanimoto, Kazuhiko Nishitani, Masahiro Inouhe, Ichirou Karahara, Toshihisa Kotake, Kazuyuki Wakabayashi, Kouichi Soga*

\*, Graduate School of Science, Osaka City University, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585

E-Mail: hoson@sci.osaka-cu.ac.jp

**Abstract:** Resistance to the gravitational force is a principal graviresponse in plants, comparable to gravitropism. However, only limited information has been obtained for this graviresponse. To clarify the nature and mechanisms of gravity resistance, we have organized a working group, consisting 16 members. In the current year, we have continued discussion and exchange of information on strategy for understanding gravity resistance. We have also examined the nature of gravity resistance in calli and cultured cells, and clarified the mechanism by gravity of reorientation of cortical microtubules. The knowledge obtained by these activities was utilized in part to apply for the Announce of Opportunity for space experiments in Kibo during the 2nd phase.

**Key words;** Gravity resistance, Microgravity, Plant, Space.

### 1. はじめに

植物は、重力の力に抵抗するために強固な体を構築し、様々な生命活動を営んでいる。これは、重力形態形成と並ぶ植物の主要な重力応答反応であり、「抗重力反応 (gravity resistance)」と呼ばれる (Hoson and Soga 2003, 保尊 2005)。抗重力反応のためのシステムは、数億年前に植物が陸に上がって 1 g の重力に直接曝されるようになった時から飛躍的に発達し、その後の植物の陸上での多彩な進化、繁栄を支えてきた。しかし、今までの重力植物学や宇宙植物学の研究は、重力屈性に代表される重力形態形成に関するものがほとんどであり、抗重力反応の実態やその機構の理解は大きく立ち後れていた。そこで、16名からなる宇宙環境利用科学委員会研究班 WG「植物の抗重力反応解明」を設立し、宇宙の微小重力環境を有効に利用して

植物の抗重力反応を解明するための研究戦略の策定をめざして、活動を行っている。本年度は、「きぼう」第2期運用を念頭に置いて、宇宙実験計画の具体化を図るとともに、抗重力反応の実態やメカニズムの全体像を明らかにするための地上実験を実施した。

### 2. 本WGの活動

本WGでは、昨年度までの活動に引き続いて、植物の抗重力反応を解明するための宇宙実験の概要、手法や機器、意義と課題等についてさらに詳細な検討を加えた。まず、研究戦略策定のため、2007年12月4日に、「高等植物の生活環」WG (代表者：神阪盛一郎)、「フロンティア生物の戦略」WG (代表者：高橋秀幸)、及び「宇宙環境に対する植物反応解明のための実験系構築」WG (代表者：北宅善昭)と合同でWG会合を開催した。そこ

で提起された問題点については、さらに E-mail 等を通して議論を重ねた。また、研究戦略の策定に必要な抗重力反応機構の詳細に関するデータを得るために、カルスや遊離培養細胞における抗重力反応の実態を明らかにし、また、重要な抗重力反応である表層微小管の配向変化の誘導機構について解析した。

### 3. 抗重力反応の実態の解明

今までの代表者らによる抗重力反応の解析は、数種類の植物種の芽ばえを用いた限られた実験系で得られたものであり、その普遍性と階層性については十分に検証する必要がある。細胞レベルでの抗重力反応の実態を明らかにするため、カルス及び遊離培養細胞に過重力処理し、成長、細胞形態、細胞壁動態、並びに表層微小管の構造変化を解析した。トマト及びソラマメカルス、そしてタバコ BY-2 細胞の成長は、芽ばえの場合と同様に、100 ~ 300 g の過重力処理により抑制された。この時、細胞形態にも様々な変化が生じた。BY-2 細胞においては、1 g 下では細胞長軸と直角であった表層微小管の配向が、過重力処理によりすみやかにランダムな方向へと変化した。この結果も、芽ばえで観察された変化と同様であった。一方、過重力によってカルスの成長が抑制される際には、細胞壁合成の停止が認められた。以上の結果から、抗重力反応は、基本的に個々の細胞レベルで起こることが明らかになった。さらに、カルスでも BY-2 細胞でも、成長や表層微小管あるいは細胞壁ダイナミクスに対する過重力の抑制作用が、1 ~ 数時間後には回復したことから、植物細胞は重力刺激に対する高い適応能力を持つ可能性が示された。

### 4. 抗重力反応機構の解明

芽ばえを過重力環境下で生育させると、チューブリン遺伝子の発現が促進される (Matsumoto et al. 2007) とともに、表層微小管の配向が細胞長軸と直角から平行に変化する (Soga et al. 2006)。そのような芽ばえを微小管破壊剤で処理すると、抗重力反応の一部である成長方向の横向きへの変化が起こらなくなる。また、チューブリンの構造に変異を生じたシロイヌナズナ突然変異体は 1 g 環境下でも細胞列のねじれを生じ、伸長成長の抑制や肥大成長の促進が見られる。結果として、過重力環境下でも成長や形態にそれ以上の変化が認められなくなる (Matsumoto et al. 2007)。以上の結果は、

表層微小管が植物の抗重力反応において重要な働きをすることを示している。

植物細胞には微小管重合中心である中心体がなく、環境シグナルやホルモンによる表層微小管の配向変化のしくみはわかっていない。これに関して、既存の微小管からの枝分かれによって新たな微小管が形成されるというモデルが提唱された (Murata et al. 2005)。その際、枝分かれのきっかけになるのは、微小管への  $\gamma$ -チューブリンリングの結合であり、枝分かれによって新たにある角度で形成された微小管は、微小管切断タンパク質カタニンの作用によって既存の微小管から分離されると考えられる。そこで、 $\gamma$ -チューブリンとカタニン遺伝子の発現に対する過重力の影響を検討した。 $\gamma$ -チューブリン遺伝子の発現は、過重力処理後 15 分以内に増加し始め、30 分後にピークに達した後、速やかに元のレベルに戻った。一方、カタニン遺伝子の発現は、過重力処理後 1 時間後にピークに達し、その後減少して元のレベルに戻った。このような、過重力環境下における  $\gamma$ -チューブリンとカタニン遺伝子の一過的な発現促進のパターンは、上記のモデルとよく合致しており、植物細胞に対する重力の作用点の 1 つが明らかになった。

### 5. まとめと展望

地上実験では主に遠心過重力に対する抗重力反応を解析しているが、本来の目標である地球上の 1 g の重力に対する抗重力反応の機構を解明するためには、宇宙実験が必要不可欠である。2007 年 9 月に行われた「きぼう」第 2 期利用実験公募では、基本的な抗重力反応機構を解析するための宇宙実験を提案した。その際に、本 WG での議論の成果の一部を取り入れた。今後も本 WG 活動を継続するとともに、宇宙実験の機会を最大限に生かして、植物の抗重力反応の全容の解明をめざしたい。

### 6. 文献

- 1) Hoson, T. and Soga, K., *Int. Rev. Cytol.*, **229**, 209-244 (2003).
- 2) 保尊隆享, *生物工学*, **83**, 565-567 (2005).
- 3) Matsumoto, S. et al., *Adv. Space Res.*, **39**, 1176-1181 (2007).
- 4) Soga, K. et al., *Planta*, **224**, 1485-1494 (2006).
- 5) Murata, T. et al., *Nat. Cell Biol.*, **7**, 961-968 (2005).