

## 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 research team, consisting 16 members. In the current year, we have continued discussion and exchange of information on strategy for understanding gravity resistance. We have also carried out ground-based experiments to clarify the role of cortical microtubules in gravity resistance using *Arabidopsis* mutants, and the effects of hypergravity on the positioning of the nucleus, osmoregulation, and stress reactions. 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、数億年前に海から陸に上がって以来、重力の力に抵抗するための強固な体と様々なしくみを発達させ、陸上植物として多彩に進化、繁栄してきた。しかし、従来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、重力に抵抗、適応する反応の理解は大きく立ち後れていた。そこで我々は、この反応を「抗重力反応( gravity resistance )」と名づけ、その実態や機構の解明をめざして研究を開始した (Hoson and Soga 2003, 保尊 2005)。その過程で、数年前、16名のメンバーからなる宇宙環境利用科学委員会研究班 WG (研究チーム)「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」における実験を念頭に置いて、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詳細なメカニズムを明らかにするための地上実験を実施した。

### 2. 本年度の活動

昨年度までの WG 活動の成果を踏まえて、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詳細な検討を加えた。まず、研究戦略策定のため、2009年12月8日に、「高等植物の生活環」(代表者：神阪盛一郎)、「フロンティア生物の戦略」(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」(代表者：北宅善昭)各研究チームと合同会合を開催した。そこで提起された問題点については、E-mail等を通してさらに議論を重ねた。また、2009年8月に「きぼう」第2期後半利用実験公募が行われた

ので、宇宙実験提案の具体化に向けた検討を行った。さらに、研究戦略の策定に必要な抗重力反応に関する詳細なデータを得るために、様々な地上実験を実施した。

### 3. 地上実験の成果

抗重力反応の詳細なメカニズム並びに特性(特に、普遍性と階層性)の解明を目的として、以下のような地上実験を行った。

#### 1) 抗重力反応における表層微小管の役割

シロイヌナズナ・チューブリン変異体の胚軸の表層微小管は、1g環境下でも右あるいは左肩上がりに配向しており、その角度は過重力処理により顕著に増加した。また、これらの変異体の表皮細胞列は、1g環境下でも左あるいは右巻きのねじれを示し、ねじれの角度も過重力処理により大きくなった。このようなチューブリン変異体における微小管配向と細胞のねじれ、及び過重力によるそれらの促進は、メカノレセプター阻害剤であるガドリニウムイオンにより濃度依存的に抑制され、胚軸は正常な形態を回復した(Matsumoto et al. 2010)。この結果は、メカノレセプターが抗重力反応を誘導するシグナル受容に関わるという仮説を支持するとともに、植物が重力に応答して適切な形態を保つ上で、表層微小管が重要な働きをすることを示している。特に、1g下で見られる微小管の配向や細胞のねじれ形質がガドリニウムイオンによって回復したことは特筆すべき結果であり、1gの重力に対する抗重力反応が存在し、過重力に対する反応と共通のメカニズムを持つことを強く示している(Hoson et al. 2009)。

#### 2) 核の定位に対する重力の影響

アズキ上胚軸の表皮細胞では、核から放射状に伸びるアクチンフィラメントと細胞長軸と平行に走る繊維が認められた。1g環境下では、核はアクチンフィラメントに支えられて細胞のほぼ中央に位置していた。30g以上の過重力環境下では、核は細胞の下端方向に沈降した。過重力による核の沈降は、処理後15分以内に起こり、核の位置は約1時間で安定化した。アズキ芽ばえを過重力から1g環境に戻したところ、核の位置は速やかに回復し、重力の効果は可逆的であった。このように、重力は、アクチンフィラメントを介した核の定位にも影響することが明らかになった。

#### 3) 浸透調節に対する重力の影響

浸透圧は、細胞壁伸展性と並んで植物細胞の成長速度を規定する主な要因である。しかし、浸透調節

に対する重力の影響は今まで調べられていなかった。アズキ上胚軸を過重力環境下で生育させたところ、伸長成長は、過重力処理後速やかに抑制されたが、生重量の増加の抑制は、処理後数時間までは認められず、12時間以降に現れた。細胞の浸透物質量も処理後数時間までは対照と同じレベルに保たれており、少なくとも短時間では浸透調節過程は重量の影響を受けないことが示された。一方、24時間後には過重力処理により浸透物質量の増加が有意に抑制された。この時、浸透物質のうち、糖やアミノ酸などの有機物質のレベルのみが減少していた。したがって、長時間の過重力処理では、貯蔵組織から成長領域への有機物質の転流が抑制されると考えられる。

#### 4) 重力によるストレス反応の誘導

ソラマメカルス細胞を用いて、過重力刺激によるストレス反応の誘導について解析した。ストレス反応の指標であるグルタチオン及びホモグルタチオンのレベルは、過重力処理により一過的に上昇した。短期的には、アルコール脱水素酵素活性の上昇も見られた。それ以後は、これらのタンパク質のレベルは元に戻り、細胞内レドックス環境も回復した。過重力処理により、一時的にストレス反応が誘導されるが、その後は過重力に対する順応が起きていることが示唆された。

### 4. 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1g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。本年度は「きぼう」第2期後半利用実験公募があり、応募可能性について検討した。複数のテーマを考慮したが、搭載装置やリソースの制限のために、1テーマに参画するに留まった。今後も本研究チーム活動を継続し、新しい搭載装置の提案を含めた宇宙実験実現への展開を図りたい。

### 5. 文献

- 1) Hoson, T. and Soga, K., *Int. Rev. Cytol.*, **229**, 209 (2003).
- 2) 保尊隆享, *生物工学*, **83**, 565 (2005).
- 3) Matsumoto, S. et al., *Plant Physiol.* (in press).
- 4) Hoson, T. et al., *Biol. Sci. Space*, **23**, 131 (2009)