

植物の抗重力反応解明

保尊隆享 (大阪市大・院・理)	神阪盛一郎 (富山大・院・理工)
高橋秀幸 (東北大・院・生命)	山下雅道 (宇宙航空研究開発機構)
北宅善昭 (大阪府大・院・生命環境)	飯田秀利 (東京学芸大・教育)
村中俊哉 (大阪大・院・工)	橋本 隆 (奈良先端大・院・バイオ)
園部誠司 (兵庫県大・院・生命理学)	谷本英一 (名古屋市大・院・自然科学)
西谷和彦 (東北大・院・生命)	井上雅裕 (愛媛大・院・理工)
唐原一郎 (富山大・院・理工)	小竹敬久 (埼玉大・院・理工)
榊 剛 (東海大・生物理工)	久米 篤 (九州大・院・農)
若林和幸 (大阪市大・院・理)	曾我康一 (大阪市大・院・理)

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, Takeshi Sakaki, Atsushi Kume, 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 of 18 members. In the current year, we have continued discussions and exchange of information on strategy for understanding gravity resistance. We have also carried out ground-based experiments to clarify the roles of cortical microtubules, actin microfilaments, and osmoregulation in gravity resistance using *Arabidopsis* mutants as well as hypergravity treatment. The knowledge obtained by these activities was effectively utilized for planning next space experiments in the Kibo.

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、これを「抗重力反応 (gravity resistance)」と名づけ、その実態やメカニズムについて解析してきた (Hoson and Soga 2003, 保尊 2005)。その一環として、18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」を発足させ、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」における宇宙実験計画のさらなる具体化を図るとともに、抗重力反応の実態や特性、また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

昨年度までの研究チーム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さらに詳細な検討を加えた。そのために、メンバー間の密接な情報交換、意見交換を行うとともに、「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)研究チームとの合同会合を2011年12月16日に開催した。また、「きぼう」第2期利

用実験公募で採択された2テーマの実験具体化に向けた検討を行い、同後半利用実験テーマ追加募集には3テーマを応募した。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特性とメカニズムの解明を目的として、以下のような地上実験を行った。

1) 表層微小管の機能

表層微小管は、植物の抗重力反応において重要な役割を担っている (Hoson et al. 2010)。微小管を構成するチューブリンの変異体では抗重力反応能力が低下しており、その表皮細胞列は1g環境下でも左あるいは右巻きのねじれを示した。しかし、強固な体を構築する必要がない宇宙環境では、これらの形質変異が軽減することが予想される。この仮説を検証するため、「きぼう」で行われた Space Seed 実験 (PI:神阪盛一郎) において、*tua6* 変異体を花茎ステージまで生育させた。宇宙の微小重力環境で生育した変異体の花茎は、宇宙及び地上の1g対照と比べて明らかな成長促進を示した。花茎出現以降の成長速度も、すべての期間で微小重力環境下の方が大きかった。さらに、微小重力環境下で生育した花茎の成長部域の細胞壁伸展性は、両対照と比べて有意に大きかった。なお、地上対照と軌道上対照の間では、成長速度や細胞壁物性にほとんど差は見られなかった。これらの結果より、重力の影響がない微小重力環境では微小管形成に異常があるチューブリン変異体もより正常に成長する、という仮説が明瞭に支持され、1gの重力に対する抗重力反応においても微小管が細胞壁と協調して重要な役割を果たしていることが初めて明らかになった。

2) ミクロフィラメントの機能

微小管と並ぶ主要な細胞骨格であるミクロフィラメント (アクチンフィラメント) は、アズキ上胚軸の表皮細胞において、核から細胞周縁部まで放射状に伸びており、その角度は過重力処理によって小さくなった。また、核は、1g環境下ではミクロ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が、30g以上の過重力により細胞の下端方向に沈降した。そこで、重力の大きさと核の沈降量の関係を詳細に解析したところ、成長抑制や表層微小管配向の変化との関係とは異なり、30g以上で重力の大きさに対して直線的に変化することがわかった。同様の dose-response 関係がシ

ロイヌナズナ胚軸表皮細胞における核沈降でも得られた。さらに、アズキ上胚軸をミクロフィラメント重合阻害剤で処理したところ、過重力による核の沈降が大きく促進された。しかし、微小管脱重合剤は核の沈降に影響しなかった。また、ミクロフィラメント重合阻害剤は1gあるいは過重力下での表層微小管の配向に影響しなかった。このように、ミクロフィラメントは微小管とは独立に抗重力反応に関与することが示された。

3) 浸透調節の役割

細胞壁と並んで植物細胞のメカニクスを担う浸透圧が抗重力反応にどのように関わるか検討した。アズキ上胚軸の浸透調節過程は、数時間までは過重力の影響を受けなかった。しかし、1日以上長時間の処理により浸透物質量の増加が抑制された。アズキ上胚軸の各浸透物質レベルに対する長時間の過重力処理の影響を調べた結果、カリウムイオンなどの無機物質のレベルにはあまり影響がないが、糖やアミノ酸などの有機物質のレベルが減少することがわかった。また、過重力環境下では、上胚軸成長部域での有機物質レベルの低下に対応して、種子中での貯蔵物質の減少が阻害されていた。さらに、成長部域では過重力処理による細胞壁pHの上昇が認められ、これによってアンロード活性が低下し有機物質の転流が抑制される結果、浸透物質レベルが低下することが示唆された。一方、上胚軸成長部域のATPレベルは、長時間の過重力処理でも低下しなかった。以上のように、植物は過重力環境下でも浸透調節活性を維持しており、浸透調節は細胞壁との相互作用を通して抗重力反応に貢献するものと考えられる。

4. 宇宙実験への展望

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 (保尊他 2010)。今後の「きぼう」での実験を通して、抗重力反応における各細胞成分の機能を明らかにしたい。

5. 文献

- 1) Hoson, T. and Soga, K., *Int. Rev. Cytol.*, **229**, 209 (2003).
- 2) Hoson, T. et al. *Plant Signal. Behav.*, **5**, 752 (2010).
- 3) 保尊隆享, *生物工程*, **83**, 565 (2005).
- 4) 保尊隆享他, *生物工程*, **88**, 292 (2010).