

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
大阪大・院・工 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・院・理工 唐原一郎
東海大・生物理工 榊 剛
大阪市大・院・理 若林和幸

富山大・院・理工 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・院・理工 井上雅裕
埼玉大・院・理工 小竹敬久
九州大・院・農 久米 篤
大阪市大・院・理 曾我康一

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 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 mechanism of signal perception and the roles of cortical microtubules and actin microfilaments in gravity resistance using Arabidopsis mutants as well as hypergravity treatment. The knowledge obtained by these activities was utilized in part for planning 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いる (Hoson and Soga 2003, 保尊 2005)。その一環として、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

をめざした活動を開始した。本年度は、新たに2人のメンバーを迎え、「きぼう」における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特性、また詳細なメカニズムをさらに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 (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。まず、研究戦略策定のため、2010年12月16日に、「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、宇宙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) 重力シグナルの受容機構

重力屈性では、平衡細胞におけるデンプン体の沈降によって重力シグナルの方向が受容されることが知られているが、この機構は抗重力反応では働いていない。我々は、阻害剤を用いた解析により、原形質膜上に存在するメカノレセプターが抗重力反応に関与する可能性を報告してきた。また、植物におけるメカノレセプター候補として、MCA を単離した (Nakagawa et al. 2007)。そこで、MCA 遺伝子を欠損あるいは過剰発現したシロイヌナズナを作出し、抗重力反応の変化を解析した。いずれの系統でも、1 g 下における胚軸の成長には大きな変化は見られなかった。しかし、MCA 遺伝子欠損株では、300 g の過重力による胚軸成長の抑制率が野生型より小さかった。また、成長抑制率は、2 つの MCA 遺伝子それぞれの欠損株と二重欠損株とでほぼ同程度であった。これに対して、MCA 遺伝子過剰発現株では、300 g の過重力による胚軸成長の抑制率は野生型と同程度であったが、野生型では有意な抑制が見られない 30 g 過重力下でも成長が抑制されることがわかった。すなわち、MCA 遺伝子を欠損させると過重力に対する感受性が低下し、逆に過剰発現すると感受性が高くなる。この結果より、MCA 遺伝子が抗重力反応における重力シグナルの受容に関与することが示された。

2) 表層微小管の機能

表層微小管は、植物細胞の形態制御において重要な役割を担っている。我々は、表層微小管が抗重力反応にも関わることを報告してきた。しかし、この知見は、植物細胞集団の平均的な性質の評価に基づくものであった。そこで、器官全体の表皮細胞列が 20 個の細胞のみから構成されるシロイヌナズナ胚軸を用いて、個々の細胞で抗重力反応能力と表層微小管配向の関係を詳細に解析した。チューブリン変異体 *tua6* では抗重力反応能力が低下しており、その表皮細胞列は 1 g 環境下でも左あるいは右巻きのねじれを示した。また、細胞のねじれの角度は、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の表皮細胞のねじれは、胚軸上部から 8 ~ 10 番目の細胞で起きていた。そこで、胚軸の表皮細胞列を構成する各細胞の表層微小管配向を観察したところ、上部では細胞長軸と直角、一方下部では長軸と平行な微小管を持つ細胞の割合が高かったが、上部から 8 ~ 10 番目の細胞では表層微小管が右あるいは左肩上がりに配向していた。そして、これらの細胞では、表層微小管の配向角度が過重力処理により顕著に増加した (Matsumoto et al. 2010)。これらの結果より、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、という仮説が明確に支持された。なお、表層微小管配向の解析結果に関しては、GFP 発現系統を用いても蛍光染色と同様の結果が得られたので、宇宙実験では GFP 発現系統が有効であることも明らかになった。

3) アクチンフィラメントの機能

アズキ上胚軸の表皮細胞では、核は細胞のほぼ中央に位置しているが、30 g 以上の過重力下では重力の大きさに依存して細胞の下端方向に沈降した。核からは、細胞周縁部に向かってアクチンフィラメントが放射状に伸びていた。また、サイトカラシン処理によってアクチンフィラメントを破壊すると、過重力による核の沈降が顕著に促進された。これらの結果より、植物が重力に抵抗して核の位置を保つ上で、アクチンフィラメントが重要な働きをすることが明らかになった。

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 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 (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メカノレセプターや細胞骨格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) 保尊隆享, *生物学*, 83, 565 (2005).
- 3) 保尊隆享他, *生物学*, 88, 292 (2010).
- 4) Matsumoto, S. et al., *Plant Physiol.*, 152, 918 (2010).
- 5) Nakagawa, Y. et al., *PNAS*, 104, 3639 (2007).