

**ISS・きぼう利用ミッション**  
**「植物の抗重力反応機構—シグナル変換・伝達から応答まで (Resist Tubule)」**  
**研究成果概要書**

代表研究者； 保尊隆享（大阪市立大学大学院理学研究科）

平成 29 年 2 月

### 研究目標

植物が重力に打ち勝って体を支え生命活動を営む「抗重力反応」は、重力屈性と並ぶ主要な重力反応であり、植物の陸上での数億年間の進化、繁栄を支えてきた。しかし、その機構は十分に解明されていなかった。研究代表者らは、地上実験により、過重力に対する植物の抗重力反応では、細胞膜ラフトと表層微小管とが重力シグナルの変換・伝達を担っており、両者の協調的な機能によって、最終的な応答としての細胞壁強度の増加が誘導されることを示した。本実験の目的は、宇宙の微小重力環境を利用して、このような過程が地球上の 1g の重力に対する反応でも普遍的に機能していることを実証し、植物の抗重力反応におけるシグナル変換・伝達から応答に至る機構の全容を明らかにすることにあつた。

### 実験内容

本実験に当たって、次の仮説を設定した。宇宙の微小重力環境では、(1)膜ラフトや表層微小管の動態が大きく変化する、(2)両者の構築に関わる突然変異体の矮性やねじれなどの形質変異が軽減する。これらの仮説の検証のため、以下の実験を行った。

#### ● 実験 1 (Run 1) 「膜ラフトと微小管動態の軌道上解析」

膜ラフトと表層微小管に関わるシロイヌナズナ GFP ライン (GFP-RAFT1、TUA6pro-GFP、SPR2-GFP、GFP-MAP4) の芽ばえを「きぼう」実験棟の細胞培養装置 CBEF 内で生育させ、膜ラフトの構築と表層微小管の配向を CB 顕微鏡 (冷却 EM-CCD) でオンサイト観察した。

#### ● 実験 2 (Run 2) 「膜ラフトと微小管動態の回収後解析」

野生型 Columbia の芽ばえを CBEF 内で生育させた後、アルデヒド混合液で化学固定し、冷蔵して回収した。地上で、回収試料の膜ラフトと微小管を染色、観察した。

#### ● 実験 3 (Run 3) 「ラフトと微小管に関わる変異体の成長解析」

Columbia、膜ラフト変異体 *hmg1*、及びチューブリン変異体 *tua4* と *tua6* を CBEF 内で生育させ、花茎の成長を経時的に観察した。生育終了後、花茎を RNAlater 中で冷凍して回収した。地上で、回収試料の遺伝子発現解析や細胞壁の物理的・化学的性質の解析を行った。

### 実験成果

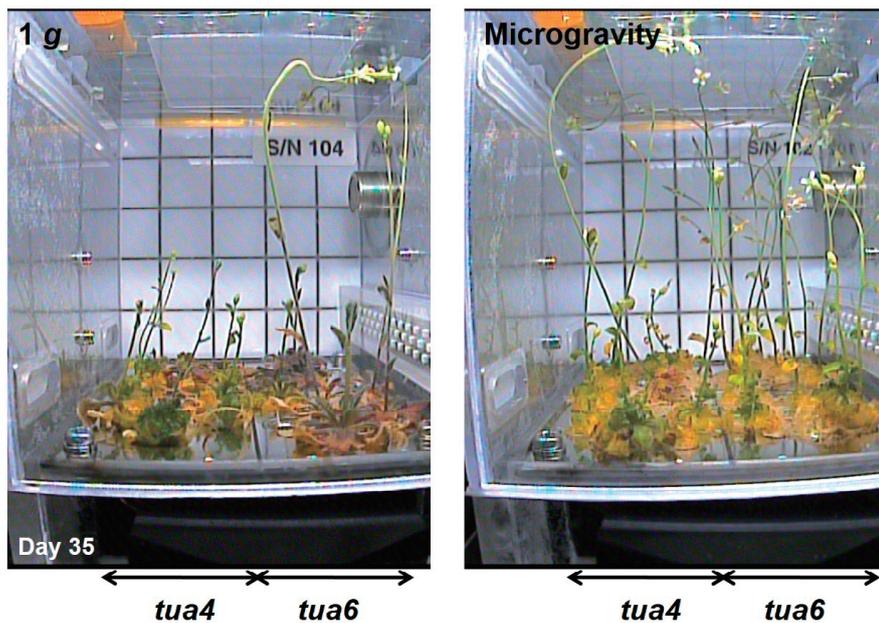
#### ● 表層微小管の機能

宇宙の微小重力環境では、微小管を構成するチューブリン及び微小管の配向変化に関わるタンパク質の遺伝子発現レベルが低下した。また、胚軸の成長終了部域で起こる細胞長軸に対して直角から平行方向への微小管配向の変化が、微小重力環境下では抑制された。この微小管配向変化の抑制に伴って、細胞の伸長成長が長い期間にわたって維持され、胚軸全体がより細長い形態に変化していた。さらに、1g 環境下で、チューブリン変異体 *tua4* の花茎では強い、また *tua6* ではわずかな成長抑制が認められたが、微小重力環境下では、いずれでも野生型とほぼ同程度まで成長が回復した (図)。これらの結果から、微小重力環境では、チュー

ブリン及び関連遺伝子の発現が抑制され、細胞長軸に横向きから縦向きへの表層微小管の配向変化が抑制される結果、細胞の伸長成長が促進され、茎器官の成長も正常に維持されることが示された。

#### ● 膜ラフトの機能

微小重力環境下では、重力シグナルの受容に関わるメカノレセプター MCA、膜ラフト構築に関わる HMG1、そして膜ラフト構成タンパク



宇宙 1g 及び微小重力下で生育した *tua4* と *tua6*

質の遺伝子発現が抑制された。また、膜ラフト由来の蛍光強度が減少していた。ただし、*hmg1* の花茎は、微小重力環境では全く出現せず、生殖過程が強く抑制されることが示唆された。

#### ● 細胞壁の機能

微小重力環境で生育した花茎では、地上及び宇宙対照より細胞壁伸展性が大きい傾向が認められ、特に基部においてその差が明瞭だった。基部ではまた、細胞壁を構成するセルロース及びマトリックス多糖量が微小重力環境で大きく減少しており、細胞壁伸展性と両多糖レベルとの間で負の相関が認められた。さらに基部では、木部等の支持組織を構成する二次細胞壁のセルロース合成に関わる *CES4*、*CES7*、及び *CES8* 遺伝子、またキシランなどのマトリックス多糖の合成に関わる多くの遺伝子の発現レベルが、微小重力環境で低下することがわかった。以上の結果から、微小重力環境では、二次細胞壁構成多糖の合成に関わる遺伝子群の発現が抑制され、多糖レベルが減少して、細胞壁が柔らかく保たれることが示された。

#### ● 抗重力反応機構の全容

本宇宙実験の結果、抗重力反応機構が 1g から過重力にいたる広い重力範囲に普遍的に適用できることが示されたのみならず、2つの主要な機構が時間的、空間的に独立して制御されていることがわかった。すなわち、まず成長終了部域で、微小管配向の変化による茎の肥大促進が誘導され、その後に、植物体全体を支える働きをしている基部において、二次細胞壁の合成促進による細胞壁強度の増加が起こり、抗重力反応過程が完結することが明らかになった。

### 成果の意義

本実験では、「きぼう」実験棟の宇宙環境を有効に利用して、重力屈性と並ぶ植物の主要な重力反応である抗重力反応の普遍的な機構を明らかにすることができた。この成果は、生物の進化過程の解明、植物の他の環境応答機構の理解、植物細胞機能の理解、成長調節・形態形成機構の解明に貢献する。また、月や火星での人類の長期滞在のために不可欠な植物の効率的な生産や、地球上での食糧危機や環境破壊などの社会問題の解決にも寄与できる。