

## 地上と宇宙での植物栽培技術向上のために 植物の重力依存的成長制御を担うオーキシン排出キャリア動態の解析

### CsPINs

#### 背景

キュウリが芽生えるとき、種子を押さえて子葉が抜け出す手助けをするのが、根元(茎の部分と根の部分の境界)にできるペグと呼ばれる突起です(図1)。地上では種子が発芽した後、横になった境界域の下側にのみできるペグが、1998年のスペースシャトルの実験では、根元の両側にできました(図2)。このことから、ペグ自体は重力がないと根元の両側にできますが、重力のもとではペグを片側だけにつくる何らかの作用が働いている可能性のあることがわかりました。

このペグをつくっているのは「オーキシン」という植物ホルモンです。地上では横になった境界域の下側に比べて上側でオーキシンが少なくなります。このホルモンを与えると、キュウリの芽生えは上側にもペグをつくるようになります。このことから、ペグがつけられるためには一定量以上のオーキシンが必要で、地上で根元の上側でペグができないのは、重力にตอบสนองしてオーキシンの量が上側で減少するためと考えられます。

#### 目的

これまでの地上実験から、キュウリの芽生えが重力にตอบสนองしてペグをつくる位置を決めるとき、「CsPIN1」と呼ばれるタンパク質がオーキシンの運搬に大きく関わっていると考えられています。これは種子を縦向きと横向きにして発芽させて、CsPIN1タンパク質の発現パターンを比較してわかったもので、横になった境界域の下側に比べて上側でCsPIN1タンパク質が多く発現し、オーキシンの量を少なくしている可能性があります(図3)。

しかし、実際に重力によってCsPIN1の発現パターンが変わるかは、宇宙で実験してみないとわかりません。そこでこの宇宙実験では、キュウリの芽生えのペグ形成において、CsPIN1タンパク質の蓄積に対する重力の影響を検証して、この仕組みを理解していきます。

さらに、キュウリの芽生えの際に根が重力屈性や水分屈性で曲がる現象にもオーキシンが関係しています。こちらに関係するのは「CsPIN5」タンパク質ですが、ペグの場合と同様に、その発現パターンに対する重力や水分の影響を調べます。

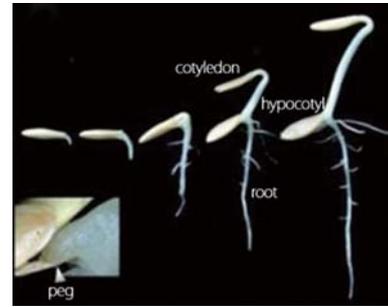


図1 キュウリ芽生えのペグ形成

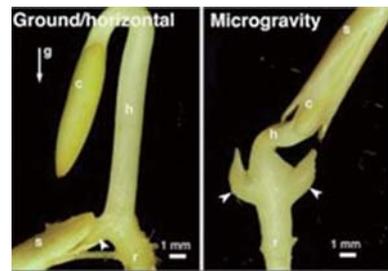


図2 宇宙と地上でのペグ形成

左図は地上で種子を水平置きにして発芽させたときで、芽生えは1つのペグをつくる。右図は宇宙の微小重力環境(スペースシャトル実験)で発芽させたときで、芽生えは2つのペグをつくる。

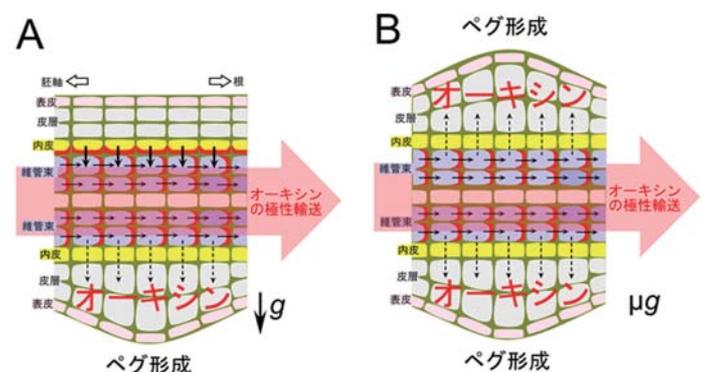


図3 キュウリ芽生えの根元においてオーキシンの流れと分布を制御する重力とCsPIN1タンパク質の働きに関するモデル

キュウリ芽生えの根元(茎と根の境界域)では、オーキシンが維管束系を通過して茎側から根側に運ばれる(中央のピンク色の大きな矢印とその中の横方向の小矢印)。この部分ではそのオーキシンが維管束系から皮層・表皮細胞へ運ばれ、それによってオーキシン量が制御されていると考えられる。CsPIN1タンパク質は細胞の中のオーキシンを細胞の外に追い出す役割をし、維管束と皮層の間において重力感受の場と考えられる内皮細胞(図では黄色の部分)の維管束側の膜に発現する。横になった境界域では、CsPIN1タンパク質の発現が下側の内皮に比べて上側の内皮で強く発現する(図A)。この場合、オーキシンは上側で維管束系から皮層細胞に運ばれにくいか、逆に皮層細胞から維管束系に運ばれ(図Aで上側にある縦方向の実線矢印)、下側では維管束系から皮層に運ばれやすくなる(図Aで下側にある縦方向の破線矢印)。その結果、オーキシンは下側に比べて上側で少なくなると考えられる。この上下におけるCsPIN1タンパク質の発現の違いが重力によって制御されるとすれば、微小重力環境ではCsPIN1タンパク質の発現が片側で増大することはなく、両側に一定量のオーキシンが維持され、2つのペグができることになる(図B)。

## 実験内容

### ●キュウリの芽生えの重力形態形成(CsPIN1)実験

国際宇宙ステーションの「きぼう」実験棟内の細胞培養装置(CBEF)に取り付ける芽生え育成容器中(図4)で発芽させます。最初は微小重力下ですが、24時間後に半分を1G人工重力下に移し、半分を微小重力下で生育させます。

その2時間後(ペグができてつつある段階)と48時間後(ペグが完成する段階)に芽生えを化学固定し、冷蔵保存し、地上に持ち帰ります。そして、地上でCsPIN1タンパク質がどの部位に多くあるかを解析します。

### ●キュウリの芽生えの根の水分屈性(CsPIN5)実験

芽生え育成容器中(図5)に取り付けられた乾燥したキュウリの種子に水を注ぐことで実験が始まります。最初は根の伸びる方向をそろえるために、1G人工重力下で成長させます。

18時間後に、容器中の種子と反対側に貼り付けてあるろ紙に飽和食塩水を注入します。高濃度の食塩水には吸湿性があるために、キュウリの種子を支えている水を含んだスポンジとろ紙の間に湿度の勾配ができます。食塩水を注入してから4時間後と23時間後に根のサンプルをとって、その状態を保つように処理をして冷蔵保存します。それを地上に持ち帰り、CsPIN5タンパク質が根のどの部位にあるかを解析します。



図4 CsPIN1実験で使用する実験容器  
スポンジに乾燥種子を差し込んで給水することによって発芽・成長させる。



図5 CsPIN5実験で使用する実験容器  
CsPIN1実験で使用する実験容器(図4)と似ていますが、種子を挟み込んだスポンジの反対側に食塩水を含んだろ紙を設置することができ、スポンジとろ紙の間に水分の勾配を作り出すことができます。

## ココがポイント!

この実験の成果は、宇宙環境や水分の少ない環境などにおいて、効率的な植物生産を可能にするための基盤になります。

植物ホルモンのオーキシンは、ペグの形成だけでなく種子の発芽から植物の生育までの大部分を制御しています。そのオーキシンの分布を決めているのがPINタンパク質なのです。つまり、PINタンパク質の分布を決める詳しい仕組みがわかれば、それを利用して植物の形態形成をコントロールすることができることから、植物栽培技術への貢献などが期待されます。

また根についても、重力や水分に応答して有利な方向に伸びる仕組みが解明されるだけでなく、その性質を利用して根が伸びる方向をコントロールすることができるため、将来の宇宙における植物工場などに利用できます。

## プロフィール



高橋 秀幸

東北大学 大学院  
生命科学研究科 教授

専門：植物生理学