

## 作物の収量増加とオートファジー

### はじめに

ノーベル賞受賞で注目されている  
オートファジーとは、自らの成分や  
細胞内器官を液胞やリソソームで  
分解するしくみです。オートファ  
ジーがうまく働いて、作物の収量が  
増加することも明らかになってしま  
した。

オートファジーは、ここでも



トマトの果肉部分

## 生体内のリサイクル

受賞につながった大隅博士のオートファジーの研究は、酵母を用いて行われました。

酵母は単細胞生物ですが、細胞のつくりは高等植物や動物と同じです。また、合成培地で培養することができます。培地成分を減らし栄養飢餓にすると、液胞で自らの成分や細胞内器官を分解し必要なところに供給(リサイクル)し、飢餓に適応します。大隅博士は液胞での分解の様子を卓越した電子顕微鏡観察で示すとともに、そのオートファジーが特定の遺伝子の働きの下に行われることを明らかにし、その後の研究の突破口を開きました(総説、化学と生物、vol.53、p51-57、2015)。

## 細胞の品質管理も担う

最近のほ乳類のオートファジーの研究では、栄養が足りている時にもオートファジーが低いレベルながら行われ、細胞の品質管理に貢献していることが明らかになっています。

品質管理が必須と思われる細胞内器官として、ミトコンドリアがあります。ミトコンドリアは糖を酸化し化学的エネルギーを生産する役目を担っています。そして役目上、いろいろな劣化をもたらす活性酸素に常にさらされています。家族性パーキンソン病では、ミトコンドリアが劣化してもオートファジーによる分解がおこらず、劣化したミトコンドリアが蓄積し、神経伝達に不調をきたすことが報告されています(化学と生物、vol.52, p321-327、2014)。

## 葉の黄化と葉緑体

高等植物では、いろいろな状況下でおこる葉の黄化において、オートファジーがどう関与しているかが明らかになりつつあります。

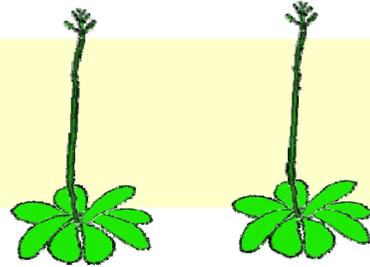


オートファジー関連遺伝子を不活化した突然変異体が作出され、オートファジーが起こらないとどうなるか(=どんな表現型になるか)?という逆遺伝学的実験が行われました。

植物材料は、ゲノムが明らかで、多くの遺伝子とその表現型の対応が研究されているシロイヌナズナです。

オートファジー遺伝子を不活化した植物体では、下位葉の黄化が早く、新鮮重や種子重も減少する傾向がみられました。オートファジーが行われないと、栄養がうまくリサイクルされず、下位葉は早めに切り捨てられ、種子の量も減少するという仮説がたてられました。

シロイヌナズナ  
(アラビドプシス)

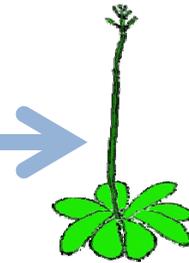


オートファジー  
遺伝子不活化

## 放射生同位体の窒素を用いた実験

この仮説を検証するため、シロイヌナズナでパルスチェイス実験が行われました。

1日だけ、 放射性同位体で標識した窒素(硝酸イオン)を吸収させる。



1ヶ月後、  
標識した窒素が葉や種子にどれだけ含まれるかを調査する。

その結果、低窒素条件で生育させた場合、野生型植物体では、放射性同位体の**窒素の6割が種子に転流**していました。

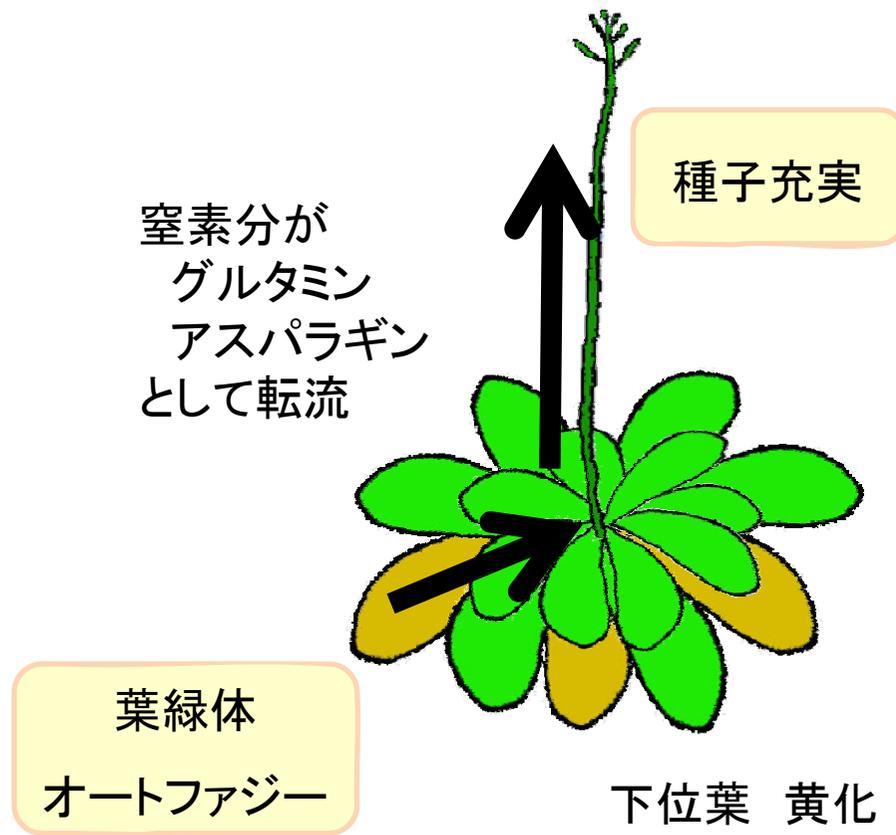
一方、オートファジー遺伝子を不活化した突然変異体では、種子には3～4割しか転流せず、葉に6～7割残っており、生育も悪いことがわかりました (New Phytologist 194、p732-740, 2012)。葉の窒素の多くは、葉緑体タンパク質となっています。よって、種子形成時に、幼植物体時期からあった葉(下位葉)の葉緑体がオートファジーにより分解され、窒素が種子に転流したと解釈できます。

## ダメージを受けた葉緑体の分解

では、葉緑体はどのように分解されるのでしょうか？

まず、葉緑体内の液状部分にあるタンパク質に緑色の蛍光を発するような遺伝子組換え体を作成します。そして、葉を蛍光顕微鏡で観察します。そうすると葉緑体は、葉緑体色素であるクロロフィルが元々もつ赤色蛍光と導入された緑色蛍光を発する粒子として観察されます。粒子は、細胞表面のすぐ内側に並んでいるのが見えます。

次いで紫外線などのダメージを与えた葉を観察すると、緑色蛍光のない赤色蛍光の粒子が、細胞の中の方に観察されました。液胞膜に局在するタンパク質が蛍光を発するような遺伝子組換え体を作成したところ、そこは、**液胞内**であることがわかりました。さらに、オートファジーに関連する遺伝子を不活化した遺伝子組換え体の液胞では葉緑体の分解が観察されないこと、細胞質に劣化した葉緑体が蓄積することも示されました(Plant Cell 2017 DOI 10.1105/tpc.16.00637)。



植物の戦略～下位葉の葉緑体とそのタンパク質  
を分解し、分子はより大事な種子へ

## おわりに

栄養飢餓の酵母での遺伝子同定を機に、我々ほ乳類の細胞の品質管理、そして作物の収量増加につながる植物体成分の分解と転流、劣化の解消といった多くの場面で、オートファジーが重要であることが解明されつつあることを紹介しました。

この研究をたどりながら、基礎研究の重要性を再認識した次第です。

