



TOHOKU  
UNIVERSITY

平成29年1月30日

報道機関 各位

東北大学学際科学フロンティア研究所  
東北大学大学院農学研究科  
東北大学大学院生命科学研究科

## 植物の新たなオートファジー経路 —壊れた葉緑体を取り除くオートファジー経路「クロロファジー」の発見—

### 【要点】

- 植物の体内で光合成を行う「葉緑体」は常に太陽光によるダメージを受けているが、壊れてしまった葉緑体がどう処理されるかは解明されていなかった。
- 今回の研究で、葉緑体が丸ごと運ばれ分解されるオートファジー経路「クロロファジー」によって、壊れた葉緑体が分解されることを発見した。
- 効率的に栄養をリサイクルできるイネ、といった機能や品質を向上させた作物の作出を目指す応用研究に新たなアプローチを創出することが可能になった。

### 【概要】

「オートファジー」は、生物が自らの細胞の一部を消化するための機構です。東北大学学際科学フロンティア研究所の泉正範（いずみまさのり）助教らは、研究用モデル植物であるシロイヌナズナに紫外線や強い白色光、自然太陽光を照射し、光合成を担う葉緑体にダメージを与えると、葉緑体が丸ごとオートファジーで運ばれ分解される「クロロファジー」が起こることを発見しました（図1）。この成果により、壊れた葉緑体の除去を担う新たなオートファジー経路が示されました。

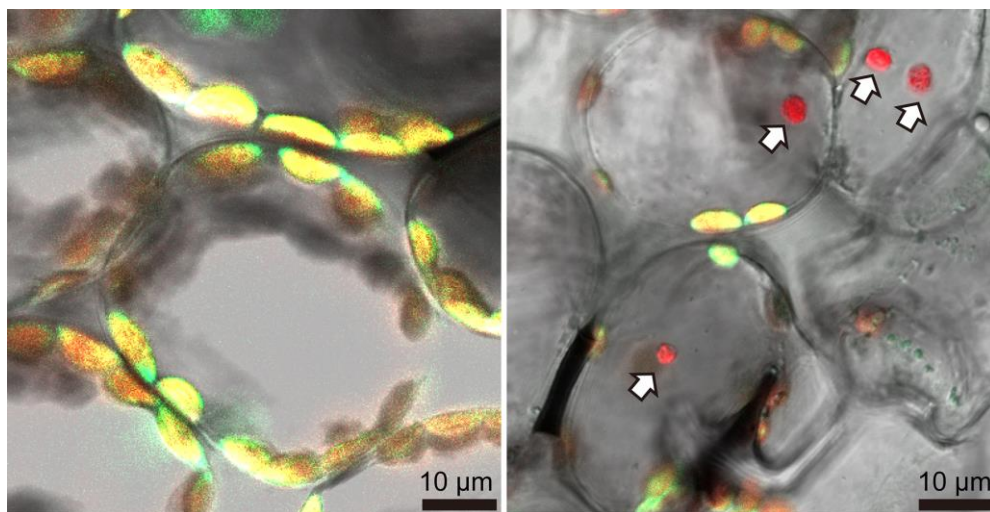


図 1. 葉の細胞の蛍光顕微鏡画像（左図）とクロロファジーによって液胞に運ばれた葉緑体（右図）

葉緑体の分解は、夏は青々としていた水田が秋にかけて黄金色に色づく過程でも積極的に起きており、作物生産とも密接にかかわる現象です。本成果をスタート地点として、葉緑体の分解を制御し、作物の機能や品質の向上を図ろうとする応用的研究が進展していくことが期待できます。

本研究の成果は、植物科学分野において世界的に権威のある米国植物生理学会誌 *The Plant Cell* への掲載が決定し、2017年1月25日に同誌 online 版に掲載されました。

## 【研究の背景と内容】

植物は、太陽光エネルギーを利用した光合成反応により、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) を糖やデンプンといった炭水化物に変換、利用することで成長します。実際に植物の体内で光合成を行うのは「葉緑体」と呼ばれる細胞内の小器官です。実は葉緑体は、地上に強く降り注ぐ太陽光（例えば晴天の日の昼の太陽光）を十分利用できるようには作られていません。そのように葉緑体を作ってしまうと、朝や夕方、あるいは曇りの日にはオーバースペックとなり、葉緑体を作るコストと獲得できる光合成エネルギーのバランスが悪化してしまうため、と考えられています。よって葉緑体は常に太陽光によるダメージを受けており、そのダメージの軽減や除去、修復は、光をエネルギー源として生きる植物にとって極めて重要な生存戦略の一つであると言えます。傷が放置されれば、光合成の活性が低下するだけでなく、活性酸素の増大を招き葉や植物体そのものの死にもつながるからです。そのような重要性からこれまで多くの研究が行われ、植物は多段階からなる光防御反応で葉緑体を守っていることが解明されてきました。しかしながら、深刻なダメージを受け壊れてしまった葉緑体がどのように処理されるか、については明確な答えが得られていませんでした。

オートファジーは、植物に限らず、ヒトを含む動物や酵母といった「真核生物」に分類される生物が広く持っている機構で、細胞の一部を小胞で隔離し、その内容物を細胞内のごみ処理場に運び、分解するための機構です。2016年にノーベル医学・生理学賞を受賞した大隅良典教授（現東京工業大学）らが、1993年に酵母でオートファジーに必須な遺伝子群を同定したのをきっかけに、そのメカニズムや機能に関する研究は爆発的に進展し、現在、オートファジーは様々な生物種で多くの研究者が注目する生命現象の一つとなっています。泉助教らはこれまでも、東北大学農学研究科の石田宏幸准教授らと共に、植物の葉緑体の分解にオートファジーが関わることを、世界に先駆けて明らかにしてきました。今回の成果では、モデル研究植物シロイヌナズナに紫外線や強い白色光、あるいは自然太陽光によるダメージを与えると、葉緑体がオートファジーによって丸ごと液胞（植物細胞内で不要物の分解を担う部位）に運ばれ、分解されることを発見しました。この現象は、葉緑体の英語名 **chloroplast**（クロロプラスト）の **autophagy**（オートファジー）という意味で、**chlorophagy**（クロロファジー）と名付けられています。オートファジーが行えない植物体では、異常な形態を示す葉緑体が除去されず細胞に溜まると共に（図2）、葉が枯れやすくなったことから（図3）、障害誘導型クロロファジーは太陽光で壊れた葉緑体を取り除く役割を担っていること、この機構は葉の生命

機能を維持する上で重要であること、が示されました。壊れた葉緑体のような不要物を適切に処理することは、植物が健全に生きる上でとても重要な機構であると言えます。

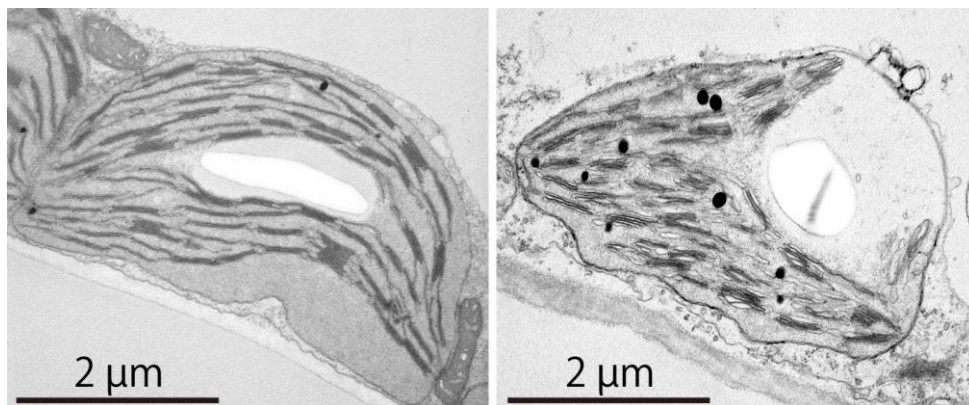


図 2. 正常な葉緑体（左図）と紫外線によるダメージで生じた異常な葉緑体（右図）の電子顕微鏡画像

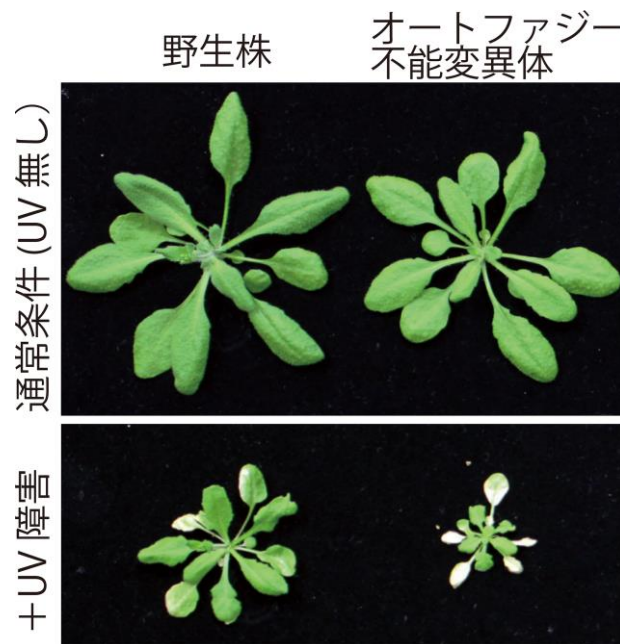


図 3. 通常条件で栽培したシロイヌナズナ野生株とオートファジー不能変異体（上図）と紫外線 UV 障害を与えた際の両植物体（下図）

### 【今後の展望】

「葉緑体の分解機構」は農業生産とも密接に関わる生命現象です。例えば、夏は青々としたイネが秋にかけて黄金色に変わる際には、緑色の素でもある葉緑体が分解されて、それによって生じるアミノ酸等が再利用されています。特に植物が最も多量に必要とし肥料としても与えられる窒素 (N) 源としてのリサイクルは重要で、お米となる穂を作るために使われる窒素のうち、実に約 8 割が分解から生じたリサイクル窒素でまかなわれることが分かっています。私たちは過去の研究で、イネの効率的な窒素リサイクルにオ

オートファジーが必要なことを明らかにしています。今回の成果によって、クロロファジーの詳細な制御機構を解明しようとする基礎研究や、作物の窒素利用におけるクロロファジーの機能を評価しようとする発展的研究を実践することが可能になり、効率的に栄養をリサイクルできるイネを作る、といった作物の栄養利用や品質向上を目指す新たな応用研究につながっていくことが期待できます。

### 【論文の詳細】

著者：Masanori Izumi, Hiroyuki Ishida, Sakuya Nakamura, Jun Hidema

表題：Entire photodamaged chloroplasts are transported to the central vacuole by autophagy

雑誌：The Plant Cell

DOI：http://dx.doi.org/10.1105/tpc.16.00637

### 【問い合わせ先】

《研究関連》

東北大学 学際科学フロンティア研究所 新領域創成研究部 助教 泉正範

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

(大学院生命科学研究科ゲノム継承システム分野)

E-mail: m-izumi@ige.tohoku.ac.jp Tel: 022-217-5745 Fax: 022-217-5691

《広報関連》

東北大学 学際科学フロンティア研究所 企画部 URA 鈴木一行

〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3

E-mail: suzukik@fris.tohoku.ac.jp Tel: 022-795-4353 Fax: 022-795-7810