



TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE

6-3-1 NIIJUKU, KATSUSHIKA-KU, TOKYO 125-8585, JAPAN

Phone: +81-3-5876-1717

2014 年 3 月

報道関係各位

穀物の種子形成機構の解明

イネの正常な花粉の形成には、細胞内自食作用(オートファジー)が必要なことを発見
～悪環境下における穀物生産技術の開発に向けた一歩～

東京理科大学

東京理科大学 理工学部 応用生物科学科(本学 総合研究機構 RNA 科学総合研究センター、イメージングフロンティア研究部門 併任)・朽津 和幸(くちつ かずゆき) 教授、花俣 繁 研究員、元東京理科大学 助教(現 東京工科大学 応用生物学部) 来須 孝光 助教、ならびに、国立遺伝学研究所、理化学研究所、東北大学、長浜バイオ大学、農業生物資源研究所、日本女子大学の共同研究グループは、イネの正常な花粉・種子の形成に、細胞内自食作用(オートファジー)が必要なことを発見し、穀物の花粉・種子形成の新たな仕組みを解明しました。

*この論文は、米科学誌 *Autophagy* (Impact factor 2012: 12.042)に、3月24日(現地時間)に Online 掲載されました。

*本研究の一部は、日本学術振興会 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究<研究代表者: 朽津和幸>などの援助により行われました。

1. 概 要

動植物を問わず、生物の生殖は、高度に遺伝的にプログラムされた巧妙なメカニズムにより司られています。植物が子孫を残すための、花粉等の配偶子の形成、受精、その後の発生と種子の形成などの過程は、基礎生物学的に重要であるだけでなく、我々人間が植物から享受する種子の収量、品質と密接に関連しています。特に、花粉形成の異常は、冷害に代表される、環境ストレスによる穀物の収量低下の重要な原因ともなります。そのため、品種改良(育種)に代表される農業への応用や、食糧・環境・エネルギー問題解決の基礎として、活発に研究が進められています。しかし、正常な花粉が形成されるメカニズムは複雑で、未解明の部分が多く残されています。

細胞内自食作用(オートファジー)とは、真核細胞に普遍的な細胞内分解システムです。近年、その実行機構や哺乳動物、微生物における役割や病気との関連が精力的に解明され、医学・薬学分野を中心に、世界中で最も注目を集めている研究領域の一つとなっています。哺乳動物を始めとする種々の生物において、オートファジー能が欠損すると、ライフサイクルのさまざまな段階で発生に影響が見られ、多くの場合死に至ることが報告されています。すなわち、動物等では、オートファジーは、発生、生殖、感染免疫・ストレスに対する応答等に重要な役割を果たすことが明らかにされつつあります。一方、植物におけるオートファジーの役割は、モデル双子葉植物シロイヌナズナの研究により進められて来ましたが、シロイヌナズナにおいてオートファジー能を欠損させてもライフサイクルへの直接的な影響は全く報告されておらず、発生や生殖における役割は未解明でした。

穀物、単子葉植物のモデルであるイネを用いた今回の研究により、研究グループは、オートファジー能を欠損したイネの変異体は、種子がほぼ全く稔らないことを発見しました。種子が稔するためには、成熟した花粉が形成され、開花した際、葯(註1)が開裂し、受粉、そして受精することが必要です。今回の研究により、オートファジー欠損変異体では、花粉の発達・葯の開裂・脂質代謝など

に異常が生じ、正常なライフサイクルを回せない、すなわち、オートファジーが花粉の成熟や代謝の制御に重要な役割を果たすことが明らかになりました。今回の成果は、植物におけるオートファジーの全く新しい役割を提唱するだけでなく、将来的にオートファジーを制御することにより、穀物の収量や種子の品質の改善に繋がる可能性も示唆しています。環境にやさしい農業への道を開き、食糧・環境・エネルギー問題の解決への第一歩となることが期待されます。

2. 成果とポイント

オートファジーとは、細胞質中に内膜系(オートファゴソーム)が生成され、液胞やリソソームと融合することにより、細胞成分(タンパク質、細胞内器官、脂質等)が分解される、細胞の中における自食作用です。近年、多くの真核生物において、発生や分化の様々な段階で重要な役割を果たすことが報告されています。一方、植物のライフサイクルや、発生・分化におけるオートファジーの役割については、未解明な部分が多いのが現状でした。

今回、研究グループは、オートファジーの過程を顕微鏡下で可視化できるマーカータンパク質 GFP-ATG8 を用いて、イネのオートファジー可視化実験系を構築すると共に、穀物・単子葉植物のモデルとしてゲノムなどの研究が進んでいるイネから、オートファジー欠損変異株を複数同定しました。ライフサイクルを通してこの変異体の表現型を解析した結果、オートファジー能が欠損した変異体は、ほぼ全く種子(米)が実らず、重篤な不稔形質を示しました。交雑検定の結果、花粉(♂)側の異常による雄性不稔であることが判明し、花粉の成熟度や発芽能も、変異株において著しく低下していました。電子顕微鏡法により、葯の各組織のオートファジー動態を解析した結果、花粉成熟過程で、花粉に栄養や表面構造の材料を供給する組織であるタペート層において、減数分裂期後にオートファジーが誘導されることが明らかになりました。オートファジー欠損変異体では、タペート組織においてオートファジーに関与する細胞内構造が観察されず、さらに脂肪滴(リピッドボディ)の分解が、野生型と比べて顕著に遅延していました。脂質に関連した代謝産物を網羅的に解析したところ、成熟葯における脂質代謝にも異常が生じていました。タペート層は、花粉の成熟に伴い、プログラムされた細胞死により消失することが知られていますが、オートファジー欠損変異体では、タペート層の崩壊が抑制され、一部が残存し続けていました。近年、動物では、オートファジーがプログラム細胞死に関与する可能性が議論されていますが、今回の研究により、植物であるイネにおいて、花粉成熟期のタペート細胞の細胞死過程で、オートファジーが重要な役割を果たす可能性も示唆されました。

3. 今後の展開

オートファジーは、ストレスに対する細胞内適応において重要な、タンパク質・脂質等生体分子のリサイクル機構に関与していると考えられています。近年の異常気象等によりその深刻さが増大しているとも言われる、低温・高温等の環境ストレスによる植物種子の収量や品質の低下の背景には、エネルギーや栄養リサイクル機構の不全による稔性の低下が原因となっている可能性があると考えられます。本研究を基礎として、イネなど植物におけるオートファジーの役割をさらに解明すると共に、薬剤等によりそれを人為的に制御する技術を開発することにより、穀物の収量や品質の低下を防止し、食糧・環境・エネルギー問題解決の一助となることが期待されます。

今回の研究成果は、穀物の生殖器官の形成、プログラム細胞死の制御等を解明する上で重要な一歩であると同時に、本研究で得られた新しい細胞質雄性不稔形質は、作物の品種改良(ハイブリッド育種)の分野でも重要な知見であり、他の商業作物(ムギ類、豆類)における普遍性の検証も含めて、今後の研究が期待されます。

(註 1) 植物の葯は、4 つの層から構成されている雄性生殖器官であり、その最内層はタペート層と呼ばれる。花粉発達の間、タペート細胞が花粉成熟に必要な物質の供給を行う機能を果たすと考えられている。植物の花粉形成過程の発生初期において、葯内の花粉母細胞から減数分裂により、将来の花粉である小孢子が生じる。1 つの花粉母細胞から減数分裂で生じた 4 つの小孢子をまとめて花粉四分子と呼ぶ。花粉成熟期に移行すると、プログラム細胞死(PCD)による、タペート細胞の消失が誘導される。このタペート細胞の分解は高度に制御されており、細胞質の萎縮、細胞壁からの分離、染色体凝縮、小胞体 (ER) の肥大といった PCD に見られる特徴が観察される。

【本研究内容に関するお問合せ先】

■東京理科大学 理工学部 応用生物科学科 朽津 和幸

Tel : 04-7122-9404

e-mail : kuchitsu@rs.tus.ac.jp

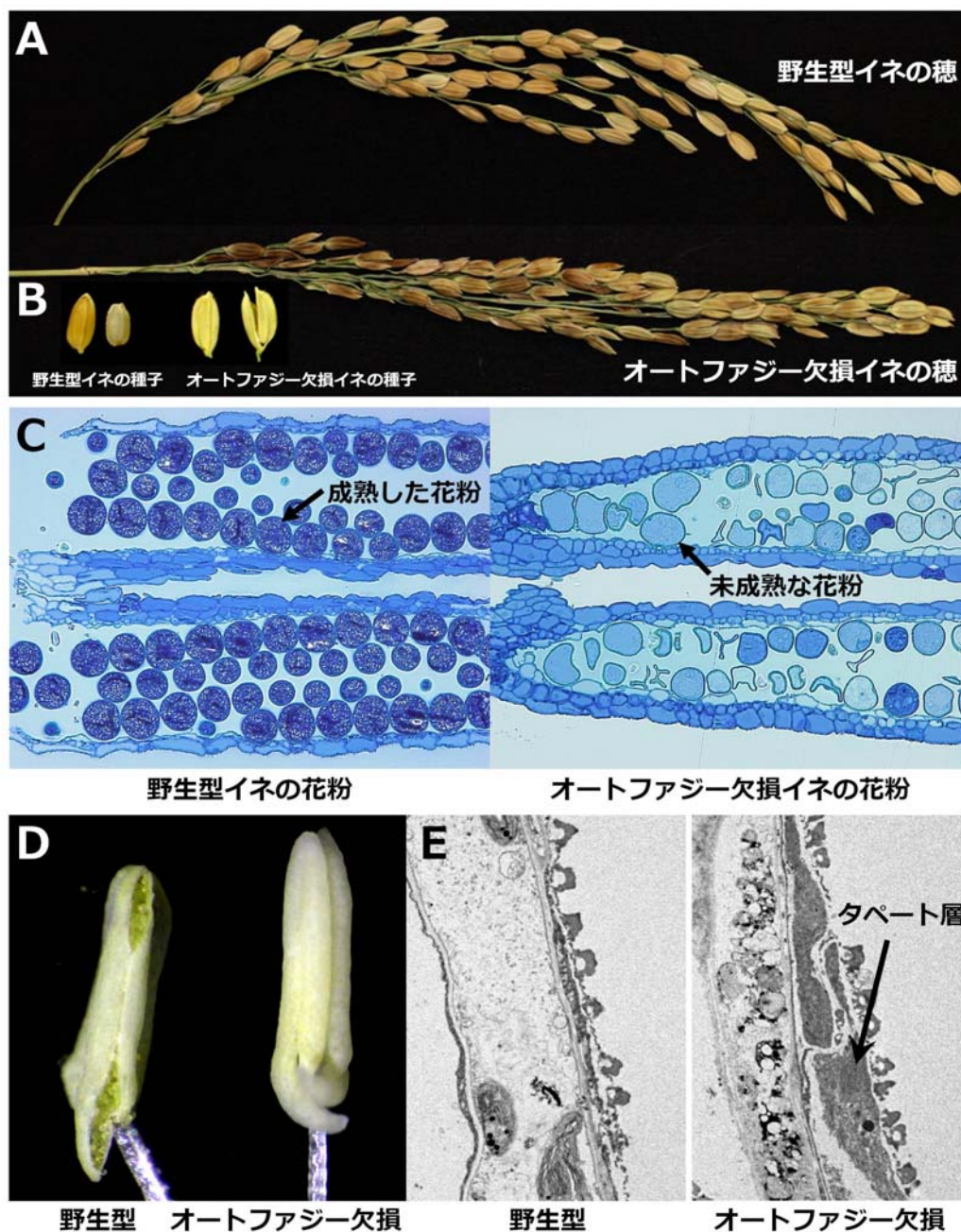
【当プレスリリースの担当事務局】

■東京理科大学 総務部 広報課

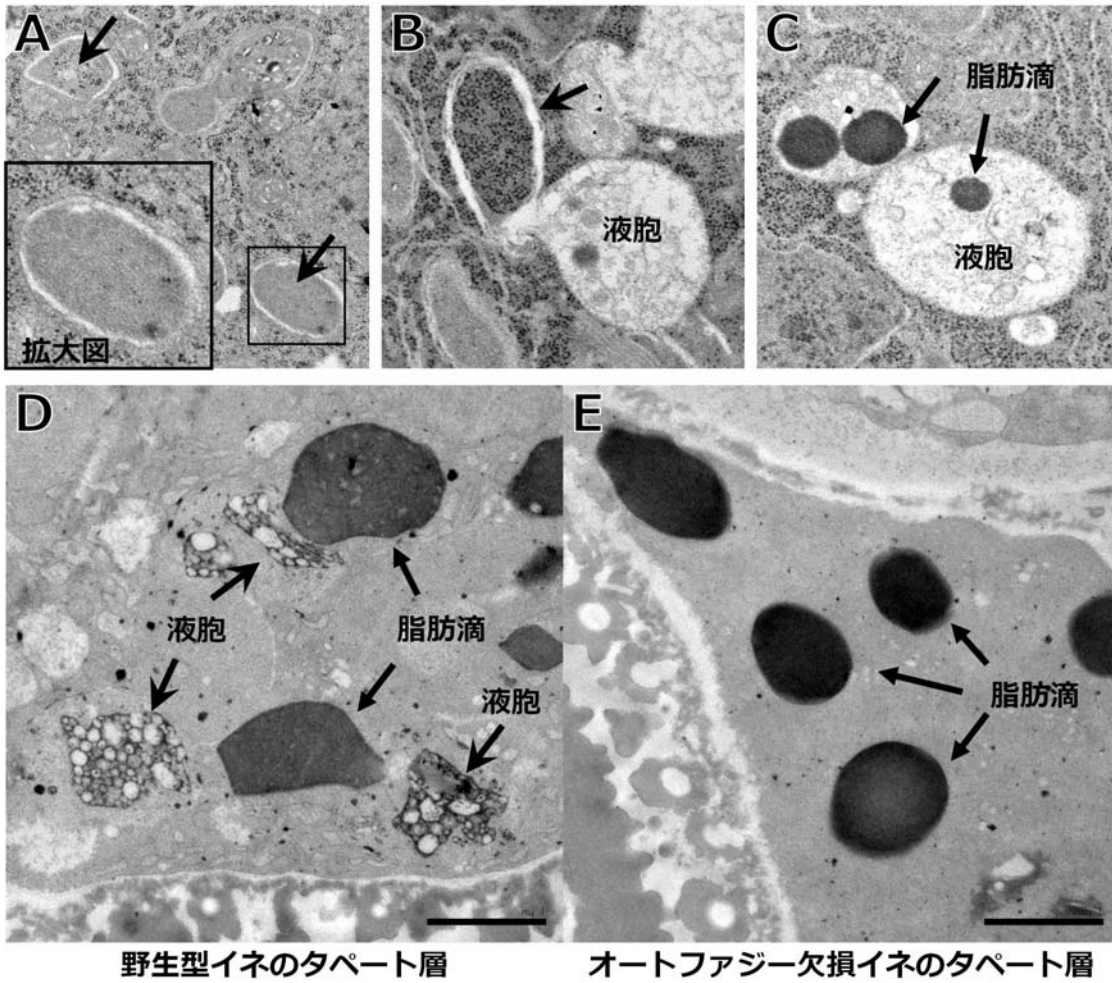
担当：石黒 Tel : 03-5876-1500

E-mail : koho@admin.tus.ac.jp

* 資料中の画像データは広報課でご用意しております。
ご要望があれば、メールにてお送りさせていただきます。



(A, B) 細胞内自食作用(オートファジー)を欠損する欠損イネは、重篤な不稔形質を示す。収穫期の穂 (A)、種子の拡大図 (B)。(C) 開花期葯内の花粉。野生型株の花粉(左)は、大きく、花粉内にデンプンが多量に蓄積しているのに対して、オートファジー欠損変異株由来の花粉(右)は、デンプン蓄積能が低く、未成熟なものが多数観察される。(D) 開花期の葯。野生型(左)では、葯が開裂して、花粉が放出されるのに対して、オートファジー欠損変異株の葯は、開裂が殆ど起こらない。(E) 開花期の葯内の電子顕微鏡写真。開花期では、葯内のタペート層は分解されているのに対して(左)、オートファジー欠損イネでは、タペート層が一部残存している。



(A-D) イネの葯内のタペート層では、特定の時期(1n 期)にオートファジーが誘導される。オートファジーの実行に関与するオートファゴソーム様の構造体(矢印)がタペート細胞内に観察される (A)。オートファゴソーム様構造体は、液胞(分解に関与する細胞内小器官)と融合する (B)。液胞内に取り込まれた脂肪滴(リピッドボディ) (C)。(D, E) 花粉への栄養・表面構造の材料供給の場であるタペート層では、脂質を含めた大規模な分解系が機能する。野生型株の 1n 期のタペート細胞内には、脂肪滴と液胞が混ざり合ったような構造体が多数観察されるのに対して (D)、オートファジー欠損変異株のタペート細胞では、脂肪滴の分解が野生型と比べて遅延している (E)。