

## アブラナ科植物の新しい防虫機構の発見 —細胞小器官ERボディが支える新型カラシ油爆弾—

### 概要

京都大学大学院理学研究科 西村いくこ 教授（研究開始当時，現：京都大学名誉教授，甲南大学特別客員教授）と山田健志研究員（研究開始当時，現：ポーランド国ヤギェウォ大学 MCB 研究所主任研究員）らの研究グループは，アブラナ科植物が幼植物体と根を食植性動物から守るために獲得した新しい技（新型カラシ油爆弾）を発見しました。この技では，細胞小器官 ER ボディに蓄えられているグルコシダーゼが起爆酵素としてはたらき，忌避物質を放出します。この忌避物質は，わさびの匂いとして私たちにも身近なものです。

この技は，食害を受けた植物細胞の応答反応です。外敵の攻撃を受けやすい幼植物体の表皮や常に土中の微生物の感染にさらされている根の表皮の細胞には，多数の ER ボディが配備されています（図1）。食害（傷害）により，ER ボディ（起爆酵素グルコシダーゼを集積）と液胞（カラシ油配糖体を集積）が破壊されると，酵素反応により忌避物質が放出されます（図2）。この匂いは食植性の昆虫などの小型動物を遠ざける効果をもつことがわかりました。

ER ボディは，アブラナ科植物に特有の細胞小器官ですが，本研究では，たった2つの遺伝子（*NAI2* と *BGLU23*）の導入により，アブラナ科以外の植物にも ER ボディを形成誘導することがわかりました。植物の進化の過程で，アブラナ科植物がこれらの2つの遺伝子を獲得することで，ER ボディ依存的な化学防御機構をもつことができたと考えられます。

この研究成果は，2020年1月14日に英国科学誌「*Communications Biology*」オンライン版で公開されました。

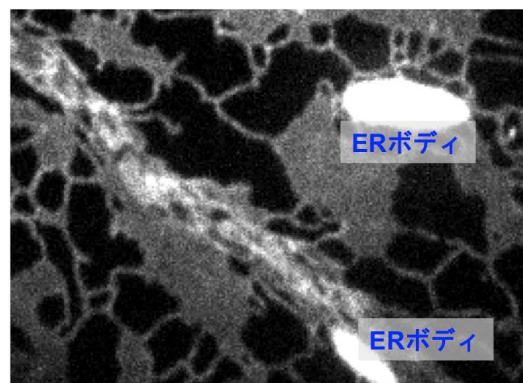


図1. アブラナ科植物シロイヌナズナ子葉細胞の小胞体ネットワークとERボディ.

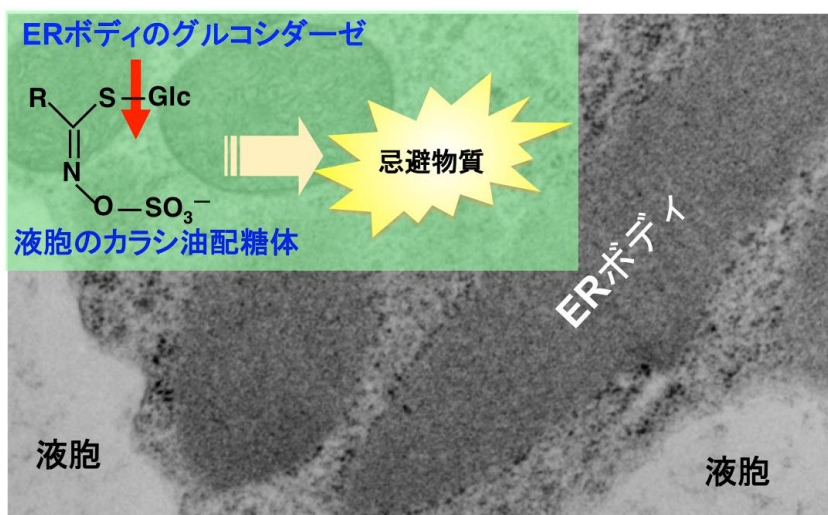


図2. ERボディ化学防御系（単細胞型のカラシ油爆弾）.

ERボディにはグルコシダーゼ，液胞にはカラシ油配糖体が蓄積している。食害でERボディと液胞が破壊されると，酵素反応でカラシ油配糖体から忌避物質が生成・放出される。

## 1. 背景

この技の鍵を握る ER ボディは、小胞体 (Endoplasmic Reticulum) から派生する細胞小器官として、19 年前に私たちが命名したものです。当時、この紡錘型の構造体は、他の研究グループでも見出されており、汎用されている生物学の教科書「Essential 細胞生物学 (初版本)」では、この構造体は「葉緑体である」と誤った記載がされていました。この構造体 (ER ボディ) の役割が今回初めて明らかになりました。

免疫系をもたない植物は、毒性化学物質を放出して外敵に対抗します。カラシ油爆弾はアブラナ科の化学防御として古くから知られています。そのしくみは、2 種類の細胞 (グルコシダーゼの蓄積細胞とカラシ油配糖体の蓄積細胞) が存在し、食害により破壊されることで酵素反応を介して忌避物質を生産するというものです。今回私たちが見出した ER ボディ防御系は、2 種類の細胞小器官 (ER ボディと液胞) が関与する単細胞で完結するカラシ油爆弾であることから全く新しいものといえます。

## 2. 研究手法・成果

ER ボディは、外敵の攻撃を受けやすい植物の器官の表皮細胞に分布することから、植物の生体防御に関与していると考えられました。この点を証明するための下記の解析を行いました。

ER ボディに大量集積しているグルコシダーゼの本来の基質を同定する目的で、グルコシダーゼを欠損しているシロイヌナズナ変異体と野生型の幼植物体のメタボローム解析を行いました。その結果、ER ボディのグルコシダーゼが、カラシ油配糖体から忌避物質 (カラシ油) を生成することがわかりました。

ER ボディが、食植性小型動物に対する化学防御系としてはたらくことを示す目的で、ダンゴムシをもちいた食害実験を行いました (図 3)。野生型シロイヌナズナと 3 種類の ER ボディ関連変異体 (ER ボディができない変異体、ER ボディのグルコシダーゼをもたない変異体とカラシ油配糖体をもたない変異体) の幼植物体を栽培した容器の中に空腹状態にしたダンゴムシを放ったところ、忌避物質を生成できない ER ボディ関連変異体のみを食べることがわかりました (図 4)。



図3. アブラナ科植物シロイヌナズナの幼植物体とダンゴムシ。

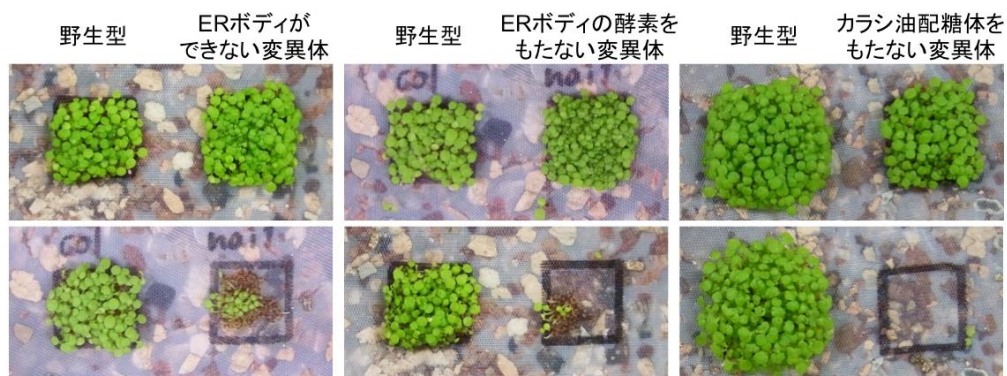


図4. ダンゴムシを用いた食害実験: ER ボディ系は、食植性動物から幼植物体を守る化学防御 (カラシ油爆弾) システムとしてはたらく。

シロイヌナズナの幼植物体を栽培した容器に空腹状態のダンゴムシを放った。ダンゴムシ投入直後 (上段) と 1 日経過後 (下段)。

ER ボディは、アブラナ科植物に特有の細胞小器官ですが、アブラナ科特有の2つの遺伝子 (*NAI2* と *BGLU23*) の導入により、アブラナ科以外のタマネギやタバコの細胞もERボディを形成誘導しました (図5)。小胞体で合成されるグルコシダーゼ (*BGLU23*) は、*NAI2* と相互作用して小胞体内で集積し徐々に発達したERボディを形成することがわかりました。植物の進化の過程で、アブラナ科植物がこれらの2つの遺伝子を獲得することで、ERボディ依存的な化学防御機構をもつことができたと考えられます。

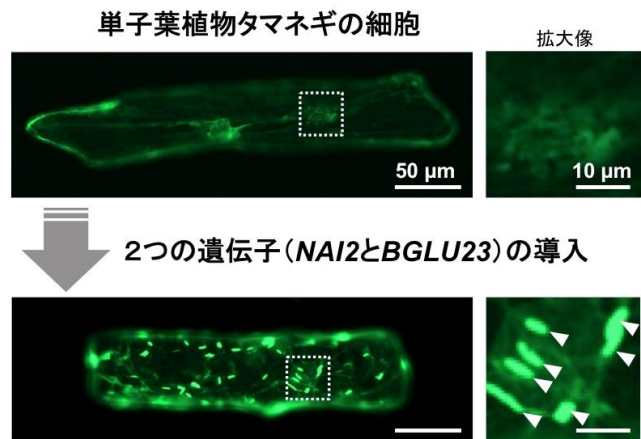


図5. 2つの遺伝子導入によるERボディの形成誘導。

ERボディは、アブラナ科植物に特有の細胞小器官であるが、2つの遺伝子を導入することで単子葉植物のタマネギの細胞にも誘導することができる。

### 3. 波及効果と今後の展望

植物の原始的な化学防御はシアン配糖体をもちいるもので、陸上植物の進化の過程ではシダ植物からみられます。この防御系では、食害により猛毒のシアンガスが発生することから、植物と動物の双方にとってダメージが大きくなります。一方、カラシ爆弾系では、最小限の食害で揮発性忌避物質が生産され、動物も遠ざかっていくことから、双方の被害は最小限に抑えられる Win-Win のスマートな防御系といえます。植物の生体防御の進化に迫りたいと考えています。

本研究に登場する小胞体は、美しいネットワークを細胞中に張り巡らしつつ、忙しく運動する構造体です。私たちは、これまでに複数の小胞体由来の細胞小器官を発見してきました。植物の小胞体が多様な細胞小器官を生み出す能力を解明することで、生物の基本単位である真核細胞がどのように生まれてきたかという問いに挑戦してみたいと考えています。

### 4. 謝辞

本研究は、日本学術振興会 科学研究費補助金 (研究課題番号: 15H05776) や甲南学園平生太郎基金科学研究奨励助成金などの支援を受けて行われました。

#### <用語解説>

**シロイヌナズナ** (学名: *Arabidopsis thaliana*): アブラナ科の一年生草本。栽植物科学分野のモデル生物として汎用されている。

**小胞体**: 真核生物の細胞内に張り巡らされているネットワーク様の構造体。

<論文タイトルと著者>

タイトル：**Endoplasmic reticulum-derived bodies enable a single-cell chemical defense in Brassicaceae plants.** (アブラナ科植物の小胞体由来の ER ボディは単細胞型化学防御を可能にしている)

著者：Kenji Yamada, Shino Goto-Yamada, Akiko Nakazaki, Tadashi Kunieda, Keiko Kuwata, Atsushi J. Nagano, Mikio Nishimura & Ikuko Hara-Nishimura

山田健志 (ポーランド国ヤギェウォ大学), 後藤志野 (同左), 中崎 淳子 (京都大学), 國枝正 (奈良先端科学技術大学院大学), 桑田啓子 (名古屋大学), 永野惇 (龍谷大学), 西村幹夫 (甲南大学, 基礎生物学研究所), 西村いくこ (甲南大学)

掲載誌：***Communications Biology*** (*Nature* 姉妹誌)

DOI: 10.1038/s42003-019-0739-1 , COMMSBIO-18-1112-T