

解禁時間 (テレビ、ラジオ、インターネット) : 平成27年9月1日 (火) 午後6時
(新聞) : 平成27年9月2日 (水) 付朝刊

平成 27 年 8 月 28 日

報道関係者各位

国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学

植物が動物の神経細胞と似た分子を使って情報を伝達し、近親交配を防いでいた ～植物が自分の花粉を認識して排除するまでの情報伝達の仕組みを解明～

【概要】

多くの植物は、自分の花粉が雌しべに付いても受精せず子孫の種子を作らない「自家不和合性」と呼ばれる仕組みを持つことにより、近親交配を避けている。

その「自家不和合性」について最初の段階で自己と他者の花粉を見分ける巧妙な仕組みを世界で初めて明らかにした奈良先端科学技術大学院大学 (学長：小笠原直毅) バイオサイエンス研究科細胞間情報学研究室の高山誠司教授らは、シロイヌナズナを材料に雌しべが自分の花粉と認識したあと、その情報に基づいて受精を避けるさいの詳細な仕組みをつきとめた。雌しべの細胞内にカルシウムイオンが流入し、それがきっかけになって花粉が吸水できなくなることを発見したもの。その時にグルタミン酸受容体という動物の神経細胞がカルシウムイオンを取り込むさいに機能する分子も関与していた。

今回の研究により、植物が動物と同様にカルシウムイオンを利用した情報伝達の仕組みを発達させていることがわかった。植物が病原菌を認識した時などにも細胞内のカルシウムイオン濃度が上昇することが知られており、本研究により植物の情報伝達の仕組みの理解が深まり、病気に罹りにくい植物の開発などに結びついていくことが期待される。

本成果は、英科学誌 Nature の植物専門オンライン姉妹誌、Nature Plants (9月号) に掲載される (プレス解禁日時：日本時間 平成 27 年 9 月 1 日 (火) 午後 6 時)。

つきましては、関係資料を配付するとともに、下記のとおり記者発表を行いますので、是非ともご出席くださいますよう、お願い申し上げます。

記

<日 時> 平成 27 年 8 月 31 日 (月) 14 時～ (1 時間程度)

<場 所> 奈良先端科学技術大学院大学 附属図書館 3 階 マルチメディアホール
奈良県生駒市高山町 8916-5 (けいはんな学研都市)

※アクセスについては、<http://www.naist.jp/>をご覧ください。

<説明者>

奈良先端科学技術大学院大学 バイオサイエンス研究科細胞間情報学研究室 教授 高山誠司

<ご連絡事項>

- (1) 本件については、掲載誌のプレス解禁日時が平成 27 年 9 月 1 日 (火) 午後 6 時 (日本時間) となっておりますので、取り扱いにはご注意願います。
- (2) 本件につきましては、奈良県文化教育記者クラブをメインとし、学研都市記者クラブ、大阪科学・大学記者クラブ、文部科学記者会及び科学記者会に同時にご連絡しております。
- (3) 取材希望がございましたら、恐れ入りますが下記までご連絡願います。
- (4) 記者発表に関する問合せ先

奈良先端科学技術大学院大学 企画総務課 広報渉外係 小西 健

TEL : 0743-72-5026 FAX : 0743-72-5011 E-mail : s-kikaku@ad.naist.jp

植物が動物の神経細胞と似た分子を使って情報を伝達し、近親交配を防いでいた ～植物が自分の花粉を認識して排除するまでの情報伝達の仕組みを解明～

【概要】

多くの植物は「自家不和合性」と呼ばれる仕組みを持ち、自分の花粉が雌しべに付いても受精せず子孫の種子を作らない。植物が近親交配を避けるために備わった巧妙な仕組みで、現象は古くから知られているが詳細は長く不明だった。

これまでに、奈良先端科学技術大学院大学（学長：小笠原直毅）バイオサイエンス研究科細胞間情報学研究室の高山誠司教授らは、アブラナを材料にして植物の雌しべが自分の花粉を見分ける仕組みを世界に先駆けて明らかにしてきた。しかし、雌しべが自分の花粉を認識したあと、その情報をどの様にして伝えて自分の花粉との受精を回避しているかという仕組みについては不明だった。

今回の研究で、高山教授らは、共同研究者（永井健治・大阪大学教授、宮脇敦史・理化学研究所チームリーダー）が開発した、カルシウムイオンを蛍光により鋭敏に観察できるカルシウムセンサータンパク質の遺伝子を導入したアブラナ科植物を作製して解析を進めた。その結果、雌しべに自分の花粉がつくと、動物の神経細胞が興奮する時のようにカルシウムイオンが雌しべの細胞内に流入し、それがきっかけとなって花粉が吸水できなくなることを発見した。また、その流入にグルタミン酸受容体という動物の神経細胞の細胞膜で機能するカルシウムチャネル（孔）が関与することを明らかにした。

今回の研究により、植物が動物と同様にカルシウムイオンを利用した情報伝達の仕組みを発達させていることが明らかとなった。植物が病原菌を認識した時などにも細胞内のカルシウムイオン濃度が上昇することが知られており、本研究により植物の情報伝達の仕組みの理解が深まり、病気に罹りにくい植物の開発などに結びついていくことが期待される。

本成果は、英科学誌 *Nature* の植物専門オンライン姉妹誌、*Nature Plants*（9月号）に掲載される（プレス解禁日時：日本時間 平成 27 年 9 月 1 日（火）午後 6 時）。

【掲載論文】

論文タイトル：Calcium signalling mediates self-incompatibility response in the Brassicaceae
(和訳：カルシウムシグナルがアブラナ科植物の自家不和合性反応を仲介する)

著者：Megumi Iwano^{1†}, Kanae Ito^{1†}, Sota Fujii^{1†}, Mitsuru Kakita¹, Hiroko Asano-Shimosato¹, Motoko Igarashi¹, Pulla Kaothien-Nakayama¹, Tetsuyuki Entani¹, Asaka Kanatani¹, Masashi Takehisa¹, Masaki Tanaka¹, Kunihiko Komatsu¹, Hiroshi Shiba¹, Takeharu Nagai², Atsushi Miyawaki³, Akira Isogai¹ & Seiji Takayama¹ (†These authors contributed equally to this work.)

所属：¹奈良先端科学技術大学院大学, ²大阪大学, ³理化学研究所

論文掲載誌：Nature Plants（9月号）

【説明】

植物の多くは「自家不和合性」という性質を持ち、自分の花粉が雌しべに付着しても受精せず種子を作らない（図 1）。近親交配を回避するための巧妙な仕組みであり、進化論で有名なダーウィ

ンもこの性質の発見に加わり、「自分がかつて観察した中で最も驚くべき事実」と著書に記している。しかし、どの様にして植物が自分の花粉との受精を回避しているのか、その仕組みは長年の謎であった。高山教授の研究グループは、以前の研究で、アブラナ科植物の花粉が自己の目印となる小型のタンパク質 (SP11) *1を持っていること、一方の雌しべ表面の細胞 (乳頭細胞) はそれを認識する受容体 (SRK) *2を持っていることを明らかにしてきた (図2)。自分の花粉が付着すると両者が結合し、乳頭細胞内にその情報 (リン酸化シグナル) *3を送っていることもつきとめた。しかし、その後どの様にしてその情報が伝えられ、自分の花粉との受精が回避されるのかについては不明のままであった。今回共同研究グループの岩野恵助教 (現大阪大学)、伊藤花菜江大学院生 (現九州大学)、藤井壮太助教らが中心となり、この情報伝達系の鍵となる部分の解明に成功した。

【実験の手法】

この自家不和合性の情報伝達経路を解明するために、まず実験上の取り扱いが容易な自家不和合性のシロイヌナズナ (アブラナ科) を作製した (図1)。このモデル植物は進化の過程で *SP11* 遺伝子と *SRK* 遺伝子を欠失して自家和合性になっていたため、これらの遺伝子を再導入することで自家不和合性を復活させた。さらに、共同研究者が開発したカルシウムセンサータンパク質 (*YC3.60*) *4遺伝子も導入し、細胞内のカルシウムイオンの動きを観察できる様にした。

【実験の結果】

自分の花粉を雌しべの乳頭細胞に付けると、動物の神経細胞が興奮する時のように細胞内のカルシウムイオン濃度が一過的に上昇することが示された (図2)。この上昇は、乳頭細胞から調製したプロトプラスト*5に自分の *SP11* タンパク質を添加した時にも観察され、*SP11* と *SRK* の相互作用の結果、直接起きる現象であることが示された。また、薬理的な解析により、このカルシウムイオン濃度の上昇は、細胞外からのカルシウムイオンの流入に依存すること、動物のグルタミン酸受容体の阻害剤 (*AP-5* など) *6がこの流入を強く阻害することを見出した。

さらに乳頭細胞で強く発現する 2 種類のグルタミン酸受容体 (*GLR3.7* と *GLR3.5*) *7の変異体では、このカルシウムイオンの濃度上昇が低下し、作用していないことを見出した。一方で、乳頭細胞内にカルシウムイオンを人為的に注入すると自分以外の花粉の吸水反応も阻害されること、*AP-5* で乳頭細胞を処理すると自家不和合性が打破され自分の花粉も吸水・発芽できるようになることも示された。こうした結果から、乳頭細胞膜上での *SP11/SRK* 相互作用を介した自己花粉の認識反応により、グルタミン酸受容体を介したカルシウムイオンの流入が起き、これがきっかけとなって花粉の吸水反応が阻害されていることが明らかとなった (図2)。

【本研究の意義】

植物は *SRK* のような自己を認識する受容体を数百種類持ち、それらを使って外部の情報を細胞内に取り込んで生きていることが示されてきているが、細胞内における情報伝達の仕組みはまだほとんど明らかにされていない。今回の研究により、動物の神経系などで使われているグルタミン酸受容体、カルシウムイオンといった分子が植物の情報伝達系でも利用されていることが明らかとなった。植物細胞に病原菌などが付着した際にもカルシウムイオンの濃度が上昇することが知られており、類似した仕組みの関与が期待される。さらに研究が進むことで、植物の受精 (種子生産) を人為的にコントロールする技術、病気に罹りにくい植物を作出する技術など、応用的な技術開発へと結びつくことも期待される。

【用語解説】

*¹SP11：花粉の表面に付着した分子量 5,000 程度の小型のタンパク質で、個体毎に構造が異なる多型性を示す。自己の SRK 受容体*²を特異的に活性化するリガンドとして機能する。

*²SRK：雌しべ先端の乳頭細胞膜上に存在する 1 回膜貫通型の受容体で、細胞外領域が多型性を示し、自己の SP11 リガンドと特異的に結合する。細胞内領域はキナーゼ（リン酸化酵素）活性を持ち、自分の SP11 が結合すると、リン酸化酵素活性が上昇することが示されている。

*³リン酸化シグナル：自分の花粉が付着すると SP11 リガンドが SRK 受容体に結合し、SRK のキナーゼ活性を上昇させることが実験的に示されており、乳頭細胞内の何らかのタンパク質がリン酸化されることにより自分の花粉が付着したことを伝えていると予測されているが、実際にリン酸化される標的タンパク質の実体はわかっていない。

*⁴YC3.60 (Yellow cameleon 3.60)：人工的に設計したカルシウムセンサータンパク質。カルシウムイオンの結合に依存して相互作用するタンパク質のカルモジュリン (CaM) と M13 を連結し、さらにそれを緑色蛍光タンパク質のシアン色変異体 (CFP) と黄色変異体 (YFP) で挟んだ構造を持つ。カルシウムイオンの結合により CFP から YFP へのエネルギー移動 (FRET) が変化することを利用してカルシウムイオン濃度を計測する。

*⁵プロトプラスト：細胞壁分解酵素処理によって、表面を覆う細胞壁を除いた裸の細胞。乳頭細胞はワックスで覆われた厚い細胞壁を持つため、SP11 リガンドが細胞膜上の SRK 受容体と効率良く結合できるように細胞壁を除去した。

*⁶グルタミン酸受容体の阻害剤 AP-5：神経細胞のグルタミン酸受容体の一種である NMDA 型受容体の特異的かつ強力に阻害する。

*⁷GLR：植物のグルタミン酸受容体。植物では約 20 の遺伝子が GLR をコードすると予測されているが、哺乳動物との類似性と相違性については未知の部分が多い。

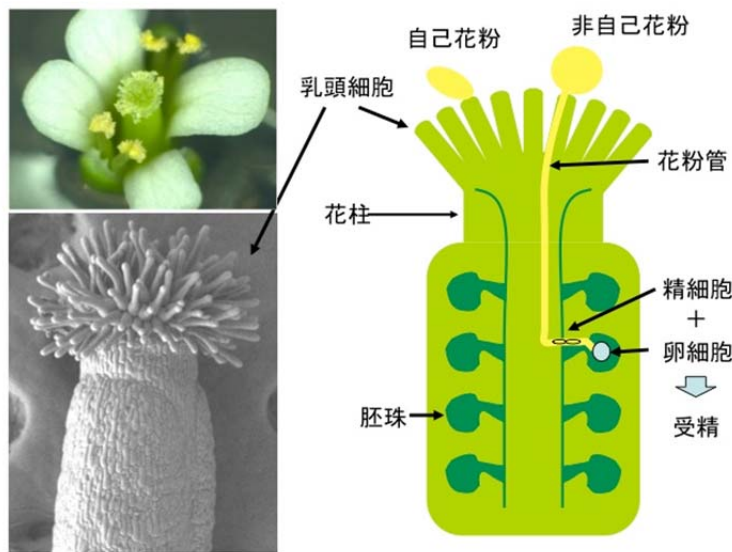


図1. アブラナ科植物の受粉—受精過程

実験で使用した自家不和合性シロイヌナズナの花（写真上）と雌しべ（写真下）。雌しべ先端は乳頭細胞という突起状の細胞で覆われており、この細胞が自己と非自己の花粉を識別する。非自己の花粉は乳頭細胞上で吸水・発芽し、花粉管を雌しべ根元の胚珠まで伸ばし、そこで運ばれてきた精細胞と卵細胞が受精して子孫が作られる（図右側）。一方、自己の花粉は乳頭細胞上で吸水・発芽できず、子孫を残すことができない（図左側）。

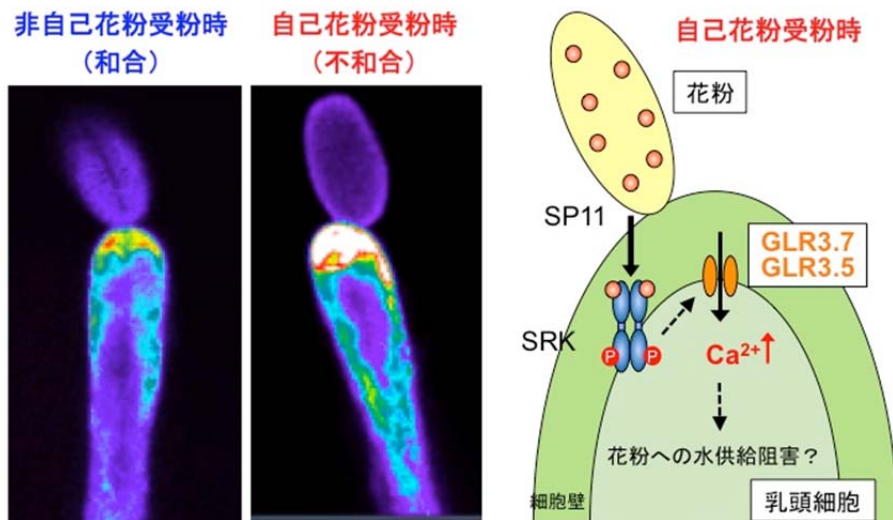


図2. アブラナ科植物の自家不和合性の情報伝達経路

カルシウムセンサータンパク質を YC3.60 を持つ自家不和合性シロイヌナズナに、自己の花粉を付けると乳頭細胞内のカルシウムイオン濃度が急激に上昇する様子が観察される（写真右）。非自己の花粉を付けてもこのカルシウムイオンの上昇は起きない（写真左）。自家不和合性の情報伝達経路のモデル図（右図）。自己の花粉が乳頭細胞に付くと SP11 リガンドと SRK 受容体が結合し、受容体のリン酸化酵素が活性化される（SRK 自身もリン酸化される：P で表記）。その下流で、グルタミン酸受容体（GLR3.7 と GLR3.5）が活性化され、細胞内にカルシウムイオン（Ca²⁺）の流入が起き、それが引き金となって花粉への水の供給が阻害されるものと予測される。

【本研究内容についてコメント出来る方】

渡辺 正夫 東北大学教授

TEL: 022-217-5681 FAX: 022-217-5683 E-mail: nabe@ige.tohoku.ac.jp

鈴木 剛 大阪教育大学教授

TEL: 072-978-3660 FAX: 072-978-3660 E-mail: gsuzuki@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

【本プレスリリースに関するお問い合わせ先】

奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科細胞間情報学研究室

教授 高山誠司 (研究代表者)

TEL: 0743-72-5450 FAX: 0743-72-5459 E-mail: takayama@bs.naist.jp