



## PRESS RELEASE

令和 4 年 3 月 18 日  
岡山大学  
科学技術振興機構 (JST)

### 柿の花が解き明かす「植物の揺らぐ性」の進化

～作物の性別を制御して効率的な作物生産や品種改良につながる技術へ～

#### ◆発表のポイント

- ・性別（オス・メス）を持つ柿の花が、性別のない両性花へ先祖返りする仕組みを解明しました。
- ・柿の両性花を生み出す新規遺伝子「*DkRAD*」を発見しました。
- ・農業にとって重要な「作物の性別」を自由に制御する技術へと発展していくと期待されます。

「性別」は生物の多様性を維持するのに重要な仕組みです。植物の「性」は個体としてのオス・メスだけではなく、雄花、雌花、そして両者が共存した「両性花」などの状態を揺らがせて、多様な花の性別を表現しながら進化してきました。しかし、植物の性に関する研究は 100 年以上も続いているにも関わらず、その揺らぎを決めている仕組みは謎に包まれていました。岡山大学学術研究院環境生命科学学域（農）赤木剛士 研究教授は、これまで柿やキウイフルーツを材料として植物の性別の研究に取り組んでおり、世界に先駆けて植物個体のオス・メスを決定する遺伝子群やその進化の過程を解明してきました。このたび、増田佳苗大学院生（大学院環境生命科学研究科博士後期課程 3 年）と、赤木研究教授は性別を持つ柿の花が、祖先である両性花へ先祖返りする仕組みの解明と、その中心的な働きを担う新しい遺伝子「*DkRAD*」の発見に至りました。この遺伝子は、赤木研究教授らの研究から既に見つかった性別決定遺伝子「*OGL*」「*MeGL*」とは全く異なる遺伝子であり、野生の柿では機能せず、栽培されている柿でのみ働く遺伝子であることが明らかになりました。また、オス化したモデル植物に本研究で発見した *DkRAD* 遺伝子を働かせることで、両性花への先祖返りを人工的に再現することに成功しました。これは、植物進化の中で繰り返されている「揺らぐ性別」の仕組みを解明したものであると同時に、作物の性別を自由に制御し、安定的生産や新しい育種を可能にする技術に発展していくと期待できます。

本研究成果は、日本時間 3 月 18 日（英国時間：3 月 17 日）、英国の科学雑誌「*Nature Plants*」に掲載されます。本研究は、岡山大学資源植物科学研究所、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構、京都大学大学院農学研究科、カリフォルニア大学デービス校との共同研究として行われました。

私たちのチームでは柿やキウイフルーツなどの果実作物を使って、植物における「花の性別決定」の仕組みを研究してきました。もし、みなさんの身の回りにも不思議な性別を見せる植物を見つけたら、ぜひ教えてください。



増田院生



赤木研究教授

## PRESS RELEASE

### ■発表内容

#### <現状>

私たちヒトを含む動物や植物は遺伝的な多様性を維持するために、「性別」を作り出してきました。動物では一つの個体にオス・メスといった一つの性別が与えられるのが普通ですが、植物は単純なオス・メスだけでなく、両者の性質を併せ持つ「両性花」を祖先として、「花」という単位で独立した性別を表現できるため、例えば1本の木（一つの個体）の中でも、雄花・雌花・両性花を様々なバランスで着花する「揺らぎのある性別」を表現することができます。これまでの私たちの研究により、柿やキウイフルーツを使って植物の個体そのもののオスやメスを決定する遺伝子が発見されました。現在、両性花から一つの個体の性別が導かれる進化の道筋が紐解かれつつあり、植物の個体は一度オスやメスといった「性別」を決定した後も、雄花・雌花そして祖先である両性花を柔軟に使い分けていることが分かってきました。しかし、この「揺らぐ性別」の仕組みはこれまで明らかになっていませんでした。この「揺らぎ」の正体が分かれば、作物の花における性別を自由に制御し、効率的な作物生産や品種改良を可能にする革新的な技術へとつながっていくと考えられます。

#### <研究成果の内容>

今回の研究では、柿の雄花が祖先である両性花へ変化する仕組みを解明し、これが単なる「先祖返り」ではなく、「新しい性別表現の構築」によるものであるという新しい進化学的な説を提案しました。これまでに私たちは柿において、性別を決定する二つの遺伝子「*OGI*」と「*MeGI*」を発見していました。本研究では、柿の花における詳細な遺伝子共発現ネットワーク解析によって花から両性花への変化を促す働きを持つ、これら二つとは全く異なる新しい遺伝子を発見しました。この遺伝子は、「*RADIALIS*」と呼ばれる small-MYB タイプ（注1）の遺伝子の一種で、私たちは *DkRAD* 遺伝子と名付けました。この *DkRAD* 遺伝子は、サイトカイニン（注2）やアブシジン酸（注3）といった植物ホルモンのシグナルに対する応答性を獲得するとともに、雄花において雌しべを形成して、両性花へと変化させる働きがあることを明らかにしました。（図1）。本来、他の植物種で見られている *RADIALIS* 遺伝子は花卉の形に関わる遺伝子であり、このように性別の変化に関わる機能が見られたのは、柿のみで見られる全く新しい現象です。この *DkRAD* 遺伝子を介した両性花への先祖返りは六倍体（注4）の栽培柿のみで見られる現象であり、近縁の二倍体野生種（野生の柿）では見られませんでした。さらに *DkRAD* 遺伝子の機能を明らかにするために、柿ではなくオス化したモデル植物であるシロイヌナズナ（雌しべが退化した別遺伝子組み換え体）で *DkRAD*

遺伝子を働かせたところ、雌しべの成長が回復し、両性花へと変化するこ



図1：栽培柿における両性花への先祖返り

本来は性別（オス・メス）のみを示すが、まれに雄花から両性花への先祖返りが起こり、揺らぐ性を示す。

## PRESS RELEASE

が観察されました。この結果は *DkRAD* 遺伝子が既に存在している性別決定の仕組みを「塗り替えて」両性花への変化を促したことを示しており、また、雄花から両性花への先祖帰りの進化を人工的に再現できたものであると考えられます。本研究は、植物が祖先である両性花を起点として長い歴史の中で進化させてきた性別を作り出す仕組み（遺伝子）とは全く異なる仕組みを新たに構築することで、結果として両性花への先祖帰りを果たしている、という進化の過程を提示するものです。（図2）。これは同時に、「いかにして植物は（植物に特異な）揺らぐ性別を作り出すのか？」という問いに対しての新しい可能性を提示しています。

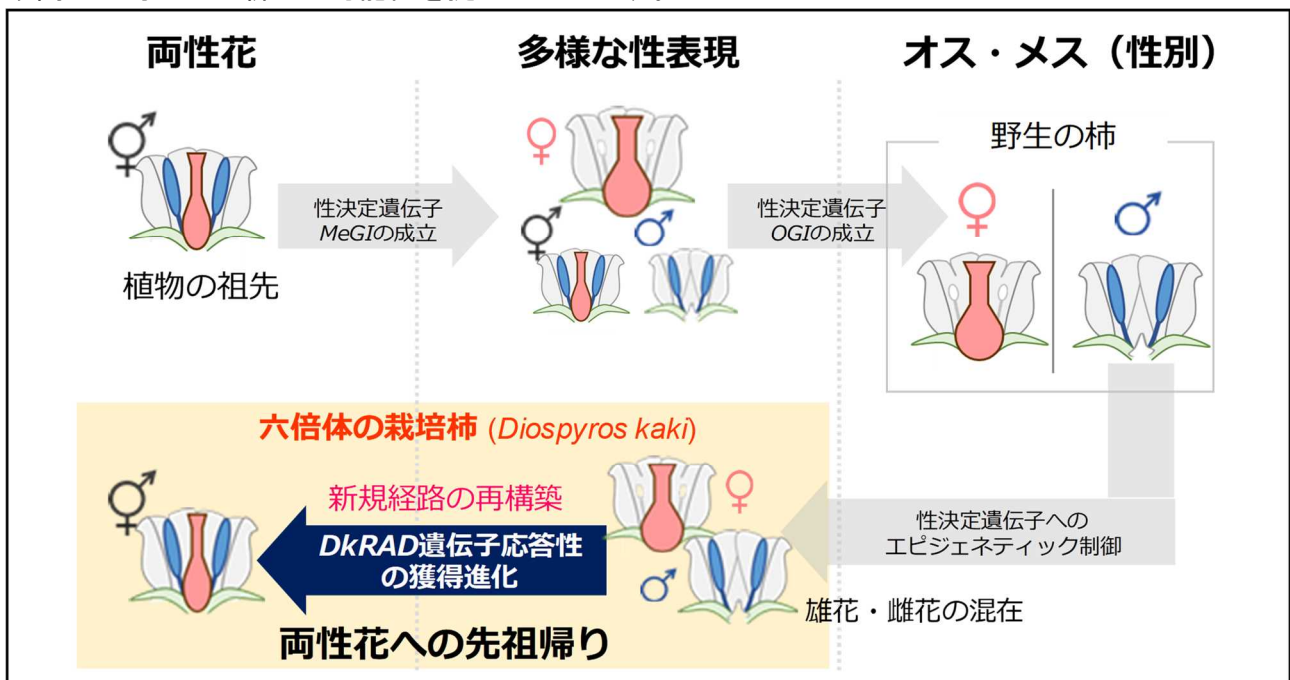


図2：柿の遺伝子進化から見てきた「植物の揺らぐ性別」の成立過程

カキ属植物の野生種は祖先である両性花から *MeGI* 遺伝子・*OGI* 遺伝子を作り出し、オス・メス個体（性別）を進化させてきた（赤木ら 2014 Science, 2016 Plant Cell, 2020 PLOS Genetics にて解明）。一方で、六倍体の栽培柿では雄花から両性花への先祖返りを起こすが、この進化過程には新しい遺伝子 (*DkRAD*) の応答が関与していた。

### <社会的な意義>

作物の生産や品種改良では、場合に応じて都合の良い性表現というものがあります。例えば、オス・メス（雄株・雌株や雄花・雌花）がある作物では、受粉のために両者で一致した時期での開花が求められます。さらに、実を付けることができるのはメスのみであるため、安定的な生産が難しいですが、両性花ではその心配が要りません。また、育種において、たとえ優れた品質を持つオスもしくはメスがいたとしても、単一での繁殖は出来ず、必ず両者を交配する必要があります。一方、有用な品種を作り出すために交雑を前提とした F1 品種（注5）などでは、勝手に自家受粉してしまう両性花では都合が悪く、性別を有する作物の方が有利です。私たちはこれまでも植物の性別を制御する遺伝子やその仕組みを解き明かしてきましたが、今回の研究結果から、本来の性別決定の仕組みに依存せず、上書きして両性花を作り出すための知見が明らかになりました。この知見を応用することで、花の性表現を自由に制御し、臨機応変な交配や、人工授粉などが必要ない安定的な作物栽培・生産を生み出す技術につなげることが可能だと考えています。



## PRESS RELEASE

### ■論文情報

論文名: Reinvention of hermaphroditism via activation of a *RADIALIS*-like gene in hexaploid persimmon

掲載紙: *Nature Plants*

著者: Kanae Masuda, Yoko Ikeda, Takakazu Matsuura, Taiji Kawakatsu, Ryutaro Tao, Yasutaka Kubo, Koichiro Ushijima, Isabelle M. Henry, Takashi Akagi

DOI: 10.1038/s41477-022-01107-z

URL: <https://www.nature.com/articles/s41477-022-01107-z>

### ■研究資金

本研究は、科学技術振興機構（JST） 戦略的創造研究推進事業 さきがけ「フィールドにおける植物の生命現象の制御に向けた次世代基盤技術の創出（研究総括：岡田 清孝）」における研究課題「カキ属をモデルとした環境応答性の性表現多様化機構の解明（JPMJPR15Q1）」（研究者：赤木剛士、研究期間：2015年12月～2019年3月）、さきがけ「植物分子の機能と制御（研究総括：西谷和彦）」における研究課題「ゲノム・遺伝子倍化が駆動する植物分子の新機能の探索とデザイン（JPMJPR20D1）」（研究者：赤木剛士、研究期間：2020年12月～2024年3月）、新学術領域「植物新種誕生の原理」における「植物における性表現の揺らぎを成立させる進化機構（19H04862）」（研究者：赤木剛士、研究期間：2019年4月～2021年3月）、新学術領域「非ゲノム情報複製機構」における「減数分裂における DNA メチル化の消去・維持機構の解明（20H05391）」（研究者：池田陽子、研究期間：2020年4月～2022年3月）、岡山大学資源植物科学研究所における共同利用・共同研究拠点事業（研究者：赤木剛士・池田陽子、研究期間：2020年4月～2022年3月）、日本学術振興会 特別研究員（DC1）制度における研究課題「ゲノム倍化が駆動するカキ属における性決定の可塑化（19J23361）」（研究者：増田佳苗、研究期間：2019年4月～2022年3月）の支援を受けて実施しました。

### ■補足・用語説明

（注1）small-MYBタイプ：転写因子（遺伝子の働きを制御する因子）の種類。MYBと呼ばれる転写因子は通常2つの保存ドメインを持つが、small-MYBはそのうちの1つのドメインしか持っていない。

（注2）サイトカイニン：植物ホルモンの一種。細胞の分裂・増殖など、一般に植物の成長の促進に関わることが多い。

（注3）アブシジン酸：植物ホルモンの一種。休眠や成長抑制など、植物がストレスを受けたときの防御反応に関わることが多い。

（注4）六倍体：植物（高等植物）の染色体は通常、全ての染色体が二本の対になっている「二倍体」という状態であるが、六倍体とはゲノムの量が三倍に増加することで六本の染色体が対になっている状態である。

（注5）F1品種：特定の組み合わせの両親を交配させた種子を品種として取り扱っているもの。両親にはない有用な特徴が多く得られることが多い。



## PRESS RELEASE

### お問い合わせ

#### <研究に関すること>

岡山大学 大学院環境生命科学研究科  
研究教授 赤木 剛士 (アカギ タカシ)  
(電話番号) 086-251-8337  
(メール) takashia[at]okayama-u.ac.jp

#### <広報に関すること>

岡山大学 総務・企画部 広報課  
(電話番号) 086-251-7292  
(メール) www-adm[at]adm.okayama-u.ac.jp

科学技術振興機構 広報課  
(電話番号) 03-5214-8404  
(メール) jstkoho[at]jst.go.jp

#### <JSTの事業に関すること>

科学技術振興機構 戦略研究推進部  
ライフイノベーショングループ  
保田 睦子 (ヤスタ ムツコ)  
(電話番号) 03-3512-35246  
(メール) presto[at]jst.go.jp



岡山大学は持続可能な開発目標 (SDGs) を支援しています。