



令和 5 年 3 月 7 日
岡 山 大 学
科学技術振興機構 (JST)

キウイフルーツのゲノム解読が「性染色体進化の定説」を覆す

◆発表のポイント

- ・ 様々なキウイフルーツの全ゲノム情報を解読しました。
- ・ キウイフルーツは進化の中で何度も「新しい Y 染色体」を生み出したことを発見しました。
- ・ 「Y 染色体はオスに有利な状況を作るよう進化する」という定説を覆す新説を提唱しました。

「性別」は性染色体によって決定しており、例えば私たちヒトを含む哺乳類では Y 染色体を持つものがオスになります。Y 染色体は対となる X 染色体と全く異なる構造をしており、これは「オスらしさ」を作り出すよう Y 染色体が進化するためであるというのが従来の定説でした。一方、植物も哺乳類と同様に XY 型の性別を持つ種が多く、100 年前に植物で初めての Y 染色体が発見されましたが、その進化過程は長年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）の赤木剛士 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の性を決定する遺伝子群やその進化を解明してきました。このたび赤木研究教授は、様々なキウイフルーツの全ゲノム配列を解読し、進化の過程でキウイフルーツが何度も新しい Y 染色体を重複して生み出しており、これには従来の定説を覆す新しい進化メカニズムが関与している可能性があることを提唱しました。キウイフルーツのオスは花が多い・花が早く咲くといった「オスらしさ（オスに有利な特徴）」を有していますが、赤木研究教授らは、この特徴が従来の説のように Y 染色体が作られる過程で生み出されたものではなく、性別決定遺伝子そのものが本来持つ機能であることを明らかにしました。これは、植物における性染色体の進化過程やその役割を世界で初めて明らかにしたものであると同時に、作物の性表現に関わる重要な知見として、食物の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 7 日（英国時間：3 月 6 日）、英国の科学雑誌「*Nature Plants*」に掲載されます。本研究は、香川大学農学部、かずさ DNA 研究所、ニュージーランド Plant & Food Research 研究所、カリフォルニア大学デービス校、エディンバラ大学との共同研究として行われました。



PRESS RELEASE

◆研究者からのひとこと

国内に生息するキウイフルーツの仲間（マタタビ属）は固有の多様性を持っており、全国にサルナシやシマサルナシ、マタタビなどが自生しています。マタタビ属にはオスとメス（見た目上は両性花）がいるはずですが、もし「両性かも!？」という個体を見かけましたら是非お知らせください。



赤木研究教授

■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。この「性別」を決めているのが「性染色体」と呼ばれるものです。ヒトを含む哺乳類ではXY型性染色体を有しており、Y染色体を持つとオスに、X染色体のみを持つとメスになります。Y染色体を持つのはオスだけであり、Y染色体は長い歴史の中で「オスらしさ（オスにとって有利な特徴）」を維持するための遺伝子を多数獲得するように進化した結果、形状が異なる現在のX/Y染色体が成立してきたというのが従来からの定説でした。

さて、植物の多くは雄しべ・雌しべの両者を有する両性花で成り立っていますが、幾つかの植物は動物と同じく明確なオス・メスが存在する「性別」を進化させており、その多くがXY型の性染色体を持っています。植物の性染色体はちょうど100年前の1923年にその存在が発見され、長い研究の歴史があります。しかし、性染色体上に存在する性決定遺伝子が解明されたのはつい最近の事であり、性染色体の進化過程やその意義などは全く明らかにされていませんでした。動物と同様に、植物のオス個体にも「オスらしさ」があり、この原因がY染色体に散在する多くのオス特異的な遺伝子群に由来すると考えられてきましたが、その正体については謎に包まれていました。

<研究成果の内容>

今回の研究では、これまで性決定遺伝子の研究が盛んに進められてきたキウイフルーツの仲間（マタタビ属）において、様々な種の全ゲノム解読を行い、性染色体の進化過程を明らかにする調査が行われました。マタタビ属の全ゲノム情報を比較した結果、共通の性決定遺伝子である *Shy Girl* 遺伝子と *Friendly Boy* 遺伝子（赤木ら, 2018 Plant Cell, 2019 Nature Plants）は頻繁にゲノム中で重複して存在しており、種によって次々と独立した新しいY染色体を進化させていることが明らかになりました。さらに、Y染色体は極めて短い期間にオスに特異的なゲノム領域を独立して進化させており、これらはトランスポゾン（注1）と呼ばれるゲノムの中を飛び回る因子が急速に蓄積することで成立することが明らかになりました（図1）。

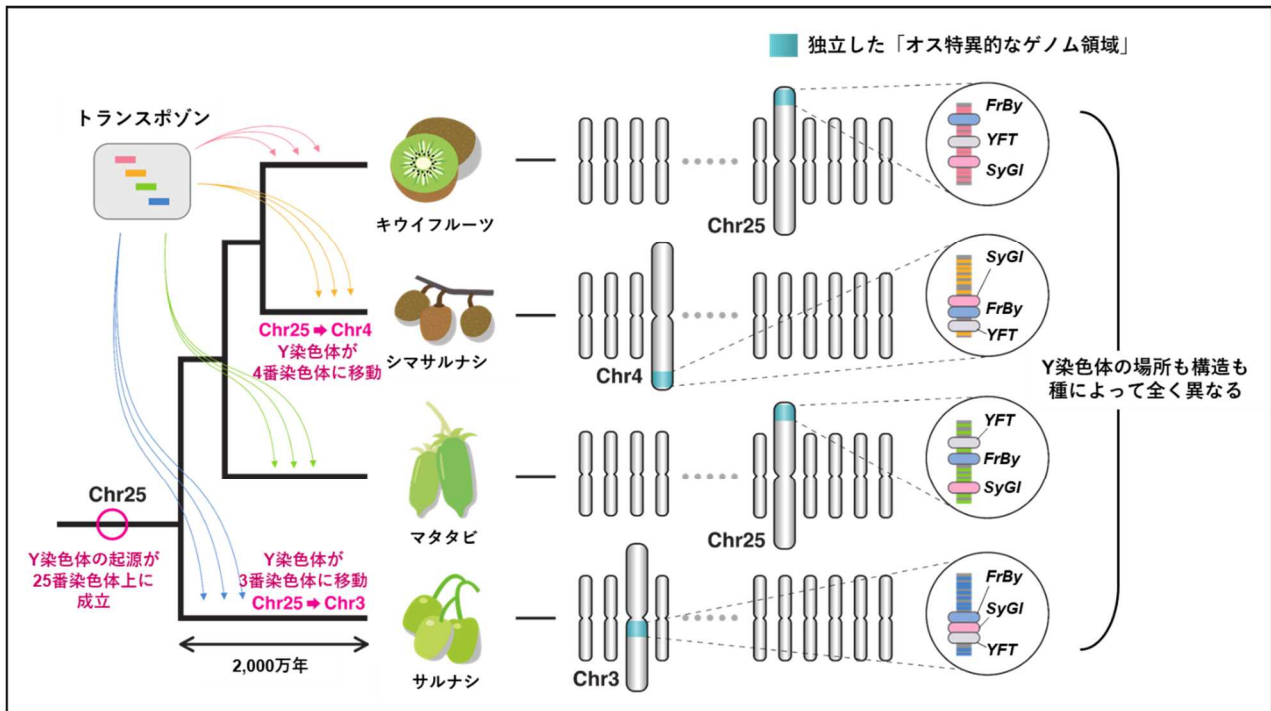


図1：キウイフルーツ（マタタビ属）は新しいY染色体の成立進化を繰り返す

一方、多様なマタタビ属植物のオス個体では花が多い・開花が早いといった「オスらしさ（オスにとって有利な特徴）」を共通して示しますが、意外なことに、これらの種で新しく進化したY染色体間では、定説にあるような「オスらしさ」を作り出すような性決定遺伝子以外の共通遺伝子群は存在しませんでした。本研究では、性決定遺伝子である *Shy Girl* 遺伝子の機能に着目し、遺伝子編集技術（注2）によって *Shy Girl* 遺伝子を欠いたオスのキウイフルーツを作出したところ、オスは全て両性花に変化するとともに、花が多い・開花が早いといった共通した「オスらしさ」さえも同時に失うことが明らかになりました（図2）。つまり、これまでの定説では、まず、性決定遺伝子が成立してオス・メスという概念が成立した後に「オスらしさ」を生み出す別の遺伝子群が成立することで、オスらしさを示すY染色体が作られると考えられてきました。しかし、今回の結果により、植物の個体において「性が成立する」と「オスらしさを獲得する」という進化は、いずれも性決定遺伝子そのものが担っており、Y染色体が作られる過程とは独立しているという新説を提唱しました。

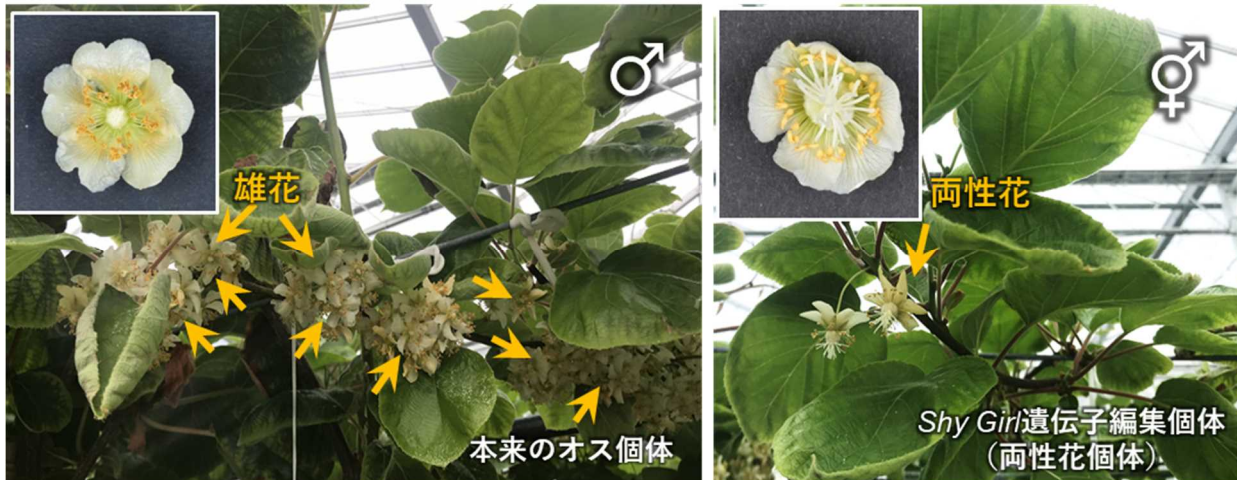


図2：キウイフルーツにおける性決定遺伝子 *Shy Girl* の遺伝子編集

オスのキウイフルーツ（左）は *Shy Girl* 遺伝子の機能を失うことで両性花となる（右）さらに「花が多い」「早く花が咲く（開花している枝が多い）」といったオスの特徴も失われている。

<社会的な意義>

性染色体の進化に関する今回の新しい知見は、本来、同じであると思われていた動物と植物の性染色体の成立過程や役割が大きく違ったものである可能性を示すものです。植物は、進化の過程で何度も独立して性を成立させており、本知見はその植物に特異な「柔軟な性の成立」における原動力の理解に繋がるものになります。「性別」は作物の安定的な生産や、育種の上で交雑組み合わせを限定する大きな課題となるものですが、植物ごとにその性決定の仕組みは異なっており、「なぜ植物は性別を生み出すのか？」という根本的な要因は分かっていませんでした。本研究はその根幹となる性染色体進化の一端を植物で初めて紐解いたものであり、この知見を基にして、植物における性の成立の独自性とその根本的な要因の解明が期待されます。

■論文情報

論文名：Recurrent neo-sex chromosome evolution in kiwifruit

掲載紙：Nature Plants

著者：Takashi Akagi*, Erika Varkonyi-Gasic, Kenta Shirasawa, Andrew Catanach, Isabelle M. Henry, Daniel Mertten, Paul Datson, Kanae Masuda, Naoko Fujita, Eriko Kuwada, Koichiro Ushijima, Kenji Beppu, Andrew C. Allan, Deborah Charlesworth, Ikuo Kataoka

DOI：10.1038/s41477-023-01361-9

URL：https://www.nature.com/articles/s41477-023-01361-9

■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



PRESS RELEASE

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）、学術変革領域（A）「挑戦的両性花原理（22H05172）」（領域代表：赤木剛士）における「植物の「可塑的な性」を駆動するゲノム動態原理（22H05173）」（研究者：赤木剛士、研究期間：2022年7月～2027年3月）の支援を受けて実施しました。

■補足・用語説明

(注1) トランスポゾン：ゲノム中に多数存在し、ゲノム上で移動することのできる塩基配列を指す。「動く遺伝子」とも呼ばれることがある。

(注2) 遺伝子編集技術：ゲノムDNA上の特定の塩基配列を狙って変化させる技術を指す。外来遺伝子を組み込むものではなく、生物が本来持っているDNA配列を標的として主に「切る・繋げる」などを行う技術である。

<お問い合わせ>

岡山大学学術研究院環境生命科学学域
研究教授 赤木剛士
(電話番号) 086-251-8337
(メール) takashia[at]okayama-u.ac.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
保田睦子
(電話番号) 03-3512-3524
(Fax) 03-3222-2064
(メール) presto[at]jst.go.jp

<報道担当>

岡山大学総務・企画部広報課
(電話番号) 086-251-8415
(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
(Fax) 03-5214-8432
(メール) jstkoho[at]jst.go.jp