

2026年6月11日
農研機構
国際農研
高崎健康福祉大学
吉備国際大学
国際稲研究所(IRRI)
東京大学

イネの開花時刻を制御する遺伝子を発見 —高温下でも高温不稔を軽減し、コメ安定生産に貢献—

農研機構と国際農研が主導する国際共同研究チームは、イネの開花時刻を制御する新規遺伝子「*Early Morning Flowering 3 (EMF3)*」を発見しました。*EMF3* 遺伝子に特定の1塩基置換を有するイネでは、開花時刻が従来¹⁾の10~12時から約2時間早まります。気温の低い午前中の早い時間帯に開花することで、気温の高い通常の時間帯に開花するイネよりも稔実（ねんじつ）が著しく向上することを実証しました。本研究で開発された開花制御技術は温暖化が地球規模で急速に進行する中で、コメの安定生産に貢献します。

気候変動に伴う記録的猛暑は、世界と日本の農業に深刻な影響を及ぼしつつあります。現在は登熟期¹⁾の高温によりコメの品質が低下する‘白未熟粒’が大きな問題となっていますが、さらに温暖化が進行すればコメの収量が低下する‘不稔（稔実せずにコメが実らない空粃）’が問題となると予測されています。

イネは比較的暑さに強い作物ですが、暑すぎると高温による障害が発生します。イネが暑さに最も弱いのは開花期で、開花する10-12時の時間帯に35℃以上の著しい高温に遭遇すると受粉不良により稔実するコメの数が減ります。急速な温暖化が進む近年では、開花時の高温不稔を軽減できる品種開発が世界的に求められています。

国際稲研究所（IRRI）を含む本研究グループは、通常²⁾のイネと塩基配列²⁾がわずかに1か所異なるだけで、イネの開花時刻を改変できる新規遺伝子 *Early Morning Flowering 3 (EMF3)* の特定に成功しました。*EMF3* 遺伝子に特定の変異を導入した早朝開花性³⁾を有するイネ（早朝開花イネ）では、より涼しい午前中の早い時間に開花することで、高温不稔の発生が大幅に減り、稔実するコメが多くなることを実証しました。また *EMF3* 遺伝子の当該変異は日本のイネだけではなく、世界の様々なイネの開花時刻を早めることができることも明らかとなりました。

本研究は、温暖化が地球規模で急速に進行する中で、*EMF3* 遺伝子が高温不稔を軽減する実用的な早朝開花イネの開発に役立つ可能性を示すとともに、イネの開花時刻制御メカニズムの全容を科学的に解き明かす重要な手掛かりを提供します。



図1 通常のイネ（左）では開花しない午前8時半に開花している早朝開花イネ（右）

本成果は、科学誌「Plant Biotechnology Journal」（2026年4月9日）に発表されました。

<関連情報>

未来社会創造事業探索加速型「開花時刻調節で変わる未来の作物生産」JPMJMI22I2

日本学術振興会科研費 JP15K18625、JP18H02191

農林水産省国際農業研究機関拠出金／国際稲研究所（IRRI）、Climate Change Adaptation for Rainfed lowland Area（CCARA）

農研機構運営費交付金、国際農研運営費交付金

特願：開花時刻が調節された植物、及びその製造方法（公開番号：W0/2026/058885）

問い合わせ先など

■農研機構

研究推進責任者：中日本農業研究センター 所長 善林 薫

作物研究部門 所長 佐藤 宏之

研究担当者：中日本農業研究センター 大規模水田輪作研究領域

上級研究員 石丸 努

作物研究部門 作物デザイン研究領域 上級研究員 平林 秀介(当時)

広報担当者：中日本農業研究センター 研究推進室 広報チーム長 田口 和代

TEL 029-838-8421 プレス用 e-mail : koho-carc@ml.affrc.go.jp

■国際農研

研究推進責任者：プログラムディレクター 大森 圭祐

研究担当者：生物資源・利用領域 主任研究員 佐々木 和浩

企画運営部 研究企画科長 石崎 琢磨

広報担当者：広報連携ユニット ユニット長 丸井 淳一郎

e-mail : info-pr@jircas.go.jp

■吉備国際大学

広報担当者：順正学園入試広報室 担当：猪木原 恵

岡山市北区岩田町 2-5

TEL(086)231-3600 FAX(086)231-3601

本資料は農政クラブ、農林記者会、農業技術クラブ、筑波研究学園都市記者会、新潟県政記者クラブに配付しています。

※農研機構（のうけんきこう）は、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネーム（通称）です。
新聞、TV等の報道でも当機構の名称としては「農研機構」のご使用をお願い申し上げます。

開発の社会的背景

2023年、国連のアントニオ・グテーレス事務総長は「地球沸騰化時代」という言葉を用い、気候変動への危機感を露わにしました。実際に近年の異常高温は、様々な作物生産に影響を及ぼしつつあります。イネが高温に対する感受性が最も高いのは開花期で、35℃以上の高温下で開花すると、葯（やく）⁴⁾が柱頭（ちゅうとう）⁵⁾に花粉を放出できないため、受粉の失敗によりコメが実らない不稔（コメが実らない空籾）が増加します（図2参照）。現在のところ、高温不稔による収量低下は大きな問題にはなっていませんが、イネは日本のみならず世界の約半分の人口にとっての主食であることや、異常高温が常態化してきている状況から、開花時の高温不稔を軽減できるイネは世界的にも重要な開発目標となっています。

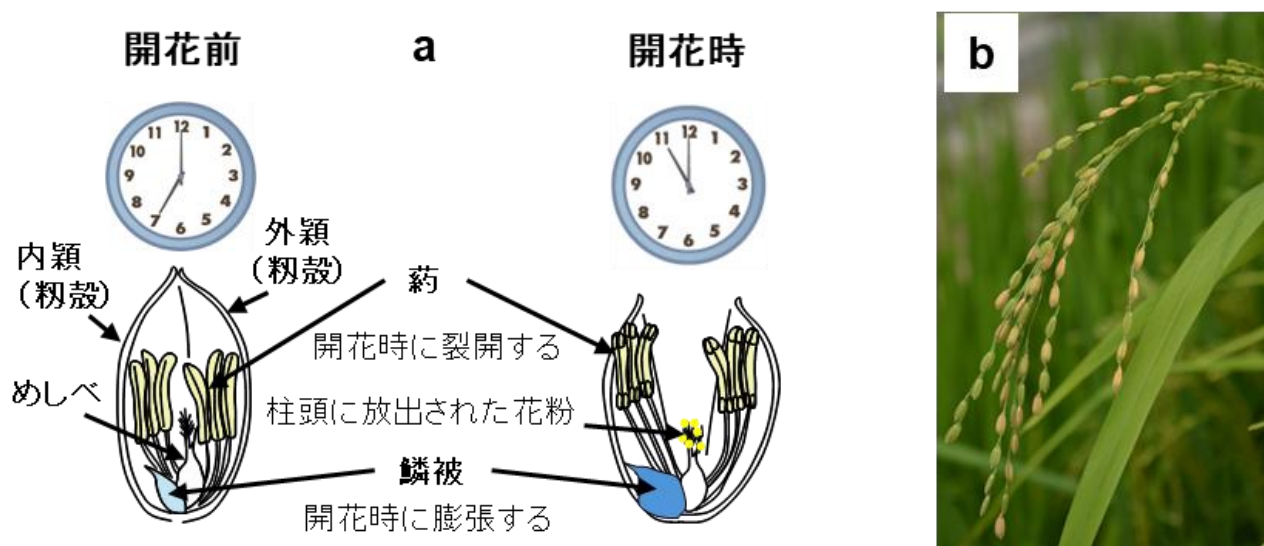


図2 イネの正常な開花の模式図(a)と不稔が発生した穂(b)

- (a) 通常、イネの開花時刻は午前10時から12時で、花の各器官のうち開花時には水分の急激な流入を受けて鱗被（りんぴ）が膨張し、外穎と内穎（いわゆる籾殻）が物理的に開きます。同時に葯が裂開し、花粉がめしべの柱頭に落下することで受精が起き、その後コメが実ります。
- (b) 開花時に異常高温にさらされると、葯が裂開せず、花粉が柱頭に放出されない受粉障害により、コメが実らない空籾（緑色の籾）が増えます。

研究の経緯

イネの通常の開花時刻である午前10時から12時は、日中の最高気温に向けて気温上昇している時間帯にあたります。この暑い時間帯での開花を避け、気温の低い早朝に開花する「早朝開花イネ」を開発できれば、高温不稔を軽減できることはすでに知られていました。本研究グループはこれまでの研究から、イネの第3染色体上に早朝開花性に関与する遺伝子が存在する可能性を示唆する結果を得ていましたが、どの遺伝子がどのような仕組みで開花時刻を早めているのか、詳しいメカニズムは分かっていませんでした。そこで本研究では、開花時刻を決定する遺伝子の特定と、早朝開花を引き起こす塩基配列の変異の同定を目指しました。

研究の内容・意義

① 早朝開花性の原因遺伝子の特定に成功

本研究グループが独自に育成した早朝に開花するイネと通常のイネの塩基配列を比較し、第3染色体上にある一つの遺伝子(0s03g0145400)が開花時刻に影響を及ぼしていることを突き止めました。本研究グループはこの遺伝子を「*Early Morning Flowering 3 (EMF3)*」と命名しました。早朝開花イネ1では *EMF3* 遺伝子の塩基配列のうち、181番目の塩基がシトシン (C) からチミン (T) に置換され、塩基の置換に伴い *EMF3* タンパク質の61番目のアミノ酸がロイシン (L) からフェニルアラニン (F) に変化していました(図3a)。*EMF3* は2172の塩基配列から構成されますが、そのうちのたった1塩基の置換に起因する1アミノ酸の違いがイネの早朝開花性に関与すると考えられました。さらに、通常のイネでは午前10時から12時に集中して開花しますが、人為的に *EMF3* タンパク質の機能を欠失させたイネでは早朝から夕方までの幅広い時間帯に分散して開花するようになりました。この結果は *EMF3* 遺伝子がイネの開花時刻に大きな影響を及ぼすことを示します(図3b)。

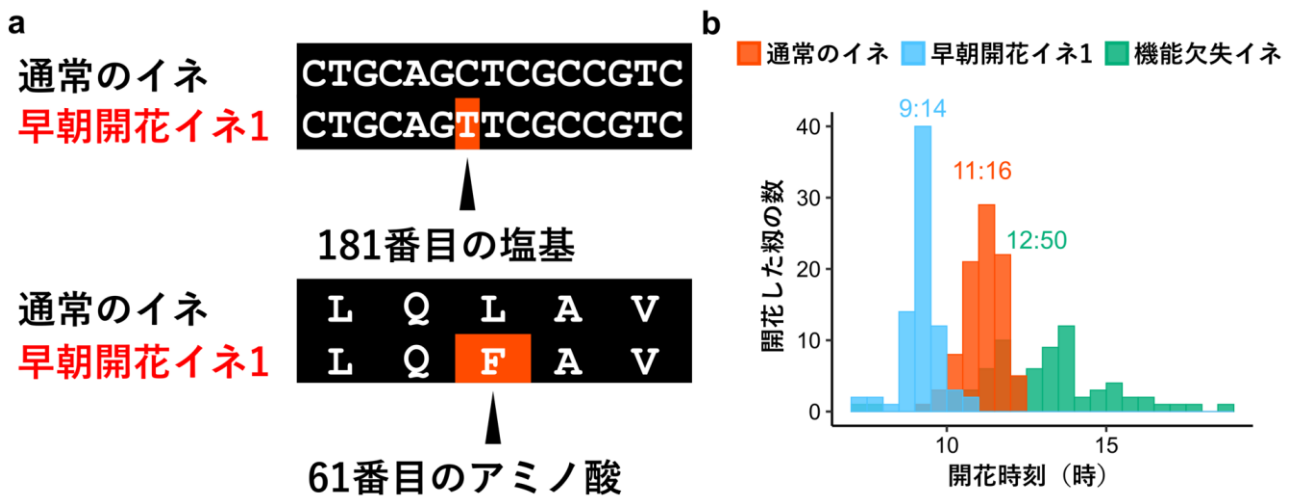


図3 早朝開花イネ1の原因となる塩基やアミノ酸の変化

- (a) 早朝開花性の原因となる181番目の塩基の違い。*EMF3* 遺伝子は2172の塩基から構成されますが、図3aでは181番目の塩基周辺の配列のみを示しています。通常のイネは181番目の塩基がシトシン (C) ですが、本研究グループが独自に育成した早朝開花イネ1ではチミン (T) に置換されていました。その結果、*EMF3* タンパク質の61番目のアミノ酸がロイシン (L) からフェニルアラニン (F) に変化します。
- (b) *EMF3* 遺伝子に変異のあるイネの開花時刻。図中の時刻はそれぞれのイネの開花が最も盛んな時刻(開花時刻のピーク)を表しています(以下の図4、5も同様です)。通常のイネと早朝開花イネ1ではそれぞれ11:16と9:14に開花時刻のピークが見られますが、人為的に *EMF3* タンパク質の機能を欠失させたイネ(機能欠失イネ)では開花時刻のピークが緩やかで、早朝から夕方までの幅広い時間帯に開花がみられました。沖縄県石垣市での結果。

② *EMF3* 遺伝子に特定の変異を有する早朝開花イネでは開花時の高温不稔が軽減される

EMF3 遺伝子の塩基配列に変異を持つ日本の品種(「とよめき」)の突然変異系統群を用いて開花時刻を調査したところ、61番目のアミノ酸の変化の他に、563番目のアミノ酸がト

レオニン (T) からイソロイシン (I) に変化しているイネも早朝開花性を示しました (早朝開花イネ 2) (図 4a)。さらに、午前 6 時の気温は 28℃、その後、徐々に気温が上がり、正午には 38℃の高温に達する設定の人工気象室 (高温区) で通常のイネと 2 種類の早朝開花イネを栽培したところ、通常のイネ品種では、野外条件 (対照区) に比べて著しく稔実率 (コメが実っている籾の割合) が低下する一方で、早朝開花イネでは高温になる前に開花するため、高温区でもそれほど稔実率が低下しないことが実証されました (図 4b)。様々なイネ品種の遺伝子情報が載っているデータベース (TASUKE+;<https://tasuke-wiki.dna.naro.go.jp/>) で検索する限りでは、世界のどのイネ品種も早朝開花イネのような 61 番目と 563 番目のアミノ酸の変化を持っておらず、本研究で開発した早朝開花イネは、既存のイネ品種が持っていない特徴を持つ非常にユニークなイネであることが分かりました。

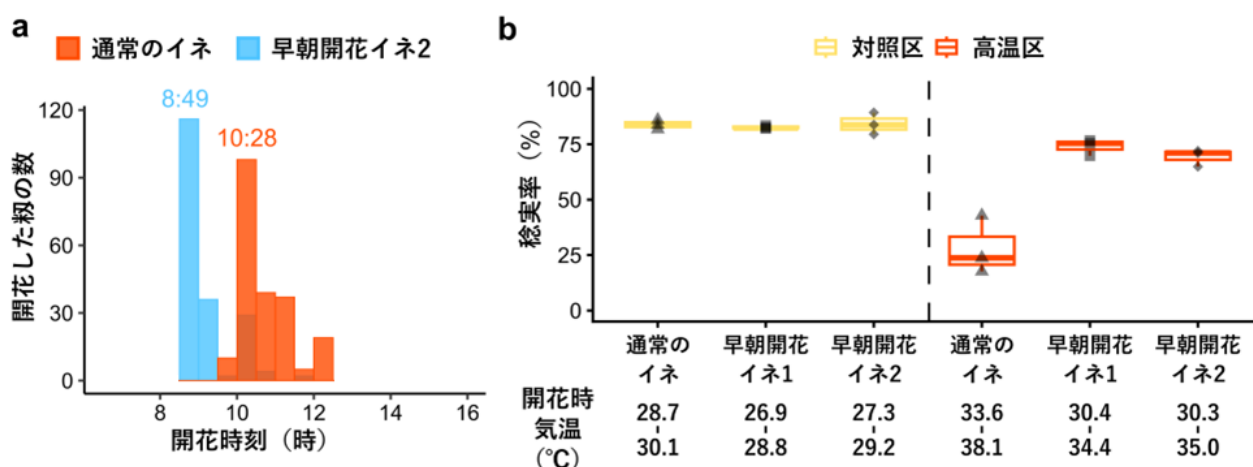


図 4 EMF3 タンパク質の 61 番目 (早朝開花イネ 1) または 563 番目 (早朝開花イネ 2) のアミノ酸に変異を有する 2 種類の早朝開花イネを用いた高温不稔軽減の実証試験結果

- (a) EMF3 タンパク質の 563 番目のアミノ酸がトレオニン (T) からイソロイシン (I) に変化した早朝開花イネ 2 の開花時刻。通常のイネでは 10:28 に開花時刻のピークが見られるのに対し、早朝開花イネ 2 では 8:49 に開花時刻のピークが見られました。茨城県つくば市での結果。
- (b) 高温に設定した人工気象室における早朝開花イネ 1 と 2 の通常のイネ品種との稔実率の比較。高温区では午前 6 時の時点で 28℃、その後、正午に 38℃になるように徐々に人工気象室内の気温を上昇させました。早朝開花イネ 1 と 2 は気温が 35℃に達する前に開花を終えることができたのに対し、通常のイネは 35℃に達した後ほとんどの籾が開花しました。その結果、通常のイネは高温区で稔実率の低下がみられたのに対し、早朝開花イネ 1 と 2 は高温区においても稔実率の低下はみられませんでした。野外の対照区では開花時刻が遅い通常のイネでも開花時の気温は 30.1℃で、高い稔実率である (高温不稔は発生していない) ことが分かります。

③ EMF3 遺伝子は世界の様々なイネの開花時刻を早めることができる

EMF3 遺伝子の変異は世界の様々なイネの開花時刻を早めることができることも分かりました。東南アジア (ラオス) で栽培されている TDK1、南アジアで栽培されている Pusa Basmati、西アフリカで栽培されている Sahel329 という品種に、早朝開花イネ 1 で見られた 61 番目のアミノ酸が変化した EMF3 遺伝子を DNA マーカー⁶⁾を用いて交配により導入し

たところ、すべての型のイネで元の品種よりも開花時刻が早まりました（図5）。

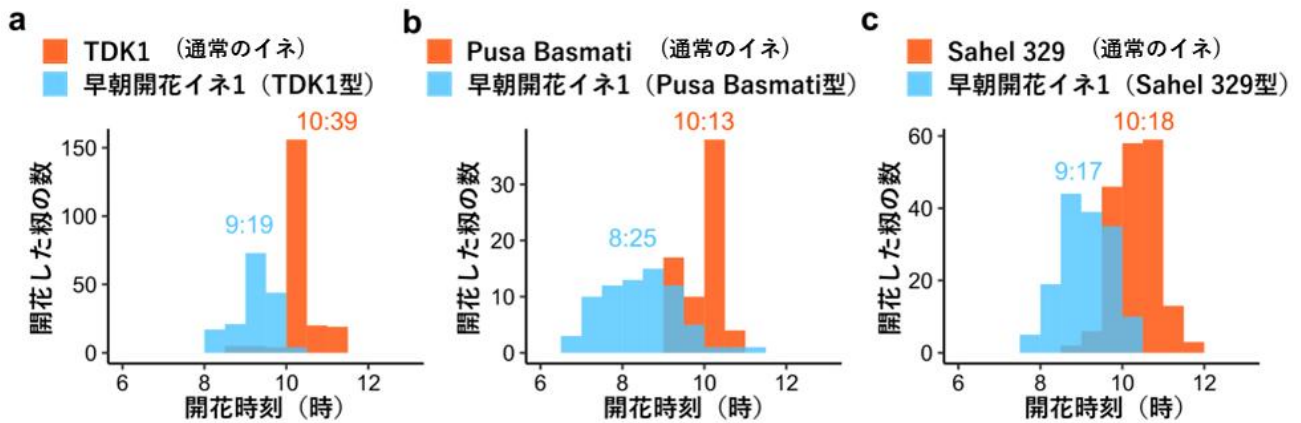


図5 *EMF3*の61番目のアミノ酸の変化（早朝開花1）を導入した世界のイネの開花時刻 国際稲研究所（フィリピン）での結果。

④ *EMF3* 遺伝子を通じ葯が開花時刻を制御する？

EMF3 遺伝子がどのように開花時刻を制御するのか、詳しいメカニズムの解明にも取り組みました。イネでは、鱗被（りんび）と呼ばれる花弁（かべん）⁷⁾に相当する器官に水分が流入することで鱗被が膨張し、物理的に花が開きます（図6a）。*EMF3* 遺伝子がイネの花のどの器官で働くのかを調査したところ、*EMF3* 遺伝子は鱗被ではなく、葯で発現していることが分かりました（図6b）。この結果はイネの開花時刻決定が鱗被の働きのみで説明できるほど単純ではなく、開花時刻の制御に関わるまだ知られていない重要な生物学的プロセスが存在することを示唆しています。*EMF3* 遺伝子の特定により、イネでは葯が開花時刻を制御する可能性が世界で初めて示されましたが、葯で発現する *EMF3* 遺伝子が、どのような仕組みで鱗被の膨張という開花のプロセスを促すのかは明らかになっておらず、今後の研究が必要です。

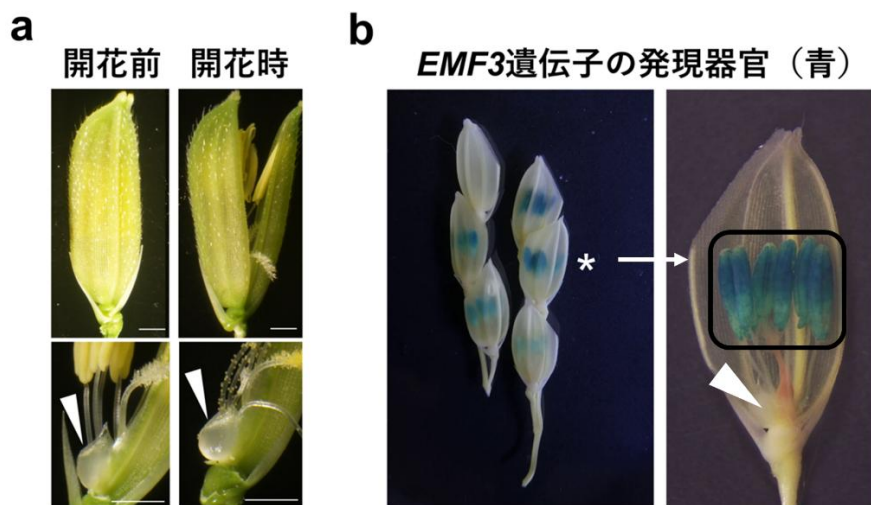


図6 鱗被の膨張によるイネの開花と *EMF3* 遺伝子の葯特異的な発現

(a) 鱗被（白矢頭）が膨らむことによりイネの花が開花します。

(b) 遺伝子発現を可視化する染色法で明らかとなった *EMF3* 遺伝子の開花日の葯での特異的な発現。

青色の部分は *EMF3* 遺伝子が発現している部分です（黒い枠の中）。

左は籾の外側から見た写真、右は*印のついた籾の中の写真です。白矢頭は鱗被の位置を示しています。

今後の予定・期待

本研究は、急速に進行する温暖化の中で問題となることが予想される高温不稔の解決策として、*EMF3* 遺伝子を利用した早朝開花イネの育成が有効である可能性を示しました。わずか 1 塩基の変化がイネの早朝開花性をもたらすことを明らかにしたことにより、国内外で精度の高い DNA マーカーの開発が進み、早朝開花イネの品種育成が加速すると期待されます。加えて、*EMF3* 遺伝子が鱗被ではなく葯で発現することを見出した本研究の知見は、葯を介した開花時刻の制御メカニズムの全容を科学的に解き明かす重要な手掛かりとなると考えられます。

用語の解説

1) 登熟期

イネの穂が現れる時期を出穂期といい、出穂してから収穫までのコメが肥大し実る期間を登熟期という。登熟が完了すると収穫となる。

2) 塩基配列

DNA や RNA などの核酸において、アデニン(A)、チミン(T/RNA は U)、グアニン(G)、シトシン(C)の 4 種類の塩基が連なる「並び順」のこと。この配列が生物の遺伝情報（タンパク質の設計図）をコードしており、配列の順序が異なると、作られるタンパク質の性質や機能が変化する。

3) 早朝開花性

通常より早い時間帯に開花する性質。イネは開花時に高温に対する感受性が最も高い一方で、開花が終了した 1 時間後に高温に遭遇した場合は高温不稔がほとんど発生しないことから、早朝開花性をイネに与えられれば、高温不稔を軽減できるという理論が Satake and Yoshida (1978)により提唱されていた。

4) 葯（やく）

雄しべの先の、花粉が入った袋

5) 柱頭（ちゅうとう）

めしべの頂部で花粉を受け取る場所

6) DNA マーカー

有用遺伝子のゲノム上の存在位置の目印となる塩基配列。目的の形質（この場合は *EMF3* 遺伝子に由来する早朝開花性）を持つ個体を効率的に選抜するため、例えば幼苗の段階で葉の DNA を分析し、*EMF3* 遺伝子のマーカーの有無で品種改良を行う。目的の遺伝子を持つ個体を迅速に見つけ出せるため、従来の育成法より品種開発の期間を大幅に短縮できる。

7) 花弁（かべん）

一般では「花びら」のこと

発表論文

Takuma Ishizaki, Yoichi Hashida, Hideyuki Hirabayashi, Kazuhiro Sasaki, Hiroki Tokunaga, Eliza Vie M. Simon-Ada, Masataka Wakayama, Toshiyuki Takai, Hiroki Saito, Atsushi J. Nagano, Hitoshi Sakakibara, Mikiko Kojima, Yumiko Takebayashi, Sung-Ryul Kim, Ryo Matsushima, Michael J. Thomson, Kazuhiko Sugimoto, Ken-ichiro Hibara, Tsutomu Ishimaru. (2026) Rice *EMF3* alleles adjust flower opening time to enhance the seed setting rate under high temperature stress. *Plant Biotechnology Journal*.

<著者情報>

農研機構

石丸 努、平林 秀介、杉本 和彦（当時）

国際農林水産業研究センター

石崎 琢磨、佐々木 和浩（東京大学（当時））、徳永 浩樹、高井 俊之、齊藤 大樹

高崎健康福祉大学

橋田 庸一

吉備国際大学

桧原 健一郎

国際稲研究所

Michael J. Thomson（当時）、Sung Ryul Kim、Eliza Vie M. Simon-Ada

龍谷大学（当時）/慶應義塾大学/名古屋大学

永野 惇

慶應義塾大学

若山 正隆（当時）

名古屋大学大学院/理化学研究所

榊原 均

理化学研究所

竹林 裕美子、小嶋 美紀子

岡山大学

松島 良（当時）

研究担当者の声



イネの開花とコメについての講演

農研機構 中日本農業研究センター

大規模水田輪作研究領域 上級研究員 石丸 努

早朝開花イネの研究を始めてから 19 年間、毎年真夏の炎天下に大汗をかいて開花を観察してきました。人間はクーラーの利いた屋内で快適に過ごすことができますが、イネは屋内に避難することができません。「イネもせめて早朝に咲くことができれば、涼しくて快適だろうな」と思って実験していました。『早起きは三文の徳』という諺がありますが、進行著しい温暖化の中で早朝開花イネはまさに、その諺を体現したイネだと私はうれしく思います。