令和６年11月13日

育種家はどのように地域に最適なイネを育成したのか？
育種家の経験と勘によるノウハウを全ゲノム情報から解明

概要

福井県農業試験場は日本を代表する水稲品種である『コシヒカリ』を始めとした数多くの品種を育成してきました。育種家は長年培ってきた経験と勘により、地域に適した品種を育成しますが、そのノウハウを科学的に説明することは困難でした。福島大学食農学類附属発酵醸造研究所の菅波眞央特任講師、松岡信特任教授らは、福井県農業試験場の小林麻子品種開発研究部長らと共同で、福井県農業試験場が1947年からの約80年間に育成した252系統の全ゲノム情報を解析し、4つの開花関連遺伝子を組み合わせることで地域に適した出穂期を示す品種を育成できることを明らかにしました。本研究により育種家のノウハウの一部を科学的に解明できたことで、効率的な新品種育成が期待できます。本成果は『Journal of Integrative Plant Biology』にて10月25日に公開されました。本研究は、日本学術振興会科学研究助成事業、内閣府ムーンショット型農林水産研究開発事業（管理法人:生研支援センター）ならびに福島国際研究教育機構(F-REI)委託事業の助成(土壌低分子有機物の植物栄養学的影響の解明（代表：福島大学食農学類二瓶直登教授）)を受けたものです。

【本研究のポイント】

・イネの出穂するタイミングは地域適性や収量、米の品質を決める重要な形質である。

・福井県農業試験場の育種家は、コシヒカリを始めとした優良品種を数多く育成してきた。

・育種家は経験と勘により地域に適した品種を育成しているが、そのノウハウの多くは科学的に説明できていない。

・福井県農業試験場がこれまで育成した系統の全ゲノム情報を解析することで、4つの開花遺伝子を組み合わせることで地域に適した品種を育成してきたことを明らかにした。

・『コシヒカリ』や『あきさかり』など主力となる良食味品種は、福井の環境において良食味かつ収量性に優れるような最適な出穂期に微調整されていた。

・育種家のノウハウを科学的に解明できたことで、効率的な新品種育成に活かすことができる。

【研究の背景】

福島大学食農学類附属発酵醸造研究所（令和 3 年 4 月開設）は、発酵醸造プロセスに関する研究だけでなく、イネやダイズなどの発酵醸造の主原料となる作物の栽培や新品種開発に関連した研究から食・健康との関連まで、幅広く新たな視点からの先端研究を遂行し、発酵醸造研究をリードする研究成果を世界に発信することを目指しています。

イネの出穂するタイミング（出穂期）は、栽培地域の適性や作付けスケジュール、収量や品質に影響する重要な形質です。今日では開花調節遺伝子が数多く解明されており、これらの知見とマーカーアシスト選抜技術を用いて、環境に適したイネ品種を育成することが可能です。しかしながら、最近まで育種家は培ってきた経験と勘により、栽培地域に適した出穂時期を示す系統を選抜してきました。

福井県農業試験場は 1947 年から現在までに 288 系統（越南系統群）を育成しており、その中には、日本を代表する米品種である『コシヒカリ』を始め、『ハナエチゼン』、『あきさかり』、『いちほまれ』など数多くの優良品種が含まれています。この約 80 年の福井県稲育種の歴史において、育種家がどのように地域に適した品種を開発してきたのか、そのノウハウは暗黙知となっており、科学的に説明することは困難でした。

【研究の成果】

本研究では福井県農業試験場がこれまでに育成した 288 系統から主食用米を目的として育成された 252 系統の全ゲノム情報を解析し、ゲノムワイド関連解析(GWAS)、および偏相関解析を用いて、越南系統において出穂期調節に使われた遺伝子を解析しました。その結果、越南系統群では *Hd1*, *Hd16*, *Hd17*, *Hd18* の 4 つの開花調節遺伝子の組み合わせにより様々な開花期の系統が育成されてきたことがわかりました(図 1A)。様々な収穫時期を持つ品種があることで、異常気象による生育不良のリスクや繁忙期を分散させることが可能です。その中で、『コシヒカリ』や『あきさかり』など良食味を目指して育成された多くの品種系統では、出穂を早める *Hd16(E)* と出穂を遅らせる *Hd17(L)* という効果が逆の遺伝子を組み合わせており（Group 3, 灰色)、出穂期を移植後 70-80 日に微調整していることがわかりました(図 1B)。移植後 70-80 日は、福井県の環境において、品質が良く（タンパク質含有率、アミロース含有率が少ない)、かつ収量性に優れ（草丈が低く穂重量が多い）最も適した出穂期となります(図 1C,D)。また、この出穂期は、福井県で最も気温が高く、日照時間も長い時期に一致しており、この気象条件が良質かつ収量に優れた稲作に貢献していると考えられます(図 1B)。

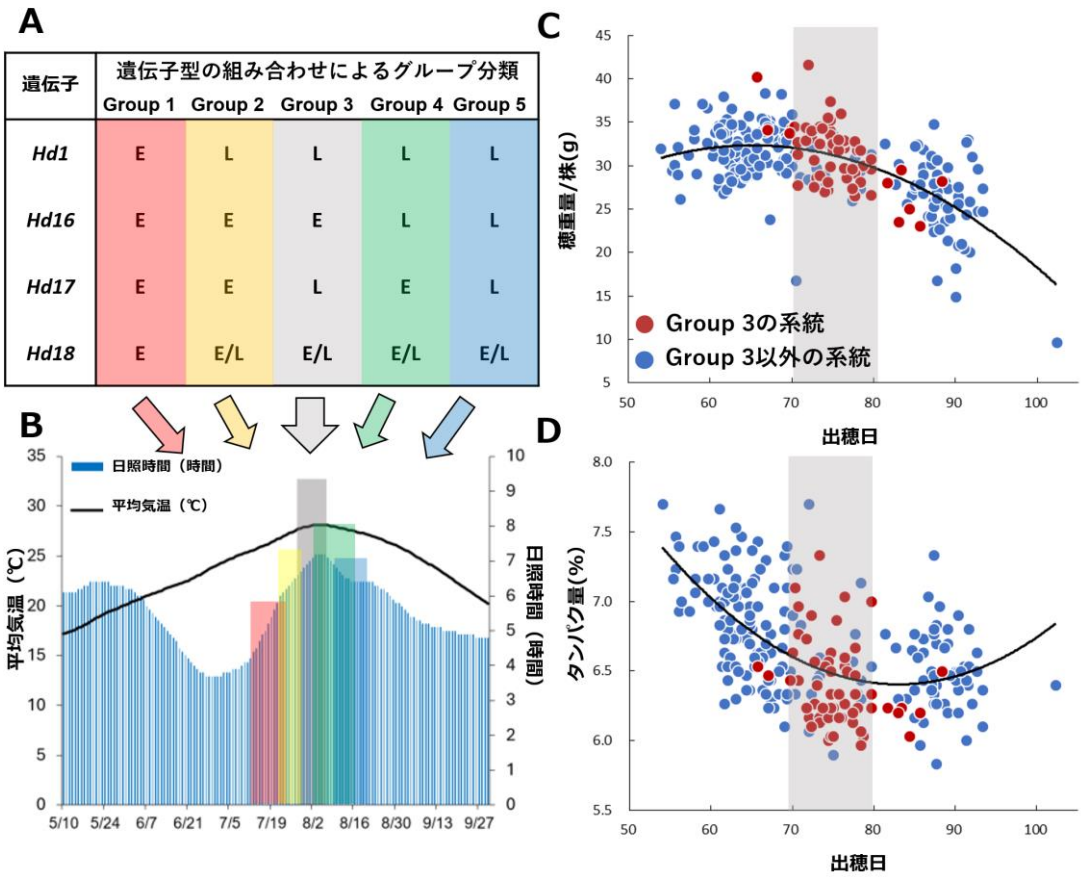


図１(A)４つの開花遺伝子の組み合わせにより出穂期にバリエーションをもたせ、異常気象による生育不良のリスクや繁忙期の分散が可能になる。E は早生型、L は晩生型の遺伝子型を表す。(B)福井県の気象条件。『コシヒカリ』や『あきさかり』を含む灰色グループは、最も気温が高く日照時間が長いタイミングで出穂する。(C)穂重量/株 (D)タンパク量と出穂日の関係。灰色グループは福井県の環境において、収量性が高く（穂重が最大)、良食味（タンパク量が少ない）となる最適な出穂日を示す。

【成果の意義】

本研究では福井県農業試験場の育種の歴史を全ゲノム情報から解析することで、育種家の持つ経験と勘を科学的に解明し、暗黙知から形式知にすることに成功しました。福井県という特定の地域における育種の歴史を紐解き、地域の気候や栽培計画などを加味し、地域に最適な品種を育成してきたプロセスを網羅的・包括的に解明した研究は世界で初めてです。

近年の猛暑を始めとした異常気象は、米の品質や収量を低下させ、福島県においても大きな問題となっています。現在、気候変動に対応した品種育成が求められており、出穂期の調節は有効な対策の一つです。本研究の成果により、実際の育種工程に入る前に、最適な出穂期となる出穂遺伝子の組み合わせをデザインすることが可能となり、少ない労力でより精密な出穂期調節を可能にし

ます。

【掲載誌・論文】
・掲載誌：『Journal of Integrative Plant Biology』(Wiley)
・公開：令和６年10月25日
・論文タイトル：How have breeders adapted rice flowering to the growing region?（育種家はどのように開花期を栽培地に最適化したのか？）
・DOI：https://doi.org/10.1111/jipb.13785
・著者：小林麻子[1]，菅波眞央[2]，吉田英樹[2]，森中洋一[3]，渡辺脩斗[1]、町田芳恵[1]，茶谷弦輝[1]，中岡史裕[1]，佐藤信仁[1]，三浦孝太郎[3]，松岡信[2]
・著者の所属：
1. 福井県農業試験場
2. 福島大学食農学類附属発酵醸造研究所
3. 福井県立大学生物資源学部

（お問い合わせ先）
福島大学食農学類附属発酵醸造研究所
特任講師　菅波眞央
電　話：024-504-2837
メール：mao.suganami@agri.fukushima-u.ac.jp

福井県農業試験場　企画・指導部　高田和典
電　話：0776-54-9312
メール：k-takada-jm@pref.fukui.lg.jp

福井県農業試験場　品種開発研究部　小林麻子
電話：0776-54-9311
メール：asako_kobayashi@fklab.fukui.fukui.jp

育種家はどのように地域に最適なイネを育成したのか？
育種家の経験と勘によるノウハウを全ゲノム情報から解明

福島大学　食農学類附属発酵醸造研究所

特任講師　菅波　眞央

はじめに

食農学類附属発酵醸造研究所について
食農学類附属発酵醸造研究所（令和 3 年 4 月開設）は、発酵醸造プロセスに関する研究だけでなく、イネやダイズなどの発酵醸造の主原料となる作物の栽培や新品種開発に関連した研究から食・健康との関連まで、幅広く新たな視点からの先端研究を遂行し、発酵醸造研究をリードする研究成果を世界に発信することを目指しています。

本日は、地域に最適な水稲品種を育成する育種家の経験と勘によるノウハウを科学的に解明した研究成果をご紹介します。

本成果は植物科学分野におけるトップジャーナルの一つである
英文科学誌『Journal of Integrative Plant Biology』にて
10月25日に公開されました。

品種育成における出穂期の重要性

- イネの出穂するタイミング（出穂期）は、栽培地域の適性や作付けスケジュール、収量や品質に影響する重要な形質です。
- 今日では出穂調節遺伝子が数多く解明されており、これらの知見とマーカーアシスト選抜技術を用いて、環境に適したイネ品種を育成することが可能です。
- しかし、最近まで育種家は培ってきた経験と勘により、栽培地域に適した出穂時期を示す系統を選抜してきました。
- 育種家のノウハウは暗黙知となっており、科学的に説明することは困難でした。

福井県農業試験場について

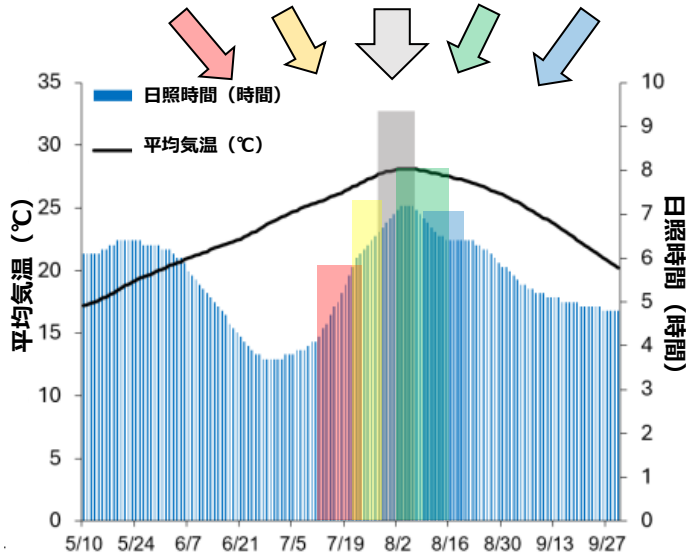
福井県農業試験場：
1947年から水稲育種を開始し、これまでに288系統（越南系統群)を育成しています。
その中には、日本を代表する品種である『コシヒカリ』を始め、『ハナエチゼン』、『あきさかり』、『いちほまれ』など数多くの優良品種が含まれています。

越南系統群では4つの開花調節遺伝子が出穂期のバリエーションを生み出す

- 福井県農業試験場がこれまでに育成した288系統から主食用米を目的として育成された252系統の全ゲノム情報を解読しました。
- 各系統のゲノム配列情報と出穂期データを用いて、ゲノムワイド関連解析、および偏相関解析により出穂期調節に使われた遺伝子を調べました。
- *Hd1, Hd16, Hd17, Hd18*という4つの出穂調節遺伝子に存在する遺伝的な違いを組み合わせて利用することで、様々な出穂期の系統が育成されてきたことがわかりました。
- 様々な収穫時期を持つ品種があることで、異常気象による生育不良のリスクや繁忙期を分散させることが可能です。

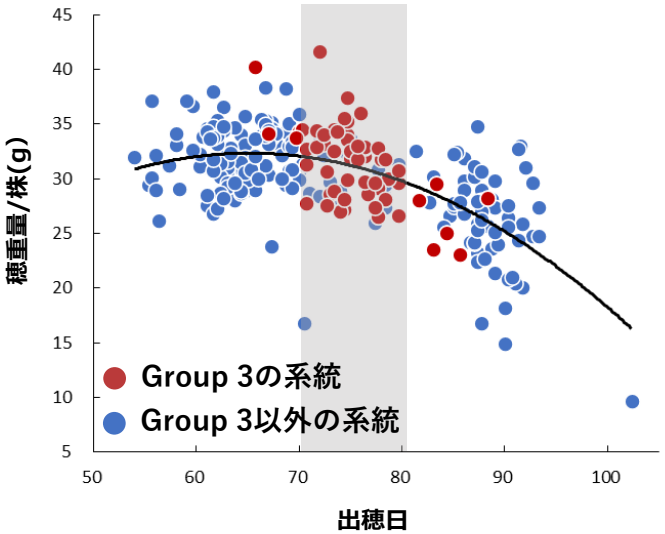
品種ごとのゲノム配列の違い（多型）により、出穂期を早くする（E）、もしくは遅くする（L）機能へと変化する。

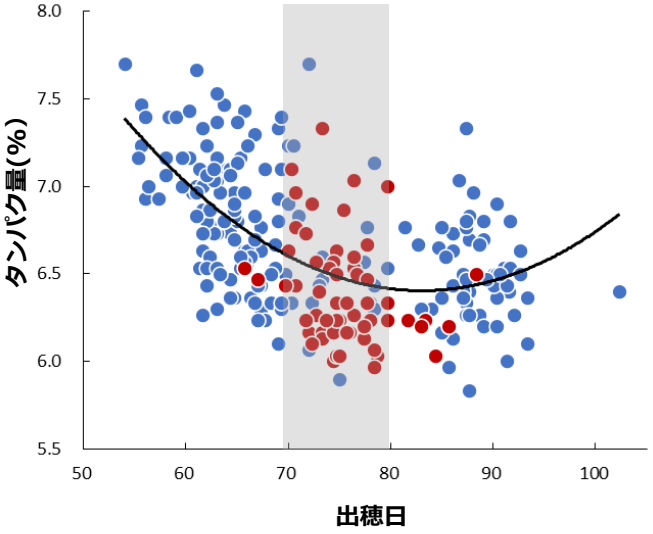
遺伝子	遺伝子型の組み合わせによるグループ分類				
	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5
Hd1	E	L	L	L	L
Hd16	E	E	E	L	L
Hd17	E	E	L	E	L
Hd18	E	E/L	E/L	E/L	E/L



コシヒカリは福井県の環境で品質と収量性を最大化できる出穂期に調節されている

- 『コシヒカリ』や『あきさかり』など良食味を目指して育成された多くの品種系統では、出穂を早める*Hd16(E)*と出穂を遅らせる*Hd17(L)*という効果が逆の遺伝子を組み合わせており、出穂期を移植後70-80日に微調整していることがわかりました。
- 移植後70-80日は、福井県の環境において、品質が良く（タンパク質含有率、アミロース含有率が少ない）、かつ収量性に優れ（草丈が低く穂重が多い）最も適した出穂期となります。
- この出穂期は、福井県で最も気温が高く、日照時間も長い時期に一致しており、この気象条件が良質かつ収量に優れた稲作に貢献していると考えられます。





本研究の成果

- 本研究では福井県農業試験場の育種の歴史を全ゲノム情報から解析することで、育種家の持つ経験と勘によるノウハウを科学的に解明し、暗黙知から形式知にすることに成功しました。

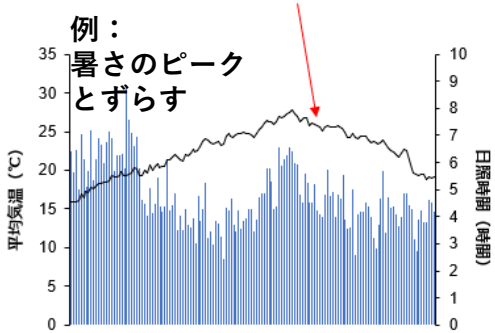
- 特定の地域における育種の歴史を紐解き、地域に最適化した品種育成のプロセスを包括的に解明した研究は世界で初めてです。

- 福島県の気象環境に適した水稲品種の育種にも活かせる知見であり、また水稲以外の作物育種にも幅広く応用することが可能です。

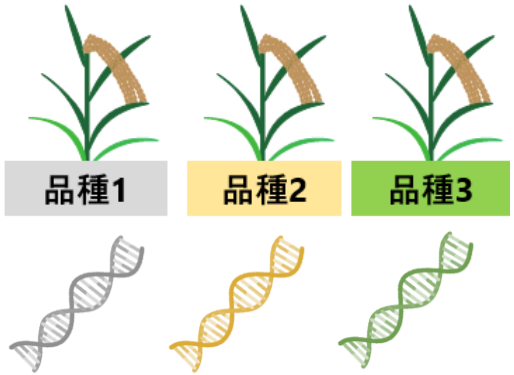
福島県のイネ育種への応用

- 近年の猛暑を始めとした異常気象は、米の品質や収量を低下させ、福島県においても大きな問題となっています。
- 気候変動に対応した品種育成が求められており、出穂期の調節は有効な対策の一つです。
- 本研究の成果により、実際の育種工程に入る前に、最適な出穂期となる出穂遺伝子の組み合わせをデザインすることが可能となり、少ない労力でより精密な出穂期調節を可能にします。

遺伝子	早 ←				→ 遅
Hd1	E	L	L	L	L
Hd16	E	E	E	L	L
Gene A	E	E	L	E	L
Gene B	E	E/L	E/L	E/L	E/L



最適出穂期となる組み合わせをデザイン



ゲノム情報を活用して交配親系統を選択
選抜も遺伝子検査により効率化

この研究に主に携わった人達・サポート体制

著者

福島大学食農学類附属発酵醸造研究所

菅波　眞央　特任講師
松岡　信　特任教授
吉田　英樹　特任講師

福井県農業試験場

小林　麻子　品種開発研究部長
渡辺　脩斗　主事（現：福井県庁）
町田　芳恵　研究員（現：福井県庁）
茶谷　弦輝　主事
中岡　史裕　研究員
佐藤　信仁　園芸研究センター所長

福井県立大学

森中　洋一　教授
三浦　孝太郎　教授

サポート体制

- 科研費（基盤研究B、若手研究、学術変革領域研究A
- 内閣府ムーンショット型農林水産研究開発事業（管理法人:生研支援センター）
- 福島国際研究教育機構(F-REI)委託事業
  土壌低分子有機物の植物栄養学的影響の解明
  （代表：福島大学食農学類二瓶直登教授）

の支援のもと行われました。

また
農業生物資源ジーンバンクより
一部品種の水稲種子を提供いただきました。

この場をお借りし、深く御礼申し上げます。