令和７年１１月１２日

多窒素施肥によるイネの出穂遅延メカニズムを解明

福島大学食農学類附属発酵醸造研究所の吉田英樹特任講師、西尾俊亮特任講師と松岡信特任教授を中心とする研究グループは、日本に存在する多数のイネ品種のゲノム情報を活用し、多窒素施肥によってイネの出穂時期が遅延する現象に関わる遺伝子を特定し、そのメカニズムを明らかにしました。イネの栽培において非常に重要な窒素栄養と出穂の関係性を遺伝学的に明らかにした本成果は、今後の新規優良品種や栽培法の確立に貢献できると考えられます。本成果は英国科学誌『Nature Communications』にて 10 月 17 日に公開されました。

本研究は、福島大学「foR-F プロジェクト」、科研費の基盤（B）、基盤(C)、福島国際研究教育機構（F-REI）ならびに内閣府ムーンショット型農林水産研究開発事業（研究推進法人:生研支援センター）の支援により実施されました。

◎本研究のポイント

- 植物は周りの環境によって開花の時期が変わることが知られており、土壌中の窒素成分の量もイネを含む様々な植物の開花に影響を与えることが知られている
- 日本のイネ 149 品種を窒素施肥条件が異なる 3 つの田んぼで栽培し、その出穂時期のデータとゲノム情報を用いた解析により原因遺伝子の特定を試みた
- 過去に出穂タイミングを調節する遺伝子として知られていた *Hd6* 遺伝子が窒素に応じた出穂制御を担う遺伝子であることを特定した
- さらに関連する遺伝子の影響についても検証を進め、*Hd1*、*Hd2*、*Hd6* の 3 遺伝子全てが機能している場合に出穂の遅延が起こりやすいことを明らかにした
- イネ栽培において非常に重要な窒素栄養と出穂の関係性を遺伝学的に明らかにした本成果は、今後の新規品種や栽培法の確立に貢献できる

◎研究の背景

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発酵醸造と食・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。

現代のイネ栽培において、施肥は不可欠な要素であり、施肥量が不足すれば植物は十分に生育できず、過剰であれば生育のみならず周囲環境にも悪影響を及ぼすため、その量は常に適切に制御されています。また、植物は周囲の環境条件によって柔軟に生育を変化させる生物であり、とりわけ必要な栄養分の多少に応じてその生育が変動することは古くから知られています。その中で、土壌中の窒素栄養の量による開花のタイミングの変化

は古くから認識されていた一方で、その詳細なメカニズムについては未解明な点が多く残されていました。

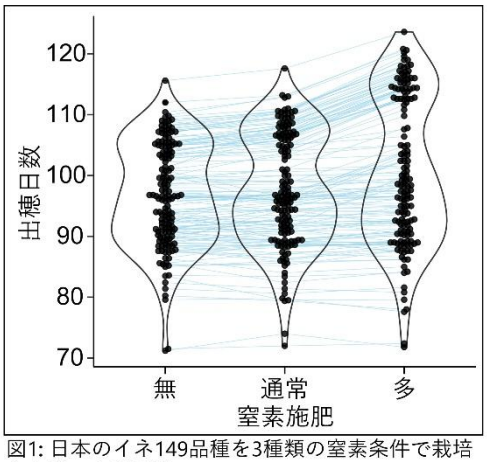


図1: 日本のイネ149品種を3種類の窒素条件で栽培した際の出穂日数

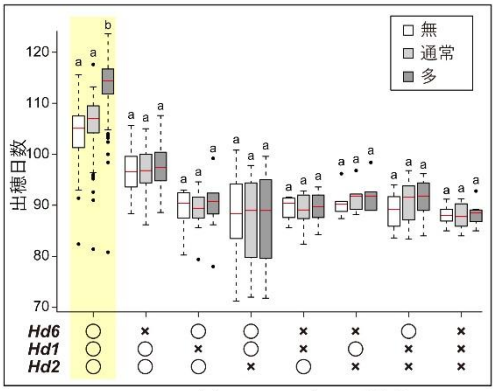


図2：*Hd1, Hd2, Hd6*遺伝子の3つ全てが機能しているイネは窒素による出穂遅延が起こりやすい

◎今回の成果

本研究では、**日本に存在するイネ 149 品種を窒素施肥条件が異なる 3 つの田んぼで栽培**し、実際に**多窒素施肥で出穂が遅延する品種を特定し（図 1）、ゲノム情報を用いた解析によりその原因となる遺伝子を探索**しました。その結果、過去に光周期に応じた出穂調節に関わると報告されていた遺伝子 *Hd6* が欠損した品種では窒素の影響を受けにくいことが明らかになりました。

さらに、*Hd6* は他の出穂調節遺伝子 *Hd1*、*Hd2* と共同して機能することが知られていたことから、*Hd2*、*Hd1* の影響も検証したところ、***Hd1*、*Hd2*、*Hd6* の 3 遺伝子全てが機能している場合に出穂の遅延が起こりやすいことを明らかにしました（図 2）**。興味深いことに、これら 3 遺伝子はともに通常栽培条件下でも出穂を遅延させる機能を持つ遺伝子であり、**「晩生の品種は窒素による出穂遅延が起こりやすい」ということも明らかになりました。**

◎成果の意義

本研究では、これまで詳細は不明確であった日本のイネにおける窒素栄養による出穂への影響を明確化するとともに、その原因遺伝子を特定し、メカニズムも明らかにしました。本成果は、**土壌環境による意図しない影響を受けにくく安定した栽培が可能な品種や新規栽培法の確立に繋がる**とともに、これらの遺伝子はイネだけでなく他の作物にも共通して存在していることから、イネ以外においても同様のメカニズムが存在している可能性を示唆しています。また、土壌栄養に応じた生育の変化に関わるメカニズムの解明手法を確立したことで、**土壌栄養と植物の生育の関係についての今後のさらなる研究に繋がる**と考えています。

◎掲載論文情報

掲載誌：『Nature Communications（ネイチャー コミュニケーションズ）』（Springer Nature）

公開日：2025 年 10 月 17 日

論文タイトル：Photoperiodic flowering regulators are required for nitrogen-dependent flowering delay in rice under long-day condition.（光周性出穂制御因子が長日条件下におけるイネの窒素依存的出穂遅延に必要である）

著者：**吉田英樹**[1]、伊藤 博紀[2]、森 政樹[3]、纐纈 永里子[3], 川村 真結子[3], **西尾 俊亮**[1]、森仁志[4,5]、**松岡信**[1]

1. 福島大学 食農学類附属発酵醸造研究所
2. 農業・食品産業技術総合研究機構 作物研究部門

3. 名古屋大学　生物機能開発利用研究センター
4. 名古屋大学　生命農学研究科
5. 名古屋大学　糖鎖生命コア研究所

（お問い合わせ先）
発酵醸造研究所・特任講師　吉田　英樹
電　話：024-504-2837
メール:hyoshida@agri.fukushima-u.ac.jp

多窒素施肥によるイネの出穂遅延メカニズムの解明

福島大学　食農学類附属発酵醸造研究所
特任講師　吉田　英樹

はじめに

- 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発酵醸造と食・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、**多窒素施肥によってイネの出穂（穂が出ること）が遅延するという現象の原因となる遺伝子およびメカニズムを解明した**という研究内容についてご紹介します。
- 国際的なトップジャーナルの1つである英文科学誌『Nature Communications』に10月17日に掲載されました

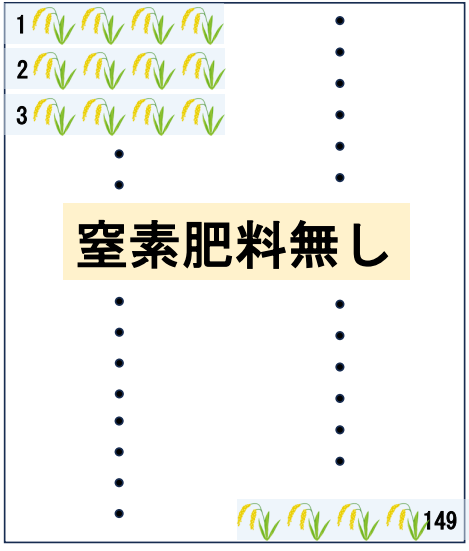
植物の必須栄養分（肥料の三要素）

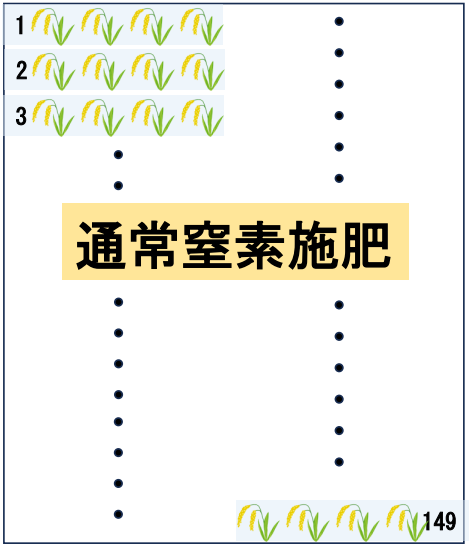
- 肥料は現代の農業において避けられないものであり、その成分の中で特に重要な成分として窒素（N）、リン酸（P）、カリウム（K）が「肥料の三要素」として知られている
- 過少は生育不良、過多は生育だけでなく環境への悪影響も指摘されており、施肥量を適切に抑えることが重要である
- それぞれ栄養源となるだけでなく植物の成長を制御するシグナル物質としても作用する
- 窒素は開花（出穂）も含めた、様々な成長制御に関わることが知られている

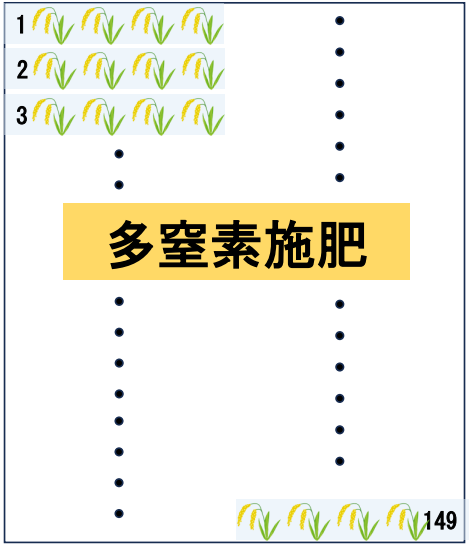
環境に優しい持続可能な農業のためにも、植物がどのように窒素に応答するのかを知る必要がある

出穂調査の概要

窒素施肥条件の異なる3つの田んぼで同時に日本のイネ149品種を栽培し、田植えから出穂までの日数を計測

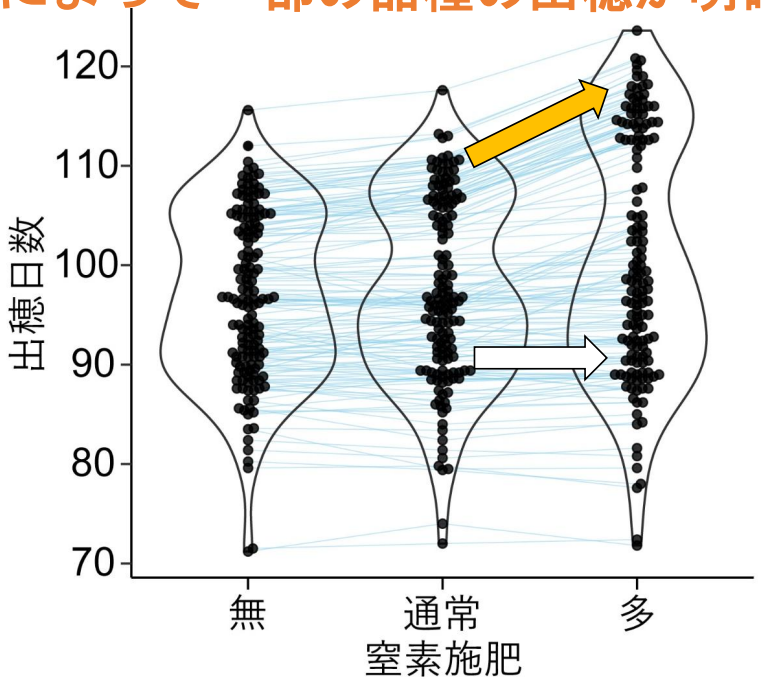




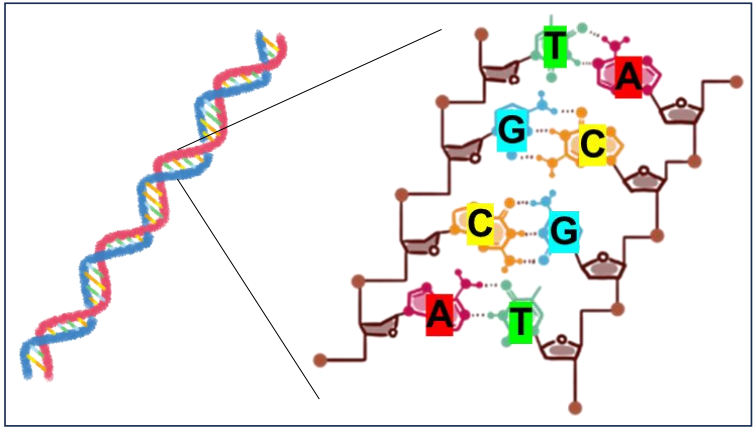


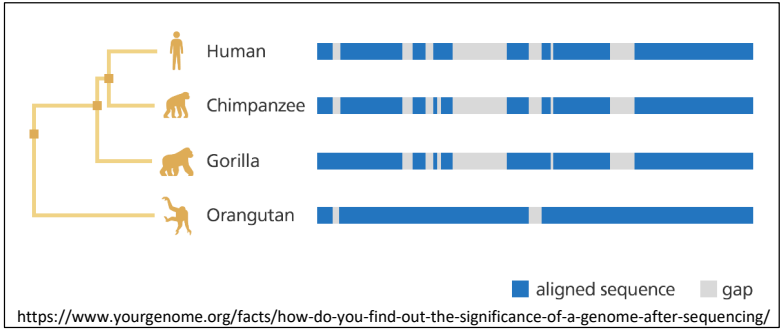
出穂調査の結果

多窒素施肥によって一部の品種の出穂が明確に遅延する



ゲノム情報の解読

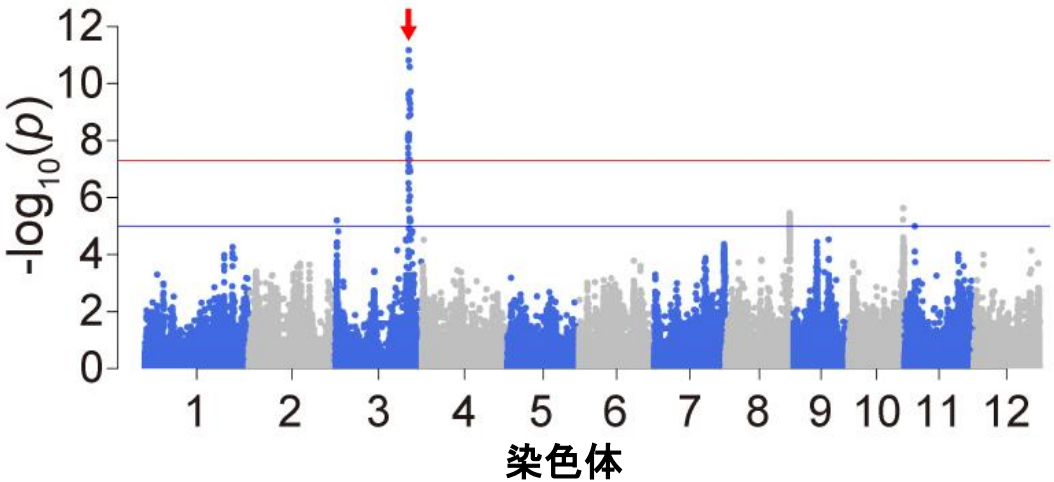




- DNAはATGCの4つの塩基を一定の順番で含む化学物質である
- このATGCの順番を解読することをゲノム解読（DNAシーケンシング）という
- ゲノム情報を解読することで「**遺伝的にどこがどのように違うのか**」がわかる
- **出穂調査を行った149系統の日本のイネのゲノム情報**を用いた

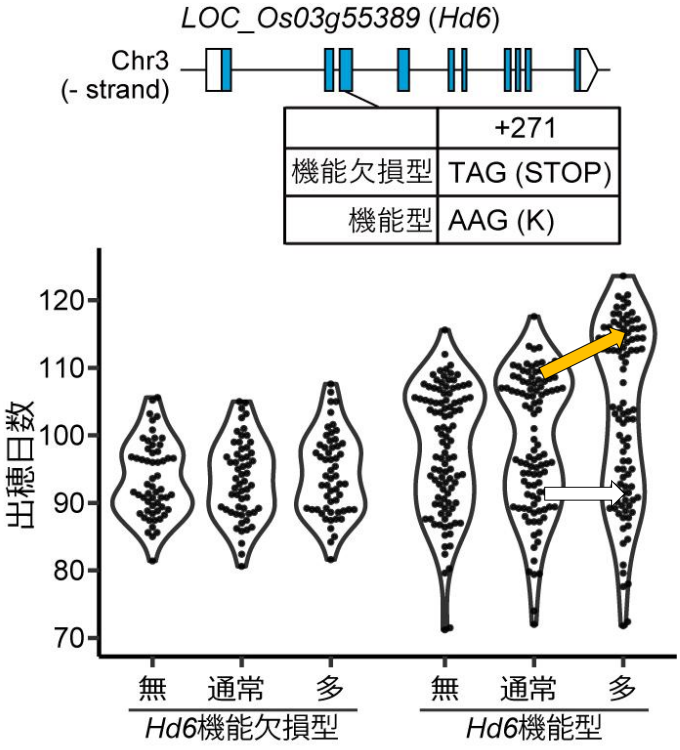
ゲノムワイド関連解析

- 149品種の出穂について、**「無」と「多」の日数の差を形質値**としてゲノムワイド関連解析を行った
- **3番染色体に候補領域を見つけることができた**



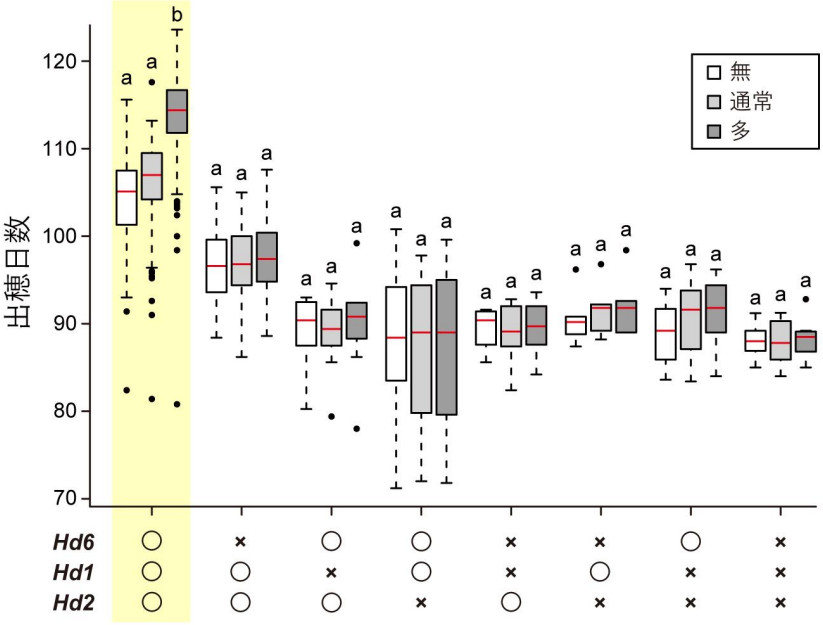
原因遺伝子*Hd6*

- 候補領域の遺伝子を調べたところ、過去に出穂調節遺伝子として特定されていた*Hd6*を見出した
- **日本のイネには*Hd6*が機能している品種と、機能していない品種があり、機能している品種で多窒素施肥による出穂遅延が見られた**
- **一方で、*Hd6*が機能していても窒素に応答しない品種が多数あった**



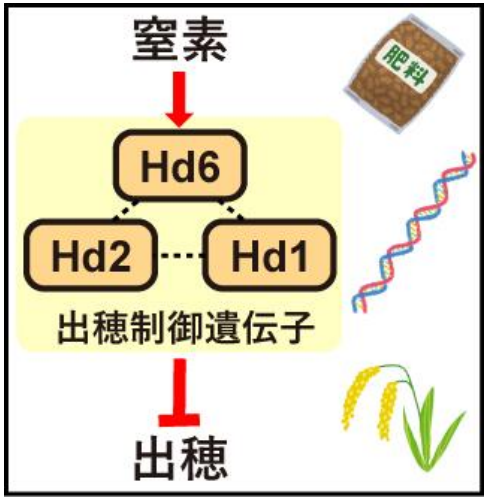
*Hd1, Hd2, Hd6*の3遺伝子が窒素による出穂遅延に必要

- *Hd6*と共同して機能することが知られている*Hd1*と*Hd2*についても調べた
- **これら3つの遺伝子が全て機能型の品種で明らかな窒素による出穂の遅延が見られた**
- **多窒素施肥による出穂の遅延はこれら3遺伝子が共同して作用することが必要**
- **これらの遺伝子は通常栽培条件で出穂を遅らせる働きがあることから、「晩生ほど窒素による出穂遅延が起こりやすい」ことが明確になり、その原因も明らかにした**



本研究の成果

- 本研究では、これまで詳細は不明確であった日本のイネにおける窒素栄養による出穂への影響を明確化するとともに、その原因遺伝子を特定し、メカニズムも明らかにしました
- 土壌環境による意図しない影響を受けにくく安定した栽培が可能な品種や新規栽培法の確立に繋がるとともに、これらの遺伝子はイネだけでなく他の作物にも共通して存在していることから、イネ以外の作物にも応用できる可能性があります
- 土壌栄養に応じた生育の変化に関わるメカニズムの解明手法を確立したことで、土壌栄養と植物の生育の関係についての今後のさらなる研究に繋がると考えています



この研究に主に携わった人達・サポート体制

- **福島大学　食農学類附属発酵醸造研究所**
  - **吉田　英樹　特任講師**
  - **西尾　俊亮　特任講師**
  - **松岡　信　特任教授**
- 名古屋大学
  - 森　仁志　教授（現：福島大学　客員教授）
  - 森 政樹　大学院生
  - 川村 真結子　技術職員
  - 纐纈永里子　技術職員
- 農業・食品産業技術総合研究機構
  - 伊藤　博紀　上級研究員

本研究は、

- 福島大学foR-Fプロジェクト「ゲノム科学・技術を援用した栽培・発酵好適性イネ系統の開発基盤研究」
- 科研費　新学術領域研究・基盤研究（B）・基盤研究（C)
- 福島国際研究教育機構 (F-REI)
- 内閣府ムーンショット型農林水産研究開発事業（研究推進法人:生研支援センター）

の一部支援を受け、行われました。