



配布先: 文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

2025年9月29日

報道機関 各位

葉や花をつくる細胞を可視化する免疫染色法を開発 3D イメージングによる植物組織の理解、農業応用へ期待

【本研究のポイント】

- ・植物地上部の幹細胞組織である「茎頂メリステム」^{注 1)}におけるヒストン修飾^{注 2)}の空間的な分布を可視化できる手法を開発した。
- ・遺伝子発現の抑制に関与するヒストン修飾は、茎頂メリステムにおいて細胞ごとにパッチ状に存在していた。茎頂メリステムが葉をつくる状態から花をつくる状態へ転換すると、この抑制的なヒストン修飾の量がメリステム全体で増加することを明らかにした。
- ・これらのタンパク質等の修飾状態や、農業的に重要なタンパク質の立体的な分布の理解に基づいた植物を改良する技術の開発につながる。

【研究概要】

名古屋大学大学院生命農学研究科の森下 友梨香 博士前期課程学生と生物機能開発利用研究センターの辻 寛之 教授らの研究グループは、横浜市立大学との共同研究で、植物の葉と花を分化させる幹細胞組織「茎頂メリステム」を対象に、組織構造を維持したまま、1細胞解像度で 3D イメージングする免疫染色法^{注 3)}を新たに開発しました。

このことにより、これまでイメージングが困難だったタンパク質の修飾状態等の立体的な位置情報の取得が可能になりました。この手法を用い、茎頂メリステムにおけるヒストン修飾の組織空間的な分布を初めて解明しました。

本研究成果は、2025年9月14日付英国の科学雑誌「The Plant Journal」に掲載されました。

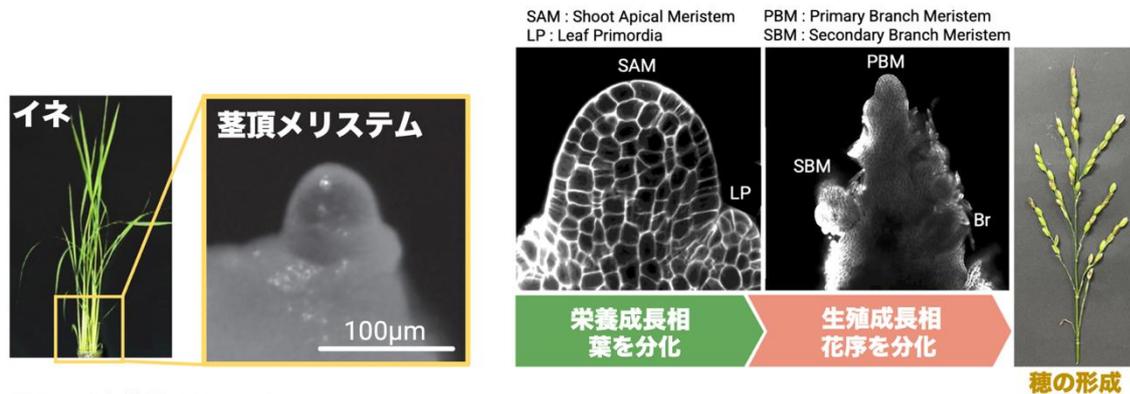


図1：イネ茎頂メリステム

【研究背景と内容】

茎頂メリステムは、植物地上部の起源となる、葉や花をつくる幹細胞組織です。茎頂メリステムの発生は、葉をつくる状態から花をつくる状態へ大きく転換します。この転換や、葉および花の形成が正常に進行することは、適切な植物体を形成するために重要であり、作物では収量確保に必要な要素のひとつです。よって、茎頂メリステムの発生とその理解は、生物学そして農学の観点で重要な位置づけにあります。

立体的な構造を持つ組織を1細胞解像度かつ三次元的に観察することは、実際の形態や分布を正確に捉える重要なアプローチです。これまでに茎頂メリステムを1細胞解像度かつ三次元的に観察する方法として、蛍光タンパク質 GFP などを利用した形質転換体の観察が行われてきました。この手法は、発生に重要なタンパク質などの分布を解明するために画期的な方法でしたが、形質転換体の作出が困難な場合や、タンパク質の化学修飾の可視化などは形質転換体の利用が難しい場合がありました。

今回着目している免疫染色法は、形質転換体では観察できないタンパク質の化学修飾や細胞壁などを可視化させる手段として幅広く用いられています。しかし、一般的に組織を薄切りの切片にしてから染色を行い観察するため、三次元的な情報が損なわれてしまう課題がありました。また今回のように切片にせず、組織構造を維持したまま免疫染色を行うと、組織の内部まで染色が届かないという難点がありました。

本研究では、茎頂メリステムを1細胞解像度かつ三次元的に撮影する免疫染色法を開発しました。開発にあたり重要だった工程は、試薬を組織の内側まで浸透させるために、高濃度の界面活性剤に浸すこと、そして茎頂メリステム以外の組織をできるだけ取り除くこと、というシンプルな処理でした。そして 3D イメージングにおいて、染色後の茎頂メリステムを透明化試薬に浸すことにより組織の内側まで光が届き、表層と遜色なく蛍光を検出することができました。

開発した免疫染色法を用い、遺伝子発現の制御に関与するヒストン修飾の空間的な分布を解明しました。遺伝子発現の活性化に関与する修飾(H3K4me1, H3K4me3)は、茎頂メリステム全体で一様に分布が見られましたが、抑制に関与する修飾(H3K9me2)は、茎頂メリステムのそれぞれの核で染色の程度が異なるパッチ状のパターンとなり、幹細胞が存在する茎頂メリステムの先端部分で蓄積が少なくなることが分かりました。また抑制に関与する修飾(H3K27me3, H3K9me2)は、茎頂メリステムが葉をつくる状態より花をつくる状態でより多く蓄積することを発見しました。

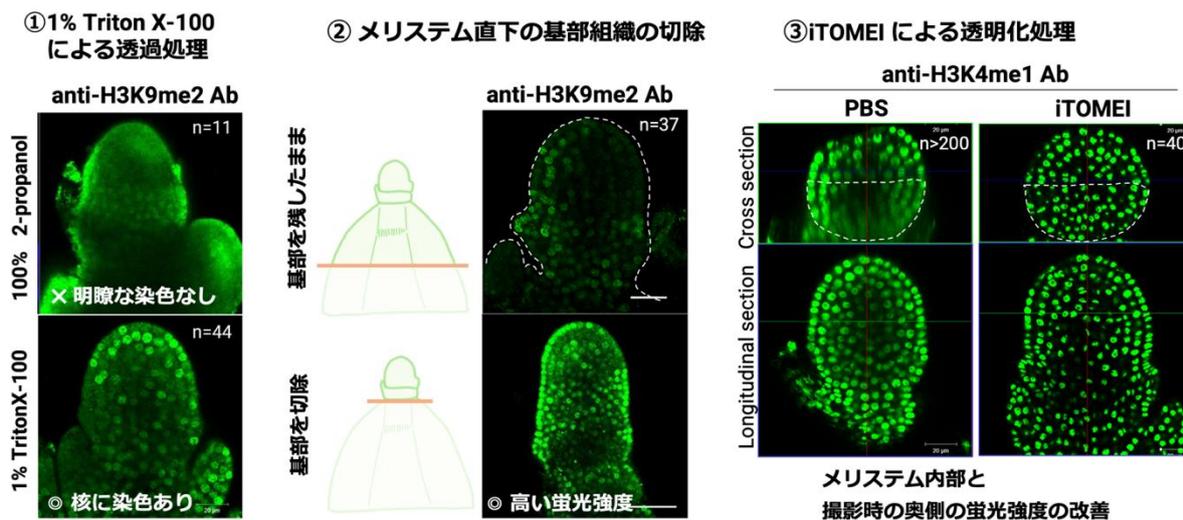
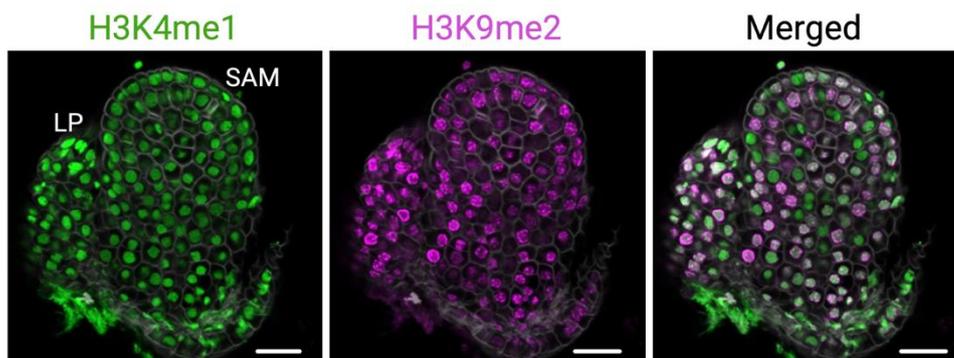


図2：開発に重要だった処理



H3K4me1は茎頂メリステム全体の核で一様に染色されているのに対し、H3K9me2は染色される核とされない核が散在するパッチ状のパターンとなった。

図3：H3K4me1とH3K9me2の二重染色

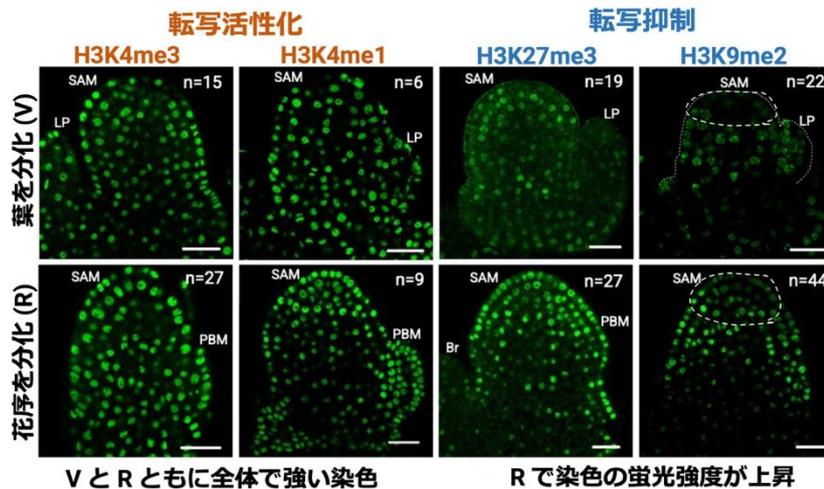


図4：各ヒストン修飾のステージ別の染色

【成果の意義】

本研究で開発した手法により、これまで観察が困難だったタンパク質の修飾状態を空間的に可視化できるようにしました。さらに蛍光タンパク質を用いた形質転換体の観察と組み合わせることにより、従来観察できていた目的のタンパク質と、ヒストン修飾をはじめとする修飾状態を同時に観察し、これらの位置関係を包括的に理解することに繋がります。

また今回の観察により、茎頂メリステムでは H3K9me2 の修飾の蓄積が細胞ごとに異なることが分かりました。これは茎頂メリステムの細胞に、これまで知られていなかった不均一性が存在する可能性を初めて示唆するものです。極めて秩序立った器官分化を行う茎頂メリステムにおいても、組織を構成する個々の細胞の核内環境は不均一性を秘めているという発見は、植物の発生メカニズムの新たな仕組みを見出す端緒となるかもしれません。

【用語説明】

注 1) 茎頂メリステム:

植物地上部の全器官の起源となる幹細胞組織。葉をつくる状態から、花成ホルモンのフロリゲンによって花をつくる状態へ転換する。

注 2) ヒストン修飾:

核内の DNA が巻き付いているヒストンタンパク質に付加される化学修飾。メチル化やアセチル化、リン酸化などがあり、遺伝子発現の制御に関与している。

注 3) 免疫染色法:

抗体を用いて、タンパク質やタンパク質の修飾状態などの局在を検出する手法。

【論文情報】

雑誌名: The Plant Journal

論文タイトル: Whole-tissue 3D immunostaining of shoot apical meristems in rice at single-cell resolution

著者: Yurika Morishita, Ryosuke Takata, Asuka Higo, Aya Yoshida, Hiroyuki Tsuji

DOI: doi.org/10.1111/tpj.70470

URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/tpj.70470>



MAKE NEW STANDARDS.
東海国立
大学機構

東海国立大学機構は、岐阜大学と名古屋大学を運営する国立大学法人です。
国際的な競争力向上と地域創生への貢献を両輪とした発展を目指します。

東海国立大学機構 HP <https://www.thers.ac.jp/>

