

2024 年度 若手・女性研究者奨励金 レポート

研究課題	花茎の形作りにおける力学的な制御機構の研究
キーワード	①植物形態形成、②バイオメカニクス、③植物分子遺伝学

研究者の所属・氏名等

フリガナ 氏 名	アサオカ マリコ 浅岡 真理子
配付時の所属先・職位等 (令和6年4月1日現在)	神奈川大学 理学部 特別助教
現在の所属先・職位等	神奈川大学 理学部 特別助教
プロフィール	理学部生物学分野で、植物の形づくりの仕組みについて、特に茎に着目して研究をしています。モデル植物シロイヌナズナの茎の形態の損傷を示す植物体を用いて、その原因となる遺伝子群を探索することで、形づくりに影響する遺伝子の特定とその機能の解析を目指しています。

1. 研究の概要

植物細胞は細胞壁で互いに結合しているため、各細胞が成長する際には相当の力の発生と、組織・器官における力学的配置に変化が起こる。同時に細胞壁は、細胞内の膨圧によって、たとえ細胞成長が止まっている状態でも常に機械刺激にさらされている。これは、植物に水やりを忘れてしまうと萎れてしまう要因の一つで、水が不足することで細胞内の膨圧が減少することで、自身の支持ができなくなるためである。このように、植物の成長と機械刺激の発生は表裏一体であり、近年この細胞成長と機械刺激の受容・伝達のフィードバック機構が植物の形態形成に重要な役割を果たすことが示されている(Trinh et al., Curr. Biol. 2021など)。実際にモデル植物シロイヌナズナの、細胞成長のバランスに異常がある変異体や形質転換体では、茎に亀裂が生じることが発見されている(Maeda et al., Plant Cell Physiol. 2014)。これは力学的な整合性が破綻したための現象で、植物の成長が器官の破綻を引き起こすほどの力の発生を伴うことを示す例といえる。

本研究では新規の茎に亀裂を生じる系統として、シロイヌナズナのジベレリンシグナルに異常をもつ変異体の解析を行なった。この変異体自体は以前から研究報告はあるが、茎の亀裂に注目した研究は本研究が初めてである。ジベレリンは植物ホルモンの一種で、ジベレリンシグナルは基本的に細胞の増殖、伸長のどちらも正に制御し、ジベレリンを投与すると分裂活性が増加する。この変異体は野生型と並べてみると植物体全体が一回り大きい、単独ではそれが変異体と分からないような見た目である。先行研究により報告されている茎に亀裂が生じる別系統では、通常生育中にはほぼ100%の個体で茎に亀裂が生じるのに対し、この変異体では亀裂が生じる確率は50%程度である。

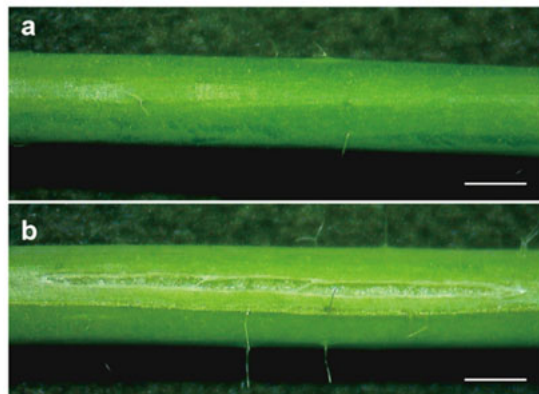


図 1 シロイヌナズナの変異体の茎の外見。
a, 亀裂が生じなかった個体の茎。b, 亀裂
部位。スケールバーは 1 mm。

以上から、茎の物理的強度の維持には機械刺激の許容の閾値があり、本変異体はちょうどその境界であることが予想される。茎に亀裂が生じる系統は、本来茎が備え持つ力学的整合性維持の仕組みの破綻を可視化しており、ここに着目した研究はそれ自体に高い独自性がある。

2. 研究の動機、目的

本研究の目的は、ジベレリンシグナルを介した器官成長制御を手がかりとして、植物器官の力学的整合性維持の根底にある分子基盤の解明である。茎の亀裂は、細胞成長によって器官の強度の許容量を超える力が生じることが要因と推測し、変異系統では細胞成長が過度になっていると仮説を立てた。すなわち、茎の構造の劇的な形態変化がなくとも、ジベレリンシグナルによる細胞成長のわずかな増大が器官の破綻を引き起こす可能性が考えられる。この仮説の検証のために本研究では、亀裂発生と関連するジベレリン関連遺伝子を遺伝学的に特定することで、茎の形態形成におけるジベレリンシグナルの関与の詳細を明確にするとともに、茎の亀裂に関する形態学的解析と生理学的解析に取り組んだ。

シロイヌナズナの茎における亀裂の発生は、ごく低い頻度であるが野生型系統でもみられることから、稀に起こる現象としてあまり科学的には捉えられず、その背景にある形態形成における異常や、力学的な均衡の破綻に関して見過ごされてきた。しかし、極めて速い成長をみせながらも内部の各組織・細胞が放射状に均整のとれた構造を示し、生殖成長を物理的に支える頑健さを備える茎の形態形成過程には、植物の巧みな成長戦略が背後にあり、着目に値する現象である。これらの一面を明らかにすることが、茎の器官形成の理解に必要であると考えたことが、本研究の動機である。

3. 研究の結果

a. 亀裂発生に寄与するジベレリン関連遺伝子の特定

亀裂が生じる変異体は 4 つの遺伝子に変異があるが、その内のどの遺伝子が亀裂発生と関与するのか、もしくは全ての遺伝子が関与しているのかは明らかになっていない。本研究では変異体と野生型系統の交配を行ない、雑種第 2 世代について、亀裂の発生という表現型を示す個体の遺伝子のジェノタイピング（遺伝子型の決定）を行なった。例えば、もし亀裂の発生に 4 つの変異が全て必要とされる場合は亀裂が生じる個体は $1/256$ となるが、2 つ、または 3 つで十分な場合は、それぞれ $1/16$ 、 $1/64$ となる。雑種第二世代の個体群の表現型を確認したところ、表現型を示す個体は $1/256$ の割合よりも多かった。それらの個体のジェノタイピングを行なった結果、4 つのうち、亀裂発生に必要な変異は 4 つ全てではないことを示唆する結果が得られた。

b. 茎の亀裂に関する形態学的解析と生理学的解析

シロイヌナズナ野生型と変異体の茎を採取し、樹脂切片の作成・観察をした。そして、茎内部の各組織の細胞数、細胞サイズの定量化を行なった。一部の細胞サイズの定量には、電子顕微鏡による解析を行なった。それらの結果、詳細を記述することは控えるが、変異体における形態変化を複数特定することができた。さらに、事前の予備的な観察では、変異体における亀裂は、茎の伸長がほぼ停止した後の期間で起きる傾向がみられていたため、形態以外の原因も複合的に影響していることを考えた。その一つとして、植物体の成熟（老化）に伴う水分動態や栄養状態の変化が影響する可能性が考えられ、それに関する測定も行なった。その結果、変異体における亀裂の発生には、形態以外の原因も複合的に影響していることを示唆する結果が得られた。

4. 研究者としてのこれからの展望

植物の葉や花の形態が植物種によって多様性を示すことに対して、どの植物でも茎は大体円柱状です。この点は、植物形態の多様性を解析するのには物足りませんが、初期の陸上植物

は二又に枝分かれした棒状を基本とした構造を持っていたと考えられることから、植物が進化の過程で茎の基礎的な構造を変える必要がなかった可能性、即ち陸上植物の誕生の初期から既に最適解であった可能性が考えられます。一方で、円柱状という基本的な外見は一緒でも、中身の形態は植物種により異なることから、私たちがまだ茎の形態の多様性が把握できていないだけで、進化の方向性があるかもしれません。このような茎の形づくりの奥深さを、研究を通して理解を深めていきたいと考えています。

5. 支援者（寄付企業等や社会一般）等へのメッセージ

今回、若手奨励金をご支援いただき、心より感謝申し上げます。本研究は基礎的な研究であり、社会的に役立つ価値や技術の提供に直接つながりうるような研究ではありませんが、研究内容を評価していただき大変励みになりました。また、奨励金のご支援をいただけたことで、対外的に自分の研究を知っていただける機会が増え、研究者として自覚が増しました。本研究をさらに発展させていくことで、植物をヒントとして丈夫な構造を生み出す仕組みの解明、そしてゆくゆくはそれらをモノづくりへ応用することができたらと考えています。また、学生自身が興味を持って関連研究に取り組み、論理的思考や真理を見極める視点を養える環境を整えることで、教育面での社会貢献をしていきたいです。

