

# 論文内容の要旨

申請者氏名 池田 ひかり

光や温度などの環境要因の周期的な変化に適応するため、概日時計は植物の生理応答に重要な役割を果たしている。実際、概日時計は遺伝子発現、光合成、花成、細胞分裂、細胞伸長など、多岐にわたる生物学的プロセスを調節しており、特に、植物の形態形成において、細胞の伸長は概日時計によって微細に制御されている。これまでに、胚軸伸長や主根伸長における概日時計の役割が広く研究されてきた一方で、先端成長を伴う根毛伸長における概日時計の具体的な作用機序については、未だ十分に解明されていなかった。先行研究では、根毛長の制御に光と概日時計が必要であることが示されていたが、具体的な光受容体や概日時計の機能に関する詳細は不明であった。

そこで、本研究では、植物の根毛長の制御における概日時計の役割を明らかにするため、概日時計遺伝子が根毛長に及ぼす影響を定量的かつ器官ごとに分析し、胚軸伸長や主根伸長の制御様式と比較することで、根毛長制御における概日時計の作用を詳細に解析することを目的とした。さらに、光受容体や概日時計の機能する器官に関する洞察を深め、概日時計による成長制御の全体像を解明することを目指した。

シロイヌナズナの芽生えを明暗条件下で栽培すると、根毛の長さには約1日周期のリズムが観察され、連続明条件下でも野生型植物ではこのリズムが保持されることから、概日時計が環境光の影響を受けずに根毛長の周期性を制御していることが示唆されました。このリズムは主要な概日時計遺伝子の変異体では失われることから、概日時計が根毛長の周期的リズム形成に不可欠であることが示された。さらに、地上部への光照射が根毛長の周期性に影響を与えることから、地上部から根への長距離シグナル伝達の可能性が示され、接ぎ木実験によりこのシグナル伝達が概日時計による時間情報を含むことが確認された。また、ショ糖が根毛長の制御に関与している可能性が示され、ショ糖の添加実験やショ糖トランスポーターの変異体を用いた実験から、ショ糖が根毛長の調節に重要な役割を果たしていることが示唆された。

これらの結果を通じて、本研究は根毛長の周期的なリズムの形成には地上部での光受容と概日時計が重要であり、その制御メカニズムが既知の胚軸伸長や主根伸長の制御メカニズムとは異なることを示した。また、根毛長の制御にはショ糖が関与している可能性が示され、これらの発見は植物の成長制御メカニズムにおける概日時計の重要性をさらに深めるものとなった。

以上の結果から、本研究では、周期的な根毛長リズムの形成には地上部での光受容と概日時計が重要であり、その制御メカニズムはすでに研究されている胚軸伸長や主根伸長制御とは異なるシグナル伝達経路を介していること、さらに、根毛長リズムの制御にはショ糖が関与している可能性を示した。

やむを得ない事由[ 図書出版、学術雑誌等への掲載、特許・実用新案出願、個人情報等の保護、その他( ) ]により本要旨を非公表とする。

【※該当する事由に○印をすること】

# 論文審査結果の要旨

申請者氏名 池田 ひかり

本研究では、新たな概日時計の制御標的として根毛伸長を見出し、根毛を定量的に解析するための機械学習モデルの導入、接ぎ木や部分照射による局所的な制御などを駆使して、概日時計による根毛伸長メカニズムの解明に取り組んだ。まず、定量的な解析を実現するために、数十枚の学習データを用意し、そこから根毛だけを認識して、位置と長さを自動で検出する深層学習モデルを構築した。このモデルの精度は手動計測の結果ともよく一致しており、ノンバイアスで大量のデータを解析することを可能にした。次に、この機械学習モデルを用いて、野生型と概日時計の変異体の根毛伸長リズムを計測したところ、ほぼ全ての概日時計変異体では根毛伸長リズムが喪失しており、根毛伸長が概日時計によって制御されていることが確認され、根毛伸長は、新たな概日時計の制御標的として位置づけられた。

この概日時計による根毛伸長制御の分子メカニズムの一端を明らかにするため、次に、地上部のみあるいは地下部のみに明暗周期を与える部分照射実験を行った。その結果、地上部のみ明暗周期を与え、地下部は連続暗条件であっても根毛伸長には明確な概日リズムが観察され、地上部における光受容が根での根毛伸長リズムの制御に重要であることが示された。このことをさらに確認するため、地上部を時計変異体 *toc1*、根を野生型あるいは地上部を野生型、根を *toc1* にした接ぎ木植物を作出し、コントロールと比較したところ、地上部が時計変異体であると根の根毛伸長リズムは喪失した一方で、根が時計変異体であっても地上部が野生型であれば根毛伸長リズムの喪失は見られなかった。これまでにも、概日時計からの情報が長距離シグナル伝達を介して離れた器官・組織に伝達されている例はわずかながら報告されており、本結果は時間情報の長距離シグナル伝達の新しい例であることが明らかとなった。

地上部から根に輸送されている糖は概日リズムの振幅維持に重要であることが報告されている。そこで、ショ糖の輸送に関わる SWEET11, 12 の変異体を用いた結果、これらの変異体でも根毛伸長リズムは消失しており、ショ糖が長距離シグナル伝達物質として機能し、根での根毛伸長リズムの形成に重要な役割を果たしている可能性が示唆された。

以上のように、本論文は植物の概日時計の新たな制御標的として根毛伸長リズムを見出し、それが長距離移動性の制御であることを明らかにしたもので、学術上、応用上貢献するところが少なくない。よって審査委員一同は、本論文が博士（理学）の学位論文として価値あるものと認めた

やむを得ない事由[ 図書出版, 学術雑誌等への掲載, 特許・実用新案出願, 個人情報等の保護, その他 ( ) ]により本要旨を非公表とする。

【※該当する事由に○印をすること】