

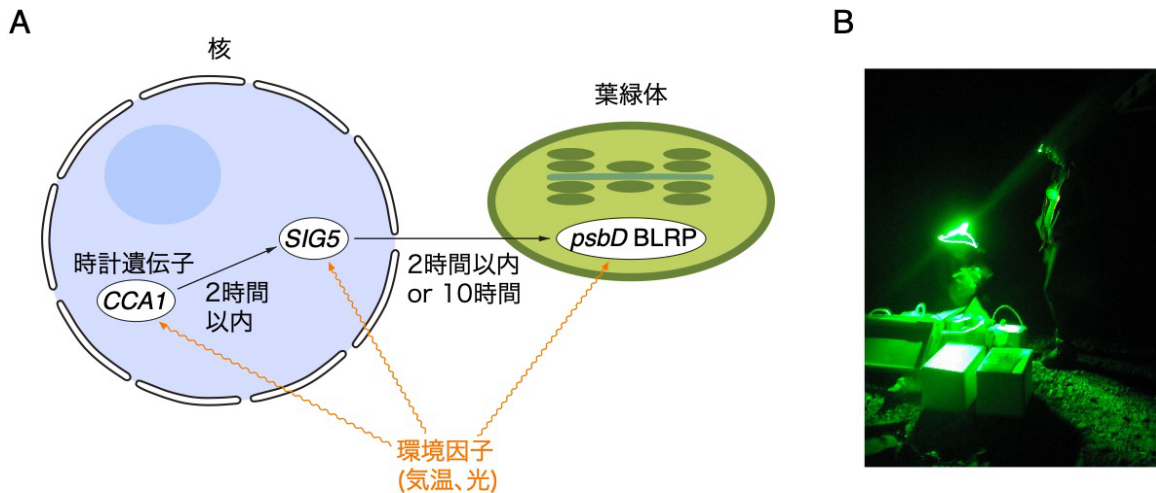
先駆的フィールド研究が自然環境での生物時計の働きを解明

概要

植物の概日リズムについての私たちの知見の多くは、光や温度などの入力を厳密に制御できる実験室での実験結果に基づいています。この生物学的なタイミングを決めるメカニズムが、より予測不可能な自然界でどのように機能しているかについては、あまり知られていません。

滋賀大学データサイエンス・AIイノベーション研究推進センターの西尾治幾 助教（兼：京都大学生態学研究センター 連携助教）、京都大学生態学研究センターの工藤洋 教授、英国 John Innes Centre の Antony Dodd 教授、Sainsbury Laboratory の Dora Cano-Ramirez 博士らの国際共同研究グループは、一連の先駆的な野外実験によって、植物が自然変動環境下で生物時計と環境情報をどのように組み合わせて遺伝子の働きを調節しているかを示しました。本研究は実験室と自然環境の間のギャップを埋める一助となります。

本研究成果は、2024年8月22日に国際学術誌「PNAS」にオンライン掲載されました。



A. 本研究で主な対象とした、核から葉緑体へのシグナル伝達に関わる遺伝子の模式図。遺伝子間の情報伝達の時間遅れの程度、および環境因子が各遺伝子の発現に与える影響を、自然環境下で明らかにした。(イラスト：西尾治幾) B. 深夜の葉のサンプリングの様子。植物への影響を抑えるため緑色のライトを用いた。(撮影：工藤洋)

1. 背景

植物は、24時間の環境の日内変動において、環境変化を感知し、応答します。これには、体内の概日時計と光や温度といった環境の手がかりを統合し、シグナル伝達を通じて細胞応答を引き起こすことが必要です。しかし、自然環境下で生育する植物が概日時計と環境シグナルを統合・伝達する仕組みは、まだ十分に理解されていません。

2. 研究手法・成果

自然環境における24時間の環境シグナル伝達の動態を理解するために、研究グループは、ハクサンハタザオ (*Arabidopsis halleri*) の自然集団における核から葉緑体へのシグナル伝達に関するフィールド研究を行いました。ターゲットとした遺伝子の発現量を定量し、いくつかの統計モデリング手法を用いてデータ分析を行った結果、この経路の自然条件下での主要な調節因子として、概日時計と温度が重要であることを特定しました。また、経路の構成遺伝子間における時間遅延ステップと、温度シグナルに対する経路の応答における日周期的な変動を特定しました。これらは概日時計のゲーティングと呼ばれるプロセスが自然環境下で働いていることを示唆しています。さらに、私たちのモデリング手法は、日周期的な振動を持ち、環境シグナルに応答する他のシグナル伝達経路にも適用可能であることがわかりました。このように、フィールドでの遺伝子発現の研究とモデリングを組み合わせるアプローチにより、自然環境における環境の日内変動の中で、植物細胞内における環境シグナルの動的な統合と伝達を明らかにすることができました。

3. 波及効果、今後の予定

本研究で用いた統計モデルのように、環境条件に関連した遺伝子発現を正確に予測できるモデルを作成できれば、将来の気候変動に適応する作物の育種が可能になるかもしれません。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は、主に以下の研究費の支援を受けました。

- JST クレスト (CREST) 植物頑健性領域 JPMJCR1501 (研究代表者：工藤洋)
- 科学研究費 学術変革領域研究(A) JP21H05659 (研究代表者：西尾治幾)
- BBSRC BB/I005811/2 (研究代表者：Antony Dodd)
- The Leverhulme Trust RPG-2018-216 (研究代表者：Antony Dodd)
- The Royal Society IE140501 (研究代表者：Antony Dodd)

<研究者のコメント>

- あらゆる生物は、それぞれの自然生育地の中で進化してきました。自然条件下で遺伝子機能を評価するためには、多くの課題が残されています。本研究は、そのような試みの始まりの一つです (工藤洋 教授)。
- ベイズ時系列モデルの柔軟性により、自然環境における複雑なシグナル統合を解き明かすことができました。本研究で用いたアプローチは、特に複雑な環境で行われる研究において非常に効果的であると考えられます (西尾治幾 助教)。
- 私たちの研究は、学際的な科学の進歩における国際協力の重要性を強調しています。実験室で特定したプロセスが自然条件下でも植物に影響を与えている様子を見るのは非常に興味深いです。私たちは、この研究が野外で生育する植物において、概日時計のシグナル伝達経路全体をモデル化した初めての例だと考えています

(Antony Dodd 教授)。

●概日時計は、多くの重要な植物プロセスを調整することが、実験室での研究から示されていますが、これらのプロセスがフィールド条件下でどの程度実現されているかは、これまで不明でした (Dora L. Cano-Ramirez 研究員)。

<論文タイトルと著者>

タイトル：Circadian and environmental signal integration in a natural population of *Arabidopsis* (訳：シロイヌナズナ属の自然集団における概日リズムと環境シグナルの統合)

著者：Haruki Nishio, Dora L. Cano-Ramirez, Tomoaki Muranaka, Luíza Lane de Barros Dantas, Mie N. Honjo, Jiro Sugisaka, Hiroshi Kudoh, Antony N. Dodd [滋賀大学 西尾治幾 助教 (兼：京都大学生態学研究センター 連携助教)、Sainsbury Laboratory ドラ カノ・ラミレッツ 研究員、名古屋大学 村中智明 助教、John Innes Centre ルイザ レーン デバロスダントス、京都大学生態学研究センター 本庄三恵 准教授、京都大学生態学研究センター 杉阪次郎 研究員、京都大学生態学研究センター 工藤洋 教授、John Innes Centre アントニー ドッド 教授 (責任著者)]

掲載誌：PNAS DOI : 10.1073/pnas.2402697121