

| | | | |
|---|--------------------------|----|-------|
| 京都大学 | 博士 (理学) | 氏名 | 上野 賢也 |
| 論文題目 | 増殖中の植物における概日リズム動態の時空間的解析 | | |
| <p>(論文内容の要旨)</p> <p>高等植物は概日時計を持ち、昼夜のある環境に同調する約24時間周期の概日リズムを示している。概日リズムが様々な生理的な反応を調節することで、植物の体内環境は外部の昼夜環境に適応している。そのため、多細胞生物にとって概日時計が個体内で協調的に働くことは重要である。概日時計は恒常条件下でも細胞自律的に概日リズムを持続させることが知られており、細胞間・組織間に自発的な同期作用があることが予想されている。これまで概日リズムの同期に関わる研究は、主に成熟した組織や細胞のリズムの解析によってなされてきたが、増殖中の概日リズム動態、特に新たに生み出される組織の概日リズム秩序形成についての研究は限られている。本研究では、増殖中に新たに生み出された組織や個体内の概日リズム動態を解明することで、植物体内の時間秩序形成機構を理解することを目的とした。</p> <p>本研究では概日リズムを示す生物発光レポーター<i>AtCCA1:LUC</i>を形質転換で導入したコウキクサを材料とし、増殖中のウキクサのフロンド (葉状体) の生物発光リズムを細胞レベルの解像度で時空間的に解析した。外環境に同調した植物の概日リズムの秩序が外部刺激のない環境においてどのように維持されるかを明らかにするために、測定開始前に明暗に同調させた個体を用意した(LDLLウキクサ)。また、自発的に形成される概日リズムの秩序を明らかにするために事前に外環境からの同調を与えていない個体を用意した(LLLLウキクサ)。いずれも恒明条件下で高感度カメラを用い、増殖する植物体全体の生物発光を高解像度で1週間以上観測した。</p> <p>フロンド単位での概日リズムの解析では、LDLLウキクサのフロンドでは新規に発生するフロンドはより古いフロンドに比べて位相が遅れている傾向が見られた。また、LLLLウキクサのフロンドでさえ、同一フロンドを先祖に持つフロンド間では互いに類似した位相を示した。このことから、増殖中の植物では新規に発生する組織との間に時間情報の伝達があることが示唆された。</p> <p>フロンド内、細胞レベルの解像度の解析では、LDLLウキクサでは遠心性の位相・周期の空間パターンが、LLLLウキクサのフロンドでは移動波を伴う様々な位相の空間パターンが形成され、細胞間の距離が近いと位相が近い傾向があった。</p> <p>フロンド内における位相・周期の空間パターンの発生メカニズムを理論的にとらえるために、フロンド内の細胞概日リズムを抽象化したモデルシミュレーションを行った。位相振幅振動子を二次元上に配置し、近傍の細胞間で位相が引き合う作用、位相が近いと振幅が大きくなる作用、周期が短くなる作用を仮定した。初期位相の同期状態の違いによりLDLLウキクサとLLLLウキクサで観察された位相・周期の空間パターンがいずれも再現された。シロイヌナズナの切除葉で類似した位相の空間パターンが報告されていることをふまえると、時間情報の長距離伝達がない植物では、局所的な細胞間の相互作用が組織内の位相・周期パターンを形成する主要な要素であると考えられた。</p> <p>今回明らかにした増殖するウキクサの概日リズムの時空間的特性に基づいて、増殖中の植物における、局所的な概日時計間の同期を基本とした枠組みを提案した。局所的な概日リズムの同期を基本とし、加えて維管束などを通じた組織間の時間情報の長距離伝達を考慮した枠組みの中で、維管束が発達した植物の自発的な概日リズム動態をとらえることによって、一般的な植物体内の時間秩序形成機構の理解が進むと期待される。</p> | | | |

(論文審査の結果の要旨)

上野賢也氏が研究対象とした概日時計は、地球上の生物が昼夜サイクルに適応するために獲得したシステムである。植物は概日時計を有しており、光周性花成・気孔の開閉・代謝など植物にとって重要な生理現象に関与している。植物の概日時計は細胞単位で複数の時計遺伝子の転写・翻訳ネットワークによって駆動されており、個々の細胞が概日リズムを示す。一方で、個体としての概日リズムを示すことから、その概日時計システムは植物個体として統制の取れた細胞時計の集合体であると考えられる。これまで概日リズムの同期に関わる研究は、主に成熟した組織や細胞のリズムの解析によってなされてきたが、増殖中の概日リズム動態、特に新たに生み出される組織の概日リズム秩序形成についての研究は限られていた。上野氏は、植物体内の時間秩序形成機構を理解するために、増殖中に新たに生み出された組織や個体内の概日リズム動態を解明する研究に取り組んだ。

上野氏は自発的な概日時計の空間的な動態を明らかにするために、概日リズムを示す生物発光レポーター*AtCCA1:LUC*を形質転換で導入したコウキクサを利用することを考えた。明暗サイクルに同調したウキクサと恒常環境下で栽培したウキクサをそれぞれ用意し恒明条件下で測定することで、自発的な概日時計の動態を観察した。本研究で上野氏はウキクサのフロンドの概日リズムを空間的に解析する系を構築した点でも高く評価された。さらに上野氏はフロンド単位での発光リズムに着目し、フロンド間の位相関係を調べ、事前の明暗同調の有無によるフロンド間の位相の同期状態に差があることと、自発的に概日リズムが決定される状態であってもフロンド間で位相が互いに類似していることを示した。これは新規に発生する組織と既存の組織の間に時間情報の伝達があることを示した重要な発見である。加えて、フロンド内、細胞レベルに着目することで特徴的な位相・周期の空間パターンを見出した。フロンドを抽象化したモデルシミュレーションによってフロンド内の位相・周期の空間パターンの発生メカニズムを理論的にとらえた。これは時間情報の長距離伝達がない植物では、局所的な細胞間の相互作用が組織内の位相・周期パターンを形成する主要な要素であることを明確化した点も高く評価された。

本研究は、自発的な概日リズムの動態を同時に複数の階層で空間的に解析することで、これまで明らかにされてこなかった増殖中の植物における地上部の時間秩序形成機構を示した研究として高く評価された。本研究の内容は、植物科学分野で権威ある国際誌*New Phytologist* 誌に掲載された。上野氏が実施した研究は植物が有する概日時計システムの本質に迫るものであった。この研究は概日時計研究の発展に寄与するもので、学位論文として十分価値あるものと評価される。よって本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和4年3月30日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降