

令和元年6月18日現在

機関番号：14603

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2018

課題番号：17K19392

研究課題名（和文）維管束を介した時間情報の共有メカニズムの解明

研究課題名（英文）Elucidation of the mechanism of vascular time-info-sharing

研究代表者

遠藤 求（Endo, Motomu）

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：80551499

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では植物個体において個々の器官・組織が持つ時間情報を統合する仕組みを解析した。地上部と根を結ぶ維管束系に着目し、根にカリウムを投与し道管液中のカリウム濃度や地上部における概日リズムを計測した。その結果、AHA1を介して根から取り込まれたカリウムは道管を通じて地上部へと輸送され、地上部の概日リズムの安定性を制御していることを明らかにした。さらにカリウムによって安定化された概日リズムは周期的な糖産生へとつながり、それによって今度は地上部から根へと時間情報が伝達される可能性を見出した。

以上より道管と篩管を介した根と地上部の間の時間情報の共有メカニズムとして栄養が重要であることが明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カリウムは植物の三大栄養素であり、植物が最も必要とする元素である。これらの元素の役割は栄養素としてこれまで解析されてきたが、本研究によって根の時間情報を伝えるための情報源としても働いていることを明らかにした。同様に光合成によって作られる糖も栄養素としてだけでなく、地上部から根へと時間情報を伝える情報源として機能している可能性を示していることから、植物にとって重要な栄養素と概日時計をカップリングさせることで、より効率的な栄養の取り込み、産生、輸送、利用を可能にしている可能性が見出され、農業への応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, the mechanism which integrated time information of individual organ and tissue in plant individual was analyzed. Focusing on the vascular system connecting the root with shoot, potassium was added to roots, and the potassium concentration in xylem sap and circadian rhythm in the shoot were measured. The results showed that potassium taken up from the roots via AHA1 was transported to the shoot through xylem transport and controlled the stability of the circadian rhythms of shoot clock. In addition, we found that circadian rhythms stabilized by potassium led to periodic sugar production, which in turn might transmit time information from the shoots to the roots.

These results indicate that nutrition is an important mechanism for the sharing of time information between roots and shoots through vascular bundles.

研究分野：時間生物学

キーワード：シロイヌナズナ 概日時計 カリウム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

生物は概日時計を利用することで約 24 時間の内在性のリズムを生み出し、様々な生理応答を適切に制御している。動物の概日時計は組織ごとに異なる機能を持っており、特に脳に存在する概日時計は中枢時計として神経や血管を介して肝臓や腸といった末梢臓器の概日リズムに影響を与えている。研究代表者らの研究室では、植物の概日時計もまた組織ごとに異なる機能を持つことを明らかにしてきた[Endo et al., 2014, Shimizu et al., 2015]。しかし、神経や血管を持たない植物において、どのように各組織の時間情報が個体レベルで統合されているかについてはほとんど明らかにされていない。これまでの研究では、維管束を介した糖輸送が地上部(葉や茎頂)から根への時間情報の伝達に重要である可能性が示唆されているのみであった[Takahashi et al., 2008, Takahashi et al., 2015]。

近年、ペプチドなどが維管束を介した地上部と根の間のシグナルのやり取りに関わることが、相次いで報告されており[Tabata et al., 2014, Takahashi et al., 2018]、時間情報についてもこうした維管束を介した器官間の相互シグナル伝達メカニズムが存在することで、個体としての時間情報を共有している可能性が考えられた。しかし、根から葉へのシグナル伝達物質の候補が全く不明であること、高い時空間分解能で同一個体内の葉と根における概日リズムを独立に計測することが技術的に難しかったことから、植物における個体レベルでの時間情報の統合メカニズムは全く明らかにされていない。

### 2. 研究の目的

研究代表者は、栄養素の取り込みが概日時計によって制御されており、それらの栄養素は光や温度と同様に概日リズムに影響を与えることに着目した[Haydon et al., 2013, 2015]。このことから、根の概日時計の働きによって道管内では栄養素の周期的な濃度変化が生じ、これが根の時間情報として葉へと伝えられている可能性が考えられた。そこで本研究では、様々な栄養素を植物に投与した際に起こる概日リズムの変化を葉と根で独立に測定することを通じて、シグナル伝達物質として機能する栄養素の同定、および、こうした時間情報の伝達が持つ生物学的意義の解明、を目的に研究を行った。

### 3. 研究の方法

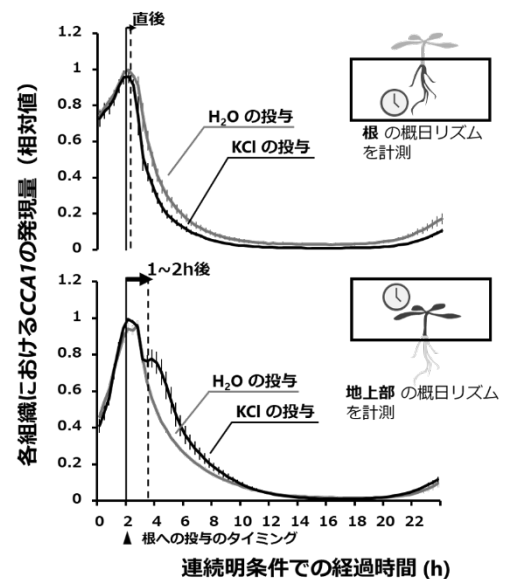
根へのカリウム投与、道管液中のイオン濃度の定量、地上部と根それぞれにおける概日リズムの計測を行った。

### 4. 研究成果

#### 1. 根に添加したカリウムは数時間の遅れを持って葉の概日時計に影響を与える

研究代表者はまず、根から吸収された栄養素が地上部の概日時計に影響を与える可能性について検討した。

いくつかの栄養素について試したところ、根にカリウム(KCl)を投与すると、時計遺伝子 *CCA1* の発現は根では投与直後に減少したのに対して、葉では添加後 1-2 時間後に上昇することを見出した。このことは、根と地上部ではカリウムに対して異なる応答性を示すこと、また、根に投与したカリウムが直接的または間接的に地上部における概日リズムに影響を与えたことを意味していた(図 1)。さらに、葉に直接カリウムを塗布すると、時間遅れを伴わずに時計遺伝子 *CCA1* の発現上昇が見られたことから、カリウムが根から葉へと直接輸送され、時間情報を伝えている可能性を明らかにした。

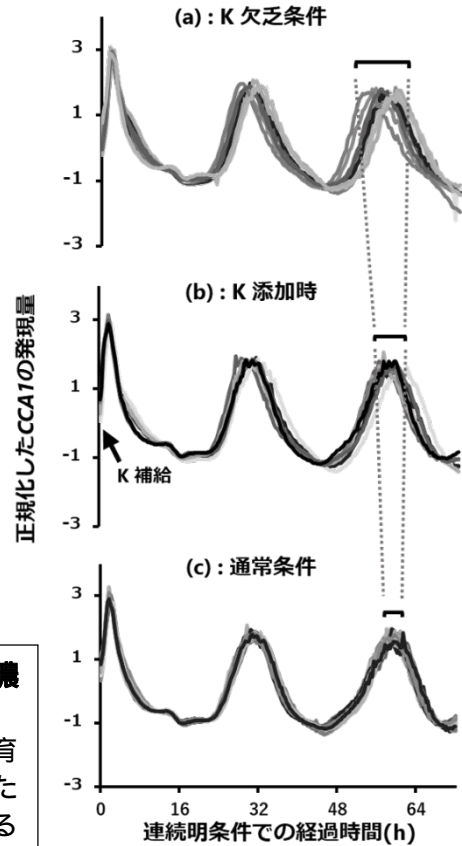


**図 1. 地上部と根の時計遺伝子 *CCA1* の発現に対するカリウム添加の影響**

明暗条件下で生育させた 14 日齢の芽生えの根に KCl を投与した(実線)。根では添加直後から発現減少が見られたのに対し、地上部では 1-2 時間後に発現上昇が確認された(破線)。

## 2. カリウム欠乏は概日リズムの周期安定性を低下させる

根から地上部へのカリウムを介した時間情報の伝達が持つ意義を詳細に調べるため、次にカリウム欠乏条件（通常の濃度の 1/100）での概日リズムを計測した（図 2）。カリウム欠乏状態の植物では概日リズムの周期が安定せず、カリウム投与によって周期の安定性が回復することを明らかにした。このことは、光や温度の影響を受けにくく安定である根の概日リズムをカリウム濃度のリズムに変換して地上部へと伝えることで、地上部の概日周期の安定性に貢献していることを示唆するものであった。またカリウムの取り込みに関与する主要なトランスポーター *KUP1* の発現は概日振動を示し、多くの植物種において道管内のカリウム量に日内変動が見られることが報告されている。このことから、概日時計によって制御されるカリウム濃度が根から葉への時間情報の伝達である可能性が示唆された。



**図 2. 地上部の概日時計の周期に対する、培地カリウム濃度の影響**

明暗条件下 12 日間（K あり） 2 日間（K 欠乏）で育成した個体に KCl を添加して K 欠乏からの回復を行った（矢印）(a,b)。K 欠乏状態では周期の安定性が低下するのに対して(a)、K 添加によって回復した場合、周期の安定性が保たれた(b)。また常に K が十分にある条件下では周期の安定性は強く保たれている(c)。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Uemoto, K., Araki, T., Endo, M., Isolation of Arabidopsis palisade and spongy mesophyll cells. *Methods Mol Biol.* 1830: 141-148, 2018, 査読有, DOI: 10.1007/978-1-4939-8657-6\_9

〔学会発表〕(計 件)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等  
<https://bsw3.naist.jp/endo/>

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。