

# RIイメージングの研究について

～植物RIイメージング研究と未来の農業に資する栽培技術の創出に向けて～

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構  
高崎量子技術基盤研究所

量子バイオ基盤研究部 RIイメージングプロジェクト  
プロジェクトリーダー/上席研究員



河地有木

# RIイメージングの研究について

～植物RIイメージング研究と未来の農業に資する栽培技術の創出に向けて～

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構  
高崎量子技術基盤研究所



量子バイオ基盤研究部 RIイメージングプロジェクト  
プロジェクトリーダー/上席研究員

河地有木

福島国際研究教育機構  
放射線科学・創薬医療分野  
植物イメージング研究ユニット



**1. はじめに**

2. 光合成で作られた糖の動きを見るアプローチ

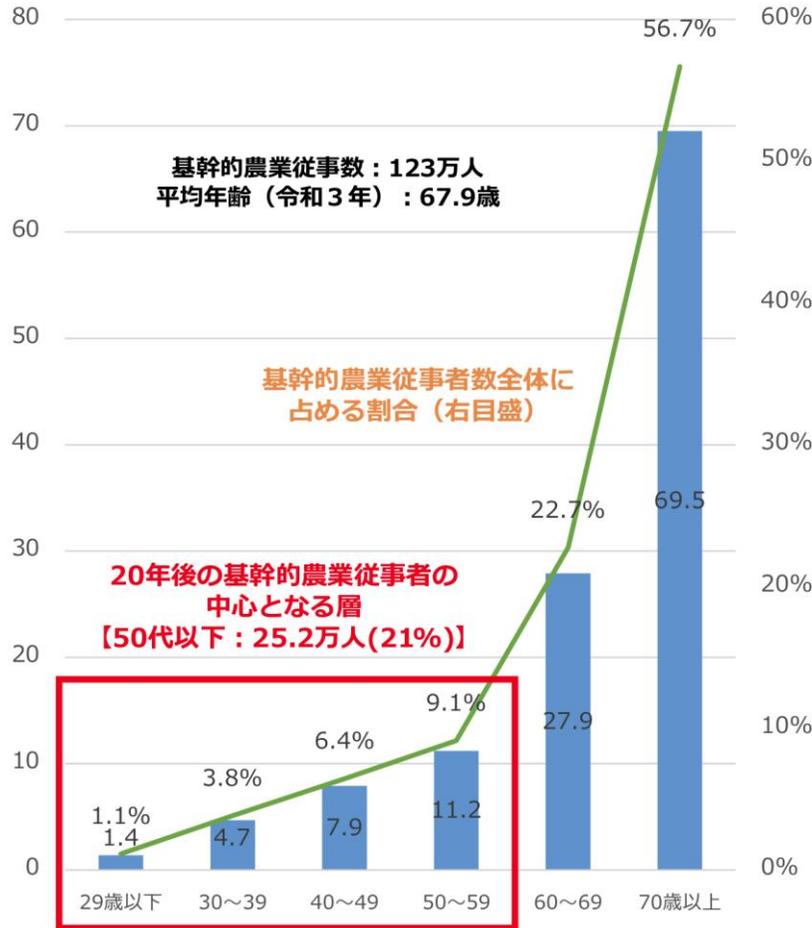
3. 地下の生命活動を見るアプローチ

4. 植物RIイメージング研究例

# 農業の課題：食料生産を維持、向上させつつ、持続性を高めること

バイオエコミー戦略（内閣府）、みどり戦略（農水省）

◎就業者数は**減少**しており、  
経営体の規模を**拡大**することが**必要**



◎農業における生産性の**飛躍的な向上**

人手を前提とした慣行的な生産方式

(現状)



**「農業」 × 「先端技術」 = 「スマート農業」**

\*農水省HPより

生産現場の課題を先端技術で解決する！農業分野における**Society 5.0**の実現

# 植物栄養学的アプローチ

「植物栄養学」 植物の栄養獲得のメカニズムを解明  
しようとする学術分野

→ 植物が元来持つ生理機能メカニズムを最大限に農業に活用

「植物栄養学（第1版）」の序文から引用（森敏 東京大学名誉教授）

「世の中をどのような観点からみるのかを世界観という。

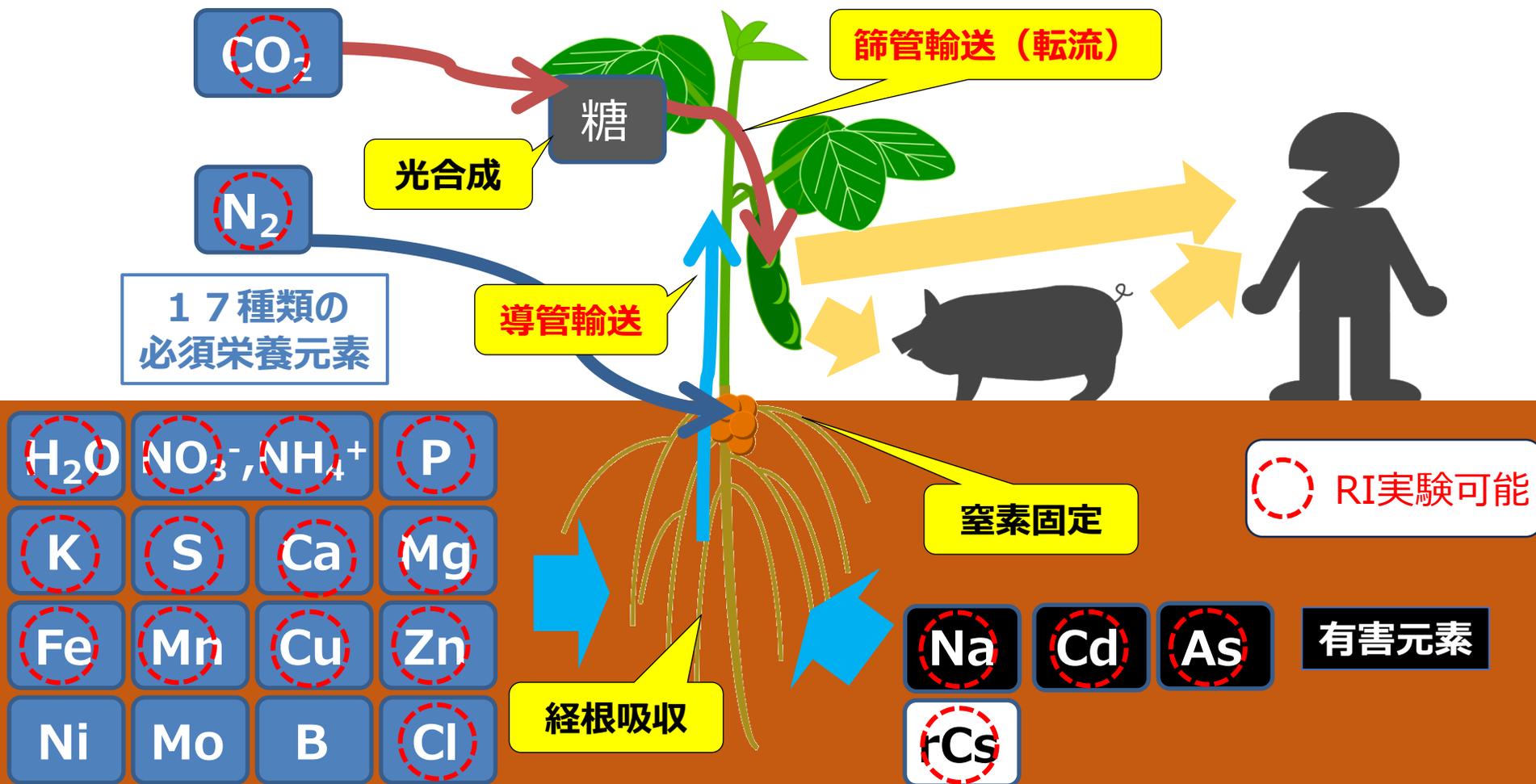
世の中を，“通貨の流れ”でみるのは経済学者，  
“エネルギーの流れ”でみるのは物理学者，  
“物質の流れ”でみるのは工学者，  
“病原菌の流れ”でみるのは医者や病理学者，  
“情報の流れ”でみるのはインターネット産業人である。

此の伝でいうならば，  
世の中を“**栄養元素の流れ**”でみるのが植物栄養学者である。」

栄養**元素**を可視化する**RI**イメージング技術は、強力な研究ツール

# 栄養の流れを捉えること

栄養の流れを捉えることこそが**作物生産のカギ**となる

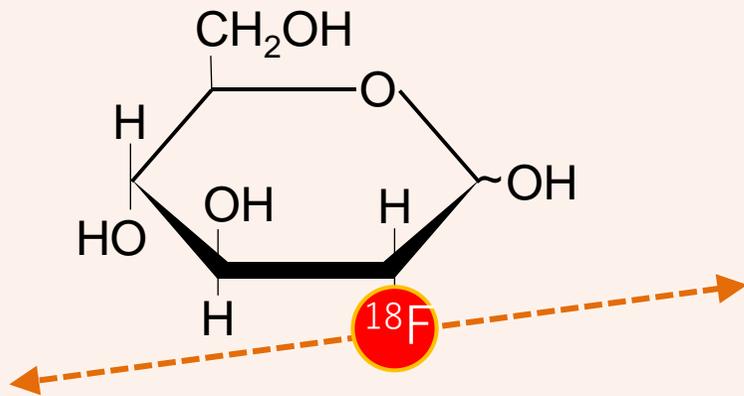


元素動態のメカニズムを理解して、農業に活かす

# RIイメージングの代表例 (PET)

## 陽電子放出断層撮影(PET)によるがん診断

ブドウ糖に  
ポジトロン放出核種 $^{18}\text{F}$ をくっつける

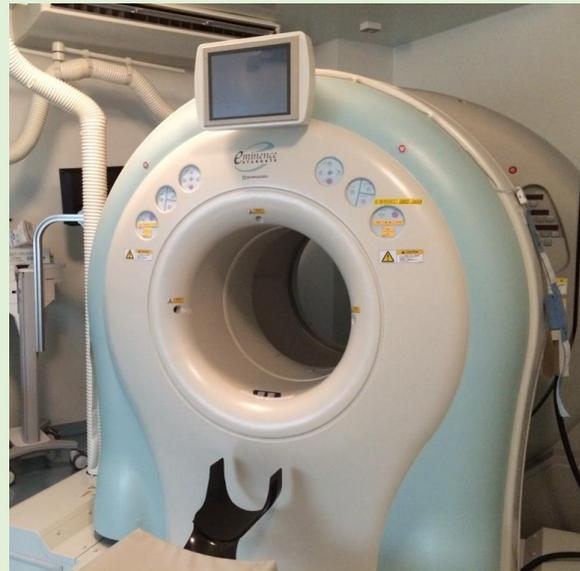


$^{18}\text{F}$ -FDG

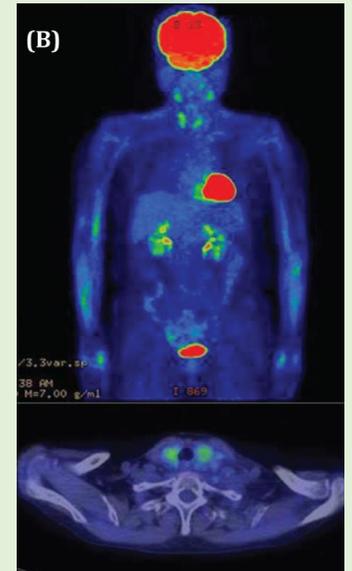
放射性同位元素 $^{18}\text{F}$ を標識した  
フルオロデオキシグルコース

体内へ投与

体内のどこにポジトロン放出核種が分布しているかを画像で表すPET装置で診断



PET装置



PET診断画像

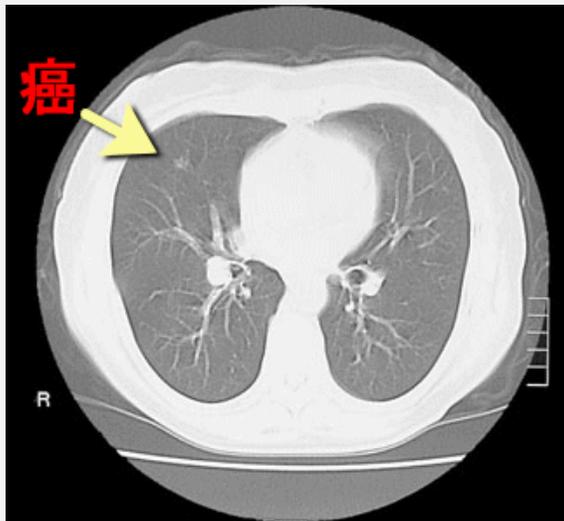
体内で糖を過剰に消費している組織を  
PET診断画像から探し出す

# RIイメージングの特徴 -機能画像-

構造情報(CT, レントゲン)と機能情報(RIイメージング, PET, SPECT)

## 構造情報でガン診断

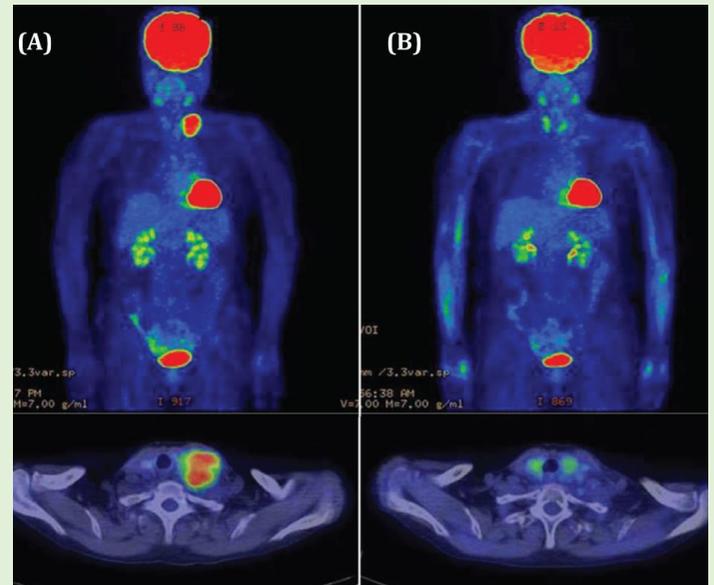
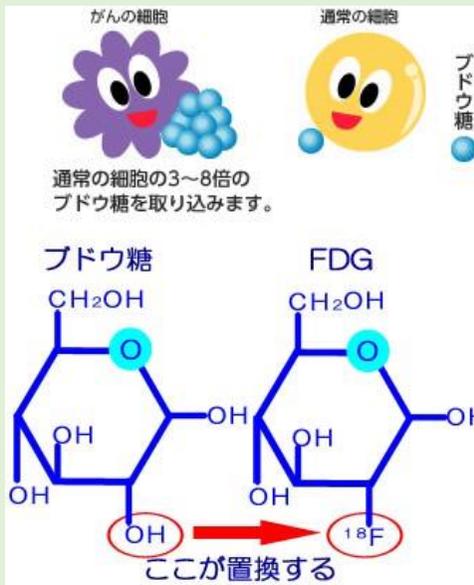
レントゲン  
エックス線CT



腫瘍の場所や形状がわかる

## 機能情報からガン診断

RIトレーサイメージング  
(PET検査)



腫瘍の位置や活性度がわかる

# RIイメージングで生命のしくみを見る

構造情報(CT, レントゲン)と機能情報(RIイメージング, PET, SPECT)

体の作りを見る

レントゲン  
エックス線CT



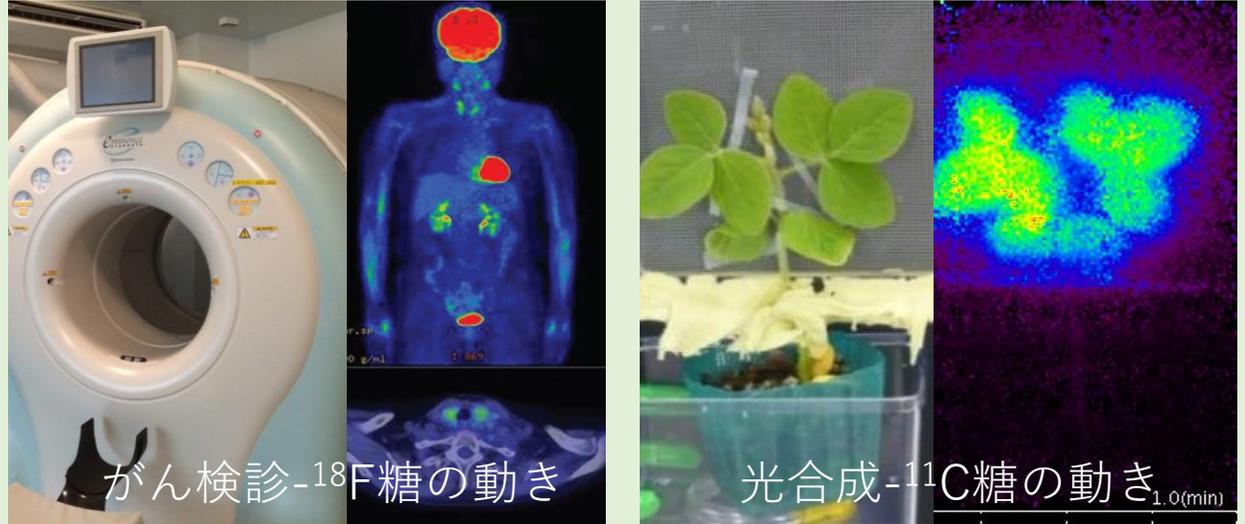
放射線を体外から照射

透過率・密度の違いを画像化

からだの構造を見る

生命のしくみを見る

RIイメージング



がん検診- $^{18}\text{F}$ 糖の動き

光合成- $^{11}\text{C}$ 糖の動き

ラジオアイソトープ (RI) を体内へ投与

RIが放出する放射線を描いてその分布を画像化

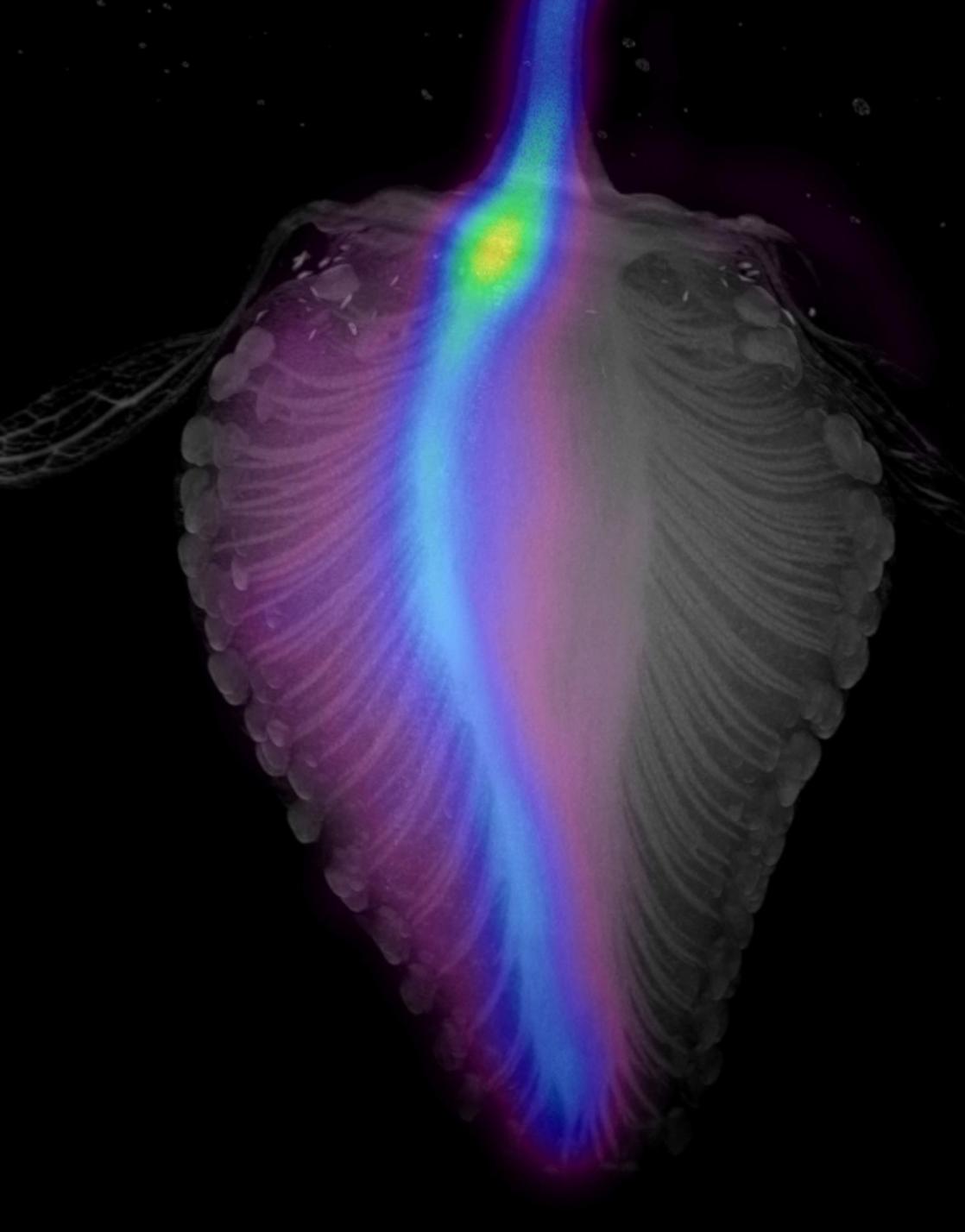
代謝による体内物質の分布や動きを見る

1. はじめに

**2. 光合成でつくられた糖の動きを見るアプローチ**

3. 地下の生命活動を見るアプローチ

4. 植物RIイメージング研究例



第2回

# 「科学の美」

Instagram



写真コンテスト

科学技術団体連合主催

「科学の美」インスタ写真コンテスト

最優秀賞受賞作品

## イチゴ果実内部に運ばれる糖

## 2. 光合成でつくられた糖の動きを見る方法(1)

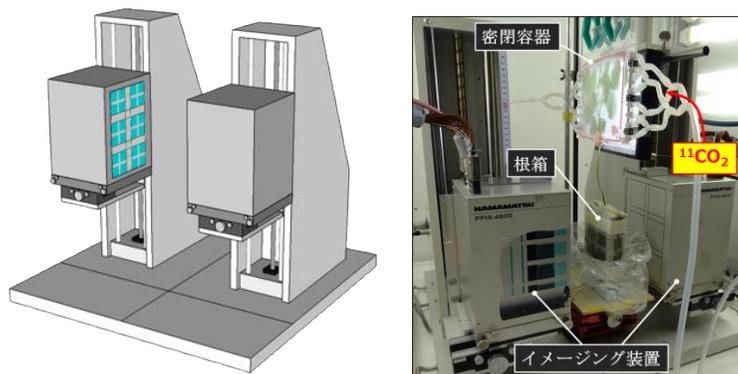
### 作物の生産性を議論するための糖の動きを可視化するRIイメージング技術

- ◎ 光合成でつくられた糖に“しるし”をつけるRI製造 ( $^{11}\text{C}$  : 半減期20分)

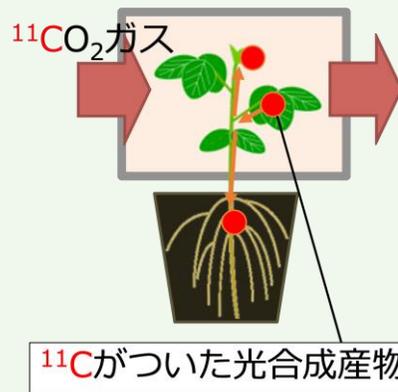


$^{11}\text{C}\text{O}_2$ を製造

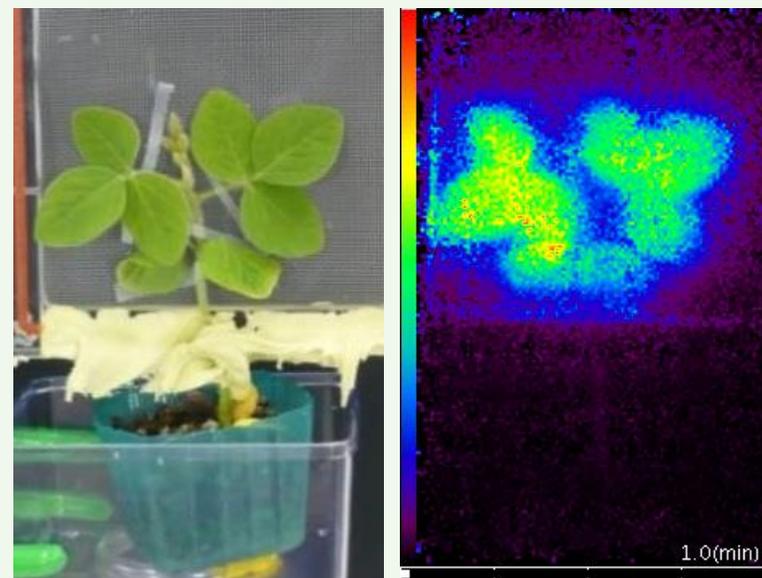
- ◎ “しるし”をつけた糖の動きを撮影するRIイメージング装置



- ◎ 光合成でつくられた糖の動きを捉える



RIイメージング実験



光合成でつくられた糖が根へ、成長点へ移行していく様子がわかる

## 2. 光合成で作られた糖の動きを見る方法(2)

### イチゴの果実へ運ばれる糖

二酸化炭素のRI( $^{11}\text{C}\text{O}_2$ ) を吸収させ葉



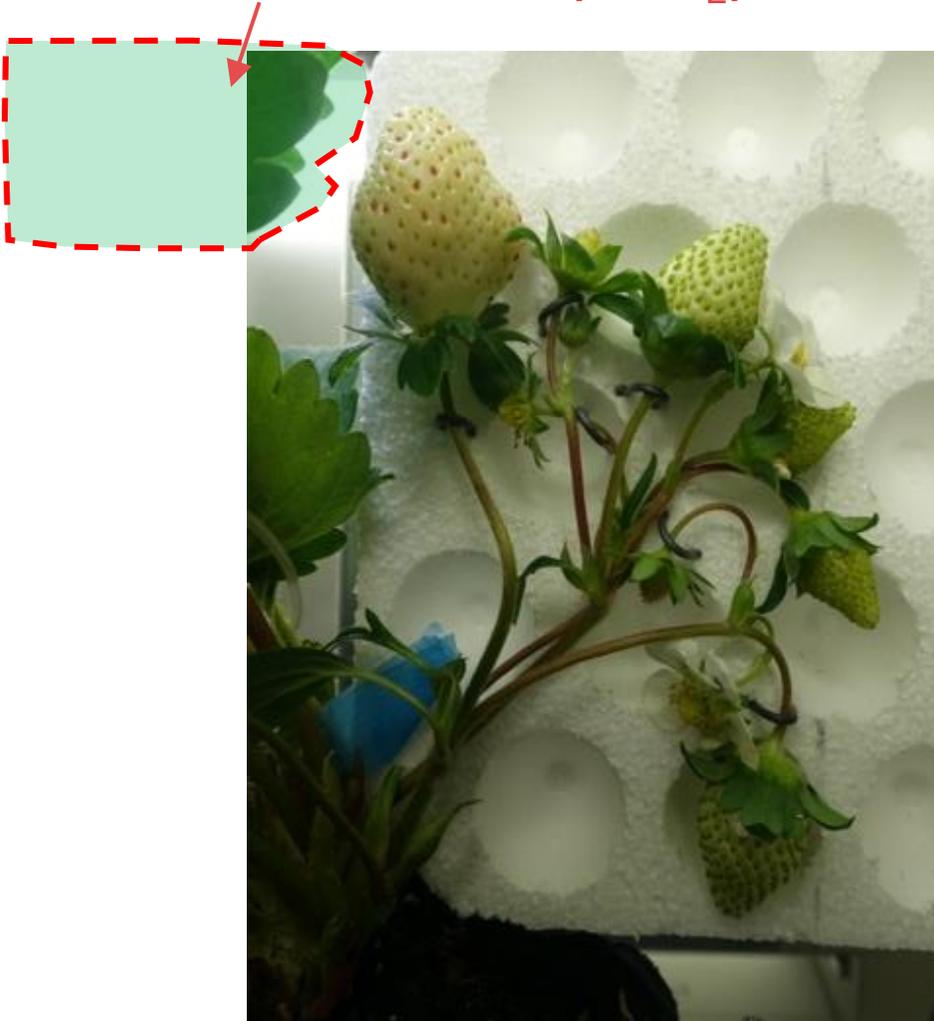
$^{11}\text{C}$ のしるしが付いた糖  
が果実へ運ばれる様子



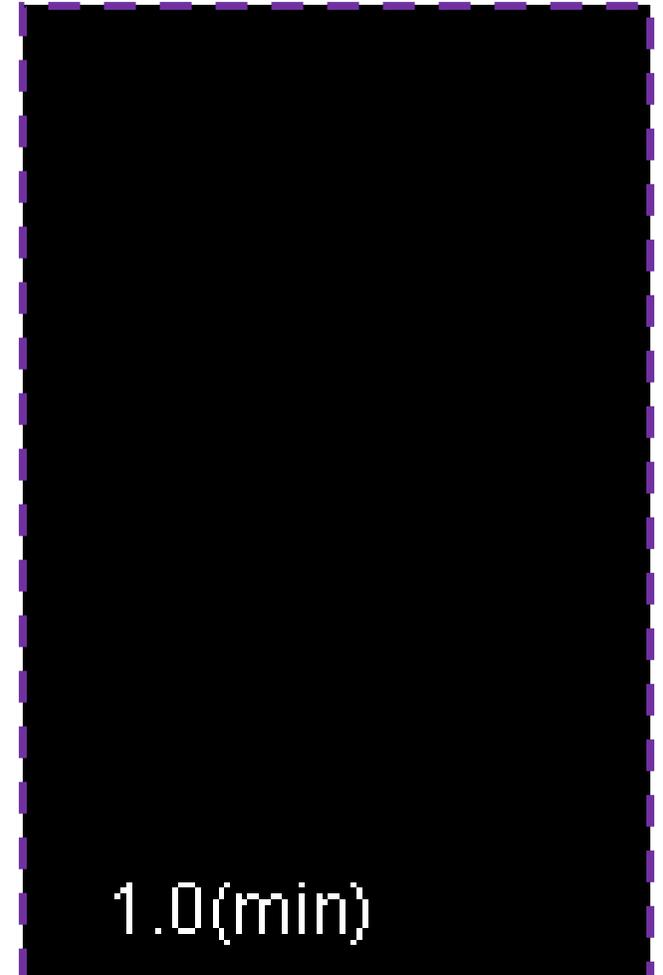
## 2. 光合成でつくられた糖の動きを見る方法(3)

### イチゴの果実へ運ばれる糖

二酸化炭素のRI( $^{11}\text{CO}_2$ ) を吸収させ葉



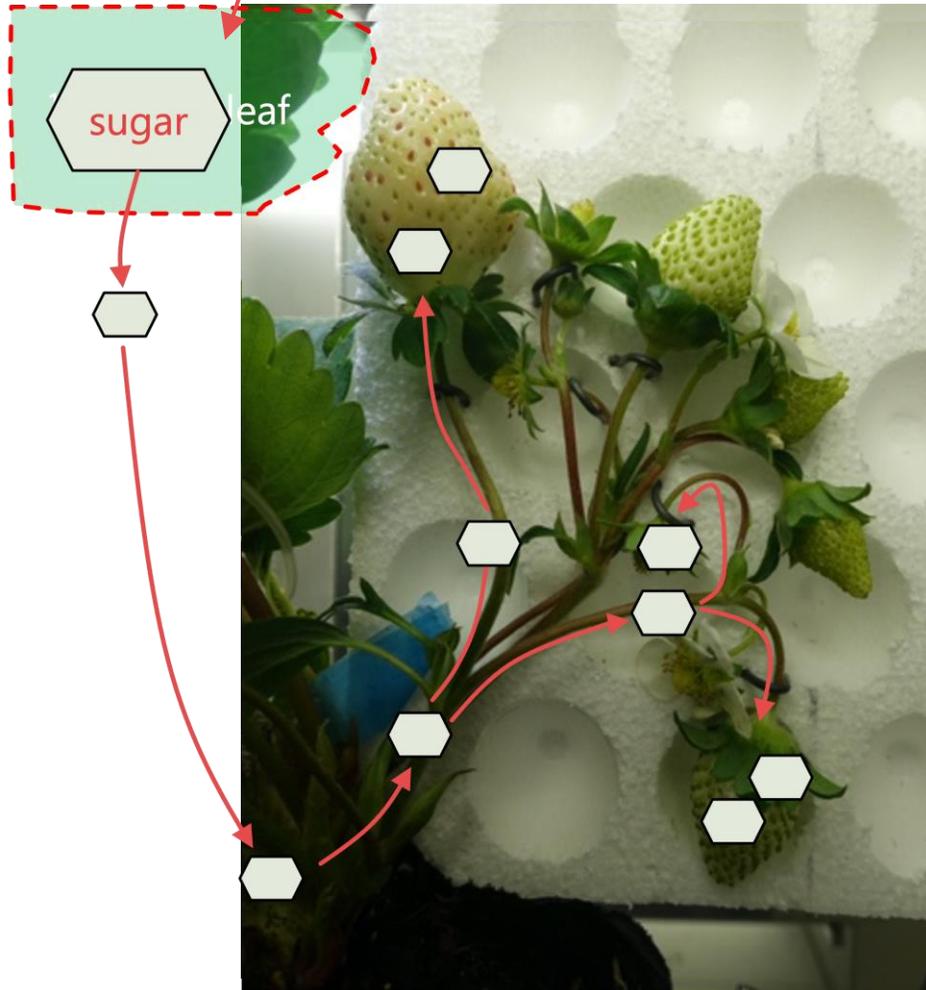
$^{11}\text{C}$ のしるしが付いた糖  
が果実へ運ばれる様子



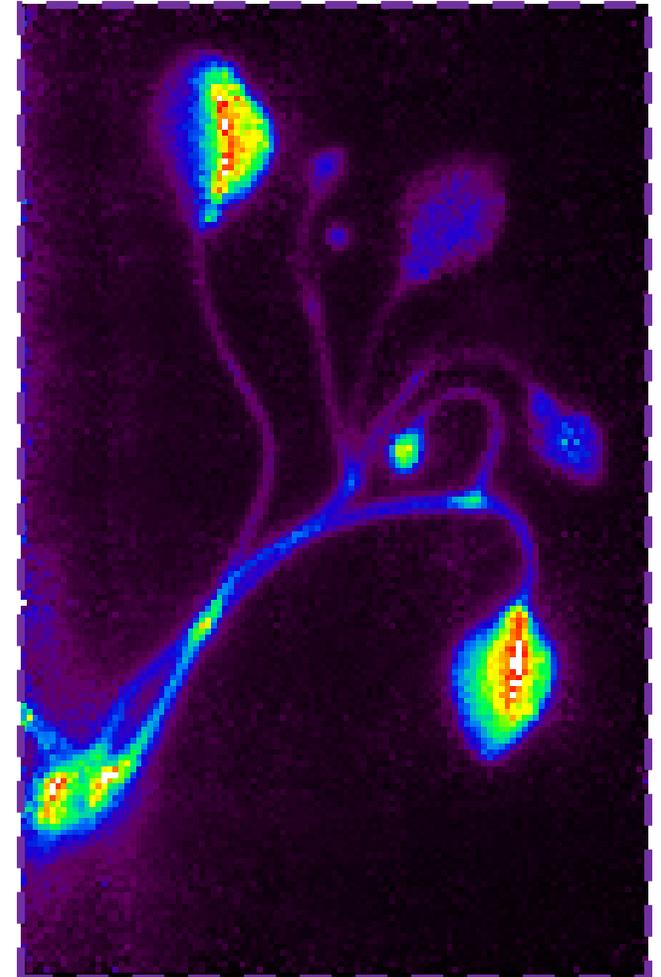
## 2. 光合成でつくられた糖の動きを見る方法(3)

### イチゴの果実へ運ばれる糖

二酸化炭素のRI( $^{11}\text{CO}_2$ ) を吸収させ葉

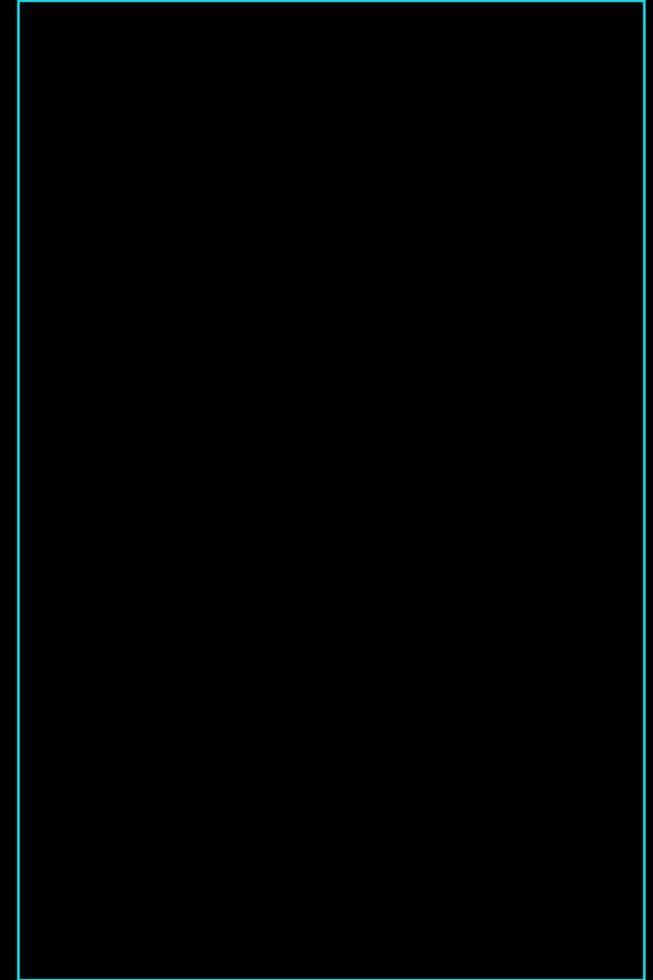
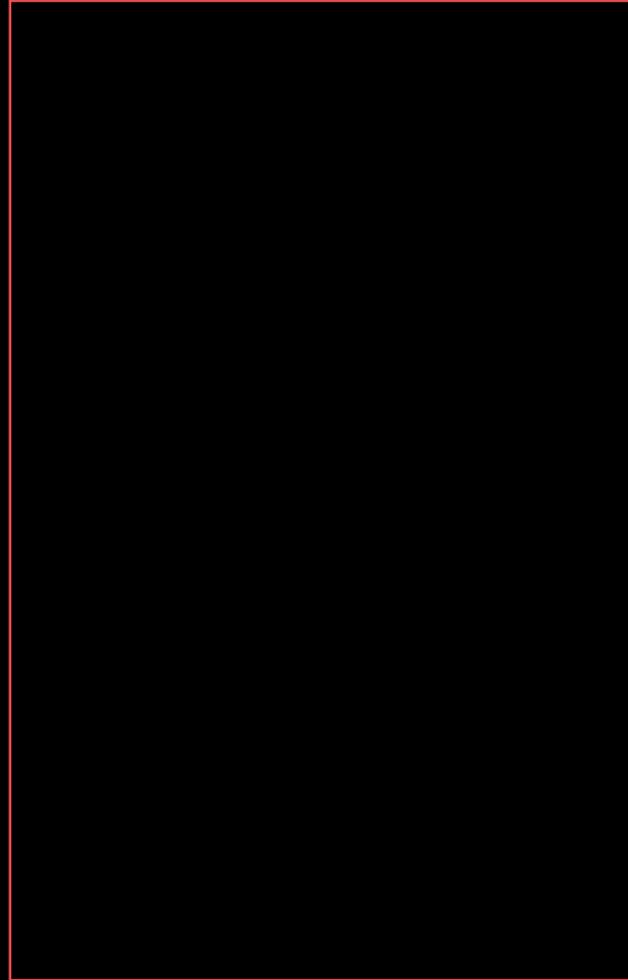


$^{11}\text{C}$ の“しるし”が付いた糖  
が果実へ運ばれる様子



## 2. 光合成でつくられた糖の動きを見る方法(4)

葉の違いは？



## 2. 光合成でつくられた糖の動きを見る方法(4)

葉によって糖が運ばれる果実が異なる

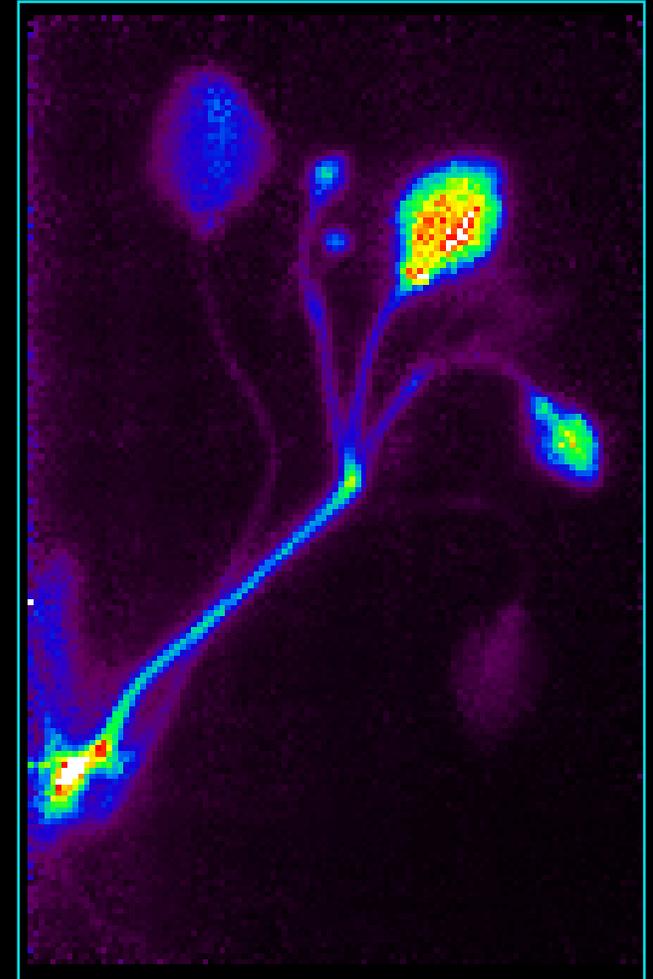
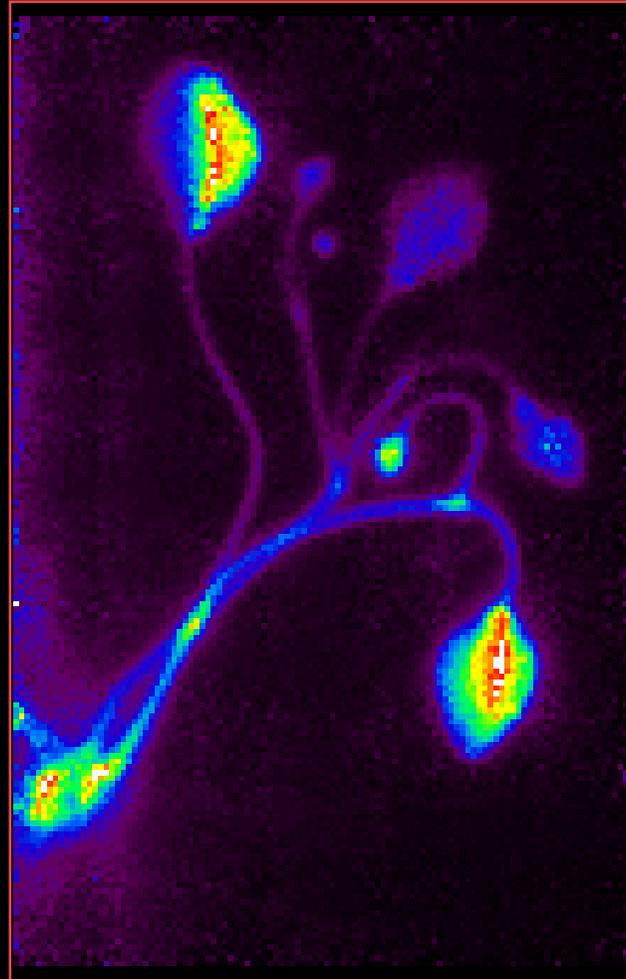


1.0(min)

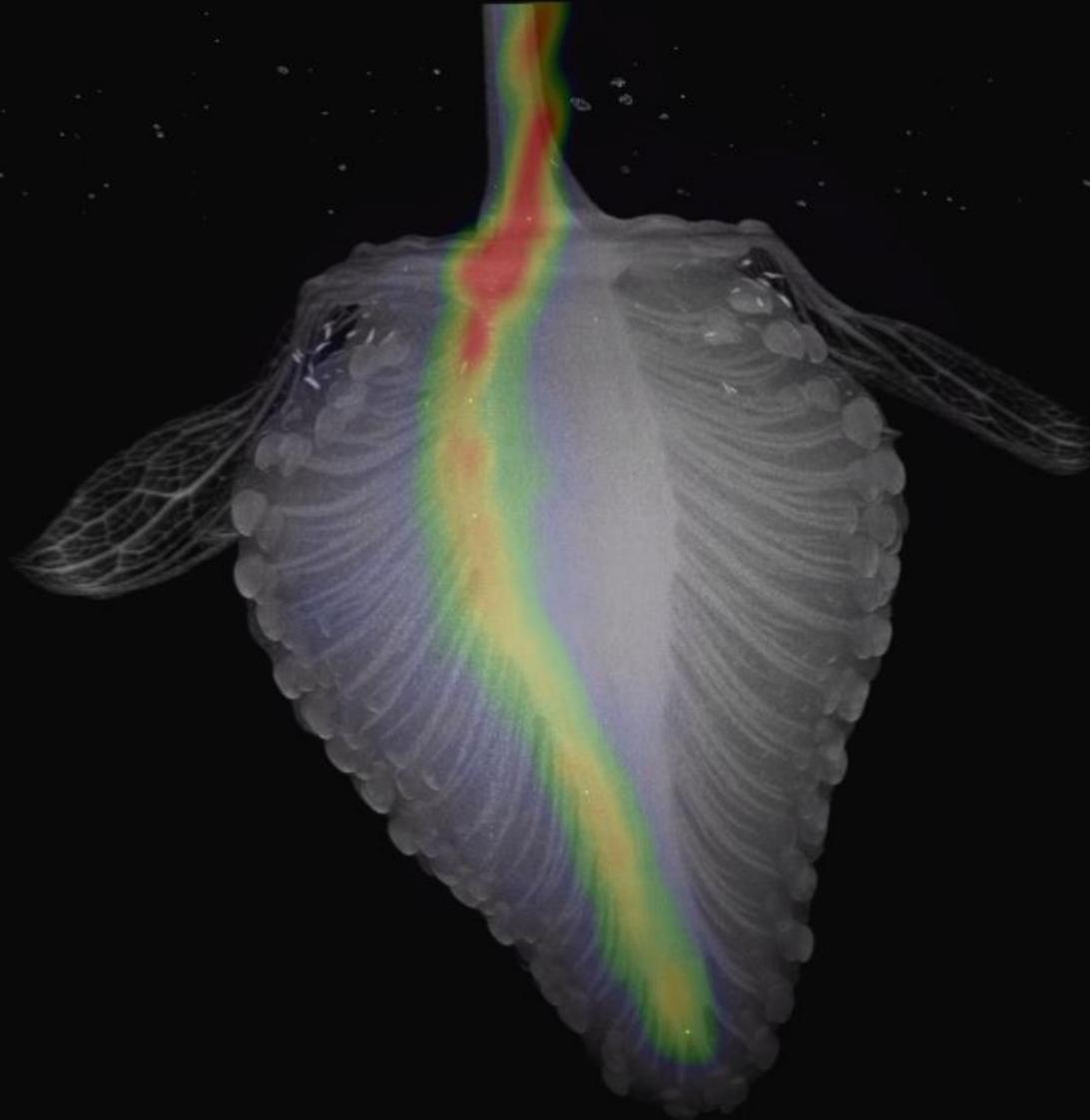
1.0(min)

## 2. 光合成でつくられた糖の動きを見る方法(4)

葉によって糖が運ばれる果実が異なる



# RIイメージング技術が映し出すイチゴ果実が甘くなる仕組み



葉から可食部への糖の流れをRIイメージングで捉えて  
高収量化・高品質化を目指した新たな栽培技術で農業にイノベーションを

1. はじめに

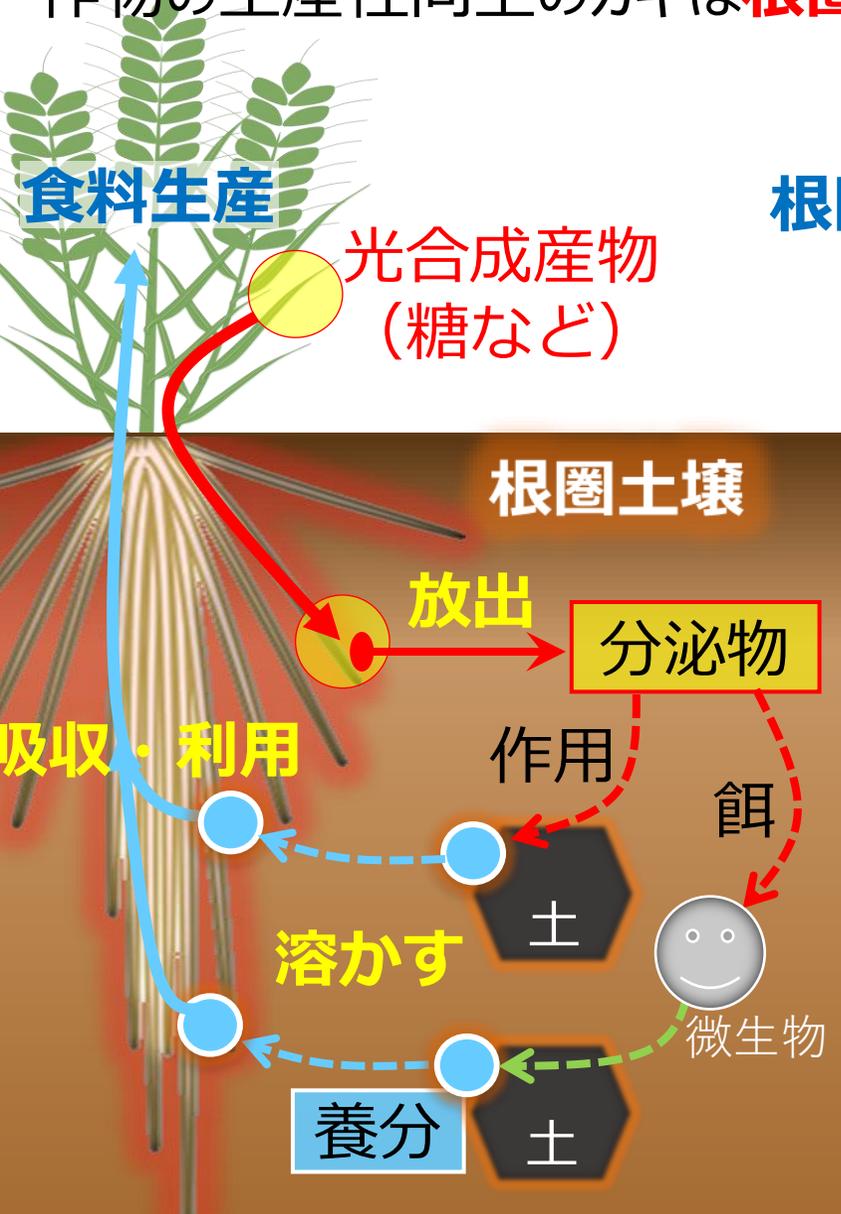
2. 光合成で作られた糖の動きを見るアプローチ

**3. 地下の生命活動を見るアプローチ**

4. 植物RIイメージング研究例

### 3. 地下で繰り広げられる養分を吸収する仕組み(1)

作物の生産性向上のカギは**根圏のメカニズム解明**にある



**根圏とは**：根とその周りの環境が影響し合う領域

根が直接利用できる養分は、近傍の水に溶けたわずかなもののみであるため、**根圏では、分泌物**を体外に放出して、養分を溶かし、吸収・利用しやすくしている。**(根の養分獲得能力)**

植物の地下部における生命活動(分泌行為)をイメージする方法、

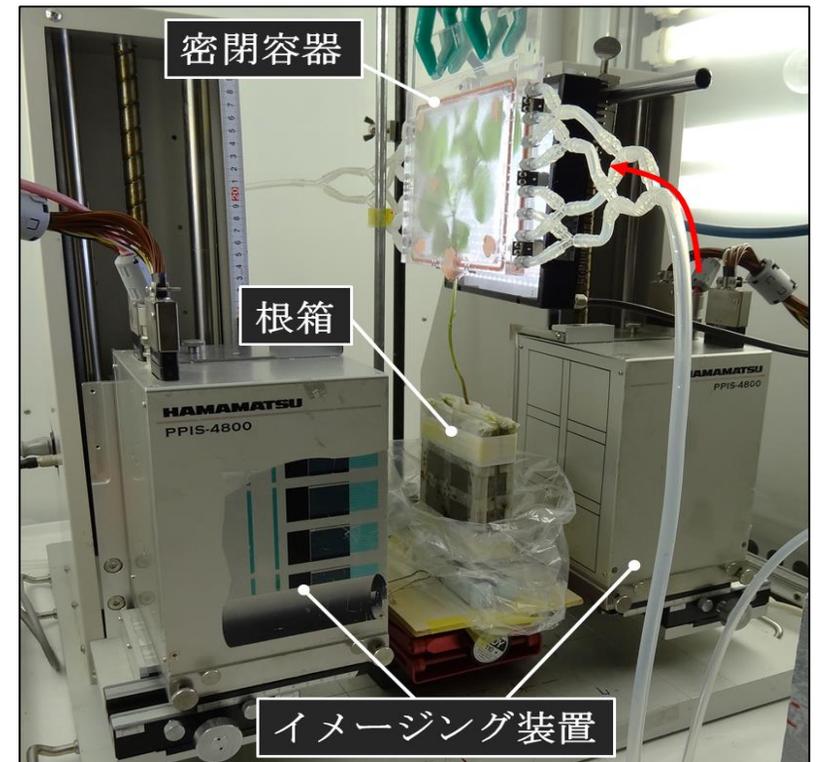
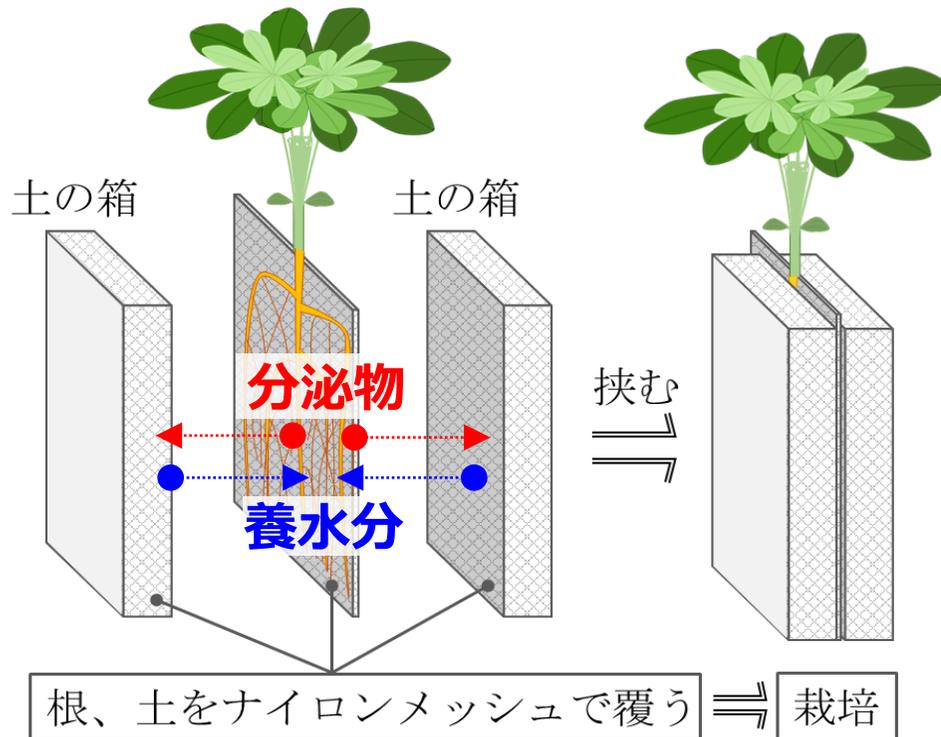
**根圏イメージング技術の開発**

### 3. 地下で繰り広げられる養分を吸収する仕組み(2)

根圏イメージング：植物が土壤中にいつ、どれぐらいの**分泌物を放出**しているのか？をとらえるための方法

根を単純化し分離しやすくするための栽培容器の作成

根を単純化し分離しやすくするための栽培容器の作成

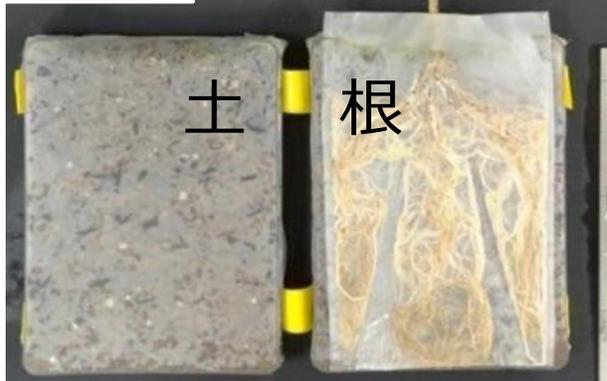


### 3. 地下で繰り広げられる養分を吸収する仕組み(3)

#### 根圏イメージング技術を用いた実験例



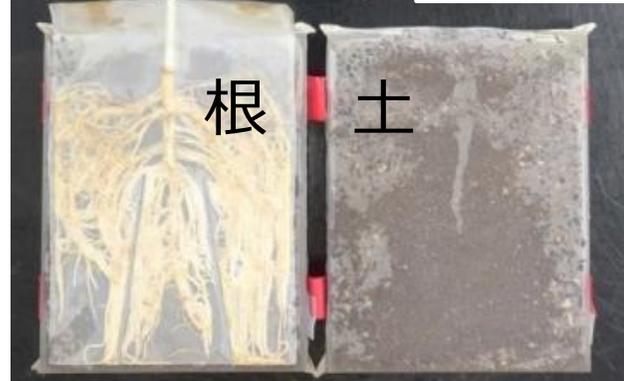
ダイズ  
(枝豆)



「根箱」で栽培した様子

ルーピン  
(ルピナス花)

花言葉は「貪欲」



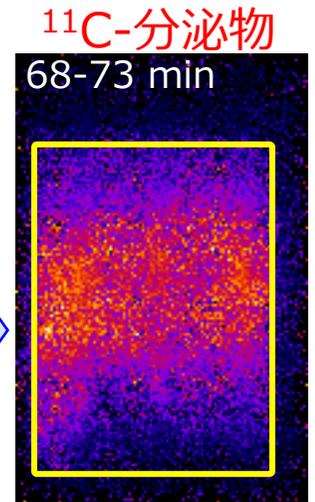
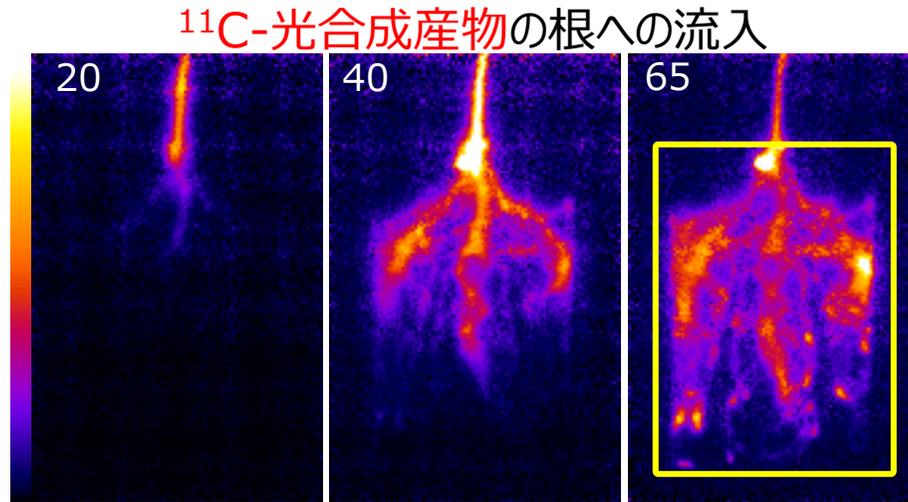
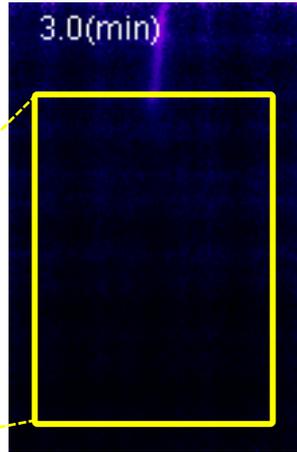
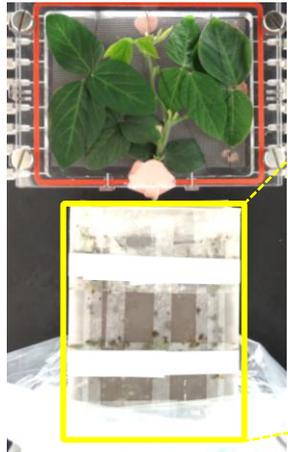
「根箱」で栽培した様子

### 3. 地下で繰り広げられる養分を吸収する仕組み(4)

#### 根圏イメージング実験の撮像結果

ダイズ

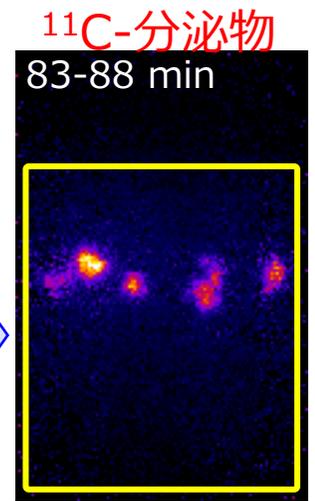
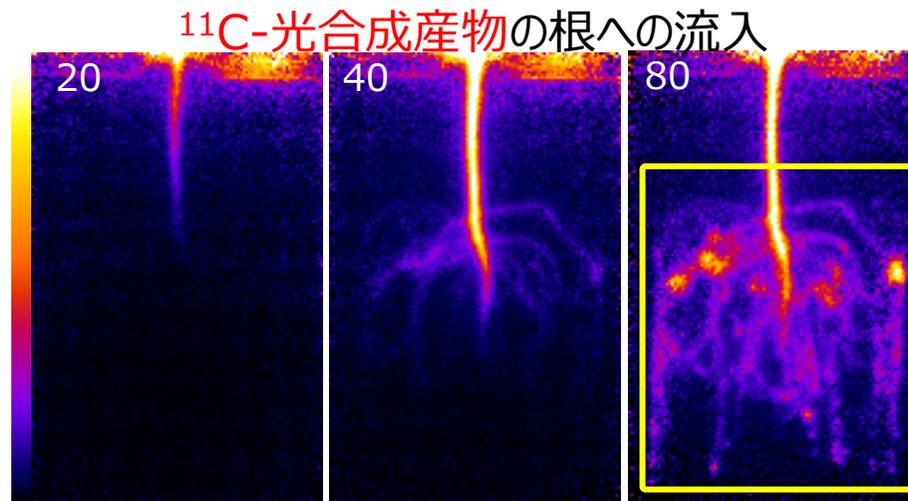
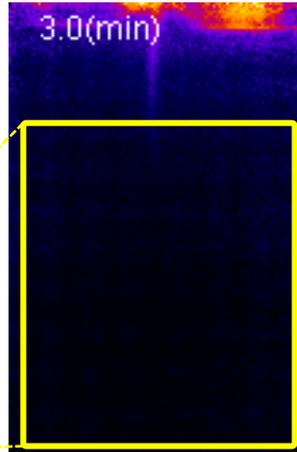
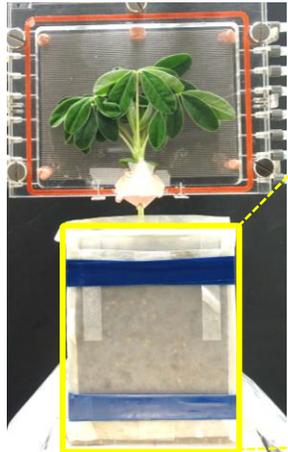
動画像



根圏土壌への働きかけがほぼ均一

ルーピン

動画像



根圏土壌への働きかけが局所的 24

### 3. 地下で繰り広げられる養分を吸収する仕組み(5)

作物の生産性向上のカギは**根圏のメカニズム解明**にある



1. はじめに

2. 光合成で作られた糖の動きを見るアプローチ

3. 地下の生命活動を見るアプローチ

**4. 植物RIイメージング研究例**



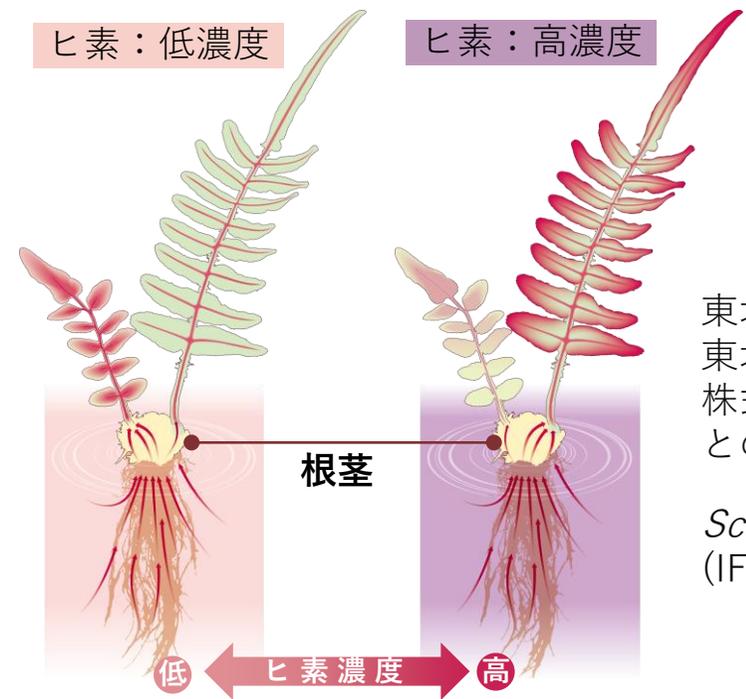
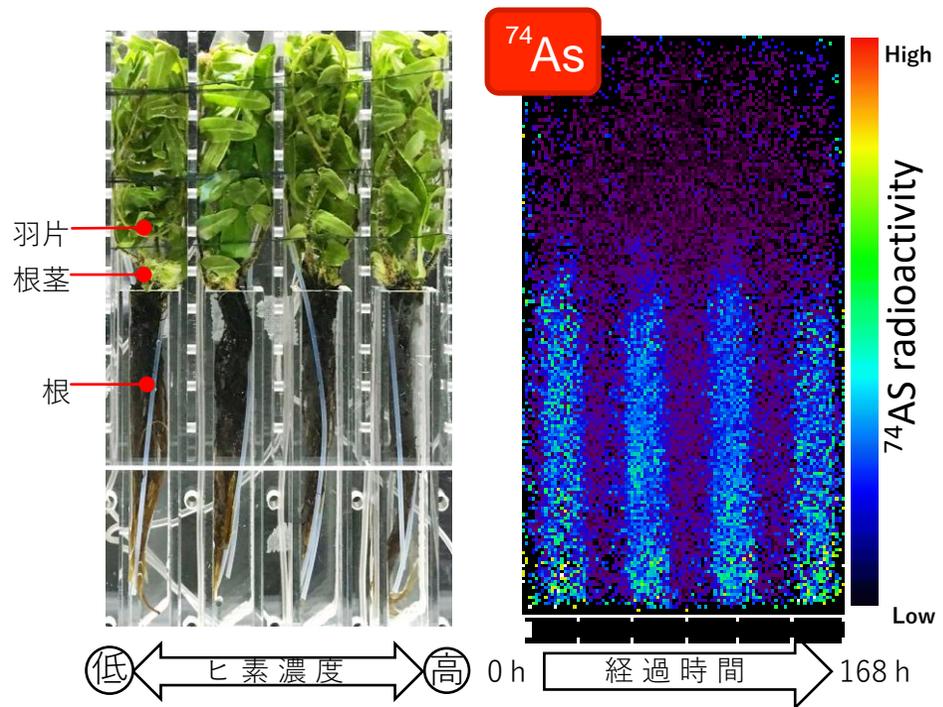
干ばつ条件



**土壤水分状況に応じて光合成産物を転流する根を素早く切り替える**

Miyoshi *et. al.* (2023) *Frontiers in Plant Science: Source-Sink Balance in Crops: Where does Carbon go?*

# モエジマシダが猛毒のヒ素に耐えるしくみが見えてきた！ — 世界初、ヒ素高蓄積植物の根茎の役割をイメージング技術で解明 —



東北大学、  
東北学院大学、  
株式会社フジタ  
との連携

*Scientific Reports* 誌  
(IF=4.4)に掲載

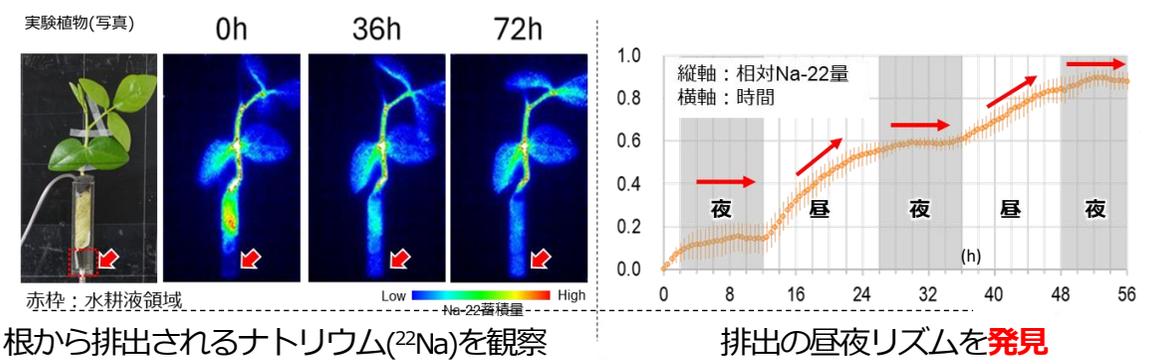
## 研究のポイント

- 生きたモエジマシダがヒ素を根から吸収し体内に輸送する様子を可視化することに成功
- ヒ素の吸収・輸送に果たす「根茎」という組織の役割を解明
- 植物を利用したヒ素汚染土壌の浄化（ファイトレメディエーション）の推進に貢献

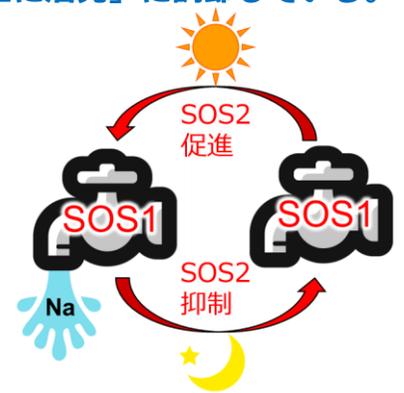
# ハマササゲの塩害を生き抜く仕組みが明らかに — 海上農業に道を拓く —



## (1) 夜は休み昼に活発に排出するという過去に例のないナトリウムの排出リズムがある

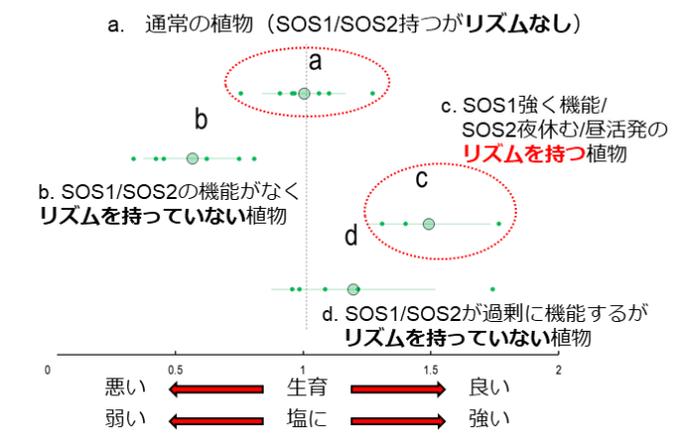


(2) ナトリウム排出をコントロールする遺伝子の中でも蛇口の役割を持つ**SOS1**が強く働き、**SOS2**がその蛇口を「夜休んで昼に活発」に調節している。



## (3) 排出リズムを付与したモデル植物で実証

塩ストレスで生育は変化するか(根重)?



塩に非常に強いハマササゲは、ナトリウムを体内に入れない仕組みを持っている。これを作物に付与すれば、**塩害に強い作物**が開発できる。

## 研究のポイント

- ・ハマササゲの耐塩性の鍵はナトリウム排出のリズムにあることを発見
- ・排出リズムを生む遺伝子を見極め、モデル植物に組み込んだところ耐塩性が向上
- ・食料生産を脅かす塩害を生き抜く作物開発や塩害克服を目指した海水農業が現実

# 植物RIイメージング研究の新たな拠点構築に向けて

QST高崎、東京大学農学部、  
筑波大学アイソトープ、東北大学RARiS、  
名古屋大学アイソトープ、……、？



**福島国際研究教育機構が  
新たな拠点となります**



# まとめ

## 1. はじめに

栄養素の流れを見るRIイメージング技術

## 2. 光合成でつくられた糖の動きを見るアプローチ

作物の生産性や品質に直結する

光合成産物(糖)の動きを軸にした栽培技術開発

## 3. 地下の生命活動を見るアプローチ

地下部(根圏)における植物と菌・微生物類との  
共生メカニズムに基づいた持続可能な農業

## 4. 植物RIイメージング研究例

今後予想される気候変動に対する植物応答と  
レジリエンス農業に向けて

RIイメージングを活用した植物研究と農業応用を  
さらに進めるためのF-REIの取組