

平成22年 6月 1日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20780189

研究課題名（和文） 植物分子イメージングを駆使した炭素動態解析法の開発

研究課題名（英文） Analysis of carbon kinetics in a plant body by using molecular imaging method

研究代表者

河地 有木（KAWACHI NAOKI）

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・任期付研究員

研究者番号：70414521

研究成果の概要（和文）：

植物の主要な栄養素である炭素の体内動態を、分子イメージング装置で明らかにすることが目的である。放射線トレーサを生体に投与しその動態を追跡する、これまでの分子イメージング手法は、人や動物が主な撮像対象であったが、炭素栄養動態を対象とする植物研究で用いるための方法論を確立した。本手法の開発により、光合成における葉の炭素固定や、合成された光合成産物の送り出しからシンク器官である果実への移行や蓄積に代表される生理機能の定量解析を可能にした。

研究成果の概要（英文）：

We have developed a new method to investigate the carbon kinetics in plant body by using a powerful radionuclide-based imaging apparatus for molecular imaging, the main targets of which are human and animal studies. This method enable to image carbon kinetics of photosynthesis and translocation thorough stem to sink organs, and to analyze plant physiological factor of carbon nutrient dynamics quantitatively.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：非破壊計測、画像処理、画像解析、光合成、炭素動態

1. 研究開始当初の背景

地球規模で予測される食糧不足を打開する上で、環境に応答する光合成および光合成産物の輸送・分配・蓄積といった生理機能を、生体組織・器官レベルで理解することは現在においても非常に重要な課題である。これまでに細胞レベルにおけるメカニズムは詳細に研究されてきていたが、組織・器官レベルに着眼した非破壊的な定量解析例は少なかった。光合成の制御・環境応答メカニズムやそれに伴う光合成産物の輸送や蓄積といった炭素動態についての知見を得るためには、生きた植物体内の炭素の動きを客観的かつ定量的に測定し、さらにはその炭素動態を解析することで植物生理機能を数値化する新たな方法が不可欠だと考えた。

## 2. 研究の目的

測定対象を植物一単位とした場合の炭素動態、いわゆる光合成と光合成産物の輸送・蓄積を、C-11 標識二酸化炭素を用いて、定量的かつ非侵襲的な動画像の取得を可能にすることを目的とした。そのため、C-11 標識二酸化炭素投与量をはじめ定量画像取得のための撮像条件の最適化が必須となる。測定対象が薄く小さい場合は、ポジトロンイメージング技術による二次元動画像が、果実部など三次元的構造を持つ測定対象には、ポジトロン断層撮像法が適していると考えられるため、両方法の適用を検討する。さらに、取得画像を解析により炭酸ガスの固定を始め、生産性を議論する上で重要となるシンク器官への転流率の定量解析を可能にする。

## 3. 研究の方法

ファントム実験は、比較的長い半減期を持つ F-18 トレーサ水溶液をアクリル製のプレートを通し込むことで作成した。データ解析は画像解析ソフトウェア ImageJ を使用した。

ポジトロンイメージング技術による炭素動態イメージングの実験では、供試植物の温度・光・湿度等の環境条件を制御できる装置群を配置し、制御状況を検証した。特に光合成機能は光環境に対して敏感であるため、葉に様な光量を照射でき、他の測定条件を阻害しない LED 光源を用いた。撮像対象はタバコ、ダイズ、シロイナズナ、ナス等を用い、2次元で炭素動態画像の取得を行った。サイクロトロンによる 20MeV 陽子線照射で C-11 標識二酸化炭素を約 20MBq 製造し、約 100~900  $\mu\text{mol photon/m}^2$  の光量を照射した葉に暴露、その後ポジトロンイメージング装置で約 2時間撮像した。

3次元構造を持つ果実内の炭素動態の撮像には、医療分野においてトレーサの3次元撮像に実績のあるポジトロン断層法装置を用いた。植物体内の炭素動態の撮像を試みた。実験には大小二つの果実が付いたトマト

(*Lycopersicon esculentum* L. cv. Momotarou)を

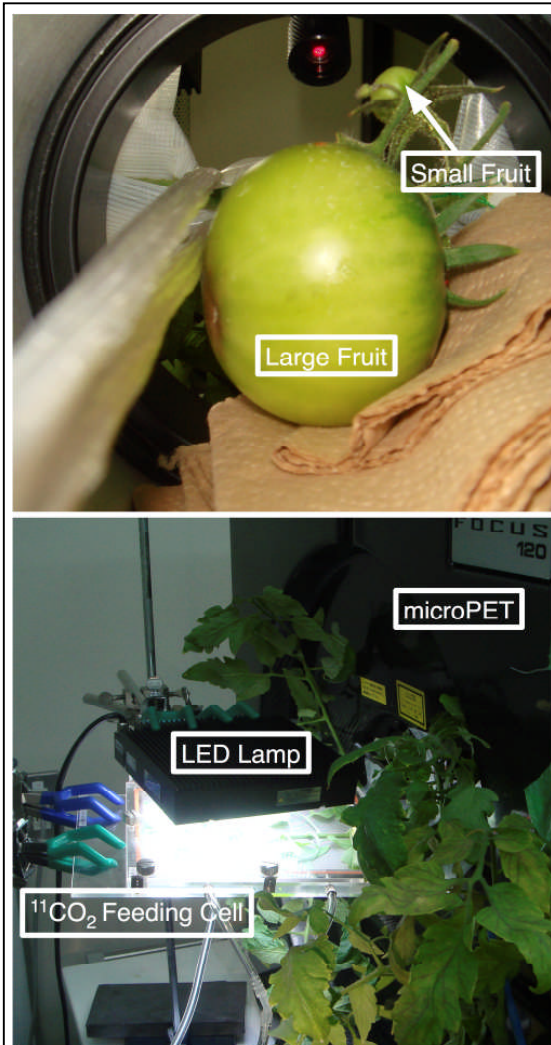


図1 ポジトロン断層法における撮像実験のセットアップ

用い、撮像装置には microPET Focus 120 scanner (Siemens Medical Solutions, Inc.)を使用した。新たに開発したポンプと二酸化炭素吸収セルからなる簡易ガスコントロールシステムを用いて、十分な光量を与えた果実直下葉に、約 100 MBq の C-11 標識二酸化炭素を吸収させた。実験のセットアップを図1に示す。果実の撮像を2時間。取得したデータの画像再構成は 3D-OSEM 方式で、また動態解析には 2D-FBP 方式によるものを用いた。

## 4. 研究成果

ファントム実験の結果から、定量解析を可能にする装置特性（ダイナミックレンジ・係数率補正・ポジトロン核子の飛程等）を評価し、これらを考慮した最適な RI トレーサ投与量や測定環境条件を導き出した。さらに、取得画像における変換係数を算出した。

タバコ、ダイズ、シロイナズナを対象植物

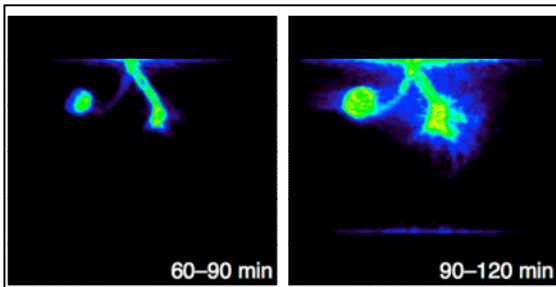


図2 PETを用いたショ糖転流の可視化

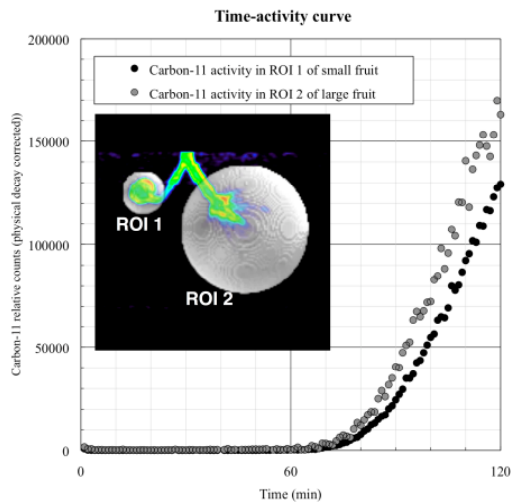


図3 果実への炭素流入動態の定量解析。

としたポジトロンイメージング実験を行い、様々な環境下における炭素動態を示す、二次元動画データを取得した。これを動態解析することで葉の二酸化炭素固定速度、光合成産物送り出し率、茎での移行速度、果実への蓄積率といった炭素栄養動態の一連の生理機能を定量した。また、生理機能の可視化および生理機能の環境応答に関する知見を蓄積するため、栽培時に行った既存計測法を用いた生理機能データを活用することで、ポジトロンイメージング解析手法の妥当性を検証した。

ポジトロン断層法技術によるトマトの撮像では C-11 標識二酸化炭素の投与後、約 30 分頃から果実に C-11 標識光合成産物が到達し始め、約 1.5~2.0 時間後には果実内部への移行様式が可視化されるなど、ポジトロン断層法による果実内炭素動態の撮像に初めて成功した (図2)。大小二つの果実に流入する炭素動態を解析したところ、ほぼ同量の 11-C 標識光合成産物が同時に移行していた。これは、果実 (小) には果実 (大) に対して新鮮重あたり 86 倍の C-11 標識光合成産物が移行していることを示しており、トマト果実の成長期におけるシンク能の高さが明らかになった (図3)。

ポジトロンイメージング技術と同様に、ポ

ジトロン断層法を用いた植物研究、特に 3 次元の構造を持った対象における植物分子イメージング実験手法の有用性が示された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

① Molecular Imaging for Plant Physiology - Imaging of Carbon Translocation to Sink Organs with Positron Emitting Tracer Imaging System (PETIS)

N. Kawachi, N. Suzui, S. Ishii, S. Ito, N. S. Ishioka, K. Kikuchi, T. Tsukamoto, T. Kusakawa, S. Fujimaki

IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference 2009 Conference Record (ISSN: 1082-3654), N-25-13, p. 1257, Jan. 2010. (Unrefereed Paper)

② Quality Control in Positron Emitting Tracer Imaging System (PETIS) Examination for Quantification Analysis of Plant Physiological Functions

N. Kawachi, S. Fujimaki, N. Suzui, S. Satomi, S. Watanabe, S. Watanabe, N. S. Ishioka, S. Matsuhashi

JAEA-Review 2008-055, JAEA Takasaki Annual Report 2007, pp. 107, 2008. (Refereed Paper)

[学会発表] (計 3 件)

① Naoki Kawachi, Kaori Kikuchi, Nobuo Suzui, Satomi Ishii, Shu Fujimaki, Noriko S. Ishioka, Hiroshi Watanbe

N. Kawachi, N. Suzui, S. Ishii, S. Ito, N. S. Ishioka, K. Kikuchi, T. Tsukamoto, T. Kusakawa, S. Fujimaki.

Molecular Imaging for Plant Physiology - Imaging of Carbon Translocation to Sink Organs with Positron Emitting Tracer Imaging System (PETIS)

IEEE 2009 Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference

2009年10月25日

アメリカ合衆国、オランダ

② 河地 有木, 鈴木 伸郎, 石井 里美, 伊藤 小百合, 石岡 典子, 菊地 郁, 塚本 崇志, 草川 知行, 藤巻 秀

PETISによる光合成産物のシンク器官転流の可視化

日本土壤肥料学会 2009 年大会

2009年9月25日

京都、京都大学

③ Naoki Kawachi, Kaori Kikuchi, Nobuo Suzui,  
Satomi Ishii, Shu Fujimaki, Noriko S. Ishioka,  
Hiroschi Watanbe

Imaging for carbon translocation to a fruit of  
tomato with carbon-11 labeled carbon dioxide  
and positron emission tomography

International Conference on Advancement in  
Nuclear Instrumentation, Measurement  
Methods

2009年6月7日

フランス、マルセイユ

研究者番号：

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

河地 有木 (KAWACHI NAOKI)

日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用

研究部門・任期付研究員

研究者番号：70414521

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )