

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：82110

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24780250

研究課題名(和文) 線スペクトロメーターを用いた多元素輸送速度の同時モニタリングシステムの開発

研究課題名(英文) Developed of a monitoring system for quantification of translocation velocity of multi-element in the stem of plant using gamma-ray spectrometer

研究代表者

鈴井 伸郎 (Suzui, Nobuo)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 量子ビーム応用研究センター・研究副主幹

研究者番号：20391287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：「複数種類の栄養元素が植物の茎内を移動する速度を同時に定量するシステム」を開発した。Na-22およびMn-54を含むトレーサ溶液をイネの根に投与し、基部および最大展開葉における線スペクトルをLaBr₃(Ce)検出器を用いて連続的に計測した。基部および最大展開葉における2元素の経時変化のグラフから到達時刻を算出し、茎内の移動速度を個別に定量化することに成功した。

研究成果の概要(英文)：We have developed a monitoring system for quantification of translocation velocity of multi-element in the stem of plant. Tracer solution containing Na-22 and Mn-54 was fed to the root of rice plant, and the gamma-ray spectrums at the shoot base and the fully expanded leaf were continuously measured using LaBr₃(Ce) detector. Velocities of Na-22 and Mn-54 in the stem were successfully quantified by calculating arrival times of two elements to the two parts from the time-course graphs.

研究分野：放射線計測学、植物栄養学

キーワード：非破壊計測 植物栄養

1. 研究開始当初の背景

高等植物は土壌中に存在する無機栄養元素を、根から選択的に吸収し、茎を介して地上部の必要な器官に輸送・分配し、利用・蓄積している。食糧危機や食糧汚染などの農業・環境問題を解決する植物の創出が求められている状況において、この「植物の栄養獲得機構の物質選択性」の基礎的な理解に対する研究ニーズが高まっていた。

これまで、申請者が所属するグループが中心となり、ポジトロンイメージング技術と呼ぶ非破壊的イメージングシステムを用いて、植物体内における様々な元素の動態解析が行われていた。その中で、研究代表者らは「元素ごとに茎内の輸送速度が異なる」という新規の現象を見出していた。これまで根での吸収過程におけるトランスポーターを介した膜輸送の物質選択性については精力的な研究が行われてきたが、茎内（殊に導管内）の物質輸送については、「蒸散流を駆動力とするバルクフローに乗じた単純（非選択的）なものである」と考えられていた。しかしながら本現象の発見により、導管を介した栄養元素の輸送・分配メカニズムもまた、物質選択的である可能性が示唆されていた。

2. 研究の目的

本研究では、上記の現象をより正確に理解するため必要となる「複数種類の栄養元素が植物の茎内を移動する速度を同時に定量するシステム」を開発することを目的とした。具体的には、植物体に線放出する複数のラジオアイソトープ（RI）を投与し、線スペクトロメーターである $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 検出器を用いて連続的に計測し、数理的なモデル解析等を組み合わせることで、多元素の茎内輸送速度を同時に定量するモニタリングシステムの確立を目指した。

3. 研究の方法

(1) $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 検出器を用いた本システムのプロトタイプ機の開発

まず、 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 検出器から出力される線スペクトルの経時変化のデータから、任意のエネルギー領域のカウント数を抽出し、複数核種の放射能の経時変化をプロットするプログラムを開発した。次に、本システムの実証実験として、イネを用いたトレーサ実験を行った。根の一部と水耕液を含む部分を測定領域として $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 検出器を設置した。数 MBq の Na-22 (511 keV) と Mn-54 (835 keV) の 2 核種を含む水耕液をイネの根に投与し、5 分間毎の線スペクトルを 7 日間に渡って連続して測定した。

(2) トレーサが検出器部分に到達した時刻を自動的に算出するプログラムの開発および最適化

C-11 標識の炭酸ガスをダイズの葉に投与し、C-11 光合成産物が葉から根へと転流する過程を、ポジトロンイメージング技術により 10 秒毎に 1 時間撮像した。得られた動画像データを用いて、第 1 本葉の節および茎基部に関心領域 (Regions of interests; ROI) を設定し、各 ROI における C-11 の放射線量の変化のグラフ (Time-Activity Curve; TAC) を作成した。TAC の初期の傾きを最小二乗法により近似し、得られた近似直線の X 切片を各 ROI への C-11-到達時間として定義した。公正な基準で X 切片を決定するために、以下のアルゴリズムによる解析プログラムを開発した。

- 1) 10 個 (100 秒) の連続したデータを用いて線形近似を行い、X 切片の値を取得
- 2) この近似計算を 0 分から 20 分の範囲で順次実行し、合計 120 個の X 切片を取得
- 3) 全ての X 切片の値をヒストグラム化
- 4) 最も頻度の高い値を各 TAC を代表する X-切片として採用

(3) 1 個体の植物の異なる箇所における線スペクトルの経時変化のデータの取得

2 台の $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 検出器を用いて、1 個体の植物の異なる箇所における線スペクトルの経時変化のデータの取得を試みた。供試植物として 3 週令のイネを用いた。基部および最大展開葉の部分に $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 検出器を配置し、イネと検出器の間には厚さ 5 cm の鉛ブロックを置き、2 cm 平方の穴 (コリメーター) を設置することで、基部あるいは最大展開に存在する放射性トレーサ由来の線スペクトルを取得する実験系とした。アクリル製の容器にイネの根を挿入し、2 MBq の Na-22 (511 keV) と Mn-54 (835 keV) の 2 核種を含む水耕液を投与し、1 分間毎の線スペクトルを 4 日間連続して測定した。

4. 研究成果

(1) $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 検出器を用いたシステムのプロトタイプ機の開発

$\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 検出器から得られた線スペクトル (図 1) の連続データを用いて Na-22 および Mn-54 の放射能の経時変化をプロットしたところ、2 核種共に測定領域から単調に減少する曲線が得られた (図 2)。すなわち、 Na-22 と Mn-54 が根から吸収され、地上部へと輸送している結果が得られた。本結果から、 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ 検出器によるプロトタイプ機を用いることで、植物体内における元素の動態を 2 核種同時に計測可能であることが実証された。

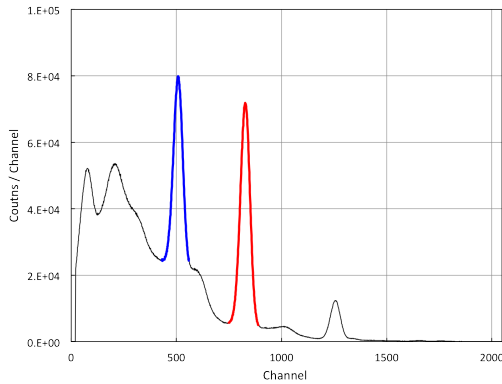


図 1 LaBr₃(Ce)検出器で測定した根におけるNa-22とMn-54の線スペクトル

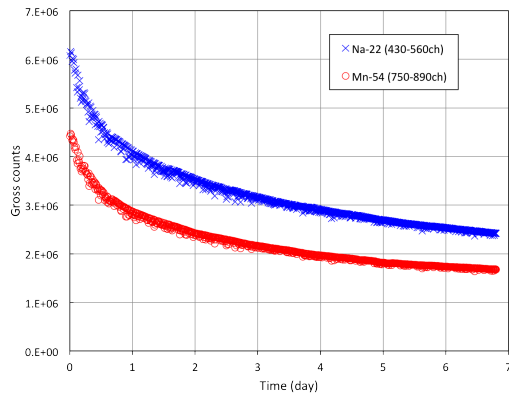


図 2 根におけるNa-22とMn-54の放射能の経時変化

(2) トレーサが検出器部分に到達した時刻を自動的に算出するプログラムの開発および最適化

合計 18 個体のダイズから得た C-11 光合成産物の動画像を用いて、各 ROI への ¹¹C-到達時間を開発したプログラムにより算出し、転流速度を推定したところ、平均値 113 cm h⁻¹、標準偏差 20 cm h⁻¹ という値が得られた (表 1)。すなわち、本プログラムを用いることで、植物体内における元素の輸送速度を算出することが可能であることが実証された。

表 1 18 個体のダイズの転流速度の平均値と標準誤差

	Before optimization	After optimization
Average (cm/h)	124.7	113.2
S.D. (cm/h)	37.6	20.4

左) 1 分毎の TAC から算出した値
右) 10 秒ごとの TAC から算出した値

(3) 1 個体の植物の異なる箇所における線スペクトルの経時変化のデータの取得

2 台の LaBr₃(Ce) 検出器 (図 3) から得られた基部および最大展開葉の線スペクトルの連続データを用いて Na-22 および Mn-54 の放射能の経時変化をプロットし、(2) で開発したトレーサの到達時刻を自動的に算出するプログラムを用いることで、Na-22 と Mn-54 の茎内輸送速度を算出することに成功した (図 4, 5)。

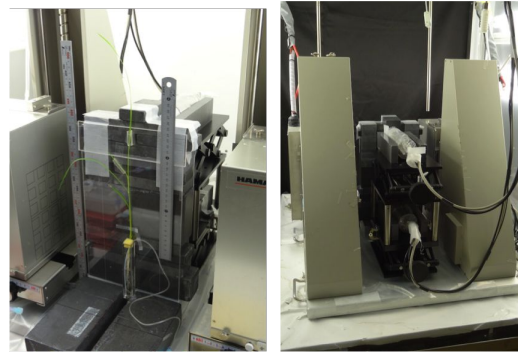


図 3 2 台の LaBr₃(Ce) 検出器のセットアップ

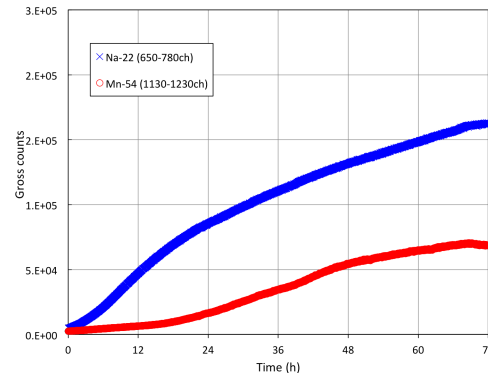


図 4 基部におけるNa-22とMn-54の放射能の経時変化

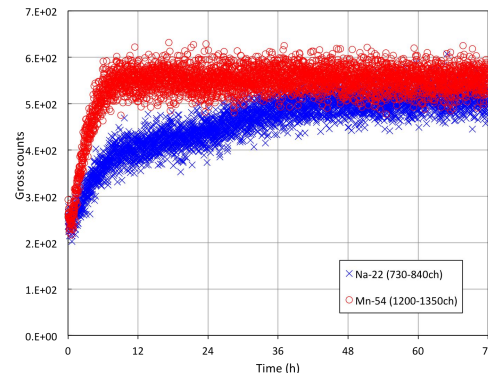


図 5 最大展開葉におけるNa-22とMn-54の放射能の経時変化

以上の結果から、「複数種類の栄養元素が植物の茎内を移動する速度を同時に定量するシステム」を開発することに成功した。本システムを用いて、Fe-59 や Zn-65 などの他の栄養元素の茎内輸送速度を網羅的に算出することで、導管を介した栄養元素の輸送・分配メカニズムを体系的に解明することを目指す予定である。

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1件)

Nobuo Suzui, Naoki Kawachi, Satomi Ishii, Aya Hatano-Iwasaki, Ken'ichi Ogawa, Shu Fujimaki. "Evaluation of Velocity of ^{11}C -photoassimilate Flow Using Positron-emitting Tracer Imaging System", JAEA-Review, 2014-040: 105 (2015). 査読有

[学会発表](計2件)

鈴井伸郎、ポジトロンイメージング技術を用いた植物の転流速度の定量手法の開発、2014年10月10日～2014年10月10日、高崎シティーギャラリー(群馬県・高崎市)

鈴井伸郎、"Direct imaging and analysis of root uptake for cadmium using ^{107}Cd "、17th International Plant Nutrition Colloquium、2013年08月19日～2013年08月22日、イスタンブール(トルコ)

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴井 伸郎 (SUZUI, Nobuo)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 量子ビーム応用研究センター・研究副主幹

研究者番号：20391287