

[9] 植物用ポジトロンイメージング装置 (PETIS: Positron Emitting Tracer Imaging System) を用いた研究

藤巻 秀、河地有木、石岡典子

日本原子力研究所高崎研究所

植物研究における RI の利用は、養分吸収の研究や光合成回路の発見といった歴史を持つが、今日でも依然として重要な実験技術の一つである。植物体中に有る物質の分布と動態を可視化したいという要求は、例えば、情報伝達を担う生体分子や微量栄養元素の植物体中における輸送の研究、あるいは土壤汚染物質の経根吸収と可食部への蓄積の研究など、基礎（植物栄養学・生理学）・応用（農学）を問わず、最新の研究テーマからも発せられているものである。ただし言うまでもなく、そこで求められているものは古典的な「押し葉」のオートラジオグラフィーではなく、生きたままの植物体内のイメージング技術である。

1990年代初頭より、日本原子力研究所と浜松ホトニクスは共同して植物用ポジトロンイメージング装置 (PETIS: Positron Emitting Tracer Imaging System) を開発し、その応用を進めてきた。一般に供試される植物は、樹木ではなく、イネ、タバコ、ダイズ、アサなどといった「草本」であるので、その組織の厚さは通常 1 cm に満たない。従って、医療用 PET との最大の違いは、断層像ではなく平面画像が求められているという点である。現在、日本原子力研究所が保有している装置（図 1）は、視野 143 mm × 216 mm、空間分解能 2.3 mm という性能を有する。

植物研究においては、装置のみならずトレーサに対しても医学分野とは異なる要求が生じてくる。表 1 にこれまでに利用されてきたポジトロン放出 RI と標識トレーサを示した。植物は空気中の炭酸ガスや窒素ガス、土壌中の水、硝酸イオンを始めとする多種多様な栄養物質のみならず、カドミウムやヒ素、 NO_x といった環境汚染物質も同時に吸収し、体内で輸送・蓄積している。今後も研究の展開に応じて、新規ポジトロン放出 RI、あるいは新規トレーサの利用を計る必要がある。

イメージング実験上の課題においても、植物実験独特のものがこれまでに浮かび上がっている。以下にいくつかの例を挙げる。

1. ポジトロン「抜け」

植物組織、特に葉などは非常に薄いので、RI から放出されたポジトロンが対消滅せずに組織外へ飛び出す現象が生ずる（我々はこれをポジトロン「抜け」と呼んでいる）。これは検出効率の局所的な低下や、バックグラウンドノイズの上昇を引き起こす。

2. 注射ができない

植物体に RI を与える場合は、根に水耕液から供給するか、葉にガスとして供給するか、主に 2 通りの方法しかない。それ以外の部位に供給したい場合は特殊な手法を用いる必要がある。また、動物の血液に相当する篩管液・導管液を採取することも困難である。RI の供給が植物任せであるため、撮像は長時間になり、また人為的な RI 入力関数の応答をシミュレートするような数理的動態解析法の適用も難しい。

3. 環境の調節

植物にとっては、光、温度、湿度などの条件は極めて重要であり、これらを適切に制御する機構がイメージング装置に組み込まれている必要がある。この環境制御機構を積極的に利用した植物生理機能の環境

応答に関する研究がおこなわれている。

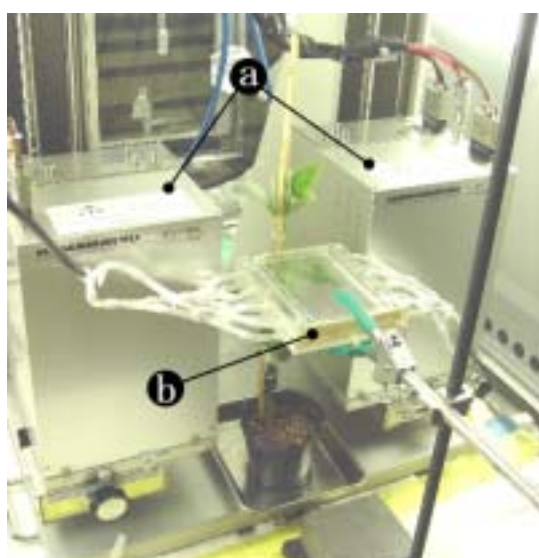
4. 内臓はない

植物のイメージングによって得られるのは、根、茎、葉、実といった部位に存在する微細な（マイクロメートルオーダーの）細胞組織が発しているシグナルの総体である。このデータから生物学的に意味のある生理的パラメータ（物質の輸送速度、蓄積速度など）を導くためには、数理的動態解析法を新規に開発する必要がある。

5. 自由度の高さ

環境さえ適切に制御されれば、同一個体の繰り返し実験、長い場合は数日に及ぶ長時間の計測も可能である。実験終了後にオートラジオグラフィーを行ない、イメージングデータと併せて利用することもできる。さらには、多数の個体を同時に計測し、ある性質を持った個体を選抜するという応用も考えられる。

PETIS を利用した植物研究は、未だ発展途上にあるといってよい。現在、単なる可視化ではなく、生理的機能を探る段階に入りつつあるところである。



【図1】（左）

PETIS による計測の様子。

a; 検出器、b; ガス供給セル

【図2】（右）

PETIS によって撮像した ^{11}C - 光合成産物の葉から根へ向かう移行（動画像として得られたものを積算して一枚にした）。

【表1】これまでに PETIS 実験に利用されたポジトロン放出 RI。

各種	半減期	植物実験供試形態
^{11}C	20.39 min	$[^{11}\text{C}]\text{CO}_2$, $[^{11}\text{C}]$ メチオニン
^{13}N	9.965 min	$[^{13}\text{N}]\text{NO}_3^-$, $[^{13}\text{N}]\text{NH}_4^+$, $[^{13}\text{N}]\text{N}_2$
^{15}O	2.0 min	$[^{15}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$
^{18}F	109.8 min	$[^{18}\text{F}]\text{F}^-$, $[^{18}\text{F}]\text{FDG}$, $[^{18}\text{F}]$ プロリン
^{48}V	16 d	$[^{48}\text{V}]\text{H}_2\text{VO}_4^-$
^{52}Mn	5.6 d	$^{52}\text{Mn}^{2+}$
^{52}Fe	8.3 h	$^{52}\text{Fe}^{3+}$
^{62}Zn	9.2 h	$^{62}\text{Zn}^{2+}$
^{105}Cd	56 min	$^{105}\text{Cd}^{2+}$
^{107}Cd	6.50 h	$^{107}\text{Cd}^{2+}$