

## 論文審査の結果の要旨

申請者氏名 杉田 亮平

生きた植物を用い、リアルタイムで植物体内の養分元素動態を解析することは、サンプリングに基づく破壊実験では得られない新しい知見を見出すことが期待される。そこで本研究では、植物中の元素動態を非破壊で経時的に可視化解析するために、放射性同位元素 (RI) を用いるリアルタイム RI イメージングシステム (RRIS) の高度化に取り組んだ。暗い環境下の根から光照射下の地上部まで、養分元素の輸送動態をイメージングし、しかも画像の定量的な解析を可能とするシステムを構築した。また、多種類の元素動態を解析するために、独自の RI 製造法も含め、調製可能なできるだけ多くの核種を対象とした解析ができる装置の開発を行った。

第 1 章の序論に続き、第 2 章では RRIS の定量性の評価を行った。各 RI は様々な種類の放射線を各々異なる割合で放出するため、定量可能な条件を RI ごとに検討した。RI としては製造する核種も含め、入手可能でかつ放射線の種類の違いを幅広くカバーすることを考え、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{28}\text{Mg}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{86}\text{Rb}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  とした。まず、撮像時間の設定を検討した結果、3 分から 5 分の短い積算時間での画像取得において、物質動態を定量的に解析できることが示された。続いて、植物試料とシンチレータ間との空間が定量性に与える影響を評価した。その結果、試料とシンチレータ間の距離に 0.4 mm の変動があっても、測定面積を広く設定することにより、画像の定量的な解析が可能であることが示された。さらに、シミュレーションを行い、厚さや構造の異なる組織ごとの画像を評価したところ、シロイヌナズナでの物質輸送動態を解析する上で、定量可能な画像解析条件が見出された。

第 3 章では、間欠照明システムを構築し、光照射下での植物における輸送動態の可視化が、対象とした RI 全てにおいて可能となったことを示した。さらに、間欠照明条件下での明期に植物試料を通常のカメラでも撮影するシステムも付け加え、リアルタイムで RI 画像と実画像を重ね合わせる撮影手法を構築した。この照明システムに改良を施した RRIS を用いて、シロイヌナズナにおける、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{28}\text{Mg}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{35}\text{S}$ 、 $^{45}\text{Ca}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  の輸送動態を可視化した。その結果、24 時間内の地上部の元素動態では、(1) 植物全体に均一に分布した  $^{22}\text{Na}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{35}\text{S}$  と  $^{137}\text{Cs}$ 、(2) 植物全体に分布したものの特に莢などに局所的な蓄積がみられた  $^{65}\text{Zn}$  と  $^{109}\text{Cd}$ 、(3) 葉や茎頂側と比較して花茎の基部側に蓄積した  $^{28}\text{Mg}$ 、 $^{45}\text{Ca}$  と  $^{54}\text{Mn}$  の 3 つのグループに分類された。各元素の動態は、元素ごとの維管束からの

積み下ろしのメカニズムを反映していることから、 $^{28}\text{Mg}$  と  $^{45}\text{Ca}$ 、および  $^{22}\text{Na}$  を対象に、この積み下ろしに着目した解析を行った。その結果、 $^{28}\text{Mg}$  と  $^{45}\text{Ca}$  では、地上部における花茎の高さが、積み下ろし割合と高い相関を示し、高い位置にある花茎ほど通過量あたりの積み下ろしの割合が高く、また節と節間における差異は示されなかった。一方  $^{22}\text{Na}$  は、積み下ろし割合の経時的な変化は、節間では一定であったが、節においては時間とともに増加した。このことは、直接花茎へ輸送された  $^{22}\text{Na}$  と、ロゼット葉に入った後に師管により花茎へ輸送された  $^{22}\text{Na}$  では、節における積み下ろしのメカニズムが異なることを示唆するものであった。

第4章では、RI 標識ガスの吸収動態のイメージング法の構築と画像解析について纏めた。前章までの RI 投与方法は全て経根であったが、ここでは植物地上部への二酸化炭素の投与を行い、次に光合成産物の動態解析を試みた。まず、組織別に  $^{14}\text{C}$  を供与する実験系を構築した。続いて、RRIS を用いた  $^{14}\text{C}$ -光合成産物の輸送動態の可視化と解析を試みた。解析では、 $^{14}\text{CO}_2$  を短時間吸収させその動態を観察するパルス-チェイス実験、および  $^{14}\text{CO}_2$  を連続的に吸収させ光合成により  $^{14}\text{C}$  が固定されていく動態を可視化する2パターンを比較した。これらの結果は、RI 標識ガスの輸送動態の可視化解析を可能としただけでなく、特定の組織に  $^{14}\text{CO}_2$  を投与することにより、各組織における養分のシンク・ソースの関係を動的に解析できることも示した。

以上、本研究では、シロイヌナズナにおける無機元素の輸送動態の可視化を目的とし、種々の無機元素の輸送動態の可視化技術を開発した。また、可視化した連続画像の解析により、養分吸収過程の定量的な解析が可能となった。さらに、RI 標識したガスの吸収動態の可視化技術も確立したものであり、学術上、応用上貢献するところが少なくない。よって、審査委員一同は、本論文が博士(農学)の学位論文として価値あるものと認めた。