

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：82110

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22688021

研究課題名(和文)コンプトンカメラによる植物体内の複数物質同時イメージング技術の開発

研究課題名(英文)Development of multi-element RI imaging technique in a plant body on use of Compton camera

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・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：70414521

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,200,000円、(間接経費) 6,060,000円

研究成果の概要(和文)：植物体内において同一環境下・同一個体内において競合する複数の元素動態を同時にイメージングするには新たなイメージング技術の開発を目的とした。コンプトンカメラによって、エネルギー分解能を併せ持つイメージング装置が実現し、ガンマ線源であるトレーサ核種の弁別が可能となった。作物の生産を阻害する環境ストレスの1つであるナトリウムと、微量必須元素であるマンガンのトレーサを用いて実証実験を行った。水耕栽培イネに、Na-22およびMn-54を同時に経根吸収させ、イネの地上部を連続撮像した結果、両元素とも茎基部への強い集積を示したが、地上部の葉への移行性に差違が認めれ、本技術の植物研究への有用性を示した。

研究成果の概要(英文)：Radiotracer imaging technologies enable us to know live the physiological function in the plant body. Serial images of the radiotracer can be used to indicate the changing distribution of constituent behavior within a living plant system and to describe the dynamics and kinetics of a substance in an intact plant. X-rays and Gamma-rays emitted from the radiotracer in a plant almost completely penetrate the body, and the image data obtained using them can potentially be used to quantitatively analyze physiological function parameters. This study is realized in the field of plant science to investigate kinetics of plant nutritions and environmental pollutions on use of a multi-element imaging system of a Compton camera for simultaneous multi-RI tracer imaging in intact plant.

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：RIイメージング 複数元素同時 コンプトンカメラ

1. 研究開始当初の背景

世界的な穀物不足と肥料価格の高騰に加え、地球温暖化による気候変動が大規模な凶作を生むとの予測もあり、植物生理機能の解明研究を通じた「安全な食料を安定的に生産する科学技術」と「生物機能を活用した環境改善技術」の開発が国家的課題となっている。これらの観点から植物生理のメカニズムは分子レベルで理解されつつあるが、生産性に及ぼす影響といった農学的見地から発せられる問いに対して、分子レベルの知見が直接的に還元する例は少ない。これを打破するには、分子メカニズムと個体の生理応答の中間レベルとして、ミリメートルオーダーの組織・器官レベルにおける、生理機能の解明が有効であると考えられる。

生体内の事象を組織・器官レベルで画像化する、“分子イメージング研究”が近年注目されている。これは生体内のマクロな物質動態から分子プロセスの可視化を目的とした基礎研究と開発手法による応用研究を指す。ポジトロン断層法(PET)等のイメージング技術を用いて、生命体を明らかにしていこうとする融合研究分野である。植物研究を目的とした分子イメージング研究の有用性も示され、ドイツユーリッヒ研究所の¹³Nを用いた窒素動態計測、アメリカワシントン大学の核磁気共鳴画像法(MRI)による維管束流速画像、東京大学のベータ線イメージング装置を用いたリン酸動態の可視化、など世界各国で実施されている。

中でも日本原子力研究開発機構が開発したポジトロンイメージング技術(PETIS)は、植物体内の炭素動態や窒素固定といった栄養動態のみならず、カドミウムなどの環境汚染物質の動態の可視化に成功し、国内外で高い評価を得ている。研究代表者は科研費の支援により、葉内の炭素の動画から二酸化炭素固定速度と光合成産物送り出し率という二つの生理機能の定量と可視化を可能にした。

しかしながら、複数の無機元素が拮抗作用し合う植物の栄養吸収・代謝メカニズムを包括的に解明する為には、既存の「単元素」のイメージングでは不十分である。農業技術開発に直結する知見を得るためにも、鉄や銅、亜鉛などの栄養金属元素やカドミウムなどの有害重金属元素を含めたあらゆる植物体内物質輸送の可視化と、それら相互作用の発現である生理機能との解明が期待されている。

2. 研究の目的

光合成と重金属の相互作用といった、植物

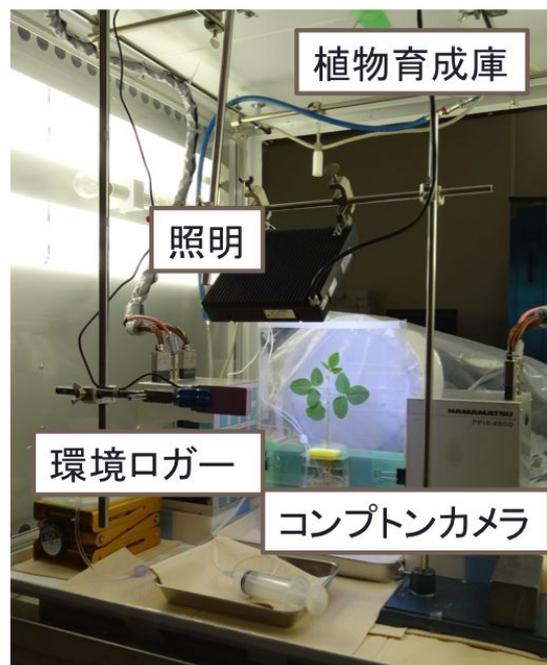
体内の多種多様な複数の物質動態を同時に可視化する事を目的とする。そのためには植物研究用の複数RIイメージングシステムの構築が必須である。

システムの主軸となる、放出線エネルギーが異なるRI線源をそれぞれ区別してイメージングできるコンプトンカメラを植物研究用として開発すると共に、植物の栄養または環境汚染物質動態の複数同時撮像が可能な実験環境を構築する。

本研究開発により、植物の多様な代謝、生理機能や環境適応のシステム的理解による植物生産力向上に貢献し、我が国の将来にわたる安全な食糧の安定供給を目指す。

3. 研究の方法

日本原子力研究開発機構は宇宙航空研究開発機構および群馬大学と連携し、天体観測用に開発された最先端半導体検出器を用いたコンプトンカメラを医学・生物学に応用する研究を行ってきた。コンプトンカメラとは複数の元素を同時に撮像できる夢の次世代放射線イメージング装置である。そこで研究代表者が行ってきたPETISによる植物RIイメージングシステムの構築という成果と経験を踏まえ、下図のような植物育成庫内にカメラ、補光用のLEDライト、植物環境ロガーを、ベースとした新たなコンプトンカメラによる植物研究用複数RIイメージングシステムを、構築した。



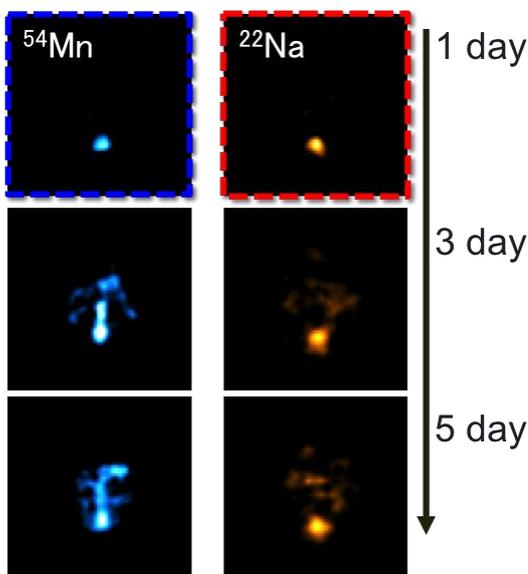
植物育成庫内に構築された撮像システム

4. 研究成果

放射性同位元素をトレーサとして植物に投与し、その後の濃度分布を画像化する、オートラジオグラフィ、ポジトロンイメージング技術といったイメージング手法は、植物中の栄養素や汚染物質等の動態を明らかにし、植物研究に新たな知見を与えてきた。しかしながら、これら既存の方法で可視化できる元素は一度に1種類に限られており、同一環境下・同一個体内において競合する複数の元素動態を同時にイメージングすることは不可能であった。

そこで本研究では宇宙航空研究開発機構で宇宙ガンマ線の観測技術として開発されたSi/CdTeコンプトンカメラを応用して進めてきた。コンプトンカメラは、エネルギー分解能を併せ持つイメージング装置であり、ガンマ線源であるトレーサ核種の弁別が可能となる。つまり広いエネルギーレンジによって、数多くの市販されている放射性同位元素(^{109}Cd (88 keV)、 ^{54}Mn (834 keV)、 ^{59}Fe (192 keV)、 ^{65}Zn (1115 keV))がイメージング対象とすることができる。

植物研究への有用性を示すための実証実験では、作物の生産を阻害する環境ストレスの1つであるナトリウム(^{22}Na : 511 keV)と、微量必須元素であるマンガン(^{54}Mn : 835 keV)の二核種のトレーサを用いて行った。播種後約6週間の水耕栽培ダイズに、 ^{22}Na および ^{54}Mn を水溶液から同時に経根吸収させ、イネの地上部を1週間連続撮像した。その結果、下図に示すように両元素とも茎基部への強い集積を示したが、地上部の葉への移行性に差違が認められ、本手法が植物体内の複数元素の同時イメージングに有用であることが示された。今後は、植物研究を目的とした新たなRI イメージング技術として、本手法の可能性・展開についての研究を重ねていきたい。



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 4 件)

著者名: N. Kawachi
論文表題: Recent Developments in Plant Science Involving Use of Gamma-ray Imaging Technology
雑誌名: Journal of the Vacuum Society of Japan
査読の有無: 有
巻、発行年、最初と最後の頁: 57、2014、37-44
DOI: 10.3131/jvsj2.57.37

著者名: Y. Suzuki, M. Yamaguchi, H. Odaka, H. Shimada, Y. Yoshida, K. Torikai, T. Satoh, K. Arakawa, N. Kawachi, S. Watanabe, S. Takeda, S. Ishikawa, H. Aono, S. Watanabe, T. Takahashi, T. Nakano
論文表題: Three-Dimensional and Multi-Energy - ray Simultaneous Imaging Using a Si/ CdTe Compton Camera.
雑誌名: Radiology
査読の有無: 有
巻、発行年、最初と最後の頁: 267、2013、941-947
DOI: 10.1148/radiol.13121194

著者名: N. Kawachi
論文表題: Development of Compton camera and its application studies for biology and medicine
雑誌名: Proceedings of the 1st NIRS-SNU Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology
査読の有無: 無
巻、発行年、最初と最後の頁: 2012、19-23
<http://www.nirs.go.jp/publication/irregular/index.shtml>

著者名: M. Yamaguchi, N. Kawachi, T. Kamiya, N. Suzui, S. Fujimaki, H. Odaka, S. Ishikawa, M. Kokubun, S. Watanabe, T. Takahashi, H. Shimada, K. Arakawa, Y. Suzuki, K. Torikai, Y. Yoshida, T. Nakano
論文表題: Counting rate performance measurement of newly developed Si/CdTe Compton camera for biological and medical applications
雑誌名: Nuclear Science Symposium Conference Record (NSS/MIC), 2010 IEEE
査読の有無: 無
巻、発行年、最初と最後の頁: 2012、2004-2007
DOI: 10.1109/NSSMIC.2010.5874127

〔学会発表〕(計 6 件)

発表者：河地有木
発表表題：植物研究用 RI イメージング技術の開発：ガンマカメラとコンプトンカメラについて
学会名：植物生理学会シンポジウム
発表年月日：2014年03月18日
発表場所：富山市、富山大学

発表者：河地有木、鈴木伸郎、石井里美、尹永根、山口充孝、長尾悠人、神谷富裕、高橋忠幸、中野隆史、藤巻秀
発表表題：植物体内における複数元素動態の同時撮像技術の開発
学会名：土壤肥料学会
発表年月日：2013年09月11日
発表場所：名古屋市、名古屋大学

発表者：Naoki Kawachi
発表表題：Development of Compton camera and its application studies for biology and medicine
学会名：1st NIRS-SNU Workshop on Nuclear Medicine Imaging Science and Technology
発表年月日：2012年01月26日
発表場所：千葉市、放射線医学総合研究所

発表者：Naoki Kawachi, Mitsutaka Yamaguchi, Yuto Nagao, Nobuo Suzui, Shu Fujimaki, Tomihiro Kamiya, Hirokazu Odaka, Motohide Kokubun, Shin'ichiro Takeda, Shin'nosuke Ishikawa, Shin Watanabe, Tadayuki Takahashi, Kota Torikai, Hirofumi Shimada, Kazuo Arakawa, Yoshiyuki Suzuki, Takashi Nakano
発表表題：Substantiative Experiments of Distortion Correction for Novel Si/CdTe Compton Camera
学会名：2011 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference
発表年月日：2011年10月25日
発表場所：Valencia Convention Center, Valencia, Spain

発表者：M. Yamaguchi, N. Kawachi, T. Kamiya, N. Suzui, S. Fujimaki, H. Odaka, S. Ishikawa, M. Kokubun, S. Watanabe, T. Takahashi, H. Shimada, K. Arakawa, Y. Suzuki, K. Torikai, Y. Yoshida, T. Nakano
発表表題：Counting rate performance measurement of newly developed Si/CdTe Compton camera for biological and medical study
学会名：2010 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Science Conference
発表年月日：2010年11月2日
発表場所：Knoxville Convention Center, Knoxville, the United State

発表者：河地有木

発表表題：植物の元素動態イメージング解析で見てくる栄養生理
学会名：日本土壤肥料学会シンポジウム「植物の必須元素の栄養生理」
発表年月日：2011年9月8日
発表場所：札幌市、北海道大学

〔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)
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・医療バイオ応用量子ビーム技術研究ユニット・RI イメージング研究グループ
研究副主幹
研究者番号：70414521

(2)研究分担者 ()

研究者番号：

(3)連携研究者 ()

研究者番号：