

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：82502

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06851

研究課題名（和文）植物チェレンコフイメージングシステムの開発：セシウムの吸収・移行動態を可視化する

研究課題名（英文）Development of a Cherenkov light imaging system for plants: To visualize absorption and transition dynamics of cesium

研究代表者

栗田 圭輔 (Kurita, Keisuke)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 放射線生物応用研究部・博士研究員（任常）

研究者番号：10757925

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、根系から植物地上部への放射性セシウムの移行と分布を、高い空間分解能で画像化する技術の開発を目的とした。具体的には、植物研究に特化したチェレンコフイメージングシステムを開発した。また、Cs-137を吸収させた生きたダイズに対し、開発したシステムを用いて撮像実験を行った。その結果、植物チェレンコフイメージングは、植物体内における放射性セシウム動態の撮像に有効な技術であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：This study aims to develop a high-resolution imaging method which visualizes radiocesium movements and distribution from roots to above-ground part of a plant. In this study, a Cherenkov light imaging system for plant study was developed. An imaging experiment was performed with an intact soybean plant which absorbed Cs-137 solution using the system. The result shows that Cherenkov light imaging is promising for visualization of the dynamics of radiocesium in a plant.

研究分野：工学

キーワード：イメージング 放射性セシウム 植物 動態 チェレンコフ光

1. 研究開始当初の背景

福島第一原子力発電所の事故以降、環境に放出された放射性物質が大きな問題となった。特に、土壌から植物体内へと移行した放射性セシウムによる汚染に、強い関心が寄せられている。このような状況の下、植物体内で放射性セシウムがどのように動いているかを定量的に可視化する技術を開発し、吸収・移行といった動態のメカニズムを解明することが重要な研究課題となっている。

研究代表者が所属するグループでは植物研究用ガンマカメラを世界で初めて開発し、植物体内における Cs-137 の動きを撮像した。しかしながら、この技術は透過力の強い高エネルギー領域のガンマ線を直接計測するため、得られる解像度には物理的な限界があり、植物の組織レベル (サブミリメートルスケール) での詳細なセシウム動態の解明には至っていない。

これを克服するため、画像データの高解像度化を目指し、チェレンコフ光を用いたイメージング技術の開発に着手した。チェレンコフ光とは、高エネルギーの荷電粒子が物質中を運動する際、粒子がその物質中の光速度よりも速い場合に放出される、波長約 390 nm の微弱な可視光のことである。生体内の放射性同位元素 (RI) の分布をイメージングするために、チェレンコフ光を超高感度の CCD カメラを用いて可視化する手法が報告され、マウス等の小動物における分析手法として、チェレンコフイメージング技術が有望視されている。所属グループでは、この技術を植物へと応用することで、ダイズ体内の放射性セシウムから発せられるチェレンコフ光を計測し、高い解像度の画像データを得ることができた。しかしながら、この実験は Cs-137 の分布を測定したにすぎず、光環境の制御を行えなかったため、生きた植物における放射性セシウムの動態イメージングには未だ成功していない。

2. 研究の目的

RI が発するチェレンコフ光を高感度 CCD カメラで撮像する手法は、高い解像度での植物 RI イメージング技術を実現できる。これを用いて、植物体内における Cs-137 の分布を計

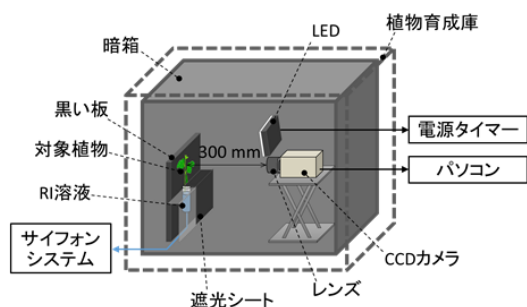


図1 開発した植物用チェレンコフイメージングシステムの概略図。

測することに成功したが、生きた植物でセシウムの動きをイメージングするには至っていない。本研究では、汚染された土壌から作物へ放射性セシウム (Cs-137) が吸収・移行する動態を明らかにするため、これに特化したチェレンコフイメージングシステムの開発を目的とする。

3. 研究の方法

(1) チェレンコフイメージングシステムの直線性評価

チェレンコフイメージングシステムの性能評価を行った。放射能の異なる Cs-137 点線源から発せられるチェレンコフ光を撮像し、得られた画像から点線源の放射能と画像強度との関係を明らかにした。

(2) 植物チェレンコフイメージングシステムの実証実験

植物体内の Cs-137 動態を撮像するために開発した植物チェレンコフイメージングシステムの概略図を図1に示す。植物育成庫内に暗箱を設置することで、温度・湿度の調整を可能としつつ、チェレンコフ光の検出に必要な暗環境を実現した。また、暗箱内に高照度 LED を設置し、植物の育成に必要な光量を適時確保することを可能とした。撮像時は LED を OFF、それ以外は LED を ON にする測定

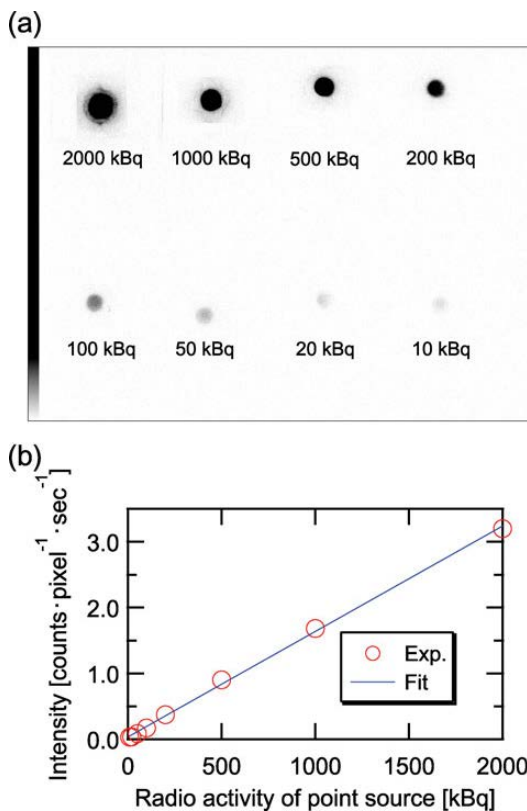


図2(a) Cs-137 点線源 (10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000 kBq) の撮像結果と (b) Cs-137 に対するチェレンコフイメージングシステムの直線性評価の結果。

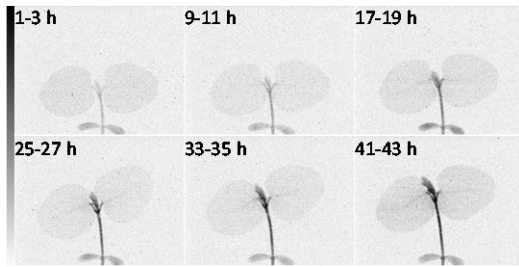


図 3. 植物チェレンコフイメージングシステムで撮像したダイズ体内の ^{137}Cs 動態画像.

プロトコルを組み、電源タイマーで ON・OFF を制御することで植物自身の発光等と RI によるチェレンコフ光を弁別し、非接触で生きた植物を対象とした RI イメージング実験を可能とした。RI は植物を RI 溶液に浸すことで、経根吸収させる。RI 溶液は、その量や組成が変化しないように、サイフォンシステムを用いて調整できるようにした。また、RI 溶液中で生じるチェレンコフ光が、植物体内の RI 由来のチェレンコフ光の検出を阻害するため、溶液周辺は遮光用のシートで覆った。対象植物は、黒い板に糸で固定されており、カメラと植物との距離は 300 mm とした。カメラはパソコンで制御でき、撮像結果を暗箱の外で確認できるようになっている。

植物チェレンコフイメージングの有用性を実証するため、開発したシステムを用いて、播種後 11 日目の生きたダイズに Cs-137 を 10 MBq 投与し、その動態を撮像した。

4. 研究成果

(1) チェレンコフイメージングシステムの直線性評価

暗環境において、 Cs-137 点線源から発せられるチェレンコフ光を、CCD カメラを用いて 10 分間撮像したところ図 2(a) のような画像が得られた。この画像を解析し、点線源の放射能と画像強度との関係をプロットしたものが図 (b) である。この結果から、チェレンコフイメージングシステムは、画像強度と Cs-137 の放射能との間に良好な直線性を持ち、少なくとも 10^3 以上のダイナミックレンジを有することがわかった。

(2) 植物チェレンコフイメージングシステムの実証実験

開発した植物用のチェレンコフイメージングシステムを用いて、生きたダイズ体内の Cs-137 の動態撮像を行った結果を図 3 に示す。この結果から、徐々にダイズの茎を移動し、これまで不可能だった葉脈へと到達する Cs-137 の動きが高精細な画像として取得できたことがわかった。以上の結果から、植物チェレンコフイメージングは、植物体内における放射性セシウム動態の撮像に有効な技術であることが示唆された。

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 Keisuke Kurita, Nobuo Suzui, Yong-Gen Yin, Satomi Ishii, Hiroshi Watabe, Seiichi Yamamoto, Naoki Kawachi, Development of a Cherenkov light imaging system for studying the dynamics of radiocesium in plants, Journal of Nuclear Science and Technology, 査読有, 54 巻, 2017, 662-667.
DOI:10.1080/00223131.2017.1299051
- ② Keisuke Kurita, Nobuo Suzui, Yong-Gen Yin, Satomi Ishii, Hiroshi Watabe, Seiichi Yamamoto, Naoki Kawachi, Development of Cherenkov Light Imaging System for Study of Radiocesium Dynamics in Plants, QST Takasaki Annual Report 2015, 査読無, 2017, 142-142.
<http://www.taka.qst.go.jp/tiara/j661/annual.php>

[学会発表] (計 10 件)

- ① 栗田圭輔, 鈴木伸郎, 尹永根, 石井里美, 渡部浩司, 山本誠一, 河地有木, 植物チェレンコフイメージング技術による植物体内の放射性セシウム動態撮像, 第 1 回 QST 高崎研シンポジウム, 2017 年 1 月 26 日~2017 年 1 月 27 日, 高崎量子応用研究所 多目的ホール (群馬県・高崎市)
- ② 栗田圭輔, 鈴木伸郎, 尹永根, 石井里美, 渡部浩司, 山本誠一, 河地有木, チェレンコフ光で見る植物体内の放射性セシウム動態, 2016 年度日本土壤肥料学会関東支部大会, 2016 年 12 月 3 日, 宇都宮大学 峰キャンパス (栃木県・宇都宮市)
- ③ 栗田圭輔, 鈴木伸郎, 尹永根, 石井里美, 渡部浩司, 山本誠一, 河地有木, チェレンコフ光で植物体内の放射性セシウム動態を見る, 第 16 回放射線プロセスシンポジウム, 2016 年 11 月 8 日~2016 年 11 月 9 日, 東京大学農学部 弥生講堂 (東京都・文京区)
- ④ Keisuke Kurita, Nobuo Suzui, Yong-Gen Yin, Satomi Ishii, Hiroshi Watabe, Seiichi Yamamoto, Naoki Kawachi, Development of Cherenkov Light Imaging System for Studies of Radiocesium Dynamics in Plant, 2016 IEEE NSS/MIC, 2016 年 10 月 29 日~2016 年 11 月 5 日, Strasbourg (France)
- ⑤ 栗田圭輔, 鈴木伸郎, 尹永根, 石井里美, 渡部浩司, 山本誠一, 河地有木,

植物チェレンコフイメージング技術で見る植物体内の放射性セシウム動態，日本土壤肥料学会 2016 年度佐賀大会，2016 年 9 月 20 日～2016 年 9 月 22 日，佐賀大学 本庄キャンパス（佐賀県・佐賀市）

- ⑥ 栗田圭輔，鈴木伸郎，尹永根，石井里美，渡部浩司，山本誠一，河地有木，植物チェレンコフイメージング技術によるダイズ体内のセシウム動態撮影，アグリ・バイオ公開シンポジウム，2016 年 7 月 28 日，東京理科大学 葛飾キャンパス（東京都・葛飾区）
- ⑦ 栗田圭輔，河地有木，尹永根，鈴木伸郎，石井里美，渡部浩司，山本誠一，藤巻秀，土壌－植物系におけるセシウム動態解析のためのガンマカメラの開発，研究成果報告会-ふくしまの環境回復に係るこれまでの取組-，2015 年 11 月 9 日～2015 年 11 月 10 日，ザ・セレクトン福島（福島県・福島市）
- ⑧ 栗田圭輔，河地有木，尹永根，鈴木伸郎，石井里美，渡部浩司，山本誠一，藤巻秀，チェレンコフ光を利用した植物 RI イメージング技術の開発，日本原子力学会関東・甲越支部「第 14 回若手研究者発表討論会」，2015 年 10 月 13 日，電力中央研究所（東京都・狛江市）
- ⑨ 栗田圭輔，河地有木，尹永根，鈴木伸郎，石井里美，渡部浩司，山本誠一，藤巻秀，植物チェレンコフイメージングにおける定量化技術の開発，第 10 回高崎量子応用研究シンポジウム，2015 年 10 月 8 日～2015 年 10 月 9 日，高崎量子応用研究所（群馬県・高崎市）
- ⑩ 栗田圭輔，河地有木，尹永根，鈴木伸郎，石井里美，渡部浩司，山本誠一，藤巻秀，放射性セシウム動態解析に向けた植物チェレンコフイメージング技術の開発，日本土壤肥料学会 2015 年度京都大会，2015 年 9 月 9 日～2015 年 9 月 11 日，京都大学（京都府・京都市）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗田 圭輔 (KURITA, Keisuke)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 放射線生物応用研究部・博士研究員

研究者番号：10757925