

令和 4 年 9 月 16 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H02469

研究課題名(和文) 農業現場における精密農業の熟成

研究課題名(英文) Maturation of precision agriculture in the agricultural field

研究代表者

中西 友子 (Nakanishi.M, Tomoko)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・特任教授

研究者番号：30124275

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,900,000円

研究成果の概要(和文)：これまで開発を行ってきた植物体内の元素を可視化できるリアルタイムRIイメージングシステム(RRIS)の高度化を行った。具体的には、ガス状である $^{14}\text{C}\text{O}_2$ の固定や様々な元素の根から地上部への輸送を可視化した。 ^{42}K (半減期12時間)の調整、および可視化も可能となった。さらには、顕微鏡システムと組み合わせることで、根端における元素動態などの微細空間での撮影が可能となった。加えて、視野範囲はこれまで $20\text{cm}\times 10\text{cm}$ であったが、新たなシンチレータの検討・改良により $800\text{cm}\times 600\text{cm}$ と向上し、適用可能な植物が大幅に増えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ガス状である $^{14}\text{C}\text{O}_2$ が固定される様子や ^{14}C -光合成産物、および植物の必須元素であるカリウムやマグネシウムの放射性同位体 ^{42}K および ^{28}Mg が植物体内で輸送される様子の可視化、かつ動画化が可能となった。この技術は世界で初めてであり、効率的に生長する植物の創出や栽培技術に関する研究において強力なツールとなることが期待される。加えて、増加し続ける二酸化炭素の回収として期待されているシアノバクテリアなどのバイオ資材に関わる研究のツールとしても非常に有用となるであろう。

研究成果の概要(英文)：We have advanced the real-time RI imaging system (RRIS) that we have been developing to visualize elements in plants. Specifically, we have visualized the fixation of gaseous $^{14}\text{C}\text{O}_2$ and the transport of various elements from the root to the above-ground parts. ^{42}K (half-life 12 hours) can be adjusted and visualized as well. Furthermore, when combined with a microscope system, it became possible to take images of elemental dynamics at the root tip in microscopic space. In addition, the field of view has been improved from $20\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ to $800\text{ cm} \times 600\text{ cm}$ through improvement of a new scintillator, greatly increasing the number of plants to which it can be applied.

研究分野：放射線イメージング

キーワード：放射線イメージング ベータ線 ライブイメージング 植物栄養

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

これまで開発を行ってきた植物体内の元素動態を可視化できるリアルタイム RI イメージングシステム (RRIS) は、装置の高度化、および植物の生理現象の解明を同時に進めてきた。装置の性能では、視野範囲の制限が対象となる植物のサイズや取扱えるサンプル数を低下させているボトルネックとなっているため、視野範囲の拡大が最も解決すべき課題であった。生理現象の解明においては、これまでは放出する放射線のエネルギーが強い核種である ^{32}P を研究の対象としてきたが、装置の改良により弱エネルギーの放出核種である ^{14}C や ^{35}S を解析できるようになった。炭素固定、および光合成産物の動態は植物の生長にとって最も重要な生理現象であり、かつ、温暖化の原因となる二酸化炭素の抑制は近近な課題であるため、植物による炭素固定を理解することは農業上、社会上において重要である。

2. 研究の目的

(1) 元素動態メカニズムの解明

1-1 元素動態における光の影響

根から吸収された水と養分は道管により植物地上部へ輸送される。道管流の駆動力は根圧による押し上げる力と葉の蒸散による引っ張る力である。蒸散は主に明環境下で行われる。そのため、明環境と暗環境における元素動態を比較することで、元素動態における光の影響、さらには水と元素動態の関係を明らかにできると考えられる。そこで明環境から暗環境への変化に対する応答性を解析するため、RRIS を用いて ^{28}Mg 、 ^{32}P 、 ^{42}K 、 ^{45}Ca および ^{137}Cs の動きを経時的に解析した。

1-2 根の篩管流における元素動態

根から吸収された元素は植物地上部へ輸送された後、篩管流により根に輸送され、植物体内を循環している。根の篩管流による元素動態を解析するため、RRIS を用いて地上部から根に輸送される ^{14}C 、 ^{28}Mg 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{42}K 、 ^{45}Ca 、 ^{59}Fe 、および ^{137}Cs の動きを経時的に解析した。

1-3 根からのナトリウムイオンの排出

塩分が土壤中に集積し、作物の生育に多大な影響を与える塩類障害は世界的な問題である。世界の陸地の 7% が塩類集積土壌であり、耐塩性作物の創出が望まれている。そのため耐塩性メカニズムの解明は、農業上において非常に重要である。植物は塩ストレスを抑制するために 3 つの戦略、1. 吸収抑制、2. 地上部への輸送抑制、3. 排出、を行っている。そこで本研究は上記「3. 排出」に着目し、RRIS を用いて、根からのナトリウムイオンの動態を解析した。

(2) RRIS の高度化

視野範囲の拡大

RRIS は放射線を光に変換するシンチレータ、CCD カメラ、暗箱で構成される。RRIS の視野範囲は $20 \times 10 \text{cm}$ であり、幼植物など小さい植物体のみを解析の対象としてきた。視野範囲はシンチレータのサイズに依存している一方で、これまで使用してきたシンチレータは非常に高価である上、潮解性である結晶性の NaI が材料となっているため、柔軟に加工することが不可能であった。そこで、視野範囲の拡大を目的としたシンチレータの探索、改良、および評価を行った。

3. 研究の方法

(1) 元素動態メカニズムの解明

1-1 元素動態における光の影響

RI および水耕液を含む根箱にイネ (*Oryza sativa*, L. 'Nipponbare') を 4 株移植した。根箱はポリエチレンバッグ、ポリウレタンシート、およびアクリル製治具で構成される (図 1 a)。イネは播種後 8 日目を用いた。ポリウレタンシートにより根をシンチレータ側に固定し、アクリル製治具によりポリエチレンバッグをシンチレータに固定した (図 1 b)。添加した RI は次の通りである。 ^{28}Mg : 17 kBq mL^{-1} 、 ^{32}P : 30 kBq mL^{-1} 、 ^{42}K : 7 kBq mL^{-1} 、 ^{45}Ca : 830 kBq mL^{-1} 、および ^{137}Cs : 25 kBq mL^{-1} 。撮影は連続して 10h 行った。各 RI を添加後 5 h までは、LED ライト (照度 $100 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$) を用いて、暗期 3 分と明期 7 分を交互に繰り返し行い、暗期において RRIS を用いて 3 分の積算画像を取得した。次の 5 h は暗条件下で 10 分ごとに 3 分の積算画像を取得した。次に、shoot および root における RI 量の経時的変化を解析するため、取得した画像を基に、各植物個体の shoot および root それぞれに ROI (Region of interest) を設定し (図 3 a)、RI 量を算出し、消灯を行った RI 吸収開始後 5 h を 1 とした相対値としてグラフを作成した (図 3 b)。さらには、明期 (3 h-5 h)、および暗期 (5 h-7 h) における検量線の傾きを算出した (図 3 c)。

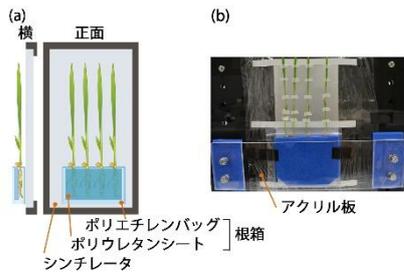


図1 根箱を用いた撮影

ポリウレタンシート、およびアクリル板を用いて根をシンチレータに固定した。

1-2 根の篩管流における元素動態

ゲル培地で生育させた播種後 1 週間のシロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana* ecotype Columbia-0) を各 RI につき 8 株をゲルに移植し、ポリエチレン製バッグで梱包した後に、シンチレータに固定した (図 2)。 ^{28}Mg 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{42}K 、 ^{45}Ca 、 ^{59}Fe 、および ^{137}Cs は子葉に滴下し、 $^{14}\text{CO}_2$ はガス状により子葉から吸収させた。暗期 15 分、明期 45 分を交互に繰り返し行い、暗期において RRIS を用いて 15 分の積算画像を 24h 取得した。

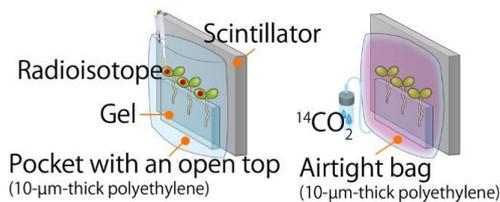


図2 根における篩管輸送の撮影

植物をゲルに並べ、ゲルで根を抑えるようにしてシンチレータに固定した。

1-3 根からのナトリウムイオンの排出

上記 1-2 と同様に子葉に ^{22}Na を滴下して吸収させた後、暗期 15 分、明期 45 分を交互に繰り返し行い、暗期において RRIS を用いて 15 分の積算画像を 24h 取得した。

(2) RRIS の高度化

視野範囲の拡大

シンチレータの素材は、無機と有機に大別される。無機シンチレータは主に単結晶から成り立つため、大型のシンチレータの作製は高コストとなる。一方で有機シンチレータは安価であり、かつ加工が容易であることから、様々な有機シンチレータから RRIS に適用可能なシンチレータを探索および定量範囲 (下限、上限) および分解能を解析することで性能評価を行った。

4. 研究成果

(1) 元素動態メカニズムの解明

1-1 元素動態における光の影響

Mg、P、K、Ca、および Cs の輸送における、明環境から暗環境への変化に対する応答性を解析するため、RRIS を用いて ^{28}Mg 、 ^{32}P 、 ^{42}K 、 ^{45}Ca 、および ^{137}Cs の動きを経時的に解析した。その結果、 ^{137}Cs は根においては消光からの増加がほとんど見られず、検量線の傾きは照射に比べて優位に減少した (図 3c)。一方で shoot においては消光による影響はなく、増加し続けた。この結果から、セシウムは根における吸収過程においては光の影響を大きく受ける一方で、植物体内に吸収された後の輸送に関しては光の影響を受けないことが示唆された。カリウムにおいては shoot および root とともに消光による影響は見られなかった。これらの結果から、根からの Cs 吸収において、K 吸収に関わる輸送体と異なる輸送体が大きく寄与していること、さらにはそれらの輸送体の活性は光に影響を受けることが考えられる。 ^{28}Mg および ^{45}Ca においても shoot および root とともに消光による影響は見られなかった (図 3b,c)。 ^{32}P においては、消光による反応は速やかであり、shoot および root とともに蓄積が抑制された (図 3b,c)。消光による蒸散の応答は分単位レベルであることから [1]、 ^{32}P の輸送に蒸散は大きく影響していることが予想された。そこで、蒸散量を測定した結果、消灯後 5h 目には、光をつけていた場合と比較して 57% 減少した (図 3c)。つまり、植物体内での元素輸送において、P は水の流れに伴って輸送されている一方で、Mg、Ca、K および Cs の輸送は水の流れに影響を受けないと考えられる。なお、 ^{45}Ca においては、 ^{45}Ca 添加後 3h からはほとんど根のシグナル値は増加しなかった (図 3b)。この結果は、根から吸収された ^{45}Ca と根に存在する Ca^{2+} との入れ替わりが早いことが考えられる。さらには、地上部においては継続的に増加していることから、余剰の ^{45}Ca が地上部へ輸送されていると考えられる。

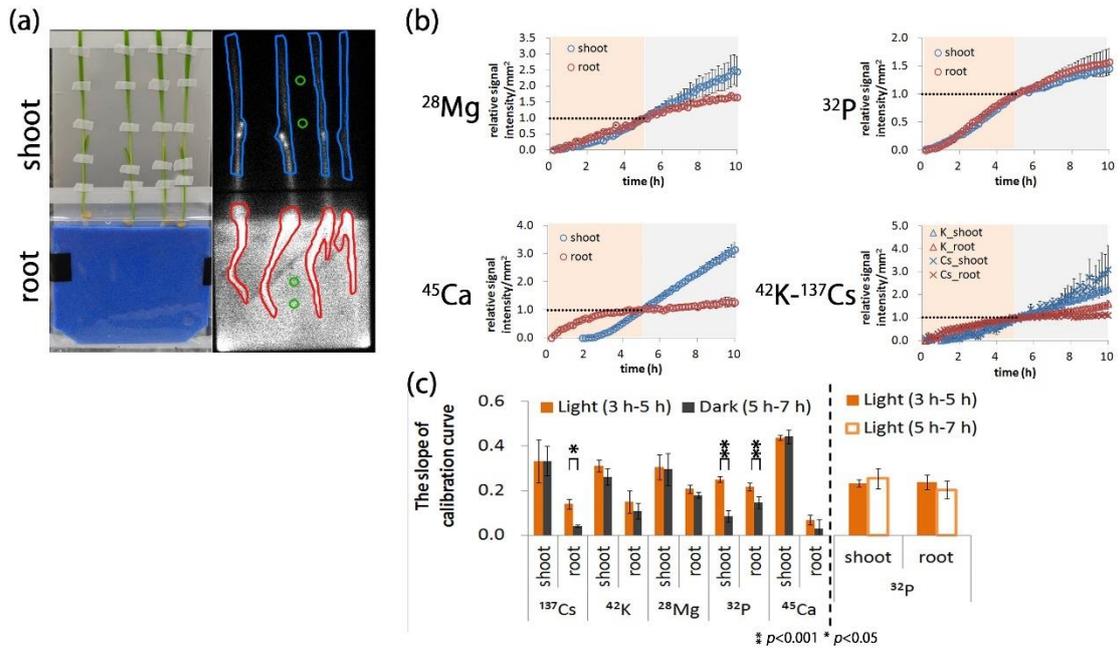


図3 元素動態における光の影響

- (a) イネをシンチレータに固定し、各 RI を根に添加した。
- (b) RI 添加後 0-5h は明環境、5-10h は暗環境条件下において、各 RI の蓄積の様子を解析した。
- (c) 上記 b の 3-5h、5-7h におけるプロットの傾きを比較した。

1-2 根の篩管流における元素動態

様々な RI を子葉から吸収させ、その輸送動態を可視化した結果、3つのタイプ：1. 根端に蓄積 (^{14}C 、 ^{28}Mg 、 ^{32}P および ^{35}S)、2. 根全体に分布 (^{42}K 、 ^{137}Cs)、3. 根に蓄積しない (^{45}Ca 、 ^{59}Fe) に分類された (図4)。さらには、根端に蓄積するタイプの ^{14}C 、 ^{32}P および ^{35}S において、蓄積部位をより詳細に解析するため、顕微鏡システムで撮影した結果、 ^{14}C 、 ^{32}P および ^{35}S の全てにおいて、生長が盛んな分裂領域に蓄積している様子が捉えられた。

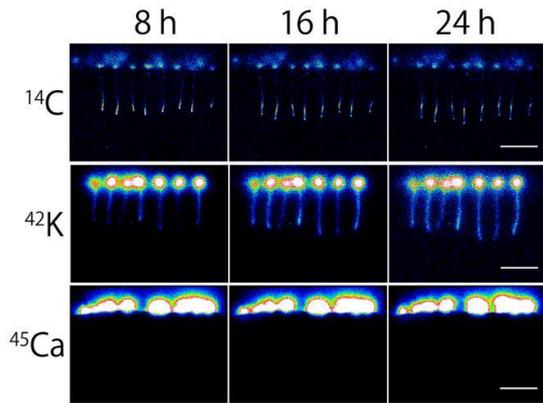


図4 根の篩管流における元素動態

3つのタイプ：根端に蓄積 (^{14}C 、 ^{28}Mg 、 ^{32}P および ^{35}S)、根全体に分布 (^{42}K 、 ^{137}Cs)、根に蓄積しない (^{45}Ca 、 ^{59}Fe) に分かれる。上部は RI 添加後の時間を表す。

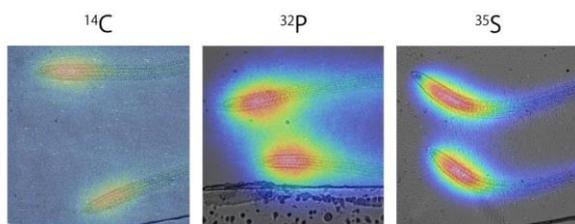


図5 根の篩管流における元素動態

RI 添加後 24h における ^{14}C 、 ^{32}P および ^{35}S の蓄積分布

1-3 根からのナトリウムイオンの排出

^{22}Na を子葉に滴下し、RRIS で 24h 撮影を行った結果、根で検出された ^{22}Na のシグナルが消失した (図 6a)。根の細胞に積み下ろされた ^{22}Na が根圏に排出されたためと考えられる。Na の細胞外への輸送には輸送タンパク質 SOS1 が担っていることが知られている。そこで SOS1 欠損株である *sos1* 変異株を用いて同様に撮影を行ったところ、 ^{22}Na のシグナルは根に留まったままであった (図 6b)。加えて、SOS1 の制御に関わる SOS2, SOS3 の欠損株である *sos2*, *sos3* 欠損株においてもシグナルの消失は見られなかった。SOS1 の主な発現部位は根端であり [2]、植物の生育を阻害する Na イオンは、根で吸収された後に主に根端から排出されると考えられてきた。一方で、本研究で撮影された結果では、まず根全体で ^{22}Na のシグナルが検出され、次に瞬く間にシグナルが消失したことから、 ^{22}Na の排出は根端からではなく、根全体で行われていると考えられる。

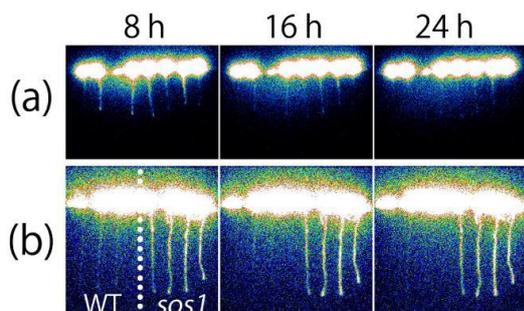


図 6 根の篩管流における ^{22}Na の動態

RI 添加後 8、16、24h の様子。

(a)野生型株(WT)、

(b)野生型株および *sos1* 欠損株

(2) RRIS の高度化

視野範囲の拡大

様々な有機シンチレータの性能を比較した結果、ルミネードが最も発光効率が良く、これまで用いていたシンチレータと比較して、解像度が少し低下するものの、検出感度はおよそ同等であった。そこでルミネードの改良を行い、視野範囲が 20 cm x 10cm から最大で 80cm x 60cm に拡大した (図 7)。さらには、有機シンチレータであることから非常に安価であり、他の施設において本システムの導入が容易になった。

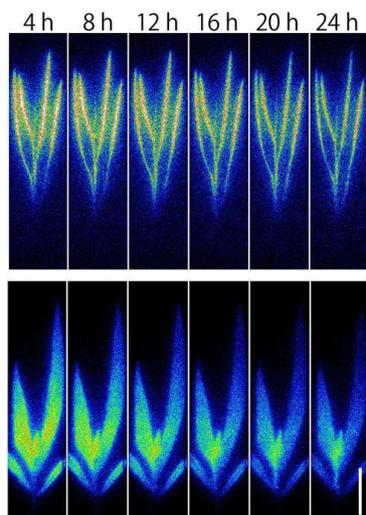


図 7 有機シンチレータによる視野範囲の拡大

イネ (上段) およびトウモロコシ (下段) において、

葉に $^{14}\text{CO}_2$ を吸収させた後、 ^{14}C -光合成産物の消費速度を解析した。スケールバー：10cm

このように、本研究では RRIS による植物の生理現象の解明および装置の高度化を行った。本研究により確立した様々な元素動態の撮影技術により、植物栄養のみならず植物ホルモン、育種、農薬など幅広い分野の研究者に適用できるであろう。

[1] Ishikawa JS, Hatano MM, Hayashi H, Ahamed A, Fukushi K, Matsumoto T, Kitagawa Y. 2011. Transpiration from shoots triggers diurnal changes in root aquaporin expression. *Plant, Cell Environ* 34:1150-1163

[2] Shi H, Quintero FJ, Pardo JM, Zhu JK. 2002. The putative plasma membrane Na^+/H^+ antiporter SOS1 controls long-distance Na^+ transport in plants. *The Plant Cell* 14:465-477. doi:10.1105/tpc.010371

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Sugahara Kohei, Sugita Ryohei, Kobayashi Natsuko I., Hirose Atsushi, Nakanishi Tomoko M., Furuta Etsuko, Sensui Masaaki, Tanoi Keitaro	4. 巻 68
2. 論文標題 Plastic Scintillators Enable Live Imaging of ³² P-labelled Phosphorus Movement in Large Plants	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RADIOISOTOPES	6. 最初と最後の頁 73～82
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3769/RADIOISOTOPES.68.73	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Sugita, R., Sugahara, K., Kobayashi, N. I., Hirose, A., Nakanishi, T.M., Furuta, E., Sensui, M., Tanoi, K	4. 巻 318
2. 論文標題 Evaluation of plastic scintillators for live imaging of ¹⁴ C-labeled photosynthate movement in plants	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6. 最初と最後の頁 579, 584
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10967-018-6102-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sugita, R., Kobayashi, N.I., Tanoi, K., Nakanishi, T.M.	4. 巻 318
2. 論文標題 Visualization of ¹⁴ C ₂ gas fixation by plants	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6. 最初と最後の頁 585, 590
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10967-018-6119-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 5.Sugita, R., Kobayashi, N.I., Hirose, A., Iwata, R., Suzuki, H., Tanoi, K., Nakanishi, T.M.	4. 巻 312
2. 論文標題 Visualization of how light changes affect ion movement in rice plants using a real-time radioisotope imaging system	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6. 最初と最後の頁 717-723
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10967-017-5193-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kanno, S.; Cuyas, L.; Javot, H.; Bligny, R.; Gout, E.; Dartevielle, T.; Hanchi, M.; Nakanishi, T. M.; Thibaud, M.; Nussaume, L.	4. 巻 57
2. 論文標題 Performance And Limitations Of Phosphate Quantification: Guidelines For Plant Biologists	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 690-706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcv208	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Sugita, R.; Kobayashi, N.I.; Hirose, A.; Saito, T.; Iwata, R.; Tanoi, K.; Nakanishi, T. M.	4. 巻 57
2. 論文標題 Visualization of Uptake of Mineral Elements and the Dynamics of Photosynthates in Arabidopsis by a Newly Developed Real-Time Radioisotope Imaging System (RRIS)	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 743-753
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcw056	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Bonnot, C.; Pinson, B.; Clément, M.; Bernillon, S.; Chiarenza, S.; Kanno, S.; Kobayashi, N. I.; Delannoy, E.; Nakanishi, T. M.; Nussaume, L. and Desnos, T.	4. 巻 209
2. 論文標題 A chemical genetic strategy identify the PHOSTIN, a synthetic molecule that triggers phosphate starvation responses in Arabidopsis thaliana	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 New Phytologist	6. 最初と最後の頁 161-176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/nph.13591	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kanno, S.; Arrighi, J-F.; Chiarenza, S.; Bayle, V.; Berthome, R.; Peret, B.; Javot, H.; Delannoy, E.; Marin, E.; Nakanishi, T.M.; Thibaud, M-C.; Nussaume, L.	4. 巻 5
2. 論文標題 A novel role for the root cap in phosphate uptake and homeostasis	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 eLife	6. 最初と最後の頁 e14577
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7554/eLife.14577	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kobayashi, N.I.; Sugita, R.; Nobori, T.; Tanoi, K.; Nakanishi, T.M.	4. 巻 43
2. 論文標題 Tracer experiment using 42K+ and 137Cs+ revealed the different transport rates of potassium and caesium within rice roots	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plant function and evolutionary biology	6. 最初と最後の頁 151-160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1071/FP15245	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Aramaki, T.; Sugita, R.; Hirose, A.; Kobayashi, N. I.; Tanoi, K.; Nakanishi, T. M.	4. 巻 64
2. 論文標題 Application of 42K to Arabidopsis Tissues Using Real-Time Radioisotope Imaging System(RRIS)	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Radioisotopes	6. 最初と最後の頁 169-176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcv208	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計17件(うち招待講演 1件/うち国際学会 9件)

1. 発表者名 T.M. Nakanishi, R. Sugita, N.I. Kobayashi, K. Tanoi
2. 発表標題 Visualization of C14-labeled carbon dioxide gas fixation by plants
3. 学会等名 Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry 11 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sugita, R., Sugahara, K., Kobayashi, N.I., Hirose, A., Nakanishi, T.M., Furuta, E., Sensui, M., Tanoi, K.
2. 発表標題 Live imaging of ion movement in plants using plastic scintillators
3. 学会等名 Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry 11 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 廣瀬 農
2. 発表標題 登熟中の種子内部における微量重金属元素の動態比較
3. 学会等名 日本土壤肥料学会2017年度大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sugita, R.; Kobayashi, N.I.; Hirose, A.; Tanoi, K.; Nakanishi, T.M
2. 発表標題 Live imaging of ion movement in plants by Real-Time Radioisotope Imaging System (RRIS)
3. 学会等名 IPNC 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林奈通子; 中西友子; 田野井慶太郎
2. 発表標題 イネ葉におけるマグネシウム欠乏症の進行過程で生じる鉄過剰応答の解析
3. 学会等名 日本土壤肥料学会2016年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 杉田亮平; 小林奈通子; 廣瀬 農; 田野井慶太郎; 中西友子
2. 発表標題 リアルタイムRIイメージングシステムを用いた植物体内元素動態の可視化技術の開発
3. 学会等名 2016日本放射化学会年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 杉田亮平; 小林奈通子; 廣瀬 農; 田野井慶太郎; 中西友子
2. 発表標題 シロイヌナズナにおける元素動態の可視化技術の開発
3. 学会等名 第2回植物の栄養研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 木下慶生; 根岸辰成; 廣瀬 農; 小林奈通子; 中西友子; 田野井慶太郎
2. 発表標題 凍結切片法による植物根における45Ca、35Sの分布解析
3. 学会等名 第53回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 野田祐作; 青原 勉; 新家弘也; 二瓶直登; 廣瀬 農; 田野井慶太郎; 中西友子; 古川 純; 佐藤 忍
2. 発表標題 ポプラにおけるセシウム動態の季節変動に対するカリウム輸送関連遺伝子の関与
3. 学会等名 第53回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tanoi, K.; Sugita, R.; Hirose, A.; Kobayashi, N.I.; Nakanishi, T.M.
2. 発表標題 Tools for analysing a long transport system in plant using radiotracer.
3. 学会等名 The 17th International Workshop on Plant Membrane Biology (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Sugita, R.; Kobayashi, N.I.; Hirose, A.; Tanoi, K.; Nakanishi, T.M.
2. 発表標題 Visualization of Mineral Elements movement and the Dynamics of Photosynthates in Plants by a Newly Developed Real-Time Radioisotope Imaging System (RRIS)
3. 学会等名 The 17th International Workshop on Plant Membrane Biology (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Sugita, R.; Kobayashi, N.I.; Hirose, A.; Iwata, R.; Tanoi, K.; Nakanishi, T.M.
2. 発表標題 VISUALIZATION OF THE UPTAKE OF THE ELEMENTS AND THE DYNAMICS OF PHOTOSYNTHATES DERIVED FROM ^{14}C IN PLANTS BY REAL-TIME RADIOISOTOPE IMAGING SYSTEM.
3. 学会等名 The 1st International Conference on Radioanalytical and Nuclear Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nakanishi, T.M
2. 発表標題 The thing that becomes clear by a radiation and the use of the radioisotopes for plant physiology
3. 学会等名 The 1st International Conference on Radioanalytical and Nuclear Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 杉田 亮平; 小林 奈通子; 菅野 里美; 廣瀬 農; 田野井 慶太郎; 中西 友子
2. 発表標題 リアルタイムRIイメージングシステムを用いた植物根における元素輸送解析
3. 学会等名 第52回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 杉田 亮平; 小林 奈通子; 廣瀬 農; 田野井 慶太郎; 中西 友子
2. 発表標題 非破壊RIイメージングによる植物中元素動態の可視化
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2015年度京都大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Ryohei Sugita, Natsuko I Kobayashi, Atsushi Hirose, Ren Iwata, Keitaro Tanoi, Tomoko M Nakanish
2. 発表標題 Visualization of the Uptake of the Elements and the Dynamics of Photosynthates Derived from ¹⁴ C ₂ in plants by Real-Time Radioisotope Imaging System.
3. 学会等名 Radioanalytical and Nuclear Chemistry (RANC-2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nakanishi T.M
2. 発表標題 The thing that becomes clear by a radiation and the use of the radioisotopes for plant physiology; With the findings of Fukushima nuclear accident / HEVESY AWARD lecture
3. 学会等名 Radioanalytical and Nuclear Chemistry (RANC-2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Nakanishi, T.M. and Tanoi, K	4. 発行年 2016年
2. 出版社 Springer Japan	5. 総ページ数 263
3. 書名 Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident: The First Three Years	

〔産業財産権〕

〔その他〕

放射線植物生理学研究室
<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/radio-plantphys/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	二瓶 直登 (Nihei Naoto) (50504065)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・特任准教授 (12601)	
研究分担者	岩田 錬 (Iwata Ren) (60143038)	東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター・名誉教授 (11301)	
研究分担者	山岸 順子 (Yamagishi Jyunko) (60191219)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授 (12601)	
研究分担者	杉田 亮平 (Sugita Ryohei) (60724747)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・特任助教 (12601)	
研究分担者	廣瀬 農 (Hirose Atushi) (90708372)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・特任講師 (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	大前 芳美 (Ohmae Yoshimi) (80726042)	東京大学・大学院農学生命科学研究科（農学部）・特任研究員 (12601)	削除：2017年10月2日

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関