

令和 6 年 5 月 18 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02885

研究課題名（和文）植物体内イオン動態QTLの探索を実現する放射性トレーサー計測のハイスループット化

研究課題名（英文）High Throughput Measurement of Radioactive Tracers for Searching QTL of Ion Dynamics in Plants

研究代表者

田野井 慶太郎 (Tanoi, Keitaro)

東京大学・大学院農学生命科学研究科（農学部）・教授

研究者番号：90361576

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、放射性同位体（RI）ライブイメージングとハイスループット計測手法を組み合わせた実験系を確立し、植物体内の物質動態メカニズムの解明を目指した。RIライブイメージングを用いて、亜鉛（Zn）の体内輸送に焦点を当て、OshMA3過剰発現イネにおけるZnの体内動態を明らかにした。また、ハイスループット計測手法を用いて、イネ止葉から穂への無機元素転流を解析し、大量サンプル測定方法を調節後、イオノーム解析とそれに続くGWASにおいて、転流に関するピークを得た。最後に、放射線で光る蛍光タンパク質を見出し、RIイメージングの高度化を図った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、植物栄養学分野における放射性同位体（RI）の利用範囲を拡大するものである。近年のRIイメージング技術が分子メカニズムの解析に寄与できることを示した。また、イネの止葉から穂への無機元素の動態をハイスループットに解析し、GWASにより転流に関する遺伝子座を特定した。加えて、放射線で光るタンパク質を見出し、RIイメージングの高度化に貢献した。これらの成果は植物栄養学分野に広く適用可能であり、無機元素転流に関する貴重な情報を提供するものである。さらに、これらの技術と成果は植物科学分野全般で利用可能である。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to elucidate the mechanisms of ion dynamics within plants by establishing an experimental system that combines radioactive isotope (RI) live imaging with high-throughput measurement techniques. Using RI live imaging, we focused on the long transport of zinc (Zn) and clarified the dynamics of Zn in rice overexpressing OshMA3. Additionally, we analyzed the translocation of inorganic elements from flag leaves to panicles in rice using high-throughput measurement techniques. After optimizing the measurement methods for a large number of samples, we conducted ionome analysis and subsequent GWAS, identifying peaks related to translocation. Finally, we discovered a fluorescent protein that emits light by exposure to radiation, enhancing the capabilities of RI imaging.

研究分野：放射線植物生理学

キーワード：放射性同位体 トレーサー

## 1. 研究開始当初の背景

植物のイオン吸収・輸送メカニズムを解明することは、植物の成長や作物収量、さらには食の安全の点で重要である。これまでに、ゲノムワイド関連解析 (GWAS) などゲノム解析手法の進展、植物リソースの充実、多元素の網羅的な測定を可能にする ICP-MS の普及などにより、植物体内の無機元素の移行や蓄積に関わる輸送体の同定が進んでいる。しかし元素によっては新規の輸送体は報告されなくなっている。例えば塩害の主要因となるナトリウム (Na) については、新しく整備された植物リソースを対象に葉への Na 蓄積や塩耐性を指標としたスクリーニングが精力的に行われているが、それによって同定された輸送体は、イネにおいて導管からの Na<sup>+</sup>積み下ろしを担う OsHKT1;5 や、シロイヌナズナで根細胞から体外への Na<sup>+</sup>排出を担う SOS1 など、すでに 2000 年代前半から Na<sup>+</sup>輸送への関与が示されていた既知のものであった。言い換えると、他の Na<sup>+</sup>輸送体、例えば根での Na<sup>+</sup>吸収や導管への積み込みを担う輸送体は未だに単離に至っていない。こうした輸送体は、単独では元素濃度やバイオマスに大きな変化を生じさせないものであると考えられる。このような輸送体を同定することはたとえ単独では元素濃度に変化を与えなくても、ピラミディングに必要な技術が発達してきており、複数の遺伝子をセットとして育種ターゲットになりえる時代になってきた。ナトリウムに関する上述のような現状は、バイオマスや無機元素濃度のみ頼ったスクリーニングでは新たな輸送システムの発見が難しいことを示唆している。未だ解明されていない元素動態に関わる新規分子メカニズムを解き明かすためには、新たなスクリーニング手法の開発が鍵を握っていると考えられる。

## 2. 研究の目的

放射性同位体 (RI) ライブイメージングは、得られる情報が多面的で量が多いという強みを持つが、スループットが極めて低いためにスクリーニングへの適用には不向きである。そこで、RI ライブイメージングで物質動態の概要を捉えておいた上で、スループットの良い計測手法でスクリーニングを行う実験系の確立を目的とした。

特に、元素転流に関わる分子メカニズムについては未だ不明な点が多い。そこで本研究では、根の吸収ではなく、根から地上部、地上部のソースからシンクといった、転流や再分布といった植物体内における物質動態を担うメカニズム解明を目指し、そのための実験系の確立を目的とした。

## 3. 研究の方法

(1) RI ライブイメージングにより根から葉、および根から穂などの体内輸送を捉えることができるのか、例として亜鉛を用いて実験を行った。ライブイメージング装置としては、PETIS (Positron Emitting Tracer Imaging System) を用い、放射性同位体 Zn-65 のイネ体内動態を解析した。体内動態を捉える上で、Zn の体内動態が大きくことなることが予想される OsHMA3 過剰発現イネを用いた。OsHMA3 は、液胞膜局在の Zn 輸送体であり、根において Zn を液胞に隔離することが知られている。イネは約 10 週令まで育てることで出穂したものをを用いた。栽培は、通常栽培と根域を制限した栽培との 2 通り

で行った。Zn-65 投与量は、1 植物あたり 500k-1MBq とした。

(2) イオンの転流の影響が大きいと考えられる止葉(穂が出てくる直前に出てくる最後の葉)に着目し、止葉から穂への無機元素転流の制御に関する QTL の検出を目指した。イネの拡大版コアコレクション約 200 系統、インディカコレクション約 200 系統、aus コレクション約 200 系統の合計 600 品種について圃場栽培を実施し、止葉のサンプリングを実施した。サンプリングは、8 月の出穂期と 10 月の収穫期の 2 回実施し、出穂期と収穫期の各元素の濃度差を元に QTL の検出を試みた。

(3) RI イメージング手法の高度化として、従来の板状シンチレータに依存した手法ではなく、新たにより自由な撮像を目指し、生物が作成できるシンチレータの開発を目指した。具体的には蛍光タンパク質においてシンチレーションを起こすものを探索した。

#### 4. 研究成果

(1) ライブイメージング装置における亜鉛 (Zn) の根から葉、および根から穂への体内輸送

ライブイメージングでは、根と葉の下部を撮影し、その後、植物のオートラジオグラフィを取得した。その結果、通常栽培および根域制限栽培のイネにおいて、OsHMA3 を過剰発現させたイネ (OX) では Zn が根に集積し、地上部へ輸送されないこと、通常のイネ (VC) では、溶液中の Zn が根に集積した後、地上部の節に蓄積していく様子を経時的に観察することができた (図 1)。さらに、オートラジオグラフィにおいて、通常イネ (VC) では節や穂への蓄積が、OX では根への蓄積が顕著であることが示された (図 2)。本解析により、ライブイメージングにおいて植物体内元素動態の把握を経時的に実施できることが示された。

#### Zn-65投与後42時間の積算画像

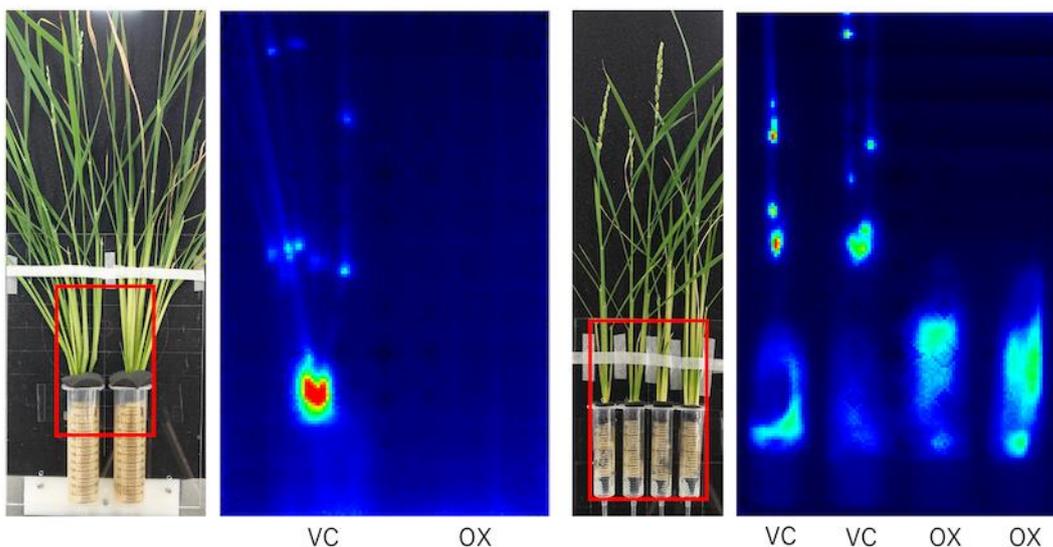


図 1 PETIS を用いた OsHMA3 を過剰発現させたイネにおける Zn-65 の吸収動態のイメージング解析。VC:ベクターコントロール、OX: OsHMA3 の過剰発現体。左図イネ: 通常栽培。右図イネ: 根圏領域制限栽培。赤線で示したエリアについて PEITS で経時的に可視化した。図は、42 時間を通じた積算画像でしめたが、実際には経時的なデータが得られており、動画として解析が可

能である。

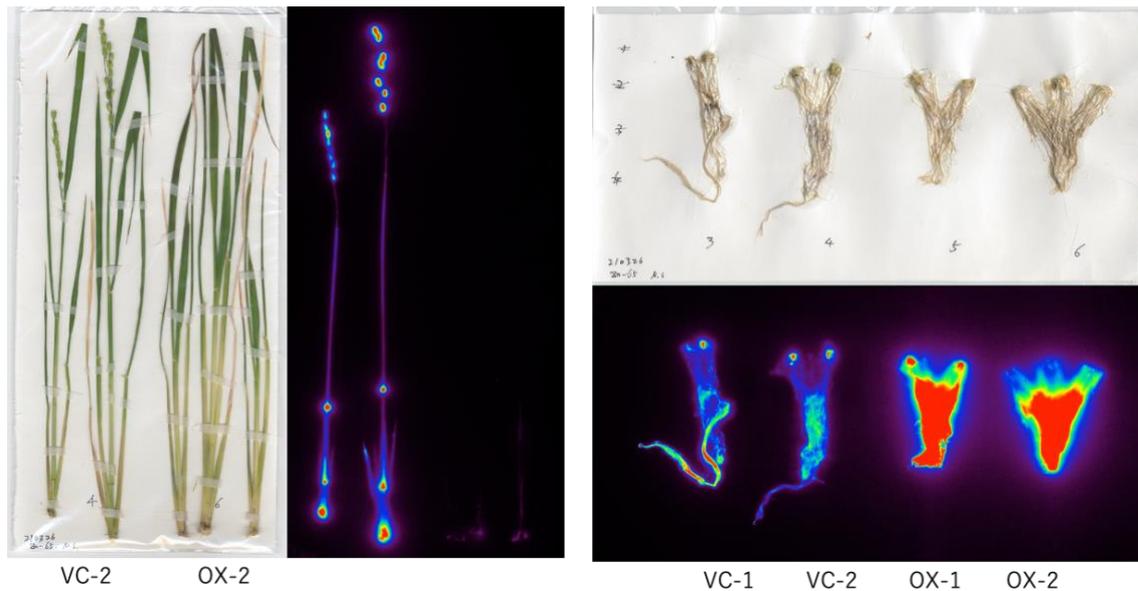


図2 PETIS 撮像後サンプルのオートラジオグラフィ。得られたサンプルは画用紙に設置した後、イメージングプレートにコンタクトし読み出すオートラジオグラフィ（正確にはラジオルミノグラフィ）を行った。VC イネでは、節のみならず穂にも Zn-65 が蓄積していること、OX イネでは根に Zn-65 を蓄積させ、地上部には輸送させないことが観察できた。

(2) 止葉から穂への無機元素転流の制御に関する GWAS 解析について、サンリングした葉は硝酸分解の後、ICP-MS で網羅的に元素測定を行った。測定対象とした元素は、B, Na, Mg, Al, P, S, K, Ca, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Mo, Cd, Cs, Ba とした。なお、Ni, Cd, Cs については検出限界以下になるサンプルが多かった。今回サンプリングした点数は合計 6000 点に及ぶことから、硝酸分解から元素測定までを効率的に行うためのプロトコール作成からスタートした。作成したプロトコールに基づき、約 6000 点のサンプルを順次測定した。その結果、Mg, K, Ca, P は比較的濃度が安定していた。多くのサンプルで K や P は出穂期の方が収穫期よりも濃度が高く、Ca は逆に収穫期の方が出穂期よりも濃度が高いなど、これまで一般的に言われていた各元素の転流の特徴が現れた結果となった。なお、Mg は出穂期と収穫期の濃度が品種によって異なるなど興味深い結果も得られた。また、As や Cd は特定の品種でのみ突出した検出が見られるなど、品種に応じた特徴も見られた。これら測定結果において、収穫期と出穂期の濃度の差分をもとに、イオノーム解析を実施した。得られたデータをクリーニングした後、多変量解析を行ったところ、寄与率は PC3 までで 60% となった。各元素のグルーピングを見てみると、止め葉からの転流が多いグループには、Mo, Mg, Zn, Rb, Cu, K, P が、転流がほとんどなされないグループには、Mn, Ca, Sr, Co, Fe がグルーピングされた (図 3A)。寄与率が 30% を超える PC1 については転流を示す軸とみなことができると考えられた (図 3B)。そこで、各サンプルの PC1 の値で GWAS 解析を実施したところ QTL が検出された。

以上の元素転流に関する解析に加え、個別の元素として As, Mg, K について GWAS を実施し、それぞれ有意に差があるとされるピークをいくつか見出すことに成功した。

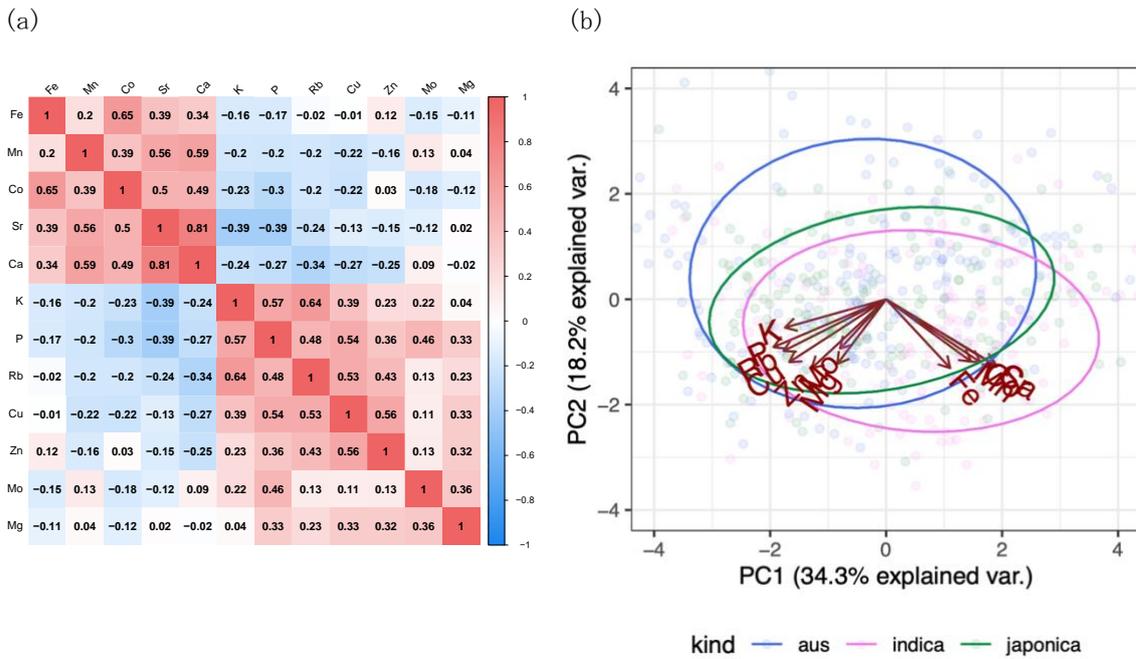


図3 止葉サンプルの出穂期と収穫期における各元素濃度差データによるイオノーム解析。(a) 元素は、転流する元素としない元素にグルーピングされた。(b) 多変量解析の結果、PC1 の寄与率は34.3%となった。

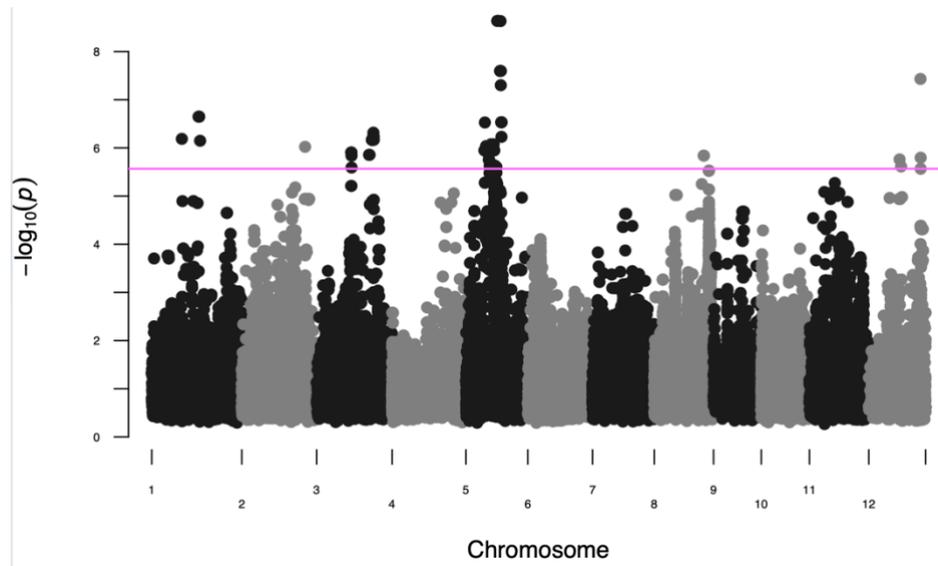


図4 止葉サンプルの出穂期と収穫期における各元素濃度差データを多変量解析した後、各サンプルのPC1の値を元にGWASを実施した結果。第5染色体を始めいくつか転流に関わるピークを得ることができた。

(3) 蛍光タンパク質においてシンチレーションを起こすものを探索した結果、青色発光の蛍光タンパク質において、 $\beta$ 線照射により発光を検出することができた。蛍光強度は、暴露する放射線強度に依存することから、これらのタンパク質は $\beta$ 線もしくは $\beta$ 線と水が相互作用して発生した活性種により励起し、蛍光を発することが示唆された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Kobayashi Natsuko I, Takagi Hiroki, Yang Xiaoyu, Nishizawa-Yokoi Ayako, Segawa Tenta, Hoshina Tatsuaki, Oonishi Takayuki, Suzuki Hisashi, Iwata Ren, Toki Seiichi, Nakanishi Tomoko M, Tanoi Keitaro | 4. 巻<br>192             |
| 2. 論文標題<br>Mutations in RZF1, a zinc-finger protein, reduce magnesium uptake in roots and translocation to shoots in rice  | 5. 発行年<br>2023年         |
| 3. 雑誌名<br>Plant Physiology   | 6. 最初と最後の頁<br>342 ~ 355 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/plphys/kiad051   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Yang Xiaoyu, Kobayashi Natsuko I, Hayashi Yoshiki, Ito Koichi, Moriwaki Yoshitaka, Terada Tohru, Shimizu Kentaro, Hattori Motoyuki, Iwata Ren, Suzuki Hisashi, Nakanishi Tomoko M, Tanoi Keitaro | 4. 巻<br>86            |
| 2. 論文標題<br>Mutagenesis Analysis of GMN Motif in <i>Arabidopsis thaliana</i> Mg <sup>2+</sup> Transporter MRS2-1  | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry  | 6. 最初と最後の頁<br>870-874 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/bbb/zbac064  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Kobayashi Natsuko I., Yang Xiaoyu, Iwata Ren, Suzuki Hisashi, Nakanishi Tomoko M., Tanoi Keitaro     | 4. 巻<br>71              |
| 2. 論文標題<br>Development of the Practical Method for Ion Influx, Efflux, and Net Flux Measurement in Plant Roots | 5. 発行年<br>2022年         |
| 3. 雑誌名<br>RADIOISOTOPES  | 6. 最初と最後の頁<br>179 ~ 184 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3769/radioisotopes.71.179   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>馬 建鋒、田野井 慶太郎、古川 純、鈴井 伸郎、Wang Peng、山地 直樹、高野 順平 | 4. 巻<br>92              |
| 2. 論文標題<br>植物の元素イメージング                                  | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>日本土壤肥科学雑誌                                     | 6. 最初と最後の頁<br>213 ~ 218 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.20710/dojo.92.2_213      | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |

|  |                   |
|--|-------------------|
| 1. 著者名<br>Ogura Takaaki, Kobayashi Natsuko I., Hermans Christian, Ichihashi Yasunori, Shibata Arisa, Shirasu Ken, Aoki Naohiro, Sugita Ryohei, Ogawa Takahiro, Suzuki Hisashi, Iwata Ren, Nakanishi Tomoko M., Tanoi Keitaro | 4. 巻<br>11        |
| 2. 論文標題<br>Short-Term Magnesium Deficiency Triggers Nutrient Retranslocation in Arabidopsis thaliana   | 5. 発行年<br>2020年   |
| 3. 雑誌名<br>Frontiers in Plant Science   | 6. 最初と最後の頁<br>563 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3389/fpls.2020.00563  | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する      |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>田野井 慶太郎                                  | 4. 巻<br>92              |
| 2. 論文標題<br>5. マグネシウムの輸送機構                          | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>日本土壌肥科学雑誌                                | 6. 最初と最後の頁<br>108 ~ 113 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.20710/dojo.92.2_108 | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件)

|                            |
|----------------------------|
| 1. 発表者名<br>田野井慶太郎          |
| 2. 発表標題<br>シンチレータの植物研究応用   |
| 3. 学会等名<br>第70回 応用物理学会春季大会 |
| 4. 発表年<br>2023年            |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>小林奈通子, 高木宏樹, 楊笑雨, 横井彩子, 瀬川天太, 星名辰信, 大西孝幸, 鈴木寿, 岩田錬, 土岐精一, 中西友子, 田野井慶太郎 |
| 2. 発表標題<br>マグネシウム含量の低いイネ変異体の解析と原因遺伝子OsRZF1の同定                                     |
| 3. 学会等名<br>第64回日本植物生理学会年会   |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>田野井 慶太郎、杉田 亮平、山下 真一、八木亜樹子、佐藤 綾人、伊丹 健一郎 |
| 2. 発表標題<br>低分子化合物ライブラリーを対象とした新規有機シンチレータの探索        |
| 3. 学会等名<br>第59回アイソトープ・放射線研究発表会                    |
| 4. 発表年<br>2022年                                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>YANG Xiaoyu; KOBAYASHI Natsuko I.; HAYASHI Yoshiki; ITO Koichi; TANOI Keitaro        |
| 2. 発表標題<br>Transport Study of Plant Mg <sup>2+</sup> Transporter AtMRS2-1 in E. coli using 28Mg |
| 3. 学会等名<br>第59回アイソトープ・放射線研究発表会  |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>小林奈通子・楊 笑雨・大西麻美・栗田悠子・加藤美砂子・田野井慶太郎 |
| 2. 発表標題<br>液胞局在型マグネシウム輸送体の機能解析               |
| 3. 学会等名<br>日本土壌肥料学会2022年度東京大会                |
| 4. 発表年<br>2022年                              |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>小高 茜、小林 奈通子、工藤 徹、加藤 美砂子、田野井 慶太郎      |
| 2. 発表標題<br>シロイヌナズナ野生系統を用いた葉内マグネシウム濃度を制御するQTLの探索 |
| 3. 学会等名<br>第63回日本植物生理学会大会                       |
| 4. 発表年<br>2022年                                 |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>小倉尚晃, 名兒耶美緒, 杉田亮平, 小林奈通子, 中西友子, 田野井慶太郎   |
| 2. 発表標題<br>Cell Type-Specific Functional Analysis of Sodium Ion Transporter SOS1 in Roots |
| 3. 学会等名<br>第63回日本植物生理学会大会   |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>名兒耶美緒, 小倉尚晃, 杉田亮平, 小林奈通子, 中西友子, 田野井慶太郎                 |
| 2. 発表標題<br>組織特異的にSOS1が発現する植物における放射性同位体の経時的イメージングを用いた根のナトリウム排出能の評価 |
| 3. 学会等名<br>第63回日本植物生理学会大会   |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Xiaoyu Yang, Natsuko I. Kobayashi, Yoshiki Hayashi, Koichi Ito, Motoyuki, Hattori, Yoshitaka Moriwaki, Keitaro Tanoi |
| 2. 発表標題<br>Mutagenesis Analysis of Arabidopsis Magnesium Ion Transporter AtMRS2-1   |
| 3. 学会等名<br>第63回日本植物生理学会大会   |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>田野井慶太郎                             |
| 2. 発表標題<br>放射性同位体イメージングと植物への応用例-放射性同位体実験へのお誘い |
| 3. 学会等名<br>日本植物学会第85回大会(招待講演)                 |
| 4. 発表年<br>2021年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Xiaoyu Yang, Natsuko I. Kobayashi, Yoshiki Hayashi, Koichi Ito, Motoyuki, Hattori, Yoshitaka Moriwaki, Keitaro Tanoi |
| 2. 発表標題<br>Metal Ion Transport Study of Plant Mg <sup>2+</sup> Transporter AtMRS2-1 Using E.Coli                                |
| 3. 学会等名<br>2022 AAAS annual meeting (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Takaaki Ogura, Ryohei Sugita, Natsuko I. Kobayashi, Tomoko M. Nakanishi, Lana Shabala, Sergey Shabala, Keitaro Tanoi |
| 2. 発表標題<br>Radioimaging and Ion Flux Analysis Identify Sodium Ion Efflux Sites in Plant Roots                                   |
| 3. 学会等名<br>2022 AAAS annual meeting (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>小倉 尚晃, 杉田 亮平, 小林 奈通子, Lana Shabala, Sergey Shabala, 中西 友子, 田野井 慶太郎 |
| 2. 発表標題<br>リアルタイム RI イメージングとイオン電極法を相補的に用いたシロイヌナズナ根からのナトリウムイオン排出部位の検討          |
| 3. 学会等名<br>第58回アイソトープ・放射線研究発表会  |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>小林 奈通子, 鈴木 寿, 岩田 練, 中西 友子, 田野井 慶太郎 |
| 2. 発表標題<br>植物の根におけるイオン動態の RI トレーサーによる定量解析     |
| 3. 学会等名<br>第58回アイソトープ・放射線研究発表会                |
| 4. 発表年<br>2021年                               |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>杉田 亮平、小林 奈通子、廣瀬 農、岩田 錬、鈴木 寿、田野井 慶太郎、中西 友子 |
| 2. 発表標題<br>リアルタイム RI イメージングを用いた光の変化がイネの元素動態に与える影響の解析 |
| 3. 学会等名<br>第58回アイソトープ・放射線研究発表会                       |
| 4. 発表年<br>2021年                                      |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>小林奈通子、高木宏樹、大西孝幸、鈴木寿、岩田錬、市橋泰範、横井彩子、土岐精一、中西友子、田野井慶太郎 |
| 2. 発表標題<br>マグネシウム含量が半減するイネ変異体の解析                              |
| 3. 学会等名<br>日本土壌肥料学会年会   |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>田野井慶太郎、杉田亮平、中西友子                    |
| 2. 発表標題<br>植物の長距離輸送を調べるための - 線放出核種の非破壊イメージング手法 |
| 3. 学会等名<br>日本土壌肥料学会年会 岡山大会                     |
| 4. 発表年<br>2020年                                |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>田野井慶太郎、杉田亮平、中西友子          |
| 2. 発表標題<br>シンチレータを用いた植物体内の放射性同位体の可視化 |
| 3. 学会等名<br>第63回放射線化学討論会（招待講演）        |
| 4. 発表年<br>2020年                      |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

|                                 |                              |               |
|---------------------------------|------------------------------|---------------|
| 産業財産権の名称<br>タンパク質シンチレーター        | 発明者<br>田野井慶太郎、千葉拓馬、永井健治、杉浦一徳 | 権利者<br>同左     |
| 産業財産権の種類、番号<br>特許、特願2023-105343 | 出願年<br>2023年                 | 国内・外国の別<br>国内 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                                      | 備考 |
|-------|--|--|----|
| 研究分担者 | 鈴木 伸郎<br>(Suzui Noburo)<br>(20391287)    | 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 量子バイオ基盤研究部・上席研究員<br>(82502) |    |
| 研究分担者 | 古川 純<br>(Furukawa Jun)<br>(40451687)     | 筑波大学・生命環境系・准教授<br>(12102)                                  |    |
| 研究分担者 | 田中 伸裕<br>(Tanaka Nobuhiro)<br>(60646230) | 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・作物研究部門・主任研究員<br>(82111)            |    |

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 |
|---------|---------|