

令和 6 年 5 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2019～2023

課題番号：19KK0148

研究課題名（和文）ラジオアイソトープ、微小電極、蛍光プローブを相補的に用いた植物根のイオン輸送解析

研究課題名（英文）Ion transport analysis in plant roots using complementary methods: radioisotopes, microelectrodes, and fluorescence probes

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） 14,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、植物の根におけるマグネシウムイオン（ Mg^{2+} ）およびナトリウムイオン（ Na^{+} ）の輸送メカニズムを明らかにすることを目的とした。当該目的を達成するために、放射性同位体、微小電極、蛍光プローブの3つの手法を相補的に用いて、イオン吸収・排出速度と細胞質内イオン濃度を解析した。 Na^{+} 排出タンパク質SOS1の機能を放射性同位体 $Na-22$ の利用により定量的に示し、微小電極法により細胞レベルでの Na^{+} 排出を明らかにした。また、 Mg 濃度が維持できない植物体における Mg 動態を $Mg-28$ を用いて根-葉の輸送様式を明らかにした他、 Mg^{2+} の蛍光プローブの植物適用に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、放射性同位体、微小電極、蛍光プローブという三つの独立した手法を組み合わせることによって、植物根のイオン輸送メカニズムを定量的・定性的かつ経時的に解析できることを示した点にある。この手法の組み合わせにより、従来の単一手法では得られなかった詳細なデータを取得でき、イオン輸送研究に新たなアプローチを提供することができた。社会的意義としては、根の Na^{+} 排出機能を定量的に解明し、この機能を強化することで耐塩性植物の育成が可能になる基盤情報を提供した点が挙げられる。この成果は、塩類土壌での農業対策に貢献し、持続可能な農業の発展に寄与する。

研究成果の概要（英文）：This study aims to elucidate the transport mechanisms of magnesium ions (Mg^{2+}) and sodium ions (Na^{+}) in plant roots. To achieve this goal, we employed three complementary methods: radioactive isotopes, microelectrodes, and fluorescent probes, to analyze ion uptake and efflux rates as well as cytoplasmic ion concentrations. The function of the Na^{+} efflux protein SOS1 was quantitatively demonstrated using the radioactive isotope $Na-22$, and the microelectrode method clarified Na^{+} efflux at the cellular level. Furthermore, using $Mg-28$, we elucidated the transport pattern of Mg from roots to leaves in plants unable to maintain Mg concentrations, and successfully applied Mg^{2+} fluorescent probes to plants.

研究分野：放射線植物生理学

キーワード：放射性同位体 微小電極法 蛍光プローブ イオン

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ミネラル欠乏土壌や高塩土壌といった問題土壌でも育つような強靱な作物を作出することは植物学上の重要な課題である。そのような強靱な作物の作出に有効な手段の一つは、根において効率的なイオン輸送(吸収・排出)機構を付与することである。例えば、耐塩性コムギの持つナトリウムイオン(Na^+)輸送体 **TmHKT1;5** をゲノムに組み込まれた塩感受性コムギは、高塩土壌での収量が約 20%増加した。この例では、耐塩性コムギと塩感受性コムギの交配によって **TmHKT1;5** を塩感受性コムギのゲノムに組み込んだが、今後はゲノム編集技術を使うことにより実用作物の作出が加速すると予想される。そこでは、有用分子の同定の重要性が増す。現在、イオンの吸収と輸送を担う輸送体分子の同定が精力的に進められ、*in vitro* やヘテロ発現系(oocyte や酵母など)での機能解析によって各分子のイオン選択性や親和性、輸送速度の情報が蓄積してきている。しかし、これらの分子を有効に活用するためには各分子が植物の生育環境の変化に応じて適切に発現し有効に機能するプロセスの解明、すなわち、ストレス応答機構の解明が求められる。

環境中のイオンの過剰や欠乏は、イオン輸送体の遺伝子発現や輸送体タンパクの細胞内局在の変化を通して、根でのイオン吸収速度の変化を引き起こすことが一部のイオンについて分かっている。また近年になって、ナトリウムイオンやカリウムイオンの輸送体タンパクの細胞内局在の変化には、リン酸化タンパク質との相互作用が必要であることが示されてきている。しかし、そもそも環境中のイオンの過剰や欠乏という情報が、遺伝子発現制御機構や輸送体タンパク質の細胞内局在の制御機構にどのように伝わるのだろうか。輸送体タンパク質の細胞内局在は、根圏へのイオン添加(過剰処理)から数分で変化が開始するというケースも報告されており、 Mg^{2+} や Na^+ の吸収についても過剰処理によって速やかに吸収速度が低下することから、遺伝子の発現や長距離シグナル伝達を伴わない環境検知機構があると予想される。植物は何を検知してイオン吸収活性を速やかに調節するのか、については、本研究分野における最大の関心事の一つであると言える。

これまで、イオン動態を解析する手段としては、植物組織に含まれる元素含量を測定する手法が主に用いられてきた。近年では、イオンプローブすなわち蛍光タンパク質等を用いることで、細胞内のイオン濃度を非破壊で捉える手法が発達してきている。さらに、オーストラリアのグループを中心に、イオン電極を利用し、細胞レベルでの極小空間でのイオンの流入・流出を捉える手法(MIFE)が、植物の根のイオン吸収・排出実験に用いられてきている。加えて、本研究の研究代表者は、放射性同位体(RI)を主要なツールとして、植物の無機イオンの吸収や排出を解析してきた。これらの手法はそれぞれに特徴があり、植物のイオン吸収の表現型を捉えるのに有用である。

2. 研究の目的

本研究では、これまでに利用されてきた各種のイオン輸送解析ツールを相補的に利用することで、イオン吸収動態の解析を高度化することを目指す。RIを用いた解析は、定量的に捉えることを得意としている一方で、解像度はそれほど高くはない。一方で、微小電極を用いた手法であるMIFEでは、細胞レベルの高い解像度での解析が可能である一方で、根全体としてどの程度のイオンの流出入があるか、といった全体を定量的に捉えることはできない。こうした互いの利点・欠点を把握した上で相補的に活用することで、根のイオン動態を多面的に捉えることを目指す。

具体的には、ナトリウムイオン・およびマグネシウムイオンでの解析を実施する。

3. 研究の方法

(1) SALT OVERLY SENSITIVE 1(SOS1)による根からのナトリウムイオン(Na^+)排出の定量解析方法の開発と根の成熟領域の排出への寄与に関する調査

これまでSOS1は根端でのみ機能が確認されていた。ここでは、根成熟領域(根端から6-11 mm)

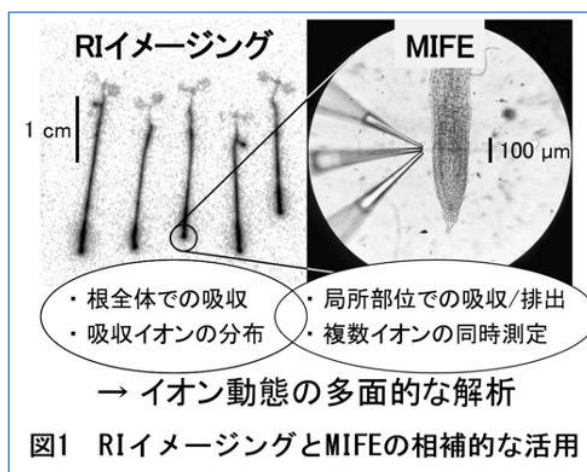


図1 RIイメージングとMIFEの相補的な活用

で SOS1 によって Na⁺排出されるかどうかを明らかにするため、エア・ギャップ・ゲルシステムと放射性同位体 Na-22 を組み合わせた実験系を開発した (図 2)

解析植物として、SOS1 をゲノム編集で欠損させたシロイヌナズナを作成し、解析に供した。

(2) 葉から根への Na⁺ recirculation (Na⁺の再転流) における SOS1 の役割の解析

RI のライブイメージング装置である、Realtime Radioisotope Imaging System (RRIS)を用いて、葉へ放射性同位体 Na-22 を添加することで、葉から根への Na-22 の動態をライブイメージングで観察した。

また、微小電極法を用いて、成熟領域と根端の Na⁺排出を経時的に解析した。

(3) マグネシウム濃度維持ができないイネにおける Mg²⁺吸収動態解析

イオンビーム照射により作成したコシヒカリ変異体プールにおいて、Mg 濃度が低い個体を選抜した。この選抜個体に対し、放射性同位体 Mg-28 を用いて、吸収および排出様式を解析した。

4. 研究成果

(1) SALT OVERLY SENSITIVE 1 (SOS1)による根からのナトリウムイオン (Na⁺) 排出の定量解析方法の開発と根の成熟領域の排出への寄与に関する調査

実験上の工夫として、根端付近から Na-22 を添加する際、pH9.2 に設定することで、SOS1 の活動を停止させることで、Na-22 が根の中に入っていけるようにした (図 3)。その結果、*sos1* 変異体は、野生型株 WT や過剰発現体 (UBQ10_1, UBQ10_2) に比べ、Na⁺の排出が減少しており (図 4)、また根での Na⁺蓄積が圧倒的に多かった (図 5)。これらのことから、SOS1 は Na⁺排出を根の成熟領域で積極的に行っていることが示された。

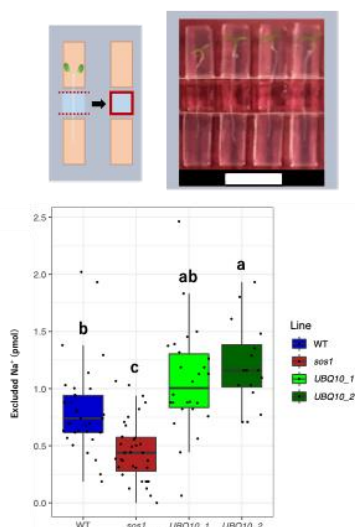


図 4 根端付近から吸収された Na-22 の根成熟領域での排出。*sos1* 変異体は成熟領域からの Na-22 排出が少なかった。

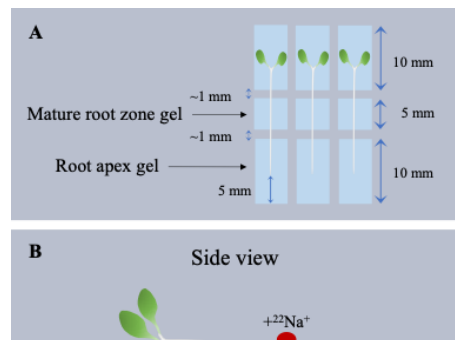


図 2 エア・ギャップ・ゲルシステムの概略図 (上から見た図:A, 横から見た図:B)

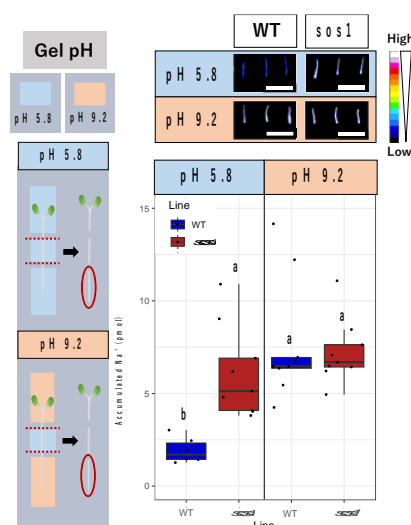


図 3 Na-22 を吸収させるために、Na-22 を添加する根端を pH9.2 にした場合の根の吸収量

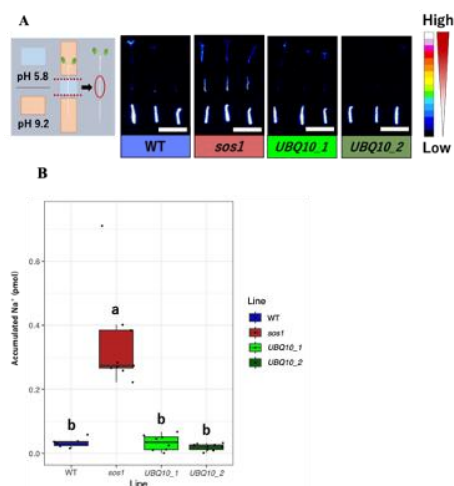


図 5 根端付近から吸収された Na-22 の根成熟領域での Na-22 蓄積量。*sos1* 変異体では成熟領域での Na-22 蓄積が見られた。

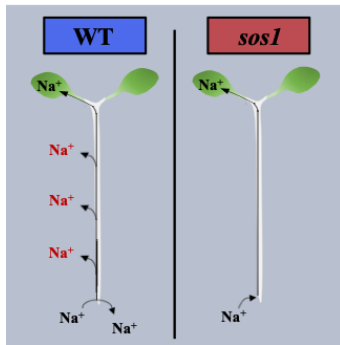


図 6 根成熟領域での Na の排出のまとめ。根端付近から吸収されて道管で輸送されていく Na は、根成熟領域において SOS1 が関わるシステムにより、根の外へと排出されることが本実験により直接的に示すことができた。

(2) 葉から根への Na⁺ recirculation (Na⁺の再転流) における SOS1 の役割の解析

植物は、ナトリウムをなるべく葉まで輸送させない仕組みがあるものの、葉に達してしまうナトリウムについては、師管に積み込み根に送り返すことが知られており、この輸送を Na⁺ recirculation と呼ばれている。本研究では、この Na⁺ recirculation を Real-time radioisotope imaging system (RRIS)を用いて可視化した。その結果、Na⁺ recirculation により根へと輸送された Na は、根から数時間のうちに排出されること、*sos1* 変異体では Na が排出されず蓄積することが示された。このことは、Na⁺ recirculation で送り返された Na を、SOS1 により根から排除する仕組みが備わっていることを示唆している(図 7) さらに、この現象について、微小電極によるイオンフラックス解析を行ったところ、根の成熟領域にて顕著な Na 排出を検出した。一方で、根端では検出されなかった(図 8)

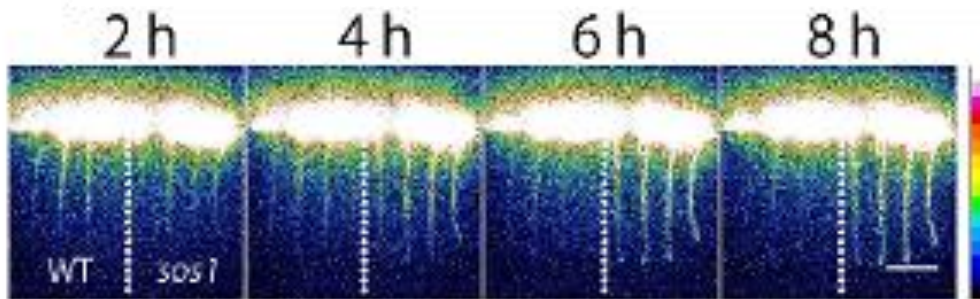


図 7 ²²Na⁺を葉面添加した際の根での残存の様子(Sugita et al., 2022)。 Real-time radioisotope imaging system (RRIS)を用いて ²²Na⁺を葉面添加した際の根での ²²Na⁺シグナルの残存の様子を撮影した。²²Na⁺を添加してから 8 時間経過後、WT では ²²Na⁺シグナルが減衰したが、*sos1* では ²²Na⁺シグナルが残存した。

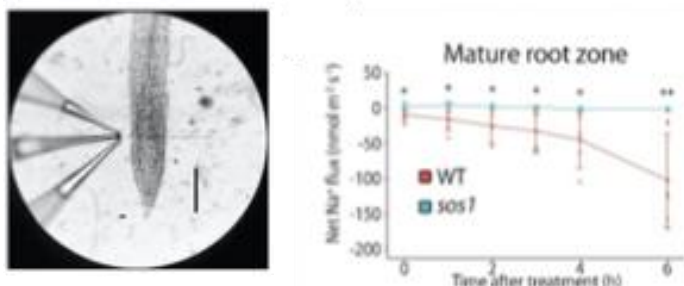


図 8 Microelectrode Ion Flux Estimation (MIFE)による Na⁺フラックス解析(Sugita et al., 2022)。(左図) MIFE による根端のフラックス測定の様子。(右図) Na⁺を葉面添加した後の Na⁺フラックス解析により、根成熟領域では Na⁺が排出されていた。

以上のことから、植物は Na⁺ recirculation で葉から根へと輸送した Na はほぼすべてを根から排除していること、その排除には SOS1 が関与していること、排除の少なくとも一部は根から根の外へと排出していることが示された。

(3) マグネシウム濃度維持ができないイネにおける Mg²⁺吸収動態解析

マグネシウムは植物の細胞内に多く含まれており、陽イオンとして様々な生体分子と結合しながら、植物が正常に生育するのに不可欠な役割を多く担っているミネラルである。近年、植物がマグネシウムを取り込む仕組みが少しずつ明らかになっていますが、植物体内のマグネシウムの濃度を最適なレベルに制御する仕組みについては不明な点が多い。本研究では、植物のマグネシウム濃度維持の仕組みを解明することを目的として、最初に、放射線を照射したことによる突然変異をしたイネの集団の中から、マグネシウム濃度を維持できないイネを選抜した。この突

然変異イネ、LMGC1 (Low Mg Content 1) はマグネシウムが欠乏した条件に弱く (図 9)、根からマグネシウムを吸収する速度が約半分に減少することに加え、根で吸収したマグネシウムを葉へと輸送する速度がおよそ 1/4 に減少していた (図 10)。原因遺伝子を MutMap+解析で探索し、遺伝子の候補を 2 つに絞った後、CRISPR/Cas9 システムによるゲノム編集の手法でそれぞれの遺伝子について欠損させたイネを作成し、できたイネのマグネシウム濃度や輸送様式を解析したところ、Os01g0555100 がコードする OsRZF1 タンパク質がマグネシウム濃度維持に必要であることがわかった (図 11)。OsRZF1 タンパク質は DNA もしくは RNA に結合するタイプのタンパク質であることから、マグネシウムの吸収や輸送の制御に関わっていることが示唆される。

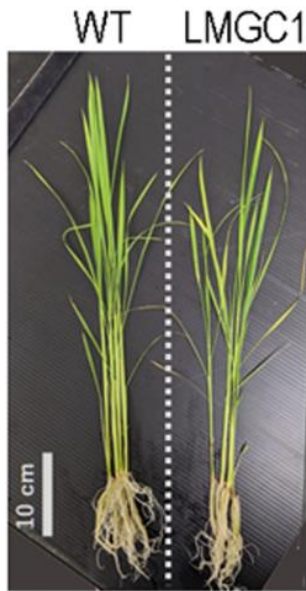


図 9 選ばれた変異体 LMGC1

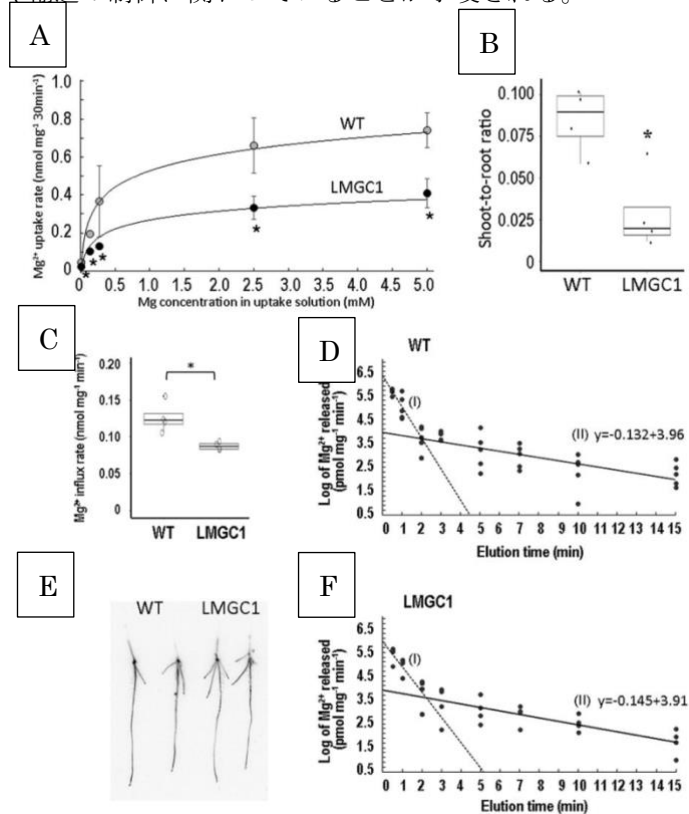


図 10 選ばれた変異体 LMGC1 は根での Mg の吸収速度が 1/4 に減少していた (A,B)。一方で、根からの Mg 排出速度は変化がなかった (C,D,E,F)。

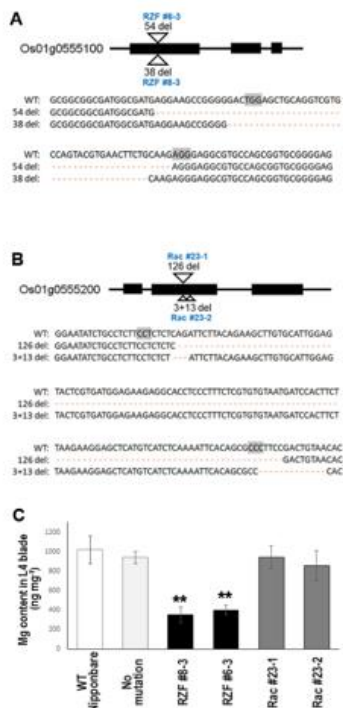


図 11 候補遺伝子 2 つをそれぞれゲノム編集で欠損させたイネを作成して Mg 濃度を測定した結果。Os01g0555100 (B) がコードする OsRZF1 タンパク質が欠損したイネは、マグネシウム濃度が低かった (C)。

(4) Mg 蛍光プローブについて

Mg²⁺プローブである MARIO を植物で利用するために、プロトプラストを用いた一過的発現実験を行った結果、Mg 処理に応じた蛍光レシオを捉えることに成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 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 192
2. 論文標題 Mutations in RZF1, a zinc-finger protein, reduce magnesium uptake in roots and translocation to shoots in rice	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Plant Physiology	6. 最初と最後の頁 342 ~ 355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/plphys/kiad051	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 Kobayashi Natsuko I., Yang Xiaoyu, Iwata Ren, Suzuki Hisashi, Nakanishi Tomoko M., Tanoi Keitaro	4. 巻 71
2. 論文標題 Development of the Practical Method for Ion Influx, Efflux, and Net Flux Measurement in Plant Roots	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 RADIOISOTOPES	6. 最初と最後の頁 179 ~ 184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3769/radioisotopes.71.179	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 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 86
2. 論文標題 Mutagenesis Analysis of GMN Motif in Arabidopsis thaliana Mg ²⁺ Transporter MRS2-1	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 870-874
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/bbb/zbac064	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 田野井 慶太郎	4. 巻 92
2. 論文標題 5. マグネシウムの輸送機構	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本土壤肥科学雑誌	6. 最初と最後の頁 108 ~ 113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20710/dojo.92.2_108	査読の有無 無
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 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 11
2. 論文標題 Short-Term Magnesium Deficiency Triggers Nutrient Retranslocation in Arabidopsis thaliana	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 563
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2020.00563	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 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 92
2. 論文標題 植物の元素イメージング	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本土壌肥科学雑誌	6. 最初と最後の頁 213 ~ 218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20710/dojo.92.2_213	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 Sugita Ryohei, Ogura Takaaki, Kobayashi Natsuko I., Gill Muhammad B., Shabala Lana, Nakanishi Tomoko M., Shabala Sergey, Tanoi Keitaro	4. 巻 2022.04.29.489905
2. 論文標題 Isotope-based visualization of element distribution in phloem provides functional evidence for the operation of SOS1 Na ⁺ /H ⁺ exchangers in mature zones of Arabidopsis root	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 bioRxiv	6. 最初と最後の頁 89905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2022.04.29.489905	査読の有無 無
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

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 田野井慶太郎
2. 発表標題 シンチレータの植物研究応用
3. 学会等名 応用物理学会第70回春季大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 名兒耶美緒、永田知輝、小倉尚晃、小林奈通子、田野井慶太郎
2. 発表標題 Na ⁺ /H ⁺ アンチポーターSOS1を組織特異的に発現させたシロイヌナズナにおけるナトリウム耐性評価
3. 学会等名 第64回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 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 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 第64回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 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 22Na を用いた経時的イメージングによる組織特異的にSOS1 が発現する植物のナトリウム排出能の評価
3. 学会等名 第59回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 YANG Xiaoyu; KOBAYASHI Natsuko I.; HAYASHI Yoshiki; ITO Koichi; TANOI Keitaro
2. 発表標題 植物 Mg ²⁺ 輸送体 AtMRS2-1 の 28Mg を用いた大腸菌での輸送研究
3. 学会等名 第59回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 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 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 第59回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 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 液胞局在型マグネシウム輸送体の機能解析
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2022年度東京大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yang X, Kobayashi NI, Hayashi Y, Ito K, Hattori M, Moriwaki Y, and Tanoi K
2. 発表標題 Metal Ion Transport Study of Plant Mg ²⁺ Transporter AtMRS2-1 Using E. coli,
3. 学会等名 AAAS Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takaaki Ogura, Ryohei Sugita, Natsuko I. Kobayashi, Tomoko M. Nakanishi, Lana Shabala, Sergey Shabala, and Keitaro Tanoi
2. 発表標題 Radioimaging and Ion Flux Analysis Identify Sodium Ion Efflux Sites in Plant Roots
3. 学会等名 AAAS Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 楊笑雨、小林奈通子、林良樹、伊藤耕一、服部素之、森脇由隆、田野井慶太郎
2. 発表標題 Mutagenesis Analysis of Arabidopsis Magnesium Ion Transporter AtMRS2-1
3. 学会等名 第63回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takaaki Ogura, Mio Nagoya, Ryohei Sugita, Natsuko I. Kobayashi, Tomoko M. Nakanishi and Keitaro Tanoi
2. 発表標題 Cell Type-Specific Functional Analysis of Sodium Ion Transporter SOS1 in Roots
3. 学会等名 第63回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 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 Evaluation of root sodium exclusion ability in plants with tissue-specific expression of SOS1 using real-time radioisotope imaging 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 第63回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akane Kodaka, Natsuko I. Kobayashi, Toru Kudo, Misako Kato, Keitaro Tanoi
2. 発表標題 Identification of QTL Regulating Leaf Magnesium Concentration by Natural Accessions in Arabidopsis thaliana 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 第63回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林奈通子、高木宏樹、大西孝幸、鈴木寿、岩田錬、市橋泰範、櫻井彩子、土岐精一、中西友子、田野井慶太郎
2. 発表標題 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 土壌肥料学会2021年度北海道大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田野井 慶太郎
2. 発表標題 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 日本植物学会第85回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田野井慶太郎、杉田亮平、中西友子
2. 発表標題 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 日本土壌肥料学会年会 岡山大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小倉尚晃, 小林奈通子, 小川隆宏, 杉田亮平, 中西友子, 田野井慶太郎
2. 発表標題 マグネシウム欠乏シロイヌナズナにおける ¹⁴ C02を用いた光合成速度および光合成産物の転流速度の評価 (¹⁴ C02 radiotracer experiment reveals the effects of magnesium deficiency on photosynthesis and photosynthate translocation in Arabidopsis thaliana)
3. 学会等名 第56回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaaki Ogura, Natsuko I. Kobayashi, Hisashi Suzuki, Ren Iwata, Tomoko M. Nakanishi and Keitaro Tanoi
2. 発表標題 Low magnesium conditions rapidly induce high-affinity magnesium transport system in Arabidopsis roots 18th International Workshop on Plant Membrane Biology
3. 学会等名 International Workshop on Plant Membrane Biology 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小倉尚晃, 小林奈通子, Hermans, Christian, 大前芳美, 市橋泰範, 柴田ありさ, 白須賢, 青木直大, 杉田亮平, 小川隆宏, 鈴木寿, 岩田錬, 中西友子, 田野井慶太郎
2. 発表標題 Short-term Magnesium Deficiency Triggers Nutrient Retranslocation in Arabidopsis thaliana (シロイヌナズナにおけるマグネシウム欠乏初期応答としての栄養元素の再転流)
3. 学会等名 第61回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林奈通子、菅原康平、堀江智明、田野井慶太郎
2. 発表標題 Na-22を用いたナトリウム輸送体の機能解析 Functional Characterization of Sodium Transporter using Na-22
3. 学会等名 第56回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	小林 奈通子 (Kobayashi Natsuko I.) (60708345)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・准教授 (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	杉田 亮平 (Sugita Ryohei) (60724747)	名古屋大学・アイソトープ総合センター・講師 (13901)	

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			
中国	復旦大学			
オーストラリア	タスマニア大学			
オーストラリア	タスマニア大学			
イタリア	ミラノ大学			