

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03783

研究課題名(和文)根分泌科学の新展開：農業生産への活用と生態学的機能

研究課題名(英文)New foresight on root exudation: utilization for agricultural production and ecological function

研究代表者

和崎 淳 (Wasaki, Jun)

広島大学・統合生命科学研究科(生)・教授

研究者番号：00374728

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、クラスター根を形成する低リン超耐性植物を材料として、クラスター根の形成や機能発現のしくみを明らかにするとともに、低リン超耐性植物の農業利用の可能性と自然環境中で示す生態学的機能を調査することを目的として実施した。その結果、クラスター根の根圏においては、通常の植物が利用できない難溶性の有機態リンが大幅に減少し、この画分から植物が吸収していることが示された。さらに、根圏を共有する植物において養分吸収全体の傾向が変化することが示された。さらに、クラスター根形成種の混植により主作物のリン吸収が増加し、リンの施肥量を低減できる可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

以上の成果は、低リン超耐性植物の持つクラスター根の機能を根圏の共有により他の作物に活用し、農業利用でできる可能性を示した。リン鉱石資源が枯渇しつつある現状で、新たな利用価値を見いだした点で大きな意義がある。また、リン可給化に関わる分子機構はかなり複雑であることも示された。特に有機酸トランスポーターの機能解明は土壌中のリンの可溶化の鍵であることから、別の因子の必要性等が示唆された本研究の結果や、シロバナルーピンのゲノム解析が進化した事実を踏まえ、今後さらなる研究の進展が期待される。

研究成果の概要(英文)：This study aimed (1) to clarify the formation of cluster roots and their function and (2) to survey the possibility to utilize on crop production and their ecological functions using cluster root-forming plants, which have super-tolerant to low-P environments. It was suggested that the sparingly soluble organic P fraction in the rhizosphere soil was mobilized by the cluster roots. It was also suggested that the nutrient accumulation pattern of neighbor plants of cluster root-forming plants was altered by rhizosphere sharing with cluster roots. P accumulation of main crop intercropped with cluster root-forming plants was higher than monocropped plants. This result suggests a possibility to decrease of usage of P fertilizer by intercropping of cluster root-forming plants.

研究分野：植物栄養学・土壌微生物学

キーワード：根圏 分泌 クラスター根 リン 有機酸 ホスファターゼ ルーピン ヤマモガシ科

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

リン酸質肥料の原料であるリン鉱石資源は涸渇に瀕している。我が国はこれを輸入に依存しているため、持続的な食料生産のためにはリンの有効活用が必要である。そのためには低リン環境で生育可能な「低リン超耐性植物」の耐性を理解し、そのしくみを活用する必要がある。

マメ科ルピナス属のシロバナルーピン(*Lupinus albus* L.)は、ブラシ状の密な側根からなる「クラスター根」を形成し、高機能な酸性ホスファターゼや多量の有機酸を分泌して土壤中未利用リンを可給化することにより、低リン超耐性を示す(図1)。また、我々はシロバナルー

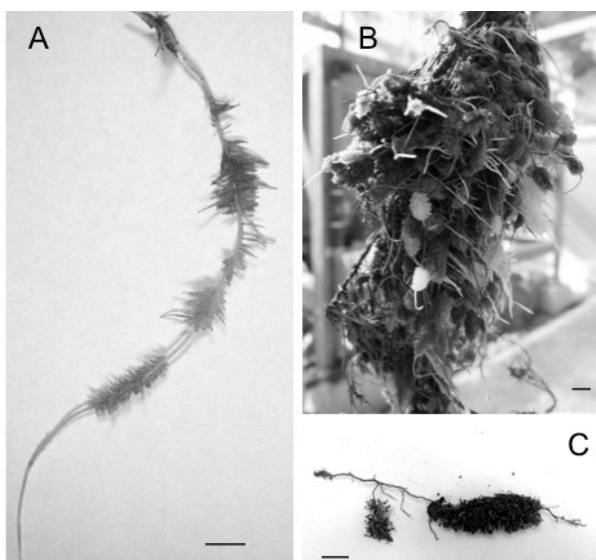


図1 低リン超耐性植物の形成したクラスター根の写真。A: シロバナルーピン, B: ピンクッションハケア, C: ヤマモガシ。バーは1 cm。

ピンと混植して根圏を共有させたトウモロコシにおいて、リン吸収が高まることを明らかにした(Dissanayaka et al. 2015)。この方法によりリンの施用量の削減につながる農業利用の可能性を示した。シロバナルーピンの混植を農業利用として実用化するためには、主作物の選択、適切なリンの施用量と土壌の性質との関係を明らかにする必要がある。

南西オーストラリアなどの極めてリン濃度の低い土壌に自生するヤマモガシ科植物は、自然環境中では成熟葉のリン濃度が極めて低い(0.4 mg-P/gDW 以下)低リン超耐性植物である。ヤマモガシ科植物もまたクラスター根を形成し、未利用リンの可給化に寄与することが示唆されているが、クラスター根の形成や機能発現のしくみについてはこれまでほとんど明らかにされていない。これまでの予備的調査において、ピンクッションハケア(*Hakea laurina* R.Br.)ではクエン酸など既知の有機酸やホスファターゼの分泌能が高いことに加え、クラスター根特異的に未同定の化合物が分泌物質中に多く存在し、量的にも多いものが含まれることが示された。

我々はこれまでに、日本に1属1種のみ分布するヤマモガシ科植物のヤマモガシ(*Helicia cochinchinensis* Lour.)が極めて低リン環境である花崗岩質土壌に自生し、クラスター根を形成することを見出した(Yamauchi et al. 2015)。また、その周辺植生においても低リン耐性を示すものが多く存在し、クラスター根様構造が見出されるなど特徴的な傾向が見られた。根から分泌される有機酸は、根圏土壌のリン酸の可給化だけでなく金属イオンをキレート化する能力が高く、かつ微生物により消費を受けることが容易である。これらのことから、クラスター根を形成する植物は周辺植生のイオン吸収や微生物群集に強く影響し、低リン環境における生態学的機能も果たしていることが推定される。

## 2. 研究の目的

リン酸質肥料の原料は涸渇に瀕しており、持続的な食料生産のためには低リン環境で生育可能な「低リン超耐性植物」の耐性を理解し、そのしくみを活用する必要がある。マメ科ルピナス属やヤマモガシ科等の低リン超耐性植物は、クラスター根を形成して適応するが、低リン環境でのクラスター根形成や有機酸分泌など機能発現のしくみの多くは未解明である。

以上の研究背景のもとに、本研究は、クラスター根を形成する低リン超耐性植物を材料とし

て、クラスター根の形成や機能発現のしくみを明らかにするとともに、低リン超耐性植物の農業利用の可能性と自然環境中で示す生態学的機能を調査することを目的として実施した。具体的には、シロバナルーピンを対象とした低リン超耐性機構の解明と農業利用を目的とした調査、低リン超耐性植物が有するリン可給化能に寄与する有機酸分泌や酸性ホスファターゼ分泌に関する分子機構の解析、日本在来のヤマモガシ科を対象とした生態学的機能の調査を実施した。

### 3. 研究の方法

#### (1) ルーピンの低リン超耐性と農業利用の可能性に関する調査

シロバナルーピンの3品種(Kievskij, Energy, Luxor)およびクラスター根を形成しないアオバナルーピン (*Lupinus angustifolius* L.) を対象として、64  $\mu$ M のリンを与えた+P区、与えない-P区で水耕栽培を行い、継時的に形質を評価した。また、温室においてポットを用いた土耕栽培を行い、根圏土壌のリン動態の変化について逐次抽出法を用いて調査を行った。さらに、トウモロコシとの混植栽培試験を実施し、リン酸質肥料の低減効果に関する検討を実施した。

#### (2) 低リン超耐性植物における根分泌能機構の解析

これまでに単離されている遺伝子の配列をもとに、低リン条件下で生育させたシロバナルーピンの根からクエン酸トランスポーター候補である MATE タイプのトランスポーターおよびリンゴ酸トランスポーター候補である ALMT タイプのトランスポーターを単離し、アフリカツメガエル卵母細胞の遺伝子発現系を用いて解析を実施した。本研究遂行期間中にシロバナルーピンのゲノムが解読されたことから、候補遺伝子の推定を追加して実施した。さらに、低リン条件下で栽培したピンクッションハケアのクラスター根および通常根を材料として RNA-seq によるトランスクリプトーム解析を実施した。また、ヤマモガシにおける養分吸収特性は未だ明らかでないため、採取した実生および砂耕栽培した実生を材料として有機酸分泌能、ホスファターゼ分泌能の調査を実施した。

#### (3) 自然環境中で示すクラスター根形成種の生態学的機能に関する調査

日本在来のクラスター根形成種であるヤマモガシを対象として調査を行った。広島県廿日市市の宮島において生育するヤマモガシと、ヤマモガシと根圏を共有する木本植物を対象に、成熟葉の元素含有率を一斉分析した。これにより、クラスター根との根圏共有により周辺に生育する植生の養分吸収に及ぼす影響を調査した。

### 4. 研究成果

#### (1) ルーピンの低リン超耐性と農業利用の可能性に関する調査

シロバナルーピンの3品種(Kievskij, Energy, Luxor)を用いて+P区、-P区で水耕栽培を行い、継時的に形質を評価した。品種間でクラスター根の形成能に違いが現れ、Kievskij で最も形成数が多く、Luxor で最も少なかった。また、-P区における地上部の生育が Kievskij で最も大きかった。根分泌物中のホスファターゼ活性およびクエン酸の分泌能はアオバナルーピンおよびシロバナルーピンの品種 Luxor で高いことが示された。また、地上部の葉における再転流効率がシロバナルーピンの3品種で高いことが示された。

土耕栽培したシロバナルーピンおよびクラスター根を形成しないアオバナルーピンを用いて根圏土壌におけるリンの動態を調査した。その結果、いずれの植物とも全リンが減少したが、その減少はシロバナルーピンで大きく、特に有機態を含む難溶性画分の減少が大きかった(図2)。

また、後述の通りヤマモガシの調査においても同様の結果が得られた。

以上のことから、シロバナルーピンにおいては Kievskij の低リン耐性が最も高く、アオバナルーピンではシロバナルーピンに劣ると結論づけられた。また、クラスター根の形成によるリン可給化機構がクラスター根形成種におけるリン吸収に重要であることが示された。

リン吸着能の低い土壌（マサ土）を用いてシロバナルーピンをトウモロコシと混植させた実験を行った。その結果、単植と比較して 35%程度のリン酸質肥料削減効果があることが示唆された。さらに、シロバナルーピンを材料として根圏の微生物群集構造解析を行ったところ、リン栄養特異的に微生物群集構造が変化することが明らかとなった。

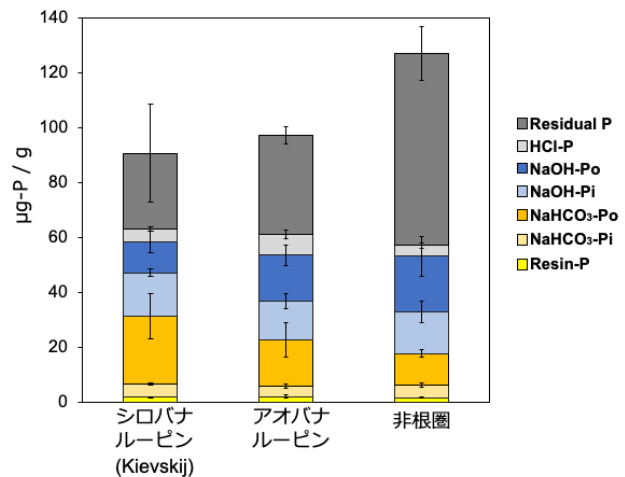


図 2 土耕栽培したシロバナルーピン、アオバナルーピンおよび非根圏土壌における各種リン画分の動態。

## (2) 低リン超耐性植物における根分泌能機構の解析

アフリカツメガエル卵母細胞の遺伝子発現系を用いて、リン酸欠乏に応答する MATE タイプトランスポーターのタンパク質 LaMATE-PII を発現させて、クエン酸放出などの輸送活性を電気生理学的手法により解析した。局在を解析するため N-末端または C-末端側に緑色蛍光タンパク質(GFP)を融合させたタンパク質を発現させたところ、N-GFP-LaMATE の方が C-GFP よりも発現がみられ、卵母細胞の細胞膜に局在することが示された。また、N-GFP-LaMATE において弱いクエン酸輸送活性が示唆される結果を得たが、別の輸送体もしくは因子が必要である可能性が考えられた。

2020 年はじめにシロバナルーピンのゲノム解読結果が公開されたことから、これまでに単離したリンゴ酸トランスポーター候補の ALMT family、クエン酸トランスポーター候補の MATE family と相同性の高い遺伝子の存在を調査したところ、MATE は合計 7 個、ALMT は合計 13 個の遺伝子が見出された。これらについて遺伝子発現量の調査を行い、一部はリン欠乏で発現が高まることが示され、新たな解析候補として追加することとした。

また、ピンクッションハケアを材料とした RNA-seq によりトランスクリプトーム解析を行った。その結果、複数の ALMT および MATE に加え、有機酸代謝に関連する遺伝子がリン欠乏条件下で発現誘導されることが示された。また、酸性ホスファターゼ、リン酸トランスポーター等のリン吸収に関わるものがリン欠乏条件のクラスター根で多く見出されたほか、リンのリサイクリングに関する非リン脂質の合成、リボヌクレアーゼと推定されるコンティグも数多く見出された。さらに、オーキシンやサイトカイニン、エチレンの機能に関する推定されるコンティグがリン欠乏条件のクラスター根で多く見出された。

以上のことから、ピンクッションハケアのクラスター根では、低リン環境下でリン吸収向上と利用効率向上のための遺伝子が活発に働くことが示された。また、クラスター根の形成にはリン欠乏条件下で成長ホルモンの機能が必要な一方、側根を短く停止させるためにエチレンが作用すると考えられた。

ヤマモガシのクラスター根におけるリン可給化に関わる根分泌能および根圏の酸性ホスファターゼ活性を調査した。その結果、ヤマモガシはこれまでに調査した中で最も有機酸分泌能が高

い植物の一つであることが明らかとなった。また、酸性ホスファターゼの活性は分泌型よりも根の表面に分布するものの活性が高いことが特徴であった。

### (3) 自然環境中で示すクラスター根形成種の生態学的機能に関する調査

ヤマモガシとの根圏の共有が周辺の木本植物の養分吸収に及ぼす影響を調査するため、オガタマノキ、ミミズバイ、ヤブツバキの単独木、ヤマモガシとの共存木について成熟葉における元素濃度の調査を行った。その結果、Mn 濃度はすべての植物種で単独木より共存木が高く、Al 濃度および As 濃度で単独木より共存木で高い傾向が示された。これらの元素は、低リン土壌で形成したヤマモガシのクラスター根からの有機酸分泌により Al や Mn が可溶化し、共存木におい

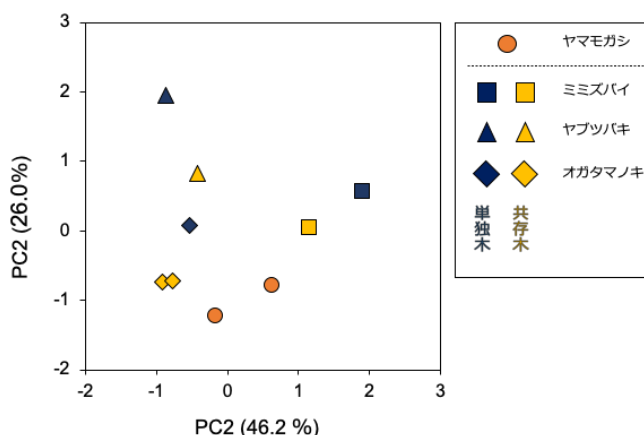


図 3 ヤマモガシおよび近傍に生育する木本植物の成熟葉における元素含有率の主成分分析の 2D-plot.

ても吸収が増加したためと考えられた。また、主成分分析の結果から、オガタマノキとヤブツバキの共存木は、ヤマモガシの影響を受けていたことが示唆された (図 3)。以上より、ヤマモガシのクラスター根は土壌における養分動態を変化させ、周囲に生育する植物の養分吸収に影響を与えることが示唆された。

ヤマモガシのクラスター根圏におけるリンの動態を調査したところ、根圏では pH が低下し、土壌中のリンが非根圏と比較して半分程度まで低下した。特に難溶性有機態リンの減少が顕著であった。さらに、砂耕栽培において個体あたりの有機酸分泌量はクラスター根の形成数と正の相関があることが示された。以上の結果より、ヤマモガシのクラスター根は、実際の土壌中からのリン吸収に寄与していることが示された。

### (4) まとめ

本研究を実施した結果、シロバナルーピンやヤマモガシのクラスター根の根圏においては、通常の植物が利用できない難溶性の有機態リンが大幅に減少し、この画分から植物が吸収していることが示された。さらに、根圏を共有する植物において養分吸収全体の傾向が変化することが示された。さらに、シロバナルーピンの混植により主作物のリン吸収が増加し、リンの施肥量を低減できる可能性が示された。以上の成果は、低リン超耐性植物の持つクラスター根の機能を根圏の共有により他の作物に活用し、農業利用できる可能性を示した。リン鉱石資源が枯渇しつつある現状で、新たな利用価値を見いだした点で大きな意義があると考えている。

一方、RNA-seq によるトランスクリプトーム解析や、有機酸トランスポーターの機能解析の結果、リン可給化に関わる分子機構はかなり複雑であることも示されてきた。特に有機酸トランスポーターの機能解明は土壌中のリンの可溶化の鍵であることから、別の因子の必要性等が示唆された本研究の結果を踏まえ、さらなる研究の進展が求められる。他のグループの見解ではあるが、シロバナルーピンのゲノム解析が進展したことは今後の解析を加速することが期待され、引き続き検討を進めていく考えである。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 橋本 洋平、和崎 淳、谷 昌幸、海野 佑介、俵谷 圭太郎、佐藤 匠、丸山 隼人	4. 巻 90
2. 論文標題 リン最前線—分子から圃場レベルの土壤肥科学と植物栄養学の連携—	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本土壤肥科学雑誌	6. 最初と最後の頁 230 ~ 235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20710/dojo.90.3_230	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 Chu Qingnan, Sha Zhimin, Maruyama Hayato, Yang Linzhang, Pan Gang, Xue Lihong, Watanabe Toshihiro	4. 巻 42
2. 論文標題 Metabolic reprogramming in nodules, roots, and leaves of symbiotic soybean in response to iron deficiency	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant, Cell & Environment	6. 最初と最後の頁 3027 ~ 3043
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/pce.13608	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 Fujiishi Manami, Maejima Eriko, Watanabe Toshihiro	4. 巻 66
2. 論文標題 Effect of mixed cropping with lupin ( <i>Lupinus albus</i> L.) on growth and nitrogen uptake in pasture grasses grown under manure application	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Archives of Agronomy and Soil Science	6. 最初と最後の頁 96 ~ 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/03650340.2019.1600673	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 西田 翔	4. 巻 90
2. 論文標題 大規模塩基配列解析技術を利用した植物の低栄養条件に対する適応機構の研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本土壤肥科学雑誌	6. 最初と最後の頁 347 ~ 348
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20710/dojo.90.5_347	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 Fukuda Makiha, Nishida Sho, Kakei Yusuke, Shimada Yukihisa, Fujiwara Toru	4. 巻 60
2. 論文標題 Genome-Wide Analysis of Long Intergenic Noncoding RNAs Responding to Low-Nutrient Conditions in <i>Arabidopsis thaliana</i> : Possible Involvement of Trans-Acting siRNA3 in Response to Low Nitrogen	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 1961 ~ 1973
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcz048	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 坪田 博美、小山 克輝、松坂 啓佑、向井 誠二、中原-坪田 美保、楨原 佳子	4. 巻 18
2. 論文標題 宮島国有林林野火災跡地の植栽地の現状 植生回復状況の予備的調査	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Hikobia	6. 最初と最後の頁 41 ~ 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Yamamoto Akihiro, Wasaki Jun, Funatsu Yuichi, Nakatsubo Takayuki	4. 巻 33
2. 論文標題 Distribution and stress tolerance of <i>Fimbristylis dichotoma</i> subsp. <i>podocarpa</i> (Cyperaceae) growing in highly acidic solfatara fields	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 971 ~ 978
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11284-018-1605-1	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 Wasaki Jun, Sakaguchi Junya, Yamamura Takuya, Ito Susumu, Shinano Takuro, Osaki Mitsuru, Kandeler Ellen	4. 巻 64
2. 論文標題 P and N deficiency change the relative abundance and function of rhizosphere microorganisms during cluster root development of white lupin ( <i>Lupinus albus</i> L.)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 686 ~ 696
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2018.1536847	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 Maruyama Hayato, Sasaki Takayuki, Yamamoto Yoko, Wasaki Jun	4. 巻 60
2. 論文標題 AtALMT3 is Involved in Malate Efflux Induced by Phosphorus Deficiency in Arabidopsis thaliana Root Hairs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 107 ~ 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcy190	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 Imai Kaoru, Sugihara Soh, Wasaki Jun, Tanaka Haruo	4. 巻 9
2. 論文標題 Effects of White Lupin and Groundnut on Fractionated Rhizosphere Soil P of Different P-Limited Soil Types in Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Agronomy	6. 最初と最後の頁 68 ~ 68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/agronomy9020068	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 Wu Liujie, Kobayashi Yuriko, Wasaki Jun, Koyama Hiroyuki	4. 巻 64
2. 論文標題 Organic acid excretion from roots: a plant mechanism for enhancing phosphorus acquisition, enhancing aluminum tolerance, and recruiting beneficial rhizobacteria	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 697 ~ 704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2018.1537093	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 Tawaraya Keitaro, Horie Ryota, Wagatsuma Tadao, Saito Kazuki, Oikawa Akira	4. 巻 64
2. 論文標題 Metabolite profiling of shoot extract, root extract, and root exudate of rice under nitrogen and phosphorus deficiency	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 312 ~ 322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2018.1476828	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 Suzuki Tadashi, Inoue Yuya, Tsubota Hiromi	4. 巻 127
2. 論文標題 Molecular phylogeny of the genus <i>Fissidens</i> (Fissidentaceae, Bryophyta) and a refinement of the infrageneric classification	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Molecular Phylogenetics and Evolution	6. 最初と最後の頁 190 ~ 202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ympev.2018.05.020	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 Nishida Sho, Dissanayaka D. M. S. B, Honda Soichiro, Tateishi Yoshiko, Chuba Masaru, Maruyama Hayato, Tawaraya Keitaro, Wasaki Jun	4. 巻 64
2. 論文標題 Identification of genomic regions associated with low phosphorus tolerance in japonica rice ( <i>Oryza sativa</i> L.) by QTL-Seq	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 278 ~ 281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2017.1412238	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 George T. S., Giles C. D., Menezes-Blackburn D., Tawaraya K., Wasaki J., et al.	4. 巻 427
2. 論文標題 Organic phosphorus in the terrestrial environment: a perspective on the state of the art and future priorities	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 191 ~ 208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11104-017-3391-x	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 Tawaraya Keitaro, Honda Soichiro, Cheng Weiguo, Chuba Masaru, Okazaki Yozo, Saito Kazuki, Oikawa Akira, Maruyama Hayato, Wasaki Jun, Wagatsuma Tadao	4. 巻 163
2. 論文標題 Ancient rice cultivar extensively replaces phospholipids with non-phosphorus glycolipid under phosphorus deficiency	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physiologia Plantarum	6. 最初と最後の頁 297 ~ 305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/pp1.12699	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 Dissanayaka D.M.S.B., Plaxton William C., Lambers Hans, Siebers Meike, Marambe Buddhi, Wasaki Jun	4. 巻 41
2. 論文標題 Molecular mechanisms underpinning phosphorus-use efficiency in rice	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant, Cell & Environment	6. 最初と最後の頁 1483 ~ 1496
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/pce.13191	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 Dissanayaka D. M. S. B., Nishida Sho, Tawaraya Keitaro, Wasaki Jun	4. 巻 64
2. 論文標題 Organ-specific allocation pattern of acquired phosphorus and dry matter in two rice genotypes with contrasting tolerance to phosphorus deficiency	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 282 ~ 290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2018.1436941	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 Schmitt Marco, Mehltreter Klaus, Sundue Michael, Testo Weston, Watanabe Toshihiro, Jansen Steven	4. 巻 104
2. 論文標題 The evolution of aluminum accumulation in ferns and lycophytes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 American Journal of Botany	6. 最初と最後の頁 573 ~ 583
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3732/ajb.1600381	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 Chu Qingnan, Sha Zhimin, Osaki Mitsuru, Watanabe Toshihiro	4. 巻 65
2. 論文標題 Contrasting Effects of Cattle Manure Applications and Root-Induced Changes on Heavy Metal Dynamics in the Rhizosphere of Soybean in an Acidic Haplic Fluvisol: A Chronological Pot Experiment	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Agricultural and Food Chemistry	6. 最初と最後の頁 3085 ~ 3095
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jafc.6b05813	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 Kariya Koki, Tsuchiya Yoshiyuki, Sasaki Takayuki, Yamamoto Yoko	4. 巻 181
2. 論文標題 Aluminium-induced cell death requires upregulation of NtVPE1 gene coding vacuolar processing enzyme in tobacco ( <i>Nicotiana tabacum</i> L.)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Inorganic Biochemistry	6. 最初と最後の頁 152 ~ 161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jinorgbio.2017.09.008	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 諸石智大、坪田博美	4. 巻 17
2. 論文標題 広島の新化植物8. 広島県宮島で生育が確認された外来木本ナンキンハゼ	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Hikobia	6. 最初と最後の頁 219 ~ 224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

〔学会発表〕 計38件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 丸山 隼人、和崎 淳
2. 発表標題 植物による根圏有機態リン利用の分子機構
3. 学会等名 日本土壌肥科学会2018年度神奈川大会シンポジウム「リン最前線：分子から圃場レベルの土壌肥科学と植物栄養学の連携」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 和崎 淳
2. 発表標題 クラスター状の根を形成する植物の根圏におけるリン動態
3. 学会等名 植物の栄養研究会 第4回研究交流会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西田 翔、福田 牧葉、寛 雄介、嶋田 幸久、和崎 淳、藤原 徹
2. 発表標題 長鎖ノンコーディングRNAを介した植物の低窒素・低リン適応戦略
3. 学会等名 日本植物学会第82回大会シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wasaki, J., Yamamoto, A., Saito, T., Tsubota, H., Watanabe, T., Nakatsubo, T.
2. 発表標題 Properties of mineral accumulation of solfatara plants in western Japan.
3. 学会等名 10th International Symposium on 'Plant-Soil Interactions at Low pH'（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Dissanayaka, D.M.S.B., Sueyoshi, M., Tateishi, Y., Nishida, S., Maruyama, H., Tawaraya, K., Wasaki, J.
2. 発表標題 P acquisition and use efficiency of two Japonica rice cultivars with contrasting tolerance to P deficiency.
3. 学会等名 6th Symposium on Phosphorus in Soils and Plants（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sugihara, S., Imai, K., Wasaki, J., Tanaka, H.
2. 発表標題 Effects of P-efficient legumes on fractionated rhizosphere P of various P-limited soil types in Japan.
3. 学会等名 6th Symposium on Phosphorus in Soils and Plants（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Furutani, H., Hanashiro, K., Fujii, Y., Maruyama, H., Sasaki, T., Wasaki, J.
2. 発表標題 Characterization of LaMATE-PI1, a candidate of citrate transporter isolated from cluster roots of white lupin.
3. 学会等名 6th Symposium on Phosphorus in Soils and Plants (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Okamura, T., Watanabe, T., Tsubota, H., Wasaki, J.
2. 発表標題 Mobilization of unavailable phosphate in the rhizosphere soil by cluster roots of <i>Helicia cochinchinensis</i> .
3. 学会等名 6th Symposium on Phosphorus in Soils and Plants (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北村 祐貴、井上 侑哉、根平 達夫、和崎 淳、坪田 博美
2. 発表標題 二ホンジカの糞が植物の成長に与える影響 (予報)
3. 学会等名 中国四国地区生物系三学会合同大会 (山口大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡村 惟史、渡部 敏裕、坪田 博美、和崎 淳
2. 発表標題 日本在来種ヤマモガシのクラスター根におけるリン可給化能
3. 学会等名 日本土壤肥料学会2018年度神奈川大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 和崎 淳、松山 理絵、栢田 元気、渡部 敏裕
2. 発表標題 日本に在来するカヤツリグサ科植物のダウシフォーム根形成と低リン耐性
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2018年度神奈川大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉井 健祐、丸山 隼人、西田 翔、和崎 淳、渡部 敏裕
2. 発表標題 アルミニウム集積植物 <i>Melastoma malabathricum</i> のアルミニウムストレスに対する初期応答
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2018年度神奈川大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今井 馨、杉原 創、和崎 淳、田中 治夫
2. 発表標題 マメ科作物の特異的なリン可給化能に土壤の化学性が与える影響の解明・第2報
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2018年度神奈川大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古川 雄也、西田 翔、和崎 淳
2. 発表標題 低リン耐性の異なるシロイヌナズナ自然系統によるリン獲得戦略
3. 学会等名 植物の栄養研究会 第4回研究交流会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古谷 浩章、花城 清俊、藤井 友美、西田 翔、佐々木 孝行、和崎 淳
2. 発表標題 シロバナルーピンのクラスター根で発現するMATEファミリートランスポーターの解析
3. 学会等名 植物の栄養研究会 第4回研究交流会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Cao, T. T. Linh, Watanabe, T., Wasaki, J.
2. 発表標題 Dynamics of cesium, potassium, and phosphorus in the rhizosphere of white lupin.
3. 学会等名 植物の栄養研究会 第4回研究交流会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐野 鼓、和崎 淳
2. 発表標題 ルーピンの低リン耐性における種間差・品種間差
3. 学会等名 植物の栄養研究会 第4回研究交流会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 亀岡 悠香、丸山 隼人、我妻 忠雄、黒田 昌治、渡部 敏裕
2. 発表標題 HMG遺伝子を過剰発現させたイネのアルミニウム耐性獲得について
3. 学会等名 日本土壌肥料学会北海道支部秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅井 徹人、徳長 そよ香、丸山 隼人、渡部 敏裕
2. 発表標題 窒素欠乏下におけるコムギの光合成特性とモリブデン集積関係
3. 学会等名 日本土壌肥料学会北海道支部秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西田 翔, 福田 牧葉, 筧 雄介, 嶋田 幸久, 藤原 徹
2. 発表標題 シロイヌナズナの低窒素応答におけるtrans-acting siRNA3の関与の可能性
3. 学会等名 第60回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和崎 淳、山本 晃弘、齋藤 天翔、坪田 博美、渡部 敏裕、中坪 孝之
2. 発表標題 硫黄荒原に分布する耐酸性植物種のイオンプロファイル
3. 学会等名 第60回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和崎 淳
2. 発表標題 低リン土壤に分布する植物の低リン耐性
3. 学会等名 第3回 植物の栄養研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 西田 翔
2. 発表標題 次世代トランスクリプトーム解析による未知の無機栄養応答機構の探索
3. 学会等名 第3回 植物の栄養研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 和崎 淳、丸山 隼人、西田 翔、俵谷 圭太郎
2. 発表標題 リン利用効率からみた植物の低リン適応戦略
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2017年度仙台大会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Dissanayaka, D.M.S.B., Nishida, S., Tawaraya, K., Wasaki, J.
2. 発表標題 Response to phosphorus deficiency of two rice genotypes with contrasting tolerance is determined by plasticity of root growth and leaf phosphorus remobilization.
3. 学会等名 18th International Plant Nutrition Colloquium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tawaraya, K., Honda, S., Cheng, W., Chuba, M., Okazaki, Y., Saito, K., Oikawa, A., Maruyama, H., Wasaki, J., Wagatsuma, T.
2. 発表標題 Remodeling of membrane lipids in older and younger leaves of two rice cultivars under phosphorus deficient condition.
3. 学会等名 18th International Plant Nutrition Colloquium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Furutani, H., Maruyama, H., Wasaki, J.
2. 発表標題 White lupin root-secreted phosphatase and organic acids have a synergistic effect to mobilize unavailable phosphorus in soil.
3. 学会等名 18th International Plant Nutrition Colloquium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hanashiro, K., Tawaraya, K., Okazaki, Y., Saito, K., Wasaki, J.
2. 発表標題 Efficient P utilization and lipid remodeling in leaves of white lupin grown under low P conditions.
3. 学会等名 18th International Plant Nutrition Colloquium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tsubota, H., Moroishi, T., Okamura, T., Uchida, S., Wasaki, J.
2. 発表標題 Habitats and growth characteristics of cluster-root-forming <i>Helicia cochinchinensis</i> (Proteaceae) in Japan.
3. 学会等名 The XIX International Botanical Congress (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Furutani, H., Hanashiro, K., Fujii, Y., Maruyama, H., Sasaki, T., Wasaki, J.
2. 発表標題 Organic acid transporters induced in cluster roots of white lupin under phosphorus deficiency.
3. 学会等名 Taiwan-Japan Plant Biology 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 古谷 浩章、丸山 隼人、渡部 敏裕、和崎 淳
2. 発表標題 土壤難利用性リン可給化におけるルーピン根分泌性酸性ホスファターゼLASAP2と有機酸の相乗効果
3. 学会等名 日本土壤肥料学会2017年度仙台大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡村 惟史、花城 清俊、丸山 隼人、依谷 圭太郎、渡部 敏裕、坪田 博美、和崎 淳.
2. 発表標題 クラスター根を形成するルーピンとヤマモガシ科植物の低リン環境下での生理応答の比較
3. 学会等名 日本土壤肥料学会2017年度仙台大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今井 馨、杉原 創、和崎 淳、田中 治夫
2. 発表標題 マメ科作物の特異的なリン可給化能に土壤の化学性が与える影響の解明
3. 学会等名 日本土壤肥料学会2017年度仙台大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 諸石 智大、井上 侑哉、和崎 淳、坪田 博美
2. 発表標題 日本産の樹木で確認されたクラスター根
3. 学会等名 日本植物分類学会第17回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松山 理絵、和崎 淳
2. 発表標題 ヤツリグサ科テンツキのダウシフォーム根形成と低リン耐性
3. 学会等名 第59回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古川 雄也、古谷 あゆ美、丸山 隼人、岡崎 主毅、信濃 卓郎、和崎 淳
2. 発表標題 シロイヌナズナ低リン耐性の自然系統間比較解析
3. 学会等名 第59回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshihiro Watanabe, Sho Nishida, Hayato Maruyama, Kensuke Yoshii, Jun Wasaki
2. 発表標題 Transcriptome analysis of <i>Melastoma malabathricum</i> under aluminum stress.
3. 学会等名 第59回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sho Nishida, Nobuhiro Tanaka, Toru Fujiwara
2. 発表標題 Involvement of a transcription factor in root-to-shoot translocation of potassium in <i>Arabidopsis thaliana</i> .
3. 学会等名 第59回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Maruyama, H., Wasaki, J. et al.	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Academic Press	5. 総ページ数 394
3. 書名 Plant Macro-Nutrient Use Efficiency: Molecular and Genomic Perspectives	

1. 著者名 大竹 久夫、和崎 淳ら	4. 発行年 2017年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 360
3. 書名 リンの事典	

〔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	坪田 博美  (Tsubota Hiromi)  (10332800)	広島大学・統合生命科学研究科・准教授    (15401)	
研究分担者	丸山 隼人  (Maruyama Hayato)  (10633951)	北海道大学・農学研究院・助教    (10101)	
研究分担者	西田 翔  (Nishida Sho)  (40647781)	佐賀大学・農学部・准教授    (17201)	

## 6. 研究組織（つづき）

	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	渡部 敏裕  (Watanabe Toshihiro)  (60360939)	北海道大学・農学研究院・准教授    (10101)	
研究 分担者	佐々木 孝行  (Sasaki Takayuki)  (60362985)	岡山大学・資源植物科学研究所・准教授    (15301)	
研究 分担者	俵谷 圭太郎  (Tawaraya Keitaro)  (70179919)	山形大学・農学部・教授    (11501)	
連携 研究者	神 繁樹  (Jin Shigeki)  (60531845)	北海道大学・保健学研究科・助教    (10101)	
連携 研究者	杉原 創  (Sugihara Soh)  (30594238)	東京農工大学・農学研究院・特任准教授    (12605)	