

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H05490

研究課題名（和文）周囲環境応答としての植物成長特性の力学的最適化の柔軟性

研究課題名（英文）Flexibility of mechanistic optimization of plant growth characteristics as a response to the environment

研究代表者

藤原 徹（Fujiwara, Toru）

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：80242163

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 67,000,000円

研究成果の概要（和文）：植物の栄養条件などの環境条件に応じた成長の変化には植物の力学特性の変化が伴う。また植物に力学刺激を与えると成長が変化する。この関係について力学特性の測定法開発も含めた検討を行った。植物の根の全体としての力学特性を測定する手法を開発し、栄養条件を変化させて育てた根の特性を測定したところ、根の伸長と力学特性に相関が見られた。また栄養屈性現象に関与する遺伝子や植物ホルモンを明らかにした。さらに植物に力学刺激を加えると、植物種や刺激の種類にもよるが、植物の成長を促進することが見出された。今回試した環境条件での成長変化と力学特性の間に相互関係が認められることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究においては、植物の根の力学特性の測定法を開発し、これまでに知られていなかった栄養条件と植物の成長、力学特性の関係を明らかにした。また細胞壁成分の変化と根の力学特性の変化の関係についても知見を得た。これらの成果はこれまでに知られていなかった関係を明らかにしたものであり、学術的意義は高いと考えている。また、植物に力学刺激を与えることによって生育が変化し、条件によっては生育を促進することができることが明らかとなり、この手法を応用して植物の生産性を高めることができる可能性が示されたことが社会的意義として価値のあるものと考えている。

研究成果の概要（英文）：Changes in plant growth in response to nutritional and other environmental conditions are accompanied by changes in plant mechanical properties. In addition, mechanical stimulation of plants causes changes in their growth. We studied this relationship, including the development of a method for measuring root mechanical properties. We developed a method to measure the mechanical properties of plant roots as a whole, and measured the properties of roots grown under different nutritional conditions, and found a correlation between root length and mechanical properties. The genes and phytohormones involved in the phenomenon of nutritropism were also identified. Furthermore, mechanical stimulation of plants was found to promote plant growth, depending on the plant species and types of stimulation. It was found that there is an interrelationship between growth changes and mechanical properties under the environmental conditions tested in this study.

研究分野：植物栄養学

キーワード：細胞壁 力学特性 栄養応答

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

植物は栄養条件に応じて成長のパターンを変化させる。例えば窒素欠乏に晒された植物は根の伸長を維持しつつ地上部の生育を抑制する傾向がある。リン酸欠乏の植物では根の分岐や根毛がより発達するようになる。このような形態変化は根が栄養条件に応じて自身の生育に必要な栄養をより効率良く吸収するためであると考えられているが、植物の根には栄養の獲得と併せて地上部を支え水分を吸収する役割がある。地上部を支えるためには太い根を広く張ることが有利であり、水分を吸収するには根を深く伸長させることが有利であると考えられる。栄養に応じた成長パターン変化は根の持つ様々な機能の発現の中で起こるものであり、それぞれの刺激がどのように関連しながら影響を及ぼし合うのかについては不明な点が多い。また、このような栄養条件に応じた根の伸長パターンの変化が起こる際には、根の力学的特性が変化していることが考えられる。根の力学特性には細胞壁が大きな役割を担っていると考えられているが、栄養条件が変化すれば細胞壁成分が変化することも知られている。このように植物の環境に応じた成長の制御には、植物の力学特性や細胞壁をはじめとする代謝の変化が関与していると思われる。逆に植物は常に力学刺激に晒されており、力学刺激を受けた植物は生育を変化させる。力学的な特性と成長の間には相互関係がある。

2. 研究の目的

本研究は植物の栄養や水分環境に対する応答について分子遺伝学的解析に加えて植物組織や細胞の力学的な側面からの理解を深めると共に、植物の力学刺激に対する応答を調査し、これらの解析を統合することを通じて、植物が持つ環境に応じた応答能力の力学的な構造を理解することを目的として進めた。

3. 研究の方法

本研究にあたっては、既存の植物変異系統を用いて、細胞壁や栄養吸収や応答と植物の成長、力学特性の関係を調査した。また、新たな変異株を単離解析し、研究材料に供した。力学特性の測定については、根全体の力学特性を測定する装置を神戸大学のグループのシステムを応用して確立し、栄養条件や細胞壁の変化に伴った力学特性の測定を行った。比較対象として奈良先端科学技術大学院大学においてAFMの測定も行った。研究項目としては、植物の栄養条件に応じた応答、植物の根の力学特性の測定とその変化、力学刺激による植物の成長の変化の3つの項目について研究を進めた。

4. 研究成果

項目毎の成果は以下の通りである。

(1) 植物の栄養条件に応じた応答

栄養屈性現象についてはイネの変異株を収集し、その原因遺伝子を推定した。原因遺伝子と推定された遺伝子については、ゲノム編集を用いた変異個体を作成し、その変異の栄養屈性に及ぼす影響を観察した。その結果、変異個体では栄養屈性はほぼ観察されなくなった。この結果から、推定された遺伝子が原因遺伝子であることを確定した。この遺伝子は植物ホルモンの一つであるオーキシンを輸送すると想定されているタンパク質をコードしており、当該植物ホルモンが栄養屈性に関与することが示唆された。また、栄養屈性を示している根の栄養に近い側と遠い側のサンプルを名古屋大学の協力で取得し網羅的な発現解析を行ったところ、複数の遺伝子の発現が近い側と遠い側で異なっていることが見出された。これらの発現の異なる遺伝子の一つをゲノム編集により変異させたところ、当該遺伝子に変異を持つ系統は栄養屈性を示さなくなった。新たな栄養屈性に関与する遺伝子を同定することができた。栄養屈性をより定量的に測定するためのシステムの開発も進めた。

栄養に対する屈性現象と水分屈性や重力屈性との関連を調べるために、根に栄養濃度の勾配と水ポテンシャル勾配の両方を与えて挙動を調べたところ、水分屈性を示す条件では栄養に対する応答が弱くなる傾向が見出された。また側根のタイプによる応答の違いも見られた。さらに栄養に対する屈性現象、栄養屈性については主根と側根の栄養屈性現象の発現の仕方が異なることや、栄養屈性を引き起こす栄養素であるアンモニア以外の栄養素であるリン酸が培地に含まれる場合と含まれない場合で、栄養屈性の程度が大きく異なることが見出された。リン酸が培地に均一に存在していても、勾配を持って存在していても、アンモニアに応答した栄養屈性の頻度が高まることが観察された。これらは異なる栄養が栄養屈性現象に異なる役割を担っていることを示しており、興味深い結果であると考えている。

(2) 植物の根の力学特性の測定とその変化

(1)で明らかにしたような植物の栄養条件に応じた成長変化は根の力学的な性質の変化が伴っ

ていると考えられるため、根の力学特性を測定するシステムの開発を進めた。神戸大学のグループが開発した、樹脂製の装置を用い測定することとした。この装置では樹脂製の細い柱の間に根を伸長させて、根によって押された柱の変位と根の直径をもとに根のヤング率を推定する原理である。装置に根を伸長させ、伸長に伴って起こる樹脂製の柱の変異と根の直径を撮影した写真から測定し、それらを元に見かけの根全体のヤング率を推定することができるようになった。この装置での測定値と、これまでに同様の測定に使われてきた AFM によって測定された測定値との関係を見るために、奈良先端科学技術大学院大学に設置された AFM を用いて、根の見かけのヤング率を測定したところ、今回開発した方法と大きな違いがないことが明らかになった。

そこで、この方法を用いて、栄養条件に応じた根の力学的な特性変化についての調査をした。栄養としては細胞壁で重要な役割を持つことが知られているホウ素を取り上げ、ホウ素条件を変化させて生育させた根の見かけのヤング率を測定した。その結果、ホウ素濃度が高い条件を除いて、低ホウ素濃度から通常のホウ素濃度の範囲ではホウ素濃度と見かけのヤング率に正の相関が認められた。この条件では、根の伸長はホウ素濃度が低い時に抑制されることが分かっており、根の伸長と見かけのヤング率の間にも正の相関があることが明らかになった。さらに、細胞壁成分に変化があることが知られている変異系統について、開発した装置を用いて見かけのヤング率を測定したところ、変異株によって、今回開発した測定で得られる力学的特性に影響を及ぼすものとそうでないものがあることが明らかになった。特定の細胞壁成分に変化がある場合にみかけのヤング率に共通の変化があることを想定していたが、必ずしもそのような結果にはならなかった。

(3) 力学刺激による植物の成長の変化

(1)(2)では栄養条件などの変化で植物の成長に違いが見られる場合の力学的特性の変化について記述をしてきたが、一方で植物は力学刺激を常に受けており、その刺激によって成長が変化する例も知られている。ここでは、人為的な力学刺激に対する植物の応答をさまざまな条件や植物で調査した。まず、ポプラの苗を毎日5分間振動させ成長に及ぼす影響を見たところ、刺激を与えた場合の方が太い根が増える傾向がみられた。さまざまな植物を同様の条件で刺激を与えたところ、刺激によって成長が変化する植物と変化しない植物に分かれた。シロイヌナズナの場合にも力学刺激によって成長が促進されることが観察されたため、シロイヌナズナに様々な力学刺激を与え、どのような刺激が成長促進をもたらすかを調査した。さらに成長促進の見られた植物の元素分析や網羅的な遺伝子発現解析を行い、成長促進が見られた植物では特有な元素組成や遺伝子発現パターンが見られることなどが明らかになった。これらの変化のうち、生育促進の原因となっている可能性のあるものについてその効果を検証した。

まとめ

以上本研究では、植物の成長制御と力学特性、植物への力学刺激と成長への影響の両側面から研究を進め、今回試した環境条件での成長変化と力学特性の間に関連が認められることが明らかになった。

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 2件／うちオープンアクセス 22件）

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Hiroguchi, A., Sakamoto, S., Mitsuda, N., Miwa, K. | 4. 巻 72(10) |
| 2. 論文標題 Golgi-localized AtTMN1/EMP12 functions in the deposition of rhamnogalacturonan II and I for cell growth in Arabidopsis | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Experimental Botany | 6. 最初と最後の頁 3611-3629 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jxb/erab065 | 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 Kandwal, P., Fujiwara, T. and Kamiya, T. | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 OsVIT2 mutation increases Fe and Zn of grain without compromising the growth in a paddy field | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science | 6. 最初と最後の頁 868611 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2022.868661 | 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 Tsednee, M., Tanaka, M., Fh Giehl, R., von Wiren, N. and Fujiwara, T. | 4. 巻 63(9) |
| 2. 論文標題 Involvement of NGATHA-Like 1 Transcription Factor in Boron Transport under Low and High Boron Conditions | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology | 6. 最初と最後の頁 1242-1252 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcac099 | 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 Shikanai, Y., Takahashi, S., Enomoto, Y., Yamagami, M., Yamaguchi, K., Shigenobu, S., Kamiya, T. and Fujiwara, T. | 4. 巻 63(10) |
| 2. 論文標題 Arabidopsis Glucan Synthase-Like1 (GSL1) Is Required for Tolerance to Low-Calcium Conditions and Exhibits a Function Comparable to GSL10 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology | 6. 最初と最後の頁 1474-1484 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcac106 | 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 Shikanai, Y., Asada, M., Sato, T., Enomoto, Y., Yamagami, M., Yamaguchi, K., Shigenobu, S., Kamiya, T. and Fujiwara, T. | 4. 巻 39(3) |
| 2. 論文標題 Role of GSL8 in low calcium tolerance in Arabidopsis thaliana | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Plant Biotechnology | 6. 最初と最後の頁 221-227 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5511/plantbiotechnology.22.0421a | 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 Sotta Naoyuki, Chiba Yukako, Miwa Kyoko, Takamatsu Seidai, Tanaka Mayuki, Yamashita Yui, Naito Satoshi, Fujiwara Toru | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Global analysis of boron induced ribosome stalling reveals its effects on translation termination and unique regulation by AUG stops in Arabidopsis shoots | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 The Plant Journal | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/tpj.15248 | 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 Wang Mengyao, Hasegawa Takahiro, Beier Marcel, Hayashi Makoto, Ohmori Yoshihiro, Yano Kenji, Teramoto Shota, Kamiya Takehiro, Fujiwara Toru | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Growth and Nitrate Reductase Activity Are Impaired in Rice Osn1p4 Mutants Supplied with Nitrate | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcab035 | 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 Beier Marcel Pascal, Tsugawa Satoru, Demura Taku, Fujiwara Toru | 4. 巻 37 |
| 2. 論文標題 Root shape adaptation to mechanical stress derived from unidirectional vibrations in <i>Populus nigra</i> | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Plant Biotechnology | 6. 最初と最後の頁 423 ~ 428 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5511/plantbiotechnology.20.0813a | 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 Feng Zhihang, Nagao Hiroshi, Li Baohai, Sotta Naoyuki, Shikanai Yusuke, Yamaguchi Katsushi, Shigenobu Shuji, Kamiya Takehiro, Fujiwara Toru | 4. 巻 184 |
| 2. 論文標題 An SMU Splicing Factor Complex Within Nuclear Speckles Contributes to Magnesium Homeostasis in Arabidopsis | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Plant Physiology | 6. 最初と最後の頁 428 ~ 442 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1104/pp.20.00109 | 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 Yamazaki, K., Ohmori, Y., Fujiwara, T. | 4. 巻 10:590 |
| 2. 論文標題 A positive tropism toward a nutrient source | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Plant and Cell physiology | 6. 最初と最後の頁 546-533 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcz218 | 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 Sotta Naoyuki, Bian Bian, Peng Danhan, Hongkham Phattharawan, Kamiya Takehiro, Niikura Satoshi, Fujiwara Toru | 4. 巻 136 |
| 2. 論文標題 Local boron concentrations in tuberous roots of Japanese radish (<i>Raphanus sativus</i> L.) negatively correlate with distribution of brown heart | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Plant Physiology and Biochemistry | 6. 最初と最後の頁 58 ~ 66 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.plaphy.2018.12.027 | 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 Mermod Melanie, Takusagawa Mari, Kurata Teruyuki, Kamiya Takehiro, Fujiwara Toru, Shikanai Toshiharu | 4. 巻 38 |
| 2. 論文標題 SQUAMOSA promoter-binding protein-like 7 mediates copper deficiency response in the presence of high nitrogen in <i>Arabidopsis thaliana</i> | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Plant Cell Reports | 6. 最初と最後の頁 835 ~ 846 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00299-019-02422-0 | 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 Kan Manman, Yamazaki Kiyoshi, Fujiwara Toru, Kamiya Takehiro | 4. 巻 67 |
| 2. 論文標題 A simple and high-throughput method for xylem sap collection | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 BioTechniques | 6. 最初と最後の頁 242 ~ 245 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2144/btn-2019-0046 | 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 Shikanai Yusuke, Yoshida Ryosuke, Hirano Tomoko, Enomoto Yusuke, Li Baohai, Asada Mayu, Yamagami Mutsumi, Yamaguchi Katsushi, Shigenobu Shuji, Tabata Ryo, Sawa Shinichiro, Okada Hiroki, Ohya Yoshikazu, Kamiya Takehiro, Fujiwara Toru | 4. 巻 182 |
| 2. 論文標題 Callose Synthesis Suppresses Cell Death Induced by Low-Calcium Conditions in Leaves | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Plant Physiology | 6. 最初と最後の頁 2199 ~ 2212 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1104/pp.19.00784 | 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 Yamazaki Kiyoshi, Ishimori Motoyuki, Kajiya-Kanegae Hiromi, Takanashi Hideki, Fujimoto Masaru, Yoneda Jun-ichi, Yano Kentaro, Koshihara Taichi, Tanaka Ryohei, Iwata Hiroyoshi, Tokunaga Tsuyoshi, Tsutsumi Nobuhiro, Fujiwara Toru | 4. 巻 70 |
| 2. 論文標題 Effect of salt tolerance on biomass production in a large population of sorghum accessions | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Breeding Science | 6. 最初と最後の頁 167 ~ 175 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1270/jsbbs.19009 | 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 Tanaka Nobuhiro, Uruguchi Shimpei, Kajikawa Masataka, Saito Akihiro, Ohmori Yoshihiro, Fujiwara Toru | 4. 巻 96 |
| 2. 論文標題 A rice PHD-finger protein OsTITANIA, is a growth regulator that functions through elevating expression of transporter genes for multiple metals | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 The Plant Journal | 6. 最初と最後の頁 997 ~ 1006 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/tpj.14085 | 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 O'Leary Ruthsabel, Kasai Koji, Clark Natalie, Fujiwara Toru, Sozzani Rosangela, Gallagher Kimberly L | 4. 巻 69 |
| 2. 論文標題 Exposure to heavy metal stress triggers changes in plasmodesmatal permeability via deposition and breakdown of callose | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Experimental Botany | 6. 最初と最後の頁 3715 ~ 3728 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jxb/ery171 | 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 Fukuda Makiha, Wakuta Shinji, Kamiyo Jio, Fujiwara Toru, Takano Junpei | 4. 巻 95 |
| 2. 論文標題 Establishment of genetically encoded biosensors for cytosolic boric acid in plant cells | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 The Plant Journal | 6. 最初と最後の頁 763 ~ 774 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/tpj.13985 | 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 Aibara Izumi, Hirai Tatsuya, Kasai Koji, Takano Junpei, Onouchi Hitoshi, Naito Satoshi, Fujiwara Toru, Miwa Kyoko | 4. 巻 177 |
| 2. 論文標題 Boron-Dependent Translational Suppression of the Borate Exporter BOR1 Contributes to the Avoidance of Boron Toxicity | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Plant Physiology | 6. 最初と最後の頁 759 ~ 774 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1104/pp.18.00119 | 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 Kobae Yoshihiro, Kameoka Hiromu, Sugimura Yusaku, Saito Katsuharu, Ohtomo Ryo, Fujiwara Toru, Kyozuka Junko | 4. 巻 59 |
| 2. 論文標題 Strigolactone Biosynthesis Genes of Rice are Required for the Punctual Entry of Arbuscular Mycorrhizal Fungi into the Roots | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology | 6. 最初と最後の頁 544 ~ 553 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcy001 | 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 Bian Bian, Kageshima Sae, Yano Kenji, Fujiwara Toru, Kamiya Takehiro | 4. 巻 69 |
| 2. 論文標題 Screening Arabidopsis thaliana mutants for low sensitivity to manganese identifies novel alleles of NRAMP1 and PGSIP6 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Experimental Botany | 6. 最初と最後の頁 1795 ~ 1803 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jxb/ery018 | 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 Sakamoto Takuya, Tsujimoto-Inui Yayoi, Sotta Naoyuki, Hirakawa Takeshi, Matsunaga Tomoko M., Fukao Yoichiro, Matsunaga Sachihiro, Fujiwara Toru | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Proteasomal degradation of BRAHMA promotes Boron tolerance in Arabidopsis | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Nature Communications | 6. 最初と最後の頁 5285-5285 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-018-07393-6 | 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30件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Beier Marcel Pascal |
| 2. 発表標題 Sucrose induced net deformation of Arabidopsis roots |
| 3. 学会等名 The 7th International Conference on Plant Cell Wall Biology |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 山崎清志・藤原 徹 |
| 2. 発表標題 イネ根の栄養屈性を制御する ENR1の機能解析 |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会2021年度北海道大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 橋本秀一・鹿内勇佑・神谷岳洋・藤原徹 |
| 2. 発表標題 サリチル酸の合成と応答は、低カルシウム条件でのシロイヌナズナの生育を抑制する |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会2021年度北海道大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Beier Marcel Pascal・王韵書・林駿平・三輪京子・肥田博隆・藤原徹 |
| 2. 発表標題 Mechanical properties of Arabidopsis thaliana roots under boron or sucrose supply |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会2021年度北海道大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Shuichi Hashimoto, Yusuke Shikanai, Takehiro Kamiya, Toru Fujiwara |
| 2. 発表標題 Possible involvement of Arabidopsis WAK (wall-associated kinase) in low-calcium response |
| 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 Yunshu Wang, Beier Marcel Pascal, Toru Fujiwara |
| 2. 発表標題 Mechanical stimulation via one-axis clinostat enhances Arabidopsis thaliana shoot growth |
| 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 | Qingnan Chu, Tsuneo Hakoyama, Makoto Hayashi, Kiminori Toyooka, Mayuko Sato, Takehiro Kamiya, Toru Fujiwara |
| 2. 発表標題 | SEN1 is responsible for molybdate transport into nodule symbiosomes for nitrogen fixation in Lotus japonicus |
| 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 | 藤原徹、山崎清志、マルセルバイヤー、肥田博隆 |
| 2. 発表標題 | マイクロビラーを用いたシロイヌナズナの根の力学特性推定法の開発 |
| 3. 学会等名 | 2020年度日本建築学会大会（関東） |
| 4. 発表年 | 2020年 |

| | |
|---------|---------------------------------|
| 1. 発表者名 | 中楚洋介・川口健一・藤原徹・山崎清志・Marcel BEIER |
| 2. 発表標題 | 2次元におけるイネ根の栄養屈性挙動の観察と生長シミュレーション |
| 3. 学会等名 | 2020年度日本建築学会大会（関東） |
| 4. 発表年 | 2020年 |

| | |
|---------|---|
| 1. 発表者名 | Beier Marcel Pascal・林 駿平・三輪京子・肥田博隆・藤原 徹 |
| 2. 発表標題 | Arabidopsis root adaption to sucrose |
| 3. 学会等名 | 日本土壌肥料学会2020年度岡山大会 |
| 4. 発表年 | 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Toru Fujiwara |
| 2. 発表標題 Requirement of callose synthesized by GSLs for low-Ca tolerance in Arabidopsis thaliana |
| 3. 学会等名 XV Cell Wall Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Beier Marcel Pascal |
| 2. 発表標題 The high-affinity potassium transporter AtHAK5 undergoes degradation upon high K ⁺ supply. |
| 3. 学会等名 第8回エンドメンブレンミーティング |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 福田寛史 |
| 2. 発表標題 Genome-wide analysis of nitrogen-dependent translational regulation in sorghum |
| 3. 学会等名 EMBO Workshop "Protein Synthesis and Translational Control" (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Beier Marcel Pascal |
| 2. 発表標題 Plant growth regulation and mechanics 植物の成長と力学 |
| 3. 学会等名 2019ホウ素栄養研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 山本 怜見 |
| 2. 発表標題 APY7欠損によるホウ素欠乏時の根の伸長促進 |
| 3. 学会等名 2019ホウ素栄養研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Beier Marcel Pascal |
| 2. 発表標題 Plant growth regulation and mechanics |
| 3. 学会等名 植物構造オプト若手の会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 名倉 涼平 |
| 2. 発表標題 イネ栄養屈性変異体のスクリーニングと温度に対する栄養屈性の変化 |
| 3. 学会等名 植物構造オプト若手の会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山本怜見 |
| 2. 発表標題 低ホウ素条件で主根が伸長するシロイヌナズナ変異株の解析 |
| 3. 学会等名 植物構造オプト若手の会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 鹿内勇佑 |
| 2. 発表標題 シロイヌナズナの低カルシウム耐性におけるカロースの役割の解析 |
| 3. 学会等名 植物構造オプト若手の会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 橋本秀一 |
| 2. 発表標題 シロイヌナズナにおける低カルシウム感受性と病害応答との関係 |
| 3. 学会等名 植物構造オプト若手の会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 鹿内勇佑 |
| 2. 発表標題 シロイヌナズナの低カルシウム感受性変異株の解析 |
| 3. 学会等名 第11回低温科学研究センター研究交流会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Beier Marcel Pascal, Shumpei Hayashi, Kyoko Miwa, Hiroataka Hida, Toru Fujiwara |
| 2. 発表標題 The influence of sucrose on Arabidopsis root diameter and mechanics |
| 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 鹿内勇佑、神谷岳洋、藤原徹 |
| 2. 発表標題 ロイヌナズナの低カルシウム応答における活性酸素種とカロースの関係の分析 |
| 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 鹿内勇佑、山上睦、重信秀治、山口勝司、神谷岳洋、藤原徹 |
| 2. 発表標題 シロイヌナズナのカロース合成酵素遺伝子の低Ca耐性における作用部位と作用様式の解析 |
| 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 田中真幸 |
| 2. 発表標題 ホウ素輸送体NIP5;1における、mRNA分解を介した転写制御機構の可能性 |
| 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 Toru Fujiwara, Mayuki Tanaka, Izumi Aibara, Naoyuki Sotta, Yui Yamashita, Seidai Takamatsu, Yukako Chiba, Kyoko Miwa, Satoshi Naito |
| 2. 発表標題 Mineral nutrient-dependent translational regulation in <i>Arabidopsis thaliana</i> |
| 3. 学会等名 RNA 2019, 24th Annual Meeting of the RNA Society (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 橋本秀一 |
| 2. 発表標題 シロイヌナズナにおけるイソコリスミ酸合成酵素遺伝子変異株の低Ca感受性の解析 |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会2019年度静岡大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山本怜見 |
| 2. 発表標題 低ホウ素条件で主根が伸長するシロイヌナズナ変異株の解析 |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会2019年度静岡大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 名倉 涼平 |
| 2. 発表標題 栄養屈性変異体のスクリーニングと温度に対する栄養屈性の変化 |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会2019年度静岡大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Naoyuki Sotta, Yukako Chiba, Hirofumi Fukuda, Kyoko Miwa, Seidai Takamatsu, Mayuki Tanaka, Yui Yamashita, Masami Yokota-Hirai, Satoshi Naito, Toru Fujiwara |
| 2. 発表標題 Global analysis of nutrient-dependent translational regulation |
| 3. 学会等名 第61回日本植物生理学会年会 |
| 4. 発表年 2020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 | 三輪 京子 (Miwa Kyoko) (50570587) | 北海道大学・地球環境科学研究所・教授 (10101) | 削除：2020年1月17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 |
|---------|---------|
|---------|---------|