

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 10 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：2015～2019

課題番号：15H05958

研究課題名（和文）植物の自律分散型情報ネットワークを支える維管束シグナル伝達の解析

研究課題名（英文）Analysis of the autonomous distributed control of signal transduction via the vascular system in plants

研究代表者

福田 裕穂 (FUKUDA, Hiroo)

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・特任教授

研究者番号：10165293

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 82,100,000 円

研究成果の概要（和文）：環境に鋭敏に応答し、個の統一性を保ちながら、様々な環境で生存する植物は、局所的な環境シグナルを植物各部に適切に伝達するしくみをもつ。植物におけるこの根源的な生存戦略を理解するために、主に2つの課題、1) 環境シグナルの仲介者としてのCLEペプチドの役割とそのしくみ、2) 長距離シグナル伝達装置としての維管束の働き、について研究した。その結果、CLEペプチドの環境応答への関与を示すと共に、乾燥ストレスの仲介シグナルとして気孔閉鎖を制御するペプチドの存在を証明した。さらに、シグナルの木部輸送の可視化法を開発し、これを用いて、木部細胞壁の性質が輸送の時空間的な制御に関与することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

植物において、局所的環境シグナルの体全体へ輸送を時空間的に制御するしくみはほとんど明らかになっていない。本研究では、CLEペプチドが環境ストレスの仲介者として働くしくみ及び細胞壁の性質による維管束のシグナル運搬の規定を明らかにした。今後は、これらの新知見を応用することで、植物のバランスのとれた成長を人為的に制御する技術の開発が可能になると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Plants can survive under various environment conditions by responding finely to different local environmental stresses and keeping integrity as an individual. For this purpose, plants have a long-distance transport system by which local environmental signals are transported to various parts adequately. To understand this mechanism, we studied two major themes; 1) roles of CLE peptides as mediators of environmental stresses and their mechanisms, and 2) A role of vascular tissues as a long-distance transport system of local signals. As a result, we succeeded in indicating the involvement of CLE peptides in various environment stresses and demonstrating that a CLE peptide regulates stomatal closure as a mediator under drought stress. In addition, we established a method visualizing xylem signal transport, by which we revealed that nature of xylem cell walls are involved in spatiotemporal regulation of signal transport.

研究分野：植物生理学

キーワード：植物生理 環境応答 細胞間シグナル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

植物は、異なる環境シグナルを的確に受容し、それを統合して適切に応答する。植物には脳に相当する器官はないものの、環境シグナルの統合のためには個体全体を統合する情報ネットワークが存在するはずである。しかし、その実体はほとんど明らかになっていない。植物には、葉での蒸散力を主な力として、根からの水や養分を地上部に運ぶ木部輸送系と光合成の活発な葉でのショ糖により生じる圧流によりショ糖を輸送する篩部輸送系が知られている。最近の研究から、これらの輸送系が、栄養分だけでなく長距離シグナル分子を運んでいる可能性が示唆されるようになってきた。しかし、多様な場所で働く多様な長距離シグナル分子が、どのようなしくみで目的地に運ばれるのか、その目的地でどのように情報の集積や処理がなされるのか、また、環境刺激がどのように局所的・長距離シグナルを誘導するかなど、多くの疑問が残されている。私たちは長年にわたり、維管束、特に木部の維管束系について、世界をリードする研究を行っている。また最近では、新たに篩部の分化系を開発しつつあり、篩部についても最先端の研究を行う準備ができつつある。一方、CLE ペプチド分子を世界で始めて同定するなど、植物シグナルについても世界をリードしている。

2. 研究の目的

植物にも個体全体を統合する情報ネットワークが存在すると考えられているが、その実体はほとんど明らかになっていない。そこで、本研究では、CLE ペプチドシグナルを中心に局所的な環境シグナル伝達と木部・篩部を介した長距離シグナル伝達のしくみとその働きについて解析を行う。

3. 研究の方法

本研究では上記目的達成のために、(1) 長距離シグナル伝達機構研究のための基盤手法の開発と維管束変異体の作出、(2) 長距離シグナルとしての CLE ペプチドの作用機構、(3) シグナルセンターとしての篩部細胞機能の解明、(4) 維管束を通じた時間情報の長距離シグナル伝達、について解析した。

4. 研究成果

(1) 長距離シグナル伝達機構研究のための基盤手法の開発と維管束変異体の作出

木部長距離輸送の可視化

蛍光色素フルオロセインを用いて木部輸送経路の可視化と定量的解析の手法を確立した(図1)。この手法を用いて、ローダミンとフルオロセインの根から地上部への輸送を解析したところ、輸送分子により、葉齢の違う葉への輸送順序や葉中での分布パターンが異なっていることが明らかとなった。

二次細胞壁関連遺伝子の過剰発現体とノックダウン変異体の整備

すでに作成していた維管束が途切れる変異体を整備した。また、私たちが作出した 101 種の二次細胞壁関連遺伝子を木部細胞特異的に導入した組換え植物体ラインの検定を行い、その遺伝子発現レベルを測定すると共に、遺伝子の構造を明らかにした。

木部長距離輸送系の制御因子

開発した木部長距離輸送可視化系を用いて、木部細胞壁と環境による輸送への影響について解析した。木部細胞壁の関与については、上述の木部細胞壁改変変異体ラインを用い、蛍光色素の木部長距離輸送パターンを変える変異体をスクリーニングした。その結果、リグニンとヘミセルロースの改変が物質の輸送パターンを変えること、さらには環境の変化による輸送パターンの変化と細胞壁の変化が関係することが明らかとなった。これらの結果から、木部長距離輸送における荷の送り先やそのパターンは、環境や細胞壁により制御されることが示された。

(2) 長距離シグナルとしての CLE ペプチドの作用機構

CLE ペプチドの長距離輸送

開発した可視化手法を用いて、類似の 3 種の CLE ペプチド、CLE25、CLE26、CLE45 に低分子の蛍光物質を結合し、地下部から地上部への木部長距離輸送を解析した(図2)。その結果、1 アミノ酸の違いが CLE ペプチドの長距離輸送パターンを変えることを見いだした。これらの結果から、木部長距離輸送は単に物質を送り届けるものではなく、荷によりその輸送が制御される可

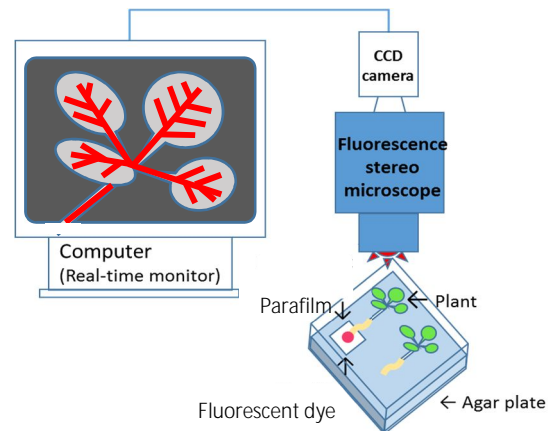
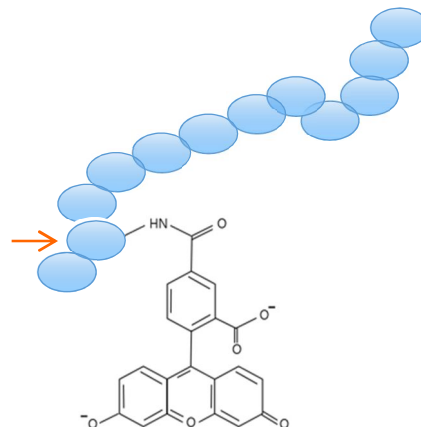


図1 木部長距離輸送の可視化

能性が示唆された。

新学術領域研究【環境記憶統合】のメンバーである篠崎和子班員、高橋史憲班員と共同で、乾燥ストレスのメディエータとしての CLE25 の働きを研究した。その結果、乾燥ストレスにより、根で作られた CLE25 が地上部に木部を介して長距離輸送され、地上部で ABA 合成を誘導することで、植物における乾燥応答が誘導されることを明らかにした。



5(6)-carboxyfluorescein

CLE45-FAM: R(Lys[5(6)FAM])VRRGSDPIHN

図2 蛍光ペプチド

CLE1-CLE7 ペプチドの環境応答

CLE1-CLE7 の7種のペプチドは、環境に応じた長距離輸送が予測されているが、その実態はほとんど明らかにされていない、類似配列をもつペプチド群である。そこでまず、乾燥、光環境、窒素環境、低温などの環境下における CLE1-CLE7 遺伝子の発現を解析した。その結果、様々な環境ストレスにより、これらの遺伝子は独自の発現パターンを示すことが明らかになった。この結果は、これらのペプチドが環境刺激のメディエータとして働く可能性を示した。

CLE2 と CLE3 の働き

CLE2 ペプチドと CLE3 ペプチドの機能を明らかにするために、CRISPR-Cas9 を用いて機能欠損変異体を作成するとともに、それぞれの遺伝子を局所的に誘導できる植物体を作成した。これらを用いて、下流シグナルの解析を行うとともに、環境ストレス下での突然変異体の表現型を解析した。その結果、これらの遺伝子は根で強く発現すること、根でこれらの遺伝子を過剰発現させると、地上部で様々な遺伝子が発現され、システム的な効果を持つことが明らかになった。また、表現型の解析から、CLE2 は光シグナルのメディエータとなる可能性が示唆された。

CLE5 の働き

CLE5 遺伝子は乾燥処理により、速やかにその発現が上昇した。そこで、この CLE5 の働きとシグナル伝達について解析した。まず、新学術領域研究【環境記憶統合】のメンバーである松林嘉克班員と共同でペプチドの構造を解析し、糖鎖をもつ 12 アミノ酸が CLE5 の機能型ペプチドであることを証明した。一方で、糖鎖をもたないペプチドも機能を持つが糖鎖ペプチドの 1/10 の活性であった。さらに、このペプチドは気孔の開閉を通してその機能を果たすことを明らかにした。そして、この機能発現のためのシグナル伝達系の主要因子である、ペプチド受容体およびその下流シグナル分子を明らかにし、そのシグナル系の全貌を示すことに成功した。

(3) シグナルセンターとしての篩部細胞機能の解明

私たちが開発したシロイヌナズナ組織培養実験系 VISUAL を用いて、物質輸送の運搬組織である篩管とそれを支える伴細胞の分化系を確立した。この解析のために、新学術領域研究【環境記憶統合】のメンバーである松永幸大班員との共同で VISUAL 系の透明化を行なった。さらに、この分化のしくみを解析し、維管束幹細胞からの篩管と伴細胞の分化スイッチを制御しているのは GSK3 キナーゼ活性であることを見いだした。そして、GSK3 の活性を制御することにより、篩部における伴細胞と篩部要素の割合を変えることに成功した。さらに、この実験系を用いたトランスクリプトーム解析により、篩部組織を担う2種の細胞機能の違いを明らかにすることに成功した。

(4) 維管束を通じた時間情報の長距離シグナル伝達

組織ごとの概日時計の調査を行い、維管束の概日時計は日長依存的な花成制御を行い、表皮の概日時計は温度依存的な細胞伸長制御を行っていることを示し、組織ごとに概日時計の特性が異なっていることを明らかにした。これらの異なる組織間での時間情報が維管束を介してやり取りされている可能性を幅広い植物種で検証するため、トマトやダイズなどの維管束単離法を確立した。また、カリウムイオンを根に投与すると、1-2時間以内に地上部の概日リズムの位相前進が起こったことから、根からの栄養シグナルが地下部から地上部への時間情報の伝達に関わっていると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計42件（うち査読付論文 40件／うち国際共著 7件／うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Fukuda Hiroo, Hardtke Christian S.	4. 巻 182
2. 論文標題 Peptide signaling pathways in vascular differentiation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Physiology	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1104/pp.19.01259	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 Nurani Alif Meem, Ozawa Yasuko, Furuya Tomoyuki, Sakamoto Yuki, Ebine Kazuo, Matsunaga Sachihito, Ueda Takashi, Fukuda Hiroo, Kondo Yuki	4. 巻 61
2. 論文標題 Deep Imaging Analysis in VISUAL Reveals the Role of YABBY Genes in Vascular Stem Cell Fate Determination	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 255 ~ 264
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/pcp/pcaa002	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 Tamaki Tamaki, Oya Satoyo, Naito Makiko, Ozawa Yasuko, Furuya Tomoyuki, Saito Masato, Sato Mayuko, Wakazaki Mayumi, Toyooka Kiminori, Fukuda Hiroo, Helariutta Yka, Kondo Yuki	4. 巻 3
2. 論文標題 GSK3 activity is a cell fate switch that balances the ratio of vascular cell type.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s42003-020-0907-3	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 該当する
1. 著者名 Ohashi-Ito Kyoko, Iwamoto Kuninori, Nagashima Yoshinobu, Kojima Mikiko, Sakakibara Hitoshi, Fukuda Hiroo	4. 巻 60
2. 論文標題 A Positive Feedback Loop Comprising LHW-TM05 and Local Auxin Biosynthesis Regulates Initial Vascular Development in Arabidopsis Roots	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 2684 ~ 2691
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/pcp/pcz156	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 Betsuyaku Shigeyuki、Nomura Nobuhiko、Fukuda Hiroo	4. 巻 144
2. 論文標題 A Versatile Method for Mounting Arabidopsis Leaves for Intravital Time-lapse Imaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Visualized Experiments	6. 最初と最後の頁 e5914
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3791/59147	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 Sugiyama Yuki、Nagashima Yoshinobu、Wakazaki Mayumi、Sato Mayuko、Toyooka Kiminori、Fukuda Hiroo、Oda Yoshihisa	4. 巻 10
2. 論文標題 A Rho-actin signaling pathway shapes cell wall boundaries in Arabidopsis xylem vessels	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 no. 468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-08396-7	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 Fukuda Hiroo、Ohashi-Ito Kyoko	4. 巻 131
2. 論文標題 Vascular tissue development in plants	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant Development and Evolution	6. 最初と最後の頁 141 ~ 160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/bs.ctdb.2018.10.005	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 Betsuyaku Shigeyuki、Katou Shinpei、Takebayashi Yumiko、Sakakibara Hitoshi、Nomura Nobuhiko、Fukuda Hiroo	4. 巻 59
2. 論文標題 Salicylic Acid and Jasmonic Acid Pathways are Activated in Spatially Different Domains Around the Infection Site During Effector-Triggered Immunity in Arabidopsis thaliana	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 439 ~ 439
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1093/pcp/pcy008	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 Saito Masato, Kondo Yuki, Fukuda Hiroo	4. 巻 59
2. 論文標題 BES1 and BZR1 Redundantly Promote Phloem and Xylem Differentiation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 590 ~ 600
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1093/pcp/pcy012	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 Yamazaki Kyoko, Kondo Yuki, Kojima Mikiko, Takebayashi Yumiko, Sakakibara Hitoshi, Fukuda Hiroo	4. 巻 94
2. 論文標題 Suppression of DELLA signaling induces procambial cell formation in culture	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Plant Journal	6. 最初と最後の頁 48 ~ 59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1111/tpj.13840	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 Ohashi-Ito Kyoko, Iwamoto Kuninori, Fukuda Hiroo	4. 巻 59
2. 論文標題 LOB DOMAIN-CONTAINING PROTEIN 15 Positively Regulates Expression of VND7, a Master Regulator of Tracheary Elements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 989 ~ 996
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1093/pcp/pcy036	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 Takahashi Fuminori, Suzuki Takehiro, Osakabe Yuriko, Betsuyaku Shigeyuki, Kondo Yuki, Dohmae Naoshi, Fukuda Hiroo, Yamaguchi-Shinozaki Kazuko, Shinozaki Kazuo	4. 巻 556
2. 論文標題 A small peptide modulates stomatal control via abscisic acid in long-distance signalling	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 235 ~ 238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1038/s41586-018-0009-2	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 Nagashima Yoshinobu, Tsugawa Satoru, Mochizuki Atsushi, Sasaki Takema, Fukuda Hiroo, Oda Yoshihisa	4. 巻 8
2. 論文標題 A Rho-based reaction-diffusion system governs cell wall patterning in metaxylem vessels	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI:10.1038/s41598-018-29543-y	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 Endo Satoshi, Iwai Yumi, Fukuda Hiroo	4. 巻 222
2. 論文標題 Cargo dependent and cell wall associated xylem transport in Arabidopsis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 New Phytologist	6. 最初と最後の頁 159 ~ 170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1111/nph.15540	査読の有無 無
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 Nurani Alif Meem, Kondo Yuki, Fukuda Hiroo	4. 巻 10
2. 論文標題 Ectopic Vascular Induction in Arabidopsis Cotyledons for Sequential Analysis of Phloem Differentiation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant Transcription Factors- Method and Protocols	6. 最初と最後の頁 149 ~ 159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-1-4939-8657-6_10	査読の有無 無
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 Saito Masato, Kondo Yuki, Fukuda Hiroo	4. 巻 59
2. 論文標題 BES1 and BZR1 Redundantly Promote Phloem and Xylem Differentiation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant Cell Physiol.	6. 最初と最後の頁 590 ~ 600
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1093/pcp/pcy012	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 Yamazaki Kyoko, Kondo Yuki, Kojima Mikiko, Takebayashi Yumiko, Sakakibara Hitoshi, Fukuda Hiroo	4. 巻 94
2. 論文標題 Suppression of DELLA signaling induces procambial cell formation in culture	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant J.	6. 最初と最後の頁 48-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/tbj.13840	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 Guo Xiaoli, Wang Jianying, Gardner Michael, Fukuda Hiroo, Kondo Yuki, Etchells J. Peter, Wang Xiaohong, Mitchum Melissa Goellner	4. 巻 13
2. 論文標題 Identification of cyst nematode B-type CLE peptides and modulation of the vascular stem cell pathway for feeding cell formation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PLOS Pathogens	6. 最初と最後の頁 e1006142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.ppat.1006142	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 Sugiyama Yuki, Wakazaki Mayumi, Toyooka Kiminori, Fukuda Hiroo, Oda Yoshihisa	4. 巻 27
2. 論文標題 A Novel Plasma Membrane-Anchored Protein Regulates Xylem Cell-Wall Deposition through Microtubule-Dependent Lateral Inhibition of Rho GTPase Domains	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Curr. Biol.	6. 最初と最後の頁 2522 ~ 2528.e4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2017.06.059	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 Sasaki Takema, Fukuda Hiroo, Oda Yoshihisa	4. 巻 29
2. 論文標題 CORTICAL MICROTUBULE DISORDERING1 Is Required for Secondary Cell Wall Patterning in Xylem Vessels	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant Cell	6. 最初と最後の頁 3123 ~ 3139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.1105/tpc.17.00663	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 Endo Satoshi, Iwamoto Kuninori, Fukuda Hiroo	4. 巻 16
2. 論文標題 Overexpression and cosuppression of xylem-related genes in an early xylem differentiation stage-specific manner by the AtTED4 promoter	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant Biotech. J.	6. 最初と最後の頁 451 ~ 458
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.1111/pbi.12784	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 Yoo Cheol-Min, Naramoto Satoshi, Sparks J. Alan, Khan Bibi Rafeiza, Nakashima Jin, Fukuda Hiroo, Blancaflor Elison B.	4. 巻 131
2. 論文標題 Deletion analysis of AGD1 reveals domains crucial for plasma membrane recruitment and function in root hair polarity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Cell Sci.	6. 最初と最後の頁 e1006142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI:10.1242/jcs.203828	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 Betsuyaku Shigeyuki, Katou Shinpei, Takebayashi Yumiko, Sakakibara Hitoshi, Nomura Nobuhiko, Fukuda Hiroo	4. 巻 59
2. 論文標題 Salicylic Acid and Jasmonic Acid Pathways are Activated in Spatially Different Domains Around the Infection Site During Effector-Triggered Immunity in Arabidopsis thaliana	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant Cell Physiol.	6. 最初と最後の頁 8 ~ 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1093/pcp/pcx181	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 Tazoe, Y., Sazuka, T., Yamaguchi, M., Saito, C., Ikeuchi, M., Kanno, K., Kojima, S., Hirano, K., Kitano, H., Kasuga, S., Endo, T., Fukuda, H., Makino, A.	4. 巻 57
2. 論文標題 Growth properties and biomass production in the hybrid C4 crop sorghum bicolor.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plant Cell Physiol.	6. 最初と最後の頁 944-952
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcv158	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 Kondo, Y., Nurani, A. M., Saito, C., Ichihashi, Y., Saito, M., Yamazaki, K., Mitsuda, N., Ohme-Takagi, M., & Fukuda, H.	4. 巻 28
2. 論文標題 Vascular cell Induction culture system using Arabidopsis leaves (VISUAL) visualizes the sequential differentiation of sieve element-like cells.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plant Cell	6. 最初と最後の頁 1250-1262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1105/tpc.16.00027	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 Doi, H., Chinen, A., Fukuda, H., & Usuda, Y.	4. 巻 66
2. 論文標題 Vibrio algivorus sp. nov., an alginate and agarose assimilating bacterium isolated from the gut flora of a turban shell marine snail.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Int. J. Syst. Evol. Microbiol.	6. 最初と最後の頁 3164-3169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1099/ijsem.0.001165	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 Inada, N., Betsuyaku, S., Shimada, T., Ebine, K., Ito, E., Kutsuna, N., Hasezawa, S., Takano, Y., Fukuda, H., Nakano, A., & Ueda, T.	4. 巻 57
2. 論文標題 Modulation of plant RAB GTPase-mediated membrane trafficking pathway at the interface between plants and obligate biotrophic pathogens.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plant Cell Physiol.	6. 最初と最後の頁 1854-1864
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcw107	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 Morita, J., Kato, K., Nakane, T., Kondo, Y., Fukuda, H., Nishimasu, H., Ishitani, R., & Nureki, O.	4. 巻 7
2. 論文標題 Crystal structure of the plant receptor-like kinase TDR in complex with the TDIF peptide.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nature Com.	6. 最初と最後の頁 12383
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/ncomms12383	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 Naramoto, S., Dainobu, T., Tokunaga, H., Kyozuka, J., & Fukuda, H.	4. 巻 33
2. 論文標題 Cellular and developmental function of ACAP type ARF-GAP proteins are diverged in plant cells.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plant Biotechnology	6. 最初と最後の頁 309-314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.5511/plantbiotechnology.16.0309a	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 Zeng, J., Ding, Q., Fukuda, H., & He, X.-Q.	4. 巻 67
2. 論文標題 Fertilization Independent Endosperm genes repress NbGH3.6 and regulate the auxin level during shoot development in Nicotiana benthamiana.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J. Exp. Bot.	6. 最初と最後の頁 2207-2217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jxb/erw024	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 Fukuda, H.	4. 巻 92
2. 論文標題 Signaling, transcriptional regulation, and asynchronous pattern formation governing plant xylem development.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proc. Japan Acad. Series B	6. 最初と最後の頁 42-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2183/pjab.92.98	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 Ohashi-Ito, K. & Fukuda, H.	4. 巻 33
2. 論文標題 Functional mechanism of bHLH complexes during early vascular development.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Curr. Opin. Plant Biol.	6. 最初と最後の頁 42-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.pbi.2016.06.003	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 Tazoe Y, Sazuka T, Yamaguchi M, Saito C, Ikeuchi M, Kanno K, Kojima S, Hirano K, Kitano H, Kasuga S, Endo T, Fukuda H, Makino A.	4. 巻 57
2. 論文標題 Growth Properties and Biomass Production in the Hybrid C4 Crop Sorghum bicolor.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plant Cell Physiol.	6. 最初と最後の頁 944-952
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcv158	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 Kinoshita, A., ten Hove, CA, Tabata, R., Yamada, M., Shimizu, N., Ishida, T., Yamaguchi, K., Shigenobu, S., Takebayashi, Y., Iuchi, S., Kobayashi, M., Kurata, T., Wada, T., Seo, M., Hasebe, M., Bliilou, I., Fukuda, H., Scheres, B., Heidstra, R., Kamiya, Y. and Sawa. S.	4. 巻 142
2. 論文標題 A plant U-box protein, PUB4, regulates asymmetric cell division and cell proliferation in the root meristem.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Development	6. 最初と最後の頁 444-53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/dev.113167	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 Shinohara, N., Kakegawa, K. and Fukuda, H.	4. 巻 128
2. 論文標題 Monoclonal antibody-based analysis of cell wall remodeling during xylogenesis.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 J. Plant Res.	6. 最初と最後の頁 975-986
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10265-015-0758-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 Katayama, H., Iwamoto, K., Kariya, Y., Asakawa, T., Kan, T., Fukuda, H. and Ohashi-Ito, K.	4. 巻 25
2. 論文標題 A negative feedback loop controlling bHLH complexes is involved in vascular cell division and differentiation in the root apical meristem.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Curr. Biol.	6. 最初と最後の頁 3144-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cub.2015.10.051	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, H. and Yang, Z. (eds)	4. 巻 28
2. 論文標題 Editorial overview: Cell biology - From signaling to cell shape and function.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Curr. Opin. Plant Biol.	6. 最初と最後の頁 iv-vi
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pbi.2015.11.001	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 Kondo, Y. and Fukuda, H.	4. 巻 28
2. 論文標題 The TDIF signaling network.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Curr. Opin. Plant Biol.	6. 最初と最後の頁 106-110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pbi.2015.10.002	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 Kawamoto, N., Endo, M. and Araki, T.	4. 巻 10
2. 論文標題 Expression of a kinase-dead form of CPK33 involved in florigen complex formation causes delayed flowering.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Plant Signaling & Behavior	6. 最初と最後の頁 e1086856, 1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15592324.2015.1086856	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 Shimizu, H., Katayama, K., Koto, T., Torii, K., Araki, T., Endo, M.	4. 巻 1
2. 論文標題 Decentralized circadian clocks process thermal and photoperiodic cues in specific tissues.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Nature Plants	6. 最初と最後の頁 15163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/nplants.2015.163	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 Shimizu, H., Araki, T. and Endo, M.	4. 巻 10
2. 論文標題 Photoperiod sensitivity of the Arabidopsis circadian clock is tissue-specific.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Plant Signaling & Behavior	6. 最初と最後の頁 e1010933
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15592324.2015.1010933	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 Kawamoto, N., Sasabe, M., Endo, M., Machida, Y. and Araki, T.	4. 巻 5
2. 論文標題 Calcium-dependent protein kinases responsible for the phosphorylation of a bZIP transcription factor FD crucial for the florigen complex formation.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep08341	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21件 (うち招待講演 13件 / うち国際学会 21件)

1. 発表者名 Fukuda Hiroo
2. 発表標題 Regulation of vascular stem cell fates.
3. 学会等名 Keynote Symposia, Japan-Taiwan Plant Biology 2019 (JTPB2019), Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fukuda Hiroo
2. 発表標題 Regulation of vascular stem cell fates.
3. 学会等名 Fujian Agriculture and Forest University, Fujian, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kondo Yuki Ohashi-Ito Kyoko , Fukuda Hiroo
2 . 発表標題 Multistep regulation of vascular cell fates.
3 . 学会等名 The 2019 Cold Spring Harbor Asia Conference, Gyeongju, South Korea, (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Endo, S., Iwai, Y. and Fukuda, H.
2 . 発表標題 Cargo-dependent and cell wall-associated xylem transport in Arabidopsis.
3 . 学会等名 International Symposium on Forest Tree Molecular Biology and Biotechnology (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Fukuda, H.
2 . 発表標題 Keynote Lecture “ The VISUAL system visualizes behavior of key regulators of vascular development. ”
3 . 学会等名 International Symposium on Forest Tree Molecular Biology and Biotechnology (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Fukuda, H.
2 . 発表標題 Regulation of vascular cell differentiation in plants.
3 . 学会等名 A seminar in Beijing Forest University (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Fukuda, H.
2. 発表標題 Key regulators governing vascular cell differentiation.
3. 学会等名 A seminar in the Institute of Genetics and Developmental Biology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fukuda, H.
2. 発表標題 How are regulated vascular stem cell fates in plants?
3. 学会等名 Peking University Friday Seminer Series (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kondo Yuki, Nurani Alif Meem, Saito Masato, Fukuda Hiroo
2. 発表標題 The VISUAL system visualizes key regulators of early vascular development.
3. 学会等名 Conference of "Plant Biology of the Next Generation". International Symposium of the SFB924 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fukuda, H
2. 発表標題 Signaling that regulates stem cell fates in plants.
3. 学会等名 ICAR 2016 Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nagashima, Y., Fukuda, H., & Oda, Y.
2. 発表標題 Analysis of novel ROP effector protein during xylem differentiation.
3. 学会等名 ICAR 2016 Korea (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nurani, A.M., Kondo, Y., & Fukuda, H.
2. 発表標題 A novel factor regulating phloem differentiation identified in Arabidopsis.
3. 学会等名 ICAR 2016 Korea (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Fukuda, H.
2. 発表標題 Keynote Lecture “ Making connections - plant vascular tissue development ”
3. 学会等名 SEB Brighton 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Fukuda, H., Kondo, Y., & Ohashi-Ito, K.
2. 発表標題 Cell-cell communications regulating vascular cell fates in plants.
3. 学会等名 The 2016 Cold Spring Harbor Asia Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1 . 発表者名 Ohashi-Ito, K., & Fukuda, H.
2 . 発表標題 Functional mechanism of bHLH complexes during early vascular development.
3 . 学会等名 The 2016 Cold Spring Harbor Asia Conference (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Kondo, Y., & Fukuda, H.
2 . 発表標題 VISUAL visualizes the sequential vascular cell differentiation.
3 . 学会等名 The 2016 Cold Spring Harbor Asia Conference, (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Oda, Y., Nagashima, Y., Sugiyama, Y., Sasaki, T., & Fukuda, H.
2 . 発表標題 Secondary cell wall patterning in metaxylem vessels.
3 . 学会等名 The 2016 Cold Spring Harbor Asia Conference (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Saito, M., Kondo, Y., and Fukuda, H.
2 . 発表標題 Analysis on regulatory mechanisms of vascular cell differentiation by GSK3s.
3 . 学会等名 The 2016 Cold Spring Harbor Asia Conference (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1. 発表者名 Takahashi, F., Betsuyaku, S., Fukuda, H., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K.
2. 発表標題 Abscisic acid-mediated stomatal responses via small peptide in Arabidopsis.
3. 学会等名 The 2016 Cold Spring Harbor Asia Conference (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Fukuda, H.
2. 発表標題 Inter- and Intra-cellular signals that control vascular differentiation.
3. 学会等名 FASEB Summer Research Conference "Mechanisms in Plant Development" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Fukuda, H.
2. 発表標題 Signals that govern vascular cell differentiation.
3. 学会等名 IPMB 2015, 11th International Congress of Plant Molecular Biology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 Grossniklaus, U. ed/共著	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 141-160
3. 書名 Plant Development and Evolution volume 131	

1. 著者名 Saito Masato, Nurani Alif Meem, Kondo Yuki, Fukuda Hiroo	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Humana Press	5. 総ページ数 pp.59-65
3. 書名 Tissue culture of xylem differentiation with Arabidopsis leaves. In "Xylem-Methods and Protocols"	

1. 著者名 福田裕穂、近藤侑貴、小澤靖子、岩本訓知、小田祥久	4. 発行年 2016年
2. 出版社 弘前大学出版会	5. 総ページ数 221-229
3. 書名 植物細胞壁実験法	

1. 著者名 福田裕穂、稲田のりこ（編）	4. 発行年 2016年
2. 出版社 慶應義塾大学出版会	5. 総ページ数 159
3. 書名 スーパーバイオマス 植物に学ぶ、植物を活かす	

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京大学大学院理学系研究科生物科学専攻生体制御研究室
<http://www.bs.s.u-tokyo.ac.jp/~seigyô/>
 東京大学大学院理学系研究科生物科学専攻生体制御研究室
<http://www.biol.s.u-tokyo.ac.jp/users/seigyô/lab.html>

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	遠藤 求 (ENDO Motomu) (80551499)	京都大学・生命科学研究科・准教授 (14301)	削除：平成28年10月21日