

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K06709

研究課題名（和文）コケ植物の仮根細胞における先端成長の分子機構とその進化的意義の解明

研究課題名（英文）Molecular mechanism and evolutionary aspects of tip growth of rhizoids in bryophytes

研究代表者

本瀬 宏康 (Motose, Hiroyasu)

岡山大学・環境生命自然科学学域・准教授

研究者番号：70342863

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：細胞がどのように方向性を認識し、一定の方向に成長するのか明らかにするため、先端成長を行うコケ植物の仮根細胞をモデル系として研究を行った。ゼニコケの NIMA 関連キナーゼ（NEK）は、仮根先端の微小管束を維持することで、成長方向を安定化すること、約400のタンパクと相互作用し、成長点近傍に新規のオルガネラを形成して機能することを明らかにした。また、植物固有のアルマジロリピートキネシン（微小管を移動するモータータンパク）はNEKを仮根先端に運びとともに、核や葉緑体などの様々なオルガネラを先端方向に輸送し、仮根成長を駆動することを示した。この他に、仮根成長に影響する環境因子を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

細胞は極性を獲得し、一定の方向に成長することで、その機能に適した形態を獲得する。しかし、その機構については未だ不明な点が多い。本研究により、植物細胞の先端成長が微小管により駆動されることが明らかになった。これまでアクチン繊維の重要性がクローズアップされてきたが、見過ごされてきた微小管の重要性とその機能・制御機構の一端が明らかになった。また、これまで不明だった植物細胞内でオルガネラなどの長距離輸送を行うモータータンパクが、植物固有のアルマジロリピートキネシンであることを見出した。仮根は陸上植物の初期根系であり、植物がどのように陸上環境に適応し、進化してきたのか理解する上でも重要である。

研究成果の概要（英文）：In order to elucidate how cells recognize directionality, acquire polarity, and grow in a specific direction, we analyzed molecular mechanisms of tip growth of rhizoids in bryophytes as a model system of polar growth. NIMA-related kinase (NEK) stabilizes the growth direction of rhizoids by maintaining microtubule foci at the apical dome of rhizoids in a liverwort, *Marchantia polymorpha*. NEK also interacts with approximately 400 proteins to form a novel organelle at the growth site of rhizoids. In addition, plant-specific ARK kinesin (a motor protein that moves along microtubules) transports NEK protein to the rhizoid apex and transports various organelles including nuclei and chloroplasts toward the tip to drive directional growth of rhizoids. Furthermore, we clarified environmental factors that influence rhizoid growth.

研究分野：植物細胞生物学

キーワード：先端成長 細胞極性 仮根 コケ植物 微小管 キナーゼ キネシン

1. 研究開始当初の背景

細胞の極性成長は、形態形成や生殖過程に不可欠であり、微小管やアクチン繊維といった細胞骨格によって制御される。しかし、極性がどのように確立・維持されるのか、細胞骨格がどのような役割を果たすのかについては未だ不明のままである。

植物細胞の伸長様式は、拡散成長と先端成長の2つに大別される(図1)。拡散成長では細胞表面の全域が伸びるが、先端成長では細胞の一部に成長点が形成されて伸長する。拡散成長はほぼ全ての細胞で見られるが、先端成長は根毛や仮根など特定の細胞が行い、顕著な極性のある細長い形になる。

拡散成長では、細胞膜内側に結合した表層微小管が成長方向と垂直に並び、細胞壁のセルロース微繊維の合成方向を同じ向きに揃えることで、成長方向を限定する(図1)。一方、先端成長ではアクチン繊維が必須と考えられており、微小管の役割や制御機構については研究が遅れている。微小管は、先端成長の方向とほぼ平行に配向し、頂端ドームで収束して微小管束を形成する(図1)。しかし、先端成長においてどのように成長方向が決定し、安定化されるのか、微小管構造がどのように形成され、どのような役割を果たすのかについてはほとんどわかっていない。本研究では、これらの問題点を明らかにするため、ゼニゴケの仮根細胞をモデル系として用い、先端成長の分子機構の解明を目指した。

NIMA 関連キナーゼ (NEK) は真核生物に広く存在する Ser/Thr 型のタンパク質リン酸化酵素 (キナーゼ) で、菌類や動物の NEK は主に細胞分裂を制御する。一方、植物の NEK は細胞伸長を制御する。シロイヌナズナ NEK6 は、チューブリンをリン酸化して表層微小管を脱重合させ、張力応答を抑制して成長方向を制御する (Takatani ら 2017 Sci. Rep., 2020 Curr. Biol.)。また、ゼニゴケの MpNEK1 は、仮根の成長方向を制御する (Otani ら 2018 Development)。MpNEK1 は、先端成長を行っている仮根先端部の微小管束に局在し、微小管を不安定化することが示唆された。本研究では、ゼニゴケ MpNEK1 がどのように微小管を制御し、成長方向を決めているのかを解析した。

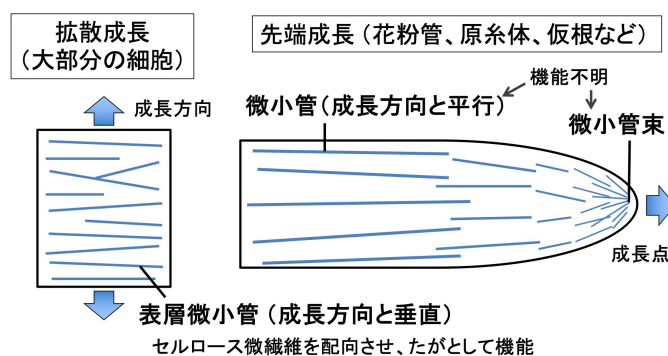


図1. 拡散成長と先端成長における微小管

2. 研究の目的

細胞が一定方向に伸長する極性成長は、様々な生物で見られる現象で、形態形成や生殖過程に不可欠であり、細胞構成要素の組織化という普遍的な問題を明らかにする上でも重要である。特に、被子植物の花粉管、維管束植物の根毛、コケ植物などの仮根・原糸体は、明瞭な極性のある先端成長を行うため、良いモデル系である。先端成長では、微小管やアクチン繊維といった細胞骨格が重要であるが、その成長方向の決定と維持の仕組みはほとんどわかっていない。本研究では、ゼニゴケの仮根細胞を主なモデル系として、植物細胞の成長方向制御機構を解明する(図2)。特に、研究代表者が独自に研究を展開してきた NEK キナーゼに着目して解析を進め、微小管による先端成長の方向制御を解明する。

仮根細胞は極性が明瞭で、活発な伸長を行うなど先端成長の研究に適した特性を持つが、研究が遅れており未開拓な領域が多い。また、ゼニゴケは陸上植物の進化の初期に分岐しており、植物の進化を遺伝子レベルで理解する上で良いモデル系である。特に、仮根細胞は陸上植物の初期の根系と考えられ、水分や養分の吸収・土壌への植物体の固着に必要であり、陸上環境への適応に不可欠であったと考えられる。仮根は、被子植物の根毛と形成機構が似ており、比較することで進化と発生・形態形成を結びつける重要な意義がある。また、ゼニゴケには平滑仮根と有紋仮根という2種類の単細胞性の仮根があるが、ヒメツリガネゴケの仮根は細胞分裂を伴って多細胞性になるなど、形態や機能に多様性があり、細胞の多様化を理解する上で重要な手がかりとなる。

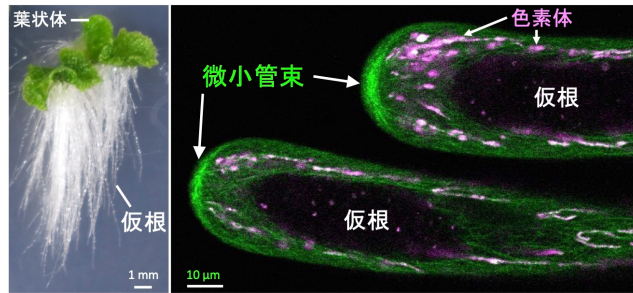


図2.ゼニゴケの仮根細胞

3. 研究の方法

本研究では、上記の背景と目的をふまえ、1) 仮根細胞のライブイメージング、2) MpNEK1の機能解析、3) MpARK1の解析、4) 仮根成長に影響を及ぼす因子の解析を行った。

ライブイメージングでは、微小管マーカー系統 (Otani et al. 2018, Kanda et al. 2022)、小胞輸送マーカー系統 (Kanazawa et al. 2018, 2020, Minamino et al. 2018) を用いるとともに、新たなマーカー系統を作出して解析を行なった。顕微鏡観察は主に走査型共焦点顕微鏡 (FV3000, FV1200, EVIDENT)、超解像・スペクトル分光共焦点顕微鏡 LSM780 (lambda & Airyscan detector, Zeiss)、スピニングディスク共焦点超解像顕微鏡 (CSU-W1 SoRa disk)、全反射顕微鏡を用いた。

MpNEK1の機能解析のため、エストラジオール添加により MpNEK1の発現を誘導できる系統を作出した。また、相互作用因子の解析のため、MpNEK1-miniTurbo発現系統を作出し、近位依存性ピオチン標識法により、相互作用タンパクの精製と質量分析による同定を行なった。また、MpNEK1相互作用タンパク、微小管付随タンパク、細胞骨格関連タンパク、エチレン関連タンパクの変異体を CRISPR/Cas9 を用いて作出した。

4. 研究成果

1) 仮根細胞のライブイメージング 仮根細胞の成長過程を明らかにするため、ガラスボトムシャーレと寒天培地を用いたライブイメージング系を確立した。仮根細胞の成長に最適な条件を探索したところ、1/2 B5 培地が適していること、栄養が豊富な条件では逆に仮根成長が抑制されることを見出した。

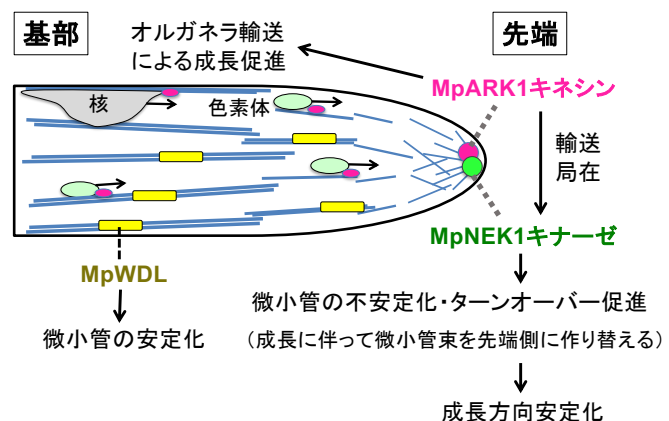
この系を用いて、微小管、アクチン繊維、分泌小胞、葉緑体、ミトコンドリア、核、細胞壁などのライブイメージングを行なった。仮根細胞は葉状体の腹側の表皮細胞が分化して形成されるが、初期の仮根細胞では細胞壁が厚くなり、色素体が退化して小さくなる。微小管も周囲の表皮細胞よりも減少し、細くなった。先端成長を始めると、次第に成長点付近に微小管が集まり、微小管束が形成された。先端成長により細長く伸びた仮根細胞では、微小管は伸長・退縮が盛んなプラス端を仮根先端に向けて伸びており、先端部で収束して束化していた。アクチン繊維はケーブル状や細かい繊維状であり、先端では微小管束よりも成長点側に存在していた。分泌小胞は先端部で最も多く、基部側に向かって減少する勾配を示した。核は成長速度とほぼ同じスピード

で先端に移動し、先端から 40-60 μm の位置をキープしていた。葉緑体は前後に移動しながら、全体としては先端方向に向かって移動し、仮根全体に散在していた。ミトコンドリアは仮根全体に存在していたが、特に先端部に集積していた。このように、仮根細胞内は高度に組織化されており、成長とともにダイナミックにオルガネラが移動し、先端成長が維持されることが示唆された (Kanda et al. 準備中)。

2) ゼニゴケ MpNEK1 の機能解析 ゼニゴケ MpNEK1 キナーゼの機能を明らかにするため、近位依存性ビオチン標識法により、相互作用タンパクの同定を行なった。MpNEK1 と相互作用する約 400 のタンパクを見出した。これらには微小管付随タンパクの他、遺伝子発現を制御するタンパクなど、様々な機能を果たすものが含まれていた。ネットワーク解析から、微小管付随タンパクが相互作用網のコアに多く、中核的な機能を果たすことが示唆された。実際に、それらタンパクの仮根細胞における局在、MpNEK1 との二重変異体の解析から、機能的な相互作用が示された。また、複数の複合体を形成するタンパク群が得られたため、MpNEK1 は様々な複合体とともに、先端で新規な構造体を形成することが示唆された。実際に、相互作用タンパクのいくつかは、仮根先端で顆粒状に局在していた。この顆粒構造は、Mpnek1 変異体では仮根全体に散在するため、顆粒構造の先端局在に MpNEK1 が必要なこと、この新規な構造体が先端成長に深く関与していることが明らかになった (Mase et al. 準備中)。

MpNEK1 の機能を明らかにするため、エストラジオール添加により MpNEK1 の発現を誘導できるシステムを作出した。MpNEK1 の発現誘導により、葉状体の成長が著しく抑制され、最終的に植物体が枯死した。この効果は nM レベルの極低濃度のエストラジオールで引き起こされること、数日の処理で非可逆的に成長が抑制されることを示した。また、エストラジオール処理に耐性を獲得して生き残るゼニゴケ個体が出現し、発現誘導が起らないサイレンシング現象を見出した。MpNEK1 の発現誘導により、細胞増殖が抑制されることから、植物の NEK も動物と同様に細胞分裂に関与することが示唆された (Mase et al. 2023)。

この他に、Mpnek1 変異体では先端の微小管束が形成されず、成長方向が安定しないことから、MpNEK1 が微小管束の維持を介して先端成長の方向を安定化することを示した(図 3)。また、MpNEK1 の仮根先端への局在に必要なドメインを特定した (Mase et al. 準備中)。



3) ゼニゴケ MpARK1 の解析 図 3. 本研究で明らかになった仮根細胞の成長機構

前述の相互作用因子の解析から、微小管上を移動するモータータンパクのキネシンと MpNEK1 が相互作用することが明らかになった。この中には、アルマジロリピートドメインを持つ植物固有のキネシン MpARK が含まれていた。Mpark 変異体では、仮根の成長が抑制され、極めて短い仮根が形成されるため、培地から容易にはがれ落ちる。また、Mpnek1 変異体と同様に、仮根がねじれた形態を示し、成長方向が異常であった。これらより、MpARK キネシンは仮根伸長を促進するとともに、成長方向を安定化するという 2 つの機能があることがわかった (Kanda et al. 2022、図 3)。

MpARK の機能を明らかにするため、オルガネラの動態をタイムラプス観察した。野生株では、

核は一定の速度で先端方向に移動し、先端から約 40–60 μm 後ろの位置をキープした。葉緑体は前後に移動しながら先端に移動し、仮根全体に散在していた。Mpark 変異体では、オルガネラの先端方向への移動が著しく抑制され、核と葉緑体が基部側に局在していた。また、比較的先端に局在するトランスゴルジやミトコンドリアも基部側や仮根全体に存在した。輸送する積荷と結合する MpARK の C 末端尾部に蛍光タンパクを付加したものは、核や葉緑体周辺に局在した。これらより、MpARK は核や葉緑体など様々なオルガネラを微小管プラス端方向に輸送することが示唆された。動物細胞において最初に見出されたキネシンであるキネシン-1 は、プラス端方向にオルガネラなどを長距離輸送するが、植物にはキネシン-1 が存在せず、長距離輸送を担うキネシンは不明のままであった。植物固有のアルマジロリピートキネシンは、そのような長距離輸送モーターとして機能し、細胞成長を駆動すると考えられる (Kanda et al. 2022、図 3)。

加えて、MpARK は仮根先端の微小管束において MpNEK と共局在する (図 4)。また、Mpark 変異体では MpNEK が仮根全体に散在することから、MpARK が MpNEK を仮根先端に輸送し、成長方向を安定化すると考えられる。Mpark 変異体では、微小管プラス端が先端に収束せず、先端の微小管束も形成されない。MpARK は先端で微小管を束化し、先端方向にプラス端を向けて収束する微小管構造を安定化する機能も示唆された。これらの働きにより、2 つめの成長方向の安定化を実現すると考えられる (Kanda et al. 2022、図 3)。

上記のように仮根では、微小管の+端が先端を向いており、+端方向に微小管上を移動するアルマジロリピート型キネシン MpARK がオルガネラを先端へと輸送している。しかし、先端から基部への逆行輸送の仕組みとその生理的な重要性はわかっていない。そこで、微小管上を一端方向に移動するキネシン 14 ファ

ミリーに着目して解析を行った。キネシン 14 ファミリーは植物で多様化しており、植物の成長に重要であると考えられる。CRISPR-Cas9 によるゲノム編集を用いて、キネシン-14 遺伝子 (*KCH*, *KCBP*, *ATK*, *MDK1A*) について変異体を作出した。その内、Mpkcbp 変異体では、野生株と比較して仮根が短くなっており、伸長が抑制されていた。また、通常は仮根全体に散在する色素体が、仮根の先端に凝集して局在した。従って、KCBP が仮根の基部側に色素体を輸送することで、仮根全体に色素体を行き渡らせると考えられる。色素体は前後に移動しながら仮根全体に散在するが、全体としては先端へ移動するため、Mpkcbp と MpARK による綱引きがあり、MpARK の方が相対的な輸送活性が高いと考えられる。

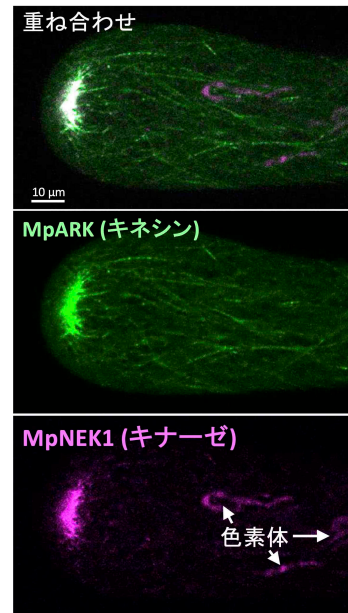


図 4. ARK と NEK の先端局在

4) 仮根成長に影響を及ぼす因子 仮根成長は、光、重力、栄養条件、pH、植物ホルモンなど様々な環境条件やシグナルに応答して制御される。エチレンは、根毛の伸長促進や果実成熟などに関わる植物ホルモンであるが、コケ植物での機能はわかっていなかった。そこで、ゼニゴケにおける生理機能を解析したところ、エチレンはゼニゴケの成長を促進するが、種子植物のエチレン前駆体のアミノシクロプロパンカルボン酸 (ACC) は逆に成長を抑制した (Katayose et al. 2021)。ACC は仮根の成長を抑制するが、エチレンでは顕著な効果がなかった。ゼニゴケでは ACC はエチレン前駆体として機能せず、独自の生理作用をもつことを示した。この結果は Li ら (Nature Plant 2020) の研究と矛盾したが、Xu ら (Science Advance 2021) などにより支持された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Mase Hikari, Nakagami Hirofumi, Okamoto Takashi, Takahashi Taku, Motose Hiroyasu	4. 巻 15
2. 論文標題 Establishment and application of novel culture methods in <i>Marchantia polymorpha</i> : persistent tip growth is required for substrate penetration by rhizoids	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communicative & Integrative Biology	6. 最初と最後の頁 164 ~ 167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/19420889.2022.2095137	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 Kanda Asaka, Otani Kento, Takahashi Taku, Motose Hiroyasu	4. 巻 2022.07.08.499237
2. 論文標題 Plant specific armadillo repeat kinesin directs organelle transport and microtubule convergence to promote tip growth	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 biorXiv	6. 最初と最後の頁 1-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2022.07.08.499237	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 Mase Hikari, Yoshitake Yoshihiro, Kohchi Takayuki, Takahashi Taku, Motose Hiroyasu	4. 巻 2023.01.25.525476
2. 論文標題 Overexpression of NIMA-related kinase suppresses cell proliferation and tip growth in a liverwort <i>Marchantia polymorpha</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 biorXiv	6. 最初と最後の頁 1-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2023.01.25.525476	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 Matsuo Hirotooshi, Fukushima Hiroko, Kurokawa Shinpei, Kawano Eri, Okamoto Takashi, Motose Hiroyasu, Takahashi Taku	4. 巻 596
2. 論文標題 Loss of function of an Arabidopsis homologue of JMJD6 suppresses the dwarf phenotype of <i>ac15</i> , a mutant defective in thermospermine biosynthesis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 FEBS Letters	6. 最初と最後の頁 3005 ~ 3014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/1873-3468.14470	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 本瀬宏康	4. 巻 7
2. 論文標題 仮根細胞から見えてきた極性成長の仕組みと進化	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 49-52
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 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 Katayose Asuka, Kanda Asaka, Kubo Yasutaka, Takahashi Taku, Motose Hiroyasu	4. 巻 62
2. 論文標題 Distinct Functions of Ethylene and ACC in the Basal Land Plant <i>Marchantia polymorpha</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 858 ~ 871
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcab042	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 Iwakawa Hidekazu, Melkonian Katharina, Schlöter Titus, Jeon Hyung-Woo, Nishihama Ryuichi, Motose Hiroyasu, Nakagami Hirofumi	4. 巻 62
2. 論文標題 Agrobacterium-Mediated Transient Transformation of <i>Marchantia</i> Liverworts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 1718 ~ 1727
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcab126	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 Okamoto Takashi, Takatani Shogo, Motose Hiroyasu, Iida Hidetoshi, Takahashi Taku	4. 巻 40
2. 論文標題 The root growth reduction in response to mechanical stress involves ethylene-mediated microtubule reorganization and transmembrane receptor-mediated signal transduction in <i>Arabidopsis</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant Cell Reports	6. 最初と最後の頁 575 ~ 582
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00299-020-02653-6	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 Takatani Shogo, Verger Stéphane, Okamoto Takashi, Takahashi Taku, Hamant Olivier, Motose Hiroyasu	4. 巻 30
2. 論文標題 Microtubule Response to Tensile Stress Is Curbed by NEK6 to Buffer Growth Variation in the Arabidopsis Hypocotyl	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Current Biology	6. 最初と最後の頁 1491 ~ 1503.e2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cub.2020.02.024	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 Takamura Hiroyoshi, Motose Hiroyasu, Otsu Taichi, Shinohara Shiori, Kouno Ryugo, Kadota Isao, Takahashi Taku	4. 巻 2020
2. 論文標題 Chemical Synthesis and Biological Effect on Xylem Formation of Xylemin and Its Analogues	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 2745 ~ 2753
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejoc.202000322	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 Chiam NC, Fujimura T, Sano R, Akiyoshi N, Hiroyama R, Watanabe Y, Motose H, Demura T, Ohtani M	4. 巻 60
2. 論文標題 Nonsense-mediated mRNA decay deficiency affects the auxin response and shoot regeneration in Arabidopsis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant Cell Physiol.	6. 最初と最後の頁 2000-2014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcz154	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 Miyamoto M, Shimao S, Tong W, Motose H, Takahashi T	4. 巻 8
2. 論文標題 Effect of thermospermine on the growth and expression of polyamine-related genes in rice seedlings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants8080269	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 Shinohara S, Okamoto T, Motose H, Takahashi T	4. 巻 100
2. 論文標題 Salt hypersensitivity is associated with excessive xylem development in a thermospermine-deficient mutant of <i>Arabidopsis thaliana</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant J.	6. 最初と最後の頁 374-383
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/tpj.14448	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 Ishitsuka S, Yamamoto M, Miyamoto M, Kuwashiro Y, Imai A, Motose H, Takahashi T	4. 巻 10
2. 論文標題 Complexity and conservation of thermospermine-responsive uORFs of SAC51 family genes in angiosperms	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Front. Plant Sci.	6. 最初と最後の頁 564
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2019.0056	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 Okamoto Takashi, Motose Hiroyasu, Takahashi Taku	4. 巻 18
2. 論文標題 Microtubule-associated proteins WDL5 and WDL6 play a critical role in pollen tube growth in <i>Arabidopsis thaliana</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Plant Signaling & Behavior	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15592324.2023.2281159	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41件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 間瀬輝、中神弘史、高橋卓、本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケ仮根の伸長方向を制御する NIMA 関連キナーゼとその相互作用因子の機能解析
3. 学会等名 日本植物学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 米田優作、本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケキネシンファミリーの機能解析
3. 学会等名 日本植物学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nomura Y, Takatani S, Hamant O, Motose H
2. 発表標題 NIMA-related protein kinases regulate microtubule response to tensile stress in Arabidopsis thaliana
3. 学会等名 33rd International Conference on Arabidopsis Research (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 水田百香、本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケ仮根の先端成長を制御する新規構造体の解析
3. 学会等名 細胞骨格研究会 -Plant Cytoskeleton 2023-
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 天岡友穂、間瀬輝、本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケ仮根伸長を制御するNIMA関連キナーゼと微小管付随タンパクWDLの機能的相互作用
3. 学会等名 細胞骨格研究会 -Plant Cytoskeleton 2023-
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 坂本龍哉、磯山彰吾、高橋卓、本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケ表皮細胞の分化と伸長に必要なhomeodomain転写因子の解析
3. 学会等名 細胞骨格研究会 -Plant Cytoskeleton 2023-
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケ仮根伸長における NIMA 関連キナーゼと微小管付随タンパクの機能的相互作用
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 米田優作、本瀬宏康
2. 発表標題 KCBP キネシンはゼニゴケの仮根細胞における色素体の逆行輸送に関与している
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 水田百香, 間瀬輝, 中神弘史, 本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケ MpTRAF1 は MpNEK1 と相互作用し, 仮根成長を制御する
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 坂本龍哉, 磯山彰吾, 高橋卓, 本瀬宏康
2. 発表標題 ホメオドメインロイシンジッパー転写因子 MpC4HDG はゼニゴケの仮根と葉状体の成長を制御する
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Motosse H
2. 発表標題 Finding a way to grow, lessons from the ancient rooting cells
3. 学会等名 Gordon Research Conference (Plant and Microbial Cytoskeleton, Cytoskeletal Diversification Across the Domains of Life) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hikari Mase, Yoshihiro Yoshitake, Takayuki Kohchi, Nakagami Hirofumi, Taku Takahashi, Hiroyasu Motosse.
2. 発表標題 Inducible expression of NIMA-related tubulin kinase suppresses cell growth and division in a basal land plant Marchantia polymorpha.
3. 学会等名 Gordon Research Seminar (Plant and Microbial Cytoskeleton, An Evolving Cytoskeleton: Diverging Mechanisms and Converging Patterns) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hikari Mase, Yoshihiro Yoshitake, Takayuki Kohchi, Nakagami Hirofumi, Taku Takahashi, Hiroyasu Motosse.
2. 発表標題 Inducible expression of NIMA-related tubulin kinase suppresses cell growth and division in a basal land plant Marchantia polymorpha.
3. 学会等名 Gordon Research Conference (Plant and Microbial Cytoskeleton, Cytoskeletal Diversification Across the Domains of Life) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本瀬宏康
2. 発表標題 キネシンによるオルガネラ輸送と微小管の収束が仮根の先端成長を駆動する
3. 学会等名 第 9 回エンドメンブレンミーティング・第 7 回植物細胞骨格研究会 合同研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 間瀬輝, 吉竹良洋, 河内孝之, 中神弘史, 高橋卓, 本瀬宏康.
2. 発表標題 仮根の先端成長方向を制御するNIMA関連キナーゼの解析.
3. 学会等名 第 9 回エンドメンブレンミーティング・第 7 回植物細胞骨格研究会 合同研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 米田優作、本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニコケキネシンファミリーの機能解析
3. 学会等名 第 9 回エンドメンブレンミーティング・第 7 回植物細胞骨格研究会 合同研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本瀬宏康
2. 発表標題 NIMA関連キナーゼによる張力応答の制御機構の解析
3. 学会等名 日本植物学会第86回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 間瀬輝, 吉竹良洋, 河内孝之, 中神弘史, 高橋卓, 本瀬宏康.
2. 発表標題 仮根の先端成長方向を制御するNIMA関連キナーゼの解析
3. 学会等名 日本植物学会第86回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yumeko Nomura, Mitsuki Matsubara, Hiroyasu Motose
2. 発表標題 Flexible tensile stress response visualized by NEK6 in Arabidopsis
3. 学会等名 International symposium on "Plant-Structure-Optimization" (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 間瀬輝, 中神弘史, 高橋卓, 本瀬宏康
2. 発表標題 仮根の成長極性を制御する NIMA 関連キナーゼの相互作用因子
3. 学会等名 日本植物生理学会第64回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 角浦葵・神田麻花・高橋卓・本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケ生殖枝の形態形成におけるNIMA関連キナーゼの機能
3. 学会等名 第62回 日本植物生理学会年会 (松江 オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神田麻花・高橋卓・本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケのアルマジロリピートキネシンは微小管とオルガネラ輸送を介して仮根の伸長を促進し、成長方向を安定化する
3. 学会等名 第62回 日本植物生理学会年会（松江 オンライン）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 間瀬輝・吉竹良洋・河内孝之・高橋卓・本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケNIMA関連キナーゼの発現誘導系を用いた機能解析
3. 学会等名 第62回 日本植物生理学会年会（松江 オンライン）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本瀬宏康
2. 発表標題 まっすくな成長の終わりとねじれ成長ワンダーランド
3. 学会等名 第62回 日本植物生理学会年会（松江 オンライン）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神田麻花・高橋卓・本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケ仮根細胞の成長を制御するアルマジロリピート型キネシンの機能解析
3. 学会等名 第85回 日本植物学会年会（東京 オンライン）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 間瀬輝・吉竹良洋・河内孝之・高橋卓・本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケ仮根方向を制御するNIMA関連キナーゼの機能解析
3. 学会等名 第85回 日本植物学会年会（東京 オンライン）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高谷彰吾、本瀬宏康、Olivier Hamant
2. 発表標題 揺らぎにより駆動される成長安定化 ミクロな微小管の揺らぎがマクロな器官成長を安定化する
3. 学会等名 第63回 日本植物生理学会年会 オンライン（筑波大会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河野龍悟，篠原志桜里，大津泰知，林謙一郎，門田功，高村浩由，高橋卓，本瀬宏康
2. 発表標題 サーモスベルミン合成阻害剤 xylemin の類縁体の生理機能
3. 学会等名 日本ポリアミン学会第11回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神田麻花，高橋卓，本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケ仮根細胞のイメージングとアルマジロリピート型キネシンの解析
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 本瀬宏康・高橋卓
2. 発表標題 ゼニゴケの生殖器は回転しながら成長する
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 神田麻花, 高橋卓, 本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケ仮根細胞のイメージングとアルマジロリピート型キネシンの解析
3. 学会等名 日本植物学会第84回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 間瀬輝、吉竹良洋、河内孝之、高橋卓、本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケNIMA関連キナーゼの発現誘導系を用いた機能解析
3. 学会等名 第62回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 角浦葵、神田麻花、高橋卓、本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケ生殖枝の形態形成におけるNIMA関連キナーゼの機能
3. 学会等名 第62回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本瀬宏康
2. 発表標題 まっすぐに成長の終わりとねじれ成長ワンダーランド
3. 学会等名 第62回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本瀬宏康・片寄明日香・久保 康隆・高橋 卓
2. 発表標題 ゼニゴケのエチレン応答とエチレン関連遺伝子の解析
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 S Takatani, S Verger, T Okamoto, T Takahashi, O Hamant, H Motose
2. 発表標題 Straight organ growth requires NEK6-dependent dampening of microtubule response to mechanical stress
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 毛利遊野・大谷健人・山岡尚平・西浜竜一・河内孝之・高橋卓・本瀬宏康
2. 発表標題 異所的な分裂組織を形成する新奇ゼニゴケ変異体eda1の解析
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 本瀬宏康・神田麻花・大谷健人・高橋卓
2. 発表標題 ゼニゴケ仮根細胞の先端成長に必要なアルマジロリピート型キネシンの解析
3. 学会等名 日本植物学会第83回大会（仙台）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H Motose, A Kanda, T Takahashi
2. 発表標題 Live imaging of rhizoid growth in Marchantia polymorpha
3. 学会等名 Marchantia Workshop 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋爪駿・高谷彰吾・高橋卓・本瀬宏康
2. 発表標題 シロイヌナズナNIMA関連キナーゼ6の機能解析
3. 学会等名 植物細胞骨格研究会 Plant Cytoskeleton 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神田麻花・高橋卓・本瀬宏康
2. 発表標題 ゼニゴケ仮根細胞ライブイメージングの確立とアルマジロリピートキネシンの解析
3. 学会等名 植物細胞骨格研究会 Plant Cytoskeleton 2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Don't feel the force ~植物が張力応答を抑制し、姿勢を正す仕組みを解明
https://www.okayama-u.ac.jp/tp/release/release_id703.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
研究協力者	上田 貴志 (Ueda Takashi) (10311333)	基礎生物学研究所・細胞動態研究部門・教授 (63904)	
研究協力者	中神 弘史 (Nakagami Hirofumi) (20435663)	マックスプランク研究所・Basic Immune System of Plants・Group reader (82401)	

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			
フランス	ENS Lyon			
ドイツ	Max Planck Institute			