

解禁時間 (テレビ、ラジオ、インターネット) : 平成 26 年 3 月 21 日 (金) 午前 3 時
(新聞) : 平成 26 年 3 月 21 日 (金) 付朝刊

平成 26 年 3 月 18 日

報道関係者各位

国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学
独立行政法人 理化学研究所
自然科学研究機構 基礎生物学研究所

自己細胞死を促すシステムの獲得が植物陸上化の鍵を握っていた！ ～コケが水を運ぶ細胞や体を支える細胞を作る仕組みを世界で初めて解明～

【概要】

奈良先端科学技術大学院大学 (奈良先端大、学長：小笠原直毅) バイオサイエンス研究科 植物代謝制御研究室の徐波 (Xu Bo) 研究員、出村拓教授 (理化学研究所環境資源科学研究センター チームリーダー兼任) と、理化学研究所環境資源科学研究センターの大谷美沙都研究員、豊岡公徳上級研究員、基礎生物学研究所の長谷部光泰教授らの研究グループは、コケ植物が、体内に水を運ぶ通道の「通水細胞」と体を支えるための「支持細胞」という 2 種類の特殊な細胞を作る仕組みを明らかにしました。また、この仕組みの中では、自己の細胞を死なせて (自己細胞死) 残った細胞の構造を利用するシステムが重要であることを、実験的に世界で初めて証明しました。原始的な植物で進化した体内の水を効率的に輸送する仕組みが、植物の水中から陸上への進出とその後の陸上での繁栄に必須であったという仮説を裏付けるものです。さらに、本研究によって、木質バイオマスを生み出す細胞である道管や繊維細胞が作られる仕組みが全陸上植物に共通していることが証明されたことから、本研究の成果は木質バイオマスの増産にもつながると期待されます。

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究「植物細胞壁の情報処理システム」および「複合適応形質進化の遺伝子基盤解明」、ならびに文部科学省「植物 CO₂資源化研究拠点ネットワーク (NC-CARP)」の支援を受けて行われたものです。この成果は、平成 26 年 3 月 20 日 (木) 付けの米国の科学雑誌 Science 電子版 (ScienceExpress) に掲載される予定です。

つきましては、関係資料を配布するとともに、下記のとおり記者発表を行いますので、是非ともご出席くださいますよう、お願い申し上げます。

記

<日 時> 平成 26 年 3 月 19 日 (水) 11 時 00 分～ (1 時間程度)

<場 所> 奈良先端科学技術大学院大学 事務局棟 大会議室 (2 階)
奈良県生駒市高山町 8 9 1 6 - 5 (けいはんな学研都市)

※アクセスについては、<http://www.naist.jp/>をご覧ください。

<説明者>

奈良先端科学技術大学院大学 バイオサイエンス研究科 植物代謝制御研究室 教授 出村 拓

<ご連絡事項>

- (1) 本件については、掲載誌のプレス解禁日時が平成 26 年 3 月 20 日午後 2 時 (米東海岸時間) (3 月 21 日 (金) 午前 3 時、日本時間) となっておりますので取り扱いにはご注意願います。
- (2) 本件につきましては、奈良先端科学技術大学院大学から、奈良県文化教育記者クラブをメインとし、学研都市記者クラブ、大阪科学・大学記者クラブ、文部科学記者会及び科学記者会に、同時にご連絡しております。

(3) 取材希望がございましたら、恐れ入りますが下記までご連絡願います。

(4) 記者発表に関する問合せ先

奈良先端科学技術大学院大学 企画総務課 広報渉外係 瀬戸 克昭 (せと かつあき)

TEL : 0743-72-5026 FAX : 0743-72-5011 E-mail : s-kikaku@ad.naist.jp

自己細胞死を促すシステムの獲得が植物陸上化の鍵を握っていた！ ～コケが水を運ぶ細胞や体を支える細胞を作る仕組みを世界で初めて解明～

【概要】

奈良先端科学技術大学院大学（奈良先端大、学長：小笠原直毅）バイオサイエンス研究科 植物代謝制御研究室の徐波（Xu Bo）研究員、出村拓教授（理化学研究所チームリーダー兼任）と、理化学研究所環境資源科学研究センターの大谷美沙都研究員、豊岡公德上級研究員、基礎生物学研究所の長谷部光泰教授らの研究グループは、コケ植物が、体内に水を運ぶ通り道の「通水細胞」と体を支えるための「支持細胞」という2種類の特殊な細胞を作る仕組みを明らかにしました。また、この仕組みの中では、自己の細胞を死なせて（自己細胞死）残った細胞の構造を利用するシステムが重要であることを、実験的に世界で初めて証明しました。原始的な植物で進化した体内の水を効率的に輸送する仕組みが、植物の水中から陸上への進出とその後の陸上での繁栄に必須であったという仮説を裏付けるものです。さらに、本研究によって、木質バイオマスを生み出す細胞である道管や繊維細胞が作られる仕組みが全陸上植物に共通していることが証明されたことから、本研究の成果は木質バイオマスの増産にもつながると期待されます。

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究「植物細胞壁の情報処理システム」および「複合適応形質進化の遺伝子基盤解明」、ならびに文部科学省「植物 CO₂資源化研究拠点ネットワーク (NC-CARP)」の支援を受けて行われたものです。この成果は、平成26年3月20日（木）付けの米国の科学雑誌 Science 電子版（ScienceExpress）に掲載される予定です。

【研究の背景】

植物は進化の過程で、水を効率的に体内に輸送するための通水細胞（自己細胞死によって空洞化した細胞）と、体を支えるための支持細胞（厚みのある細胞壁を持った細胞）を発達させました（図1）。通水細胞はより乾燥した環境での生存を、支持細胞は体の大型化と複雑化を、それぞれ可能にしたと考えられており、こうした特殊化した細胞を生み出すしくみの獲得が、植物の陸上化に重要なイベントであったと考えられています。

出村教授らはこれまで、モデル植物であるシロイヌナズナやモデル樹木であるポプラなどを使って、陸上植物に特有の NAC タンパク質と呼ばれる遺伝子を働かせる因子（遺伝子発現制御因子）のうち、*VNS*（*VND/NST/SMB*）遺伝子ファミリーという遺伝子の仲間が、通水細胞（道管や仮道管細胞など）や支持細胞（繊維細胞など）の形成に必須であることを明らかにしてきました。しかしながら、*VNS* 遺伝子の機能が植物進化のどの過程で獲得されたのか、通水細胞や支持細胞の獲得が本当に植物陸上化にとって重要であったのか、については、不明のままでした。

【内容】

今回、出村教授らの研究チームは、コケ植物の実験モデルとして世界的に広く用いられているヒメツリガネゴケ（*Physcomitrella patens*）を使った研究を行いました。ヒメツリガネゴケは、8つの *VNS* 遺伝子（*PpVNS1*～*PpVNS8*）を持っています。このうち、*PpVNS1*、*PpVNS6*、*PpVNS7* は葉の通水細胞と支持細胞で、*PpVNS4* は茎の通水細胞で発現していることを見出しました。そこで、*PpVNS1*、*PpVNS6*、*PpVNS7* の3遺伝子を同時に破壊し、これらの遺伝子が働かないようにした変異体を作成したところ、この変異体では、葉の通水細胞の形成が異常になっており、水の輸送がうまく起こらないことが分かりました（図2A）。

また、*PpVNS4* 遺伝子を破壊した変異体では茎の通水細胞が消失しており、水輸送が起こりませんでした。（図2B）

さらにこれらの変異体を乾燥した環境に移したところ、変異体では劇的な葉のしおれが観察され、通水細胞がコケの乾燥環境での生育に必須であることが示されました（図2）。

次に、電子顕微鏡を用いて細胞構造を詳細に観察したところ、これらの変異体では、通水細胞における自己細胞死（プログラム細胞死、細胞の自殺）が起こっていないことがわかりました。また、今回の観察では、葉の支持細胞でも自己細胞死が起こっていることがわかりましたが、*PpVNS1*、*PpVNS6*、*PpVNS7*の3重変異体では、支持細胞でもこうした自己細胞死が起こらないこと、また、細胞壁の厚さが本来の50%程度になっていることがわかりました。このことから、*PpVNS*が支持細胞形成にも重要であることがわかりました（図2A）。

さらに、ヒメツリガネゴケおよびシロイヌナズナ内で8つの*PpVNS*遺伝子を強制的に活性化すると、ヒメツリガネゴケでは自己細胞死が、シロイヌナズナでは道管によく似た形の細胞の形成が誘導されました（図3）。そこで*PpVNS*遺伝子の活性化がどういったヒメツリガネゴケ遺伝子の発現に影響するのかを調べたところ、厚い細胞壁を作るために必要なセルロースの合成に関わる遺伝子や、自己細胞死に関わるタンパク質分解酵素などが活性化されていることがわかりました。これらの遺伝子は、これまでシロイヌナズナやポプラで報告されてきた通水細胞などの形成に関わるVNSによって制御される遺伝子とよく似ていました。このことは、植物進化の早い段階でVNSによる遺伝子発現制御システムが獲得されていたことを示唆しています。

以上の結果から、ヒメツリガネゴケの通水細胞と支持細胞の形成は*PpVNS*遺伝子によって制御されていること、この制御システムが植物進化の早い段階（少なくともコケと維管束植物の共通祖先の段階）で既に確立されていたことが明らかになりました。注目すべきは、今回、自己細胞死がうまく起こらないと通水細胞や支持細胞の形成が異常になり、とくに通水細胞の欠落が乾燥条件下でのコケの生育を劇的に損なうことが初めて実験的に示されたことです。これは、自己細胞死システムによって高い水輸送能力をもった通水細胞が生み出せるようになったことが、植物が水中から乾燥した陸上へ進出するための鍵であった可能性を強く示唆しています（図4）。

【研究の位置づけ】

現在の人間を含む陸生の大型生物の繁栄は、元をたどれば植物陸上化の成功によって築かれたものです。本研究では、植物陸上化を可能にした重要なイベントの一つが、原始植物の自己細胞死システムの獲得にあったということを世界で初めて明らかにしました。これは地上生物圏進化の大きなターニングポイントの一つである植物陸上進出の謎に迫る、きわめて重要な発見です。

さらに、本研究成果は、この自己細胞死システムが、陸上植物だけが持っている遺伝子によって制御されている可能性が高いことを突き止めました。この遺伝子は通水細胞と支持細胞の両方の形成をコントロールする遺伝子であり、すべての陸上植物が共通してもっています。化石資源依存の消費型社会を脱却し、次世代型の持続的社會を構築するためには、陸上植物バイオマスの利活用技術の開発と普及の促進が急務です。陸上植物バイオマスの最大の供給源は、維管束植物の通水・支持細胞である道管や繊維細胞が生み出す木質バイオマス（具体的にはこれらの細胞の厚い細胞壁に蓄積される各種ポリマー分子）に他なりません。本研究成果は、植物進化の謎の解明に迫ると同時に、これらバイオマスの生合成のしくみの大筋が陸上植物すべてで共通していることを明らかにしました。つまり、*VNS*遺伝子的人為的制御によって、現有のほとんどすべての木質バイオマスの改変が可能であることがいま初めて明らかにされたと言えます。本研究の発見が、陸上植物すべてに通じる高い汎用性をもったバイオマス制御技術開発につながることを期待されます。

【補足説明】

● 自己細胞死とは

動物、植物などの多細胞生物で広く見られる計画された細胞の自殺のこと。傷害ダメージによって起こる細胞死とは異なり、自己細胞死ではあらかじめ決められたプログラムに従って速やかな細胞死がおこる。このためプログラム細胞死ともよばれる。多細胞生物は組織や器官をつくる過

程や、環境ストレスなどの外的要因への応答の一環として自己細胞死を利用し、正常な発生や応答を達成している。

- ヒメツリガネゴケとは

ヒメツリガネゴケ (*Physcomitrella patens*) は蘚類に分類されるコケ植物の一種。培養が容易であること、一世代の期間が短いこと、個体サイズが小さいこと、さらには遺伝子改変操作が可能であること、といった実験生物学的材料としての利点を兼ね備えているため、モデルコケ植物として広く世界中で研究に用いられている。2007年には日本、アメリカ、ドイツ、イギリスなど6カ国からなる国際コンソーシアムの元でヒメツリガネゴケゲノムが解読され、比較ゲノムによる植物進化研究においても重要な実験材料となっている。

- 通水細胞とは

植物において、体内で水を輸送するために特殊化した細胞のこと。もっとも発達した通水細胞は維管束植物がもつ道管細胞であり、二次的に形成されるリグニンを含んだ厚い細胞壁（二次細胞壁）と細胞死による空洞化によって特徴付けられる。さらに道管細胞は隣の道管細胞と接した細胞壁に大きな穿孔があき貫通してつながり、管状の長い通導組織、すなわち道管を形成する。穿孔ができない場合には仮道管とよばれる。コケの通水細胞はハイドロイドとよばれ、道束（中心束）と呼ばれる通導組織を形成する。ハイドロイドは一般的に薄い細胞壁をもった長く伸長した細胞である。

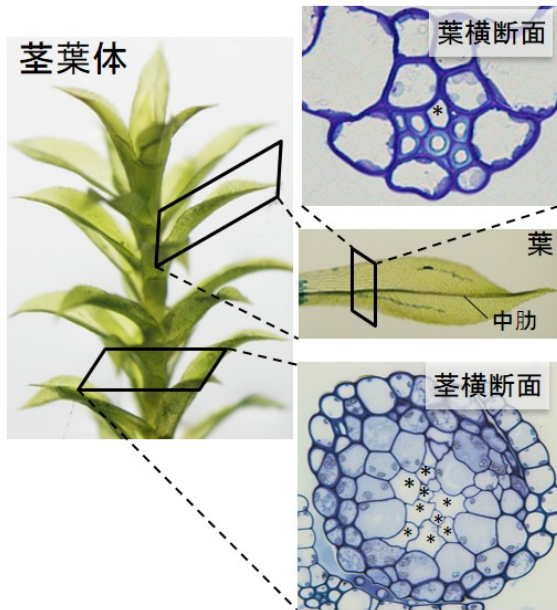
- 支持細胞とは

植物体に機械的強度を与えるために厚い細胞壁を発達させた特殊な細胞のこと。とくに維管束植物でリグニンを含む二次細胞壁を発達させるものは厚壁細胞と呼ばれ、細長く伸長した繊維細胞がその代表である。繊維細胞は衣類や製紙の原材料として広く用いられており、産業上重要である。コケ（蘚類）の葉の中心部分（中肋という）で見られる支持細胞はステライドとよばれ、厚い細胞壁をもつ比較的小さな細胞である。

- VNS 遺伝子とは

陸上植物に特有の遺伝子転写制御因子である NAC ドメインタンパク質のうち、とくに通水細胞や支持細胞の分化制御に関わる一群の VND-, NST/SND-, SMB-related protein ファミリーをコードする遺伝子の略称。VND (VASCULAR-RELATED NAC-DOMAIN) は道管細胞の分化を制御する遺伝子として、NST/SND (NAC SECONDARY WALL THICKENING PROMOTING FACTOR /SECONDARY WALL-ASSOCIATED NAC DOMAIN PROTEIN) は繊維細胞の分化を制御する遺伝子として、また SMB(SOMBRERO)は根冠細胞の分化を制御する遺伝子として、シロイヌナズナ研究から発見され、これまでにポプラやイネ、タルウマゴヤシなどの VNS が同様のはたらきを担っていることが報告されている。

A ヒメツリガネゴケ



B シロイヌナズナ

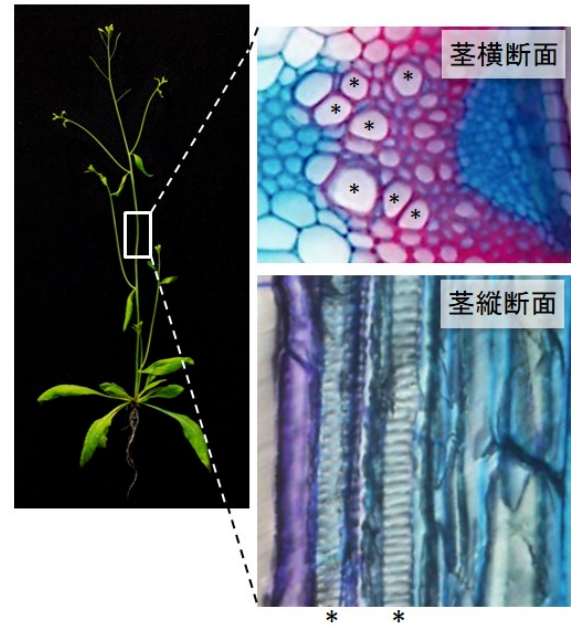


図1. 植物の通水細胞（アスタリスクで示した細胞）

(A) ヒメツリガネゴケの通水細胞はハイドロイドと呼ばれ、茎葉体の茎や葉の中央部に存在する。ハイドロイドは細胞内容を失った死細胞で、細胞壁は薄い。

(B) シロイヌナズナの通水細胞は道管細胞と呼ばれ、他の細胞とともに木部とよばれる組織を形成する。道管細胞も死細胞であり、特徴的な厚い二次壁を持つ。

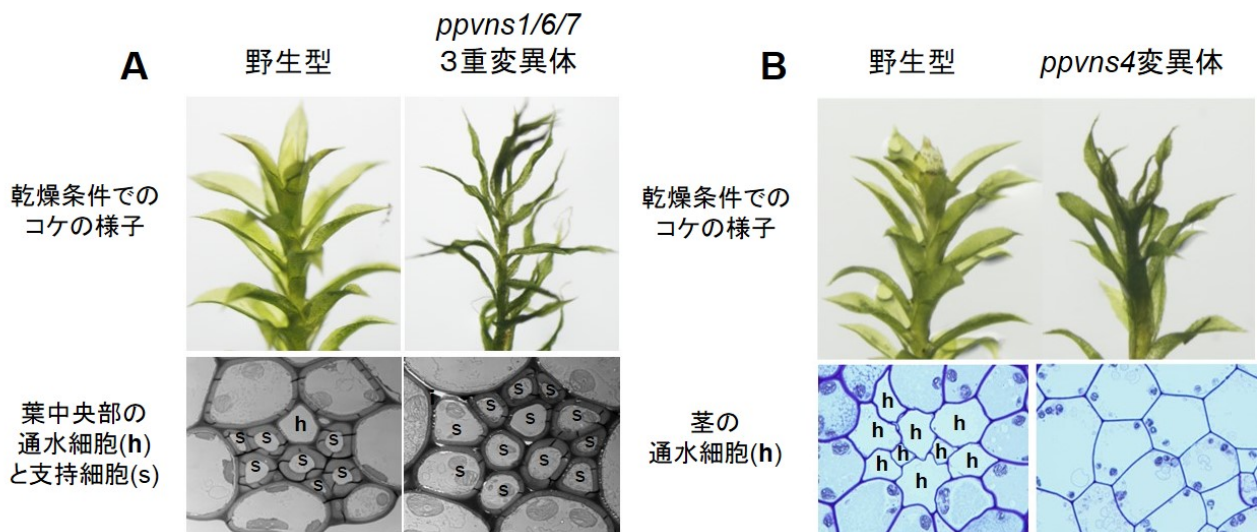


図2. *ppvns* 遺伝子変異体の性質

ppvns 変異体では葉や茎の通水細胞が異常になり、水輸送の能力が低下する。その結果、乾燥条件ではしおれてしまう。(A) *ppvns1/6/7* の3重変異体の様子。葉の中心部にできる通水細胞（ハイドロイド：h）が欠落し、さらに支持細胞（ステライド：s）の細胞壁がうすくなってしまふ。(B) *ppvns4* 変異体の様子。茎の中央にできる通水細胞（ハイドロイド：h）が欠落する。

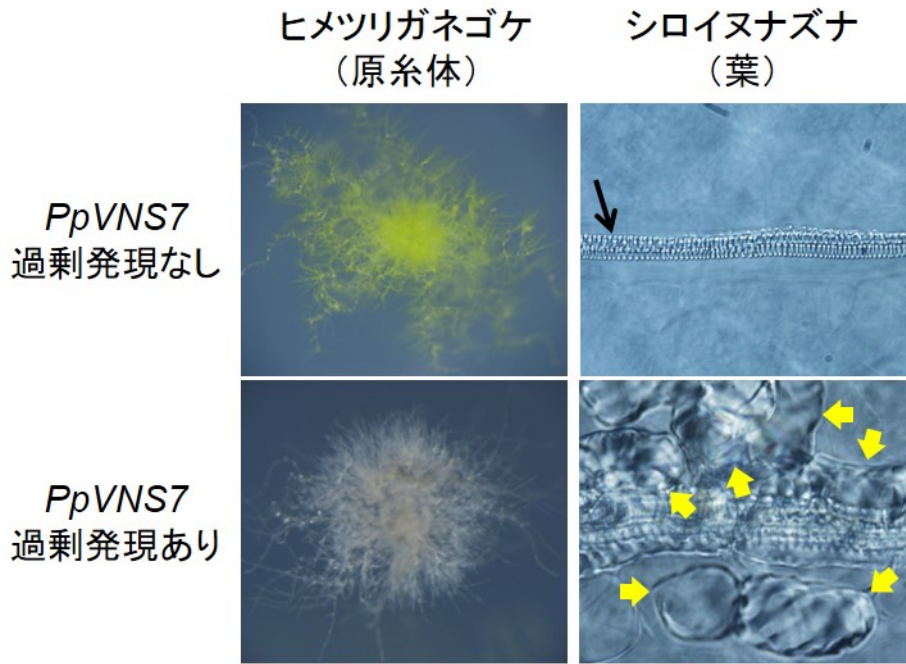


図3. *PpVNS7* 遺伝子の過剰発現の影響

PpVNS7 遺伝子をヒメツリガネゴケの原系体（糸状に細胞が連なった状態の幼体）の中で過剰発現させると、細胞死が誘導されて原系体全体が白化する。

シロイヌナズナの葉で過剰発現させると、表皮細胞や葉肉細胞が道管細胞に分化し、道管細胞に特徴的な模様をもった厚い二次壁が観察される（黄色の矢印）。細い黒矢印は、葉の本来の道管を示す。

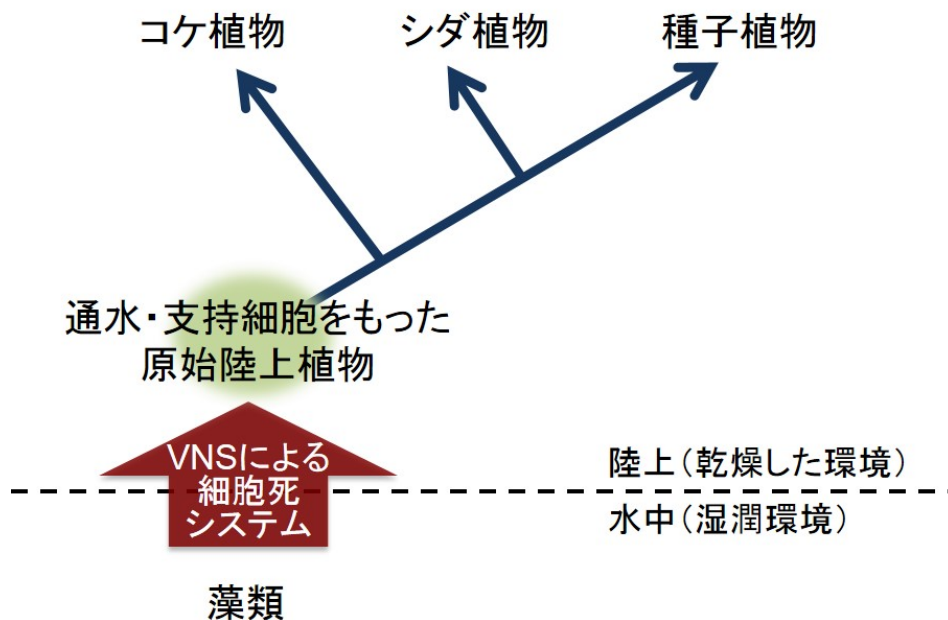


図4. 植物陸上化のイメージ図

植物の陸上化の過程では、自己細胞死のシステム獲得による通水・支持細胞の進化が重要なイベントであったと考えられる。

【本研究内容についてコメント出来る方】

東北大学大学院生命科学研究所植物細胞壁機能分野

西谷和彦 教授

〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3

TEL 022-795-6700 FAX 022-795-6669 nishitan@m.tohoku.ac.jp

東京大学大学院理学系研究科生物科学専攻

福田裕穂 教授

〒113-0033 文京区本郷 7-3-1

TEL 03-5841-4461 FAX 03-3812-4929 fukuda@biol.s.u-tokyo.ac.jp

【本プレスリリースに関するお問い合わせ先】

奈良先端科学技術大学院大学 バイオサイエンス研究科 植物代謝制御研究室

教授 出村 拓

TEL:0743-72-5468 FAX:0743-72-5469 携帯電話:080-1172-9882 E-mail:demura@bs.naist.jp

理化学研究所 環境資源科学研究センター バイオマス工学連携部門 セルロース生産研究チーム

研究員 大谷美沙都

TEL : 045-503-9576 FAX : 045-503-9609 E-mail : misato.ohtani@riken.jp

自然科学研究機構 基礎生物学研究所 生物進化研究部門

教授 長谷部光泰

TEL : 0564-55-7628 FAX : 0564-55-7597 E-mail : mhasebe@nibb.ac.jp