



科学研究費補助金 学術変革領域研究 (A)

プラズマ駆動種子記憶操作：
プラズマが駆動する
種子内分子動態の学理創成
(領域略称：プラズマ種子科学)



こんなところにもプラズマ技術!

このコラムでは、領域に関わるトピックと社会との接点について取り上げます。今回の執筆者は、領域代表を務める九州大学の古閑一憲教授。実は私たちの身近にあるプラズマについてお話します。

本領域では、種子の発芽や成長を促進するためのプラズマ技術が研究対象です。農業とプラズマの組み合わせとお伝えすると非常に驚かれることが多いのですが、実はプラズマはとても身近なもの。例えば、LED照明や蛍光灯、電子レンジ、テレビ、スマートフォン。病院での検査などで使われるカテーテルから人工衛星のイオンエンジンまで、並べてみればきりが無いほどに使用されています。

使われ方も多様です。例えば家電製品に使われているメモリやCPUなどの半導体デバイス。最近では半導体メーカー「ラピダス」が2ナノメートル級のトランジスタの試作に成功したことがニュースになりましたが、中身を観察すると非常に微細な細工が施してあります。この細工のためには、「プラズマエッチング」と呼ばれる材料を彫る技術と、「プラズマデポジション」と呼ばれる材料を積む技術の精密な組み合わせによって形作られています。これらにより、直径300mmのシリコンの板に、直径100mm、深さ数ミクロンの穴を1兆個同時に作製する

ことができます。デポジションは、真空装置の中に原料となるガスを入れた状態でプラズマを発生させ、ガスの分子が化学反応により基板に付着し、薄い膜を形成するという技術。ペットボトル、自動車エンジン部品のコーティングなどにも使われています。

上述したプラズマは、種子に照射するプラズマとは発生方法などが違いますが、活性種(化学的に反応性の高い分子)、イオン、電場、光を使っていることは共通。半導体分野では、プラズマの制御を非常に高度なレベルまで引き上げることで現在の繁栄を得ました。農業分野でも、プラズマ、植物の理解と制御で大いなる繁栄に導きたいものです。



九州大学
古閑一憲 (こが・かずのり)

九州大学システム情報科学研究院教授。領域代表に加え、計画研究「プラズマが駆動する気相から種子への活性種輸送の学理構築」(A02-1)の代表も務める。

About this booklet

「プラズマ種子科学」ニュースレターとは

このニュースレターは、科学研究費補助金 学術変革領域研究(A)「プラズマ駆動種子記憶操作:プラズマが駆動する種子内分子動態の学理創成(領域略称:プラズマ種子科学)」の研究成果や活動内容を、広く社会のみならずにお伝えすることを目的としています。

プラズマは電気エネルギーを活性種やイオンに変換する特性を持ち、その農業活用が世界で研究されています。植物の環境適

応記憶は種子のDNA修飾として次世代に継承されますが、温暖化による高温ストレスは種子にダメージとして記憶され、発芽率低下や収獲減を引き起こします。我々は、プラズマ照射がDNA修飾を変化させ、種子のダメージを回復できることを発見しました。本領域では、プラズマによる種子改良研究を新たな学術領域へ発展させることを目指しています。そのため、以下の3つの研究項目を設定しています。

- ◆ A01: 活性種の高選択・高再現照射を実現する「プラズマ」創成
- ◆ A02: 種子内のプラズマ駆動分子輸送の学理解明
- ◆ A03: DNA修飾や表現型変化の分子機構を解明する「プラズマ駆動オミクス」構築

謝辞: 学術変革領域研究「プラズマ駆動種子記憶操作:プラズマが駆動する種子内分子動態の学理創成」総括班(24H02246)

【お問い合わせ】

〒819-0395 福岡市西区元岡744
九州大学システム情報科学研究院古閑研内 学術変革領域研究「プラズマ種子科学」事務局
e-mail: e.yanagawa@plasma.ed.kyushu-u.ac.jp
HP: <https://plasma-seed-science.plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/>



Atsushi Ito × Tadashi Kunieda

伊藤篤史(いとう・あつし)

核融合科学研究所准教授。計画研究「植物種皮—プラズマ界面物理のシミュレーション科学の創成」(A02-2)の代表。

國枝正(くにえだ・ただし)

奈良先端科学技術大学院大学助教。計画研究「細胞壁構造から紐解くプラズマ生成活性種の種子組織内部伝達メカニズム」(A02-3)の代表。

Interview 01

プラズマ種子科学として、 異分野連携でプラズマ×作物を解明する

本領域では異分野の研究者が集い、プラズマ種子科学という新たな学問の創成をはかっています。
なぜ多方面からのアプローチが必要なのか、その意義は？
伊藤篤史先生(物理学)と、國枝正先生(植物学)が対談しました。

—まず、プラズマ種子科学とはどのような研究なのでしょうか。

伊藤 プラズマは目に見える宇宙の物質の99%を占め、固体・液体・気体に続く「第4の物質状態」と呼ばれています。従来は宇宙のような真空環境でしかプラズマ状態を維持できませんでしたが、技術革新により、2000年頃から空気中でも維持できる「大気圧プラズマ」技術が実用化されました。しかも低温で、指で触ってもやけどしないので、さまざまな分野で活用が進んでいます。空気中でプラズマを発生させると、酸素や窒素の分子が分解されて、自然界では不安定な活性分子が瞬間的に作られます。これらの分子を植物に当てると、成長が促進されることがわかってきました。ただ、プラズマ研究者だけでは「当てたらよく育った」といった観察に留まってしまいます。なぜそうなるの

かという仕組みを解明したいのです。

國枝 2000年代には植物学でも大きな技術革新がありました。従来は個々にしか調べられなかった遺伝子発現等を網羅的に解析できる**オミクス解析**の手法が確立されました。これによって、生命現象の全体像が把握できるようになりました。

伊藤 まさに「出会うべくして出会った」タイミングですね。大気圧プラズマ技術と**オミクス解析**技術が同時期に実用化されたことで、プラズマ種子科学という新しい分野が生まれたわけです。プラズマがどのように種子に作用し、種子のなかで何が起きていて、どういった効果を生み出すのかを解明するのがプラズマ種子科学です。

— 学術変革領域研究(以下、学変)として解明すべき「謎」とは

どういふものなのでしょう？

伊藤 大別すると2つのブラックボックスがあります。1つ目は「プラズマの活性分子がどうやって硬い種皮を通り抜けるのか」、2つ目は「なぜピンポイントにDNAのメチル化を起こすのか」です。

國枝 1つ目の謎について補足すると、植物の種子は硬い種皮に覆われていて、通常は水や有害物質をはじいて内部を守っています。ハスの種子のように、1000年前の種子でも適切な条件があれば発芽できるほど、種皮は頑丈な構造。私は当初、プラズマによる表面改質効果がこの硬い種皮に作用して発芽を促進するのではないかと考えていたのです。ただ、プラズマの効果はこれに限らないようで……。

伊藤 使っているプラズマは微弱で、なおかつ直接種子に当てるのではなく、数センチ離れたところで発生させた活性分子が種子に降ってくる程度です。空気よりもはるかに少ない量しか当たっていないのに、表面改質に加えて、種子の内部でメチル化というDNAの修飾状態が変わることが実証されているのは、とても興味深いですね。

國枝 おっしゃる通り、2つ目の謎も説明が手強そうです。種子の中は水分がほとんどなく、生体活性がかなり低い状態です。そこでなぜDNAの修飾が変わるのか、そのメカニズムはまったく想像が付きません。

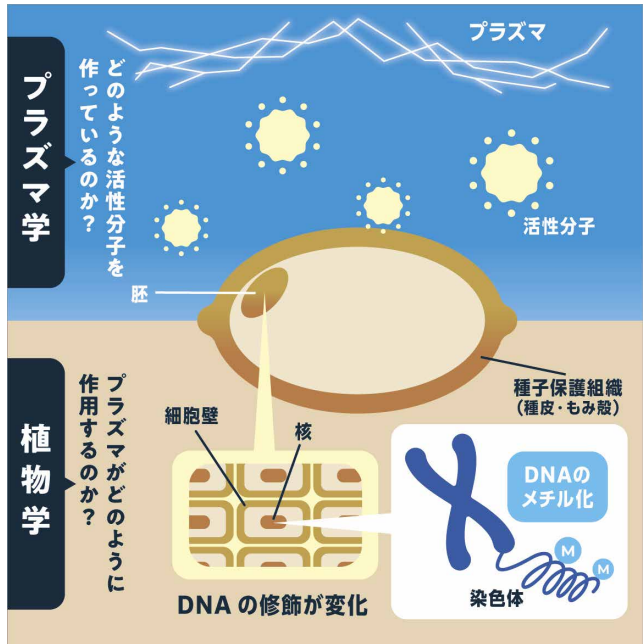
おそらく、活性分子が種皮の細胞壁に通り道を作り、何らかの生命現象プロセスを通じて最終的にDNA修飾に至るのでしょうが、その過程を説明するには、プラズマがどんな活性分子をどの程度作り出しているかを正確に把握する必要があります。

— そこで異分野の研究者による協力が必要になるのですね。

伊藤 おっしゃる通りで、活性分子を作ること自体も職人芸です。加えて、これらの分子は非常に短寿命と考えられています。だからこそ、プラズマ学の専門家から植物学の専門家へと協力して活性分子を届ける必要があるのです。

國枝 研究のアプローチという観点でも協力は必須です。種子は二重構造になっています。外側の種皮は、いわば「死んだ細胞」でできた硬い殻です。例えるなら、卵の殻のようなもので、中身を外敵から守る役割をしています。一方、内側には「生きた細胞」があり、水が供給されると目を覚まして分裂や成長を始め、やがて発芽や発根に至ります。この構造の違いが、研究アプローチの違いを生むのです。外側の硬い殻は安定しているので物理学の法則で解析できます。でも内側の生きた部分は、遺伝子が働いてさまざまな化学反応が起こる複雑な世界です。

伊藤 僕の専門はシミュレーションで、コンピュータ上で原子一つ一つの動きを再現し、プラズマが固体表面を改質させる様子を調べてきました。種皮のような「死んだ」構造なら、固体表面向けの計算技術が応用できそうです。でも生きた細胞のなかで



起こる複雑な生命現象は、簡単には予測できないので、難しくもワクワクしています。つまり、プラズマが種皮を通り抜ける過程は物理学で、その結果として内部で起こる遺伝子の変化は植物学で解析する必要があります。両方の専門知識を組み合わせることで、この謎が解けるのです。

— 学変プロジェクトは5年という期間が決まっていますが、目指すゴールは？

伊藤 5年後には「プラズマ種子科学」がちゃんとした学問分野として認められることを目指しています。研究者たちは、プラズマ学／植物学それぞれの学会に戻って発表しているのが現状です。本当の意味での分野融合を実現するには、学変の終了後にも両方の専門家が集まり続ける研究領域を確立できたらいいなと思います。そうしないと、研究者は結局、元の専門分野に戻った方が幸せという状況になってしまいます。

國枝 裾野を広げることも重要ですね。私自身、以前はプラズマ領域にまったく縁がありませんでした。でも今では、学会で関連セッションがあると足が向くようになりました。こうした意識の変化をさまざまな分野の研究者にも広げていければ、より発展していくと思います。

— 最後に、この分野の将来への期待をお聞かせください。

國枝 昨今の食糧不足から「プラズマ×植物」は社会的に期待される分野であることはもちろんですが、生命現象の難題に専門性が大きく異なる研究者が一緒になって挑んでいる魅力的な分野だと思います。プラズマ種子科学の発展に加えて、この研究をきっかけに普段は接点の少ない研究者同士の“知”が会えることで、次の新しい学問を生むポテンシャルを秘めた分野だと思います。

伊藤 宇宙の神秘と生物の神秘が掛け合わさった、本当にロマンのある分野だと思います。物理・工学の立場で立証すべき部分と、生物学・植物学の立場で説明すべき部分に分かれていて、両方からアプローチしなければ謎は解けません。この協力こそが、新しい学問分野を創生する醍醐味だと感じています。

【用語解説】

オミクス解析 遺伝子発現、タンパク質、代謝物などを網羅的に調べる手法。生命現象の全体像を把握できる。

細胞壁 植物細胞を覆う硬い壁。種皮は特に厚く丈夫で、内部の生きた細胞を外敵や乾燥などの環境ストレスから守る。

石橋勇志 (いしばし・ゆうし)

九州大学大学院農学研究院教授。福岡県久留米市出身。農業研究の傍ら学生と白球を追いかける日々。圃場でもグラウンドでも地球温暖化を実感中。

Yushi Ishibashi

Interview 02

プラズマが拓く次世代農業 ——種子のエピゲノム制御で環境適応を実現

学術変革領域研究(以下、学変)内の研究者にフォーカスする本コーナー。
今回は、「プラズマによるエピゲノム変動と種子発芽の相関解析」(A03-1)に挑む、
九州大学の石橋勇志教授に話を聞きました。

——プラズマ種子科学が目指すのは、プラズマ農業(プラズマ照射による農作物の成長促進、収量増加、化学肥料・農薬の削減など)の実現です。そもそもなぜプラズマ農業が求められているのか、その社会的背景を教えてください。

石橋 世界人口が2050年には97億人に達すると言われるなか、世界中の農地面積は1960年からほぼ横這いの16億ヘクタールのままです。増え続ける人口に対応するためには、現状の1.7倍の食糧を生産しなければなりません。そうした根本的な環境の問題に加えて、気候変動によって作物の収量が不安定になってきている。この課題解決の一つのアプローチとして、プラズマ農業があります。

——気候変動が農業に与える具体的な影響はどのようなものでしょうか？

石橋 地球温暖化によって高品質な米の収穫量が減っています。これまでも国、県などの自治体で高温に強い品種の育成が進められてきましたが、それでも対応できないほどの異常な高温が最近見られるようになってきました。例えば、2023年の夏は記録的な猛暑となり、全国的に一等米比率が大幅に低下しました。イネなど作物は登熟期(出穂してから成熟する期間)に30℃以上の高温環境にさらされると、**DNAのメチル化**変動によって収穫後の種子の発芽が遅延することがわかっています。ところが、ダメージを受けた種子にプラズマを照射することで**DNAのメチル化**を変化させ、遺伝子の発現のスイッチを切り替えられることがわかってきました。すなわち、プラズマ照射により種子の**エピジェネティクス制御**の可能性が見出されました。

——従来の品種改良技術では、なぜ気候変動に対応しきれない

のでしょうか？

石橋 現在の品種改良の主流は、品種と品種を交配してさまざまな系統を作っていく方法です。ほかに遺伝子組み換えや、最近ではゲノム編集技術でピンポイントに遺伝子領域を改善していくという手法もあります。ただ、気候変動は複雑で、暑い時もあれば線状降水帯で豪雨になる時もある。例えば豪雨に強い遺伝子設計にしても、暑さには対応できないということが起こってしまいます。それらとは異なる**エピジェネティクス**は、さまざまな遺伝子発現の調節を担っているので、プラズマでそれを調節することでさまざまな環境に適応した食糧生産ができるのではないかと考えています。

— 高温にさらされてメチル化変動した種子にプラズマを照射し、その変動を解除して発芽を促進するのは、どのようなメカニズムなのでしょうか。

石橋 DNAを構成するシトシンのメチル化が高いと遺伝子の発現は抑制され、低いと遺伝子発現が高くなるというのが一般的に言われているところでした。しかし、気候変動による影響は高メチル化だけではなく、低メチルにもなることもあったことがわかってきました。まだ解析中ではありますが、プラズマの照射によって低メチル化だけでなく、メチル化を高める可能性も出てきた。必ずしもプラズマを当てて低メチル化させるというわけではなく、メチル化を増やしたり減らしたりという制御を行うということです。

社会実装への技術的な課題

— 社会実装に向けて、現在はこういったフェーズにありますか？

石橋 まさに、これからの技術だと思っています。技術としてはある程度できてきているので、認知度を高めて、実証の場をたくさん増やし、日本のみならず海外へも展開していくことが第一目標です。

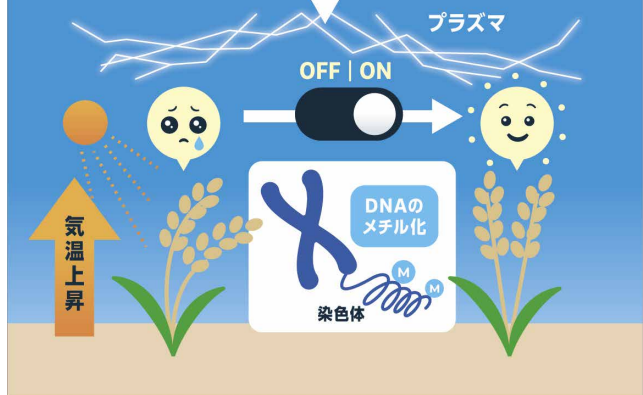
— 技術的な課題はどのようなものがありますか？

石橋 プラズマには多くの種類と強さがあり、種子の状態によっても効果が変わります。どういうプラズマが最もその種子に効果的なのか、品種ごとに最適な条件を解明する必要があります。プラズマ側の研究者もさまざまなプラズマを使って、どういう活性種が種子に効いているのかを研究しています。

— 社会実装に向けた具体的なスケジュールは？

石橋 現在、学変プロジェクトの2年目なので、3年後の2028

遺伝子発現を調整するプラズマ照射によるエピジェネティクス制御とは？



年頃までには、実証実験を完了させ、農業現場での実用化に向けた準備を整えたいと考えています。実際にスーパーに並ぶまでには、最短でも5年程度はかかると考えています。加えて、実装に向けてはコスト面の課題も浮上してくると思います。

— この技術が普及した場合、どのようなインパクトがありますか？

石橋 農業生産には3つの技術が重要だと思っています。一つは植物がどういう状況にあるかを知る技術、二つ目がどういう処方箋を打つかという対処技術、三つ目が自動化技術です。プラズマ技術は二番目の処方技術にあたり、環境に適応できるような食料生産を可能にします。

— 遺伝子組み換え食品のような説明や表示は必要なのでしょうか。

石橋 新しい技術なので、消費者のみなさんの反応は非常に重要です。きちんとメカニズムを示し、エビデンスを明確にすることが重要だと思います。ただ、科学技術的には、今回の技術による遺伝子設計図の変化はほぼありません。遺伝子組み換えのように違うゲノムを組み込んで変えたりすることはないので、むしろ消費者の心理的なハードルは低く、受け入れやすい技術だと考えています。

— 最後に、この技術への期待や展望をお聞かせください。

石橋 プラズマに限らず、農業技術がどれだけ普及できるかは大きな課題です。農業分野は新技術導入が難しい面もありますが、自治体やJAなど農業従事者に近い関係者と協力することで、抵抗感なく導入できるようにしたいと思っています。学変における研究自体も現在は異種格闘技戦のような段階です。これまでまったく異なる分野の研究者が集まっているので、私もほかの先生の研究内容を完全に理解するということまで至っていない部分もありますが、プラズマ学の専門家の方々が生物学を積極的に取り入れている姿勢には感銘を受けています。気候変動時代の農業問題を解決する可能性を秘めたこの技術が、世界の食料安全保障に貢献できる日が来ることを期待しています。

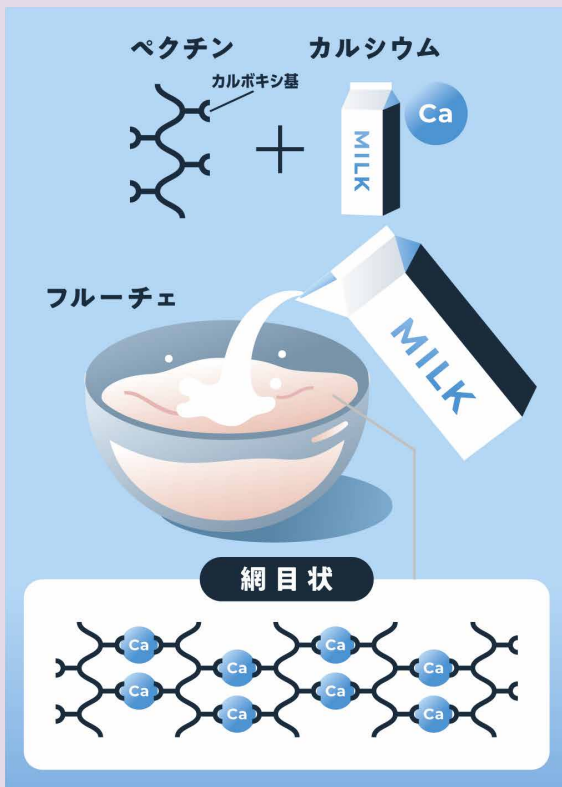
【用語解説】

DNAのメチル化 遺伝子の配列を変えずに、DNAにメチル基という化学的な目印を付けることで遺伝子の働きを調節する仕組み。

エピジェネティクス制御 遺伝情報そのものは変えずに、DNAへの化学的な修飾によって遺伝子の働きを制御すること。



ハウス食品のフルーチェが牛乳を加えるだけで固まるのは、どんな成分のおかげでしょう？



A. ペクチン

植物の細胞壁には、さまざまな多糖類が含まれます。その一つが「ペクチン」。ペクチンはガラクトツロン酸という糖がつながった鎖状の分子で、カルボキシ基という部分を持っています。

フルーチェの素に牛乳を加えると、牛乳のカルシウムがペクチンのカルボキシ基とくっつきます。すると、ペクチンの鎖同士が橋のようにつながって網目構造ができ、ゲル状の食感を作り出すのです！

実は植物内のペクチンは最初「メチルエステル化」状態でカルシウムとくっつきにくくなっています。時間がたつとこれが除去され、カルシウムとくっつきやすくなります。フルーチェがおいしく固まるには、このメチルエステル化の程度が重要なのです。



埼玉大学
小竹敬久 (こたけ・としひさ)

埼玉大学理工学研究科教授。糖鎖生物学を専門に植物細胞壁が形成される仕組みやその生理機能を研究している。学変では計画研究「細胞壁構造から紐解くプラズマ生成活性種の種子組織内部伝達メカニズム」(A02-3)の研究協力者として、主に細胞壁を構成する成分の生化学的分析に携わっている。



Information

今後の関連学会の予定等 (詳しくは学会HPや領域HPを参照ください)

[2025年]

- 11月3日～11月6日 14th Asian-European Conference on Plasma Surface Science @Puket, Thailand
- 11月10日～11月12日 第35回日本MRS年次大会@北九州市、福岡県
- 11月13日～11月14日 46th International Symposium on Dry Process@ 松山市、愛媛県
- 11月28日～11月29日 領域 若手の会@奈良県
- 11月29日～11月30日 領域 領域横断会議・総括班会議@奈良県
- 12月1日～12月4日 第42回プラズマ・核融合学会 年会@ 京都府
- 12月3日～12月5日 第48回日本分子生物学会 年会@神奈川県 (★12月4日に領域のシンポジウムが開催されます)
- 12月8日～12月12日 Material Research Meeting 2025 @神奈川県

[2026年]

- 2月20日～2月21日 プラズマ種子科学研究会 @山形県
- 3月15日～3月18日 2026年 第73回 応用物理学会 春季学術講演会応物春 @東京都
- 3月28日～3月29日 第261回日本作物学会 講演会@群馬県
- 5月31日～6月5日 11th International Conference on Plasma Medicine@ 岐阜県



FROM
研究室

研究室の癒やし



葉植物のポトス・ グローバルグリーン

私 の研究室の癒やしは、観葉植物のポトスちゃんです。サトイモ科の植物で、学名は *Epipremnum aureum*。研究はうまくいかないことが多く、そのような結果を解析する時に癒やしが欲しいな……と考えていました。そんな2年前のある日、研究室の最寄り駅にあるガーデニングショップで出会い、一目惚れ！そのまま連れて帰り、研究室の机の上へお迎えすることにしました。実は、サボテンを枯らしてしまったこともある私ですが、ポトスちゃんは元気に成長してくれていて、きれいな緑の葉と、葉の個性にとっても癒やされています。



日本大学

松下祥子 (まつした・しょうこ)

日本大学理工学部助教。公募研究「イメージング質量分析を用いた種子界面の分子局在解析」(AO2-PI2)の代表を務める。



今月の表紙

この写真は、イネの種子にプラズマを照射している様子です。写真のプラズマは「大気圧ヘリウムプラズマジェット」と呼ばれ、ガラス管のなかにヘリウムガスを流し、数千ボルトという高い電圧をかけて作ります。プラズマのなかでは、電気を帯びた粒子（電子やイオン）が勢いよく動き回り、普通では作れない特別な分子や原子も生まれます。

このプラズマ、実は私たちの身近なところでも活躍しています。例えば、スマートフォンのなかにある極小の電子回路を作るときや、宇宙探査機の推進機にも使われています。

では、種子にプラズマを当てるとどうなるのか。普通の環境では絶対にない特別な変化が種子に起こります。私たちはこの現象を利用して、種子の性質を改良する新しい技術を開発し、農業をより良くしたいと考えて研究しています。昔から「雷が多い年は稲が豊作になる」との言い伝えがありますが、雷もプラズマの一種。この研究は昔の人の知恵を科学的に再現して、安定した豊作を目指す取り組みともいえます。



東京大学

小野 亮 (おの・りょう)

東京大学新領域創成科学研究科教授。学変では、計画研究「電子電界形成から活性種生成までの統合解析」(AO1-2)の代表を務める。

