

NEWS LETTER

科学研究費補助金 学術変革領域 (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)

VOL.0

ニュースレター発刊にあたって

～「プラズマ種子科学」の新たな学術領域の創成を目指して～

このニュースレターは、科学研究費補助金 学術変革領域 (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、研究者コミュニティをはじめ、広く社会の皆様にお伝えすることを目的として発刊いたします。

本研究領域では、プラズマ照射による種子のDNA修飾メカニズムの解明を通じて、気候変動時代の食料生産課題に対する新たな解決策の創出を目指しています。このニュースレターが、「プラズマ種子科学」という新しい学術領域の発展と、その社会実装に向けた理解促進の一助となることを願っております。

本領域の概要

プラズマは、外部から投入された電場などの電気的エネルギーを電子の運動エネルギーに変換し、電子と原子・分子の衝突により、光、イオン、化学的に活性な分子 (活性種) を生成します。現在、このプラズマの特性を農業に活用するための研究が世界中で活発に行われています。

植物は根を張った場所から移動することができないため、気候の変化に対する高い適応能力を発達させています。この適応能力は種子のDNA修飾に記憶として格納され、次世代に受け継がれます。しかし、温暖化による作物の収穫量減少は、高温ストレスを受けた親世代の環境適応記憶として種子に格納され、発芽率低下・品質劣化・収穫減という次世代の植物と人間にとって望ましくない結果として現れます。

我々は、親世代が高温ストレスを受けてダメージを負った種子へのプラズマ照射が、遺伝子発現のON/OFFを制御するDNA修飾を変更し、ダメージを回復することを明らかにしました。

本研究領域では、なぜプラズマが種子のDNA修飾を容易に変化させるのかを解明するため、プラズマ照射による種子の発芽・成長・収穫量促進に関する従来の経験論的研究を、「プラズマ種子科学」という新しい学術領域へと発展させることを目指しています。

そのため、以下の三つの研究項目を設定し研究を推進しています。

- ◆ 反応性の高い活性種の高選択・高再現照射を実現する「プラズマ (研究項目A01)」の創成
- ◆ 種皮/細胞壁・細胞膜を通して細胞質に至る「種子 (研究項目A02)」内のプラズマ駆動分子輸送の学理解明
- ◆ プラズマ照射がDNA修飾や表現型変化を起こす分子機構を網羅的に検討する「プラズマ駆動オミクス (研究項目A03)」の構築

プラズマ種子科学を構築した暁には、分子生物学的解析法を創成するとともに、食料生産の変革が期待できます。

計画研究

本領域の開始当初において11の研究課題が計画されています。各研究項目を代表する分野である、プラズマ科学(AO1班)、植物学・分子生物学(AO2班)、作物学(AO3班)の研究者があつまり、プラズマ照射からエビジェネティクスな変動に至るその分子機構の一貫したモデル構築などを目指します。

PLANNED RESEARCH

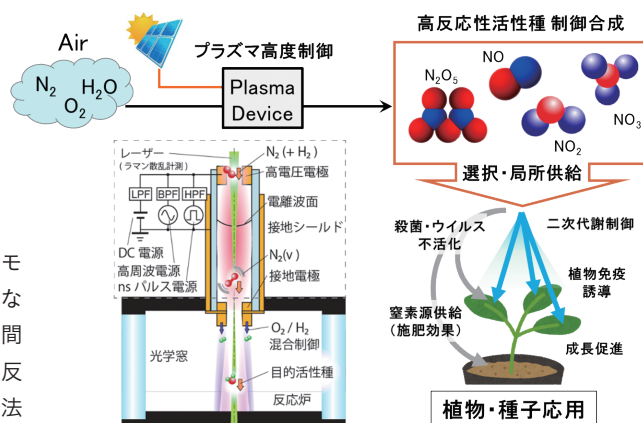
A01-1

活性種選択照射 プラズマの創成



金子俊郎
東北大学

本研究では、空気プラズマの高度な制御により、 NO_x や NO_3 ラジカル、アンモニア等の高反応性活性種を選択的に合成し、植物や種子の表面への局所的な供給を可能とするシステムの創成を目指す。具体的には、マルチスケール時間電界制御装置を用いて窒素プラズマ中の励起種の生成を制御し、放電部や反応炉への水素や酸素の導入による所望の高反応性活性種の選択的合成手法を確立するとともに、それらの植物・種子への局所供給効果を解明する。



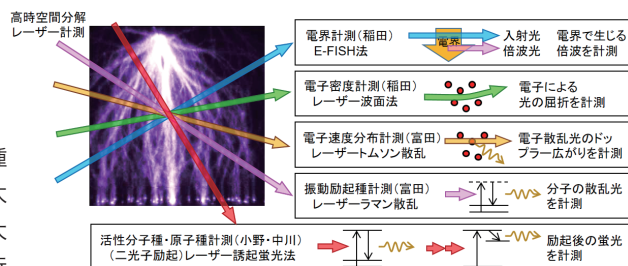
A01-2

電子電界形成から 活性種生成までの統合解析



小野亮
東京大学

大気圧プラズマの様々な活性種の生成消滅機構を明らかにするため、活性種のレーザー誘起蛍光法による測定に取り組んでいる。A01-2班では富田健太郎先生(北海道大学)、中川雄介先生(東京都立大学)、稲田優貴先生(埼玉大学)とともに、電子密度、電子エネルギー分布、電界強度もレーザー計測を行っている。この他に、OHやOなどの活性種を選択的に照射する独自開発した手法により、各活性種の種子照射への効果も測定している。



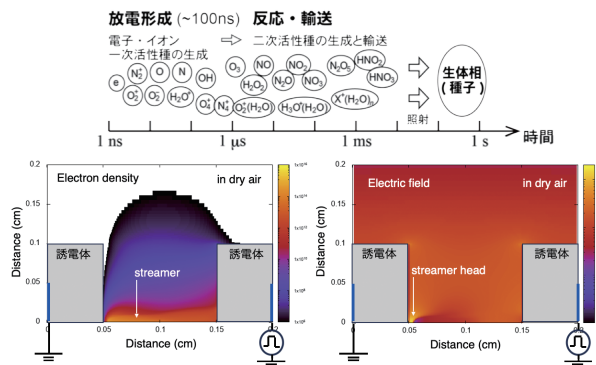
A01-3

活性種選択輸送の 指導原理構築



柘久保文嘉
東京都立大学

プラズマ照射による種子発芽制御の作用機序解明には、プラズマ生成に伴う荷電粒子/化学活性種の反応・輸送過程の解明、及び、その制御の提案が必須である。本研究では主に誘電体バリア放電に伴う大気圧低温プラズマを対象として数値解析を行い、幅広い時間・空間スケールを有する大気圧プラズマを適切な階層に分けてモデル化し統合的に解析することで、プラズマ生成/反応・粒子輸送の全体像を定量的に明らかにすることを目指す。



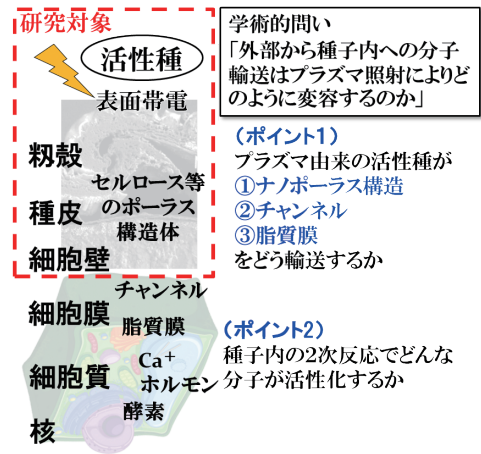
A02-1

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



古閑 一憲
九州大学

種子への低温プラズマ（以降、プラズマ）照射において導入した分子の同定とその定量は、プラズマ照射に対する種子内分子機構を解明する上で重要な知見を与えるものの、世界的にみても未着手の研究領域である。本計画研究では、活性種の外部から種子内への輸送が、光や電場帯電などの同時照射により如何に変容するのか、種子個体レベル、細胞レベルの2つの観点から定量的に明らかにする。



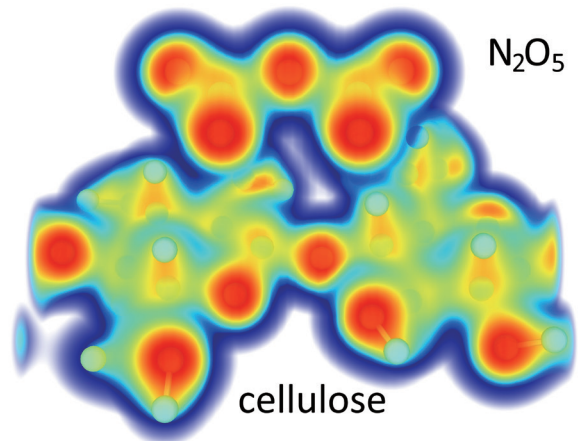
A02-2

種皮・細胞壁における分子輸送モデル構築



伊藤 篤史
核融合科学研究所

A02-2班ではプラズマ由来の活性分子が種皮や粗殻を通過するメカニズムについて調べている。私の担当は、プラズマ・核融合分野で培ったイオン照射の古典計算から量子化学計算までを駆使して分子レベルの透過・吸着・反応過程の解明である。図はセルロース高分子と N_2O_5 分子が接近した構造において量子的な電子密度を計算した様子である。このような計算から、単なる中性ガスとは異なるプラズマ特有の現象を見出すことを期待している。



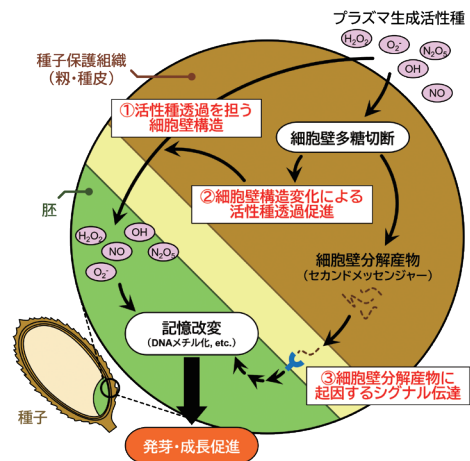
A02-3

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



國枝 正
奈良先端科学技術大学院大学

種子において、胚は種皮などの保護組織によって覆われている。したがって、プラズマによって生成された活性種が胚に伝わって作用するためには、物理的な障壁である保護組織を通過する必要がある。私たちの班では、種子保護組織の構造実体である細胞壁を対象に、プラズマ照射によって引き起こされる構造変化を分子から生体組織までのマルチスケールで解析し、活性種シグナルが種子表面から内部へと移動する伝達メカニズムの解明を目指している。



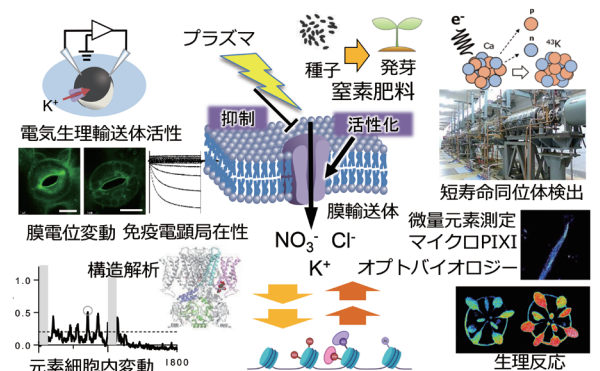
A02-4

プラズマによる細胞膜輸送の学理構築



魚住 信之
東北大学

プラズマ照射は表層に存在する細胞膜と、そこに存在する膜輸送体を刺激する。膜輸送体はプラズマなどの外界刺激やイオン輸送体の状態変化によって変動した種子や、植物の元素の分布の測定を行う。プラズマ照射の標的分子と膜輸送体の挙動と性質を解析する。プラズマ照射による修飾を受けた膜タンパク質の構造モデル、標的細胞内分子の探索と標的分子の性質変化の分析によって、プラズマ照射と植物表現型の因果関係の解明に迫る。

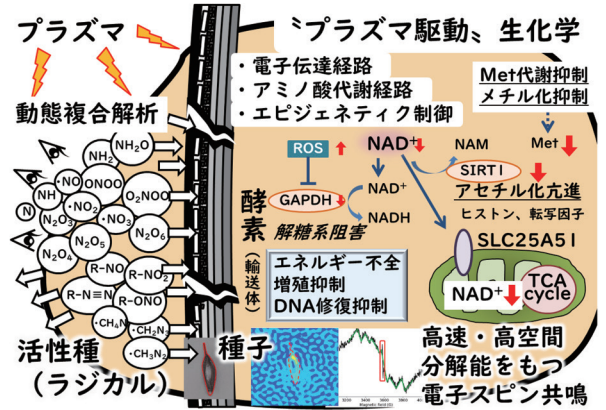


プラズマ駆動 生化学の創成



石川健治
名古屋大学

プラズマの活性種が及ぼす種子の生化学反応の動態を、その場で同時計測する。その結果を元に、人工的に種子の環境応答を引き起こすことができ、意図的に複数のプラズマの活性種を与えることで、相乗的かつ欲しいタイミングで、生体内に機能を有する生化学反応を起こすことを可能とする。プラズマ由来の活性種からラジカル、代謝・遺伝子発現について階層的な複合計測と、その多角的な解析を通してプラズマと種子の相互作用の学理を構築する。

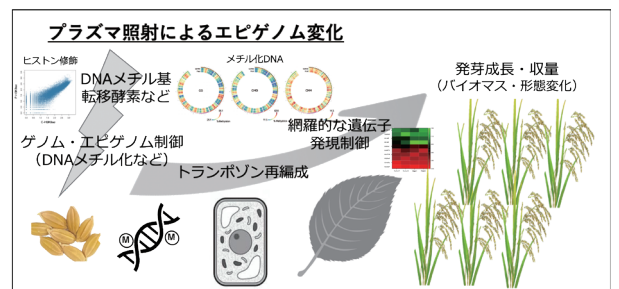


プラズマによるエピゲノム変動と種子発芽の相関解析



石橋勇志
九州大学

プラズマ照射された種子内で引き起こされる生理・生化学的な反応において、特にエピジェネティックな反応に注目する。これまで明らかとなっているプラズマ照射による発芽促進効果に着目し、特に種子発芽やトランスポゾンに関連するゲノム領域を含む網羅的なエピゲノム解析やエピジェネティクス関連酵素を中心に解析を進めることで、種子発芽からその後の植物成長に対するプラズマ照射の効果について詳細に検討する。

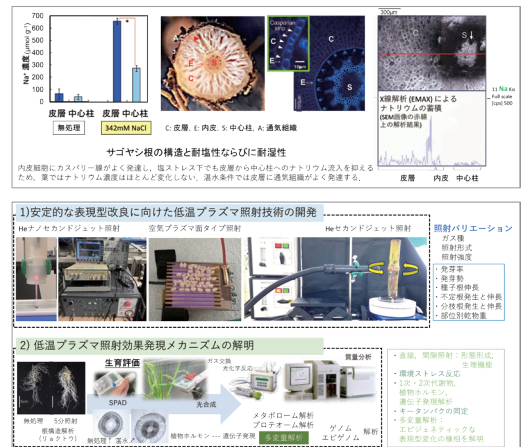


根系形成関連のオミクス変動に対するプラズマ照射効果の学理構築



江原宏
名古屋大学

現在の研究テーマは「サゴヤシ資源の多様性と耐塩性ならびに耐湿性」、「キビ亜科作物および資源植物の耐塩性」、「ササゲ属資源植物の耐塩性と耐湿性」、「インド型イネ品種の栽培環境と米粒品質」。「プラズマ照射によるオミクス変動と根系の形態形成メカニズム・機能変化の解明」では、低温プラズマ照射が作物の形態、そして物質生産機能にもたらす効果を解明し、それらの知見をストレス耐性の強化に向けた草姿の制御に活用することを目指している。



地上部形成に關与するオミクス変動に対するプラズマ照射効果の学理構築



新田洋司
福島大学

食用作物を中心に、収穫対象物の高収量栽培技術や高品質生産技術に関する作物学的・生態学的研究を進めている。対象作物はイネのほか、コムギ、オオムギなどのムギ類、サツマイモ、ジャガイモなどのいも類などである。穀粒の収量性やデンプンなどの貯蔵物質の蓄積特性、品質などを各種機器類での分析で明らかにし、栽培制御技術や品種の開発などに役立てている。また、イネ科作物スイートソルガムを利活用したバイオ燃料生産の研究にも取り組んでいる。

作物の安定・高品質生産と利活用

福島大学食農学類 新田洋司 nittay@agri.fukushima-u.ac.jp

研究内容 品質のよい作物をたくさんつくる、気候変動に負けない作物の安定生産、環境にやさしい再生可能エネルギーをつくる研究です。

高品質・良食味米

電子顕微鏡で見た良食味炊飯米の表面は柔らかく、良食味米と低食味米でデンプンの蓄積構造の違いを明らかにし、栽培制御に反映。

バイオ燃料

スイートソルガムでバイオ燃料を効率よくつくる方法の開発。1ヘクタールで約5キロリットルとれる。紙やペレットもつれ、除染機能もある。

気候変動下の安定生産

高温や低温では米のデンプンが正常に蓄積しない(右の電子顕微鏡写真)。種々の作物の気候変動に負けない安定生産の追求。

キーワード: バイオ燃料、スイートソルガム、気候変動、水稲、高品質、高収量、電子顕微鏡、作物の機能・形態

研究への考え 研究対象は福島県・東北ばかりではなく日本や世界の地域の水田、畑、そして食卓です。高品質でたくさんの食料をつくる作物、再生可能エネルギーを効率よく生産する作物の研究です。身近な食物や作物を科学的に探求します。

公募研究

本領域の5年間のプロジェクト期間において、計画研究ではカバーできない課題の解決と若手研究者育成を主眼として実施される2年を1期とした研究課題です。第1期となる今回は18の研究課題が集まりそれぞれのアプローチからプラズマ種子科学の創成に携わります。

PUBLICLY
INVITED
RESEARCH

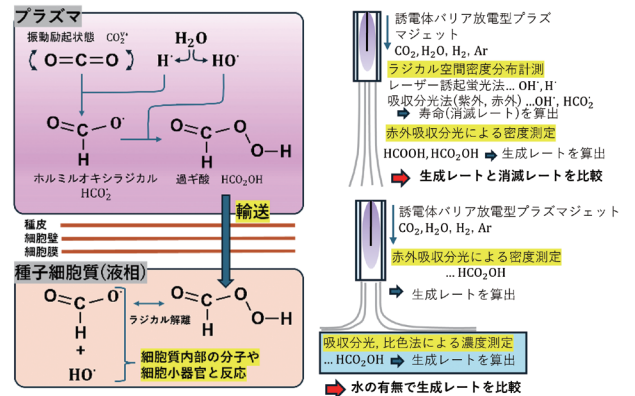
A01-PI1

プラズマ照射により種子細胞質内部に誘起される過酸の生成メカニズム



稲垣慶修
北海道大学

有機過酸は、過酸化亜硝酸や過硝酸と同様に、一般的に寿命が数時間から数日の寿命があり、ホモリティック開裂でラジカルが生成することが知られている。そのため、プラズマ照射で種子の細胞質表面に過酸が誘起されると、細胞質内部まで輸送された後で解離し、細胞質内部にラジカル種を供給できると考えている。私の研究では、有機過酸の中でも最も構造が簡単な物質である過ギ酸にフォーカスし、その生成過程を調べている。



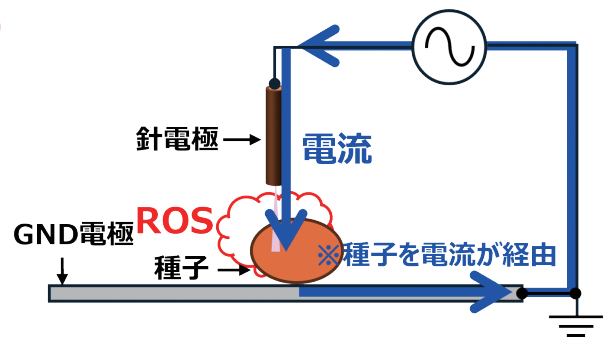
A01-PI2

周波数で作用部位を制御した電流と活性種の相乗による種子の発芽成長促進と機序解明



池田善久
愛媛大学

愛媛大学では、マイクロプラズマによる電氣的・化学的的刺激を細胞に供給することで、細胞の自発的な膜輸送機構を惹起し、細胞内への遺伝子・分子導入に成功した。また、同時にマイクロプラズマ処理が種子の成長を促進する効果があることも確認された。本研究では、マイクロプラズマによる電流刺激が活性種をアシストするのか、あるいは代替するのかを明らかにすることを目的として、今後も研究を進めていく。



A01-PI3

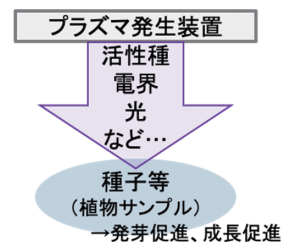
プラズマ照射直後における植物組織・細胞内初期応答と活性種動態の解析



坪山祥子
宇都宮大学

私の研究では、「①プラズマ発生装置」と「②植物サンプル」の両面から解析を行い、植物へのプラズマ照射効果のメカニズム解明を目指している。①では装置の改良により活性種や酸化化合物の生成を制御し、植物に有効な因子の特定を行う。②では照射後の植物の応答や活性種の動態などを、細胞・組織・種子レベルで解析し、応答因子の同定を試みる。

植物へのプラズマ照射の効果における、プラズマ発生装置側の必須因子(活性種の特定まで)



植物側の応答(網羅的解析、種子における活性種動態解析など)

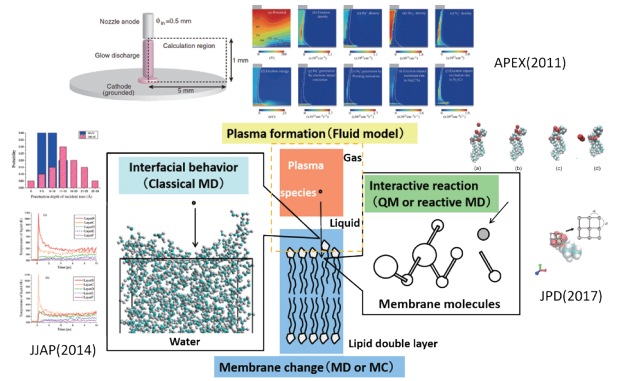
A02-PI1

プラズマ刺激種子における壁膜浸透変移の分子動力学および回路理論解析



内田 諭
東京都立大学

当研究室では、一貫して放電物理ならびにプラズマエレクトロニクスに関連するモデリングおよび数値シミュレーションを行っている。具体的には、混合ガスプラズマにおける放電諸量の数値解析、高周波駆動マイクロプラズマアレイの流体近似シミュレーション、放電プラズマによる生体膜変動の分子動力学モデリング、等価回路モデルを用いたプラズマ刺激細胞内の電気特性解析などの幅広い研究テーマに取り組んでいる。



A02-PI2

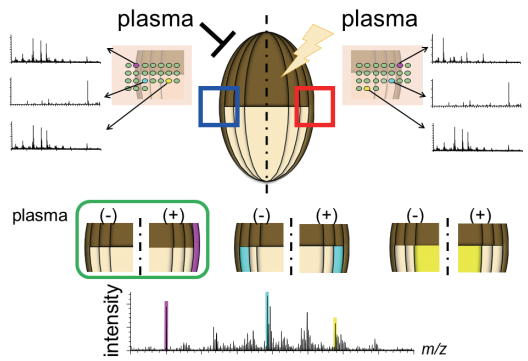
イメージング質量分析を用いた種子界面の分子局在解析



松下 祥子
日本大学

本研究では、イメージング質量分析を用いて種子界面の分子局在を解析する。プラズマなどの外部刺激の受容において、種子の構造や組成変化が重要であると考えられる。そこで、マトリクス支援レーザー脱離イオン化 - イメージング質量分析法やその他の表面分析手法を用いて、プラズマ照射後の種子構造や分子分布を明らかにする。これにより、プラズマ処理後の種子の物理的・化学的な微細構造および組成変化の解明を目指す。

Imaging Mass Spectrometry



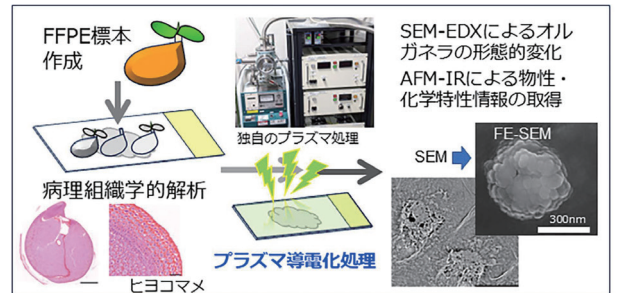
A02-PI3

構造と化学特性のナノイメージング解析によるプラズマ種子操作の理解



池原 譲
千葉大学

本研究では、プラズマ処理が種子内部の分子動態に及ぼす影響を解明することを目的として、発芽種子における組織構造の変化をナノスケールで解析する。このため、独自に開発したプラズマ導電化処理技術を適用し、スライドガラス上に作製した植物組織標本を対象に、走査型電子顕微鏡およびエネルギー分散型X線分析、さらに原子間力顕微鏡 - 赤外分光解析を実施することで、形態的・物性的・化学的的特性の変化を多面的に評価する。



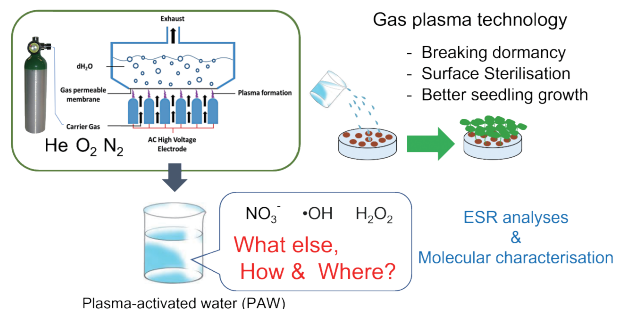
A02-PI4

プラズマ活性水による種子休眠打破および発芽制御メカニズムの解析



中林 一美
帯広畜産大学

大気プラズマ照射で作製したプラズマ活性水 (PAW) は、シロイヌナズナ種子の休眠打破・発芽促進作用を持つ。PAWには休眠打破効果を持つ硝酸イオンが含まれていたが、硝酸非感受性の突然変異体がPAWに反応したため、硝酸イオンではない未同定の休眠打破効果を持つ物質がPAWに存在していることが判明している。本研究では、ラジカルに着目し、ESR解析によってラジカル種を経時的に定量し、それらの休眠打破効果を解析する。



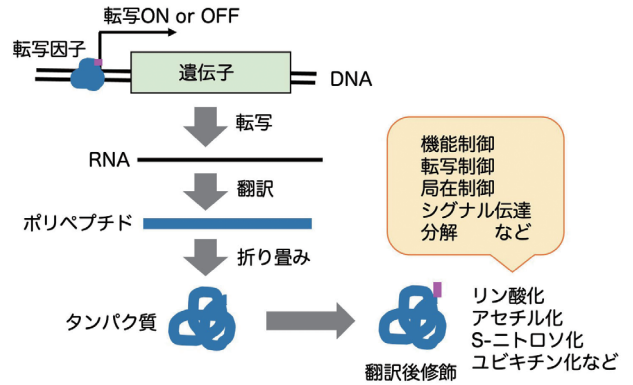
A02-PI5

タンパク質解析から解くプラズマ種子科学： タンパク質の量的変化と修飾機構の解析



柳川由紀
千葉大学

種子へのプラズマ照射で発芽が促進することが判明し、DNAのメチル化などの遺伝子解析は進んでいる。しかし、生命現象を理解する上で、タンパク質、特に生体内の化学反応を直接触媒する酵素の量的変化および酵素活性を担う質的变化の解析も必須となる。本研究では、プラズマ照射した種子の発芽過程におけるタンパク質の量的変化および翻訳後修飾(質的变化)を明らかにし、タンパク質という新たな切り口でプラズマの発芽促進機構の解明を目指す。



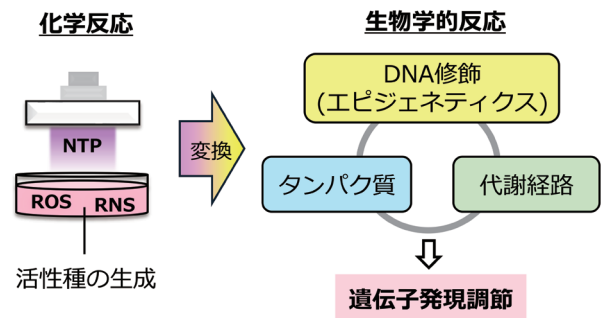
A02-PI6

プラズマ由来活性分子の細胞内化学反応が 生物学的応答に置きかわるメカニズムの解明



大塚智裕
岐阜薬科大学

本研究では大気圧低温プラズマ(NTP)刺激が生物学的応答に変換されるメカニズムを明らかにするために、NTPの照射がエピジェネティクス制御分子であるタンパク質、代謝回路分子、またはDNAそのものに及ぼす変化を詳細に解析する。細胞質内でNTPの化学反応が生物学的反応に置き換わる新しいメカニズムを検証し、それがエピジェネティクスを介して植物の発芽や成長促進につながることを明らかにする。



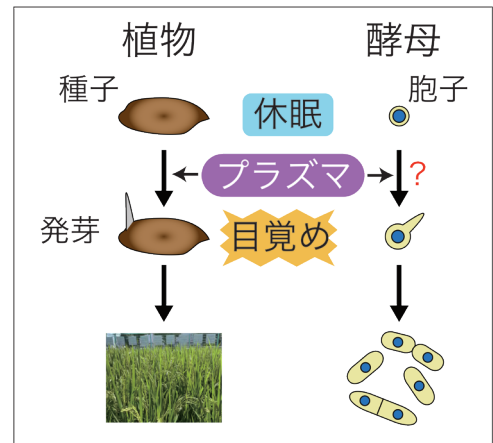
A02-PI7

酵母胞子の発芽をモデルとしたプラズマによる 休眠状態からの目覚めの誘導機構の解明



山下朗
東京大学

本研究では、酵母胞子の発芽過程をモデルとして、休眠細胞の目覚めに対してプラズマ照射が与える影響を分子レベルで解き明かし、プラズマによる休眠からの目覚めの制御を目指す。培養条件を変えるだけで休眠(=胞子)と目覚め(=発芽)の切り換えを誘導することができる酵母を用いて、プラズマ照射によって影響を受ける遺伝子群や代謝経路を特定し、休眠細胞に対するプラズマの作用機序の全体像を明らかにする。



A02-PI8

異なるプラズマ処理による種子胚での病原関連 遺伝子発現を指標とした情報伝達機構解明



河野智謙
北九州市立大学

病原関連遺伝子(PR遺伝子)群の発現パターンを指標に、①種子に対するプラズマ照射が遺伝子発現に及ぼす影響と②生育中の植物に対するプラズマ照射がどのように遺伝子発現を誘導するのかを比較する。また、③モデル植物の変異体系統を用いて分子遺伝学的な比較実験を行うなど、生育個体での影響と世代を超えたエピジェネティクスの影響の比較等を通じて、プラズマ技術が植物に与える影響とそのメカニズムの解明を目指す。

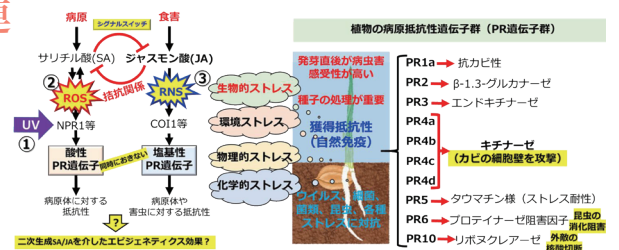


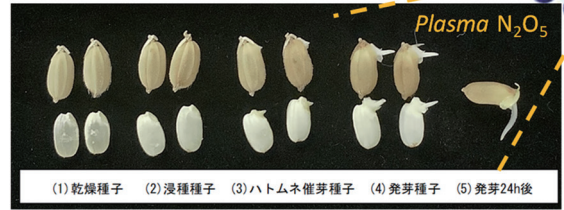
図1. SA経路とJA経路を介した病原関連遺伝子の発現を指標としたプラズマ派生因子が誘導する遺伝子発現制御モデル。①~③はプラズマ派生因子(SA/JA不在でも経路を刺激)

プラズマ生成N₂O₅の種子発芽ステージにおける生理効果とそのメカニズムの研究



東谷篤志
東北大学

私たちは、東北大学工学研究科・金子俊郎教授の研究チームが開発した大気圧プラズマ装置により合成したN₂O₅活性ガスを、主にイネの乾燥種子状態から浸種種子、催芽、発芽後の幼植物体と異なる発生過程で曝露処理し、その生理効果と効果が発揮される分子メカニズムについて調べている。また、本領域の研究者による異なる技術を用いた種子へのプラズマ処理との共通点や相違点についても、共同で調べていきたいと考えている。



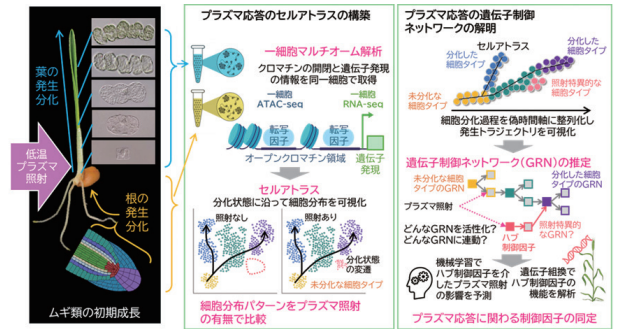
発芽時の生理的影響とともに酵素タンパク質等への翻訳後修飾を調査する

ムギ類作物における低温プラズマ応答機構のオルソロジー



持田恵一
長崎大学、理化学研究所

本研究は、低温プラズマ照射による植物成長促進の分子レベルの理解を目的として、ムギ類において低温プラズマ照射に応答する遺伝子制御を一細胞解像度で可視化したセルアトラスを構築し、プラズマ応答の遺伝子制御ネットワーク (GRN) を推定する。また、プラズマ応答のGRNと発生・分化に関わるGRNをつなぐ制御因子を特定し、機能を解析。さらに、コムギとオオムギのGRNの比較により進化的に共有されているプラズマ応答性を分子レベルで解明する。

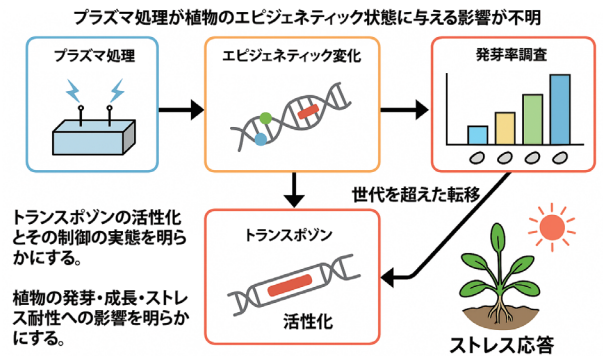


プラズマ技術を用いたシロイヌナズナの発芽とストレス応答のエピジェネティクス制御



伊藤秀臣
北海道大学大学院 理学研究院

本研究では、プラズマ処理がモデル植物シロイヌナズナの種子に与えるエピジェネティックな変化やトランスポゾン活性化への影響を明らかにすることを目的とする。これらの変化が種子の発芽率や初期成長、環境ストレス耐性にどのように関与するかを解析する。また、エピジェネティック変異体を用いた比較解析や、単子葉植物との比較を通じて、植物種間に共通する応答と種特異的な応答を解明し、植物科学におけるプラズマ技術応用の新たな可能性を開拓する。

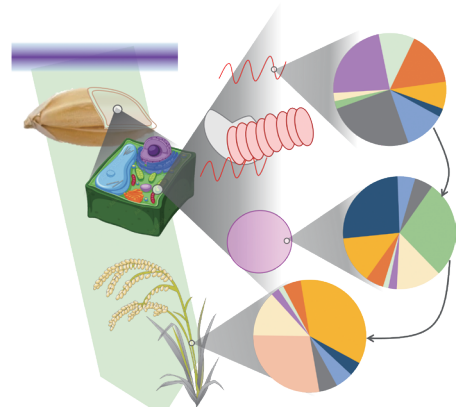


植物応答の制御を可能とするプラズマ因子の同定



奥村賢直
九州大学

本研究では、植物の応答デザインに必要なプラズマ因子を解明する。【プラズマ因子とトランスオミクス動態の関係性】を明らかにし、【各プラズマ因子が有するトランスオミクスの機能解析結果を集約したデータベースの構築】を行う。加えて、特異的なプラズマ因子駆動型応答エピゲノム群等とそれらの機能との関連を簡易的に探索できるデジタルツールの枠組みを構築を目指す。これにより、最終的には植物の応答デザインに合わせたプラズマ源の提案を行う。



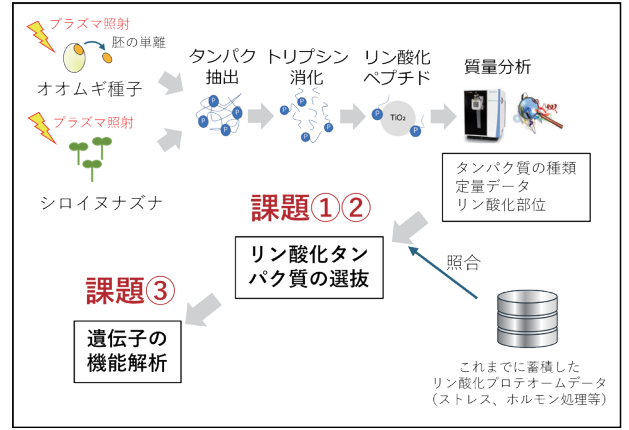
概念図：各プラズマ因子が有するトランスオミクスの機能解析の紐づけと、結果を集約したデータベースの構築

プラズマ照射が植物のタンパク質リン酸化ネットワークに及ぼす影響



梅澤泰史
東京農工大学

種子の発芽や植物の生長は複雑な過程を経て制御されるが、中でも植物ホルモンであるアブシシン酸(ABA)が重要な役割を果たしている。研究代表者は植物のABAシグナル伝達研究を専門とし、ABAシグナルの流れを見るためにリン酸化プロテオーム解析技術を用いた研究を展開している。本研究では、リン酸化プロテオーム解析を駆使し、プラズマ照射した植物種子の中でどのようなシグナル伝達が活性化あるいは不活性化されているのかについて明らかにする。

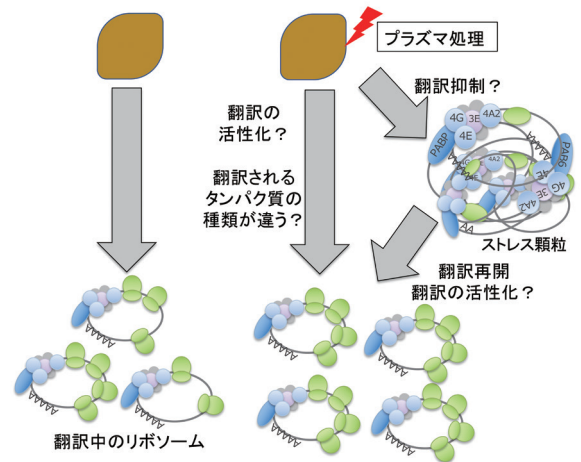


プラズマ照射が引き起こす植物の翻訳活性動態のオミクス解析



濱田隆宏
岡山理科大学

植物にとってストレスとなるような外部刺激は、ネガティブな成長抑制効果をもたらす場合と、順化などのポジティブな成長促進効果をもたらす場合がある。本研究では植物の成長促進やストレス耐性の向上に効果があると考えられる低温プラズマなどの外部刺激がネガティブな成長抑制効果やポジティブな成長促進効果をもたらす際に、タンパク質の翻訳活性がどのように変化するかを明らかにする。



比較トランスクリプトームによる熱帯果樹プラズマ照射種子の発芽促進機構の解明



松田大志
国際農林水産業研究センター

低温プラズマ照射による種子の発芽特性改善効果がこれまでに複数の種で確認されているが、そのメカニズムの詳細や種間差異はほとんどわかっていない。熱帯果樹類の種子内部で起きているプラズマ照射への生理応答の詳細を解明するため、改善効果のみられた樹種の中で既知のゲノム情報が豊富で利用可能な複数種を対象に、RNA-seqによるトランスクリプトーム解析を行い、照射種子内部で起きる遺伝子発現量の変化と種間差異を明らかにする。

