

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H03259

研究課題名(和文)植物再分化を制御するクロマチン構造変換メカニズムのイメージング解析

研究課題名(英文)Imaging analyses of chromatin dynamics in plant regeneration

研究代表者

松永 幸大(Matsunaga, Sachihito)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：40323448

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：植物は再分化する時、遺伝子の発現を待機状態にする現象・エピジェネティクス・プライミングの分子メカニズムを明らかにすることができた。このエピジェネティクス・プライミングは、ヒストン脱メチル化酵素LYSINE-SPECIFIC DEMETHYLASE 1-LIKE 3 (LDL3)により制御されることを明らかにした(Nature Commun., 2019)。また、RNAポリメラーゼ酵素(RNAPII)がリン酸化されて活性化することをライブイメージング解析する方法を開発した(Commun. Biol., 2021)。その結果、カルスの茎頂分裂組織において、RNAPIIが活性化することを検証できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

植物は切断しても器官を新たに再生できる非常に強力な再生能力を持つ。この再生能力のメカニズムは、将来、器官再生するために、あらかじめ遺伝子の発現のスイッチをONにする手前の待機状態にしていることがわかった。この待機状態の解明により、植物の強靱な再生力のメカニズムの一端が明らかになり、植物の生きざまの理解を促進した学術的意義がある。また、遺伝子の転写がONになった時を知るライブイメージング解析技術や、器官や組織のディープイメージングを可能にする透明化手法を開発することで、植物科学の研究推進することに貢献する技術開発を行った。同時に、これらの技術は、農作物の品種改良などの社会的貢献も期待される。

研究成果の概要(英文)：The molecular mechanism of epigenetic priming, a phenomenon in which plants put gene expression on standby when they regenerate, has been identified. We found that this epigenetic priming is regulated by the histone demethylase LYSINE-SPECIFIC DEMETHYLASE 1-LIKE 3 (LDL3) (Nature Commun., 2019). We also developed a method for live imaging analysis of the phosphorylation at Ser2 for activation of RNA polymerase II (RNAPII) (Commun. Biol., 2021). As a result, we were able to verify that RNAPII is activated in the shoot apical meristem of the callus.

研究分野：植物分子細胞生物学

キーワード：イメージング ヒストン修飾 再生 エピジェネティクス 転写活性化 プライミング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

植物は動物に比較して長寿である一つの理由は、植物が強力な再分化能力を持つことが挙げられる。このような植物の再分化能力の分子メカニズムの解明は、生物学分野において生命の連続性と頑健性に迫る根本的な研究課題である。植物の再分化メカニズムの解析は、主に未分化な細胞群であるカルスから葉や茎であるシュートが形成される実験室内の再分化実験を用いて研究が進められてきた。特に、オーキシシンやサイトカイニンなどの植物ホルモンの作用やシュートを形成する茎頂分裂組織の遺伝子発現機構を中心に研究が進めてきた。研究代表者は、再分化過程における個々の遺伝子発現解析ではなく、シュートの再分化過程を大規模に制御している遺伝子プライミング現象が、シュート形成前のカルス形成過程で起こっていることを発見した。

2. 研究の目的

植物再分化過程における遺伝子プライミング現象のメカニズム解明を研究の目的とする。植物の多能性細胞塊カルスに形成過程ではヒストン脱メチル化酵素 LDL3 の活性が上昇するに伴いエピジェネティック・プライミングが起こる。この現象の分子メカニズムの解明を目指し、遺伝子の転写とヒストン修飾付加の関係を明らかにする。また、RNAPII がリン酸化されることで、遺伝子群の発現が ON になるプロセスを解析するために、ライブイメージングの技術開発や厚みのあるカルスや再生器官をディープイメージング解析するために器官透明化法の開発を行うことも目的とする。

3. 研究の方法

植物再生におけるエピジェネティクス・プライミングの制御因子である LDL3 はヒストン脱メチル化酵素活性を持っている。そこで、クロマチン免疫沈降実験によるヒストン H3 のメチル基解析と RNA-seq による遺伝子発現解析を組み合わせて、ヒストン修飾と遺伝子発現の動態から分子メカニズムを明らかにする研究手法をとった。

植物のディープイメージング解析、転写活性化部位イメージング解析など、申請者が開発してきた独自の顕微手法を駆使しながら解析を進める。カルスは細胞増殖している細胞塊のため、厚みがあり凹凸があり、培養細胞のように平面ではない。そこで、従来の透明化の手法を改良してディープイメージングできる試料作製法の開発も行った。

4. 研究成果

(1) エピジェネティック・プライミングの分子メカニズム解析

クロマチン免疫沈降を用いて、根、カルス誘導地 14 日目のカルス、シュート誘導培地に移してから 1 日目のカルスでヒストン H3K4me の状態を比較した。野生型と *ldl3* 変異体の間で、H3、H3K4me1、H3K4me3 の差はなかったが、H3K4me2 は *ldl3* 変異型カルス特異的に蓄積していた。驚いたことに、その H3K4me2 蓄積パターンは、カルス誘導地 14 日目のカルスとシュート誘導培地に移してから 1 日目のカルスの間で、ほとんど同じであった。つまり、H3K4me2 のヒストン修飾は、カルス誘導培地からシュート誘導培地に移植しても変化しなかったのである。これは、シュート培地に移行する前のカルスの段階から、LDL3 は H3K4me2 を取り除いており、分化誘導が起こってから取り除くわけではないことを意味している。

そこで、カルス中に起こる H3K4me2 の減少が起こる遺伝子 16 個を同定した (図 1) と、

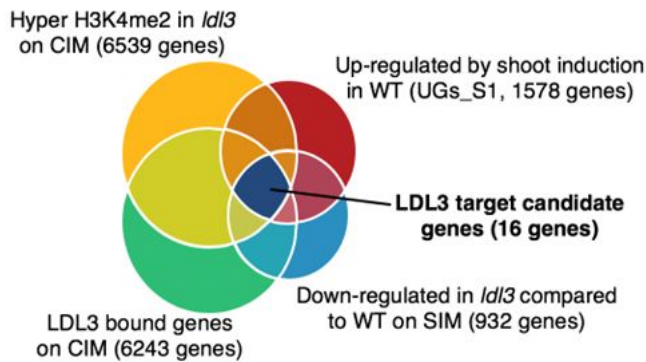


図1. クロマチン免疫沈降と RNA-seq の統合解析による LDL3 ターゲット遺伝子群の同定

来の分化誘導刺激前後の比較発現解析では見出せない分化に関与するハウスキーピング遺伝子群も、エピジェネティック・プライミングを指標に同定できることも示したことになる。LDL3 による H3K4me2 の除去を基盤としたエピジェネティック・プライミングは、動植物を通じて初めて「ヒストン修飾のイレイサー」がプライミングに関与することを示す国内外においてインパクトの高い研究成果となった。

主要な発表論文: Ishihara, H.#, Sugimoto, K.*#, Tarr, P. T., Temman, H., Kadokura, S., Inui, Y., Sakamoto, T., Sasaki, T., Aida, M., Suzuki, T., Inagaki, S., Morohashi, K., Seki, M., Kakutani, T., Meyerowitz, E. M. and Matsunaga, S.* (2019) Primed histone demethylation regulates shoot regenerative competency. *Nature Commun.*, 10, 1786 (15 pages). #These authors equally contributed to this work.

(2) RNAPII 活性化ライブイメージング法の開発による遺伝子転写 ON の可視化

RNA ポリメラーゼ II (RNAPII) によって、動物や植物の遺伝子は転写されて RNA が作られる。この時、RNAPII の特定のアミノ酸残基にリン酸基が導入されるリン酸化によって、RNAPII の活性状態が変化することが知られていた。つまり、RNAPII のリン酸化状態を知ることができれば、遺伝子の転写 ON を知ることができる。これまでは、この RNAPII のリン酸化を認識する抗体を、固定した細胞群に反応させ、生化学的解析や免疫染色法による細胞生物学的解析が行われてきた。しかし、組織や器官を保ったまま、生体内で RNAPII のリン酸化状態を知る手法は開発されておらず、組織や器官の細胞ごとの遺伝子転写の活発化度をモニタリング困難であった。そこで、マウスで作製された RNAPII の 2 番目のセリン残基に導入されたリン酸基 (RNAPIISer2P) を検出する抗体の一部分に蛍光タンパク質を連結した細胞内抗体プローブを、モデル植物であるシロイヌナズナ体内で発現させた。すると、RNAPIISer2P は転写を開始すると

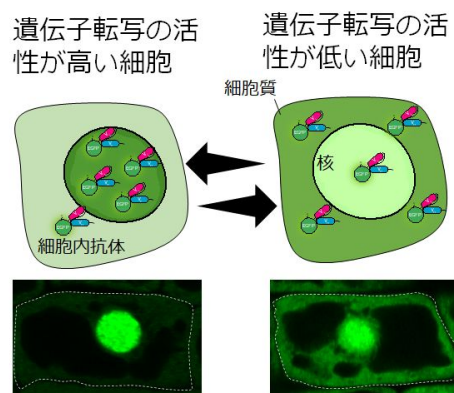


図2. RNAPIISer2P を認識する細胞内抗体プローブによる転写活性化のモニタリング

同時に検出されはじめ、転写の終結点で最大となり、遺伝子転写活性化の指標になりうるということがわかった。次に、細胞内抗体プローブの蛍光強度を生きた根の細胞ごとにライブイメージング解析を行った。シロイヌナズナの根は、外側から表皮、皮相、内皮、内鞘が同心円状に配列しています。いずれの細胞でも細胞内抗体プローブの蛍光が観察されましたが、特に内鞘細胞で蛍光輝度が高いことがわかりました。このことから、根の細胞の中で、維管束の周りにある内鞘細胞が、遺伝子の転写を最も活発に行っていることがわかつ

同時に検出されはじめ、転写の終結点で最大となり、遺伝子転写活性化の指標になりうるということがわかった。

次に、細胞内抗体プローブの蛍光強度を生きた根の細胞ごとにライブイメージング解析を行った。シロイヌナズナの根は、外側から表皮、皮相、内皮、内鞘が同心円状に配列しています。いずれの細胞でも細胞内抗体プローブの蛍光が観察されましたが、特に内鞘細胞で蛍光輝度が高いことがわかりました。このことから、根の細胞の中で、維管束の周りにある内鞘細胞が、遺伝子の転写を最も活発に行っていることがわかつ

た。この内鞘細胞はカルス形成の際の起源的な細胞である。また、カルスから再生を開始する茎頂分裂組織をライブイメージング解析することで、再生誘導培地に置いた後に、茎頂分裂組織の遺伝子転写が一気に ON になる現象を捉えることができた。この成果により、本研究目的は達成することができた。今回の研究成果により、生体内で遺伝子の発現が活発化している細胞を生体内で特定することができるようになった。

主要な発表論文：Shibuta, M. K., Sakamoto, T., Yamaoka, T., Yoshikawa, M., Kasamatsu, S., Yagi, N., Fujimoto, S., Suzuki, T., Uchino, S., Sato, Y., Kimura, H. and Matsunaga, S.*(2021) A live imaging system to analyze spatiotemporal dynamics of RNA polymerase II modification in *Arabidopsis thaliana*. *Commun. Biol.*, 4, 580 (10 pages).

(3) ディープイメージングを可能にする動植物共通の器官透明化法の開発

切片を作製することなく、内部構造を顕微鏡観察するために、組織や器官の透明化方法は、開発されてきたが、従来の透明化手法では、透明度合を強くすればするほど、蛍光タンパク質の蛍光が弱くなる問題点があった。本研究課題では、カルスの内部やシュートが再生する茎頂分裂組織の内部で発現する蛍光タンパク質を解析する必要があったため、新しい器官透明化手法を開発する必要があった。

開発を進めた結果、従来よりも蛍光タンパク質の蛍光強度を維持したままで、組織・器官を透明化できる方法 iTOMEI (improved Transparent Organ Method for Imaging)を開発に成功した。まず、植物の葉緑体に含まれるクロロフィル色素は自家蛍光を発するために、植物の組織・器官をイメージング解析する際に、大きな観察障害となっていた。界面活性剤を探索したところ、カプリリルスルホベタイン（別名：デシルジメチル(3-スルホプロピル)アンモニウムヒドロキッド分子内塩)によりクロロフィル色素の自家蛍光を除去できることを見出した。カプリリルスルホベタイン処理しても、蛍光タンパク質の蛍光強度にはほとんど影響はなかった。このクロロフィル色素の自家蛍光除去により、葉緑体を持った葉・茎・つぼみの内部構造を三次元的にイメージング解析ができるようになり、カルスやシュート器官など植物組織深部の細胞で発現している蛍光タンパク質の解析も可能になった。

組織や器官の固定を行う際に、蛍光タンパク質の蛍光が減少する。そこで、固定した組織や器官に対して、弱いアルカリ処理を施すことで蛍光タンパク質の蛍光を回復させることができた。この回復した蛍光強度は透明化処理をした後も維持されていた。また、最後の封入材としては、コンピュータ断層撮影（CT スキャン）の造影剤として用いられるイオヘキソールが最適であることがわかった。今回の研究成果により、植物組織・器官を、蛍光タンパク質の蛍光強度を維持したまま 27 時間以内に透明化することが可能になった（図 3）。

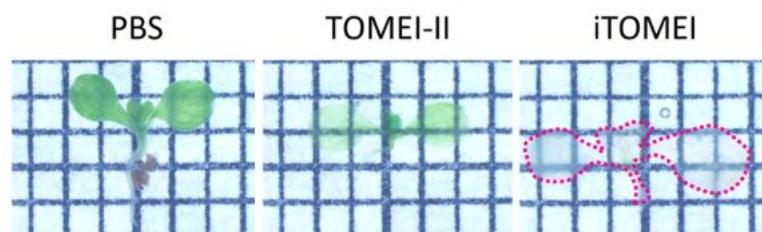


図 3 各種透明化手法による茎頂分裂組織を含むシロイヌナズナの透明化（右端が開発した iTOMEI）

当初予期していなかったことに、マウスの脳の透明化にも植物で開発した本透明化手法が使用できることが判明した。iTOMEI 法をマウスの脳の透明化に適用したところ 48 時間以内に、透明化することができた。この透明化した脳を用いて蛍光タンパク質の検出を顕微鏡で行った

ところ、大脳皮質表面から 3 mm の深さにある細胞に局在する蛍光タンパク質を検出することができた。さらに、海馬と大脳皮質の細胞体、軸索、樹状突起における蛍光タンパク質の蛍光も明瞭に検出できた。

iTOMEI 法により、別々の方法により行われていた動物と植物の様々な組織・器官の透明化を共通の方法により解析することが可能になった。個々の細胞の形態から組織・器官の構造解析が可能になることから、今後、農作物の品種改良や脳の診断開発などの分野に貢献することが期待される。

主要な発表論文：Sakamoto, Y., Ishimoto, A., Sakai, Y., Sato, M., Nishihama, R., Abe, K., Sano, Y., Furuichi, T., Tsuji, H., Kohchi, T. and Matsunaga, S.*(2022) Improved clearing method contributes to deep imaging of plant organs. *Commun. Biol.*, 5, 12 (12 pages).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 25件／うち国際共著 8件／うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Hirai, R., Higaki, T., Takenaka, Y., Sakamoto, Y., Hasegawa, J., Matsunaga, S., Demura, T. and Ohtani, M	4. 巻 9
2. 論文標題 The Progression of Xylem Vessel Cell Differentiation is Dependent on the Activity Level of VND7 in Arabidopsis thaliana	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants9010039	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, A. M., Ozawa, Y., Furuya, T., Sakamoto, Y., Ebine, K., Matsunaga, S., Ueda, T., Fukuda, H. and Kondo, Y.	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 & 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 Luo, L., Ando, S., Sakamoto, Y., Suzuki, T., Takahashi, H., Ishibashi, N., Kojima, S., Kurihara, D., Higashiyama, T., Yamamoto, K. T., Matsunaga, S., Machida, C., Sasabe, M., and Machida, Y.	4. 巻 101
2. 論文標題 The formation of perinucleolar bodies is important for normal leaf development and requires the zinc finger DNA binding motif in Arabidopsis ASYMMETRIC LEAVES2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Plant Journal	6. 最初と最後の頁 1118, 1134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/tpj.14579	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 Adamusova, K., Khosravi, S., Fujimoto, S., Houben, A., Matsunaga, S., Fajkus, J. and Fojtova, M.	4. 巻 102
2. 論文標題 Two combinatorial patterns of telomere histone marks in plants with canonical and non-canonical telomere repeats.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Plant Journal	6. 最初と最後の頁 678, 687
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/tpj.14653	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 Sakamoto, Y., Sato, M., Sato, Y., Harada, A., Suzuki, T., Goto, C., Tamura, K., Toyooka, K., Kimura, H., Ohkawa, Y., Hara-Nishimura, I., Takagi, S. and Matsunaga, S.	4. 巻 11
2. 論文標題 Subnuclear gene positioning through lamina association affects copper tolerance.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature communications	6. 最初と最後の頁 5914
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-19621-z	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 Nishioka, S., Sakamoto, T. and Matsunaga, S.	4. 巻 85
2. 論文標題 Roles of BRAHMA and Its Interacting Partners in Plant Chromatin Remodeling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 CYTOLOGIA	6. 最初と最後の頁 263, 267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1508/cytologia.85.263	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 三浦理奈、松永幸大	4. 巻 65
2. 論文標題 エピジェネティック・プライミングによる植物再生制御	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ケミカルエンジニアリング	6. 最初と最後の頁 405, 409
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 松永幸大	4. 巻 32
2. 論文標題 遺伝子発現変化を伴わない潜在的分子メカニズム “ エピジェネティック・プライミング ” による植物再生	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant Morphology	6. 最初と最後の頁 53, 57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5685/plmorphol.32.53	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 Fujiwara, Y., Matsunaga, S. and Sakamoto, T.	4. 巻 86
2. 論文標題 Next Generation Sequence-based Technologies for Analyzing DNA Strand Breaks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CYTOLOGIA	6. 最初と最後の頁 3, 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1508/cytologia.86.3	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 -

1. 著者名 Matsuo T., Isosaka T., Hayashi Y., Tang L., Doi A., Yasuda A., Hayashi M., Lee CY., Cao L., Kutsuna N., Matsunaga S., Matsuda T., Yao I., Setou M., Kanagawa D., Higasa K., Ikawa M., Liu Q., Kobayakawa R. and Kobayakawa K.	4. 巻 12
2. 論文標題 Thiazoline-related innate fear stimuli orchestrate hypothermia and anti-hypoxia via sensory TRPA1 activation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-22205-0	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 Shibuta, M. K., Sakamoto, T., Yamaoka, T., Yoshikawa, M., Kasamatsu, S., Yagi, N., Fujimoto, S., Suzuki, T., Uchino, S., Sato, Y., Kimura, H. and Matsunaga, S.	4. 巻 4
2. 論文標題 A live imaging system to analyze spatiotemporal dynamics of RNA polymerase II modification in Arabidopsis thaliana.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Commun. Biol	6. 最初と最後の頁 580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42003-021-02106-0	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 Toyoda, Y., Matsunaga, S	4. 巻 84
2. 論文標題 Lysine-specific demethylase epigenetically regulates human and plant phenomena.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 CYTOLOGIA	6. 最初と最後の頁 295, 298
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1508/cytologia.84.295	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 Shibuta, K. M., Matsunaga, S	4. 巻 84
2. 論文標題 Seasonal and diurnal regulation of flowering via an epigenetic mechanism in <i>Arabidopsis thaliana</i> .	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 CYTOLOGIA	6. 最初と最後の頁 3, 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1508/cytologia.84.3	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 -

1. 著者名 Utsumi, Y., Utsumi, C., Tanaka, M., Ha, C.V., Takahashi, S., Matsui, A., Matsunaga, T. M., Matsunaga, S., Kanno, Y., Seo, M., Okamoto, Y., Moriya, E. and Seki, M.	4. 巻 10
2. 論文標題 Acetic Acid Treatment Enhances Drought Avoidance in Cassava (<i>Manihot esculenta</i> Crantz)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 FRONTIERS IN PLANT SCIENCE	6. 最初と最後の頁 521, 532
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2019.00521	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 Sakamoto, T., Sugiyama, T., Yamashita, T. and Matsunaga, S.	4. 巻 10
2. 論文標題 Plant condensin II is required for the correct spatial relationship between centromeres and rDNA arrays. <i>Nucleus</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 NUCLEUS-PHILA	6. 最初と最後の頁 116, 125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/19491034.2019.1616507	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 Sakamoto, T., Sotta, N., Suzuki, T., Fujiwara, T. and Matsunaga, S	4. 巻 10
2. 論文標題 The 26S proteasome is required for the maintenance of root apical meristem by modulating auxin and cytokinin responses under high-boron stress	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 FRONTIERS IN PLANT SCIENCE	6. 最初と最後の頁 590, 602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2019.00590	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 Shibuta, M. K., Matsuoka, M. and Matsunaga, S.	4. 巻 84
2. 論文標題 2A Peptides Contribute to the Co-Expression of Proteins for Imaging and Genome Editing.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 CYTOLOGIA	6. 最初と最後の頁 107, 111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1508/cytologia.84.107	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 Sotta, N., Sakamoto, T., Matsunaga, S., and Fujiwara, T.	4. 巻 9
2. 論文標題 Abnormal leaf development of rpt5a mutant under zinc deficiency reveals important role of DNA damage alleviation for normal leaf development.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 9369
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-44789-w	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 Diaz, M, Pecinkova P, Nowicka, A, Baroux, C, Sakamoto, T, Gandha, P. Y, Jerabkova, H, Matsunaga, S, Grossniklaus, U, Pecinka, A	4. 巻 31
2. 論文標題 The SMC5/6 Complex Subunit NSE4A Is Involved in DNA Damage Repair and Seed Development.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PLANT CELL	6. 最初と最後の頁 1579, 1597
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1105/tpc.18.00043	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 Hirakawa, T. and Matsunaga, S.	4. 巻 10
2. 論文標題 Characterization of DNA Repair Foci in Root Cells of Arabidopsis in Response to DNA Damage	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 990, 999
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2019.00990	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 Kurita, K., Sakamoto, Y., Naruse, S., Matsunaga, T. M., Arata, H., Higashiyama, T., Habu, Y., Utsumi, Y., Utsumi, C., Tanaka, M., Takahashi, S., Kim, J. M., Seki, M., Sakamoto, T. and Matsunaga, S.	4. 巻 132
2. 論文標題 Intracellular localization of histone deacetylase HDA6 in plants	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Plant Research	6. 最初と最後の頁 629, 640
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10265-019-01124-8	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 Hirakawa, T., Kuwata, K., Gallego, M. E., White, C. I., Nomoto, M., Tada, Y. and Matsunaga, S.	4. 巻 181
2. 論文標題 LSD1-LIKE1-Mediated H3K4me2 Demethylation Is Required for Homologous Recombination Repair	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant Physiology	6. 最初と最後の頁 499, 509
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1104/pp.19.00530	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 Ishihara, H., Sugimoto, K., Tarr, P. T., Temman, H., Kadokura, S., Inui, Y., Sakamoto, T., Sasaki, T., Aida, M., Suzuki, T., Inagaki, S., Morohashi, K., Seki, M., Kakutani, T., Meyerowitz, E. M. and Matsunaga, S.	4. 巻 10
2. 論文標題 Primed histone demethylation regulates shoot regenerative competency	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1786, 1800
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-09386-5	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 Sakamoto, Y., Ishimoto, A., Sakai, Y., Sato, M., Nishihama, R., Abe, K., Sano, Y., Furuichi, T., Tsuji, H., Kohchi, T. and Matsunaga, S.	4. 巻 5
2. 論文標題 Improved clearing method contributes to deep imaging of plant organs.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Commun. Biol.	6. 最初と最後の頁 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42003-021-02955-9	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 Yagi, N., Kato, T., Matsunaga, S., Ehrhardt, D. W., Nakamura, M. and Hashimoto T.	4. 巻 12
2. 論文標題 An anchoring complex recruits katanin for microtubule severing at the plant cortical nucleation sites.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3687
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-24067-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 該当する

1. 著者名 Sakamoto, T., Sakamoto, Y., Grob, S., Slane, D., Yamashita, T., Ito, N., Oko, Y., Sugiyama, T., Higaki, T., Hasezawa, S., Tanaka, M., Matsui, A., Seki, M., Suzuki, T., Grossniklaus, U. and Matsunaga, S.	4. 巻 8
2. 論文標題 Two-step regulation of centromere distribution by condensin II and the nuclear envelope proteins.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Plants	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) なし	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

〔学会発表〕 計26件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 伊藤 ななみ、坂本 卓也、坂本 勇貴、松永 幸大
2. 発表標題 植物の核膜孔複合体はセントロメア配置制御を行う
3. 学会等名 第43回日本分子生物学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤 ななみ、坂本 卓也、坂本 勇貴、松永 幸大
2. 発表標題 シロイヌナズナの核膜孔複合体はセントロメア配置制御を行う
3. 学会等名 第62回日本植物生理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 東海林朋佳、坂本勇貴、鈴木孝征、坂本卓也、松永幸大
2. 発表標題 線照射によるシュート再生能向上機構の解析
3. 学会等名 第62回日本植物生理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦理奈、坂本卓也、澁田未央、大矢恵代、稲垣宗一、鈴木穰、角谷徹二、松永幸大
2. 発表標題 植物の再生能力の獲得に関するエピジェネティック制御因子の機能解析
3. 学会等名 第62回日本植物生理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Sakamoto, Mayuko Sato, Takamasa Suzuki, Kiminori Toyooka, Shingo Takagi, Sachihiko Matsunaga
2. 発表標題 Nuclear lamina protein CRWN regulates gene positioning of a copper transport family gene locus
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Hirakawa, Keiko Kuwata, Sachihiko Matsunaga
2. 発表標題 Histone demethylase LDL1 promotes homologous recombination repair via demethylation of H3K4me2
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yui Fujiwara, Takuya Sakamoto, Yuki Sakamoto, Nobutoshi Yamaguchi, Toshiro Ito, Sachihiro Matsunaga
2. 発表標題 Analysis of relationship between maintenance of heat stress memory and chromosome higher order structure
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mariana Diaz, Kaoru Sugimoto, Takuya Sakamoto, Sachihiro Matsunaga
2. 発表標題 Chromatin remodeling factors are required for de-novo shoot regeneration in Arabidopsis thaliana
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sachihiro Matsunaga, Hiroya Ishihara, Haruka Tenman, Satoshi Kadokura, Soichi Inagaki, Yayoi Inui, Takuya Sakamoto, Takamasa Suzuki, Kengo Morohashi, Tetsuji Kakutani, Kaoru Sugimoto
2. 発表標題 Histone demethylation is involved in gene priming for plant regeneration
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryosuke Makino, Kaoru Sugimoto, Yuki Katsuyama, Hiroya Ishihara, Satoshi Kadokura, Takamasa Suzuki, Takuya Sakamoto, Sachihiro Matsunaga
2. 発表標題 ASHH2 Regulates Arabidopsis callus formation and shoot regeneration through photosynthesis/light and glucose metabolism pathways
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Megumi Matsuoka、Takuya Sakamoto、Mio Shibuta、Noriyoshi Yagi、Hiroshi Kimura、Sachihiro Matsunaga
2. 発表標題 Visualization of histone modification using live-imaging tool in plant
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakiko Nishioka、Takuya Sakamoto、Takamasa Suzuki、Sachihiro Matsunaga
2. 発表標題 Transcriptome analysis reveals dynamic expression changes during tuberous root formation in Arabidopsis thaliana
3. 学会等名 日本植物生理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本卓也、坂本勇貴、御子侑香、伊藤ななみ、松永幸大
2. 発表標題 シロイヌナズナの新規染色体構造構築制御因子の探索
3. 学会等名 日本植物形態学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本勇貴、高木慎吾、松永幸大
2. 発表標題 植物核ラミナ CRWN は核内の遺伝子配置に関与する
3. 学会等名 日本植物形態学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松永 幸大
2. 発表標題 Primed histone demethylation regulates shoot regenerative competency.
3. 学会等名 日本植物形態学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤ななみ, 角倉慧, 杉本薫, 坂本卓也, 鈴木 孝征, 松永幸大
2. 発表標題 茎頂組織における体細胞胚形成の解析
3. 学会等名 日本植物形態学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松永 幸大, 松岡 慈, 澁田 未央, 石原 弘也, 天満 春花, 角倉 慧, 稲垣宗一, 乾 弥生, 鈴木 孝征, 諸橋 賢吾, 角谷 徹仁, 杉本 薫, 坂本 卓也
2. 発表標題 遺伝子プライミングによる再生メカニズム
3. 学会等名 日本植物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本 卓也, 坂本 勇貴, 御子 侑香, 伊藤 ななみ, 松永 幸大
2. 発表標題 シロイヌナズナの新規染色体構造構築制御因子の解析
3. 学会等名 日本植物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 ななみ, 角倉 慧, 杉本 薫, 鈴木 孝征, 松永 幸大
2. 発表標題 シロイヌナズナ茎頂組織における体細胞胚形成の解析
3. 学会等名 日本植物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊水音、坂本勇貴、坂本卓也、松永幸大
2. 発表標題 植物における新奇核膜内膜局在タンパク質の同定
3. 学会等名 日本分子生物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Sakamoto, Yuka Oko, Nanami Ito, Yuki Sakamoto, Sachihiro Matsunaga
2. 発表標題 Involvements of nuclear pore complex proteins in the regulation of spatial arrangement of chromatin domains in Arabidopsis
3. 学会等名 SEB conference on Impact of chromatin domains on plant phenotypes" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mariana Diaz, Takuya Sakamoto, Sachihiro Matsunaga
2. 発表標題 FASCIATA1 is required for de-novo shoot regeneration in Arabidopsis thaliana
3. 学会等名 SEB conference on Impact of chromatin domains on plant phenotypes" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mio K. Shibuta, Megumi Matsuoka, Mayu Yoshikawa, Kazuki Kurita, Tamako Yamaoka, Takuya Sakamoto, Hiroshi Kimura, Sachihito Matsunaga
2. 発表標題 Live imaging system to tracking post-translational modification dynamics in Arabidopsis thaliana
3. 学会等名 IMPACT OF CHROMATIN DOMAINS ON PLANT PHENOTYPES (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sachihito Matsunaga
2. 発表標題 Gene priming for shoot regeneration
3. 学会等名 Frontiers in plant environmental response research: local signaling, long-distance communication and memory for developmental plasticity (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sachihito Matsunaga
2. 発表標題 Epigenetic priming in shoot regeneration
3. 学会等名 IRN France-Japan Frontiers in Plant Biology on "Genome dynamics and epigenetics" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mio Shibuta and Sachihito Matsunaga
2. 発表標題 Live imaging system to track post-translational modifications dynamics in Arabidopsis thaliana
3. 学会等名 4th International Symposium on Plant Nuclear Dynamics Supported by JSPS and MEXT (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

松永研究室
http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/matsunaga_lab/

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
スイス	チューリッヒ大学			
米国	カリフォルニア工科大学			