

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：23401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H03297

研究課題名(和文)染色体微細加工で逆位・転座が植物ゲノムに与える影響を見る

研究課題名(英文)Chromosome engineering to see how inversions and translocations affect plant genomes

研究代表者

風間 裕介 (Kazama, Yusuke)

福井県立大学・生物資源学部・教授

研究者番号：80442945

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：逆位や転座などの染色体再編成は進化において重要であることが比較ゲノム解析で示唆されている。我々は、染色体再編成のより直接的な影響を調べるため、再編成をもつ3つの変異体において、再編成が遺伝子発現や形質に与える影響を調査した。そのうちの1つ、Ar55-as5変異体は、初期の葉の成長が遅く、花成も遅れるが、最終的な草丈は大きく、寿命も長い。この変異体では通常の染色体に加え、逆位した2番染色体と4番染色体の一部が結合した新規の染色体が存在することがわかった。この重複領域で高い遺伝子発現が見られ、H3K4me3の修飾が集積していた。新規重複染色体のクロマチンが弛緩する傾向があることを初めて示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

染色体再編成が生物の進化に影響を与えたであろうことは疑う余地はない。しかし、再編成が生物の形質に与える影響についての知見は乏しく、世界中の研究者が注目するところである。従来、1本ずつの染色体が重複したトリソミーやゲノム全体が倍化したシロイヌナズナで同様な実験が行われたが、エピゲノムへの影響はそれほど大きなものではなかった。これに対し本研究では、新規に出現した重複染色体が転写活性型ヒストンであるH3K4me3を集積し、実際に高い遺伝子発現量を示すことがわかった。このようなダイナミックな遺伝子発現量の変化が生物の大進化に何らかの影響を与えたのかもかもしれない。今後、各遺伝子に与える影響を精査していく。

研究成果の概要(英文)：The importance of chromosomal rearrangements, such as inversions and translocations, in evolution has been suggested by comparative genomic analyses. To investigate the more direct effects of chromosomal rearrangements, we studied the effects of rearrangements on gene expression and traits in three mutants having rearrangements. One of them, the Ar55-as5 mutant, has slower initial leaf growth and delayed flower maturation, but larger final plant size and longer life span. This mutant has a novel chromosome that is composed of an inverted chromosome 2 and part of chromosome 4, in addition to the normal 10 chromosomes. Higher gene expression was observed in this new chromosome, and H3K4me3 modifications were accumulated there. This is the first finding that the chromatin of the novel duplicated chromosome tends to be relaxed.

研究分野：ゲノム生物学

キーワード：染色体 重複 重イオンビーム エピゲノム シロイヌナズナ 染色体再編成

1. 研究開始当初の背景

ゲノム領域の重複、欠失、逆位、転座などの染色体再編成によって生じる構造変異は、生物の進化に大きく貢献してきたと考えられている。例えば、ヒトとチンパンジーのゲノムを比較すると、染色体の融合や9ヶ所の大規模な逆位を含む数百の構造変異が見られる(Marques-Bonet et al. Trends Genet 2004, Kronenberg et al. 2018)。また、ヒト同士のゲノムを比較した場合にも同様に多くの構造変異が確認できる(Sudmant et al. 2015)。さらに、これらの染色体再編成が、ヒト特異的な形質の獲得や遺伝病の原因になっている例も複数報告されている(Fawcett and Innan 2013)。染色体再編成の中でも、逆位や相互転座はゲノム配列の増減や変化を伴わないため、個体への影響は限定的だとする見方もある一方で、発現パターンや形質に影響を及ぼしている例も複数報告されている(Naseeb et al. 2016)。また、最新のブドウの種内の構造多形を調査した研究では、逆位の方が欠失よりも有害なことが多いと示唆されたが、その理由については全く議論がされなかった(Zhou et al. 2019)。このように、逆位(や相互転座)がどのようなメカニズムでどの程度表現型や形質に影響を与えるか、まだほとんど分かっていないと言える。本研究では、染色体再編成の中でも特に配列の変化を伴わない逆位等の表現型や形質への影響を理解するため、モデル植物シロイヌナズナに染色体再編成を実験的に誘発し、その影響を直接見るというアプローチを取る。これまで、理化学研究所の重イオン加速器で発生する重イオンビームを用いて、従来技術の30倍の高効率で染色体再編成を誘発する技術を開発した(Kazama et al. 2017)。その開発過程で、ゲノム配列の変化では説明できないと思われる形態変化を示す3系統の変異体を得た(図1)。1つは研究代表者が単離したAr55-as5で、2番染色体と4番染色体とが繋がっており、2番染色体に3.1Mbの欠失と逆位をもつ。遺伝子にはホモの変異はない。葉の付け根の柄の部分(葉柄)が短いという顕著な形態変化をもち、この形質は優性(顕性)である。残り2つは、研究分担者の平野が単離したC290-458-as1、C200-74-N2である。前者は5番染色体に2つの逆位をもち、後者は3番染色体に逆位がありその一端に4番染色体の3.4 kbpの断片が挿入されている。どちらも花卉が野生型より大きく、既知遺伝子に変異はない。さらに興味深いデータがAr55-as5の全遺伝子発現解析(RNA-Seq)によって得られた。染色体再編成を起した染色体領域上の一連の遺伝子の発現量が上昇していたのである。

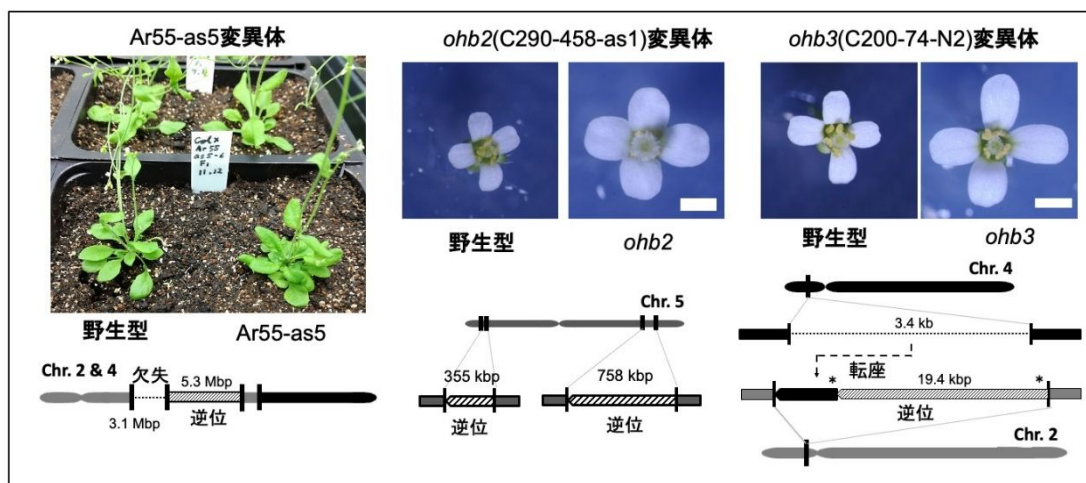


図1 染色体再編成を伴った変異体

2. 研究の目的

本研究では、染色体再編成を伴った各変異体がどのように形態変化に影響を与えるのかを詳細に調査することを目的とした。原因となる染色体再編成により遺伝子発現に変動が生じる場合、RNA-seq、ヒストン修飾をターゲットとしたChIP-seq、Hi-Cによるゲノムの3D構造解析などを行い、エピゲノムに対する効果について調べた。

3. 研究の方法

理化学研究所のリングサイクロトロンから発生した重イオンビームをシロイヌナズナに照射して得られた突然変異体のうち、大輪の表現型を示す *ohbana* (*ohb*)変異体3系統、およびゲノムリシーケンスで染色体再編成をもつことがわかっている Ar55-as6 変異体を用いた。*ohb* 変異体3系統についてもゲノムリシーケンスと遺伝解析を行い、原因変異を同定した。それぞれの変異体の詳細な形態観察および、周辺遺伝子の発現解析を行った。Ar55-as6 については、RNA-seq

で遺伝子発現を、Hi-C で 3D 構造解析を行い、先進ゲノム支援によりヒストン H3K4Me3 および H3K27Me3 をターゲットとした ChIP-seq、およびロングリードシーケンスによる再編成部位の決定を行った。

4. 研究成果

(1) 逆位が花器官サイズに及ぼす影響

ohb 変異体のうち、*ohb1* は MEDIATOR16 の機能損失が原因の大輪化及び種子重量の増加しており、一遺伝子における変異が原因であることが明らかとなった(Nhat et al., 2021)。一方、*ohb2* 変異体 (C290-458-as1) および *ohb3* 変異体 (C200-74-N2) では、全ゲノム変異解析と連鎖解析を行った結果、それぞれ逆位が原因であることが明らかとなったことから、逆位が花器官サイズに及ぼす影響について調査した。

ohb2 変異体は、大輪化の原因が第 5 染色体の逆位であることが明らかになった。この逆位により UBIQUITIN-CONJUGATING ENZYME (*UBC*) および FACTOR INTERACTING WITH POLY(A) POLYMERASE (*FIP*) にトランケーションが生じている。まずこの 2 遺伝子が花弁に及ぼす影響を調査するために、T-DNA 遺伝子破壊系統およびゲノム編集により作出した系統における花弁の表現型を調査した(図 2)。まず *ohb2* 変異体では花弁の大型化が見られ、花弁の背軸側表皮細胞面積が増加していることが明らかになった。また、花弁面積の増加率と表皮細胞面積の増加率から、花弁の細胞数も増加している可能性が示唆された。一方、*FIP* における T-DNA 挿入系統である *fip-T* および *ohb2* と *fip-T* の交配後代における花弁を比較すると、*ubc* と *fip* による細胞面積の相乗的な増加効果が存在することが示唆された。ゲノム編集により、*ohb2* に生じた逆位を再

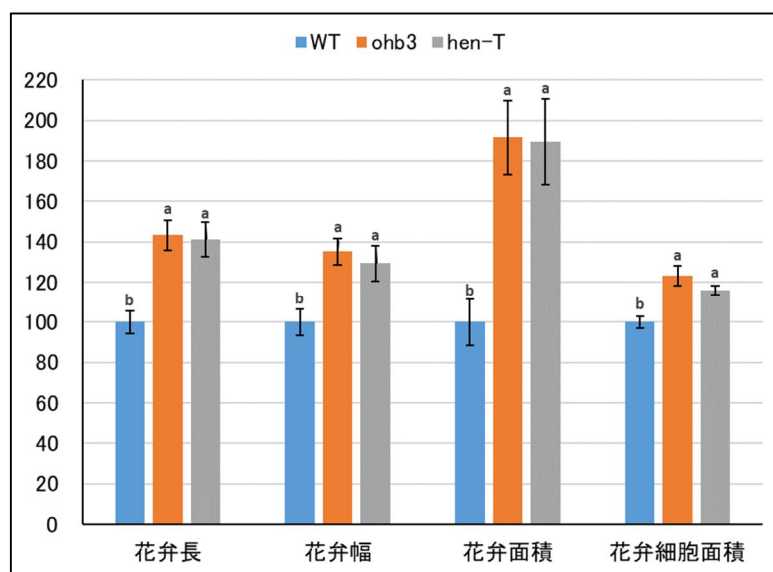


図 2 *ohb2* 関連変異体群における花弁表現型の比較

各項目における値は、野生型を 100 としたときの相対値で示す。値は平均 ± 標準誤差を表し、異なるアルファベットは Tukey 's test において 5 %水準で有意差があることを示す (n = 15)

現した系統 (F1/R2-5-10)、*UBC* および *FIP* 遺伝子のエキソンにそれぞれ 1 塩基の挿入した系統 (F1/R2-13-14) のいずれにおいても花弁の大型化および表皮細胞面積の増加が見られたことから、花弁の大型化に関してはトランケーションが生じた 2 つの遺伝子の効果が主要因であることが示された。以上より、*ohb2* における逆位は、一度の染色体再編成で遺伝子間相互作用が明らかになる興味深いものであった。

逆位のブレイクポイントに近接する上流および下流領域の遺伝子のうち、花における発現が見られる遺伝子を抽出し、*ohb2* 変異体の花蕾から RNA を抽出し cDNA を合成した後に、抽出した遺伝子における RT-PCR を行った結果、野生型および *ohb2* 変異体のいずれにおいても調査した全ての遺伝子で発現が確認された。このことから、第 5 染色体における逆位は、少なくとも花器官において近傍の遺伝子発現の有無には影響を与えていないことが明らかになった。上記の T-DNA 挿入系統およびゲノム編集系統の RNA シーケンスを実施しており、網羅的な遺伝子発現の変動を比較することで *ohb2* における逆位が遺伝子発現に及ぼす影響の詳細が明らかになると期待される。

ohb3 変異体では、第 2 染色体に生じた逆位が大輪化の原因と考えられた。逆位によりトランケーションが生じた 2 つの遺伝子 *HUA ENHANCER (HEN)*、*POLLEN RECEPTOR LIKE KINASE (PRK)* のうち、花器官形成に関与することが明らかになっている *HEN* 遺伝子に注目し花器官サイズ調節に関与するかを調査した(図 3)。*ohb3* の花弁長および花弁幅、花弁面積は、いずれも野生型よ

り有意に増大していた。HEN 遺伝子における T-DNA 挿入系統 *hen-T* における花弁サイズは、*ohb3* とほぼ同程度増大していた。また、*ohb3* および *hen-T* の花弁の表皮細胞面積は野生型に比べ有意に増大していた。従って、HEN 遺伝子の機能欠損が大輪化をもたらしたと考えられる。

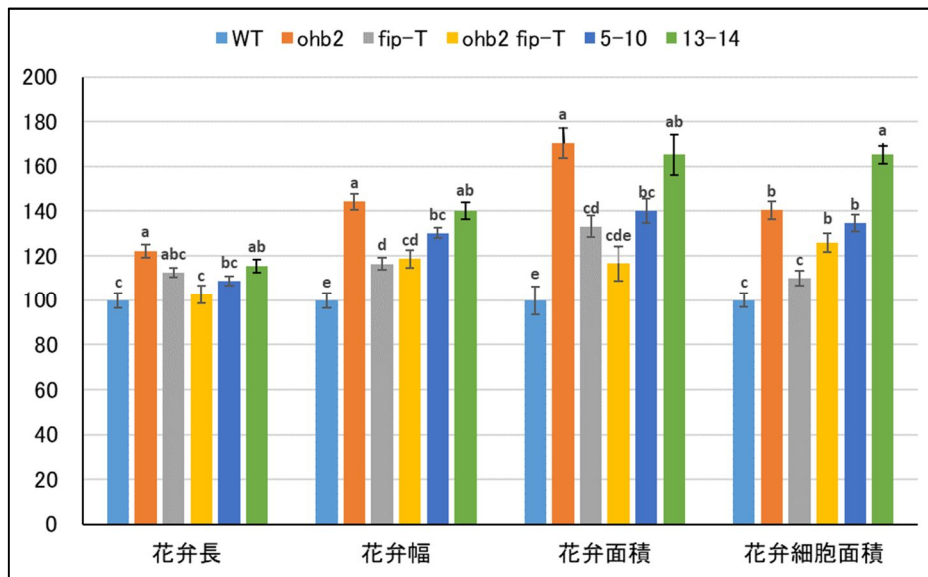


図3 *ohb3* および関連変異体群における花弁表現型の比較

(2) 染色体再編成がエピゲノムに及ぼす影響

Ar55-as6 変異体の表現型を調査したところ、初期の葉の生長が野生型よりも遅く、花成も 10 日ほど遅れることがわかった。一方で、最終的な草丈は野生型よりも大きく、草体の寿命も長いことがわかった。播種後 40 日目の葉について RNA-seq を行ったところ、ゲノム全体で遺伝子発現が上昇し、再編成が生じた染色体領域では特に遺伝子発現上昇が高いことがわかった。PacBio によるロングリードシーケンス、および Hi-C 解析を行ったところ、この変異体は正常な染色体を 5 対もっており、それに加えて、新規に逆位と欠失を伴った 2 番染色体の一部と 4 番染色体の一部とが結合した染色体を 1 コピーだけでもつことがわかった。この新規重複染色体は次世代に遺伝し、この染色体を持つ個体のみが上記の表現型を示すことがわかった。転写活性型のヒストン化学修飾である H3K4me3 に対する抗体を用いて ChIP-seq 解析を行ったところ、変異体に特異的な H3K4me3 のシグナルが多数検出された。このシグナルは、新規に出現した染色体断片に集中しており、その領域は遺伝子発現レベルが上昇している領域と一致していた (図 4)。変異体の葉からプロトプラストを調整してスライドガラスに展開した細胞核に対して H3K4me3 に対する抗体を処理し、免疫蛍光抗体法にて H3K4me3 の配置を観察したところ、H3K4me3 が集積しているドメインが観察された。これらの結果から、重イオンビームにより新たに出現した部分重複染色体は、元の染色体とは異なるクロマチン構造をもち、H3K4me3 が特異的に集積して転写が活性化される状態にあることが導き出された。シロイヌナズナを倍数化した場合の同様の実験では、H3K4me3 の分布が大きく異なることはなく (引用) 部分重複の時のみにこのような現象が起こるのは大変興味深い。染色体再編成は、高い線エネルギー付与をもつ重イオンビーム照射によってさまざまな植物で高効率に誘発できる。重イオンビーム照射によって本現象を引き起こすことで、転写活性の高い染色体断片を作り出し、延いてはそれを育種利用できるかもしれない。

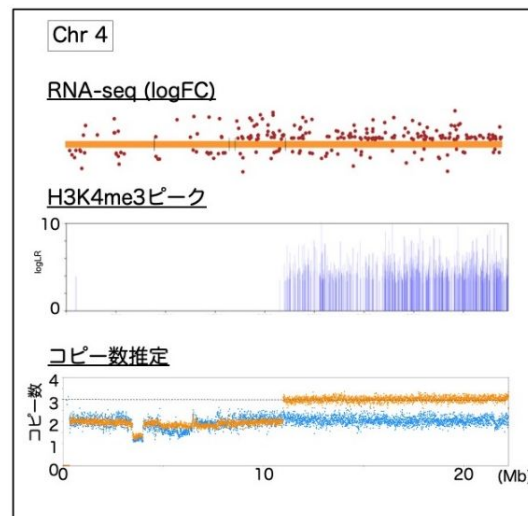


図4 H3K4me3 のピーク分布と遺伝子発現。H3K4me3 のピークは、コピー数が3である重複部位に分布し、その領域では遺伝子発現量が高かった。

5. 引用文献

- Fawcett, J. A., and Innan, H. (2013). The role of gene conversion in preserving rearrangement hotspots in the human genome. *Trends Genet*, 29, 561-568.
- Kazama, Y. *et al.* (2017). Different mutational function of low and high linear energy

- transfer heavy ion irradiation demonstrated by whole genome resequencing of Arabidopsis mutants. *Plant J*, 92, 1020-1030.
- Kronenberg, Z. N. *et al.* (2018). High-resolution comparative analysis of great ape genomes. *Science*, 360, eaar6343.
- Marquès-Bonet, T. *et al.* (2004). Chromosomal rearrangements and the genomic distribution of gene-expression divergence in humans and chimpanzees. *Trends Genet*, 20, 524-529.
- Naseeb, S. *et al.* (2016). Widespread impact of chromosomal inversions on gene expression uncovers robustness via phenotypic buffering. *Mol Biol Evol*, 33, 1679-1696.
- Nhat, V.Q. *et al.* (2021). Double Mutant Analysis with the Large Flower Mutant, *ohbana1*, to Explore the Regulatory Network Controlling the Flower and Seed Sizes in *Arabidopsis thaliana*. *Plants*, 10, 1881.
- Sudmant, P. H. *et al.* (2015). An integrated map of structural variation in 2,504 human genomes. *Nature*, 526, 75-81.
- Zhang, H. *et al.* (2019). The effects of Arabidopsis genome duplication on the chromatin organization and transcriptional regulation. *Nucleic Acids Res*, 47, 7857-7869.
- Zhou, Y. *et al.* (2019). The population genetics of structural variants in grapevine domestication. *Nat Plants*, 5, 965-979.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Kazama Yusuke, Kitoh Moe, Kobayashi Taiki, Ishii Kotaro, Krasovec Marc, Yasui Yasuo, Abe Tomoko, Kawano Shigeyuki, Filatov Dmitry A	4. 巻 39
2. 論文標題 A CLAVATA3-like Gene Acts as a Gynoecium Suppression Function in White Campion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecular Biology and Evolution	6. 最初と最後の頁 msac195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/molbev/msac195	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 Temman Haruka, Sakamoto Takuya, Ueda Minoru, Sugimoto Kaoru, Migihashi Masako, Yamamoto Kazunari, Tsujimoto-Inui Yayoi, Sato Hikaru, Shibuta Mio K, Nishino Norikazu, Nakamura Tomoe, Shimada Hiroaki, Taniguchi Yukimi Y, Takeda Seiji, Aida Mitsuhiro, Suzuki Takamasa, Seki Motoaki, Matsunaga Sachihiro	4. 巻 2
2. 論文標題 Histone deacetylation regulates de novo shoot regeneration	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PNAS Nexus	6. 最初と最後の頁 pgad002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pnasnexus/pgad002	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 Takuya, Sakamoto Yuki, Grob Stefan, Slane Daniel, Yamashita Tomoe, Ito Nanami, Oko Yuka, Sugiyama Tomoya, Higaki Takumi, Hasezawa Seiichiro, Tanaka Maho, Matsui Akihiro, Seki Motoaki, Suzuki Takamasa, Grossniklaus Ueli, Matsunaga Sachihiro	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 940 ~ 953
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41477-022-01200-3	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 Sakamoto Yuki, Ishimoto Anna, Sakai Yuuki, Sato Moeko, Nishihama Ryuichi, Abe Konami, Sano Yoshitake, Furuichi Teiichi, Tsuji Hiroyuki, Kohchi Takayuki, Matsunaga Sachihiro	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 Communications Biology	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 Onosato Haruki, Fujimoto Genya, Higami Tomota, Sakamoto Takuya, Yamada Ayaka, Suzuki Takamasa, Ozawa Rika, Matsunaga Sachihiro, Seki Motoaki, Ueda Minoru, Sako Kaori, Galis Ivan, Arimura Gen-ichiro	4. 巻 189
2. 論文標題 Sustained defense response via volatile signaling and its epigenetic transcriptional regulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant Physiology	6. 最初と最後の頁 922 ~ 933
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/plphys/kiac077	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 Kikuchi Suzuka, Sakamoto Takuya, Matsunaga Sachihiro, Iwamoto Akitoshi	4. 巻 136
2. 論文標題 Novel whole-mount FISH analysis for intact root of Arabidopsis thaliana with spatial reference to 3D visualization	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Plant Research	6. 最初と最後の頁 423 ~ 428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10265-023-01438-8	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 Matsunaga Sachihiro	4. 巻 15
2. 論文標題 Transcription factors linking the perception of mechanical stress at the cell wall with the responsive gene network	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecular Plant	6. 最初と最後の頁 1662 ~ 1663
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.molp.2022.10.007	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 Li Yilang, Matsunaga Sachihiro	4. 巻 88
2. 論文標題 Various Strategies for Improved Signal-to-Noise Ratio in CRISPR-Based Live Cell Imaging	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 CYTOLOGIA	6. 最初と最後の頁 3 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1508/cytologia.88.3	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 Mori Shunnosuke, Sumiya Nobuko, Matsunaga Sachihiro	4. 巻 87
2. 論文標題 Nucleomorph: A Fascinating Remnant of Endosymbiosis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 CYTOLOGIA	6. 最初と最後の頁 203 ~ 208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1508/cytologia.87.203	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 Okabe Yoji, Matsunaga Sachihiro	4. 巻 87
2. 論文標題 Natural and Artificial Photosymbiosis in Vertebrates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 CYTOLOGIA	6. 最初と最後の頁 69 ~ 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1508/cytologia.87.69	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 風間裕介、畑下昌範、木元久、櫻井明彦	4. 巻 6
2. 論文標題 イオンビームを用いた微生物の品種改良	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 29 ~ 33
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 平野智也	4. 巻 6
2. 論文標題 イオンビームを用いた花き植物の品種改良	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 14 ~ 18
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 Hirano Tomonari, Kazama Yusuke, Kunitake Hisato, Abe Tomoko	4. 巻 87
2. 論文標題 Mutagenic Effects of Heavy-Ion Beam Irradiation to Plant Genome	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 CYTOLOGIA	6. 最初と最後の頁 3~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1508/cytologia.87.3	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 Kobayashi Taiki, Takahashi Masako, Nishijima Ryo, Sugiyama Ryuji, Ishii Kotaro, Kawano Shigeyuki, Kazama Yusuke	4. 巻 86
2. 論文標題 Effective Chromosomal Preparation Protocol for the Dioecious Plant <i>Silene latifolia</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CYTOLOGIA	6. 最初と最後の頁 323~328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1508/cytologia.86.323	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 Matsuta Ayaka, Mayuzumi Takahiro, Katano Hajime, Hatashita Masanori, Takagi Keiichi, Hayashi Yoriko, Abe Tomoko, Murai Koji, Kazama Yusuke	4. 巻 86
2. 論文標題 The Effect of Heavy-Ion Beams with High Linear Energy Transfer on Mutant Production in <i>M1 Generation of Torenia fournieri</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CYTOLOGIA	6. 最初と最後の頁 317~322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1508/cytologia.86.317	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 Nhat Vuong Quoc, Kazama Yusuke, Ishii Kotaro, Ohbu Sumie, Kunitake Hisato, Abe Tomoko, Hirano Tomonari	4. 巻 10
2. 論文標題 Double Mutant Analysis with the Large Flower Mutant, <i>ohbana1</i> , to Explore the Regulatory Network Controlling the Flower and Seed Sizes in <i>Arabidopsis thaliana</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 1881~1881
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants10091881	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 Sanjaya Alvin, Muramatsu Ryohsuke, Sato Shiho, Suzuki Mao, Sasaki Shun, Ishikawa Hiroki, Fujii Yuki, Asano Makoto, Itoh Ryuichi D., Kanamaru Kengo, Ohbu Sumie, Abe Tomoko, Kazama Yusuke, Fujiwara Makoto T.	4. 巻 10
2. 論文標題 Arabidopsis EGY1 Is Critical for Chloroplast Development in Leaf Epidermal Guard Cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 1254 ~ 1254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants10061254	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 Sanjaya Alvin, Kazama Yusuke, Ishii Kotaro, Muramatsu Ryohsuke, Kanamaru Kengo, Ohbu Sumie, Abe Tomoko, Fujiwara Makoto T.	4. 巻 10
2. 論文標題 An Argon-Ion-Induced Pale Green Mutant of Arabidopsis Exhibiting Rapid Disassembly of Mesophyll Chloroplast Grana	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 848 ~ 848
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants10050848	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34件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 生駒拓也, サンジャヤ アルビン, 池田美穂, 西嶋遼, 村井耕二, 阿部知子, 風間裕介
2. 発表標題 シロイヌナズナ染色体における遺伝子量補正の調査
3. 学会等名 第94回日本遺伝学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉田和陽, サンジャヤ アルビン, 西嶋遼, 田中裕之, 伊藤武彦, 村井耕二, 阿部知子, 風間裕介
2. 発表標題 シロイヌナズナの新規染色体部分的重複変異体における遺伝子発現変動とクロマチン動態
3. 学会等名 第94回日本遺伝学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上田純平, 風間裕介, 阿部知子, 村井耕二
2. 発表標題 時計遺伝子WPCL1の欠失による一粒系コムギ早生変異体の早生性を抑制するイオンビーム変異体late-heading 1の解析
3. 学会等名 日本育種学会第141回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鬼頭萌, 小林壮生, 石井公太郎, Marc Krasovec, 安井康夫, 阿部知子, 河野重行, Dmitry A. Filatov, 風間裕介
2. 発表標題 雌雄異株植物ヒロハノマンテマの性決定候補遺伝子GSFY の同定
3. 学会等名 北陸植物学会第12回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林壮生, 鬼頭萌, Dmitry A. Filatov, 風間裕介
2. 発表標題 ヒロハノマンテマ性決定遺伝子のX染色体連鎖パラログGSFXの機能解析
3. 学会等名 北陸植物学会第12回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黛隆宏, 松田彩花, 畑下昌範, 高城啓一, 阿部知子, 村井耕二, 風間裕介
2. 発表標題 重イオンビームを用いた園芸植物トレニアの花形変異体の作出
3. 学会等名 北陸植物学会第12回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 生駒拓也, サンジャヤ アルピン, 池田美穂, 西嶋遼, 阿部知子, 風間裕介
2. 発表標題 シロイヌナズナで遺伝子量補正は起きるのか
3. 学会等名 北陸植物学会第12回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉田和陽, サンジャヤ アルピン, 西嶋遼, 田中裕之, 伊藤武彦, 阿部知子, 風間裕介
2. 発表標題 染色体再編成が植物ゲノムに及ぼす影響
3. 学会等名 北陸植物学会第12回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 風間裕介, 鬼頭萌, 小林壮生, 石井公太郎, Marc Krasovec, 安井康夫, 阿部知子, 河野重行, Dmitry A. Filatov
2. 発表標題 CLV3様ペプチドはヒロハノマンテマの性を決定する
3. 学会等名 植物化学調節学会第57回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 風間裕介
2. 発表標題 重イオンビーム誘発欠失変異を用いた植物性染色体の研究
3. 学会等名 若狭湾エネルギー研究センター第24回研究報告会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yusuke Kazama and Tomoko Abe
2. 発表標題 Effect of Linear Energy Transfer in the heavy-ion mutagenesis and breeding
3. 学会等名 The 32nd annual meeting of MRS-J (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takahiro Mayuzumi, Ayaka Matsuta, Masanori Hatashita, Keiichi Takagi, Tomoko Abe, Koji Murai, and Yusuke Kazama
2. 発表標題 Heavy-Ion Beams with High Linear Energy Transfer frequently produces morphological mutants in the M1 generation of an ornamental plant <i>Torenia fournieri</i>
3. 学会等名 The 32nd annual meeting of MRS-J (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 風間裕介, 鬼頭萌, 小林壮生, 石井公太郎, Marc Krasovec, 安井康夫, 阿部知子, 河野重行, Dmitry A. Filatov
2. 発表標題 ついに発見! ヒロハノマンテマ性決定遺伝子
3. 学会等名 理研シンポジウム「重イオンビーム育種による持続可能な社会や特産品創出の実現」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 風間裕介, 鬼頭萌, 小林壮生, 石井公太郎, Marc Krasovec, 安井康夫, 阿部知子, 河野重行, Dmitry A. Filatov
2. 発表標題 雌雄異株植物ヒロハノマンテマの雌蕊抑制に関わる性決定遺伝子GSFYの同定
3. 学会等名 日本育種学会第142回講演会
4. 発表年 2023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 ゲノム倍数化が植物の器官成長に及ぼす影響を定量化するシロイヌナズナのセントロメア配置制御に核膜孔複合体が関与する
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 右橋 雅子, 坂本 卓也, 大矢恵代, 稲垣 宗一, 鈴木 穰, 角谷 徹仁, 松永 幸大
2. 発表標題 シュート再生能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 日本植物学会第86回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋正 隆平, 佐藤 輝, 坂本 卓也, 坂本 勇貴, 鈴木 孝征, 松永 幸大
2. 発表標題 線照射によるシュート再生能力向上のメカニズム解析
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 松岡 慈, 坂本卓也, 澁田未央, 佐藤優子, 木村宏, 松永幸大
2. 発表標題 シロイヌナズナにおけるヒストン修飾H3K4me3のライブイメージング解析
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 伊藤ななみ、坂本卓也、坂本勇貴、松永幸大
2. 発表標題 シロイヌナズナのセントロメア配置制御に核膜孔複合体が関与する
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 橋正隆平, 佐藤輝, 坂本卓也, 坂本勇貴, 鈴木孝征, 松永幸大
2. 発表標題 線照射によるシュート再生能力向上の分子メカニズム解析
3. 学会等名 日本植物形態学会第34回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 右橋雅子, 坂本卓也, 大矢恵代, 稲垣宗一, 鈴木穰, 角谷徹仁, 松永幸大
2. 発表標題 シュート再生能の獲得に関与するヒストンメチル化酵素の機能解析
3. 学会等名 日本植物形態学会第34回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松岡慈、坂本卓也、澁田未央、佐藤優子、木村宏、松永幸大
2. 発表標題 シロイヌナズナにおけるヒストンH3K4me3のライブイメージング解析
3. 学会等名 日本植物形態学会第34回大会
4. 発表年 2022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 シロイヌナズナのセントロメア配置制御に関わる核膜孔複合体の機能解析
3. 学会等名 日本植物形態学会第34回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀江綾香、坂本卓也、Diaz Mariana、乾弥生、Slane Daniel、佐藤輝、鈴木穰、松永幸大
2. 発表標題 植物の再生能力獲得に関わるクロマチンリモデリング因子の機能解析
3. 学会等名 第64回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2022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 シロイヌナズナにおいて核膜孔複合体はセントロメア二段階配置制御に関与する
3. 学会等名 第64回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松岡慈、坂本卓也、澁田未央、佐藤優子、木村宏、松永幸大
2. 発表標題 シロイヌナズナにおけるヒストン修飾H3K4me3のライブイメージング技術の確立
3. 学会等名 第64回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂本卓也, 坂本勇貴, Daniel Slane, 伊藤ななみ, 松永幸大
2. 発表標題 シロイヌナズナにおけるセントロメア配置制御のメカニズムと意義の解析
3. 学会等名 第64回日本植物生理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 池田公季、旭置桐哉、風間裕介、石井公太郎、阿部知子、國武久登、平野智也
2. 発表標題 シロイヌナズナ petal compensation exhibiting 変異体における花器官細胞サイズ制御機構の解析
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 黛隆宏, 松田彩花, 畑下昌範, 高城啓一, 阿部知子, 村井耕二, 風間裕介
2. 発表標題 重イオンビームを用いたトレニア変異系統の作出
3. 学会等名 日本育種学会第140回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉田和陽、Sanjaya Alvin、西嶋遼、村井耕二、阿部知子、風間裕介
2. 発表標題 シロイヌナズナの新規染色体再編成変異体で見られたダイナミックな形態変化
3. 学会等名 日本育種学会第141回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石井公太郎、 風間裕介、平野智也、Jeffrey A. Fawcett、酒井富士子、白川侑希、大部澄江、阿部知子
2. 発表標題 重イオンビームで誘発される欠失変異と必須遺伝子のシロイヌナズナゲノム上での分布に関する俯瞰的解析
3. 学会等名 日本育種学会第141回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 風間裕介
2. 発表標題 重イオンビームで拓く染色体再編成のサイエンス
3. 学会等名 北陸植物学会令和2年度大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南壮二郎、渡邊遥、大部澄江、阿部知子、風間裕介
2. 発表標題 ゲノム編集を用いたシロイヌナズナへの染色体再編成の導入
3. 学会等名 日本育種学会第138回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南壮二郎、渡邊遥、大部澄江、阿部知子、風間裕介
2. 発表標題 ゲノム編集を用いたシロイヌナズナへの巨大逆位の導入
3. 学会等名 日本遺伝学会第92回大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	松永 幸大 (Matsunaga Sachihiro) (40323448)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授 (12601)	
研究分担者	F A W C E T T J E F F R E Y (Fawcett Jeffrey) (50727394)	国立研究開発法人理化学研究所・数理創造プログラム・上級研究員 (82401)	
研究分担者	平野 智也 (Hirano Tomonari) (80455584)	宮崎大学・農学部・准教授 (17601)	

	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
連携研究者	坂本 卓也 (Sakamoto Takuya) (40637691)	神奈川大学・理学部・准教授 (32702)	

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		
英国	The University of Oxford		