

令和 6 年 6 月 22 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00937

研究課題名(和文) イネ小胞子に潜在する個体分化能と倍数化能を活用した育種基盤の新構築

研究課題名(英文) Establishment of a New Breeding Platform Utilizing the Regeneration and Polyploidy Potentials of Rice Microspor

研究代表者

貴島 祐治 (Kishima, Yuji)

北海道大学・農学研究院・教授

研究者番号：60192556

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はイネの小胞子に潜在する能力を利用して、新しい育種基盤の構築を目指し実施した。1)小胞子の脱分化には低温が必要で、2)脱分化する小胞子は葯全体のわずか1%程度であった。3)アジアイネ(S)とアフリカイネ(G)の雑種個体を葯培養して得た稔性を持つ四倍体の後代集団は、F1の花粉母細胞で生じた減数分裂の異常によって発生した二倍体の配偶子に起因した。4)S/G種間雑種の四倍体が稔性を獲得したのは、雑種不稔遺伝子座のKiller-Protector 対立遺伝子量に依存することを明らかにした。5)強力な雑種不稔遺伝子を固定すると二倍体でも稔性を有する個体が得られることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はイネの小胞子に潜在する個体分化能と倍数化能を利用して、新しい品種育成の基盤を構築することを目指し実施した。アジアイネ(*Oryza sativa*: S)とアフリカイネ(*O. glaberrima*: G)の雑種個体を葯培養することによって、稔性を持つ後代集団を得た。S/Gの間で発生する強力な雑種不稔遺伝子を固定すると二倍体でも稔性を有する個体が得られることが判明し、四倍体種間雑種を介して両種の多様な遺伝子の組合せを有する遺伝資源の構築が、初めて可能となった。

研究成果の概要(英文)：This study was conducted to establish a new breeding platform by exploiting the potential of rice microspores: 1) low temperature is required for microspore dedifferentiation; 2) only about 1% of the total microspores are present in an anther; 3) fertile tetraploid progeny obtained by anther culture of hybrid individuals of Asian (S) and African (G) rice plants were attributed to diploid gametes generated by meiotic abnormalities in F1 pollen mother cells; and 4) tetraploid gametes of S/G interspecific hybrids were fertile. 4) The tetraploid population of S/G interspecific hybrids became fertile depending on the dose of killer-protector alleles at the hybrid sterility loci. 5) When strong hybrid sterility genes are fixed, fertile individuals can be obtained even in diploids.

研究分野：植物育種学

キーワード：イネ 小胞子 葯培養 倍数体 種間雑種 減数分裂 雑種不稔 稔性

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

葯に内包される花粉の形成過程において、減数分裂の終盤、四分子から単一の粒子に分離された雄性配偶子は、小孢子と呼ばれる。初期の小孢子では、細胞核を1つしか持たないが、その後、体細胞分裂をおこなって栄養細胞内に雄原細胞を形成すると同時に、葯組織の内側にあるタペートから供給される糖の蓄積を始め、生殖能力をもつ3つの核を有する花粉へと発達していく。多くの植物種で、小孢子が1核期のステージにある未成熟葯を用いた葯培養をおこなうと、小孢子から胚が形成され個体分化を行い植物体が得られる。動物に例えると、減数分裂直後の精子が、受精を経ずに個体を再生するという前代未聞の現象が、植物では半世紀も前から広く育種に利用されている。しかし、小孢子がなぜ高い個体分化能を有しているのか、その根本的な謎は未だに明らかにされていない。また、葯培養によって正常な個体を得られることから、小孢子の個体分化に対する潜在力が発揮されることがわかる。アジア栽培イネ (*Oryza sativa*) とアフリカ栽培イネ (*O. glaberrima*) の雑種一代目の個体では、その個体の配偶子が正常に発育しない雑種不稔が起こる。両親の間で異なる雑種不稔対立遺伝子を雑種が持つと、その相互作用によって、後代に伝達される配偶子と伝達されない配偶子が生じる。しかし、我々は、*O. sativa* *O. glaberrima* (S/G) の雑種の葯培養を行うことによって、雑種一代に由来した個体から稔性のある種子を得ることに初めて成功した。種間交雑雑種の小孢子は、生殖隔離を回避することができると同時に、減数分裂の異常によって倍数性を変化させる能力を備えていることも見えてきた。

## 2. 研究の目的

本研究では、葯培養の主役を担う小孢子のこれらの潜在的な能力をより明確に特徴化して、まず、高い個体形成能と新たに見出した倍数化能について、それに寄与するメカニズムを明らかにする。そして、これら2つの潜在性を活用し、これまでのS/G種間の生殖障壁を越えた新しい育種素材をデザイン、作製することを目的とした。具体的な研究目的は以下の5項目を設定した。

- (1) 小孢子は、葯培養によって個体をどのように分化するのか。
- (2) イネ小孢子から直接個体を効率的に誘導するシステムの構築は可能か。
- (3) 種間雑種の葯培養個体に観察された倍数性はどのように発生するのか。
- (4) 種間雑種の葯培養個体によって雑種不稔性はどのように回避されるのか。
- (5) 種間雑種の葯培養個体から生じた倍数体は新しい育種材料の開発に寄与するか。

## 3. 研究の方法

- (1) 小孢子は、葯培養によって個体をどのように分化するのか。

葯培養においてイネの葯に内包されている小孢子がカルス化して再分化する過程を詳細に観察することで、葯からのカルス発生の系統間での違いやカルス化する小孢子を特定する。さらに、葯培養の開始前に行う10、10日間の低温処理は脱分化能や個体分化能に影響を及ぼす可能性が高い。低温処理が脱分化能や個体分化能に与える影響を、葯の継時的な観察、およびヒストンタンパク質修飾を介したエピジェネティックな制御に関して解析を進めた。

- (2) イネ小孢子から直接個体を効率的に誘導するシステムの構築は可能か。

1つの葯には1000以上の花粉が入っているため、葯培養を行うと単純に1000個体を得ることも可能になり、遺伝解析や育種選抜を画期的に促進すると考えられる。しかし、現状の葯培養では、概ね1葯1カルスしか出現しない。まずは葯から小孢子を取り出して培養を実施した。次いで、実際に葯の中でどれだけの小孢子がカルス形成能を有するか、葯丸ごと染色を行い内部の小孢子を観察した。

- (3) 種間雑種の葯培養個体に観察された倍数性はどのように発生するのか。

S/GのF1個体から四倍体植物が生じた原因を調べるため、雑種一代の小孢子を形成する前の花粉母細胞の減数分裂から四分子期さらに小孢子形成期にわたって、免疫染色法やFISH法により染色体の対合や分配などの動態を調査した。

- (4) 種間雑種の葯培養個体によって雑種不稔性はどのように回避されるのか。

S/G種間雑種から葯培養によって得られた四倍体の個体では、稔性を回復した。倍数性がどのように雑種不稔性を回避するのか、稔性を回復した四倍体個体を葯培養によって二倍体に還元してその遺伝子型を詳細に調査した。

- (5) 種間雑種の葯培養個体から生じた倍数体は新しい育種材料の開発に寄与するか。

S/G 種間雑種の薬培養によって得られた稔性を持つ四倍体の育種素材としての可能性を探るため、2つの稔実四倍体個体の自殖集団(各 190 個体)を用いて、表現型データを取得してゲノムワイド連鎖解析(GWAS)を実施した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 小胞子は、薬培養によって個体をどのように分化するのか。

イネの薬培養では穂の低温処理により小胞子の脱分化が促進される。低温処理を行ってから培養した 209 個の薬および低温処理行わずに培養した 226 個の薬について同じ方法で染色を行い、低温が小胞子のカルス形成能に与える影響について調べた。無処理に対して低温処理によってカルス形成能をもつ薬の数は 20 倍に増え、カルス形成能を有する小胞子も 2 倍に増加した(表 1)。我々はこの低温によるカルス誘導の促進が、エピジェネティックな作用によって生じるのではないかと考え、ゲノムワイドなヒストンタンパク質修飾の検出を行うためクロマチン免疫沈降法を検討した。カルスのサイズ、脱分化後の発生段階の違い、ホルマリン固定条件を調査した。発生初期のカルスは容易に破碎できることから、薬由来のカルスはクロマチン免疫沈降法に適していることが明らかとなった。一方で、ゲノム断片化の過程において、カルスのクロマチンはソニケーションによる裁断が難しく、画一したサイズに収束させるには酵素法などの用いた別の手法の導入が必要であることが明らかとなった。

表 1: キタアケを用いた薬培養による低温処理の効果

供試材料	処理無し			低温処理		
	薬置床数	誘導カルス数	カルス誘導率 (%)	薬置床数	誘導カルス数	カルス誘導率 (%)
キタアケ	226	4	1.8	209	83	39.7

##### (2) イネ小胞子から直接個体を効率的に誘導するシステムの構築は可能か

薬、破碎した薬、内包されている小胞子を供試すると、破碎された薬および小胞子のカルス形成率は、薬と比較して大幅に低下した。また、小胞子培養におけるカルス形成率の低下の大きな要因として、単離操作による小胞子の死滅が関与したと考えている。薬培養では、薬に内包された小胞子間の相互作用が起き、それがカルス形成へ寄与したのかもしれない。また、薬の存在そのものが小胞子へ作用しカルス形成を促す可能性も示唆された。

カルス誘導培地で培養している薬を、酢酸カーミンで「薬まるごと染色」した結果、強い赤色に染まった分裂中の小胞子が観察された。これら赤色に染まった小胞子は高倍率の顕微鏡で観察すると、活発に細胞分裂した多数の細胞塊から構成されていた。一方、赤く染色されていない小胞子ではそのような痕跡はなかった。カルス形成能を有する小胞子は従って分裂によって複製した DNA が染色したことから容易に判別できるようになった(図 1 左)。カルス形成能をもつ小胞子の割合は薬あたりに存在する小胞子の 1%以下で、極少数の小胞子しかカルス形成能を有しないことが判明した。薬培養において japonica であるキタアケや日本晴のカルス形成率は indica であるカサラスに比べ顕著に高いが、薬内

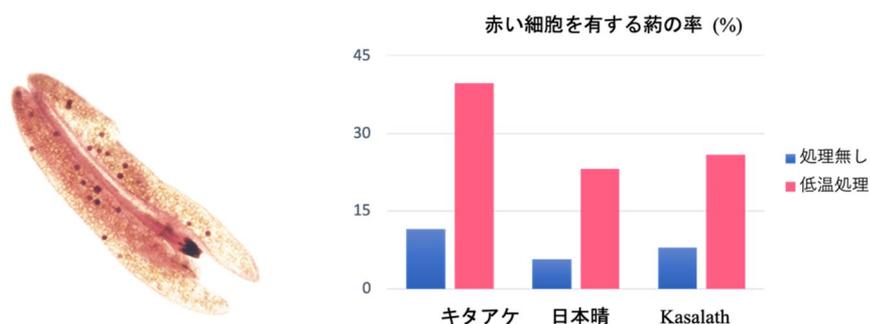


図 1: 「薬まるごと染色」されたキタアケのカーミン染色された小胞子(左)と低温処理の効果(右)

の赤く染色された小胞子の数は日本晴とカサラス間で差は見られなかった(図 1 右)。カルス形成能をもつ小胞子の生存率が日本晴に比べカサラスでは低下することによってカルス誘導率が低くなることが明らかになった。薬培養過程での薬の褐変化も、カルス誘導率と強い相関が見出され、カサラスのカルス形成率の低さが褐変化と関連することが示唆された。

( 3 ) 種間雑種の薬培養個体に観察された倍数性はどのように発生するのか。

S/G の F1 の薬培養から四倍体で稔性のある再分化個体を得たことから、再分化個体の多くは、二倍体の配偶子が薬培養によって四倍体になったと考えられる。本研究では、S/G 種間雑種 F1 において、二倍体の配偶子が発生する要因を探るため、花粉母細胞の減数分裂期に対して OsCenH3 タンパク質とチューブリンタンパク質の抗体を用いて免疫染色法による減数分裂異常の検出を試みた。親系統である日本晴と WK21 では異常は認められなかったが、F1 雑種では染色体構造と細胞質分裂に異常が認められた。染色体構造異常の例として、一価形成と染色体ブリッジが観察された。また、紡錘体形成異常、紡錘体配向異常、細胞板形成異常も観察され、これらの異常が二倍体や三倍体の配偶子形成に関係していることが示唆された ( 図 2 )。その他、小核の形成や減数分裂の非同期化などの異常も観察された。一価形成、紡錘体形成、紡錘体配向、細胞板形成の異常が二倍体配偶子の形成に関与し、子孫の不稔につながることを示唆された。二倍体配偶子につながる異常の頻度は約 15%であったことから、HS 遺伝子座が関与するといわれる前の減数分裂の段階で、F1 花粉の少なくとも約 15%にすでに異常があることが示唆された。

次に、*O. sativa* および *O. glaberrima* の各セントロメアを識別可能な FISH マーカーを作成し、個々のセントロメアの識別を試みた。セントロメア領域は組換え価が 0 になるという特徴をもつ。この特徴を利用し、*O. sativa* および *O. glaberrima* のリファレンスゲノム内の個々のセントロメア領域を識別可能な FISH マーカーを作成した。減数分裂パキテン期の染色体は、体細胞中期染色体よりも凝縮度が低く、高解像度の解析が可能であり、ハイブリダイゼーションパターンにより個々のセントロメアを識別することができた。それらの中には、*O. sativa* と *O. glaberrima* 型のセントロメアが対合しているもの、さらにはそれらの間での組換えが示唆されるものがあった。これらの結果より、本マーカーは、四倍体雑種内の各染色体のセントロメア領域の解析に利用可能であるばかりでなく、相同染色体および同祖染色体の対合の解析にも利用可能であることが示された。

さらに連続撮影した顕微鏡画像を学習データとして、Mac および Create ML を用いたディープラーニングにより、染色体および四分子を識別するモデルを作成した。体細胞分裂の各時期の染色体や減数分裂時の四分子などの物体を 75%以上の精度で検出可能なモデルができた。例えば、このモデルを利用した自動判別システムでは、自動撮影により得られた 16,848 枚の画像中の 91 個の四分子の内 85 個

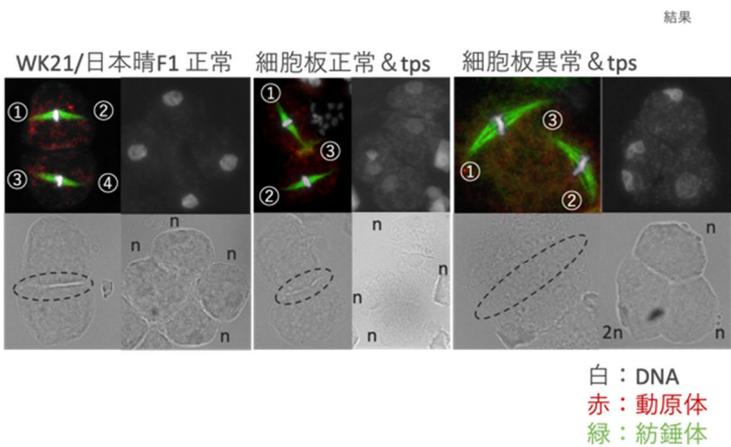


図 2 : 日本晴/WK21の種間雑種F1における花粉母細胞の免疫染色法を用いた減数分裂の観察を約 6 分で検出することができた。

( 4 ) 種間雑種の薬培養個体によって雑種不稔性はどのように回避されるのか。

アジアイネとアフリカイネの種間 F1 雑種は、十数種の雑種不稔 ( HS ) 遺伝子に起因する深刻な不稔性を示す。我々はこれまで、二倍体の種間 F1 雑種から、薬培養により四倍体として稔性植物を作出した。ここでは、交配により作出された四倍体の種間雑種が一定の確率で稔性を持つかどうか、また、HS 遺伝子がどのように関与しているかを調べた。四倍体の種間雑種は、キラープロテクター ( KP ) 遺伝子座の割合により、花粉および種子の稔性を克服した。四倍体におけるキラープロテクター ( KP ) を持つヘテロ接合体 HS 遺伝子座は 21.4 16.7%でホモ接合体のキラーアレルを分離し、配偶子の 4 分の 3 以上が生き残る。この仮説は、四倍体の種間雑種からの薬培養産物によって確認された ( 図 3 )。我々

は、四倍体種間雑種が KP システムを用いて花粉の稔性を回復できることを確認し、稔性イネ子孫を育成することが可能であることを理論的および実験的に証明した。一方、稔性を持つ四倍体種間雑種に薬培養を行い二倍体に還元することで稔性を持つ二倍体の種間雑種を得ることもできた。これら稔性を有する集団は、強い雑種不稔性を示す遺伝子が固定された（図 3）。

（ 5 ）種間雑種の薬培養個体から生じた倍数体は新しい育種材料の開発に寄与しうるか。

S/G の交雑 F<sub>1</sub> の薬培養に由来する 2 つの稔実四倍体個体（RP6 世代）の自殖集団（各 190 個体）の Genotyping by Sequencing で得られた配列データをもとに、28912 か所の SNP 座における対立遺伝子の重複程度（plex）を推定して遺伝子型とした。各個体について到穂日数、稈長、穂長、穂数、穎花数、

Model of killer-protector (KP) system

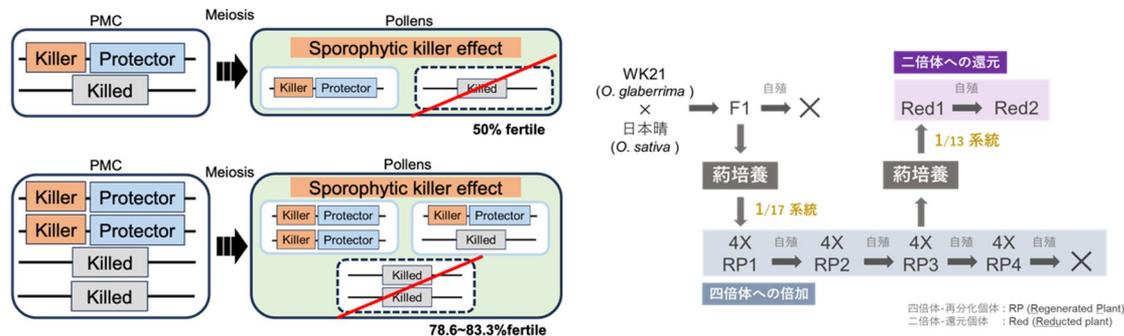


図 3：日本晴/WK21の四倍体種間雑種における稔性回復機構のモデル（左）と二倍体雑種の育成（右）

稔実種子数、稔実率、芒長、脱粒性、弱勢に関する表現型データを取得してゲノムワイド連鎖解析(GWAS)を実施した。2つの自殖集団における S/G の plex 比はゲノム全体にわたって分離が見られ、plex が 0

● 種子稔性: chr8 に有意な領域が検出された

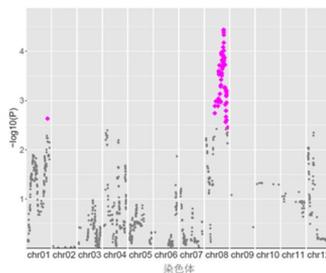


図 4：日本晴/WK21の四倍体種間雑種から還元された二倍体集団で検出した稔性に関連する QTL

または 4（ホモ固定領域）となる領域がゲノム全体に渡って 3 割程度存在し、残りの領域は plex2 が多くを占めたことから、ほぼ理論比に従った分離をしていると考えられた。また、集団内の対立遺伝子比率から判断して、このイネはこれまで均等に混ざることのなかった 2 つの大陸の栽培イネゲノムが倍加を介して初めて均一に混ざり合った例であった。各 SNP 座における plex 比を遺伝子型とみなした GWAS の結果、種子稔性について第 4 染色体に、稈長について第 6 および第 7 染色体に、芒長について第 6 染色体に貢献遺伝子の存在を示す有意なピークが検出された。今回検出されたピークには近傍に既報の形質遺伝子座が存在するものがあり、例えば第 4 染色体で検出された種子稔性 QTL のピークの近傍には、サティバとグラベリマの F<sub>1</sub> の雑種不稔に関わる遺伝子座（S2）の候補領域が存在した。また穂長や到穂日数についてもピーク付近に既報の QTL の存在が示唆された。本研究で用いた手法によって、四倍体雑種イネの表現型分離に貢献する遺伝因子を見出すことに成功した。また、上記還元二倍体の集団（73 個体）によって稔性の調査を行い、稔性に関連した QTL を検出した（図 4）。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 16件）

1. 著者名 Tam, N. T., Dwiyantri, M. S., Sakaguchi, S., Koide, Y., Dung, L. V., Watanabe, T., Kishima, Y.	4. 巻 15
2. 論文標題 Identification of a Saltol-independent salinity tolerance polymorphism in rice Mekong Delta landraces and characterization of a promising line, Doc Phung	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Rice	6. 最初と最後の頁 65-
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s12284-022-00613-0	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 Balimponya, E. G., Dwiyantri, M. S., Ito, T., Sakaguchi, S., Yamamori, K., Kanaoka, Y., Koide Y., Nagayoshi, Y., Kishima, Y.	4. 巻 72
2. 論文標題 Seed management using NGS technology to rapidly eliminate a deleterious allele from rice breeder seeds.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Breeding Science	6. 最初と最後の頁 362-371
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1270/jsbbs.22058	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 Wang, S., Koide, Y., Kishima Y.	4. 巻 97
2. 論文標題 How to establish a mutually beneficial relationship between a transposon and its host: lessons from Tam3 in Antirrhinum.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Genes & Genetic Systems	6. 最初と最後の頁 177-184
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1266/ggs.22-00063	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 Nagata, H., Ono, A., Tonosaki, K., Kawakatsu, T., Sato, Y., Yano, K., Kishima, Y., Kinoshita, T.	4. 巻 109
2. 論文標題 Temporal changes in transcripts of miniature inverted-repeat transposable elements during rice endosperm development.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Plant Journal	6. 最初と最後の頁 1035-1047
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/tpj.15698	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 Zin Mar Myint, Koide Yohei, Ogata Mei, Kuniyoshi Daichi, Tokuyama Yoshiki, Hikichi Kiwamu, Obara Mitsuhiro, Kishima Yuji	4. 巻 11
2. 論文標題 Genetic Mapping of the Gamete Eliminator Locus, S2, Causing Hybrid Sterility and Transmission Ratio Distortion Found between <i>Oryza sativa</i> and <i>Oryza glaberrima</i> Cross Combination	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Agriculture	6. 最初と最後の頁 268-268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/agriculture11030268	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 Lyu Suxing, Noguchi Noboru, Ospina Ricardo, Kishima Yuji	4. 巻 14
2. 論文標題 Development of phenotyping system using low altitude UAV imagery and deep learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Agricultural and Biological Engineering	6. 最初と最後の頁 207-215
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.25165/j.ijabe.20211401.6025	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 Kuniyoshi Daichi, Masuda Itaru, Kanaoka Yoshitaka, Shimazaki-Kishi Yuki, Okamoto Yoshihiro, Yasui Hideshi, Yamamoto Toshio, Nagaki Kiyotaka, Hoshino Yoichiro, Koide Yohei, Takamure Itsuro, Kishima Yuji	4. 巻 11
2. 論文標題 Diploid Male Gametes Circumvent Hybrid Sterility Between Asian and African Rice Species	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 579395-
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2020.579305	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 Koide Yohei, Kuniyoshi Daichi, Kishima Yuji	4. 巻 11
2. 論文標題 Fertile Tetraploids: New Resources for Future Rice Breeding?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 1231-
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2020.01231	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 山本敏央, 古田智敬, 小川大輔, 米丸淳一, 國吉大地, 貴島祐治	4. 巻 65
2. 論文標題 イネ育種における遺伝的多様性を拡大するための2, 3のアプローチ	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 作物研究	6. 最初と最後の頁 83-87
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 Tam Nguyen Thanh, Dwiyantri Maria Stefanie, Koide Yohei, Nagano Atsushi J., Ky Huynh, Tin Huynh Quang, Hien Nguyen Loc, Dung Le Viet, Kishima Yuji	4. 巻 12
2. 論文標題 Profiling SNP and Nucleotide Diversity to Characterize Mekong Delta Rice Landraces in Southeast Asian Populations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Plant Genome	6. 最初と最後の頁 190042-190042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3835/plantgenome2019.06.0042	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 Koide Yohei, Sakaguchi Shuntaro, Uchiyama Takashi, Ota Yuya, Tezuka Ayumi, Nagano Atsushi J., Ishiguro Seiya, Takamura Itsuro, Kishima Yuji	4. 巻 9
2. 論文標題 Genetic Properties Responsible for the Transgressive Segregation of Days to Heading in Rice	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 G3; Genes Genomes Genetics	6. 最初と最後の頁 1655-1662
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1534/g3.119.201011	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 SAITO Nozomi, ENCABO Jaymee R., CHEN Sunlu, JONSON Gilda, KISHIMA Yuji, CHOI Il-Ryong	4. 巻 53
2. 論文標題 Innate Vulnerability of Oryza glaberrima to Rice tungro bacilliform virus	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6090/jarq.53.1	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 Encabo Jaymee R., Macalalad-Cabral Reena Jesusa A., Matres Jerlie Mhay K., Coronejo Sapphire Charlene Thea P., Jonson Gilda B., Kishima Yuji, Henry Amelia, Choi Il-Ryong	4. 巻 47
2. 論文標題 Infection with an asymptomatic virus in rice results in a delayed drought response	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Functional Plant Biology	6. 最初と最後の頁 239-239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1071/FP19241	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 Saito Nozomi, Chen Sunlu, Kitajima Katsuya, Zhou Zhitong, Koide Yohei, Encabo Jaymee R., Diaz Maria Genaleen Q., Choi Il-Ryong, Koyanagi Kanako O., Kishima Yuji	4. 巻 14
2. 論文標題 Phylogenetic analysis of endogenous viral elements in the rice genome reveals local chromosomal evolution in <i>Oryza</i> AA-genome species	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 1261705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2023.1261705	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 Baruah Akhil Ranjan, Bannai Hiroaki, Meija Yan, Kimura Ayumi, Ueno Haruka, Koide Yohei, Kishima Yuji, Palta Jiwan, Kasuga Jun, Yamamoto Masayuki P, Onishi Kazumitsu	4. 巻 15
2. 論文標題 Genetics of chilling response at early growth stage in rice: a recessive gene for tolerance and importance of acclimation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 AoB PLANTS	6. 最初と最後の頁 plad075
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/aobpla/plad075	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 Tokuyama Yoshiki, Omachi Miku, Kushida Shiori, Hikichi Kiwamu, Okada Shuhei, Onishi Kazumitsu, Ishii Takashige, Kishima Yuji, Koide Yohei	4. 巻 259
2. 論文標題 Different contributions of PROG1 and TAC1 to the angular kinematics of the main culm and tillers of wild rice ( <i>Oryza rufipogon</i> )	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Planta	6. 最初と最後の頁 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00425-023-04300-2	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 Myint Zin Mar, Koide Yohei, Takanishi Wakana, Ikegaya Tomohito, Kwan Choi, Hikichi Kiwamu, Tokuyama Yoshiki, Okada Shuhei, Onishi Kazumitsu, Ishikawa Ryo, Fujita Daisuke, Yamagata Yoshiyuki, Matsumura Hideo, Kishima Yuji, Kanazawa Akira	4. 巻 27
2. 論文標題 OICHR, encoding a chromatin remodeling factor, is a killer causing hybrid sterility between rice species <i>Oryza sativa</i> and <i>O. longistaminata</i>	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 iScience	6. 最初と最後の頁 109761 ~ 109761
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.isci.2024.109761	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 Nagaki Kiyotaka, Furuta Tomoyuki, Yamaji Naoki, Kuniyoshi Daichi, Ishihara Megumi, Kishima Yuji, Murata Minoru, Hoshino Atsushi, Takatsuka Hirotomo	4. 巻 29
2. 論文標題 Effectiveness of Create ML in microscopy image classifications: a simple and inexpensive deep learning pipeline for non-data scientists	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chromosome Research	6. 最初と最後の頁 361 ~ 371
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10577-021-09676-z	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 -

〔学会発表〕 計33件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 北島克哉, 増田到, 齋藤希, 國吉大地, 金岡義高, 高牟禮逸朗, 星野洋一郎, 小出陽平, 貴島祐治
2. 発表標題 A2 fusion rice の作出とその特徴化稔性を有するアジアとアフリカの栽培イネ種間雑種
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会 138回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山森晃一, 石黒聖也, 小笠原慧, 小出陽平, 藤野介延, 佐藤裕, 貴島祐治
2. 発表標題 イネ穂ばらみ期の低温鈍感力を示す遺伝子群のスクリーニング
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会 138回講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山森 晃一, 小笠原慧, 石黒聖也, 小出陽平, 高牟禮逸郎, 佐藤裕, 貴島祐治
2. 発表標題 イネの障害型冷害における葯の異常形態の多様性と花粉不稔との相関
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会 139回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zin Mar Myint, 緒方萌衣, 徳山芳樹, 曳地究, 貴島祐治, 小出陽平
2. 発表標題 イネの種間雑種不稔遺伝子S2の遺伝的マッピング
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会 139回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古田智敬, 長岐清孝, 柏原宥成, 國吉大地, 北島克哉, 小出陽平, 貴島 祐治, 山本敏央
2. 発表標題 アジアとアフリカの栽培イネからなる 4 倍体雑種イネのゲノム構成
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会 139回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古田智敬, 長岐清孝, 柏原宥成, 國吉大地, 北島克哉, 小出陽平, 貴島祐治, 山本敏央
2. 発表標題 アジアとアフリカの栽培イネからなる4倍体雑種イネのゲノム構成
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会140回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 國吉大地, 石原萌, 小出陽平, 貴島祐治
2. 発表標題 4倍体のOryza sativaとO. glaberrimaを交雑した雑種による雑種不稔性の克服
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会140回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zin Mar Myint, 緒方萌衣, 徳山芳樹, 曳地究, 貴島祐治, 小出陽平
2. 発表標題 イネの種間雑種不稔遺伝子S2の遺伝的マッピング
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会140回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山森晃一, 小笠原慧, 石黒聖也, 小出陽平, 高牟禮逸郎, 佐藤裕, 貴島祐治
2. 発表標題 イネの障害型冷害における葯の異常形態の多様性と花粉不稔との相関
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会140回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂口俊太郎, 太田雄也, 内山堯, 小出陽平, 高牟禮逸郎, 貴島祐治
2. 発表標題 北海道イネ系統を用いた穂揃い性とその環境応答性の遺伝的解析
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会136回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤希, 陳孫祿, 山田加奈恵, 小出陽平, II-Ryong Choi, 貴島祐治
2. 発表標題 内在性ウイルス配列を指標としたOryza-AAゲノム種の染色体領域特異的な小進化
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会136回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金岡義高, 金鍾明, 石黒聖也, 陳孫祿, 内山暁, 山森晃一, 小出陽平, 貴島祐治
2. 発表標題 イネ薬ゲノムの高温応答と反復配列の発現活性化
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会136回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 國吉大地, 山形悦透, 島崎優樹, 金岡義高, 小出陽平, 安井秀, 貴島祐治
2. 発表標題 薬培養を介した雑種不稔性イネの雄性配偶子ゲノムの解析と雌性配偶子ゲノムの比較
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会136回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古田 智敬, 鳥羽 大陽, 貴島 祐治, 山本 敏央
2. 発表標題 次世代シーケンスを用いたジェノタイプングにおける比較ゲノム情報に基づく誤判定の低減法
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会142回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡 大晴, 古田 智敬, 柏原 忞成, 貴島 祐治, 山本 敏央
2. 発表標題 0. sativa と 0. glaberrima の稔実 4 倍体雑種後代を用いた農業形質に関する遺伝解析
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会142回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高鳥 将希, 坂口 俊太郎, 小出 陽平, 藤野 賢治, 貴島 祐治
2. 発表標題 一般社団法人イネの低温による到穂日数の制御と感光性遺伝子の関係
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会142回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石原 萌, 國吉 大地, 小出 陽平, 長岐 清孝, 貴島 祐治
2. 発表標題 アジアイネとアフリカイネの種間雑種における免疫染色法を用いた減数分裂異常の検出
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会142回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 王シン, 笹川 静香, 平野 翔也, 貴島 祐治
2. 発表標題 2 倍体と4 倍体のイネにおける種子形質群の比較
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会142回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kayyis Muayadah Lubba, 山森 晃一, 貴島 祐治
2. 発表標題 緯度の差異に適応したハプロタイプを持つイネ遺伝子群の選抜
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会143回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Elias George Balimponya, Maria Stefanie Dwiyanti, 山森 晃一, 小出 陽平, 貴島 祐治
2. 発表標題 イネ品種において親から子へ伝達した自然突然変異の正確な検出
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会143回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Neema Yona Yohana, 中野 有紗, 貴島 祐治, 星野 洋一郎
2. 発表標題 イネ 3 品種における試験管内花粉発芽と花粉管伸長に及ぼすスクロース濃度と培養期間の影響
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会144回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sorawich Pongpiyapaiboon, 田中 秀典, 平野 翔也, 貴島 祐治, 明石 良
2. 発表標題 イネのデジタル 3D モデルによる計測法の開発
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会144回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平野 翔也, Sorawich Pongpiyapaiboon, 笹川 静香, 高牟禮 逸朗, 田中 秀典, 明石 良, 貴島 祐治
2. 発表標題 デジタル 3D モデルを用いた同一イネ品種の2倍体と4倍体成長パターンの比較
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会144回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 工藤 七海, Elias Balimponya, 岡本 吉弘, 貴島 祐治
2. 発表標題 イネ葯培養効率の日印間差異を生じる遺伝因子の探索
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会144回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 國吉 大地, 石原 萌, 佐藤 裕, 貴島 祐治
2. 発表標題 アフリカイネとアジアイネの 4 倍体種間雑種におけるHS 座
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会144回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡 大晴, 古田 智敬, 柏原 壱成, 牟 竝瑞, 貴島 祐治, 長岐 清孝, 山本 敏央
2. 発表標題 0. sativa と 0. glaberrima の 4 倍体種間雑種イネで見いだされた種子および花粉稔性の向上に関わる遺伝領域
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会144回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡田 脩平, 蒲池 行美, Zin Mar Myint, 貴島 祐治, 小出 陽平
2. 発表標題 同質四倍体イネ分離集団における遺伝解析法の構築および QTL の探索
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会144回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡 大晴, 古田 智敬, 牟 竝瑞, 柏原 忞成, 長岐 清孝, 貴島 祐治, 山本 敏央
2. 発表標題 イネ種間雑種4倍体の後代分離集団のGWAS 結果から予測される QTLのdosage 効果とヘテロシス
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会144回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 牟 竝瑞, 古田 智敬, 岡 大晴, 長岐 清孝, 貴島 祐治, 山本 敏央
2. 発表標題 種間雑種 4 倍体イネとその両親栽培イネにおける遺伝子発現の比較プロファイル
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会 144回講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 KAYYIS MUAYADAH LUBBA, 山森 晃一, 貴島祐治
2. 発表標題 イネの脂質関連遺伝子群 OsGELP は緯度に適応したハプロタイプを持つ
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会 145回講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 高西 若菜, ジン マー ミント, 貴島 祐治, 金澤章, 小出 陽平
2. 発表標題 アフリカ野生イネ <i>Oryza longistaminata</i> に見出された雑種不稔遺伝子 S13 の単離
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会 145回講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 徐 美蘭, 工藤 七海, Christabell Nachilima, 宮本 康介, 金 鍾明, 貴島 祐治
2. 発表標題 イネ葯小胞子はカルス形成能を持つか?
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会 145回講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小柳 香奈子, 神徳 雄太, 貴島 祐治
2. 発表標題 比較ゲノム解析による <i>O. sativa</i> ssp. <i>japonica</i> とイネ属 AA ゲノム種のイントログレーション領域の探索
3. 学会等名 一般社団法人日本育種学会 145回講演会
4. 発表年 2024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	山本 敏央  (Yamamoto Toshio)  (00442830)	岡山大学・資源植物科学研究所・教授    (15301)	

6. 研究組織（つづき）

	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	長岐 清孝  (Nagaki Kiyotaka)  (70305481)	岡山大学・資源植物科学研究所・准教授    (15301)	
研究分担者	小出 陽平  (Koide Yohei)  (70712008)	北海道大学・農学研究院・准教授    (10101)	
研究分担者	金 鐘明  (Kim Jong-Myong)  (90415141)	東京大学・大学院農学生命科学研究科（農学部）・特任准教授    (12601)	

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			
ベトナム	カントー大学			
フィリピン	国際イネ研究所			
中国	南京農業大学			
インド	アッサム農業大学			