

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H02197

研究課題名（和文）イネ紋枯病の病原性機構解明 -感染初期における活物寄生ステージの存在証明-

研究課題名（英文）Characterization of the biotrophic infection process of *Rhizoctonia solani* in plants

研究代表者

能年 義輝 (Noutoshi, Yoshiteru)

岡山大学・環境生命自然科学学域・教授

研究者番号：70332278

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）：植物病原糸状菌 *Rhizoctonia solani* は、様々な植物に感染して甚大な農業被害をもたらす。植物病の克服には感染生理の理解に基づいた防除策の構築が必要である。我々は本菌が単子葉植物の葉では生きた宿主から栄養を摂取する活物寄生を行う状況証拠を得ており、今回、本菌が宿主免疫の抑制能を持つエフェクター（小型分泌タンパク質）を有することを示した。また、本菌はシロイヌナズナ（双子葉植物のモデル）にも感染することを見出し、各種植物ホルモンによる誘導抵抗性実験から、その感染過程では殺生寄生のみが行われていると推測された。本菌は異なる宿主を見分け、異なる感染機構を発動する能力を持つことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

*R. solani* は菌系融合反応や培養菌叢から分類される様々な系統を含む種複合体だが、それら分類と病原性に相関がないことが、本研究からも示された。おそらく気温や土壌成分などの環境要因が適合した場所で増えた菌株が病気を引き起こしていると考えられる。ただし宿主や組織特異性も存在するため、それらは生理学的・ゲノム科学的な比較解析で明らかにする必要がある。少なくともイネなどでは活物寄生を行うことから、そこを標的とした防除法を検討する道が拓かれた。同じ菌株でも宿主により感染機構を使い分ける事実は本菌の感染機構の複雑性を示しており、その背景の解明は植物病理学・微生物学・進化学における学術的価値を有する。

研究成果の概要（英文）：*Rhizoctonia solani*, a phytopathogenic fungus, infects a wide range of plant species and causes severe agricultural damage. To develop effective control measures, a thorough understanding of its infection strategies is essential. Our previous findings suggest that *R. solani* may undergo a biotrophic phase during its early infection process on leaves of monocotyledonous plants, in which it obtains nutrients from a living host. In this study, we found that this fungus employs small secreted proteins, known as effectors, that function to suppress host immunity. We also observed that *R. solani* can infect *Arabidopsis thaliana*, a model dicotyledonous plant, and that it induces resistance with phytohormones, suggesting that it infects necrotrophically, with minimal or no biotrophic interactions. Our results suggest that *R. solani* can discriminate between hosts and select different infection mechanisms as part of its infection strategy.

研究分野：植物病理学

キーワード：紋枯病 リゾクトニア病 感染生理 ミナトカモジグサ 殺生寄生 活物寄生 エフェクター

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

紋枯病はイネなどの単子葉作物に発生する重要病害であり、その原因は植物病原糸状菌 *Rhizoctonia solani* である。水稻栽培では、越冬した菌核が浮上して葉鞘に接触・感染して紋型病斑を形成する。その後、菌糸が全体に蔓延して壊死や倒伏を引き起こし、収量や品質を低下させる。また、本菌は宿主範囲が極めて広く、様々な植物種の根・地際部・地上部などを壊死させ、根腐病や株腐病の原因ともなっている。土壌に生息し、地下部に病徴を引き起こす病原体は殺菌剤の散布では対応しにくいことから、本菌も他の土壌伝染性の病害と同様に、防除が難しい病原体に位置づけられる。また、基本的に本菌に強い抵抗性を示す品種がないことも防除を困難にしている。したがって、本病の克服には、病原体の感染生理の理解とそれに基づいた防除策の確立が必要となる。

本菌の分類については古くから研究され、特に我が国の研究者も大きな貢献をしてきた。様々な病斑から分離された本菌の菌株は、基準となる菌株との菌糸融合反応の有無に基づいて 13 の AG 群 (Anastomosis Group) に分類される。また、さらにそれらは培養菌叢などにより亜群に細分化される。特定の作物病から分離される菌株は特定の AG・亜群が多いことから、病原性や宿主特異性との関連も考えられていたが、不明な点も多いのが現状であった。

本菌は感染後早い段階で壊死を引き起こすことから殺生菌に分類されている。殺生菌とは宿主細胞を殺して栄養を摂取する菌株のことを指す。一方、植物病原菌には宿主に感知されないように組織や細胞に侵入し、生きた宿主細胞から養分をかすめ取って増殖を図るものもあり、それらは活物寄生菌と呼ばれる。活物寄生から殺生寄生に移行する半活物寄生菌も存在する。我々はモデル単子葉植物であるミナトカモジグサを用いたこれまでの研究から、本菌が活物寄生段階を経るという状況証拠を得た。具体的には、防御応答に関わる植物ホルモンであるサリチル酸 (活物寄生菌に対する防御を誘導する) を事前処理すると、本菌の感染が抑制された。これはイネでも同様であり、内生のサリチル酸を分解する細菌由来の酵素遺伝子を導入した場合には本菌の病徴が激化した (引用文献)。さらに、ミナトカモジグサには紋枯病抵抗性を示す系統が存在することを見出し、その防御応答を解析したところ、サリチル酸誘導性の遺伝子群が菌接種 5 時間の時点 (壊死誘導前) で発現誘導されており (引用文献)、その制御には BdWRKY38 という転写因子が重要な働きを担っていることを明らかにした (引用文献)。活物寄生菌は、宿主からの認識を回避するためにエフェクターと呼ばれる小型の分泌タンパク質を放出する。それらは宿主の細胞の外側や内側から病原体認識に関わる受容体やそのシグナル伝達に関わる因子の働きを妨害する。我々は紋枯病菌のゲノム情報からエフェクター様遺伝子を特定し、それらのうち 23 個がミナトカモジグサ葉への感染の初期段階で、29 個が感染後期で発現誘導されていることを明らかにした (引用文献)。壊死誘導以前に発現するエフェクター様遺伝子は宿主の免疫抑制、すなわち活物寄生ステージに寄与していると推測された。

### 2. 研究の目的

我々の研究から、紋枯病菌は殺生菌に分類されているものの、実はその感染初期には活物寄生段階を経ている可能性が示された。そこで本研究では、本菌の感染過程の実態についてさらに詳細に明らかにし、本菌の真の感染生理の理解につなげることを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) 日本各地の様々な作物の壊死病斑から分離された *R. solani* 菌株を NARO ジーンバンクから取り寄せ、双子葉植物のモデルであるシロイヌナズナに感染させ、AG・亜群の分類群と宿主特異性との関係性について調査した。接種は切葉への菌糸プラグの接種、または菌糸プラグを接種した土壌に対する幼苗の移植で行った。また、本菌のシロイヌナズナにおける感染様式を推測するため、各種植物ホルモンを噴霧処理した葉での病斑形成と、ホルモン処理した幼苗を菌接種土壌に移植した場合の生育について調査した。

(2) イネ紋枯病菌のエフェクター様タンパク質のひとつである RsIA\_GT の機能解析を行った。具体的には、精製タンパク質の植物葉への注入による壊死誘導の検証や、ベンサミアナタバコの葉に当該タンパク質を一過的に発現させ、植物への壊死誘導能やエリシター誘導性の細胞死の抑制活性の検証により行った。

(3) イネ紋枯病菌のエフェクター様タンパク質のひとつである RsIA\_CtaG/Cox11 の機能解析を行った。方法は(2)に準じて行った。

(4) *R. solani* の病原性や感染過程を調べる方法のひとつが植物側の防御応答の検出である。我々は実験植物であるミナトカモジグサを用いているが、これまでに防御関連の植物ホルモンに応答するマーカー遺伝子は特定している (引用文献)。そこで今回は、微生物関連分子パターンに対する応答を明らかにする目的で、網羅的な時系列遺伝子発現解析を行った。

### 4. 研究成果

(1) 日本国内の様々な作物の壊死病斑や土壌から分離された 17 種類の *R. solani* 菌株 (13 種類存在する菌糸融合群のうち 7 種類を含む) について、シロイヌナズナの切葉への接種および菌接種土壌への幼苗の移植接種を行い、感染性の有無について調べた (表 1) (引用文献)。切葉を枯死させたのは 10 種類で、そのうち強い壊死を誘導したものは 7 種類であった。それらには、AG-1 IA、AG-1 IC、AG-2-1 II、AG-2-2 IIIB (MAFF726525)、AG-2-2 IV、AG-2-3、AG-4 IIIA が含まれ

た。早いもので菌接種 3 日、遅くとも 5 日で壊死が誘導された。イネ紋枯病菌である AG-1 IA (MAFF305230) はミナトカモジグサにも病斑を誘導するが、シロイヌナズナにも病原性を示すことが確認され、同じ菌株でも広い宿主域を持ち、単子葉と双子葉の種類を問わず感染できる能力を持つことが明らかになった。土壌接種の場合は、8 菌株が病原性を示した。葉で病原性を示したもののうち、AG-2-1 II と AG-2-3 以外が土壌接種でも病原性を示した。土壌接種でのみ病原性を示したものは 2 菌株 (AG-2-2 IIIB (MAFF305244 と MAFF242301)) が存在した。これらの結果から、菌株により病原性に組織特異性を示すものも存在することが示された。

イネ、ニンジン、ブロッコリー、大豆、カリフラワーから分離された *R. solani* が、シロイヌナズナにも病原性を示すことがわかり、宿主特異性は厳密ではないことが確認された。また、同じ AG・亜群に属していてもその病原性は異なることも示された。これらのことから、*R. solani* の病原性は AG・亜群とは関係なく発達した形質だと推測された。また葉と根の両方に感染できるもの、葉か根の一方のみに感染できるものなどが存在し、個々の病原性に組織特異性があることも明らかになった。これらの違いが何に起因するのかを理解することは、感染生理や病原力を理解する上で重要であり、今回見出した材料間の違いを調べることでその解に迫ることができると考えている。

次に切葉にサリチル酸、ジャスモン酸、エチレンを処理し、そこに菌系プラグを接種して病斑進展への影響を調べた。その結果、いずれの植物ホルモン処理においても病斑抑制効果は観察されなかった。エチレン処理においては、病斑進展を促進しているように見えたものもあったが、これは単独処理での黄化による相乗効果と推測された。この結果は、植物ホルモン処理した幼苗の土壌接種でも同様で、ホルモンによる抵抗性誘導効果は観察されなかった。

AG-1 IA (MAFF305230) のミナトカモジグサ葉におけるこれまでの病原性解析から、本菌は本宿主での感染初期において活物寄生段階を経ていることが示唆された。シロイヌナズナにおいても同様の感染様式を経るものと予想していたが、シロイヌナズナにおいてはいずれの植物ホルモンでもその感染は抑制されないという結果が得られた。これは、本菌がシロイヌナズナにおいては活物寄生段階を経ていないことを示唆する。つまり、同じ菌株であっても宿主が異なれば違う感染様式を選択していることを意味する。AG-1 IA (MAFF305230) をミナトカモジグサ葉に接種した場合、1~3 日以内には激しい病斑形成が観察される (この病斑形成の速度は温度に依存する)。一方、本菌がシロイヌナズナ葉で病斑を形成するには 3~5 日を要する。この進展速度や病斑の様子の違いなども異なる感染様式を支持する。本発見は、菌が何をもとに宿主を見分けているのか、異なる感染様式を取る必要性は何か、活物寄生段階はどのように成立しているのかなど微生物学的、植物病理学的な課題を浮き彫りにした。今後はそれぞれの感染プロセスにおいて、菌糸がどのような振る舞いをしているかを調べることで、感染様式の違いや活物寄生段階の意義を明らかにする予定である。

表 1 各種 *R. solani* 菌株のシロイヌナズナに対する葉および土壌接種での病原性

| AGs         | MAFF no. | Source            | Infection severity |       |
|-------------|----------|-------------------|--------------------|-------|
|             |          |                   | Leaves             | Roots |
| AG-1 IA     | 305230   | Rice              | +++                | ++    |
| AG-1 IA     | 305219   | Rice              | -                  | -     |
| AG-1 IA     | 305232   | Sudangrass        | -                  | -     |
| AG-1 IC     | 243448   | Carrot            | +++                | +++   |
| AG-2-1 II   | 305203   | Six-rowed barley  | ++                 | -     |
| AG-2-2 IIIB | 305244   | Rice              | -                  | ++    |
| AG-2-2 IIIB | 726525   | Broccoli          | +++                | +++   |
| AG-2-2 IIIB | 242301   | Welch onion       | -                  | +++   |
| AG-2-2 IV   | 241951   | Broccoli          | ++                 | +++   |
| AG-2-2 IV   | 242303   | Soybean           | ++                 | +++   |
| AG-2-3      | 237259   | Wheat             | ++                 | -     |
| AG-2 BI     | 305228   | Soil              | -                  | -     |
| AG-3 IV     | 305250   | Potato            | -                  | -     |
| AG-4 IIIA   | 305225   | Cauliflower       | +++                | +++   |
| AG-5        | 305256   | Soil              | +                  | -     |
| AG-6        | 305262   | Soil              | -                  | -     |
| AG-7        | 305551   | Radish field soil | +                  | -     |

(2) 四川農業大学 (中国) の Zheng 教授のグループは、イネ紋枯病の原因菌である *R. solani* の全ゲノム解析を 2012 年に発表し、その中で分泌タンパク質を抽出し、その精製タンパク質を植物葉に注入した場合に細胞死を誘導するものを見出していた (引用文献)。そのうちのひとつである RsIA\_GT は、糖転移に関わるドメインを持つタンパク質で、精製タンパク質をイネ葉に注入すると壊死を誘導した。このことから、感染後期における壊死形成への寄与が示された。また、ベンサミアナタバコに一過的に発現させた場合には細胞死は誘導されなかったが、

BAX や INF1 といったエリシターで誘導される細胞死・活性酸素種生成・カロール生成を抑制する活性が検出され、おそらく感染前期に必要な免疫抑制能を有することも明らかになった。なお、これらの抑制に糖転移酵素の活性自体は関連していないことが示された。RsIA\_GT を発現させた葉では *R. solani* の感染による壊死斑形成が助長されたことから、病原性への関与が示された。本研究により、少なくともイネにおいては壊死誘導に、またペンサミアナタバコにおいては宿主の免疫阻害を介した病原性にエフェクターが寄与していることが示された（引用文献）。免疫抑制能を持つエフェクターの存在は、本菌の感染過程における活物寄生段階の存在を支持する。

(3) Zheng 教授のグループでは上記のエフェクターと共に、イネ葉に壊死を誘導する活性を持つ RsIA\_CtaG/Cox11 と名付けたエフェクターも同定していた。本遺伝子は、*Cox11* 遺伝子（ミトコンドリアの呼吸鎖で働くシトクロム c オキシダーゼの copper chaperone）の 2 番目の ATG 以降に相当するペプチドで、機能的な分泌シグナルを有する。ペンサミアナタバコでの一過的発現において、BAX や INF1 による細胞死を抑制したことから、免疫抑制活性が推測された（引用文献）。前述の結果と合わせ、*R. solani* が感染過程で宿主の免疫を抑制するためにエフェクターを利用している可能性が示され、本研究からも本菌が活物寄生段階を経る可能性が支持された。

(4) ミナトカモジグサの葉からリーフディスクを調製し、それらを水に浮かべて一晩静置した。それに細菌の鞭毛タンパク質由来のペプチドである flg22 を処理し、0、0.5、1、3、6、12 時間の時点でそれぞれサンプリングし、RNA-seq 解析を行った（引用文献）。発現量が有意に増減する遺伝子として 6039 個が特定され、それらは発現パターンから、6 つの発現上昇クラスターと 4 つの発現減少クラスターに分類された。各クラスターの GO 解析の結果、防御応答に関連する遺伝子群は処理後 0.5 ~ 6 時間の間に発現誘導されていることが明らかになった。また、光合成関連の遺伝子群は、処理後すぐに発現が減少し、12 時間の時点で発現が上昇していた。このことから、防御応答は 6 時間程度まで発現し、その後 12 時間ではすでに回復に転じていると推測された。処理後 1 時間以内に発現誘導される遺伝子群には、そのプロモーターに WRKY 転写因子が結合する cis 配列を持つものが多く含まれており、その発現には処理後 30 分以内に発現誘導される 14 個の WRKY 転写因子が関わっていると推測された。これらには WRKY38 が含まれておらず、flg22 で引き起こされる防御応答の誘導はサリチル酸によるものとは異なるメカニズムであることが裏付けられた。本研究により、植物側の応答を調べるためのマーカー遺伝子が得られた。ミナトカモジグサの Bd3-1 を含む一部の系統は紋枯病菌に抵抗性を示す。これまでの研究により、それらの系統は極めて早い段階で防御応答を誘導していることがわかっている。今後、この感染過程におけるマーカー遺伝子の発現を時空間的に調べることで、植物がいつどのように菌を認識して防御応答を誘導しているのか、すなわち植物が菌のエフェクターを認識する現場を明らかにできる。

#### < 引用文献 >

- Kouzai et al., Salicylic acid-dependent immunity contributes to resistance against *Rhizoctonia solani*, a necrotrophic fungal agent of sheath blight, in rice and *Brachypodium distachyon*. *New Phytologist* (2018) 217(2), 771-783.
- Kouzai et al., BdWRKY38 is required for the incompatible interaction of *Brachypodium distachyon* with the necrotrophic fungus *Rhizoctonia solani*. *Plant Journal* (2020) 104(4), 995-1008.
- Abdelsalam et al., Identification of effector candidate genes of *Rhizoctonia solani* AG-1 IA expressed during infection in *Brachypodium distachyon*. *Scientific Reports* (2020) 10, 14889.
- Kouzai et al., Expression profiling of marker genes responsive to the defence-associated phytohormones salicylic acid, jasmonic acid and ethylene in *Brachypodium distachyon*. *BMC Plant Biology* (2016) 16, 59.
- Abdelghany et al., Surveillance of pathogenicity of *Rhizoctonia solani* Japanese isolates with varied anastomosis groups and subgroups on *Arabidopsis thaliana*. *Life* (2022) 12, 76.
- Zheng et al., The evolution and pathogenic mechanisms of the rice sheath blight pathogen. *Nature Communications* (2013) 4, 1424.
- Zhang et al., Secreted glycosyltransferase RsIA\_GT of *Rhizoctonia solani* AG-1 IA inhibits defense responses in *Nicotiana benthamiana*. *Pathogens* (2022) 11(9), 1026.
- Zhang et al., Mitochondrial targeting effector RsIA\_CtaG/Cox11 in *Rhizoctonia solani* AG-1 IA has two functions: plant immunity suppression and cell death induction mediated by a rice cytochrome c oxidase subunit. *Molecular Plant Pathology* (2024) 25(1), e13397.
- Ogasahara et al., Time-series transcriptome of *Brachypodium distachyon* during bacterial flagellin-induced pattern-triggered immunity. *Frontiers in Plant Science* (2022) 13, 1004184.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 6件）

|                                                                                                                                                                                                                        |                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Zhang Danhua, Wang Zhaoyilin, Yamamoto Naoki, Wang Mingyue, Yi Xiaoqun, Li Ping, Lin Runmao, Nasimi Zohreh, Okada Kazunori, Mochida Keiichi, Noutoshi Yoshiteru, Zheng Aiping                                | 4. 巻<br>11            |
| 2. 論文標題<br>Secreted Glycosyltransferase RslA_GT of Rhizoctonia solani AG-1 IA Inhibits Defense Responses in Nicotiana benthamiana                                                                                      | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>Pathogens                                                                                                                                                                                                    | 6. 最初と最後の頁<br>1026    |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.3390/pathogens11091026                                                                                                                                                                   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する          |
| 1. 著者名<br>Ogasahara Tsubasa, Kouzai Yusuke, Watanabe Megumi, Takahashi Akihiro, Takahagi Kotaro, Kim June-Sik, Matsui Hidenori, Yamamoto Mikihiro, Toyoda Kazuhiro, Ichinose Yuki, Mochida Keiichi, Noutoshi Yoshiteru | 4. 巻<br>13            |
| 2. 論文標題<br>Time-series transcriptome of Brachypodium distachyon during bacterial flagellin-induced pattern-triggered immunity                                                                                          | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>Frontiers in Plant Science                                                                                                                                                                                   | 6. 最初と最後の頁<br>1004184 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.3389/fpls.2022.1004184                                                                                                                                                                   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |
| 1. 著者名<br>Mai Mohsen Ahmed Abdelghany, Maria Kurikawa, Megumi Watanabe, Hidenori Matsui, Mikihiro Yamamoto, Yuki Ichinose, Kazuhiro Toyoda, Yusuke Kouzai, Yoshiteru Noutoshi                                          | 4. 巻<br>12            |
| 2. 論文標題<br>Surveillance of pathogenicity of Rhizoctonia solani Japanese isolates with varied anastomosis groups and subgroups on Arabidopsis thaliana                                                                  | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>Life                                                                                                                                                                                                         | 6. 最初と最後の頁<br>76~76   |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.3390/life12010076                                                                                                                                                                        | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する          |
| 1. 著者名<br>能年義輝                                                                                                                                                                                                         | 4. 巻<br>5             |
| 2. 論文標題<br>植物の病害抵抗性を誘導する環状ペプチド                                                                                                                                                                                         | 5. 発行年<br>2021年       |
| 3. 雑誌名<br>アグリバイオ                                                                                                                                                                                                       | 6. 最初と最後の頁<br>412~416 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし                                                                                                                                                                                          | 査読の有無<br>無            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|                                                                              |                         |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Ishida Konan, Noutoshi Yoshiteru                                   | 4. 巻<br>192             |
| 2. 論文標題<br>The function of the plant cell wall in plant-microbe interactions | 5. 発行年<br>2022年         |
| 3. 雑誌名<br>Plant Physiology and Biochemistry                                  | 6. 最初と最後の頁<br>273 ~ 284 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.plaphy.2022.10.015                     | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |

|                                                                                                                                                                                                                  |                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1. 著者名<br>Zhang Danhua, Lin Runmao, Yamamoto Naoki, Wang Zhaoyilin, Lin Hui, Okada Kazunori, Liu Yao, Xiang Xing, Zheng Tengda, Zheng Haoxi, Yi Xiaoqun, Noutoshi Yoshiteru, Zheng Aiping                        | 4. 巻<br>25           |
| 2. 論文標題<br>Mitochondrial targeting effector RsIA_CtaG/Cox11 in Rhizoctonia solani AG 1 IA has two functions: plant immunity suppression and cell death induction mediated by a rice cytochrome c oxidase subunit | 5. 発行年<br>2023年      |
| 3. 雑誌名<br>Molecular Plant Pathology                                                                                                                                                                              | 6. 最初と最後の頁<br>e13397 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1111/mpp.13397                                                                                                                                                                    | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する         |

|                                                     |                       |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名<br>能年義輝                                      | 4. 巻<br>47            |
| 2. 論文標題<br>抵抗性誘導効果を有する物質の探索                         | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>日本農薬学会誌                                   | 6. 最初と最後の頁<br>51 ~ 55 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1584/jpestics.W22-27 | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

|                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Mahadevan, N., Kohno, N., Nagao, R., Nyein, K.T., Matsui, H., Yamamoto, M., Ichinose, Y., Toyoda, K., Hisano, H., Kouzai, Y., Noutoshi, Y. |
| 2. 発表標題<br>The pathogenicity of Rhizoctonia solani Japanese isolates on Brachypodium distachyon and barley (Hordeum vulgare L. ssp. vulgare).         |
| 3. 学会等名<br>Plant Microbe Research Network (PMRN) 第2回オンラインシンポジウム                                                                                       |
| 4. 発表年<br>2022年                                                                                                                                       |

|                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Mahadevan, N., Kohno, N., Nagao, R., Nyein, K.T., Matsui, H., Yamamoto, M., Ichinose, Y., Toyoda, K., Hisano, H., Kouzai, Y., Noutoshi, Y.                       |
| 2. 発表標題<br>The pathogenicity of <i>Rhizoctonia solani</i> Japanese isolates on <i>Brachypodium distachyon</i> and barley ( <i>Hordeum vulgare</i> L. ssp. <i>vulgare</i> ). |
| 3. 学会等名<br>令和4年度日本植物病理学会関西部会                                                                                                                                                |
| 4. 発表年<br>2022年                                                                                                                                                             |

|                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Mahadevan, N., Watanabe, M., Kohno, N., Nagao, R., Nyein, K.T., Matsui, H., Yamamoto, M., Ichinose, Y., Toyoda, K., Hisano, H., Kouzai, Y., Noutoshi, Y.                                |
| 2. 発表標題<br>Infection assay of <i>Rhizoctonia solani</i> Japanese isolates to above- and below-ground tissues of <i>Arabidopsis thaliana</i> , <i>Brachypodium distachyon</i> , barley, and tomato. |
| 3. 学会等名<br>JSOL2022                                                                                                                                                                                |
| 4. 発表年<br>2022年                                                                                                                                                                                    |

|                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Mahadevan, N., Kohno, N., Nagao, R., Nyein, K.T., Matsui, H., Yamamoto, M., Ichinose, Y., Toyoda, K., Kouzai, Y., Hisano, H., Okamoto, M., Noutoshi, Y. |
| 2. 発表標題<br>N-hydroxypipecolic acid confers resistance to <i>Rhizoctonia solani</i> in barley and <i>Brachypodium distachyon</i> .                                  |
| 3. 学会等名<br>令和5年度日本植物病理学会大会                                                                                                                                         |
| 4. 発表年<br>2023年                                                                                                                                                    |

|                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>渡邉恵, 守屋綾子, 香西雄介, 山中由理恵, 木村麻美子, Mai Mohsen Ahmed Abdelghany, 庄司直史, 金亨振, 斉藤太香雄, 北松瑞生, 能年義輝 |
| 2. 発表標題<br>抵抗性誘導効果を有する環状ペプチド                                                                        |
| 3. 学会等名<br>日本農業学会第47回大会シンポジウム「持続可能な食料システムに資する抵抗性誘導関連技術」(招待講演)                                       |
| 4. 発表年<br>2022年                                                                                     |

|                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Noutoshi, Y., Watanabe, M., Moriya, A., Kouzai, Y., Yamanaka, Y., Kimura, M., Abdelghany, M.M.A., Shoji, N., Kim, H., Saito, T., Kitamatsu, M. |
| 2. 発表標題<br>Small cyclic peptides that enhance disease resistance in Arabidopsis thaliana and Brachypodium distachyon                                      |
| 3. 学会等名<br>The 33rd International Conference on Arabidopsis Research (ICAR2023) (国際学会)                                                                    |
| 4. 発表年<br>2023年                                                                                                                                           |

|                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Mahadevan, N., Kohno, N., Nagao, R., Nyein, K.T., Matsui, H., Yamamoto, M., Ichinose, Y., Toyoda, K., Kouzai, Y., Hisano, H., Okamoto, M., and Noutoshi, Y.                   |
| 2. 発表標題<br>Virulence of Japanese isolates of Rhizoctonia solani on Brachypodium distachyon and barley in leaf and soil inoculation, and resistance induced by N-hydroxyproline in leaves |
| 3. 学会等名<br>2023 IS-MPMI Congress (国際学会)                                                                                                                                                  |
| 4. 発表年<br>2023年                                                                                                                                                                          |

|                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Noutoshi, Y., Watanabe, M., Moriya, A., Kouzai, Y., Yamanaka, Y., Kimura, M., Abdelghany, M.M.A., Shoji, N., Kim, H., Saito, T., Kitamatsu, M. |
| 2. 発表標題<br>Small cyclic peptides enhance resistance to diseases caused by Rhizoctonia solani in Arabidopsis thaliana and Brachypodium distachyon          |
| 3. 学会等名<br>2023 IS-MPMI Congress (国際学会)                                                                                                                   |
| 4. 発表年<br>2023年                                                                                                                                           |

|                                                    |
|----------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>山田悠生, 前田直輝, 渡邊恵, 松井英謙, 一瀬勇規, 豊田和弘, 能年義輝 |
| 2. 発表標題<br>紋枯病菌のミナトカミジグサ葉への感染過程の菌糸の時系列観察           |
| 3. 学会等名<br>令和5年度日本植物病理学会関西支部会                      |
| 4. 発表年<br>2023年                                    |

|                                                    |
|----------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>山田悠生, 前田直輝, 渡邊恵, 松井英謙, 一瀬勇規, 豊田和弘, 能年義輝 |
| 2. 発表標題<br>紋枯病菌のミナトカミジグサ葉への感染過程の菌糸の時系列観察           |
| 3. 学会等名<br>令和5年度感染生理談話会                            |
| 4. 発表年<br>2023年                                    |

|                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>本間大暉, 添田萌子, 渡邊恵, 守屋綾子, 松井英謙, 一瀬勇規, 豊田和弘, 池田健太郎, 能年義輝 |
| 2. 発表標題<br>群馬県のキャベツ病害から分離されたRhizoctonia sp. RhiCa-2株の種同定と防除法の検討 |
| 3. 学会等名<br>令和6年度日本植物病理学会大会                                      |
| 4. 発表年<br>2024年                                                 |

|                                                    |
|----------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>山田悠生, 前田直輝, 渡邊恵, 松井英謙, 一瀬勇規, 豊田和弘, 能年義輝 |
| 2. 発表標題<br>ミナトカミジグサ葉上の紋枯病菌の時系列観察で見出された感染行動の役割      |
| 3. 学会等名<br>令和6年度日本植物病理学会大会                         |
| 4. 発表年<br>2024年                                    |

|                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Mahadevan, N., Fernanda, R., Matsui, H., Ichinose, Y., Toyoda, K., Hisano, H., Kouzai, Y., Okamoto, M., Noutoshi, Y. |
| 2. 発表標題<br>Infectivity of Rhizoctonia solani isolates on Brachypodium distachyon and barley, and chemical-induced resistance    |
| 3. 学会等名<br>令和6年度日本植物病理学会大会                                                                                                      |
| 4. 発表年<br>2024年                                                                                                                 |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>能年義輝                     |
| 2. 発表標題<br>植物の病害抵抗性を活性化する物質の探索と作用機序 |
| 3. 学会等名<br>第5回生物刺激制御研究会（招待講演）       |
| 4. 発表年<br>2022年                     |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

| 6. 研究組織                   |                       |    |  |
|---------------------------|-----------------------|----|--|
| 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(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                         |  |  |
|---------|---------------------------------|--|--|
| 中国      | Sichuan Agricultural University |  |  |