

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H06185

研究課題名(和文)植物ウイルスの社会システムを標的とする防除技術開発

研究課題名(英文)Developing anti-viral strategies that target social aspects in viral way of life

研究代表者

宮下 脩平(Miyashita, Shuhei)

東北大学・農学研究科・助教

研究者番号：60556710

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では植物ウイルスの生態における社会的側面を研究し、それを標的とする植物ウイルス防除技術を開発した。具体的には、植物ウイルスが5以下と少ないゲノム数で細胞感染することが普遍的であり、これによりウイルスが集団からフリーライダーを排除することを実験およびシミュレーションで明らかにした。また3分節ゲノムをもつキュウリモザイクウイルスで各分節の複製バランスが保たれる仕組みを説明するシミュレーションモデルを作成した。さらにキュウリモザイクウイルスが多数決型の意思決定システムをもつことを明らかにし、このシステムを標的として細胞間移行を阻害する改変型人工ウイルスRNAを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ウイルスは非常に単純な生物であるが、同じ宿主細胞内のウイルスゲノム間で遺伝子産物の共有が生じることから、ウイルスゲノム間に様々な社会的関係性が生じる。本研究はこの点に着目して行った。研究の結果、遺伝子産物に対するフリーライダーを排除するための「社会ルール」を植物ウイルスが普遍的に有することや、遺伝子産物をめぐってウイルスが多数決型の意思決定を行うことが示された。この成果は独創性が高く、植物病理学・ウイルス学のみならず社会学的にも大きな意義がある。また植物ウイルスは一般に防除が非常に難しいが、本研究で得られた知見を活かして新発想の防除法開発につながる基盤技術を確立することができた。

研究成果の概要(英文)：We studied the social aspects in the life of plant viruses, and developed a novel method to protect crop plants from viruses. Specifically, we carried out molecular biology experiments and computer simulations to show that cell infection by around 5 genomes is a general phenomenon among plant viruses, and this allows the viruses to exclude free-riders from their populations. We also developed a simulation model for replication of cucumber mosaic virus, which has a three-segmented genome, to explain how the ratio of each segment are balanced during replication and accumulation of segmented viruses. Furthermore, we showed that cucumber mosaic virus has a decision-making system that resembles a majority decision, and developed an artificially modified viral RNA variant that targets this decision making and inhibits the cell-to-cell movement of the virus.

研究分野：農学

キーワード：植物病理学 ウイルス 抵抗性 進化 社会性

1. 研究開始当初の背景

植物ウイルス病に直接的な防除効果をもつ薬剤は存在しない。植物ウイルス病の防除手段としては、媒介生物の駆除や感染植物個体の早期発見・処分による感染拡大予防のほかに、抵抗性遺伝子導入品種の作付が利用されている。しかし前者はコストがかかり、後者は育種に時間がかかる上に、ウイルスの変異で抵抗性が打破されて被害が出る例も数多く報告されており、いずれも効果的とはいえない。そのため、新しい発想に基づく植物ウイルス防除技術が常に必要とされている。

ウイルスは変異率が高いため常に多様な変異体が集団内に共存する。この多様なウイルスの集団が宿主体内においてヒトの集団のような社会的挙動を示す可能性が、研究代表者の研究により明らかとなってきた。すなわち、協力・裏切り・ルール形成といった社会的挙動である。そのようにウイルスが社会的挙動を示す部分は非常に絶妙な調整がなされており、それがゆえに人為的な介入の効果がでやすいと研究代表者は考えた。そこで本研究では植物ウイルスの社会システムとその分子レベルでの動作原理を明らかにするとともに、社会システムの弱点を標的とする革新的な植物ウイルス防除技術の確立を目指した(図1)。

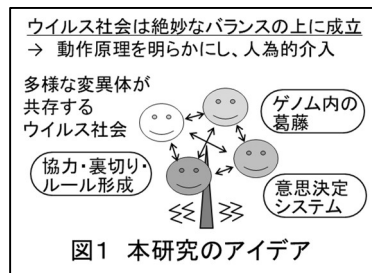


図1 本研究のアイデア

2. 研究の目的

上述の通り、本研究では植物ウイルスの社会システムとその分子レベルでの動作原理を明らかにすることと、それに基づいて社会システムの弱点を標的とする植物ウイルス防除技術の確立を目的とした。より具体的には以下に詳しく説明する。

3. 研究の方法

(1) 社会ルールとしての「小さいMOI」の普遍性の検討とその攪乱

ウイルスは宿主細胞内で自らの遺伝子産物を産生し、それを使って複製・増殖する。この際に細胞内のウイルスゲノム間で遺伝子産物の共有利用が起こることから、機能的な遺伝子をコードしない「欠損ウイルス」であっても、他のウイルスゲノム由来の産物を利用して生き残る「フリーライダー」となる問題が潜在的に存在する(図2A)。これまでに研究代表者は、ムギ類萎縮ウイルスおよびトマトモザイクウイルスの細胞間移行におけるMOI (multiplicity of infection: 細胞感染を成立させるウイルスゲノム数の平均値)は5程度と小さい数であることを実験で示し、そのように小さいMOIが欠損ウイルスとそれ以外を確率的に分離することでフリーライドを抑制し欠損ゲノムを排除している可能性をシミュレーションに基づいて提案してきた(図2B)。本研究ではその普遍性を明らかにすることを目的として、世界的に重要な植物病原ウイルスであるキュウリモザイクウイルス(CMV)およびトマト黄化葉巻ウイルスについてMOIの推定を行った。また既に作成していたMOI進化シミュレーションモデルは非分節ウイルスを想定したものであったが、これを改変して任意の分節数のゲノムをもつウイルスに対応したモデルと、植物ウイルスの篩管を介した全身移行や動物ウイルスの感染を想定したモデルを作成してさらにシミュレーションを行って小さいMOIの普遍性を検討した。MOIを変化させる可能性のある複数の宿主遺伝子について、ノックダウンおよび過剰発現を行い、MOIへの影響を検討した。

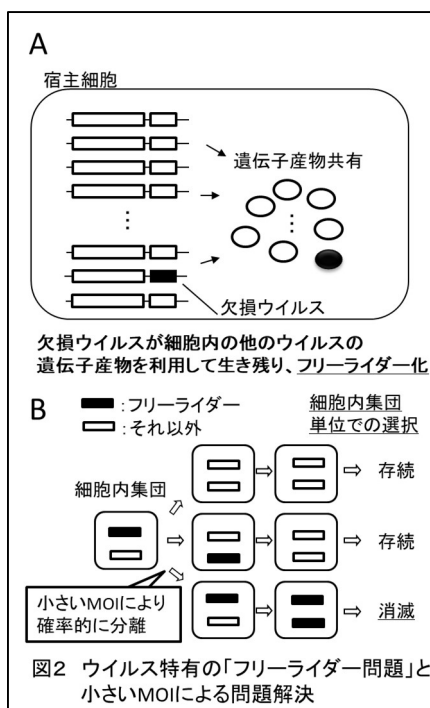


図2 ウイルス特有の「フリーライダー問題」と小さいMOIによる問題解決

(2) ウイルス分節間の葛藤に関する検討

CMVは3分節のゲノムをもつ。このうちRNA1とRNA2はウイルスゲノムの複製に寄与する複製タンパク質をコードしており、RNA3は細胞間移行タンパク質および外被タンパク質をコードする。そのためゲノム複製に関してRNA3はRNA1とRNA2に依存する一方、細胞間移行についてはRNA1とRNA2はRNA3に依存している(図3)。そのため分節間には適切な蓄積比率が存在し、複製においては絶妙な調整がなされているものと考えられる。

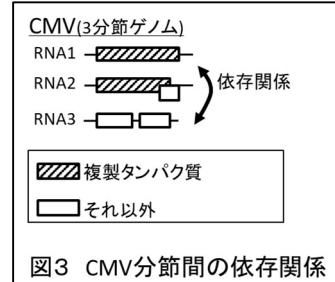


図3 CMV分節間の依存関係

そこで本研究では、キュウリモザイクウイルス RNA1, RNA2, RNA3 にそれぞれランダムタグ配列を導入したライブラリを作製し、これをプロトプラスト（単離した細胞）および植物体に接種して感染ウイルスのタグ配列を次世代シーケンサで解析することで分節蓄積比率を調べた。その実験結果に基づき、3分節の複製・細胞間移行シミュレーションモデルを作成した。また分節間の相性について検討する目的で、配列の異なる2系統のCMVを混合接種する実験を行ったところ後述のように意外な結果が得られたため、これについてさらに検討した。

(3) ウイルス社会の意思決定システムとその阻害に関する検討

植物ウイルスの細胞内集団に欠損ウイルスが任意の割合で存在する状況を考える。その細胞内集団が次の細胞に移行して感染することは、集団存続の観点から短期的には有利だが、欠損ウイルス排除の観点から長期的には不利である。そのため欠損ウイルスの割合に応じて、次の細胞への適切な感染確率が存在すると考えられる。そこで、欠損ウイルスの割合に対し「①感染確率が直線的に低下するシステム」と「②閾値の前後で感染確率が0か1に分かれるシステム」のいずれが有利かをシミュレーションで比較したところ、後者が有利であることが示唆された（図4A）。後者のシステムは多数決による意思決定と類似する。多数決型の意思決定は、少数の意見が変わることで結論が大きく変わるため、変異をもつウイルスタンパク質を人為的に発現することによる防除の標的となりうる（図4B）。そこでまず多数決型の意思決定システムをウイルスが採用している可能性をCMVを材料に検討した。具体的には、アミノ酸置換(R156A)により機能欠損した細胞間移行タンパク質(MP)をコードするRNA3と正常に機能するMPをコードするRNA3を異なる蛍光タンパク質遺伝子で標識し、これらを混合接種することで両者の比率と細胞間移行の有無の関係を調べた。この実験で後述のようにCMVによる多数決型意思決定の存在が支持されたことから、機能欠損MP遺伝子の一過的発現・恒常発現および改変型RNA3からの発現により意思決定システムを阻害する防除技術の開発を試みた。

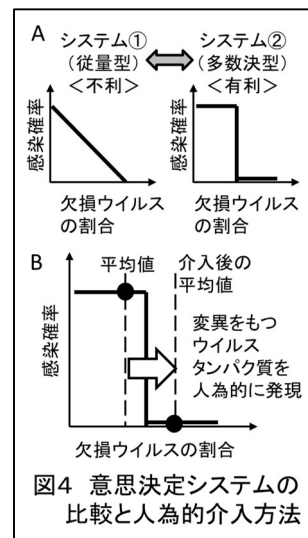


図4 意思決定システムの比較と人為的介入方法

4. 研究成果

(1) 社会ルールとしての「小さいMOI」の普遍性の検討とその攪乱

CMVの細胞間移行におけるMOIはおおよそ5.7であることを示した(Abebe et al., 2021)。またトマト黄化葉巻ウイルスのアグロインフェクションにおけるMOIは2~3程度であることを明らかにした(Ren et al., 2022)。またMOI進化シミュレーションでは、非分節ウイルスで最適と考えられるMOIは5程度であったが、これは2分節・3分節のウイルスを想定したシミュレーションでも最適MOIは変わらなかった(図5A)。最適MOIはフリーライドの抑制のためMOIを小さくしようとする要請と、感染率維持のためにMOIを大きくしようとする要請のバランスによって決定されると考えられ(図5B)、そのバランスは分節数が増加しても変化しないものと考えられた。実際にこのシミュレーション結果は非分節ゲノムをもつトマトモザイクウイルス、2分節ゲノムをもつムギ類萎縮ウイルス、3分節ゲノムをもつCMVでそれぞれ5前後のMOIが観察されていることとも合致することから、本研究では植物ウイルスにおける小さいMOIの普遍性を実験と理論の両面から明らかにすることができたと考えている。一方で4分節以上のゲノムをもつウイルスは進化的に不安定となることがシミュレーションで示された(図省略)。実際に4分節以上の植物ウイルスは種類が少ないことが知られており、それらについては別の仕組みでフリーライダー問題を解決している可能性が示唆された。また、小さいMOIの普遍性に関する総説を公表した(Qu et al., 2020)。

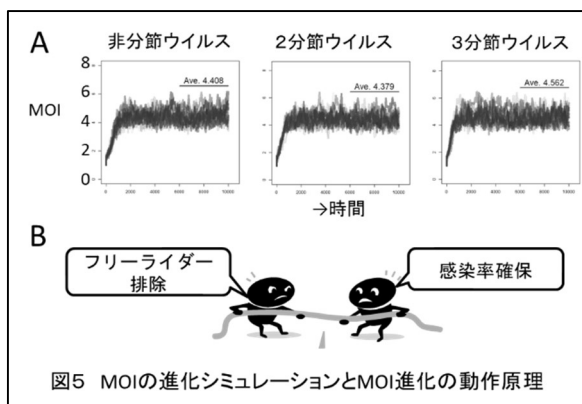


図5 MOIの進化シミュレーションとMOI進化の動作原理

植物は病原体を認識して抵抗性を誘導する機構を複数持つ。そのうちR遺伝子と総称される遺伝子群が関与する抵抗性では、植物が多コピーもつR遺伝子の産物それぞれが病原体由来のタンパク質等を認識するレセプターとして機能し、抵抗性経路を活性化する。CMVの外被タンパク質を認識するR遺伝子を用いた研究で、この抵抗性誘導時にはMOIが低下し結果的にウイルスの感染拡大が停止することを明らかにした。このことは植物R遺伝子による抵抗性が植物ウイルスの

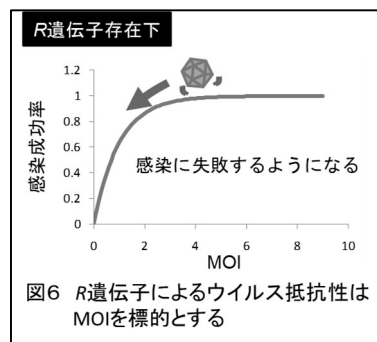


図6 R遺伝子によるウイルス抵抗性はMOIを標的とする

社会ルールである小さい MOI を標的としていることを示しており (図 6)、人為的な MOI 制御が植物ウイルス防除技術の開発に寄与しうることを支持するものと考えられた (Abebe et al., 2021)。

MOI の人為的操作を目的として、ウイルス RNA 分解に関わる可能性のある遺伝子およびウイルスタンパク質の翻訳に寄与するとされる翻訳開始因子について *Nicotiana benthamiana* でノックダウンおよび過剰発現を行ってキュウリモザイクウイルスの MOI への影響を調べたが、残念ながら明確な影響は見られなかった。

(2) ウイルス分節間の葛藤に関する検討

プロトプラストを 1 細胞ずつ解析したところ、RNA1 と RNA2 の蓄積比率は細胞間でおおよそ一定である一方、RNA3 の比率は細胞間で大きくばらつくことが明らかとなった。また、この状況は接種葉においても細胞間移行回数が 2~3 回までの早い時期には見られることが分かった。シミュレーションによる検討では、以下のような状況を想定すると上述のプロトプラストの観察が再現されることが分かった (図 7): 1) RNA1 と RNA2 がそれぞれ翻訳共役的に複製タンパク質との複合体を形成し、2) それらが会合して pre-membrane-targeting complex (PMTC) を形成する; 3) PMTC には RNA3 が確率的に取り込まれる; 4) PMTC が膜に移動して複製複合体が形成され、その際に相補鎖合成の鋳型が確率的に選択される; 5) 合成された相補鎖を鋳型として、RNA1, RNA2 または RNA3 が合成され、再び複製サイクルに入る。

また CMV の Y 系統と B2 系統を植物体に混合接種したところ、接種葉および上位葉で両系統の RNA1 および RNA2 の蓄積が観察された一方で、RNA3 は B2 系統のものしか観察されなかった。プロトプラストの接種においても両系統の RNA3 を混合接種すると B2 系統のものしか蓄積しなかったことから、細胞レベル、すなわち複製レベルで B2 系統の RNA3 が Y 系統の RNA3 に対して優占することが分かった。この現象は、RNA3 の PMTC への取り込み効率が両者で異なり、その差が複数サイクルの複製複合体形成を経て増幅されることにより説明されるものと考えられた (図 8 A)。またこのような違いが生じたのは、CMV の分化の過程で PMTC への取り込み効率と RNA3 合成効率のバランスが異なるものに進化した結果であると考えられた (図 8 B)。さらに両系統の RNA3 のキメラを使った実験などから、両者の 5'UTR 配列の違いが B2 系統由来 RNA3 の優占に寄与することが分かった (図 8 C)。

(3) ウイルス社会の意思決定システムとその阻害に関する検討

MP 機能欠損型の RNA3 と MP 機能正常型の RNA3 を異なる蛍光タンパク質遺伝子 (それぞれ YFP および CFP 遺伝子) で標識して混合接種後、蛍光強度比から両者の比を推定するとともに、細胞間移行の有無を調べた。その結果、機能欠損型の RNA3 の比率が上がるにしたがって細胞間移行率が上昇した。直線およびロジスティック曲線への当てはめを行って赤池統計量基準で評価したところ、直線よりも多数決型に類似するロジスティック曲線によく当てはまることが明らかとなった。そこで CMV の細胞間移行の阻害を期待して機能欠損 MP 遺伝子を *N. benthamiana* でアグロバクテリウムを用いて一過的発現したが、顕著な効果は見られなかった。同様に、機能欠損 MP 遺伝子を形質転換で導入した *N. benthamiana* においても CMV の細胞間移行への顕著な影響は見られなかった。そこで MP を機能欠損型に改変した CMV RNA3 (図 10 A, CY3-R156A) を作製し、YFP 遺伝子標識 CMV とともに *N. benthamiana* に混合接種したところ、細胞間移行阻害効果が観察された。さらに上述の

(2) で明らかになった B2 系統由来の 5' UTR をもつ MP 機能欠損 RNA3 (図 10 A, CBY3-

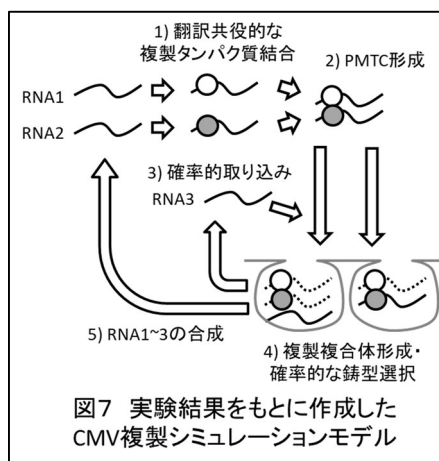


図7 実験結果をもとに作成した CMV複製シミュレーションモデル

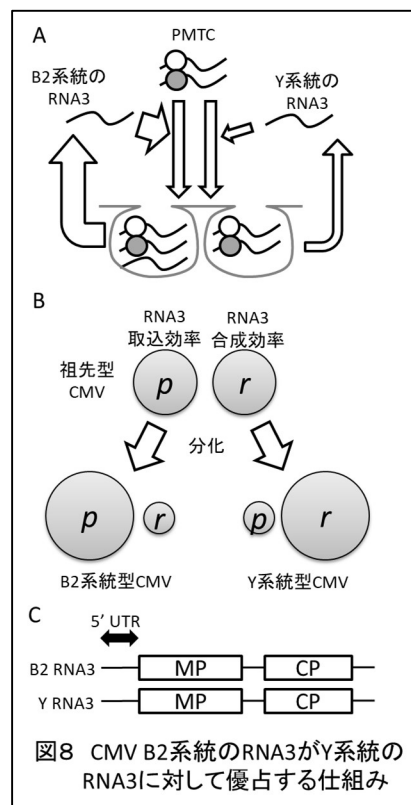


図8 CMV B2系統のRNA3がY系統のRNA3に対して優占する仕組み

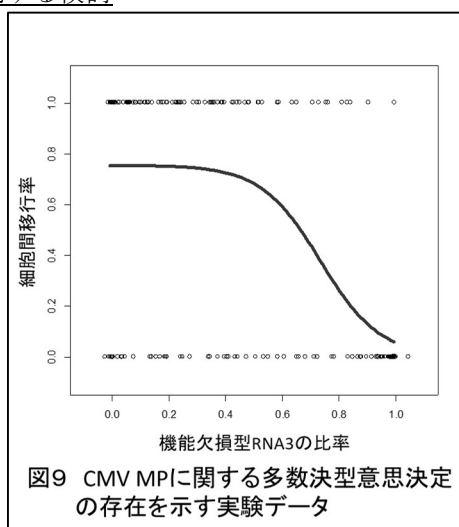


図9 CMV MPIに関する多数決型意思決定の存在を示す実験データ

R156A) を作製して CMV とともに *N. benthamiana* に混合接種したところ、さらに強い細胞間移行阻害効果が観察された。このことから、機能欠損タンパク質をコードする改変ウイルスゲノムを産生する植物を作出することで、ウイルスの多数決型意思決定を標的として対象ウイルスの感染を抑制できる可能性が明らかになった。これは新しい発想のウイルス防除法開発のための基盤技術になるものと考えられた。

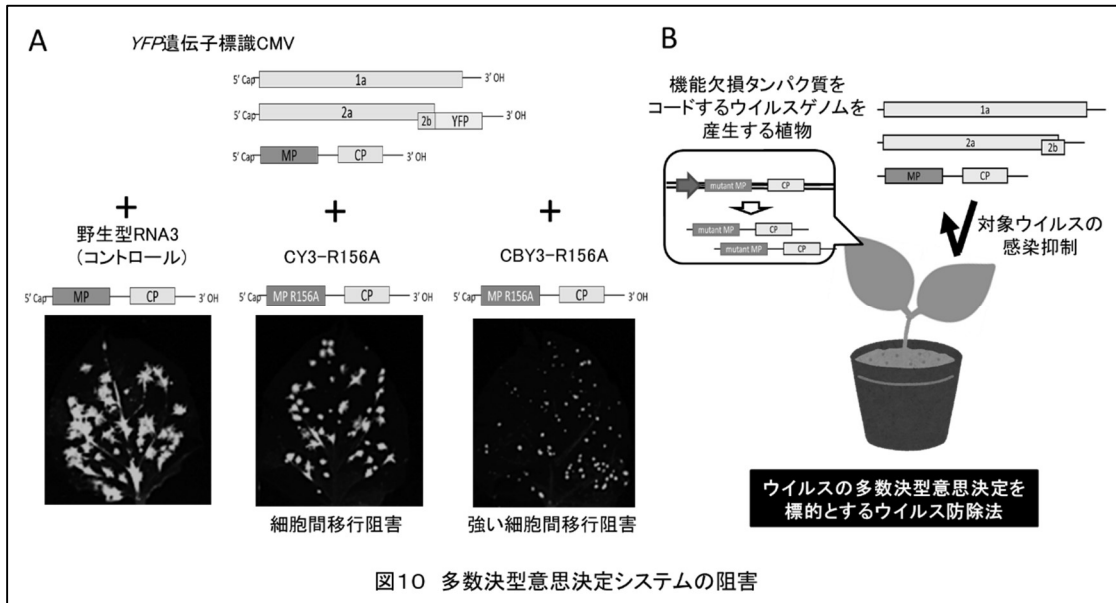


図10 多数決型意思決定システムの阻害

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Sasaki Ryota, Miyashita Shuhei, Ando Sugihiro, Ito Kumiko, Fukuhara Toshiyuki, Kormelink Richard, Takahashi Hideki	4. 巻 166
2. 論文標題 Complete genomic sequence of a novel phytopathogenic Burkholderia phage isolated from fallen leaf compost	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Archives of Virology	6. 最初と最後の頁 313～316
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00705-020-04811-3	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 該当する
1. 著者名 Ando Sugihiro, Jaskiewicz Michal, Mochizuki Sei, Koseki Saeko, Miyashita Shuhei, Takahashi Hideki, Conrath Uwe	4. 巻 22
2. 論文標題 Priming for enhanced ARGONAUTE2 activation accompanies induced resistance to cucumber mosaic virus in Arabidopsis thaliana	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Molecular Plant Pathology	6. 最初と最後の頁 19～30
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/mpp.13005	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 Honda Shinji, Eusebio-Cope Ana, Miyashita Shuhei, Yokoyama Ayumi, Aulia Annisa, Shahi Sabitree, Kondo Hideki, Suzuki Nobuhiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Establishment of Neurospora crassa as a model organism for fungal virology	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 5627
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-020-19355-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 Sasaki Ryota, Miyashita Shuhei, Ando Sugihiro, Ito Kumiko, Fukuhara Toshiyuki, Takahashi Hideki	4. 巻 13
2. 論文標題 Isolation and Characterization of a Novel Jumbo Phage from Leaf Litter Compost and Its Suppressive Effect on Rice Seedling Rot Diseases	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Viruses	6. 最初と最後の頁 591～591
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/v13040591	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 Abebe Derib A., van Bentum Sietske, Suzuki Machi, Ando Sugihiro, Takahashi Hideki, Miyashita Shuhei	4. 巻 4
2. 論文標題 Plant death caused by inefficient induction of antiviral R-gene-mediated resistance may function as a suicidal population resistance mechanism	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 947
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42003-021-02482-7	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 Takahashi Hideki, Tabara Midori, Miyashita Shuhei, Ando Sugihiro, Kawano Shuichi, Kanayama Yoshinori, Fukuhara Toshiyuki, Kormelink Richard	4. 巻 12
2. 論文標題 Cucumber Mosaic Virus Infection in Arabidopsis: A Conditional Mutualistic Symbiont?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Microbiology	6. 最初と最後の頁 770925
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmicb.2021.770925	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 Qu Feng, Zheng Limin, Zhang Shaoyan, Sun Rong, Slot Jason, Miyashita Shuhei	4. 巻 6
2. 論文標題 Bottleneck, Isolate, Amplify, Select (BIAS) as a mechanistic framework for intracellular population dynamics of positive-sense RNA viruses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Virus Evolution	6. 最初と最後の頁 veaa86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ve/veaa086	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 Tian, A., Miyashita, S., Ando, S. and Takahashi, H	4. 巻 12
2. 論文標題 Single amino acid substitutions in the cucumber mosaic virus 1a protein induce necrotic cell death in virus-inoculated leaves without affecting virus multiplication.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Viruses	6. 最初と最後の頁 91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/v12010091	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 Sugihiro Ando, Shuhei Miyashita, and Hideki Takahashi	4. 巻 85
2. 論文標題 Plant defense systems against cucumber mosaic virus: lessons learned from CMV-Arabidopsis interactions.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of General Plant Pathology	6. 最初と最後の頁 174-181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10327-019-00845-x	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 S. Yariyama, S. Ando, S. Seo, K. Nakaho, S. Miyashita, Y. Kanayama and H. Takahashi	4. 巻 68
2. 論文標題 Exogenous application of L-histidine suppresses bacterial diseases and enhances ethylene production in rice seedlings.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant Pathology	6. 最初と最後の頁 1072-1078
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ppa.13037	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 Sato Yukiyo, Miyashita Shuhei, Ando Sugihiro, Takahashi Hideki	4. 巻 100
2. 論文標題 Increased cytosine methylation at promoter of the NB-LRR class R gene RCY1 correlated with compromised resistance to cucumber mosaic virus in EMS-generated src mutants of Arabidopsis thaliana	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physiol Mol Plant Pathol	6. 最初と最後の頁 151 ~ 162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pmpp.2017.09.007	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 Takahashi Hideki, Matsushita Yuko, Ito Toyooki, Nakai Yutaka, Nanzyo Masami, Kobayashi Takashi, Iwaishi Shinji, Hashimoto Tomoyoshi, Miyashita Shuhei, Morikawa Toshiyuki, Yoshida Shigenobu, Tsushima Seiya, Ando Sugihiro	4. 巻 166
2. 論文標題 Comparative analysis of microbial diversity and bacterial seedling disease-suppressive activity in organic-farmed and standardized commercial conventional soils for rice nursery cultivation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Phytopathology	6. 最初と最後の頁 249 ~ 264
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jph.12682	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 Takahashi H., Tian A., Miyashita S., Kanayama Y., Ando S., Kormelink R.	4. 巻 67
2. 論文標題 Survey of the response of 82 domestic landraces of Zea mays to cucumber mosaic virus reveals geographical region-related resistance to CMV in Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant Pathology	6. 最初と最後の頁 1401-1415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ppa.12848	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 -

〔学会発表〕 計58件 (うち招待講演 18件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 宮下脩平*・狩野凱・石橋和大・安藤杉尋・高橋英樹
2. 発表標題 キュウリモザイクウイルスCP発現PVXベクターのアグロインフェクションを利用したR遺伝子抵抗性同期的誘導系
3. 学会等名 令和4年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平澤花織*・安藤杉尋・高橋英樹・宮下脩平
2. 発表標題 植物ウイルスの細胞間移行における小さいMOIを再現する細胞感染・細胞間移行シミュレーションモデルの構築
3. 学会等名 令和4年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小黒まゆ*・安藤杉尋・高橋英樹・宮下脩平
2. 発表標題 キュウリモザイクウイルスの細胞間移行タンパク質による多数決型意思決定はドミナントネガティブ効果で説明される
3. 学会等名 令和4年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 武田萌*・安藤杉尋・高橋英樹・宮下脩平
2. 発表標題 イルミナシーケンサを利用した省力・低コストな植物 RNA ウイルス網羅的検出・塩基配列決定系の構築
3. 学会等名 令和3年度日本植物病理学会東北部会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮下脩平*・Derib A Abebe・安藤杉尋・高橋英樹
2. 発表標題 全身 HR による抗ウイルス自殺型集団抵抗性の成立条件についてのシミュレーションによる検討
3. 学会等名 令和3年度日本植物病理学会東北部会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Derib Alemu Abebe*・Sietske van Bentum・Machi Suzuki・Sugihiro Ando・Hideki Takahashi・and Shuhei Miyashita
2. 発表標題 Individual death resulted from inefficient induction of R-gene-mediated antiviral resistance may confer suicidal population resistance in land plants
3. 学会等名 International Plant Web Forum 2021, IPSR, Okayama Univ (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田省吾*・安藤杉尋・高橋英樹・宮下脩平
2. 発表標題 キュウリモザイクウイルスの細胞感染シミュレーションモデルの構築
3. 学会等名 日本植物病理学会 令和3年度植物感染生理談話会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shuheh Miyashita*・Derib Alemu Abebe・Sietske van Bentum・Machi Suzuki・Sugihiro Ando・Hideki Takahashi
2. 発表標題 Local propagation of land plants may enable their R-gene-mediated suicidal population resistance
3. 学会等名 Plant Microbiota Research Network 1st Online Symposium
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shuheh Miyashita
2. 発表標題 Local propagation of land plants may have enabled their suicidal population resistance against viruses.
3. 学会等名 10th Aquatic Virus Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮下脩平
2. 発表標題 ウイルスの社会性、植物の社会性
3. 学会等名 日本農芸化学会2021年度大会 Frontiersシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhongxu Yuan*・Kaori Hirasawa・Sugihiro Ando・Hideki Takahashi・Shuheh Miyashita
2. 発表標題 Comparison of replication competitiveness among cucumber mosaic virus RNA3s with different 5' UTRs from the three subgroups
3. 学会等名 令和3年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 狩野凱*・Derib Alemu Abebe・安藤杉尋・高橋英樹・宮下脩平
2. 発表標題 R遺伝子存在下で野生型キュウリモザイクウイルス(CMV)より小さい壊死病斑を誘導する変異型CMV は野生型より小さいMOIを示す
3. 学会等名 令和3年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平澤花織*・山田省吾・安藤杉尋・高橋英樹・宮下脩平
2. 発表標題 接種葉におけるキュウリモザイクウイルスゲノムRNA分節蓄積量比の進化についての検討
3. 学会等名 令和3年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田省吾*・安藤杉尋・高橋英樹・宮下脩平
2. 発表標題 細胞感染におけるキュウリモザイクウイルスゲノムRNA分節蓄積量比の決定機構についての検討
3. 学会等名 令和3年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮下脩平*・安藤杉尋・高橋英樹
2. 発表標題 4以上のゲノム分節をもつ植物ウイルスが進化的に不安定である可能性をMOI進化シミュレーションは示唆する
3. 学会等名 令和3年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮下脩平
2. 発表標題 ウイルス・宿主相互作用の進化をシミュレーションで考える
3. 学会等名 第1回ウイルス生態学セミナー（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 狩野 凱*・安藤杉尋・高橋英樹・宮下脩平
2. 発表標題 キュウリモザイクウイルス黄斑系統の外被タンパク質アルギニンリッチモチーフ欠失変異はR遺伝子による抵抗性応答を過敏反応から高度抵抗性に変化させる
3. 学会等名 令和2年度日本植物病理学会東北部会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuan Z. *・Takahashi H.・Ando S. and Miyashita S.
2. 発表標題 Dominant accumulation of RNA3 of cucumber mosaic virus B2 strain over co-inoculated Y-strain RNA3 is determined by 5' UTR
3. 学会等名 令和2年度日本植物病理学会東北部会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋英樹・宮下脩平・田原緑・栗山和典・安藤杉尋・福原敏行
2. 発表標題 キュウリモザイクウイルス2b遺伝子形質転換シロイヌナズナにおけるゲノムDNAのシトシンメチル化レベルの変動
3. 学会等名 令和2年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 八木橋素良・安藤杉尋・宮下脩平・高橋英樹
2. 発表標題 キュウリモザイクウイルス [CMV(Ho)] の不顕性感染によるTurnip crinkle virusの増殖抑制へのSERK2の関与
3. 学会等名 令和2年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井尾美由記・安藤杉尋・宮下脩平・高橋英樹
2. 発表標題 高温条件におけるササゲのキュウリモザイクウイルス抵抗性の増強メカニズムの解析
3. 学会等名 令和2年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木稜太・宮下脩平・安藤杉尋・伊東久美子・高橋英樹
2. 発表標題 イネもみ枯細菌病菌およびイネ苗立枯細菌病菌に感染する新規ジャンボファージの性状解析
3. 学会等名 令和2年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮下脩平・安藤杉尋・高橋英樹
2. 発表標題 ウイルスゲノム分節性および宿主の組織構造をパラメタとして加えたMOI進化シミュレーションモデル
3. 学会等名 令和2年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Abebe, D. A., Ando, S., Takahashi, H., and Miyashita, S.
2. 発表標題 Two CMV variants which escapes resistance or induces systemic HR to RCY1 show different levels of R-gene mediated decrease of M01
3. 学会等名 令和2年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本多宗一郎・安藤杉尋・高橋英樹・宮下脩平
2. 発表標題 キュウリモザイクウイルスY系統とB2系統のRNA3は細胞感染レベルで競合し、B2系統のRNA3がほぼ独占的に蓄積する
3. 学会等名 令和2年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木稜太・宮下脩平・安藤杉尋・伊東久美子・高橋英樹
2. 発表標題 有機堆肥から単離されたジャンボファージによるイネもみ枯細菌病抑制効果
3. 学会等名 第73回北日本病害虫研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒井諒真・宮下脩平・安藤杉尋・高橋英樹
2. 発表標題 キュウリモザイクウイルスに対するササゲの過敏感反応抵抗性へのプラントアクティベーターの影響
3. 学会等名 第73回北日本病害虫研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shuhei Miyashita
2. 発表標題 A simple evolution model of MOI unveils the distinct biological principles behind different classes of viruses.
3. 学会等名 International Neovirology Mini-symposium Series IV (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮下脩平
2. 発表標題 ウイルス社会におけるルール形成
3. 学会等名 神戸大学大学院・農学研究科 インターゲノミクス研究会主催 第49回インターゲノミクスセミナー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮下脩平
2. 発表標題 菌類・植物・動物ウイルスの生き様を数理モデルの助けを借りて比較する
3. 学会等名 東京大学医科学研究所学友会セミナー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ainan Tian, Shuhei Miyashita, Sugihiro Ando, Hideki Takahashi
2. 発表標題 Characterization of atypical cell death which can not suppress either multiplication of cucumber mosaic virus on virus-inoculated leaves or its systemic spread with lethal systemic necrosis in Arabidopsis thaliana ecotypes
3. 学会等名 日本ナス科コンソーシアム年会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuri Murayama, Miyuki Ito, Shuhei Miyashita, Sugihiro Ando, Hanbal Sara E., Hideki Takahashi
2. 発表標題 Analysis of two types of gene-for-gene resistance to cucumber mosaic virus in <i>Vigna unguiculata</i>
3. 学会等名 日本ナス科コンソーシアム年会（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤杉尋・清水浩晶・A. Shahir A. Nor・高島圭介・宮下脩平・金子俊郎・高橋英樹
2. 発表標題 大気圧プラズマの照射条件の違いによる植物免疫誘導の変化
3. 学会等名 令和元年度日本植物病理学会東北部会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sara E. Hanbal・Keisuke Takashima・Shuhei Miyashita・Sugihiro Ando・Kumiko Ito・Mohsen M. Elsharkawy・Toshiro Kaneko・Hideki Takahashi
2. 発表標題 Atmospheric-pressure plasma irradiation can disrupt tobacco mosaic virus particles and RNAs to inactivate their infectivity
3. 学会等名 令和元年度日本植物病理学会東北部会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三富直人・宮下脩平・高橋英樹・安藤杉尋
2. 発表標題 有機栽培育苗土から作出したイネもみ枯細菌病抑制効果を持つ細菌集団の施用によるイネ内生菌叢への影響
3. 学会等名 令和元年度日本植物病理学会東北部会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木稜太・三富直人・伊東久美子・宮下脩平・安藤杉尋・高橋英樹
2. 発表標題 有機栽培育苗土からのイネもみ枯細菌病菌に感染するファージの探索と特性解析
3. 学会等名 令和元年度日本植物病理学会東北部会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本多宗一郎・安藤杉尋・高橋英樹・夏秋啓子・宮下脩平
2. 発表標題 キュウリモザイクウイルスB2 系統のRNA1 およびRNA2 全長塩基配列の決定と感染性cDNAクローンの作製
3. 学会等名 令和元年度日本植物病理学会東北部会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村山友理・安藤杉尋・宮下脩平・高橋英樹
2. 発表標題 ササゲのキュウリモザイクウイルス抵抗性を決定する新奇ウイルス因子の解析
3. 学会等名 令和元年度日本植物病理学会東北部会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuhei Miyashita
2. 発表標題 Social aspects in viral ways of life, analyzed by wet experiments and dry simulations.
3. 学会等名 WUR-TU Plant Science Workshop 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮下 脩平
2. 発表標題 植物病原性 Verticillium属菌の RNA ウイルス
3. 学会等名 ネオウイルス学ミニシンポジウム 1(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shuhe Miyashita
2. 発表標題 Evolution of strategies in space: the never-ending quests for higher fitness by viruses and the hosts driven by differences and changes in spatial structures.
3. 学会等名 The 17th Awaji International Forum on Infection and Immunity(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shuhe Miyashita, Akira Sasaki, Machi Suzuki, Sietske van Bentum, Sugihiro Ando, Masayuki Ishikawa, and Hideki Takahashi
2. 発表標題 Majority decisions by four or five members: rules that can be formed and maintained in viral populations to exclude free riders.
3. 学会等名 2018 Annual Meeting of the Society for Mathematical Biology & the Japanese Society for Mathematical Biology(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shuhe Miyashita
2. 発表標題 Majority decisions by four or five members: social rules that can be formed and maintained in viral populations to exclude free riders.
3. 学会等名 Seminaire BGPI CIRAD(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮下脩平・安藤杉尋・高橋英樹
2. 発表標題 植物ウイルスの多数決型意思決定システム
3. 学会等名 平成29年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 本多宗一郎・安藤杉尋・高橋英樹・宮下脩平
2. 発表標題 キュウリモザイクウイルスの欠失変異パターンの解析
3. 学会等名 平成29年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮下脩平
2. 発表標題 植物ウイルスのもつ社会システムを、実験と数理モデリングで覗き見る
3. 学会等名 ウイルス研究の潮流シリーズセミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shuhei Miyashita
2. 発表標題 Social systems of plant viruses revealed by molecular biology experiments and mathematical modeling
3. 学会等名 Tohoku Forum for Creativity Fusion Research Seminar（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮下脩平
2. 発表標題 ウイルス社会学 ウイルスの社会システムを攪乱せよ！
3. 学会等名 第16回みちのくウイルス塾（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮下脩平・本多宗一郎・安藤杉尋・高橋英樹
2. 発表標題 RNAウイルス欠失変異の網羅的検出系の確立
3. 学会等名 平成29年度植物感染生理談話会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮下脩平
2. 発表標題 植物ウイルスの社会システムを標的とする防除技術の開発
3. 学会等名 第2回えこえびワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮下脩平
2. 発表標題 植物RNAウイルスの複製と進化機構に関する研究
3. 学会等名 平成30年度日本植物病理学会大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西條悠希・安藤杉尋・高橋英樹・宮下脩平
2. 発表標題 R遺伝子による認識を免れる変異型CMV CPのアラニンスクヤニングによる探索
3. 学会等名 平成30年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木万智・Sietske van Bentum・安藤杉尋・高橋英樹・宮下脩平
2. 発表標題 細胞間移行におけるCMVのMOIはR遺伝子による抵抗性誘導時に低下する
3. 学会等名 平成30年度日本植物病理学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西條悠希・安藤杉尋・高橋英樹・宮下脩平
2. 発表標題 CMV CPの多量体化・粒子形成に寄与するとされる ヘリックスドメインはR遺伝子によるCPの認識に必要である
3. 学会等名 平成28年度日本植物病理学会東北部会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 宮下脩平・安藤杉尋・高橋英樹
2. 発表標題 CMV感染細胞内のMP機能欠損ゲノムの割合と隣接細胞への細胞間移行確率の関係
3. 学会等名 平成28年度日本植物病理学会東北部会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Miyashita
2. 発表標題 Understanding the surviving strategies of plant viruses by mathematical modeling.
3. 学会等名 Lorentz Center Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Miyashita
2. 発表標題 The number of individuals to infect a host cell: the Achilles' heel of viruses
3. 学会等名 CFAI 2nd International symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 宮下脩平
2. 発表標題 ウイルスは多数決をとる
3. 学会等名 第2回農学中手の会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 岸野洋久・櫻井玄・井澤毅・二宮正士・北田修一・宮下脩平	4. 発行年 2022年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 240
3. 書名 生産環境統計学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

東北大学大学院農学研究科植物病理学分野
<http://www.agri.tohoku.ac.jp/ppathol/index.html>

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
研究協力者	鈴木 万智 (Suzuki Machi)		
研究協力者	西條 悠希 (Yuki Saijo)		
研究協力者	本多 宗一郎 (Honda Soichiro)		
研究協力者	ファンベントム シツケ (van Bentum Sietske)		
研究協力者	アベベ デリブ アレム (Abebe Derib Alemu)		

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
研究協力者	狩野 凱 (Karino Gai)		
研究協力者	山田 省吾 (Yamada Shogo)		
研究協力者	小黒 まゆ (Oguro Mayu)		
研究協力者	平澤 花織 (Hirasawa Kaori)		
研究協力者	袁 中旭 (Yuan Zhongxu)		

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			
オランダ	ユトレヒト大学			
米国	オハイオ州立大学			
オランダ	ワーゲニンゲン大学			