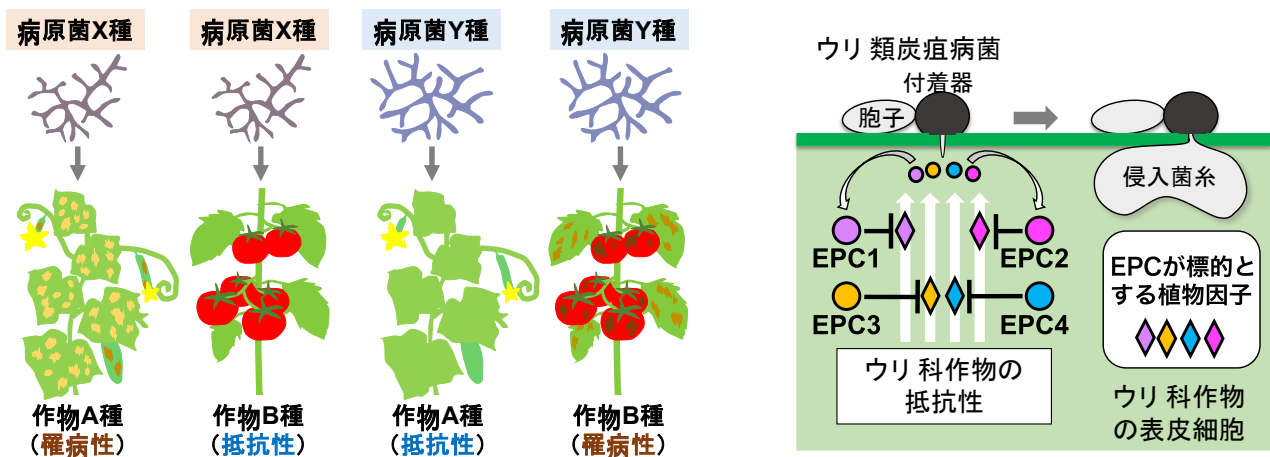


なぜ病原菌は特定の作物にのみ感染するのか

—植物病原菌の宿主特異性の鍵因子—

概要

一般に動植物の感染症において、病原体は明確な「宿主特異性」を示します。しかし、病原体の宿主特異性がどのように成立しているのか、その分子的背景の理解は極めて限定的です。植物感染症の被害の70%以上は、植物病原性の糸状菌（以下、植物病原菌）によって引き起こされています。そして、多くの植物病原菌の宿主特異性の成立には、「エフェクター」と総称される分泌タンパク質群が重要な役割を果たしていると推定されています。エフェクターは病原菌が分泌後、宿主細胞内に移行して、その防御機構などを攪乱することが報告されています。しかし、エフェクターによりどのように植物感染症における宿主特異性が成立するのかは、全くの謎でした。今回、京都大学大学院農学研究科の高野義孝 教授、井上喜博 助教らの研究グループは徳島大学、岡山県農林水産総合センター生物科学研究所の研究者と共同で、植物病原菌（ウリ類炭疽病菌）の宿主特異性成立において重要な役割を果たす4つのエフェクター（EPC1～EPC4）の発見に成功しました。本成果は2023年3月21日に国際学術誌「*New Phytologist*」へオンライン掲載されました。



向かって左図： 植物病原菌の宿主特異性の概念図.

向かって右図： 発見に成功した宿主特異性に関与する4種のエフェクター（EPC1～EPC4）の概念図. ウリ科作物に病害を引き起こすウリ類炭疽病菌は4種のエフェクター（EPC1～EPC4）を宿主であるウリ科作物の細胞に送り込み、ウリ科作物細胞内の標的因子にそれぞれ作用することにより、その抵抗性を抑制することで感染を成立させる。

1. 背景

現在、世界的には毎年 10~15%の作物が病原体による感染症によって喪失しており、これは約 8 億人分の食糧に相当します。このうちの約 70%の植物感染症は、植物病原性の糸状菌、いわゆるカビ（以下、植物病原菌と呼ぶ）によって引き起こされており、植物病原菌から作物を守るための技術を開発することは非常に重要な課題です。そして、一般にそれぞれの植物病原菌は、非常に限定された植物を自身の宿主として利用しています。この現象は「宿主特異性」と呼ばれます。重要なポイントとして、植物の感染症において、そもそも植物病原菌の宿主特異性がどのように成立しているのか、その分子的背景の知見は極めて限定的であることが挙げられます。植物病原菌は、「エフェクター」と総称される様々なタンパク質を自身から分泌し、まるでスパイのようにそれらを宿主植物内へと送り込み、その抵抗性機構を攪乱、崩壊させます。つまり、エフェクターこそが、植物病原菌の宿主特異性の成立において決定的な役割を担っていると推定されます。しかし、そのことを遺伝子・分子レベルで証明した報告はほとんどなく、エフェクターによりどのように植物病原菌の宿主特異性が成立するかは未だ大きな謎でありました。

2. 研究手法・成果

上述のような背景において、私たちは、植物病原菌の宿主特異性を決定するエフェクターの発見に挑戦することを決断しました。しかし、この挑戦における大きな問題は、一つの病原菌が数百ものエフェクターのような遺伝子（エフェクター様遺伝子）を有する中、どのように宿主特異性成立において重要な役割を果たすエフェクターを見つけ出すかでありました。ウリ類炭疽病菌（学名 *Colletotrichum orbiculare*）はキュウリ、スイカ、メロンなどに被害をもたらす植物病原菌です。私たちは、ウリ類炭疽病菌 6 分離株の感染場面での RNA シークエンス解析（網羅的な遺伝子発現解析手法の一つ）をおこない、どの株においてもキュウリへの感染場面でのその発現が顕著に誘導されるエフェクター様遺伝子を選抜し、選抜した候補について網羅的な標的破壊解析を行いました。選抜した 27 遺伝子について、標的破壊株を作出した結果、4 つの遺伝子の破壊株において、野生株と比較して、キュウリに対する病原性の明確な低下が見出され、この 4 つの遺伝子を、*EPC1*、*EPC2*、*EPC3* および *EPC4* と命名しました。さらに 4 種の遺伝子をすべて破壊した 4 重遺伝子破壊株を作出し解析した結果、4 重遺伝子破壊株はウリ科作物であるキュウリおよびメロンに対する病原性をほとんど失っており、これら 4 つのエフェクター（*EPC1*~*EPC4*）が本病原菌の病原性において非常に重要な役割を担っていることが明らかとなりました（イメージ図参照）。また、ウリ類炭疽病菌はナス科に属するベンサミアナタバコにも感染することが知られています。重要な点として、私たちは 4 つのエフェクター遺伝子（*EPC1*~*EPC4*）の 4 重遺伝子破壊株は、ウリ科作物に対する病原性はほぼ失っているのに対し、このベンサミアナタバコへの病原性は野生株と同等であることが見出しました（イメージ図参照）。つまり、このことより、発見した 4 つのエフェクター（*EPC1*~*EPC4*）はウリ類炭疽病菌のウリ科作物に対する宿主特異性成立の鍵因子であることが明らかとなりました。宿主特異性成立の鍵となる植物病原菌エフェクターの報告はほとんどなく、本研究においてなされた「宿主特異性成立において重要な役割を果たしている 4 つのエフェクターの発見」は、植物病原菌の宿主特異性を理解する上で非常に先駆的かつ重要な成果と言えます。

3. 波及効果、今後の予定

4 つのエフェクター（*EPC1*~*EPC4*）はウリ類炭疽病菌がウリ科作物に感染するために非常に重要です。現在、これらのエフェクターが標的とするウリ科作物の因子の同定および解析を推進しています。そして、同定したウリ科作物の標的因子をゲノム編集技術などにより改変することで、これらのエフェクターが効果を発揮でき

なくなる、従来の抵抗性作物とは一線を画する次世代型の新たな抵抗性作物の作出への挑戦が始まっています。これまでの抵抗性作物では数年程度で耐性菌が出現することが多く、その点が大きな問題になっていましたが、開発を目指す抵抗性作物は、対象とする病原菌にとって、自身の必殺のエフェクターが無効化されてしまうため、はるかに長い年月の間、その抵抗性を持続できると期待されます（日本学術振興会科学研究費補助金 基盤研究（S）の支援を受け、現在、推進中）。

4. 研究プロジェクトについて

本成果は日本学術振興会科学研究費補助金 基盤研究（S）の支援を受けて行われました。

<研究者のコメント>

植物病原菌の宿主特異性がエフェクターによってどのように形作られているのかという問いは、非常に重要であり、自分たちのグループも長年、この問題に挑戦してきました。しかし、一つの病原菌が数百ものエフェクターのような遺伝子を有するため、そのようなエフェクターを同定できない日々が続き、困難を極めていました。しかし、今回、ついに目的とするエフェクターの同定に成功し、この謎を解くための扉を開くことに成功したと思っています（高野義孝）。

<論文タイトルと著者>

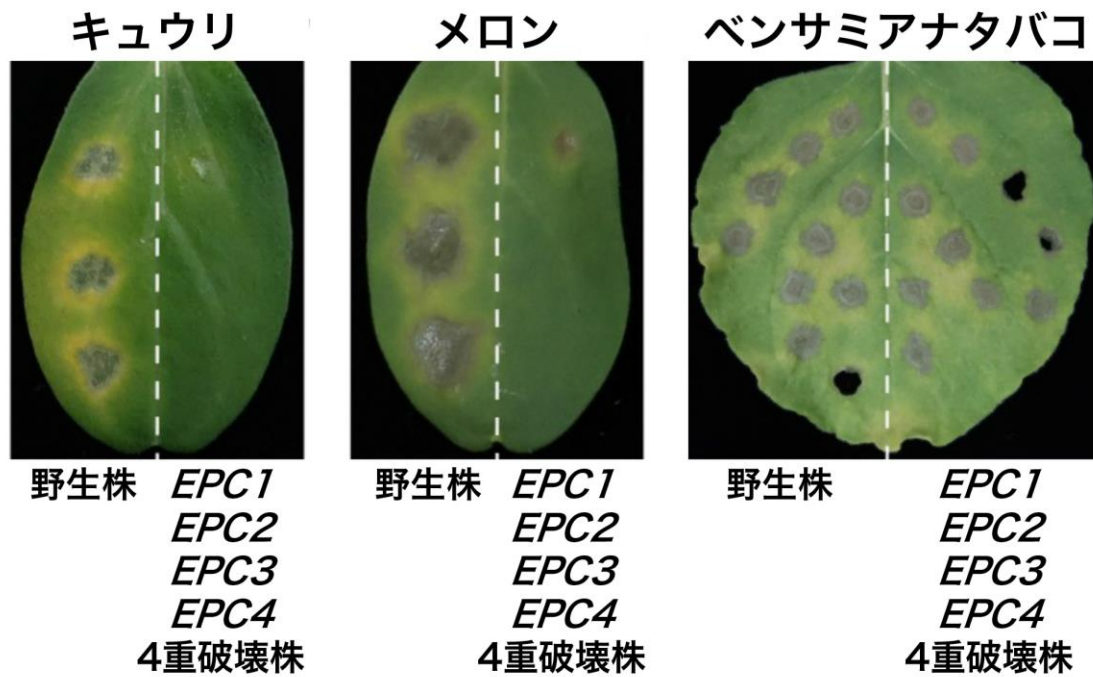
タイトル：Selective deployment of virulence effectors correlates with host specificity in a fungal plant pathogen（植物病原菌の宿主特異性は、病原性エフェクターの選択的活用と相関している）

著者：Yoshihiro Inoue, Vy Trinh, Suthitar Singkaravanit-Ogawa, Ru Zhang, Kohji Yamada, Taiki Ogawa, Junya Ishizuka, Yoshihiro Narusaka, Yoshitaka Takano

掲載誌： *New Phytologist*

DOI： <https://doi.org/10.1111/nph.18790>

<参考図表>



ウリ類炭疽病菌の野生株と4つのエフェクター遺伝子 (*EPC1*~*EPC4*) の4重遺伝子破壊株の接種試験の写真。4重遺伝子破壊株はウリ科作物のキュウリやメロンに対してはほとんど病斑を形成できないのに対し、ベンサミアナタバコに対しては野生株と同等の病斑を形成していることがわかる。つまり、エフェクター*EPC1*~*EPC4* はウリ類炭疽病菌のキュウリやメロンに対する宿主特異性に関与している。