

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03771

研究課題名(和文)ナス科植物が産生する植物エフェクターの機能解析

研究課題名(英文)Functional analysis of plant effectors produced by Solanaceae plants

研究代表者

竹本 大吾 (Takemoto, Daigo)

名古屋大学・生命農学研究科・准教授

研究者番号：30456587

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,800,000円

研究成果の概要(和文)：ジャガイモ疫病菌は、世界4大作物の1つであるジャガイモの重要病原菌である。一方、同じナス科のベンサムアナはジャガイモ疫病菌に抵抗性を示す。本研究では、ベンサムアナの疫病菌抵抗性に必須な分泌タンパク質SAR8.2mの機能解析を行った。種々のPhytophthora属菌に対するSAR8.2m遺伝子サイレンシング株の抵抗性を調べ、SAR8.2mは卵菌に対する非宿主抵抗性に関与することを示した。疫病菌感染時の活性酸素生成や過敏感細胞死誘導はSAR8.2mサイレンシング株で顕著に低下した。また、Yeast two hybrid法を用いて、SAR8.2mと相互作用する疫病菌の標的候補因子が単離された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ナス科植物のPhytophthora属菌への抵抗性に機能する新規分泌タンパク質SAR8.2mの解析を行った。SAR8.2m遺伝子をサイレンシングした植物では、一部のPhytophthora属菌への抵抗性が低下する一方で、糸状菌および細菌に対する抵抗性に影響は認められず、SAR8.2mは特定の病原菌の感染行動を抑制するという特徴的な機能をもっていることが示された。また本タンパク質は広範な疫病菌の病害抑制に機能することから、疫病抵抗性の高い植物の育成に利用できる可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：The potato blight pathogen, *Phytophthora infestans*, is the most important pathogen of potato. Solanaceae model plant, mature *Nicotiana benthamiana* shows resistance to potato blight. In this study, we analyzed the function of the secreted protein SAR8.2m, which is essential for the resistance of *N. benthamiana* against *P. infestans*. SAR8.2m-silenced *N. benthamiana* showed significant reduction of resistance against various *Phytophthora* spp. Generation of reactive oxygen species and induction of hypersensitive cell death during pathogen infection were markedly reduced in the SAR8.2m silenced plant. Using the yeast two hybrid screening, candidate targets of SAR8.2m in *P. infestans* were isolated.

研究分野：植物病理学

キーワード：病害抵抗性 ナス科植物 ジャガイモ疫病菌

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1 . 研究開始当初の背景

ジャガイモ疫病菌 (*Phytophthora infestans*) は、世界 4 大作物の 1 つであるジャガイモ (*Solanum tuberosum*) の最重要病原菌である。これまでに *Solanum* 属野生種由来のレース特異的 (RI など) および非特異的抵抗性遺伝子 (*Rpi-blb2* など) が単離され、疫病菌のエフェクター認識を介した抵抗性誘導に機能することが報告されている。また、疫病菌が産生するエフェクターが宿主の抵抗性機構の様々な過程を阻害することで感染成立に貢献すること、エフェクター認識の成否がジャガイモの疫病菌抵抗性を決定づけていることが示されている。同様の関係は様々な植物と病原菌の相互作用において認められ、病原菌エフェクターの進化と植物による認識機構の発達、共進化による両者のせめぎ合い (Arms race) の典型的な帰着点であると考えられている。

様々な植物病原菌が多数の分泌タンパク質 (エフェクター) の作用により植物の免疫機構を抑制し、感染を確立していることが知られている一方で、植物は病原菌の分子パターンやエフェクターを認識する受容体を介して、病原菌に対する抵抗性を発動する。報告者らは、植物-病原菌相互作用を決定する新たな因子として、ナス科植物の分泌タンパク質が、病原菌の感染機構を積極的に抑制する可能性を見出した。ベンサミアナの分泌タンパク質をコードする SAR8.2m 遺伝子のサイレンシング株では、病原性卵菌であるジャガイモ疫病菌などの *Phytophthora* 属菌への抵抗性が著しく低下するが、病原性糸状菌や細菌に対する抵抗性は影響を受けない。SAR8.2m は疫病菌の攻撃に应答して生産・分泌され、疫病菌の細胞内に移行することから、病原菌の感染機構を阻害する植物のエフェクターとして機能する可能性が示された。

2 . 研究の目的

NbSAR8.2m と相同性を示す遺伝子は *Nicotiana* 属、*Capsicum* 属、*Solanum* 属などナス科植物に特異的に見出される。これまでに 15 種の SAR8.2 遺伝子群がタバコよりエリシター誘導性遺伝子として単離されていたが、その機能は全く解っていない。種々のナス科植物の SAR8.2 様遺伝子群にコードされるタンパク質の配列を比較すると、分泌シグナルの配列は保存されているが、それ以外の領域は C 末端側のシステインを除いて共通性が認められない。興味深い事に、推定される成熟型 SAR8.2 タンパク質の N 末端側配列には保存性が認められる事から、この領域がナス科植物エフェクターの共通した機能に参与している可能性が考えられた (図 1)。そこで本研究では、NbSAR8.2m ジャガイモ疫病菌の病原性を特異的に抑制する機構を明らかとすること、さらに SAR8.2m を利用した抵抗性が向上したジャガイモの作出を目的とし、以下の 5 つの課題に取り組んだ。

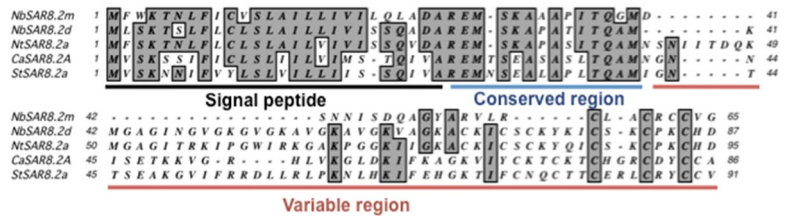


図 1. ナス科植物の SAR8.2 様タンパク質の構造比較

以下の 5 つの課題に取り組んだ。

- 1) NbSAR8.2m の成熟型の構造決定
- 2) NbSAR8.2m の標的となるジャガイモ疫病菌因子の探索
- 3) NbSAR8.2m の他の *Phytophthora* 属菌への抵抗性における役割
- 4) NbSAR8.2m の破壊によるジャガイモ疫病菌の感染行動への影響の調査
- 5) NbSAR8.2m を用いた耐病性ジャガイモの創出への試み

3 . 研究の方法

- (再提出時に記載する)
- 4 . 研究成果
- (再提出時に記載する)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Rin Soriya, Imano Sayaka, Camagna Maurizio, Suzuki Takamasa, Tanaka Aiko, Sato Ikuo, Chiba Sotaro, Kawakita Kazuhito, Takemoto Daigo	4. 巻 86
2. 論文標題 Expression profiles of genes for enzymes involved in capsidiol production in <i>Nicotiana benthamiana</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of General Plant Pathology	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10327-020-00931-5	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 Camagna Maurizio, Ojika Makoto, Takemoto Daigo	4. 巻 15
2. 論文標題 Detoxification of the solanaceous phytoalexins rishitin, lubimin, oxylubimin and solavetivone via a cytochrome P450 oxygenase	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant Signaling & Behavior	6. 最初と最後の頁 1707348 ~ 1707348
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15592324.2019.1707348	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 Kojima Tomoya, Asakura Nobuhide, Hasegawa Shiori, Hirasawa Taishi, Mizuno Yuri, Takemoto Daigo, Katou Shinpei	4. 巻 19
2. 論文標題 Transcriptional induction of capsidiol synthesis genes by wounding can promote pathogen signal-induced capsidiol synthesis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 BMC Plant Biology	6. 最初と最後の頁 576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12870-019-2204-1	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 Mizuno Yuri, Imano Sayaka, Camagna Maurizio, Suzuki Takamasa, Tanaka Aiko, Sato Ikuo, Chiba Sotaro, Kawakita Kazuhito, Takemoto Daigo	4. 巻 85
2. 論文標題 <i>Nicotiana benthamiana</i> exportin 1 is required for elicitor-induced phytoalexin production, cell death induction, and resistance against potato late blight pathogen <i>Phytophthora infestans</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of General Plant Pathology	6. 最初と最後の頁 347 ~ 355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10327-019-00855-9	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 Mizuno Yuri, Ohtsu Mina, Shibata Yusuke, Tanaka Aiko, Camagna Maurizio, Ojika Makoto, Mori Hitoshi, Sato Ikuo, Chiba Sotaro, Kawakita Kazuhito, Takemoto Daigo	4. 巻 10
2. 論文標題 Nicotiana benthamiana RanBP1-1 Is Involved in the Induction of Disease Resistance via Regulation of Nuclear-Cytoplasmic Transport of Small GTPase Ran	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science	6. 最初と最後の頁 222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2019.00222	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 Takemoto Daigo, Shibata Yusuke, Ojika Makoto, Mizuno Yuri, Imano Sayaka, Ohtsu Mina, Sato Ikuo, Chiba Sotaro, Kawakita Kazuhito, Rin Soriya, Camagna Maurizio	4. 巻 84
2. 論文標題 Resistance to Phytophthora infestans: exploring genes required for disease resistance in Solanaceae plants	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of General Plant Pathology	6. 最初と最後の頁 312 ~ 320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10327-018-0801-8	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 Kuroyanagi T, Camagna M, Takemoto D	4. 巻 8
2. 論文標題 Measuring secretion of capsidiol in leaf tissues of Nicotiana benthamiana.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bio-protocol	6. 最初と最後の頁 e2954
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21769/BioProtoc.2954	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 Mizuno Y, Imano S, Camagna M, Suzuki T, Tanaka A, Sato I, Chiba S, Kawakita K and Takemoto D.	4. 巻 85
2. 論文標題 Nicotiana benthamiana Exportin 1 is required for elicitor-induced phytoalexin production, cell death induction, and resistance against potato late blight pathogen Phytophthora infestans.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Gen. Plant Pathol.	6. 最初と最後の頁 347-355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10327-019-00855-9	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 Rin Soriya, Mizuno Yuri, Shibata Yusuke, Fushimi Mayuka, Katou Shinpei, Sato Ikuo, Chiba Sotaro, Kawakita Kazuhito, Takemoto Daigo	4. 巻 12
2. 論文標題 EIN2-mediated signaling is involved in pre-invasion defense in <i>Nicotiana benthamiana</i> against potato late blight pathogen, <i>Phytophthora infestans</i>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant Signaling & Behavior	6. 最初と最後の頁 e1300733
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15592324.2017.1300733	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 Camagna Maurizio, Takemoto Daigo	4. 巻 1
2. 論文標題 Hypersensitive Response in Plants	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 eLS	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/9780470015902.a0020103.pub2	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17件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 カマーニャ マウリツィオ・小鹿一・竹本大吾
2. 発表標題 ナス科植物のセスキテルペノイド抗菌性物質を解毒代謝する酵素遺伝子StSPHの単離
3. 学会等名 令和2年度 日本植物病理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今野沙弥香・近藤洋平・柴田裕介・鈴木孝征・田中愛子・佐藤育男・千葉壮太郎・景山幸二・川北一人・竹本大吾
2. 発表標題 ベンサミアナの疫病菌抵抗性に必須なSAR8.2m遺伝子の破壊株におけるジャガイモ疫病菌および宿主遺伝子群のRNA-seq 解析
3. 学会等名 令和2年度 日本植物病理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今野沙弥香・近藤洋平・柴田裕介・近藤竜彦・田中愛子・佐藤育男・千葉壮太郎・景山幸二・川北一人・竹本大吾
2. 発表標題 ベンサミアナのPhytophthora属菌に対する非宿主抵抗性に必須な分泌ペプチドSAR8.2の機能解析
3. 学会等名 令和元年度植物感染生理談話会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木捺美・辰巳絢音・小鹿一・Maurizio Camagna・Mohammad Shahjahan Monjil・松田健太郎・加藤大明・寺内良平・佐藤育男・千葉壮太郎・川北一人・竹本大吾
2. 発表標題 ジャガイモ疫病菌由来のエイコサペンタエン酸は植物病原性卵菌に共通するPAMPsである
3. 学会等名 令和元年度日本植物病理学会 関西部会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Imano S., Kondou Y., Shibata Y., Kondo T., Tanaka A., Sato I., Chiba S., Kageyama K., Kawakita K. and Takemoto D.
2. 発表標題 Solanaceae-specific secretory peptide SAR8.2m is essential for non-host resistance of <i>Nicotiana benthamiana</i> to a variety of taxonomically distant <i>Phytophthora</i> species.
3. 学会等名 XVIII International Congress on Molecular Plant-Microbe Interactions (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mizuno, Y., Shibata, Y., Ohtsu, M., Ojika, M., Sato, I., Chiba, S., Kawakita, K. and Takemoto, D.
2. 発表標題 Involvement of factors for Nucleo-cytoplasmic transport of <i>Nicotiana benthamiana</i> in resistance to <i>Phytophthora infestans</i> .
3. 学会等名 Plant Biology 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今野沙弥香・近藤洋平・宮崎江里・小嶋博樹・水谷安希・柴田裕介・近藤竜彦・佐藤育男・千葉壮太郎・川北一人・竹本大吾
2. 発表標題 ベンサミアナの分泌性ペプチドSAR8.2mは種々のPhytophthora属菌への非宿主抵抗性に関与する
3. 学会等名 平成30年度 植物感染生理談話会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今野沙弥香・近藤洋平・柴田裕介・近藤竜彦・佐藤育男・千葉壮太郎・景山幸二・川北一人・竹本大吾
2. 発表標題 ベンサミアナの分泌ペプチドSAR8.2は遠縁な種々のPhytophthora属菌に対する非宿主抵抗性に関与する
3. 学会等名 平成30年度 日本植物病理学会 関西部会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Soriya Rin・Maurizio Camagna・佐藤育男・千葉壮太郎・川北一人・竹本大吾
2. 発表標題 ベンサミアナのファイトアレキシン前駆体の合成に関するメバロン酸経路酵素遺伝子群の網羅的発現解析
3. 学会等名 平成30年度 日本植物病理学会 関西部会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今野沙弥香・近藤洋平・宮崎江里・小嶋博樹・水谷安希・柴田裕介・近藤竜彦・佐藤育男・千葉壮太郎・川北一人・竹本大吾
2. 発表標題 ベンサミアナの分泌性ペプチドSAR8.2mはジャガイモ疫病菌への抵抗性に必須である
3. 学会等名 第60回 日本植物生理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野邑里・今野沙弥香・Maurizio Camagna・森 仁志・鈴木孝征・田中愛子・佐藤育男・千葉壮太郎・川北一人・竹本大吾
2. 発表標題 ベンサミアナのジャガイモ疫病菌抵抗性における核膜孔を介した物質輸送に関する Exportinの機能解析
3. 学会等名 平成31年度 日本植物病理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今野沙弥香・近藤洋平・柴田裕介・近藤竜彦・田中愛子・佐藤育男・千葉壮太郎・景山幸二・川北一人・竹本大吾
2. 発表標題 ベンサミアナの疫病菌抵抗性に必須な分泌ペプチドSAR8.2mはR1-Avr1相互作用による過敏感細胞死誘導に関与しない
3. 学会等名 平成31年度 日本植物病理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野邑里・佐藤育男・千葉壮太郎・川北一人・竹本大吾
2. 発表標題 ベンサミアナのNbXP01AとNbXP02はジャガイモ疫病菌感染時の病害抵抗性誘導を対照的に制御する
3. 学会等名 平成29年度 日本植物病理学会関西西部会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹本大吾
2. 発表標題 パレイシヨおよびナス科植物の疫病菌抵抗性に機能する遺伝子群の機能解析
3. 学会等名 2017年度次世代パレイシヨセミナー
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 今野沙弥香・近藤洋平・宮崎江里・小嶋博樹・水谷安希・柴田裕介・近藤竜彦・佐藤育男・千葉壮太郎・川北一人・竹本大吾
2. 発表標題 ベンサミアナの分泌ペプチドSAR8.2は種々のPhytophthora属菌に対する非宿主抵抗性に必須である
3. 学会等名 平成30年度 日本植物病理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今野沙弥香・近藤洋平・宮崎江里・小嶋博樹・水谷安希・柴田裕介・近藤竜彦・佐藤育男・千葉壮太郎・川北一人・竹本大吾
2. 発表標題 ベンサミアナの分泌ペプチドSAR8.2mはジャガイモ疫病菌への抵抗性に必須である
3. 学会等名 第59回 日本植物生理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水野邑里・柴田裕介・大津美奈・小嶋 一・佐藤育男・千葉壮太郎・川北一人・竹本大吾
2. 発表標題 ベンサミアナの核膜孔を介した物質輸送に関与する因子のジャガイモ疫病菌抵抗性における機能解析
3. 学会等名 第59回 日本植物生理学会年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本植物病理学会	4. 発行年 2019年
2. 出版社 講談社	5. 総ページ数 264
3. 書名 植物たちの戦争 病原体との5億年サバイバルレース	

〔産業財産権〕

〔その他〕

名古屋大学大学院生命農学研究科 植物病理学研究室ホームページ  
http://nagoyaplantpathol.wixsite.com/nagoya-plant-pathol/blank-1

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	近藤 竜彦  (Kondo Tatsuhiko)  (30362289)	名古屋大学・生命農学研究科・講師   (13901)	

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
---------	---------