

## 植物病害に対する微生物農薬の研究開発の現状および今後の展望

### Present State and Perspectives on the Development of Biopesticides against Plant Diseases

吉 田 重 信<sup>1\*</sup>  
SHIGENOBU YOSHIDA<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター

〒 305-8666 茨城県つくば市観音台 2-1-18

\* TEL: 029-838-8829 FAX: 029-838-8829

\* E-mail: yoshige@affrc.go.jp

<sup>1</sup> Central Region Agricultural Research Center, NARO, 2-1-18, Kan-nondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8666, Japan

キーワード：微生物殺菌剤，土壤病害，ナス科作物，昆虫病原微生物，ヘソディム

Key words: Biopesticide, Soilborne diseases, Solanaceae plants, Entomopathogenic microorganisms, HeSoDiM

(原稿受付 2017年3月19日 / 原稿受理 2017年4月11日)

#### 1. はじめに

微生物農薬（ここでは微生物殺菌剤を指す）を活用した植物病害の生物的防除は、近年問題となっている薬剤耐性病原菌の出現や農薬残留の問題等を解決するための有力な病害防除手段として注目され、そのさらなる研究および製剤開発への期待が世界的規模で高まっており、研究開発競争も激化している。その一方で、我が国の近年の研究開発のスピードは停滞気味である。しかし、生産現場からの微生物農薬の開発への期待が大きいことは、我が国も同様であり、例えば、現場からの開発ニーズが高く、難防除病害として知られている土壌伝染性病害（土壌病害）に対する開発を強化することなどにより、現場のニーズに符合した新たな農薬開発が行われる「伸び代」は大きいと考える。さらに、近年の我が国の農業においては、農業従事者の高齢化等に対応するための省力化・低コスト化技術の開発がより一層求められており、これに対応するために、より幅広いスペクトラムを持つ微生物農薬を開発する必要性も高まってきている。

こうした背景のもと、筆者らの研究グループは、一般に防除が困難とされ、多くの現場で被害が深刻となっているナス科野菜の土壌病害であるトマトおよびナスの主要土壌病害を対象に、将来的に微生物農薬として開発できる微生物を選抜し、その効果的な処理法の開発を目指す研究を、農林水産省のプロジェクト研究「低投入型農業のための生物農薬等新資材及びその利用技術の開発」（平成23～25年度）の中で行った。この中で、元来害虫に対し殺虫活性を示すことが知られている幾つかの微生物が、土壌病害に対しても実用性の高い抑制活性を持つことを見出し、虫害と病害の両方への効果（デュアルコントロール効果）を示す微生物として活用出来る可能性を明らかにした。

本稿では、上述のプロジェクト研究で得られた成果や推定される発病抑制機構等について、微生物農薬開発の現状および本プロジェクト研究の背景とともに概説する。さらにこれら微生物の効果的な活用への提言および実用化に向けた展望等についても論じたい。

#### 2. 微生物農薬開発の現状

米国のアグリビジネスコンサルタント会社が2013年に発行した世界の微生物農薬市場に関するレポートでは、1) 近年微生物農薬に対してパラダイムシフトが起きている、2) 2007～2012年までの5年間で市場規模が27%拡大している、3) 微生物農薬の市場規模は2020年まで同程度拡大することが予想される、ということが報告されている<sup>3)</sup>。この背景には、EUにおいて2009年に公布された「農薬指令」（農薬の安全使用を強化すると同時に、農薬使用量の削減や無使用を助長させる法律を、加盟国が早急に制定することを定めた枠組指令）に代表されるような従来の化学農薬の使用の低減を目指す動きが世界的に起きていることが要因として挙げられる<sup>4)</sup>。こうした市場規模の拡大の動きに対応する形で、世界的にも有名な農薬メーカーが、微生物農薬開発部門の新設や強化に乗り出し、具体的な動きとしては、企業の統合・事業再編等が活発に行われている状況にある。

このようにグローバルな規模で微生物農薬の開発競争が激化している中、我が国における微生物農薬市場は、出荷金額ベースで見ると、2010年をピークにその後横ばいあるいは漸減の傾向で、それに伴い研究開発およびその開発技術の普及も、若干停滞傾向にある<sup>4)</sup>。我が国での利用および普及が拡大しない原因には、様々なことが考えられるが、その中で研究開発側に起因する原因の一つに、研究開発のニーズとシーズの乖離という問題が

あるのではないかと考える。すなわち、現場で活用される新たな微生物農薬の利用技術を効率的に開発するためには、研究者自らがユーザーのニーズをより積極的に収集し的確に把握して、それらに沿った技術シーズを蓄積・発信することが今後はより一層大切になってくると考える。例えば、平成25農業年度における微生物農薬の出荷額を対象病害別に見ると、水稻種子消毒用途の製剤が42%、野菜類地上部病害用途の製剤が39%であるのに対し、生産現場で深刻な問題を引き起こし、微生物農薬に対する開発および利用ニーズが高い野菜類の土壤病害用途の製剤はわずか19%しかない状況である<sup>9)</sup>。難防除病害が多い土壤病害の対策には、土壌くん蒸剤の使用といった環境的、労力的負担の大きい手段が一般に行われており、それらの負担を軽減できる微生物農薬等を用いた新たな防除技術の開発に現場では期待を寄せている。こうした生産現場での減化学農薬による作物生産を加速する動きへの対応や、未だ利用する製剤が少ない土壤病害に対応する微生物農薬の開発に力点を置くこと等により、微生物農薬の種類増加や国内の微生物農薬市場はさらに拡大する可能性がある。

### 3. *Bacillus thuringiensis* によるトマト青枯病の 発病抑制効果

以上の背景を踏まえ、筆者らは、農林水産省のプロジェクト研究「低投入型農業のための生物農薬等新資材及びその利用技術の開発」(平成23~25年度)の中で、新たな土壤病害用途の微生物農薬の開発に資する研究に取り組んだ。具体的には、一般に防除が困難とされ、多くの現場で被害が深刻となっているナス科野菜の土壤伝染性病害、すなわちトマトおよびナスの青枯病、トマト萎凋病および根腐萎凋病を対象に将来的に微生物農薬として開発できる微生物を選抜し、その効果的な処理法を開発することを目標に研究開発を行った。

本プロジェクト研究を行うに当たっては、これまでの微生物農薬の研究開発において明らかとなってきた問題点と課題<sup>12,17)</sup>等を踏まえ、①土壤病害に対して効果的であると考えられる「植物の抵抗力を高度に発揮させる新たな微生物」を開発ターゲットとする、②製造コストがこれまでの微生物農薬開発の大きな制限要因の一つとなっているため、「低コストの製剤開発に繋がりうる微生物」を開発のターゲットとする、③微生物農薬は必ずしも万能ではなく、微生物農薬の効果の信頼性向上と利用拡大を図るために、「その利用により効果が期待出来る利用場面と期待できない利用場面」を明らかにする、といった3つの研究戦略に基づいて取り組むこととし、それらの観点から、*Bacillus* 属細菌を最適なエージェン候補種の一つと定めるのが、限られた研究期間で目標を達成する上では望ましいと考えられた。本属細菌を用いた生物防除研究の歴史は長く、現在の多くの微生物農薬の原体微生物としても活用されており、エージェンツの種類としての目新しさはないものの、その優れた保存性や耐久性とともに、今日までの開発および利用の実績や大量製造のプラントも確立している。こうしたことから、本属細菌を選抜対象に含めることで、最終製品に繋がる実用可能性の高い有望株を見出す上で有利になると

判断した。また、本属細菌がナス科植物を含めた各種植物の病害抵抗性を誘導するとする報告も知られており<sup>2,6,8,18)</sup>、本研究の対象病害に対しても有望なエージェンツが存在しうることが考えられた。こうした中、岐阜大学のグループでは、昆虫の病原細菌として知られている *Bacillus thuringiensis* がトマト青枯病に対して発病抑制効果を持つことを明らかにし、さらにその効果がトマトの抵抗性の誘導に基づく可能性を見出した<sup>6,11)</sup>。*B. thuringiensis* の病害防除への応用の可能性は Zhou et al.<sup>19)</sup> により報告されているが、本細菌種の抵抗性誘導に基づく発病抑制の効果の報告は無く、難防除の土壤病害に対する初めての知見として微生物農薬開発のための一つのブレイクスルーとなりうると考えられたため、プロジェクト研究でその可能性を検討することとした。

まず、複数の血清型で構成された *B. thuringiensis* 菌株を用いて、青枯病に対する発病抑制効果をポット苗のトマトで調べた結果、対照苗の発病株割合が100%の条件下で、これらの菌株を処理した区の発病株割合が5~24%と有意に低下したとともに、これらの処理苗茎部における青枯病菌の菌密度が、対照と比べ約1オーダー以上低下していたことを明らかにした。また、供試菌株の青枯病菌に対する抗菌活性はなく、RT-PCR法を用いて処理苗トマトの防御反応の指標となる各種防御関連遺伝子の発現を調べた結果では、複数の遺伝子の発現が見られたことから、これらの菌株が植物側に病原菌に対する抵抗性を付与することで発病が抑制されるメカニズムである可能性を明らかにした。これらの供試菌株は、殺虫タンパク(Cryタンパク質)を生産することも知られていることから、デュアルコントロールエージェンツとして病害と害虫の両方の防除に有効であると考えられた。そこで、特に有望と考えられた *B. thuringiensis* serovar sotto RG6-1 株または serovar fukuokaensis B88-82 株を対象に、より効果的な病害防除のための処理条件およびより詳細な抑制メカニズム、さらには圃場での発病抑制効果について検討した。

#### 3.1 ポット試験による基本的処理条件および発病メカニズムの解明

得られた予備的知見を基に、ポット試験により *B. thuringiensis* の本病防除における効果的な処理条件や抑制メカニズムの解明を行った。処理条件の検討の結果、①本菌株の抑制活性は、本菌の液体培養後の菌体および培養上清の処理でもあること、②処理タイミングは、苗が青枯病菌に遭遇(感染)する前に処理することで効果があること、③処理部位は、地上部処理では効果に振れがある一方で、根部への灌注処理で安定した効果があること等を明らかにした。また、根部に本菌株等の発病抑制活性を示した *B. thuringiensis* の培養液を処理したトマト苗では、サリチル酸誘導性感染特異的タンパク質(PR)遺伝子-1(PR-1)の発現が処理48時間後の葉でみられ、その発現は処理後10日目まで確認された(図1)。さらに、苗の部位別にPR-1の発現を詳細に解析した結果、側根での発現は誘導されなかったが、葉、茎、主根ではその発現が顕著に誘導され、本菌株の根部への施用により植物体全身で防御応答が活性化されている可能性が示された<sup>6)</sup>。さらに同菌株の処理苗の主根と側根

の発現遺伝子の網羅的解析によっても、主根特異的な発現遺伝子として、PR-1 や PR-2 等のサリチル酸誘導性防御関連遺伝子の発現が活性化される一方で、ジャスモン酸誘導性防御関連遺伝子等の発現は抑制されることも確認された<sup>11)</sup>。これらの結果から、*B. thuringiensis* を根部施用したトマトでは、側根部より侵入した青枯病菌の増殖および移行が、主根および茎組織において誘導される防御応答により阻害され、発病が抑制されることが考えられた<sup>15,16)</sup>。

### 3.2 圃場における発病抑制効果

以上の処理条件等を踏まえ、実際の栽培圃場における発病抑制効果について、複数年にかけて検討を行った。すなわち、定植トマト苗のポットに RG6-1 株の菌体懸濁液を一定量灌注し、その5日後のタイミングで発生圃場に定植し、その後の発病抑制効果を評価した。その結果、1年目の試験では、対照区の発病程度が中程度の発生条件において、定植後約1ヶ月程度までは発病抑制効果があったものの、その後は防除効果が低下することがわかり、効果を持続させるための更なる検討が必要と考えられた。そこで、ポット試験での予備検討の結果を踏まえ、圃場定植後2週間毎に本菌株の細胞懸濁液の灌注

処理を行い、その発病抑制効果を検証した。その結果、圃場の発病抑制効果の持続が確認され、例えば、夏秋栽培の少または中程度の発生圃場では、最長で定植約5ヵ月後まで発病抑制効果が確認された<sup>9)</sup> (図2)。こうした本菌株の防除効果は、基本的に複数の圃場および複数の試験年で確認されたことから、本菌株は青枯病に対する生物的防除に活用する上で有望であると考えられた。しかしながら、その一方で、本菌株の防除効果は、甚発生・多発生の発病条件下では十分に発揮されないことも明らかとなった。圃場の無処理区の発病程度と本菌株処理による発病抑制活性(防除値)との関係性をプロットしたところ、50以上の防除値を期待する場合には、無処理区の発病度がおよそ40以上の程度となる圃場では、本菌株の効果はあまり期待できない可能性があることも分かってきた(図3)。こうした効果の限界の程度を科学的に明らかにし、しっかりと情報として示すことが、生産現場での効果の期待できない場面での誤った使用の回避や、本菌株の安定的な利用技術の更なる開発につなげられるものと考えられる。

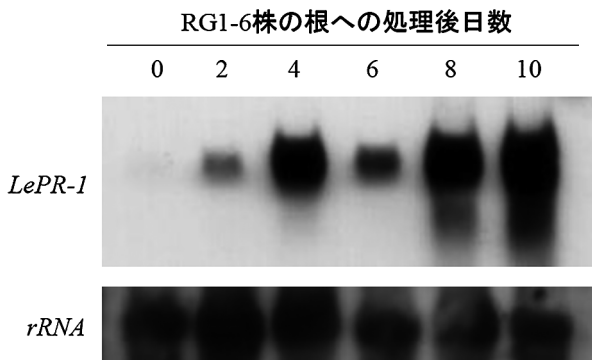


図1. 根部にRG-1株を処理したトマト苗の葉でのサリチル酸誘導性防御関連遺伝子(LePR-1)の発現状態(ノーザン解析)(ナス科作物の土壌病害に対する*Bacillus*属等微生物の効果的活用マニュアルより抜粋)。

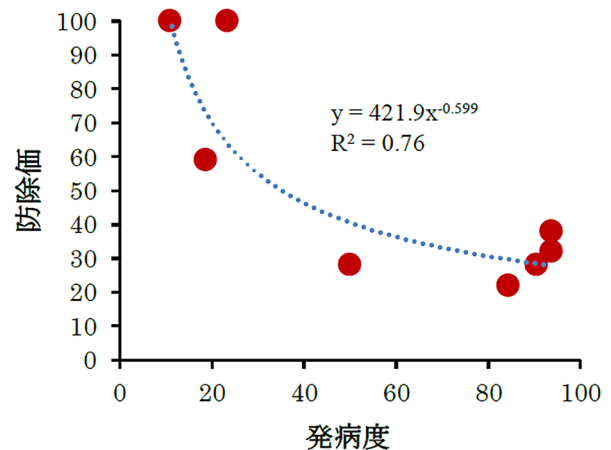


図3. 圃場試験区での青枯病の無処理区の発病度とRG1-6株処理による防除効果(防除値)との関係(ナス科作物の土壌病害に対する*Bacillus*属等微生物の効果的活用マニュアルより抜粋)。

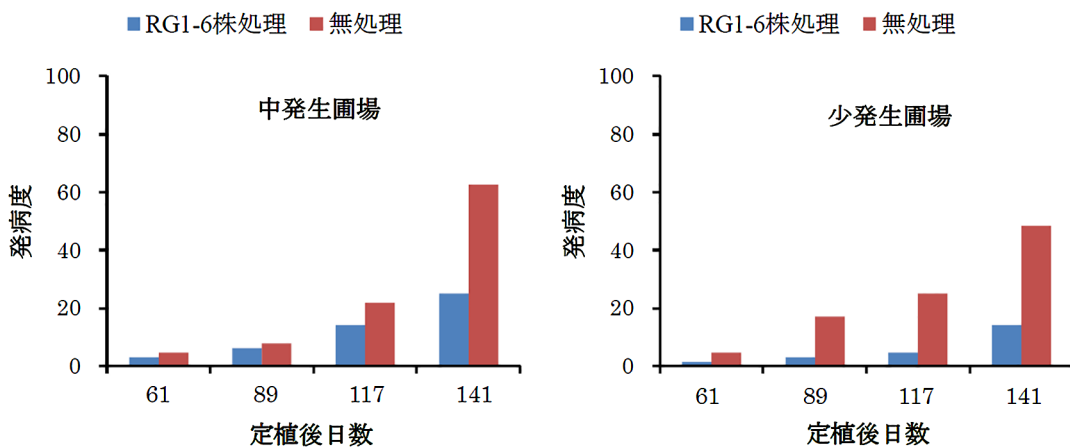


図2. 圃場におけるRG1-6株の処理による青枯病発病抑制効果(ナス科作物の土壌病害に対する*Bacillus*属等微生物の効果的活用マニュアルより抜粋)。



#### 4. *Paecilomyces tenuipes* 製剤を用いたトマト土壌病害の防除効果

上述のとおり、プロジェクト研究では、昆虫病原細菌として知られる *Bacillus thuringiensis* の土壌病害への活用の可能性の検討を先行的に進めたが、その過程で、他の昆虫病原微生物の植物病害に対する活用の可能性についても検討してみる価値があると考えた。そこで、複数の農業害虫用に開発された微生物農薬製剤を供試して、青枯病に対する抑制効果をポットレベルで検討した結果、複数の製剤で抑制活性があることを見出し、特に *Paecilomyces tenuipes* 製剤では、優れた抑制効果が確認された。本製剤は、1990年代前半に昆虫病原性糸状菌として国内の土壌から分離された *P. tenuipes* T1株を有効成分とした微生物殺虫剤であり、T1株の持つ優れた殺虫活性および殺虫スペクトラムにより、住友化学(株)が難防除害虫のコナジラミ類を標的に本菌株を有効成分とする製剤を開発し、現在は「ゴツッA」という商品名で上市・販売されている<sup>7)</sup>。筆者らの予備検討の結果、本剤が従来の害虫用途だけでなく、青枯病等の土壌病害に対しても活用出来る可能性が見えてきたため、本剤の発病抑制効果を発揮するための基本的な処理条件、抑制メカニズムの解明および圃場での有効性について検討を行った。

##### 4.1 ポット試験による基本的処理条件および発病メカニズムの解明

野菜類用途における *Paecilomyces* 製剤の登録時に定められた使用濃度は、500倍から1000倍液となっていることから、青枯病菌に感染する前のトマトポット苗に対し、1000倍希釈液を土壌へ灌注処理あるいは500倍希釈液を茎葉部に散布処理した場合の青枯病の発病抑制効果を調べた。その結果、本剤は土壌への灌注処理では有意な発病抑制効果を示すことが確認された。その一方で、散布処理した場合は、土壌灌注と同程度の抑制効果を示す場合も見られたが、試験反復間で効果が変動し、必ずしも安定的ではなかった。このことから、青枯病に

対しては、本剤を土壌に灌注処理することで、安定的な防除効果が発揮されるものと考えられた。次に、原体菌であるT1株を用いて、その抑制メカニズムについて検討した結果、本菌株の培養上清は青枯病菌に対して明瞭な増殖抑制活性を示さないこと、培養上清をトマト主根に処理し、定量PCR法により関連遺伝子の発現を解析したところ、サリチル酸誘導性防御関連遺伝子 *PR-1* や *PR-2* の発現が明らかに誘導されること等が明らかとなった<sup>10)</sup>(図4)。このことから、*Paecilomyces* 製剤による青枯病の発病抑制効果は、上述の *B. thuringiensis* と同様、トマトの防御システムの活性化に基づいている可能性が示唆された。

##### 4.2 圃場での防除効果

次に、圃場での防除効果を検討した。ポット試験の結果等を踏まえ、定植用のトマト苗ポットに本製剤の500倍希釈液を一定量灌注し、5日後に圃場に定植した。また、上述の *B. thuringiensis* の場合と同様に、効果の持続を図る必要も考えられたため、約2週間毎の追加灌注処理の区も設け、これらの処理による抑制効果を複数圃場および複数年の試験年にわたって検討した。その結果、本製剤の処理による防除効果が複数の圃場で確認され、定植前の灌注だけの処理に比べ2週間毎の追加灌注処理によって安定的に防除できることが確認された。すなわち、トマトの抑制栽培の圃場における試験では、本病の発生程度が中～多程度の条件において、防除価88(1年目)、57(2年目)の抑制効果が見られた。また、夏秋栽培圃場における試験では、対照の無処理区の発病度がそれぞれ多発生(定植約2ヶ月後の無処理区での発病度が60未満)、甚発生(定植約2ヶ月後の無処理区での発病度が60以上)の発病条件下において、定植75日後で防除価63、47の抑制効果が見られた(図5)。以上のことから、本 *Paecilomyces* 製剤がトマト青枯病に対し、圃場においても実用性の高い発病抑制効果を持つことが示唆された。

なお、検討の事例数は限られるが、*Paecilomyces* 製剤の抑制効果は、青枯病以外にトマト萎凋病に対しても確認されている。すなわち、上述と同様に本製剤を処理し

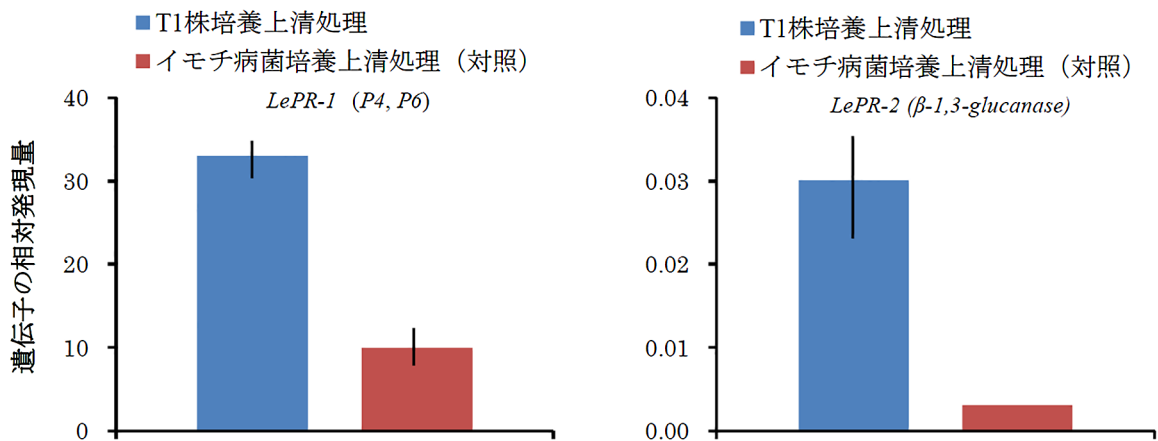


図4. *Paecilomyces tenuipes* T1株の培養上清を処理したトマト苗主根におけるサリチル酸誘導性防御関連遺伝子 (*LePR-1*, *LePR-2*) の発現状態 (リアルタイム RT-PCR による解析, バーは標準誤差) (ナス科作物の土壌病害に対する *Bacillus* 属等微生物の効果的活用マニュアルより抜粋)。



たトマト苗を萎凋病汚染圃場で栽培した結果、定植 81 日後の無処理区の発病程度が少発生の条件下において、防除価 43 程度の効果が確認されている。今後は、こうした検討・実証事例を積み重ねて、地上部病害も含め本製剤の適用可能な作物病害の範囲を明らかにすることが、本製剤の利用拡大には必要である。

5. 土壌病害の生物的防除を成功させるための利用法

以上の通り、被害が深刻で防除が非常に困難とされるトマト青枯病に対して、*B. thuringiensis* および *Paecilomyces* 製剤の各菌株が発病抑制効果を持つことを明らかにした。本病に対しては、今日までに多くの研究者によって様々な有望微生物株が見出されてきている。しかしながら、微生物農薬として最終的な実用化にまで至った種類はごくわずかである。この事実は、いかに本病害の生物的防除が困難であるかを示すものでもあるが、本病害に対しては、今後は如何に効き目を出させるか、という利用場面での工夫作りの戦略がより大切と

なってくるのではないかと考える。相野<sup>1)</sup>は、生物的防除の成功には「いかにうまく効かせるかを考える姿勢が必要」であることを述べている。こうした観点で、今回明らかにした菌株の利用場面を考えてみた場合、図 3 で例示したとおり、両微生物株の防除効果の程度は圃場の発病程度によって異なり、甚発生圃場では期待される防除効果が発揮されない反面、少程度あるいは中程度の発生圃場では期待される防除効果が発揮されると考えられる。すなわち、栽培前に対象圃場の発生のしやすさの程度（発病ポテンシャル）を予め診断・評価して、発病ポテンシャルが低いと診断された圃場だけをターゲットに両微生物株の製剤を用いることで、両菌株による効果的な防除が可能となることが期待できる。なお、こうした圃場の発病ポテンシャルの診断・評価結果に応じて病害の対策（管理）を行おうとする考え方は、ヒトの健康診断に基づく健康管理に通じることから、筆者らはその概念を「健康診断の発想に基づくに基づく土壌病害管理」の英語表現（Health checkup based Soil-borne Disease Management）の頭文字を取って「ヘソディム

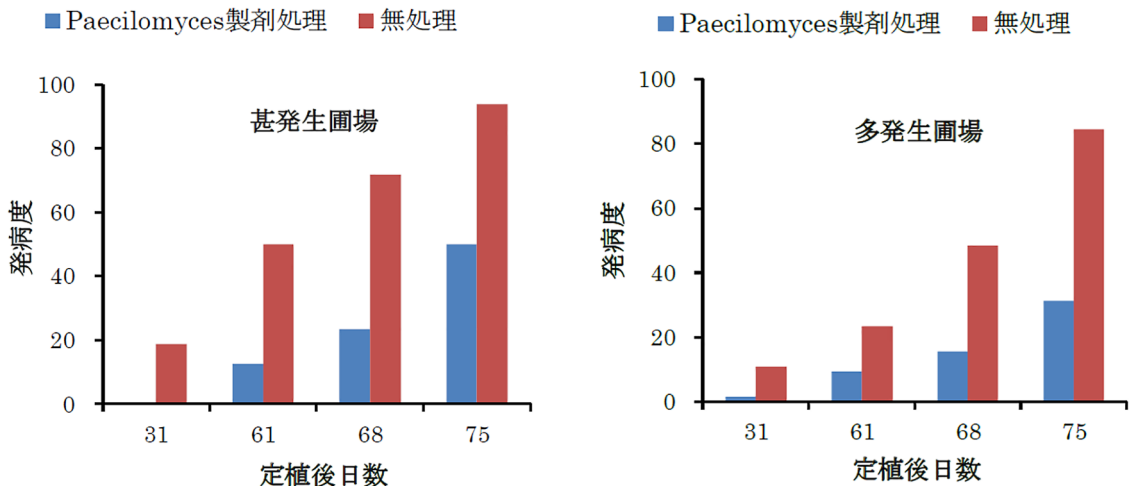


図 5. 圃場における *Paecilomyces* 製剤の処理による青枯病発病抑制効果（ナス科作物の土壌病害に対する *Bacillus* 属等微生物の効果的活用マニュアルより抜粋）。

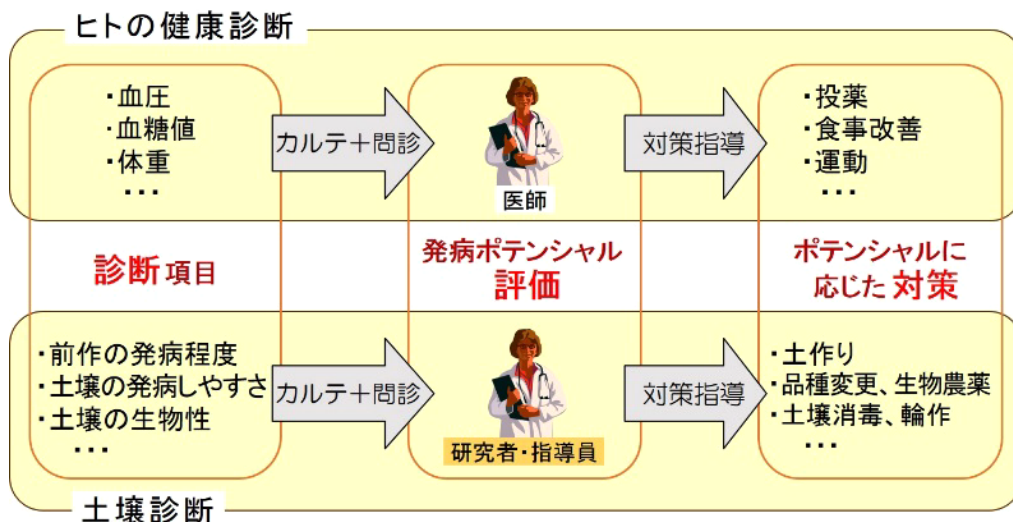


図 6. ヘソディムの概念図。

(HeSoDiM)」と名付けており<sup>13)</sup>(図6)、本病に対する実践マニュアルも開発されている。すなわち、今回見出した微生物株をヘソディムの概念に基づき活用することで、微生物株の持つポテンシャルを最大限有効に発揮させられる可能性がある。また、実際の栽培現場での使い方の別のアイデアとして、スポット的に効果を期待する使い方も可能ではないかと考える。トマト青枯病は、通常は夏場の暑い時期に発生する病害として知られており、その時期以外に栽培・収穫する作型では、これまでは本病の対策にさほど気を使う必要はなかった。しかし、近年の地球温暖化の急速な進行等に伴い、こうした作型でも発生が全国的に増加している傾向にあるとされている。今回見出した微生物株の防除効果は、追加処理を行わない場合には、最大約1ヶ月程度であると考えられるが、そうした効果の持続性がない場合でも、例えば、これらの作型において「残暑の厳しい作り始めの最初の時期だけ発病を回避すれば、その後は気温が下がってきて発病しにくくなるので乗り切れそう」とか、「あと1ヵ月追加で発病を抑えられれば、最終的な収量・収益が確保できる」等の場面で利用することも可能となると考える。土壌病害に対する防除の場合、一般的に栽培途中で請じられる手段は限られている。今回見出したこれらの微生物株を上述のような場面で活用することで、植物体に病害抵抗性がスポット的に付与され、トマト等の安定的な栽培に貢献できるのではないかと考えられる。

## 6. おわりに

本稿では、殺虫活性を持つ微生物株による病害抑制の事例を紹介した。今回取り上げた *B. thuringiensis* および *Paecilomyces* 製剤の菌株は、圃場においても実用レ

ベルの抑制効果を持つことが明らかとなり、今後はそれらを活用した病害用途の農薬開発への展開が期待できる。害虫と病害の両方に効果を示す微生物農薬は、作物生産における低コスト化・省力化にも役立つことから、今回紹介した研究成果を契機に、今後更なる開発が加速化され、利用の普及拡大に繋がっていくことに期待したい。なお、本稿で紹介した研究成果をはじめとするプロジェクト研究で得られた成果については、「ナス科作物の土壌病害に対する *Bacillus* 属等微生物の効果的活用マニュアル」(図7)としてマニュアル化し、Webで公開されている([http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/bacillus\\_agent/](http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/bacillus_agent/))。

## 謝 辞

本稿で紹介した研究は、農林水産省プロジェクト研究「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のためのプロジェクト：低投入型農業のための生物農薬等新資材及びその利用技術の開発」の中で実施したものであり、以下の各機関の研究参加者が全員一丸となって取り組んだものである。また、本プロジェクト研究にご協力頂きました関係企業、並びに多くの関係者の方々に心よりお礼申し上げます。

プロジェクト研究参加者：東京農工大学、有江力；岐阜大学、百町満朗・清水将文；東北大学、斉藤雅典・高橋英樹・安藤杉尋；奈良県農業研究開発センター、平山喜彦・浅野峻介；兵庫県立農林水産技術総合センター、岩本豊・相野公孝・松浦克成；埼玉県農林総合研究センター、庄司俊彦・植竹恒夫・宇賀博之・酒井和彦；山形県農業総合研究センター園芸試験場、後藤新一・安藤隆之；九州大学、久原哲・田代康介；(旧)農業環境技術研究所、吉田重信・佐藤育男・對馬誠也

## 文 献

- 1) 相野公孝. 1999. 細菌を用いた病害防除の歩みと展望. バイオコントロール研究会レポート. 6: 29-36.
- 2) Bargabus, R.L., et al. 2002. Characterization of systemic resistance in sugar beet elicited by a non-pathogenic, phyllosphere-colonizing *Bacillus mycoides*, biological control agent. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 61: 289-298.
- 3) CPL Business Consultants. 2015. Biopesticides Worldwide Market 2013. (<http://www.cplconsult.com/biopesticides-market-studies>)
- 4) 藤田俊一. 2015. 生物農薬この20年. 日本植物防疫協会シンポジウム「生物農薬—この20年の歩みと今後の展望」講演要旨. 1-12.
- 5) 後藤新一, 他. 2014. *Bacillus thuringiensis* および数種微生物資材によるトマト青枯病防除効果. *日植病報.* 80: 67.
- 6) Hyakumachi, M., et al. 2013. *Bacillus thuringiensis* suppresses bacterial wilt disease caused by *Ralstonia solanacearum* with systemic induction of defense-related gene expression in tomato. *Microbes Environ.* 28: 128-134.
- 7) 丸山 威, 他. 2009. 新規微生物殺虫剤ゴッソ A® の開発. 住友化学. 2009 (1): 24-33.
- 8) Murphy, J.F., et al. 2003. Rhizobacteria-mediated growth promotion of tomato leads to protection against *Cucumber mosaic virus*. *Phytopathology.* 93: 1301-1307.
- 9) 日本植物防疫協会. 2014. 農薬要覧 2014. 87-88.
- 10) 高橋英樹, 他. 2014. 昆虫病原性糸状菌 *Paecilomyces tenuipes* および *Beauveria bassiana* の培養濾液を施用した

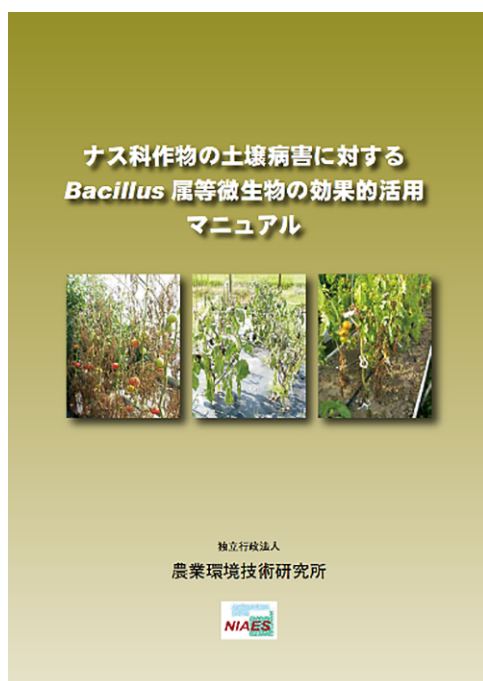


図7. マニュアルの表紙。

- トマトにおける青枯病抑制効果と防御応答遺伝子発現の解析. 日植病報. 80: 66.
- 11) Takahashi, H., et al. 2014. Transcriptional profile of tomato roots exhibiting *Bacillus thuringiensis*-induced resistance to *Ralstonia solanacearum*. *Plant Cell Reports*. 33: 99–110.
  - 12) 對馬誠也. 2012. 生物農薬が直面している問題点と今後の展開. バイオコントロール研究会レポート. 12: 1–6.
  - 13) Tsushima, S., et al. 2012. A new health-checkup based soil-borne disease management (HeSoDiM) and its use—Introduction of MAFF project (2011–2013)—. *FFTC-TUA International Seminar (Program and Papers)*, 204.
  - 14) 植月猷二. 2010. 立法情報 EU 農薬関係法の制定. 外国の立法. 月刊版. 242: 6–7.
  - 15) 和田拓己, 他. 2014. *Bacillus thuringiensis* を施用したトマト主根と側根組織における青枯病細菌の分布と網羅的遺伝子発現解析. 日植病報. 80: 67.
  - 16) Yoshida, S., et al. 2013. Transcriptional profile of tomato roots exhibiting *Bacillus thuringiensis*-induced resistance to *Ralstonia solanacearum*. *IOBC-WPRS Bulletin*. 89: 73–77.
  - 17) 吉田重信, 他. 2013. 植物病害に対する微生物農薬の研究開発における課題と展望. *化学と生物*. 51: 541–547.
  - 18) Zhang, S., et al. 2004. Tobacco growth enhancement and blue mold protection by rhizobacteria: Relationship between plant growth promotion and systemic disease protection by PGPR strain 90–166. *Plant Soil*. 262: 277–288.
  - 19) Zhou, Y., et al. 2008. Novel roles of *Bacillus thuringiensis* to control plant diseases. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 80: 563–572.