【解説】

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

吉田重信^{*1}， 對馬誠也^{*2}

植物病原微生物に対し抗生・寄生・溶菌・競合などの機能をもつ微生物を利用した植物病害の防除は生物的防除（バイオコントロール）と呼ばれ，そうした働きをもつ微生物のいくつかは実際に微生物農薬（本稿では，微生物殺菌剤のことを指す）として上市され，生産現場で利用されている．生物的防除は環境保全型農業の実現やIPM（総合的病害虫・雑草管理：Integrated Pest Management）の推進に役立つ防除法であるため，微生物農薬は今後さらに普及されることが期待される．しかしながら，これまでに生物的防除については多くの研究例があるにもかかわらず，微生物農薬として商品化までに至ったものは少なく，微生物農薬の開発や利用拡大には技術上あるいは普及上の問題点や課題が見えてきている．本稿では，植物病害に対する微生物農薬の開発の現状とともに，研究開発上の課題と今後の展開方向について概説する．

植物病害用微生物農薬の開発の現状

わが国最初の植物病害用の微生物農薬は，1954年に

開発されたトリコデルマ粉剤であるが，それ以降は特に1980年代後半から1990年代を中心に研究開発が盛んに行われ，2012年3月時点では25剤もの微生物農薬が登録されている状況である⁽¹⁾（表1）．また，出荷額ベースで見ると，化学合成農薬を含めた殺菌剤全体が2010年（農業年度）で約747億円となっており近年はほぼ横ばいあるいはやや減少傾向で推移しているのに対し，微生物農薬の出荷額は，2006年で約6.3億円，2008年で約7.9億円，2010年で約8.5億円と，金額規模そのものは小さいものの着実に増加している^(1,2)（図1）．この背景には，環境保全型農業やIPMに対する生産者や消費者の志向の高まり，さらには政策的な後押しが考えられ⁽³⁾，今後も微生物農薬の市場がさらに拡大しうることが予想される．また，開発コストの観点で見ても，微生物農薬は化学農薬と比べ安価でかつ短期間で開発ができるというメリット⁽¹⁾も，市場割合の拡大に貢献しうると考えられる．なお，現在登録されている微生物農薬のなかで，出荷額が1億円を超えるものは，野菜類のうどんこ病や灰色かび病などの植物の地上部病害を対象とした*Bacillus subtilis* 製剤（商品名，ボトキラー），露地野菜・パレイショの軟腐病などを対象とした非病原性 *Er-*

Current Issues and Perspectives on Development of Biopesticides against Plant Diseases

Shigenobu YOSHIDA, Seiya TSUSHIMA, ^{*1}農業環境技術研究所 生物生態機能研究領域, ^{*2}農業環境技術研究所 農業環境インベントリーセンター

表1 ■登録されている微生物殺菌剤（2012年3月時点、安井⁽¹⁾を改変）

商品名	有効成分	登録年	登録会社名
バクテロース	<i>Agrobacterium radiobacter</i> strain 84	1989	日本農薬
バイオキパー水和剤	<i>Erwinia carotovora</i> CGE234M403	1997	セントラル硝子 日産化学
ボトキラー水和剤	<i>Bacillus subtilis</i>	1998	出光興産 日本農薬
バイオトラスト水和剤	<i>Talaromyces flavus</i> SAY-Y-94-01	2001	出光興産
インプレッション水和剤	<i>Bacillus subtilis</i> QST-713	2003	SDS バイオテック
エコホープ	<i>Trichoderma atroviride</i> SKT-1	2003	クミアイ化学工業
バイオワーク水和剤	<i>Bacillus subtilis</i> Y1336	2004	丸和バイオケミカル
エコホープドライ	<i>Trichoderma atroviride</i> SKT-1	2004	クミアイ化学工業
エコショット	<i>Bacillus subtilis</i> D747	2005	クミアイ化学工業
ベジキパー水和剤	<i>Pseudomonas fluorescens</i> CGC7090	2005	セントラル硝子
ボトピカ水和剤	<i>Bacillus subtilis</i> MBI600	2005	出光興産
モミホープ水和剤	<i>Bacillus simplex</i> CGF2856	2006	セントラル硝子
エコメイト	<i>Erwinia carotovora</i> CGE234M403	2006	クミアイ化学工業
エコホープDJ	<i>Trichoderma atroviride</i> SKT-1	2007	クミアイ化学工業
タフブロック	<i>Talaromyces flavus</i> SAY-Y-94-01	2007	出光興産
タフパール	<i>Talaromyces flavus</i> SAY-Y-94-01	2007	出光興産
ミニタンWG	<i>Conyothyrium minitans</i> CON/M/91-08	2007	石原産業
フィールドキパー水和剤	<i>Variovorax paradoxus</i> CGF4526	2008	セントラル硝子
キュービオ ZY-02	ズッキーニ黄斑モザイクウイルス弱毒株 ZY-02	2008	微生物化学研究所
アグロケア水和剤	<i>Bacillus subtilis</i> HAI-0404	2009	日本曹達
モミキパー	<i>Talaromyces flavus</i> B-422	2010	セントラル硝子
パチスター水和剤	<i>Bacillus subtilis</i> Y1336	2010	アリスタ ライフサイエンス
家庭園芸用インプレッション水和剤	<i>Bacillus subtilis</i> QST-713	2011	SDS バイオテック
セレナーデ水和剤	<i>Bacillus subtilis</i> QST-713	2012	BASF ジャパン
タフブロック SP	<i>Talaromyces flavus</i> SAY-Y-94-01	2012	出光興産

図1 ■ 近年の農業用殺菌剤の出荷額の推移

●は殺菌剤全体、■は微生物殺菌剤の出荷額を示す。年は、農業年度を示す。

winia carotovora 製剤（バイオキパー）、ばか苗病などの水稻の苗箱の病害などを対象とした *Trichoderma atroviride* 製剤（エコホープ）と *Talaromyces flavus* 製剤（タフブロック）の4種類である。これらがなぜほかの微生物農薬に比べ普及しているのかを解析すること

も、今後の新たな微生物農薬の開発の良いヒントとなると思われる。

植物病害用微生物農薬の研究開発上の課題

前述のとおり、生物的防除に資する新たな微生物種については、関連学会などで毎年報告はされているが、その一方で商品化までに至った事例は割合的に少ない。日本植物病理学会バイオコントロール研究会では、その問題に着目し、2000年以降の定例会において微生物農薬の開発上の問題点などについて開発者を招いて講演してもらってきた。そうしたなかから、明らかとなってきた課題を整理したい。

1. 防除効果の安定性

微生物農薬の課題で最初に挙げられるのが防除効果の安定性である。微生物農薬の実際の使用場面では「あるときは防除効果が見られたのに、あるときは防除効果が劣った。化学合成農薬に比べ、どうも防除効果が安定しない」という事態がしばしば起こりうるが、この不安定性は大きく2つの要因からなる。一つは、微生物資材そのものの製品ロットによる品質のばらつきであり、もう

一つは、化学合成農薬に比べ防除効果が病害の発症程度や処理時の環境条件に大きく左右されやすいという効果そのもののばらつきである。前者は製剤化に関する課題であり、対処の方向性が比較的明確であるが、後者は病害の種類、発症程度、作物の種類、栽培環境などの状況に応じて対処すべき事項が異なってくる。いずれにしても、この2つの不安定性は微生物農薬が「生き物」であることによる宿命であると言え、これを前提とした微生物農薬の利用法を開発・啓蒙するという視点が必要となってくる。

2. 製剤化のための大量培養法と保存性

微生物農薬の製剤化では、製造にかかるコストの低減を図ることが開発サイドの採算上必須であるが、コストの視点で見た場合、大量培養法の開発や保存性が大きな課題となっている。大量培養法では、たとえば細菌の培養において、同一コストで 1×10^9 cfu/mLの細菌液が得られるか、 5×10^9 cfu/mLのものが得られるかで採算性に大きな影響があるとされる。また、糸状菌の製剤化では、細菌のような高濃度培養や濃縮培養の技術化が遅れており、このためせっかく高い防除効果を示す菌株を選抜したにもかかわらず、製造コストが制限要因となり結果的に商品化に至らないケースが多い。製造コストを少しでも減らすために、より効率的な大量培養法のさらなる開発が求められている⁽⁴⁾。

保存性に関しては、微生物農薬の水和剤で4～6カ月、油剤で2年のものが多いが、*Bacillus* 製剤のみ通常の化学合成農薬と同じ3年の保存期間がある⁽⁵⁾。この保存期間が長いことは、実際の使用上のみならず、製剤の流通コストの抑制や販路確保の観点からも重要である。このため、保存性を可能な限り高める工夫（研究開発）についても引き続き必要となっている。

3. 作用機作の解明

冒頭でも述べたように、微生物農薬のもつ発症抑制効果の多くは、微生物間の競合などの相互作用に基づいている。また、一般に微生物農薬は、予防的効果は期待できるが治療効果は期待できないことが知られており⁽⁶⁾、植物が発症する前に微生物農薬を処理しておく必要がある。この現象は、生態学で言う「先利的競争的排除（pre-emptive competitive exclusion）」が微生物間で起きた結果であると考えられている^(7,8)。しかし、そうした観察結果や現象として確認される発症抑制効果のより詳細な病原菌への作用機構については、依然として不明な点が多く残っている。こうした基礎的知見に関する情

報の蓄積と整備が、より効果的な利用法、効果の持続期間や効果のでる場面とでない場面などを科学的に提示していくうえで重要である。

4. 土壌病害への対応

一般に防除が困難とされ、現場での被害が深刻となっている土壌伝染性病害に対しては、より多くの対策技術の開発が求められている一方で、微生物農薬の種類は限定されている。すなわち、現在普及が図られている微生物農薬はイネの種子消毒を除くと植物の地上部病害を対象とするものが多く、土壌病害に対しては、高い利用ニーズに応えるためのツールが不足している状況である。開発が不足している原因には、i) 土壌中には膨大な数の微生物や夾雑物が存在しているため、病原菌に対する対抗微生物の養分競合作用や抗生作用が強く働きの、ii) 病原菌と対抗微生物が遭遇する場が土壌中では限定される、などにより、生物的アプローチによる防除が地上部病害に比べ困難であることが挙げられる。実際に、農薬登録のための要件となっている新農薬実用化試験でも、これまで実施された試験の約1/4が土壌病害を対象としたものであったが、安定した効果が認められた試験例は少ないという状況である⁽⁹⁾。したがって、土壌病害に対しては、病原菌に対する養分競合作用や抗生作用などとは異なる作用機作をもつ微生物をターゲットに、微生物農薬を開発していくことが重要ではないかと思われる。

今後の研究開発の展開方向

以上の解決すべき課題があるなかで、今後の微生物農薬の開発はどういう視点・方向性で取り組んでいくべきであろうか？ その答えを探るため、これまでに開発され安定的に利用されている微生物農薬の成功事例も参考にしつつ整理したい。

1. 防除効果の不安定性を踏まえた利用法の開発

防除効果の不安定性は、微生物農薬が「生き物」であるがゆえの宿命であるということは前項で述べたが、今後の開発においては、この宿命を十分に理解した利用法を開発していくことが肝要と考える。すなわち、化学合成農薬と同等の安定した防除効果を目指すというこれまでの開発戦略だけでなく、微生物農薬の「利用できる場面」と「利用できない場面」を冷静に整理しつつ、個々の微生物農薬の能力にあった活用法を開発していくという戦略が、微生物農薬の効果の信頼性向上と利用拡大を

図るうえで、今後はより重要となってくるのではないだろうか。たとえば、圃場での病害の発生程度が低いときには、微生物農薬の安定した効果が得られるということであれば、その発生程度に応じた活用方法を開発すればよいということになる。筆者らのこれまでの経験から、IPMの実践では「化学合成農薬以外のものについては万能薬（化学合成農薬といえども万能薬ではないと考えるが）と言えるものはない。したがって、どの資材も発生状況とコストに応じてうまく活用することが重要」であると考えている。この考えに立てば、微生物農薬は緑肥や土壌改良剤などと同様に、IPMの実践においてより大きな役割を果たせる存在となることが期待できる⁽¹⁰⁾。

また、これもIPMの基本的考え方の一つではあるが、複数の既存の防除技術の組み合わせによって、微生物農薬の効果の安定化を図る方法の開発も今後はより重要となると考えられる。たとえば、難防除病害として知られるトマト青枯病などの土壌病害を対象に開発された *Pseudomonas fluorescence* 製剤の「セル苗元気」では、圃場の発病程度に応じて太陽熱消毒やクロルピクリンによる土壌くん蒸消毒と組み合わせて処理することにより、病害が激発する条件下でも安定した防除効果が得られることを確認している⁽¹¹⁾。さらに、微生物農薬と化学農薬の混合剤である「ハイブリッド農薬」の開発も近年は盛んになってきている⁽¹⁾。本混合剤には相乗的な防除効果があるとされており、微生物農薬の補完技術として今後さらに注目される技術になる可能性がある⁽¹²⁾。このように、微生物農薬の能力を引き出すための工夫やアイデアの創出が微生物農薬のさらなる利用拡大には必要であろう。相野⁽¹¹⁾ は、「効果が思ったよりうまく得られないので効果がないと判断するのではなく、いかにうまく効かせるかを考える姿勢がなければ、生物的防除を成功させることはできない」と論じている。

2. ニーズに対応した製剤化、処理法の開発

微生物農薬の大量培養技術、保存性が、製剤の低コスト化および利用拡大を図るうえで必要であることは前項で述べたが、製剤の種類や処理法の多様化でユーザーのニーズへの対応を目指す戦略も、低コストで利用拡大を図るうえで有効と考えられる。それを実践し、成功した例として、*Trichoderma atroviride* 製剤の「エコホープ」シリーズがある。2003年に農薬登録されたエコホープは、独自に開発した大量液体培養法によって得られた菌体由来の水中胞子のみを有効成分とした製品である。また、2004年に登録されたエコホープドライは、

日本古来の麹菌の培養技術を応用することで得られた、生菌数や生物活性の長期の維持が可能な同菌の気中胞子を有効成分としている。前者は大量液体培養法を確立し製造コストを抑えることによって製品化に至ったものであり、後者はエコホープの長期保存性という利用者や流通サイドのニーズに対応できたことにより製品化に至ったものである⁽¹³⁾。この例は、有効成分が同じでも、低コスト大量生産重視の製剤や保存性重視の製剤など、ニーズに合わせた新しい剤型をすることで販売量を増やせる事実を示している。

また、処理法においても、普及が進んでいる微生物農薬では特筆すべき技術・工夫が取り入れられている。灰色かび病などの地上部の糸状菌病害をターゲットに開発された *Bacillus subtilis* 製剤の「ボトキラー」では、その作用機作として病原菌との生息場所の競合に基づいて病原菌を排除していることが考えられており⁽¹⁴⁾、その競合作用を最大限発揮させるために、田口ら^(15,16) は「ダクト内投入法」と呼ばれる方法で菌体を植物体上に効率良く高密度で定着させることを考案した。すなわち、本法は野菜栽培のハウス施設で暖房温風用のダクトを通して、本製剤をハウス内に均一に拡散させる方法であり、これにより、菌体が均一に植物体上に覆うだけでなく、散布に水を使わないためハウス内の湿度の上昇や天敵昆虫の生存への影響などの問題を回避できる⁽¹⁷⁾。このように、ボトキラーは処理法を工夫することによって本剤の普及が拡大した好例と言えよう。これを裏返せば、微生物農薬の開発に当たっては、現場サイドの作物生産の実情やニーズに対応した処理法を一体的に開発することが、微生物農薬の安定的な利用には必須であると考えられる。なお、その処理法の開発には、その作用機作の解明に基づいた科学的な根拠が必要なことは言うまでもない。

3. 土壌病害をターゲットにした開発

上述の1,2を踏まえたうえで、現有の製剤が限定されている土壌伝染性病害を対象とした開発が残されている。土壌病害を対象とした開発は前項で示した理由などによる防除の困難さゆえにチャレンジングなものであるが、近年の開発の傾向として、微生物の働く場として「土壌全体→植物根圏→植物根面→植物根内」へと病原菌と本質的に遭遇しやすく、かつ抑制効果の発揮がされやすい場に絞り込んだ開発が多くなってきている⁽¹⁸⁾。たとえば、トマト青枯病などの防除剤の「セル苗元気」では、2種類の内生細菌（いずれも *P. fluorescence*）が、植物生育段階の早い時期に処理されることでトマト

根内に定着し、結果として安定した防除効果が発揮されることが知られている⁽¹¹⁾。また、アブラナ科根こぶ病を対象に近年開発された *Variovorax paradoxus* 製剤の「フィールドキーパー」でも、植物根面や根内に少なくとも一定期間定着し、病原菌の根毛感染を阻止している可能性が示唆されている⁽¹⁹⁾。

さらに、こうした内生性の微生物の示す発病抑制活性は、病原菌に対する競合や抗生作用よりも、微生物が根などに定着することによって各種病害に対する抵抗性が植物体で誘導される現象、すなわち誘導抵抗性に基づいていることが示唆されている⁽²⁰⁻²²⁾。誘導抵抗性は、大きくは病原体などにより誘導されるとする全身獲得抵抗性 (Systemic Acquired Resistance; SAR) と、根圏微生物や内生微生物などにより誘導されるとする全身誘導抵抗性 (Induced Systemic Resistance; ISR) に大別される⁽²³⁾ が、これらのいずれかあるいは両抵抗性に基づいた効果を有する微生物農薬の種類自体は、全体のなかではまだ少ないのが現状である⁽²³⁾。しかし、さまざまな要因が複雑に絡み合っただけでなく、微生物間の競合や抗生作用が働きにくい土壌病害であっても、植物体に直接作用して病害に対する抵抗力を発揮させるという点から、植物抵抗性の誘導に基づく生物的防除は安定的な効果が得られやすいのではないかと考えられる^(20, 23)。

現場での指導、理解増進の重要性

微生物農薬が最終的に現場でより多く利用されるためには、上述の抑制効果の増強や低コスト化などの技術的開発だけでなく、いかに利用者（生産者）に新技術の特徴を理解してもらい、使ってもらえるようにするのかという普及戦略も必要である。すなわち、「万能薬」ではない微生物農薬を用いた防除法を普及させるためには、その剤が「過大評価も過小評価もされない」ようにすることが最も重要であり、このためには、病害の生態、微生物農薬の特性に関する研究を基に、対象とする微生物農薬の「利用できる場面とできない場面」、「作用機作に基づいた効果が期待できる利用法」などを丁寧にユーザーに説明し、理解してもらうことが大切である⁽¹⁰⁾。渡辺⁽²⁴⁾ は、*Trichoderma atroviride* 製剤の「エコホープ」の「上手な使い方」を、1) 使用方法、2) 防除効果の変動要因と各種農薬との混用および体系的使用例、3) 保存方法に分けてわかりやすくまとめているが、こうした情報、知見をユーザーに周知させていることが、現場での本製剤の利用促進や普及の成功に結びついていると考える。

また、微生物農薬の利用技術は、生産者の考える減収許容水準に符合する金額効果がない限り、普及可能な技術とはなりえないという見方もある⁽¹¹⁾。上述の技術的開発においては、ユーザーの採算性に基準を置いた利用法や利用場面を考慮することが普及のための大前提であり、そのためには、経営感覚が多様な生産者それぞれに対応したきめ細かい作物の損益分岐点売上高の算定や、生産者の減収許容水準に関する意識調査などの経営的観点での実現可能性の評価なども今後はより大切になってくるであろう。

筆者らの現在の取り組み

こうした微生物農薬の開発上の課題および今後の展開方向を踏まえ、筆者らは2011年から農林水産省の支援を受けて、生産地で深刻な被害をもたらした、防除が困難とされるナス科野菜の土壌病害を対象に、新たな微生物農薬に資する微生物株およびその処理法を開発する研究プロジェクトに取り組んでいる。このプロジェクトでは、すでに述べたように土壌での防除効果が不安定であるという微生物農薬の問題点を克服するために、これまでの知見から発病抑制効果が安定的と考えられた植物の誘導抵抗性に着目し「植物の抵抗力を高度に発揮させる微生物を使った防除」、さらに「病害の発生程度に応じた微生物の活用（微生物農薬が使用できる場面、使用が困難な場面の提示）」をゴールに見据え研究を進めている。具体的には、*Bacillus* 属を中心とした細菌に着目し、それらのなかから有望な株を探索している。*Bacillus* 属細菌に着目した理由としては、i) 本属細菌は耐久性があり、実際に微生物農薬として多種の製剤化技術がすでに確立しているため、新たな株でもコストを抑えた製剤化が十分に期待できる、ii) 農薬登録にかかわるそのほかの要件（ヒトに対する安全性試験、環境生物に対する影響試験など）についても、同属菌ですでに多くの実績を有していることを考慮すると、クリアするためのコストがさほどかからずに済む可能性が高い、と考えられ、トータルとして製品化までのプロセスが容易になると考えられたためである。このプロジェクトでこれまでに得られている成果として、害虫用の微生物農薬として知られる *Bacillus thuringiensis* の複数菌株が、トマト青枯病などに対して発病抑制効果をもつことを明らかにしている^(25, 26)（図2）。さらに、本菌株を処理したトマト苗では、病害抵抗性関連遺伝子の発現が見られ、見いだされた菌株の発病抑制効果が、植物の抵抗性の誘導に起因している可能性も示唆されている^(26, 27)。さらに、

図2 ■ *Bacillus thuringiensis* の細菌懸濁液の灌注処理によるトマトポット苗での青枯病の発病抑制

(写真左) 各ポットの株元に細菌懸濁液を灌注処理し、5日後に青枯病菌を灌注接種したトマト苗。(写真右) 青枯病菌だけを灌注接種した対照トマト発病苗 (写真提供: 岐阜大学, 百町満朗)。

Bacillus 属菌以外にも、菌根菌 (Arbuscular mycorrhizal fungi) や植物生育促進微生物 (Plant growth promoting rhizobacteria/fungi; PGPR または PGPF) は、その植物への感染または定着によって植物に誘導抵抗性を付与すること^(28~30) から、両者から有望な菌株を選抜し、それらの単独あるいは共処理によって病害抵抗性をさらに増強しようとする検討も行っている。

現在は、選抜した有望株の実際の栽培環境下での効果の確認と効果的な処理条件の検討に軸足を移して取り組んでいるが、ここでは、もう一つのポイントである「病害の発生程度に応じた微生物の活用」を提示できるよう、試験が設計・実施されている。すなわち、先に述べたIPMの視点に立って、病害の発生程度に応じた有望株の利用可能性を評価するために、さまざまな発病程度の圃場条件下における有望株の防除効果 (防除価) を評価し、圃場の発病状況がどの程度までなら、有望株が利用可能であることを明らかにすることを目指している。これにより、最終的に開発した微生物の安定した防除効果が期待できる利用場면을提示できると同時に、単独では利用が困難であるが、たとえば複数の防除技術の組み合わせなどの有効な微生物の利用法の場面の提示も将来的に可能となる。なお、その圃場の状況が微生物農薬の安定した防除効果が期待できる場面かどうかについては、作物の栽培開始前にあらかじめ圃場の状態を診断・評価しておくことが肝要であるが、こうした土壌病害の的確な診断技術の開発を目指した農林水産省の研究プロジェクト「土壌病害虫診断技術の開発」も現在同時進行で進められている。このなかでは、国内の主要な土壌病害を対象に、栽培条件、土壌理化学性、近年開発された土壌DNA情報に基づく土壌生物性解析手法⁽³¹⁾ と、その土壌のもつ発生ポテンシャル (病気が発生する可能性) の

評価も加味した、これまでにない革新的な土壌診断技術を開発するとともに、その診断結果に応じた対策技術を開発することも目指している。ここで開発される診断技術によって、微生物農薬の効果が期待できる場面も事前に把握することが可能となり、安定的な微生物農薬の利用に結びつくことが期待される。

以上のように、筆者らが現在取り組んでいる微生物農薬に関する研究プロジェクトは、上述の「今後の研究開発の展開方向」に対応すべく計画された研究となっている。この研究により、従来より開発のターゲットとされてきた「化学合成農薬と同等の効果をもつ微生物農薬を開発する」という概念のみでなく、「化学合成農薬と同等の効果をもつ微生物農薬を開発する」という新たな概念をも提示できる成果を出したいと考えている。本研究の成果がこうした新たな概念のマイルストーンとなりうるよう、今後の研究に臨んでいきたい。

謝辞: 本稿で紹介した筆者らの研究の一部は、農林水産省委託プロジェクト研究「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」のなかで実施している。

文献

- 1) 安井 強: バイオコントロール研究会レポート, **12**, 28 (2012).
- 2) 日本植物防疫協会: “農薬要覧2011”, 2011.
- 3) 里山雅人: バイオコントロール研究会レポート, **12**, 7 (2012).
- 4) 渡邊 健: “微生物と植物の相互作用—病害と生物防除—”, ソフトサイエンス社, 2009, p. 261.
- 5) 田口義広: “微生物と植物の相互作用—病害と生物防除—”, ソフトサイエンス社, 2009, p. 381.
- 6) 田口義広: バイオコントロール研究会レポート, **10**, 48 (2007).
- 7) S. E. Lindow: “Biological ice nucleation and its application,” APS PRESS, 1995, p. 239.
- 8) 百町満朗, 封馬誠也: “微生物と植物の相互作用—病害と生物防除—”, ソフトサイエンス社, 2009, p. 10.
- 9) 田代定良: バイオコントロール研究会レポート, **12**, 12 (2012).
- 10) 封馬誠也: バイオコントロール研究会レポート, **7**, 1 (2001).
- 11) 相野公孝: “微生物の資材化: 研究の最前線”, ソフトサイエンス社, 2000, p. 117.
- 12) 熊倉和夫: “第25回報農会シンポジウム要旨”, 2010 (212).
- 13) 永山孝三: “微生物と植物の相互作用—病害と生物防除—”, ソフトサイエンス社, 2009, p. 388.
- 14) 千田茂樹: バイオコントロール研究会レポート, **6**, 85 (1999).
- 15) 田口義広, 百町満朗, 渡辺秀樹, 川根 太: 日植病報, **69**, 94 (2003).
- 16) 田口義広, 渡辺秀樹, 百町満朗: “微生物と植物の相互作用—病害と生物防除—”, ソフトサイエンス社, 2009, p. 361.
- 17) 伊豆 進: 月刊バイオインダストリー, **9**, 18 (2010).

- 18) 對馬誠也：バイオコントロール研究会レポート，**12**，1 (2012)。
- 19) 丸泉和泉，高原吉幸：バイオコントロール研究会レポート，**11**，55 (2009)。
- 20) 相野公孝：“微生物と植物の相互作用—病害と生物防除—”，ソフトサイエンス社，2009，p. 178。
- 21) 清水将文：“微生物と植物の相互作用—病害と生物防除—”，ソフトサイエンス社，2009，p. 173。
- 22) 久保田真弓，百町満朗：“微生物と植物の相互作用—病害と生物防除—”，ソフトサイエンス社，2009，p. 158。
- 23) 染谷信孝：バイオコントロール研究会レポート，**9**，66 (2005)。
- 24) 渡辺 哲：バイオコントロール研究会レポート，**9**，25 (2005)。
- 25) 荒川竜行，西村光由，小嶋博樹，浅野眞一郎，百町満朗：日植病報，**77**，72 (2011)。
- 26) M. Hyakumachi, M. Nishimura, T. Arakawa, S. Asano, S. Yoshida, S. Tsushima & H. Takahashi: *Microbes Environ.*, **28**, 128 (2013)。
- 27) 高橋英樹，荒川竜行，西村光由，安藤杉尋，吉田重信，對馬誠也，百町満朗：日植病報，**78**，70 (2012)。
- 28) 染谷信孝，仲下英雄：“微生物と植物の相互作用—病害と生物防除—”，ソフトサイエンス社，2009，p. 153。
- 29) 百町満朗：“有機農業研究者会議2011資料集”，2011，p. 9。
- 30) W. A. Chandanie, M. Kubota & M. Hyakumachi: *Appl. Soil Ecol.*, **41**, 336 (2009)。
- 31) 對馬誠也：土と微生物，**64**，64 (2010)。

プロフィール

吉田 重信 (Shigenobu YOSHIDA)

＜略歴＞1992年山形大学農学部農学科卒業／同年農林水産省蚕糸・昆虫農業技術研究所研究員／2000年東北大学，博士(農学)取得／同年農業環境技術研究所研究員／2003年ミネソタ大学研究員／2004年農業環境技術研究所主任研究員／2008年農林水産省農林水産技術会議事務局研究専門官／2010年農業環境技術研究所主任研究員，現在に至る＜研究テーマと抱負＞農業環境中に生息する微生物（特に葉圏微生物）の機能解明に基づく利活用研究，農作物の土壌病害に対する生物的防除研究＜趣味＞家庭菜園，ドライブ旅行

對馬 誠也 (Seiya TSUSHIMA)

＜略歴＞1978年北海道大学農学部農業生物学科卒業／1980年同大学大学院（修士課程）修了／同年農林水産省九州農業試験場研究員／1992年同省農業環境技術研究所研究員／1995年北海道大学，博士(農学)取得／1996年農林水産省東北農業試験場主任研究官／2001年農業環境技術研究所微生物分類研究室長／2007年同研究所生物生態機能研究領域長／2009年同研究所農業環境インベントリーセンター長，現在に至る＜研究テーマと抱負＞葉面微生物・土壌微生物フローラ解析とそれらのデータベース化および産業利用，植物病原菌の生態・制御，培養できない微生物の解析と活用＜趣味＞囲碁，将棋，釣り