

殺菌剤耐性菌研究会 20 年の歩み

Activities of the Research Committee on Fungicide Resistance for the Last Two Decades

農業環境技術研究所

石井英夫

Hideo Ishii, National Institute for Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Ibaraki 305-8604, Japan

Abstract

In Japan, the field occurrence of fungicide resistance was first found in 1971 when control efficacy of two antibiotics polyoxin and kasugamycin was reduced against black spot disease on Japanese pear and blast disease on rice, respectively. Since then, fungicide resistance has been causing problems, decreasing fungicide efficacy, on various crops repeatedly. The Research Committee on Fungicide Resistance was established in 1991 and authorized by the Phytopathological Society of Japan subsequently. Major activities of the Research Committee are composed of organization of annual symposia, publication of laboratory manuals for testing fungicide sensitivity, and production of a data base of literature relating to fungicide resistance reported within Japan. The Research Committee also proposed a guideline indicating how to use QoI and MBI-D fungicides on rice. Here the author will review the past and current activities of the Research Committee and make a proposal to minimize the problem of fungicide resistance.

1. はじめに

1991 年に有志の集まりで発足した殺菌剤耐性菌研究会は、来年でちょうど 20 周年を迎える。この間多くの方々により、農業現場における耐性菌問題の回避、軽減に努力が傾けられてきたが、残念なことにいまだ解決の途は遠く、新たな問題の発生が続いている。

このような現況下、これまでの活動を振り返り、何が不足するのかを冷静に考えることも重要であろう。そこで、過去の経緯と今後の取り組み、克服すべき課題を述べてみたい。

2. 研究会発足とその背景

わが国における耐性菌問題は 1971 年に端を発する。ナシ黒斑病菌のポリオキシシン、イネいもち病菌のカスガマイシン耐性菌の初発生（顕在化）である。それ以来、ベンゾイミダゾール系薬剤ほか多くの薬剤で耐性菌の発生が今日まで繰り返され、ストロビルリン系薬剤（QoI 剤）耐性菌に至っては毎年のように新たな問題を生じている（第 1 表）。

海外でもほぼ時を同じくして同様の事態が起こり、これを契機に 1980 年には当時世界における耐性菌研究の中心的存在であったオランダ・ワーゲニンゲン農科大学において、耐

性菌に関するワークショップが開かれた。これが、今日の FRAC(Fungicide Resistance Action Committee、殺菌剤耐性対策委員会、<http://www.frac.info/frac/index.htm>)が設立されるきっかけともなった。

第 1 表 わが国における薬剤耐性菌の発生事例（主なもののみ示す）

薬剤	病原菌
ポリオキシシン	ナシ黒斑病菌、リンゴ斑点落葉病菌
カスガマイシン	イネいもち病菌、イネ褐条病菌
ベンゾイミダゾール系	各種作物の灰色かび病菌、果樹の黒星病菌、灰星病菌、チャ炭疽病菌、イネばか苗病菌、コムギ眼紋病菌、コムギ赤かび病菌、ダイズ紫斑病菌、タマネギ灰色腐敗病菌、イチゴ炭疽病菌、キュウリ褐斑病菌、カンキツそうか病菌、ブドウ黒とう病菌
有機りん系	イネいもち病菌
ジカルボキシイミド系	各種作物の灰色かび病菌、ナシ黒斑病菌
ストレプトマイシン	モモせん孔細菌病菌、キュウリ斑点細菌病菌
フェニルアマイド系	キュウリべと病菌、ジャガイモ疫病菌、ミョウガ根茎腐敗病菌
ステロール脱メチル化阻害剤	キュウリうどんこ病菌、イチゴうどんこ病菌、ナスすすかび病菌、ナシ黒星病菌
フルアジナム	マメ類灰色かび病菌
オキシロニック酸	イネもみ枯細菌病菌、イネ褐条病菌
ストロビルリン系	キュウリうどんこ病菌、べと病菌、褐斑病菌、ナスすすかび病菌、カンキツ・イチゴ灰色かび病菌、イチゴ炭疽病菌、ブドウ褐斑病菌、べと病菌、晩腐病菌、トマト葉かび病菌、チャ輪斑病菌、メロンつる枯病菌
シフルフェナミド	キュウリうどんこ病菌
シタロン脱水酵素阻害型 メラニン合成阻害剤	イネいもち病菌
電子伝達系複合体 II 阻害剤	キュウリ褐斑病菌、うどんこ病菌

筆者は 1983 年から 1 年間ワーゲニンゲン農科大学で、さらに 1989 年から 1 年間、イギリス・ロングアシュトン試験場で耐性菌研究に従事した。当時イギリスでも、現在の FRAG-UK(Fungicide Resistance Action Group-UK)の骨組みが出来つつあった（農薬メーカーだけで組織される FRAC と異なり、今日 FRAG-UK は公的試験研究機関や大学、農薬メーカー等の関係者で構成されている。http://www.detergents.gov.uk/rags_home.asp)。FRAC や

FRAG-UK の活動内容については先に紹介したとおりである（石井、2010）。

ヨーロッパにおけるこのような動きを目にして筆者は、わが国にも耐性菌による被害の回避を目指して活動する何らかの組織が必要であると強く感じ、帰国後まず JA 全農（当時）の大塚範夫氏に相談、次いでほかに賛同者を募り、FRAG-UK をモデルとする「殺菌剤耐性菌研究会」を発足させた。これはさらに 1994 年から日本植物病理学会の研究会として位置づけられ、今日に至っている。当時の様子については、石井・大塚（1992）や石井（1998）に述べられている。

3. 研究会の活動経過

1) シンポジウムの開催

研究会の発足当初から毎年 1 回、定期的にシンポジウムを開催してきた。新たに問題となった耐性菌の紹介、新規殺菌剤の作用特性や作用機構、感受性検定法や感受性のモニタリング結果、海外における耐性菌の動向などについて、多くの方々に講演していただいた。

研究会のホームページ (<http://taiseikin.web.infoseek.co.jp/>) は日本植物病理学会のホームページ (<http://www.ppsj.org/>) からアクセス可能で、研究会の沿革と活動概要、シンポジウムの案内や講演要旨などを掲載している。また、次に述べる耐性菌に関する文献データベースを提供し、検索が可能となっている。なお、研究会の運営はシンポジウムの参加費と日本植物病理学会からの補助金でほとんど賄われているので、今後も皆様のシンポジウムへの積極的な参加をお願いしたい。

2) 耐性菌検定マニュアルの刊行

耐性菌に関する試験研究や開発に携わる多くの方々の執筆協力を得て、「植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル」を編集し、日本植物防疫協会から発刊した。1998 年の初版は一度絶版となったが、2009 年に続編「植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアルⅡ」を発刊したのを機に、再度印刷、販売されている。

3) 文献集の作成

この 2 冊のマニュアルには、検定法のみならず、国内で報告された耐性菌関係の論文、講演要旨、報告などがほぼ網羅されている。わが国の研究者が海外の雑誌に掲載した論文なども含まれる。耐性菌の検定法は FRAC のホームページのほか、雑誌 EPPO Bulletin などにもみられるが、耐性菌に関してこれほど充実した文献集は他にないのではないかと。十分に活用されることを期待したい。

4) 薬剤使用ガイドラインの作成

わが国の農薬市場としてもっとも重要なイネでは、耐性菌問題はしばらく影を潜めていた。しかし、いもち病菌における MBI-D 剤（シタロン脱水酵素阻害型メラニン合成阻害剤）耐性菌の出現と分布の拡大は、耐性菌に対して再び強い関心を引き起こした。また、長期残効型の QoI 剤オリサストロビンが上市されるに及んで、イネとくにいもち病で QoI 剤耐性菌による被害を起こさないための対応が急務とされた。

このため、まず FRAC Japan (J FRAC)が「ストロビルリン系殺菌剤 (QoI) のイネにおける使用ガイドライン」を作成した (宗・山口、2008)。続いて、当研究会も「イネいもち病防除における QoI 剤及び MBI-D 剤耐性菌対策ガイドライン」を作成し、公表した (宗・山口、2008 ; 宗、2008)。

これらに先立って、病害虫防除所がいち早く関係機関、職員等に水稻におけるストロビルリン系殺菌剤の使用について注意喚起したことは、大きな注目に値する (奈良県病害虫防除所、2007)。

5) その他

1 回だけの企画であったが、1995 年にはつくば市で日英合同の「The International Workshop on Fungicide Resistance: a Factor Limiting Quality Food Production」を農林水産省果樹試験場と共催した。日頃英語での口頭発表や講演要旨作成に不慣れな方にもご無理をお願いした。しかし、英語力の飛躍的向上は、内向きの鎖国状態あるいは「ガラパゴス化」を脱して発展するために、今後わが国のあらゆる分野で必要なことであり、これが克服されることを強く期待したい。

国内の学会や研究会ほかで日本語で発表した後は、論文を英文誌に投稿するくらいのチャレンジを是非お願いしたい。わが国で耐性菌の試験研究に携わるマンパワーには多大なものがあり、日頃多くの知見が得られているのである。海外への情報発信はこの分野における貢献としても重要である。

最近では海外留学を志す日本人の若者も少なく、民間企業でも海外勤務は敬遠されるという。今年の NHK 大河ドラマは「龍馬伝」。とくに若い皆様には未来志向での飛躍を促したい。

4. 薬剤耐性菌の再定義

『植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル』初版において耐性菌は、「菌の野生型集団の多くがもともと示す薬剤感受性 (ベースライン感受性という) よりも感受性の低いものを耐性菌とよぶ」と定義された (石井、1998)。これは生物学的には今日でも妥当であるが、病害防除の場面では薬剤の効果との関係がもともと重視される。そこで筆者自身、最近は次のように定義し直して用語を使い分けている：

耐性菌 (実用濃度の薬剤の効果に有意に影響するほど菌の感受性が低下している)；

感受性低下菌 (菌の感受性は低下しているが薬剤の効果には影響がみられない)

低感受性菌もしくは非感受性菌 (ある種の菌の感受性がもともと低いかまったくない)。

ただし、このように分けても耐性菌と感受性低下菌の区別が難しい時もある。植物に菌を接種する試験で、菌の接種濃度によって薬剤の効果に違いが出る場合などである (第 2 表)。また、耐性菌が圃場に分布していても、その絶対量が少ない場合、あるいは比率が感受性菌に比べて低ければ、薬剤効力にすぐに影響しないことがある。

残念ながら、「耐性菌の検出率が何パーセント以上であれば薬剤が効かない」などと単純には言えないことが多い。リンゴ斑点落葉病菌の QoI 剤耐性菌が 30～40%と高頻度に検出されても、防除に支障が出ていない例もある（足立、2010 年）。しかしこの場合でも、病原菌に好適な気象条件などによって発病圧が高まれば、一気に薬剤の効果に影響が出る恐れがある。

第 2 表 アゾキシストロビン剤のキュウリうどんこ病
抑制効果に及ぼす菌密度の影響*

菌密度 (ml あたり)	発病抑制率(%)
約 1×10^4	50.0
約 1×10^5	23.3

*実用有効成分濃度 100ppm で散布後、耐性菌 10%、
感受性菌 90%からなる分生子懸濁液を噴霧接種。

(Ishii et al., 2007)

5. 過去 20 年の活動から何を学ぶべきか？

今後わが国においても、EU（欧州連合）で今日みられるような農薬規制の強化、あるいは使用可能な農薬の減少が見込まれる。それを踏まえた、今後の耐性菌対策についてはすでに述べたが（石井、2010）、これまでの研究会活動で不足した事柄と併せて、ここで改めて問題点を整理してみたい。

1) 同一（または同系統）薬剤はもはや連用されていないか？

同じ薬剤あるいは、異なる薬剤でも同じ系統に属する薬剤（交差耐性の関係にある）を連用すると、圃場における耐性菌の発達と薬剤の効力低下が起こりやすい。これはずっと以前から常識であったはずである。では、実際はどうか？ナシ黒星病菌の DMI 剤耐性、ブドウ褐斑病菌やべと病菌の QoI 剤耐性などの事例から、意外なことに今日でも、耐性発達リスクの高い薬剤の連用が一部でなされていることに気付く。つまり、歴史は繰り返すというべきか、過去の失敗例から同じ轍（てつ）を踏まないという学習効果が必ずしも働いていない。

かつてブドウ灰色かび病菌で耐性菌のホットスポットと揶揄されたフランス、シャンパーニュ地方であるが、最近はこの地域から本病の多発が聞こえてこない。各種薬剤に対する耐性菌は低率で存在するにも拘わらず、同一系統薬剤を同じ年に複数回使用することを極力抑えているからであろう（Leroux et al., 2002）。

なお、耐性菌の発達リスクを知る目的でやむなく同一（または同系統）薬剤を連用する場合でも、周辺の圃地への影響を最小限に抑えるなどの工夫が必要であるが、特に改善されるべきは新農薬実用化試験における薬剤の散布回数である。試験薬剤か対照薬剤かを問わず、耐性菌リスクの高い QoI 剤や SDHI 剤（ボスカリドやペンチオピラドのような、ミトコンドリア電子伝達系複合体 II 阻害剤）などを、むやみに多用すべきではない。やむをえ

ず多用した場合や防除効果が予想よりも劣る場合には、薬剤感受性を検定するなどの用心が必要である。また、これらはなるべく対照薬剤からは除外した方がよい。

2) 薬剤・耐性菌情報の伝達はいまだ不十分

DMI 剤や QoI 剤、さらには最近の SDHI 剤にみられるように、特定グループの薬剤に開発が集中する傾向が強い。しかし、わが国では農薬メーカーが同系統の新規薬剤を販売するにあたって、既存薬剤との交差耐性を公表することは少ない。巨額の薬剤開発費を回収するには、耐性菌情報の提供は障害になると判断される。しかし、本当にそうであろうか？

農協ほかの販売店や普及センター等が十分な情報を取得し、それに基づいて農家が病害防除を行えば、耐性菌問題は少なくとも現状よりは改善の方向に向かう。当然それは、長い目で見て当該薬剤の寿命を延ばすことになる。一方、目先の営業活動が優先されて交差耐性の現象が圃場で現実化し、試験場等の関係者によって明らかになれば、それらの薬剤は防除指針等から削除されてしまう。

また、同一もしくは同系統薬剤の連用のみならず、交差耐性のない他系統薬剤とのローテーション使用であっても耐性菌が発達する場合が少なくない。そのような耐性菌の発生経過を振り返るならば、農薬登録上の使用可能回数と耐性菌対策上のそれとが一致しないことは容易に理解されるべきである。

3) 各地域で情報交換の場を作れば

広域防除の有効性も考えて、薬剤や耐性菌を含む病虫害防除についての最新情報を交換できる場をもっと各地域で作れないものか？本来は普及センターや農協が共に中心になり、農家と一体化して取り組むべきである。農作物の地産地消をはじめとする農業の 6 次産業化の過程で、他の営農情報の交換も出来るのではないか？

本研究会の今後の課題として、後述する薬剤使用ガイドラインの広報、周知徹底と併せて、新規薬剤に関する情報の提供は重要なものとなる。また、農薬行政部局や都道府県段階の普及組織、防除所、日本植物防疫協会関係者等の研究会への参加も望まれるところである。

時が流れ、耐性菌に関わる人が代わると、時に防除の失敗という同じ経験を繰り返すことがある。農家だけでなく、各地域で試験研究に携わる関係者にも耐性菌への関心と十分な備えを要望したい。国内の他の地域で、あるいは海外で耐性菌が問題化しているのに、問題が発生するまで具体的な手立てを講じないというのでは、無策と批判されても致し方ないであろう。被害の発生後、後追いの耐性菌を検出、報告するだけでは十分でない。早期診断と早期発見そして速やかな対応がなされることを切望する。そして、防除実態の十分な把握と適切な指導をお願いしたい。

4) 薬剤使用ガイドラインの作成と普及が急務

よく知られているように、FRAC には主要薬剤系統ごとにワーキンググループ等が組織され、活動の一環として薬剤使用のガイドラインを作成、公表している。しかし、筆者がすでに指摘したように（石井、2010）、このガイドラインをそのままわが国に適用するのは難

しい。最近の QoI 剤や SDHI 剤耐性菌の発達経過をみれば、農薬登録上使用可能な回数はもちろん守り、FRAC のガイドラインに従って散布された場合でも現実には耐性菌問題が起こっている。

そこで、とくに施設野菜や果樹で使われる QoI 剤や SDHI 剤については、わが国の実情に合ったガイドラインを早急に作り上げる必要性が高い。耐性菌出現の経緯に基づく薬剤使用回数の削減のみならず、予防効果を重視した使用時期や全体の発病圧を下げる工夫などについても触れる必要がある。また、農薬メーカーからなる JFRAC とどのように連携して問題解決に当たっていくのか、これも双方にとっての今後の課題である。

5) 耐性菌モニタリング結果の速やかな公表を

耐性菌がわずかに検出されても、その後適切な対応をとれば、実害は回避できる。反面、そのまま放置すれば被害が発生、拡大することは、先年いもち病菌の MBI-D 剤耐性菌で経験済みであり、耐性菌モニタリングが重要なゆえんでもある。

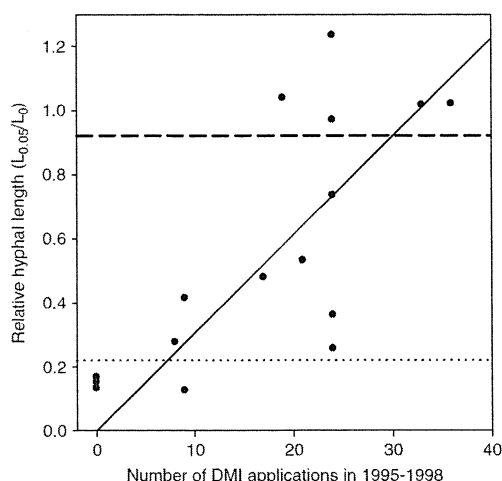
圃場で被害が出る前に耐性菌の存在を発表すれば、時に「オオカミ少年」のそしりを受けることもあるが、可能な限り（つまり代替薬剤や他の防除技術がある場合など）公的機関はもちろん、農薬メーカーにもモニタリング結果の速やかな公表を望みたい。農家にとっては、被害が出てからでは遅いのである。その意味で、MBI-D 剤耐性菌の発生にいち早く対応し、モニタリング結果の公表や迅速遺伝子診断法の開発、普及に努力された関係メーカーの貢献、企業姿勢は特筆に価する。

公的試験研究機関の成果情報等への掲載に先んじて、農家に情報がリアルタイムで伝わるのが理想である。また、モニタリングで耐性菌が検出されない場合でも、その情報は意味を持つ。対策を立てる時間的猶予、あるいは緩和も含む対策の見直しができる。最近、イネいもち病菌の MBI-D 剤耐性菌など一部を除いて、耐性菌出現後の継続的なモニタリングがあまり行われていない。圃場における衰退現象などから耐性菌の fitness を知り、当該薬剤の再使用の可能性を見極める上でも極めて重要であるので、根気強く取り組むべきである。

6) 防除の多様化、体系化でとにかく発病圧を下げる努力を

今季ブラジルでは、ダイズさび病が多発している。これまでさび病菌 (*Phakopsora pachyrhizi*) の DMI 剤感受性低下はみられたものの、圃場での薬効低下には至っていなかった。しかし、このケースでも病害の多発条件下で耐性菌が顕在化し、DMI 剤の効力低下も起こっているという (FRAC のホームページほかより)。

圃場における病原菌量が多ければ、薬剤の選択を受けて生き残る耐性菌も多くなる。単純に薬剤使用回数を制限するだけでは済まない理由がここにある。一例として、リンゴ黒星病菌の DMI 剤耐性菌の発達には、DMI 剤使用回数に比例した場合 (第 1 図) と比例しない場合の両極端な報告例がある (Köller, 1994)。同じ使用回数であっても、散布のタイミングすなわち病原菌量が少ないうちに散布するのか、それとも菌量が多くなってから撒くのかによって、結果も変わってくる。



第1図 リンゴ黒星病に対するDMI剤の
散布回数と菌のDMI剤耐性の関係
(Gao et al., 2009)

ベンゾイミダゾール系、ジエトフェンカルブ、QoI 剤、さらには SDHI 剤耐性菌の広がり
で防除が困難なキュウリ褐斑病では、一部で耐病性品種を取り入れる農家が最近増えつつ
ある。化学的防除は現在 IPM の重要かつ主要な構成要素ではあるが、農作物の収量や品質
を過度に重視する傾向が変化すれば、耐性菌対策上もよしとすべきである。

米国ミシガン州のリンゴ黒星病菌の多くから、QoI 剤耐性に重要なチトクローム *b* 遺伝子
の G143A 変異が検出されている (Lesniak et al., 2009)。また、米国東北部のリンゴ園には、ミ
クロブタニル剤感受性が低下して薬効低下を引き起す黒星病菌が分布するという。しかし、
新規 DMI 剤と耐病性品種による被害回避の可能性が報じられた (Cox et al., 2009)。

MBI-D 剤耐性菌の分布拡大で、イネにおける抵抗性誘導剤プロベナゾールやチアジニルの
普及がさらに進んだように、耐性菌対策として抵抗性誘導剤の果たす役割は大きい。ユニ
ークな薬剤にオリサストロビンとプロベナゾール、それに殺虫剤フィプロニルの3種混合剤
があるが、プロベナゾールとの組み合わせで、オリサストロビンの耐性菌リスクを減じる
効果が期待できる。

7) 再び農薬ラベルを問題提起したい

先に、薬剤の特徴を農家が理解しやすいように、同一系統の薬剤を異なる色やアルファ
ベットで表示したラベルで識別できるようにするなど、何らかの工夫が必要であると指摘
した (石井, 2010)。また、その薬剤が持つ耐性菌発達のリスクについても注意書きに加え
るなど、社会的に責任ある対応を関係機関や団体、農薬メーカーに求めたい。効果が期待
できると思えばこそ、農家はその薬剤を購入するのである。

最近一部の県ではあるが、防除手引きに薬剤の系統をアルファベット表示することが検
討されている。このような動きが広がることを期待したい。

8) 耐性菌のジーンバンクが必要

筆者は現在、各種耐性菌の収集、整理を進めている。人事異動等で耐性菌の保存がまま
ならず、貴重な菌株が失われることも多い。耐性検定をする際の標準菌株や対照菌株とし

て、あるいは耐性機構に関する基礎研究等に利用できれば、耐性菌のコレクションも重要な意味を持つ。菌株の寄託など、関係各位の協力を是非お願いしたい。

9) 農薬メーカーほかの基礎研究に期待

わが国の農薬メーカーは、規模では海外の主要メーカーに及ばないものの、研究開発能力は高く評価されている。抵抗性誘導剤（イソチアニルの登録も近い）や QiI 剤（シアゾファミド、アミスルブロム）は、わが国で初めて開発された全く新しい作用機構を持つ薬剤である。また、これまで多数開発された QoI 剤の中でも、ピリベンカルブは既存の QoI 剤耐性菌の多くに防除効果を示すなど、優れた特性が注目される。

今後も新たな薬剤の開発に期待するとともに、作用機構や耐性機構に関する基礎研究も充実させていただきたい。そこから、安全で効果が高く耐性菌リスクの低い薬剤開発のヒントが得られれば、長らく耐性菌に向き合い、時に憎まれ役（？）を演じてきた筆者にとっても喜びとなろう。

謝辞とお願い

筆者は当研究会の立ち上げから今日まで、およそ 20 年間研究会活動に深く関わってきた。その間数え切れないほどの皆様に多大のお世話をおかけした。この場を借りて、深くお礼を申し上げる。

研究会は現在、東北農研の足立嘉彦幹事長、JA 全農営技センターの武田敏幸副幹事長が中心になり、耐性菌発生の回避対策に資することを目的として活動を続けている。今後も皆様の変わらぬご支援と叱咤激励をお願いしたい。

引用文献

- 足立嘉彦 (2010) QoI 剤に対する薬剤耐性菌発達リスクの評価。岩手県における農薬 50%削減リンゴ栽培マニュアル（東北農研センター・果樹研）：10-11.
- Cox, K. M. et al. (2009) Practical implications of fungicide resistance in Northeastern US populations of the apple scab pathogen *Venturia inaequalis*. *Phytopathology* 99: S25.
- Gao, L. et al. (2009) Within- and between-orchard variability in the sensitivity of *Venturia inaequalis* to myclobutanil, a DMI fungicide, in the UK. *Pest Manag. Sci.* 65: 1241-1249.
- 石井英夫 (1998) 植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアルの作成にあたって。植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル（日本植物防疫協会）：1-9.
- 石井英夫 (2010) 殺菌剤耐性菌とその対策に関する国際動向。「シンポジウム：薬剤抵抗性を考える」講要：19-33.
- 石井英夫・大塚範夫 (1992) 殺菌剤耐性菌研究会の発足。植物防疫 46：512.
- Ishii, H. et al. (2007) Molecular characterization and diagnosis of QoI resistance in cucumber and eggplant fungal pathogens. *Phytopathology* 97: 1458-1466.
- Köller, W. (1994) Managing resistance to sterol demethylation inhibitors. *Proc. 8th Inter. Congr.*

- Pestic. Chem.: 340-349.
- Leroux, P. et al., (2002) Biodiversity and variability within *Botrytis cinerea*, the causal agent of grey mould. *Phytoma* 554: 38-42.
- Lesniak, K. E. et al. (2009) Occurrence of the G143A mutation conferring resistance to QoI fungicides in Michigan populations of *Venturia inaequalis*. *Phytopathology* 99: S71.
- 奈良県病害虫防除所 (2007) 水稻におけるストロビルリン系殺菌剤の使用について. 奈病防号外 (平成 19 年 4 月 3 日).
- 日本植物病理学会殺菌剤耐性菌研究会 (1998) 植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル (日本植物防疫協会) : 1-172.
- 日本植物病理学会殺菌剤耐性菌研究会 (1998) 植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアルⅡ (日本植物防疫協会) : 1-175.
- 宗 和弘 (2008) イネいもち病菌における殺菌剤耐性菌マネジメント. 植物防疫 62: 645-649.
- 宗 和弘・山口純一郎 (2008) イネいもち病菌における殺菌剤耐性菌マネジメントーMBI-D 剤及び QoI 剤に関してー. 第 18 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集 : 70-80.