

EBC (Evidence-based Control) の必要性

—今、病害防除研究者に求められていること—

佐賀県果樹試験場 田代暢哉
tashiro-nobuya@pref.saga.lg.jp

はじめに

植物病理学は応用科学であり、その中に含まれている病害防除に関する研究も応用科学の一分野として展開されるべきものである。このため植物病理学から派生した‘病害防除学’というものがあるかもしれないが、これは生産現場(のみならず国民の暮らし全般)に直結した学問である。だからこそ、今回のワークショップにお集まりの、生産現場で日々、多種多様な問題に向き合い、防除技術開発に取り組まれている各位におかれては植物病理学の研究者というよりも病害防除の研究者と称されたほうがふさわしいのではないかとと思われる。このように、現場に直接結びついている病害防除の研究ではあるが、病害防除＝薬剤防除で済まされ、薬剤の効果比較試験だけで問題が解決していた頃(薬剤試験が‘ぶっかけ試験’と呼称され、病害防除研究には科学の香りが乏しいとされていた時代)とは、農業や試験研究を取り巻く環境が大きく様変わりしている現在、我々、病害防除技術開発に携わっている関係者にはいったい何が求められているのだろうか。

1. 仕事の意義

人間は何のために仕事をしているのだろうか。生活の糧を得る手段であることはもちろんであるが、それぞれの仕事を通じて人々は世の中に何らかの貢献をしているはずである。では、私たち病害防除に関係している技術者・研究者、そして私たちが所属している組織の使命はいったい何なのだろうか。世の中に対する貢献という意味では農業現場における病害防除に関する問題を適切に解決することによって人々を幸せにするということであろう。これを具体的にいうと、第1表に示すようなことになる。

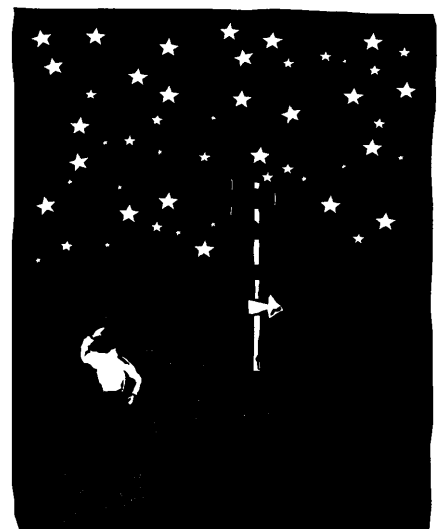
これらはきわめて当たり前のことではあるが、問題はこれらの現場対応や技術開発が、現場の目線に合ったものであり、世の中の役に立っているのかどうかという点にある。そうでなければ、個人や組織の存在意義はないことになる。人間として生まれてきて、世の中に何も貢献できないということは実に悲しいことであると言わざるをえない。

第1表 病害防除における現場対応と技術開発

1. 病害(障害)の診断
2. 発生動向予測
3. 防除手段・体系の提示と開発
 - 1) 個別防除技術の提示と開発
 - 2) 総合防除体系の提示と構築
4. 1.～3.の実証と評価^{a)}
 - a) 効果、コスト、省力、環境負荷等についての評価

2. 現場で役立つ情報

第1図に示すように真っ暗な闇の中、道に迷った旅人はどうすればよいのだろうか。病害防除の場面においても人々は取り得る最善の防除手段の選択に悩むことが多い。病害の発生状況、気象条件、栽培条件、コスト、労力……種々の条件が複雑に絡み合っている現場では、教科書に頼るだけで問題解決を図ることができないのはごく普通のことである。そのような状況下にあって皆さんは日々、たくさんの問題解決に迫られ、悩まされながらも的確な対応を行われていることと思う。しかし、日々の現場対応を行う過程で、いったいどれだけ確信を持て的確な対応ができていたのだろうかと自省しているのは私だけではないはずである。教科書的な対応が通用しない現場で頼ることができるのは幅広く豊富な知識とその応用力、そしてこれまでに培ってきた経験ということになる。この場合、経験はどうしても限られるわけで、知識に頼らなければならない部分が多いはずである。しかし、知識の構成要素である防除技術という観点からの有用な情報、科学的なEvidence(根拠)に裏付けられた情報がいったいどれくらい集積されているといえるのだろうか。大部分がありがたりの情報で、現場で今まさに困っている人々が使うことのできる、真に役立つ情報はきわめて少ないのが現状ではないかと思われる。第1表に示すような明確な目標はあるものの、結局は現場の目線にあった技術開発が残念ながらこれまで行われてこなかった



第1図 真っ暗な闇の中、道に迷った旅人はどうすればよいのだろうか。農業現場での問題解決も同じであろう。夜道を照らし、幸せへ通じる道を教えてくれるものは……

たということを如実に示していると思われる。

例えば、‘今日、薬剤を散布したけれども、次回はいつ散布したら最も効果的でかつ効率的な防除ができるのだろうか?’といった素朴な疑問があるが、それさえも的確な Evidence に基づいた答えが準備されていない場合が多いのではないかとと思われる。また‘薬剤抵抗性の発達を回避するためには薬剤のローテーション散布を行えばよいとされているが、それならばどのような薬剤をどのような組み合わせで、そしてどの程度の間隔で使用すればよいのか’についても Evidence に基づいた明確な答えのない場合が大部分であろう。現在、現場に推奨されている防除対策や技術にはどれだけの科学的な Evidence があるのか疑問に感じられるものがありにも多いのではないかとと思われる。薬剤防除や耕種的防除に関してすぐに思いっただけでも第 2 表に示すような例があげられる。

第 2 表 薬剤防除および耕種的防除に関する素朴な疑問

1. 防除効果の高い薬剤を散布する。防除薬剤は次に示す……である。
 <疑問>それは当然のことだろう。しかし、いったいどの薬剤の効果が高いのだろうか。5 種類も 6 種類も薬剤を並べられてもどれを選べばよいのか悩んでしまう。
2. 展着剤を加用して散布する。
 <疑問>展着剤を加用すると防除効果は向上するのだろうか。向上するとするならばどのような種類の展着剤を用いたらよいのだろうか。例えば、ある種の湿展性展着剤を主剤に加用すると薬液の付着状況は大きく変化するが、この場合の防除効果や残効の変動を主剤別、病虫害別に理論的に説明できる技術者がいったいどれくらい我が国にいるのだろうか。
3. 散布間隔は一週間おきとする。
 <疑問>病虫害の種類や発生状況、薬剤の残効や気象条件、作物の生育ステージなどを考える必要はないのだろうか。
4. ていねいにたつぷりと、十分量を散布する。
 <疑問>十分量とはいったいどのくらいの散布量なのだろうか。最適散布量を示すのが正しいのではないだろうか。生育ステージ、植物体の大きさと最適散布量の関係はどうなっているのだろうか。葉表、葉裏どちらにも散布する必要があるのだろうか。
5. 雨が多い時には散布回数を増やす必要がある。
 <疑問>散布回数を増やすといっても具体的にはどのように増やせばよいのだろうか。降雨量と防除効果との関係はどうなっているのだろうか。
6. 薬剤抵抗性・耐性の発達を避けるために同一薬剤の連用は行わない。
 <疑問>ほんとうに同一薬剤の連用は抵抗性の発達を早めているのだろうか。その場合の連用とはどのような間隔での散布なのだろうか。また、生育ステージや病虫害の発生状況の違いなどは関係ないのだろうか。
7. 樹勢を適正に保つ。適正な肥培管理に努める。
 <疑問>樹勢を適正に保つといっても適正な樹勢とはいったいどの程度のものなのだろうか。適正な肥培管理とはどんな肥培管理なのだろうか。
8. 耕種的な対策を徹底する。
 <疑問>耕種的な対策を行った場合、いったいどれだけの効果が得られ、薬剤散布回数をどの程度減らすことができるのだろうか。一方で、薬剤防除をきちんと行えば、わざわざ多くの労力を必要とする耕種的な対策は必要ないのではなかろうか。

また、実際の薬剤防除を行うにあたって①降雨後、植物体に雨滴が残っている状態、あるいは露で濡れている状態で散布した場合の防除効果はどうなるのだろうか。効果が低くなるとすればその解決策は何だろうか。②薬剤散布後の降雨の影響はどの程度あるのだろうか。降り始めまでの時間や降雨量と防除効果との関係はどうなっているのだろうか。効果が低下するとするならば次の散布計画をどうすればよいのだろうか。③数種薬剤を混用散布した場合に薬害は発生するのだろうか。防除効果は低下しないのだろうか。④生育促進や品質向上のための葉面散布剤などを混用すると防除効果はどのように変化するのだろうか。⑤一日のうちでいつの時間帯の散布が効果的なのだろうか。⑥雨中散布は効果があるのだろうか。⑦散布ノズルは何が最適なのだろうか。病虫害の種類に応じてノズルを使い分ける必要は無いのだろうか。混用散布の場合にはノズルの選択はどうすればよいのだろうか……等の疑問が生じてくる。これら実際の防除現場で生じる疑問点はとても小さなことであると思われるかもしれない。これまでの植物病理学からすれば学術的な意味合いなんてないと思われるかもしれない。しかし、現場ではそんな小さなことに悩み、困っているのが現状である。なぜなら、これらの問題を解決できるだけの Evidence が極めて少ないからである。このよ

うな実際の防除に直結している現場の悩みを無視していいのだろうか。また、これらの問題点に学術的な意味合いはないのだろうか。いや、そうではないはずである。私はこれらの現場の問題に真摯に向き合い、科学的な Evidence を見いだして、問題解決を図っていかねばならぬ応用科学としての植物病理学が存在意義はないと思っている。

以上は主として薬剤防除に関する問題であるが、このほかにも物理的防除、生物防除、生理活性物質を用いた防除などそれぞれについていろいろな問題や疑問があると思われる。さらに、発生予測や防除要否についてみると、生産者が直接目で見ることのできない病原菌の感染の有無や感染の程度をリアルタイムで情報提供するシステムの構築も一部では行われているが、実際に稼働して十分な成果をあげているとはまだいえない段階である。また、要防除水準の設定についても大部分の病害で明らかにされていないのが現状である。

このように我が国の病害防除には解明しなければならないこと、技術開発を急がなければならないことがまだまだ山積している状況にあると言える。

3. 現場対応における Evidence の重要性和 EBC(Evidence-based Control)の勧め

1) 現場対応における Evidence の重要性

第1図の場面で、進むべき正しい道を選択するためにはそのための Evidence が必要になる。勘と少ない経験、そしてこれまでの常識にだけ頼っていては暗闇の中で進むべき道を見つけることはできない。たまたま偶然に選んだ道が正しいということも時にはあるであろうが、それではとても安心して前進することはできない。何も見えない暗闇の中で(現場のブラックボックスの中で)、幸せへと通じる道を照らし、進むべき正しい方向を示してくれるのは信頼できる Evidence だけなのである。これからの病害防除に関する意思決定は質の高い Evidence によってのみ行われるべきであり、私たちはそのために日々の努力を積み重ねていく必要がある。

2) EBC(Evidence-based Control)の勧め

EBC(Evidence-based Control)は第3表に示すような5つのステップからなっている。EBCでは集積された科学的な Evidence に基づいて防除対応が行われ、防除体系の組み立てがなされるため、どのような状況にも的確に対応できる防除が可能になるはずである。また、これまでと同

第3表 EBCの方法論

等以上の効果を維持しつつも、	ステップ1: 現場の訴えをよく聞いて、問題点を整理し、明確にする。
より薬剤散布回数を減らし、環境	ステップ2: 問題点を解決するために必要な論文やデータなどの情報を集める。 無い場合は自分でデータを得る。
負荷を少なくできる病害管理が	ステップ3: 集めた情報を批判的に評価して、重要な点と誤っている点を見分ける。
可能になると思われる。さらに、	ステップ4: 評価した情報を現場へ適用する。
EBCでは正しい Evidence が判断	ステップ5: その効果を判定し、さらなる改善を図るためにフィードバックを行う。
の基準になるため、考え方が論	

理的になって経験の少ない技術者であっても、また、専門機関が近くになくとも、的確な現場対応が可能になるというメリットがある。また、Evidence を提示することによって農家や現場の技術者の考える能力が向上するとともに、的確な判断が行われるようになり、それによって病害防除の効率化が図られていくものと期待される。そして、将来的には個々の農家がそれぞれの状況に応じた最善の防除手段を選択する、すなわち、オーダーメイド防除の時代が到来すると思われる。

4. 良質の Evidence をどのようにして求めるのか

良質の Evidence を求めるために必要な研究計画の組み立てと実施上の留意点について述べる。

1) 現場との良好なチャンネルの確保による現状認識と研究テーマの明確化

現場の訴えを良く聞くことは農業技術者としてまず求められることである。現場からの電話相談、病害虫診断の依頼、農家やJA技術員、普及センター職員の来訪、現地での研修会、現地試験等々、現場の訴えを聞く機会は毎日、毎日、たくさんある。この機会が多ければ多いほど多くの情報が集まってくるのは当然のことである。日頃の現場対応のなかでこそ現場に役立つ技術開発のヒントが隠されている。まずは現場との多くのチャンネルを確保し、そのチャンネルを風通しの良好なものにしておくことが必要である。自分にとって些細な事でも、相手は困っているからこそ我々に訴えかけてくるわけで、相手の言うことを真剣に聞き、誠実に対応することによって信頼関係が生まれ、現場とのより良好なチャンネルを築くことにつながっていくはずである。また、アンケート調査も現場の実態を知り、訴えを理解する手段として有効である。

ところで、現場と真のコミュニケーションをとって問題解決を図っていくためには、幅広い知識、情報、物事の見方・考え方が必

要なことは言うまでもない。農業を巡る社会情勢、生育状況や作柄、天候、市況等々、話題は限りなくある。これらのことについて農家と議論し、問題点を整理し、明確にしていくことが望まれる。このような過程を通して、現場の農家の今現在置かれている状況に共感し、同情し、そして尽くさなければという気持ちが生まれ、そのことによって現場のための本当の仕事ができるようになると思う。

2) 既知の Evidence の収集

既知の Evidence の収集法としてとりあえずは成書を参考にし、それで不十分と思われるときは論文、概要書、Review を調べるという方法を取るしかないのが現状である。しかし、短時間で大量の文献検索を行うことはデジタル化されているものについては簡単であるが、そうならないものについては多くの時間と労力を要する。日頃から自分の関係する分野、解決すべき課題について問題意識を持って情報収集や文献の整理を行っておくことが必要である。それにしてもこれらは研究者個人の努力によって行われているのが現状であるが、研究者にとっては Evidence の収集そのものが本来の仕事ではないはずである。正確な情報を手軽に収集できるシステムの早急な構築が望まれる。

3) 新しい Evidence の作出

現場での問題解決を図る場合、まずは上述のようにこれまでの情報を集めて最善の方策を導き出すことになる。しかし、それで不十分と判断される場合には自分で Evidence を作り出 (Evidence-make) していかなければならない。これまで述べてきたように、現場でほんとうに役立つ Evidence が少ないのが我が国の現状である。過去に蓄積された Evidence で済むならことは簡単であるが、Evidence の質、量ともに残念ながら不十分と言わざるを得ない。現場で役立つ技術ということを念頭において日頃の技術開発に取り組み、有用な Evidence の蓄積を図っていく必要がある。もっと現場で役立つ、すなわち農家が使いやすく、経済的に無理が無く、そして効果が高く安定的な、多くの技術の集積がないことには価値観の異なる個々の農家に対応できるオーダーメイドの防除技術や防除体系の提示は困難であり、現在の病虫害防除を取り巻く厳しい状況を打破することも難しいと思われる。今こそ、我々が現場で役に立てることのできる Evidence を作り出していく、すなわち、Evidence-maker としての自覚を持って日頃の技術開発に取り組む時期に来ていると思われる。なお、繰り返になるが、そのために必要なバックグラウンドは 'ステップ1: 現場の訴えを良く聞いて問題点を整理し、明確にする。' にあることは言うまでもない。

4) Evidence 作出のための研究デザイン

病虫害防除技術を開発する、すなわち、Evidence を作り出すための研究デザインは、記述的 (非比較) 研究と分析的研究の二つに大別される。記述的研究は対照を持たない非比較研究であるため、防除法の有効性を明らかにすることはできないが、発生要因の推測には有用であり、個々の事例の紹介も技術開発を進めていく上で参考になる。一方、分析的研究は観察的研究と実験的研究とに分けられ、これらはともに防除法の有効性を明らかにしたり、発生要因を探ったりすることができるため、仮説の証明に用いられる。病虫害防除技術開発のための研究デザインおよびそれらの具体的研究手法については第3表に示すとおりである。

5) 研究デザインと Evidence の質および水準

研究デザインの違いによって得られる Evidence の妥当性には当然のことながら差があり、Evidence の信頼性のレベル (Evidence レベル) に高低を生じることになる。Evidence レベルは研究によって得られた結果を農業現場で適用した場合にどの程度再現されるのか、すなわち、真実にどれだ

第3表 病虫害防除技術開発のための研究デザイン

記述的 (非比較) 研究

- A. 症例研究, 症例報告 (ケース・レポート)
- B. 症例集積研究 (ケース・シリーズ)
- C. 横断研究
- D. 記述疫学研究

分析的研究

観察的研究

- A. ケース・コントロール研究
- B. 前向きコホート研究
- C. 後向き (歴史的) コホート研究
- D. 横断研究

実験的研究

- A. 対照のある研究
 - 1. 平行または同時対照
 - a. ランダム化されている研究
 - ア. ランダム化比較試験
 - イ. 群ランダム化比較試験
 - ウ. クロスオーバー比較試験
 - b. 非ランダム化での研究
 - 2. 連続的対照試験
 - a. 自己対照試験
 - ア. 前後比較研究
 - イ. 時間シリーズ研究
- B. 対照のない研究

け近いかの度合いで決定され、第4表に示す I が最も高く、V が最も低いことになる。ということはレベル I や II の Evidence であれば自信を持って農業現場に適用でき、貢献度も大きいことになるが、IV や V のレベルであれば現場に強く勧めることはできない技術情報ということになる。しかし、実際の防除技術開発の場面と農業現場を見た場合、用いられている Evidence はよくてレベル III

どまりで、大部分は IV や V レベルというのが実情ではなかろうか。これではとても科学的な根拠に基づいた効率的防除を行うことなど無理のように思える。質の高い Evidence が多く存在することによって病虫害防除のレベルが向上することになるので、Evidence レベルを高めるような試験研究の取り組みが必要になってくる。

6) 情報の評価

情報の評価とは、最終的にその情報が現場の問題解決に役立つかどうかを判断することである。問題解決を行うための Evidence を得るために教科書や学術雑誌の中から論文や資料を選んだ場合、そこに示されている情報がすべて利用できるというわけではない。情報の中には信憑性に疑問があるものも少なくないからである。このため、集めた情報が問題解決の根拠として妥当であるかどうかを検討することが必要になってくる。すなわち、情報が示している事実が「真実」であるか、「チャンス(偶然)の結果」であるか、それとも「バイアス(偏り)の結果」であるのか半断しなければならぬ。薬剤の効果比較試験一つをとってみても、「この結果を本当に信用できるのかな」、あるいは「現場で実際に役立つのかな」等と疑問を持つ事例は多いものである。この場合、「チャンス(偶然)の結果」については統計的な手法が正しく適用されているのかどうかによって判断され、「バイアス(偏り)」についてはどのような研究デザインが組み立てられているのかを検証することによって判断することができる。また、日頃からこのような観点からの評価を行うことによって、自分自身が実施する試験研究のレベル向上にもつながっていくことが期待される。

7) 研究データにおける情報の内部妥当性と外部妥当性の評価

情報(結果)は内部妥当性と外部妥当性(一般化)の二つの妥当性から評価されることが必要である。

内部妥当性とは、試験研究から得られた情報(データ)がどれだけ正しいかを示す度合いをいう。もし、その情報(データ)が真実であれば、それは何回行っても再現されることになる。情報の内部妥当性を評価する際にはバイアスとチャンスが入り込んでいないかどうかを判断するために、第5表に示す8つのチェックポイントについて検証する必要がある。

一方、外部妥当性(一般化)とは情報(データ)が、その研究が対象とした試験ほ場以外の一般ほ場において、どれだけ真実であるのかを示す度合いのことをいう。外部妥当性の評価は難しい面もあるが、内部妥当性の高い試験研究を実施するとともに試験例数を積み重ね、その結果を統合して考察することによって外部妥当性を高めることができる。

しかし、現状をみると、誰もが納得できる、すなわち、一般化できるような妥当性を持って、農業現場へ情報(データ)の適用が行われているのだろうか。我々は一つの、あるいは数少ない試験結果をもとに現象を一般化しているくらいが無きにしもあらずである。もっと極端なことを言えば、自分が作ったデータには愛着があるものだから、他人のデータよりも自分のデータ(効果の有無しを問わず)を重視するとか、自分のデータのなかでも結果がクリアなデータだけを取り上げるとかなどである。しかし、これらのデータだけでは一般化できないというのは当然のことである。結局、一つのデータの評価だけでは不十分で、外部妥当性を高めていくには複数のデータについて統合した評価が必要になってくる。

8) 情報の実用性評価

研究が妥当であると判断されると、次に評価すべきは情報(データ)の実用性が高いかどうかという点である。試験研究方法が妥当であっても、得られた情報(データ)に高い実用性がなければ、その情報に価値はないことになる。現行の防除手段と比較して、効果は上回るのか、コストはどうなるのか、労力はどうか、環境への影響はどうか等が判断項目になる。これらの項目につ

第4表 Evidence の質とレベルの評価

Evidence の水準	Evidence (根拠)の種類
I	複数の試験のメタ・アナリシスから得られた Evidence
II	3 反復以上で実施された単一の試験から得られた Evidence
III	コホート研究、ケース・コントロール研究などの分析的観察研究から得られた Evidence, 1~2 反復で実施された試験から得られた Evidence
IV	事例報告などの記述的研究に基づく Evidence
V	権威者といわれる人や、先輩、上司などの経験に基づく Evidence

第5表 情報(データ)の内部妥当性の評価

1. 試験区の割付はランダム化されているか?
2. 反復がとられているか?
3. 試験区の規模は十分であるか?
4. ブラインディングがされているか?
5. 試験区のバックグラウンドはそろっているか?
6. 比較しようとする処理以外の管理は同一であるか?
7. 調査個体数は十分であるか?
8. 適切な統計処理が行われているか?

いて個別に、そして総合的に判断する必要がある。そして、結局は現場のためになる情報であるのかどうかの評価の決め手になる。現場のためになるのかどうかを判断するためには日頃から問題意識をどれだけ持って仕事に取り組んでいるのか、ということにかかっている。

5. メタ・アナリシス(研究成果の統合的評価)の重要性

1) メタ・アナリシスとは

EBC の方法論のステップ 3: '集めた情報を批判的に吟味する' を行う場合、個々の情報だけをみていては的確な判断を下すことはできない。なぜなら、情報によって程度は異なるもののデータにばらつきがあるからである。そこで、各々の情報を定量的にまとめて判断する必要が出てくるわけで、この場合に用いられる手法がデータ統合的研究のための研究デザインの一つであるメタ・アナリシス(meta-analysis, メタ分析)である。すなわち、メタ・アナリシスとは、あるテーマに関してこれまでに行われてきた研究結果を集積し、定量的・統計学的にまとめて、全体として結論を導き出す研究手法で、系統的(システムティック)レビューの一部を構成している。研究レビューには一般的レビュー(記述レビュー)と系統的レビューがあり、それらは第6表に示すような違いがある。系統的レビューでは結果をまとめる際に各研究データを定量的に要約する必要がある、ここで用いられる手法がメタ・アナリシス、すなわち、複数の独立した研究結果を統合するための統計解析である。

第6表 一般的なレビューと系統的レビューの比較

	一般的なレビュー	系統的レビュー
テーマ	広い範囲にわたることが多い。	一つの仮説にしばることが多い。
取り上げた研究成果がどのように見いだされたのか	記載のないことが多い。	データベース名や検索方法を記載する。
取り上げた研究がどのように選ばれたのか	記載のないことが多い。このため、偏り(バイアス)のある可能性がある。	選択基準を明確に設定する。
取り上げた研究の評価	様々である。	批判的に要約する。
結果のまとめ方	質的に要約する。	量的に要約する。
解釈	必ずしも Evidence に基づくとは限らない	Evidence に基づく。

2) メタ・アナリシスの手順

メタ・アナリシスの手順は第7表に示すとおりである。これは特別なものではなく、一般の試験研究の手順と同様である。なお、メタ・アナリシスにおけるデータの統合方法としては母数効果モデルによる統合方法(General variance-based method, Mantel-Haenszel method 等)と変量効果モデルによる統合方法(DerSimonian-Laird method, restricted maximum likelihood method 等)があり、状況に応じて使い分けることになる。

各々の研究において試験設計が統一されていても、試験地の環境条件、気象条件、作物の生育状況、病害虫の発生状況などが異なるのは当然であり、防除効果もこれらの特性に依存して変化する。実際にはあり得ないことではあるが、これらの特性が各々の研究において同一であれば得られた結果の単純な統合でことたりることになるが、現実にはそうはいかない。しかし、防除効果の差、例えば発病率の差の程度(リスク差)や発病率の比(リスク比)は異なった研究でも共通し

ていると仮定できる。メタ・アナリシスの基本的な考え方は防除効果を計測するための効果指標(エンドポイント)として、各々の研究で一定と考えられる発病率の差(リスク差)、発病率の比率(リスク比)、相関係数などの'効果の大きさ(エフェクト・サイズ effect size)'を統合するということである。メタ・アナリシスでは前述のように種々の効果指標のエフェクト・サイズが一つにまとめられることになるため、様々な研究に対して適用できるが、病害虫防除技術開発の分野では防除効果の比較試験、すなわち、防除手段や薬剤の有効性の判定を目的に行うことが多いと思われる。

3) メタ・アナリシスの実際

EBC による防除の実際について、温州ミカンそうか病防除におけるデランフロアブル代替剤の選抜の例を挙げて説明する。

第7表 メタ・アナリシスの手順

1. 研究テーマの決定と仮説の設定
2. 研究デザインと評価指標の決定
3. 研究資料の収集
4. 採用基準にそったデータの抽出
5. 抽出データの統合
6. 統合データの検討

＜事例：温州ミカンそうか病に対して卓効を示すデランフロアブルの欠点は人によっては激しい皮膚かぶれを引き起こすことである。皮膚かぶれの問題がなく、かつ、同剤と同等の防除効果を示し、経済的な負担が増加しない防除剤を見出したい＞

温州ミカンそうか病の防除時期は春葉への感染を抑えるための展葉初期、春葉と果実の発病を抑える落弁期、果実発病を抑える幼果期である。このうち、展葉初期の散布は果実への伝染源になる春葉の病斑形成を抑えるという観点から極めて重要な位置付けとなっており、本病に対して卓効を示すデランフロアブルが広く使用されてきた。

ところが、本剤は人によっては激しい皮膚かぶれを生じるという問題点がある。この皮膚かぶれは散布当日はもちろんのこと、その後、園内で樹の管理作業をする場合にもあらわれ、その影響が散布後、長期にわたるという点で生産者にとって苦痛なものになっていた。そこで、生産現場からは皮膚かぶれがなく、デランフロアブルと同程度の防除効果を示し、さらに経費的にも同剤と同程度の比較的安価な薬剤が要望されていた。

しかし、効果および経費の両面からデランフロアブルに代わりうる薬剤はないため、生産者は効果がデランフロアブルに劣るか、あるいは同程度の効果が得られても経済的な負担が大きい薬剤を使用せざるを得ない状況にあった。

著者らは1999年以来、上述の課題解決に取り組んでおり、2002年まで同一設計に基づく防除効果の検討を九州病害虫防除推進協議会の連絡試験として九州各県の果樹関係試験場と共同で実施した。ここではその結果をメタ・アナリシスの手法を用いて統合解析して得られたエビデンスについて述べることにする。

(1) 各種薬剤の効果

温州ミカンの展葉初期～落弁期におけるそうか病防除剤としてデランフロアブルの代替剤になり得ると考えられたストロビードライフフロアブル、ベルコート水和剤およびマネージ水和剤の防除効果を比較した(2000年試験;データ略)。

その結果、供試した3薬剤のなかではストロビードライフフロアブル2,000倍が春葉および果実発病に対してデランフロアブル1,000倍とほぼ同程度のすぐれた効果を示した。一方、同剤3,000倍の効果は春葉ではデランフロアブル1,000倍と同等であったが、果実発病に対する抑制効果では不十分であった。これには試験実施年の降雨状況、すなわち、春葉では散布から調査までの累積降雨量が149mmと少なかったのに対して、果実では同460mmと著しく多くなったことが影響しているものと思われ、同剤3,000倍では耐雨性に問題のあることが示唆された。一方、ベルコート水和剤1,000倍、マネージ水和剤2,000倍の効果は著しく劣っており、実用的な防除効果が得られなかったことから、デランフロアブルの代替剤にはなり得ないと判断した。

以上のように、ストロビードライフフロアブルがデランフロアブルの代替剤として有望と考えられたので、連絡試験で得られた結果(第8表、春葉のデータは略)についてメタ・アナリシスを実施した。その結果、春葉の発病に対するストロビードライフフロアブル2,000倍および3,000倍とデランフロアブル1,000倍との効果差は認められなかった(第9表)。一方、果実発病に対するストロビードライフフロアブル2,000倍とデランフロアブル1,000倍の統合リスク比は1.9460であったが、その95%信頼区間は0.8689～4.3581と1.0を含んでいることから同等の効果を示すと判断された。しかし、ストロビードライフフロアブル3,000倍の効果はデランフロアブル1,000倍およびストロビードライフフロアブル2,000倍に大きく劣っており、統合リスク比からデランフロアブル1,000倍に比べて約4.6倍、ストロビードライフフロアブル2,000倍に比べて約3.5倍もの発病状況になることが示された。

第8表 温州ミカンそうか病の果実発病に対するストロビードライフフロアブルとデランフロアブルの防除効果並びにストロビードライフフロアブルの防除効果に及ぼすマシン油乳剤混用の影響^{a)}

試験年次・場所	無散布の 発病果率 (%)	発病果率(防除価) ^{a)}				
		ストロビー 2,000倍	ストロビー 3,000倍	ストロビー 3,000倍 マシン油乳剤 200倍	ストロビー 4,000倍 マシン油乳剤 200倍	デラン 1,000倍
2000年-佐賀	100	1.6 (98)	17.6 (82)	- -	- -	0.03 (100)
2001年-佐賀	76.2	9.3 (88)	38.7 (49)	13.3 (83)	- -	2.4 (97)
2002年-佐賀	46.8	2.1 (96)	11.5 (75)	1.6 (97)	11.1 (76)	0.5 (99)
2002年-長崎	43.9	0.7 (98)	2.0 (95)	3.5 (92)	5.3 (88)	0.03 (100)
2002年-大分	59.0	17.0 (71)	45.0 (24)	12.0 (80)	22.0 (63)	22.0 (63)
2002年-宮崎	66.1	5.0 (94)	13.8 (84)	5.3 (95)	18.9 (81)	2.7 (98)

a) ストロビーはストロビードライフフロアブル、デランはデランフロアブル、マシン油乳剤はハーベストオイル

(2) 経費の問題

以上のようにストロビードライフフロアブル 2,000 倍は温州ミカンそうか病の春葉および果実発病に対してすぐれた防除効果を示し、皮膚かぶれの問題もないことからデランフロアブル代替剤として有用であることが示された。しかし、同剤 2,000 倍を使用する場合、経費はデランフロアブル 1,000 倍の約 1.4 倍に高まることから経済性の面で問題が残され、経費の低減を図る方策を見出す必要にせまられた。一方、ストロビードライフフロアブル 3,000 倍の経費はデランフロアブル 1,000 倍の 96% であった。

第 9 表 温州ミカンそうか病の春葉発病に対するストロビードライフフロアブルとデランフロアブルとの効果差

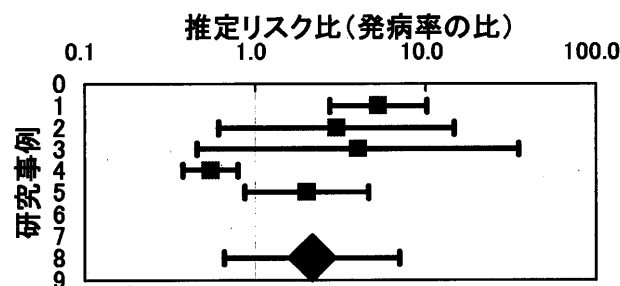
薬 剤	希釈倍数	研 究 事例数	デランフロアブル 1,000 倍との推定された効果差 (95%信頼区間)
ストロビードライフフロアブル	2,000	6	-0.0047 (-0.0207~0.0113)
ストロビードライフフロアブル	3,000	6	0.0236 (-0.0057~0.0530)
ストロビードライフフロアブル マシン油乳剤	3,000 200	5	-0.0102 (-0.0231~0.0027)
ストロビードライフフロアブル マシン油乳剤	4,000 200	4	-0.0045 (-0.0239~0.0149)

(3) マシン油乳剤 200 倍混用によるストロビードライフフロアブル 3,000 倍の防除効果の向上

前述のようにストロビードライフフロアブル 2,000 倍は温州ミカンそうか病に対してデランフロアブル 1,000 倍と同等の効果を示すが、経済性の面で問題がある。そこで、単用散布では果実発病に対して十分な効果が得られないストロビードライフフロアブル 3,000 倍に対して、アジュバント的な作用が期待できるマシン油乳剤を 200 倍で混用することによって防除効果が向上するのかわかについて検討した(第 8 表)。その結果、同剤の混用によって大幅な防除効果の向上が認められた。この場合、統合リスク比から、マシン油乳剤 200 倍を混用することによって単用散布の場合の約 30% にまで発病が減少することが示された。ストロビードライフフロアブル 2,000 倍との比較では統合リスク比は 1.0059 となったが、その 95% 信頼区間は 0.7830~1.2922 と 1.0 を含んでいるため両者間に効果差はないと判断された。さらに、デランフロアブル 1,000 倍との比較(第 5 図)でも統合リスク比は 2.1515 であったが、その 95% 信頼区間は 0.6576~7.0394 と 1.0 を含んでいることから同等の効果を示すものと判断された。

(4) マシン油乳剤 200 倍を混用したストロビードライフフロアブル 4,000 倍の防除効果

そこで、さらに経費の節減を図るために、ストロビードライフフロアブルの希釈倍数を 4,000 倍とし、マシン油乳剤 200 倍を混用した場合の防除効果について検討した(第 8 表)。メタ・アナリシスによる解析の結果、春葉に対する防除効果はストロビードライフフロアブル 2,000 倍、マシン油乳剤 200 倍加用ストロビードライフフロアブル 3,000 倍およびデランフロアブル 1,000 倍と同等であった(第 9 表)。試験例数が 4 例と少ないが、現時点では春葉の発病抑制についてはデランフロアブル代替剤として十分に機能するものと判断された。一方、果実発病に対する抑制効果はこれらに大幅に劣っており、実用性は低いと判断された。



第 2 図 マシン油乳剤 200 倍混用ストロビードライフフロアブル 3,000 倍のデランフロアブル 1,000 倍に対するリスク比^{a)}

a) ■がマシン油乳剤 200 倍混用ストロビードライフフロアブル 3,000 倍とデランフロアブル 1,000 倍の発病率の比較値。1.0 以下の場合にマシン油乳剤 200 倍混用ストロビードライフフロアブル 3,000 倍の効果が低い。一番下の大きなマーカー◆は 5 研究事例の統合値。マーカーの両側の太線はデータの 95% 信頼区間。

(5) 温州ミカンそうか病に対するデランフロアブル代替剤利用体系

皮膚かぶれが問題で、デランフロアブルを使用できない場合の防除プログラムを決定する際の判断材料として、一連の試験デ

ータのメタ・アナリシスによる解析結果の概要を第 10 表に示した。本病に対する各処理の効果やミカンハダニに対するマシン油乳剤散布の必要性、散布に要するコストなど現場の状況に応じた最適な組み合わせを選択することによって効率的な防除が可能になるものと期待される。今後は、個々の組み合わせによる実際の防除効果の検証を進めるとともに (EBC のステップ 4 およびステップ 5)、落弁期の防除ではそうか病の他に灰色かび病、黒点病が重要な防除対象病害であるため、これらの病害に対する同時防除効果について他剤も含めて検討することになっている。

第 10 表 メタ・アナリシスによる解析結果から得られたストロビードライフフロアブルおよびマシン油乳剤混用の温州ミカンそうか病に対する防除効果の評価

薬 剤	希釈倍数	デランフロアブルとの防除効果の比較 ^{a)}		デランフロアブルの散布経費を 100 とした場合の割合	デランフロアブルとの経費の違い ^{b)}
		春 葉	果 実		
ストロビードライフフロアブル	2,000 倍	○ (同等)	○ (同等)	143	820 円
ストロビードライフフロアブル	3,000 倍	○ (同等)	× (4.6 倍の発病)	96	-95 円
ストロビードライフフロアブル マシン油乳剤	3,000 倍 200 倍	○ (同等)	○ (同等)	133	625 円
ストロビードライフフロアブル マシン油乳剤	4,000 倍 200 倍	○ (同等)	× (4.7 倍の発病)	109	165 円

a) ○; デランフロアブル 1,000 倍と同等の防除効果が得られる, ×; 実用的な防除効果は得られない。

b) 10 アールあたり 500 リットル散布した場合の金額の差。算出基礎は佐賀県内小売価格に基づく。

5. EBC を推進するための課題

1) 病害防除研究に対する意識の改革

病害防除の主要な資材である薬剤の評価を例に考えてみる。

薬剤の効果、使用方法、さらにはその特性を解明する代表的な手段として薬剤防除試験がある。この薬剤防除試験に対して、我が国の病害防除の試験研究に携わっている技術者はどのような意識を持っているのだろうか。病原菌の同定、診断に関する研究や生態的な研究並びに生物防除などについての意識は高そうであるが、病害防除の基本ツールである薬剤がらみの試験への関心はそれほどでもないような気がする。

いくつか例にあげると、有効薬剤のスクリーニングと称して、植物体を用いた試験を行うことなくシャーレ試験だけで効果を判定してしまうような乱暴な例、ほ場試験を行っても単なる見かけ上の効果比較試験だけを実施して、薬剤の残効や効果の差が薬剤のどのような性質や試験条件に起因しているのかという解析がないままに終わっている例、さらに、有効薬剤を選抜してもその薬剤の特徴を生かした最善の使い方が明確に提示されていなかったり、防除体系のなかでの位置付けがきちんとできていない例など、試験に深みがないため、現場で真に役立つデータに仕上がっていない事例が多く見受けられる。

重要視されるべき薬剤防除に関する試験がなぜこのように手薄になり、軽んじられているのだろうか。薬剤防除を取り巻く状況が以前よりも厳しくなってきたことも原因としてあげられるが、私は我々試験研究に携わる者がいわゆる「薬剤のぶっつけ試験」なるもののみを以て、自分の仕事は済んだと考え、薬剤の特徴を把握し、それに基づいてより効率的な防除技術を構築するという視点到欠していることが最も大きな理由ではないかと考えている。さらに、試験設計の段階で、現場でどのように役立てることのできるデータをとればよいのかという目的がはっきりしていない場合が多くあるのではないかと心配される。ただ単なる効果比較試験にとどまっていたら意味がなく、現場の問題を解決するためにはどのような Evidence を作ればよいのかという明確な意識を持って、目的をはっきりさせた試験設計を組み立てる必要がある。このことは、薬剤防除に限らず他の防除技術開発の場面においても同様である。

現場で真に役立つ防除技術を開発するという信念、そして使命感があれば防除試験や防除技術開発に対する取り組みはおのずと変わっていくはずである。防除試験の本当の意義を再認識すべき時期が来ていると思われる。

2) 情報の公開、共有とその統合評価

良質の Evidence が集まれば集まるほど、多くの場面に対応できるようになる。良質の Evidence とは何も素晴らしいデータに限ら

ない。うまくいかなかったことも貴重なデータである。我々が日々得ているデータというものは結果の良し悪しに関係なく、とても貴重なものである。これらの貴重なデータが誰にも知られずに埋もれてしまうのはあまりにも残念なことである。ぜひ、全国の病害防除試験のデータが一つのもれもなく集められ、関係するすべての研究者、技術者が利用できるようなデータベースが構築されればと期待する。さらに、それらのデータに基づいてメタ・アナリシスが行われることによって、個々の防除技術の評価がきちんと行われ、現場で役立つ Evidence として利用されていくことになると思われる。

6. EBC 研究会の活動の意義

我々には真に現場の役に立つ病害防除技術を創り出していかなければならないという使命がある。その目的を達成していくために EBC 研究会がいくらかでも貢献できれば幸いであるが、本研究会の活動の意義はまずは Evidence に基づいた防除という共通認識を参加者全員で持つという点にあると思う。‘防除’全般をターゲットにした組織作りと活動は病害分野では初めての試みであり、ぜひ、ここにお集まりの各位のご協力によって本研究会が継続的に運営され、発展し、世の中の役に立つことができればと切に思う。現場を大切に、現場の役に立つ情報を創り出し、提供していくという思いがあれば、それはきっと可能であると信じている。

具体的な活動としては、病害防除に関する発表の場・議論の場としてのワークショップの開催並びに会誌の発行、防除情報ネットワークおよびデータベースの構築、防除ガイドラインの作成、病害等の診断技術・防除テクニックおよび適切な統計処理手法の研修などが考えられ、将来的には共同研究や連携研究にまで発展し、その中から新しい防除技術が次々に生まれるようになってほしいと素晴らしいことである。

おわりに

病害防除技術の今後進むべき方向は、すぐれた防除効果を維持しつつも、できるだけ薬剤の散布回数や散布量を減らした防除体系を組み立てるための Evidence の集積にあり、そのためには、多くのエネルギーが必要である。しかし、現在は人材、組織、物、お金、時間……すべてが効率化を求められている時代である。これまでと同じことを続けていても問題解決を図ることは容易なことではない。このような時代だからこそ、病害防除に関係する一人、一人がその能力を向上させるとともに、力を合わせて問題解決に取り組んでいく必要がある。一つ一つは小さな Evidence でも、それが集まることによって大きな進歩につながっていく。そこに、我が国における病害防除技術の発展があると信じるものである。

参考資料

1. 増井健一(2003 年)ここからはじめるメタ・アナリシス Excel を使って簡単に;真興交易(株)医書出版部
2. 丹後俊郎(2002 年)メタ・アナリシス入門 エビデンスの統合をめざす統計手法;朝倉書店
3. 森實敏夫(2002 年)臨床医のための EBM アップグレード;医学書院

なお、月刊誌『今月の農業』(化学工業日報社)に『新しい病害虫管理の概念:EBC(Evidence-based Control)による防除体系の構築と防除の実際』を連載中(2003 年 10 月号～)である。これらも参考にいただければ幸いである。